# UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI

**Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines**
-=-=-=-=-=-
**École Doctorale Pluridisciplinaire**
***« Espace, Cultures et Développement »***

**Faculté des Sciences et Techniques**
-=-=-=-=-=-
**CHAIRE UNESCO Sciences, Technologie et Environnement** (*CUSTE*)

**Laboratoire Pierre PAGNEY**
***« Climat, Eau, Écosystèmes et Développement »***

**THÈSE DE DOCTORAT UNIQUE DE GÉOGRAPHIE**
**présentée par Bertrand DOUKPOLO**

**Pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi**
**Option : GEOGRAPHIE ET GEOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT**
**Spécialité : DYNAMIQUE DES SYSTEMES CLIMATIQUES ET DEVELOPPEMENT (AGROCLIMATOLOGIE)**

# CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET PRODUCTIONS AGRICOLES DANS L'OUEST DE LA RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE

**Sous la Direction scientifique de :**

**M. Michel BOKO,** Professeur Titulaire, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH) – Université d'Abomey-Calavi (UAC) République du Bénin

**Soutenue publiquement le 05 mars 2014 devant le Jury international composé de :**

| | | |
|---|---|---|
| Président | : **Thiou T. K. TCHAMIE** | Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo) |
| Rapporteur | : **Michel BOKO** | Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi |
| Examinateur | : **J. M. SAMBA-KIMBATA** | Professeur Titulaire, Université Marien Ngouabi (Congo) |
| Examinateur | : **Constant HOUNDENOU** | Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi |
| Examinateur | : **Euloge OGOUWALE** | Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin) |

Mention : **Très Honorable avec Félicitations du Jury**

# UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI

mmmmm

**Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines**
-=-=-=-=-=-
**École Doctorale Pluridisciplinaire**
« ***Espace, Cultures et Développement*** »

**Faculté des Sciences et Techniques**
-=-=-=-=-=-
**CHAIRE UNESCO Sciences, Technologie** ***et Environnement (CUSTE)***

**Laboratoire Pierre PAGNEY**
« ***Climat, Eau, Écosystèmes et Développement*** »

**THÈSE DE DOCTORAT UNIQUE DE GÉOGRAPHIE**
**présentée par Bertrand DOUKPOLO**

**Pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi**
**Option : GEOGRAPHIE ET GEOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT**
**Spécialité : DYNAMIQUE DES SYSTEMES CLIMATIQUES ET DEVELOPPEMENT (AGROCLIMATOLOGIE)**

# CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET PRODUCTIONS AGRICOLES DANS L'OUEST DE LA RÉPUBLIQUE CENTRAFRICAINE

**Sous la Direction scientifique de :**

**M. Michel BOKO,** Professeur Titulaire, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH) – Université d'Abomey-Calavi (UAC) République du Bénin

**Soutenue publiquement le 05 mars 2014 devant le Jury international composé de :**

| | | |
|---|---|---|
| Président | : **Thiou T. K. TCHAMIE** | Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo) |
| Rapporteur | : **Michel BOKO** | Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi |
| Examinateur | : **J. M. SAMBA-KIMBATA** | Professeur Titulaire, Université Marien Ngouabi (Congo) |
| Examinateur | : **Constant HOUNDENOU** | Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi |
| Examinateur | : **Eulogе OGOUWALE** | Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin) |

Mention : **Très Honorable avec Félicitations du Jury**

# SOMMAIRE

SOMMAIRE ..... 3

ACRONYMES ET ABREVIATIONS ..... 6

AVANT PROPOS ..... 8

RESUME ..... 14

SUMMARY ..... 15

**INTRODUCTION** ..... 16

**PREMIERE PARTIE : PROBLEMATIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET CADRE DE L'ETUDE** ..... 21

**CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE, DONNEES ET METHODES DE L'ETUDE** ..... 22

1.1. APPROCHES THEORIQUES ET CONCEPTUELLES ..... 22

1.2. DONNEES ET METHODES ..... 38

1.3. METHODES D'ANALYSE DE LA VARIABILITE ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ..... 48

1.4. METHODE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES CULTURES ET D'ESTIMATION DE RENDEMENTS ..... 60

**CHAPITRE II : FONDEMENTS BIOPHYSIQUES ET DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE** ..... 76

2.1. CADRE BIOPHYSIQUE DE LA PRODUCTION AGRICOLE DANS LA REGION D'ETUDE ..... 76

2.2. DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE ..... 97

**CHAPITRE III : SECTEURS AGROECOLOGIQUES ET SYSTEMES DE CULTURE** ..... 107

3.1. SECTEURS AGROECOLOGIQUES ..... 107

3.2. SYSTEMES DE CULTURE ..... 110

3.3. CARACTERISTIQUES DE L'AGRICULTURE DANS LA REGION D'ETUDE ..... 116

3.4. EVOLUTION DES PARAMETRES AGRICOLES ..... 118

SYNTHESE DE LA PREMIERE PARTIE ..... 124

**DEUXIEME PARTIE : TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES, SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE : IMPACTS ET ADAPTATION** ..... 125

**CHAPITRE IV : VARIABILITE ET TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE** ..... 126

4.1. VARIABILITE ET TENDANCES PLUVIOMETRIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE 126

4.2. VARIABILITE ET TENDANCES THERMOMETRIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 148

4.3. VARIABILITE HYGROMETRIQUE DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 153

4.4. INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACTUELS DANS LA REGION D'ETUDE. 154

4.5. EVENEMENTS CLIMATIQUES EXTREMES DANS LA REGION D'ETUDE ..... 160

4.6. PERCEPTIONS PAYSANNES DE L'EVOLUTION DU CLIMAT DANS LA REGION D'ETUDE ..... 166

DISCUSSION ..... 169

**CHAPITRE V : SCENARIOS ET PROJECTIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE** ..... 171

5.1. CHANGEMENTS CLIMATIQUES : DU GLOBAL A L'ECHELLE CENTRE-AFRICAINE ..... 171

5.2. MODELES GLOBAUX ET SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS ..... 176

5.3. MODELISATION DU CLIMAT ACTUEL DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... **183**

5.4. PROJECTIONS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE AUX HORIZONS FUTURS ..... **198**

**CHAPITRE VI : IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES** ..... **212**

6.1. TENDANCES FUTURES PAR SCENARIO DES RENDEMENTS AGRICOLES ..... **212**

6.2. ANALYSE DES INDICES AGROCLIMATIQUES FUTURS ..... **220**

DISCUSSION ..... **226**

**CHAPITRE VII : ADAPTATION DES PRATIQUES CULTURALES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE** ..... **228**

7.1. VULNERABILITE AGRICOLE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ..... **228**

7.2. STRATEGIES D'ADAPTATION ENDOGENES ET PLANIFIEES ..... **229**

7.3. OPTIONS PRIORITAIRES D'ADAPTATION POUR FAIRE FACE AUX VULNERABILITES ..... **236**

7.4. DISPOSITIONS NECESSAIRES POUR LA PLANIFICATION ET LA MISE EN OEUVRE DE L'ADAPTATION ..... **237**

SYNTHESE DE LA DEUXIEME PARTIE ..... **238**

**CONCLUSION** ..... **241**

**BIBLIOGRAPHIE** ..... **244**

**WEBOGRAPHIE** ..... **265**

**LISTE DES FIGURES** ..... **266**

**LISTE DES TABLEAUX** ..... **270**

**LISTE DES PHOTOS** ..... **273**

**ANNEXES** ..... **274**

**TABLE DES MATIERES** ..... **333**

# DEDICACE

*A*

*Ma mère Doukpolo Nouténé Yvette et mon épouse Doukpolo Mallori Evelyne*

*et*

*A*

*Mes enfants Leslie Ginette, Durandine La Roche, Durandeau et Gerland Expédit,*

*pour leurs nombreux sacrifices.*

# SIGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|---|---|
| **AAP** | Apprentissage et Action participatifs |
| **ACEE** | Association Climat Energie et Environnement |
| **ACMAD** | African Centre of Meteorological Applications for Development |
| **AFB** | Alliance Française de Bangui |
| **AfriClimDev** | Africa Climate and Development |
| **AGRHYMET** | Agriculture et Hydrométéorologie pour le CILSS |
| **AR4** | Assessment Report Fourth (GIEC) |
| **ASECNA** | Agence de la Sécurité pour la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar |
| **AUF** | Agence Universitaire de la Francophonie |
| **BCR** | Bureau Central de Recensement |
| **BHP** | Bilan Hydrique Potentiel |
| **CC** | Changements Climatiques |
| **CCNUCC** | Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques |
| **CDF** | Centre des Données Forestières |
| **CEMAC** | Communauté Economique et Monétaire des Etats de l'Afrique Centrale |
| **CEPMMT** | Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme |
| **CILSS** | Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel |
| **CIO** | Convergence Inter-Océanique |
| **CIFRED** | Centre Inter Facultaire pour la Recherche en Environnement et Développement |
| **CIRAD** | Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement |
| **CMIP3** | Coupled Model Intercomparaison Project phase 3 Multi-Model Dataset |
| **CNI** | Communication Nationale Initiale |
| **COA** | Cadre d'Orientation pour l'Adaptation |
| **CORDEX** | COordinated Regional climate Downscaling EXperiment |
| **CRA** | Centre Régional Agrhymet |
| **CRC** | Centre de Recherches de Climatologie |
| **CRU** | Climate Research Unit |
| **CSAG** | Climate System Analysis Global |
| **CTL** | Computation Tree Logic |
| **DGH** | Direction Générale de l'Hydraulique |
| **DSA** | Direction des Statistiques Agricoles |
| **DSRP** | Document de Stratégies de Réduction de la Pauvreté |
| **ETM** | Evapotranspiration Maximale |
| **ETP** | Evapotranspiration Potentielle |
| **ETR** | Evapotranspiration Réelle ou de Référence |
| **EU** | Etats-Unis (d'Amérique) |
| **FAO** | Fonds des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation |
| **FAOSTAT** | Annuaire des données Statistiques de la FAO |
| **FIT** | Front Intertropical |
| **GCOS** | Global Climate Observing System |

| | |
|---|---|
| **GES** | Gaz à Effet de Serre |
| **GIEC** | Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Etude du Climat |
| **GIFS** | Gestion Intégrée pour de la Fertilité des sols |
| **ICASEES** | Institut Centrafricain des Statistiques, des Etudes Economiques et Sociales |
| **ICRISAT** | International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics |
| **IDH** | Indice de Développement Humain |
| **IFPRI** | International Food Policy Research Institute |
| **IRD** | Institut français pour la Recherche et le Développement |
| **ISDR** | Institut Supérieur de Développement Rural |
| **LACCEG** | Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques |
| **LACEEDE** | Laboratoire d'étude des Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement |
| **M3G** | Moyennes des Multi-Modèles Globaux |
| **MA** | Millions d'Années |
| **MADR** | Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural |
| **MCG** | Modèle de Circulation Générale |
| **MCI** | Ministère du Commerce et de l'Industrie |
| **MEE** | Ministère de l'Environnement et de l'Ecologie |
| **NCEP** | National Center for Environmental Prediction |
| **NERICA** | NEw Rice for Africa |
| **NME** | Nombre Moyen d'Enfants |
| **OGM** | Organismes Génétiquement Modifiés |
| **ONG** | Organisation Non Gouvernementale |
| **PADDBN** | Plan d'Action pour le Développement Durable du Bassin du Niger |
| **PAM** | Programme Alimentaire Mondial |
| **PANA** | Programme d'Action National d'Adaptation |
| **PARN** | Projet d'Aménagement des Ressources Naturelles |
| **PCC** | Période de la Croissance des Cultures |
| **PCGES** | Plan Cadre de Gestion Environnementale et Sociale |
| **PCMDI** | Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparaison |
| **PEA** | Plan d'Exploitation et d'Aménagement |
| **PIB** | Produit Intérieur Brut |
| **PNUD** | Programme des Nations Unies pour le Développement |
| **PNUE** | Programme des Nations Unies pour l'Environnement |
| **PRASAC** | Pôle régional de Recherche Appliquée aux Savanes d'Afrique Centrale |
| **RCA** | République Centrafricaine |
| **RRA** | Rapide Rural Appraisal |
| **SEFCA** | Société d'Exploitation Forestière en Centrafrique |
| **SMOC** | Système Mondial d'Observation du Climat |
| **SOMD** | Self Organizing Map based Downscaling |
| **SRES** | Special Report on Emissions Scenarios |
| **STICS** | Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard |
| **TAAM** | Taux d'Accroissement Annuel Moyen |
| **TSO** | Température de Surface de l'Océan |
| **WCRP** | World Climate Research Programm |
| **WRI** | World Resources Institute |

## AVANT PROPOS

Le changement climatique est l'un des défis majeurs de notre époque. C'est aujourd'hui, l'une des menaces pesant sur le développement agricole. Les communautés paysannes les plus pauvres sont sans doute celles qui en subiront les impacts les plus violents et souffriront de façon disproportionnée de ses effets négatifs.

Depuis quelques décennies, la communauté scientifique internationale tirait la sonnette d'alarme au sujet des impacts des changements climatiques sur les activités humaines telles que l'agriculture. Les pays tropicaux d'Afrique, les plus démunis et les plus vulnérables, ont du mal à y faire face. Sécheresses, inondations, famines, maladies, migrations et pertes en vies humaines sont le tribut que paient les paysans à cette modification du climat.

La Centrafrique n'échappe pas à cette situation. En effet, les sécheresses récurrentes qui y sévissent depuis plusieurs années, ponctuées de temps à autre par des orages brusques et destructeurs, ont fait prendre conscience du danger que représentent les perturbations du climat, notamment de leurs conséquences actuelles et futures sur la production agricole.

Ce travail s'inscrit dans le contexte des préoccupations relatives aux perturbations dans les systèmes de production et de la baisse continue des rendements culturaux face aux changements climatiques en Afrique tropicale. Cette recherche est une contribution à la connaissance approfondie des observations, simulations et projections climatiques. Les résultats d'analyse ont permis d'estimer les rendements agricoles futurs dans l'Ouest de la Centrafrique.

Cette thèse a bénéficié du soutien financier de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) et de l'« Institutional Support to African Climate Institutions Project » de la synergie « Climat et Développement en Afrique » (ISACIP /AfriClimDev), sous la tutelle du Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au Développement (ACMAD).

Ce travail a été réalisé grâce aux soutiens de diverses personnes à qui je dois exprimer mes sincères remerciements.

Je tiens avant tout à remercier chaleureusement le Professeur Michel BOKO, Directeur du Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), pour avoir accepté de diriger cette thèse. Il m'a formé, a toujours suivi mes travaux et a amélioré la qualité de cette thèse par ses conseils et suggestions. L'expression de mes sincères remerciements se justifie par la qualité indéniable des encadrements scientifiques et méthodologiques dont il m'a fait bénéficier avec un suivi d'une grande rigueur scientifique.

Mes sincères remerciements vont aussi à l'endroit de mon Encadreur de Thèse, le Dr. Sylvain Servais NDJENDOLE, Enseignant-Chercheur au Département de Géographie, à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Bangui (Centrafrique) pour son encadrement scientifique et technique. Ses encouragements et incitations au travail ainsi que les nombreux échanges scientifiques et corrections ont été très utiles à la réalisation de cette thèse. Ses observations et ses critiques bienveillantes ne m'ont nullement fait défaut. Mes remerciements ne suffiront jamais à lui exprimer mes sentiments de gratitude.

Je tiens également à remercier très sincèrement le Dr. Jean Claude BOMBA, Maitre Assistant de Géographie à l'Université de Bangui qui m'a enseigné et a dirigé, avec une rigueur scientifique, mes premiers pas de chercheur en Climatologie.

Je remercie chaleureusement Monsieur Euloge OGOUWALE, Maître de Conférences à l'Université d'Abomey-Calavi, pour m'avoir fait bénéficier de son expérience et de sa clairvoyance en Agroclimatologie, sans lesquelles je ne saurais parvenir à certains résultats majeurs.

Que Monsieur Christophe S. HOUSSOU, Professeur Titulaire à l'Université d'Abomey-Calavi ; Messieurs Fulgence AFOUDA et Constant HOUNDENOU, Professeurs Titulaires ; Euloge K. AGBOSSOU et Brice TENTE, Maitres de Conférences à l'Université d'Abomey-Calavi, soient remerciés pour l'inspiration qu'ils me donnent et les nombreuses incitations au travail.

J'exprime toute ma reconnaissance au Professeur Philippe GACHON, Chercheur Sénior à Environnement Canada et Directeur de Recherches à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), auprès de qui j'ai beaucoup appris au cours de mes séjours

scientifiques à l'Université de Lomé au Togo. Nos échanges m'ont permis de renforcer mes capacités en traitement et analyse des données de simulation et de projection climatiques.

Je remercie particulièrement le Dr. André KAMGA FOAMOUHOUE, Chef de Département « Climat et Environnement » à ACMAD, Monsieur Miambaye M'BAÏGUEDEM, expert en applications climatiques à ACMAD, Monsieur Léon LABBE, Conseiller scientifique à ACMAD et le Dr. Ibrah SEIDOU SANDA Chef du Département de Physique à l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) et expert en modélisation à l'AGRHYMET (Niger). Ils n'ont ménagé aucun effort, malgré leurs multiples occupations administratives et scientifiques, pour m'assurer un encadrement technique appréciable au cours de mon séjour scientifique dans le cadre d'un stage en modélisation climatique et études d'impact à ACMAD (Niamey au Niger).

Je tiens également à remercier le Dr. Léonard NJAU, expert en Climatologie au Département Climat et Environnement (ACMAD) et Monsieur Lazreg BENACHATA, Coordonnateur du projet ViGIRisC (ACMAD) et Enseignant Chercheur à l'Université Constantine 1 (Algérie) pour m'avoir partagé leurs expériences et m'orienté dans le choix du modèle d'impact.

Que Messieurs les Dr. Wilfried VISSIN, Dr. Ibouraïma YABI, Dr. Cyr Gervais ETENE de l'Université d'Abomey Calavi (Bénin) ; Dr. Ernest AMOUSSOU et Dr. Henri TOTIN de l'Université de Parakou (Bénin) et Dr. Maman-Sani ISSA enseignant au CIFRED (Bénin), trouvent dans ce travail le témoignage de la pertinence de leur encadrement scientifique lors de mes multiples séjours sur le campus universitaire d'Abomey-Calavi, particulièrement au Laboratoire Pierre PAGNEY.

Ces marques de remerciements vont à l'endroit des Dr. Benoit SARR et Dr. Seydou B. TRAORE, experts en Agro-météorologie pour leurs contributions dans le cadre des études d'impacts de changements climatiques et l'analyse agroclimatique au cours de mes visites d'échanges scientifiques au Centre Régional AGRHYMET (CRA) à Niamey au Niger.

J’exprime également ma reconnaissance aux autorités académiques de l’Université de Bangui, pour leurs recommandations et multiples conseils sans lesquels ce travail ne pourrait être réalisé :

- Pr. Georgette Florence DEBALLE-KOYT, ancienne Rectrice ;
- Pr. Gustave BOBOSSI SERENGBE, Recteur ;
- Pr. Joachim Raul, Vice-recteur ;
- Pr. Max Lambert MOSSOA, Directeur de l’Ecole Doctorale ;
- Noël NGOULO, PhD., Secrétaire Général ;
- Pr. Gabriel DANZI, ancien Doyen de la FLSH ;
- Pr. Clément Anicet GUIYAMA-MASOGO, Doyen de la FLSH ;
- Dr. Jean KOKIDE, Vice Doyen de la FLSH ;
- Drs. Marcel KEMBE, Chef de Département de Géographie.

Mes pensées vont aussi à l’endroit des Dr. Guy Florent ANKOGUI-MPOKO, Dr. Simplice SARANDJI, Dr. Aristide Médard OUESSEBANGA, Dr. Basile PAPOTO, Dr. Cyriaque Rufin NGUIMALET, Dr. Marcel KOKO, Dr. Bruno FEIDANGAI, Dr. Paul MOKOISSE, Dr. Félix NGANA, Dr. Raoul ZAGUY, Dr. Jean Claude AZOUMAYE, Boris Modeste YAKOUBOU, PhD., Apollinaire SELEZILO, PhD. et Dr. Martial Régis MARADA, pour leurs inlassables encouragements.

Que mes collègues chercheurs du Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d’Etudes Géographiques (LACCEG) de l’Université de Bangui notamment les doctorants André DENAMSE-KETTE, Bertin Alfred BANGARA, Martial GAPYA, Alexis MAÏNA-ABABA, Désiré NOUIDEMONA, Jean Marie DJEBATA et Melchiscédeck WATTA trouvent ici l’expression de ma sincère reconnaissance pour leur disponibilité et soutien moral.

Merci à Messieurs Bertin OUAKANGA, François GONDA, Evariste MADOU et Merlin Stanislas MODEM BONA FARAGAN du Laboratoire Guy LASSERRE de l’Université de Bangui (RCA) ; merci également aux Dr. Ali HAMADOU (Université de Maradi - Niger) et Dr. Bachir AHAMADOU (ACMAD) pour les précieux concours apportés lors des traitements cartographiques et statistiques des données collectées.

Ma sincère gratitude va à l’endroit de mes amis du Laboratoire Pierre PAGNEY de l’Université d’Abomey-Calavi, précisément les Dr. Gildas Junior BOKO, Dr. Wilfried BOKO, Dr. Romaric OGOUWALE, Dr. Guy WOKOU et les Doctorants

Patrice BOKO, Akibou AKINDELE, Arsène AKOGNONGBE, Morou OUOROU BARRE, François G. GBESSO et Gervais ATCHADE pour leur sympathie et leur contribution scientifique à travers les nombreux échanges, notamment au cours de nos différents points de thèse.

Je m'en voudrais d'oublier le Dr. Jean Eudes TEYA et Monsieur Gervais NGOVON-NGBELE. Ils ont été une pierre angulaire dans la finalisation de ce travail et la tenue effective de la soutenance de cette thèse de Doctorat Unique. Leurs marques de responsabilité et leurs appuis immenses dans le cadre de nos relations professionnelles méritent d'être soulignés.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Monsieur Serge Désiré DOUKPOLO et son épouse Astrid, de Monsieur Honora BASSALA et son épouse Débora, de Monsieur Georges MARADA et son épouse Marcelline, de Monsieur Eric Raymond TEYA et son épouse Claudia, de Madame SOKAMBI Madeleine, de Monsieur Emmanuel OUANDET YANIKO, de Monsieur Mamadou SALL, des familles ZOUMALET, LEKENEWI, PAUVRE et BADEKARAS pour leurs soutiens infaillibles tant matériels, moral que spirituel.

Merci infiniment à Mlle Murielle Nancy KENGUELEWA, mon amie des nuits blanches et des jours noirs, à Freddy Ulrich KETTE et à Monsieur Wilfried A. MBOMBO Enseignant à l'Institut International des Langues de Porto-Novo, pour m'avoir fortement soutenu lors de mes multiples séjours en '*pays fon'*.

A tous les membres de ma famille, particulièrement, ma mère Madame DOUKPOLO née NOUTENE Yvette, mes frères Gérard, Emmanuel, Boris, Fabrice, Sylvain, Achille, Ozias et mes sœurs Judith, Viviane, Nina, Tatiana, Raïssa, Durelle, Nifé, Aristova : merci pour leurs soutiens multiformes. A feu René, mon père et feu Eric, mon frère cadet : vous devriez être là pour vous réjouir avec moi, hélas Dieu en a décidé autrement.

Mes remerciements infinis à ma chère épouse Evelyne et mes enfants Leslie, La Roche, Bertrand Durandeau et Gerland Expédit qui ont accepté tous les sacrifices et les désagréments que je leur ai imposés pendant toute la durée de cette thèse et par mes absences longues et indisponibilités répétées chaque année. Qu'ils reçoivent ici mes

très profonds remerciements. J’espère simplement qu’un jour, l’utilité de ce travail compensera leurs sacrifices.

Je remercie infiniment les membres du jury pour avoir accepté de faire partie du jury de soutenance de cette thèse, malgré leurs multiples occupations. Mes marques de reconnaissance vont enfin à l’endroit de tous ceux qui ont contribué d’une quelconque manière à la réalisation de cette thèse.

## RESUME

*La présente étude traite de la problématique des changements climatiques actuels et futurs et de leur incidence sur les productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine. Les données d'observation, de simulation et de projection climatiques ont été analysées dans le but d'appliquer les résultats à l'estimation des rendements culturaux aux horizons temporels futurs. La démarche méthodologique est basée sur l'utilisation du modèle agronomique STICS, qui simule les rendements agricoles, décrit les physionomies climatiques futures ainsi que l'écart existant entre les situations climatiques de demain et celles connues (situation de référence).*

*Les sorties agronomiques révèlent que les changements climatiques constituent une menace sérieuse pour le développement agricole dans l'Ouest de la Centrafrique. L'analyse des observations et des projections climatiques montre une variabilité des précipitations, une élévation des températures et une recrudescence des phénomènes météorologiques extrêmes. Les impacts des changements climatiques sur les productions agricoles sont d'ores et déjà évidents. En dépit de leurs incertitudes, les tendances futures des précipitations indiquent une baisse pouvant atteindre 20 à 42 % notamment dans les secteurs soudaniens et soudano-sahéliens de la région d'étude. La sévérité de la sécheresse qui s'en suivra pourrait engendrer une diminution des réserves en eau disponibles des terres cultivables et des modifications de la durée de la période de croissance végétative.*

*Les effets attendus de ce changement seront les modifications de la durée des saisons de culture, la perturbation des cycles biologiques des cultures et autres micro-organismes utiles à l'environnement, des stress hydriques et thermiques plus intenses sur des périodes plus longues. Ce dysfonctionnement des saisons agricoles aura une grande influence sur la capacité des agriculteurs à planifier leurs activités. Des baisses de rendement des cultures céréalières et oléagineuses de l'ordre de 20 à 50 % sont attendues dans la région d'étude aux horizons futurs proches et lointains.*

*L'analyse des rendements simulés et comparés à ceux observés indique, avec un scénario climatique pessimiste, une forte baisse des rendements, nécessitant ainsi des stratégies adaptives proactives plus appropriées afin de réduire la vulnérabilité agroalimentaire des populations. Les efforts sont désormais portés sur l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans la planification au niveau tant régional, national que local. En matière d'adaptation, un large éventail d'expériences novatrices existant aujourd'hui est capitalisé, en particulier dans le domaine de la gestion durable des terres, des eaux et des forêts. La mise en œuvre à grande échelle nécessite des financements importants provenant des fonds d'adaptation et une coopération régionale et sous régionale soutenue.*



***Mots clés :*** Ouest-centrafricain, changements climatiques, productions agricoles, impacts, stratégies d'adaptation

## SUMMARY

*This study treats the problem of current and future climate changes and their impact on agricultural production in western Central African Republic. Observation data, simulation and climate projection were analyzed in order to apply the results to estimate crop yields future time horizons. The methodology is based on the use of agricultural STICS model, which simulates crop yields, describes future climate faces and the gap between climate situations in the future and those known (baseline).*

*Agronomic outputs indicate that climate change is a serious threat to agricultural development in West Central Africa. The analysis of observations and climate projections show a variability of rainfall, higher temperatures and an increase in extreme weather events. The impacts of climate change on agriculture are already evident. Despite their uncertainties, future precipitation trends show a decline of up to 20 to 42 % especially in the Sudanian and Sudano-Sahelian sectors of the study area. The severity of the drought that will follow could lead to a reduction in available water supplies of arable land and changes in the duration of the vegetative growth period.*

*The expected effects of the change will be changes in the length of growing seasons, disruption of biological cycles of crops and other organisms useful to the environment, more intense water and heat stress over longer periods. These dysfunction agricultural seasons have a great influence on the ability of farmers to plan their activities. Yield losses of grain and oilseed crops in the order of 20-50 % are expected in the study area for future horizon near and far.*

*The analysis of simulated and compared to those observed yields indicates , with a pessimistic climate scenario, a sharp decline in yields, thus requiring more appropriate proactive adaptive strategies to reduce food vulnerability. The efforts from now on related to the integration of the adaptation to the climate change in planning at the level as well regional, national as room. In adapting a wide range of existing innovative experiences today is capitalized, especially in the field of sustainable management of land, water and forests. Implementing large scale requires considerable funding from the adaptation fund and regional and sub regional supported.*



***Key words*:** West-Central African, climate changes, agricultural productions, impacts, strategies of adaptation

# INTRODUCTION

Les changements climatiques désignent de lentes variations des caractéristiques climatiques, en un endroit donné au cours de temps. Ces changements observés de nos jours constituent des défis auxquels l'humanité a et aura à faire face (GIEC, 2001 et Wood, 2008). C'est dans ce contexte que, pour corroborer les conclusions des différents groupes de travail du GIEC, Villeneuve et Richard (2005) cités par Bryant et *al*.(2008) ont écrit : « *Il ne s'agit plus de savoir si le climat se modifie, mais à quelle vitesse il se modifie et comment l'Homme va s'y adapter*». Ce point de vue a été au centre des analyses qui ont conduit à la réalisation de ce travail.

En effet, la détection d'une tendance au réchauffement planétaire et son attribution aux activités anthropiques, caractérisées principalement par une utilisation exceptionnelle des combustibles fossiles, une déforestation sans précédent et un changement dans l'utilisation des sols, ont été présentées avec une plus grande certitude au niveau du 4$^{ème}$ rapport du GIEC (2007). Selon ce rapport, la température moyenne globale va augmenter et pourrait atteindre 4,5 °C d'ici 2100, le régime des précipitations va se modifier et la variabilité climatique sera accrue notamment la fréquence des événements extrêmes de plus en plus récurrents.

Sur le continent africain, les tendances actuelles et futures suggèrent que de vastes régions, notamment le Sahel, la Corne de l'Afrique, une partie de l'Afrique centrale et australe, pourraient subir un réchauffement de l'ordre de 3 à 6 °C d'ici 2100 (GIEC, 2007). Les régimes pluviométriques seront également touchés et pourraient accuser une baisse de plus de 20 à 30 % par rapport au niveau de référence 1961-1990 retenu par l'OMM (Bigot et *al*., 2003). Plus de 95 % de l'agriculture africaine dépendant des précipitations, la production agricole sera fortement compromise par la variabilité accrue des précipitations conjuguée à la hausse des températures et à l'occurrence des phénomènes extrêmes dévastateurs.

La sécheresse sévère et généralisée qui a sévi au Sahel, à la fin de la décennie 60 avec une percée en Afrique de l'Ouest et du Centre au cours des décennies 70 et 80 (Paturel et *al*., 1997), représente le plus fort signal climatique observé sur Terre en général et en Afrique tropicale en particulier, depuis que des mesures météorologiques sont

disponibles (OMM, 2001). Cette grande période de sécheresse a eu des incidences non seulement néfastes sur les rendements agricoles mais plus dramatiques sur les conditions d'existence des populations rurales, car le degré de leur vulnérabilité n'a cessé de s'accroître avec les changements climatiques (Sarr, 2006).

En effet, les changements climatiques commencent à partir de l'hypothèse selon laquelle l'avenir climatique sera très différent de celui connu dans le passé et aujourd'hui. Une hypothèse qui est de plus en plus étayée par les résultats de la surveillance du climat global récent et les résultats des modèles de circulation générale (MCG) utilisés pour simuler le climat futur (SMOC, 2010). Selon les scénarios prospectifs tels que prévus par les modèles globaux, les rendements des cultures connaitront une baisse notable aux latitudes tropicales (Brassard et *al*., 2007 ; Tsalefac et *al*., 2007 ; Boko, 2009 ; Sultan, 2011) ; en particulier pour l'Afrique, les diagnostics sont plus incertains (Roucou, 2012). Pourtant les simulations des modèles forcés par les températures de surface de l'océan (TSO) observées montrent bien la tendance à la sécheresse depuis la fin des années 60 ainsi que la légère reprise des précipitations depuis les années 90 (Lu et Delworth, 2005). Ces études ont permis de montrer le rôle important de la variabilité des TSO et des gradients associés sur le climat tropical.

Les modèles couplés océan-atmosphère, utilisés dans le quatrième rapport du GIEC, ont des difficultés à reproduire le champ de pluie moyen et le cycle annuel (Cook et Vizy, 2006 ; Biasutti et *al*., 2008). Pour cette raison, il est difficile de prévoir les tendances futures des précipitations. En effet, les modèles ne montrent pas de signal convergeant des précipitations et la dispersion entre les simulations augmentent avec le temps. Au moins deux catégories de modèles peuvent alors être dégagées : les modèles secs (MS) prévoyant une diminution de la pluie en fin de siècle et les modèles humides (MH) prévoyant un retour à des meilleures conditions de précipitations.

Bien que des incertitudes subsistent sur les perspectives climatiques régionales africaines (Gordon et *al*., 2007) du fait, notamment de l'imprécision des modèles en cours et de la complexité même du climat tropical, force est de reconnaître que les impacts des changements climatiques sur le continent, et en particulier dans les régions guinéenne et soudano-sahélienne se font déjà sentir. L'accroissement des extrêmes

climatiques, l'extension de la désertification et la perte de la diversité biologique dans ces régions en témoignent.

Ces modifications du climat vont néanmoins affecter les agro-écosystèmes plus particulièrement ceux qui ont une forte dépendance au climat (Bryant, 2008). Parmi ceux-ci, l'agriculture, secteur stratégique et vital pour le développement économique de nombreux pays africains, est un exemple parfait de secteur dont l'état est fortement tributaire directement ou indirectement des conditions climatiques (Boko, 1988 et 2009 ; Parry et *al.*, 1999 ; Ndjendolé, 2001 ; Ogouwalé, 2006 ; Yabi, 2008 ; Issa, 2012).

Face à cette situation, l'adaptation s'avère nécessaire à court et long termes pour faire face aux conséquences du réchauffement, même selon les scénarios de stabilisation aux niveaux les plus bas ou plus optimistes qui ont été évalués dans le 4ème rapport du panel des scientifiques du GIEC (2007).

En effet, il est de plus en plus évident que les faibles moyens d'existence des populations pour anticiper et réduire les impacts des fluctuations climatiques s'illustrent par une forte corrélation entre la productivité agricole et la pluviométrie. Cette vulnérabilité face au climat s'illustre également par le fait que depuis la décennie 70, les plus grandes famines ayant nécessité un recours à l'aide alimentaire internationale (1974, 1984/1985, 1992 et 2002) sont entièrement ou en partie dues aux variations du climat (Gommes, 1993). Plus récemment, d'après le CILSS (2011), si la crise alimentaire de 2010 au Sahel qui a touché plus d'un tiers des populations ouest-africaines a été provoquée par plusieurs causes (fluctuations des prix du marché, faiblesse du réseau de distribution de l'eau), elle a été déclenchée par un déficit de pluie en 2009 qui a réduit le potentiel de la production agricole.

En Centrafrique, l'agriculture représente le socle de l'économie nationale après les mines. Elle est vulnérable à la variabilité et aux changements climatiques. La situation de base, c'est-à-dire avec la variabilité climatique, montre déjà que les rendements et les productions agricoles sont très faibles et n'arrivent pas à satisfaire les besoins alimentaires des populations. Le Rapport d'investissement en Centrafrique présenté dans le cadre de la Conférence internationale sur « L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique » (FAO, 2008), a indiqué que la situation avec les changements importants du climat rendra plus vulnérable la

production agricole. Dans ce contexte, une augmentation des températures associée à une forte diminution ou une augmentation des précipitations, conduirait à des baisses plus notables des rendements agricoles. Cela va induire des répercussions négatives sur la population et l'accentuation de la pauvreté.

Les recherches expérimentales jusque-là effectuées en milieu tropical révèlent que les répercussions des changements climatiques sur les rendements des cultures vont varier considérablement (Parry, 1990 ; FAO, 1997 ; Sombroek et Gommes, 1997). Ces répercussions dépendront des espèces et des variétés cultivées, des caractéristiques des sols, de l'ampleur de l'action des ravageurs et des agents pathogènes, des effets directs du dioxyde de carbone ($CO_2$) sur les plantes, du stress hydrique, de la nutrition minérale, des réactions adaptatives, etc. (GIEC, 2001). Même si une plus forte teneur en $CO_2$ peut favoriser la croissance et le rendement des cultures, cet avantage ne compense pas toujours les effets néfastes de la chaleur excessive et de la faiblesse des précipitations qui caractériseront les climats dans l'Ouest de la Centrafrique d'ici 2050.

La Centrafrique à l'instar de nombreux pays en développement s'est fixé l'ambitieux objectif de lutter contre la pauvreté, en réduisant de moitié, la faim, à l'horizon 2015 et au cours des prochaines décennies. Mais des obstacles majeurs tels que l'instabilité politique chronique, les conflits armés récurrents, l'insécurité territoriale et alimentaire fragilisent et entravent l'atteinte des objectifs escomptés, notamment la mise en œuvre des politiques et stratégies agricoles durables.

Ces pesanteurs sociopolitiques et économiques, à caractère endémique, associés aux mutations environnementales et stress hydro-thermiques, risquent d'impacter, de façon durable, les communautés agricoles. Celles-ci, avec leur faible capacité d'adaptation aux changements climatiques, parviendraient difficilement à assurer l'autosuffisance alimentaire à partir des produits et revenus agricoles (Ndjendolé et Malibangar, 2009 ; Harrison et Boulahya, 2010). Le maintien d'une production agricole adéquate pouvant satisfaire les besoins alimentaires de la population est indispensable pour une stabilité politique, économique et sociale des générations actuelles et futures. Devant l'importance de ce secteur et compte tenu de son niveau de dépendance des conditions

climatiques, il est plus que nécessaire de mettre en évidence les impacts probables des changements climatiques projetés sur les rendements agricoles et de proposer des stratégies adéquates d'adaptation plus durables.

Etudier les impacts potentiels des changements climatiques dans le secteur de l'agriculture en analysant les formes intrinsèques de vulnérabilité, à partir des observations et, tendances actuelles et futures du climat, constitue donc un enjeu majeur en termes de définition et de proposition des stratégies d'adaptation.

C'est dans cette optique que la présente étude intitulée : « **Changements climatiques et productions agricoles dans l'Ouest de la République Centrafricaine »**, a été réalisée. Ce travail, structuré en deux parties et comportant sept chapitres, est une contribution aux débats scientifiques sur la problématique des changements climatiques et de l'adaptation des agrosystèmes en Afrique tropicale.

- **La première partie : Problématique, démarche méthodologique et cadre de l'étude** comprend trois (3) chapitres. Le chapitre I aborde la problématique de l'étude et définit la démarche méthodologique. Le chapitre II analyse les fondements biophysiques et les déterminants socio-économiques de la région d'étude. Le chapitre III étudie les secteurs agroécologiques et la typologie des systèmes de culture dans l'Ouest de la Centrafrique.
- **La deuxième partie : Tendances climatiques actuelles et scénarios climatiques futurs dans l'Ouest de la Centrafrique : Impacts et adaptation** comprend quatre (4) chapitres. Le chapitre IV étudie la variabilité et les tendances climatiques actuelles. Le chapitre V justifie le choix des scénarios climatiques futurs et la démarche d'utilisation des sorties de modèles climatiques dans la région d'étude. Le chapitre VI analyse les impacts potentiels des changements climatiques sur la production agricole, notamment les rendements estimés sur la base des scénarios élaborés. Le chapitre VII évalue la vulnérabilité de l'agriculture et des communautés paysannes. Il analyse aussi les diverses options d'adaptation aux changements climatiques à partir d'une matrice d'évaluation des capacités adaptives et d'un modèle de gestion intégrée.

# PREMIERE PARTIE

# PROBLEMATIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET CADRE DE L'ETUDE

# CHAPITRE I

# PROBLEMATIQUE, DONNEES ET METHODES DE L'ETUDE

Le présent chapitre aborde la problématique de recherche, énonce le problème et justifie le sujet. Il présente les objectifs de recherche et les hypothèses de travail. Il présente aussi la délimitation de la région d'étude, l'Ouest de la Centrafrique. Il indique les différents types de données utilisées tant climatologiques (précipitations, températures, humidité relative), agricoles (superficies des emblavures, productions et rendements agricoles) que géologiques et pédologiques.

Il développe par la suite une approche méthodologique qui présente en premier lieu les méthodes de traitement des données. Il décrit ensuite le mode de calcul des bilans hydriques à la détermination des différentes séquences des anomalies tant négatives que positives. Il décrit enfin le modèle utilisé pour simuler les rendements agricoles futurs ainsi que le cadre de l'orientation pour la planification d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques.

## 1.1. Approches théoriques et conceptuelles

### 1.1.1. Problématique de l'étude

Le réchauffement global croissant de la planète Terre est une menace grave pour l'humanité (GIEC, 2007). Parmi les problèmes les plus préoccupants de notre époque, la variabilité et les changements climatiques, la croissance démographique rapide et les mutations environnementales (empreinte écologique, déforestation, dégradation des sols, etc.) occupent les positions les plus en vue. Les questions de vulnérabilité et d'adaptation de l'agriculture vivrière se posent avec une extrême acuité. C'est dans ce contexte que la FAO (1996), lors du sommet mondial sur la production agricole et la sécurité alimentaire, s'est fixé les ambitieux objectifs de lutter contre les effets de la variabilité climatique et de réduire la faim de moitié dans le monde à l'horizon 2015. Plus de quinze ans aujourd'hui, la situation reste préoccupante et les risques d'exacerbation demeurent fortement remarquables face à la récurrence des extrêmes climatiques (sécheresses et inondations) et leurs conséquences dévastatrices, particulièrement en Afrique tropicale.

La problématique de l'incidence des changements climatiques sur la production agricole a fait déjà l'objet de nombreux travaux scientifiques à l'échelle mondiale, sur plusieurs régions et pays (FAO, 1997). Une étude sur les scénarios climatiques et les rendements agricoles futurs a montré qu'à l'horizon 2025, les changements climatiques vont entraîner une baisse considérable des rendements des principales cultures en Afrique sub-saharienne (Zhao, 2005), notamment le manioc (-26 %), l'arachide(-15 %) et le maïs (-11 %), alors que les populations de la plupart de ces pays africains doubleront (UNFPA, 2011). Cette situation serait due à une variabilité des indices agroclimatiques qui influencent directement les rendements agricoles, notamment l'indice d'humidité dont la baisse signifie une diminution de l'apport climatique en eau en raison de la péjoration de l'évapotranspiration potentielle et de la baisse des cumuls pluviométriques (Berger, 1992).

L'ampleur de ces changements se mesure également par une diminution et une irrégularité des précipitations ainsi que des raccourcissements des saisons de pluies émaillées des épisodes secs plus ou moins longs, avec des déficits pluviométriques qui ont dépassé 53 % durant les sécheresses ayant sévi en 1972 et 1983. Pendant les deux dernières décennies, l'on constate une variabilité des précipitations caractérisée par l'alternance de plus en plus fréquente des sécheresses et des inondations. Les données statistiques de production du manioc et des céréales (maïs, mil et sorgho) de la campagne 1983-1984 sont révélatrices à plus d'un titre, avec une baisse entre 1980 et 1985 de 71 % dans la région d'étude soit respectivement 217.549 tonnes pour le manioc contre une moyenne de 420.455, et 23.736 tonnes pour les céréales (maïs, mil et sorgho) contre une moyenne de 70.875 tonnes (DSA, 1990).

Dans l'Ouest de la Centrafrique, comme dans l'ensemble du pays, les déficits pluviométriques, le décalage saisonnier et le prolongement de la durée de sécheresse, de plus en plus significatifs, touchent de vastes territoires et bassins de production agricole. Ces crises climatiques persistantes, conjuguées à d'autres facteurs (perte de productivité des sols, conflits armés récurrents et déplacements des populations) constituent les causes primaires de la baisse de rendements agricoles et de pénurie alimentaire enregistrées ces dernières décennies dans la région d'étude. Cette situation préoccupante remet en cause les politiques agricoles en matière de productivité et

oblige à revoir les stratégies d'adaptation tous azimuts, car les milieux où sévit déjà la sécheresse ont été peuplés, et les terres qui étaient utilisées comme pâturages et longtemps mises en jachère, sont maintenant exploitées en permanence.

Classée 179$^{ème}$ sur 187 pays, avec un Indice de Développement Humain (IDH) très faible de 0,369 (PNUD, 2011), la République Centrafricaine est l'un des pays pauvres subsahariens très endettés et confrontée au problème de la mal gouvernance. Une grande partie de son territoire est extrêmement difficile d'accès et l'insécurité persiste dans plusieurs de ses régions. Riche en ressources naturelles (forestières, minières et hydrologiques), la Centrafrique est de plus en plus touchée par l'impact du changement climatique, les dégâts de la déforestation et les effets néfastes de certaines pratiques agricoles (PANA-RCA, 2009).

L'Ouest de la Centrafrique est situé dans la zone du climat tropical entre les isohyètes 800 et 1800 mm et fait la transition entre le Sahel au Nord et l'Equateur au Sud. Durant près de trois décennies (1960-1988), cette partie du pays a joué un rôle stratégique sous-régional, car elle était considérée comme le grenier de l'Afrique Centrale (Boulvert, 1988) en ravitaillant ses voisins sahéliens en produits agricoles (céréales et fruits), forestiers et en produits d'élevage (lait et viande). Mais, aujourd'hui, le secteur agricole, jadis prépondérant, est soumis comme dans l'espace tropical, à l'évolution des paramètres climatiques notamment les précipitations et la température (Boulvert, 1988). On note la fréquence et la persistance des déficits pluviométriques (Franquin et *al.*, 1988 ; Bomba, 1999 et Yabi, 2002), le raccourcissement de la durée de la saison humide et des jachères (Doukpolo, 2007) et l'acuité des extrêmes climatiques (Issine Goana, 2008 et Nguimalet, 2010).

Dans la région d'étude, les objectifs poursuivis, par les populations et les acteurs ruraux sont l'augmentation de la production agricole afin d'assurer la sécurité alimentaire à travers la mise en œuvre effective d'une politique agricole durable. Cependant, le potentiel productif agricole ne fait que se dégrader considérablement, suite à la situation climatique défavorable et aux diverses mutations socio-environnementales. A cela s'ajoutent les capacités très limitées du système de défense des cultures.

En effet, le bouleversement des stades de croissance des plantes, la précarité des moyens de production, le stress pluviothermique, la prolifération des ennemis de cultures sont autant de phénomènes induits par les changements climatiques susceptibles d'entraver la productivité agricole et par la suite l'occupation des sols dans l'Ouest de la Centrafrique.

Quelques évolutions sont déjà perceptibles dans les calendriers agricoles à l'exemple du retard, du décalage ou du raccourcissement des dates de floraison du maïs, ou de stress hydrique pendant les stades critiques de la croissance ou de la maturation des graines. Cependant, l'hétérogénéité spatiale des fluctuations climatiques annoncées et la diversité des plantes cultivées rendent impossible tout pronostic à caractère général pour l'évaluation de la vulnérabilité et l'étude d'impacts climatiques dans la région d'étude.

La perturbation agroclimatique a eu d'énormes répercussions sur les pratiques culturales. Pour y remédier, les paysans ont développé des stratégies d'adaptation. Les types d'adaptation mis en œuvre sont sujets à des contraintes matérielles, financières et techniques et surtout d'accès à l'information. Les capacités d'adaptation paysannes nécessitent d'être renforcées par des ajustements publics planifiés et des initiatives privées. Parmi les pratiques d'adaptation relevées, la diversification des activités culturales, l'application des normes de gouvernance dans le cadre de la politique agricole, l'aide aux activités génératrices de revenus et aux moyens de subsistance sont les plus probants qui méritent d'être renforcés face aux stimuli climatiques.

Les paysans agricoles se sont de tout temps adaptés aux conditions météorologiques et climatiques. Toutefois, davantage de mesures devront être prises pour réduire les répercussions de l'évolution et de la variabilité du climat. A ce titre, l'adaptation aux variabilités climatiques constitue une option fondamentale pour renforcer les capacités de résilience du secteur de l'agriculture, ce qui nécessite une amélioration des systèmes de production et un renforcement des capacités adaptatives existantes (GIEC, 2007). C'est dans ce cadre que Boko (2009) et GIEC (2012) ont pensé qu'il est impérieux d'orienter les pistes de réflexion sur les contraintes imposées et les opportunités qu'offrent les changements climatiques dans l'économie et le social avec

une emphase sur l'adaptation des communautés paysannes. Des constats cités supra, il se dégage trois questions fondamentales de recherche :

- quels sont les indicateurs de la dynamique des climats dans l'Ouest de la Centrafrique ?
- quels sont les impacts actuels et potentiels des changements climatiques sur les productions agricoles dans la région d'étude ?
- quelles sont les mesures d'adaptation mises en œuvre pour réduire durablement les impacts agricoles des changements climatiques dans l'Ouest de la Centrafrique ?

Ce sont là autant de questions qui nécessitent des réponses et justifient la nécessité de réaliser la présente étude.

### 1.1.2. Situation et justification du choix de la région d'étude

Située au cœur du continent africain, la République Centrafricaine est un pays continental, à 1200 km de l'océan Atlantique, et à 1500 km de la Mer Rouge et de l'océan Indien. Avec une superficie de 209.635 Km², l'Ouest de la Centrafrique représente le 1/3 du territoire national et couvre les préfectures de l'Ombella-M'Poko, de la Lobaye, de la Sangha-Mbaéré, de la Mambéré Kadéï (au sud-ouest), de la Nana Mambéré, de l'Ouham et de l'Ouham-Pendé (au nord-ouest). Cet espace se situe entre 02° 16' et 08° 35' de latitude nord, et 14° 25' et 19° 00' de longitude est (Figure 1).

Une telle position géographique place l'Ouest du pays dans une zone écologiquement soudano-guinéenne, à cheval sur les écosystèmes forestiers au sud et sahéliens au nord. Cet espace jouit d'un climat subéquatorial dans la partie méridionale, couvert par la forêt équatoriale. Le climat devient plus sec et le nombre de jours des pluies s'amenuise au fur et à mesure que l'on progresse vers le Nord. Avec l'allongement de la durée de la saison sèche, la végétation se dégrade progressivement, passant d'une forêt caducifoliée en zone soudanienne à une savane sèche dans la région de Kabo en zone subsahélienne (Doukpolo, 2007).

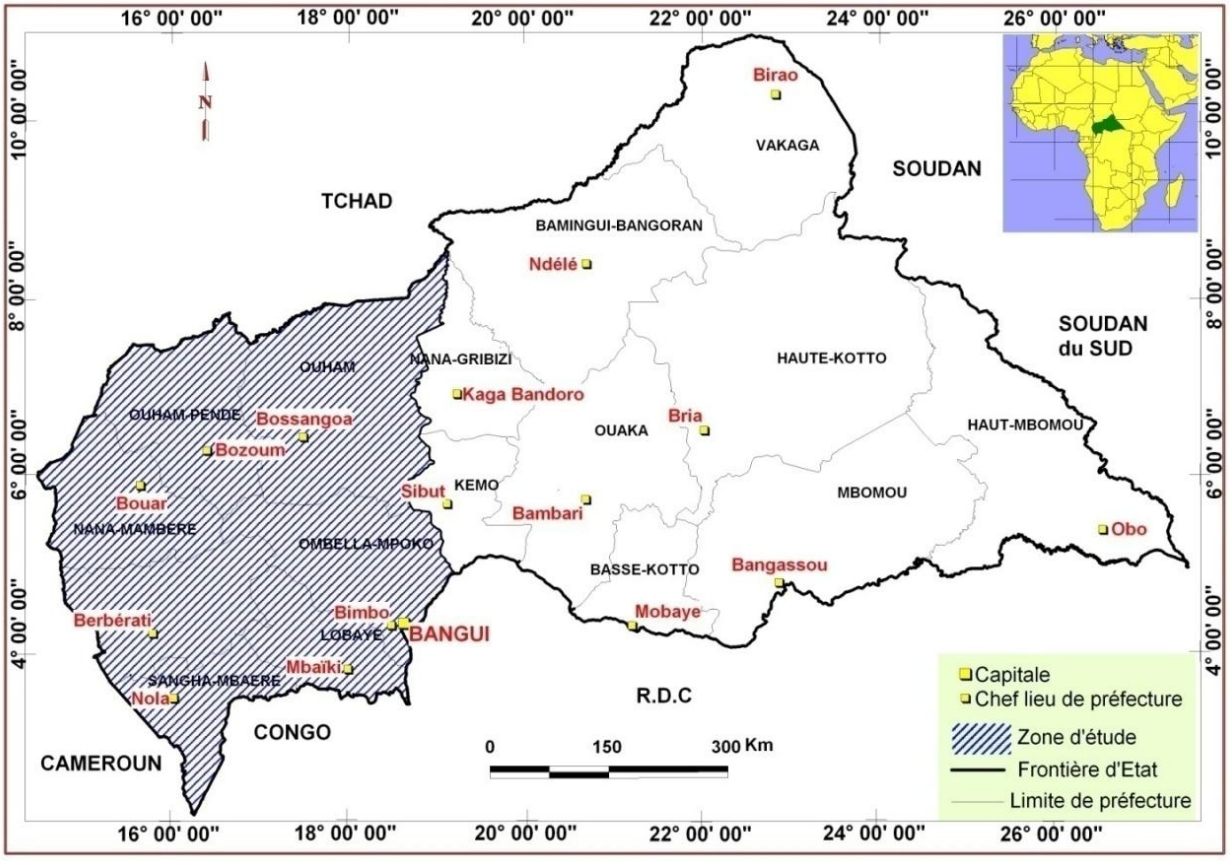



**Figure 1.** *Situation géographique de la région d'étude*

**Source** : LACCEG, 2011

Le choix de la région d'étude, qu'est l'Ouest de la Centrafrique, se justifie par le fait que les secteurs agroécologiques qui constituent de véritables bassins agricoles en mutation n'ont pas encore fait l'objet d'une étude approfondie sur la thématique de la vulnérabilité et de l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques en s'appuyant sur des modèles agroclimatiques d'analyse.

Un autre critère de choix est que la région d'étude a la densité démographique la plus élevée du pays, le potentiel agricole le plus prépondérant des secteurs économiques et les écosystèmes naturels sont très diversifiés, quand bien même soumis à une forte anthropisation. Cette croissance démographique accélérée, le poids des déterminants socio-économiques et les tendances du climat sont susceptibles de dégrader de façon irréversible les ressources naturelles et remettre en cause les politiques agricoles. Cette étude est fondée sur les objectifs et les hypothèses de recherche.

### 1.1.3. Hypothèses de travail

Les changements climatiques impactent les productions agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique. A cette hypothèse principale, s'énoncent trois hypothèses secondaires, notamment :

- les hausses des températures moyennes et les baisses des hauteurs de pluie enregistrées au cours des trois dernières décennies sont les indicateurs de la dynamique des climats dans l'Ouest de la Centrafrique ;
- les baisses répétées des rendements agricoles sont des impacts des changements climatiques sur l'agriculture dans la région d'étude ;
- l'adoption des variétés de cultures à cycle court, l'augmentation des emblavures, les associations de cultures sont stratégies développées par les agriculteurs de l'Ouest de la Centrafrique.

### 1.1.4. Objectifs de l'étude

L'objectif général de ce travail est de contribuer à l'étude des changements climatiques et de leurs impacts sur les rendements agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- identifier les indicateurs de la dynamique des climats dans la région d'étude ;
- analyser les impacts des changements climatiques actuels et futurs sur les rendements agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique ;
- évaluer les stratégies d'adaptation développées par les agriculteurs et celles élaborées par d'autres acteurs pour faire face aux impacts des changements climatiques sur la production agricole.

### 1.1.5. Revue de littérature

En Afrique tropicale, les populations rurales sont particulièrement concernées par les changements climatiques, dans la mesure où les performances de leurs systèmes de production sont étroitement tributaires du climat (Boko, 1988 ; Janicot et *al*. 2004). La pauvreté des populations ne leur permet pas d'accéder aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, semences, irrigation, etc.) et aux innovations culturales adéquates et performantes. Cette situation constitue un facteur aggravant des impacts

socio-économiques des changements du climat : les sécheresses des années 70 ont provoqué une famine dramatique et les inondations de la décennie 90 ont occasionné des pertes inestimables des rendements culturaux (FAO, 2007).

C'est dans ce contexte que d'importants travaux scientifiques ont attiré l'attention de la communauté scientifique sur les enjeux de la variabilité et des changements climatiques en Afrique tropicale (Mouton et Sillans, 1954 ; Pagney, 1973 et 1986 ; Boko, 1988 ; Hubert et *al*., 1989; Sircoulon, 1990 ; Houndenou, 1999 ; Afouda, 2001, Ndjendolé, 2001 ; Ogouwalé, 2006). Il se dégage des analyses et conclusions pertinentes que les perturbations climatiques d'ampleur spatiale considérable, en fréquence, en intensité et en durée ont fortement contribué à impacter les économies déjà fragiles, à occasionner des crises alimentaires aiguës et à freiner d'énormes efforts consentis pour l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement en Afrique.

De façon spécifique, des études réalisées en Afrique de l'Ouest ont prouvé l'évidence des changements climatiques et leurs impacts multisectoriels, notamment sur l'agriculture et la production alimentaire. Dans ce contexte, Ogouwalé (2004 et 2006) et Issa (2012) ont mis en exergue l'incidence des changements climatiques sur la sécurité alimentaire à travers des indicateurs et des scénarii dans le Bénin méridional et central. D'autres études réalisées au Sénégal (Seck et *al.* 2005) et au Niger (Salack et *al.*, 2006) ont montré que les rendements agricoles ont connu des déficits drastiques dus aux effets néfastes des changements climatiques actuels et les rendements estimés à l'horizon 2050 connaitront des baisses importantes.

Les études réalisées par Moron (1993) et Morel et *al.* (2008) montrent que les précipitations ont diminué de façon relativement brutale vers 1970. Cette baisse a également entraîné celle des productions agricoles qui en dépendent. Selon Sarr et Salack (2007), les rendements des cultures vivrières (mil, sorgho, maïs, etc.) ont baissé de plus de 60 % à cause des seules variations pluviométriques. Certaines années très déficitaires, comme 1972 au Sahel, ont connu des situations alimentaires catastrophiques. Des cultures d'exportation, qui étaient rentables avant 1970, ne le sont plus, car étant inadaptées à la nouvelle situation climatique. C'est le cas du palmier à

huile et de la tomate au Bénin méridional ou de l'arachide au Niger (Ogouwalé, 2006 et Niang, 2007).

Il ressort de la plupart des études (IFPRI, 1995 ; Hunt et *al*., 1998, Harrison et *al*., 2008) consacrées aux impacts négatifs des changements climatiques que ceux-ci ont entraîné un décalage des saisons qui est devenu un phénomène très fréquent dans l'espace tropical. En Centrafrique, en Côte d'ivoire et au Cameroun, la grande saison pluvieuse au lieu d'intervenir en début du mois de mars comme dans le passé arrive de plus en plus au mois de mai (Sultan et *al*., 2004 ; Brou, 2005 et Tsalefac et *al*., 2007). Le décalage des saisons entraîne des reprises de semis occasionnant la baisse de revenus et du pouvoir d'achat, l'exode rural, la famine (prolongation de la période de soudure, les migrations saisonnières des exploitants agricoles et les modifications des habitudes culturales).

Globalement, au cours de ces dernières années, les débuts et fins des saisons pluvieuses sont devenus de moins en moins prévisibles pour les paysans (Diop et *al*., 1996 ; Houndenou et *al*., 1998). Ceci rend aléatoire la planification agricole. Il en est de même pour la durée de la Période de Croissance des Cultures (PCC) qui caractérise la période favorable au développement et à la productivité des cultures. Une tendance à un raccourcissement de la PCC a été également observée depuis la fin des années 1960 corrélativement à l'aridification des régions soudano-sahéliennes (Diop et *al*., 2000). Selon Thornton et *al*., (2006), la PCC serait l'un des éléments les plus affectés par le changement climatique sur le plan agricole.

Les études menées par Thornton et son équipe prévoient des baisses de la PCC supérieures à 30 % dans les zones semi arides déjà précaires d'ici 2020. Certaines zones dont la PCC était satisfaisante pour permettre aux cultures de boucler leur cycle verraient la tendance s'inverser d'ici 2050. A cela, s'ajoutent les hausses de température prévues de 4 à 5 °C et les changements extrêmes des précipitations qui se combineront pour faire raccourcir la PCC et mettre davantage les cultures en conditions d'inconfort hydrique et thermique dans de nombreuses régions subtropicales d'Afrique.

Pour faire face aux impacts des changements climatiques et réduire la vulnérabilité des agrosystèmes, les populations ont toujours mis en valeur leurs savoirs endogènes (Sarr et *al*., 2007). Mais ces mesures endogènes, dans certains cas, ont montré leurs limites comme en témoigne la persistance de la situation de crises alimentaires que les pays sahéliens et subtropicaux ont connues au cours de ces dernières décennies.

Face à l'exacerbation des changements climatiques, la Centrafrique a pris des engagements internationaux à travers la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques ratifiée en 1994, consistant à faire une analyse exhaustive des risques et de la vulnérabilité des secteurs clés de son économie. Sur le plan de la gouvernance du climat, le pays a élaboré sa première « Communication Nationale Initiale » en 2003 et a également identifié des projets et actions prioritaires en matière d'adaptation aux changements climatiques (PANA-RCA, 2008). Aux prises à des conjonctures sociopolitiques multiformes, à des déficits accrus de rendement agricole et le paradoxe du slogan d'autosuffisance alimentaire, les agriculteurs sont démunis et manquent cruellement d'informations et de ressources nécessaires.

Les données climatologiques accessibles sont parcellaires et peu suggestives pour enclencher une mobilisation nationale en faveur de la lutte contre la vulnérabilité de l'agriculture par la mise en œuvre des stratégies d'adaptation durables. La plupart des indicateurs du changement climatique restent globaux et ne permettent pas de cerner la dynamique climatique et la vulnérabilité agricole à une échelle plus fine.

Or, il importe de fournir des informations chiffrées ou quantifiées à la population et aux décideurs sur les changements climatiques et proposer des mesures d'adaptation novatrices et durables. D'où l'intérêt de mener la présente étude, afin d'analyser les impacts agricoles des changements climatiques qui pourraient engendrer des situations agroalimentaires et socio-économiques difficiles au cours des prochaines décennies.

En dépit de toutes les initiatives internationales, associées aux actions régionales et sous régionales de réduction des impacts de changements climatiques dans le secteur agricole, il s'avère indispensable d'intégrer une approche locale afin de mieux appréhender de façon holistique la problématique des déficits des rendements culturaux dans l'Ouest de la Centrafrique.

### 1.1.6. Clarifications des concepts

La littérature scientifique propose une multitude de définitions opératoires relatives aux concepts des changements climatiques, des impacts agricoles et des stratégies d'adaptation. Dans ce travail, seront retenues les définitions préconisées par la CCNUCC (1992), la FAO (2007) ; le GIEC (2001 et 2007). Leur portée sera clarifiée afin de contextualiser la compréhension des idées développées :

- **Changements climatiques** : La Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC, 1992), dans son article premier, définit les changements climatiques comme « des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ». Cette distinction n'est pas reprise par la communauté scientifique (GIEC) qui définit les changements climatiques par l'effet conjoint de l'activité humaine et de la variabilité naturelle (GIEC, 2007). Dans le cadre de cette étude, les changements climatiques sont une modification statistiquement significative, sur plusieurs décennies, de l'état moyen du climat (précipitations, température, humidité relative, etc.) sous l'effet combiné persistant des activités humaines et des processus naturels de forçages interne et externe au système climatique lui-même (Encarta, 2009).
- **Variabilité climatique** : Un des éléments intégrateurs du changement global, l'expression « variabilité climatique » a été définie par plusieurs auteurs dont Boko (1988), cité par Beltrando (1995) et Brou (2005). Elle fait pressentir la mobilité ou la variation du schéma climatique moyen et d'autres statistiques (écarts standards, normales, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques. Dans ce travail, il s'agit de caractériser les cycles interannuels et les tendances du climat.

- **Tendances climatiques** : Au sens général, une tendance se traduit par l'évolution probable d'un phénomène au cours d'une longue période. Dans l'approche du climat, c'est une forme d'inconstance des paramètres climatiques caractérisés par une baisse ou une hausse régulière et unidirectionnelle des valeurs moyennes des variables. Selon le Guide des pratiques climatiques de l'OMM (2005), cette variation tend à se maintenir dans un sens déterminé pendant de nombreuses périodes, allant de quelques années à plusieurs décennies.
- **Types d'agriculture** : Dupriez (2007), cité par Issa (2012), a clarifié synthétiquement la terminologie des types d'agriculture suivants :
    - l*'agriculture de subsistance* est celle qui vise à satisfaire exclusivement les besoins familiaux ;
    - l'*agriculture de rente* ou *commerciale* est celle qui fournit les produits commerciaux sur les marchés ;
    - l'*agriculture d'exportation* est une *agriculture de rente* dont les produits sont vendus principalement à l'étranger ;
    - l'*agriculture traditionnelle* est celle qui se fonde sur les coutumes ancestrales et les pratiques endogènes ;
    - l'*agriculture moderne* est celle qui, dégagée des traditions agricoles, utilise toute une gamme de facteurs de production issus de la recherche scientifique, de l'industrie et du commerce ;
    - l'*agriculture pluviale* est l'ensemble des pratiques agricoles nécessitant des précipitations. Ses performances dépendent en grande partie de la régularité et de la bonne répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace.
    - l'*agriculture de décrue* est particulièrement pratiquée dans les bassins versants, des vallées alluvionnaires, les bas fonds, le long des berges.
- **Agriculture vivrière ou de subsistance :** Elle est destinée à l'alimentation et aussi à la vente (caractère commercial). C'est une organisation de modes de vie et de production caractérisée par les liens étroits existant entre les activités sociales et économiques, les structures de la famille et les conditions locales (terroirs, groupes d'appartenance). La mobilisation du travail domestique y est centrale avec les mécanismes importants d'entraide propres aux sociétés communautaires, même s'ils se restreignent (Mémento de l'agronome, 2002).

- **Système de culture** : Le concept se rapporte à la manière dont les agriculteurs gèrent leurs parcelles dans la durée, en observant certaines règles implicites ou explicites ; chaque système de culture se caractérise par la nature des cultures et leur ordre de succession, et les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, y compris le choix des variétés et de bien d'autres pratiques (Mémento de l'agronome, 2002). Le système de culture peut donc être défini dans le présent document comme, « l'ensemble des techniques de combinaison des espèces cultivées, tenant compte des conditions climatiques et édaphiques, en vue d'obtenir le maximum de rendement possible avec un optimum d'intrants ». L'ensemble des systèmes de culture d'un terroir, d'une localité ou d'une civilisation agraire constitue son agrosystème. Il existe ainsi deux systèmes culturaux de base : la polyculture et la monoculture.

  Dans le cadre de cette étude, la pratique de la polyculture est dominante. Celle-ci existant sous diverses formes (cultures multiples, cultures associées, cultures en assolement, cultures étagées, etc.), est le système de base de l'agriculture traditionnelle familiale de subsistance notamment en Afrique subsaharienne dépendante de la demande (habitude alimentaire, besoins d'échanges) et des facteurs physiques (climat, sol et topographie) ; la polyculture est toujours une association d'une culture principale avec une ou des cultures complémentaires de façon concomitante ou dans une séquence pluriannuelle.

- **Techniques culturales :** Les techniques culturales désignent les principes des interventions sur le sol et son environnement permettant la mise en place d'une culture afin d'accroître la production, d'améliorer la qualité des produits et d'en faciliter la récolte (Mémento de l'agronome, 2002).

- **Système de production agricole :** Un système de production agricole est la représentation qui s'approche de la réalité sur la manière de penser et de décider des agriculteurs (FAO, 1997). Les systèmes de production font face à un enjeu majeur et intègrent la notion de durabilité des systèmes d'exploitation, pour le bien des générations futures. Si on considère l'agriculture comme un système, cela implique l'intégration des dimensions biologiques, physiques, ainsi que les aspects socio-

économiques au niveau de l'exploitation agricole. Deux grands types de critères généraux ont été utilisés : d'une part, les bases de ressources naturelles disponibles, le climat, la typographie, la taille des exploitations et le régime foncier ; d'autre part, les modes de subsistance des ménages, les technologies, la gestion, l'organisation des exploitations (le foncier) et la préservation de la qualité de l'environnement.

- **Impact** : L'impact est défini comme, « toute modification quantitative, qualitative et fonctionnelle, positive ou négative, subie par tout ou partie d'un système (cible) à la suite d'un choc ou stress externe (d'origine anthropique, artificielle ou naturelle), et dont la magnitude dépend de la valeur et de la vulnérabilité du système cible » (GIEC, 2001). Littéralement, l'impact correspond souvent aux effets négatifs et aux dommages induits.

  Selon Issa (2012), l'impact amène la cible à un état futur différent de ce qu'il aurait été dans sa tendance d'évolution « normale » (état de référence). Dans le contexte de cette étude, les variables bioclimatiques futures constituent « le choc ou stress externe» et les agrosystèmes représentent « le système cible ». L'impact potentiel est l'un des éléments de la vulnérabilité.
- **Vulnérabilité** : La vulnérabilité exprime le niveau auquel un système naturel ou humain peut être affecté puis dégradé ou endommagé par les impacts de la variabilité et des changements climatiques y compris les évènements extrêmes. Elle dépend aussi bien des facteurs physiques que socio-économiques. Elle exprime en d'autres termes « le degré auquel un système naturel ou humain est sensible et incapable de faire face aux effets néfastes des changements climatiques » (GIEC, 2001). Dans le contexte de cette étude, la **vulnérabilité agricole** désigne l'influence ou les effets directs ou indirects d'un climat modifié sur la physiologie des cultures, l'environnement cultural, les rendements ainsi que sur la magnitude de leur auto-ajustement. Les impacts des effets directs ou indirects du climat modifié sont estimés à partir d'une analyse systémique en partant des relations entre l'évolution du climat et les rendements agricoles. L'**évaluation de vulnérabilité** analyse donc, l'écart qui existe entre les impacts des changements climatiques et l'adaptation à ces impacts.

- **Stratégies d'adaptation** : L'adaptation est définie comme « l'ajustement dans les systèmes naturels ou humains en réponse à des changements climatiques actuels ou attendus, ou à leurs effets, qui atténue les dommages ou en valorise les bénéfices » (FAO, 2007). On peut distinguer divers types d'adaptation à savoir l'adaptation anticipative ou réactionnelle, l'adaptation privée et publique, l'adaptation autonome et l'adaptation planifiée. Elle peut se faire naturellement ou par une réaction spontanée (par exemple face à une catastrophe climatique) ou être anticipée dans le cadre d'une planification. Dans tous les cas, elle permet de réduire la vulnérabilité aux changements climatiques du secteur agricole.

### 1.1.7. Contraintes et limites de l'étude

Les enregistrements météorologiques, à tous les pas de temps, dans l'Ouest de la Centrafrique comme sur l'ensemble du territoire sont discontinus en qualité et en longueur de séries. Cette insuffisance rend difficile l'atteinte des résultats escomptés notamment l'étude d'impact des changements climatiques et l'évaluation de la vulnérabilité des cultures. Bien qu'il puisse être possible d'établir une évaluation basée sur les sorties des modèles climatiques globaux (par réduction d'échelle), cette démarche présente des limites inhérentes aux capacités imparfaites de tous les modèles climatiques à simuler des détails régionaux et temporels de manière bien précise.

Les travaux scientifiques récents, conduits par « African Centre of Meteorological Applications for Development », ont montré les limites des MCG dans leur capacité à retranscrire le climat de l'Afrique de l'Ouest et du Centre notamment, les périodes simulées de démarrage de la saison des pluies apparaissent un à deux mois avant les dates observées.

Le couplage des modèles présente un certain nombre de difficultés notamment dans la différence d'échelle entre la maille du modèle de circulation générale et l'échelle fine du modèle agronomique. En effet, l'agrégation des phénomènes pluvieux sur une maille carrée de 2 à 5° ne permet pas de simuler correctement la dynamique de la biomasse et la réponse du rendement aux fluctuations climatiques.

Même si aujourd'hui le transfert d'échelle (*downscaling*) constitue un palliatif, cette approche nécessite un background scientifique et la maîtrise des outils techniques appropriés : identification d'événements pluvieux pertinents ayant un impact sur l'échelle locale comme les dates de démarrage des pluies, l'occurrence de séquences sèches en relation avec les attentes et l'utilisation des méthodes géostatiques de désagrégations spatiales et temporelles des séries pluviométriques et thermométriques.

Les méthodes de réduction d'échelle empirique/statistique, qui établissent des relations statistiques entre les sorties des modèles climatiques mondiaux et les observations climatiques aux stations (échelle locale), offrent un moyen de calcul efficace pour obtenir des renseignements concernant des scénarios climatiques futurs afin d'aider à la décision et à la planification (Barrow et *al.*, 2004).

Depuis la mise en œuvre de la réduction d'échelle empirique une vaste gamme de méthodes a été élaborée à des fins de réduction d'échelle en matière de climat. Cependant, quelle que soit la méthode, l'hypothèse essentielle qui stipule qu'il y a une différence statistique entre le climat à grande échelle et le climat à l'échelle locale demeure valide dans les conditions climatiques futures (Beniston, 2012).

A cet effet, les sorties des modèles climatiques utilisées dans le cadre de cette étude sont les résultats de la réduction d'échelle empirique basée sur la méthode d'auto organisation (SOMD) développée par l'Université de Cape Town en Afrique du Sud et mise à contribution dans les expérimentations du programme international d'intercomparaison des modèles climatiques régionaux (CORDEX).

C'est un procédé qui permet d'améliorer les techniques statistiques et dynamiques de production des informations climatiques localisées en effectuant des simulations du climat rétrospectif pour les dernières décennies. Ce qui permet de prendre les données climatologiques dont on dispose pour le passé et de simuler l'évolution du climat jusqu'aujourd'hui. On compare ensuite les données avec la véritable évolution du climat, « afin d'établir la fiabilité» du simulateur plus proche des situations synoptiques à haute définition.

## 1.2. Données et méthodes

### 1.2.1. Recherche documentaire et typologie des données

La méthode de collecte de données a consisté à rechercher des documents scientifiques généraux et spécifiques, des documents cartographiques, des données statistiques dans divers centres de documentation des Services publics ministériels, des Agences et Instituts nationaux et internationaux, des Universités et Centres de Recherche.

Les données quantitatives et qualitatives collectées sont de types climatologiques, agrophénologiques, agroécologiques, agroéconomiques et socio-anthropologiques.

### 1.2.2. Types, nature et sources des données climatologiques

Trois (3) groupes de données climatologiques ont été retenus. Il s'agit des données d'observation, de simulation et de projection.

#### 1.2.2.1. Données d'observation

Le tableau I présente les stations météorologiques nationales et étrangères retenues et classées, dans le cadre de cette étude, suivant leur position latitudinale (sud-nord).

**Tableau I.** Stations météorologiques nationales et du Cameroun retenues

| | Nom des stations | Type de stations | Latitude Nord | Longitude Est | Altitude en (m) | Période |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Stations météorologiques nationales dans la zone d'étude* | | | | | | |
| 1. | **Nola** | Pluviométrique | 03° 31' | 16° 04' | 313 | 1951-2010 |
| 2. | **Boukoko** | Pluviométrique | 04° 10' | 17° 59' | 388 | 1951-2010 |
| 3. | **Berberati** | Synoptique | 04° 13' | 15° 47' | 583 | 1951-2010 |
| 4. | **Bossembélé** | Synoptique | 05° 16' | 17° 38' | 675 | 1951-2010 |
| 5. | **Yaloké** | Pluviométrique | 05° 29' | 17° 05' | 748 | 1951-2010 |
| 6. | **Bouar** | Synoptique | 05° 56' | 15° 35' | 936 | 1951-2010 |
| 7. | **Bozoum** | Pluviométrique | 06° 19' | 16° 22' | 458 | 1951-2010 |
| 8. | **Bossangoa** | Synoptique | 06° 29' | 17° 26' | 465 | 1951-2010 |
| 9. | **Bouca** | Pluviométrique | 06° 32' | 18° 16' | 458 | 1951-2010 |
| 10. | **Carnot** | Pluviométrique | 06° 33' | 16° 27' | 647 | 1951-2010 |
| 11. | **Batangafo** | Pluviométrique | 07° 18' | 18° 17' | 431 | 1951-2010 |
| *Stations météorologiques nationales complémentaires* | | | | | | |
| 12. | **Bangui** | Synoptique | 04° 22' | 18° 30' | 365 | 1951-2010 |
| 13. | **Bambari** | Synoptique | 05°51' | 20° 39' | 474 | 1951-2010 |
| 14. | **Ndélé** | Synoptique | 08°24' | 20° 39' | 510 | 1951-2010 |
| *Stations météorologiques du Cameroun (Sud-Est)* | | | | | | |
| 15. | **Yokadouma** | Synoptique | 03° 51' | 15° 06' | 640 | 1951-2010 |
| 16. | **Méiganga** | Synoptique | 06° 32' | 14° 17' | 727 | 1951-2010 |

**Sources** : ASECNA-RCA (2011), DMN-RCA (2011), complétées et corrigées.

Les données climatologiques observées prises en compte sont : les précipitations, les températures de l'air (minima, moyennes et maxima), l'évapotranspiration potentielle, l'insolation et l'humidité relative de 1951 à 2010, soit 60 ans. Ces données ont été retenues aux pas de temps journalier, mensuel, saisonnier et annuel. Elles sont issues de quatorze (14) stations météorologiques nationales dont sept (7) synoptiques et sept (7) pluviométriques. Deux (2) stations météorologiques (synoptiques) étrangères ayant les isohyètes communes ont été retenues dans le Sud-Est du Cameroun. Les données climatologiques observées ont été fournies par le réseau d'observations météorologiques de l'ASECNA (RCA), puis complétées par les statistiques des Services météorologique et climatologique de la DMN (RCA), les bases de données de l'IRD et du CRC (Dijon-France). Les données climatologiques du Cameroun ont été complétées grâce à la collaboration scientifique du Centre « Energie et Environnement » de l'Université de Delaware (Etats-Unis). Pour cette étude, deux normales (1951-1980 et 1981-2010) sont considérées dans l'analyse de la variabilité climatique. Dans le contexte des changements climatiques futurs, l'analyse des observations et des simulations est basée sur la période de référence 1971-2000 des huit (8) stations synoptiques.

#### 1.2.2.2. Données de simulation

Les types de données simulées concernent les précipitations, les températures de l'air (minima et maxima) aux pas de temps journalier, mensuel et annuel, sur des séries chronologiques de 1971 à 2000. Elles proviennent des archives CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 3 Multi-Model Dataset*) du WCRP (*World Climate Research Programme*), du CSAG (*Climate System Analysis Global*) et du PCMDI (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*) sous l'autorité scientifique de l'OMM (2001) et du GIEC (AR4, 2007).

#### 1.2.2.3. Données de projection et de validation

Les données de projection sont les sorties de plusieurs modèles climatiques globaux, désagrégées à l'aide de la réduction d'échelle empirique (SOMD). Ces données sont issues des archives CMIP3 disponibles sur le serveur du CSAG. Les types de données projetées sont les précipitations, les températures de l'air (minima et maxima) aux pas de temps journalier, mensuel et annuel, aux horizons temporels futurs proches (2021-

2050) et lointains (2071-2100), avec deux scénarios SRES nettement opposés (A2 et B1) basés sur les observations de 1971-2000 (période de référence).

Pour évaluer et valider les performances de l'approche multimodèle utilisée dans la région d'étude, plusieurs données de simulations climatiques ont été analysées. Les résultats ont été comparés aux observations et aux résultats des analyses pour les principaux éléments qui contrôlent le climat de l'Afrique tropicale (Kamga et Buscarlet, 2006).

La première source des données climatologiques est celle du *Climate Research Unit* (CRU) à la résolution 1° x 1°. Ces données ont été construites à partir des observations d'un réseau relativement dense de stations météorologiques en Afrique tropicale pour la période 1971-2000. Dans l'Ouest de la Centrafrique, les données mensuelles de température et de précipitations ont été utilisées.

La deuxième source provient des réanalyses du *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) à la résolution d'environ 180 km (1,5° x 1,5°). Cet ensemble de données, issu d'une réanalyse de toutes les données d'observation disponibles (stations, bouées, radiosondes, observations aériennes…) à l'aide d'un système très performant d'assimilation, couvre la période 1957-2000 (Kalnay et *al*., 1996 ; Kristler et *al*., 2001).

La troisième source provient des réanalyses ERA Interim du *Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme* (CEPMMT). Ces données sont construites selon une méthode analogue à celle du NCEP et couvrent la période 1958-2010 à la résolution de 200 km (2° x 2°).

#### 1.2.2.4. Appartenance géographique des stations météorologiques

L'analyse en composantes principales des précipitations annuelles a permis de mettre en évidence les modes dominants de variabilité et les matrices de corrélation. L'appartenance géographique des stations apparaît comme un facteur de leur dispersion dans le champ des trois premières composantes principales. Le mode dominant de variabilité consiste donc à délimiter la région d'étude en quatre zones bioclimatiques ayant chacune quatre stations météorologiques (Figure 2).

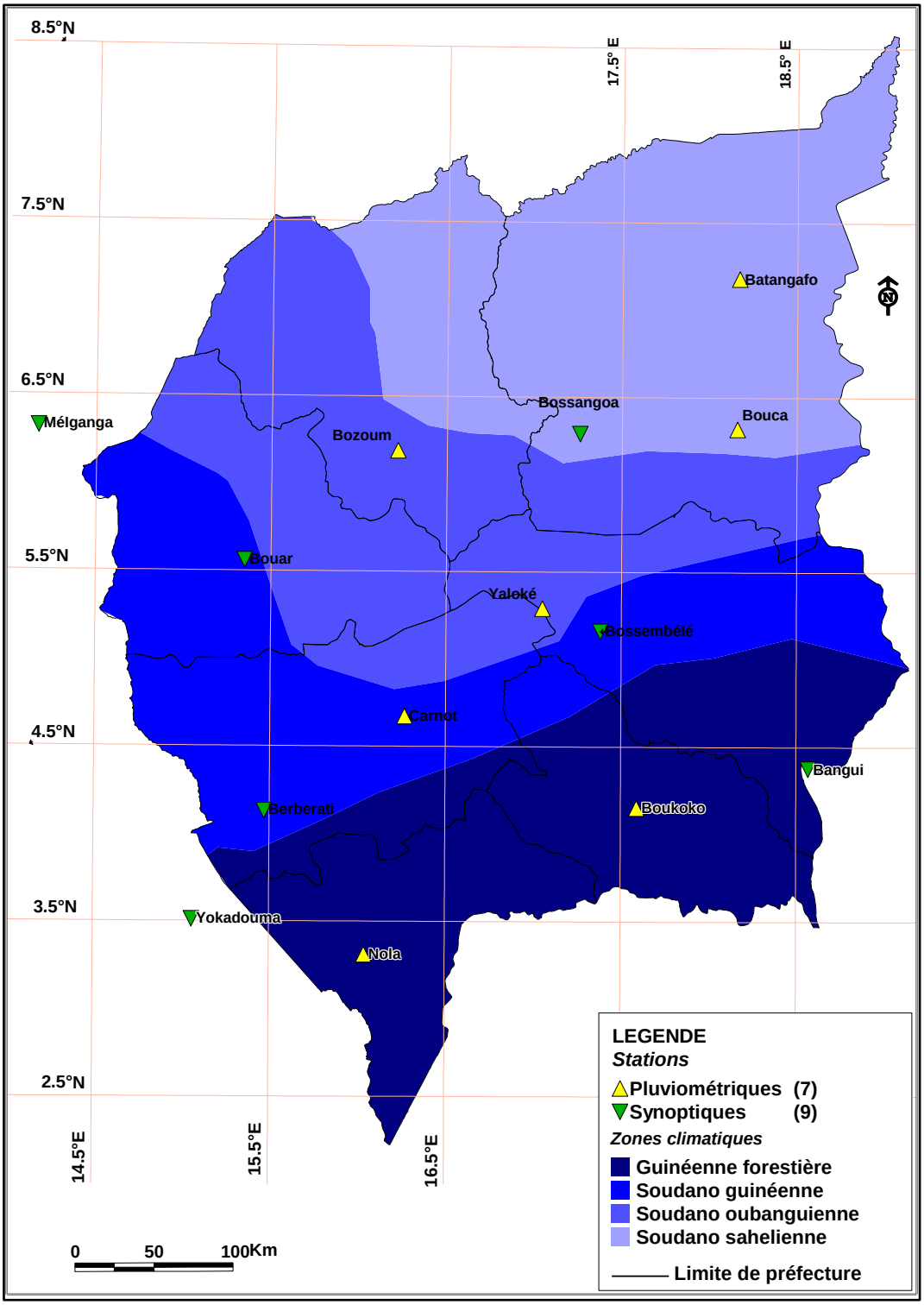



**Figure 2.** *Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude*

**Source** : LACCEG, 2011

### 1.2.2.5. Critiques et contrôle de qualité des données climatologiques

Les études sur la variabilité climatique à long terme doivent s'appuyer sur des séries exemptes de données manquantes et d'hétérogénéité (Bigot, 2002). Cette affirmation constitue le fondement de la crédibilité de toute analyse sur les changements

climatiques (Cantat, 2004). Comme il n'existe pas de série de données parfaitement fiables et continues, une part d'incertitude demeurera toujours dans la quantification des évolutions climatiques qu'il faut chercher à minimiser grâce aux outils statistiques capables de combler les lacunes d'observations et de vérifier la fiabilité des données. La validation statistique des séries temporelles est donc le préalable fondamental pour établir une recherche objective à partir des bases de données climatiques fournies par divers organismes.

Les données climatologiques ont été mises au format de traitement et d'archivage dans *ClimSoft* par un système de gestion de base de données pouvant être mis à jour et utilisable facilement dans d'autres outils d'application ainsi que le contrôle de qualité des données est effectué à l'aide de *RClimDex* pour la fiabilité des données et les tests d'homogénéité. Il en résulte que les séries chronologiques ne sont pas dans l'ensemble assez homogènes mais représentatives de la région d'étude. Quelques artefacts ont affecté certaines mesures et observations. Ces lacunes relevées (< 5 %) sont corrigées par la méthode des moindres carrés (Le Barbé et *al*., 2002). Les marges d'incertitude, résultant de la nature des instruments et du contexte des relevés, sont très variables, voire inconnues, pour une même grandeur géophysique, susceptibles d'entacher la fiabilité des données.

Les compilations et le mélange éclectique des données sous leur forme brute ont été retraités par des modèles statistiques ou dynamiques. Il ne fait aucun doute que certaines mesures sont entachées d'irrégularité et les outputs lacunaires et imprécis. Avant toute analyse, il a été question d'extraire les artefacts ainsi que les mesures lacunaires, de vérifier leur cohérence et de s'assurer de leur fiabilité. C'est ainsi que des séries de mesures ont été compactées, réalisées de façon homogène et comparable en des points constituant un maillage géographique pour une analyse pertinente. Mais, il est très rare que soient vérifiées et optimisées toutes ces conditions.

Selon Goulée (1964) et Polcher et *al*.(2004), les premiers relevés climatologiques ont débuté dans l'Ouest de la Centrafrique au milieu des années 1930. Les données sont régulières, homogènes (stations synoptiques) et lacunaires (stations pluviométriques). L'extension et la densité spatio-temporelles sont insuffisantes pour décrire fidèlement

et expliquer les phénomènes climatiques de la région étudiée. Les données des postes pluviométriques n'ont pas été prises en compte à cause de plusieurs lacunes et artéfacts dus aux erreurs d'observation et conflits armés. Les marges d'incertitude scientifiquement admises dans les relevés climatiques sont de deux ordres : erreur de sous-estimation ou de surestimation et de non-homogénéités.

- La première peut provenir de plusieurs paramètres (vent, suintement, évaporation et éclaboussement). Elle varie de 1,7 % à 4,7 %, valeurs faibles (< à 5 %) à minimiser sous les tropiques (Leroux, 1983 ; Suchel, 1987 et Bakam, 1996).
- La seconde peut être due aux changements dans l'instrumentation, la méthode de relevé et de l'environnement des positions des stations ; c'est le cas de la station de Bouar située dans les escarpements rocheux de la ville avant d'être déplacée et installée sur l'aérodrome dans une zone de plateau. Cette discontinuité varie entre 2 et 3 %. Ce qui ne peut avoir d'incidence majeure sur l'analyse des résultats (Motha et *al*. 1980 ; Sultan et *al*., 2004).

### 1.2.3. Données agronomiques et phénologiques

Les données agronomiques et phénologiques ont été fournies par les Services statistiques et techniques du Ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR). Elles ont été complétées par les statistiques de la FAO (2012) et la base de données agropédologiques de l'Institut Centrafricain de Recherche Agronomique (ICRA, 2011). Ces données sont constituées essentiellement :

- des statistiques de base de la production agricole (superficies emblavées et rendements) ;
- des indices et coefficients culturaux : *indices de sol et de récolte, besoin en eau…*
- des indices pour la simulation des rendements futurs ;
- des informations sur les pratiques culturales (date, densité de semis, variété, jour, quantité de fertilisants et quantité de matière sèche) ;
- des informations sur les bassins de production et les itinéraires techniques ;
- des caractéristiques édaphiques et phénologiques des cultures.

Les exigences bioclimatiques et pédologiques et les données sur les caractéristiques agrophénologiques (Tableau II) servent à caler, à valider le modèle de culture et à simuler les rendements moyens. Les critères qui ont guidé le choix de ces cultures sont entre autres :

- l'importance dans les habitudes culturales et alimentaires ;
- les sources de revenus ;
- la sensibilité aux stress bioclimatiques ;
- la disponibilité et la fiabilité des statistiques agricoles.

**Tableau II.** Exigences climatiques et pédologiques et caractéristiques phénologiques des cultures dans la région d'étude

| Noms des cultures | Besoin en eau des plantes | Facteurs pédologiques | Stades phénologiques |
|---|---|---|---|
| **Arachide (*Arachis hypogaea*)** | 500 à 1000 mm d'eau<br>Le besoin en eau augmente selon la longueur du cycle et la variété : 400 mm (cycle court 90 jrs) 600 mm (cycle moyen 105 jrs) et 900 mm (cycle long 120 jrs. | Sol bien drainé, meuble à texture moyenne et friable de préférence sablonneux, silico-argileux ou silico-calcaire. | 1/2. Semis/Levée<br>3. Formation des feuilles<br>4. Ramification<br>5. Floraison<br>6. Gynophorisation<br>7. Maturation<br>8. Maturation complète |
| **Igname (*Dioscorea Cayenensis*)** | Exigeante pendant les 5 premiers mois du cycle<br>Précipitation moyenne supérieure à 1500 mm dont 400 mm entre les 14$^{ème}$ et 20$^{ème}$ semaines. | Sol riche en potasse et dont le pH est de 6 à 7, et profondément ameubli pour le développement du système racinaire et des tubercules. | 1. Plantation<br>2. Levée<br>3. Pousse<br>4. Tubérisation<br>5. Maturation<br>6. Maturité |
| **Manioc (*Manihot utilissima/ Manihot esculenta*)** | Entre 1000 et 1500 mm d'eau, on a un rendement optimum. Au-dessus de 2000 mm, les racines pourrissent. | Le manioc préfère un sol léger, meuble, profond, à pH de 6. Il est capable de tirer parti des sols divers. | 1. Plantation<br>2. Reprise des boutures<br>3. Développement des tiges<br>4. Tubérisation<br>5. Phase de repos |
| **Maïs (*Zea mays*)** | Le maïs est exigeant en eau. La période la plus critique s'étend sur les 15 jours qui précèdent et les 15 jours qui suivent l'apparition des inflorescences mâles. Pour une production maximale, il faut 500 à 800 mm d'eau. | Sensible aux variations de la fertilité des sols. Elle préfère les sols riches en matière organique et dotés de bonne qualité physique (texture). | 1/2. Semis/Levée<br>3/4/5/6/7/8 Feuilles déployées<br>9. Apparition - panicule mâle<br>10. Floraison - panicule mâle<br>11. Epiaison<br>12. Maturation laiteuse<br>13. Maturation cireuse<br>14. Maturité |
| **Mil (*Pennisetum glaucum*)** | Le mil est une plante qui se développe en zones tropicales semi-arides avec une pluviométrie moyenne variant entre 200 et 800mm. | Sols légers et sablo-argileux bien drainés avec des Ph faibles. Il tolère la sécheresse et un faible niveau de fertilité des sols avec des T°C élevées. | 1/2. Semis/Levée<br>3. Formation des feuilles<br>4. Formation des panicules<br>5. Epiaison/ Floraison<br>7. Maturation laiteuse/cireuse<br>8. Maturité |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Riz (*Oryzea sativa*)** | La culture du riz a besoin d'un minimum d'eau élevé, qui varie avec les facteurs édaphiques, les pratiques culturales et les conditions climatiques de 1000 mm. | Le riz admet des sols de pH compris entre 4,5 et 8 avec pour pH optimal : 5,5 à 6. La plasticité édaphique de la culture justifie ses variétés. | 1/2. Semis/Levée<br>3/4/5. $3^e$/$4^e$ feuilles, taillage<br>6/7. Floraison/Epiaison<br>8. Maturation pâteuse<br>9. Maturité |
| **Sésame (*Sesamum indicum*)** | Le sésame est une plante résistante à la sècheresse. Ses besoins en eau se situent entre 400 et 800 mm. | Le sésame pousse bien dans les sols riches, légers, profonds, peu sableux et moins argileux. T° < à 40°C ; pH : 5,5-8. | 1/2. Semis/Levée<br>3. Formation des feuilles<br>4. Floraison<br>5. Maturation<br>6. Maturité |
| **Sorgho (*Sorghum sativa Sorghum bicolor*)** | Le sorgho est une plante résistante à la sècheresse. Il devient sensible au manque d'eau, pendant l'épiaison. Ses besoins en eau se situent entre 450 et 650 mm d'eau. | Le sorgho pousse mieux sur les sols de texture légère à moyenne, bien aérés et drainés. | 1/2. Semis/Levée<br>3. Formation des feuilles<br>4. Formation des panicules<br>5/6. Epiaison/Floraison<br>7/8. Maturation (lait/cire)<br>19. Maturité |

**Source** : Synthèse bibliographique et enquêtes de terrain, 2011

### 1.2.4. Données agroéconomiques et socio-anthropologiques

Les données agroéconomiques sont constituées essentiellement des informations sur les prix d'achat et le mode d'approvisionnement en semences, des informations sur la vente des produits agricoles et également sur les stratégies post récoltes, notamment, la transformation, la consommation et la conservation des vivriers.

Les données socio-anthropologiques sont de type qualitatif. Elles ont permis d'appréhender les perceptions des populations agricoles face à la dynamique du climat et de cerner les mesures adaptatives qu'elles développent.

### 1.2.5. Techniques et outils de collecte des données

#### 1.2.5.1. Détermination de la taille optimale de l'échantillon

La détermination de la taille de l'échantillon est une étape importante avant toute enquête, car elle permet de fixer la précision de l'analyse. La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de Schwartz (1995) qui s'écrit : $n = \frac{t^2 xp(1-p)}{e^2}$ Où :

- $n$ = taille de l'échantillon ;
- $t$ = niveau de confiance déduit du taux de confiance (traditionnellement 1,96 pour un taux de confiance de 95 %) - loi normale centrée réduite ;
- $p$ = proportion estimative de la population présentant la caractéristique étudiée dans l'étude, soit mathématiquement exprimée : p = n/N.

- Dans cette étude, p = proportion des populations agricoles (n = 984686) par rapport au nombre de communautés rurales dans l'Ouest de la Centrafrique (N = 1466,152) soit 76 %
- *e* = marge d'erreur (traditionnellement fixée à 5 %).

Mille cinq cents (1500) personnes du secteur rural ont été interrogées. Dans le processus d'enquête, c'est la technique du choix raisonné qui a été privilégiée pour l'identification des personnes ressources ciblées cultivatrices et représentant 60 % des enquêtées. Celles-ci doivent avoir au moins 50 ans avec une expérience d'au moins 38 ans dans le domaine agricole. Cet âge a été choisi non pas, parce que ces personnes sont encore actives mais plutôt du fait qu'à 12 ans, un individu est capable de mémoriser certains faits marqueurs de l'évolution du paysage naturel et donc capable de les révéler avec pertinence.

#### 1.2.5.2. Méthodes d'enquêtes socio-anthropologiques

La Méthode Active de Recherche Participative (MARP) est la technique utilisée pour collecter les informations relatives au problème de vulnérabilité agricole et pour appréhender les perceptions et les connaissances paysannes. C'est un processus continu d'apprentissage pour une meilleure connaissance des conditions de vie et des problèmes des populations. La MARP part de l'hypothèse que les populations ont élaboré des savoirs locaux au fil du temps et qu'il faut nécessairement les respecter pour mener des enquêtes, grâce aux matrices d'évaluation, à identifier les indicateurs des risques climatiques.

A cette technique d'investigations socio-anthropologiques, s'ajoutent le diagnostic rapide ou le Rapide Rural Appraisal (RRA), et l'Apprentissage et Action participatifs (AAP). Processus d'apprentissage intensif, itératif et rapide, le RRA et l'AAP ont été retenus pour connaître les conditions d'existence des populations dans la région étudiée. Ces techniques ont consisté à effectuer des visites exploratoires en milieu paysan.

La Méthode des Itinéraires (MI) a permis d'identifier les acteurs ruraux, paysans et personnes ressources communautaires, ayant une bonne connaissance des faits climatiques et qui en détiennent la mémoire à travers les canaux informationnels

traditionnels. Cette technique a également été utilisée pour identifier les faits porteurs et les tendances lourdes en rapport avec les activités agricoles d'une part, et pour collecter des informations relatives aux perceptions et connaissances paysannes sur l'évolution du climat d'autre part. Elle part de l'hypothèse que les populations ont au fil du temps acquis des connaissances en fonction de leur perception de la dynamique du climat (Ogouwalé, 2006). Par ailleurs, les prises de vue instantanées grâce à un appareil de photographie numérique et un caméscope rapportent quelques faits évocateurs des agrosystèmes et de leurs mutations.

#### 1.2.5.3. Outils de traitement et d'analyse des données

- Les données collectées par questionnaire et guide d'entretien ont été traitées à l'aide du logiciel SPSS afin d'extraire et de capitaliser les informations sous forme numérique facilement utilisables.
- XLSTAT est le programme avancé du tableur Excel d'analyse et de simulation des données : statistiques descriptives des séries temporelles, moyennes, écart-types, indices, tendances, analyses de variances, régressions simples et multiples, coefficients de corrélation, etc.
- INSTAT+ est un logiciel d'analyse statistique de données agroclimatologiques et un modèle de simulation agrométéorologique (Stern et *al.*, 2006 ; Sarr, 2006). Dans cette étude, INSTAT a été utilisé pour : (*i*) faire des analyses agroclimatiques, notamment des analyses des facteurs clés de la saison agricole (date de début de la saison des pluies, date de fin de la saison des pluies, distribution des séquences sèches, longueur de la saison,…) ; (*ii*) analyser les risques d'avoir une séquence sèche de plus de 7 ou de 10 jours dans les 30 jours qui suivent le semis ou la chance d'apparition d'événement pluvieux et (*iii*) faire le bilan hydrique selon la méthode de Franquin (1969).
- RClimDex est un outil de détection des changements climatiques à l'échelle locale (Caesar et al, 2010). Il a permis dans cette étude : (*i*) d'effectuer le contrôle de la qualité des données ; (*ii*) de calculer les indices de changements climatiques ; (*iii*) de faire l'analyse des extrêmes climatiques et de leurs occurrences : pluies extrêmes, températures extrêmes maximales et minimales, seuil de température dommageable aux cultures (Le Borgne, 1990).

- MapInfo a été utilisé pour réaliser les cartes thématiques. Cette application a été pourvue en données primaires générées par les observations directes sur le terrain et au géoréférencement des éléments du paysage, des localités, de l'agroécologie, de bassins de production agricole, etc. à l'aide du système portatif de positionnement global (GPS).

### 1.3. Méthodes d'analyse de la variabilité et des changements climatiques

Dans cette étude, la démarche d'analyse de la vulnérabilité des cultures a consisté à :

*i.* corriger les artéfacts et combler les données manquantes ;

*ii.* déterminer les paramètres de base et les statistiques descriptives ;

*iii.* détecter les ruptures et déterminer les tendances climatiques ;

*iv.* analyser les extrêmes climatiques et calculer le bilan hydrique ;

*v.* identifier les indicateurs de changements climatiques.

#### 1.3.1. Correction et reconstitution des données manquantes

A partir de l'hypothèse de l'homogénéité spatiale des précipitations aux pas de temps mensuel et annuel (Brunet-Moret, 1979), la méthode des doubles cumuls des stations du même domaine climatique a permis de combler les données manquantes (variant entre 1,7 % et 4,7 %) dans les séries pluviométriques de Batangafo, Bouca, Bozoum, Nola et Yaloké. Cette méthode s'effectue par le calcul de régression multiple de type linéaire entre les séries lacunaires et les séries des stations complètes environnantes aux latitudes semblables et quasi immédiates.

Cette méthode de comblement de lacunes ne permet pas de retrouver exactement ce qu'aurait pu être une mesure « vraie » (Pedelaborde, 1970). A contrario, elle a permis « de remplacer les valeurs manquantes par des estimations présentant les qualités (vraisemblance) et les indices de confiance (variance d'estimation), mais toujours sous réserve de validité du modèle statistique retenu ». Soit pour une année i, les précipitations mensuelles *xi* et *yi* à deux stations x et y peuvent s'écrire : $x_i = \frac{\overline{X}}{\overline{Y}} y_i + \varepsilon i$

avec $\overline{X}$ et $\overline{Y}$ étant les moyennes inter mensuelles aux deux stations sur une longue série. La variance de εi, terme aléatoire indépendant, tant de la valeur *xi* que celle *yi*, est d'autant plus faible que le coefficient de corrélation linéaire entre les stations est

plus grand et l'espérance mathématique de εi nulle. Ainsi, la fiabilité du comblement des données pluviométriques manquantes dépend essentiellement de la qualité des données existantes (Amoussou, 2010). Elle dépend en partie aussi de la significativité climatique des unités géographiques à l'intérieur desquelles une homogénéisation entre les stations peut être faite (Mahé, 1992) ; en partant de la base des données constituée avec un nombre significatif de stations pour éliminer les plus douteuses et de ne retenir que celles répondant aux critères d'éligibilité de l'OMM (1983).

Enfin, l'une des possibilités de correction des lacunes, notamment dans les séries pluviométriques journalières, a été l'utilisation des données de réanalyses. Harrison et *al*. (2008) pensent que les données de réanalyses sont probablement les meilleures données existantes en Afrique Centrale ; exception faite à celles de quelques lieux (stations synoptiques) où des observations sur le terrain ont été réalisées avec assurance (contrôle et qualité). C'est dans ce contexte que les réanalyses ont été utilisées pour fournir une indication sur la qualité des données observées, et éventuellement combler les séries manquantes (précipitations journalières), même si la fiabilité des réanalyses (données historiques) est limitée par des incertitudes liées aux paramètres de modélisation (Beniston, 2012).

### 1.3.2. Paramètres de tendance centrale et moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique est utilisée pour étudier les régimes pluviométriques dans les différentes stations. C'est le paramètre fondamental de tendance centrale, représenté ici par la « normale », moyenne calculée sur une série de soixante ans dans toutes les stations (synoptiques et pluviométriques) retenues dans le cadre de cette étude.

Elle s'exprime de la façon suivante $\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{1} (xi)$ et a permis de caractériser l'état climatique moyen et de calculer les indices de dispersion les plus significatifs.

#### 1.3.2.1. Paramètres de dispersion et anomalies standardisées

L'écart-type a permis d'évaluer la dispersion des valeurs autour de la moyenne « normale ». Il se détermine par le calcul de la racine carrée de la variance : $\sigma(x) = \sqrt{V}$

où *V* est la variance. L'écart-type est par excellence l'indicateur de la variabilité climatique.

A partir de l'écart-type, ont été calculées les anomalies centrées réduites pluviométriques et thermométriques mensuelles et inter annuelles, en standardisant les données. Les anomalies (indices) sur chaque station et sur les différents secteurs agroécologiques se calculent par la formule : $x_i^{\cdot} = \frac{x_i - \overline{x}}{\sigma(x)}$ où :

$x_i^{\cdot}$ = Anomalie Centrée Réduite pour l'année *i*, $x_i$ = la valeur de la variable,

$\overline{X}$ = la moyenne de la série et $\sigma(x)$ = l'écart-type de la série.

**1.3.2.2. Méthode de détermination des tendances climatiques**

Les moyennes glissantes et la méthode de la régression ont été utilisées pour la détermination des tendances pluviométriques et thermométriques sur toute la longueur des séries chronologiques de 1951 à 2010. La technique des moyennes glissantes consiste à lisser les irrégularités en associant aux valeurs *yti* d'une chronique de nouvelles valeurs *zti* qui sont les moyennes arithmétiques d'une valeur originale *yti* et des valeurs qui l'encadrent. Les moyennes glissantes sont calculées sur cinq (5) ans de part et d'autre de *yti*. Cette méthode permet d'avoir des séries de précipitations et de températures lissées par station, aux pas de temps mensuel, saisonnier et annuel. Les tendances sont mises en évidence par une droite de régression de type affine : y = ax + b ; elle est obtenue par le calcul de la pente *a* qui est un coefficient directeur.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n}(q - \overline{q})(k - \overline{k})}{\sum_{i=1}^{n}(k - \overline{k})^2}$$

Si a > 0 ou a <0, la significativité de la tendance est déterminée par le test non paramétrique de Mann (1945)-Kendall (1970). La pente est corrigée ou estimée par la méthode de Theil-Sen (Theil, 1950 ; Sen, 1968).

Le **test de Mann-Kendall** permet donc d'examiner l'existence d'une tendance linéaire (à la hausse ou à la baisse) sur une série chronologique. L'hypothèse H0 testée est « il n'y a pas de tendance ». Selon le seuil de significativité choisi, l'hypothèse H0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative au seuil choisi, basée sur la statistique de corrélation de rang *t* de Kendall et utilisée pour montrer le degré de

signification de la tendance. Soit $\mathbf{x_1,\ldots,x_t}$ une séquence de données. A chaque xi est associé un nombre $\mathbf{n_i}$ comptabilisant les éléments $\mathbf{x_j}$ tel que $i>j$ et $\mathbf{x_i}>\mathbf{x_j}$. Le test *t* est formulé par la relation suivante : $t = \sum_{i=1}^{T} n_j$ ; avec $U(t) = \frac{t - \mathrm{E(t)}}{\sqrt{\mathrm{var(t)}}}$

Cette statistique, sous l'hypothèse nulle de l'absence de tendance, suit une loi de répartition : $E(t) = \frac{T(T-1)}{4}$ ; $\mathrm{var}(t) = \frac{T(T-1)(2T+5)}{72}$

La robustesse du test a été validée par plusieurs essais de comparaison effectués par nombre d'auteurs comme en témoigne l'abondante bibliographie qui existe dans la littérature scientifique sur ses différentes applications (Stewart et Glantz, 1985 ; Oeschger et *al*., 1989).

**1.3.2.3. Méthodes de détection des ruptures dans les séries pluviométriques**

Les séries chronologiques homogénéisées, avec les années lacunaires reconstituées, ont été analysées à l'aide du programme avancé Xlstat d'Addinsoft du tableur Excel, en vue de détecter les ruptures liées à une non-stationnarité. Deux tests d'homogénéité ont été appliqués : Pettitt (1979) et Buishand (1982). Ils sont d'usage très répandus et sont adaptés à la détermination d'une rupture unique.

**Test de Pettitt** : Le test de Pettitt, non paramétrique est dérivé du test de Mann-Whitney. L'absence de rupture dans la série Xi de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) i=1 à t et t+1 à N appartiennent à la même population (Lubès et *al*., 1994). Ce test repose sur le calcul de la variable Ut, N définie par :

$U_{t,N} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} D_{ij}$ où : $D_{ij}$ = sgn $(x_i - x_j)$ avec sgn(Z) =1 si (Z)> 0 ; 0 si Z=0 et -1 si Z<0. Soit $K_N$ la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour *t* variant de *1* à *N-1*. Si *K* désigne la valeur de $K_N$ prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K est donnée approximativement par : $\Pr ob(K_N > K) \approx 2\exp(-6K^2 / N^3 + N^2)$

Pour un risque $\alpha$ de première espèce donné, si $\Pr ob(K_N > K)$ est inférieure à $\alpha$, l'hypothèse nulle n'est rejetée.

**Test de Buishand et Ellipse de Bois** : Le test de Buishand est un test paramétrique dont la statistique est définie à partir du maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne ou à la médiane. C'est un test permettant la détection d'une rupture temporelle dans une série de données. L'hypothèse alternative de ce test étant un changement brutal de la moyenne, la fonction puissance est estimée en générant des séries à partir de variables normales indépendantes de même variance mais présentant une rupture de la moyenne à partir d'un individu choisi aléatoirement (Lubès-Niel et *al*., 1998).

### 1.3.2.4. Méthode d'interpolation spatiale des précipitations

La variation spatiale des précipitations a été analysée, dans la région d'étude, à partir du fichier homogénéisé des précipitations annuelles moyennes sur 60 ans. Elles ont été spatialisées en utilisant la méthode d'interpolation « au plus proche voisin » qui consiste à affecter à tout nouveau point de mesure la valeur du signal bidimensionnel échantillonné $(n_i,n_j)_{\mapsto}s(n_i,n_j)$ au point de mesure original le plus proche. Dans la pratique, on utilise ce type d'interpolation simple par la technique IDW (inverse distance pondéré) dans ArcView (Klein, 2011).

### 1.3.2.5. Détermination du coefficient de corrélation linéaire

L'étude de la corrélation entre deux ou plusieurs variables aléatoires permet de mettre en évidence la liaison entre ces variables. Dans le cas des variables numériques, la liaison recherchée est une régression linéaire (Sen, 1968). Dans cette étude, le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson a été utilisé pour renseigner la dépendance des variables étudiées (pluies/températures simulées et observées). S'il est égal à 1, cela veut dire que l'une des variables est fonction affine croissante de l'autre variable. Dans le cas contraire (lorsqu'il est égal à -1), la fonction affine sera décroissante (autrement dit opposée). En d'autres termes, plus la valeur de la corrélation entre les deux variables est proche des extrêmes (-1 ou 1), plus la corrélation est forte (opposée ou en phase). A l'inverse, une corrélation de 0 signifie que les variables étudiées sont linéairement indépendantes. Son carré ($R^2$) permet de quantifier la part de variance expliquée pour la variable étudiée. Le résultat (r) mesure le degré de liaison linéaire entre les variables dépendante (Y) ou paramètres

climatiques simulés et indépendante (X) ou paramètres climatiques observés de la série chronologique (1971-2000).

Rappelons que 0 équivaut à une absence de lien, alors que 1 constitue un lien parfait entre X et Y. Le signe + signifie que la relation entre X et Y est proportionnelle ; quand X augmente (ou diminue), Y augmente (ou diminue). Le signe - signifie que la relation entre X et Y est inversement proportionnelle ; quand X augmente (ou diminue), Y diminue (ou augmente).

Par convention (Stern et al, 2006), on dira que la relation entre X et Y est : parfaite si r = 1 ; très forte si r > 0,8 ; forte si r se situe entre 0,5 et 0,8 ; d'intensité moyenne si r se situe entre 0,2 et 0,5 ; faible si r se situe entre 0 et 0.2 et nulle si r = 0.

Il convient de noter que ces qualificatifs (intensité forte, moyenne ou faible) ne sont utilisés dans le texte qu'aux fins de comparaison, et non dans le but de remplacer le résultat chiffré du test, qui est une mesure bien plus précise que les mots.

### 1.3.3. Méthode d'analyse des extrêmes climatiques

L'analyse des extrêmes climatiques a été faite suivant deux approches : l'une statistique et l'autre agrophysiologique.

#### 1.3.3.1. Approche statistique de l'analyse des extrêmes pluviométriques

Les analyses statistiques suivantes ont été effectuées :

- calcul des précipitations maximales cumulées en 3 jours consécutifs de 1951 à 2010
- ajustement à une loi de distribution Gumbel (Djerboua et *al*. 2004) et estimation des paramètres k1 ou le mode = paramètre de position qui correspond à l'ordonnée à l'origine et K2, paramètre d'échelle ou de forme).

La Loi de Gumbel est une loi de décroissance exponentielle. Elle permet d'étirer l'échelle de distribution au-delà de la probabilité 0,90 ($90^{ème}$ percentile des pluies maximales). En outre, elle peut être ajustée pour des pluies journalières maximales de durée de 1 heure à quelques jours. Sa fonction est une double exponentielle de type :

F(x) = exp[(-exp)(-(x-K1)/(K2)], où K2 (a) est un paramètre d'échelle et K1(xo) est un paramètre de position (mode).

La distribution d'une variable de Gumbel avec u en abscisse et x en ordonnées est une droite de pente K2. U = -Ln (-Ln (F(x)) = (x-K1)/K2 est dite variable réduite de Gumbel. Ces deux (2) paramètres sont obtenus par la méthode des Moments.

La méthode des moments consiste à utiliser les moments empiriques, en l'occurrence pour cette étude chercher à :

- calculer la moyenne des observations pluviométriques 1951-2010 : $\hat{m} = \frac{X_1+\cdots+X_n}{n}$
- calculer l'écart-type débiaisé de la série chronologique 1951-2010 : $\partial^2 = \frac{(X_1-\bar{X})^2+\cdots+(X_n-\bar{X})^2}{n-1}$ => calculer l'écart du test (t calculé) : $t = \frac{|\bar{X}-m_0|}{\partial} X\sqrt{n}$
- déterminer l'écart critique tlu dans la table de la loi de Student avec n-1 degrés de liberté. Si t calculé <t lu sur la table de Student avec un risque d'erreur α de 5 %, alors accepter l'hypothèse, si t>ta, on la rejette.

La méthode des moments permet aussi de :

- estimer au 90ème percentile des précipitations maximales cumulées en 3 jours consécutifs sur la période de 1951 à 2010 ;
- calculer de la durée de retour des pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs par rapport à 1999 (extrêmes pluviométriques records de la série chronologique) ;
- calculer les pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs supérieures au 90ème percentile ;
- compter le nombre de jour où les pluies maximales cumulées en 3 jours sont supérieures à 50 mm ;
- appliquer le Test de Student de comparaison de la moyenne observée sur la période 1951-2010 du nombre de jours de pluies supérieur 50 mm avec la valeur de référence.

### 1.3.3.2. Approche agrophysiologique de la définition des paroxysmes de chaleur

Dans cette étude, il est mis en évidence les seuils « absolus » de chaleur, reposant sur des critères agrophysiologiques et qui conviennent le mieux au contexte thermique de la région d'étude. Les critères retenus se réfèrent avant tout à la température observée de l'air ambiant, mais sans se contredire avec les indicateurs de la température

ressentie, calculée à partir des indices biothermiques qui associent d'autres facteurs d'ambiance, tels que l'humidité de l'air et le vent, afin d'apprécier la notion d'équilibre thermique entre la quantité de chaleur produite et celle perdue, car si cet équilibre est rompu (bilan excédentaire), les systèmes thermorégulateurs des plantes sont menacés d'asphyxie.

Les principes biothermiques qui définissent les seuils agrophysiologiques varient d'une plante à une autre. Le seuil de 40 °C de température maximale est très critique pour les plantes et la limite absolue de leur survie (Doorenbos et *al.*, 1986). Ce seuil dépassé, les cellules vitales risquent l'extinction.

Il est donc certain que l'exposition à des températures de l'air ambiant supérieures à 35 °C représente un risque grave pour la santé des cultures. Le seuil de 20 °C de température minimale nocturne de l'air ambiant est couramment jugé comme valeur seuil au-dessus de laquelle une nuit est jugée à chaleur « tropicale » (Ben Boubaker, 2010).

Une grille des niveaux absolus de chaleur est proposée (Tableau III). Les seuils sont définis en additionnant les températures maximales (TX) diurnes et les températures minimales (TN) nocturnes. Trois principales catégories de fortes chaleurs sont distinguées :

- les jours de forte chaleur correspondent à une somme TX + TN > 50 °C, avec : TX ≥ 32 °C et TN ≥20 °C ;
- les jours de très forte chaleur correspondent à une somme TX + TN comprise entre 55 °C et 57 °C, avec TX ≥ 37 °C et TN ≥23 °C ;
- les jours torrides correspondent à une somme des TX + TN ≥ 58 °C, avec : TX ≥ 40 °C et des TN ≥24 °C.

**Tableau III.** Seuils absolus de chaleur et typologie des jours fortement chauds, très chauds et torrides dans la région d'étude

| $T_X$ / $T_N$ | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | ≥40 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **18** | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 |
| **19** | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 |
| **20** | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| **21** | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 |
| **22** | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |
| **23** | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 |
| **≥24** | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 |

Forte chaleur (*risque d'asphyxie relatif des plantes*)
Très forte chaleur (*risque d'asphyxie absolu des plantes*)
Chaleur torride (*risque d'extinction des plantes*)

**Source :** Adapté de Doorenbos et *al.* (1986) et de Ben Boubacar (2010)

Comme pour les extrêmes pluviométriques et dans le but de vérifier les risques de récurrence des paroxysmes de chaleur en fonction de différents temps de retour des valeurs extrêmes, la loi de Gumbel (loi des extrêmes) est appliquée. Il s'agit principalement d'estimer la probabilité de non dépassement F (*xi*) qu'il convient d'attribuer à chaque valeur *xi*. La loi de Gumbel permet d'effectuer une analyse fréquentielle de la série des $T_X$ et des $T_N$ extrêmes observées pour chaque année.

Cette prédiction repose sur la définition d'un modèle fréquentiel (équation) permettant de modéliser la probabilité de réapparition d'une valeur donnée des TX ou des TN. Dans cette étude, la variable centrée réduite *u*, variable réduite de Gumbel, représente : $u = \frac{X - X_0}{G}$ où $X_0$ est le paramètre de position de la loi (le mode), G est le paramètre d'échelle encore appelé «Gradex» comme «Gradient des valeurs extrêmes».

Le Gradex est considéré comme le descripteur des températures extrêmes (Guillot et Duband, 1967). La méthode d'ajustement graphique est appliquée à la loi de Gumbel. L'application de cette loi par méthode graphique aux températures maximales quotidiennes absolues (TX maximales extrêmes), à l'échelle de l'année, sur une période d'observation de 60 ans (1951-2010), dans quelques stations de la région d'étude, permet d'effectuer l'ajustement de la série des valeurs de températures maximales extrêmes afin de déterminer le temps de retour *T* d'un événement qui est

défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement et est donné par la formule :

$$T = \frac{1}{1 - (x_i)}$$

Le Gradex a aussi permis d'estimer le temps de retour, en termes de probabilité d'apparition, des événements climatiques extrêmes. La période de retour (période de récurrence) est la moyenne à long terme du temps ou du nombre d'années séparant un événement de grandeur donnée d'un second événement d'une grandeur égale ou supérieure. Les périodes de retour définies dans la région d'étude sont principalement 5, 10, 20, 50 et 100 ans pour les événements thermiques.

### 1.3.4. Méthodes de détermination du bilan hydrique

#### 1.3.4.1. Bilan hydrique potentiel

Le bilan hydrique potentiel (BHP), outil de gestion agro-technique simple, permet de voir si la demande climatique d'une région est satisfaite ou non. Il permet, en outre, d'analyser l'ensemble des besoins et des apports en eau, et d'identifier les périodes déficitaires et excédentaires tout au long des saisons agricoles. Par ailleurs, Il exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et constitue, lorsqu'il est positif, le surplus en eau du sol.

Dans cette étude, le bilan hydrique a été déterminé dans le but d'apprécier la distribution, en fonction des années ou périodes, la durée des séquences humides et sèches, au pas de temps mensuel. Ce bilan hydrique potentiel a été déterminé suivant l'équation simplifiée : **BHP = P–ETP**

Son analyse, en fin de saison agricole quand on a connaissance des rendements, peut expliquer les réactions des cultures aux divers événements climatiques. Cependant, cette formule ne prend pas en compte la Réserve Utile (RU) du sol et la Profondeur d'Extraction Racinaire (PER) ; ceci ne permet pas de délimiter correctement les phases hydriques du sol en raison de nombreuses lacunes observées dans les séries de données disponibles sur la RU et la PER au pas de temps décadaire. Or en agroclimatologie, la réserve utile et la profondeur d'extraction racinaire sont des données nécessaires pour

évaluer le bilan hydrique des cultures. Ce bilan hydrique est donné par la formule mathématique suivante (Delécolle, 2008) : **P=ETR+RU**

La notion du bilan hydrique avec la prise en compte de la réserve utile au pas de temps décadaire et de la profondeur d'extraction racinaire est fondamentale pour les productions agricoles car il permet de déterminer, avec une certaine précision, les différentes opérations du calendrier agricole, notamment la période de semis, la durée de croissance des cultures et la période de récolte.

#### 1.3.4.2. Disponibilité en eau des cultures

Les bilans hydriques calculent, pendant le cycle végétatif, les niveaux de disponibilité en eau pour les cultures. Parmi les sorties du modèle, on retiendra l'Evapotranspiration Relative qui est le rapport ETP/ETM, lequel évolue tout le long de l'année dans des limites comprises entre 0 et 1 (Morel et *al*., 2008). Les déficiences éventuelles apparaissent avec des rapports inférieurs à 0,8. Ce rapport est déterminant pour la production de matière sèche de la culture puisque la relation est généralement linéaire et fournit des indices (de satisfaction en eau et de productivité de la plante) à comparer avec les rendements (Baron et *al*., 2003).

Dans ce processus, la réserve utile (RU) du sol est prise en compte, suivant sa profondeur, sa nature et son occupation par les racines (Combeau et Quantin, 1964). La RFU correspond à l'eau utilisable en millimètres : il s'agit de la capacité maximale de stockage par le sol de l'eau pouvant être absorbée par les plantes.

Selon Morel et *al*. (2008), la RU est estimée par la différence entre les quantités d'eau présentes à la capacité de rétention (maximum) et le point de flétrissement (minimum). Le niveau de la RU intègre les qualités du sol (porosité, pouvoir de rétention capillaire) mais aussi certaines caractéristiques des plantes cultivées comme la profondeur d'enracinement. En cas d'absence de mesures, on choisit la RU qui maximise la corrélation entre le rendement observé et les résultats du bilan hydrique.

Sur cette base, on peut concevoir un indicateur de productivité de la plante dans le modèle agronomique d'impact (Brisson, 2002). Il s'agit de l'indice de rendement espéré (IRESP) exprimé en %. Il est mis à 100 % en début de bilan avec l'espérance

maximale. Le déficit relatif d'évapotranspiration ou stress hydrique (SH) est le complément à l'unité de l'évapotranspiration relative : 1–ETM/ETP.

Un stress entraîne une diminution proportionnelle de l'indice de rendement d'une valeur en fonction de Ky où Ky est le coefficient de réponse du rendement au stress pour la plante au stade de développement correspondant (Doorenbos et *al.*, 1986). Chaque type de plante a des besoins différents en eau au cours de son développement. Ces besoins sont traduits par des coefficients culturaux qui expriment les besoins par une fraction de l'ETP variant en fonction du stade de développement de la plante.

### 1.3.5. Identification des indicateurs de changements climatiques

Un indicateur est une sorte de résumé d'informations complexes grâce auquel on va pouvoir mesurer une situation ou une tendance, de façon relativement objective, dans l'espace et à un instant donné. Les indicateurs climatiques dans cette étude sont des mesures récapitulatives du statut de certains paramètres climatiques qui prennent en compte le début et la fin d'une période, d'une séquence de la période, etc. Ils sont informatifs et parfois descriptifs et renseignent sur le signal en termes de situation moyenne, d'anomalie positive ou négative (Ogouwalé, 2006 et Sultan, 2010).

Sur cette base, afin d'identifier les signes avant-coureurs d'un changement climatique dans la région d'étude, les statistiques climatologiques des normales (1951-1980) et (1981-2010) sont analysées et comparées. Ces échelles sont retenues dans le but d'appréhender leur l'influence sur l'agriculture (saisons et calendrier agricoles, etc.), par la détermination des écarts moyens des précipitations entre les deux normales retenues. Les données générées aux différentes échelles sont traduites en valeurs relatives suivant la formule $I = (100*E)/X_1$, avec :

- I comme indicateur de changement ou d'évolution ;
- E est égal à l'Ecart entre la moyenne ($X_2$) de la normale (1981-2010) et la moyenne ($X_1$) de la normale (1951-1980) des hauteurs pluviométriques.

Pour les températures, les indicateurs du réchauffement ou non sont fondés sur le calcul des écarts (en °C) entre les deux normales thermométriques sur les mêmes échelles temporelles.

Le **test paramétrique de Student** de la différence de deux moyennes indépendantes et/ou appariées a été retenu afin de rendre compte d'éventuel changement brutal dans une série, de telle sorte que celle-ci peut être découpée en deux sous-séries de moyennes significativement différentes et comparées. Ce test permet notamment de déterminer la significativité (ou non) d'une différence entre deux moyennes selon le seuil de significativité choisi (alpha), grâce à un test bilatéral ou unilatéral.

Si l'on désigne les deux moyennes en question par $X_2$-$X_1$ respectivement, et par $N_1$ et $N_2$ les nombres de valeurs ayant servi au calcul de chacune d'elles, sous l'hypothèse nulle, la variable :

$$t\alpha = \frac{\overline{X_1} \quad \overline{X_2}}{\left(\frac{(N_1 \quad 1)S_1^2 + (N_2 \quad 2)S_2^2}{N_1 \quad N_2 \quad 2}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right)^{1/2}}$$

Elle suit une distribution t de Student à $N_1$+$N_2$ - 2 degrés de liberté. $S_1^2$ et $S_2^2$ sont respectivement les variances estimées des deux sous-séries, les variances théoriques sont supposées égales. Pour un risque α de première espèce donnée, et N1 et N2 grands (≥30), la région d'acceptation de l'hypothèse nulle est comprise entre les valeurs théoriques de la variable de Student de probabilité de non-dépassement respectivement égale à α/2 et 1−α /2.

Les indicateurs indirects et qualitatifs des changements climatiques complètent ceux quantitatifs. Il s'agit pour l'essentiel des indicateurs socio-anthropologiques, extraits des informations fournies par les populations enquêtées, des perceptions paysannes (faits témoins) sur la dynamique du climat et des écosystèmes naturels (disparition ou apparition des espèces animales ou végétales, impossibilité de pratiquer les cultures pour des raisons liées aux conséquences de la variabilité du climat, etc.).

### 1.4. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité des cultures et d'estimation de rendements

La démarche d'évaluation de la vulnérabilité des cultures et la simulation du rendement a consisté à :

*i.* modéliser les cultures dans un modèle d'impact ;

*ii.* estimer et analyser les rendements agricoles futurs ;

*iii.* déterminer le degré de vulnérabilité des cultures aux changements climatiques ;

*iv.* proposer à l'aide des outils d'analyse, des mesures durables, fondées sur les pratiques d'adaptation paysannes et celles planifiées par les pouvoirs publics.

### 1.4.1. Caractérisation de la saison de croissance des cultures

Le facteur limitant de la croissance végétale en régions tropicales et ailleurs est l'eau (Afouda, 1990). L'importance de cette « pesanteur hydrique » a été mise en évidence par les travaux de Ndjendolé (2001) sur les contraintes pluviométriques et les cultures annuelles en Centrafrique. La saison de croissance commence dès le moment où l'humidité est disponible pour une période suffisamment longue sans retour de conditions sèches. Ainsi, les études agroclimatiques en milieu tropical de Franquin et *al*. (1988) et de Morel et *al*. (2008) établissent que dès le début de la saison pluvieuse, la saison de croissance peut être décomposée en trois phases : phase pré-humide, phase humide et phase post-humide (Tableau IV).

**Tableau IV.** Séquences et caractéristiques générales de la période de croissance des cultures

| | |
|---|---|
| **Phase préhumide** | Cette phase correspond au démarrage effectif de la saison des pluies. Elle se définit comme la période où la précipitation (P) cumulée est inférieure au cumul de l'évapotranspiration potentielle (ETP), mais supérieure au cumul de ETP/2. C'est la phase de préparation des champs, les périodes de semis, la germination et la montaison des cultures. |
| **Phase humide** | Elle débute à la fin de la période pré-humide et se caractérise par un cumul des précipitations nettement supérieur au cumul de l'évapotranspiration. La période humide est la phase de pleine croissance des plantes car habituellement, leurs besoins en eau sont largement satisfaits. La période humide prend fin lorsque les valeurs de l'évapotranspiration redeviennent supérieures à celles des précipitations. Ainsi, commence la période post-humide. |
| **Phase post-humide** | Elle marque un retour à des conditions de déficit d'humidité. A cette période, les valeurs des précipitations redeviennent inférieures à celles des évapotranspirations, mais supérieures à celles des ETP/2. La phase post-humide finit théoriquement au moment où la précipitation devient inférieure à ETP/2. Néanmoins, elle peut être considérée comme s'étendant jusqu'à l'épuisement des réserves d'eau utile du sol, d'où le fait que certains estiment que la saison de croissance peut se prolonger quelques jours après la période post-humide (FAO, 1984 ; Frère et Popov, 1987). |

**Source** : Synthèse bibliographique et enquêtes de terrain, mai 2011

Les modèles de cultures offrent un cadre conceptuel pour étudier les interactions dynamiques entre la plante, le climat, le sol et les techniques culturales. Ainsi, à partir

des caractéristiques de la saison de croissance des cultures, les valeurs des indices agrophénologiques calculées sont intégrées dans STICS pour les études d'impact.

### 1.4.2. Description du modèle d'impact STICS

#### 1.4.2.1. Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standards (STICS)

STICS est un modèle de fonctionnement des cultures développé par l'INRA (Brisson et *al*., 1998). Il est dynamique et permet de prédire les changements d'état du système sol-plante en fonction de variables exogènes (climat par exemple), au pas de temps journalier au cours d'une année agricole. Il modélise à la fois le développement (cycle phénologique) et la croissance (biomasse aérienne) d'une culture, les composantes du rendement, ainsi que le bilan hydrique et azoté du système sol-culture.

II intègre à ses simulations les effets d'une teneur en $CO_2$ atmosphérique élevée estimée par une élévation de la résistance stomatique de la plante. Son principal objectif est de simuler la production agricole en intégrant l'effet des pratiques culturales sur la culture et son milieu. Selon Brisson et *al*. (2009), le modèle peut capitaliser un ensemble de connaissances en physiologie, agronomie et bioclimatologie. STICS est aussi un modèle agronomique à caractère générique au sens où il peut traiter de nombreuses cultures avec un formalisme commun, tout en considérant les spécificités de chacune. Il faut donc le caler aux conditions régionales de la zone d'étude. L'adaptation du modèle a été faite en deux étapes : le calage et la validation.

Le calage consiste à rechercher le jeu de paramètres descripteurs du système sol-plante permettant aux résultats du modèle de s'ajuster au mieux à des résultats expérimentaux (quantité de matière sèche moyenne produite). Les méthodes mathématiques d'optimisation permettent de réaliser ce travail. L'optimisation a été faite selon la méthode mathématique de la minimisation des moindres carrés (Bellia, 1999).

La validation du modèle est une comparaison entre les sorties du modèle et la réalité perçue par une série de résultats expérimentaux ayant servi au calage. Elle est élaborée sur les valeurs de rendements moyens observés. La comparaison rendements observés et rendements simulés met en évidence la performance du modèle (Affholder, 2001). La figure 3 présente le cadre conceptuel du modèle d'étude d'impact.

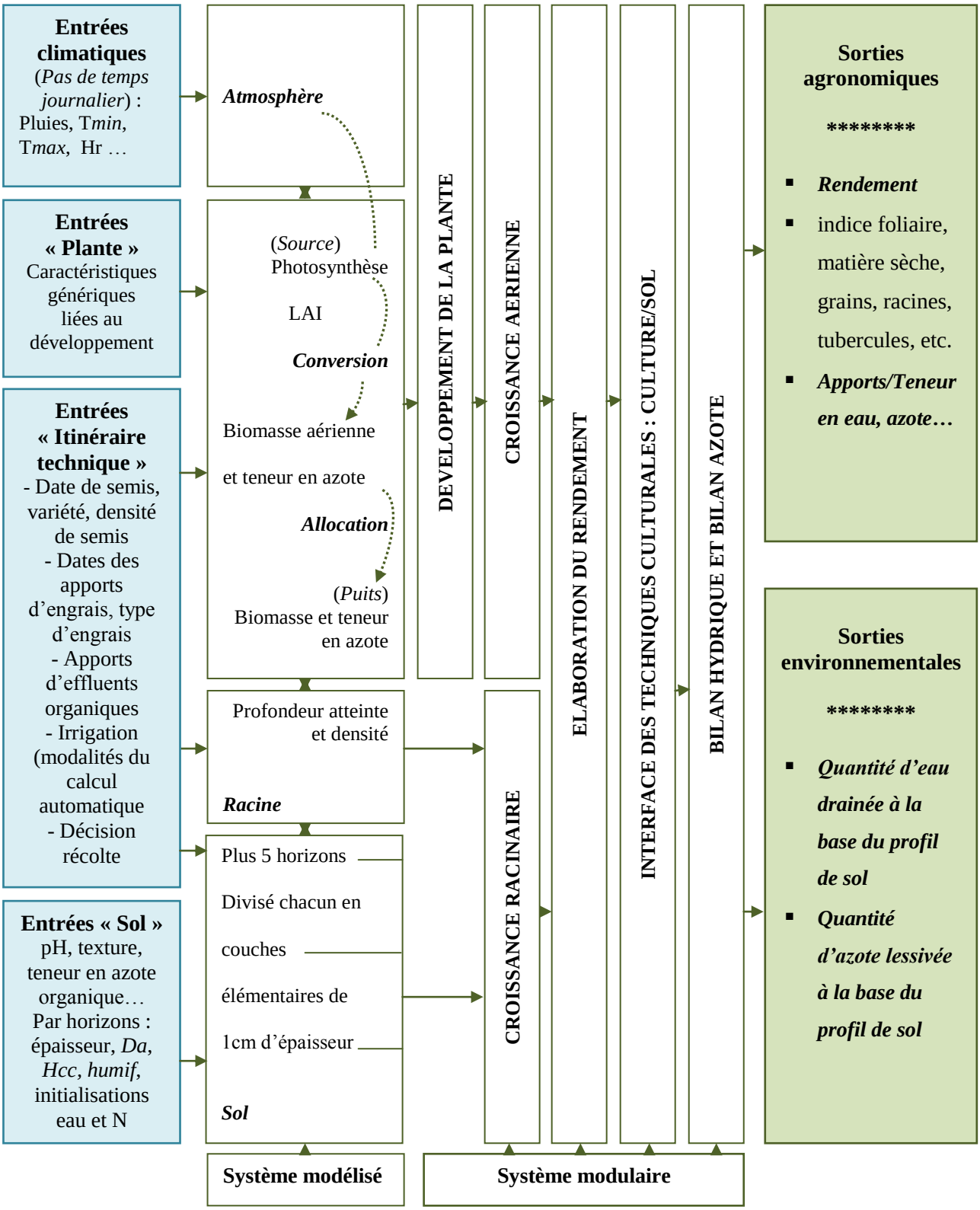



**Figure 3.** *Cadre conceptuel du modèle d'étude d'impact STICS dans la version 6.0.*

**Source :** Adapté de Brisson et Mary, 2002

### 1.4.2.2. Processus de calibrage et de simulation des cultures dans STICS

Les principaux processus simulés dans le modèle STICS sont le développement, la croissance du couvert, les bilans hydrique et azoté dans le sol et dans la plante. Différents stades de développement de la plante sont distingués dans STICS correspondant à deux échelles (végétative et reproductive) qui sont indépendantes. Ces stades sont utiles pour la simulation à la fois de la croissance végétative et de la croissance des organes de récolte. La température est le facteur primordial qui pilote le développement de la plante depuis le stade de démarrage jusqu'à la maturité physiologique. D'autres facteurs ou stress peuvent limiter le développement de la plante comme le photopériodisme et le stress hydrique.

Le STICS simule deux types de croissance aérienne et racinaire. Pour la première, le module calcule la croissance des feuilles ainsi que la croissance en biomasse. L'accumulation aérienne répond au rayonnement intercepté qui fait intervenir une efficience d'utilisation maximale du rayonnement propre à chaque espèce. Dans le modèle STICS, la croissance racinaire n'est pas considérée en termes de biomasse mais en termes de longueur indépendamment de la partie aérienne (Brisson, 1998). Le rôle des racines se limite à l'alimentation hydrique et azotée.

Le calcul du bilan hydrique dans le modèle est relativement complet. Il comprend les différents termes d'offre et de demande dont l'objectif est d'estimer les indices de stress hydrique, aussi bien de la teneur en eau dans le sol et dans la plante que les pertes du système par ruissellement et infiltration profonde (Affholder, 2001).

Le bilan d'azote s'effectue en deux étapes : au niveau du sol (minéralisation, nitrification et transfert), et au niveau de la plante. Il compare chaque jour l'offre du sol et la demande de la plante et calcule l'absorption de la plante, la distribution de l'azote minéral et organique dans le sol, ainsi que les pertes par volatilisation ou lessivage (Brisson et Delecolle, 1991).

La croissance de la culture est pilotée de façon tout à fait classique par le bilan de carbone : interception du rayonnement solaire par le feuillage puis transformation en biomasse aérienne qui est orientée vers les organes de récolte pendant la phase finale du cycle. Le bilan azoté de la culture est simulé parallèlement au bilan de carbone,

dont il dépend en partie. Selon le type de plante, le développement de la culture est piloté soit par un indice thermique (degrés-jours), soit par un indice photothermique.

L'existence éventuelle de stress (déficits hydrique ou azoté, températures, excès d'eau) est prise en compte au travers d'indices qui peuvent réduire la croissance végétative et celle des organes de stockage. Ces indices sont calculés dans les bilans hydrique, azoté ou énergétique (Bussière, 1996). Une attention particulière est portée à l'effet des techniques culturales sur le fonctionnement du système sol-culture-climat, sachant que la spécificité des cultures repose à la fois sur leur fonctionnement écophysiologique mais aussi sur les itinéraires techniques qui leur sont appliqués.

#### 1.4.2.3. Choix des variables pour la simulation du rendement

Le modèle STICS distingue les plantes à croissance déterminée et les plantes à croissance indéterminée. Dans le premier cas, le modèle repose sur l'hypothèse selon laquelle le nombre et le remplissage des organes de récolte n'influencent pas la croissance végétale. Pour le deuxième cas, il y a une interaction entre la croissance végétale et la croissance des organes de récolte (Brisson et *al*., 2009) :

- ***Plantes à croissance déterminée*** : le rendement grain noté dans STICS ''MAFRUIT'' et exprimé en tonne/*ha* (valeur qui sera convertie en kg/*ha*), peut être subdivisé en ses deux principales composantes : nombre de grains par unité de surface (NG $m^2$) et poids moyen d'un grain (PMG). Dans le cadre de cette étude, les organes de récoltes des céréales et des légumineuses sont appelés ''grains''.
    - Nombre de grains par $m^2$ (NGRAINS) est déterminé pendant une phase de durée variable ($NBJGRAIN_p$), qui précède le début du remplissage (IDRP). Il est calculé par le modèle essentiellement en fonction de la vitesse de croissance moyenne de la culture durant cette phase notée VITMOY selon une dynamique propre à l'espèce (Brisson et Mary, 2002) :

$$NBGRAINS = [(CGRAIN*VITMOY) + CGRAINV_0]*NBGRMAX \quad (1)$$

avec

NBGRAINS = Nombre de grains par unité de surface ($m^2$),

VITMOY = Taux de croissance moyen quotidien pendant la période de NGBGRAINS ($g*m^2*j$),

CGRAIN=Pente de la relation entre le nombre de grains et le taux de croissance pendant la période NBGRAINS (*g de matière sèche*j*),

$CGRAINV_0$ = Nombre de grains produits quand le taux de croissance CGRAIN est égal à zéro,

NBGRMAX=Nombre maximal d'organes récoltés.

Le nombre de grains est limité par les paramètres NBGRMIN et NBGRMAX qui est un paramètre génétique.

- Poids moyen du grain : la matière sèche accumulée dans les grains est calculée en appliquant un indice de récolte (IR) évolutif de la matière de la plante. Selon Bussière (1996), cet indice de récolte (IRCARB) est une fonction linéaire du temps entre les stades DRP (indice de début de remplissage des grains) et IMAT (indice de maturité physiologique).

  La masse de grains découle de l'indice de récolte :

  ***MAGRAIN=IRCARB*MASEC*** **(2)**

  avec

  MASEC= La biomasse totale aérienne accumulée.

  La masse de chaque grain est ensuite calculée comme le rapport entre la masse et le nombre des grains, sans excéder la limite générique notée PGRAINMAXI.

- ***Plantes à croissance indéterminée*** : dans le cadre de cette étude, les tubercules et racines sont les plantes à croissance indéterminée. Le paramètre le plus important est le rendement toujours noté ''MAFRUIT'' exprimé en tonne/*ha* (valeur qui sera convertie en kg/*ha*). Dans ce cas, les organes récoltés sont appelés ''tubercules'' ou ''racines'' (Brisson et *al*., 2009). Le même protocole est appliqué comme pour le précédent, en remplaçant ''grains'' par ''tubercules'' ou ''racines'' dans le calibrage. Pour ''fruits'', IRCARB se met en place entre les stades DRP et IMAT dont la durée est propre à l'espèce.

Le tableau V résume les paramètres agroclimatiques pour la simulation du rendement futur. Les valeurs de ces variables ont été retenues à partir de la littérature et des

résultats d'enquête de terrain. En plus des données agroclimatiques (*précipitation, températures, indice de sol, coefficient cultural*, etc.), la simulation de rendement d'une culture nécessite la fixation d'un minimum de données agrophénologiques (*unité de surface, densité de buttage, densité de semis, indice de surface foliaire, cycle variétal*) dans le modèle.

**Tableau V.** Paramètres agroclimatiques pour la simulation de rendement des cultures

| | **Arachide** | **Igname** | **Maïs** | **Manioc** | **Mil** | **Riz** | **Sésame** | **Sorgho** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DSCn (jr)** | 90 | 165 | 90 | 180 | 60 | 120 | 90 | 60 |
| **DSCx (jr)** | 150 | 270 | 120 | 330 | 150 | 150 | 180 | 120 |
| **DSP** | 162000 | 6000 | 60000 | 10000 | 550000 | 1700000 | 1500000 | 555000 |
| **ETM (mm)** | 500-1000 | 1000-1500 | 500-1500 | 1000-1500 | 450-900 | 450-700 | 450-900 | 450-800 |
| **FP** | L | Racine | NL | T | NL | NL | L | NL |
| **GAC** | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **IRCARB** | 0,38 | 0,50 | 0,45 | 0,65 | 0,45 | 0,30 | 0,40 | 0,55 |
| **Kc** | 0,4-1,1 | 0,2-1,1 | 0,3-1,2 | 0,1-1 | 0,3-1,2 | 1,1-1,3 | 0,3-1,2 | 0,4-1,2 |
| **Ky** | 0,7 | 1,1 | 1,25 | 1,1 | 1,1 | 1,5 | 1,2 | 1,05 |
| **LAI** | 1-4 | 1-5 | 1-4 | 1-4 | 1-5 | 1-4 | 1-5 | 1-5 |
| **PR** | $C_3$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_3$ | $C_3$ | $C_4$ |
| **PP** | N | JC | JC | N | Var | N | Var | Var |
| **PMS/PT** | 0,85 | 0,30 | 0,85 | 0,35 | 0,30 | 0,85 | 0,80 | 0,32 |
| **PT (°C)** | 22-28 | 20-30 | 24-30 | 25-29 | 28 | 22-30 | 21-30 | 32 |
| **ZG (°C)** | 15 | 23 | 15 | 25 | 12 | 13 | 15 | 12 |

**Source :** Synthèse bibliographique et enquêtes de terrain, mai 2011

- **DSCn (jr)** : Durée minimale en jour de la saison de croissance (cycle variétal court)
- **DSCx (jr)** : Durée maximale en jour de la saison de croissance (cycle variétal long)
- **DSP** : Densité de semis en plants/ha
- **ETM** : Besoin maximal en mm d'eau pendant toute la durée de la saison de croissance
- **FP** : Famille des plantes (T : Tubercule ; L = Légumineuse, NL = Non légumineuse)
- **GAC** : Groupe d'adaptabilité des cultures
- **IRCARB** : Indice de récolte (de la biomasse totale produite en %)
- **Kc** : Coefficient cultural
- **Ky** : Indice de réponse au déficit hydrique
- **LAI** : Indice de surface foliaire : montaison à la phase de pleine croissance
- **PP :** Photopériodisme (N = neutre ; JC = jours courts ; Var = variable JC au cours de la floraison (*Date en jours juliens*).
- **PMS/PT** : Pourcentage de matière sèche par rapport au poids total
- **PT** : Préferendum thermique
- **ZG** : Zéro de germination (température du sol pour les racines et tubercules)
- **PR** : Photo respiration. *Il existe des différences significatives de sensibilité à la température et la réponse au $CO_2$ chez les plantes en C3, C4, et CAM* (Larcher, 1995).

*C'est ainsi que les réactions physiologiques de base diffèrent d'un type de culture à l'autre. Plusieurs études ont été réalisées* (Liverman, 1990 ; Rötter et *al*., 1999 ; Rosenzweig et *al*., 2001) *pour étudier les effets directs d'une augmentation du $CO_2$ sur les cultures. Ainsi, il ressort que du niveau actuel de $CO_2$ (~390ppmv) a son doublement et même plus, les plantes en C4 (mil, sorgho, maïs, etc.) ne présentent pas de réponse directe* (Rötter et *al*., 1999), *mais plutôt des effets indirects (effets climatiques) de l'accroissement du $CO_2$. Cette augmentation de température aura un effet bénéfique sur les plantes en C3 en améliorant la productivité de la biomasse. Ces effets sont estimés dans les sorties agroenvironnementales du modèle STICS.*

#### 1.4.2.4. Facteurs limitants (stress) au cours des stades phénologiques

Plusieurs types de facteurs peuvent moduler le développement de la culture au cours de différents stades phénologiques de son cycle et par conséquent peuvent limiter le rendement. Dans cette étude, et afin d'identifier les facteurs limitants et les causes de la variabilité du rendement, deux types de stress ont été choisis :

- **le stress hydrique** : afin d'évaluer l'effet du stress hydrique sur la simulation des composantes du rendement, la variable est notée dans STICS par ''HydStress'', le stock d'eau dans le sol c'est-à-dire la quantité d'eau disponible pour la plante. Cette variable est calculée à partir des différents éléments du bilan hydrique dans STICS selon l'équation suivante :

  HydStress = $[(P + Ir) – (Es + Tr + In + It)]$ avec,
  *HydStress* = Stock d'eau (mm) dans le sol ;
  *P* = Pluie (mm) et *Ir* = Irrigation (mm) ;
  *Es* = Evaporation (mm) et *Tr* = Transpiration (mm) ;
  *In* = Drainage (mm) et *It* = Interception (mm).

- **le stress thermique** : la variable stress thermique dans STICS est notée 'Tcult-Tair'. Le stress thermique découle d'un calcul de la moyenne de la différence entre la température du couvert (*Tcult*) et la température de l'air (*Tair*). Cette différence est calculée chaque jour, en degrés Celsius, puis moyennée sur une période donnée soit la période végétative depuis la levée jusqu'au stade de début de la maturité des organes récoltés, soit la période reproductrice depuis le début de la croissance des organes récoltés jusqu'à la maturité physiologique.

### 1.4.2.5. Les entrées et sorties du modèle STICS

Dans cette étude, le modèle STICS est utilisé pour analyser les impacts des changements climatiques sur les rendements des cultures retenues. En effet, le modèle conduit à une meilleure connaissance des potentialités du contexte sol-culture-climat ; l'analyse agroclimatique permet de suggérer des pratiques culturales afin de mieux adapter les cultures aux conditions du milieu et aux changements climatiques.

Selon Brisson et Mary (2002), la mise en œuvre de STICS requiert quatre sources de données (Tableau VI) : climat, sol, plante et itinéraires culturaux. Les paramètres d'entrées portent en réalité sur le climat et l'itinéraire technique, car les données pédologiques et phénologiques sont préconfigurées dans le modèle et ne demandent qu'à être renseignées et validées. En plus des données d'observation climatologiques et agronomiques (1971-2000), quatre scénarios climatiques sont élaborés sur la base des scénarios SRES et validés sur deux échelles temporelles : A2H1 et B1H1 pour un futur proche et moyen (2021-2050), A2H2 et B1H2 pour des horizons temporels lointains (2071-2100).

**Tableau VI.** Paramètres et variables d'entrées et de sorties du modèle STICS

| **Paramètres** | **Variables d'entrées (*in put*)** | **Variables de sorties (*out put*)** |
|---|---|---|
| **Itinéraires culturaux** | Dates (juliennes) et densité de semis, de fertilisation ou d'irrigation, d'apport en intrants minéraux ou en résidus organiques,<br>Qualité des semences et superficies culturales,<br>Outils et matériels agricoles. | Variables agronomiques :<br>▪ *Simulation de rendement,*<br>▪ *Consommation d'intrants*<br>▪ *Indice foliaire*<br>▪ *Matière sèche,*<br>▪ *Grains,*<br>▪ *Racines & tubercules*<br>Variables environnementales :<br>▪ *Drainage (eau)*<br>▪ *Lessivage (azote)* |
| **Sol** | Variables physiques et chimiques, albédo du sol nu à l'état sec, PH et profondeur maximale de l'enracinement. | |
| **Plante** | Caractéristiques des cultivars, germination, la levée, le développement, l'évolution de l'indice foliaire et la sénescence des feuilles.<br>Prise en compte de l'effet stress hydrique, thermique sur le fonctionnement de la plante<br>Dates (juliennes) de stades phénologiques. | |
| **Climat** | Variables fournies au pas de temps journalier : Température minimale, température maximale, précipitations, évapotranspiration potentielle, insolation globale. Le modèle peut exiger les données anémométriques et hygrométriques.<br>Coefficient de modification de l'efficience en cas d'augmentation du CO2 atmosphérique. | |

**Source** : Synthèse bibliographique, juillet 2011

### 1.4.3. Indicateurs de la vulnérabilité des rendements agricoles

Les indicateurs de la vulnérabilité des rendements agricoles sont déterminés à partir des paramètres de précipitations et d'évapotranspiration potentielle ou en combinant les deux avec des coefficients dérivés empiriques des cultures (Bootsma et *al.,* 2005 ; Ogouwalé, 2006). Les indicateurs calculés sont l'indice d'humidité et l'indice de stress agroclimatique :

- **l'indice d'humidité** (**IH**) permet de mesure le rapport des hauteurs de pluies (P) à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période déterminée. Son expression mathématique est : $\mathbf{IH = (\Sigma \mathit{P}/\Sigma\ \mathit{ETP})*100}$

  Il évalue l'efficacité des précipitations par rapport à la demande climatique. Plus les valeurs sont faibles, plus les périodes sont sèches et moins les cultures se trouvent dans de conditions favorables (Franquin et *al*., 1988).
- **l'indice de stress agroclimatique** (**IAC**) est le rapport du déficit d'évaporation à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période donnée. Il est noté :

  $\mathbf{IAC = (\Sigma \mathit{ETP} – \Sigma \mathit{ETR})/\Sigma \mathit{ETP})*100}$

  Plus la valeur de l'IAC est élevée, plus les cultures se trouvent dans des conditions défavorables ne leur permettant pas de satisfaire leur besoin en eau (Morel et *al*., 2008).

La démarche d'évaluation de la vulnérabilité des cultures aux changements climatiques vise à formuler des stratégies d'adaptation durables en combinant savoirs locaux et connaissances scientifiques dans un cadre de gestion intégrée. Les tactiques agricoles sont basées sur l'analyse fréquentielle des indices pluviométriques et l'application du modèle «PEIR ».

#### 1.4.3.1. Analyse fréquentielle des indices pluviométriques

L'analyse fréquentielle des indices pluviométriques constitue une méthode très utile pour définir une stratégie agricole, en apportant une réponse appropriée en termes de probabilités d'obtention des quantités d'eau dont les plantes auront besoin au cours du cycle cultural (Eldin, 1989). Son intérêt est qu'elle offre la possibilité de déterminer trois stratégies agricoles : une pour les années déficitaires, une autre pour les années excédentaires et une troisième pour les années normales.

Le choix d'une telle stratégie revêt la forme d'un pari que l'on n'est jamais certain de gagner car d'une part, l'on ne disposera sans doute pas d'un système de prédiction infaillible du type de saison des pluies attendue et, d'autre part, il existe une grande variabilité interannuelle à l'intérieur des trois groupes constitués, en ce qui concerne la répartition des précipitations au cours de la saison pluvieuse.

### 1.4.3.2. Planification et développement d'une stratégie d'adaptation

Selon le Cadre de l'Orientation pour l'Adaptation (COA) de l'agriculture au changement climatique élaboré par le PNUD (Schipper et *al.*, 2008), la stratégie d'adaptation consiste en un plan qui comprend les mesures choisies pour la mise en œuvre, un délai et les modalités de mise en œuvre (Figure 4).

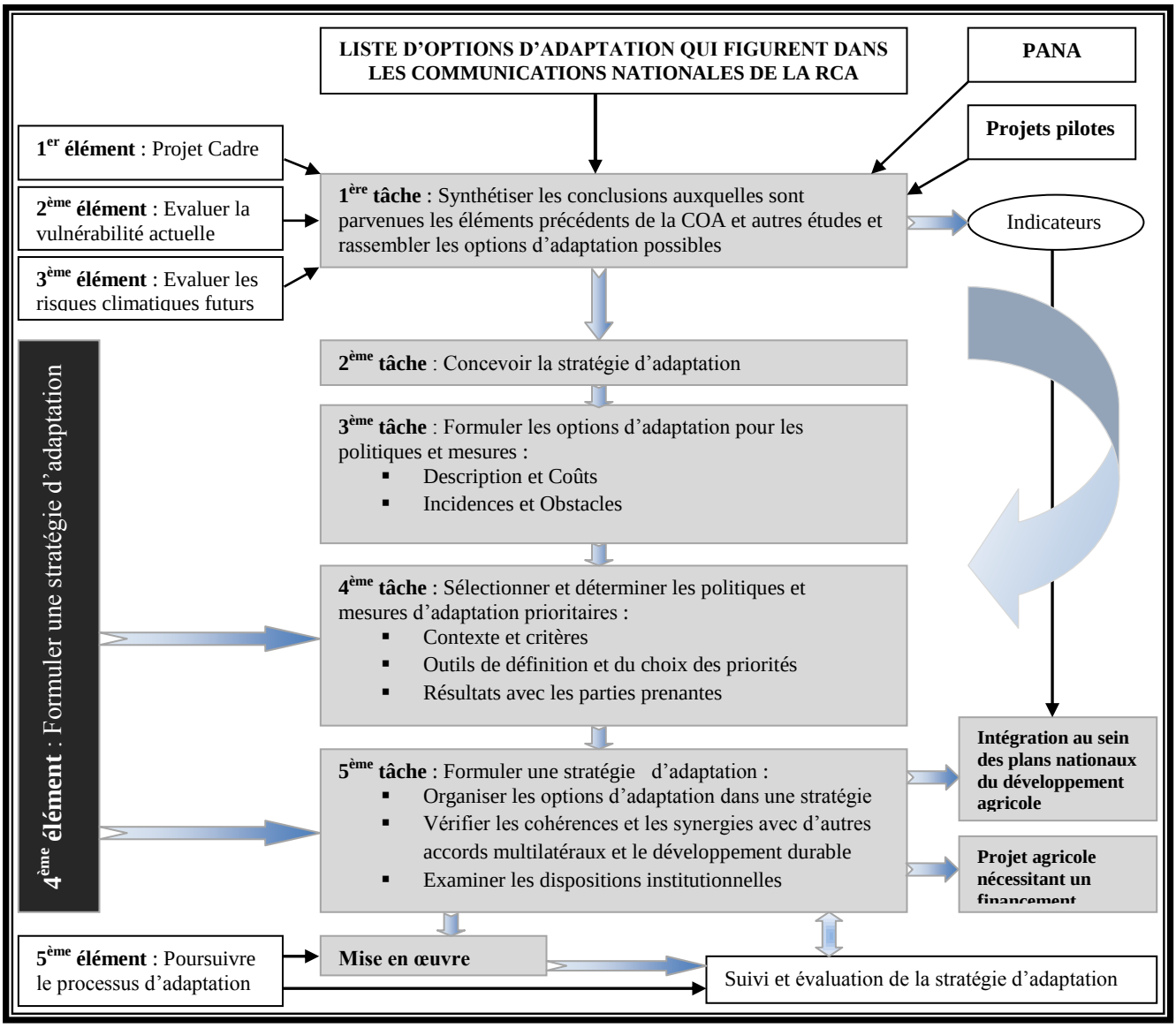



**Figure 4.** *Cadre de l'orientation pour la planification d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur agricole* / **Source :** Adapté de Schipper et *al.*, 2008

Cinq (5) principales activités entrent dans la formulation d'une stratégie d'adaptation :

- résumer les évaluations et études ;
- développer une stratégie d'adaptation ;
- formuler les options d'adaptation pour les politiques et mesures ;
- définir et choisir les politiques et mesures d'adaptation prioritaires ;
- formuler une stratégie d'adaptation.

Durant ce processus de formulation et d'adaptation, il est important d'obtenir la participation de toutes les parties prenantes à tous les niveaux (national à local), non seulement pour un appui public à cette stratégie, mais également pour intégrer tout le savoir local traditionnel et toutes les priorités au sein de l'exercice. De plus, il est important de mettre en œuvre des mécanismes de suivi et d'évaluation des stratégies d'adaptation. Celle ci ne sera efficace que si elle est intégrée aux processus de développement. Ce cadre d'orientation présente les étapes clés pour l'intégration de l'adaptation dans une politique (plan) de développement agricole :

- définition des limites du système et identification des points d'entrée, ce qui signifie, être précis quant à l'ampleur et au type d'intervention. De plus, le point d'entrée relatif à l'adaptation doit être identifié, une approche descendante peut impliquer des changements de politiques et de procédures dans le développement des programmes stratégiques et au niveau opérationnel. Pour les actions communautaires, les points d'entrée fixés au niveau des ménages ;
- description du contexte socio-économique et identification des opportunités ;
- analyse des obstacles socio-économiques (législation au niveau local) ;
- identification des partenaires et choix des représentants.

#### 1.4.3.3. Evaluation des vulnérabilités et définition des politiques d'adaptation

L'évaluation des vulnérabilités et l'adaptation visent à informer sur le développement de politiques qui réduisent les risques associés aux changements climatiques, sur la base d'outils qui combinent des données qualitatives et quantitatives. Elles peuvent utiliser, une série d'approches allant, aussi bien de simples approches comme celles basées sur des données tirées d'enquêtes auprès des communautés paysannes, que des interviews approfondies auprès de parties prenantes, et/ou utiliser des modèles

complexes nécessitant des données fournies. Elles sont généralement basées sur la connaissance des impacts physiques des changements climatiques, et cherchent à comprendre les dynamiques sociales et économiques et à y trouver des solutions possibles. L'évaluation des vulnérabilités et d'adaptation doivent servir de base pour prioriser les mesures et les politiques d'adaptation (Tableau VII).

**Tableau VII:** Evaluations nécessaires pour identifier les options en matière d'adaptation

| **Evaluation des vulnérabilités** | **Evaluation des risques climatiques actuels** | **Evaluation des risques climatiques futurs** | **Evaluation des conditions socio-économiques actuelles et futures** |
|---|---|---|---|
| **1.** Structurer l'évaluation des vulnérabilités : approuver les cadres et les objectifs<br>**2.** Identifier les groupes vulnérables en termes d'exposition et évaluation des limites<br>**3.** Evaluer la sensibilité (vulnérabilité actuelle des systèmes sélectionnés et du groupe vulnérable) et les capacités d'adaptation<br>**4.** Evaluer la vulnérabilité future<br>**5.** Lier les résultats des évaluations des vulnérabilités à la politique d'adaptation | **1.** Développer des modèles conceptuels<br>**2.** Caractériser les variations climatiques, les conditions climatiques extrêmes et les risques<br>**3.** Effectuer une évaluation des impacts (grâce à des méthodes qualitatives et quantitatives)<br>**4.** Définir les critères d'évaluation des risques<br>**5.** Evaluer les risques climatiques actuels<br>**6.** Définir le scénario de référence du risque climatique | **1.** Sélectionner une approche<br>**2.** Collecter des informations sur les conditions climatiques futures (Scénarios d'émission et changements climatiques prévus par le GIEC)<br>**3.** Effectuer des essais de sensibilité<br>**4.** Sélectionner des horizons de planification et d'orientation politique<br>**5.** Développer des scénarios climatiques<br>**6.** Effectuer des évaluations de risques climatiques<br>**7.** Gérer les risques de changements climatiques | **1.** Définir les limites des études<br>**2.** Développer et utiliser des indicateurs<br>**3.** Caractériser les conditions socio-économiques actuelles<br>**4.** Explorer les caractéristiques spécifiques (démographie, économie, utilisation des ressources naturelles, gouvernance et politique, culture)<br>**5.** Caractériser les mesures d'adaptation actuelle<br>**6.** Caractériser les conditions socio-économiques futures en utilisant des scénarios et des projections de changements |

**Source** : Adapté des documents techniques du PNUD (Schipper et *al*., 2008)

Le tableau VII montre les étapes à suivre dans le cadre de l'évaluation et des politiques d'adaptation aux changements climatiques en quatre étapes, à savoir : les vulnérabilités, les risques climatiques actuels, les risques climatiques futurs, et les conditions socioéconomiques actuelles et changeantes.

Les stratégies existantes au niveau local doivent être prises en considération et exploitées pour identifier les activités prioritaires, plutôt que de mettre l'accent sur le développement de modèles basés sur des scénarios pour évaluer la vulnérabilité future et la politique à long terme au niveau de l'État (Boko, 2009 ; GIEC, 2012).

Cette approche comprend les étapes suivantes : une synthèse des informations disponibles, une évaluation participative de la vulnérabilité à la variabilité actuelle du climat et des domaines où les risques augmenteraient en raison des changements climatiques, et l'identification des principales mesures d'adaptation (PANA-RCA, 2008). Il est toutefois important de mettre l'accent sur le fait que cette étape ne constitue que la première étape d'une stratégie d'adaptation, étant donné que les scénarios de changements climatiques continueront de poser des défis aux pays vulnérables tel la Centrafrique avec les capacités d'adaptation très limitées.

### 1.4.3.4. Formulation des stratégies d'adaptation intégrées à l'aide du modèle « PEIR »

L'application du modèle « Pression-Etat-Impact-Réponses/Stratégies » (Figure 5) est une adaptation synthétique des travaux de plusieurs auteurs en Afrique tropicale dont Issa (1995), Sultan et *al.* (2004) ; Boko (2005) ; Ogouwalé (2006) et Daouda Hamani (2007).

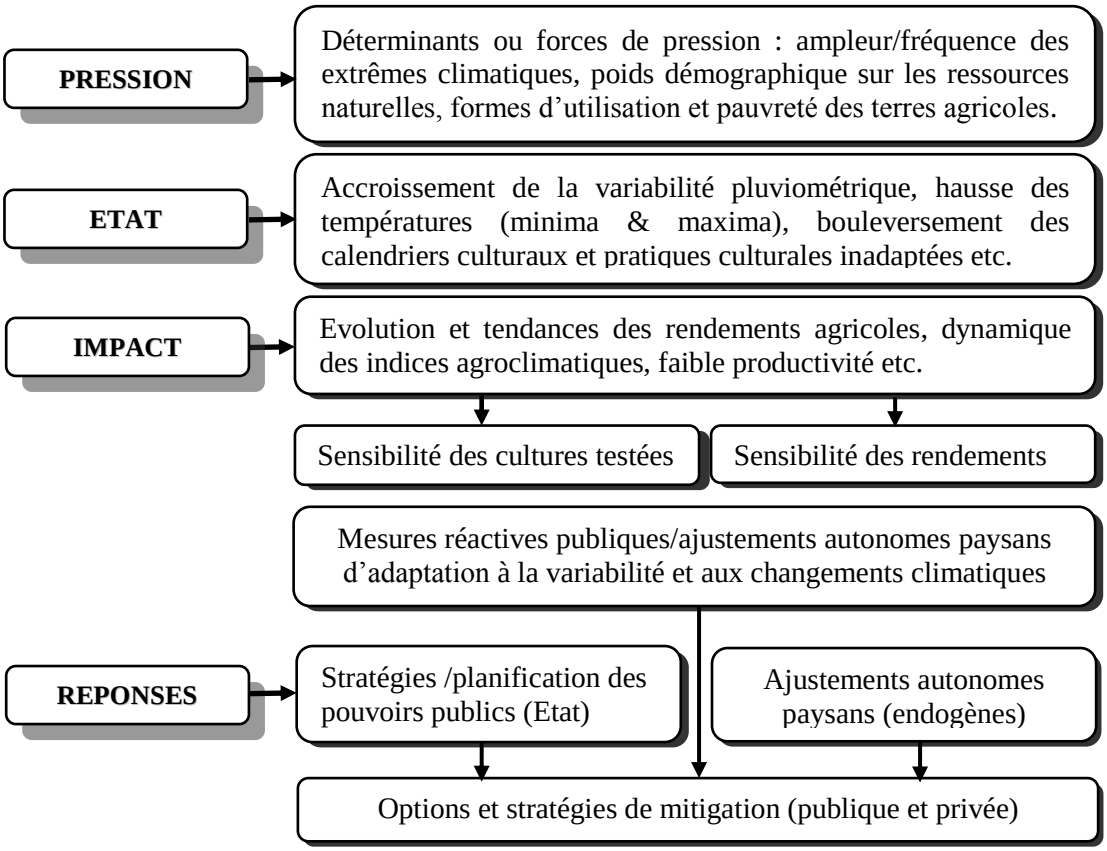



**Figure 5.** *Cadre conceptuel du modèle* « PEIR » *d'adaptation*

**Source :** Synthèse bibliographique, juin 2011

Le modèle PEIR met en évidence toutes les composantes impliquées dans le processus d'évaluation des vulnérabilités depuis les facteurs de pression jusqu'aux stratégies d'adaptation développées par les acteurs ruraux. Dans cette étude, l'évaluation de la capacité adaptative des communautés paysannes et des pratiques culturales, en tenant compte de la séquence IR (Impacts-Réponses) du modèle PEIR, est réalisée à partir des informations extraites de la documentation, de collaboration scientifique et des résultats d'enquêtes de terrain.

Le chapitre suivant analyse les fondements biophysiques et les déterminants socio-économiques dans l'Ouest de la Centrafrique en relation avec les productions agricoles.

# CHAPITRE II
# FONDEMENTS BIOPHYSIQUES ET DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE

Ce chapitre décrit les fondements biophysiques et les composantes naturelles des agrosystèmes qui supportent la production agricole dans l'Ouest de la Centrafrique. En outre, il y est décrit les déterminants sociaux, les caractéristiques et les articulations du secteur socio-économique qui fondent la production agricole de la région étudiée.

## 2.1. Cadre biophysique de la production agricole dans la région d'étude

L'espace biophysique constitue l'élément déterminant sans lequel aucune étude agroclimatologique n'est véritablement possible (Morel et *al*., 2008). C'est dans ce contexte qu'il est abordé dans cette étude les facteurs biophysiques et les secteurs agroécologiques.

### 2.1.1. Contexte morpho-pédologique

#### 2.1.1.1. Substrat géologique

Lang et Malibangar (1998) donnent une nouvelle interprétation de la géologie centrafricaine en s'appuyant sur de multiples datations. Ils distinguent, dans l'Ouest du pays le greenstone de Bogoin (au nord de Bangui) et le complexe amphibologique dans l'Ouham datés du Protérozoïque basal. Au-delà des trois ceintures volcano-plutoniques protérozoïques (Bogoin-Ouham, Nana-Tédoa et Bolé-Bozoum-Kouki) ; ces auteurs pensent que le complexe granito-tectonique du Yadé-Adamaoua est essentiellement kiheléen et archéen.

Selon Mestrau et *al*. (1982), l'Ouest de la Centrafrique se situe pour l'essentiel sur le bouclier précambrien séparant les deux bassins hydrographiques, l'*Oubangui* et le *Chari*. Un placage de couverture mésozoïque (plateaux gréseux de Gadzi-Carnot) recouvre partiellement ce bouclier arasé dont le cœur correspond à une unique surface d'aplanissement, dite centrafricaine, qui s'allonge du Cameroun jusqu'au nord-est du pays. Des failles inverses et panafricaines généralement actives s'étendent sur un axe sud-ouest/nord-est (Figure 6).

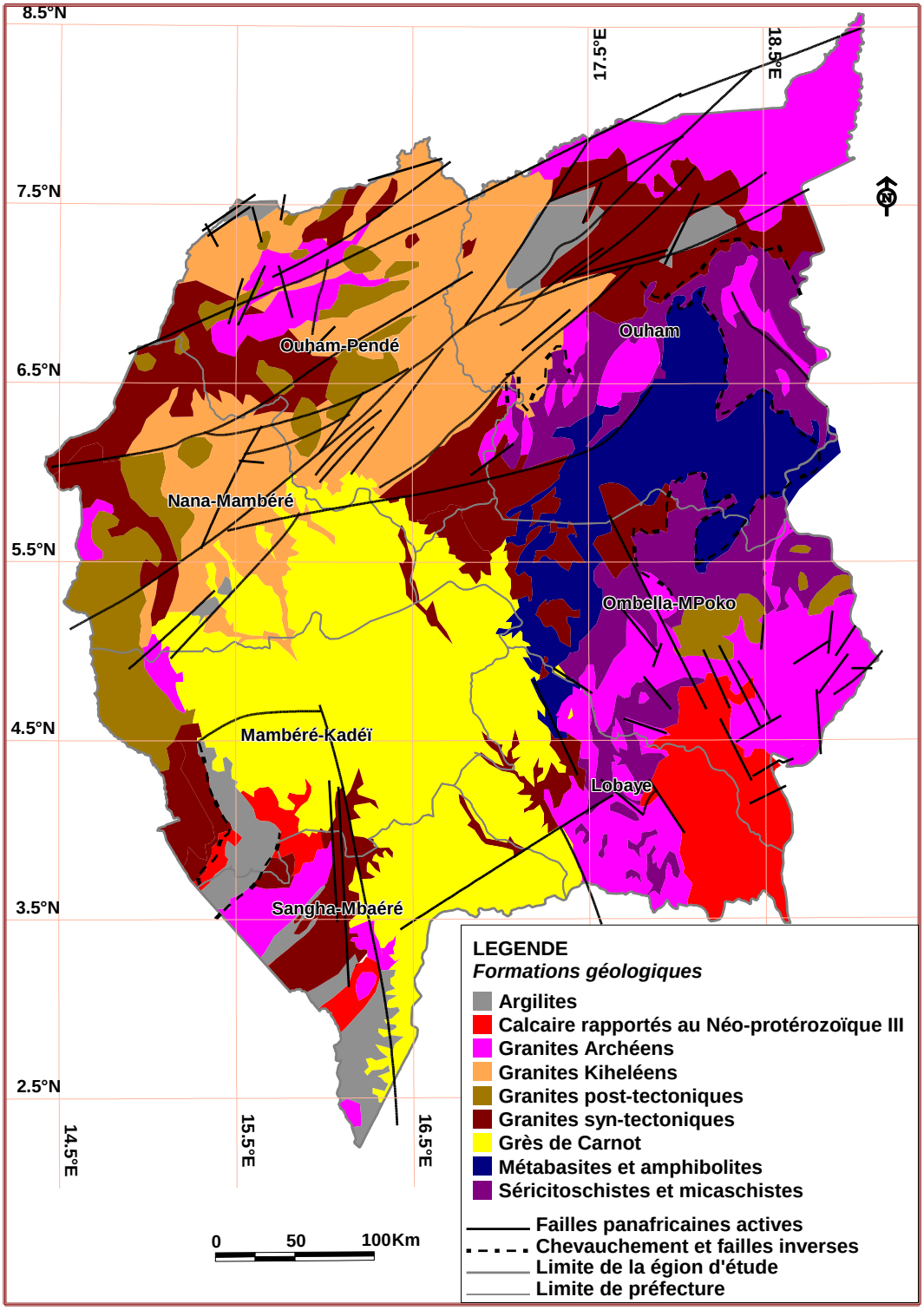



**Figure 6.** *Aspects géologiques dans la région d'étude*

**Source :** LACCEG, 2011

Sur le plan géomorphologique, la région d'étude est peu accidentée et offre d'importantes superficies de terres cultivables, hormis quelques secteurs collinaires dans l'Ouham Pendé. Mais, par endroits, l'alignement des différents faciès

géomorphologiques (séricitoschitses et micaschistes) imprime à la topographie un aspect relativement accidenté, notamment dans l'Ombella-M'Poko et la Nana-Mambéré. Cette caractéristique, associée aux conditions climatiques et aux techniques d'utilisation et d'occupation des terres, explique l'ampleur des phénomènes érosifs que connaît l'Ouest de la Centrafrique. En somme, l'orientation de ces unités géomorphologiques ainsi que leur altitude influencent dans une certaine mesure le climat à travers les précipitations dans cette région (Bomba, 1999).

#### 2.1.1.2. Types de sols et leur valeur agronomique

La combinaison des types de relief, des paramètres climatiques et des faciès écologiques détermine la formation des sols sur un espace donné, dont les limites correspondent souvent à celles des zones agroécologiques.

Les précipitations et la qualité des sols constituent les deux facteurs déterminants des potentialités agronomiques dans les régions tropicales (Roose et *al*., 1979). Avec des sols globalement pauvres et très sensibles à l'érosion en zone soudano-sahélienne, leurs surfaces sont vulnérables et valorisent mal les apports d'engrais chimiques.

La zone soudano-oubanguienne sujette à une saison sèche assez marquée est caractérisée par des sols légers, pulvérulents, à très faible teneur en argiles. Ces sols sont faciles à travailler, mais peu fertiles et fragiles. Ils ne sont propices qu'à la culture de l'arachide et du maïs bien qu'on y développe de plus en plus la culture du riz à Bozoum et à Bossemptélé avec les variétés du plateau et des bas-fonds (FAO-Nerica, 2011).

Les études portant sur la pédogenèse de la Centrafrique (Boulvert, 1983 ; Lanfranchi, 1991 ; Koko, 2007) ont permis de distinguer neuf (9) types de sols dans la région d'étude regroupés en quatre (4) catégories. Ces sols varient dans l'espace en fonction de certaines conditions telles que la morphologie ou autres composantes du paysage (Figure 7).

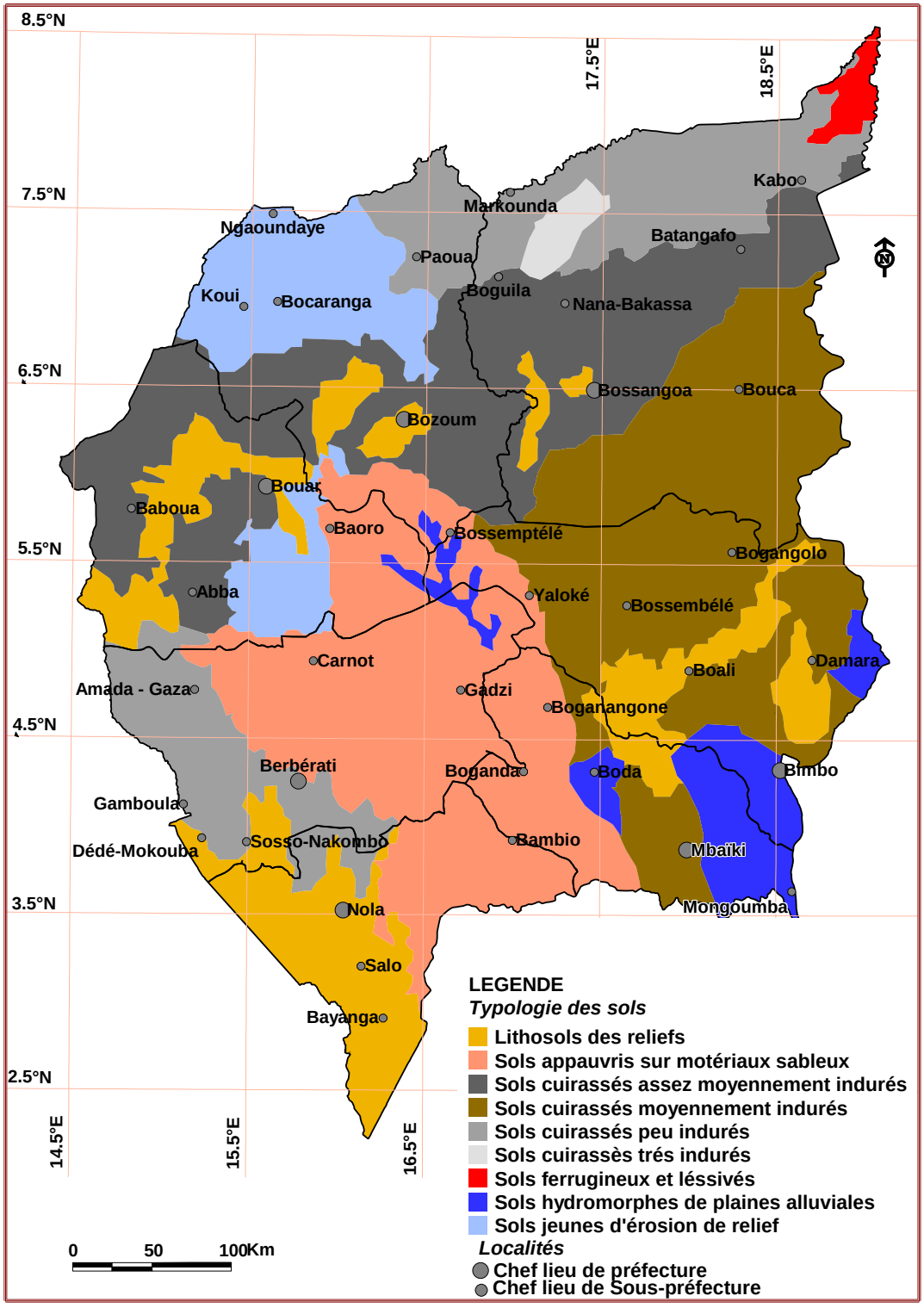



**Figure 7.** *Types de sols dans la région d'étude*

**Source :** LACCEG, 2011

Les sols ferrallitiques qui, représentent les ¾ du territoire (Koko, 2007), sont pauvres en éléments nutritifs. Ils sont de plus en plus menacés par le déboisement, les défrichements culturaux, le surpâturage et l'érosion pluviale. Ils présentent plusieurs

faciès : les sols ferrallitiques typiques constitués sur les dolérites dans la Mambéré-Kadéï. Certains sont pauvres en argiles et apparaissent sur des matériaux sableux provenant des quartzites ou des grès Gadzi, Nakando et Carnot. L'évolution particulière de ces types de sols contribue à la formation des indurations latéritiques, notamment des cuirasses ferrugineuses dénudées appelées « *Lakéré* » et défavorables à toute culture.

Les sols ferrugineux lessivés apparaissent faiblement vers le 7 °N, visibles à Kabo et Moyenne Sido. Ils sont faiblement désaturés et ont une évolution moins poussée. Ils présentent des concrétions et des tâches, et deviennent des pseudogley s'ils sont engorgés en profondeur (Lanfranchi, 1991). Ces sols prennent des formes de placage sableux sous l'influence de l'érosion éolienne assez fréquente à cette latitude.

Les sols jeunes d'érosion apparaissent sur les reliefs rocheux de Yadé et surtout sur les escarpements séparant les surfaces d'aplanissement. Ce sont les lithosols qu'on rencontre à Bocaranga, Koui, Bossembélé, Nola et Bayanga

Les sols alluviaux et hydromorphes sont localisés sur les plaines d'épandage, dans les bas-fonds et les alluvions récentes au sud dans les abords de Bangui, Ombella-M'Poko et Sangha-Mbaéré. Ils proviennent d'apports sableux ou argileux peu évolués, d'apport alluvial, parfois des vertisols topomorphes.

En revanche, les sols des zones subéquatoriale et équatoriale, mieux arrosés, sont plus riches notamment en azote et en phosphore (Franquin et *al*., 1988) et bénéficient d'un climat tropical favorable à la constitution d'une biomasse aérienne et racinaire beaucoup plus importante qu'en milieu sahélien. Ils disposent ainsi d'une meilleure capacité de reconstitution de la base organique, et par conséquent de la fertilité des sols. Mais l'alternance de l'humidité et de la sécheresse entraîne la latérisation des sols, accentuée par les systèmes de culture sur brûlis (Doukpolo, 2001).

Les croûtes et les cuirasses couvrent ainsi de vastes régions dans la région d'étude notamment dans l'Ombella-M'Poko, l'Ouham et l'Ouham-Pendé. Quelques faciès alluviaux et rouges-bruns des bas-fonds, argileux noirs des dépressions et des sols ferrallitiques font la diversité pédologique de cette région. Souvent lessivés, ils portent

les forêts et les plantations de café, de bananeraie et de palmier à l'huile. Le tableau VIII présente la synthèse des types de sols et leurs réserves utiles.

**Tableau VIII.** Types et réserves utiles des sols en fonction de la profondeur dans la région d'étude

| Préfectures | Types de sols | *Profondeur des sols (cm)* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 |
| | | *Réserves utiles (mm)* | | | | |
| **Lobaye** | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,8 | 41,9 | 68,8 | 98,5 | 111,3 |
| | Sols appauvris sur matériaux sableux | 15,5 | 26,1 | 34,8 | 56,4 | 76,6 |
| | Sols cuirassés moyennement indurés | 29,1 | 71,3 | 108,6 | 142,6 | 161,4 |
| | Sols hydromorphes des plaines alluviales | 23,0 | 42,8 | 60,5 | 77,4 | 94,0 |
| **Ombella-M'Poko** | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,6 | 38,0 | 66,7 | 95,3 | 99,8 |
| | Sols appauvris sur matériaux sableux | 21,4 | 40,6 | 64,4 | 91,2 | 123,7 |
| | Sols cuirassés moyennement indurés | 17,4 | 32,1 | 50,1 | 69,8 | 117,0 |
| | Sols hydromorphes des plaines alluviales | 23,8 | 42,0 | 61,5 | 71,3 | 97,2 |
| **Sangha-Mbaéré** | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,1 | 40,6 | 68,4 | 96,7 | 101,2 |
| | Sols appauvris sur matériaux sableux | 19,8 | 42,4 | 63,4 | 90,7 | 124,9 |
| | Sols cuirassés peu indurés | 22,2 | 53,0 | 90,0 | 149,8 | 236,4 |
| **Mambéré-Kadéi** | Sols jeunes d'érosion de relief | 22,2 | 56,7 | 93,7 | 131,7 | 225,6 |
| | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,7 | 39,9 | 68,3 | 98,0 | 107,3 |
| | Sols appauvris sur matériaux sableux | 19,3 | 41,1 | 64,4 | 92,7 | 122,6 |
| | Sols cuirassés peu indurés | 22,0 | 53,7 | 93,0 | 129,8 | 229,0 |
| | Sols hydromorphes des plaines alluviales | 25,1 | 41,8 | 57,5 | 74,4 | 90,9 |
| **Nana-Mambéré** | Sols cuirassés assez peu indurés | 20,1 | 51,8 | 92,7 | 127,1 | 231,7 |
| | Sols jeunes d'érosion de relief | 21,8 | 55,0 | 96,0 | 131 | 215,0 |
| | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,9 | 40,0 | 64,6 | 97,1 | 105,7 |
| | Sols appauvris sur matériaux sableux | 21,3 | 43,1 | 66,0 | 90,7 | 124,6 |
| | Sols cuirassés peu indurés | 20,9 | 51,7 | 92,0 | 128,1 | 231,7 |
| | Sols hydromorphes des plaines alluviales | 24,5 | 41,7 | 53,8 | 75,4 | 93,7 |
| **Ouham Pendé** | Sols cuirassés assez peu indurés | 20,9 | 51,7 | 92,0 | 127,1 | 231,7 |
| | Sols jeunes d'érosion de relief | 21,3 | 51,0 | 96,0 | 131,1 | 219,0 |
| | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,9 | 40,0 | 64,6 | 97,1 | 105,7 |
| | Sols appauvris sur matériaux sableux | 20,6 | 39,1 | 62,8 | 81,7 | 113,5 |
| | Sols cuirassés peu indurés | 22,0 | 53,7 | 93,0 | 130,8 | 224,0 |
| | Sols hydromorphes des plaines alluviales | 23,5 | 41,4 | 53,7 | 78,4 | 96,7 |
| **Ouham** | Lithosols des reliefs ou escarpement | 17,9 | 40,0 | 64,6 | 97,1 | 105,7 |
| | Sols cuirassés assez peu indurés | 20,6 | 39,1 | 60,8 | 81,7 | 112,5 |
| | Sols cuirassés moyennement indurés | 17,4 | 32,1 | 50,1 | 69,8 | 117,0 |
| | Sols cuirassés peu indurés | 21,2 | 56,7 | 97,0 | 133,8 | 226,4 |
| | Sols cuirassés très indurés | 22,7 | 54,0 | 97,0 | 132 | 216,0 |
| | Sols ferrugineux lessivés | 18,4 | 34,1 | 52,1 | 72,8 | 111,1 |

**Source** : ICRA, 1998

Les réserves utiles varient de 15,5 à 29,1 mm entre 0 et 0,2 m ; 26,6 à 71,7 mm entre 0,2 et 0,4 m ; 34,6 à 90,1 mm entre 0,4 et 0,6 m ; 56,4 et 149,8 mm entre 0,6 et 0,8 m ; 94,0 et 236,4 mm entre 0,8 et 1 m selon les types de sol (ferrallitiques, lithosols,

ferrugineux, alluviaux, hydromorphes, etc.). Les réserves utiles sur 0 à 0,4 m sont importantes pour les sols ferralitiques puisqu'elles dépassent les 50 mm nécessaires aux cultivars. Les valeurs élevées de l'humidité en milieu équatorial à la capacité de rétention en sont sans doute la cause. En réalité, l'évapotranspiration potentielle ETP n'égale l'ETR que si la réserve en eau des sols est satisfaite par les apports pluviométriques (Totin, 2010).

### 2.1.1.3. Quelques facteurs (secondaires) de baisse de la fertilité des sols

Dans l'Ouest de la Centrafrique, 60 % de bonnes terres sont actuellement cultivées (FAO, 2011). Les sols arables sont fragiles en raison de leurs horizons peu profonds et de la violence des eaux pluviales. Ces sols connaissent une dégradation tendancielle sous l'action conjuguée des facteurs physiques tels que l'érosion hydrique et des facteurs anthropiques comme la destruction de la végétation et les pratiques agricoles mal adaptées (Figure 8).

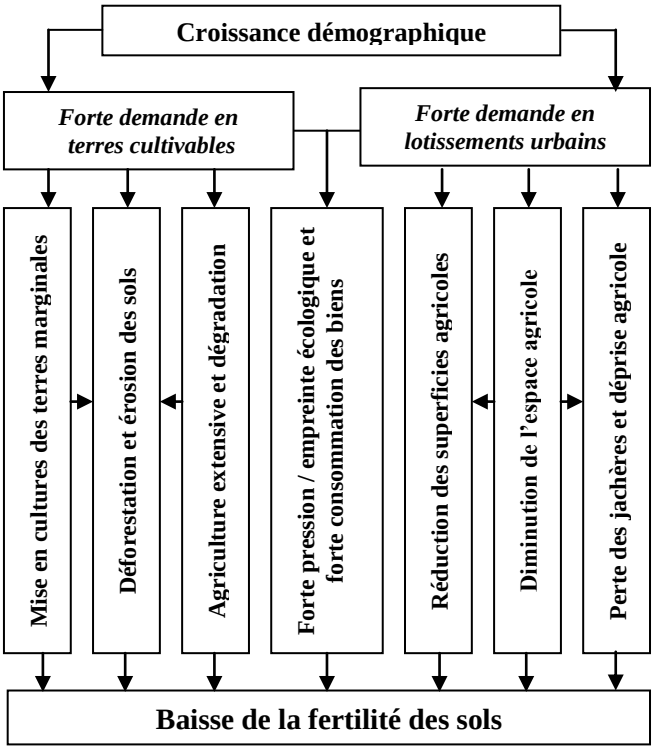



**Figure 8.** *Quelques facteurs secondaires explicatifs de baisse de la fertilité des sols*
**Source :** Synthèse bibliographique et enquêtes de terrain, 2011

La figure 8 présente les différents facteurs secondaires de baisse de la fertilité des sols dans la région d'étude, en partant de l'hypothèse selon laquelle la croissance exponentielle exerce de forte demande en terres cultivables et en lotissements urbains.

En effet, les fortes demandes en terres cultivables et en lotissements urbains, conséquences de la croissance exponentielle de la population constituent des facteurs explicatifs non négligeables de baisse de la fertilité des sols. Cependant, les agriculteurs n'ont pas beaucoup de connaissances des techniques de protection des sols appropriées.

En somme, le contexte pédologique dans l'Ouest de la Centrafrique est caractérisé par la prédominance des sols ferrugineux tropicaux qui présentent une perméabilité moyenne, une faible profondeur et surtout une faible capacité de rétention de l'eau. La diversité des sols et les conditions édaphiques confèrent des traits particuliers au relief et aux cours d'eau.

### 2.1.2. Contexte oro-hydrographique

#### 2.1.2.1. Contours orographiques

L'examen de la carte orographique à 1/1000 000, établit par Boulvert (1983 et 1996) et affiné par Nguimalet (2007), montre que la Centrafrique constitue le seuil séparant le bassin congolais du bassin tchadien. En effet, le territoire centrafricain s'étage globalement entre 300 m et 1410 m d'altitude. Ces extrêmes hypsométriques indiquent une dénivellation de 1100 m selon les directions nord-ouest/sud-ouest.

L'Ouest de la Centrafrique est dominé par les plaines alluviales et les plateaux gréseux. Boulvert (1987) avait dénommé le plateau central granitique, d'un « nœud orographique » qui culmine à Yadé et le considère comme le château d'eau de l'Afrique Centrale. En effet, ce château d'eau alimente l'Ouham, le Chari, le Logone via la Pendé et la Mbaéré, la Sangha via la Kadéï, la Nana et la Mambéré mais aussi l'Oubangui via la Lobaye et au Cameroun la Sanaga via le Lom. Son point culminant le mont Ngaoui (1410 m), n'apparaît que comme un chaos de boules granitiques surmontant une succession de plateaux étagés à 1200-1100 m et 1000-900 m.

Le relief de la région se présente comme un ensemble de plateaux parfois modelés dans une série sédimentaire du Crétacé (Figure 9). Il s'étend sur la pénéplaine schisto-granitique qui est un ensemble vallonné de buttes cuirassées à Bossangoa, de collines à Bocaranga et de grès ferrugineux à Carnot qui rejoignent la plus grande partie du dôme de Bossembélé accueillant diverses cultures vivrières, maraîchères et pérennes.

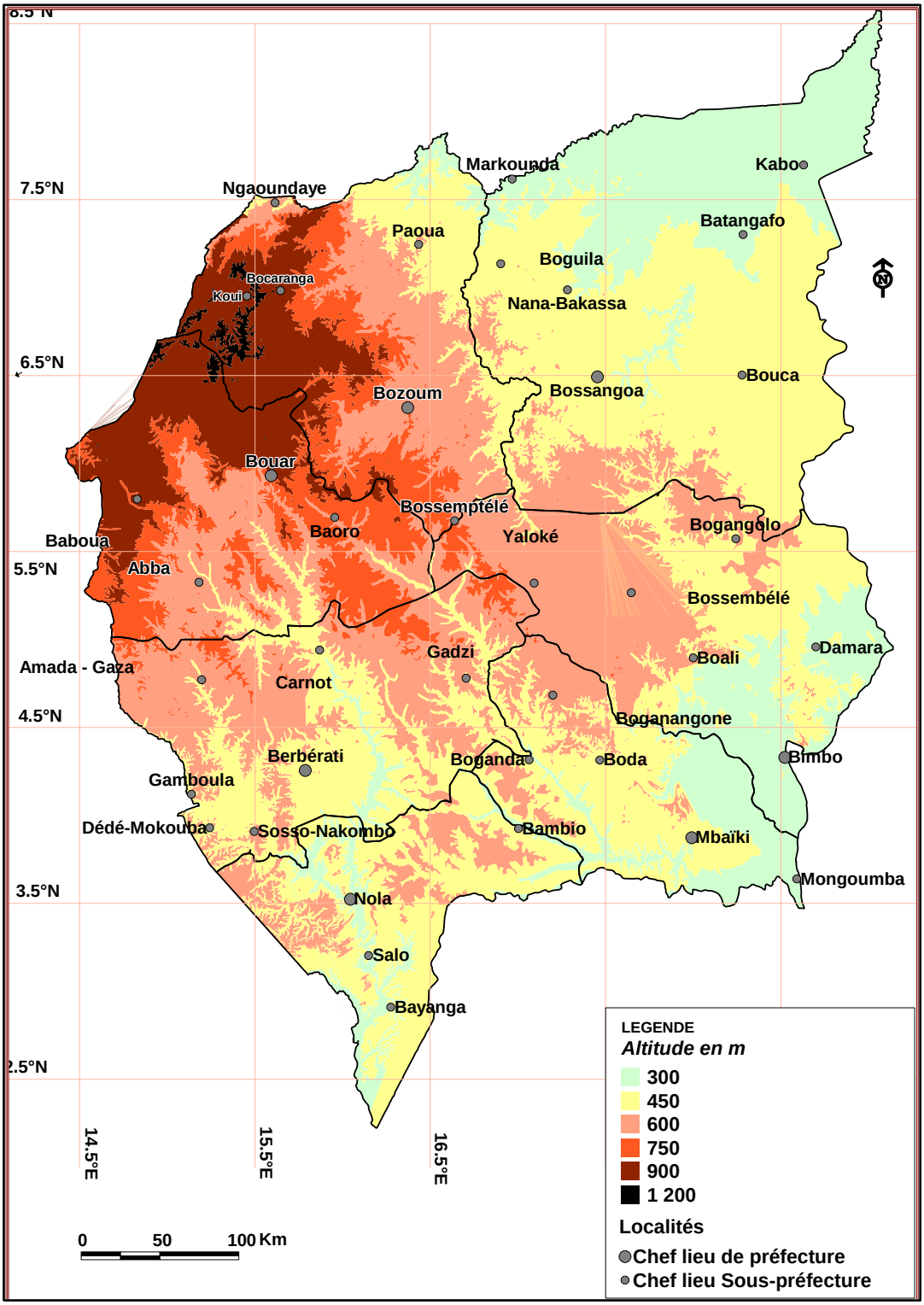



**Figure 9.** *Types de relief dans la région d'étude*

**Source** : LACCEG, 2011

L'appellation coutumière du massif de Yadé est impropre (Boulvert, 1996), il vaut mieux parler des plateaux de Bouar-Bocaranga, prolongement des plateaux camerounais de l'Adamaoua. Un remarquable accident tranche ces plateaux à

l'emporte-pièce sur près de 500 mètres de dénivelé ce qui est exceptionnel en Centrafrique. A l'évidence, il s'agit d'un fossé tectonique d'orientation nord-est (Lang et Malibangar, 1998).

La lecture de la figure 9 montre que les plaines, comprises entre 300 et 400 mètres, sont largement étendues dans les bassins du Tchad et du Congo couvrent 15 % de la région d'étude. On les observe essentiellement autour de Miaméré entre la grande Sido et Kabo, accessoirement dans les vallées de l'Ouham et de la Fafa. Cette plaine représentée dans la vallée de la Sangha et dans celle de la Lobaye, ne prend de l'importance qu'en aval de la M'Poko. Près de Mongoumba, l'altitude minimale du pays se situe vers 330 m.

Un planimétrage sommaire indique que le secteur compris entre 300 et 400 m d'altitude, largement répandu dans les plaines tchadienne et congolaise, ne représente que 15 % de la région d'étude, alors que le secteur situé entre 400 et 500 m (plaine en aval de l'Aoûk, piémonts de l'Ouham) en représente 25 %.

Parmi les secteurs situés entre 600 et 700 m, on relève : la base du fossé de la Mbéré, le replat entre Paoua et le fossé de Bozoum, l'interfluve entre la M'Poko et les bassins de la Bâ et de la Fafa, les interfluves gréseux autour de la Mbaéré et du Bodengué.

Le secteur compris entre 700 et 800 m est déjà plus restreint : interfluve autour d'Abba, de Gadzi, de Bodanga-Dawili, plateau de la Mbi, reliefs du sud de Bozoum, plateau est de Ndim.

Le secteur compris entre 800 et 900 m correspond aux escarpements des reliefs qu'il encadre : escarpement de Baboua, de Boïna-Bogali, ou de Mbéré-Guili, interfluve au sud de Baoro. Le relief dans l'Ouest de la Centrafrique ne constitue pas d'entraves notables à la pratique agricole. Le réseau hydrographique est dense avec des régimes spécifiques.

#### 2.1.2.2. Densité et régimes des cours d'eau

Des études portant sur les systèmes hydrographiques centrafricains ont montré que l'Ouest du pays est drainé par un réseau dense de cours d'eau (Boulvert, 1987 ; Thiébaux, 1987 ; Nguimalet, 2007). Cette densité se justifie par l'abondance relative des apports pluviométriques (Figure 10).

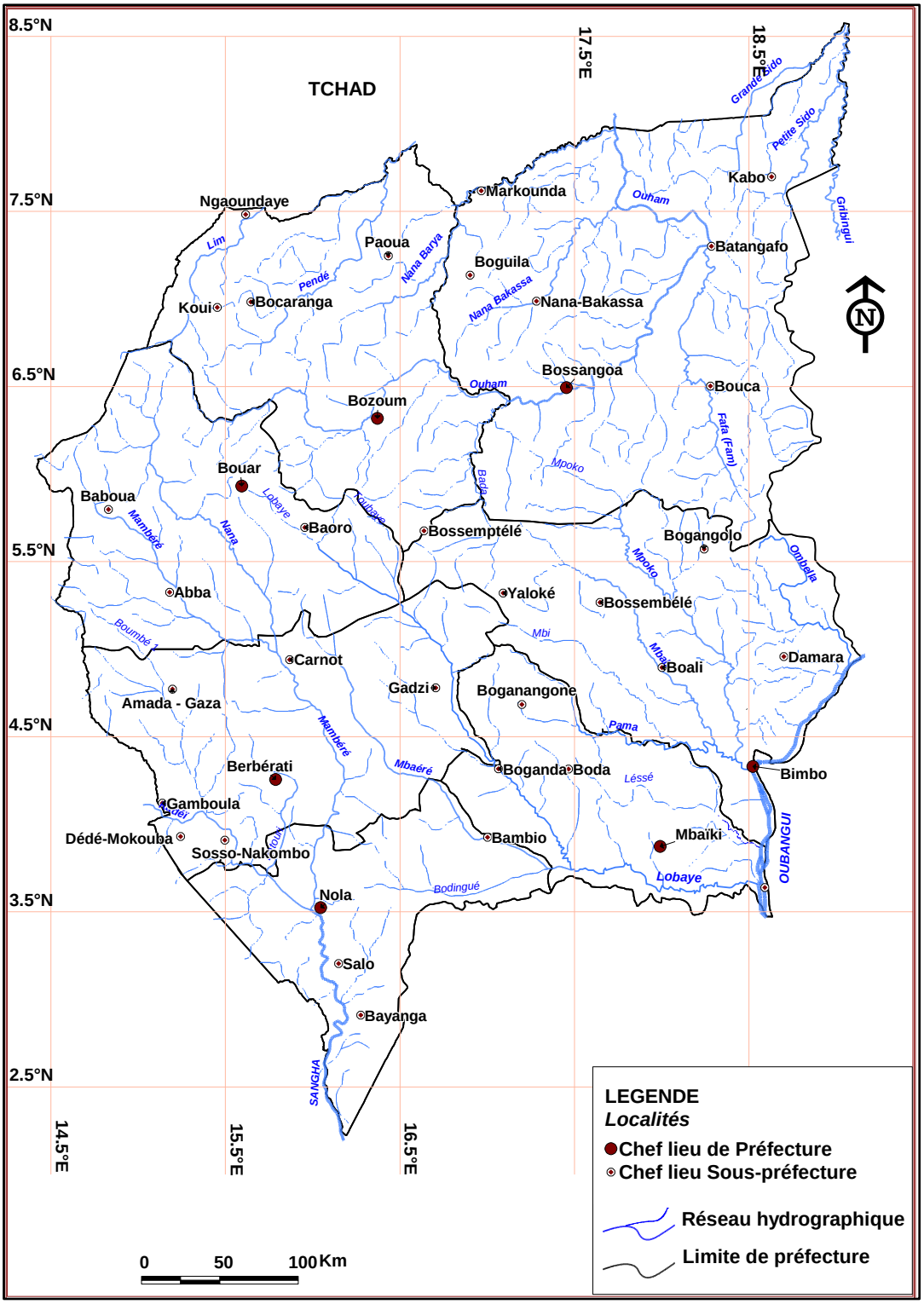



**Figure 10.** *Réseau hydrographique dans la région d'étude*
**Source :** LACCEG, 2011

Les tracés hydrographiques sont essentiellement contrôlés par des failles profondes et visibles, que ce soit sur les formations du socle (craton) que sur les formations de couverture anciennes et actuelles (Nguimalet, 2007). Les systèmes d'écoulement des eaux dans la région d'étude sont à cheval sur deux importants bassins hydrographiques

nettement opposés. L'un méridional : bassin versant de l'Oubangui ; l'autre septentrional : bassin versant du Chari. Cinq (5) sous bassins versants majeurs constituent le réseau hydrographique :

- le **bassin hydrographique de l'Oubangui** : il est formé de trois sous bassins versants : M'Poko-Pama (25 630 km²), Lobaye (30 000 km²) et Sangha (68 400 km²). La Sangha (1272 km) prend son nom à Nola de la rencontre des cours d'eau Kadéi et Mambéré. La Kadéi prend sa source à Garoua-Boulaï sur la frontière camerounaise. Avant la jonction avec la Mambéré, la Kadéi reçoit successivement la Mbali (rive droite), la Boumbé et la Batouri en rive gauche, et la Bandjia venant du Cameroun de la rive droite. La Mambéré, quant à elle, provient de la Surface d'aplanissement de Lim-Bocaranga (1100 m). Ses affluents sont : la Nana, la Ngoéré, la Toutoubou et la Ngobio sur la rive droite, et Ouédo, sur la gauche. De Nola jusqu'au confluent Yobé, la Sangha se rétrécit dans une succession de coudes en baïonnettes, puis s'élargit en aval de Salo à Bayanga.
- le **bassin hydrographique du Chari** : il est constitué de deux sous bassins versants : Ouham (67 000 km²) et Logone (13 000 km²). Les puissants affluents de l'Ouham sont la Fafa sur la rive droite, la Nana Bakassa et la Nana Baria sur la rive gauche. Pour le sous bassin du Logone, les principaux cours d'eau sont le Logone oriental ou Pendé (436 km), Logone occidental avec ses affluents Lim (250 km) et Mbaéré.

Les bassins versants sont alimentés régulièrement et disposent des potentialités pour un développement hydro-agricole. Les plaines alluviales, souvent inondées pendant les crues, offrent de bonnes conditions à la riziculture. Des essais agronomiques sont en cours avec l'assistance technique agricole chinoise et la FAO (2011) dans les bras morts des méandres de la M'Poko. Relief et cours d'eau combinés aux autres éléments physiques façonnent la biodiversité et donnent un reflet particulier à la végétation.

### 2.1.3. Contexte phytogéographique

Après les investigations préliminaires de Chevalier (1933), Aubreville (1948) et Sillans (1958), la communauté scientifique commence à avoir une idée précise de l'étagement phytogéographique en Centrafrique (Boulvert, 1980). Dans la région

d'étude, les formations végétales sont dominées du sud au nord par les forêts denses humides et caducifoliées, les savanes péri-forestières et les steppes graminéennes (Figure 11).

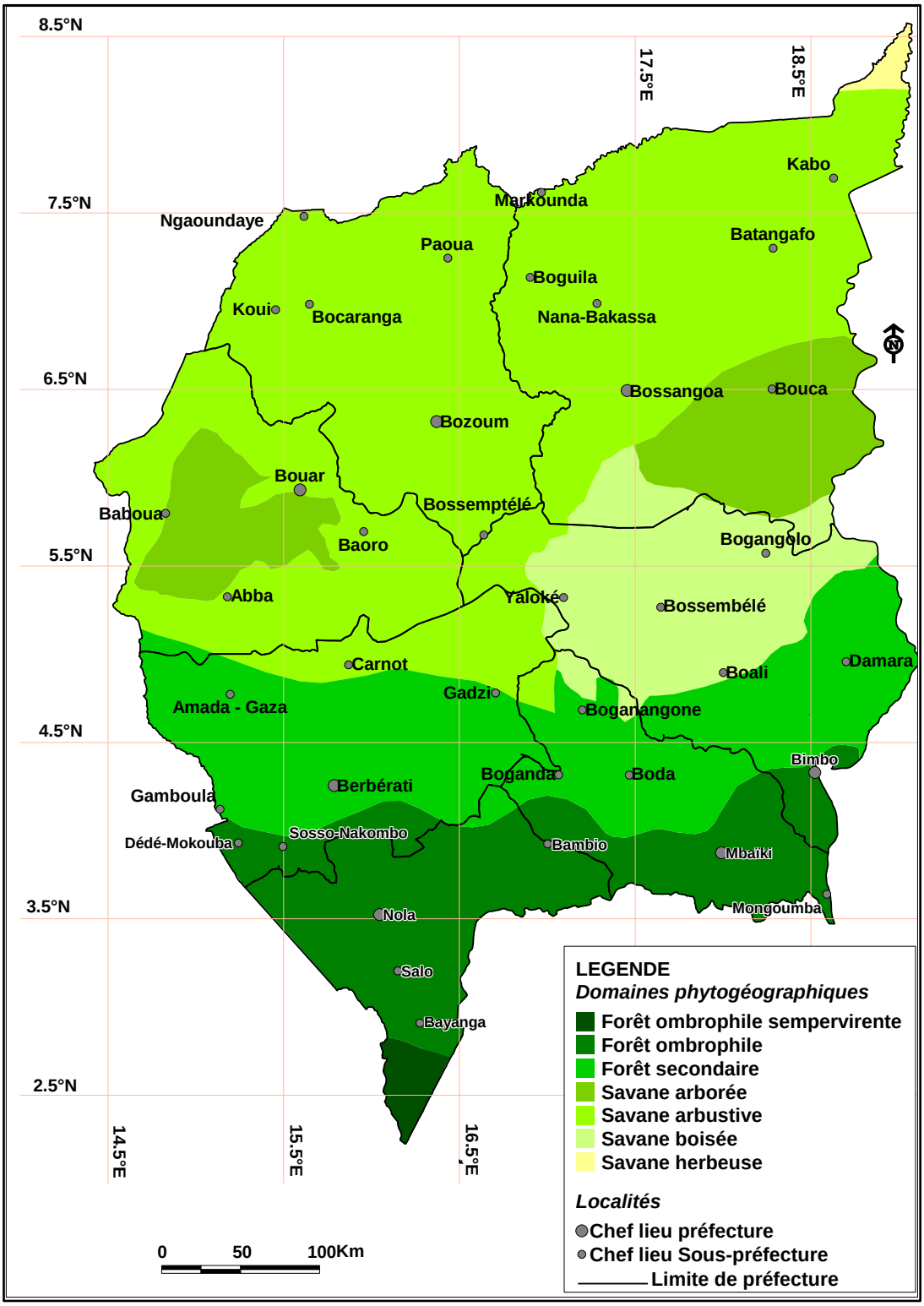



**Figure 11.** *Formations végétales dans la région d'étude*
**Source :** LACCEG, 2011

### 2.1.3.1. Formations végétales

La **forêt dense humide** (45.500 Km² soit 26 % de la région d'étude en 2007) se localise à la pointe sud-ouest entre 2° 10' et 3° 30' nord (Salo, Bayanga, Mbaéré, Mambélé et Berbérati). Elle est toujours sempervirente et luxuriante due à l'influence de trois facteurs physiques : humidité, température et lumière. Cette forêt appelée aussi d'ombrophile est la frange septentrionale de la forêt équatoriale. Elle comprend deux types :

- la **forêt inondée** qui longe les rives basses de la Sangha sur lesquelles on observe une bande formée de peuplement de *Uapacas* et de *Guibourtia*. Ce type de forêt donne l'impression d'une barrière végétale inquiétante par son silence (Koko, 2007).
- la **forêt exondée**, elle recouvre les interfluves et les rives exondées de la Sangha. Mieux développée sur de l'argile compacte, la forêt exondée est surtout constituée des Méliacées : *Entandrophragma angolensis* (Trama) et *Entandrophragma cylindricum* (Sapelli). Plusieurs strates la caractérisent. Vers le Nord de la forêt exondée, les Méliacées se mélangent avec les Sapotacées dont *Autranella congolensis* (Muculungu), avec les Sterculiacées dont *Triplochiton scleroxylon* (Ayous), et avec les Moracées dont *Chlorophora excelsa* (Iroko) pour annoncer une forêt adaptée à l'alternance saisonnière. C'est l'unique zone agroécologique où se pratiquent encore les variétés de cultures pérennes ou à long cycle végétatif, les cultures à racines, les bananeraies et les palmeraies.

La **forêt secondaire (tropophile)** ou encore appelée **forêt dense semi-décidue** constitue le secteur forestier le plus vaste en Centrafrique. Elle s'étend depuis Gamboula à l'Ouest jusqu'à Boali. Elle comprend les forêts de Mbaéré, de Ngotto et de la Basse Lobaye. Au nord de celle-ci, apparaissent des espèces savanicoles, par exemple *Borassus aethiopum*. A sa limite, se développent des îlots de forêts denses sèches, qui sont des formations intermédiaires, notamment à Bossembélé. Par dégradation, les forêts denses sèches évoluent vers les savanes boisées ou arborées. Les agriculteurs y cultivent du manioc, de l'arachide, du maïs et des légumes-fruits.

La forêt dense semi-humide à *Anogeissus leiocarpus* et *Albizia zvclia*, sur grès de Carnot celui des savanes boisées *Burkea africana* et *Lophira lanceolata*, aux environs de Bouar et Baoro, celui des savanes *Daniellia oliveri* et *Lophira lanceolata*, souvent dégradées par surpâturage.

Les savanes ouest-centrafricaines présentent une extrême hétérogénéité physionomique, caractérisée par un changement de la taille et de la densité des arbres et des herbes, en allant vers le Nord (Koko, 2007). Ces savanes couvrent une grande partie du territoire étudié et intègrent plusieurs formes dispersées en bandes parallèles. Les espèces ligneuses sont illustrées essentiellement par : *Annona senegalensis, Daniellia oliveri, Terminalia glaucescens, Isoberlinia doka et Lophira alata*. Les herbes, elles, comprennent les strates les plus répandues de la région d'étude : *Imperata cylindrica, Panicum maximum, Pennisetum purpureum, Loudetia arundinacea, Andropogon gayanus, Hyparrhenia rufa, Aframomum citratum et Chromolaena odorata* (Herbe de Laos ou Barabokassa).

Dans les écosystèmes savanicoles, s'observent aussi les galeries forestières le long des cours d'eau. Les principaux types de savanes sont : la savane arborée (*Panicum maximum et Aframomum citratum* à Gadzi), la savane arbustive (*Anogeissus leiocarpus* près de Bocaranga) et la savane herbeuse (*Imperata cylindrica et Panicum maximum* à Batangafo). Ces savanes constituent un riche domaine agricole où se pratiquent diverses cultures notamment le manioc, l'arachide et le maïs.

En somme, le domaine sub-soudanien est caractérisé par une végétation de *Eutvrosdermum paradoxum* ssp. *arkii* (le Karité) des savanes boisées à *Isoberlinia doka, Monotes kerstinaii* et *Uapaca togoensis*, ou de *Bambousaie Oxvtenanthera abvssinica*. Contournant les plateaux de Carnot-Gadzi, ce domaine suit l'escarpement jusqu'à l'ouest de Bouar, puis remonte jusqu'à Paoua. C'est un domaine propice aux céréales telles que le mil et le sorgho.

### 2.1.3.2. Evolution des superficies végétales

Dans l'Ouest de la Centrafrique, le Projet d'Aménagement des Ressources Naturelles estime qu'une famille paysanne défriche environ 0,5 ha/an ce qui libère entre 5 tonnes et 150 tonnes selon qu'elle se trouve en savane arbustive pauvre ou en forêt dense,

respectivement : soit 10 à 300 t/ha/an (PARN, 1994). Les coupes sont causées par les défrichements à des fins agricoles et de production de bois de feu. Le rythme de prélèvements de bois d'œuvre et de bois de service est en forte évolution. Les populations continuent d'utiliser les bois comme matériaux dans la construction et la fabrication divers objets et accessoires (pirogues, mortiers, pilons, etc.).

Les superficies concédées à l'exploitation forestière concernent le massif forestier de la Lobaye, Sangha et Mambéré et sont estimées à 1.761.506 hectares en 1997 réparties entre une quinzaine de sociétés forestières dotées d'unités de transformation. La superficie attribuable du domaine forestier productif accessible est estimée à 2.985.000 ha ; mais selon WRI (2010), il reste 1.200.000 ha disponible en termes de production forestière.

Les essences dites de valeur (Sapelli, Sipo, Aniéngré) sont destinées à l'exportation sous forme de grumes tandis qu'une partie de la production est transformée. L'exploitation forestière est désormais régie par un nouveau code forestier mis en application en 1990. Ce code prévoit l'octroi pour une durée indéterminée d'un type de permis dit Permis d'Exploitation et d'Aménagement de superficie pouvant atteindre 300.000 ha par concession forestière, et rend l'exploitant responsable de l'aménagement de la forêt.

Les plus graves menaces qui pèsent sur les forêts ouest-centrafricaines sont la pression démographique urbaine, la crise économique, la pauvreté, l'agriculture itinérante sur brûlis, et les feux de végétation. L'exploitation forestière ouvre l'accès à la colonisation des zones jadis inhabitées et facilite les défrichements intensifs des forêts grâce à l'introduction de tronçonneuses et au développement des professionnels de l'exploitation du bois (Figure 12). Le recul de la forêt dense humide autour de Bangui a été estimé à 1200 ha/an entre 1982 et 1989 et de 2400 ha/an entre 1989 et 1992 (PARN, 1994 et Ouessebanga, 2009). Ce processus devra se poursuivre sinon s'accélérer sous l'effet conjugué des causes illustrées supra.

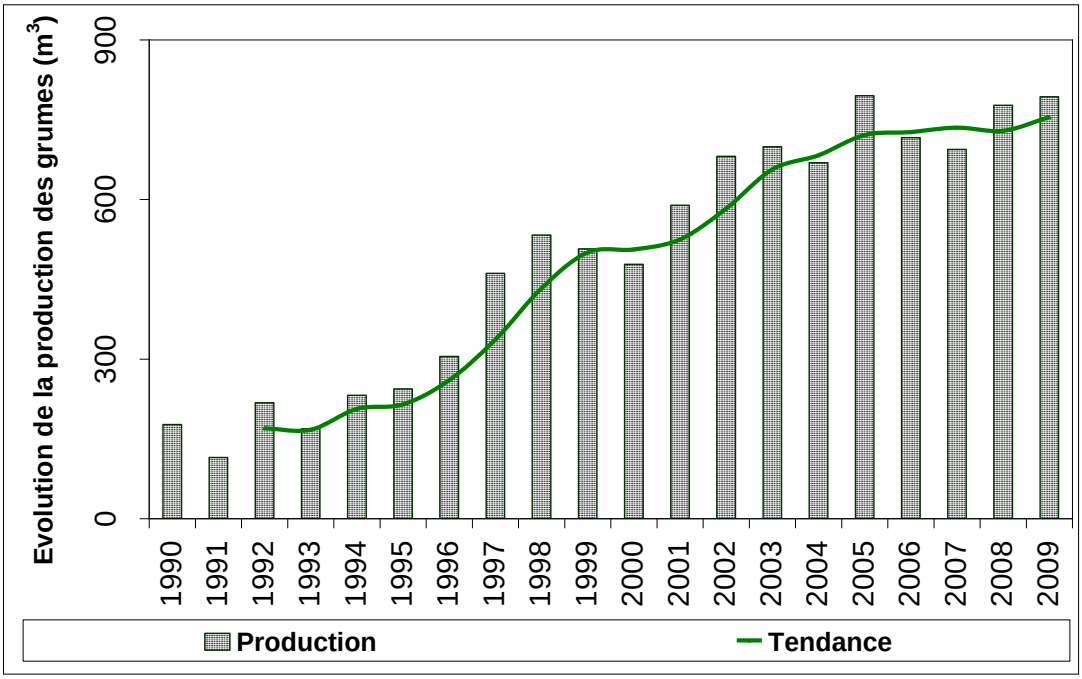



**Figure 12.** *Evolution de la production des grumes de 1990-2009*

**Source des données :** CDF, 2010

A l'exclusion des concessions forestières et des zones protégées, l'accès à la terre est libre. La disponibilité en ressources forestières et la densité relativement faible de la population (19 habitants/km$^2$) indiquent que l'accès de la population aux ressources forestières ne pose pas de problème majeur, si cela ne se fait dans les limites des aires soustraites à toutes activités humaines. En effet, un problème d'utilisation conflictuelle fréquent dans l'Ouest de la Centrafrique est la recherche des sols fertiles dans les limites des parcs et réserves.

En somme, les formations végétales dans la région d'étude sont modifiées et les zones agricoles se déplacent du fait de la pratique d'une agriculture itinérante de la dégradation des terres agricoles. Ces mutations entraînent de fait, une destruction de la végétation naturelle. Le sol est profondément transformé : appauvrissement en matière organique, en éléments fertilisants, parfois aussi en éléments fins, dégradation de la structure, extension de l'érosion. Après la culture, toutes ces transformations, jointes à l'effet destructeur des feux courants de forêts et de brousse, empêchent un retour à l'équilibre éco-édaphique.

Selon Bigot (1997), dans les régions tropicales forestières où les surfaces forestières sont très étendues et sensibles aux états de surface (exploitations agricoles…), et dont l'humidité atmosphérique a une origine continentale marquée, l'augmentation des surfaces sèches provoque une hausse des températures de l'air par transfert de chaleur. La diminution de la couverture forestière, qui absorbe naturellement du gaz carbonique contenu dans l'atmosphère et contribue à l'augmentation de la teneur atmosphérique de ce gaz à effet de serre (Sultan et *al*., 2001). La planche 1 donne un aperçu de quelques aspects du paysage agraire dans l'Ouest de la Centrafrique.



***a***) Labour dans une savane herbeuse à Ndjo (Bossangoa) ***b***) Riz dans une savane arbustive à Marali (Bouca)



***c***) Champ dans une forêt dense humide à Mbikpi (Nola) ***d***) Champ dans une forêt semi-décidue à Bérah (Boali)

**Planche 1**. Quelques aspects du paysage agraire dans la région d'étude

**Prises de vue :** *Doukpolo, Septembre et Octobre 2011*

### 2.1.4. Contexte géoclimatique

Il s'agit ici premièrement de rappeler les dispositions moyennes du climat centrafricain, les centres d'action et les mécanismes générateurs des ambiances climatiques. Deuxièmement de décrire et d'analyser les trames climatiques dans la région d'étude.

### 2.1.4.1. Dispositions moyennes du climat centrafricain

La continentalité et la situation en latitude agissent sur les éléments du climat et font de la Centrafrique un pays intertropical avec deux saisons - sèche et humide - qui s'alternent à durée variée et contrastée. Le climat centrafricain a fait l'objet de nombreuses études à la fin du siècle dernier. Cependant, il est important de rappeler les principaux mécanismes physiques générateurs.

Les flux, centres d'action, mécanismes générateurs des ambiances climatiques aux latitudes centrafricaines, en l'occurrence dans l'Ouest de la Centrafrique dépendent du système climatique de l'Afrique Tropicale. Ils sont déjà bien connus, puisqu'ils ont été largement décrits et expliqués par nombre d'auteurs, notamment Aubreville (1948), Sillans (1958), Goulée (1964), Pagney (1976), Leroux (1983), Dhonneur (1985), Suchel (1987), Franquin et *al*. (1988); Boko (1988) ; Samba-Kimbata (1991) ; Perard et *al*. (1991) ; Bomba (1999) et Ndjendolé (2001).

La circulation atmosphérique générale en Afrique Centrale est sous la dépendance étroite de deux centres d'action anticycloniques hémisphériques (Sainte-Hélène au sud, Egypto-Libyen et Açores au nord) qui, au cours de l'année, agissent sur les saisons pluviométriques. Deux masses d'air d'origine et de caractère différents sont en action, la circulation de mousson et l'harmattan que Demangeot (2005) qualifie de «*mousson continentale* » (Figure 13).

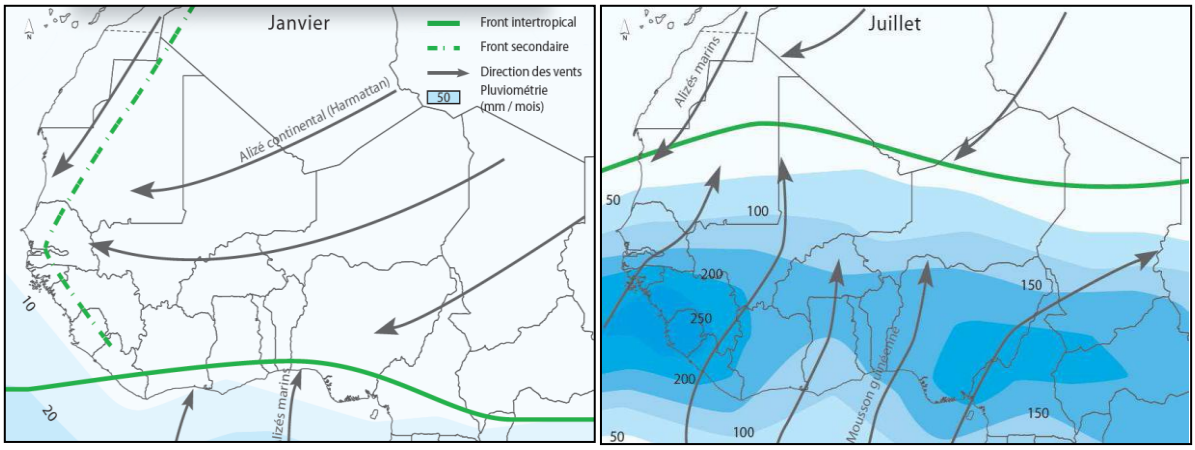



**Figure 13.** *Flux (harmattan/mousson) et position du FIT (Janvier et Juillet)*
**Source**: *African Centre of Meteorological Applications for Development et* IRI (2007)

La prédominance ou la défaillance de l'un ou l'autre de ces mouvements ascensionnels modifie la typologie des régimes pluviométriques. Il apparaît que les conditions pluviogéniques sont en majeure partie sous le contrôle de l'océan Atlantique sud qui se trouve être la source principale de la vapeur d'eau. Celle-ci, par advection, renvoie le flux des hautes pressions de Sainte-Hélène, qui va donner après condensation, l'essentiel des précipitations aux latitudes centre et ouest africaines. De façon générale, trois systèmes pluvieux majeurs se rencontrent en Centrafrique. Dans l'ordre de leur importance, ce sont les pluies de mousson, les perturbations de lignes de grain et les cellules thermo-convectives locales :

- les **pluies de mousson** constituent la plus importante forme des perturbations enregistrées. Conditionnées par les FIT, elles sont dues à la migration de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Le balancement annuel du FIT suivant le déplacement des anticyclones détermine le rythme des saisons pluviométriques. Soixante pourcent (60 %) des pluies y sont concernées (Bomba, 1999) ;
- les **pluies de lignes de grains** provoquées par des ondes dépressionnaires dans les vents d'est équatorial, sont formées d'orages soudés dont le noyau de perturbation est constitué de cumulo-nimbus à grand développement vertical (Dhonneur, 1985). Selon la Direction de la Météorologie Nationale de la RCA, ces lignes de grains se déplacent d'est en ouest à une vitesse relative de 80 km/h et leur progression en Centrafrique vers le nord-ouest est moins sélective à l'égard des inégalités orographiques ;
- les **pluies thermo-convectives** dépendent des facteurs locaux tels que le manteau forestier de Mambéré-Kadéï et de la Sangha, le massif de Yadé aux environs de Bouar, les chaines collinaires de Daou Bas-Kassaï (vers Landjia à Bimbo) et le dôme de Bossembélé. Ce type de pluies est engendré par les mouvements ascendants de l'air, générant des amas nuageux de type cumulo-nimbus dont le noyau actif peut atteindre 7 km de diamètre (Ndjendolé, 2001). L'analyse des précipitations en Centrafrique aboutit à une étroite dépendance de la pluviosité vis-à-vis des centres d'action anticycloniques et des facteurs géographiques locaux.

### 2.1.4.2. Trames climatiques

Les températures moyennes annuelles se situent entre 24 °C à Bouar et 27 °C à Kabo. La plus grande partie du territoire étudié reçoit plus de 1000 mm de précipitations par an. Seule la zone soudano-sahélienne autour de Markounda et Kabo reçoit moins de 900 mm (Doukpolo, 2007). D'après le schéma de zonage agroécologique proposé par Aubreville (1948), repris par Ndjendolé (2001) et Kembé (2007), l'Ouest de la Centrafrique est caractérisé globalement par quatre (4) types de climats qui sont (*i*) guinéen-forestier, (*ii*) soudano-guinéen, (*iii*) soudano-oubanguien et (*iv*) soudano-sahélien :

- le **climat guinéen-forestier** couvre la partie sud-ouest de la Centrafrique. On y compte neuf mois de saison de pluies et trois mois de saison sèche. La moyenne annuelle des précipitations est supérieure à 1500 mm ;
- le **climat soudano-guinéen** occupe une bande qui va de Baboua à la frontière camerounaise. Il est caractérisé par sept mois de saison de pluies (avril à octobre), un mois d'intersaison (novembre) et quatre mois de saison sèche (décembre à mars). La hauteur des précipitations varie spatialement de 1200 à 1500 mm/an ;
- le **climat soudano-oubanguien** est caractérisé par moins de six mois de saisons de pluies. La hauteur des précipitations varie de 1100 à 1300 mm par an. Ce domaine climatique abrite une végétation semi-décidue moins dense, suivant l'axe Koui-Bozoum-Bouca ;
- le **climat soudano-sahélien** s'étend au nord de la zone précédente, de la région de Paoua au nord-ouest vers Markounda à la frontière avec le Tchad méridional. Les hauteurs de pluies varient spatialement entre 700 et 900 mm par an. L'humidité relative a un régime plus contrasté et l'ensoleillement annuel plus important compte tenu de la position en latitude du pays. C'est le domaine de la savane à longue saison sèche.

A l'intérieur de chaque type, des microclimats peuvent être définis, généralement en fonction du régime des précipitations, de la durée de la saison des pluies et des facteurs géographiques. A mesure qu'on passe du climat guinéen-forestier où l'humidité est plus ou moins constante au climat soudano-oubanguien où les saisons pluvieuse et

sèche alternent assez nettement, la forêt ombrophile à espèces sempervirentes laisse progressivement place à des forêts dont le climax contient une proportion croissante d'arbres à feuilles caduques.

Les saisons et les types de climat sont des régulateurs par excellence du rythme des activités agricoles et du développement économique et social (Boko, 1988 ; Houndénou, 1999). Le sous chapitre suivant traite de ces aspects en mettant en exergue les pesanteurs socio-économiques et les tendances lourdes de la vulnérabilité des communautés paysannes dans l'Ouest de la Centrafrique.

### 2.2. Déterminants socio-économiques de la production agricole

La Centrafrique est l'un des pays pauvres très endettés de la planète (Banque Mondiale, 2011). C'est un pays instable, fragile et enfreins aux conflits armés récurrents. Cette situation est causée par des crises socio-politiques et militaires consécutives qu'elle a connues ces deux dernières décennies, et qui tendent à s'éterniser sans lendemain rassurant. Dans cette section, seront successivement présentées les caractéristiques démographiques, l'analyse des secteurs clés du poumon économique et l'inventaire des indicateurs socio-économiques de la vulnérabilité agricole dans l'Ouest de la Centrafrique.

#### 2.2.1. Caractéristiques et dynamique de la population

La comparaison des données du RGPH de 2003 à celles obtenues au RGPH de 1988, montre que la population résidente est en pleine croissance, enregistrant un accroissement global de 4,7 % par rapport à 1988. Cette évolution traduit un dynamisme certain de la population dans l'Ouest de la Centrafrique ; celle-ci est estimée à 1.688.654 habitants en 2003 et 2.308.359 habitants en 2010 (ICASEES, 2011), sur la base des taux d'accroissement intercensitaire. Les figures 14 et 15 présentent respectivement l'évolution de la population par préfecture selon les résultats des RGPH de 1988, 2003 et 2010 (projection) et les taux d'accroissement intercensitaire par sous-préfecture entre 1988 et 2003 dans la région d'étude.

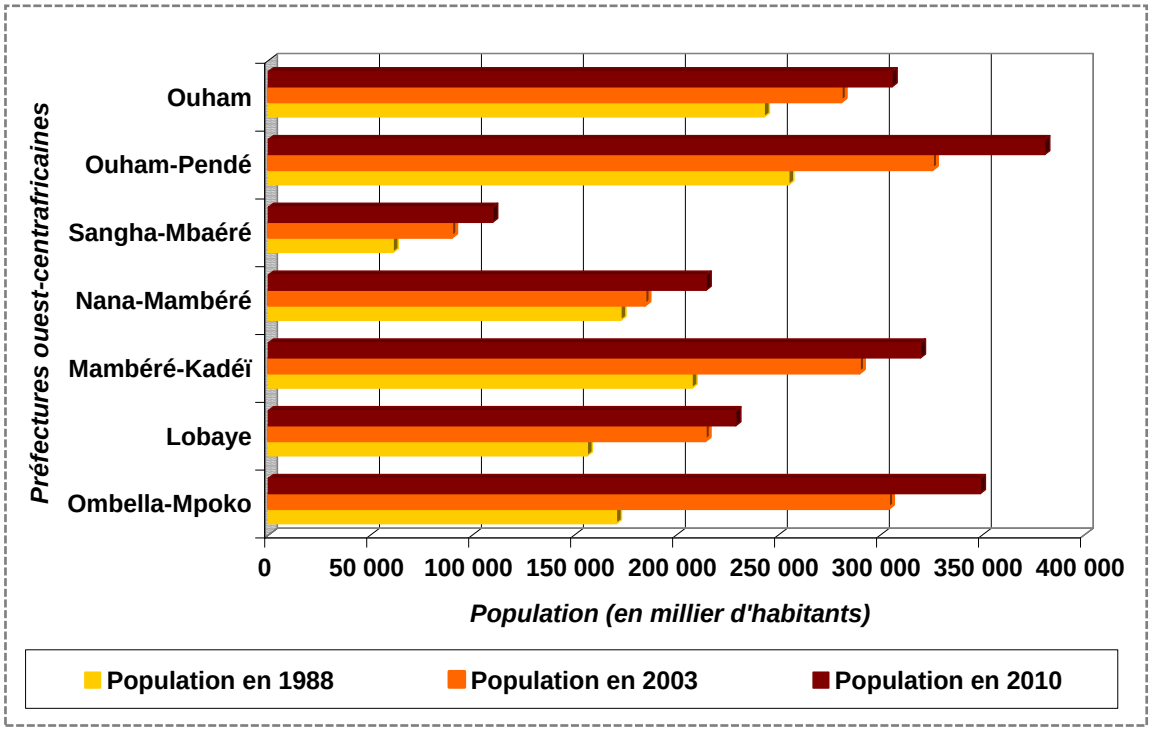



**Figure 14.** *Evolution de la population par préfecture dans la région d'étude*

**Source :** ICASEES, 2011

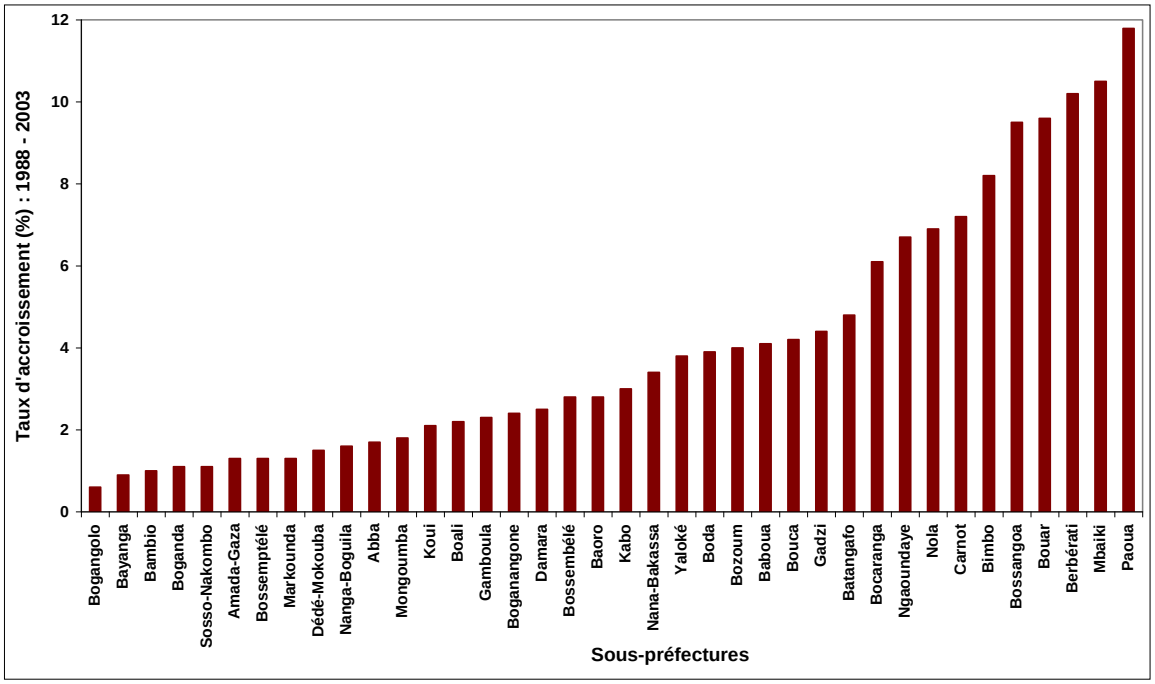



**Figure 15.** *Taux d'accroissement intercensitaire des sous préfectures de la région d'étude*

**Source :** ICASEES (2011). *Données traitées sur la base du* RGPH (2003)

L'examen de la figure 14 montre que la population évolue de façon disproportionnée. Selon les sous préfectures, elle est de 6676 habitants à Bogangolo et de 120.590 habitants à Paoua en 2003 ; de 75.952 habitants à Nola et 217.754 à Paoua habitants en

2010 (ICASEES, 2011). La figure 15 indique que le taux d'accroissement le plus bas est observé à Bogangolo (0,85 %) et le plus haut est à Paoua (11,91 %). Ces taux d'accroissement intercensitaire sont fortement variés en raison de l'influence de la fécondité, de la mortalité, des mouvements migratoires et particulièrement de l'inégale répartition de la population (Figure 16).

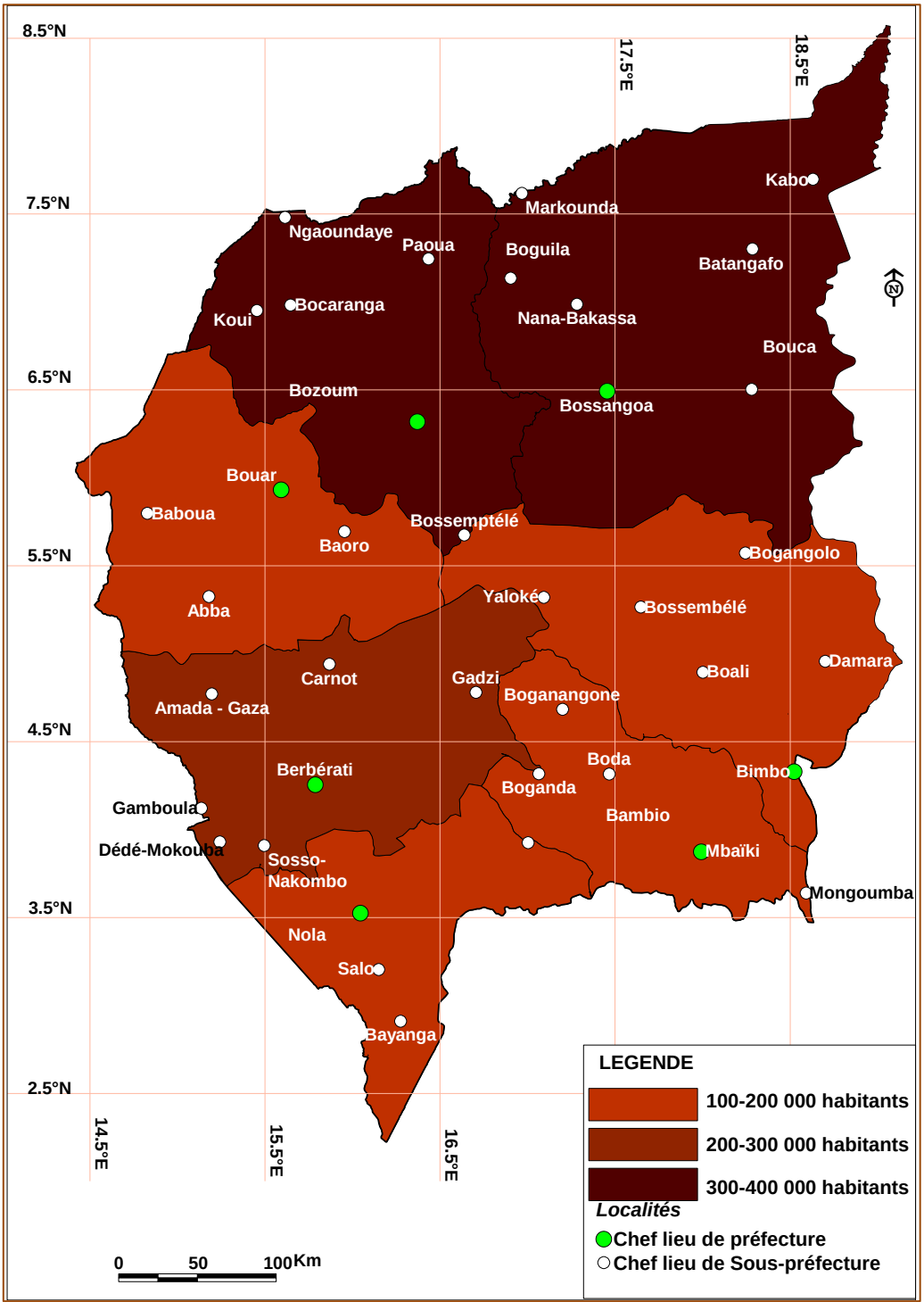



**Figure 16.** *Répartition de la population dans la région d'étude*
**Source :** LACCEG, 2011

Les grandes agglomérations telles que Berbérati, Bouar, Bossangoa, Mbaïki et Paoua ont le potentiel humain le plus élevé et par conséquent les plus fortes demandes en terres agricoles. Ces cinq localités totalisent en elles seules 45 % de la population totale de la région d'étude. La concentration humaine s'observe également au niveau de nouveaux pôles d'attraction que sont les communes minières telles que Gadzi, Boda, Mambélé, Yaloké, Bossembélé.

L'inégale concentration humaine dans l'Ouest de la Centrafrique expliquerait la variation spatiale de la densité et conséquemment de la pression sur les ressources en terres agricoles. Elle est en moyenne 19 habitant/km² avec une variation spatiale de 10 à 35 habitant/km² en 2010. L'inégale densité de population permet de déterminer les secteurs sous forte emprise d'exploitation des ressources naturelles, notamment celles liées aux activités agricoles.

La projection de la population (Figure 17) montre une forte occupation humaine et conséquemment l'augmentation de la charge humaine de l'occupation des sols agricoles. La population doublera en 2025 (5.300.000 habitants) par rapport aux données de 2010 et présage des pratiques agricoles plus accrues afin de satisfaire la demande exponentielle en denrées alimentaires dans la région d'étude.

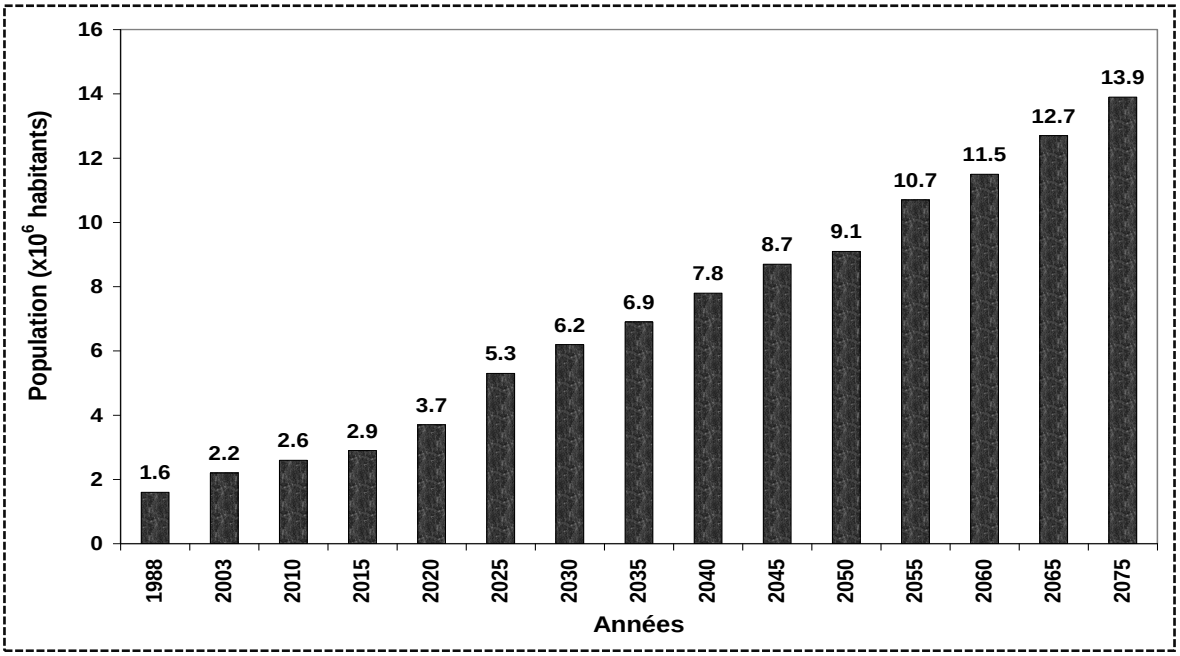



**Figure 17.** *Situation actuelle et projections démographiques (population) aux horizons 2015-2075*

**Source** : ICASEES (2011), *données traitées sur la base des* RGPH, 1988 et 2003

### 2.2.2. Activités économiques et indicateurs de vulnérabilité

Trois aspects sont analysés dans cette section : les secteurs d'activités économiques, les indicateurs de la vulnérabilité des populations et les contraintes structurelles.

#### 2.2.2.1. Secteurs d'activités économiques

La population ouest-centrafricaine est à 77 % rurale et vit de l'agriculture, de l'élevage, des mines et du commerce. L'agriculture, principalement de subsistance, représente plus de 90 % du secteur primaire (Figure 18). Elle est axée essentiellement sur les cultures vivrières (riz, maïs, sorgho/mil, arachide, manioc, sésame, courges, melon, etc.), les cultures maraîchères (tomate, aubergine, piment, gombo, divers légumes etc.) et les agrumes (mangue, orange, citron, ananas, papaye, etc.).

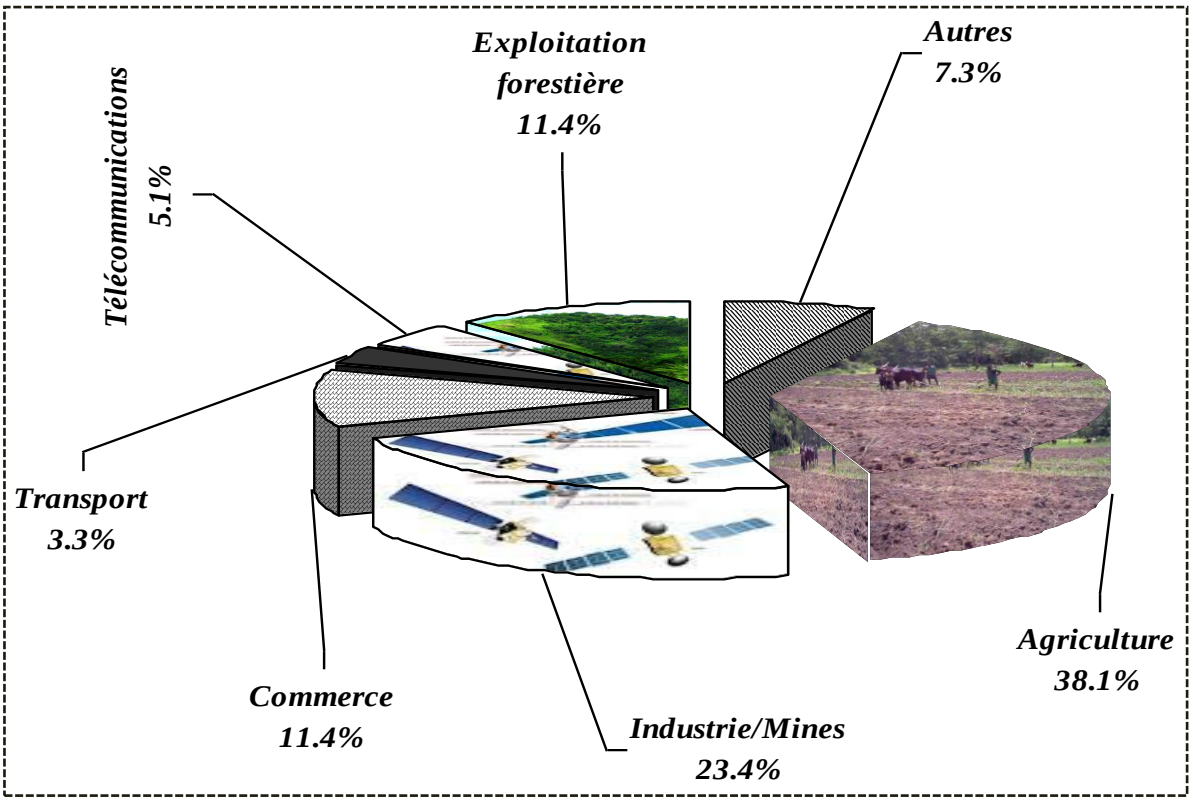



**Figure 18.** *Répartition en % des secteurs d'activités économiques dans la région d'étude* (1985-2010)

**Source :** *ICASEES* (2011) *et Enquêtes de terrain* (2012)

Les hautes terres dites du nord-ouest (Bozoum, Paoua, Bocaranga, Bouar et Baoro) sont bien connues pour être favorables à une bonne production agricole car, les hauteurs de pluies sont relativement abondantes (Ndjendolé 2001), mais dans les basses terres à végétation steppique (Markounda, Kabo et Sido), les précipitations sont

irrégulières et les sols sont pauvres. Les zones subhumides de Berbérati et de Bossembélé, où la sécheresse commence à être un problème récurrent (Bakam, 2006 ; Doukpolo, 2007) restent encore propices à la culture des racines et des tubercules comestibles (manioc, igname, taro, patate douce, pomme de terre).

Avec près de 29 % en moyenne sur la période 1985-2010, la contribution de l'agriculture à la formation du PIB a été la plus importante (ICASEES, 2011). Il importe de souligner le poids de la production vivrière qui à elle seule représente en moyenne 27,1 % contre moins de 2 % aux cultures de rentes (coton, café, palmier à l'huile, etc.) qui par contre bénéficient de 80 % des investissements en faveur de l'agriculture. La performance de l'élevage (9 %) qui est l'une des principales activités du secteur primaire, mérite également d'être mentionnée. L'élevage, assez bien organisé, porte essentiellement sur le gros bétail (bovin), les petits ruminants (caprins) et les ovins. Cette activité est menée par les communautés peulhs. Ce sont des agro-éleveurs qui sont soit des éleveurs sédentarisés, soit des agriculteurs qui ont constitué des troupeaux de bovins intégrés à leurs exploitations agricoles.

Le secteur industriel est quasiment inexistant hormis les sociétés d'exploitation forestière, les unités agro-industrielles (égrenage du coton à Pendé et à Bossangoa) et les unités artisanales de transformation agroalimentaire (transformation d'amende de karité à Bossangoa, transformation du manioc à Damara, etc.).

Les activités commerciales sont caractérisées, en dehors des grandes villes, par des micro-entreprises marchandes individuelles où se pratique généralement le commerce de détail. Le commerce formel souffre de la concurrence du secteur informel et des pratiques déloyales de certains commerçants peu scrupuleux. Les marchés de Bouar, Paoua, Ndjo, Bouca, Bossembélé, Pissa, Boda constituent les lieux d'échange ou de collecte d'une grande quantité de produits agricoles qui, pour l'essentiel, sont convoyés vers les marchés de Bangui.

Les activités des différentes communautés sont liées directement ou indirectement à l'agriculture qui procure aux populations les produits alimentaires et des revenus nécessaires à la satisfaction de leurs besoins. Dans ce contexte, la vie socioéconomique

est fortement influencée par les déterminants de l'agriculture traditionnelle (topographie, sols et climat) qui y est prépondérante.

### 2.2.2.2. Lourdes pesanteurs et vulnérabilité des populations

En dépit des immenses opportunités de développement de l'économie rurale, les indicateurs clés du pays révèlent une situation nationale d'une extrême précarité, nécessitant des interventions d'urgence (PNUD, 2009). Les données sur le profil du pays indiquent un effondrement de l'application des lois dans tous les domaines, notamment, les institutions environnementales, socioéconomiques et communautaires. Le niveau de pauvreté reste un défi très important pour le pays eu égard à la mobilisation nationale afin de peser sur les déterminants de ce phénomène, dont les racines sont profondes.

En effet, dans un contexte général chargé de lourdes pesanteurs (fragilité du processus de relèvement post-conflit, conflits armés récurrents, contraintes financières fortes, ampleur des déficits dans de nombreux secteurs, effets des chocs exogènes successifs, etc.) les actions entreprises par l'ensemble des acteurs de la première stratégie nationale de la réduction de la pauvreté et évaluées de manière indépendante, laissent conclure que des avancées ont été enregistrées dans certains secteurs, sans toutefois réduire la pauvreté. Les indicateurs présentés ont été analysés par la BM/FAO (2009), dans le cadre du rapport sur la situation macroéconomique et de la sécurité alimentaire au niveau national. Ils sont d'ordre démographique (Tableau IX), social, économique et environnemental.

**Tableau IX.** Synthèse des indicateurs démographiques

| | | |
|---|---|---|
| **Indicateurs** | Indice synthétique de fécondité : NME par femme 15-49 | 5,1 |
| | Taille des ménages | 5,9 |
| | Proportion de la population agricole dans la population active (%) | 80,0 |
| | Population vivant en dessous du seuil de pauvreté (%) | 67,2 |
| | Espérance de vie (année) | 45,1 |
| | Mortalité maternelle (‰) en 2003 | 13,6 |
| | Mortalité infantile (‰) en 2003 | 132 |
| | Proportion de femmes parlementaires sur 108 députés (%) en 2010 | 7,4 |
| | Proportion de femmes chefs d'entreprise (%) en 2003 | 5,1 |
| | Proportion des éleveurs pratiquant la transhumance (%) | 8,3 |

**Source :** ICASEES, 2010

De faibles taux d'alphabétisation des femmes et des taux élevés de mortalité infantile caractérisent les populations rurales dont la situation est précaire et chez lesquelles les infrastructures éducationnelle et sanitaire sont insuffisantes voire inexistantes (Tableau X) : deux conditions essentielles pour un vigoureux développement rural. Le nombre élevé de réfugiés internes dans la région d'étude est le signe d'une instabilité politique accrue et géoclimatique potentielle.

**Tableau X.** Synthèse des indicateurs sociaux

| | | |
|---|---|---|
| **Indicateurs** | Taux de prévalence du VIH (population âgée 15-49) en 2006 (%) | 11,0 |
| | Prévalence de l'insécurité alimentaire des ménages ruraux en 2009 (%) | 60,5 |
| | Accès à l'eau potable de la population rurale en 2003 (%) | 51,2 |
| | Accès à l'assainissement de la population en 2003 (%) | 5,3 |
| | Taux brut de scolarisation au primaire en 2009 (%) | 68,7 |
| | Taux net de scolarisation au primaire (%) | 40,7 |
| | Ratio filles/garçons au primaire (%) | 83,0 |
| | Taux d'analphabétisme des personnes de 10 ans et plus en 2009 (%) | 51,4 |
| | Indice de Pauvreté Humain (%) | 47,7 |

**Source :** ICASEES, 2010

Dans l'Ouest de la Centrafrique 72 % des populations vivent en dessous du seuil de pauvreté, avec moins d'un dollar par jour, dont 57,3 % sont concernés par la pauvreté alimentaire et où 4 enfants sur 10 souffrent de malnutrition sévère, selon un rapport de la FAO publié en août 2012 (Tableau XI).

**Tableau XI.** Synthèse des indicateurs économiques

| | | |
|---|---|---|
| **Indicateurs** | Indice de la pauvreté globale en milieu rural des ménages (%) | 72,0 |
| | Indice de la pauvreté globale en milieu urbain des ménages (%) | 69,0 |
| | Taux de croissance des investissements publics (%) en 2009 | 16,0 |
| | Taux de croissance des investissements privés (%) en 2009 | 3,4 |
| | Taux de pauvreté (insécurité) alimentaire (%) | 57,3 |
| | Taux de croissance du secteur primaire (au PIB) en (%) 2008 | 1,8 |
| | Contribution du secteur primaire (au PIB) en 2009 (%) | 56,6 |
| | Contribution du secteur agricole aux recettes d'exportation en 2009 (%) | 43,0 |
| | Contribution de l'élevage (au PIB) en 2009 (%) | 12,8 |
| | Part du budget de l'Etat alloué au secteur agricole en 2010 (%) | 3,2 |

**Source :** ICASEES, 2010

La RCA occupe le 169ème rang mondial sur 175 pays en 2010 dans le domaine de la performance économique. Le PIB par habitant, qui se trouve parmi les plus faibles, décroît d'année en année. En 2005, il est estimé à environ 350 $US, alors que la moyenne observée sur le continent africain était de 1250 $US. La contribution du secteur primaire au PIB en 2009 était de 56,6 %. Le secteur agricole a contribué aux recettes d'exportation pour 43 % en 2009, mais l'Etat a alloué un faible budget évalué à 3,2 % en 2010. Le tableau XII présente la synthèse des indicateurs environnementaux de la production agricole.

**Tableau XII.** Synthèse des indicateurs environnementaux

| | | |
|---|---|---|
| **Indicateurs** | Taux de dégradation des terres cultivables en % | 3,1 |
| | Taux annuel de déforestation (2010) en % | 1,4 |
| | Taille moyenne des exploitations agricoles par ménage (ha) en 2005 | 4,8 |
| | Proportion de terres fertiles non exploitées (millions ha) | 1,7 |
| | Taux de progression de la savanisation an par % | 0,4 |
| | Emission du $CO_2$ par habitant en tonnes métriques (2007) | 0,3 |

**Source :** ICASEES, 2010

Les populations vulnérables comprennent les petits exploitants agricoles dont les ressources sont insuffisantes, les manœuvres ruraux sans terre et les citadins pauvres contraints de retourner à la campagne (néo-ruraux). Les populations rurales sont directement touchées par les aléas climatiques. Ainsi, on peut noter que la pression démographique, la diminution des investissements agricoles et la hausse des prix des denrées ont un effet direct sur le potentiel productif agricole.

#### 2.2.2.3. Contraintes structurelles et socio-sanitaires de la production agricole

Parmi les facteurs exogènes au climat qui déterminent la faiblesse des performances du secteur agricole et l'aggravation de la pauvreté en milieu rural, il faut retenir :

- une désorganisation et une faible capacité des structures d'appui au monde rural ;
- l'enclavement et le manque d'infrastructures économiques et sociales de base ;
- le non (faible) accès au crédit agricole ;
- l'absence d'une politique de diversification des sources de revenus des populations ;

- la réduction de la force de travail due à l'exode des jeunes ;
- la discrimination envers les femmes ;
- l'impact du paludisme, des infections respiratoires aiguës (IRA) des affections gastro-intestinales (AGI) et de l'ampleur de la pandémie du VIH/SIDA.

De par son étalement en latitude, 02° 16' et 08° 35' N, son gradient climatique, sa variété biogéographique et sa diversité ethnique, l'Ouest centrafricain offre une image représentative des systèmes de culture locaux, des pratiques adoptées et de leurs conséquences environnementales. Les faciès géographiques introduisent des nuances dans les systèmes de culture et, croisés avec d'autres paramètres comme la répartition de la population en groupes ethniques, les bassins agricoles et la nature des sols, permet de définir quatre zones agroécologiques qui se différencient par leurs cultures et leurs pratiques agricoles.

# CHAPITRE III
# SECTEURS AGROECOLOGIQUES ET SYSTEMES DE CULTURES

Ce chapitre aborde les différents secteurs agroécologiques du milieu d'étude et présente les systèmes de culture développés dans chacun de ces secteurs. L'importance des facteurs de production et l'évolution des paramètres agricoles y sont également analysées.

## 3.1. Secteurs agroécologiques

L'objectif est d'étudier la dynamique de l'organisation et du fonctionnement des exploitations agricoles familiales, dans l'optique de faciliter la prise en compte de la vision et des stratégies paysannes dans l'élaboration des politiques agricoles. Pour ce faire il est indispensable, entre autres démarches, de caractériser au plan socio-économique et technique les exploitations agricoles familiales, et de faire une analyse des niveaux de production et de revenus des exploitations.

En effet, les gradients pluviométriques dans la région ouest-centrafricaine oscillent oscille entre 900 mm en domaine soudano-sahélien au nord et 1800 mm en domaine guinéen-forestier au sud. Ceci induit une très large diversité de systèmes de culture en fonction des opportunités de développement des cultures potentiellement rentables. Dans ce contexte, la configuration climatique moyenne est la principale source de variation des niveaux de production et détermine le choix des cultures à privilégier dans les exploitations agricoles.

Dans la région d'étude, on peut identifier quatre (4) zones agroécologiques (Figure 19) qui serviront de cadre d'identification et d'analyse des principaux systèmes de production :

- la zone agroécologique guinéenne forestière ;
- la zone agroécologique soudano-oubanguienne ;
- la zone agroécologique soudano-sahélienne ;
- la zone agroécologique sahélienne.

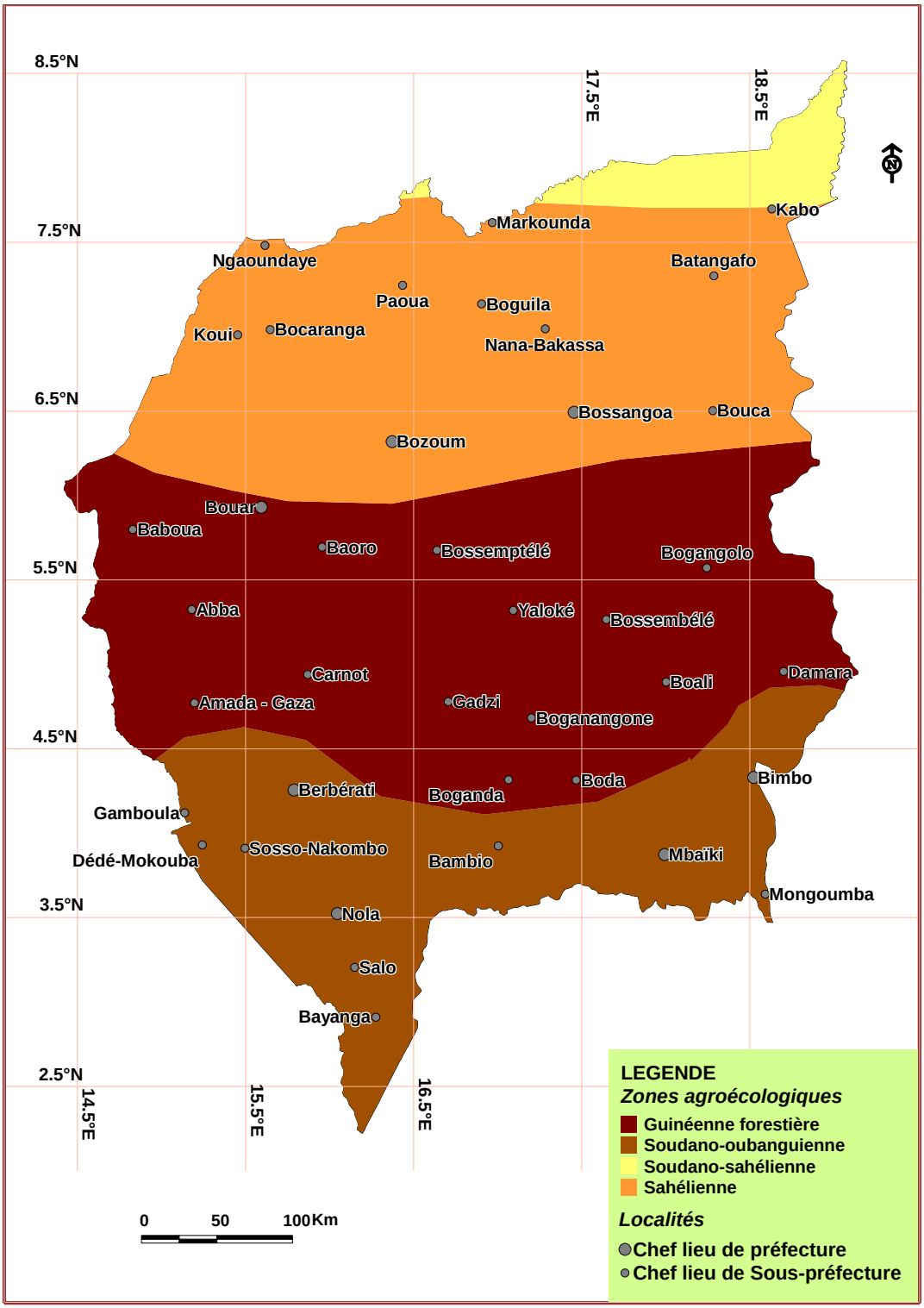



**Figure 19.** *Zones agroécologiques dans l'Ouest de la Centrafrique*
**Source :** LACCEG, 2011

Dans ces zones agroécologiques, les systèmes de culture sont extensifs et essentiellement pluviaux, tenus par les unités agricoles individuelles (fermes familiales) et/ou par les propriétés collectives (groupements d'intérêts ruraux) valorisées grâce à des techniques manuelles ou partiellement mécanisées.

En effet, dans l'Ouest de la Centrafrique, les exploitations agricoles dominantes sont de type familial. Les pratiques culturales sont traditionnelles et reposent sur un assolement biennal ou triennal avec, chaque année, la même succession des opérations culturales : nettoyage des champs par le feu, travail préparatoire réduit et effectué à l'aide d'outils aratoires rudimentaires, un ou plusieurs semis auxquels succèdent deux ou trois sarclages ou sarclo-buttages.

L'agriculture céréalière pluviale, largement prédominante avec le manioc, doit faire face aux contraintes climatiques (déficit ou excédent pluviométrique et variabilité des pluies), qui se traduisent par la récurrence des mauvaises récoltes. Les pratiques culturales concernent l'ensemble des opérations de préparation du sol, de semis et leurs modalités concrètes de réalisation (outillage, doses d'intrants) et leurs logiques dans le temps (itinéraires techniques).

En effet, les différences ethniques, sociétales, foncières, climatiques et morpho-pédologiques introduisent toutefois une diversification des systèmes de culture. Chacune des zones agroécologiques se définit donc par une unité biogéographique et par des systèmes de culture caractéristiques, reposant sur la place relative des activités agricoles, sur l'introduction ou non d'une variété de culture, sur le niveau technique des exploitants, sur la succession d'opérations culturales et sur l'adoption de pratiques et d'aménagements anti-érosifs.

En fonction des zones agroécologiques et des perceptions des communautés paysannes, les pratiques culturales peuvent tenir compte de facteurs naturels (données climatiques et pédologiques, conditions environnementales) et anthropiques (politiques gouvernementales, droit foncier et appartenance ethnique des exploitants, introduction d'une culture de rente, formation, éducation, disponibilité en terres et en équipements).

D'après l'Institut Centrafricain de Recherche Agronomique (ICRA, 2009), le matériel agricole (nature, qualité et densité) et le niveau de mécanisation sont très faibles (17 %) ainsi que le niveau d'utilisation des intrants (24,6 %). L'analyse des bassins vivriers de production (Figure 20) s'appuie pour l'essentiel sur la typologie des systèmes de culture et les tendances d'orientation.

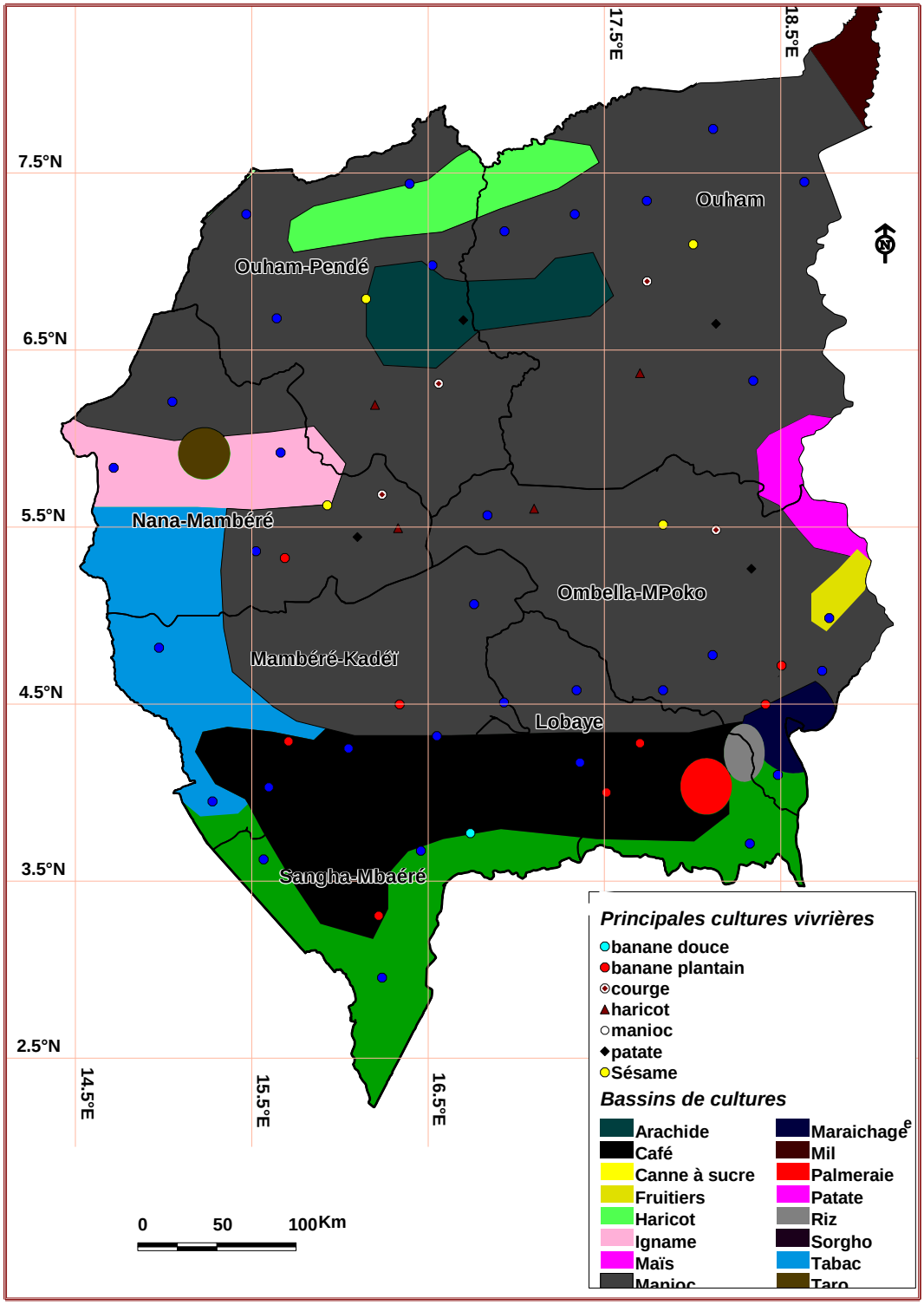



**Figure 20.** *Bassins vivriers de production des cultures*
**Source :** LACCEG, 2011

### 3.2. Systèmes de cultures

Au sein d'une unité de production, l'agriculteur pratique un système de production, qui peut être défini comme une combinaison des productions et des facteurs de production (capital foncier, travail et capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole (Mémento

de l'agronome, 2002). Dans ce contexte, l'étude du système de production s'intéresse donc au fonctionnement de l'exploitation agricole, vue sous l'angle d'une combinaison organisée, plus ou moins cohérente, de divers sous-systèmes productifs : systèmes de culture, systèmes de transformation etc. Avant d'analyser le fonctionnement global de l'exploitation agricole, il s'avère nécessaire de préciser la typologie des systèmes de culture et de caractériser leurs ensembles constitutifs, car une exploitation agricole peut comporter un ou plusieurs systèmes de culture et de transformation (Dufumier, 1996 et Vopéyandé, 2010).

Les objectifs et motivations du cultivateur sont les plus déterminants dans la dynamique d'un système de production donné. Lorsque interviennent des changements dans les conditions naturelles (sécheresse) ou dans les facteurs exogènes (marché), l'exploitant adapte son système de production agricole en fonction de certaines alternatives économiques stratégiques en vue de : (*i*) ajuster les ressources, notamment en main d'œuvre, en terres, etc. (*ii*) réduire la vulnérabilité de la famille aux déficits de production par exemple ; (*iii*) compléter les productions et les revenus. Dans la région d'étude, les alternatives économiques stratégiques sont planifiées en fonction de : (*i*) conditions naturelles environnantes ; (*ii*) potentialités agroécologiques locales ; (*iii*) besoins alimentaires et autres de l'exploitation ; (*iv*) opportunités économiques ; (*v*) habitudes socio-culturelles.

Ainsi, les ajustements opérés par l'exploitant agricole représentent une manière d'adaptation à un environnement naturel et économique incertain. Un ou plusieurs éléments/facteurs du système prennent le pas par rapport aux autres selon les conditions agroécologiques, socio-économiques et culturelles du milieu. En particulier, ce ne sont pas toutes les activités agricoles qui sont techniquement viables partout et la plupart d'entre elles prennent en compte des habitudes alimentaires et possibilités d'écoulement de la production.

Les caractéristiques écologiques des différentes parcelles, leur statut foncier et leur éloignement, proximité du siège de l'exploitation sont des éléments importants que l'agriculteur prend en compte dans le choix des cultures pratiquées. Les travaux de ICRISAT (1995), de Vopéyandé et *al*. (2006) et de Kadékoy-Tigagué (2010) ont

abouti à une matrice de typologie des systèmes de culture dont les principales composantes sont intégrées dans les modes de gestion de la fertilité des sols et des cultures (variétés, intrants, rotation et travail du sol). Quatre (4) grands systèmes de culture se distinguent dans l'Ouest de la Centrafrique, avec des spécificités agro-anthropologiques : système de culture du domaine sahélien, système de culture du domaine soudano-sahélien, système de culture du domaine soudano-oubanguien et système de culture du domaine guinéen forestier.

### 3.2.1. Système de culture du domaine sahélien (pays *kaba-dagba*)

Cette zone agroécologique est définie par des hauteurs de précipitations moyennes annuelles comprises entre 600 et 900 mm. Les écosystèmes présents sont caractéristiques des zones de transition et concernent les communes de Kabo, Sido, Ouaki et Markounda. La végétation est caractérisée par la présence des savanes claires et arborées fortement dégradées sous l'effet des caprices climatiques et de l'extension agricole. L'agriculture y est pratiquée, surtout les céréales pures ou en association avec les légumineuses (Planche 2). Dans les zones plus humides des vallées, des activités importantes de maraîchage et d'arboriculture sont développées.



**Planche 2.** Champ de Sorgho à Sido après levée (*gauche*) et phase de maturité à Ouaki (*droite*) dans la préfecture de l'Ouham
**Prises de vue** : *Doukpolo, juin et novembre 2011*

### 3.2.2. Système de culture du domaine soudano-sahélien (pays *Gbaya-Souma*)

C'est le système de culture de type pluvial mixte (*agro-pastoral*) de saison des pluies relativement courte qui prédomine dans la zone agroécologique soudano-sahélienne et concerne les régions de Bouca, Bossangoa, Koui, Bozoum, Paoua et Ngaoudaye dans le septentrion. Les productions agricoles se distinguent par la prédominance des

cultures vivrières de cycle court (niébé, mil, etc.). Les variétés de mil et sorgho cultivées sont respectivement de type *Pennisterm glaucum* et *Sorghum bicolor* (L). Ils sont plus cultivés et constituent la base alimentaire des populations. Le mil ou le sorgho est généralement cultivé en "monoculture" ou parfois en association avec le niébé.

L'utilisation de variétés locales prédomine, notamment *Sorghum bicolor* (L) ou *Tele botanica* pour le sorgho (Planche 3). Ce système cultural est caractérisé par l'utilisation de la main d'œuvre familiale, des outils manuels, un faible accès au marché de consommation et une faible pression phytosanitaire.



**Planche 3.** Labour du champ par l'attelage à Paoua dans la préfecture de l'Ouham-Pendé (*gauche*) et champ de mil (*droite*) à Bouca dans la préfecture de l'Ouham

**Prises de vue :** *Doukpolo, mai et septembre 2011*

Le système, caractérisé par l'alternance des cultures et jachères longues est remis en cause aujourd'hui, sans que des alternatives évidentes existent ou soient à la portée des producteurs. Cela conduit à un appauvrissement des ménages ruraux, à une vulnérabilité accrue, au départ temporaire ou définitif des hommes valides vers des régions où ils pourront vendre leur force de travail. La zone soudano-sahélienne est aussi souvent délaissée par les politiques publiques car elle ne représente que de faibles enjeux économiques (absence de filières de rente). Mais à l'inverse, on constate que dans cette même zone, l'introduction de techniques agricoles (aménagements fonciers, irrigation, techniques de conservation des eaux et des sols) et la connexion avec des marchés porteurs vont contribuer à sa rentabilisation.

### 3.2.3. Système de culture du domaine soudano-oubanguien (pays *Gbaya-Mandja*)

Le système de culture de type pluvial mixte (*agro-pastoral)* de saison des pluies est assez longue : ce système est répandu en pays *Gbaya* et *Mandja*, notamment à Bossangoa, Bossemptélé, Bouar, Bozoum, Bouca et Damara où il est alterné avec le cotonnier. Les domaines soudanien et oubanguien représentent un énorme bassin arachidier et maïsicole. Les cultures du mil, du sorgho, du manioc, d'ignames, de courges et de melon sont aussi très représentatives. L'espace agricole est organisé en trois grandes zones concentriques (ICRA, 2009) : les zones de résidence, les zones de culture et les pâturages de plateau.

Autour des villages, dans une auréole d'étendue variable, le mil est cultivé en continu. Ce sont les champs de case ou « *Toua Fô* » (Planche 4). Ces parcelles reçoivent régulièrement des apports d'ordures ménagères.



**Planche 4.** Champs de case : Maïs à Baoro (*gauche*) et Manioc à Damara (*droite*)
**Prises de vue :** *Bertrand Doukpolo, août 2011*

En saison sèche, c'est aussi le lieu de parcage nocturne des animaux domestiques. Inversement, le terroir le plus éloigné, est exploité de façon extensive et assure l'interface entre la zone cultivée et la zone de parcours. Le terroir intermédiaire est celui où l'intensification proposée par la recherche est plus spécialement mise en œuvre avec plus de 60 % des parcelles défrichées (Vopéyandé, 2010).

Les plateaux et les vallées constituent aussi des sous-unités distinctes des zones de culture. Sur les plateaux par exemple, les champs sont disposés en auréole autour des habitations. Dans la terminologie locale, les différents types de sols sont identifiés selon leur localisation et l'ancienneté de la défriche. Les *Toua Fô* peuvent interférer

dans la cour des concessions et constituent le lieu de parcage en saison sèche qui bénéficie d'un apport substantiel en matière organique.

### 3.2.4. Système de culture du domaine guinéen forestier (pays *Ngbaka-Issongo*)

Le système est caractérisé par deux saisons culturales annuelles liées au régime bimodal des précipitations. Ce système cultural est de type pluvial mixte (agro-sylvicole) de moyenne à longue saison des pluies et dominé par une production agricole constituée de racines et de tubercules (manioc, taro, patate douce), de bananes, de maïs et des périmètres rizicoles de plus en plus vastes aux alentours de Sakaï, de Boyali, de Pissa et des méandres de la M'Poko (Planche 5).



**Planche 5.** Parcelle rizicole à Sakaï dans l'Ombella-M'Poko (*gauche*) et champ arachidier dans la commune de Basse-Batouri à Berbérati (*droite*)

**Prises de vue :** *Bertrand Doukpolo, juin et juillet 2011*

A cette production agricole s'ajoute celle de bois d'œuvre, des plantations de palmier à huile, d'ananas, de caféiers, de kolatiers et de cacaoyers (en phase d'expérimentation dans la Sangha-Mbaéré). C'est dans cette zone guinéenne que fonctionnent quelques unités agro-industrielles autour des cultures pérennes comme le café et le palmier à huile à l'exemple de l'huilerie du Centrapalm installée à Bossongo (Mbaïki).

En pays *Issongo* et *Mondjombo* aux franges des rivières Lobaye et Mbaéré, nombreux sont les cultivateurs itinérants qui défrichent de plus en plus la forêt secondaire ou semi-décidue, cultivant des terres pour produire des récoltes annuelles et laissant le plus souvent les champs se régénérer naturellement. Les parcelles ainsi cultivées ne nécessitent pas de soins intensifs. Quand la parcelle a épuisé ses réserves d'origine (2

ou 3 ans en moyenne), manquant de fumure, elle devient infertile et est mise en jachère d'une durée variable à moyen et long terme (5 à 10 ans).

### 3.3. Caractéristiques de l'agriculture dans la région d'étude

Deux caractéristiques de l'agriculture se distinguent dans la région d'étude comme dans la plupart des régions tropicales : la prédominance des cultures itinérantes sur brulis et les associations culturales (FAO, 2007) :

- la pratique des cultures itinérantes se justifie par la disponibilité des terres agricoles. Le feu reste le mode de défrichement le plus utilisé dans l'Ouest de la Centrafrique (Vopéyandé, 2010) ;
- dans l'Ouest de la Centrafrique, les associations culturales permettent d'exploiter les terres et l'économie de la main d'œuvre afin de pallier au problème du bouleversement des calendriers culturaux. Cette pratique se justifie aussi par la couverture permanente des sols pendant les périodes pluvieuses de l'année, par la minimisation des risques climatiques et la protection phytosanitaire. Cependant, ces associations réduisent alors la capacité du paysan à investir et constituent un handicap sérieux au développement de la culture attelée car elles n'offrent pas de possibilités d'usage de corps sarcleurs et butteurs pour les travaux d'entretien.

#### 3.3.1. Calendrier cultural et assolement

Le brûlis est la première étape majeure du calendrier cultural. Il intervient en saison sèche, de février à avril, après le sabrage, le défrichage (buissons, arbrisseaux, broussailles) et l'abattage ou l'élagage des arbres. Dans l'Ouest de la Centrafrique, la culture sur essarts ou écobuage est très répandue. Selon le type de végétation abattue, deux opérations pour l'essart se distinguent : l'essartage pionnier (abattage de vieilles forêts primaires de type climacique avec retour à la friche après épuisement des sols) et l'essartage cyclique (forêts secondaires, remaniées avec jachère en rotation).

Les différentes étapes du calendrier agricole suivent l'alternance climatique entre la saison sèche et la saison des pluies (Tableau XIII). Le semis et la plantation des cultures commencent en mars avec les premières pluies en domaine guinéen forestier. Les plantes cultivées varient suivant les communautés qui font pousser les cultures à cycle court dans les jardins de case et sur les berges des cours d'eau, de sorte que les

premières récoltes peuvent être effectuées entre avril et mai. Une deuxième et grande campagne de mise en culture se déroule en mai ou juin selon les zones climatiques. Cette phase concerne essentiellement les cultures à cycles court et moyen (maïs, arachide, etc.) qui seront récoltées trois à quatre mois plus tard. Durant la phase de croissance des cultures, les espèces invasives sont éliminées par le sarclage.

**Tableau XIII.** Calendrier agricole suivant l'alternance des saisons pluviométriques

| **Mois** | **J** | **F** | **M** | **A** | **M** | **J** | **J** | **A** | **S** | **O** | **N** | **D** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Saisons** | ***sèche*** | | | ***pluvieuse*** | | | | | | | | ***sèche*** |
| **Domaines soudano-sahélien et sahélien (*Septentrional*)** | | | | | | | | | | | | |
| Mil | | | | | | semis | | | | récolte | | |
| Sorgho | | | | | | semis | | | | récolte | | |
| Maïs | | | | | semis | | | récolte | | | | |
| Arachide | | | | | semis | | | | | récolte | | |
| Riz | | | | | | semis | | | | récolte | | |
| Manioc | | | | | bouturage | | | | | | | récolte |
| Haricot | | | | | semis | | | | | récolte | | |
| Courge/Melon | | | | | semis | | | | | récolte | | |
| Patate douce | | | | | | semis | | | | | | récolte |
| Sésame | | | | | | semis | | | | | | récolte |
| **Domaine soudano-oubanguien (*Central*)** | | | | | | | | | | | | |
| Maïs | | | | | semis | | | | récolte | | | |
| Arachide | | | | | semis | | | | récolte | | | |
| Riz | | | | | | semis | | | | récolte | | |
| Patate douce | | | | | semis | | | | | | | récolte |
| igname | | | | | semis | | | | | récolte | | |
| Courge/Melon | | | | | semis | | | | | récolte | | |
| Manioc | | | | | bouturage | | | | | | | récolte |
| Haricot | | | | | semis | | | | | récolte | | |
| sésame | | | | | | semis | | | | | | récolte |
| **Domaine guinéen-forestier (*Méridional*)** | | | | | | | | | | | | |
| Maïs | | | | | semis | | | | récolte | | | |
| Arachide | | | | | semis | | | | récolte | | | |
| Riz | | | | semis | | | | | | récolte | | |
| taro | | | | | semis | | | | | | | récolte |
| Manioc | | | bouturage | | | | | | | récolte | | |
| Banane | | | | Récolte échelonnée durant toute l'année | | | | | | | | |
| Légumes | | | | Semis et récolte échelonnés durant toute l'année | | | | | | | | |

**Source** : *Enquêtes de terrain, 2011*

La jachère plus ou moins longue d'une écorégion à l'autre, est le moyen majoritairement utilisé pour la restauration de la fertilité des sols. Les reprises des jachères sont très souvent semées d'arachide à Bocaranga et Paoua alors que les céréales et le manioc occupent les nouvelles terres fertiles à Bouca et Bossembélé. La

durée de la jachère est proportionnelle au poids démographique et occupation des terres. Cette durée connaît un fort raccourcissement depuis quelques années de 5 à 10 ans en moyenne, alors qu'elle variait entre 15 et 20 ans à la fin des années 50 (ACDA, 2008).

### 3.3.2. Importance des facteurs de production agricole

Les principaux facteurs de production, notamment les semences sélectionnées ou améliorées, les engrais et les machines agricoles, sont faiblement valorisées. La plupart des producteurs continuent d'utiliser leurs propres semences, prélevées sur la production de l'année précédente. C'est quasi systématique le cas pour les productions vivrières. Avec une faible capacité d'investissement dans la mécanisation, les systèmes de production s'appuient sur la valorisation de la main d'œuvre disponible. Dans ce contexte, disponibilité de la main d'œuvre et accès aux ressources naturelles forment les facteurs limitants de l'évolution des systèmes de production. Ils constituent, selon Mbétid-Mbessane (2009), les leviers d'une réforme agraire nécessaire à une meilleure valorisation du potentiel agricole.

La main d'œuvre est essentiellement familiale. Les femmes et les jeunes y jouent un rôle très important. Ces derniers assurent la plupart des travaux de semis, d'entretien, de récolte et de conditionnement des récoltes. Les femmes sont très actives dans la transformation et la commercialisation des produits agricoles. Elles se livrent aussi aux activités extra agricoles (cueillette, pêche, chasse, artisanat, etc.) en vue d'améliorer leur qualité de vie.

## 3.4. Evolution des paramètres agricoles

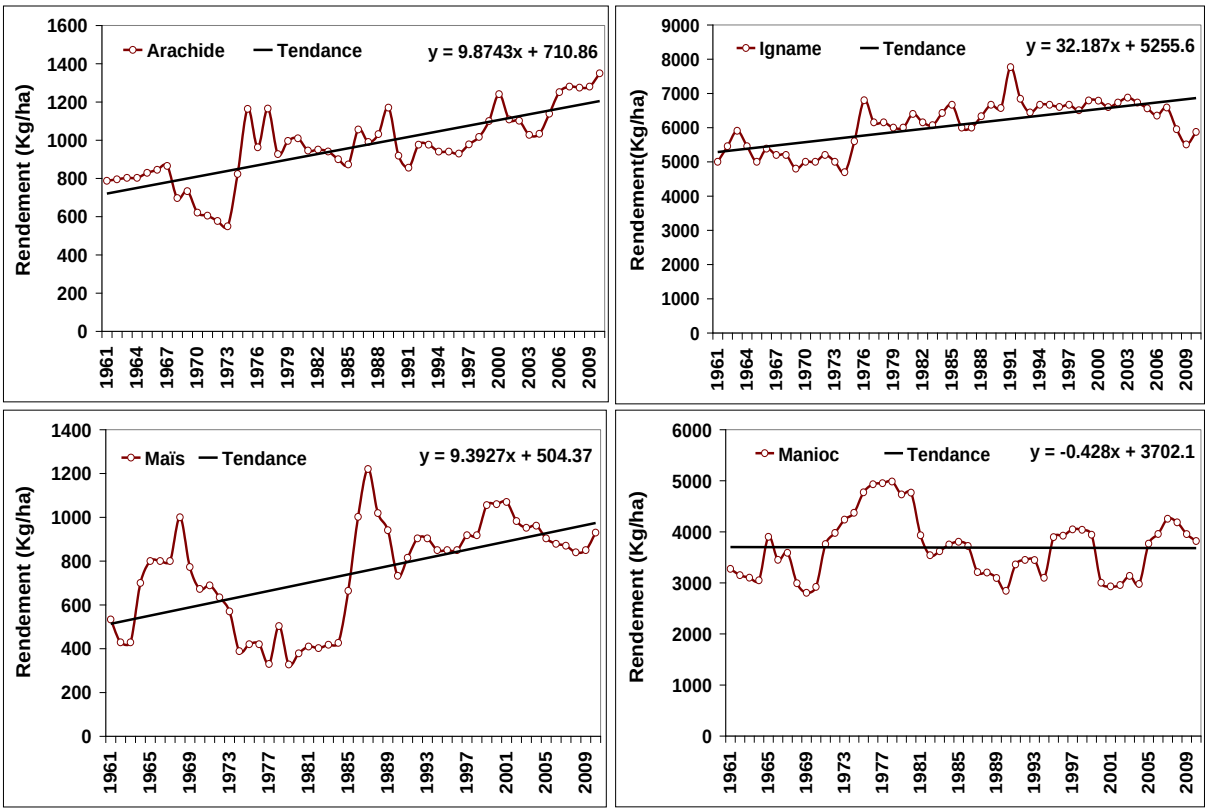
L'examen des données du tableau XIV ci-après montre que les taux d'accroissement annuel moyens (TAAM) des paramètres agricoles sont faibles. De 1961 à 2010, les TAAM ont varié de 2,33 à 9,15 % pour les rendements, de 3,01 à 18,73 % pour la production et de 2,15 à 12,59 % pour les emblavures.

**Tableau XIV.** Taux d'accroissement annuel moyen (en %) des statistiques agricole (rendement, production et superficie) dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010

| Cultures | Rendement (%) | Production (%) | Superficie (%) |
|---|---|---|---|
| **Arachide** | 3,42 | 5,37 | 3,29 |
| **Igname** | 2,35 | 4,41 | 4,12 |
| **Maïs** | 3,57 | 5,48 | 4,11 |
| **Manioc** | 2,33 | 3,01 | 2,37 |
| **Mil** | 4,16 | 4,31 | 2,15 |
| **Riz** | 9,15 | 18,73 | 12,59 |
| **Sésame** | 7,06 | 11,52 | 4,92 |
| **Sorgho** | 3,51 | 4,64 | 2,44 |

**Source** : *Synthèse bibliographique et enquêtes de terrain, mai 2011*

Les figures 21, 22 et 23 présentent respectivement les tendances des rendements agricoles, la production et les superficies emblavées de chacune des huit (8) cultures dans la région d'étude de 1961 à 2010.



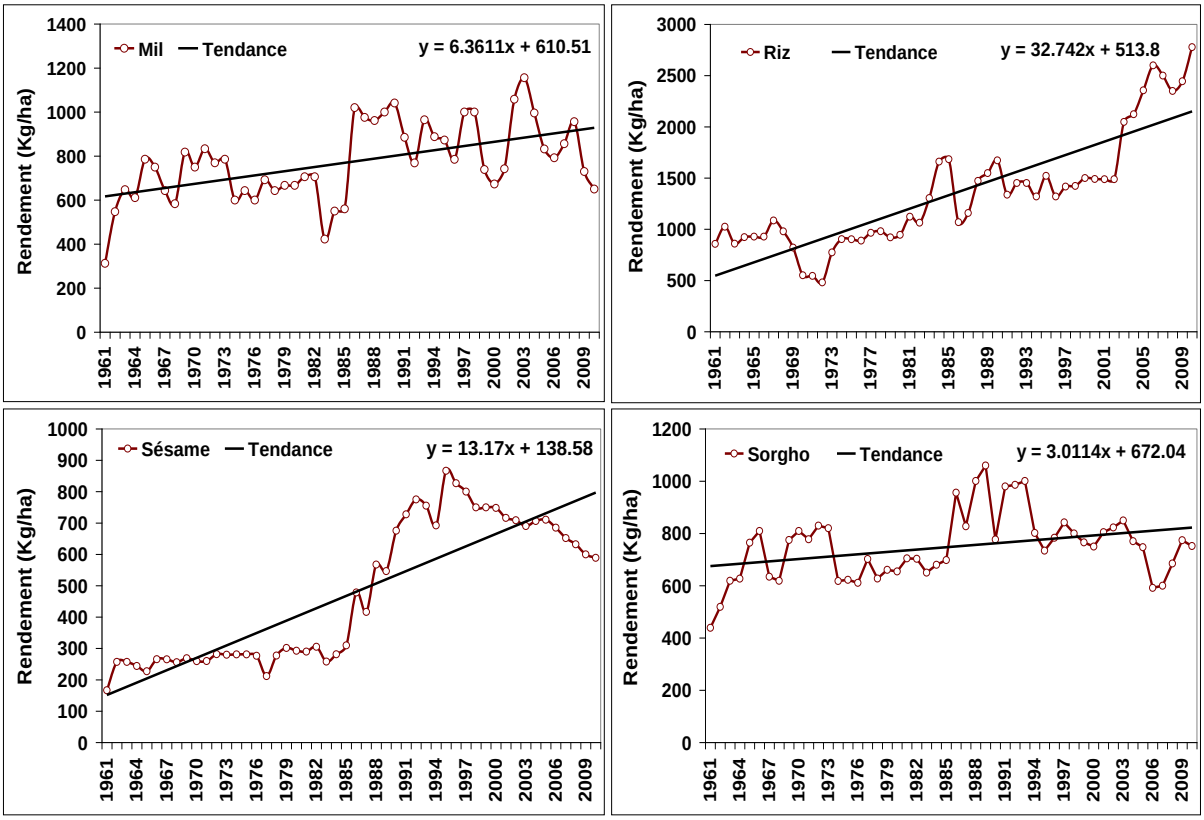



**Figure 21.** *Evolution des rendements agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010*

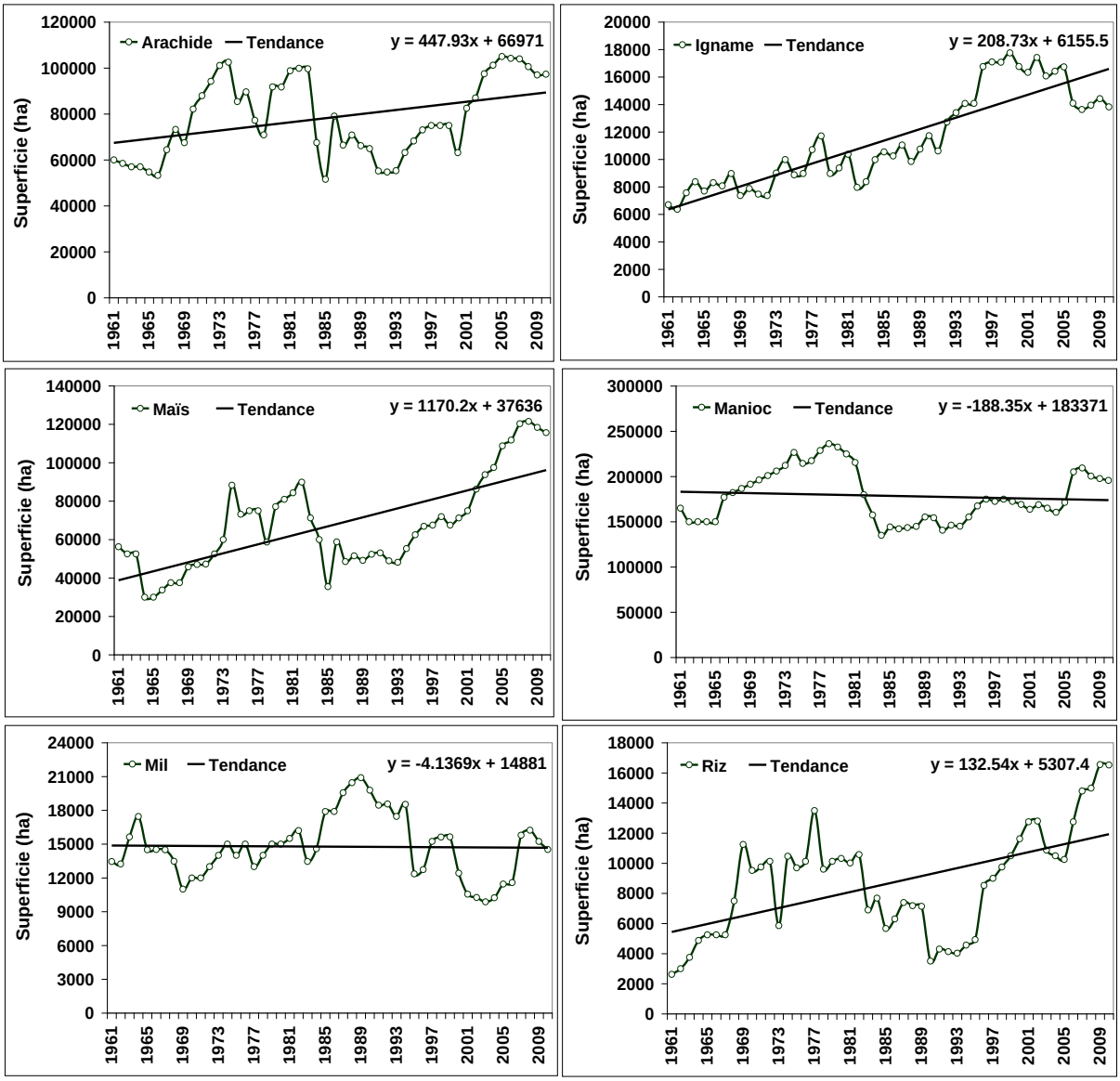
**Source** : Résultats de traitement des données statistiques agricoles, Doukpolo, 2011

En termes de rendement, le sorgho et le mil enregistrent les valeurs plus ou moins faibles sur une longue période bien qu'ils restent après le maïs, les premières céréales produites dans la région tant en superficie qu'en volume ; ceci est justifié par les contraintes agroclimatiques. Les cultures de mil et de sorgho sont mieux adaptées au milieu semi-aride, à la faiblesse et à la variabilité des pluies, bien que les conséquences soient importantes sur le rendement.

Ces céréales (sorgho et mil) ont pendant longtemps fait l'objet de très peu de recherche variétale en vue de l'amélioration de leurs performances. La recherche s'est surtout focalisée sur la durée du cycle végétatif afin de s'adapter à la baisse des précipitations. Le maïs, l'arachide et le manioc, ont bénéficié des avancées de la recherche-développement en génétique notamment via les croisements variétaux (ICRA, 2009).

Le maïs a surtout bénéficié de son introduction dans le « système coton », avec des rotations efficaces et surtout le « détournement » d'une partie des engrais achetés dans le cadre du « système coton » et épandus sur une céréale considérée dans ces zones comme une production de rente, dans les stratégies des producteurs. Mais d'une façon

plus générale, les performances des nouvelles variétés (*Ngakoutou sp*) restent sous-exploitées : faible diffusion des innovations, modes de cultures peu efficaces (en l'absence d'intrants, le rendement potentiel ne parvient pas à s'exprimer) et l'inefficience organisationnelle des filières vivrières (accès aux moyens de production, appui-conseil aux producteurs, organisation du marché).



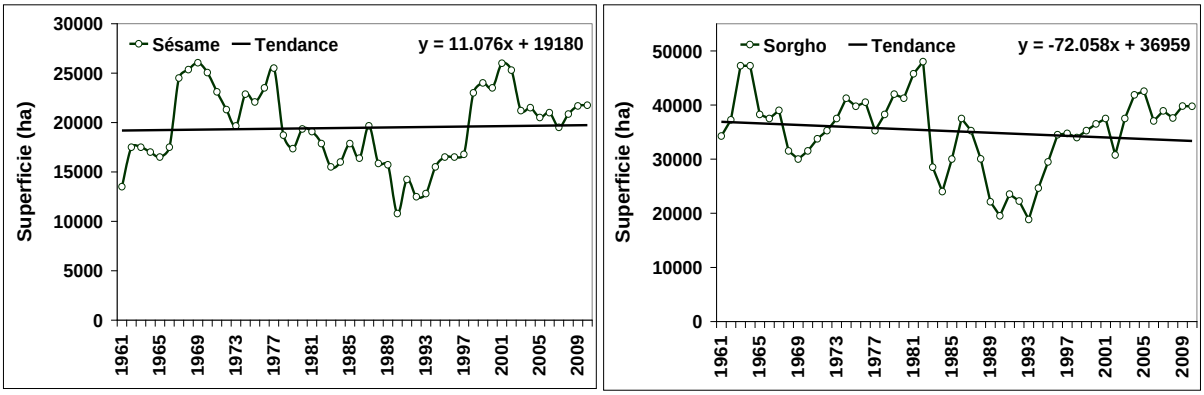



**Figure 22.** *Evolution des superficies agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010*

**Source** : Résultats de traitement des données statistiques agricoles, Doukpolo, 2011

La production agricole est plus tirée par l'augmentation des superficies cultivées que par l'accroissement des rendements. Les taux moyens d'accroissement annuels des rendements du sorgho, du maïs, du mil et du riz depuis les 50 dernières années sont contenus dans le tableau XIV. On remarque également une alternance d'années de faibles et de forts rendements. Les accroissements annuels moyens des rendements ont été relativement faibles (2 à 9 %) pour toutes les cultures, même si le sésame et le riz semblent se distinguer, mais aucune n'a atteint 10 %.

Les superficies cultivées, en dehors du riz qui a connu des accroissements relativement moyens supérieurs à 10 %, sont caractérisées par des accroissements inférieurs à 10 % de 1989 à 1995. Hormis le manioc, l'arachide et l'igname, les emblavures des différentes cultures ont globalement progressé à un rythme compris entre 2 et 5 %. L'évolution annuelle des productions est inférieure à 10 % dans la région d'étude, exception faite à celles du riz et du sésame qui ont dépassé 10 %.

L'accroissement annuel moyen des productions, entre 1980 et 1990, a été largement inférieur à 5 % pour toutes les cultures, sauf l'igname et le riz. L'augmentation de la production du riz est fondamentalement due aux mesures incitatives en faveur des riziculteurs, grâce à l'expertise de la FAO et à l'assistance technique chinoise depuis 1990 dans la région d'étude.

Cette synergie consiste à accompagner les producteurs du riz dans la réussite de l'itinéraire technique : choix variétal, maîtrise phytosanitaire des cultures, gestion de l'interculture, mise en valeur des bas-fonds et l'encadrement agricole dans les bassins

de production. La figure 23 présente les résultats en termes de production des différentes cultures.

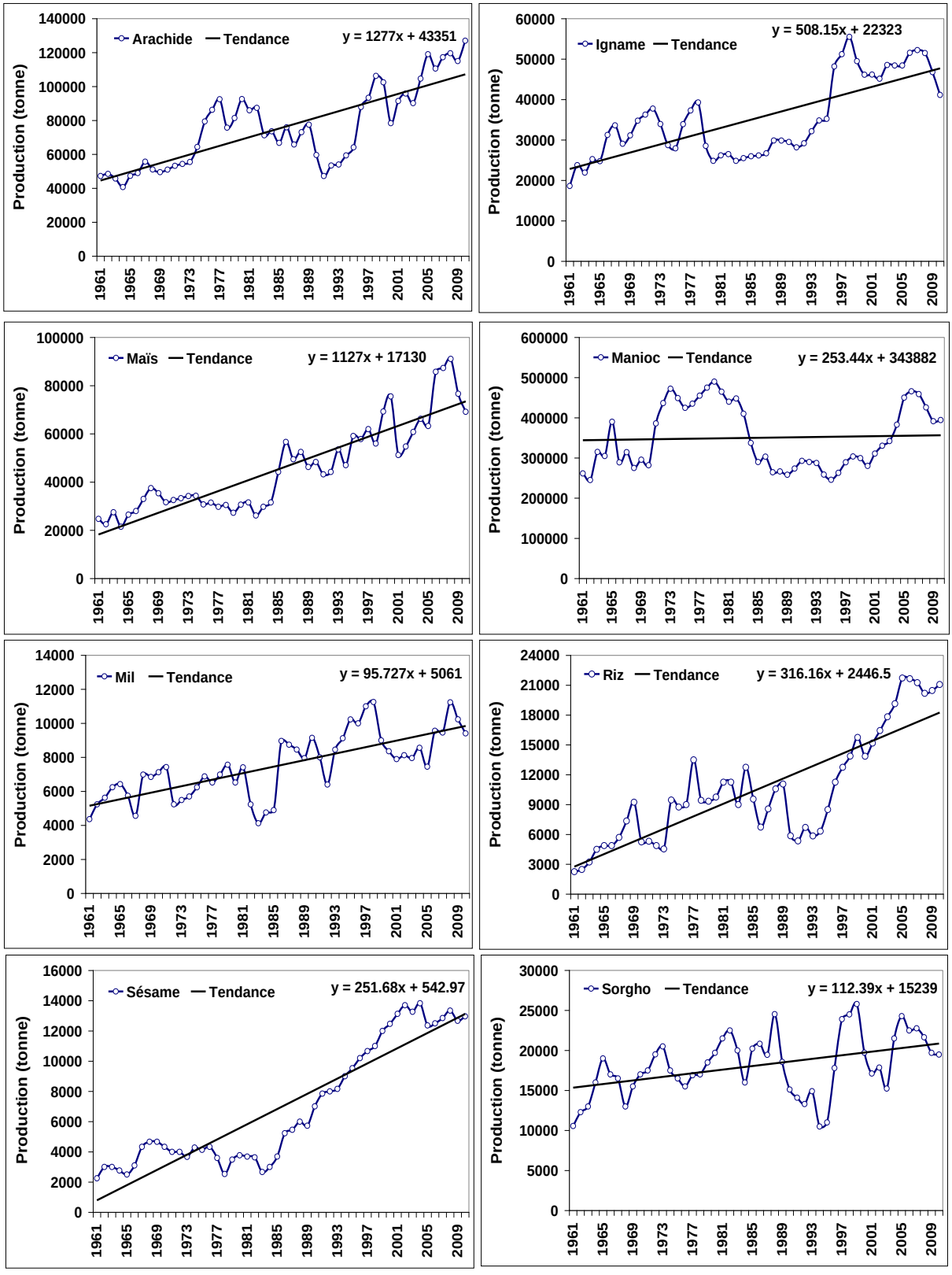



**Figure 23.** *Evolution des productions agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010*

**Source** : Résultats de traitement des données statistiques agricoles, Doukpolo, 2011

Les graphes décrivent les tendances des rendements. La figure 23 montre que le manioc, tout comme l'igname, a enregistré une baisse consécutive de la production de 2 à 3% entre 1981 et 2000. Les accroissements escomptés du fait de la mise en œuvre du « *Programme Manioc* » (ICRA, 2009) ne sont pas encore perceptibles. Ce programme vise à accroitre la production par l'adoption des nouvelles variétés et la réduction, d'une part, de la pourriture racinaire qui survient en début de chaque saison pluvieuse, et d'autre part, la réduction des attaques par les criquets et les cochenilles. Quant au mil et au sorgho, la mévente fréquente des produits a induit une baisse sensible (3 %) de la superficie à partir de 2005.

Plusieurs raisons justifient la faiblesse des productions agricoles dans la région d'étude : la non maîtrise des aléas climatiques (fausse alerte pour le démarrage de la saison agricole), la très faible disponibilité et accessibilité de l'information agrométéorologique pour les paysans agricoles et la faible productivité du travail de l'agriculture familiale dominante et l'insécurité territoriale (poches actives des rebellions armées, risques du conflit confessionnel, guerres civiles et exodes massifs des populations). Du reste, l'augmentation des productions agricoles est plus liée à un accroissement des emblavures qu'à une amélioration des rendements culturaux.

**Synthèse de la première partie**

L'analyse des fondements biophysiques de l'étude a montré que l'Ouest de la Centrafrique dispose d'énormes atouts pour la production agricole, malgré de lourdes pesanteurs socio-économiques et le cadre sécuritaire précaire sous forte tension conflictuelle. Les composantes environnementales notamment, la végétation et le sol subissent la forte pression des actions humaines (déforestation, déboisement, pratiques culturales inadaptées, etc.) aggravée par les facteurs naturels tels que l'accroissement de la variabilité du climat et l'évidence des changements climatiques.

Une telle situation compromettrait les rendements agricoles. Pour ce faire, la compréhension de ces phénomènes, afin d'anticiper leurs impacts potentiels sur les cultures et les agrosystèmes, nécessite donc l'analyse approfondie des tendances climatiques actuelles et futures dans l'Ouest de la Centrafrique.

# DEUXIEME PARTIE

# TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES ET SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE : IMPACTS ET ADAPTATION

# CHAPITRE IV
# VARIABILITE ET TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE

Ce chapitre traite des résultats obtenus concernant la variabilité et les tendances climatiques actuelles, notamment, les régimes pluviométriques, thermométriques et hygrométriques qui peuvent avoir des incidences sur les productions agricoles. Il s'appuie exclusivement sur les observations pour étudier cette variabilité à différents pas de temps de 1951 à 2010. Il expose aussi les contraintes liées à l'instabilité climatique dans un contexte d'agriculture pluviale. Il décline enfin la perception des populations paysannes sur les contraintes induites par les changements climatiques au développement des activités agricoles dans la région d'étude.

## 4.1. Variabilité et tendances pluviométriques dans l'Ouest de la Centrafrique

Les précipitations en Afrique Centrale sont soumises à de fortes variations dues aux facteurs globaux et aux dynamismes régionaux et continentaux. A l'instar des mécanismes généraux qui régulent le climat tropical, le régime pluviométrique en Centrafrique dépend en grande partie du système de la mousson dit de la zone de convergence intertropicale (ZCIT). Les changements de température de la surface des eaux de l'Océan atlantique et de l'Océan indien, ainsi que les anomalies de température de surface de l'Océan pacifique associées au phénomène El Nino, sont des moteurs importants de l'activité de la mousson africaine (Bigot, 1997). A ces phénomènes globaux, s'ajoute l'effet du processus des surfaces continentales (végétation, humidité du sol, cycle de l'eau ou albédo) sur la dynamique de la mousson en Afrique de l'Ouest et du Centre (Camberlin et *al*., 2002).

### 4.1.1. Régimes de pluie mensuels et saisonniers

L'agriculture dans l'Ouest de la Centrafrique, comme en Afrique tropicale, activité essentielle des communautés paysannes, est extrêmement dépendante de la saison des pluies. Les pratiques agricoles nécessitent une bonne connaissance du cycle saisonnier des précipitations, en l'occurrence les séquences sèches au cœur des saisons agricoles actives et la fréquence de jours pluvieux (Boko, 1988 et Samba, 1998).

Les diagrammes pluviothermiques et évapotranspiratoires des stations sont établis par zone agroclimatique sur la période 1951-2010 permettant d'observer, en général, les faibles valeurs de température moyenne et d'évapotranspiration pendant les mois de fortes précipitations et les fortes valeurs pendant les mois de faibles pluies. Malgré les perturbations des différentes saisons de l'année, les régimes pluviométriques mensuels n'ont pas significativement changés. Dans l'Ouest de la Centrafrique, la saison des pluies débute au sud (domaine guinéen forestier), de février à novembre (Figure 24).

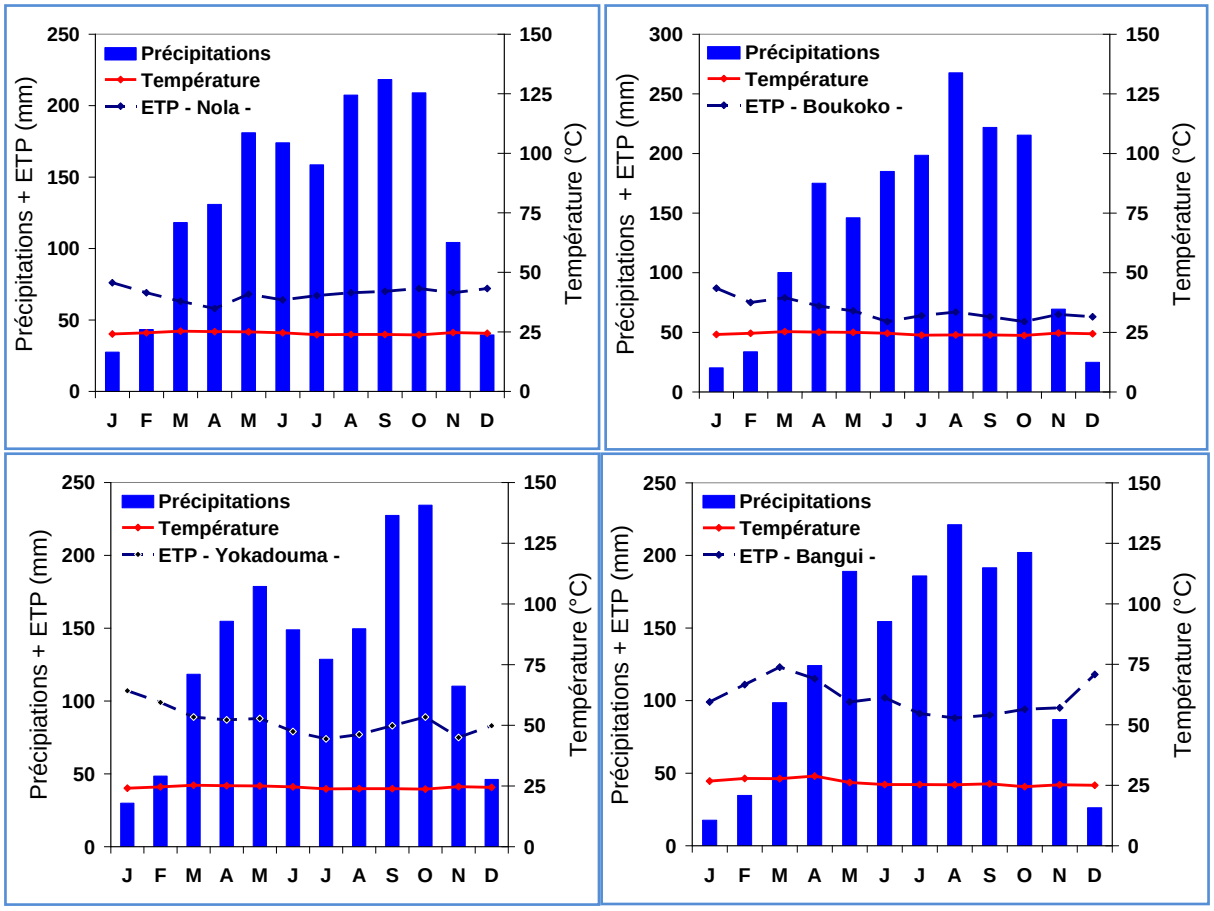



**Figure 24.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyens (domaine guinéen-forestier) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*

**Source** : Résultats de traitement des données climatologiques, Doukpolo, 2012

L'examen de la figure 24 montre que la distribution annuelle des pluies est bimodale avec un premier pic correspondant à la période mai-juin et un second pic de septembre-octobre. Le premier pic de précipitations est apporté par la remontée de la mousson africaine du sud-ouest alors que le second résulte d'une interaction entre la mousson et les lignes de grains originaires de l'océan indien, déterminant souvent les variations pluviométriques interannuelles.

Les hauteurs pluviométriques sont généralement beaucoup plus importantes lors du second pic. Elles peuvent occasionner des inondations, en général au mois de septembre-octobre, souvent dévastatrices dans les régions déprimées et le long des cours d'eau principaux, en endommageant les cultures.

L'évapotranspiration augmente en saison sèche de 90 à 130 mm ; en saison des pluies, la valeur de l'ETP peut baisser jusqu'à 60 mm à cause de la forte humidité et du temps clément. Dans les domaines soudano-guinéen (Figure 25) et soudano-oubanguien (Figure 26), le comportement pluvieux évolue d'un régime bimodal (Berbérati) à un régime unimodal (Bozoum).

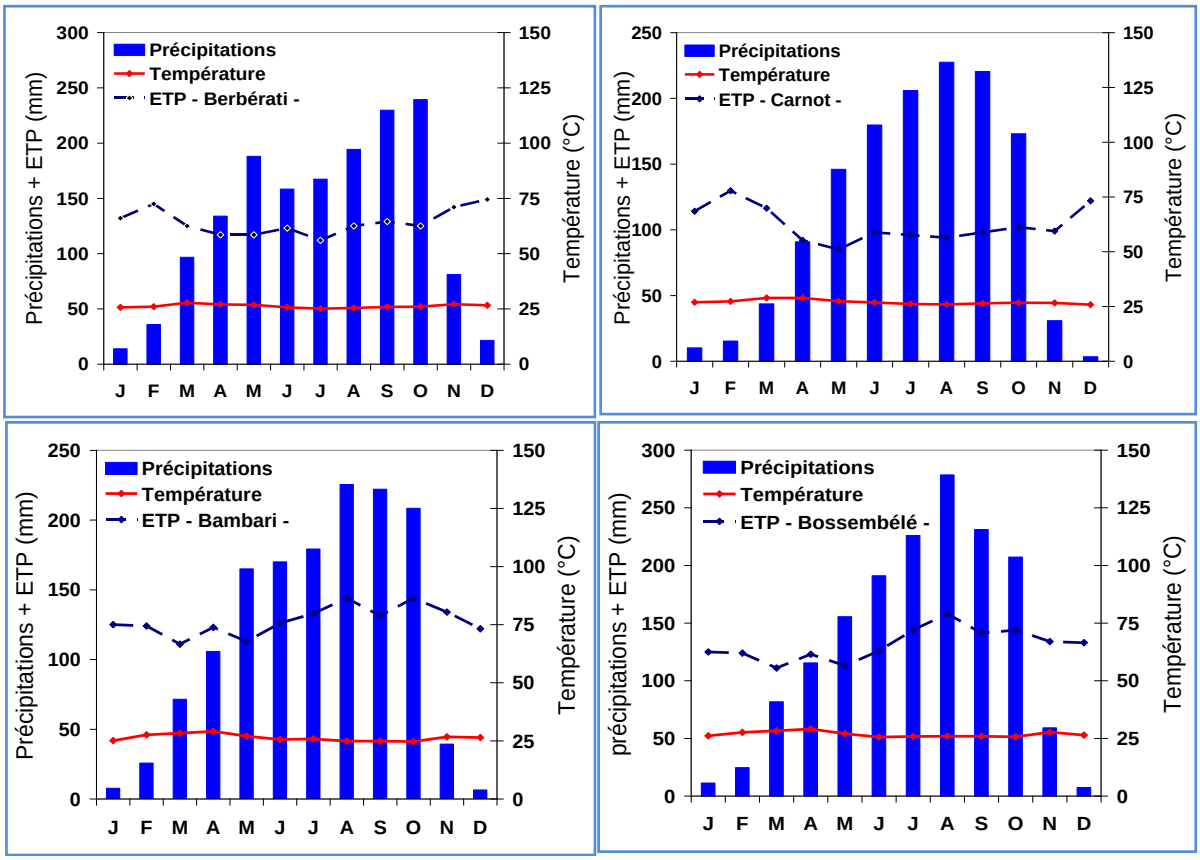



**Figure 25.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyen (domaine soudano-guinéen) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*

**Source** : Résultats de traitement des données climatologiques, 2012

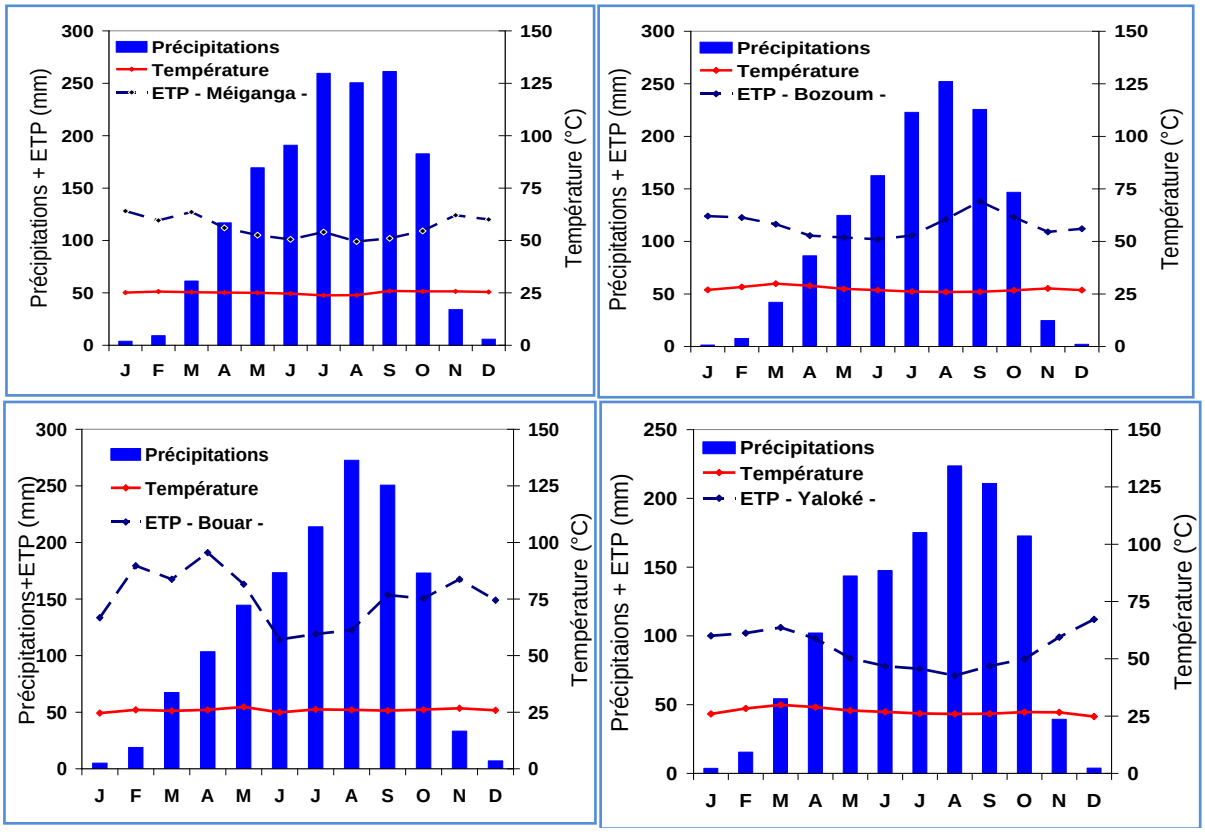



**Figure 26.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyens (domaine soudano-oubanguien) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*

**Source** : Résultats de traitement des données climatologiques, 2012

Les variations des précipitations mensuelles sur les figures 25 et 26 montrent que l'essentiel des apports pluvieux est enregistré durant les mois de mai à octobre. Le reste de l'année subit une indigence pluviométrique parfois interrompue par des pluies hors saison. C'est ainsi que l'année climatique est divisée en deux saisons principales selon le critère pluviométrique : une saison sèche et une saison pluvieuse.

Le maximum pluviométrique est lié à la présence de la zone de convergence intertropicale. Le régime pluviométrique classique ne comporte alors qu'un maximum, qui se place entre juillet et octobre. La durée de la saison de pluies se raccourcie au fur et à mesure qu'on va vers le nord. En effet, les saisons des pluies deviennent plus courtes et moins humides, les saisons sèches plus prononcées. Un glissement vers le sud des isohyètes et des régions climatiques s'en est suivi : la zone d'influence du climat soudano-sahélien s'est élargie tandis que la région soudano-oubanguienne s'est rétrécie (Figure 27).

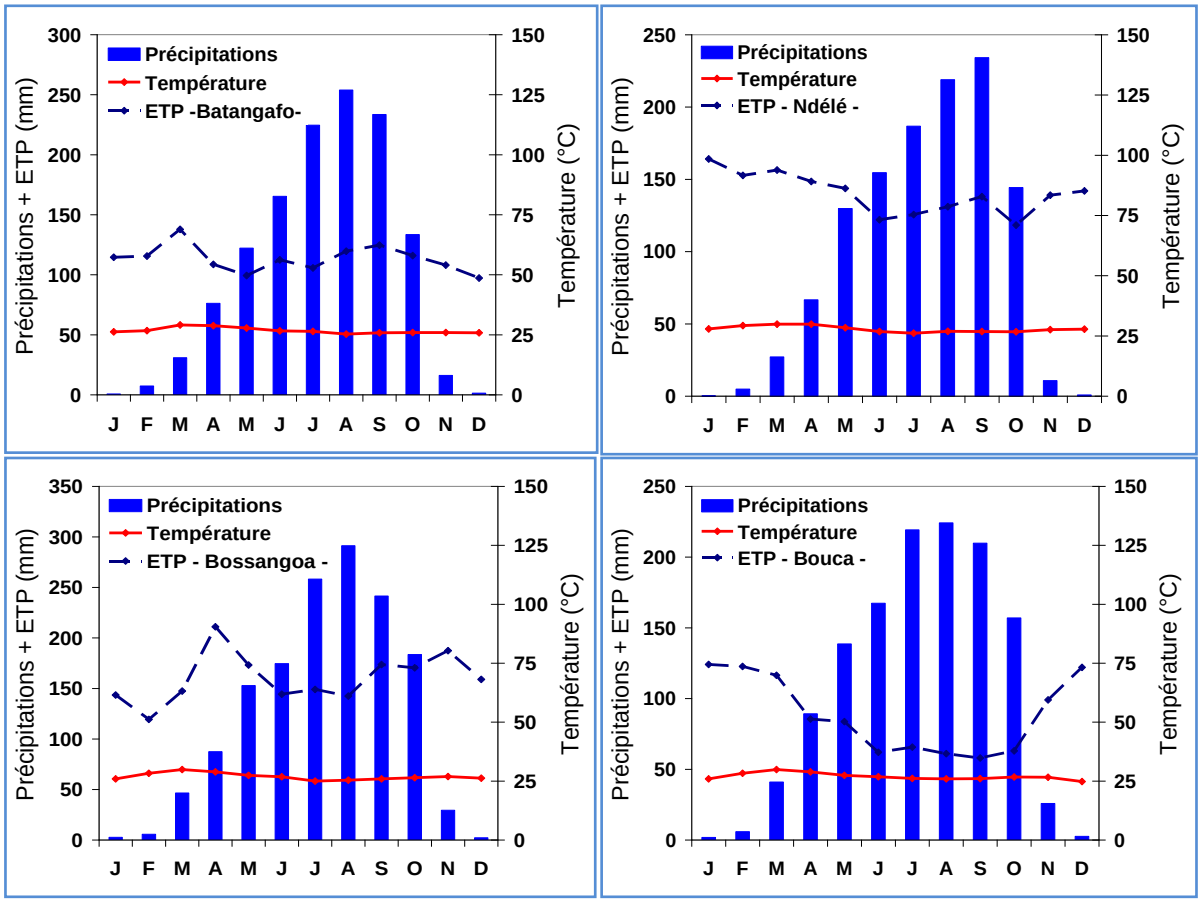



**Figure 27.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyen (domaine soudano-sahélien) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*

**Source** : Résultats de traitement des données climatologiques, 2012

L'observation de la figure 27 indique que le déplacement latitudinal saisonnier de la ceinture de précipitations est clairement tracé. La période de décembre à février est sèche, le total des précipitations étant typiquement inférieur à 10 mm au nord en domaine soudano-sahélien, bien qu'il dépasse 400 mm dans le sud. Les totaux augmentent dans la période de mars à mai à mesure que la ZCIT avance vers le nord. La pointe de la saison des pluies sur l'ensemble de la région d'étude est atteinte en août ou en septembre, mois pendant lesquels certaines localités (Kabo et Markounda) peuvent en recevoir plus de 300 mm.

Le climat soudano-sahélien est caractérisé par des saisons très contrastées. On note une alternance d'une saison sèche de novembre à mai et une saison pluvieuse de juin à octobre. La température moyenne est de 26,9 °C. Le minimum a lieu en janvier, mais on observe souvent un minimum en juillet au milieu de la saison des pluies.

La température moyenne maximale a lieu en mars, juste avant le début de la saison des pluies et en octobre à la fin de saison des pluies.

### 4.1.2. Seuils et types de comportements pluvieux

L'examen des diagrammes pluviométriques mensuels permet de distinguer globalement trois types de comportement pluvieux : mois à faibles précipitations (< 50 mm), mois à précipitations intermédiaires ou modérées (50 à 150 mm) et mois à fortes précipitations (> 150 mm). Les différents seuils pluviométriques choisis font référence aux seules valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP), telles que détaillées ci-dessous :

- **mois à faibles précipitations (< 50 mm : P< ½ ETP)** : sont concernés les mois de novembre, décembre, janvier et février. Ces mois marquent la grande saison sèche dans la zone d'étude. Au cours de cette période de l'année, les précipitations représentent entre 1 et 3 % du total annuel. Par conséquent, elles sont insignifiantes en termes de pluviosité enregistrée. Proportionnellement aux hauteurs d'eau précipitées, le nombre de jours de pluie reste faible et n'excède pas 13. Au cours de ces mois, les événements pluviométriques journaliers enregistrés sont également insignifiants. La hauteur journalière maximale pour chacun des mois n'atteint pas 15 mm. Toutefois, quelques singularités peuvent être relevées au cours de certaines années où le mois de février fait exception en recevant 40 à 50 mm. Cette situation revient fréquemment sur les stations à la limite nord de l'isohyète 1500 mm comme Berbérati et Bossembélé ;
- **mois à précipitations intermédiaires (de 50 à 150 mm : ETP>P≥ ½ ETP)** : les mois de mars, avril et mai sont considérés comme des mois intermédiaires à précipitations modérées. Ils annoncent en général l'arrivée et la fin de la grande saison pluvieuse. On remarque une hausse à une baisse sensible des précipitations. Les événements pluviométriques journaliers commencent également à devenir importants. Les hauteurs pluviométriques journalières au cours de ces mois peuvent dépasser 25 mm. En mars et avril, ces évènements restent principalement localisés au sud en zone guinéenne-forestière et constituent par endroit un faux signal pour le démarrage des activités agricoles. Le mois de juillet connaît un

fléchissement. C'est une phase de baisse pluviométrique dite « intra-pluviale» caractéristique d'un régime bimodal, mais qui est source de déficits hydriques pour les cultures en phase critique de leur développement ;

- **mois à fortes précipitations (>150 mm : P>ETP)** : août, septembre et octobre sont les plus pluvieux, ils représentent entre 55 et 75 % des précipitations annuelles dans les domaines, soudano-oubanguien et soudano-sahélien. Les événements pluvieux sont d'une grande importance pour le développement et la maturité des plantes ; les hauteurs d'eau enregistrées au cours d'une journée peuvent dépasser 50 mm par endroits et occasionnent des inondations des champs aux abords des cours d'eau ou dans les plaines alluviales.

En somme, l'analyse des régimes pluviométriques mensuels et saisonniers revêt une importance capitale dans la mesure où elle permet de comprendre l'évolution des précipitations au cours de l'année. En effet, la connaissance du début et de la fin de la saison des pluies constitue un fait majeur dans la planification du calendrier cultural. Cette opération consiste à aider les agriculteurs à mieux faire face aux caprices (aléas) du climat notamment la déficience pluviométrique qui rend le plus souvent aléatoire les productions agricoles.

### 4.1.3. Analyse des bilans hydriques potentiels mensuels

En raison de la forte variabilité du climat, l'étude des bilans hydriques en milieu tropical constitue un point de départ pour l'optimisation du calendrier agricole. Du point de vue climatique, le bilan hydrique potentiel est la variable indicatrice la plus pertinente pour évaluer le déficit hydrique d'une région.

Le bilan hydrique potentiel est obtenu par la différence entre la pluie et l'évapotranspiration. L'analyse des bilans hydriques potentiels, dans la région d'étude (Figure 28), a tenu compte des paramètres de la saison humide qui rend compte du bilan des apports (précipitations) et des pertes (évapotranspiration).

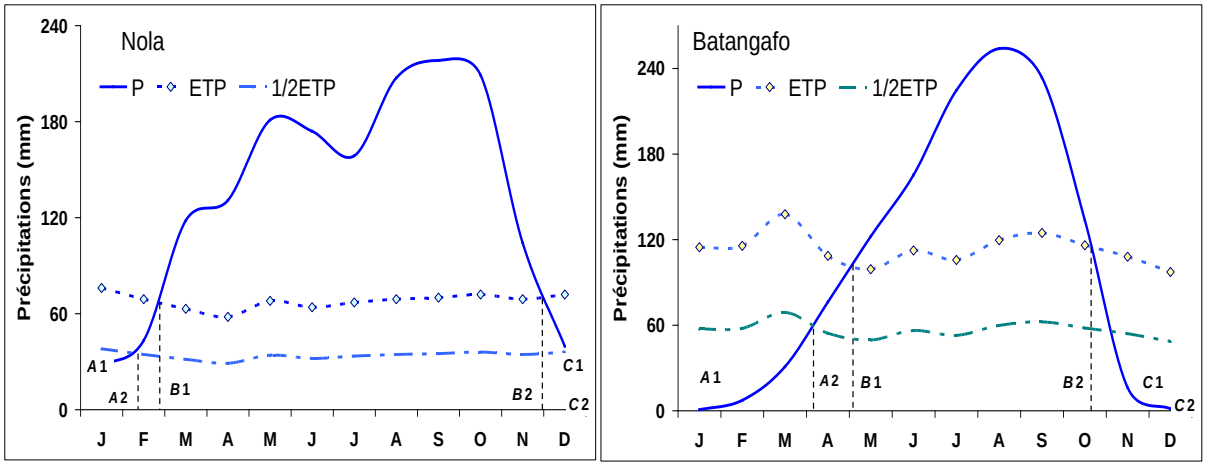



**Figure 28.** *Courbes de précipitations* (P), *d'évapotranspiration* (ETP) *et ½* ETP *mensuelles à Nola (domaine guinéen) et à Batangafo (domaine (soudanien), 1951-2010.*

**Source** : Résultats de traitement des données climatologiques, Doukpolo, 2012

La figure 28 est construite à partir d'une méthode agroclimatique d'analyse du bilan hydrique en régions tropicales développée par Franquin (1969). Elle consiste à déterminer la position de deux évènements de nature climatique : B1 et B2 représentent les projections des points d'intersection de la saison humide. La saison pluvieuse se découpe en trois périodes :

- A1B1, période pré-humide durant laquelle P est globalement inférieure à ETP et donc ETR inférieure à ETP ;
- B1B2, période humide durant laquelle P est globalement supérieure à ETP et donc ETR égale, en principe, à ETP ;
- B2B1, période post-humide durant laquelle P redevient globalement inférieure à ETP et donc ETR inférieure à ETP en dépit des réserves hydriques du sol constituées durant la période B1B2.

Selon Franquin (1969), la saison humide va, par définition, de l'instant où le déficit maximal du sol, au point de flétrissement en principe, commence à décroître sous l'effet des premières pluies, jusqu'au moment où, ce déficit étant de nouveau atteint dans la tranche d'exploitation racinaire, l'évapotranspiration réelle de la culture s'annule. Cette distinction répond aux besoins de l'agriculture qui se situent à des niveaux différents ; la notion de saison pluvieuse pouvant suffire dans la pratique agricole et la planification régionale en culture strictement pluviale.

L’analyse et la caractérisation des bilans hydriques montrent que le début et la fin des saisons humides varient dans le temps et dans l’espace et des variations spatio-temporelles dans le rythme, l’intensité et la longueur des périodes humides. Selon Parcevaux et *al.* (1990), cité par Ogouwalé (2006), ces variations, constituent des facteurs limitants de la production agricole. On note dans l’examen de la figure 28 que le déficit du sol nu commence à diminuer, quand la pluviosité P devient égale à 1/2 ETP, les pluies antérieures ayant servi à reconstituer le stock d’eau de la tranche superficielle asséchée au-delà du point de flétrissement ou ayant été évaporées, le bilan hydrique est toujours excédentaire à l'échelle inter mensuelle mais à l’échelle inter annuelle des nuances sont perceptibles. Les excédents sont nettement plus faibles dans le nord (Batangafo) comparativement au sud (Nola) où les précipitations sont plus abondantes.

L’approche du bilan hydrique montre l'existence d'une période de déficit hydrique avec l'accentuation des déficits hydriques et le raccourcissement de la période excédentaire dans le domaine soudano-sahélien où on relève que le risque de déficits (fréquent et longs) est élevé entre décembre et mars sur la période 1951-2010. Le bilan hydrique potentiel est négatif en moyenne pendant la saison sèche quasiment dans les stations, alors que des valeurs positives sont observées au cours de la saison pluvieuse.

### 4.1.4. Fréquence des classes de pluie et détection des ruptures de stationnarité

La figure 29 présente les pourcentages des classes des précipitations annuelles (CPA). Les CPA 2 et CPA 3 sont les classes de pluies qui constituent l’essentiel des précipitations dans la région d’étude. Les CPA 1 ont les pourcentages les plus faibles.

La détection des ruptures de stationnarité a été faite par le test de Pettitt (1979). Elle s’est révélée significative au seuil de 95 %. L’application du test de Pettitt a permis d’observer une modification dans l’évolution des pluies à partir de 1970 (Figure 30). Cette rupture est confirmée par le signal de changement intervenu en 1968 et mis en évidence par la méthode bayésienne de Lee et Heghinian utilisée par Totin (2010).

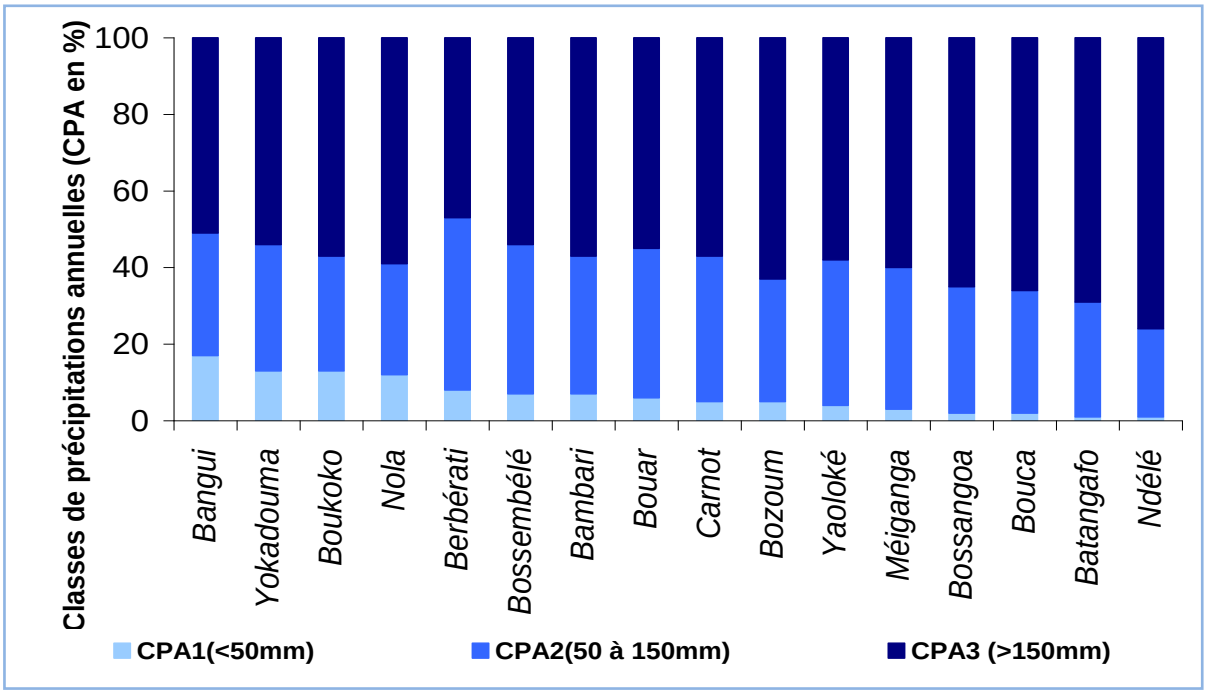



**Figure 29.** *Fréquence des classes de pluie annuelles (CPA) dans l'Ouest de la République Centrafricaine, 1951-2010*

**Source** : Résultats de traitement des données pluviométriques, Doukpolo, 2012

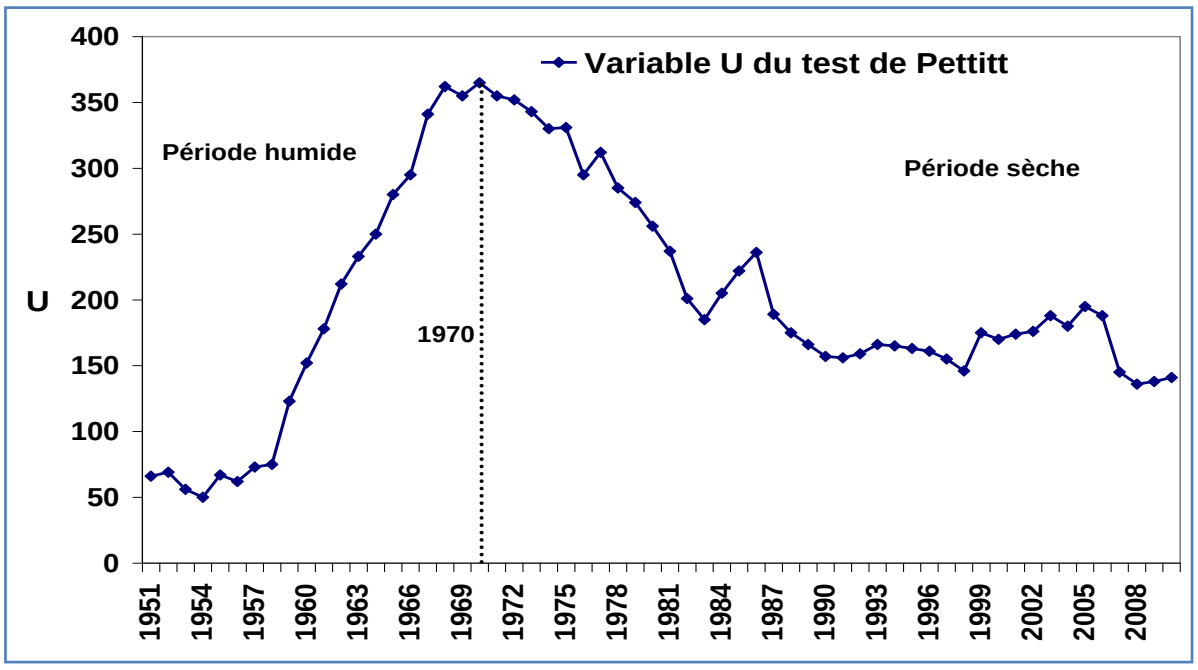



**Figure 30.** *Evolution de la variable U du test de Pettitt de 1951 à 2010*

**Source** : Résultats de traitement des données pluviométriques, Doukpolo, 2012

Les observations de la figure 30 corroborent les résultats d'importants travaux antérieurs qui situent la plupart des ruptures entre la fin de la décennie 1960 et le début

de la décennie 1970, dans la région ouest africaine et centrale (Janicot et *al.*, 1993 ; Paturel et *al.*, 1996 ; Servat et *al.*, 1998 et 1999 ; Mahé et *al.*, 2001). En Centrafrique, elle a été mise en évidence par Ndjendolé (2001), Nguimalet (2004 ; 2009) et Doukpolo (2007), quasiment pour des années similaires.

En appliquant individuellement le test de détection de rupture de Buishand à toutes les stations, chacune d'entre elles apparait avec une rupture significative au seuil 95 %. Les dates de la rupture pour ces stations (affichée par le test de Lee et Heghinian) se situent entre 1968 et 1972 (Tableau XV). L'analyse de ces résultats permet de constater que toutes les séries analysées présentent une rupture, à une date commune ou spécifique à chaque station. Les déficits pluviométriques sont plus marqués à Ndélé (25 %), Batangafo (23 %) en domaine soudano-sahélien qu'à Nola (9 %) et Boukoko (11 %) en domaine guinéen-forestier.

**Tableau XV.** Synthèse des résultats des tests d'homogénéité sur les précipitations annuelles de 1951 à 2010 dans la région d'étude

| | **Année de rupture** | **Moyenne avant rupture** | **Moyenne après rupture** | **Ecart** (*mm*) | **Déficit** (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | 1971 | 1691,82 | 1482,31 | 209,51 | 14 |
| **Nola** | 1978 | 1628,36 | 1497,03 | 131,33 | 9 |
| **Boukoko** | 1974 | 1637,97 | 1478,49 | 159,48 | 11 |
| **Yokadouma** | 1978 | 1734,83 | 1609,74 | 125,09 | 8 |
| **Berbérati** | 1970 | 1528,68 | 1408,82 | 119,86 | 9 |
| **Bambari** | 1970 | 1497,94 | 1311,76 | 186,18 | 14 |
| **Bossembélé** | 1971 | 1552,81 | 1377,94 | 174,87 | 13 |
| **Carnot** | 1969 | 1488,54 | 1327,74 | 160,80 | 12 |
| **Bouar** | 1970 | 1540,17 | 1398,65 | 141,52 | 10 |
| **Yaloké** | 1969 | 1328,63 | 1197,64 | 130,99 | 11 |
| **Méiganga** | 1969 | 1428,52 | 1273,42 | 155,10 | 12 |
| **Bozoum** | 1970 | 1336,82 | 1200,64 | 136,18 | 11 |
| **Bossangoa** | 1968 | 1430,70 | 1221,44 | 209,26 | 17 |
| **Bouca** | 1968 | 1354,80 | 1185,63 | 169,17 | 14 |
| **Batangafo** | 1969 | 1307,65 | 1066,41 | 241,24 | 23 |
| **Ndélé** | 1968 | 1186,62 | 951,53 | 235,09 | 25 |

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, Doukpolo, 2012*

L'application de la procédure de segmentation de Hubert, au niveau de signification du test de Scheffé 1 %, présente des sous séries en 1959-1961, 1968-1974 et 1983-1993 avec des totaux pluviométriques déficitaires respectifs de 1392 mm (Bozoum),

1006 mm (Ndélé) et 1288 mm (Bambari). Ces déficits annuels ne sont que le reflet des valeurs journalières cumulées.

### 4.1.5. Nombre de jours de pluie et de jours successifs sans pluie

Cette section traite des aspects suivants : le nombre de jours de pluie, le nombre de jours successifs sans pluie et la détermination des dates de début et fin de la saison des pluies.

#### 4.1.5.1. Nombre de jours de pluie

Le nombre de jours de pluie est un facteur qui témoigne de l'importante de la variabilité pluviométrique. Il varie en moyenne entre 155 jours au sud (Nola) et 95 jours dans le nord (Bossangoa). Le coefficient $K_3$ qui est le rapport entre les hauteurs des précipitations annuelles de l'année décennale humide et de l'année décennale sèche a été déterminé pour montrer la tendance de la régularité des précipitations. Une faible valeur de $K_3$ (< 2) traduit une abondance pluviométrique assez régulière d'une année à l'autre, alors qu'une forte valeur de $K_3$ (>2) traduit le caractère irrégulier des précipitations. Le tableau XVI donne les différentes valeurs de $K_3$ pour 6 périodes de 10 ans sur 8 stations.

**Tableau XVI.** Coefficient $K_3$ d'irrégularité interannuelle des précipitations, 1951-2010

| | **1951-1960** | **1961-1970** | **1971-1980** | **1981-1990** | **1991-2000** | **2001-2010** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | 1,09 | 2,01 | 1,51 | 1,97 | 2,67 | 1,85 |
| **Bossembélé** | 1,04 | 2,12 | 1,43 | 1,54 | 1,69 | 2,79 |
| **Berbérati** | 0,88 | 1,74 | 1,51 | 1,97 | 2,07 | 2,08 |
| **Bouar** | 1,54 | 1,13 | 1,38 | 1,49 | 1,73 | 1,56 |
| **Bossangoa** | 1,48 | 1,14 | 2,19 | 2,25 | 1,81 | 2,33 |
| **Ndélé** | 1,41 | 1,38 | 2,17 | 2,13 | 1,89 | 2,45 |
| **Boukoko** | 0,86 | 0,56 | 1,51 | 1,12 | 1,26 | 1,11 |
| **Bambari** | 1,54 | 1,99 | 2,04 | 0,91 | 2,31 | 2,11 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2011*

L'analyse des résultats présentés dans le tableau XVI montre que $K_3$ tend à baisser dans deux stations (Boukoko et Bouar) de 1951 à 2010, ce qui indique une tendance à une régularité plus grande des précipitations. Par contre dans les six (6) autres, $K_3$ augmente, montrant une tendance à l'accentuation de l'irrégularité des précipitations.

Cependant, l'évolution de $K_3$ dans une série chronologique ne donne pas une lecture nette de la significativité de tendance des régimes pluviométriques. L'analyse fréquentielle permet de préciser le début et la fin de la saison des pluies, ainsi que les récessions pluviométriques probables.

### 4.1.5.2. Nombre de jours successifs sans pluie

Ce paramètre permet de prévoir les périodes à risque dans le calendrier agricole de chaque site étudié (Figure 31).

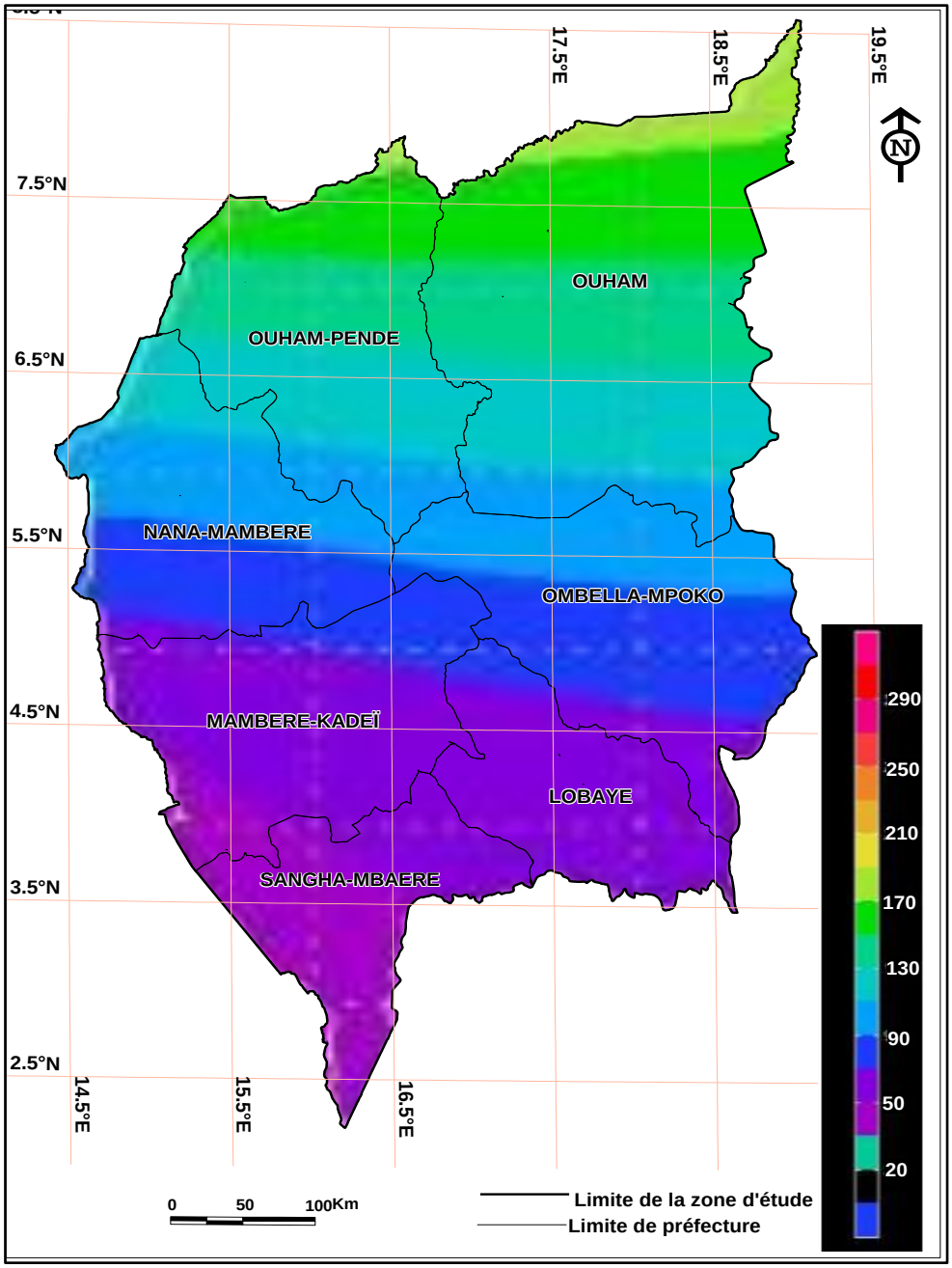



**Figure 31.** *Nombre total annuel de jours secs, valeur moyenne à long terme*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

Pour une durée de 26 à 30 jours successifs sans pluie, une telle récession peut survenir dans la région d'étude une fois tous les 10 ans. Pour des récessions de 11 à 15 jours, l'occurrence est pratiquement annuelle. Autrement dit, le producteur doit s'attendre à un stress hydrique occasionné par un manque de pluie d'une durée de 11 à 15 jours, au moins une fois par an.

#### 4.1.5.3. Détermination des dates de début et fin de la saison des pluies

La détermination des dates de début et de fin de la saison des pluies sont des questions cruciales en Afrique tropicale dont les pratiques culturales dépendent étroitement des pluies, car d'elles dépendent également le calendrier agricole et en grande partie de la qualité des récoltes.

Ceci est d'autant plus grave que ce déficit pluviométrique intervient généralement pendant les mois de mai, juin et juillet, où les plantes sont en phase critique : soit de levée, soit de plein développement, soit encore pendant de maturation. Pour cela, le respect des dates de semis (date optimale de semis) permet de s'affranchir de cet aléa pluviométrique. Le tableau XVII présente la fréquence en pourcentage de jours successifs sans pluie, en fonction de différentes durées (jours).

**Tableau XVII.** Fréquence (%/an) de jours successifs sans pluie. Occurrence de 1951 à 2010

| Durée (jours) | 1-2 | 3-5 | 6-10 | 11-15 | 16-20 | 21-25 | 26-30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | 29,7 | 11,9 | 3,8 | 0,7 | 0,3 | 0,1 | 0,1 |
| **Bossembélé** | 26,3 | 17,6 | 6,1 | 0,8 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| **Berbérati** | 23,7 | 13,3 | 4,6 | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| **Bouar** | 23,4 | 14,7 | 9,2 | 0,9 | 0,4 | 0,3 | 0,1 |
| **Bossangoa** | 30,1 | 21,4 | 7,7 | 0,9 | 0,2 | 0,3 | 0,1 |
| **Ndélé** | 32,8 | 19,2 | 7,2 | 1,0 | 0,4 | 0,5 | 0,1 |
| **Boukoko** | 27,9 | 8,2 | 3,4 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| **Bambari** | 30,3 | 13,5 | 4,9 | 0,8 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, Doukpolo, 2012*

Les jours secs sont définis comme ceux ayant des précipitations ≤ 1,0 mm. Le nombre moyen annuel de jours secs varie de près de 210 dans le nord à un peu plus de 30 à l'extrême sud ; pendant les périodes de sécheresse, ces totaux peuvent augmenter à 260 dans le nord et à entre 50 et 90 dans le sud.

Il existe plusieurs définitions relatives à la longueur de la saison des pluies. Dans cette étude, la méthode de détermination de ces dates est fondée sur la répartition des précipitations (cumuls et/ou en intégrant le bilan hydrique) proposée par Franquin (1969) et développée par Stern et *al.* (1981). La méthode est appliquée sur la base stationnelle et dans un but agroclimatique et des applications ont été présentées par Franquin et *al.* (1988) en Centrafrique, Diop et *al*. (1996) au Sénégal, M'Biandoun et *al*. (2010) au Cameroun. En fonction des critères climatiques, la saison des pluies commence le jour de l'année où l'on enregistre la première pluie. Le début effectif de la saison de culture commence au moment où la probabilité d'avoir un cumul pluviométrique décadaire supérieur ou égal à 15 mm. Selon le même calcul, la fin de la saison des pluies est le jour de l'année où l'on enregistre la dernière pluie.

Depuis quelques années, les tendances des dates de démarrage et de fin témoignent d'un raccourcissement de la saison des pluies entre 1951 et 2010. La date de démarrage pèse bien plus lourdement que la date de fin dans la variabilité du cumul pluviométrique ; les corrélations entre quantité précipitée, durée de la saison et date de démarrage indiquent que la réussite de la saison culturale dépend tout autant de la précocité de son démarrage que de sa durée totale (Diop et *al.*, 1996). Il ressort de l'analyse des statistiques descriptives que les dates de début des pluies varient plus que celles de fin, à l'échelle inter annuelle dans le cumul saisonnier. Ce phénomène est d'une importance majeure pour l'agriculteur car pour les plantes cultivées, c'est le début de la période végétative qui est la plus critique (Camberlin et *al.*, 2003).

Il est de plus en plus remarqué que la fin de la saison de pluies est fixée dès que la probabilité d'avoir un jour sec appartenant à un épisode de 10 jours est supérieure à celle d'avoir un jour de pluie au cours d'une décade au cours des mois du dernier trimestre de l'année. Pour cette méthode, la longueur de la saison des pluies est la différence en jours entre les dates de fin et de début des pluies. Les pluies inférieures à 1 mm ne sont pas considérées car elles sont non significatives. Par conséquent, les données pluviométriques quotidiennes sont comprises entre 0,1 et 0,9 mm. Les résultats relatifs aux dates de début de la saison des pluies obtenus sont présentés dans le tableau XVIII.

**Tableau XVIII.** Début, fin de la saison des pluies et récessions pluviométriques. Périodes calculées sur la série 1951-2010 pour l'occurrence 8/10

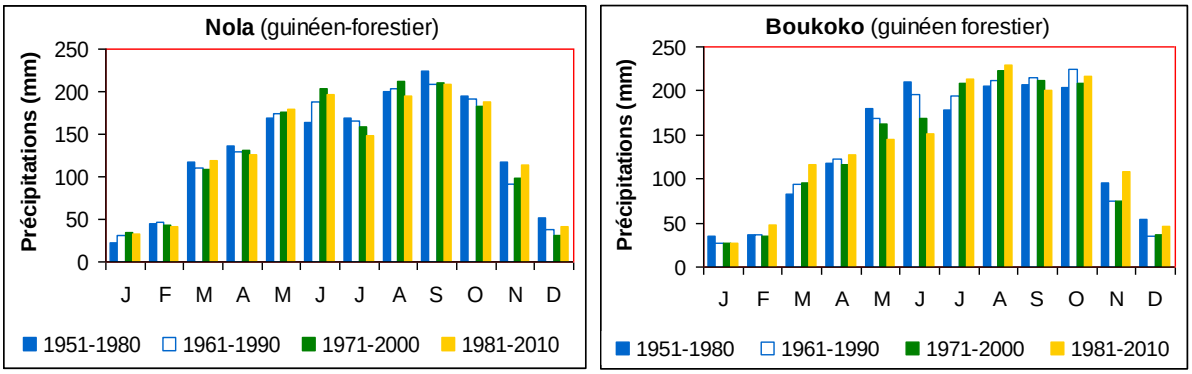
| | **Début de saison des pluies** (*Jour de l'année où l'on enregistre la première pluie*) | **Début effectif de la saison de culture** (*Cumul pluviométrique décadaire ≥ 15 mm*) | **Récessions Pluviométriques** [*Période sans pluie de plus de 10 jours (cumul décadaire < 10 mm)*] | **Fin de saison des Pluies** (*Jour de l'année où l'on enregistre la dernière pluie*) |
|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | 1ère décade de fév. | 3e décade d'avril | 3e décade de mai | 3e décade nov. |
| **Boukoko** | 1ère décade de fév. | 2e décade de mars | 3e décade de mai | 2e décade déc. |
| **Berbérati** | 2e décade de fév. | 1ère décade d'avril | 3e décade de mai | 2e décade déc. |
| **Bouar** | 2e décade de fév. | 2e décade d'avril | 1e décade de mai | 3e décade nov. |
| **Bossembélé** | 3e décade de fév. | 3e décade d'avril | 2e décade juin | 2e décade nov. |
| **Bambari** | 1ère décade de mars | 2e décade d'avril | 2e décade juin | 1ère décade nov. |
| **Bossangoa** | 1ère décade de mars | 1ère décade mai | 2e décade juillet | 2e décade oct. |
| **Ndélé** | 1ère décade d'avril. | 3e décade de mai | 1ère décade juillet | 1ère décade oct. |

**Source** : *Synthèse bibliographique et enquêtes de terrain, mai 2011 et février 2012*

Les variables de début de la saison de pluies et début effectif de la saison de culture illustrent les problèmes de mise en place des cultures qui se posent aux paysans. A Berbérati, Bouar ou Bossembélé, la première pluie arrive pendant la première ou la seconde décade de février, mais la première pluie utile (celle qui permet de labourer ou de semer avec sécurité) n'arrive qu'à la seconde ou la troisième décade d'avril voire la première décade de mai (depuis ces dernières années). Semer dès les premières pluies sans attendre le début effectif de la saison de culture expose souvent les paysans à ce que les semis échouent et sont donc à reprendre.

### 4.1.6. Variabilité des normales pluviométriques interannuelles

La série chronologique 1951-2010 est répartie en quatre normales afin de comparer la variabilité interannuelle des précipitations (Figure 32).



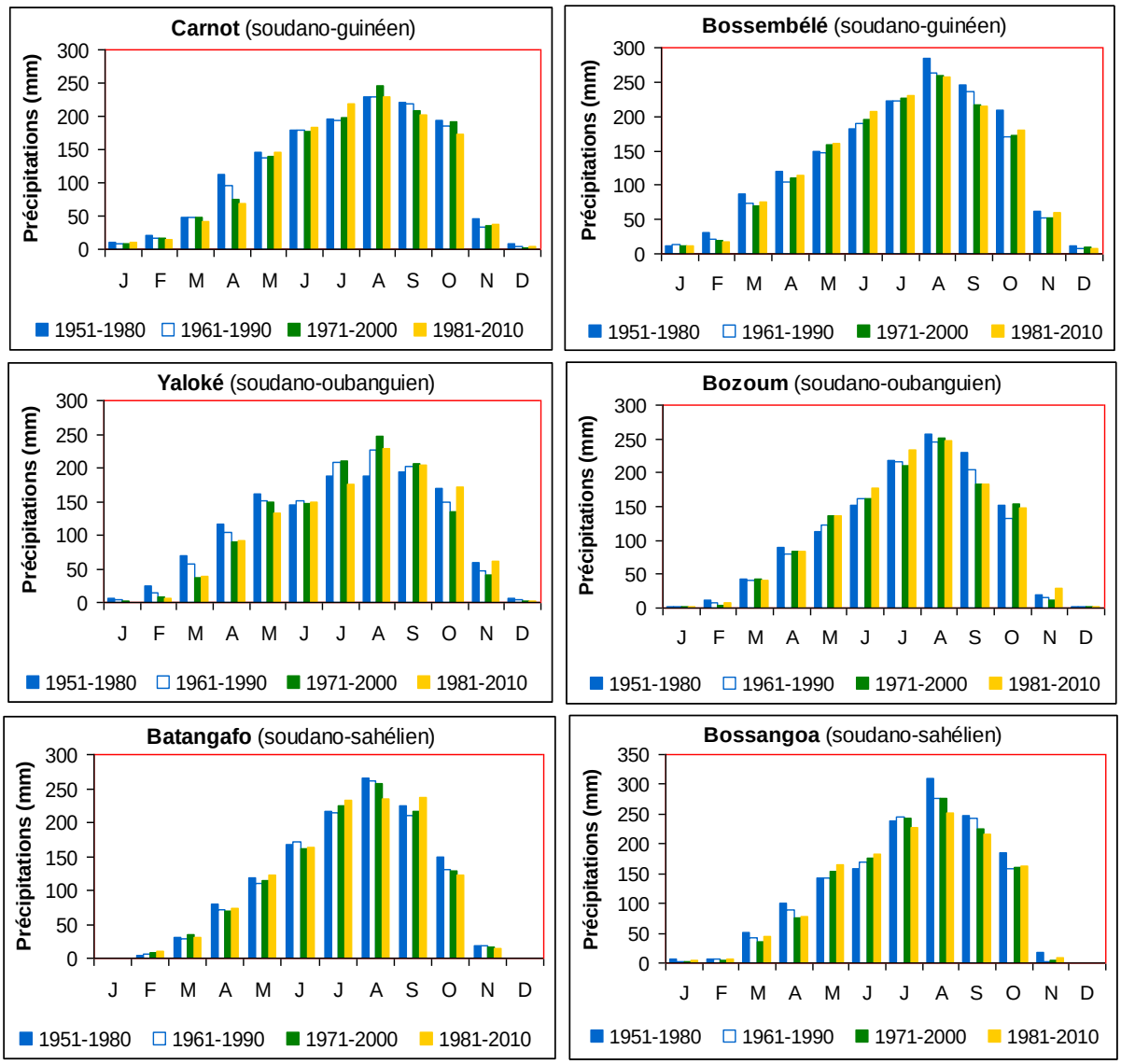



**Figure 32.** *Normales pluviométriques interannuelles dans l'Ouest de la Centrafrique*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

La figure 32 indique que la normale 1951-1980 commence par une décennie (1951-1960) très arrosée en général, suivie d'une décennie normale (1961-1970) et se termine par une décennie sèche (1971-1980). La période 1961-1990 est caractérisée par l'existence de deux décennies sèches (1971-1990). La dernière période trentenaire est 1971-2000. Cette période a la particularité de contenir les séquences de sécheresse intense de la période 1968-1972 et 1982-1983. La période 1981-2010 est marquée par d'importants déficits pluviométriques (1983, 1993 et 2005) mais semble enregistrée un retour à partir de 1999 à de meilleures conditions pluviométriques.

Les normales intermédiaires (1961-1990 et 1971-2000) ont baissé d'amplitude comme le montrent les graphes de la figure 32. En domaine soudano-sahélien, le total pluviométrique annuel est passé de 1289 mm durant la période «humide» (1951-1980) à 817 mm au cours de la période « sèche » (1981-2010), soit un déficit pluviométrique de 47,7 %.

### 4.1.7. Analyse des tendances pluviométriques par domaine agroclimatique

Il est de pratique courante en climatologie d'évaluer les tendances des précipitations sur des régions et des périodes relativement étendues afin de réduire les fluctuations mineures. En vue d'apprécier l'évolution des précipitations de 1951 à 2010, la méthode des indices pluviométriques de Lamb (1982) a été appliquée.

Les indices pluviométriques ont été déterminés (Figures 33 à 36) : $i > 1$ *pour les années humides excédentaires* (en bleu), $i < -1$ *pour les années sèches déficitaires* (rouge), -1<i>1 *pour les années normales* (en noir).

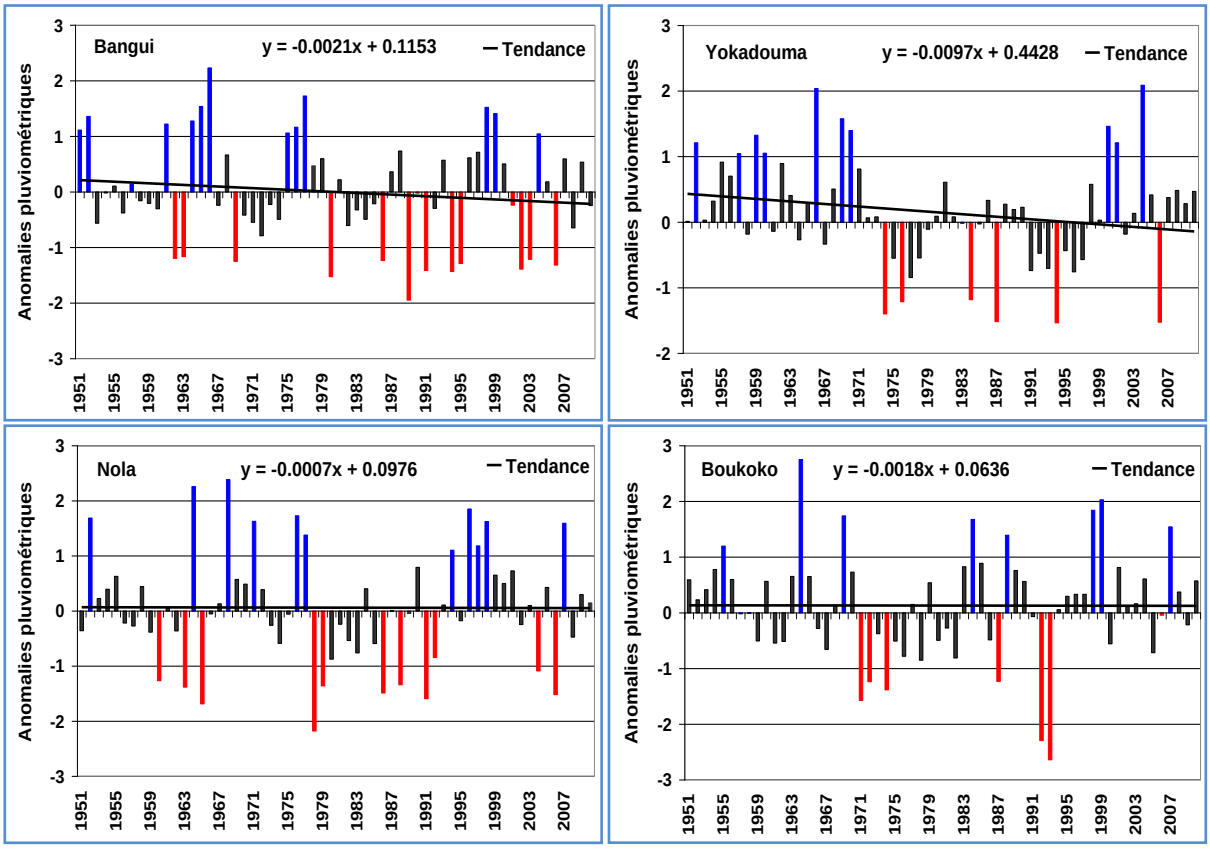



**Figure 33.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine guinéen-forestier*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

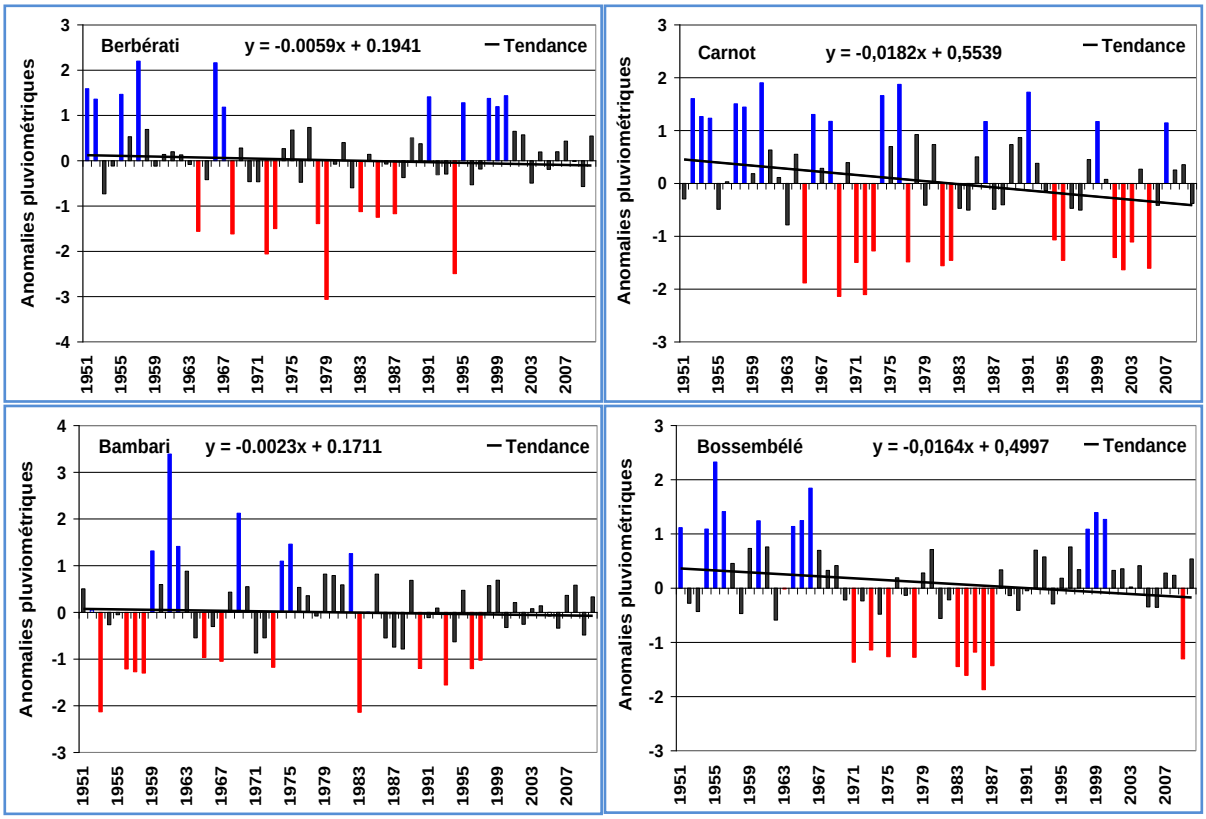



**Figure 34.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine soudano-guinéen*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

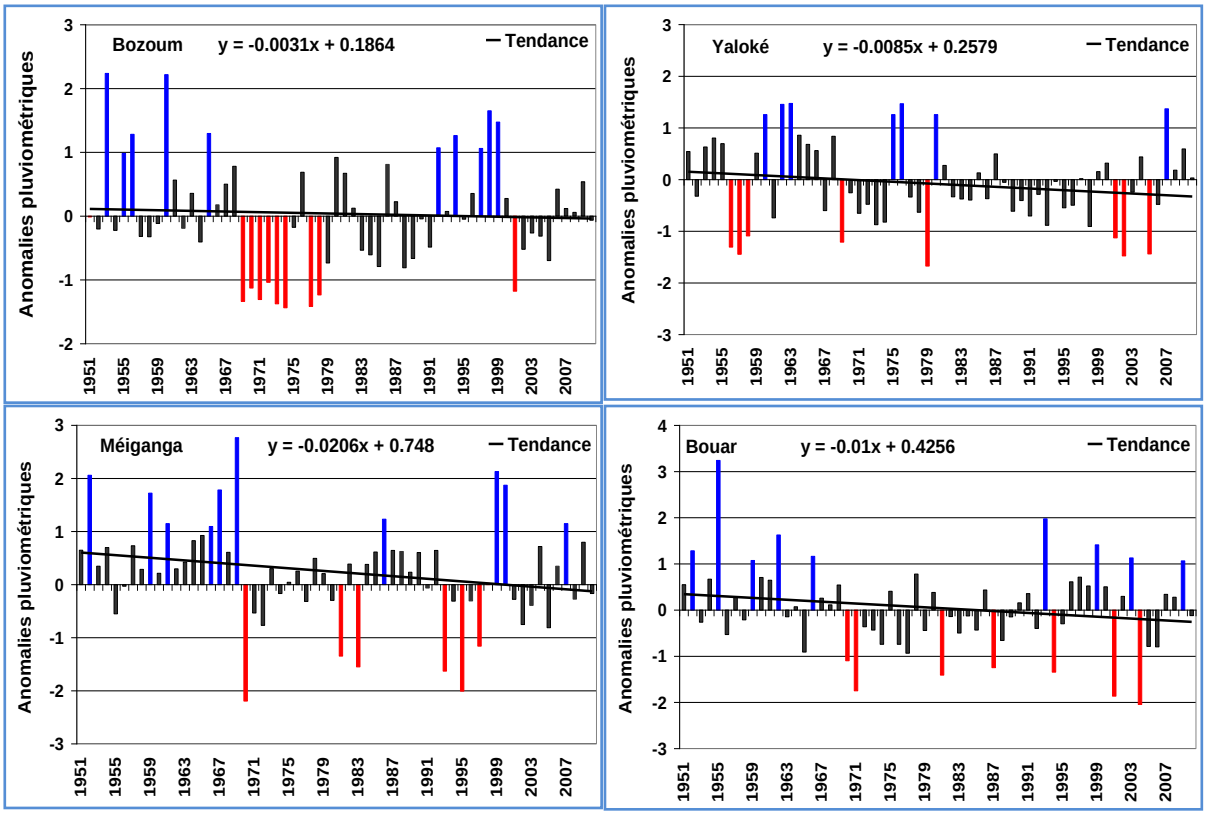



**Figure 35.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine soudano-oubanguien*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

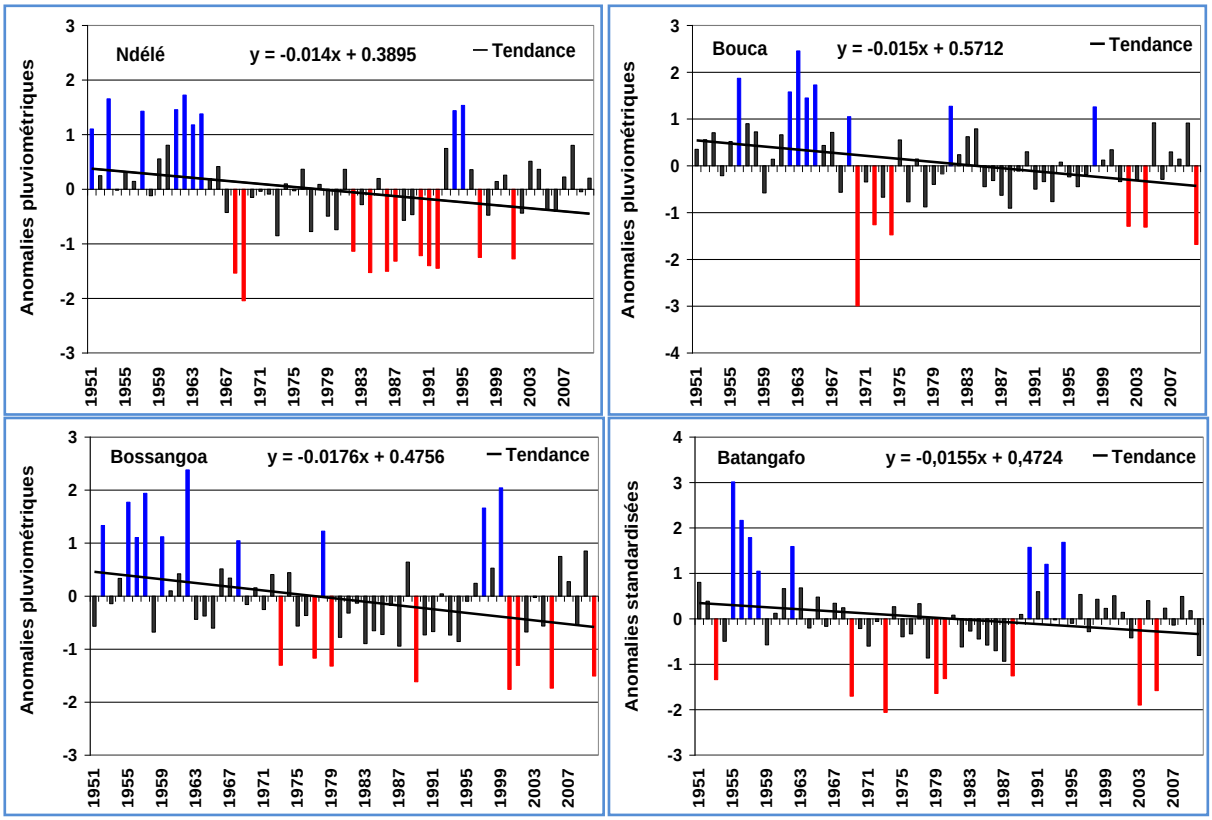



**Figure 36.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine soudano-sahélien*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

La tendance significative à la baisse des précipitations est en moyenne - 11,7 % dans l'Ouest de la Centrafrique, mais cette tendance reste très variée spatialement (- 4 % à - 21 %). Les stations soudaniennes sont plus prononcées (Ndélé -16,5 % et Batangafo - 19,3 %) que les stations guinéennes (-4,7 % à Nola et Bambari -7,9 %) en raison d'une bonne répartition des précipitations mensuelles.

L'examen des graphes indique que toutes les tendances observées sont à la baisse dans chacune des 16 stations. Le test non paramétrique de tendance de Mann-Kendall a montré un seuil de significativité de 99 % en baisse des totaux pluviométriques annuels.

En résumé, l'analyse de la variabilité des indices pluviométriques annuels au cours des différentes décennies, de 1951 à 2010, a permis de situer l'Ouest de la Centrafrique dans son contexte spatio-temporel. Les résultats obtenus (Tableau XIX) montrent une répartition hétérogène des hauteurs pluviométriques dans la région d'étude.

**Tableau XIX.** Cycles pluviométriques interannuels répartis par décennies et normales dans la région d'étude de 1951 à 2010 avec i >1=AH (*années humides*) ; i < -1=AS (*années sèches*) et -1< i >1=AN (*années normales*)

| | | Guinéen-forestier | | | | Soudano-guinéen | | | | Soudano-oubanguien | | | | Soudano-sahélien | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1951-1960 | AH | 1 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| | AN | 8 | 8 | 10 | 8 | 6 | 5 | 7 | 7 | 7 | 8 | 6 | 6 | 6 | 9 | 5 | 7 |
| | AS | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1961-1970 | AH | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 0 | 1 | 2 | 7 | 2 | 6 |
| | AN | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 9 | 9 | 8 | 2 | 8 | 3 |
| | AS | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1971-1980 | AH | 2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | AN | 6 | 9 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | 7 | 10 | 9 | 7 | 6 | 6 | 8 | 7 | 10 |
| | AS | 2 | 0 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 2 | 3 | 0 |
| 1981-1990 | AH | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| | AN | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 8 | 7 | 5 | 10 | 9 | 8 | 9 | 5 | 5 |
| | AS | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 | 4 | 1 | 0 | 5 | 0 | 1 | 2 | 0 | 4 | 5 |
| 1991-2000 | AH | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 5 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| | AN | 7 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 8 | 6 | 8 | 7 | 10 | 5 | 5 | 8 | 8 | 8 |
| | AS | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2001-2010 | AH | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | AN | 9 | 9 | 6 | 9 | 10 | 10 | 9 | 7 | 6 | 9 | 8 | 9 | 8 | 8 | 8 | 9 |
| | AS | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| *Normale* 1951-1980 | AH | 5 | 6 | 6 | 3 | 6 | 6 | 6 | 7 | 5 | 7 | 4 | 5 | 7 | 8 | 6 | 9 |
| | AN | 21 | 24 | 22 | 22 | 19 | 20 | 23 | 20 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 20 | 20 |
| | AS | 4 | 0 | 2 | 5 | 5 | 4 | 1 | 3 | 1 | 0 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 |
| *Normale* 1981-2010 | AH | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 4 | 5 | 1 | 0 | 5 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| | AN | 24 | 25 | 21 | 24 | 24 | 23 | 23 | 21 | 21 | 21 | 28 | 23 | 21 | 25 | 21 | 22 |
| | AS | 2 | 3 | 7 | 3 | 4 | 6 | 5 | 5 | 2 | 8 | 2 | 2 | 5 | 2 | 6 | 7 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Nola | 5 | Berberati | 9 | Bouar | 13 | Bossangoa |
| 2 | Yokadouma | 6 | Bambari | 10 | Méiganga | 14 | Bouca |
| 3 | Bangui | 7 | Bossembélé | 11 | Yaloké | 15 | Batangafo |
| 4 | Boukoko | 8 | Carnot | 12 | Bozoum | 16 | Ndélé |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2012*

Les décennies 1951-1960 et 1961-1970 sont excédentaires tandis que les décennies 1971-1980 et 1981-1990 se distinguent par des déficits marqués. Les deux dernières décennies (1990-2000 et 2001-2010) quant à elles se distinguent par une alternance des années excédentaires et déficitaires, mais avec une dominance relative des excédents pluviométriques amorcés au début des années 2000. Une analyse temporelle des séries pluviométriques annuelles peut fournir des indications plausibles.

### 4.1.8. Analyse temporelle des séries pluviométriques annuelles dans l'Ouest de la Centrafrique

L'analyse temporelle des précipitations, dans l'Ouest de la Centrafrique, consiste à comparer le cumul moyen annuel des 16 stations météorologiques retenues pour l'étude (Figure 37).

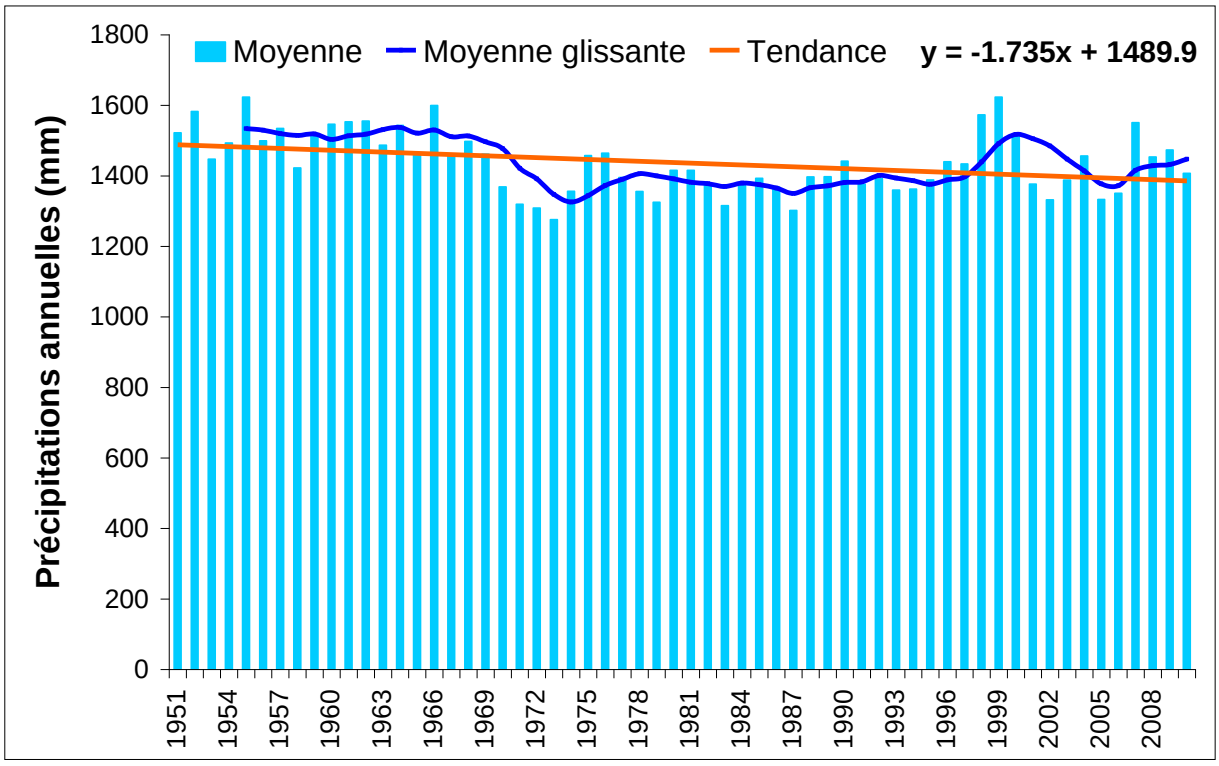



**Figure 37.** *Cumul moyen des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique (sur 16 stations)*
**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

Au regard de la courbe de tendance linéaire de la figure 37, on remarque une baisse des précipitations annuelles. Afin de voir si cette tendance pluviométrique à la baisse est significative, le test de Buishand a été appliqué sur l'ensemble de la série de données. Cette méthode a été déjà appliquée dans une étude similaire menée par

Lubès-Niel et *al.*(1998) en Afrique de l'Ouest, afin de détecter un changement de tendance significatif dans la série temporelle des précipitations.

Dans cette étude, la tendance du cumul pluviométrique moyen annuel des 16 stations est significative au test de Buishand à un seuil de signification d'au moins 95 %. Une conclusion peut donc être établie sur une persistance de déficits pluviométriques dans l'Ouest de la Centrafrique à l'échelle annuelle en dépit d'une légère augmentation des précipitations constatée à la fin des années 1990 et le début des années 2000. Aux variations temporelles annuelles, s'ajoutent les variations spatiales des précipitations.

### 4.1.9. Spatialisation du cumul annuel moyen pluviométrique entre 1951 et 2010

L'objectif de cette interpolation est d'illustrer le rôle déterminant de l'effet topographique dans la répartition moyenne des pluies dans l'espace étudié. Une représentation spatiale du cumul annuel moyen des pluies sur la période 1951-2010 a été donc réalisée en fonction des indicateurs hypsométriques. La démarche consiste à utiliser le cumul de chaque station afin d'établir une carte 3D d'interpolation de ces cumuls pluviométriques à l'aide de la méthode du plus proche voisin.

A la suite des calculs effectués à partir des données des 16 stations météorologiques, on obtient un cumul moyen annuel régionalisé sur l'ensemble de la région d'étude de 1367 mm. En 60 ans, le « front déficitaire » pluviométrique a pris donc une prépondérance sur le « front excédentaire ». Les zones les plus intensément touchées par cette baisse des précipitations se situent principalement en zone soudanienne : Bouca, Carnot, Bossangoa, Batangafo et Ndélé. Le même phénomène est observé en région forestière, mais avec une moindre ampleur. La dernière décennie 2001-2010 semble renforcer une tendance à un retour à l'humidité, avec la réduction du champ des forts déficits. Cependant, ce retour ne semble pas être accompagné d'une amélioration significative de la longueur de la saison des pluies et de la tendance perceptible au réchauffement du climat.

## 4.2. Variabilité et tendances thermométriques dans l'Ouest de la Centrafrique

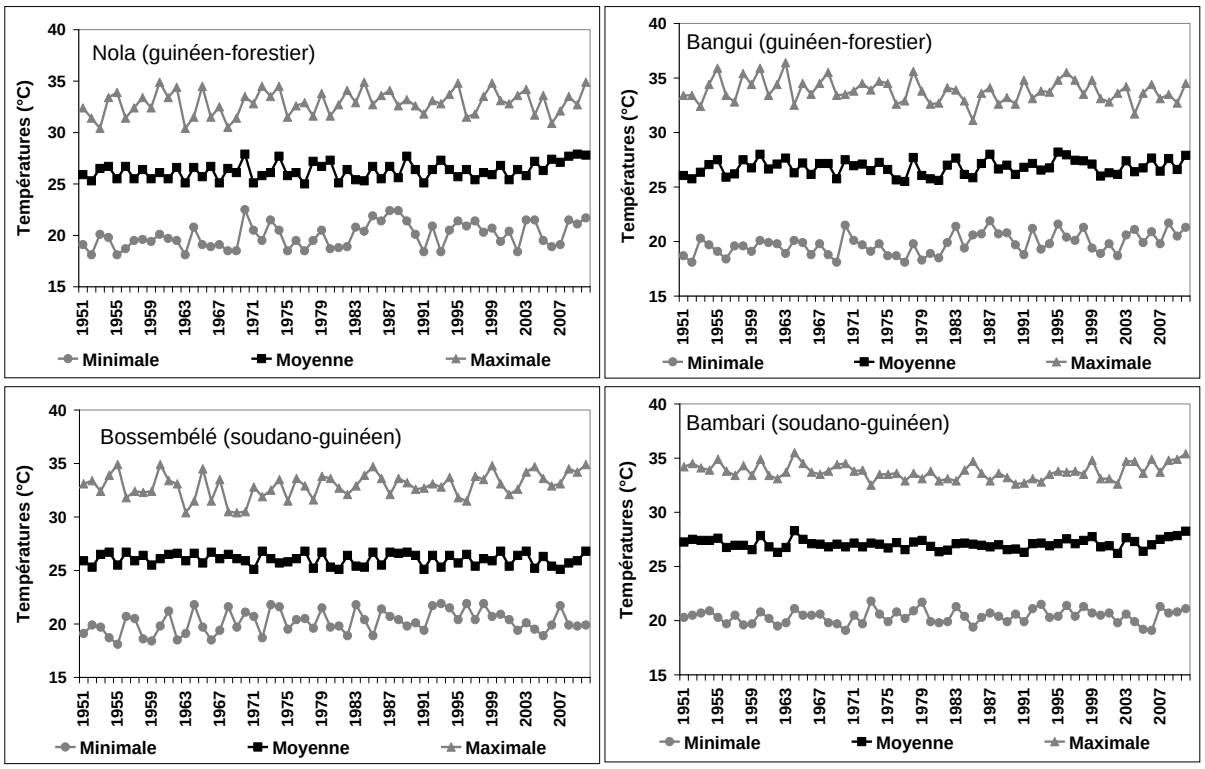
La Centrafrique étant un pays tropical caractérisé par des températures chaudes tout au long de l'année, les mois les plus chauds en moyenne sont ceux qui précèdent immédiatement la saison des pluies, c'est-à-dire mars et avril, tandis que les

températures ont tendance à être plus basses pendant la saison des pluies. Au jour le jour, on peut raisonnablement supposer que les jours secs auront tendance à être plus chauds que les jours pluvieux.

La contrainte thermique due à la chaleur est un problème plus important que la contrainte thermique due au froid (les températures minimales ne tombent généralement pas en dessous de 15 °C). La contrainte thermique due à la chaleur est examinée en termes de températures maximales et de températures minimales élevées.

### 4.2.1. Variation interannuelle des températures minimales, moyennes et maximales

Les données de température de l'air ont été analysées à partir de statistique descriptive (valeurs moyennes) et de représentations graphiques. Cette analyse a été effectuée à partir des stations retenues et a permis de comprendre la variation saisonnière et interannuelle des températures minimales, moyennes et maximales (Figure 38).



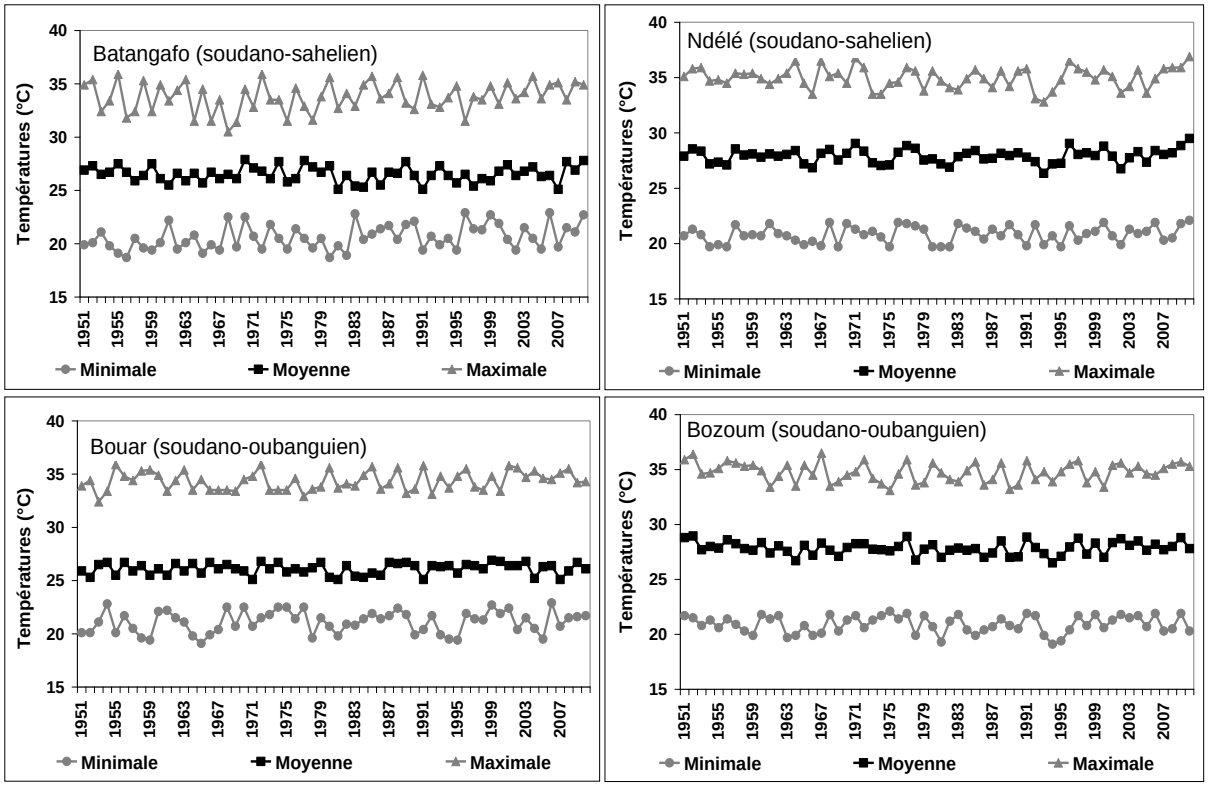



**Figure 38.** *Variabilité interannuelle des températures de l'air dans l'Ouest de la Centrafrique*
**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, 2012*

L'examen de la figure 38 montre que les températures moyennes annuelles varient de 25,5 °C à 26,6 °C au sud et 26,1 °C à 27,3 °C au nord, soit 1,1 °C et 1,2 °C, valeurs qui dépassent légèrement les prévisions du GIEC (2007). Au niveau des extrêmes thermiques, entre 1951 et 2010, on a relevé que :

- les maxima ont varié de 31,2 °C à 32,8 °C à Nola (guinéen-forestier) et de 34,1 °C à 35,9 °C à Batangafo (soudano-sahélien) ; soit une hausse respective de 1,7 °C et de 1,8 °C ;
- les minima sont passés de 18,8 °C à 20,7 °C à Boukoko au sud et de 19,5 °C à 22,1 °C à Ndélé au nord, soit une augmentation respective de 1,9 °C et 2,6 °C.

Les températures moyennes mensuelles dans la région d'étude varient entre 24,6 °C (août) et 28,7 °C (mars). Les moyennes mensuelles maximales s'observent pendant le mois de mars. En général, les températures sont élevées, mais varient peu au cours de l'année et d'une station à l'autre. Les variations inter annuelles de la température montrent qu'elle connaît une hausse régulière sur toute la période 1951-2010. D'un bout à l'autre de l'année, les températures maximales à Bossangoa et Batangafo

dépassent 33 °C soit 10 % du temps, tandis que dans le sud plus humide la valeur comparable est de 26 °C environ. Les nuits peuvent être plus chaudes dans le nord ; les températures ne descendent pas en dessous de 25 °C soit 10 % des nuits, tandis que la valeur équivalente dans le sud est de 20 °C.

Des températures minimales élevées sont plus fréquentes dans le sud humide, atteignant parfois 110 jours par an à Nola et Boukoko. Ainsi, la fréquence des jours chauds peut facilement passer du simple au double au cours des années sèches, tandis que le nombre de nuits chaudes pourrait passer du simple au triple. Maxima et minima thermiques ont augmenté depuis la fin des années 70 alors qu'elles semblaient être relativement stables auparavant.

Les températures maximales ont augmenté plus rapidement que les températures minimales : 0,35 °C par décennie contre 0,20 °C par décennie. Cette différence est entièrement due aux changements des températures maximales dans le nord, qui ont augmenté au rythme de 0,44 °C par décennie ; les taux d'augmentation des températures minimales dans le nord et des températures maximales et minimales dans le sud sont tous similaires à celui des températures minimales, c'est-à-dire approximativement de 0,21 °C à 0,24 °C par décennie. La température moyenne annuelle dans l'Ouest de la Centrafrique est restée inférieure à 25,6 °C avant 1980, date à laquelle la tendance au réchauffement est amorcée sur la plupart des stations.

### 4.2.2. Anomalies des tendances thermométriques moyennes

La magnitude des anomalies des températures moyennes annuelles est de -1,8 à + 1,9 °C dans l'Ouest de la Centrafrique avec des nuances à -1,7 à +1,4 °C à Bangui en domaine guinéen et -1,9 à +1,9 °C à Bozoum en domaine soudanien (Figure 40). Les indices thermométriques ont été déterminés : $i<1$ pour les basses températures (*bleu*) et $i>1$ pour les hautes températures (*orange*).

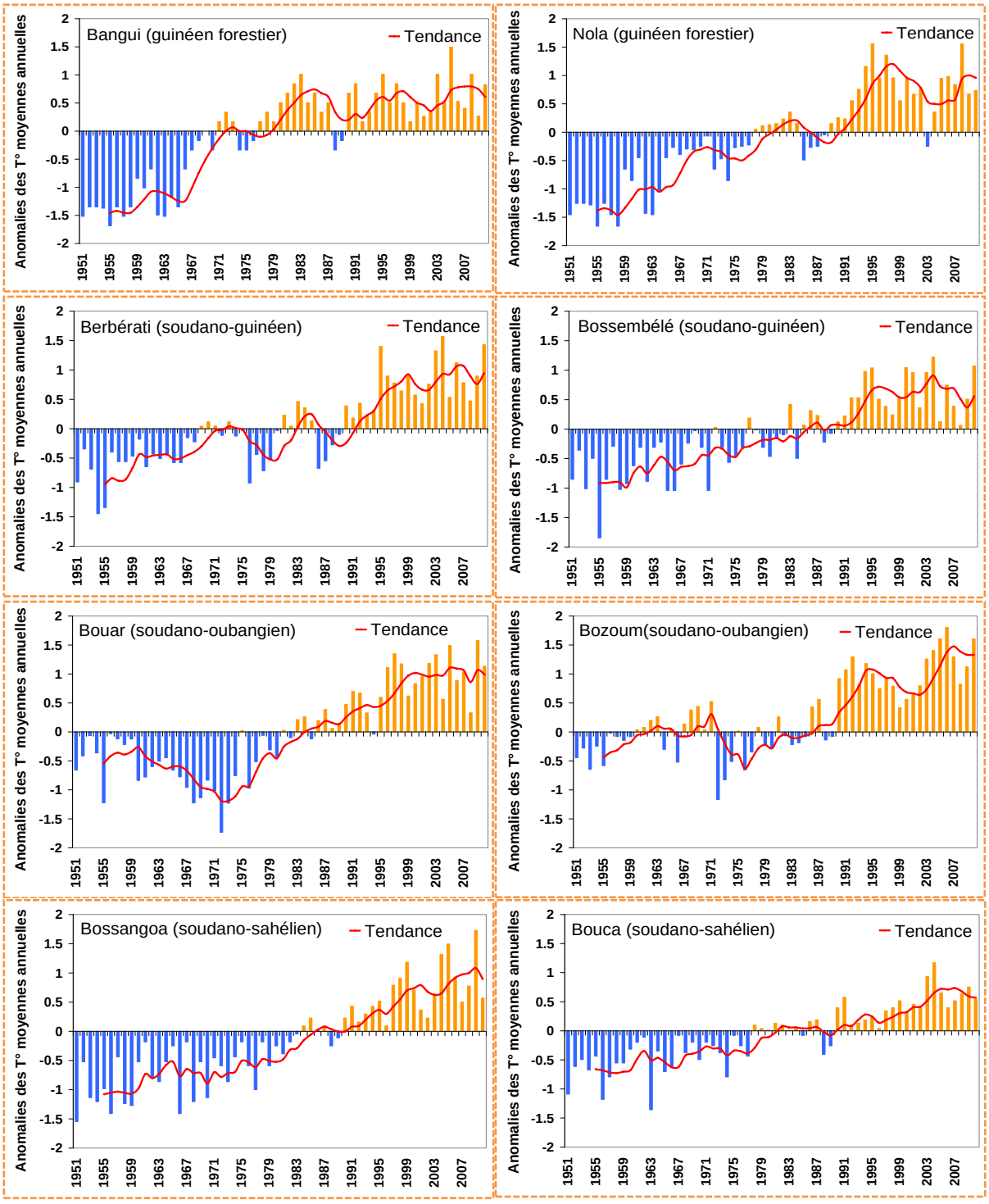



**Figure 39.** *Anomalies et tendances des températures moyennes de l'air dans la région d'étude*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, 2012*

Les écarts de température entre la période actuelle et la période 1951-1980 ont atteint pour les températures moyennes + 0,95 °C. La hausse des températures minimales est de +1,31 °C contre +0,71 °C pour les maxima. La plupart des valeurs supérieures à la moyenne ont été enregistrées à partir de 1973. L'observation de l'allure des courbes de

la figure 40 montre que les températures moyennes de l'air ont atteint les plus fortes valeurs 33,9 °C en 1995 et 34,5 °C en 2005. L'analyse des indices de températures et les cycles interannuels indiquent que la température de l'air connaît une hausse régulière et la tendance ne semble pas inversée.

En somme, les températures dans l'Ouest de la Centrafrique ont augmenté progressivement depuis la fin des années 60. Le taux d'augmentation moyen est d'environ 0,33 °C par décennie. Selon ces calculs, le taux d'augmentation est plus rapide dans le domaine soudanien (Bozoum et Bossangoa) avec 0,39 °C par décennie, que dans le domaine guinéen (Berbérati et Bambari), 0,27 °C par décennie.

### 4.3. Variabilité hygrométrique dans l'Ouest de la Centrafrique

L'humidité relative s'exprime en pourcentage et se définit comme le rapport de la quantité d'eau effectivement contenue dans l'air et la capacité d'absorption à une température donnée. L'humidité relative de l'air dans la région d'étude a été analysée à partir de statistiques descriptives (valeurs moyennes) et de représentations graphiques. Cette analyse a été effectuée à partir des stations synoptiques retenues et a permis de comprendre l'influence des fluctuations hygrométriques mensuelles de 1951 à 2010 sur les précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique (Figure 40).

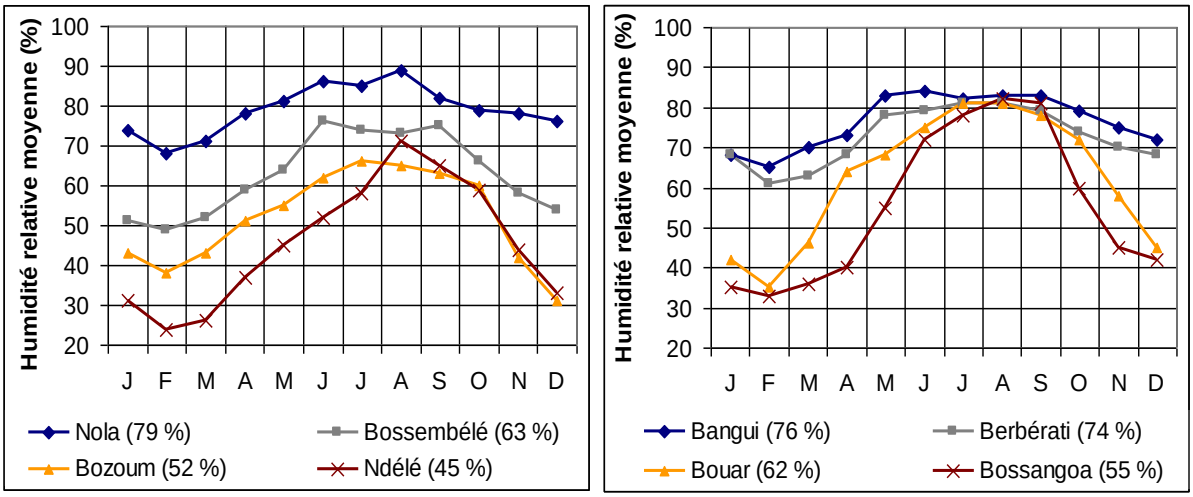



**Figure 40.** *Cycles annuels de l'humidité relative moyenne mensuelle (1951 à 2010)*
**Source** : *Résultats de traitement statistique des données hygrométriques, 2012*

Le maximum hygrométrique est atteint dans les zones forestières du sud-ouest où elle est supérieure à 88 %. De là, elle diminue très lentement vers la zone soudano-guinéenne tout en se maintenant autour de 60 à 70 % par endroit. Les plus faibles

valeurs s'observent en domaine soudano-sahélien où elles descendent en dessous de 60 % : Bossangoa 55 %, Ndélé 45 %, Batangafo 49 %. Cette forte humidité relative de l'air est la conséquence de la régularité avec laquelle souffle la mousson atlantique humide. Leur influence est accentuée localement par la forêt, la multitude des cours d'eau et des étendues marécageuses. L'humidité relative moyenne de l'air est élevée et varie au cours de l'année en présentant quelques nuances locales.

Les amplitudes sont comprises entre 4 et 10 %. Ces variations saisonnières sont analogues à celles des précipitations : les maxima (70 à 95 %) correspondent aux saisons pluvieuses de juin à octobre et les minima (20 à 40 %) de novembre à avril. D'une manière générale, même en saison sèche, l'ambiance atmosphérique demeure très humide. Les variations journalières de l'humidité relative de l'air sont en revanche plus marquées (Doukpolo, 2007).

De 1951-2010, l'humidité relative moyenne mensuelle a varié entre 27,8 % (février) et 90 % (août). Les variations inter annuelles de l'humidité relative sur la période 1951-2010 montrent que l'humidité relative est restée excédentaire, c'est à dire supérieure à 63,8 % (moyenne inter annuelle sur l'ensemble des stations météorologiques. La variation des valeurs hygrométriques dans le temps, en durée et en longueur, constitue un indicateur de l'évolution du climat.

## 4.4. Indicateurs des changements climatiques actuels dans la région d'étude

Cette section porte sur la détermination des indicateurs pluviométriques et thermométriques des changements climatiques actuels dans l'Ouest de la Centrafrique. L'approche consiste à analyser la différence entre deux pas de temps sur une longue période (décennies ou plus) comparables à deux états du climat, tels que les états d'un mois ou d'une saison sur deux normales distinctes. Dans cette étude, la série chronologique 1951-2010 a été subdivisée en deux normales (1951-1980 et 1981-2010) afin de comprendre les éventuels changements intervenus dans l'évolution du climat.

### 4.4.1. Indicateurs pluviométriques de l'évolution du climat

Les précipitations constituent un des paramètres fondamentaux du climat et leur évolution peut être indicatrice d'un changement de climat (Tableau XX).

**Tableau XX.** Ecarts en pourcentage (%) des hauteurs moyennes mensuelles de précipitations entre les normales 1981-2010 et 1951-1980

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | -11,8 | -50,1 | -27,5 | -18,2 | 17,9 | 15,5 | -8,3 | 1,3 | 3,3 | -12,3 | 2,7 | -32,9 |
| **Yokadouma** | 3,7 | -7,3 | -28,6 | 8,7 | -1,8 | 3,5 | -27,5 | 5,2 | 1,7 | -7,2 | -3,5 | 6,4 |
| **Nola** | 44,6 | -6,6 | -2,0 | 26,8 | 5,7 | 19,6 | -11,5 | 2,5 | 6,8 | -3,0 | -2,1 | 8,8 |
| **Boukoko** | -22,6 | 31,2 | 40,2 | 9,4 | 9,2 | -28,2 | -19,9 | 1,8 | 3,5 | 6,6 | 3,5 | -14,9 |
| **Berbérati** | -10,0 | -32,1 | -4,0 | 4,7 | 2,7 | -42,2 | 14,7 | 0,4 | 4,1 | 14,2 | 0,9 | -55,4 |
| **Bossembélé** | -16,4 | -41,2 | -12,8 | -54,7 | -7,9 | 14,6 | 3,5 | 6,0 | 2,4 | -11,8 | -4,0 | -32,8 |
| **Carnot** | -15,6 | -27,5 | -15,4 | -48,5 | 10,3 | -2,0 | 11,0 | 0,1 | 8,1 | -10,6 | -9,8 | -42,5 |
| **Bambari** | -8,5 | -46,3 | -33,6 | 4,7 | -1,0 | 3,1 | 17,2 | 9,2 | 6,8 | 1,4 | 7,0 | -47,2 |
| **Bouar** | -7,8 | -22,3 | -15,1 | 9,0 | 3,1 | 2,0 | 8,3 | 6,8 | 9,0 | -0,3 | 3,5 | -15,9 |
| **Méiganga** | -7,9 | -17,4 | 30,0 | -47 | -6,1 | -14,6 | 9,4 | 8,1 | 7,2 | -6,1 | 4,1 | -15,5 |
| **Bozoum** | -9,6 | -69,6 | -15,9 | -55,6 | 9,4 | 17,3 | 10,8 | 1,7 | 0,3 | -2 | -5,4 | -13,8 |
| **Yaloké** | -9,8 | -75,3 | -44,6 | -42,9 | 6,8 | -0,9 | 6,5 | 22,5 | 5,0 | 1,4 | 2,1 | -45,6 |
| **Bossangoa** | -9,5 | -53,4 | -18,2 | -24,7 | 14,5 | -6,5 | 4,5 | 31 | 2,8 | -11 | -7,9 | -7,6 |
| **Bouca** | -12,2 | -49 | -28,3 | 16,7 | 9,8 | -4,6 | 12,6 | 19,1 | 3,8 | -4,6 | -6,3 | -9,7 |
| **Batangafo** | -16 | -9,7 | -3,3 | -23,8 | 2,0 | -2,6 | 7,8 | 11,7 | 5,4 | -17,5 | -5,5 | -51,6 |
| **Ndélé** | -74,7 | -49,8 | -8,7 | -31,2 | 5,9 | -18,3 | 11,1 | 17,7 | 3,8 | -11,6 | -2,8 | -59,9 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2012*

L'analyse des résultats présentés dans le tableau XX indique que de décembre à mars toutes les stations dans l'Ouest de la Centrafrique, en dehors de celle de Yokadouma (décembre et janvier), de Nola (décembre et janvier) et Boukoko (janvier et février), ont été marquées par des baisses significatives des hauteurs pluviométriques entre 1981-2010 et 1951-1980. Ces baisses varient entre -75 et 45 %.

En avril, les hauteurs pluviométriques ont partout diminué significativement, avec notamment moins 55 % à Bozoum et à Bossembélé. Cependant au mois de mai, les augmentations les plus significatives ont été enregistrées à Carnot (+10,3 %), à Bossangoa (+14,8 %) et Bangui (+17,9 %). Pendant le même mois, Berbérati, Ndélé, Batangafo et Bouar ont connu de faibles augmentations comprises entre +2 % et +5,9 %. En juin, en dehors de Bossembélé et de Nola qui ont connu une hausse et Yaloké une faible diminution des hauteurs de précipitations, les autres stations ont été marquées par des baisses assez significatives avec -48 % à Berbérati et -28,2 % à Boukoko. En juillet, hormis les stations guinéennes forestières qui ont été marquées par des baisses significatives, les autres stations ont vu leurs hauteurs de précipitations augmenter de +17,2 % à Bambari et +12,6 % à Bouca et +11% à Ndélé.

Août et septembre ont connu des augmentations de précipitations, avec des forts accroissements significatifs enregistrés pour la plupart dans les stations soudaniennes, à Yaloké (+22,5 %), Bossangoa (+31,0 %), Ndélé (+17,7 %), Batangafo (+11,7 %) et Bouca (+19,1 %). On a noté une décroissance des hauteurs de précipitations en octobre et novembre. De fortes baisses ont été enregistrées au niveau de toutes les stations, sauf à Boukoko (6,6 % et +3,5 %), Bambari (+1,4 % et +7,0 %) et Yaloké (+1,4 et +2,1 %). L'évolution des hauteurs de précipitations à l'échelle mensuelle est globalement caractérisée par une diminution entre les normales 1981-2010 et 1951-1980. Toutes ces tendances à la baisse ont des répercussions sur les cumuls annuels des précipitations dans la région d'étude (Figure 41).

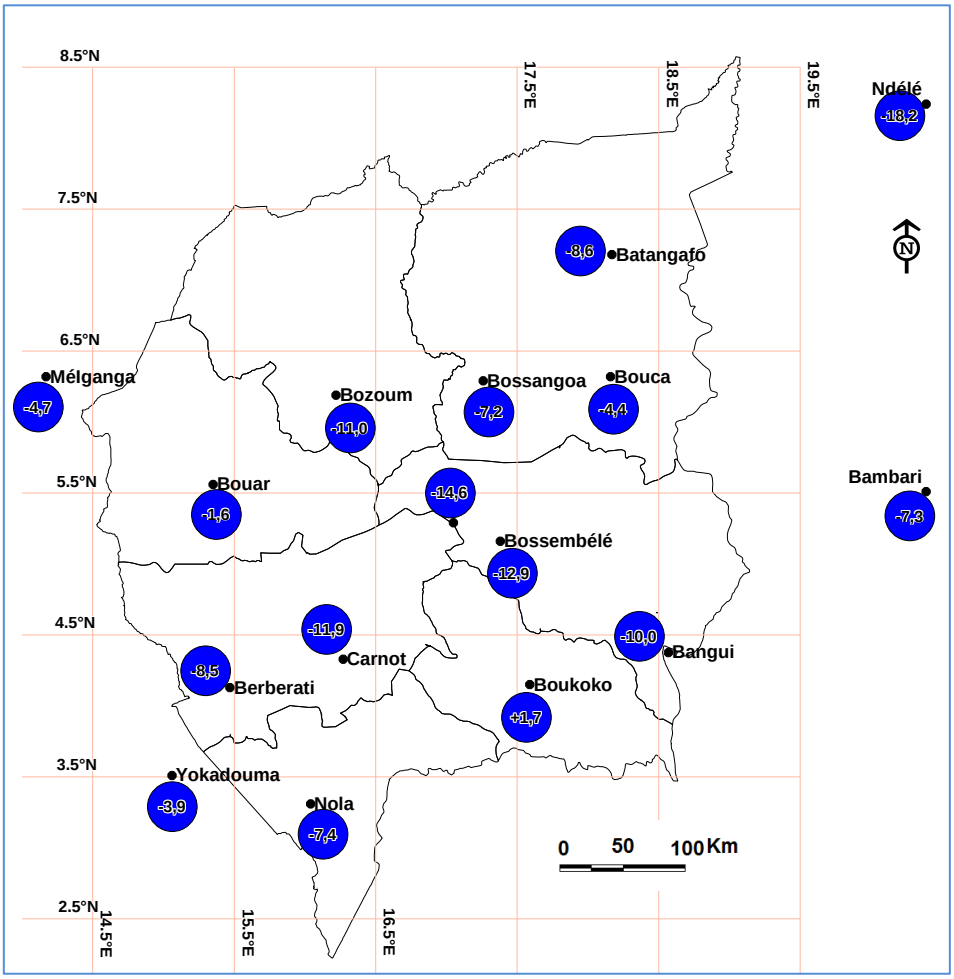



**Figure 41.** *Ecarts en % des hauteurs moyennes annuelles de précipitations entre les normales 1981-2010 et 1951-1980*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2012*

Les précipitations annuelles ont été affectées par une baisse entre les deux périodes. Les stations de Bangui, de Berbérati, de Bossangoa et de Bozoum ont enregistré des baisses inférieures à 15 %. Cette décroissance des hauteurs moyennes de précipitations à toutes les échelles peut être liée aux faibles abats pluviométriques. Elle est associée à une augmentation perceptible des températures dans l'Ouest de la Centrafrique.

### 4.4.2. Indicateurs thermométriques des changements climatiques

Les indicateurs de températures moyennes maximales (Tableau XXI) sont les écarts des valeurs moyennes calculées entre les normales 1981-2010 et 1951-1980 dans l'Ouest de la Centrafrique.

**Tableau XXI.** Ecarts mensuels des températures maximales entre les normales 1981-2010 et 1951-1980. Valeurs en °C.

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | -0,2 | +0,1 | +0,2 | +0,5 | +0,6 | +0,1 | +0,3 | +0,3 | +0,3 | +0,1 | -0,2 | +0,7 |
| **Yokadouma** | +0,1 | +0,3 | +0,4 | +0,2 | +0,3 | +0,3 | +0,2 | +0,2 | +0,1 | 0,0 | +0,1 | +0,8 |
| **Nola** | -0,1 | +0,4 | +0,3 | +0,5 | +0,5 | +0,1 | +0,1 | +0,1 | +0,4 | +0,1 | +0,1 | +0,4 |
| **Boukoko** | +0,3 | +0,2 | +0,1 | +0,3 | +0,5 | +0,4 | +0,3 | +0,2 | +0,5 | +0,2 | -0,4 | +0,7 |
| **Berbérati** | +0,7 | +0,6 | +1,4 | +1,5 | +0,5 | +0,7 | +0,6 | +0,7 | +0,4 | +0,6 | -0,3 | +0,6 |
| **Bossembélé** | +0,5 | +0,4 | +0,6 | +0,5 | +0,7 | +0,5 | +0,5 | +0,6 | +0,5 | +0,4 | +0,4 | +0,5 |
| **Carnot** | +0,6 | +0,5 | +0,5 | +0,8 | +0,6 | +0,6 | +0,6 | +0,8 | +0,4 | +0,3 | +0,5 | +0,4 |
| **Bambari** | +0,7 | +0,7 | +1,3 | +1,4 | +0,5 | +0,7 | +0,5 | +0,6 | +0,5 | +0,7 | +0,6 | +0,6 |
| **Bouar** | +0,8 | +0,8 | +0,6 | +0,6 | +0,5 | +0,5 | +0,6 | +0,6 | +0,5 | +0,8 | +0,5 | +1,1 |
| **Méiganga** | +0,5 | +0,7 | +0,6 | +0,7 | +0,6 | +0,5 | +0,8 | +0,7 | +0,5 | +0,3 | +0,6 | +0,7 |
| **Bozoum** | +0,6 | +0,5 | +0,8 | +0,6 | +0,8 | +0,4 | +0,4 | +0,6 | +0,4 | +0,6 | +0,4 | +0,8 |
| **Yaloké** | +0,7 | +0,6 | +0,6 | +0,4 | +0,9 | +0,7 | +0,6 | +0,4 | +0,4 | +0,9 | +0,3 | +0,6 |
| **Bossangoa** | +0,6 | +1,1 | +1,0 | +0,7 | +0,6 | +0,4 | +0,5 | +0,5 | +0,4 | +0,3 | +0,2 | +0,1 |
| **Bouca** | +0,5 | +1,2 | +0,5 | +1,2 | +1,2 | +0,5 | +0,4 | +0,6 | +0,6 | +0,3 | +0,1 | +0,2 |
| **Batangafo** | +0,8 | +1,2 | +1,5 | +1,4 | +1,4 | +0,7 | +0,8 | +0,4 | +0,3 | +0,4 | +0,3 | 0,0 |
| **Ndélé** | +0,6 | +1,1 | +1,3 | +1,0 | +1,3 | +0,6 | +0,7 | +0,3 | +0,5 | +0,5 | +0,4 | +0,1 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données thermométriques, 2012*

Le tableau XX indique que les températures maximales ont partout augmenté de janvier à mai entre les deux périodes. L'Ouest de la Centrafrique est le plus affecté si l'on considère seulement ces mois avec une augmentation des températures maximales atteignant 1,5 °C en mars à Batangafo. Les températures maximales diminuent à Bangui, Nola et Boukoko en novembre et janvier mais elles enregistrent une hausse significative en avril et mai. A Berbérati et Bambari, l'augmentation des températures

maximales est plus marquée avec une variation comprise entre +1,4 et +1,5 °C en mars et avril. Les mois d'août, de septembre et d'octobre ont connu des hausses respectives de +0,8 à Carnot, +0,6 à Yaloké et +0,9 °C à Bouca. Quant aux températures minimales, elles ont connu dans l'Ouest de la Centrafrique des hausses aussi significatives (Tableau XXII).

**Tableau XXII.** Ecarts mensuels des températures minimales entre les normales 1981-2010 et 1951-1980. Valeurs en °C

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Bangui** | -0,6 | +0,9 | +0,2 | +0,3 | +1,2 | +0,1 | +1,0 | +0,7 | +0,7 | +0,8 | +0,9 | +0,4 |
| **Yokadouma** | +0,5 | +0,8 | +0,2 | +0,1 | +1,0 | +0,2 | +0,9 | +0,6 | +0,5 | +0,6 | +0,4 | +0,5 |
| **Nola** | -0,6 | +0,6 | +0,1 | +0,3 | +0,9 | +0,5 | +0,7 | +0,5 | +0,4 | +0,5 | +0,6 | +0,3 |
| **Boukoko** | +0,5 | +0,7 | +0,3 | +0,2 | +1,1 | +0,3 | +0,5 | +0,2 | +0,3 | +0,3 | -0,4 | +0,5 |
| **Berbérati** | +0,5 | +0,5 | +0,5 | +0,5 | +0,5 | +0,3 | +0,4 | +0,5 | +0,3 | +0,3 | -0,5 | +0,3 |
| **Bossembélé** | +0,6 | +0,4 | +0,4 | +0,6 | +1,0 | +0,4 | +0,4 | +0,3 | +0,4 | +0,5 | +0,3 | +0,4 |
| **Carnot** | +0,2 | +0,5 | +0,3 | +0,2 | +0,7 | +0,2 | +0,3 | +0,7 | +0,2 | +0,6 | +0,3 | +0,3 |
| **Bambari** | +0,3 | +0,3 | +0,4 | +0,3 | +0,6 | +0,6 | +0,2 | +0,4 | +0,6 | +0,5 | +0,4 | +0,4 |
| **Bouar** | +0,3 | +0,6 | +0,6 | +0,5 | +0,4 | +0,2 | +0,3 | +0,5 | +0,3 | +0,5 | +0,3 | +0,1 |
| **Méiganga** | +0,5 | +0,5 | +0,5 | +0,6 | +0,6 | +0,5 | +0,2 | +0,4 | +0,4 | +0,4 | +0,4 | +0,3 |
| **Bozoum** | +0,4 | +0,2 | +0,4 | +0,4 | +0,5 | +0,2 | +0,3 | +0,5 | +0,3 | +0,5 | +0,3 | +0,2 |
| **Yaloké** | +0,2 | +0,3 | +0,7 | +0,2 | +0,8 | +0,3 | +0,1 | +0,3 | +0,5 | +0,4 | +0,4 | +0,4 |
| **Bossangoa** | -0,2 | +0,4 | +0,5 | +0,4 | +0,5 | +0,1 | +0,3 | +0,4 | +0,2 | +0,3 | +0,1 | +0,2 |
| **Bouca** | +0,1 | +0,2 | +0,4 | +1,3 | +0,2 | +0,1 | +0,2 | +0,3 | +0,1 | +0,2 | +0,1 | +0,3 |
| **Batangafo** | +0,3 | +0,3 | +0,2 | +0,6 | +0,1 | +0,2 | +0,3 | +0,4 | +0,2 | +0,2 | +0,2 | +0,5 |
| **Ndélé** | +0,3 | +0,4 | +0,4 | +1,0 | +0,3 | +0,4 | +0,4 | +0,5 | +0,4 | +0,3 | +0,3 | +0,2 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données thermométriques, 2012*

L'interprétation des résultats présentés dans le tableau XXII montre que les plus fortes augmentations des températures minimales ont été enregistrées dans les stations guinéennes forestières. Les mois de mars à septembre ont connu des augmentations supérieures à 1 °C en atteignant 1,2 °C (mai) à Bangui.

Les autres mois de l'année ont connu des hausses de températures minimales relativement peu importantes qui varient entre 0,4 et 0,9 °C. Ces données indiquent que les températures minimales ont augmenté plus rapidement que des températures maximales entre les deux périodes d'observation (Figure 42).

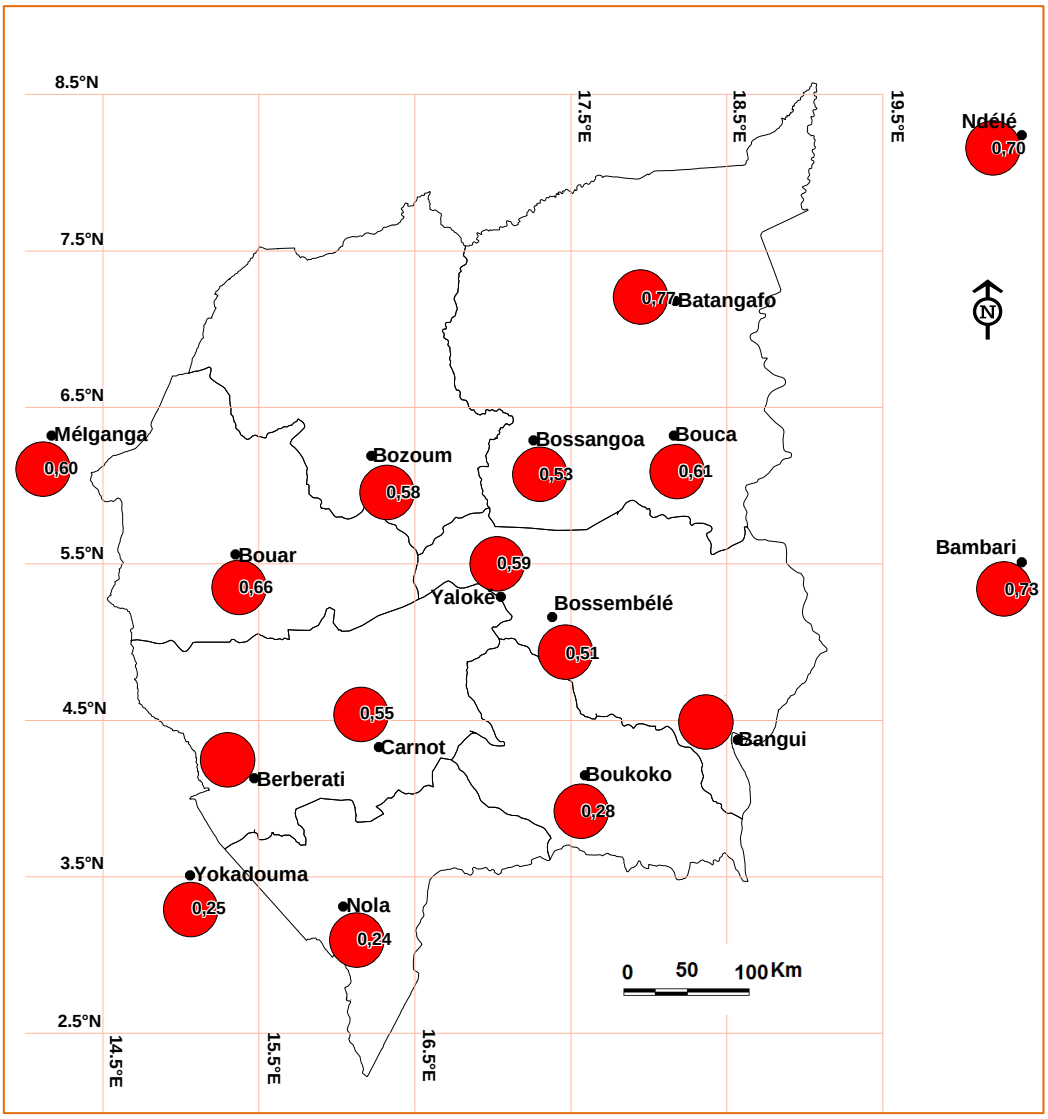



**Figure 42.** *Ecarts en valeur absolue des températures moyennes entre les normales 1981-2010 et 1951-1980*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, 2012*

L'évolution du climat dans l'Ouest de la Centrafrique est caractérisée par une hausse très marquée des températures entre les deux normales. L'augmentation des températures se renforce suivant un gradient sud-ouest/nord-est, c'est-à-dire des régions forestières vers les régions soudano-sahéliennes.

L'écart des températures moyennes entre les normales 1981-2010 et 1951-1980 est plus élevé dans le nord dépassant 0,50 dans la plupart des stations (Batangafo 0,77 ; Bouca 0,61 ; Bossangoa 0,59) que dans le sud avec des valeurs comprises entre 0,23 (Bangui) et 0,28 (Boukoko).

En résumé, les valeurs de températures dans leur ensemble sont significatives et témoignent de la nette tendance au réchauffement du climat. Un tel contexte est marqué par des manifestations de plus en plus fréquentes des événements extrêmes.

### 4.5. Evénements climatiques extrêmes dans la région d'étude

Les événements climatiques extrêmes constituent l'un des aspects clés du changement climatique. Ils peuvent se manifester de façon exceptionnelle et à fort impact. Séquences sèches consécutives, températures excessives, sécheresses intenses, pluies diluviennes, tempêtes tropicales, inondations, etc. se sont intensifiés au cours des deux dernières décennies, dépassant de précédents records.

Les variations de fréquences d'occurrence de ces extrêmes peuvent être beaucoup plus importantes que les variations de la moyenne, car fréquence et occurrence associées impacteraient fortement les activités agricoles ou les processus de croissance, de développement et de productivité des cultures. Il s'agit, notamment des pluies extrêmes, des extrêmes thermométriques supérieurs (maxima des températures maximales) et inférieurs (minima des températures minimales).

#### 4.5.1. Pluies maximales cumulées en 3 jours et leur durée de retour

Les quantités de pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs sont comprises entre 206,7mm à Berbérati pour une durée de retour de 127 ans contre 117,4 mm et 13 ans de durée de retour à Ndélé (Tableau XXII).

Ces pluies maximales ne peuvent être qualifiées de pluies extrêmes que lorsqu'elles dépassent le 90$^{ème}$ percentile (Hoogenboom et *al.*, 1995 ; Sarr et *al*., 2009). C'est ainsi qu'à Ndélé, à Bambari et sur les autres stations non représentées (Bouca, Méiganga, Yaloké, Bozoum, etc.), aucune d'entre elles n'a enregistré des pluies extrêmes ou maximales au 90$^{ème}$ percentile au regard de l'importance de certaines valeurs.

**Tableau XXIII.** Cumuls des trois (3) jours consécutifs des pluies maximales (*C3JPM*) et leur durée de retour (*DDR*)

| | **Bangui** | **Bossembélé** | **Berbérati** | **Bouar** | **Bossangoa** | **Ndélé** | **Boukoko** | **Bambari** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C3JPM** en *mm****** | 197,4 | 176,5 | 206,7 | 172,9 | 187,1 | 117,4 | 213,6 | 146,8 |
| **Jours/ mois** | 03-05 *août* | 29-31 *juillet* | 04-06 *août* | 10-13 *août* | 31 *août* 02 *sept* | 02-04 *sept* | 07-09 *août* | 10-12 *août* |
| ***DDR*** en *an* | 61 | 98 | 79 | 34 | 57 | 13 | 53 | 95 |

******* *Valeurs calculées en **1999**, année ayant enregistré le record des pluies maximales entre 1951 et 2010 dans la zone d'étude suivies des inondations sans précédents qui se sont illustrées avec des impacts agricoles considérables.*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2012*

À Nola et Batangafo, les pluies maximales cumulées en 3 jours ont atteint respectivement 103,3 mm et 71,6 mm. Au regard de ce qui précède, les stations ayant enregistré des pluies extrêmes en 1999 dans la zone d'étude sont celles illustrées par la figure 43 exceptées Ndélé et Bambari.

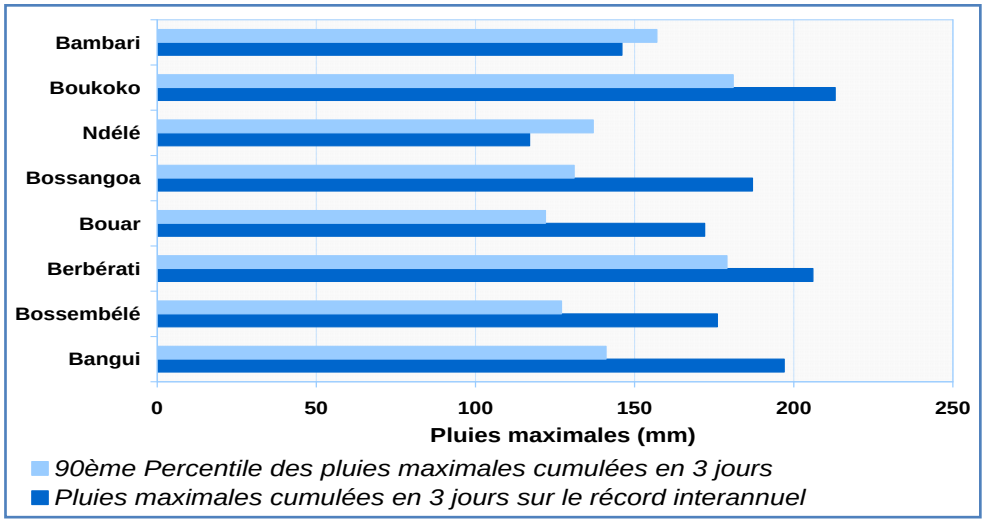



**Figure 43.** *Pluies maximales cumulées en 3 jours en 1999 et 90$^{ème}$ percentile des pluies maximales cumulées en 3 jours pour la période 1951-2010 dans l'Ouest de la Centrafrique*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2012*

### 4.4.2. Nombre de jours de pluies supérieures à 50 mm et leur degré de significativité

Bangui, Boukoko, Bossangoa et Berbérati ont enregistré un nombre de jours de pluie journalière supérieure à 50 mm en 1999 significativement différents selon le test de Student (risque d'erreur de 5 %) avec la moyenne de la série 1951-2010 (Figure 44).

Ces pluies ont été considérées comme pouvant engendrer des inondations pluviales et fluviales avec des dégâts importants.

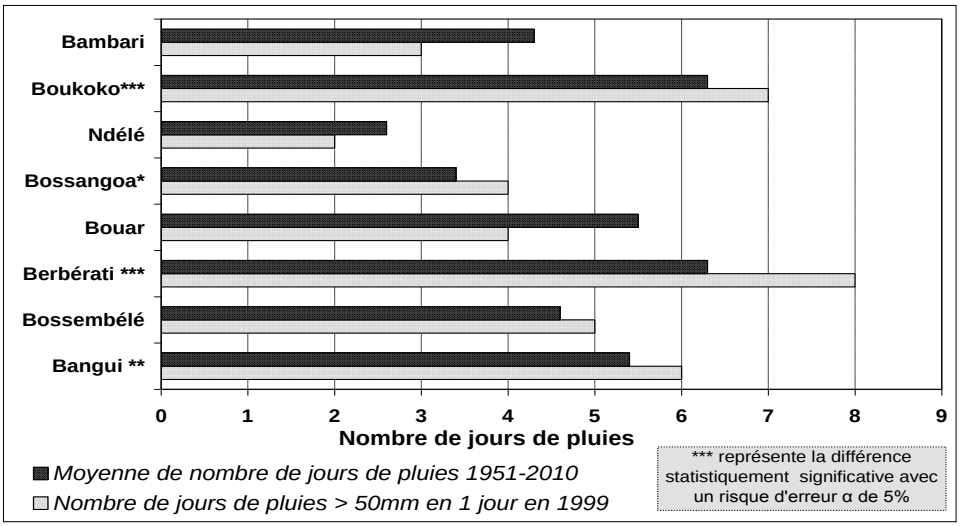



**Figure 44.** *Comparaison du nombre de jours de pluie >50 mm en 1999 avec la moyenne de la série chronologique 1951-2010 dans l'Ouest de la Centrafrique*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, 2012*

En somme, l'analyse des résultats montre que 06 stations sur 08 étudiées ont enregistré des pluies maximales cumulées en 3 jours consécutifs supérieures au 90$^{ème}$ percentile. Ce sont ces pluies qui ont un caractère extrême dans la région d'étude en 1999. Cependant, on a observé une augmentation significative du nombre de jours de pluie journalière (> 50 mm) par rapport à la moyenne 1951-2010 en domaine guinéen.

### 4.5.3. Températures extrêmes maximales et minimales

Dans cette étude, on va s'intéresser davantage aux températures extrêmes maximales, même si l'occurrence des basses températures extrêmes peut se traduire par un allongement du cycle des cultures, ce qui est d'ailleurs de moins en moins rare sous les tropiques en période culturale active. La valeur seuil thermique devient une contrainte agrophysiologique majeure pour la plante, c'est ainsi qu'il est nécessaire de connaître la fréquence de ces valeurs seuils et de déterminer les dates de semis et de floraison climatiquement optimales pour les cultures. La figure 45 présente la variabilité inter annuelle du nombre de jours des paroxysmes des températures maximales.

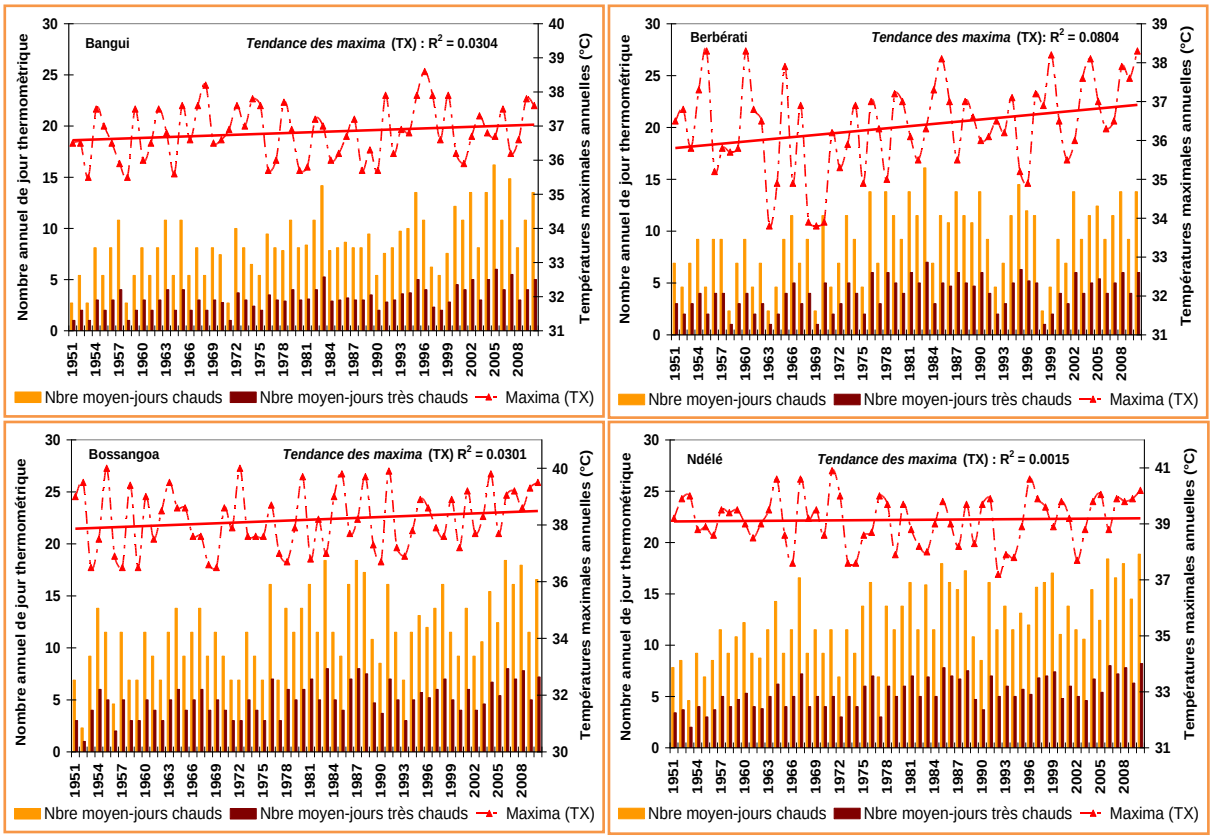



**Figure 45.** *Variabilité inter annuelle du nombre de jours de forte chaleur, de très forte chaleur et des paroxysmes des températures maximales (1951-2010) : Bangui et Berbérati dans le domaine guinéen (sud), Bossangoa et Ndélé dans le domaine soudanien (nord)*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, 2012*

Trois catégories de grande chaleur relatives ont été mises en évidence : forte, très forte et torride (Tableau III). Seuls les jours de très forte chaleur méritent l'attention et le qualificatif de «paroxysme », limite difficilement supportable pour les plantes retenues dans le cadre de cette étude. Les jours de forte chaleur et de très forte chaleur représentent respectivement 9,13 % et 3,97 % à Berbérati et, 11,59 % et 5,04 % à Bossangoa de l'ensemble des observations quotidiennes inter annuelles de 1951-2010.

De plus en plus fréquents, les paroxysmes thermiques s'illustrent par leur intensité et par la grande variabilité inter annuelle de leur occurrence dans l'Ouest de la Centrafrique. En termes des maxima des TX enregistrées entre mars et juin, les paroxysmes de chaleur atteignent quasiment 40 °C. Les périodes de retour des paroxysmes des TN et TX diurnes extrêmes ont été déterminées par la loi de Gumbel. Les maxima de TX diurnes et TN nocturnes affichent une certaine régularité d'occurrence.

Des TX < 36 °C et des TN < 20 °C se reproduisent toutes les années à Berbérati et à Bangui (Figure 46 et 47). Les températures supérieures à ces deux seuils deviennent ensuite de moins en moins probables.

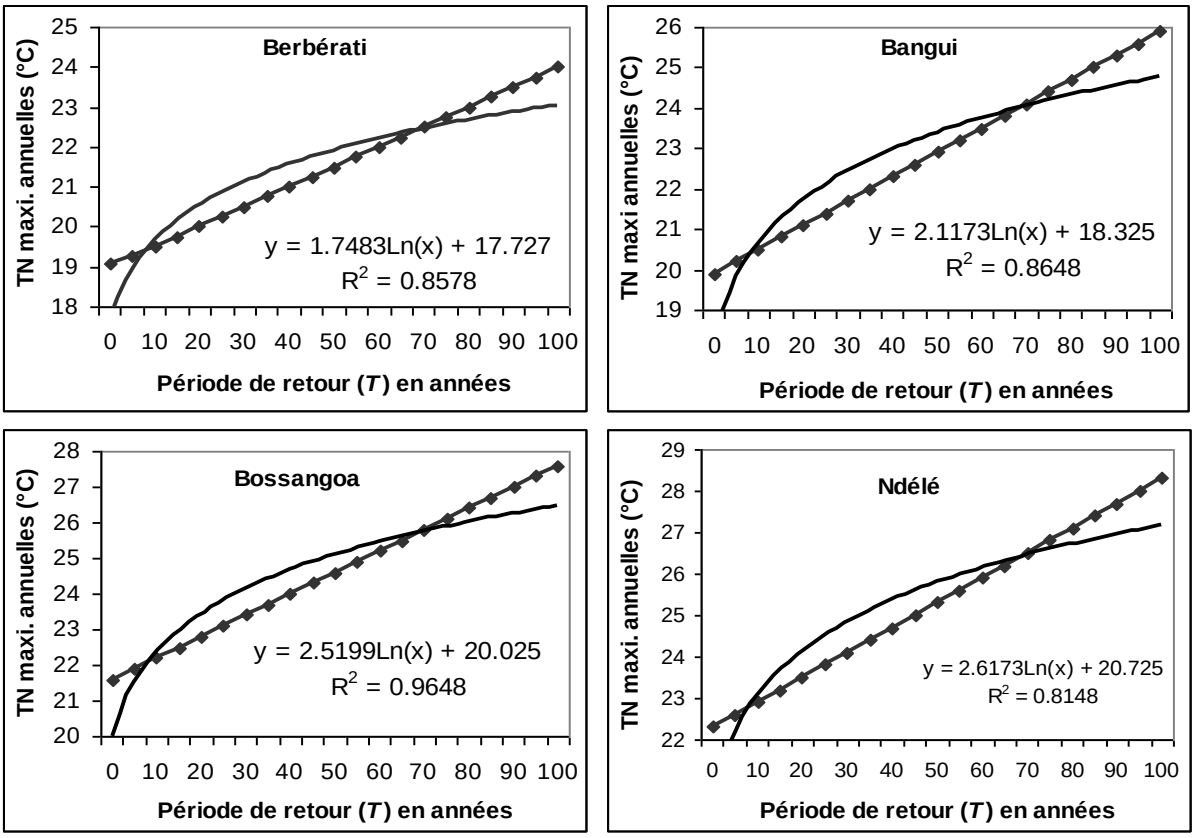
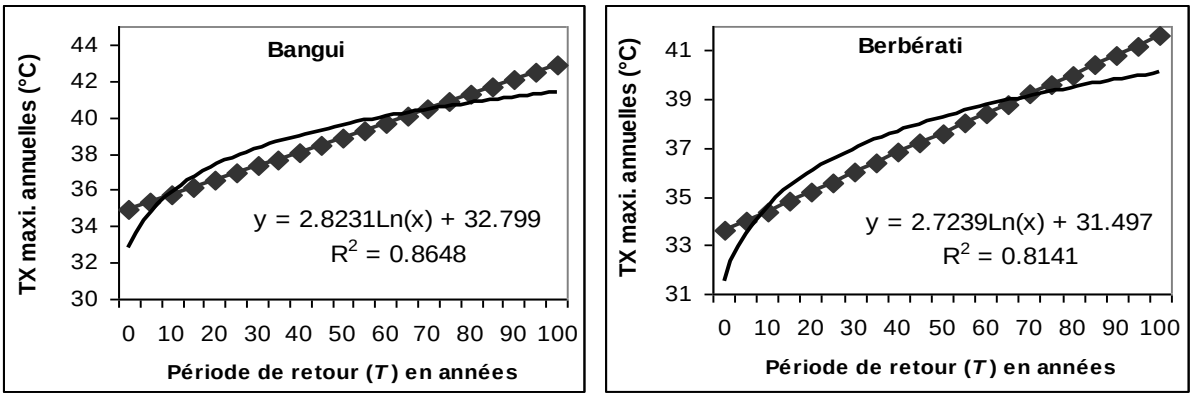



**Figure 46.** *Durées de retour des températures minimales extrêmes annuelles. Les projections sont effectuées par la loi de Gumbel avec la série TN(1951-2010)*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, 2012*



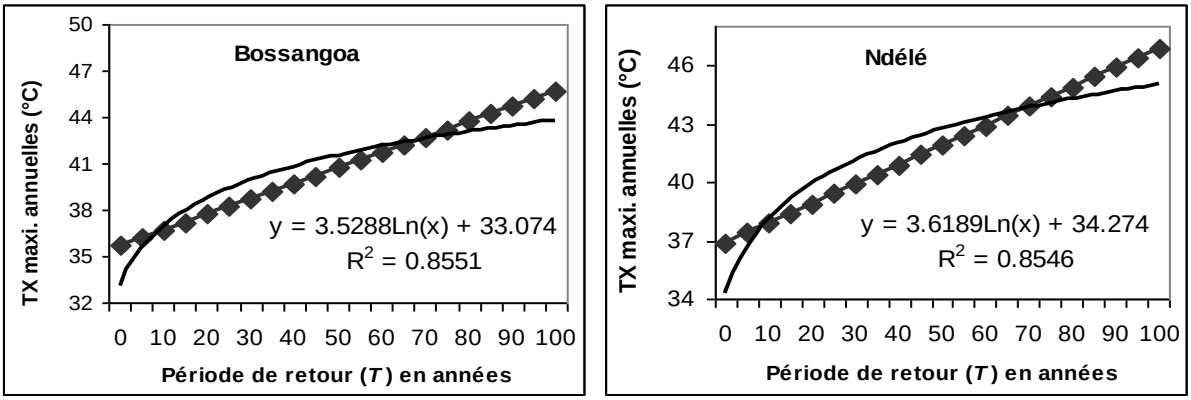



**Figure 47.** *Durées de retour des températures maximales extrêmes annuelles. Les projections sont effectuées par la loi de Gumbel avec la série des TX (1951-2010)*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, 2012*

La fréquence des jours de forte chaleur et des températures maximales indique une tendance à l'augmentation, particulièrement remarquable depuis la fin des années 1980. La fluctuation de fréquence des jours à chaleur paroxysmique est étroitement corrélée aux températures maximales inter-vernales (mars à juin). Les années 1983, 1995, 2003 et 2005 ont été particulièrement chaudes. Elles ont enregistré des fréquences élevées de paroxysmes de chaleur. Des températures paroxysmiques de l'ordre de 37 °C pour les TX et 22 °C pour les TN ont une période de retour décennale à Ndélé et à Bossangoa.

Des températures paroxysmiques plus importantes restent possibles, mais avec des probabilités de retour plus espacées, de l'ordre de plus de 20 ans. En l'occurrence, des TX de 38 °C risquent de se produire tous les quarts du siècle. Mais, compte tenu de la tendance actuelle au réchauffement thermique observé à la station dans la région d'étude, on risque d'avoir des TX qui atteindraient 45 °C au moins une fois par siècle dans les régions du nord, notamment à Bossangoa et à Ndélé.

Les événements climatiques extrêmes se sont multipliés dans l'Ouest de la Centrafrique au cours des années 1980 et pourraient bien être responsables de cette tendance générale, car il est très vraisemblable que plusieurs de ces événements extrêmes record soient fortement liés au contexte global du réchauffement planétaire (Christensen et *al.*, 2007).

La sécheresse de 1983 avait été vécue dans l'Ouest de la Centrafrique comme un événement exceptionnel. En revanche, les sécheresses plus récentes, du début des années 1990 et surtout celles de 2003 et de 2005, ont été davantage perçues comme une des manifestations possibles du changement climatique annonçant un retour plus fréquent de ces anomalies qui, de statut de catastrophe exceptionnelle, pourraient passer au statut de phénomène récurrent diversement perçu par les communautés paysannes.

### 4.6. Perceptions paysannes de l'évolution du climat dans la région d'étude

Les perceptions ethno-météorologiques paysannes du changement climatique actuel dans l'Ouest de la Centrafrique constituent des savoirs locaux basés sur les expériences vécues pour expliquer et comprendre l'évolution récente du climat. À partir d'enquêtes auprès des exploitants agricoles, les conclusions montrent que les paysans perçoivent clairement les effets des changements du climat qui se traduisent par une modification de l'environnement biophysique et agrobiologique.

Les faits évocateurs de ces changements se manifestent par des orages violents, l'irrégularité des pluies, les sécheresses récurrentes, la perturbation dans la durée des différentes saisons de l'année et des périodes de semis, la disparition des points d'eau temporaires, la dégradation des ressources végétales, la disparition progressive de la biodiversité, la baisse des rendements, la modification du système fourrager, les changements sensibles de la physionomie du paysage et la disparition de la faune (Tableau XXIV).

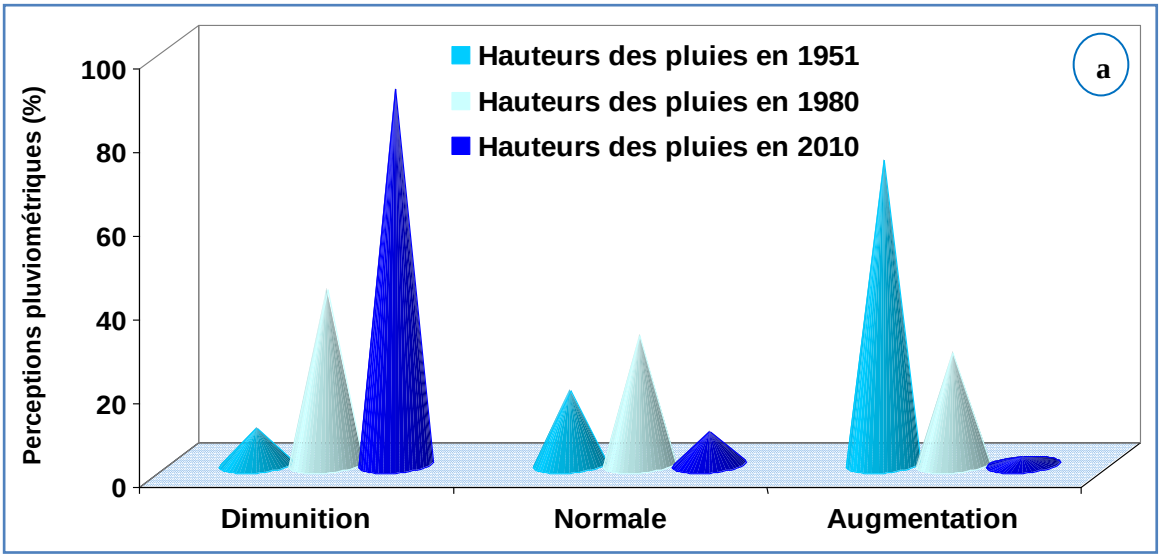
**Tableau XXIV.** Perceptions paysannes et quelques manifestations de la modification du climat dans l'Ouest de la Centrafrique

| **Bouleversements climatiques majeurs** | **Quelques conséquences** |
|---|---|
| Poches de pluies en saison sèche | Croissance rapide de certaines plantes telles que le bananier plantain, le taro et le manioc |
| Assèchement de certains cours d'eau et marécages | Production de maïs de contre-saison, avec passage d'un à deux cycles de production annuelle |
| Pluies diluviennes et tempêtes répétées | Pourriture des tubercules de manioc, taro, igname |
| Poche de sécheresse en saison pluvieuse | Etiolement du riz pluvial, des arachides et du maïs |
| Augmentation de la chaleur en saison sèche (durée et intensité) | Baisse de production des produits forestiers non ligneux (chenilles, champignons, etc.) |

| | |
|---|---|
| Modification des régimes hydrologiques (assèchement de certains cours d'eau) | Impossibilité de pratiquer le maraîchage et les cultures de contre-saison |
| Vagues de chaleur | Impacts sur la levée et la floraison |
| Vents violents | Destruction des champs et cultures |

**Source :** *Enquêtes de terrain, mai-juin, 2011*

- La baisse des précipitations est perçue par 28,2 % des paysans en zone sahélienne, 45,6 % en zone soudano-sahélienne et 23 % en zone soudanienne. Cette perception semble s'expliquer par des facteurs non climatiques, car, vraisemblablement, elle devrait être plus élevée en zone sahélienne. La zone soudano-sahélienne est fortement peuplée. L'impact de cette densité démographique s'explique par la dégradation des sols et des ressources végétales qui rend plus perceptible la baisse des précipitations.
- Baisse des totaux pluviométriques et tendance perceptible au réchauffement : 91 % des paysans pensent que les hauteurs de pluies ont diminué de nos jours (2010) contre 6 % en 1951 (Franquin, 1969). Par contre, pour 80 % des paysans de la région d'étude, les précipitations étaient normales en 1951 jusqu'en 1980 contre moins de 2 % actuellement. L'interprétation des données ethno-météorologiques indique que la tendance pluviométrique est régressive et évolue vers une aridification (Figure 48). Les hauteurs d'eau ont baissé de 17,4 % entre 1951 et 2010.



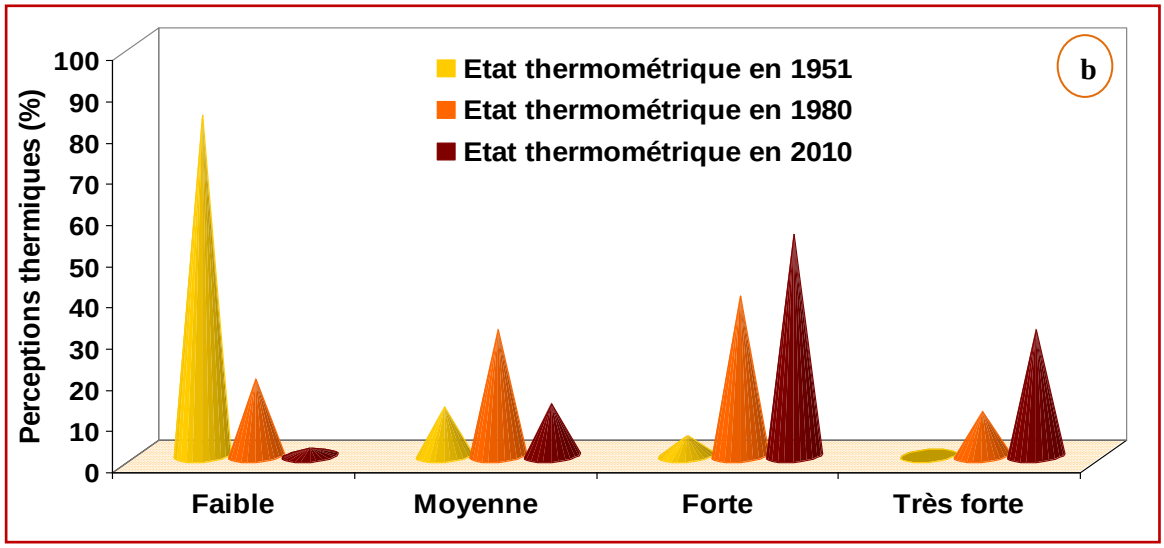
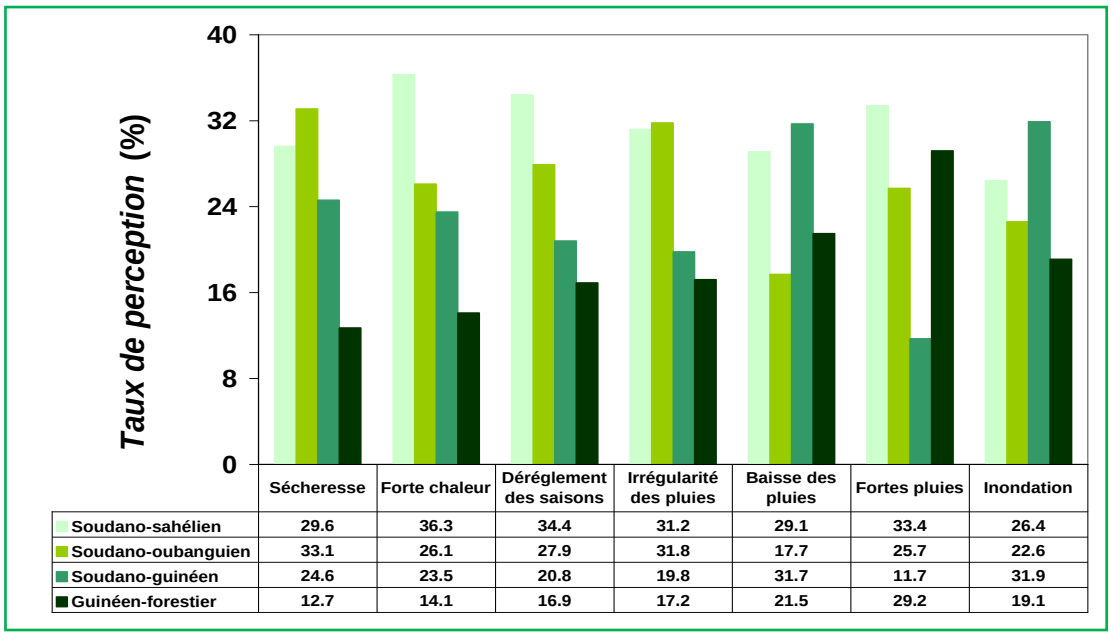



**Figure 48.** *Perceptions paysannes (%) de l'évolution du climat (précipitations et températures) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données ethno-climatologiques, 2012*

- Environ 83 % des paysans pensent qu'en 1951, l'intensité de la température était faible contre 19 % 30 ans après et 2 % en 2010. Par contre, plus de 40 % des paysans considèrent que cette intensité a augmenté contre 0 % de répondants en 1951. L'analyse de la figure 48b révèle une tendance évolutive au réchauffement du climat dans la région d'étude entre 1951 et 2010.
- La perception de la fréquence des poches de sécheresse est plus élevée en zone soudanienne. Cette zone est plus sensible aux poches de sécheresse, du fait des variétés et des cultures à cycle long qui les exposent plus aux poches de sécheresse, d'où la forte perception observée. Elle reste cependant la zone la moins exposée aux déficits hydriques.
- Fortes pluies, vents forts et inondations ont été notés tant en zone soudanienne qu'en zone guinéenne. Les changements climatiques actuels ont entrainé une détérioration de l'environnement. Ce changement est perçu par les paysans à travers ses effets directs sur les sols (dégradation) et le couvert végétal (déforestation/déboisement). Cette représentation concerne 36 % des exploitants en zone soudanienne et explique la faible valeur des informations sur la perception de la baisse des précipitations dans cette zone.
- Le dérèglement de la saison des pluies est perçu par 24,7 % des paysans. Ce phénomène se manifeste par une diminution de la durée de la saison des pluies, un

début tardif ou/et un arrêt précoce des pluies. Quant à l'irrégularité des précipitations, elle est moins perçue en zone sahélienne, car c'est une constante du climat sahélien, d'où la faible perception de son évolution dans le temps (Figure 49).




| | Sécheresse | Forte chaleur | Déréglement des saisons | Irrégularité des pluies | Baisse des pluies | Fortes pluies | Inondation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Soudano-sahélien | 29.6 | 36.3 | 34.4 | 31.2 | 29.1 | 33.4 | 26.4 |
| Soudano-oubanguien | 33.1 | 26.1 | 27.9 | 31.8 | 17.7 | 25.7 | 22.6 |
| Soudano-guinéen | 24.6 | 23.5 | 20.8 | 19.8 | 31.7 | 11.7 | 31.9 |
| Guinéen-forestier | 12.7 | 14.1 | 16.9 | 17.2 | 21.5 | 29.2 | 19.1 |

**Figure 49.** *Perceptions paysannes (%) des perturbations climatiques par domaine agroclimatique dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données ethno-climatologiques, 2012*

Depuis quelques décennies, l'insolation est si forte qu'elle ne facilite plus l'exercice des activités agricoles. Plus de 80 % des paysans ont remarqué un fort rayonnement du soleil qui n'est que la manifestation de l'augmentation des températures. Cela est un indicateur qualitatif de l'évolution du climat.

Soixante dix neuf pourcent (79 %) de la population affirment que les 30 dernières années ont été marquées par une mauvaise répartition des pluies et par une réduction du nombre de jours pluvieux.

### Discussion

L'analyse des données climatologiques montre que dans l'Ouest de la Centrafrique, les dernières décennies ont été caractérisées par des évolutions très marquées, en particulier par des épisodes de sécheresse significative. Les perceptions paysannes des changements du climat semblent corroborer les observations météorologiques et la

littérature scientifique dans la région d'étude. Les connaissances que les populations ont sur les faits climatiques, combien subjectives et qualitatives, peuvent aider à valider les analyses scientifiques. La prévision des manifestations climatiques demeure indispensable pour l'exercice des activités agricoles. Le paysan est confronté aux faux départs pluviométriques de la saison culturale, qui sont préjudiciables aux semis et à la mise en place du système végétatif.

L'ampleur des variations climatiques a occasionné dans les zones soudano-guinéennes et forestières de la Centrafrique de forte diminution des précipitations avec une rupture nette détectée entre 1968-1971. Des épisodes de forts déficits pluviométriques en 1972 et 1973, de 1982 à 1984, en 1997 et en 2005 ont conduit au glissement des isohyètes de 100 à 200 km vers le sud. A partir de la décennie 90, un léger retour à des conditions normales des précipitations a été constaté dans la région d'étude. Ces résultats confirment les conclusions de travaux de Bigot et *al.* (1998) et de Janicot (2002) sur la forte variabilité inter annuelle et décennale des précipitations en Afrique tropicale.

L'Ouest de la Centrafrique est de plus en plus vulnérable à l'accroissement de la variabilité climatique actuelle. Cette région, à vocation agricole, risque d'être durablement affectée par les impacts des changements climatiques futurs, d'où l'intérêt de modéliser le climat actuel sur la base des observations récentes et des scénarios SRES en vue de simuler les projections climatiques futures dans la région d'étude.

# CHAPITRE V
# SCENARIOS ET PROJECTIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE

Le chapitre 5 expose les scénarios et projections des changements climatiques aux horizons 2050 et 2100 dans l'Ouest de la Centrafrique. Les différentes manifestations des événements climatiques extrêmes futurs sont énumérées par station étudiée dans ce même chapitre. Il s'agit de décrire les scénarios climatiques futurs à partir des données d'observation et de valider la performance des sorties des modèles climatiques pour les projections futures.

## 5.1. Changements climatiques : du global à l'échelle Centre-Africaine

Différentes activités humaines contribuent à une augmentation des concentrations des GES et des aérosols dans l'atmosphère. Elles modifient les bilans hydrologique, chimique et énergétique de la surface de la Terre. Les activités anthropiques sont sensibles à l'état du système climatique et à l'impact de l'évolution de ce dernier entrainant une boucle de rétroaction (Figure 50.).

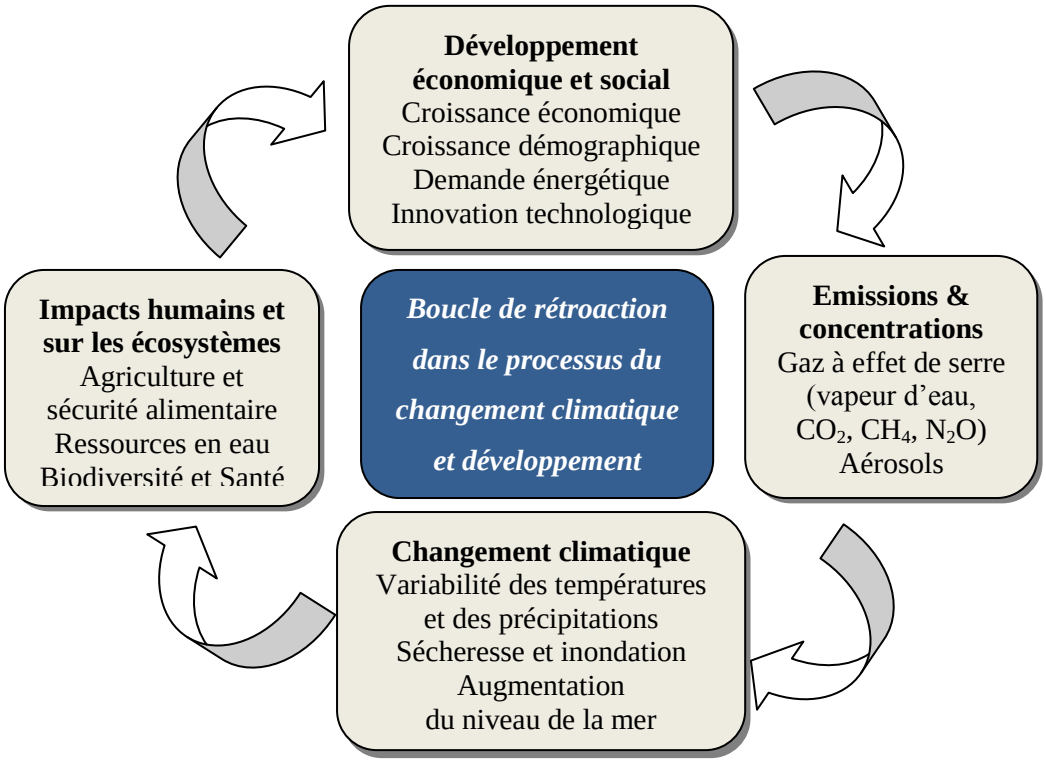



**Figure 50.** *Schéma descriptif de la boucle de rétroaction*
*Adapté du* GIEC (2001)

Le climat de la Terre dépend de nombreux facteurs, tels que la teneur en gaz à effet de serre (GES) de l'atmosphère, la quantité d'énergie provenant du soleil et les propriétés de la surface de la Terre. Quand il y a la modification de ces facteurs, ceux-ci provoquent un réchauffement ou un refroidissement de la planète, car il modifie la quantité d'énergie solaire qui sera absorbée ou réfléchie dans l'espace (Hoogenboom et *al*., 1995).

Il est encore aujourd'hui délicat d'évaluer l'ampleur et la nature des changements climatiques futurs, en particulier pour ce qui concerne les précipitations dans la zone tropicale de l'Afrique où des incertitudes demeurent sur les résultats des projections. Mais, les modèles climatiques sont relativement satisfaisants pour prévoir le changement de températures. Les projections des modèles climatiques présentées dans l'AR4 du GIEC (2007) indiquent que la température du globe est susceptible d'augmenter de 1,5 à 4 °C d'ici 2100.

Les projections proviennent de l'utilisation de modèles ayant des sensibilités différentes pour les concentrations de gaz à effet de serre et l'estimation des émissions futures. Malgré les différentes incertitudes réduisant la confiance dans les résultats de la modélisation, cette dernière offre la possibilité d'étudier l'évolution du climat dans le futur, d'évaluer quantitativement l'impact du changement climatique et donc l'efficience des stratégies d'adaptation afin d'anticiper les impacts négatifs.

Selon les scénarios, une augmentation des émissions futures de gaz à effet de serre devrait probablement accroître le réchauffement global et induire de multiples effets sur le système climatique mondial se traduisant par une généralisation de vagues de chaleur et des épisodes de fortes précipitations dans certaines régions du globe (GIEC, 2012). Cependant, le processus d'acquisition des connaissances sur les changements climatiques à l'échelle de l'Afrique est tout à fait récent (Adger et *al*., 1999).

Le GIEC a évalué les tendances des précipitations sur les régions de 5° latitude sur 5° longitude et, bien que l'on ne dispose pas de données suffisantes pour réaliser une évaluation pour la Centrafrique, il semble que, pendant la période de 1901 à 2005, la région Centrafricaine ait connu des tendances statistiquement sensibles à la baisse, de l'ordre de 5 à 20 % par siècle (Harrison et Boulahya, 2010). L'ampleur respective des

contributions anthropiques au changement climatique et de la variabilité naturelle du climat à cette tendance à la baisse est une question non résolue.

### 5.1.1. Températures globales moyennes observées et prévues

Sur une période plus récente, des scientifiques ont montré une tendance au réchauffement global. Les mesures terrestres de températures réalisées entre 1880 à 2010 montrent une élévation générale de 0,74 °C(GIEC, 2007). Le GIEC tire la sonnette d'alarme depuis de nombreuses années quant à l'ampleur et aux effets du réchauffement climatique global, au cours desquelles la primauté de la responsabilité humaine sur les facteurs naturels dans le réchauffement climatique global est prouvée.

Dans son quatrième rapport, le GIEC confirmait qu'au cours du 21ème siècle, le réchauffement climatique en Afrique sera plus important qu'au niveau mondial (GIEC, 2007). Ainsi, la hausse de la température moyenne entre 2080-2100 par rapport à la moyenne de 1960-1990 s'échelonnerait entre 3 et 5 °C sur l'ensemble du continent, 1,5 fois plus qu'au niveau mondial (Figure 51).

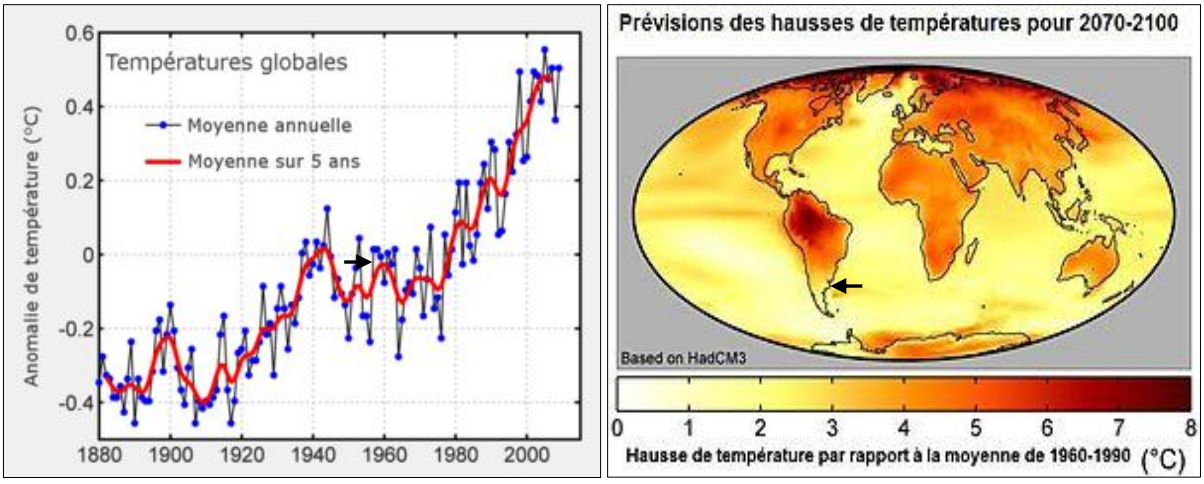



**Figure 51.** *Evolution des températures globales moyennes de surface de 1880 à 2010 et prévisions des hausses de températures, 2070-2100, par rapport à 1960-1999*

**Source :** GIEC (2007)

Les projections relatives aux changements climatiques à venir prévoient un réchauffement d'environ 0,2 °C par décennie au cours des vingt prochaines années selon les anticipations faites dans plusieurs scénarios d'émissions SRES (GIEC, 2007). Même si les concentrations de l'ensemble des GES et des aérosols avaient été maintenues aux niveaux de 2000, l'élévation des températures se poursuivrait à raison de 0,1 °C environ par décennie (Barrow et *al.*, 2004).

### 5.1.2. Projections des précipitations à l'échelle globale

Sur la base de plusieurs modèles climatiques, il est probable que les cyclones tropicaux (ouragans et typhons) deviendront plus intenses, avec une accélération des vitesses de pointe des vents et un accroissement des précipitations du fait de l'augmentation de la température à la surface des mers tropicales (Totin, 2010). Les projections de précipitations dans le 3e rapport du GIEC indiquent que leur volume augmentera très probablement aux latitudes élevées, alors qu'il diminuera probablement dans la plupart des régions continentales subtropicales (-20 à -5 % en 2100 selon le scénario A1B de la figure 52).

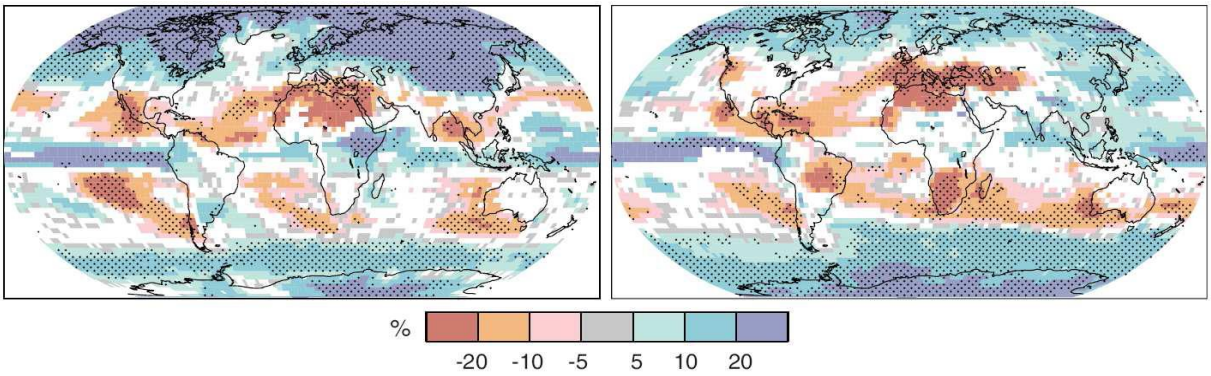



**Figure 52.** *Variation relatives du régime des précipitations (%) pour la période 2070-2099, par rapport à la période 1980-1999 à l'échelle globale.*

**Source** : GIEC (2007)

*Les valeurs indiquées sont des moyennes tirées de plusieurs modèles, obtenues à partir du scénario A1B du SRES pour des périodes allant de décembre à février (à gauche) et de juin à août (à droite). Les zones en blanc correspondent aux régions où moins de 66 % des modèles concordent sur le sens de la variation et les zones en pointillé à celles où plus de 90 % des modèles concordent sur celui-ci.*

### 5.1.3. Variations futures des températures et des précipitations en Afrique centrale

Selon Biasutti et Giannini (2006), les modèles projettent pour l'Afrique centrale des hausses de températures qui seront très probablement supérieures à la hausse moyenne globale avec une accentuation sur la zone soudano-sahélienne. Les biais sur les températures simulées ne sont pas assez importants pour remettre en cause les projections futures. Le signe des variations des précipitations dans la zone soudano-guinéenne demeure incertain. Les modèles génèrent des réponses claires mais contradictoires (Totin, 2010).

La moyenne d'ensemble des modèles présente une faible tendance à la baisse des précipitations en Centrafrique pour la fin du 20e siècle mais cette tendance ne se maintient pas au 21e siècle.

En général, il y a davantage de confiance dans les projections des modèles à des échelles régionales bien que les modèles globaux de climat présentent encore des biais systématiques importants sur l'Afrique, notamment la région tropicale comparativement à d'autres régions (Christensen et *al.*, 2007) tels que illustrés par la figure 53.

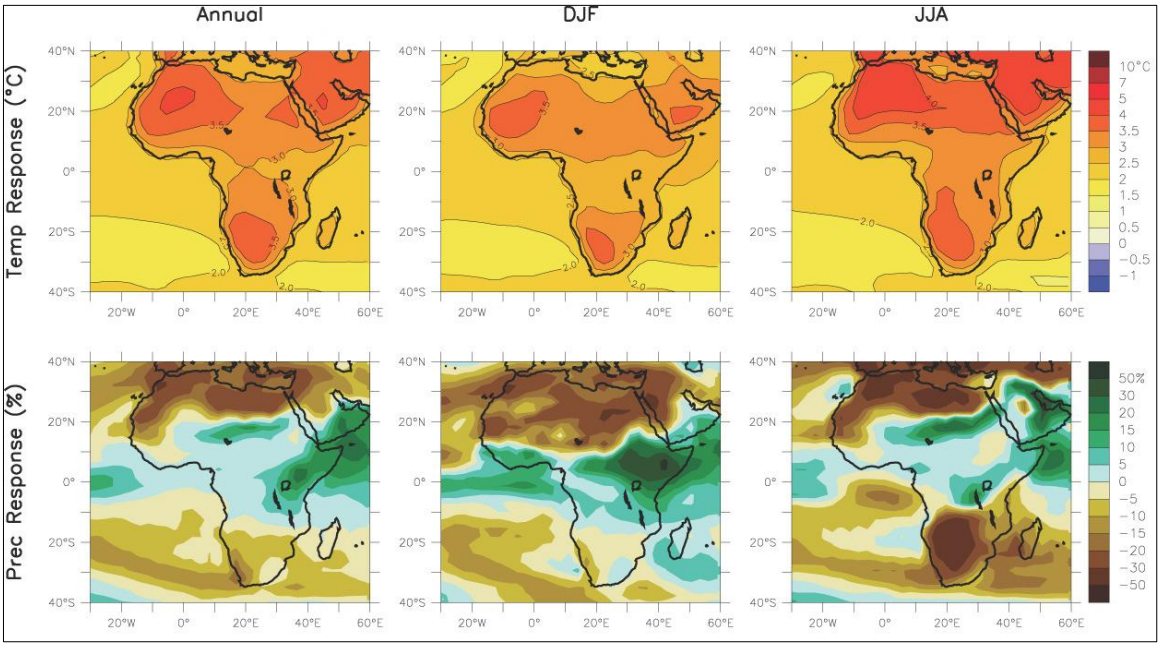



**Figure 53.** *Projections des changements vers la fin du 21e siècle des températures sur l'Afrique à partir des simulations multimodèles des scénarios A1B. Première rangée : changement des températures moyennes annuelles, DJF et JJA.2e rangée : changements fractionnels des précipitations par rapport à la période 1980-1999 à l'échelle globale.*

**Source** : Christensen et *al.*, 2007

Les projections de la variation des précipitations en Afrique en général et dans sa sous région du centre sont encore contrastées et marquées par des incertitudes sur la tendance future. Cook et Vizy (2006) ont montré dans un rapport que cette situation serait liée au fait que la représentation dans les modèles de la mousson atlantique africaine en termes d'état moyen n'est pas satisfaisante en dépit des progrès significatifs par rapport au troisième rapport du GIEC (Cassou et Guilyardi, 2007). Selon ce rapport les deux décennies à venir verront un réchauffement d'environ 0,2 °C

par décennie et même si les concentrations de tous les gaz à effet de serre étaient stabilisées à leurs valeurs de l'année 2000 il faudrait quand même s'attendre à un réchauffement d'environ 0,1°C par décennie. Le maintien du rythme actuel des émissions provoquerait un réchauffement supplémentaire et entraînerait de nombreuses modifications du système climatique mondial au cours du 21ème siècle qui seraient très probablement plus importantes que celles observées au cours du 20ème siècle.

Afin de décrire de façon cohérente, à consistance plausible l'état du climat futur possible dans la région d'étude, l'élaboration des scénarios et l'utilisation des modèles climatiques s'avèrent donc indispensables. Cette démarche se justifie car elle a pour but ultime, d'explorer les possibilités futures pour évaluer les effets des décisions présentes et de la politique actuelle à long terme sur la vulnérabilité et l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans l'Ouest de la Centrafrique.

### 5.2. Modèles globaux et scénarios climatiques futurs

La connaissance des changements climatiques futurs repose sur l'observation et la modélisation (Beniston, 2012). Un modèle climatique est une représentation mathématique des processus physiques à grande échelle du système terre-océan-atmosphère. Les modèles de circulation générale permettent de simuler l'évolution du climat en fonction de différents scénarios et sont des outils privilégiés pour les études d'impacts dans le cadre du changement climatique (Ardoin-Bardin, 2011). Mais la validité des modèles climatiques est basée sur leur capacité à reproduire la courbe des anomalies climatiques à l'échelle du temps similaire vécu (MacKellar et *al*., 2010). Cela permet de montrer le rôle des GES anthropiques dans le réchauffement climatique global observé (Giorgi et *al*., 2002).

Le tableau XXV présente les valeurs les plus probables et les intervalles probables pour le réchauffement moyen de l'air à la surface du globe selon six scénarios d'émissions de référence SRES. Les fourchettes supérieures estimées des températures anticipées sont plus importantes que celles du troisième rapport (1,4 et 5,8 °C). Cela s'explique essentiellement par le fait que, selon l'éventail élargi des modèles maintenant disponibles, les rétroactions entre le climat et le cycle du carbone seraient

plus fortes qu'on ne l'anticipait. Dans le cas du scénario A2, par exemple, cette rétroaction entraîne une augmentation de plus de 1 °C du réchauffement planétaire moyen correspondant en 2100.

**Tableau XXV.** Projections des valeurs moyennes du réchauffement en surface à la fin du 19e siècle, à l'échelle globale par rapport 1960-1999 (GIEC, 2007)

| | **Variation de température (°C) pour 2090–2099, par rapport à 1900-1999** | |
|---|---|---|
| | ***Valeur la plus probable*** | ***Intervalle probable*** |
| **Concentrations constantes, niveaux en 2000** | 0,6 | 0,3-0,9 |
| **Scénario B1** | 1,8 | 1,1-2,9 |
| **Scénario A1T** | 2,4 | 1,4-3,8 |
| **Scénario B2** | 2,4 | 1,4-3,8 |
| **Scénario A1B** | 2,8 | 1,7-4,4 |
| **Scénario A2** | 3,4 | 2,0-5,4 |
| **Scénario A1FI** | 4,0 | 2,4-6,4 |

*Les données du tableau XXV sont estimées et établies à partir d'une hiérarchie de modèles comprenant un modèle climatique simple, plusieurs modèles terrestres de complexité moyenne et de nombreux modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO), compte tenu des contraintes d'observation. La composition constante en 2000 est établie uniquement à partir de modèles MCGAO. Ces scénarios sont les six scénarios SRES de référence. Les concentrations approximatives (en équivalent-$CO_2$) correspondant au forçage radiatif calculé pour les GES et les aérosols anthropiques en 2100 selon les scénarios SRES illustratifs de référence* (Figure 54).

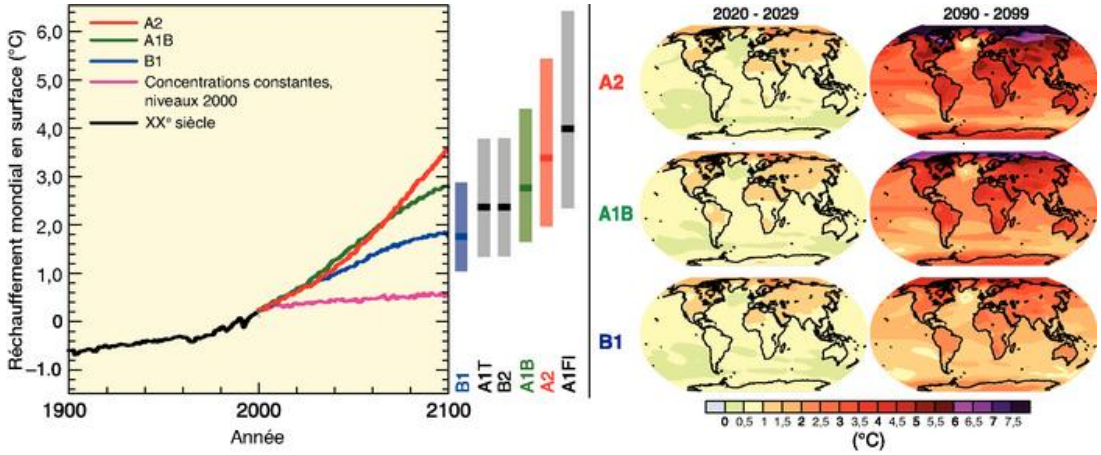



**Figure 54.** Projections relatives au réchauffement à la surface du globe selon plusieurs modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan, GIEC, 2007

- À gauche : *Les courbes en trait plein correspondent aux moyennes mondiales multimodèles du réchauffement en surface (par rapport à la période 1980-1999) pour les scénarios A2, A1B et B1 du SRES, dans la continuité des simulations relatives au 20ème siècle. La courbe orange correspond au cas où les concentrations se maintiendraient aux niveaux de 2000. Les barres au milieu de la figure indiquent les valeurs les plus probables (zone foncée) et les fourchettes probables selon les six scénarios SRES de référence pour la période 2090-2099 par rapport à 1980-1999. Ces valeurs et ces fourchettes tiennent compte des projections établies à l'aide des modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) (partie gauche de la*

*figure) ainsi que des résultats d'une hiérarchie de modèles indépendants et des contraintes liées à l'observation.*

- À droite : *Évolution projetée de la température en surface pour le début et la fin du 21ème siècle par rapport à la période 1980-1999, selon les projections moyennes obtenues à l'aide de plusieurs modèles MGCAO pour les scénarios A2 (en haut), A1B (au milieu) et B1 (en bas) du SRES, pour les décennies 2020-2029* (à gauche) *et 2090-2099* (à droite).

### 5.2.1. Sélection des modèles climatiques globaux

Les simulations de l'évolution du climat sont généralement construites à l'aide de modèles climatiques planétaires (MCG, pour *modèles* de *circulation générale*). Cependant, les MCG ont des résolutions spatiales de l'ordre de dizaines à plusieurs centaines kilomètres, ce qui est acceptable pour évaluer le changement climatique à l'échelle globale sur la Terre, mais insuffisant pour étudier ses impacts généralement localisés (MacKellar et *al.*, 2010). A défaut de disposer d'un modèle climatique régional qui couvre la région d'étude, les moyennes des sorties de modèles globaux du GIEC (2007) ont été utilisées. Cette démarche a permis de valider les résultats d'une simulation menée sur la période 1971-2000, en prenant comme données de référence les observations et les analyses d'observations. Il s'agira par la suite d'utiliser ces moyennes multimodèles pour simuler les changements climatiques futurs et leurs impacts sur l'agriculture dans l'Ouest de la Centrafrique.

Tanaka (2005) ainsi que Wang et Lau (2006) ont fait tourner les modèles du GIEC pour les comparer aux observations. Ils notent que *« la dispersion des modèles est encore considérable »* et que *« de larges biais sont observés dans les simulations du GIEC sur le XXe siècle »*, rendant prématurée toute projection quantifiée sur le XXIe siècle. Cependant, selon Phillips et Gleckler (2006), les modèles couplés Océan Atmosphère (AOGCM) arrivent à reproduire certains aspects observés du climat actuel, en dépit de biais relevés au niveau de certaines variables (les précipitations) ou pour certaines régions comme l'Afrique. Raison pour laquelle un travail préalable de validation doit être effectué pour estimer la crédibilité d'un modèle sur une région particulière.

La présente analyse, se basant sur une représentation en courbes des sorties des 21 modèles du CMIP3 pour chaque paramètre climatique et par station, arrive à la conclusion que dans la région d'étude, douze (12) modèles (Tableau XXVI) semblent

simuler le mieux les observations des précipitations et des températures. C'est ainsi que les sorties de ces modèles sont moyennées afin de réduire leurs disparités et en constituer un ensemble dit '*moyennes multimodèles*' qui sont identifiées comme les plus aptes à reproduire le climat passé et actuel dans l'Ouest de la Centrafrique. Les autres modèles surestiment ou sous-estiment les observations.

**Tableau XXVI.** Sélection des MCG dans les archives CMIP3 et leurs résolutions d'origine

| | Modèles | Sources | Scénarios SRES | Maille de résolution d'origine | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Atmosphère | Océan |
| **1.** | **CM2.0** | CCR( *Norvège*) | A2 & B1 | 2.5° - 3.85° | 1.25°- 1.85° |
| **2.** | **CCSM3** | NCAR (*USA*) | A2 & B1 | 1.4° - 1.4° | 0.46°- 1.25° |
| **3.** | **CGCM3.1** | CCCMA (*Canada*) | A2 & B1 | 3.75° - 3.75° | 1.85°- 1.85° |
| **4.** | **CM3.0** | IMN (*Russie*) | A2 & B1 | 2.5° - 3.75° | 1.25°- 1.25° |
| **5.** | **CSIRO MK3** | ABM (*Australie*) | A2 & B1 | 1.85° - 1.85° | 0.95° - 1.85° |
| **6.** | **ECHAM5** | MPI (*Allemagne*) | A2 & B1 | 1.85° - 1.85° | 1°- 1° |
| **7.** | **GCCM2.3.2a** | MRI (*Japon*) | A2 & B1 | 2.5° - 3.75° | 1.25°- 1.25° |
| **8.** | **GFDLCM2.1** | NOAA(*USA*) | A2 & B1 | 2°- 2.5° | 0.9°- 1.0° |
| **9.** | **GISS E-R** | NASA (*USA*) | A2 & B1 | 4° - 5° | 4°- 5° |
| **10.** | **HadCM3** | UKMO (*UK*) | A2 & B1 | 2.5° - 3.75° | 1.25°- 1.25° |
| **11.** | **MIROC3.2** | CCSR (*Japon*) | A2 & B1 | 2.81° - 2.81° | 0.9°- 1.4° |
| **12.** | **PCM** | NCAR (*USA*) | A2 & B1 | 2.81° - 2.81° | 1.0°- 1.0° |

**Source** : *Synthèse bibliographique*

L'ensemble multimodèle climatique est basé sur des principes physiques et est capable de reproduire certaines caractéristiques des climats passés et présents. Il y a une confiance croissante dans les modèles couplés Océan Atmosphère (AOGCM) quant à leur capacité à donner une estimation des changements climatiques futurs à grande échelle. La confiance accordée aux projections de certaines variables comme la température est plus grande que pour les précipitations par exemple. L'approche multimodèle est recommandée à dessein par le GIEC (2001) de façon à ce que les scénarios intégrés puissent englober un vaste éventail de climats futurs possibles, plutôt que de recourir à un seul scénario de la valeur la plus probable. La façon la plus simple d'utiliser cet ensemble consiste à calculer les moyennes de toutes les sorties de chacun des modèles pour créer les moyennes multimodèles, une démarche certes fastidieuse mais qui est régulièrement utilisée par le GIEC (2007).

En théorie, les moyennes multimodèles conservent les parties les plus prévisibles de la projection, réduisant l'importance des aspects moins prévisibles (Bootsma, 2008) et elles sont souvent utilisées pour des prédictions à toutes les échelles de temps, y compris le changement climatique. Selon Lu et *al.* (2005) et Pal et *al.* (2007) si on considère les membres d'ensemble individuels des modèles, il y aura des erreurs d'une ampleur non spécifiée.

Ces moyennes multimodèles servent à filtrer les biais de modèles individuels et ne retiennent que les erreurs qui sont généralement omniprésentes. Il existe certaines preuves que les moyennes multimodèles sont souvent en meilleur accord avec les observations de l'un des champs simulées par les modèles individuels, qui prend en charge la dépendance continue de la diversité des approches de modélisation à projeter les changements climatiques à venir et fournit un certain intérêt à l'évaluation des résultats moyens multimodèles.

Les moyennes multimodèles globales ou M3G ont été calculées sur la totalité des douze modèles pour chacun des deux scénarios SRES A2 et B1. Une indication de la qualité et de la performance des simulations de chaque modèle pour le climat dans l'Ouest de la Centrafrique a été fournie en comparant les résultats basés sur les modèles climatiques d'une période de temps similaire aux données d'observation.

Ainsi l'ensemble multimodèle peut reproduire le réchauffement significatif de la Terre de ces dernières décennies dû à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (Randall et *al.,* 2007). Pour évaluer la crédibilité relative des projections climatiques réalisées par les différents modèles, on émet l'hypothèse selon laquelle les modèles qui sont capables de reproduire les observations passées donnent également les projections futures les plus crédibles dans la région d'étude.

### 5.2.2. Choix et justification des scénarios climatiques

L'élaboration de scénarios climatiques pour les études d'impacts dans le secteur de l'agriculture exige que l'on choisisse des variables subrogatives aussi pertinentes, que l'on recueille ou que l'on trouve des données appropriées, et que l'on estime la valeur future des variables subrogatives retenues (Ritchie et *al.,* 1998). C'est dans ce contexte que le GIEC (2001) a retenu trois (3) grandes catégories de scénarios climatiques qui

sont couramment utilisées dans les évaluations d'incidences. Il s'agit des scénarios incrémentiels, des scénarios par analogies et des scénarios basés sur les modèles climatiques.

- Les premiers, dits synthétiques, consistent simplement à ajuster les valeurs de référence en fonction des changements prévus. Ils peuvent être très utiles pour tester la sensibilité d'un système au climat.
- Les seconds, analogues d'un climat modifié, sont extraits et proviennent du passé ou d'autres régions ; ils peuvent fournir des informations intéressantes sur l'incidence des conditions climatiques au-delà des situations actuelles.
- Le troisième cas de scénarios, résultats des modèles de circulation générale, est établi en appliquant aux valeurs de référence retenue (1971-2000), l'écart proportionnel ou absolu entre les simulations du climat actuel et du climat futur.

Des trois (3) types de scénarios climatiques, les scénarios incrémentiels et analogues sont exclus du processus d'élaboration parce que pour les premiers, les ajustements qui les fondent sont arbitraires et ne sont pas forcément réalistes du point de vue météorologique ; pour les seconds, le principe d'analogie ne correspond pas aux objectifs fixés. Ainsi, plusieurs auteurs ont déjà utilisé le modèle expérimental aux atteintes variées de résultats, en Afrique tropicale notamment, Issa (1995), Hulme (1996), Centella (1999), Parry et *al.* (1999), Ogouwalé (2004 et 2006), Kamga et Buscarlet (2006), Salack et *al.* (2006) et Totin (2010). Pour la génération des scénarios climatiques, la seule source d'incertitude demeure les émissions du GES.

### 5.2.3. Scénarios SRES et élaboration des scénarios climatiques

De nombreuses projections de changements climatiques ont recours aux scénarios IS92 du GIEC (Pepper et *al*., 1992). La présente étude se concentre sur les nouveaux scénarios du SRES (Nakicenovic et *al.*, 2000). L'argument qui milite en faveur de l'utilisation des scénarios SRES est que ceux-ci ont servi d'intrants pour les modèles de changements climatiques ayant produit des simulations en vue de leur utilisation dans les évaluations d'impacts (Hulme et *al.*, 1995). Différents scénarios socio-économiques d'évolution des activités humaines ont été établis dans le cadre du GIEC (2007).

En effet, dans le Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emissions (RSSE) du GIEC (Nakicenovic et *al*., 2000), les 40 scénarios sont groupés en 4 familles : A1, A2, B1, B2 (Tableau XXVII), chacune a un scénario marqueur ou représentatif basé sur un canevas narratif. Les modèles climatiques fonctionnent avec des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre qui définissent les concentrations pour le futur en fonction de considérations socio-économiques et environnementales (GIEC, 2001).

**Tableau XXVII.** Scénarios SRES marqueurs du GIEC

| **AR4** | **Objectifs plus économiques** | **Objectifs plus environnementaux** |
|---|---|---|
| **Mondialisation** (*Monde homogène*) | **SRES A1**<br>▪ Confort personnel au détriment de la qualité environnementale,<br>▪ Croissance rapide de l'économie<br>▪ Croissance lente de la population,<br>▪ Apparition d'une technologie énergétique nouvelle et efficace | **SRES B1**<br>▪ Durabilité environnementale globale<br>▪ Conscience renforcée des populations vers les valeurs environnementales<br>▪ Introduction de nouvelles technologies d'énergie propres |
| **Régionalisation** (*Monde hétérogène*) | **SRES A2**<br>▪ Développement économique avec une orientation régionale<br>▪ Croissance rapide de la population<br>▪ Empreinte écologique accrue | **SRES B2**<br>▪ Durabilité environnementale locale<br>▪ Solutions économiques régionales<br>▪ Recherche d'un équilibre écologique soutenu |

**Adapté** de Nakicenovic et *al.*, 2000

Les scénarios marqueurs sont fondés sur les conditions susceptibles de résulter des choix opérés par les populations humaines en matière de politiques sociales et économiques, d'évolutions démographiques, d'activités professionnelles, d'énergie et d'utilisation technologique. La plupart des prédictions du modèle GIEC utilisées dans AR4 ont été effectuées en utilisant ces scénarios représentatifs. La gamme de concentrations en GES très variable selon ces scénarios du SRES entraîne également une large gamme d'évolution de température dans le futur.

La question du choix du modèle climatique et du SRES à utiliser pour mener une évaluation d'impacts se pose, car pour un même SRES donné, les projections de changement de température ou de précipitations peuvent être différentes selon les modèles climatiques utilisés (Boote et *al*., 1997 ; MacKellar et *al*., 2010). Dans le cadre de cette étude, deux scénarios SRES ont été retenus : A2 (plus pessimiste) où les émissions de $CO_2$ continuent de croître jusqu'en 2100 et B1 (plus optimiste) où les

émissions de $CO_2$ sont presque stabilisées dès l'année 2000, puis décroissent à partir de 2050.

Deux horizons temporels futurs différents sont choisis : 2021-2050 (H1) et 2071-2100 (H2), en comparaison d'une période de référence (CTL) 1971-2000, ce qui donne cinq scénarios climatiques : CTL, A2H1 et B1H1 (moyen terme), A2H2 et B1H2 (long terme). Une première analyse permet de différencier ces scénarios en termes de variabilité temporelle, de variables saisonnières importantes d'un point de vue agronomique : respectivement cumul saisonnier des précipitations et moyennes saisonnières des températures.

Les politiques de développement socio-économique, à court et moyen terme, de la Centrafrique ont été élaborées dans le Document de Stratégies de Réduction de la Pauvreté (DSRP, 2011 et PNUD, 2012). Les scénarios climatiques élaborés visent à contribuer à la définition des plans et politiques d'adaptation et de mitigation prônés par les pouvoirs publics dans le secteur de l'agriculture afin de réduire les impacts ou d'optimiser les opportunités des changements climatiques futurs.

Ces scénarios sont représentatifs de l'éventail possible des changements climatiques et peuvent décrire à suffisance les changements d'un nombre de variables sur des échelles spatio-temporelles permettant d'évaluer les impacts des changements climatiques sur les rendements agricoles dans la région d'étude.

### 5.3. Modélisation du climat actuel dans l'Ouest de la Centrafrique

Le climat actuel dans l'Ouest de la Centrafrique est caractérisé à partir des simulations de l'évolution de la température moyenne de l'air et des précipitations aux échelles journalière, mensuelle et annuelle par les modèles climatiques globaux qui semblent reproduire assez parfaitement les observations. Les écarts moyens des températures (°C) et des précipitations (mm et %) sont fondés sur l'analyse des observations (1971-2000) considérée comme la période de référence. Le choix des périodes est déterminé par la disponibilité des données et à la longueur des séries chronologiques. L'évaluation des modèles présentée dans cette étude est basée sur la comparaison des écarts types simulés avec la référence, l'erreur quadratique moyenne et la corrélation spatio-temporelle.

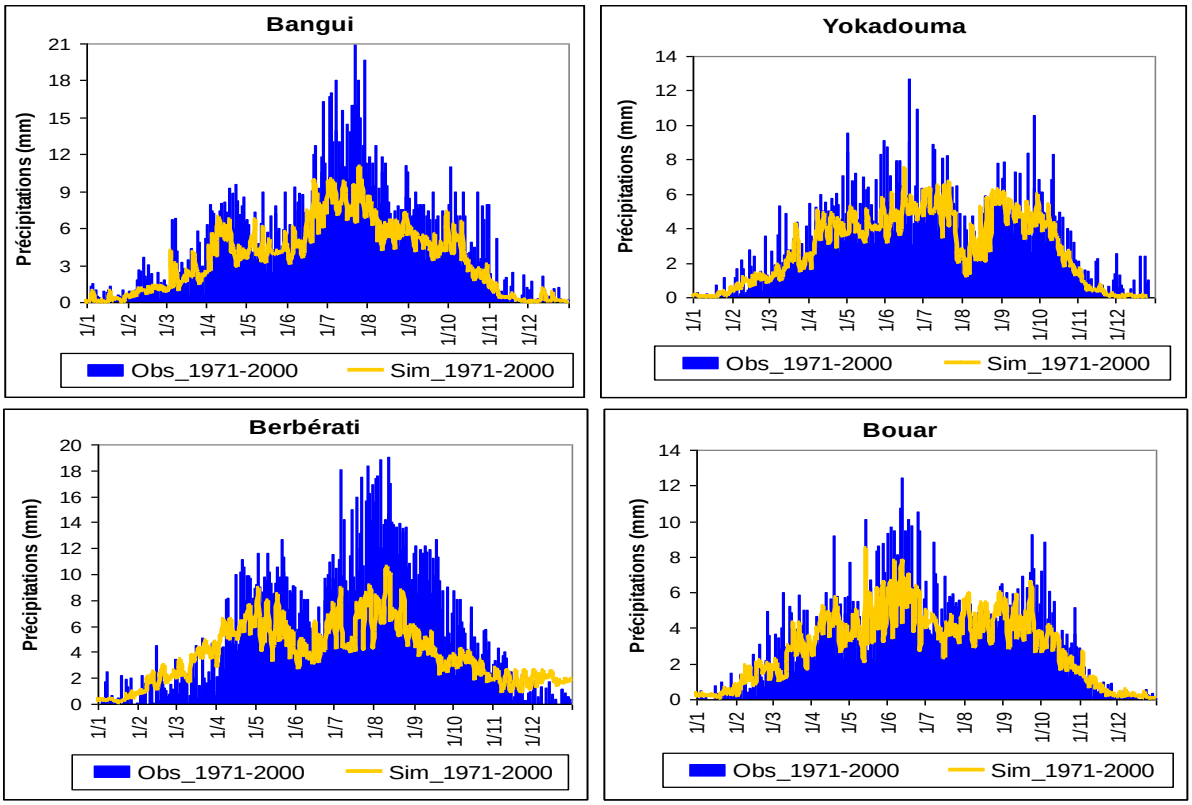
### 5.3.1. Simulation de la variabilité pluviométrique

Un aspect important de la validation d'un modèle climatique est l'évaluation de sa capacité à reproduire la variabilité du système climatique. La variabilité inter annuelle, les fluctuations saisonnières, le début, le maximum et la fin de la saison des pluies, dont les répercussions sont cruciales sur les activités agricoles, sont des éléments déterminants pour valider les modèles climatiques (Kamga et Buscarlet, 2006).

Les cycles annuels des moyennes mensuelles des précipitations et des températures simulées par les 12 modèles sur la région d'étude sont analysés. Une appréciation visuelle permet de vérifier comment l'ensemble multimodèle reproduit l'amplitude (*i*), le début et la fin de la saison (*ii*), et le nombre et la position des modes (*iii*).

#### 5.3.1.1. Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées

La figure 55 permet de visualiser le comportement global des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique, dans leur progression latitudinale au cours de l'année. Elle montre, dans les simulations, un début précoce de la saison des pluies à Berbérati ; les précipitations apparaissent de façon intense dès le mois d'avril et les écarts absolus et relatifs sont plus élevés aux mois secs qu'aux mois pluvieux.



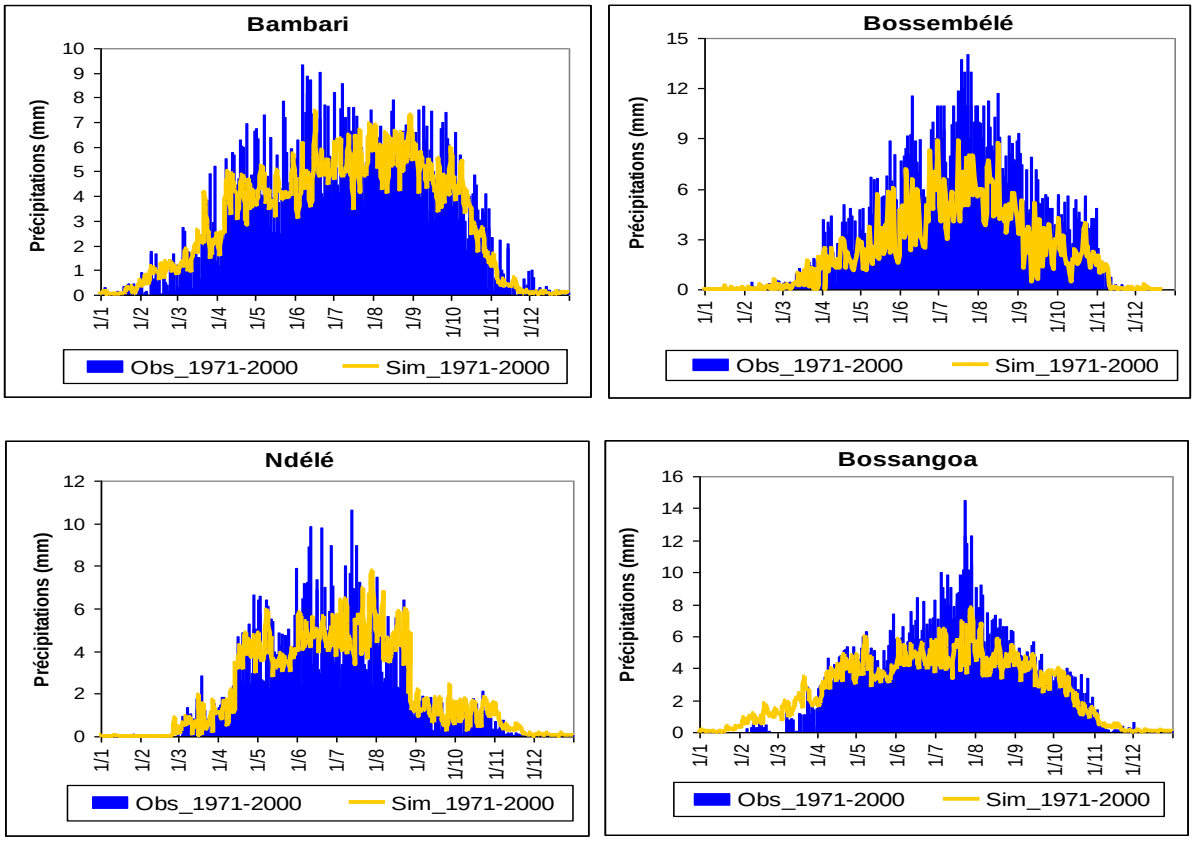



**Figure 55.** *Précipitations mensuelles observées et simulées sur la période de 1971 à 2000*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

La lecture de la figure 55 montre que le cycle pluviométrique annuel dans l'Ouest de la Centrafrique se caractérise par une saison de pluies qui débute en mars-avril et se termine approximativement en octobre-novembre avec un ou deux modes. L'amplitude des pluies observées est assez bien simulée par le multimodèle. On constate que la saison de pluies, qui commence habituellement en avril ou mai à Bossangoa et Ndélé, débute deux mois plutôt dans les simulations.

En revanche, le maximum et la fin de la saison des pluies sont proches des observations. On note à Bouar que, la saison des pluies démarre un mois plus tôt dans le multimodèle (en mars), mais le maximum et la fin de la saison correspondent aux observations. Cependant, les précipitations sont largement sous-estimées d'avril à juin à Bossembélé. A Bangui, Yokadouma et Berbérati, les simulations reproduisent bien les deux pics saisonniers caractéristiques (juin-Juillet et septembre-octobre). Le tableau XXVIII présente les écarts entre les précipitations mensuelles simulées observées et simulées dans l'Ouest de la Centrafrique.

**Tableau XXVIII.** Ecarts entre les pluies mensuelles observées et simulées (1971-2000)

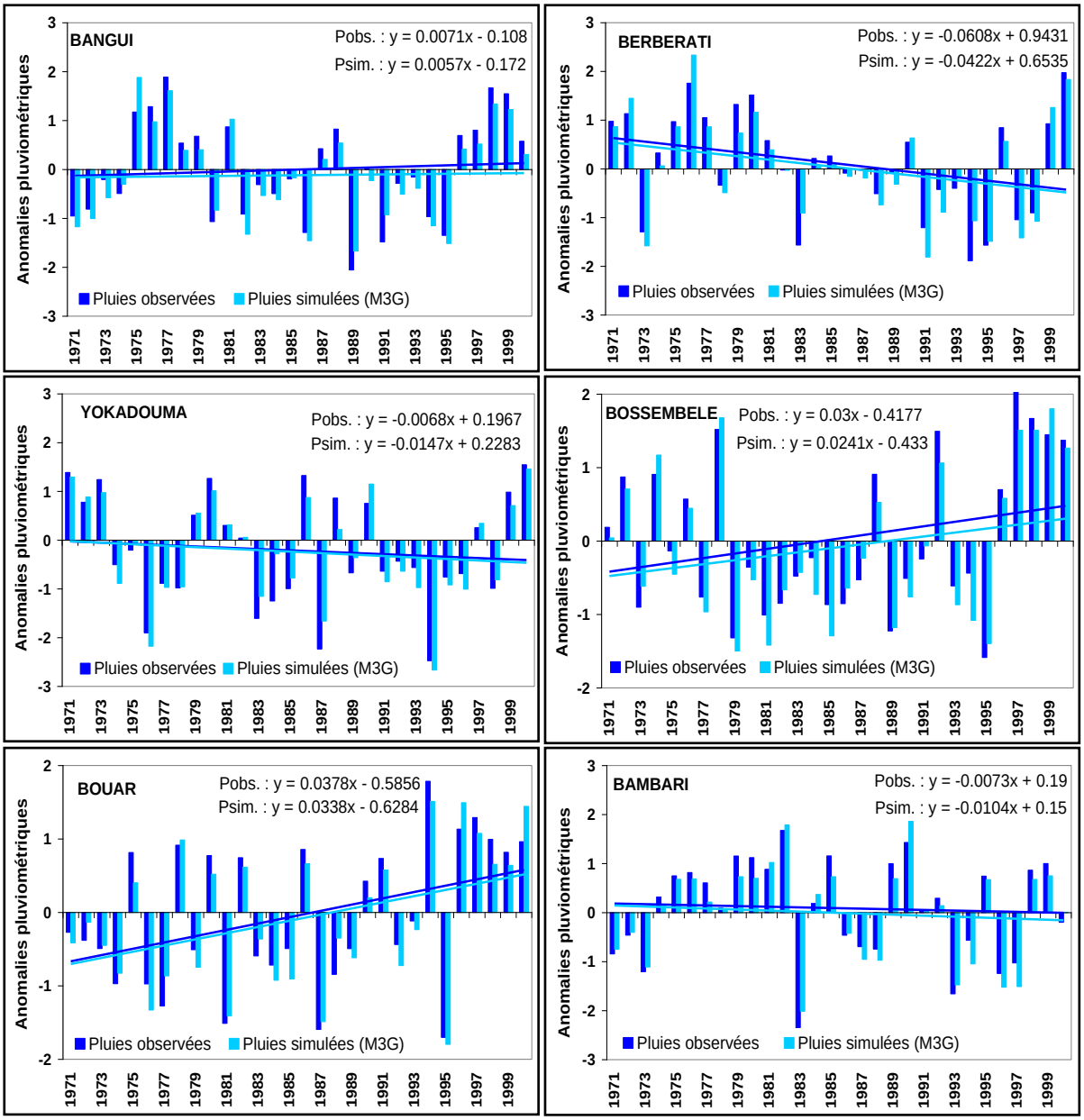
| | Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ndélé** | Obs_1971-2000 | 0 | 4 | 22 | 58 | 128 | 157 | 177 | 214 | 210 | 122 | 6 | 0 |
| | Sim_1971-2000 | 0 | 1 | 12 | 39 | 92 | 148 | 164 | 198 | 173 | 103 | 9 | 1 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **0** | **3** | **10** | **19** | **37** | **8** | **13** | **16** | **37** | **19** | **3** | **1** |
| *Erreurs relatives %* | | **-** | **73** | **46** | **33** | **29** | **5** | **7** | **8** | **18** | **15** | **50** | **-** |
| **Bouar** | Obs_1971-2000 | 7 | 19 | 73 | 100 | 160 | 185 | 219 | 254 | 237 | 187 | 47 | 11 |
| | Sim_1971-2000 | 3 | 8 | 35 | 66 | 137 | 159 | 197 | 215 | 209 | 118 | 15 | 5 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **6** | **4** | **11** | **37** | **34** | **23** | **26** | **22** | **39** | **28** | **69** | **31** |
| *Erreurs relatives %* | | **86** | **59** | **56** | **51** | **34** | **14** | **14** | **10** | **15** | **12** | **37** | **67** |
| | | **J** | **F** | **M** | **A** | **M** | **J** | **J** | **A** | **S** | **O** | **N** | **D** |
| **Bossembélé** | Obs_1971-2000 | 12 | 19 | 69 | 110 | 159 | 195 | 227 | 271 | 215 | 186 | 50 | 8 |
| | Sim_1971-2000 | 13 | 21 | 72 | 98 | 134 | 157 | 201 | 244 | 204 | 165 | 51 | 11 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **4** | **1** | **1** | **3** | **12** | **25** | **38** | **27** | **26** | **11** | **21** | **1** |
| *Erreurs relatives %* | | **34** | **12** | **7** | **4** | **11** | **16** | **20** | **12** | **10** | **5** | **11** | **3** |
| **Bossangoa** | Obs_1971-2000 | 4 | 5 | 37 | 77 | 155 | 174 | 259 | 288 | 232 | 164 | 21 | 1 |
| | Sim_1971-2000 | 1 | 4 | 42 | 82 | 124 | 153 | 227 | 243 | 218 | 153 | 20 | 2 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **2** | **2** | **1** | **5** | **5** | **31** | **21** | **32** | **45** | **14** | **11** | **1** |
| *Erreurs relatives %* | | **60** | **60** | **15** | **15** | **7** | **20** | **12** | **12** | **16** | **6** | **7** | **235** |
| **Berbérati** | Obs_1971-2000 | 17 | 30 | 93 | 131 | 162 | 147 | 176 | 193 | 216 | 219 | 87 | 19 |
| | Sim_1971-2000 | 11 | 18 | 63 | 83 | 123 | 115 | 166 | 179 | 224 | 212 | 69 | 12 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **7** | **7** | **12** | **30** | **48** | **39** | **33** | **10** | **13** | **8** | **7** | **18** |
| *Erreurs relatives %* | | **38** | **38** | **40** | **32** | **37** | **24** | **22** | **5** | **7** | **4** | **3** | **21** |
| **Bangui** | Obs_1971-2000 | 21 | 26 | 96 | 121 | 155 | 159 | 200 | 208 | 207 | 197 | 74 | 24 |
| | Sim_1971-2000 | 13 | 14 | 70 | 83 | 114 | 164 | 213 | 190 | 185 | 168 | 43 | 18 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **8** | **8** | **13** | **27** | **38** | **40** | **5** | **13** | **18** | **22** | **29** | **31** |
| *Erreurs relatives %* | | **39** | **39** | **48** | **28** | **31** | **26** | **3** | **7** | **9** | **11** | **15** | **42** |
| **Bambari** | Obs_1971-2000 | 7 | 25 | 61 | 102 | 174 | 173 | 173 | 218 | 245 | 212 | 41 | 8 |
| | Sim_1971-2000 | 5 | 11 | 41 | 73 | 152 | 160 | 153 | 185 | 212 | 188 | 16 | 6 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **2** | **2** | **14** | **20** | **29** | **22** | **13** | **20** | **33** | **33** | **24** | **25** |
| *Erreurs relatives %* | | **26** | **26** | **55** | **33** | **28** | **13** | **8** | **12** | **15** | **13** | **11** | **61** |
| **Yokadouma** | Obs_1971-2000 | 34 | 42 | 102 | 146 | 188 | 136 | 121 | 144 | 215 | 215 | 104 | 47 |
| | Sim_1971-2000 | 26 | 29 | 67 | 110 | 157 | 111 | 107 | 131 | 185 | 197 | 81 | 28 |
| *Erreurs absolues (mm)* | | **22** | **8** | **13** | **35** | **36** | **31** | **25** | **14** | **12** | **30** | **18** | **23** |
| *Erreurs relatives %* | | **64** | **24** | **31** | **34** | **25** | **16** | **18** | **12** | **9** | **14** | **8** | **22** |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, septembre 2012*

### 5.3.1.2. Tendances observées et simulées des précipitations annuelles

Les tendances des précipitations annuelles simulées ont été mises en évidence et comparées aux observations sur la période de 1971-2000. Les données ont été d'abord normalisées puis le test de Mann-Kendall a été appliqué pour déterminer l'existence d'une tendance significative. Il ressort que la tendance est à la hausse à Bossembélé,

Bouar et Ndélé. Par contre à Berbérati, Yokadouma et Bossangoa, la tendance est à la baisse. Les stations de Bangui et de Bambari ont une tendance quasi monotone mais légèrement en hausse. Dans l'ensemble des stations étudiées, l'approche multimodèle reproduit assez bien le cycle annuel des précipitations (Figure 56). Toutefois, il existe des erreurs systématiques dans la simulation du démarrage de la saison des pluies et dans celle des quantités de précipitations.



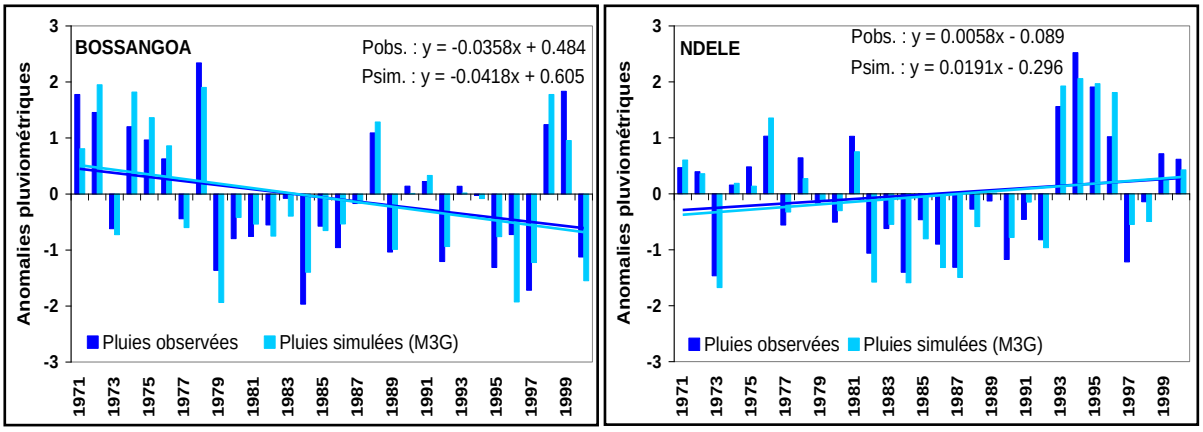
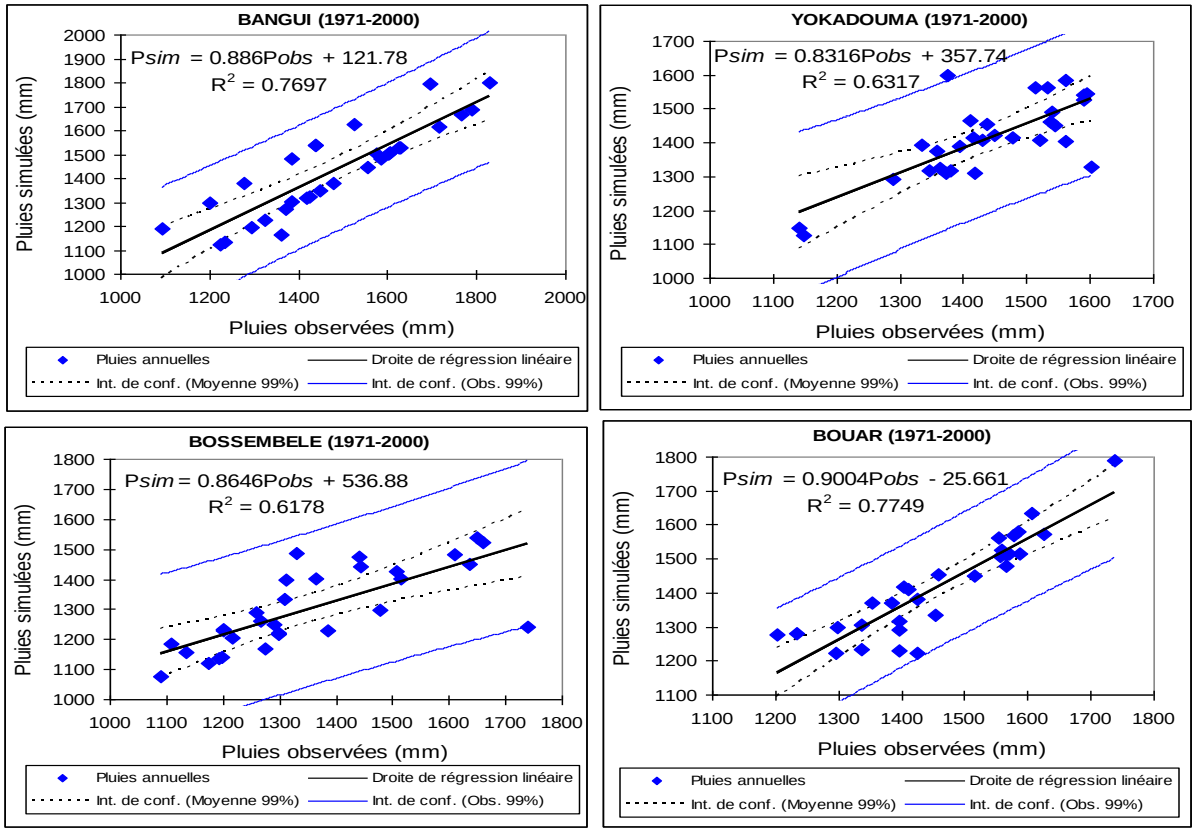



**Figure 56.** *Comparaison des anomalies de précipitations observées et simulées sur la période de référence (1971 à 2000). L'existence d'une tendance significative en baisse ou en hausse est donnée par le test non paramétrique de Mann-Kendall.*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

Les coefficients de corrélation de Pearson ont été utilisés pour analyser l'intensité des relations linéaires entre les pluies annuelles simulées et celles observées (Figure 57).



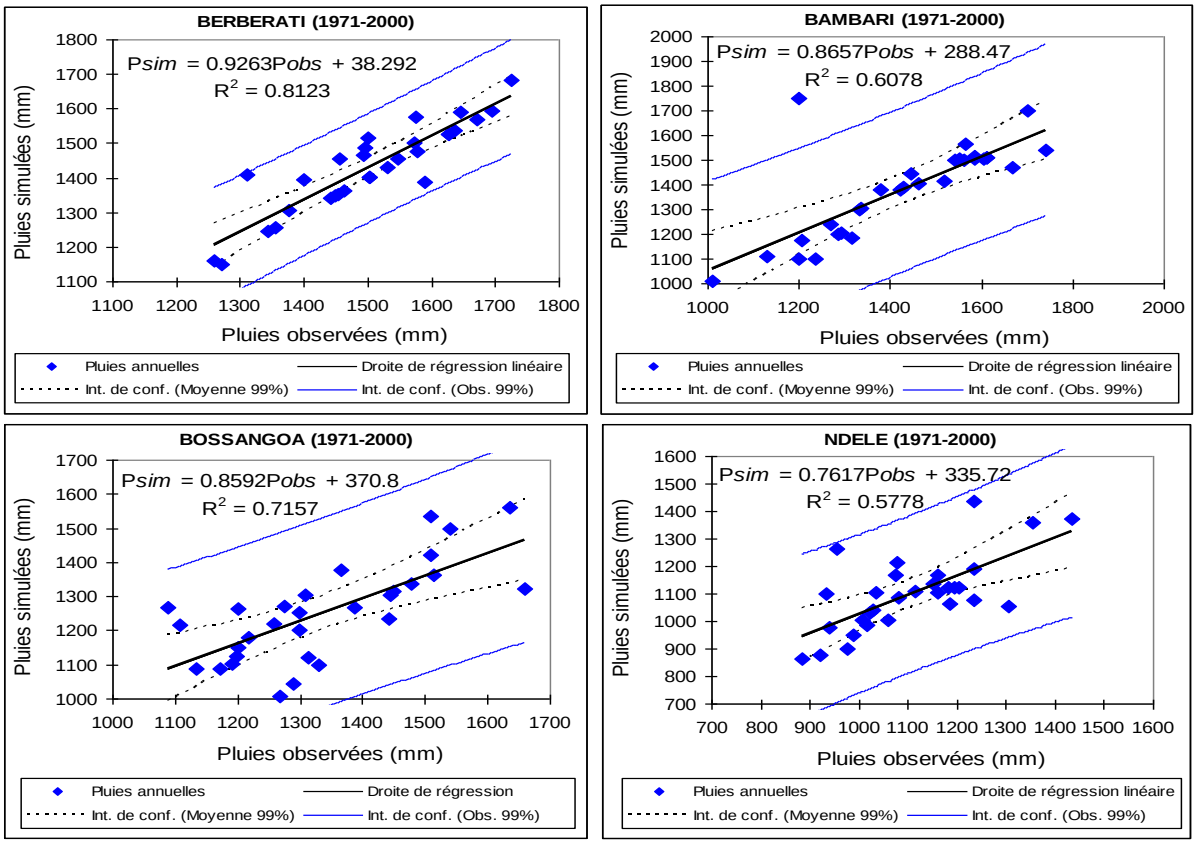



**Figure 57.** *Corrélation entre les pluies annuelles simulées et observées sur la période 1971-2000*

**Source** : *Résultats de traitement des données pluviométriques, 2012*

L'interprétation de la figure 57 montre que pour certaines stations, le cycle mensuel est bien simulé, comme le soulignent les coefficients de corrélation élevés entre le cycle simulé et le cycle de la climatologie observée : Berbérati (0,81), Bossembélé (0,61), Ndélé (0,57) et Yokadouma (0,63). Dans le cas de Bambari, la corrélation du cycle annuel simulé avec le cycle annuel observé (0,60) est sensiblement la même qu'avec le cycle mensuel déduit des données climatologiques observées.

Cet exemple illustre par ailleurs la qualité des données simulées, très proches des observations. Pour les stations de Bouar et Bangui, les simulations obtenues sont globalement satisfaisantes : les coefficients de corrélation sont respectivement de 0,76 et 0,77. Le tableau XXIX donne les écarts entre les précipitations annuelles simulées et observées.

**Tableau XXIX.** Ecarts entre les pluies annuelles simulées et observées de 1971 à 2000
(**EA :** *Ecarts Absolus exprimés en mm* et **ER :** *Ecarts relatifs exprimés en %*)

| | **Bambari** | | **Bangui** | | **Berbérati** | | **Bossembélé** | | **Bossangoa** | | **Ndélé** | | **Bouar** | | **Yokadouma** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) |
| **1971** | 13 | **1,0** | 20 | **1,5** | 47 | **2,9** | 56 | **4,0** | 17 | **1,2** | 09 | **0,7** | 45 | **3,2** | 84 | **6,0** |
| **1972** | 30 | **2,2** | 30 | **2,3** | 56 | **3,4** | 33 | **2,2** | 26 | **1,7** | 16 | **1,4** | 01 | **0,1** | 28 | **2,1** |
| **1973** | 21 | **1,7** | 13 | **0,9** | 59 | **4,4** | 56 | **4,7** | 88 | **7,4** | 4 | **0,4** | 67 | **4,8** | 49 | **3,1** |
| **1974** | 60 | **4,1** | 16 | **1,2** | 92 | **6,0** | 44 | **2,9** | 51 | **3,3** | 21 | **1,8** | 32 | **2,4** | 61 | **4,4** |
| **1975** | 20 | **1,3** | 10 | **0,6** | 48 | **3,0** | 60 | **4,5** | 29 | **2,2** | 59 | **5** | 87 | **5,5** | 33 | **2,3** |
| **1976** | 50 | **3,2** | 15 | **0,9** | 40 | **2,3** | 37 | **2,7** | 11 | **0,8** | 41 | **3,3** | 33 | **2,4** | 24 | **1,5** |
| **1977** | 30 | **2,0** | 68 | **3,7** | 72 | **4,4** | 11 | **0,9** | 36 | **2,9** | 08 | **0,8** | 2 | **0,1** | 59 | **4,4** |
| **1978** | 40 | **2,8** | 56 | **3,6** | 80 | **5,5** | 37 | **2,2** | 37 | **2,2** | 61 | **5,2** | 49 | **2,8** | 76 | **5,4** |
| **1979** | 40 | **2,5** | 20 | **1,2** | 71 | **4,3** | 12 | **1,1** | 20 | **1,5** | 06 | **0,6** | 80 | **5,7** | 48 | **3,1** |
| **1980** | 20 | **1,2** | 30 | **2,3** | 57 | **3,4** | 41 | **3,2** | 47 | **3,7** | 13 | **1,3** | 36 | **2,3** | 48 | **3,0** |
| **1981** | 20 | **1,3** | 54 | **3,5** | 25 | **1,6** | 52 | **4,4** | 16 | **1,4** | 46 | **3,7** | 76 | **6,3** | 75 | **4,9** |
| **1982** | 04 | **0,2** | 60 | **4,4** | 30 | **2,0** | 27 | **2,3** | 63 | **5,2** | 49 | **5,1** | 47 | **3** | 63 | **4,0** |
| **1983** | 07 | **0,7** | 40 | **2,8** | 28 | **2,1** | 05 | **0,4** | 59 | **4,7** | 06 | **0,5** | 15 | **1,1** | 49 | **3,3** |
| **1984** | 20 | **1,4** | 33 | **2,4** | 52 | **3,4** | 16 | **1,2** | 21 | **1,6** | 20 | **2,3** | 06 | **0,4** | 88 | **6,9** |
| **1985** | 60 | **3,7** | 61 | **4,2** | 40 | **2,5** | 58 | **4,8** | 75 | **6,2** | 80 | **6,6** | 94 | **6,8** | 17 | **1,2** |
| **1986** | 33 | **2,5** | 40 | **3,2** | 28 | **1,9** | 32 | **2,6** | 51 | **4,3** | 56 | **8,0** | 55 | **3,5** | 71 | **4,4** |
| **1987** | 10 | **0,8** | 51 | **3,3** | 22 | **1,5** | 32 | **2,5** | 38 | **3,0** | 46 | **5,0** | 47 | **3,8** | 21 | **1,8** |
| **1988** | 85 | **6,6** | 40 | **2,5** | 40 | **2,8** | 01 | **0** | 51 | **3,5** | 58 | **5,5** | 19 | **1,4** | 94 | **6,1** |
| **1989** | 80 | **5,1** | 10 | **0,9** | 10 | **0,7** | 21 | **1,9** | 48 | **4,3** | 6 | **0,5** | 50 | **3,5** | 46 | **3,0** |
| **1990** | 50 | **4,2** | 18 | **1,3** | 64 | **4,1** | 62 | **4,8** | 35 | **2,7** | 35 | **3,7** | 65 | **4,3** | 31 | **2,0** |
| **1991** | 40 | **2,8** | 18 | **1,5** | 54 | **4,0** | 24 | **1,8** | 76 | **5,8** | 69 | **6,7** | 09 | **0,5** | 41 | **3,0** |
| **1992** | 60 | **4,1** | 40 | **2,8** | 47 | **3,2** | 35 | **2,4** | 25 | **1,7** | 37 | **3,8** | 14 | **1,0** | 17 | **1,2** |
| **1993** | 20 | **1,8** | 30 | **2,1** | 70 | **4,2** | 68 | **5,3** | 44 | **3,4** | 47 | **3,6** | 09 | **0,6** | 64 | **4,7** |
| **1994** | 30 | **2,3** | 54 | **4,2** | 66 | **5,2** | 05 | **0,4** | 17 | **1,4** | 63 | **4,4** | 74 | **5,7** | 04 | **0,4** |
| **1995** | 40 | **2,6** | 30 | **2,5** | 11 | **0,9** | 83 | **5,1** | 76 | **4,6** | 06 | **0,4** | 51 | **3,6** | 25 | **1,7** |
| **1996** | 10 | **0,8** | 58 | **3,5** | 06 | **0,4** | 20 | **1,4** | 40 | **2,7** | 63 | **5,1** | 27 | **1,7** | 17 | **1,2** |
| **1997** | 35 | **2,8** | 30 | **1,8** | 68 | **4,9** | 30 | **1,7** | 42 | **2,7** | 74 | **7,9** | 52 | **3,2** | 56 | **4,0** |
| **1998** | 60 | **3,8** | 43 | **2,4** | 74 | **5,1** | 41 | **2,5** | 45 | **3,1** | 63 | **5,8** | 74 | **4,7** | 20 | **1,4** |
| **1999** | 70 | **4,4** | 73 | **4,1** | 16 | **1,1** | 29 | **1,8** | 58 | **3,9** | 72 | **6,0** | 53 | **3,4** | 62 | **4,2** |
| **2000** | 10 | **0,7** | 93 | **5,9** | 38 | **3,4** | 78 | **4,0** | 06 | **0,6** | 27 | **2,6** | 04 | **0,2** | 25 | **1,7** |

### 5.3.1.3. Cycle saisonnier des précipitations mensuelles observées et simulées

Le cycle saisonnier des précipitations a été analysé à partir de la comparaison du cumul moyen pluviométrique sur les saisons agricoles actives, de 1971-2000. Ces cumuls mensuels sont répartis en fonction des événements pluvieux puis comparés. Les simulations reproduisent assez bien le cycle saisonnier des observations (Figure 58).

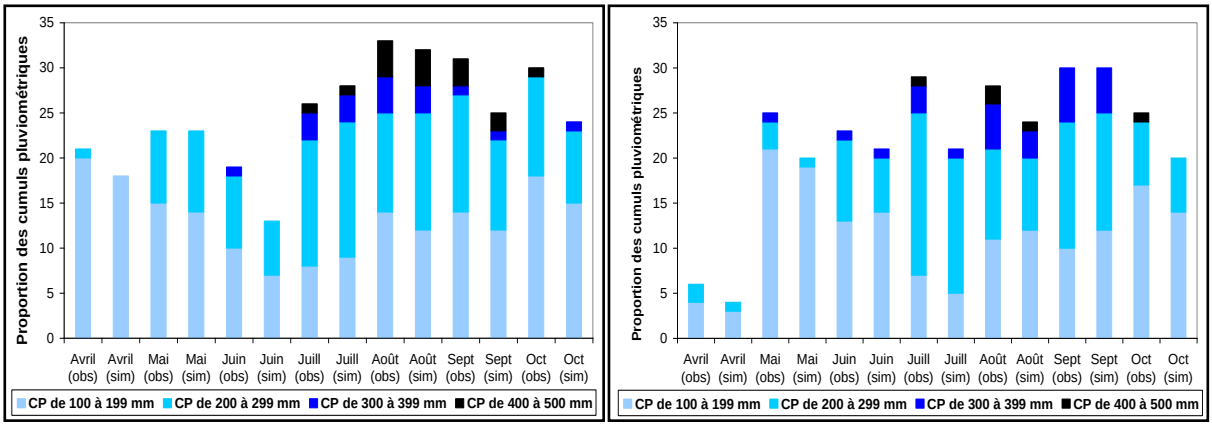



**Figure 58.** *Comparaison des cumuls pluviométriques mensuels observés et simulés au cours des saisons agricoles actives : Bangui à gauche et Bossangoa à droite*

**Source** : *Résultats de traitement des données de précipitations, 2012*

Dans l'ensemble, ces résultats indiquent les limites des modèles climatiques à bien simuler le cycle saisonnier des précipitations annuelles dans l'Ouest de la Centrafrique avec précision sur les plans de la quantité ou de la périodicité. Considéré dans son ensemble, le cycle saisonnier offre une bonne estimation des précipitations que l'on peut obtenir des simulations pluviométriques. La même démarche est utilisée pour la simulation des températures.

### 5.3.2. Simulation de la variabilité thermométrique

#### 5.3.2.1. Cycle annuel des moyennes mensuelles des températures observées et simulées

Les températures moyennes mensuelles observées présentent un maximum en février ou mars. La position de ce pic est correctement simulée mais les divergences sont relevées en janvier et en décembre où les simulations surestiment légèrement les observations. Ce biais semble légèrement varier au cours du cycle. L'approche multimodèle simule très bien l'amplitude du cycle annuel des températures moyennes mensuelles observées (Figure 59).

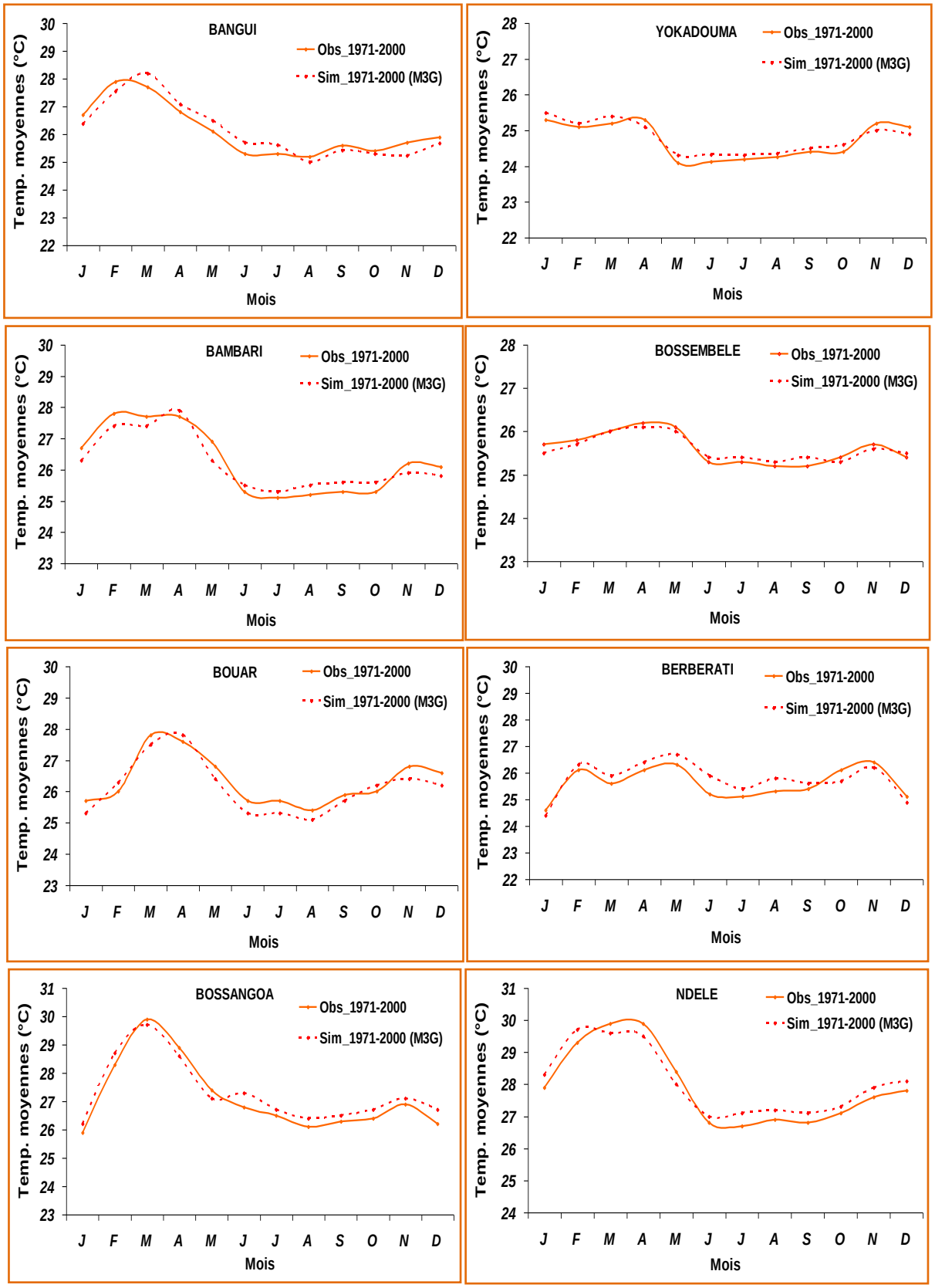



**Figure 59.** *Cycle annuel des moyennes mensuelles des températures observées et simulées sur la période de 1971 à 2000 dans l'Ouest de la Centrafrique*

**Source** : *Résultats de traitement des données de températures, 2012*

### 5.3.2.2. Tendances observées et simulées des températures moyennes annuelles

Le cycle annuel de la température est assez bien reproduit par la simulation, ainsi que le confirment les bonnes corrélations entre simulation et observation (Figure 60).

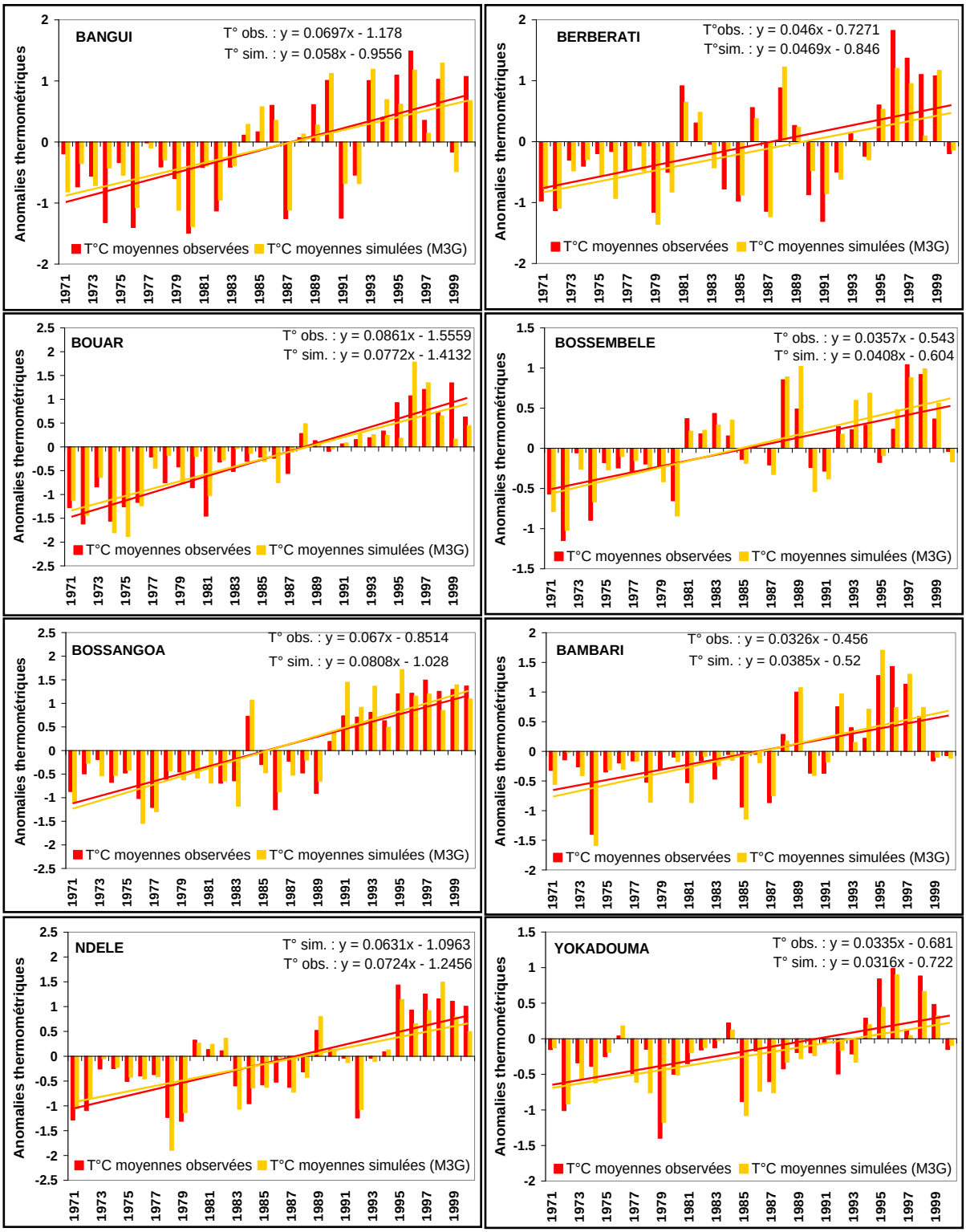
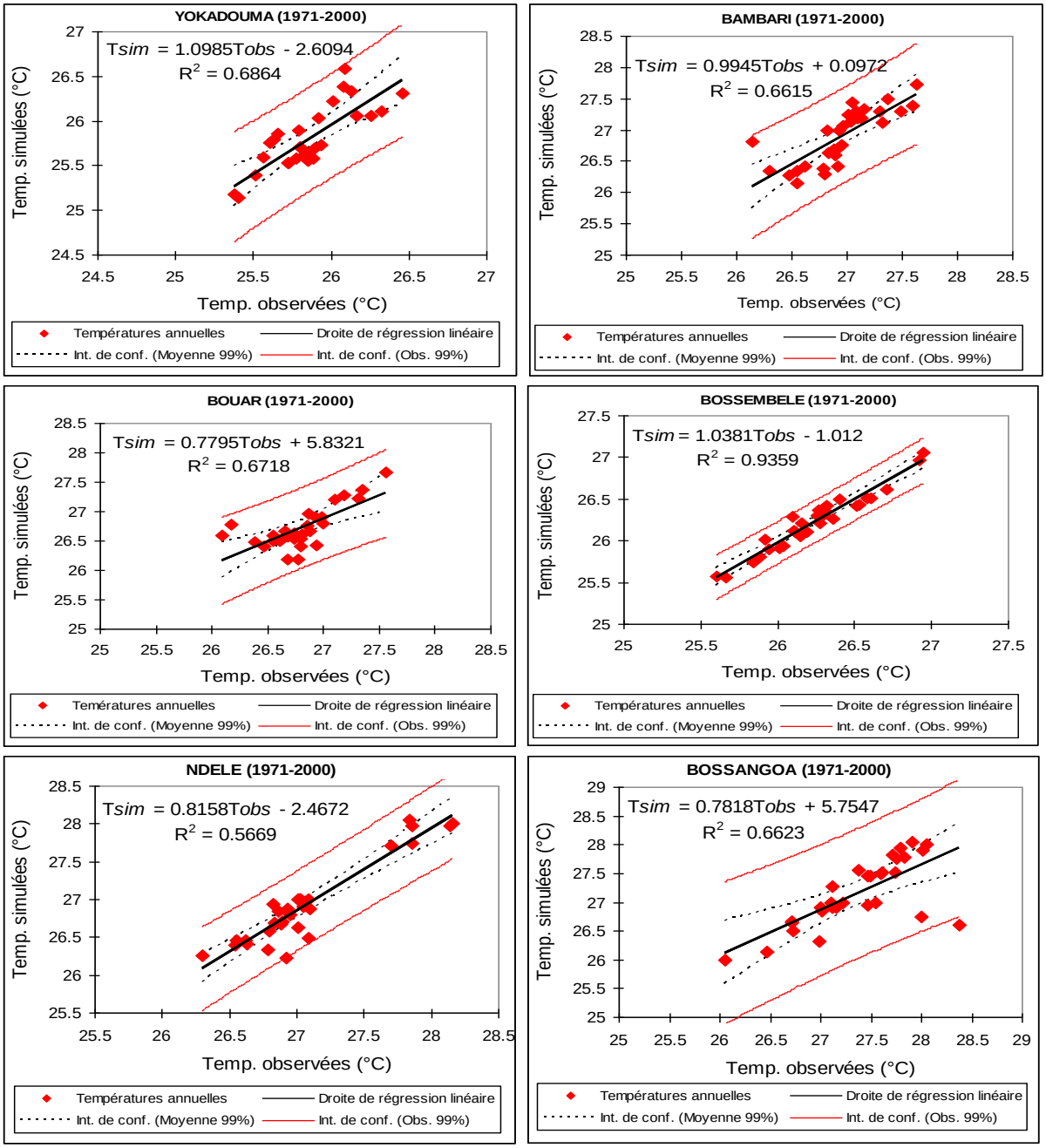



**Figure 60.** *Comparaison des anomalies de températures moyennes annuelles simulées et observées sur la période de référence (1971 à 2000). L'existence d'une tendance significative en hausse est donnée par le test non paramétrique de Mann-Kendall.*

La figure 60 montre la comparaison des variabilités interannuelles simulées et observées pour les températures sur la période 1971-2000. La simulation de la variabilité inter annuelle et la tendance des températures moyennes simulées sont plus proche des observations et reproduisent bien le réchauffement observé dans la région d'étude pendant la période 1971-2000. Ce sont les changements dans l'occurrence et la fréquence des années exceptionnelles d'un point de vue climatique qui affectent cette variabilité que les années normales. Les coefficients de corrélation sont compris entre 0,56 et 0,93 pour l'ensemble des stations étudiées et valent 0,79 pour Bangui, 0,78 pour Bossangoa et 0,53 pour Ndélé (Figure 61).



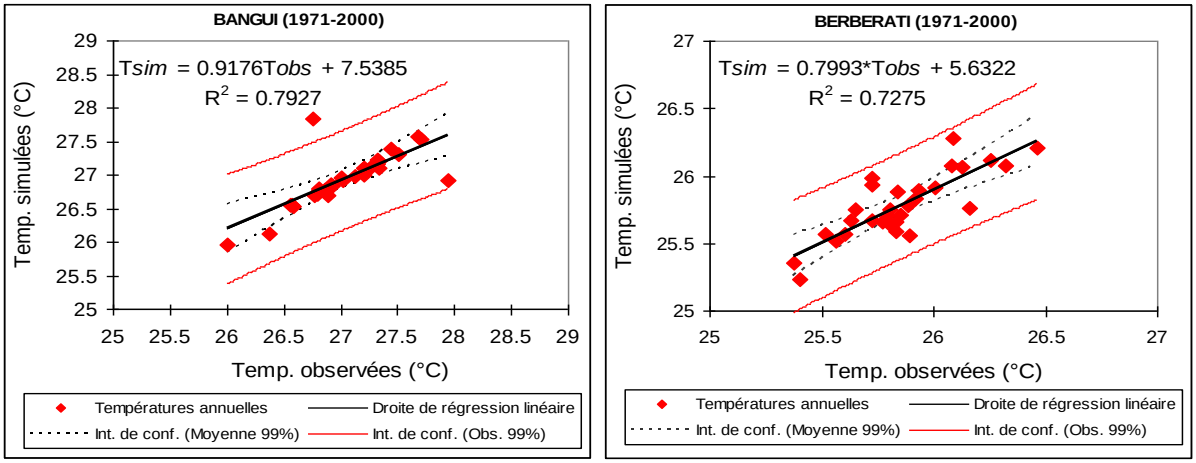



**Figure 61.** *Corrélation entre les températures moyennes annuelles simulées et observées*
**Source** : *Résultats de traitement des données de températures, 2012*

Les anomalies de températures moyennes annuelles ont une nette tendance à la hausse dans les observations dans l'Ouest de la Centrafrique. Cette tendance significative se retrouve dans les simulations. Le statut thermométrique dans l'Ouest de la Centrafrique est sujet à une variabilité inter annuelle (Tableau XXX). La variabilité année par année a été utilisée, pour évaluer la capacité de l'approche multimodèle à représenter les tendances climatiques.

**Tableau XXX.** Ecarts entre les températures annuelles simulées et observées de 1971 à 2000

| | **Bangui** | **Berbérati** | **Bossangoa** | **Ndélé** | **Bouar** | **Bossembélé** | **Bambari** | **Yokadouma** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1971** | 0,08 | 0,24 | 0,04 | 0,16 | 0,07 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| **1972** | 0,96 | 0,05 | 0,11 | 0,09 | 0,06 | 0,08 | 0,2 | 0,03 |
| **1973** | 0,05 | 0,11 | 0,01 | 0,14 | 0,02 | 0,04 | 0,4 | 0,2 |
| **1974** | 0,86 | 0,15 | 0,16 | 0,15 | 0,62 | 0,07 | 0,18 | 0,3 |
| **1975** | 0,96 | 0,16 | 0,21 | 0,13 | 0,57 | 0,08 | 0,16 | 0,09 |
| **1976** | 0,06 | 0,34 | 0,13 | 0,21 | 0,2 | 0,1 | 0,21 | 0,18 |
| **1977** | 0,95 | 0,06 | 0,11 | 0,2 | 0,04 | 0,1 | 0,01 | 0,17 |
| **1978** | 0,09 | 0,17 | 0,25 | 0,17 | 0,2 | 0,05 | 0,06 | 0,7 |
| **1979** | 0,07 | 0,02 | 0,1 | 0,21 | 0,62 | 0,03 | 0,67 | 0,18 |
| **1980** | 0,07 | 0,26 | 0,1 | 0,69 | 0,5 | 0,08 | 0,5 | 0,13 |
| **1981** | 0,05 | 0,19 | 0,17 | 0,38 | 0,1 | 0,03 | 0,2 | 0,5 |
| **1982** | 0,9 | 0,03 | 0,21 | 0,14 | 0,13 | 0,19 | 0,4 | 0,16 |
| **1983** | 0,08 | 0,04 | 1,77 | 0,45 | 0,4 | 0,01 | 0,4 | 0,4 |
| **1984** | 0,05 | 0,09 | 0,53 | 0,15 | 0,21 | 0,04 | 0,2 | 0,21 |
| **1985** | 0,05 | 0,04 | 0,66 | 0,21 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 0,15 |
| **1986** | 0,04 | 0,14 | 0,08 | 0,12 | 0,11 | 0,03 | 0,2 | 0,2 |
| **1987** | 0,03 | 0,17 | 0,14 | 0,04 | 0,49 | 0,3 | 0,04 | 0,27 |
| **1988** | 0,08 | 0 | 0,56 | 0,01 | 0,06 | 0,1 | 0,05 | 0,3 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1989** | 0,08 | 0,08 | 1,26 | 0,59 | 0,11 | 0,08 | 0,21 | 0,11 |
| **1990** | 0,04 | 0,04 | 0,24 | 0,01 | 0,6 | 0,1 | 0,17 | 0,16 |
| **1991** | 0,07 | 0,06 | 0,34 | 0,09 | 0,1 | 0,1 | 0,19 | 0,12 |
| **1992** | 0,06 | 0,21 | 0,04 | 0,12 | 0,2 | 0,05 | 0,24 | 0,15 |
| **1993** | 0,11 | 0,1 | 0,23 | 0,22 | 0,26 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| **1994** | 0,09 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 0,4 | 0,01 | 0,1 | 0,1 |
| **1995** | 0,07 | 0,1 | 0,12 | 0,02 | 0,2 | 0,07 | 0,12 | 0,64 |
| **1996** | 0,03 | 0,25 | 0,01 | 0,23 | 0,01 | 0,1 | 0,1 | 0,21 |
| **1997** | 0,02 | 0,25 | 0,06 | 0,02 | 0,1 | 0,05 | 0,2 | 0,15 |
| **1998** | 0,06 | 0,4 | 0,05 | 0,11 | 0,14 | 0,1 | 0,17 | 0,1 |
| **1999** | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,11 | 0,07 | 0,11 | 0,06 | 0,21 |
| **2000** | 0,08 | 0,06 | 0,15 | 0,05 | 0,09 | 0,01 | 0,2 | 0,04 |

Du reste, l'analyse des cycles annuels des températures a permis à la fois de juger des qualités de reproduction de la moyenne des multimodèles climatiques globaux, mais aussi de tester et de vérifier la fiabilité des méthodes employées afin de comparer les températures simulées avec celles observées. Les résultats sont pertinents car de bonnes corrélations entre les deux sources de données thermométriques ont pu être trouvées dans le temps. Ces outputs montrent que l'approche multimodèle reproduit bien les patterns thermiques dans la région d'étude.

### 5.3.3. Evaluation de la performance de l'approche multimodèle

La performance de l'approche multimodèle, qui sert à reproduire au mieux le comportement climatique, dans l'Ouest de la Centrafrique a été évaluée à partir de la comparaison des données simulées à celles observées. Les cycles annuels et les tendances des précipitations et températures moyennes mensuelles ont été analysés avec un seuil de significativité de 99 % et les écarts entre les simulations et les observations ont été calculés. Il en ressort que :

- les modèles globaux de climat ont encore beaucoup de biais dans leur simulation, notamment pour les paramètres comme les précipitions (Phillips & Gleckler, 2006) l'une des plus importantes variables climatiques. Bien que les modèles couplés reproduisent les quantités de pluies observées (amplitude, cycles saisonniers, modes, etc.), ils donnent une représentation peu précise des variations inter saisonnières et des événements extrêmes ;

- en comparant les simulations à des données d'observation journalières de précipitations selon une démarche focalisée sur la fréquence et l'abondance des pluies ainsi que le nombre de jours pluvieux, bien que les quantités soient assez bien simulées, les multimodèles sont incapables de reproduire l'intensité et la structure spatiale de la fréquence des événements pluvieux. Cette analyse rejoint les conclusions de Sun et *al*. (2006) dans leur étude sur la performance des 18 modèles couplés du GIEC sur l'Afrique de l'Ouest ;
- au regard des résultats obtenus, on ne peut pas exclure, même si les moyennes s'accordent avec les observations, qu'il y a encore de biais important notamment sur la variabilité spatiale ou l'amplitude et la phase du cycle saisonnier. Ces déficiences qui sont à la base des incertitudes sur les précipitations simulées pourraient également être à l'origine de la meilleure performance des moyennes multimodèles ;
- les modèles couplés Océan-Atmosphère sur l'Afrique tropicale ont du mal à simuler correctement la mousson atlantique, car ils reproduisent mieux les précipitations sur le nord du continent américain que sur le continent africain (Folland et *al*., 1986). Cela peut s'expliquer par le fait que le mécanisme de la mousson africaine n'est toujours pas bien compris, ou même par le faible nombre de stations d'observation dans les régions centre et ouest-africaines. En dépit de ce qui semble vrai, nombre d'études dont celles de Giannini et *al*., 2003 ; Lu et Delworth, 2005 ont montré que les modèles forcés avec les valeurs observées des températures de surface de la mer arrivent à reproduire assez correctement le climat du Sahel, notamment la tendance à la baisse des précipitations des années 1950 aux années 1980. Cependant les modèles couplés océan - atmosphère ont du mal à reproduire cette tendance.

En somme, les champs moyens et le cycle annuel de la température de surface et des précipitations sont correctement simulés, même si quelques écarts aux observations sont mis en évidence : excès de précipitations et biais froid au niveau des stations soudaniennes, début de la saison des pluies en avance ou en retard d'un à deux mois. La simulation reproduit aussi correctement la variabilité inter annuelle de la température et celle des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique. Ainsi, au terme

de l'analyse, et en dépit de ses biais, l'approche multimodèle apparaît comme un outil appréciable pour étudier les futurs changements climatiques et leurs impacts potentiels dans la région d'étude.

### 5.4. Projections climatiques dans l'Ouest de la Centrafrique aux horizons futurs

L'ensemble multimodèle couplé Océan-Atmosphère a reproduit assez correctement les tendances observées sur les périodes passées et actuelles (1971-2000) dans l'Ouest de la Centrafrique. Cette analyse a montré ses limites certes, mais aussi a permis d'étudier les projections climatiques futures aux horizons 2021-2050 et 2071-2100. Cependant, ces projections climatiques restent encore incertaines en termes de modes de variabilité ; la multiplication des modèles n'a fait qu'élargir le spectre des réponses possibles au forçage anthropique (Dai, 2006).

Le climat futur dans l'Ouest de la Centrafrique a été simulé au moyen de l'ensemble des 12 modèles climatiques globaux en comparant les résultats des projections climatiques avec ceux des observations pour la période de 1971 à 2000. Les résultats ont été calculés à la fois à partir de la moyenne d'ensemble et des valeurs maximale et minimale des températures et au pourcentage pour les précipitations :

- les prévisions des précipitations ont été faites en calculant le rapport entre les précipitations prévues par un modèle (M3G) donné et la climatologie du même modèle (M3G) sur la période de référence 1971-2000. La projection est alors obtenue en appliquant ce facteur multiplicatif à la climatologie observée (données stationnelles et spatialisées) ;
- les prévisions des températures ont été faites en calculant les écarts entre les températures prévues par le modèle (M3G) et la climatologie du même modèle (M3G) sur la période de référence 1971-2000. La projection est obtenue en additionnant ces écarts à la climatologie observée (données stationnelles et spatialisées).

La moyenne multimodèle a souvent été utilisée afin de représenter le changement climatique, mais cette méthode peut induire en erreur non seulement en donnant l'impression qu'une seule valeur déterministe peut être offerte avec assurance mais également en ne fournissant pas d'informations sur la plage des valeurs données par

tous les modèles, qui sont tous individuellement capables d'établir une projection du climat (Harrison et Boulahya, 2010).

Dans l'idéal, tous les résultats seraient présentés en termes de probabilité plutôt qu'en termes de valeur déterministe, mais l'on s'attend à ce que les probabilités calculées à partir de l'ensemble multimodèle manquent de fiabilité ; ainsi des plages ont été utilisées à leur place. Les paragraphes suivants analysent les résultats des projections pluviométriques dans l'Ouest de la Centrafrique aux horizons 2021-2050 et 2071-2100.

### 5.4.1. Projections des précipitations moyennes aux horizons 2021-2050 et 2071-2100

Les changements futurs des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique représentent une diminution de -10 % à -5 % au pas de temps annuel aux horizons 2025 et 2050, et une légère augmentation de +5 % en 2075. Ces résultats suggèrent que la tendance négative des précipitations ces dernières années se poursuivra probablement dans le futur jusqu'en 2050. Mais des indications à la hausse sont prévues à concurrence de +5 % par comparaison avec la période de 1971 à 2000, particulièrement à la fin de la décennie centrée sur 2090. Les changements de la moyenne d'ensemble sont globalement négatifs aux horizons 2021-2050 et positifs aux horizons 2071-2100. Les tableaux XXXI et XXXII présentent les changements des hauteurs de pluies aux horizons 2071-2100 selon les scénarios B1 et A2.

**Tableau XXXI.** Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2071-2100
*Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario **B1***

| | **Bambari** | | **Bangui** | | **Berbérati** | | **Bossembélé** | | **Bossangoa** | | **Ndélé** | | **Bouar** | | **Yokadouma** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % |
| **J** | 3,92 | ***52*** | 13,7 | ***21*** | 16,54 | ***49*** | 7,12 | ***19*** | 1,36 | ***45*** | 0 | ***-99*** | 3,74 | ***30*** | 35,57 | ***38*** |
| **F** | 18,47 | ***9*** | 21,4 | ***17*** | 37 | ***44*** | 11,77 | ***8*** | 1,94 | ***8*** | 0 | ***17*** | 18,63 | ***50*** | 40,44 | ***22*** |
| **M** | 95,78 | ***6*** | 148,8 | ***13*** | 125,93 | ***14*** | 80,95 | ***33*** | 35,86 | ***26*** | 48,75 | ***21*** | 82,66 | ***1*** | 137,01 | ***21*** |
| **A** | 152,04 | ***7*** | 188,9 | ***7*** | 207,13 | ***18*** | 157,07 | ***10*** | 103,25 | ***43*** | 106,02 | ***23*** | 147,02 | ***26*** | 211,89 | ***9*** |
| **M** | 218,59 | ***10*** | 216,4 | ***3*** | 230,83 | ***25*** | 218,42 | ***17*** | 211,48 | ***9*** | 200,46 | ***13*** | 224,68 | ***20*** | 256,59 | ***11*** |
| **J** | 202,92 | ***8*** | 230,8 | ***25*** | 184,51 | ***32*** | 255,63 | ***7*** | 225,78 | ***14*** | 206,76 | ***24*** | 242,33 | ***13*** | 207,46 | ***37*** |
| **J** | 239,44 | ***23*** | 286,5 | ***7*** | 228,4 | ***22*** | 273,91 | ***4*** | 333,66 | ***3*** | 226,84 | ***19*** | 282,77 | ***16*** | 141,65 | ***23*** |
| **A** | 270,89 | ***5*** | 246,4 | ***-4*** | 277,87 | ***7*** | 292,21 | ***-7*** | 350,8 | ***3*** | 261,66 | ***13*** | 315,72 | ***5*** | 163,73 | ***19*** |
| **S** | 307,3 | ***9*** | 373,5 | ***5*** | 271,44 | ***8*** | 276,67 | ***27*** | 278,73 | ***13*** | 269,2 | ***6*** | 287,55 | ***7*** | 306,78 | ***13*** |
| **O** | 267,84 | ***12*** | 265,7 | ***4*** | 272,61 | ***2*** | 213,02 | ***4*** | 205,81 | ***17*** | 215,55 | ***17*** | 305,14 | ***3*** | 259,88 | ***11*** |
| **N** | 34,48 | ***17*** | 66,9 | ***36*** | 99 | ***23*** | 47,72 | ***51*** | 21,96 | ***89*** | 3,13 | ***65*** | 39,48 | ***20*** | 132,34 | ***36*** |
| **D** | 6,63 | ***97*** | 18,6 | ***48*** | 18,33 | ***47*** | 4,12 | ***48*** | 0,32 | ***251*** | 0 | ***-99*** | 9,03 | ***72*** | 41,54 | ***13*** |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, septembre 2012*

**Tableau XXXII.** Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2071-2100
*Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario **A2***

| | **Bambari** | | **Bangui** | | **Berbérati** | | **Bossembélé** | | **Bossangoa** | | **Ndélé** | | **Bouar** | | **Yokadouma** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) |
| **J** | 2,04 | ***-21*** | 7,02 | ***-38*** | 4,75 | ***-57*** | 4,74 | ***-21*** | 0,12 | ***-88*** | 0 | ***-99*** | 1,66 | ***-42*** | 14,68 | ***-43*** |
| **F** | 11,54 | ***-32*** | 19,09 | ***4*** | 18,83 | ***-27*** | 6,74 | ***-38*** | 1,83 | ***3*** | 0 | ***-99*** | 6,15 | ***-51*** | 19,33 | ***-42*** |
| **M** | 77,16 | ***-15*** | 61,76 | ***-53*** | 85,49 | ***-23*** | 49,93 | ***-18*** | 2,41 | ***-92*** | 9,55 | ***-76*** | 68,9 | ***-16*** | 55,12 | ***-51*** |
| **A** | 178,51 | ***25*** | 155,73 | ***-12*** | 152,36 | ***-13*** | 150,14 | ***5*** | 95,8 | ***32*** | 45,24 | ***-48*** | 127,09 | ***9*** | 116,22 | ***-40*** |
| **M** | 221,66 | ***11*** | 282,47 | ***35*** | 180,41 | ***-2*** | 201,41 | ***8*** | 258,8 | ***34*** | 132,9 | ***-25*** | 162,43 | ***-13*** | 130,06 | ***-44*** |
| **J** | 148,76 | ***-20*** | 133,06 | ***-28*** | 172,56 | ***24*** | 216,57 | ***-9*** | 151,81 | ***-23*** | 136,53 | ***-18*** | 186,02 | ***-14*** | 75,86 | ***-50*** |
| **J** | 144,44 | ***-26*** | 181,47 | ***-32*** | 184,26 | ***-1*** | 260,27 | ***-2*** | 257,01 | ***-21*** | 152,06 | ***-20*** | 181,57 | ***-25*** | 101,38 | ***-12*** |
| **A** | 245,99 | ***-4*** | 219,23 | ***-15*** | 234,97 | ***-10*** | 262,87 | ***-17*** | 203,5 | ***-40*** | 207,09 | ***-10*** | 230,47 | ***-23*** | 158,59 | ***15*** |
| **S** | 216,25 | ***-24*** | 219,84 | ***-38*** | 184,26 | ***-27*** | 233,35 | ***-10*** | 130,04 | ***-47*** | 203,34 | ***-20*** | 250,17 | ***-7*** | 133,29 | ***-47*** |
| **O** | 191,78 | ***-20*** | 195,98 | ***-23*** | 204,42 | ***-23*** | 139,18 | ***-32*** | 142,48 | ***-19*** | 175,94 | ***-4*** | 257,01 | ***-13*** | 219,1 | ***-7*** |
| **N** | 14,06 | ***-52*** | 22,99 | ***-53*** | 47,51 | ***-41*** | 15,66 | ***-51*** | 9,48 | ***-18*** | 1,17 | ***-39*** | 29,27 | ***-11*** | 84,22 | ***-14*** |
| **D** | 3,05 | ***-9*** | 0,52 | ***-96*** | 7,45 | ***-40*** | 1,15 | ***-59*** | 0,18 | ***-10*** | 0 | ***-97*** | 3,56 | ***-32*** | 16,58 | ***-55*** |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, septembre 2012*

Au regard des résultats obtenus supra, avec le scénario optimiste B1, les changements dans les hauteurs de pluies varient de moins 99 (Ndélé) à 52 % (Bambari) en janvier tandis qu'ils sont de l'ordre de 5 (Bangui) à 27 % (Bossembélé) en septembre. L'analyse avec le scénario pessimiste A2 montre que les changements des précipitations ont des valeurs négatives. Dans de telles conditions, la région ouest-centrafricaine connaîtra des déficits pluviométriques très marqués. Du reste, il est encore difficile de prévoir l'allongement ou le raccourcissement possible des saisons ainsi que l'intensité et la durée probables des événements extrêmes notamment sécheresses, tempêtes, inondations, etc. car même les modèles climatiques les plus perfectionnés ont une application limitée et ne sont pas capables de prévoir avec précision les changements futurs des régimes des précipitations (Huntingford et *al*., 2005 ; Harrison et al., 2008).

La tendance des précipitations pourrait évoluer dans les deux sens et des tendances particulières ne seront pas nécessairement maintenues tout au long du 21ème siècle. Il est par conséquent de pratique courante en climatologie d'évaluer les tendances des précipitations sur des régions et des périodes de temps relativement étendues, ce qui réduit les effets des facteurs locaux. Les changements spatio-temporels des précipitations sont illustrés par la figure 62 (2021-2050) et la figure 63 (2071-2100).

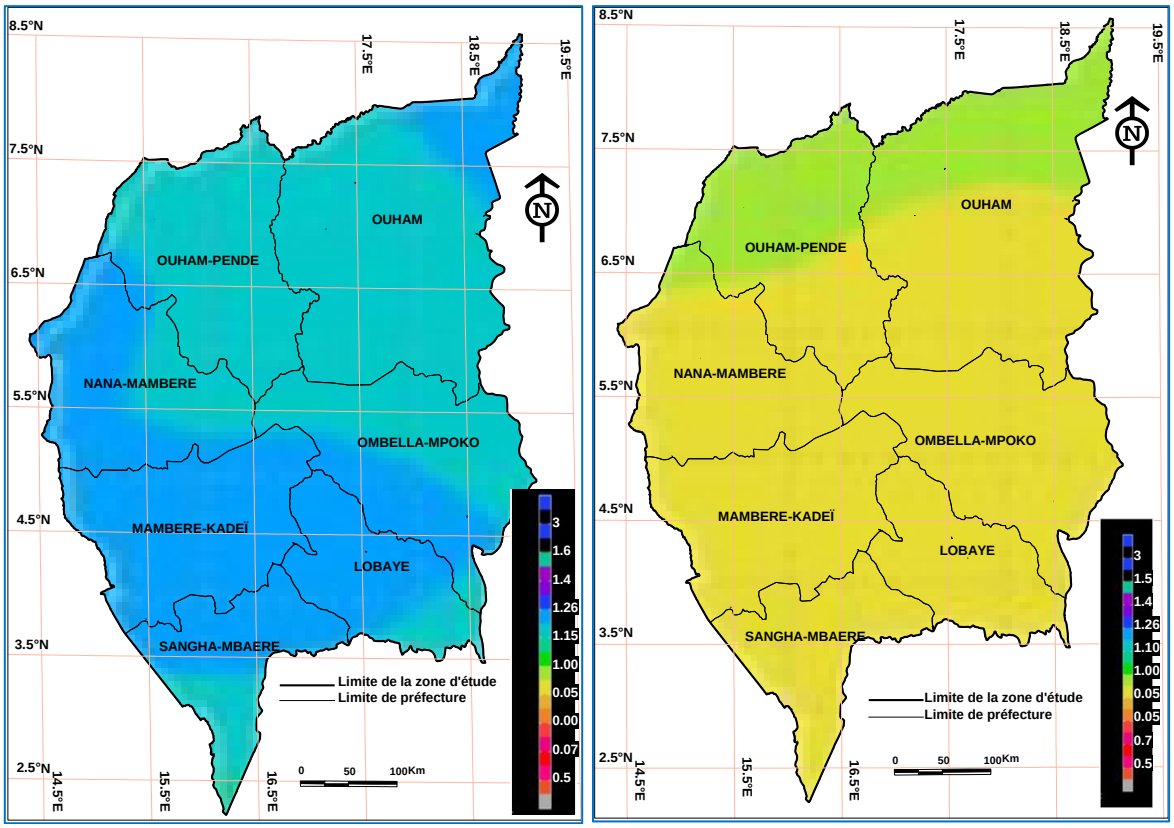



**Figure 62.** *Changements des précipitations selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite)* : les valeurs (proportion) >1.0 indiquent des précipitations accrues aux horizons 2021-2050

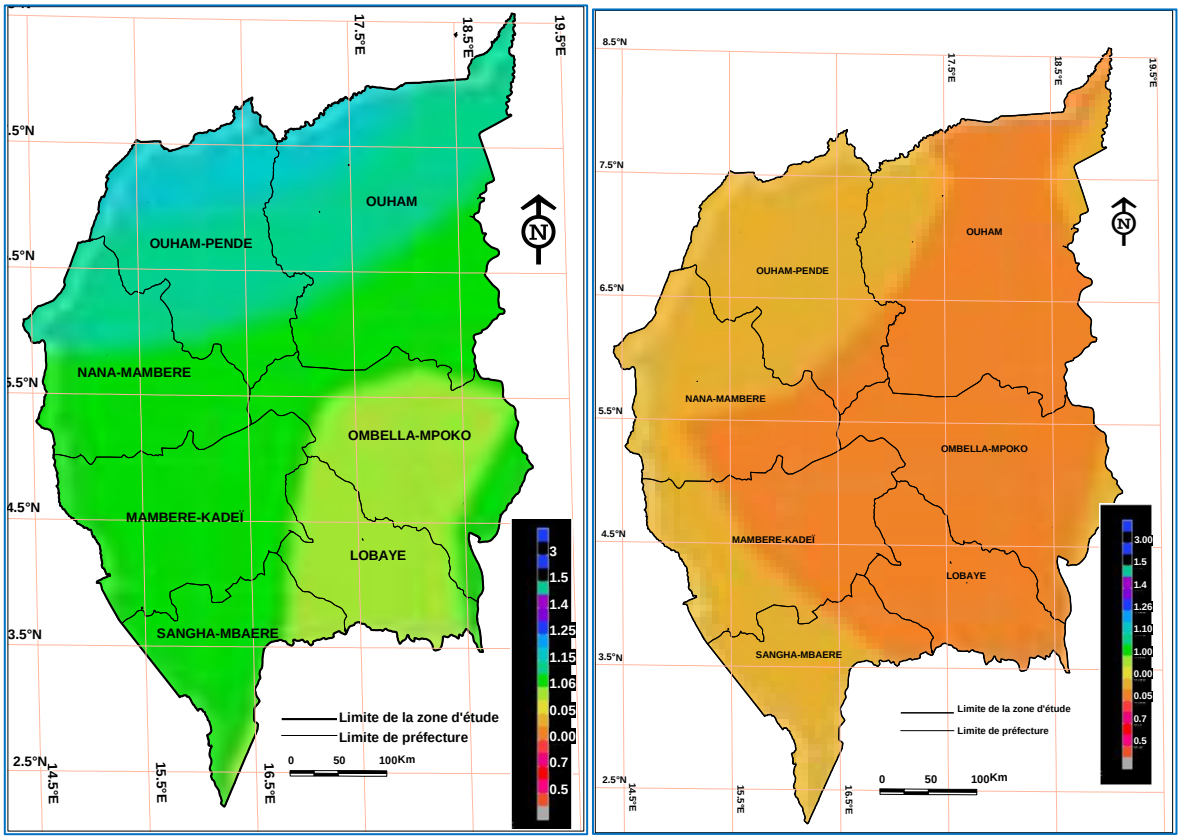



**Figure 63.** *Changements des précipitations selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite)* : les valeurs (proportion) >1.0 indiquent des précipitations accrues aux horizons 2071-2100

L'examen des résultats ci-dessus indique qu'avec un scenario B1 aux horizons 2021-2050, les préfectures de Mambéré-Kadéi, Sangha-Mbaéré et Lobaye seront plus arrosées, car ayant des proportions élevées (1 à 2). Cependant pour le même scénario B1 aux horizons 2071-2100, la situation sera inversée, car ce sont les préfectures du nord (Ouham Pendé et Ouham) qui pourraient bénéficier d'importants apports pluviométriques.

Toutefois, les tendances futures des précipitations ne sont pas nécessairement linéaires et leur sens peut être inversé à un stade quelconque du futur. L'historique du climat tropical indique que les tendances des précipitations ne sont fréquemment pas maintenues sur des périodes prolongées sur plusieurs décennies (Rowell et *al.,* 1995). La synthèse des changements des hauteurs de pluies projetés (en %) en fonction des deux scénarios retenus est présentée dans le tableau XXXIII ; maxima, moyennes et minima pluviométriques ont été calculés pour les années 2025, 2050 et 2075. Les résultats ont été utilisés pour calibrer le modèle d'impact.

**Tableau XXXIII.** Synthèse des changements de précipitations projetés en pourcentage pour les scénarios B1 et A2 en 2025, 2050 et 2075 dans l'Ouest de la Centrafrique

| | | **2025** | **2050** | **2075** |
|---|---|---|---|---|
| **B1** | *Maximum* | +4,5 et +22,5 | +2,0 et +15,6 | +4,1 et +17,8 |
| | *Moyenne* | –8,7 et +5,6 | –9,2 et +3,2 | 0 et +4,9 |
| | *Minimum* | –11,5 et –6,1 | –19,4 et –7,7 | –16,1 et +0,9 |
| **A2** | *Maximum* | +3,8 et +17,6 | +7,3 et +18,0 | +8,8 et +34,7 |
| | *Moyenne* | –7,0 et +3,9 | +2,6 et +8,3 | +1,4 et +11,2 |
| | *Minimum* | –13,7 et –6,4 | –16 et - 0,1 | –25,7 et –6,3 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données pluviométriques, septembre 2012*

Les résultats du cycle saisonnier des précipitations mensuelles sont similaires aux résultats annuels, mais avec de plus grandes amplitudes sur l'ensemble présent. Ces résultats induisent de répercussions sur la forte variation des températures selon leurs cycles mensuel et annuel en intensité et dans la durée.

### 5.4.2. Projections des températures moyennes aux horizons 2021-2050 et 2071-2100

La tendance des températures résulte des émissions de gaz à effet de serre et est à la hausse en général dans l'Ouest de la Centrafrique, bien qu'il y aura inévitablement des fluctuations de la tendance d'une année à l'autre. Les projections des températures calculées prévoient une augmentation variant de +1,15 °C à +2,33 °C dans le cas du scénario A2 et de 1,5 °C à 2 °C dans le cas du scénario B1 à l'horizon 2025. Ces tendances s'accentueront aux horizons 2050 et 2075 au cours desquels les différences entre les scénarios deviennent plus apparentes, entraînant des augmentations de température de l'ordre de 2,37 °C à 3,64 °C dans les cas A2 ou A1B et moins de 2 °C dans le cas B1.

Les changements des températures moyennes annuelles dans l'Ouest de la Centrafrique en fonction des scénarios A2 ou B1 sont illustrés par la figure 64 pour les horizons 2021-2050 et par la figure 65 pour les horizons 2071-2100.

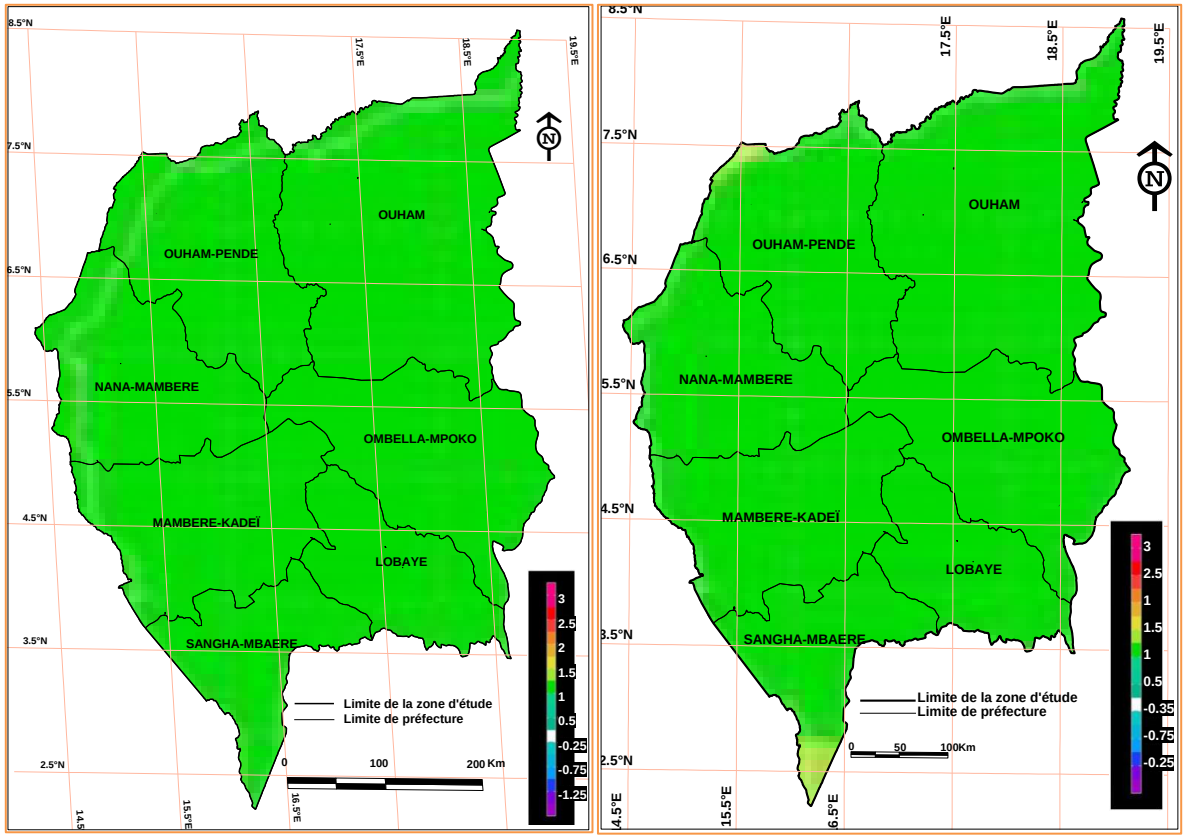



**Figure 64.** *Changements des températures moyennes annuelles selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite) aux horizons 2021-2050* : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25°C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5°C ou ≥3,0°C

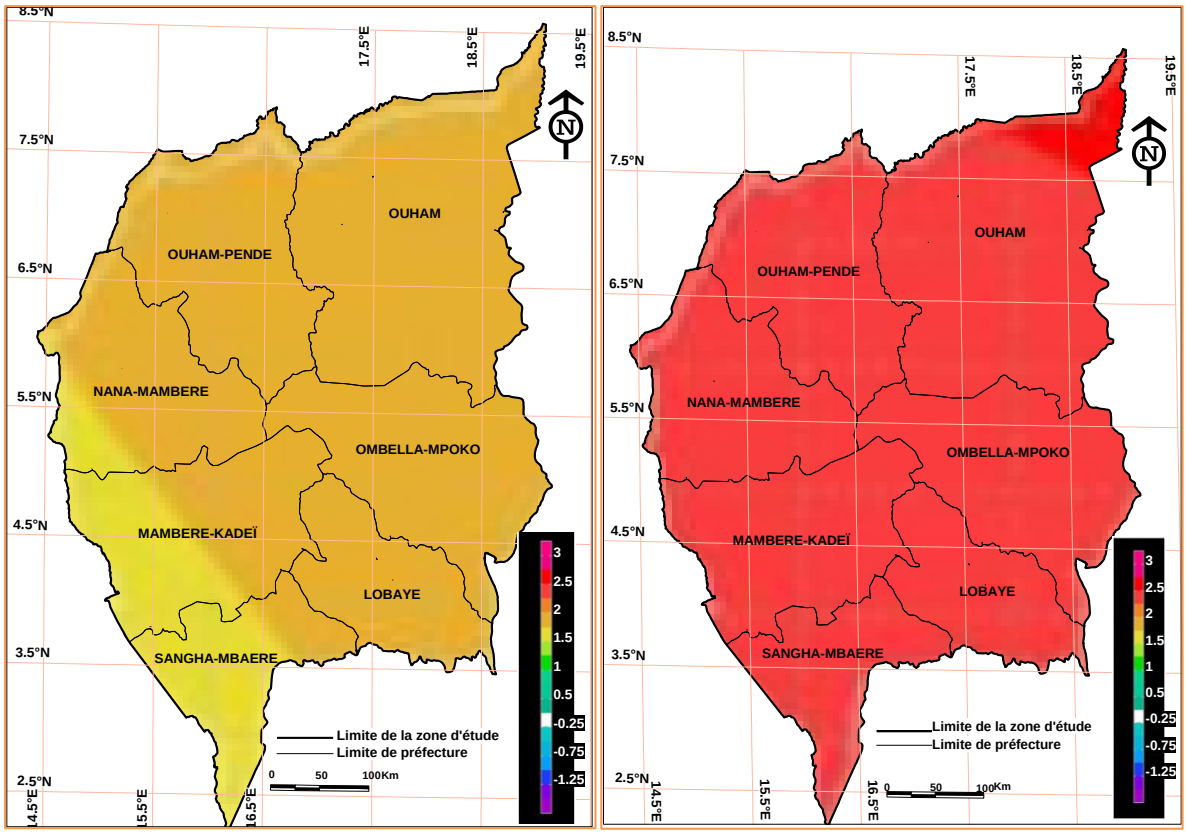



**Figure 65.** *Changements des températures moyennes annuelles selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite) aux horizons 2071-2100* : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C

L'accroissement moyen de la température de surface est prévu de 4 °C en 2100 (GIEC, 2007). Au regard des changements des températures illustrés par les figures 64 et 65 ci-dessus, il est quasiment certain que la région ouest-centrafricaine se réchauffera plus rapidement que la moyenne prévue par le GIEC. L'analyse du changement climatique basé sur les scénarios A2 et B1 de la figure 65 montre que la quasi-totalité de la région d'étude sera plus chaude, comparativement aux conditions de la période de référence (1971-2000) au cours des 80 prochaines années.

On note que ces changements projetés sont nettement plus importants que les valeurs de la variabilité naturelle du climat, à l'exception des régions forestières méridionales. Les caractéristiques font état d'un gradient de réchauffement depuis le sud-est vers le nord-ouest. En 2075, le scénario A2 issu des moyennes d'ensemble indique un réchauffement annuel de 4 à 5 °C notamment dans le septentrion.

En résumé, les modes de changement de la température indiquent aussi un grand réchauffement selon le scénario A2 et modéré au scénario B1, ce qui s'explique par le fait que les émissions futures seront supérieures dans le cas A2 que dans le cas B1, et celles-ci vont évoluer en crescendo au fil du siècle. Les changements absolus de la variation du cycle annuel des températures moyennes mensuelles aux horizons futurs sont présentés dans les tableaux XXXIV et XXXV.

**Tableau XXXIV.** Changements absolus de la variation des températures moyennes mensuelles aux horizons 2071-2100. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario **B1.** T°Pj = Températures projetées en °C et Ec = Ecarts absolus des T°C

| | **Bambari** | | **Bangui** | | **Berbérati** | | **Bossembélé** | | **Bossangoa** | | **Ndélé** | | **Bouar** | | **Yokadouma** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec |
| **J** | 29,2 | ***2,1*** | 28,4 | ***1,4*** | 26,1 | ***1,3*** | 27,6 | ***1,7*** | 27,6 | ***2,0*** | 29,7 | ***2,2*** | 28,3 | ***1,9*** | 27,6 | ***2,5*** |
| **F** | 29,9 | ***1,7*** | 30,0 | ***1,7*** | 27,3 | ***1,4*** | 29,5 | ***3,6*** | 29,8 | ***1,9*** | 30,4 | ***1,5*** | 28,0 | ***2,3*** | 27,0 | ***2,0*** |
| **M** | 29,2 | ***1,2*** | 29,4 | ***2,2*** | 27,5 | ***2,2*** | 29,4 | ***3,2*** | 32,2 | ***2,1*** | 31,7 | ***1,5*** | 29,3 | ***1,2*** | 27,6 | ***2,6*** |
| **A** | 28,8 | ***1,3*** | 28,3 | ***1,8*** | 27,7 | ***1,9*** | 29,7 | ***3,4*** | 31,6 | ***2,4*** | 31,6 | ***1,3*** | 28,7 | ***1,3*** | 27,5 | ***2,0*** |
| **M** | 29,5 | ***2,0*** | 27,7 | ***2,0*** | 27,4 | ***1,5*** | 29,1 | ***2,9*** | 30,9 | ***3,2*** | 31,2 | ***2,5*** | 28,7 | ***1,5*** | 26,1 | ***2,2*** |
| **J** | 26,7 | ***1,6*** | 26,8 | ***1,9*** | 26,4 | ***1,9*** | 28,2 | ***3,0*** | 29,2 | ***2,9*** | 27,9 | ***1,4*** | 28,7 | ***2,6*** | 26,0 | ***2,0*** |
| **J** | 26,9 | ***2,0*** | 26,9 | ***1,9*** | 26,7 | ***1,9*** | 27,3 | ***2,1*** | 28,6 | ***2,3*** | 27,7 | ***1,4*** | 28,5 | ***2,4*** | 26,4 | ***2,3*** |
| **A** | 26,4 | ***1,5*** | 27,3 | ***1,9*** | 26,5 | ***1,7*** | 26,6 | ***1,5*** | 27,9 | ***2,1*** | 27,6 | ***1*** | 27,4 | ***1,7*** | 26,2 | ***2,1*** |
| **S** | 26,5 | ***1,5*** | 27,6 | ***1,8*** | 26,9 | ***1,7*** | 26,8 | ***1,8*** | 28,3 | ***2,2*** | 28,3 | ***1,8*** | 28,3 | ***2,2*** | 26,4 | ***2,1*** |
| **O** | 26,6 | ***1,6*** | 27,3 | ***1,8*** | 27,5 | ***1,0*** | 27,4 | ***1,9*** | 28,4 | ***2,3*** | 28,4 | ***1,5*** | 27,1 | ***1,3*** | 26,7 | ***2,5*** |
| **N** | 28,1 | ***1,6*** | 28,2 | ***2,0*** | 27,7 | ***1,1*** | 27,5 | ***1,7*** | 28,6 | ***1,9*** | 29,4 | ***2,1*** | 28,6 | ***1,4*** | 27,9 | ***2,5*** |
| **D** | 28,3 | ***1,9*** | 27,9 | ***1,8*** | 27,4 | ***2,1*** | 26,6 | ***1,3*** | 27,0 | ***1,3*** | 28,9 | ***1,4*** | 28,5 | ***1,5*** | 27,1 | ***1,5*** |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, septembre 2012*

**Tableau XXXV.** Changements absolus de la variation des températures moyennes mensuelles aux horizons 2071-2100. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario **A2.** T°Pj = Températures projetées en °C et Ec = Ecarts absolus des T°C

| | **Bambari** | | **Bangui** | | **Berbérati** | | **Bossembélé** | | **Bossangoa** | | **Ndélé** | | **Bouar** | | **Yokadouma** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec |
| **J** | 31,5 | ***4,4*** | 30,2 | ***3,2*** | 29,1 | ***4,3*** | 29,6 | ***3,7*** | 29,7 | ***4,1*** | 33,3 | ***5,8*** | 30,4 | ***4*** | 27,6 | ***2,5*** |
| **F** | 32,2 | ***4,0*** | 32,1 | ***3,8*** | 30,2 | ***4,3*** | 31,4 | ***5,5*** | 31,6 | ***3,7*** | 35,0 | ***6,1*** | 30,7 | ***5*** | 30,9 | ***5,9*** |
| **M** | 33,3 | ***5,3*** | 30,9 | ***3,7*** | 29,7 | ***4,4*** | 32,5 | ***6,3*** | 34,3 | ***4,2*** | 35,9 | ***5,7*** | 31,3 | ***3,2*** | 30,1 | ***5,1*** |
| **A** | 32,1 | ***4,6*** | 31,0 | ***4,5*** | 29,9 | ***4,1*** | 31,9 | ***5,6*** | 33,9 | ***4,7*** | 35,7 | ***5,4*** | 30,7 | ***3,3*** | 30,1 | ***4,6*** |
| **M** | 30,8 | ***3,3*** | 29,5 | ***3,8*** | 29,6 | ***3,7*** | 30,8 | ***4,6*** | 32,7 | ***5*** | 35,2 | ***6,5*** | 31,0 | ***3,8*** | 29,0 | ***5,1*** |
| **J** | 29,5 | ***4,4*** | 29,4 | ***4,5*** | 29,2 | ***4,7*** | 29,9 | ***4,7*** | 31,0 | ***4,7*** | 32,1 | ***5,6*** | 30,7 | ***4,6*** | 27,7 | ***3,7*** |
| **J** | 29,4 | ***4,5*** | 30,4 | ***5,4*** | 29,1 | ***4,3*** | 29,1 | ***3,9*** | 30,4 | ***4,1*** | 31,9 | ***5,6*** | 30,6 | ***4,5*** | 27,4 | ***3,3*** |
| **A** | 29,1 | ***4,2*** | 30,3 | ***4,9*** | 28,7 | ***3,9*** | 28,3 | ***3,2*** | 29,6 | ***3,8*** | 31,6 | ***5,0*** | 30,2 | ***4,5*** | 27,3 | ***3,2*** |
| **S** | 29,1 | ***4,1*** | 30,5 | ***4,7*** | 28,8 | ***3,6*** | 28,4 | ***3,4*** | 30,0 | ***3,9*** | 30,8 | ***4,3*** | 30,4 | ***4,3*** | 27,4 | ***3,1*** |
| **O** | 29,3 | ***4,3*** | 30,5 | ***5,0*** | 30,1 | ***3,6*** | 28,9 | ***3,4*** | 30,0 | ***3,9*** | 32,1 | ***5,2*** | 30,1 | ***4,3*** | 27,3 | ***3,1*** |
| **N** | 30,7 | ***4,2*** | 30,9 | ***4,7*** | 30,7 | ***4,1*** | 29,3 | ***3,5*** | 30,4 | ***3,7*** | 31,7 | ***4,4*** | 30,1 | ***2,9*** | 30,0 | ***4,6*** |
| **D** | 31 | ***4,6*** | 30,6 | ***4,5*** | 30,2 | ***4,9*** | 28,9 | ***3,6*** | 29,4 | ***3,7*** | 32,6 | ***5,1*** | 29,8 | ***2,8*** | 29,3 | ***3,7*** |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, septembre 2012*

L'analyse des résultats présentés aux tableaux XXXIV et XXXV montre que dans les deux scénarios climatiques, la tendance positive des températures semble régulière et continue sur l'ensemble du territoire étudié. Les valeurs des changements de températures projetés (en °C) pour les scénarios B1 et A2 pour les années 2025, 2050 et 2075 sont résumées dans le tableau XXXVI.

**Tableau XXXVI.** Synthèse des changements de températures projetés en degrés Celsius pour les scénarios B1 et A2 en 2020, 2050 et 2100 dans l'Ouest de la Centrafrique

| | | **2025** | **2050** | **2075** |
|---|---|---|---|---|
| **B1** | *Maximum* | +0,85 et +1,36 | +1,75 et +1,95 | +2,25 et +3,50 |
| | *Moyenne* | +0,15 et +0,65 | +1,15 et +1,25 | +1,50 et +2,15 |
| | *Minimum* | –0,55 et +0,75 | +0,50 et +1,00 | +0,89 et +1,96 |
| **A2** | *Maximum* | +1,50 et +1,74 | +1,90 et +2,69 | +3,50 et +4.66 |
| | *Moyenne* | +0,25 et +0,50 | +0,77 et +1,50 | +2,55 et +3,25 |
| | *Minimum* | –0,79 et +0,91 | –0,55 et +1,00 | +1,60 et +1,80 |

**Source** : *Résultats de traitement statistique des données de températures, septembre 2012*

Il ressort de la lecture du tableau XXXVI qu'en 2075 dans le cas B1, le taux moyen d'augmentation est de l'ordre de 0,3 °C par décennie, tandis que dans le cas du scénario A2 il est plus proche en moyenne de 0,5 °C par décennie. Ces résultats se retrouvent dans tous les deux cas vers l'extrémité supérieure de la plage des taux d'augmentation dans la région de la Centrafrique pendant la période de 1971 à 2000 selon le GIEC (2007). La plage des changements de températures maximales simulés par les moyennes multimodèles est donc de l'ordre de 2,1 °C. Pour la période centrée sur 2025, les valeurs maximales sont de l'ordre de 2,6 °C dans le cas A2 ; quant à 2050, la plage des changements de température pour toutes les simulations est de 3 °C. A l'horizon 2075 des températures plus chaudes sont attendues car tous les modèles simulent sans équivoque des paroxysmes thermiques.

### 5.4.3. Projections des températures maximales aux horizons futurs

Chacune des valeurs de changements de température maximaux projetés par les 12 modèles couplés est calculée par rapport à la simulation sur la période de référence 1971-2000. Ces changements thermométriques maximaux potentiels sont représentés par la figure 66 (2021-2050) et la figure 67 (2071-2100).

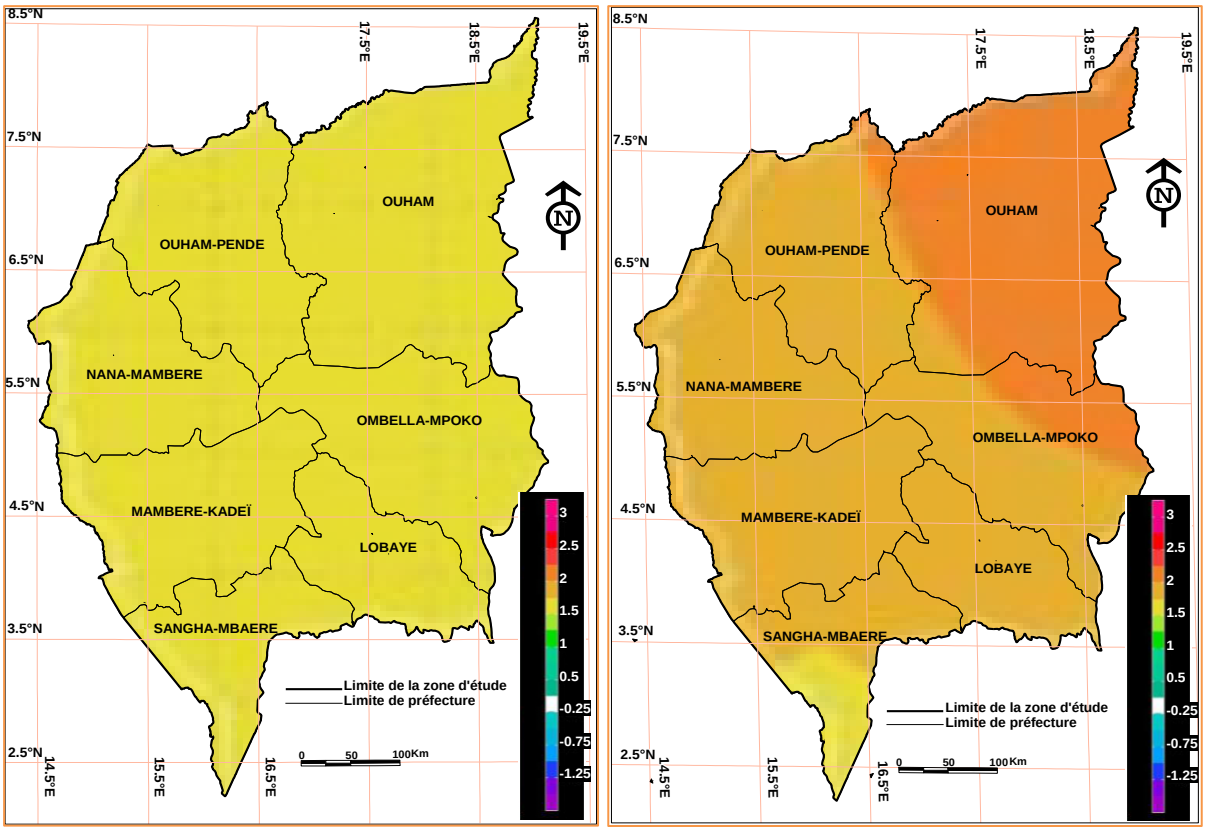



**Figure 66.** *Changements maximaux des températures annuelles selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite) aux horizons 2021-2050*

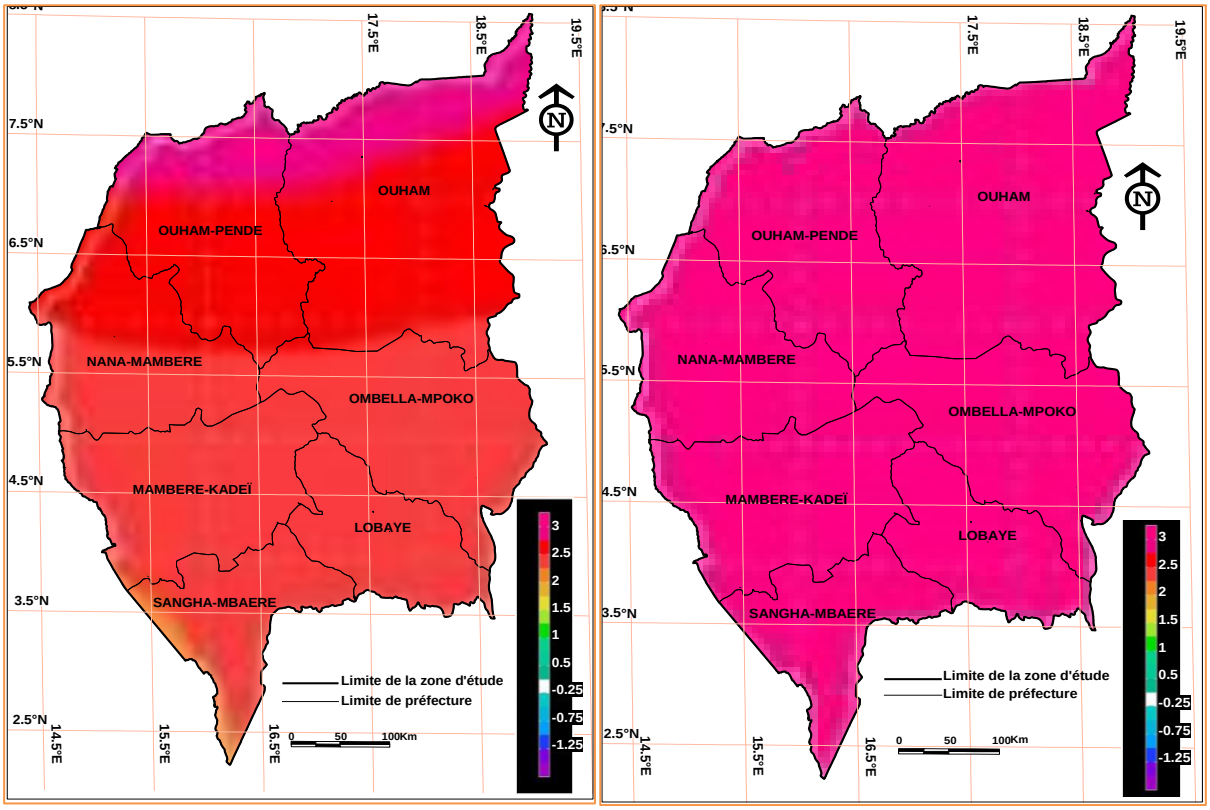



**Figure 67.** *Changements maximaux des températures annuelles selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite) aux horizons 2071-2100* : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C

L’observation des changements maximaux des températures annuelles projetés montre que les résultats obtenus sont assez cohérents avec les calculs mettant en jeu les moyennes d’ensemble. Il ressort des scénarios de changements climatiques A2 et B1 que la quasi-totalité de la région d’étude sera de plus en plus chaude, comparativement aux conditions de la période de référence 1971-2000. Les moyennes d’ensemble des deux scénarios suggèrent des augmentations des températures maximales de l’ordre de 2 °C à 2,5 °C.

Ces changements maximaux projetés sont nettement plus importants que les valeurs de la variabilité naturelle, sauf dans les préfectures de la Sangha-Mbaéré et de la Mambéré-Kadéi. Les caractéristiques annuelles des températures maximales font état en général d’un gradient de réchauffement depuis le nord et l’est vers le sud et l’ouest aux horizons 2021-2050 dans le cas du scénario A2.

Aux horizons 2071-2100, le scénario A2 issu des moyennes d’ensemble indique un réchauffement annuel de 2,5 à 3 °C dans toute la région d’étude. Le scénario B1 illustre des tendances similaires au chapitre des changements climatiques, mais l’ampleur des changements est géographiquement répartie de façon très disproportionnée.

Elle est de 2 °C dans les préfectures de l’Ombella-M’Poko, de la Lobaye, de la Sangha-Mbaéré ; de 2,5 °C dans les préfectures de la Nana-Mambéré, de l’Ouham et de l’Ouham-Pendé ; de 3 °C dans le septentrion notamment les axes Koui/Ngaoudaye et Markounda/Moyenne Sido.

### 5.4.4. Projections des températures minimales aux horizons futurs

Chacune des valeurs de changements de température minimaux projetés par les 12 modèles couplés est calculée par rapport à la simulation sur la période de référence 1971-2000. Ces changements thermométriques minimaux potentiels sont représentés par la figure 68 (2021-2050) et la figure 69 (2071-2100). Les valeurs minimales sont prévues pour 1,1 °C au scénario B1 et 1,5 °C au scénario A2 dans la région d’étude.

Cependant aux horizons 2021-2050 et dans le cas du scénario A2, on note une asymétrie entre les préfectures du sud-est et celles du nord-ouest, avec respectivement les valeurs -0,25 à +0,25 °C et +0,50 à +1 °C de réchauffement minimal.

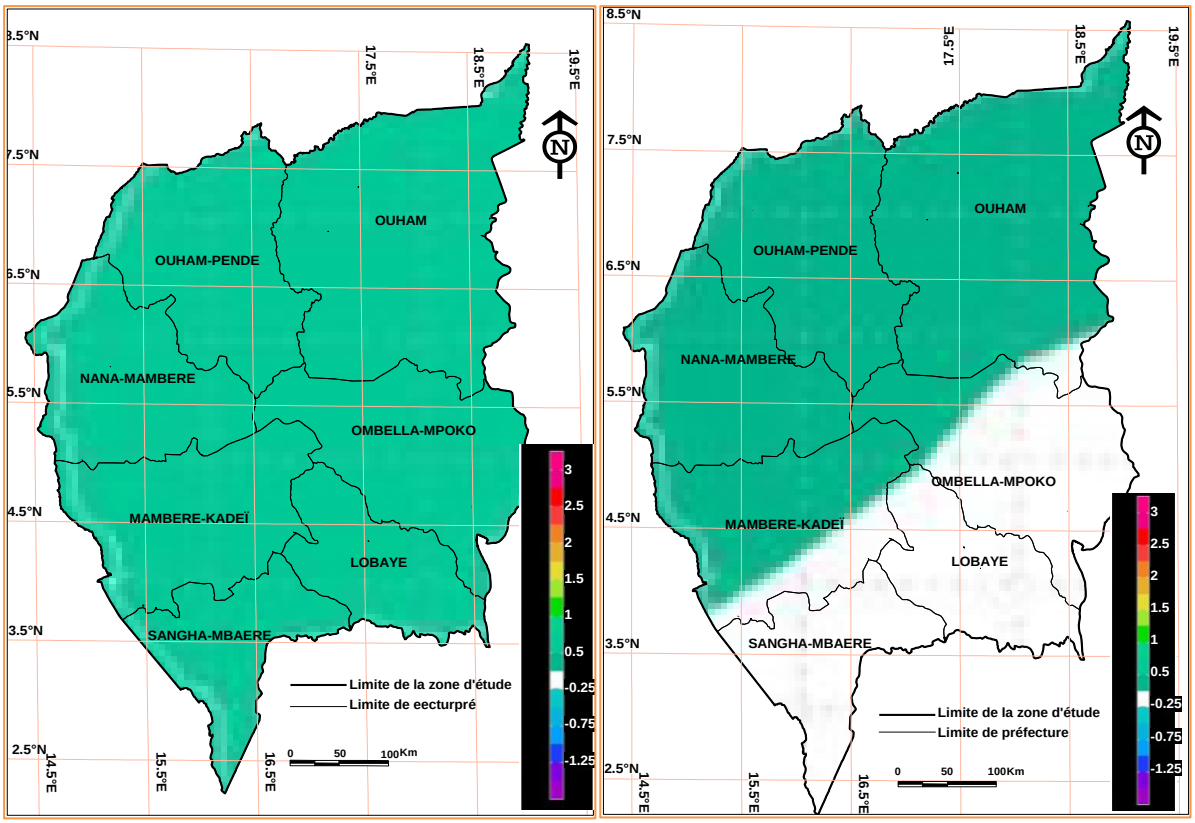



**Figure 68.** *Changements minimaux des températures annuelles selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite) aux horizons 2021-2050*

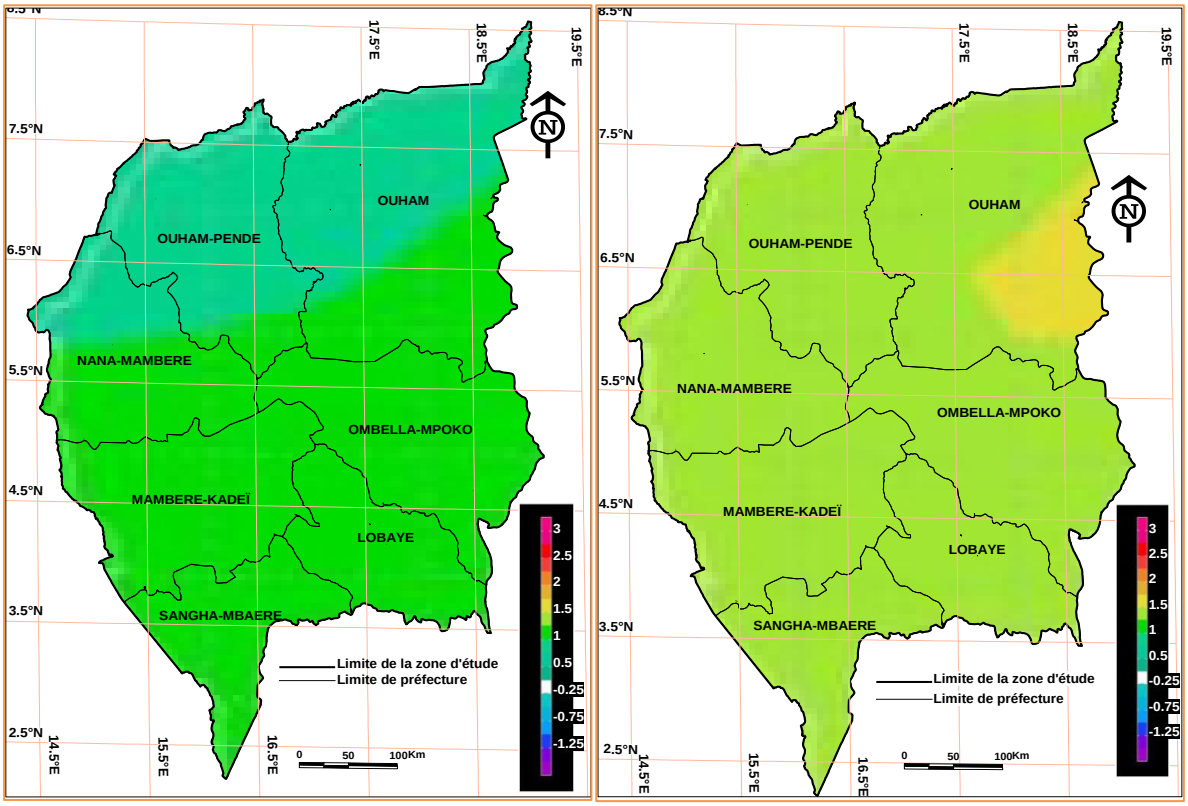



**Figure 69.** *Changements minimaux des températures annuelles selon les scénarios* **B1** *(gauche) et* **A2** *(droite) aux horizons 2071-2100* : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤ -1,5 °C ou ≥3,0 °C

**Discussion**

L'analyse des résultats de la variabilité climatique montre que de 1951 à 2010, l'Ouest de la Centrafrique a connu une succession de périodes déficitaires et de périodes à excédents pluviométriques. Le phénomène le plus brutal et le plus significatif est observé à la fin des années 1960, où on note une diminution plus ou moins marquée des hauteurs pluviométriques annuelles tant en abondance qu'en durée.

Trois grands risques climatiques pouvant entrainer des problèmes agronomiques se dégagent : une très grande variabilité des pluies dans l'espace et dans le temps ; une mauvaise répartition annuelle des précipitations avec des « trous » pouvant intervenir en juin, juillet ou août et impliquant des stress hydriques et un risque d'arrêt précoce des pluies dans la 3$^{ème}$ décade de septembre, entraînant un non bouclage du cycle des cultures tardives.

Quant aux changements futurs des précipitations moyennes, on note clairement qu'il y a plus de variations dans les patterns (modes) des changements pluviométriques, par rapport à ceux pour la température moyenne. Il est aussi évident que ces changements de précipitation ne sont pas les estimations de la variabilité naturelle calculées à partir de la simulation de contrôle du GIEC (2007).

Selon les scénarios A2 et B1, on note une tendance évidente à la hausse des précipitations annuelles dans l'Ouest de la Centrafrique en 2075. Il est projeté que les augmentations des précipitations les plus marquées (8 à 15 % plus humide) auront lieu dans les régions du sud-ouest selon le scénario A2. Les augmentations de précipitation se situeront probablement entre 1 et 11 % de plus, par rapport à la période de référence (1971-2000). Le scénario B2 prévoit des tendances similaires, d'ampleur plus forte (plus de 20 %).

Au regard des résultats supra, les projections des précipitations font état en général d'une tendance à la diminution à l'horizon 2050 dans l'Ouest de la Centrafrique et d'une légère augmentation à la fin du siècle. Par ailleurs, en dehors de ces variations du climat moyen, il est vraisemblable que le changement climatique dans la région d'étude s'accompagne d'un accroissement de la variabilité et des événements

extrêmes. L'hypothèse qui paraît aujourd'hui la plus probable, si l'on considère l'horizon 2021-2050, est celle d'une persistance des épisodes secs.

Le modèle régional climatique en Afrique tropicale demeure encore inadéquat pour prédire avec précision l'impact des augmentations des températures ou des pluies. Malgré cela, plusieurs auteurs confirment que l'Afrique centrale va devenir soit chaude et humide soit chaude et sèche résultant de l'effet de la chaleur globale (GIEC, 2013). L'ampleur, la distribution et la synchronisation de ces changements ne sont pas connues et sont appelées à plus d'attention.

On peut sans risque confirmer qu'aussi longtemps que la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone, continuera á augmenter pendant ce siècle, autant il y aura une association quelconque du changement climatique. L'Ouest de la Centrafrique connaîtra en 2100 une augmentation moyenne des températures entre 2 °C et 6 °C. Similairement tous les modèles prédisent une correspondance dans la moyenne globale des précipitations (2,5 à 5,1 %) avec des différences régionales des réductions signifiantes localisées des précipitations annuelles.

En dépit de l'incertitude qui existe dans les prédictions, le plan pour le futur demeure indispensable et la communauté scientifique est appelée à jouer un rôle important avec l'aide des partenaires pour mieux comprendre l'avenir en anticipant des scénarios climatiques qui aideront à mieux gérer les vulnérabilités, les secteurs et les systèmes de vie liés aux produits et services de l'agriculture et de servir de leviers dans les stratégies d'adaptation pour un développement agricole durable.

En somme, l'analyse des tendances climatiques dans le temps pourrait appuyer l'identification des stratégies d'adaptation qui sont appropriées aux conditions futures, ou qui intègrent la flexibilité pour faire face à l'incertitude.

# CHAPITRE VI
# IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES

La répartition des précipitations, moins que les sols, détermine les productions dans le contexte d'une agriculture pluviale (FAO, 1997). Les impacts des péjorations pluviométriques et de la hausse des températures sur les cultures se manifestent fréquemment par les stress hydriques et/ou thermiques en milieu tropical (Afouda, 1990).

Ce chapitre est consacré à la détermination du contexte agricole qui découlerait de la vulnérabilité des rendements des cultures ciblées aux changements climatiques. A partir de l'analyse des impacts des changements climatiques sur les productions agricoles, cette rubrique présente successivement des tendances futures par scénario des rendements agricoles et les indices agroclimatiques futurs dans l'Ouest de la Centrafrique.

## 6.1. Tendances futures par scénario des rendements agricoles

Dans les conditions climatiques futures, les résultats du modèle de simulation attestent la vulnérabilité agricole de l'Ouest de la Centrafrique. Cette section traite de façon globale les impacts du changement climatique sur la productivité agricole, analyse la répartition géographique de la variation de rendements par région selon les scénarios sec et humide.

### 6.1.1. Sorties agronomiques du modèle d'impacts : rendements des cultures par région

Les sorties agronomiques du modèle d'impacts présentent les rendements simulés des principales cultures retenues par unité territoriale notamment dans les chefs lieux de préfectures et de sous-préfectures selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 par rapport à la période de référence (1971-2000). Le tableau XXXVII présente les rendements simulés de mil en kg/ha et en pourcentage.

**Tableau XXXVII.** Rendements simulés de Mil (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **Berbérati** | **115** | 100 | ***-13*** | 87 | ***-24*** | 98 | ***-15*** | 122 | ***+06*** | 126 | ***+10*** | 129 | ***12*** |
| **Bouar** | **208** | 189 | ***-9*** | 153 | ***-26*** | 180 | ***-13*** | 201 | ***-03*** | 214 | ***+03*** | 199 | ***-04*** |
| **Bossangoa** | **995** | 852 | ***-14*** | 741 | ***-26*** | 785 | ***-21*** | 1025 | ***-03*** | 1123 | ***+13*** | 1016 | ***+02*** |
| **Bossembélé** | **211** | 193 | ***-09*** | 200 | ***-05*** | 126 | ***-40*** | 219 | ***-04*** | 209 | ***-01*** | 215 | ***+02*** |
| **Bambari** | **112** | 75 | ***-33*** | 61 | ***-46*** | 94 | ***-16*** | 125 | ***+12*** | 117 | ***+04*** | 129 | ***+15*** |
| **Ndélé** | **1514** | 1276 | ***-16*** | 1125 | ***-26*** | 1401 | ***-07*** | 1714 | ***+13*** | 1608 | ***+06*** | 1674 | ***+11*** |
| **Nola** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

L'interprétation des données du tableau XXXVI indique une diminution des rendements du mil en 2025 de 3 à 14 % par rapport à la période de référence à Bouar, Bossangoa et Bossembélé dans les deux scénarios. Cette baisse serait accrue avec un scénario sec de 5 à 46 % en 2050 et 7 à 40 % en 2075 dans toutes les régions. La culture du mil n'est pas favorable dans les régions de Bangui et Nola à cause des conditions climatiques. Les rendements simulés de manioc et d'arachide sont respectivement présentés dans le tableau XXXVIII et XXXIX.

**Tableau XXXVIII.** Rendements simulés de Manioc (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | **2591** | 2154 | ***-17*** | 1871 | ***-28*** | 1366 | ***-47*** | 2681 | ***+03*** | 2645 | ***+02*** | 2771 | ***+07*** |
| **Berbérati** | **3107** | 2963 | ***-05*** | 2326 | ***-25*** | 963 | ***-69*** | 2985 | ***-04*** | 3020 | ***-03*** | 3230 | ***+04*** |
| **Bouar** | **2176** | 2009 | ***-08*** | 1853 | ***-15*** | 1012 | ***-53*** | 2144 | ***-01*** | 2263 | ***+04*** | 2221 | ***+02*** |
| **Bossangoa** | **2715** | 2325 | ***-14*** | 1934 | ***-29*** | 1301 | ***-52*** | 2697 | ***-01*** | 2481 | ***-09*** | 2652 | ***-02*** |
| **Bossembélé** | **3523** | 3369 | ***-04*** | 3047 | ***-14*** | 2647 | ***-25*** | 3604 | ***+02*** | 3487 | ***-01*** | 3412 | ***-03*** |
| **Bambari** | **3120** | 3010 | ***-04*** | 2501 | ***-20*** | 2111 | ***-32*** | 3089 | ***-01*** | 3002 | ***-04*** | 2988 | ***-04*** |
| **Ndélé** | **701** | 599 | ***-15*** | 401 | ***-43*** | 213 | ***-70*** | 689 | ***-02*** | 665 | ***-05*** | 670 | ***-04*** |
| **Nola** | **1360** | 1299 | ***-04*** | 1122 | ***-18*** | 981 | ***-28*** | 1379 | ***+01*** | 1320 | ***-03*** | 1394 | ***+03*** |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

**Tableau XXXIX.** Rendements simulés d'Arachide (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | **969** | 804 | ***-17*** | 745 | ***-23*** | 618 | ***-36*** | 1005 | ***+04*** | 911 | ***-06*** | 992 | ***+02*** |
| **Berbérati** | **1084** | 912 | ***-16*** | 863 | ***-20*** | 600 | ***-45*** | 1120 | ***+03*** | 1032 | ***-05*** | 1127 | ***+04*** |
| **Bouar** | **1290** | 1020 | ***-21*** | 913 | ***-29*** | 711 | ***-45*** | 1263 | ***-02*** | 1352 | ***+05*** | 1399 | ***+08*** |
| **Bossangoa** | **1567** | 1356 | ***-13*** | 999 | ***-36*** | 883 | ***-44*** | 1469 | ***-06*** | 1483 | ***-05*** | 1700 | ***+08*** |
| **Bossembélé** | **1001** | 985 | ***-2*** | 874 | ***-13*** | 763 | ***-24*** | 987 | ***-01*** | 964 | ***-04*** | 1023 | ***+02*** |
| **Bambari** | **1215** | 896 | ***-26*** | 796 | ***-34*** | 542 | ***-55*** | 1205 | ***-01*** | 1201 | ***-01*** | 1311 | ***+08*** |
| **Ndélé** | **986** | 630 | ***-36*** | 715 | ***-27*** | 512 | ***-48*** | 900 | ***-09*** | 1056 | ***+07*** | 1031 | ***+05*** |
| **Nola** | **613** | 596 | ***-3*** | 487 | ***-21*** | 501 | ***-18*** | 701 | ***+14*** | 709 | ***+16*** | 719 | ***+17*** |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

Les sorties agronomiques montrent que les rendements de manioc (Tableau XXXVIII) et d'arachide (Tableau XXXIX) seraient déficitaires dans un contexte de changement climatique. Le manioc, principale culture vivrière, sera très vulnérable ; les déficits vont varier de 1 à 43 % à Bossangoa, Bossembélé, Bambari et Ndélé en 2050 dans les deux scénarios par rapport à la période de 1971-2000.

La vulnérabilité de la culture d'arachide serait marquée en 2025 par les déficits de 1 à 9 % à Bouar, Bossangoa, Bossembélé, Bambari et Ndélé avec un scénario humide ; en 2050 les régions de Bangui, Berbérati, Bossangoa et Bossembélé enregistreraient des déficits de 4 à 6 %. Les rendements simulés du maïs, d'igname et de sésame sont respectivement analysés dans les tableaux XL, XLI et XLII.

**Tableau XL.** Rendements simulés de Maïs (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | **1060** | 899 | ***-15*** | 741 | ***-30*** | 786 | ***-26*** | 1156 | ***+09*** | 1050 | ***-01*** | 1102 | ***+04*** |
| **Berbérati** | **968** | 906 | ***-06*** | 725 | ***-25*** | 856 | ***-12*** | 1021 | ***+05*** | 960 | ***-01*** | 975 | ***+01*** |
| **Bouar** | **952** | 855 | ***-10*** | 614 | ***-36*** | 772 | ***-19*** | 1020 | ***+07*** | 945 | ***-01*** | 970 | ***+02*** |
| **Bossangoa** | **1056** | 1006 | ***-05*** | 843 | ***-20*** | 896 | ***-15*** | 1089 | ***+03*** | 1029 | ***-03*** | 1088 | ***+03*** |
| **Bossembélé** | **1093** | 1011 | ***-08*** | 855 | ***-22*** | 563 | ***-48*** | 1099 | ***+01*** | 1076 | ***-02*** | 1108 | ***+01*** |
| **Bambari** | **1059** | 1014 | ***-04*** | 811 | ***-23*** | 799 | ***-25*** | 1124 | ***+06*** | 1067 | ***+01*** | 1117 | ***+05*** |
| **Ndélé** | **851** | 800 | ***-06*** | 666 | ***-22*** | 658 | ***-23*** | 957 | ***+12*** | 864 | ***+02*** | 963 | ***+13*** |
| **Nola** | **1087** | 1031 | ***-05*** | 823 | ***-24*** | 850 | ***-22*** | 1201 | ***+10*** | 1096 | ***+01*** | 1139 | ***+05*** |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

**Tableau XLI.** Rendements simulés de igname (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | **3678** | 3211 | ***-13*** | 3017 | ***-18*** | 3077 | ***-16*** | 3852 | ***+05*** | 3777 | ***+03*** | 3856 | ***+05*** |
| **Berbérati** | **3956** | 3523 | ***-11*** | 3022 | ***-24*** | 3124 | ***-21*** | 4066 | ***+03*** | 4013 | ***+01*** | 4369 | ***+10*** |
| **Bouar** | **8410** | 7624 | ***-09*** | 6523 | ***-22*** | 6014 | ***-28*** | 8640 | ***+03*** | 8311 | ***-01*** | 8800 | ***+05*** |
| **Bossangoa** | **5236** | 5001 | ***-04*** | 4101 | ***-22*** | 4622 | ***-12*** | 4988 | ***-05*** | 5317 | ***+02*** | 6147 | ***+17*** |
| **Bossembélé** | **4526** | 4156 | ***-08*** | 2985 | ***-34*** | 3051 | ***-33*** | 4623 | ***+02*** | 5029 | ***+11*** | 4978 | ***+10*** |
| **Bambari** | **3653** | 3147 | ***-14*** | 2369 | ***-35*** | 3033 | ***-17*** | 3780 | ***+03*** | 3788 | ***+04*** | 4267 | ***+17*** |
| **Ndélé** | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** | - | **-** |
| **Nola** | **3890** | 3566 | ***-08*** | 2853 | ***-27*** | 2784 | ***-28*** | 4061 | ***+04*** | 4019 | ***+03*** | 4301 | ***+11*** |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

**Tableau XLII.** Rendements simulés de Sésame (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **Berbérati** | **325** | 214 | ***-34*** | 185 | ***-43*** | 301 | ***-07*** | 378 | ***+16*** | 342 | ***+05*** | 337 | ***+04*** |
| **Bouar** | **478** | 316 | ***-34*** | 285 | ***-40*** | 405 | ***-15*** | 514 | ***+08*** | 497 | ***+04*** | 512 | ***+07*** |
| **Bossangoa** | **1256** | 984 | ***-22*** | 913 | ***-27*** | 936 | ***-25*** | 1320 | ***+05*** | 1363 | ***+09*** | 1305 | ***+04*** |
| **Bossembélé** | **892** | 807 | ***-10*** | 774 | ***-13*** | 807 | ***-10*** | 1047 | ***+17*** | 971 | ***+09*** | 985 | ***+10*** |
| **Bambari** | **986** | 896 | ***-09*** | 786 | ***-20*** | 888 | ***-10*** | 1025 | ***+04*** | 1007 | ***+02*** | 1011 | ***+03*** |
| **Ndélé** | **1035** | 923 | ***-11*** | 904 | ***-13*** | 967 | ***-07*** | 1083 | ***+05*** | 1015 | ***-02*** | 1063 | ***+03*** |
| **Nola** | **-** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

Les simulations faites à partir des scénarios secs sur le maïs, l'igname et le sésame montrent un impact négatif sur les rendements. A Bouar par exemple, ces impacts sont estimés respectivement aux horizons 2025, 2050, 2075, à environ 10 %, 36 % et 19 % de réduction moyenne pour le maïs, 9 %, 22 %, 28 % pour l'igname et 34 %, 40 %, 15 % pour le sésame. A Bossangoa et à Berbérati, les impacts sont encore négatifs pour le maïs (6 à 25 %), pour l'igname (9 à 28 % de réduction) et le sésame (22 à 34 %) par rapport à la période de référence 1971-2000. Du reste, l'analyse comparative des rendements simulés à ceux observés indique une détérioration des rendements dans le contexte d'un changement climatique, et ce dans tous les deux scénarios pour le sorgho (Tableau XLIII) et le riz (Tableau XLIV).

**Tableau XLIII.** Rendements simulés de Sorgho (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000

| | 1971-2000 | Scénario sec/A2 | | | | | | Scénario humide/B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **Berbérati** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **Bouar** | **240** | 179 | ***-25*** | 150 | ***-38*** | 166 | ***-31*** | 260 | ***+08*** | 236 | ***-02*** | 229 | ***-05*** |
| **Bossangoa** | **1466** | 1123 | ***-23*** | 956 | ***-35*** | 987 | ***-33*** | 1513 | ***+03*** | 1522 | ***+04*** | 1581 | ***+08*** |
| **Bossembélé** | **533** | 500 | ***-06*** | 411 | ***-23*** | 439 | ***-18*** | 609 | ***+14*** | 540 | ***+01*** | 575 | ***+08*** |
| **Bambari** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| **Ndélé** | **1621** | 1325 | ***-18*** | 974 | ***-40*** | 1155 | ***-29*** | 1744 | ***+08*** | 1677 | ***+03*** | 1712 | ***+06*** |
| **Nola** | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

**Tableau XLIV.** Rendements simulés de Riz (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000

| | 1971-2000 | Scénario A2 | | | | | | Scénario B1 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2025 | | 2050 | | 2075 | | 2025 | | 2050 | | 2075 | |
| | kg/ha | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* | *kg/ha* | *%* |
| **Bangui** | **1850** | 1699 | ***-08*** | 1523 | ***-18*** | 1569 | ***-15*** | 1944 | ***+05*** | 1905 | ***+03*** | 1966 | ***+06*** |
| **Berbérati** | **1530** | 1472 | ***-04*** | 1362 | ***-11*** | 1258 | ***-18*** | 1653 | ***+08*** | 1621 | ***+06*** | 1687 | ***+10*** |
| **Bouar** | **2260** | 1983 | ***-12*** | 1874 | ***-17*** | 1887 | ***-17*** | 2301 | ***+02*** | 2285 | ***+01*** | 2295 | ***+02*** |
| **Bossangoa** | **1455** | 1366 | ***-06*** | 1211 | ***-17*** | 1326 | ***-9*** | 1579 | ***+09*** | 1590 | ***+09*** | 1629 | ***+12*** |
| **Bossembélé** | **1280** | 1189 | ***-07*** | 963 | ***-25*** | 1007 | ***-21*** | 1299 | ***+01*** | 1307 | ***+02*** | 1402 | ***+10*** |
| **Bambari** | **2470** | 2345 | ***-05*** | 2014 | ***-18*** | 2066 | ***-16*** | 2547 | ***+03*** | 2500 | ***+01*** | 2631 | ***+07*** |
| **Ndélé** | **450** | 336 | ***-25*** | 308 | ***-32*** | 412 | ***-08*** | 506 | ***+12*** | 488 | ***+08*** | 520 | ***+16*** |
| **Nola** | **1790** | 1689 | ***-06*** | 1512 | ***-16*** | 1485 | ***-17*** | 1856 | ***+04*** | 1800 | ***+01*** | 1849 | ***+03*** |

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

Comme pour le mil, la culture du sorgho n'est pas adaptée aux conditions climatiques de la zone guinéenne forestière (Bangui, Nola, Berbérati…). Les sorties du modèle d'impact indiquent avec un scénario sec que le sorgho et le riz seraient très vulnérable aux changements climatiques futurs. Les déficits de rendements se situeraient entre 6 et 40 % pour le sorgho et entre 4 et 25 % pour le riz en 2050.

### 6.1.2. Analyse des rendements agricoles par scénario en 2025

La figure 70 présente le taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des huit (8) cultures retenues selon les scénarios sec et humide dans la région d'étude. Si le contexte actuel de mise en valeur des terres se maintient, les rendements agricoles baisseront d'ici 2025. Dans les scénarios climatiques humide et sec, les écarts entre les

rendements actuels et ceux potentiels pour la plupart des cultures seraient croissants. Le contexte climatique du scénario sec va engendrer une plus grande détérioration des rendements agricoles, principalement le sésame, le sorgho, l'arachide et le mil. Quel que soit le scénario, l'examen des rendements futurs présage que les cultures, sauf le manioc dans le scénario humide, connaîtraient des baisses relativement importantes.

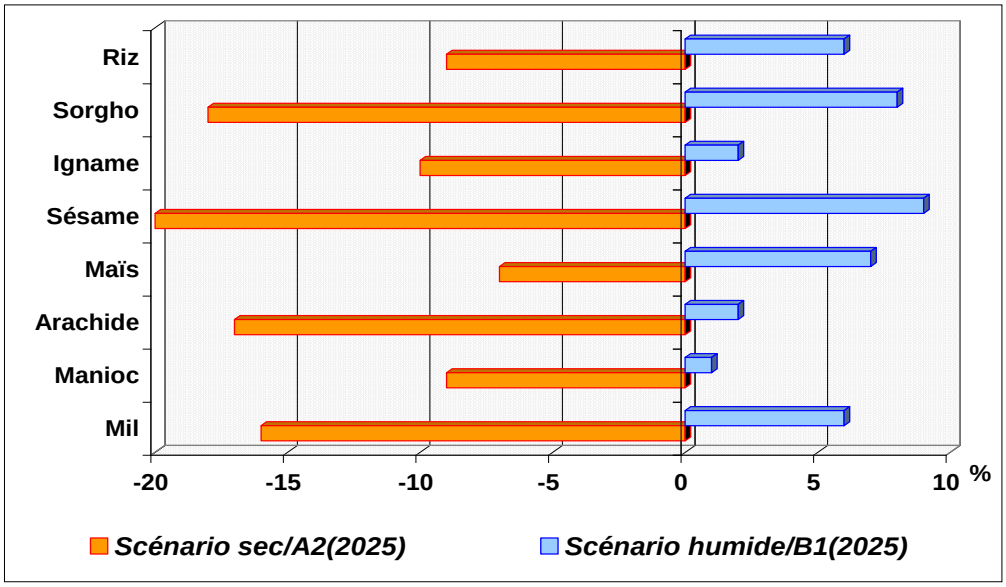



**Figure 70.** *Taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 à l'horizon 2025 dans l'Ouest de la Centrafrique*

### 6.1.3. Rendements agricoles par scénario en 2050

Les rendements espérés pour les huit cultures dans les conditions climatiques supposées pour l'Ouest de la Centrafrique en 2050 sont illustrés par la figure 71.

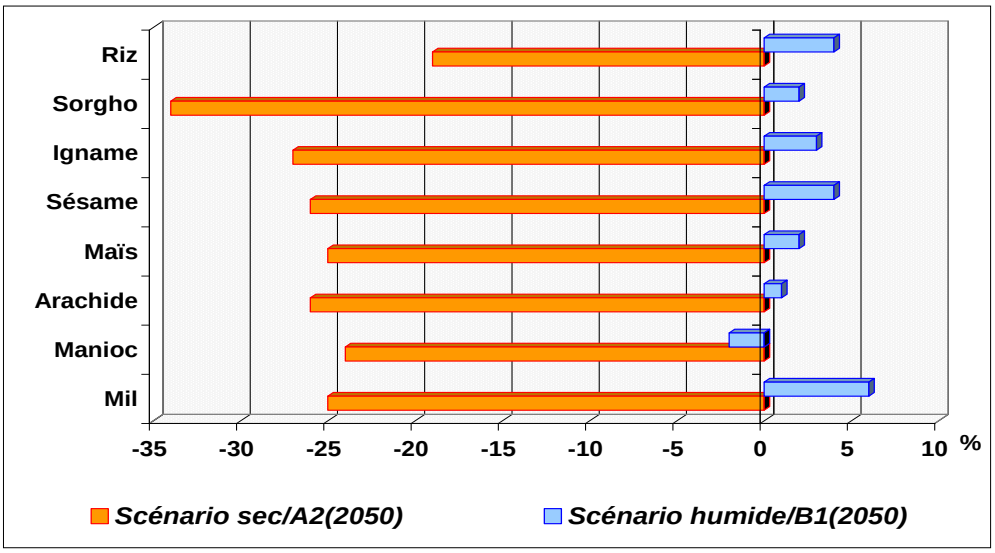



**Figure 71.** *Taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 à l'horizon 2050*

Le rendement de l'arachide varierait énormément selon les scénarios. Il sera de 641 et 1163 kg/ha respectivement dans les scénarios sec/A2 et humide/B1. De même, l'igname enregistrerait un rendement de 2784 kg/ha dans le scénario sec alors qu'il serait deux fois plus élevé dans le scénario humide/B1.

Une analyse comparative faite entre les rendements et ceux des statistiques agricoles de l'ICASEES sur la période 1971 à 2000, indique une situation agricole critique dans l'Ouest de la Centrafrique à l'horizon 2050. L'analyse de sorties agronomiques dans STICS montre que les rendements agricoles décroîtront. Les baisses des rendements seraient globalement comprises entre 19 et 34 % pour le scénario sec dans la région d'étude ; toutes les productions agricoles seraient déficitaires. Ces déficits atteindront 48 % pour le manioc et 40 % pour l'arachide en 2075.

### 6.1.4. Rendements agricoles par scénario en 2075

La figure 72 présente le taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des huit (8) cultures retenues selon les scénarios sec et humide dans la région d'étude.

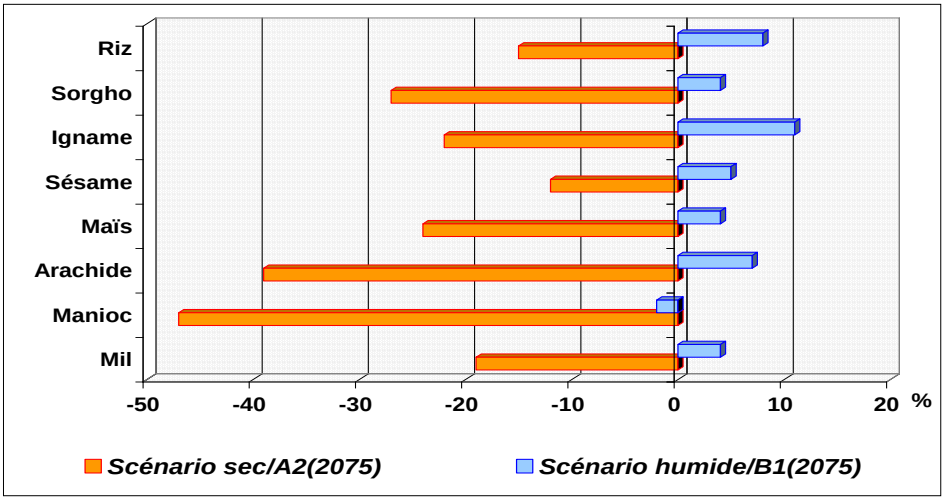



**Figure 72.** *Taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 à l'horizon 2075*

Au regard de la figure 72, l'Ouest de la Centrafrique connaîtrait une baisse des rendements des cultures, notamment plus marquée pour le manioc dans les deux scénarios. Dans le scénario sec/A2, les baisses du rendement de l'igname, du maïs, du sorgho et du mil seraient respectivement de -22 % ; de -24 % ; de -28,4 % et de-19,3 %. Le riz verra son rendement chuter de -17,8 % dans le scénario sec/A2. Le manioc serait plus vulnérable au contexte climatique du scénario humide/B1 avec un déficit de -4,2 %. Pour le scénario humide/B1, le rendement d'igname va augmenter de +11 %.

### 6.1.5. Comparaison des rendements agricoles : 2021-2050 et 2071-2100

L'examen des résultats de simulation illustré par la figure 73 montre que les rendements des cultures subiront des baisses importantes. Le maïs et l'igname par exemple, vont connaître des baisses de -38 et -25 % et de -29 et -17 % respectivement dans le scénario sec/A2 aux horizons 2021-2050. En revanche, les cultures comme le manioc et l'arachide connaîtraient des réductions relativement moins importantes, ce qui indique que ces cultures résisteront mieux aux effets des changements climatiques. Mais l'optimisme que laisse entrevoir cette résistance du manioc et de l'arachide est à relativiser.

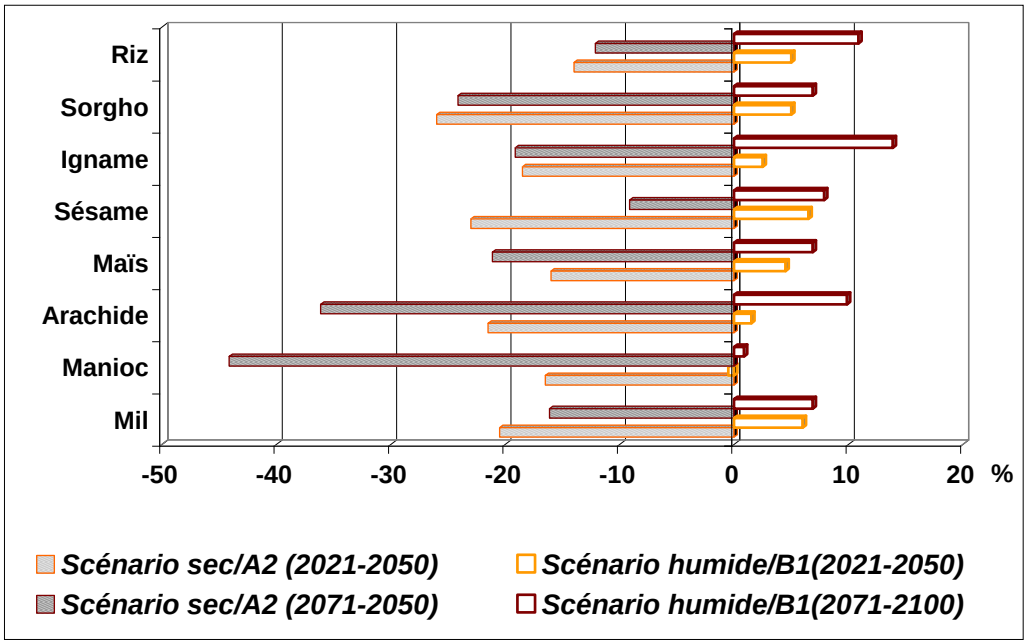



**Figure 73.** *Comparaison du taux en pourcentage des rendements moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 entre les horizons 2021-2050 et 2071-2100 dans l'Ouest de la Centrafrique*

Si le climat devenait plus sec, une perte de production pourrait être enregistrée lors de la récolte du manioc dans la mesure où le sol deviendra dur. Les changements projetés des précipitations auront un impact plus déterminant sur la production des cultures. Comme illustré par la modélisation du climat, il semble qu'il y aura probablement une augmentation des précipitations moyennes annuelles à la fin du 21$^{ème}$ siècle.

Puis qu'il est difficile de prédire les régimes locaux des précipitations, tout changement de la répartition et de l'abondance des précipitations journalières pourrait provoquer des inondations et des sécheresses de façon fréquente et intense ;

événements climatiques qui seront plus susceptibles d'affecter les activités agricoles que l'augmentation globale des précipitations moyennes. De plus, les tendances des précipitations, au contraire de celles des températures, ne seront pas nécessairement unidirectionnelles mais elles pourront augmenter voire changer de direction. Les cultures pourront être plus dépendantes des tendances des précipitations au cours des périodes particulières qu'à plus long terme. Les événements climatiques et les tendances culturales aux horizons 2021-2050 et 2071-2100 sont présentés dans le tableau XLV.

**Tableau XLV.** Evénements climatiques et tendances culturales aux horizons futurs dans l'Ouest de la Centrafrique

| | **Horizons 2021-2050** | **Horizons 2071-2100** |
|---|---|---|
| **Evénements climatiques** | ▪ Augmentation des températures<br>▪ Baisse des précipitations<br>▪ Sécheresses récurrentes<br>▪ Fréquence des événements extrêmes | ▪ Augmentation des températures<br>▪ Légère hausse des précipitations<br>▪ Fortes pluies et inondations<br>▪ Poches de sécheresses |
| **Grandes Tendances** | ▪ Décalage ou expansion vers le sud des secteurs de production<br>▪ Zone soudanienne plus sèche et chaude ;<br>▪ Baisse de rendements céréaliers (maïs, mil, sorgho, etc.) | ▪ Grande marge d'incertitude<br>▪ Importants contrastes régionaux<br>▪ Zone guinéenne moins humide ;<br>▪ Baisse de rendements des plantes à tubercules et à racines (manioc, mil, sorgho, etc.) |

**Source** : *Sorties agroenvironnementales du modèle d'étude d'impacts dans STICS*

Les conditions climatiques des prochaines décennies induiront une baisse des rendements pour l'essentiel des cultures. Cela serait dû à une modification ou un changement du statut des principaux indices agro climatiques qui influencent directement le rendement. Il s'agit en l'occurrence de l'Indice Pluviométrique (IP) dont les baisses signifient une diminution de l'apport en eau pluviale pendant les phases de croissance et de développement des différentes cultures.

### 6.2. Analyse des indices agroclimatiques futurs

Les augmentations de la température moyenne accélèrent souvent la croissance des plantes, donnant aux cultures moins de temps pour accumuler de la biomasse et produire un bon rendement. Les augmentations de la variabilité de la température peuvent provoquer des stress thermiques, particulièrement lorsque des extrêmes de température coïncident avec la floraison. Ces deux processus pourront être importants

sous l'effet du changement climatique, comme il est indiqué dans plusieurs études de modélisation.

L'analyse, effectuée par le GIEC (2007), des changements moyens sur la plupart des modèles climatiques dans le cas du scénario B1 pour la fin du siècle présage qu'il y aura une légère augmentation de l'évaporation sur le territoire Centrafricain. La température joue un rôle dans cette augmentation de l'évaporation de même que l'augmentation des précipitations, ce qui entraînera une augmentation de l'humidité du sol. L'augmentation de la température aura également tendance à augmenter l'évapotranspiration. De même, si les précipitations augmentent, les rendements pourront diminuer.

En zone intertropicale, les impacts biologiques de toute variation du climat s'observent, très fréquemment, dans l'agriculture à travers les stress hydriques et/ou thermiques que subissent ou non les plantes cultivées. La manifestation de ces stress étant fondamentalement liée aux caractéristiques générales de la saison de croissance de la région climatique où se pratique la culture (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 et Issa, 2012). Celle-ci constitue un facteur d'explication de la faisabilité d'une culture, ne serait-ce que par le simple fait d'une adéquation obligatoire entre la durée de la saison de croissance et le cycle végétatif de la culture.

C'est ce qui justifie l'analyse séparée des indices généraux relatifs à la saison de croissance, et les indices spécifiques des cultures. Les indices agroclimatiques généraux estimés au niveau des stations de Bangui, de Berbérati, de Bouar et de Bossangoa ont été respectivement résumés dans les tableaux XLVI à XLVIX.

### 6.2.1. Variation des indices agroclimatiques futurs en zone guinéenne

Les tableaux XLVI et XLVII présentent respectivement la variation des indices agroclimatiques futurs (2021-2050 et 2071-2100) par rapport à la période de référence (1971-2000) à Bangui (domaine guinéen forestier) et à Berbérati (domaine soudano-guinéen).

**Tableau XLVI.** Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Bangui (domaine guinéen forestier)

| | **Climat (1971-2000)** | **Climat (2021-2050)** | | **Climat (2071-2100)** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Valeurs* | *Valeurs* | *Ecarts** | *Valeurs* | *Ecarts** |
| **Nombre de Jours Secs (NJS)** | 71 | 66 | -5 | 69 | -2 |
| **Nombre de Jours Intermédiaires** | 56 | 59 | +3 | 51 | -5 |
| **Nombre de Jours Humides (NJH)** | 238 | 240 | +2 | 245 | +7 |
| **Début de la Saison de Croissance** | 21-avr | 29-avr | -8 | 01-mai | +10 |
| **Fin de la Saison de Croissance** | 21-nov | 27-avr | -6 | 30-nov | +9 |
| **Durée de la Saison de Croissance** | 210 | 203 | -7 | 207 | -3 |

** Ecarts en jours par rapport à la période de référence*

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

**Tableau XLVII.** Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Berbérati dans la Mambéré-Kadéi (domaine soudano-guinéen)

| | **Climat (1971-2000)** | **Climat (2021-2050)** | | **Climat (2071-2100)** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Valeurs* | *Valeurs* | *Ecarts** | *Valeurs* | *Ecarts** |
| **Nombre de Jours Secs (NJS)** | 97 | 94 | -3 | 91 | -6 |
| **Nombre de Jours Intermédiaires** | 71 | 77 | +6 | 74 | +3 |
| **Nombre de Jours Humides (NJH)** | 197 | 194 | -3 | 200 | +3 |
| **Début de la Saison de Croissance** | 01-avr | 10-avr | +9 | 20-avr | +19 |
| **Fin de la Saison de Croissance** | 11-déc | 29-nov | -12 | 01-déc | -10 |
| **Durée de la Saison de Croissance** | 221 | 229 | +8 | 230 | +9 |

** Ecarts en jours par rapport à la période de référence*

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

L'analyse des résultats obtenus révèle que les indices vont se dégrader aux horizons 2021-2050 en référence aux valeurs obtenues au cours de la période 1971-2000 dans les régions témoins. Par exemple, la durée de la saison de croissance (DuSC), le début de la saison de croissance (DSC), la fin de la saison de croissance (FSC), le nombre de jours humides (NJH) vont connaître une réduction significative susceptible d'impacter les rendements agricoles.

Cette baisse confirme la tendance à la dégradation des conditions agroclimatiques. Le nombre de jours secs (NJS) par contre pourrait baisser à la station de Berbérati : 97 entre 1971-2000 contre 94 aux horizons 2021-2050 et 91 aux horizons 2071-2100.

### 6.2.2. Variation des indices agroclimatiques futurs en zone soudanienne

Les tableaux XLVIII et XLIX présentent respectivement la variation des indices agroclimatiques futurs (2021-2050 et 2071-2100) par rapport à la période de référence (1971-2000) à Bouar (domaine soudano-oubanguien) et à Bossangoa (domaine soudano-sahélien).

**Tableau XLVIII.** Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Bouar dans la Nana-Mambéré (domaine soudano-oubanguien)

| | **Climat (1971-2000)** | **Climat (2021-2050)** | | **Climat (2071-2100)** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Valeurs* | *Valeurs* | *Ecarts** | *Valeurs* | *Ecarts** |
| **Nombre de Jours Secs (NJS)** | 119 | 131 | +12 | 116 | -3 |
| **Nombre de Jours Intermédiaires** | 88 | 63 | -25 | 76 | -12 |
| **Nombre de Jours Humides (NJH)** | 158 | 171 | +13 | 173 | 15 |
| **Début de la Saison de Croissance** | 11-avr | 21-avr | 10 | 15-avr | +4 |
| **Fin de la Saison de Croissance** | 21-nov | 01-nov | -20 | 30-nov | +9 |
| **Durée de la Saison de Croissance** | 220 | 193 | -27 | 225 | +5 |

** Ecarts en jours par rapport à la période de référence*

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

**Tableau XLIX.** Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Bossangoa dans l'Ouham (domaine soudano-sahélien)

| | **Climat (1971-2000)** | **Climat (2021-2050)** | | **Climat (2071-2100)** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Valeurs* | *Valeurs* | *Ecarts** | *Valeurs* | *Ecarts** |
| **Nombre de Jours Secs (NJS)** | 147 | 139 | -8 | 143 | -4 |
| **Nombre de Jours Intermédiaires** | 92 | 101 | +9 | 91 | -1 |
| **Nombre de Jours Humides (NJH)** | 126 | 125 | -1 | 131 | +5 |
| **Début de la Saison de Croissance** | 01-mai | 10-mai | +9 | 02-mai | +1 |
| **Fin de la Saison de Croissance** | 11-oct | 25-oct | +14 | 15-oct | +4 |
| **Durée de la Saison de Croissance** | 160 | 130 | -30 | 167 | +7 |

** Ecarts en jours par rapport à la période de référence*

**Source** : *Outputs agronomiques du modèle d'étude d'impacts dans STICS, décembre 2012*

L'analyse comparative des indices agroclimatiques des climats actuels (1971-2000) indique une augmentation de ce paramètre agroclimatique en raison du réchauffement climatique et de la forte demande évaporatoire dans la région d'étude au cours des prochaines années.

Or, selon FAO (1997), l'élévation de la température qui va engendrer une augmentation des IAC entraverait le métabolisme et la croissance de bon nombre de cultures céréalières.

L'examen des sorties agronomiques présentées dans les tableaux XLIII et XLIV permet de conclure que la quasi-totalité des indices agroclimatiques vont se détériorer aux horizons 2071-2100 en référence aux valeurs obtenues au cours de la période 1971-2000 dans la région d'étude. Corrélativement au nombre de jours secs qui connaîtra une augmentation de 12 jours, les autres indices, notamment la DuSC, le DSC, la FSC, le NJH et le NJI vont enregistrer des réductions. Cette altération des valeurs des indices agroclimatiques généraux, dans un contexte de changements climatiques, aura certainement des impacts négatifs sur les indices spécifiques des cultures tant en domaine guinéen, soudanien que sahélien de la région d'étude.

En somme, un stress thermique supplémentaire risque de réduire les rendements dans la région d'étude. Les températures minimales plus importantes ainsi que les températures maximales plus élevées nuiront généralement à de nombreuses cultures (Sombroek et Gommes, 1997).

Les températures étant déjà proches des valeurs maximales tolérées pour la plupart des cultures testées, il est évident que les rendements des cultures diminueront, même avec une hausse minime des températures associée à l'altération de l'état hydrique qui va engendrer une modification de la matière organique des sols déjà irrationnellement exploités.

A ces facteurs explicatifs de la baisse des rendements évoqués, s'ajoutera celui lié à la détérioration plus accrue de l'état de santé des populations paysannes et des conséquences des conflits armés récurrents. Evidemment, les conditions écologiques des climats à venir permettraient le développement de certains germes. La résurgence de certaines maladies alors combattues est fort probable du fait des nouvelles conditions écologiques telles la persistance de la sécheresse.

La dégradation de l'état de santé des populations en raison de la résurgence et de l'amplification de certains germes évoquées supra constituerait un facteur supplémentaire et explicatif de la baisse des rendements des cultures.

En effet, assommées par les différentes maladies qui les invalideraient tout au moins temporairement, les populations paysannes ne pourront pas se consacrer à plein temps aux travaux champêtres. Une telle situation ne ferait qu'aggraver la baisse des productions agricoles.

Autant d'éléments supplémentaires qui expliqueront la baisse des productions par unité de superficie. A ces éléments s'ajoutera probablement la prolifération des adventices et ennemis des cultures en raison de la hausse des températures (Parry, 1990), ce qui affaiblira davantage le potentiel de rendement de ces cultures et contrarierait les possibilités d'espérer une amélioration des rendements dans le contexte d'un accroissement du $CO_2$ atmosphérique.

Sous les latitudes tropicales, les mauvaises herbes de même que les maladies cryptogamiques ou encore les ravageurs de culture risquent de se développer plus rapidement (FAO, 1997) parce qu'ils auront désormais un cycle court dans les conditions de températures élevées.

En conséquence, les feuilles, les tiges et les racines des plantes seront sujettes à des attaques vigoureuses. Ce contexte leur enlèvera toute possibilité de croissance normale, la fonction respiratoire des cultures étant perturbée. Ainsi, on assistera à une augmentation du risque de pertes de récoltes.

La baisse de rendements des cultures résultera de deux facteurs majeurs à savoir : la hausse des températures entraînant l'augmentation du stress hydrique et la réduction de la durée de la saison de croissance en raison du glissement de la pluviosité hors de la saison culturale. On notera une baisse des rendements plus que proportionnelle à l'accroissement de l'ETP ; les précipitations baissant et les sols devenant de plus en plus arides.

Cette analyse corrobore les résultats rapportés par Sombroek et Gommes (1997) et Ogouwalé (2006) qui révèlent qu'en zone intertropicale, les cultures croissent habituellement à plus hautes températures, produisent des rendements plus bas à cause du stress hydrique et en raison des problèmes de réaction physiologique.

**Discussion**

Le changement climatique va modifier les données d'entrée en créant des conditions, souvent plus favorables, parfois plus défavorables, suivant les productions. L'augmentation du $CO_2$ va potentiellement stimuler la photosynthèse des couverts végétaux et améliorer l'efficience de l'eau par l'augmentation de la résistance stomatique, en créant des conditions permettant d'augmenter la production de biomasse de l'ordre de 20 % (Amigues et *al*., 2006).

Les scénarios dits de "fin de siècle" font cependant intervenir des effets de compensation, avec le raccourcissement du cycle de végétation. Il faut également prendre en compte une augmentation du rayonnement solaire (dû à une plus faible nébulosité dans les conditions de sécheresse, comme on a pu le voir depuis 2003).

A priori, les principales cultures devraient être plutôt favorisées, sauf dans la zone soudano-sahélienne où apparaît le risque de sécheresses accentuées, accompagnées de températures élevées. Pour le mil, le sésame et l'arachide, l'avancée généralisée de la phénologie peut poser des problèmes de risque de flétrissement au moment de la floraison et de perte de qualité des rendements.

Une adaptation locale basée sur les composantes techniques (choix des variétés, pratiques culturales) paraît en mesure d'amplifier les effets positifs et de limiter les effets négatifs, sous réserve que l'eau soit disponible pour l'irrigation. Un déplacement géographique des cultures vers le centre-sud est à anticiper, mais il n'est pas directement envisageable pour les productions liées au terroir.

Par rapport à l'alimentation hydrique des cultures, le principal facteur d'inquiétude est la baisse des hauteurs pluviométriques prévue, particulièrement en zone soudano-sahélien, qui amplifierait les risques de sécheresse édaphique ; il n'est guère possible de savoir si la baisse des précipitations sera assez uniformément répartie entre les années ou si elle se traduira par un plus grand nombre d'années de forte sécheresse que dans le passé. Par contre, la situation devrait être un peu plus favorable pour les ressources en eau, sous réserve que les précipitations ne soient pas trop violentes.

Au niveau de la demande en eau pour l'irrigation, si l'augmentation de température et surtout celle du rayonnement solaire liée à une couverture nuageuse plus faible conduisent à une demande climatique accentuée, le raccourcissement du cycle du végétal (et à plus long terme l'accroissement de la résistance stomatique avec l'élévation du $CO_2$ atmosphérique) introduisent des effets de compensation.

C'est donc plutôt, au total, le risque d'accroissement de sécheresse édaphique qui est à retenir ; dans cette logique, l'année 2005 est tout à fait représentative de ce qui nous attendrait une année sur deux entre 2025 et 2050. Les changements des précipitations auront un impact plus déterminant sur la production des cultures. Comme illustré par la modélisation du climat, il semble qu'il y aura probablement une augmentation modeste des précipitations moyennes annuelles. Le consensus est donc désormais quasi-général sur l'existence d'un réchauffement : ses effets sont déjà observables : avancement avéré ou précocité des dates de floraison, etc.

En effet, l'augmentation des températures a des effets directs sur la demande en eau (augmentation de la demande évaporatoire par accroissement du déficit de saturation de l'air), et des effets indirects par des impacts sur le cycle de développement des cultures (décalage phénologique, allongement de la période de végétation d'espèces pérennes et raccourcissement du cycle d'espèces annuelles etc.).

L'accentuation du réchauffement pourra aussi conduire à un dépassement de l'optimum thermique pour certaines espèces, d'ailleurs encore mal identifiées de façon précise. Au regard des résultats de l'étude d'impacts, l'analyse de la vulnérabilité et de l'adaptation des agrosystèmes face aux changements climatiques dans l'Ouest de la Centrafrique s'impose ; celle-ci est abordée dans le chapitre suivant.

# CHAPITRE VII
# ADAPTATION DES PRATIQUES CULTURALES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE

Le chapitre 7 présente les stratégies d'adaptation que les populations paysannes développent face aux contraintes des changements climatiques. Au regard des impacts agricoles des changements climatiques, des stratégies de mitigation ont été proposées pour réduire davantage la vulnérabilité du paysannat aux contraintes climatiques et bioclimatiques dans l'Ouest de la Centrafrique.

## 7.1. Vulnérabilité agricole aux changements climatiques

Les incertitudes climatiques ont des influences sur la dynamique des systèmes agraires. Il est apparu des pratiques visant à soutenir ou maintenir les systèmes de production dans les domaines de l'environnement, de l'organisation et de la gestion communautaire des ressources agricoles. Plusieurs considérations augurent des pressions additives sur les agro-écosystèmes qui constituent des facteurs complémentaires de vulnérabilité des productions agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique. :

- la hausse des températures entraînera l'augmentation du stress hydrique, puis en combinaison avec la réduction de la durée de la saison de croissance culturale, induira la baisse de rendements ;
- la combinaison de l'augmentation de la productivité primaire, en particulier forestière, et de la diminution des superficies agricoles permettrait initialement d'augmenter le puits de carbone actuel mais, cette tendance serait renversée à partir de 2050 par les effets de l'augmentation de température dans la région ;
- les scénarios à orientation plus, économique, tendent à produire les effets les plus sévères pour l'ensemble des services examinés. Cependant, même pour les scénarios les plus proactifs en matière de développement agricole, et par conséquent les moins sévères en termes de changements climatiques, les impacts restent importants, notamment sur les productions agricoles, la disponibilité en eau ou la fertilité organique des sols.

Bien qu'il n'existe pas une approche, un cadre ou une voie unique qui permette d'atteindre une telle intégration, quelques facteurs importants pouvant y contribuer ont toutefois été identifiés par les agriculteurs. Parmi ceux-ci, il y a la réduction de l'exposition et de la vulnérabilité, le transfert et le partage des risques, ainsi qu'une préparation, une intervention et un redressement appropriés.

La résistance des systèmes d'exploitation agricole aux changements et à la variabilité climatiques dépend de la fertilité des sols. Malheureusement, beaucoup d'agriculteurs dans la région d'étude ne disposent pas assez de moyens financiers, de technologies, de bétail et de temps nécessaires pour entretenir leurs terres comme ils le souhaitent. Or, les sols infertiles produisent peu, ce qui aggrave encore la pauvreté.

En somme, les effets directs et/ou indirects des changements climatiques constituent des menaces sur les rendements agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique. Pour ce faire, l'approche appropriée pour concilier les impératifs de réduction de la pauvreté et de la réduction de la vulnérabilité aux effets adverses des changements climatiques est d'intégrer dans les politiques sectorielles, les stratégies et actions de développement et les mesures préventives de gestion des risques climatiques.

Il s'agit en pratique d'ajuster ou de modifier les politiques sectorielles, les stratégies et les actions de développement en vue de prendre en compte les risques liés au climat et à son évolution. La prise en compte des risques liés aux changements climatiques nécessite de rendre disponibles pour les décideurs politiques, les planificateurs et autres acteurs de développement des outils, des méthodes et des connaissances spécifiques**.**

### 7.2. Stratégies d'adaptation endogènes et planifiées

Confrontés depuis quelques décennies à des conditions pluviométriques très fluctuantes, les paysans ouest-centrafricains ont peu à peu adapté leurs systèmes de production aux risques climatiques. Il peut être de différentes natures : économique avec notamment la fluctuation des prix, sanitaire du fait des maladies et parasites qui menacent les cultures, ou climatique. En agriculture pluviale, c'est incontestablement ce dernier risque qui est le plus à craindre et ce d'autant plus que le climat tend à

devenir sec (Jouve, 2010). En effet, plus l'aridité s'accroît, plus forte est la variabilité des pluies et plus importantes en sont les conséquences, la sécheresse pouvant entraîner la perte de toute la production. Cependant, face aux aléas climatiques, les paysans ont élaboré, de façon empirique, des pratiques culturales et ont adopté des stratégies pour s'adapter à ces aléas.

### 7.2.1. Pratiques paysannes d'adaptation

#### 7.2.1.1. Choix de l'extensif

D'une façon générale, le risque est antagoniste à l'intensification, c'est-à-dire à l'investissement de travail et de capital pour augmenter la production. Aussi, avec l'accentuation de l'aridité et des aléas climatiques qui l'accompagnent, les agriculteurs optent pour une simplification et une extensification de leurs systèmes de culture (Photo 5). Ainsi, les sécheresses successives qu'ont connues la région ces dernières décennies ont entraîné la régression des légumineuses, en particulier l'arachide, au profit des céréales (maïs, riz, mil), ce qui a affecté l'économie des exploitations et la gestion de la fertilité des terres.



**Planche 6.** Champ de maïs à Bingué (Baboua) dans la Nana-Mambéré (*gauche*) et parcelle rizicole et arachidière à Pissa dans la Lobaye (*droite*)

**Prises de vue :** *Bertrand Doukpolo, juin – juillet 2011*

L'utilisation des intrants agricoles, déjà pénalisée par le désengagement de l'État, se réduit en année sèche, de même que le temps et le nombre de sarclages. La pratique de la cueillette que l'on observe dans toute la région constitue la phase ultime de ce processus. Les agriculteurs ont aussi adopté, de façon délibérée, des pratiques visant à réduire les effets des aléas climatiques. Parmi celles-ci, on peut citer la pratique du

semis précoce et l'utilisation de variétés à cycle court, qui permettent de faire coïncider au mieux le cycle de la culture avec la saison des pluies, et de réduire ainsi la période de stress hydrique en fin de cycle. C'est ce choix qui a conduit les agriculteurs du bassin arachidier du Sénégal à préférer la traction bovine proposée par la recherche pour labourer leur terre, la traction équine qui leur permet de semer plus vite et de sarcler plus tôt leurs cultures (Salack et *al.*, 2006).

#### 7.2.1.2. Association de cultures

Elle constitue une pratique très répandue en Afrique subsaharienne. Ses bénéfices, trop longtemps méconnus, sont nombreux. Concernant l'alimentation en eau des cultures, elle permet d'atténuer l'effet d'un stress hydrique en cours de cycle grâce aux possibilités de compensation entre les espèces associées sur la même parcelle (Photo 6). Par ailleurs, en assurant une couverture du sol plus rapide et plus complète, elle augmente à la fois la productivité de la terre (biomasse) et celle du travail.



**Photo 7.** Association de culture : courges, igname et manioc à Boda dans la Lobaye (*gauche*) ; maïs et manioc à Botambi dans l'Ombella-M'Poko (*droite*)

**Prises de vue :** *Bertrand Doukpolo, août –octobre 2011*

Si l'accentuation des risques climatiques réduit la gamme des cultures, en revanche pour celles qui subsistent et en particulier pour le mil et le sorgho, les agriculteurs disposent en général de plusieurs variétés de la même espèce. Cette diversité, qui inclut des variétés photopériodiques, leur permet de s'adapter à la variabilité des pluies et à la diversité des terrains de culture. Les agriculteurs ouest-centrafricains ont également généré des innovations visant à renforcer ou restaurer la capacité de production des terres et réduire ainsi les effets des aléas pluviométriques. Parmi ces

innovations, on peut citer la protection des rejets arbustifs dans les champs (régénération naturelle assistée) qui a permis la revégétalisation de certains terroirs villageois dans l'Ombella-M'Poko et dans l'Ouham Pendé.

#### 7.2.1.3. Assolement des cultures

En ce qui concerne les systèmes de culture, un point très intéressant à signaler est que l'augmentation de la durée de végétation va rendre possible des successions de cultures là où seules des monocultures étaient possibles comme dans certains terroirs de l'Ouham-Pendé en absence de pluie. La pratique d'une stratégie d'assolement est un point positif pour la maîtrise phytosanitaire. Pour les mêmes raisons, il faut s'attendre à une plus grande vigueur des adventices, qui seraient mieux contrôlées par l'utilisation de systèmes de cultures associées ou de cultures sous couvert.

En ce qui concerne l'adéquation cultures/sol, les sols superficiels, à faible réserve utile, vont devenir difficilement utilisables, en particulier dans le sud en pays *Ngbaka* ou *Issongo*, y compris pour des cultures pérennes. Par ailleurs, la tendance à long terme est à la diminution de la matière organique des sols ; il serait donc opportun de prendre en compte la gestion de cette fertilité des sols dans les choix d'assolement.

### 7.2.2. Stratégies d'adaptation planifiées aux risques climatiques

L'adaptation des agriculteurs aux risques climatiques peut s'appréhender plus globalement en analysant les différentes stratégies que les agriculteurs adoptent dans la conduite de leur exploitation et au-delà, dans l'organisation de leur système d'activité. Plusieurs techniques pourraient être mises en œuvre par la planification ; certaines d'entre elles ont été identifiées dans le cadre du PANA-RCA, 2008 :

- mettre au point des méthodes de gestion de l'eau à des fins agricoles : conservation des eaux et des sols et la protection des cultures face aux extrêmes climatiques, irrigation de complément et irrigation à partir des eaux de surface (fleuves, mares, bassins de rétention, eaux souterraines) ;
- encourager le développement des cultures irriguées, la diversification et l'intensification des cultures ;
- mettre au point des variétés adaptées au stress hydrique et /ou à la chaleur ;
- adopter les méthodes de gestion raisonnée de la fertilité des sols etc.

- optimiser l'application des herbicides. Pour un usage optimal des herbicides, de bonnes connaissances des adventices présentes dans les champs et de leur propagation sont nécessaires, pour éviter l'apparition de résistances ou l'utilisation d'herbicides non appropriés. Il est primordial de traiter au moment opportun et de doser correctement les produits, afin de prévenir des dégâts sur les cultures ou une pollution excessive de l'environnement. Cette stratégie est en cours d'expérimentation dans certains terroirs et hameaux de l'Ombella-M'Poko ;
- améliorer les prévisions météorologiques et saisonnières, et produire de nouvelles variétés de semences ;
- former et conseiller dans le cadre de la promotion des exploitations familiales rurales. Il s'agit dans cette rubrique de proposer l'organisation d'un forum qui doit permettre de dégager une convergence des points de vue ainsi que des pistes concrètes quant à la rénovation des dispositifs de formation et de conseil par rapport aux besoins spécifiques de l'agriculture familiale en matière de renforcement des capacités des producteurs agricoles.

Au regard de la pertinence des mesures proposées ci-dessus, le calendrier d'exécution des travaux liés à la production agricole pourrait être redéfini. Une redéfinition des calendriers agricoles, jouant sur les dates de semis et du cycle cultural des variétés, met l'accent sur l'affinage de l'itinéraire technique (Tableau L).

**Tableau L.** Redéfinition du calendrier des activités agricoles

| | **Mois** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Cultures** | ***Janvier*** | ***Février*** | ***Mars*** | ***Avril*** | ***Mai*** | ***Juin*** | ***Juillet*** | ***Août*** | ***Sept.*** | ***Oct.*** | ***Nov.*** | ***Déc.*** |
| **Arachide** | | 1 | 1 | 1,2 | 1,2,3 | 2,3 | 3,4,5 | 4,5,6 | 5,6,8 | 6,8 | | |
| **Igname** | | 1 | 1 | 1,2 | 1,2,3 | 3,4,5 | 4,5,6 | 5,6 | 6,7 | 6,7,8 | 8 | 8 |
| **Maïs** | | 1 | 1 | 1,2,3 | 1,2,3 | 2,3,4 | 5,6 | 6,7 | 6,7,8 | 8 | | |
| **Manioc** | | 1 | 1 | 1,2 | 1,2,3 | 2,3 | 3,4,5 | 4,5 | 5,6 | 6,7 | 7,8 | 8 |
| **Mil** | | | | 1 | 1,2 | 2,3 | 2,3,4 | 3,4,5 | 4,5,6 | 6,7 | 7,8 | 8 |
| **Riz** | | | | 1,2 | 1,2 | 2,3,4 | 3,4,5,6 | 4,5,6 | 6,7 | 8 | 8 | |
| **Sésame** | | | | 1,2 | 1,2,3 | 2,3,4 | 3,4,5 | 4,5,6 | 5,6,8 | 6,7 | 8 | 8 |
| **Sorgho** | | | | 1 | 1,2 | 2,3 | 2,3,4 | 3,4,5 | 4,5,6 | 6,7 | 7,8 | 8 |

**Légende :**

**1.** *Défrichement* **2.** *Labour* **3.** *Semis/bouturage* **4.** *Fumure*
**5.** *1$^{er}$ sarclage* **6.** *2$^{ème}$ sarclage* **7.** *3$^{ème}$ sarclage* **8.** *Récolte*

**Source :** Enquêtes de terrain (synthèse des propositions), janvier 2012

#### 7.2.2.1. Mesures d'adaptation alternatives

Là où la pression foncière n'est pas encore très forte, elle conduit les agriculteurs à répartir leurs cultures sur différents terrains afin d'investir préférentiellement leur force de travail sur les parcelles où la répartition spatiale des pluies fait espérer le meilleur rendement.

De façon générale, on note une diversité des systèmes de culture au sein des exploitations comme à l'échelle des territoires villageois. Cette diversité fait que même si l'extensif domine en situation de risque, celui-ci peut côtoyer l'intensif. C'est ce que l'on observe entre les systèmes de culture pluviale sur les plateaux de Dédé-Mokouba à Gadzi et les systèmes de contre-saison pratiqués dans les bas-fonds, ou entre ceux des premières auréoles des villages soudaniens et ceux des périphéries urbaines (Bouar, Bangui, etc.).

Cette diversification des activités rurales au sein d'une exploitation agricole a beaucoup évolué au cours des dernières décennies. Alors qu'elle impliquait autrefois différentes populations à l'échelle préfectorale (*organisation de la fête des moissons*), désormais, elle s'organise principalement à l'échelle de l'exploitation et des unités villageoises. À ces échelles, l'élevage permet d'exploiter des terrains non cultivés (brousse périphérique, bas-fonds), de valoriser les sous-produits des cultures et de diversifier les revenus.

Mais c'est par son rôle de « volant monétaire » venant atténuer les fluctuations de rendement des cultures que l'élevage est capital dans l'adaptation des exploitations aux aléas climatiques. Aussi, la décapitalisation du cheptel en période de sécheresse ne doit-elle pas être considérée comme un phénomène trop inquiétant si ce cheptel se reconstitue une fois la sécheresse passée. À ces différentes formes de diversité, il faut ajouter la diversification des activités et des revenus.

En effet, souvent, on évalue la viabilité des exploitations à l'aulne de leurs seuls revenus agricoles. Sur cette seule base, on ne peut expliquer la survie des nombreuses exploitations agricoles. Le fonctionnement d'une société rurale nécessite l'exercice de différents types d'activités artisanales (forge, mines, menuiserie, taillerie, maçonnerie), forestières, commerciales ou autres (cueillette, chasse, pêche, guides pisteurs, etc.).

Depuis longtemps et encore aujourd'hui, ces fonctions sont assurées par des ruraux ayant une activité agricole et c'est grâce à cette pluriactivité que beaucoup d'exploitations peuvent surmonter les fluctuations de revenus induites par les aléas climatiques. Une autre façon, pour les agriculteurs de compenser les pertes de production et de revenu résultant des aléas climatiques consiste à exploiter les ressources naturelles de leur milieu et en particulier le bois d'œuvre et de service.

#### 7.2.2.2. Adaptation par la mobilité

Celle-ci concerne à la fois les cultures, les troupeaux et les hommes. La sécheresse entraîne la délocalisation des cultures soit vers des terroirs plus aptes à valoriser les pluies soit vers les zones où s'accumulent les eaux de ruissellement (bas-fonds). Un autre type de mobilité réside dans les migrations plus ou moins définitives de populations des zones les plus menacées par la sécheresse et/ou les conflits armés vers d'autres régions aux conditions plus favorables pour l'agriculture. Ces migrations posent des problèmes notamment du point de vue foncier ; on peut s'attendre à ce qu'elles se poursuivent et se développent avec l'accentuation du changement climatique.

#### 7.2.2.3. Stockage de récolte

La mise en place de banques (greniers) des produits agricoles permet de conserver les semences et les vivres. Cette pratique a été longtemps une stratégie de base pour tamponner les effets des risques climatiques (Photo 8). On voit que les paysans ouest-centrafricains sont loin d'être restés passifs face aux aléas climatiques et à leur accentuation depuis 1990.



**Planche 8.** Greniers ou banques de stockage des produits agricoles (semences, vivriers…) en pays *Ngbaka-Mandja* de Bogangolo dans l'Ombella-M'Poko

**Prises de vue :** *Bertrand Doukpolo, octobre 2012*

Mais la monétarisation des échanges a fortement affaibli ces stratégies et fragilisé les communautés rurales face à ces risques. La prise en compte de leurs pratiques et stratégies d'adaptation peut être extrêmement utile pour définir des problématiques de recherche pertinentes pour lutter contre ces aléas et faire en sorte que les stratégies des opérateurs de développement soient plus en cohérence avec celles des agriculteurs.

### 7.3. Options prioritaires d'adaptation pour faire face aux vulnérabilités

Le processus d'identification des options d'adaptation doit utiliser les différentes sources, à savoir les informations scientifiques et techniques, c'est-à-dire celles du GIEC et de la CCNUCC, les expériences des pays (grâce au PANA), l'expertise locale, les stratégies locales pour faire face aux changements climatiques et les connaissances traditionnelles. Une fois toutes les options identifiées, un exercice de définition des priorités doit être effectué d'abord au sein du ministère en charge de l'agriculture et du développement rural, puis avec la participation des parties prenantes.

Cet exercice devra être utilisé pour déterminer les problèmes actuels et futurs qui doivent être réglés d'abord (par exemple au niveau sectoriel et/ou territorial), et quelles options d'adaptation utiliser pour traiter ces problèmes. Les critères utilisés comprennent par exemple le niveau de vulnérabilité actuel et futur, le pourcentage de population et/ou de population défavorisée qui en bénéficiera, la faisabilité technique et institutionnelle, l'alignement sur les priorités nationales, le potentiel de reproduction, la durabilité, le rapport coût-avantage, le rapport coût-efficacité et les obstacles à surmonter.

Selon le Cadre d'orientation pour l'adaptation, quatre principales méthodes peuvent s'avérer particulièrement utiles au processus de détermination des priorités : l'analyse du rapport coût-avantage, l'analyse du rapport coût-efficacité, l'analyse multisectorielle et le jugement des experts.

Des méthodes formelles de définition des priorités peuvent être facilement appliquées aux mesures d'adaptation de type projet. Dans le cadre de mesures intersectorielles, telles que le renforcement des capacités institutionnelles et le développement de lois, il

pourrait être nécessaire d'employer des méthodes non formelles, qualitatives et subjectives (Villeneuve et Richard 2007).

### 7.4. Dispositions nécessaires pour la planification et la mise en oeuvre de l'adaptation

La mise en œuvre de l'adaptation se fera essentiellement au niveau local et par les parties prenantes du secteur agricole. Il est par conséquent utile de définir comment les rôles et responsabilités sont envisagées tout en prenant en considération le fait qu'ils changeront avec le temps, avec le développement de nouvelles politiques (Tableau LI). Il est vital de garantir une large participation continue et coordonnée des différentes parties prenantes.

**Tableau LI.** Rôles et responsabilités potentiels des parties prenantes

| Institution | Rôles et responsabilités potentiels |
|---|---|
| **Gouvernement et les ministères : économie, plan et finance, agriculture et environnement** | *Règlementation du leadership, introduction des instruments économiques et définition des cadres de gestion des performances. Mise en place des politiques, normes, règlements et principes directeurs, et si nécessaire, du financement approprié. Recommandations pour confirmer les changements climatiques afin de justifier les investissements supplémentaires ou de garantir la durabilité des investissements.* |
| **Gouvernements locaux** | *Beaucoup de changements à introduire au niveau du logement, du transport et à d'autres niveaux, dépendront des autorités locales. Ils regroupent des préoccupations économiques, sociales et environnementales, et ont la possibilité de lier leurs actions à d'autres grâce à des stratégies communautaires.* |
| **Secteur privé** | *Une variété de rôles en fonction de l'organisation, de sa taille et de son objectif. Toutefois, les questions principales en matière d'adaptation aux CC, qui doivent être prises en considération par l'ensemble du secteur, sont les suivantes :*<br>▪ *sensibilisation au sein de l'organisation ;*<br>▪ *préparation aux pertes et opportunités ;*<br>▪ *utilisation des outils disponibles pour étudier les impacts ;*<br>▪ *contribution pour combler les déficits en matière d'investissement et de développement durable.* |
| **Organisations scientifiques et académiques** | ▪ *De la théorie à la pratique*<br>▪ *Recherche orientée vers les politiques de lutte contre les effets des changements climatiques*<br>▪ *Informations à l'attention des décideurs* |
| **Agences de promotion des investissements** | ▪ *Garantir des investissements résistants face aux changements climatiques*<br>▪ *Promouvoir les investissements pour combler les écarts en matière de développement* |

| | |
|---|---|
| **Agences pour la réduction de la pauvreté** | *Traiter les incidences des changements climatiques dans le cadre de leurs actions prioritaires* |
| **Structure pour la réduction des risques** | *Traiter les incidences des changements climatiques comme faisant partie du risque* |

**Adapté de** Schipper *et al.* 2008

L'engagement des parties prenantes dans le développement des plans ou des stratégies d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques est très primordial. En effet, les changements climatiques nécessitent une vaste participation étant donné qu'il est probable que des changements structurels et des changements de paradigmes, soient essentiels. Un grand nombre des actions clés du secteur agricole devront s'adapter, avec des implications pour le développement de l'économie rurale.

Dans ce cadre, la science donne lieu à des innovations concrètes au profit de la production agricole. Grâce à des centres d'apprentissage sur le terrain, des chercheurs, des fournisseurs d'intrants et des agriculteurs peuvent travailler ensemble afin de trouver des solutions adaptées à toute une série de conditions d'exploitation. Ce co-apprentissage encourage les agriculteurs et les fournisseurs de services à sélectionner et tester de nouveaux types et de nouvelles variétés de semences susceptibles d'optimiser les productions agricoles malgré la variabilité croissante du climat.

Puisant tant du savoir traditionnel des agriculteurs locaux que des nouvelles connaissances scientifiques issues de la recherche, les communautés agricoles s'emploient à obtenir le soutien institutionnel dont elles ont besoin pour déployer des pratiques culturales optimales et de gestion des sols.

**Synthèse de la deuxième partie**

La problématique de la production agricole face aux aléas du climat dans l'Ouest de la Centrafrique, au cours des dernières décennies, se pose avec acuité. À partir des années 1970 trois causes majeures ont affecté l'évolution de cette région : une baisse pluviométrique prolongée avec de sévères périodes de sécheresse, une croissance démographique plus forte enfin, la quasi inexistence des aides et subventions quasi-inexistantes à l'agriculture vivrière. Dans ces conditions, on a assisté à une dégradation des milieux, une baisse de rendements et de fertilité des sols, entraînant des famines

épisodiques et une migration d'une partie de la population vers les villes et les pays frontaliers.

Mais dès la fin des années 1990, on a vu apparaître, dans certaines régions de l'Ouest du pays, des changements dans les pratiques agricoles comme dans leur organisation collective. En matière de gestion des milieux, les changements les plus spectaculaires ont été la protection des rejets arborés dans les champs, qui a permis la revégétalisation de nombreux territoires villageois dans le nord.

Ces innovations, en partie endogènes, et qui se sont largement propagées, témoignent de la capacité de résilience des communautés rurales face à la dégradation de leur environnement. Ce passage d'une phase d'évolution régressive à une autre où se mettent en place de nouveaux modes d'exploitation du milieu régénérant sa capacité productive et assurant une gestion plus durable des ressources naturelles, constitue une véritable transition agraire à laquelle on est en train d'assister en dépit des conséquences néfastes des conflits armés récurrents.

Ceci étant, les moyens matériels et financiers dont disposent les sociétés rurales sont limités. Dans cette perspective, il faut espérer que les politiques de prévention des risques et d'atténuation des effets du changement climatique ne se limiteront pas à de simples déclarations de principe.

Mieux, les politiques de développement agricole dans la région ouest-centrafricaine sont actuellement marquées par une responsabilisation de plus en plus accrue des producteurs dans les fonctions traditionnellement assumées par l'Etat. Le désengagement brutal de l'Etat et les contre-performances récurrentes des secteurs agricoles peuvent conduire les communautés paysannes à engager un plaidoyer soutenu pour la promotion des exploitations familiales agricoles comme leviers pertinents pour la réalisation d'une agriculture durable à même d'assurer la sécurité alimentaire des populations.

L'efficacité des mesures visant à réduire, transférer et réagir aux niveaux actuels des risques climatiques pourrait s'en trouver fortement améliorée. L'exploitation de synergies potentielles entre les communautés agricoles et l'adaptation aux

changements climatiques améliorera la gestion des risques climatiques actuels et à venir, et renforcera les processus d'adaptation.

Les documents existants sur la gestion des risques climatiques et l'adaptation aux changements climatiques (Schipper et *al*., 2008) mettent désormais tous l'accent sur des approches ascendantes impliquant les communautés locales, ainsi que sur la valeur d'approches intégrées plus globales.

De nombreuses opportunités de synergie existent entre les communautés de base et l'adaptation aux changements climatiques qui peuvent contribuer à assurer un avenir durable et résilient. Il est nécessaire d'intégrer l'adaptation dans les politiques et les plans nationaux existants, et de capitaliser les options qui peuvent bénéficier de synergies avec d'autres objectifs nationaux.

Des études récentes, Boko (2009) a montré que de nombreuses stratégies et institutions étaient concentrées dans une large mesure sur des actions à faible risque basées sur les connaissances scientifiques et leur diffusion (acquisition de savoirs), ainsi que sur le renforcement des capacités, plutôt que sur des mesures de gestion des risques climatiques et d'adaptation spécifiques, plus coûteuses et difficiles à mettre en œuvre.

## CONCLUSION

L'analyse des données climatologiques montre que dans l'Ouest de la Centrafrique, les six (6) dernières décennies ont été caractérisées par des évolutions très marquées, en particulier par des épisodes de sécheresse significative, une tendance à la hausse de la température de +1 °C et à la baisse des hauteurs pluviométriques de -11 %. Les projections du climat aux horizons 2021-2050 et 2071-2100 ont été réalisées en utilisant les moyennes des multimodèles globaux (M3G) suivant deux scénarios SRES A2 et B1.

L'approche simule pour ces scénarios et pour les horizons temporels futurs retenus l'évolution de la température et des précipitations en rapport avec les données de la période de référence 1971-2000. Les résultats indiquent une augmentation de la température variant de 2,5 °C à 4,5 °C, accompagnée d'une légère augmentation des précipitations, de l'ordre de 1 % à +4,7 %.

L'agriculture dans l'Ouest de la Centrafrique, essentiellement pluviale et utilisant peu d'intrants, est étroitement liée aux caractéristiques de la saison de pluies : dates de démarrage et longueur de la saison culturale ont des impacts directs sur les rendements agricoles. Les résultats de simulation montrent que la région ouest-centrafricaine pourrait voir la longueur de la saison agricole diminuer de plus de 20 % d'ici 2050 et s'accentuer en 2075 atteignant 33 %. Le degré de vulnérabilité de l'agriculture aux impacts des changements climatiques pourrait s'accroitre davantage.

Face aux différents risques liés à l'accroissement de la variabilité climatique (sécheresses et séquences sèches, vents forts, ennemis des cultures, inondations, dérèglement saisonnier, etc.), des stratégies d'adaptation doivent être développées. Parmi ces stratégies, on peut privilégier l'amélioration des pratiques agricoles, la lutte contre la dégradation des terres agricoles, la gestion de la fertilité des sols, les techniques de gestion de l'eau, la diversification des cultures, etc. A cela peuvent s'ajouter d'autres formes d'adaptation : entraide et coopération, diversification des activités, migration saisonnière, etc.

L’agriculture extensive est considérée dans la région d’étude comme une stratégie visant à compenser la baisse des rendements en l’absence d’une amélioration des itinéraires techniques de cultures. Les répercussions des changements intervenus dans l’évolution du climat dans l’Ouest de la Centrafrique sont encore mal connues, il convient d’ores et déjà de s'efforcer de les préciser et de les anticiper en mettant en place les recherches axées sur la modélisation régionale de scénarios de changement climatique et des impacts consécutifs, couplage entre approches rétrospectives et prospectives, approche comparative, les réseaux d’observation, les outils d’analyses et les moyens tant humains, techniques qu’économiques nécessaires, à leur développement.

La variabilité climatique de plus en plus accrue, dans l’Ouest de la Centrafrique, doit être prise en considération dans l’évaluation de la vulnérabilité de la région aux impacts potentiels du changement climatique due à l’accroissement de la concentration des gaz à effet de serre dans l’atmosphère. Étant donné que les changements climatiques auront des impacts sur la production agricole, une meilleure compréhension des comportements prévisionnels du climat dans la région d’étude s’avère importante. Ces opportunités méritent d’être renforcées afin de produire de nouvelles perspectives d’aide à la décision.

Les changements climatiques s’imposent comme le défi le plus important au développement agricole en Centrafrique depuis le début du 21$^{ème}$ siècle. Il s’agit d'un grave risque d’insécurité alimentaire pouvant handicaper la réduction de la pauvreté et menacer d’anéantir des décennies d’efforts de développement rural. Ils font peser de lourdes menaces sur les perspectives d’instaurer dans ce pays une croissance économique et un développement humain s’inscrivant dans la durée, et de concrétiser les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Par conséquent, l’adaptation et la mitigation aux changements climatiques sont nécessaires et inévitables.

En définitive, les problèmes de la faible production agricole, des déficits de rendements culturaux méritent donc d’être posés à une échelle locale à travers une évaluation, avec les communautés paysannes, de leur propre vulnérabilité et de celle

de leurs secteurs d'activités face aux changements climatiques. Un tel exercice a l'avantage de permettre de faire la lumière sur les secteurs avec lesquels les communautés paysannes peuvent s'adapter aux nouvelles conditions créées par un changement des paramètres climatiques. La baisse des rendements imputée aux changements climatiques pourrait être atténuée moyennant une gestion efficace des ressources naturelles et une pratique raisonnée de techniques adaptées et économiquement envisageables.

Les résultats obtenus, au cours de cette étude, constituent des fondements et des repères pour la prise de décisions dans l'ambition de réduire la vulnérabilité de l'agriculture et donc des populations de l'Ouest de la Centrafrique aux nouvelles donnes climatiques actuelles et futures. Ce qui confère à la présente étude la mention « recherche-développement » dont le continent africain a grandement besoin.

## BIBLIOGRAPHIE


1. **Adger W.N. et Kelly P.M., 1999.** Social vulnerability to climate change and the architecture of Entitlements. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 253-266 pp.

2. **Affholder F., 2001.** Modélisation de culture et diagnostic agronomique régional. Mise au point d'une méthode et application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central. Institut national agronomique paris-grignon. Thèse de doctorat, 221 p.

3. **Afouda F., 1990.** L'eau et cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu de la savane africaine. Thèse de doctorat. Paris IV-Sorbonne, 428 p.

4. **Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. (éditeurs), 2006.** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p.

5. **Amoussou E., 2010.** Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat de géographie physique appliquée, CRC, Université de Bourgogne, Dijon, 315 p.

6. **Ankogui-M'Poko G. F. et Koko M., 2007.** Notice sur la structure de la population de la RCA. In Atlas de la République Centrafricaine, version révisée, Université de Bangui, MECI- Bangui (RCA), 34-35.

7. **Annerose D. J. M., 1990.** Recherche sur les mécanismes d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogea L.*) cultivée au Sénégal. Thèse de doctorat, Université de Paris VII, 282 p.

8. **Ardoin-Bardin, 2011.** Prise en compte des changements climatiques dans la modélisation hydrologique in Compte rendu du Groupe de travail 5 Scenarii climatiques. Synthèse de la session sur les méthodes utilisées dans le projet ANR-RESSAC. 9 p.

9. **Aubreville A., 1948.** Etude sur les forêts de l'Afrique Equatoriale française et du Cameroun. Section Technique d'Agriculture Tropicale. Bulletins Scientifiques. N° 2, 132 p.

10. **Bakam V., 1996.** Variabilité et fluctuations pluviométriques en Afrique Centrale. Recueil des données pluviométriques mensuelles. Thèse de doctorat ; Université de Lille, 643 p.

11. **Baron C., Sarr B., Maraux F., Dingkuhn M., 2003.** From a simple crop water balance model to a simple crop water and carbon balance model in water limited environments, in : Monsoon environments : Agricultural and Hydrological Impacts of seasonal variability and Climate Change, The Abdus Salam international center of theoretical physics (ICTP), 24-28

12. **Barrow E., Maxwell B., Gachon P., 2004.** La variabilité et le changement climatique au Canada : le passé, le présent et le futur DSCA. Séries d'Evaluation Scientifique N°2, Service Météorologique du Canada, Torronto, Ontario, 114 p.

13. **Bellia S., 1999.** Simulation des impacts des changements climatiques attendus sur la production de la culture de blé en Beauce, Mémoire DEA «Milieux physiques méditerranéens», Université d'Aix-Marseille I, 102 p.

14. **Ben Boubaker H., 2010.** Les paroxysmes climato-thermiques en Tunisie : approche méthodologique et étude de cas. U.R. Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamique Erosive. Publication de l'Association Internationale de Climatologie. Vol. 7, 57-87 pp.

15. **Beniston M., 2012.** Changements climatiques et impacts : du global au local. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), Lausanne, Switzerland,* 2e édition. 302 p.

16. **Berger A., 1992.** Les climats de la Terre : Un passé pour quel avenir ? De Boeck Wesmael, Bruxelles, 479 p.

17. **Biasutti M, Held IM, Sobel AH, Giannini A., 2008.** SST Forcings and Sahel Rainfall Variability in Simulations of the Twentieth and Twenty-First Centuries. J Clim 21: 3471-3486.

18. **Biasutti, M. & Giannini, A., 2006.** Robust Sahel drying in response to late 20th century forcings. Geophys. Res. Lett., 33, 1-4.

19. **Bigot S., 1997.** Les précipitations et la convection profonde en Afrique centrale : cycle saisonnier, variabilité interannuelle et impact sur la végétation. Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherches de C1imatologie, Dijon. 289 p.

20. **Bigot S., Camberlin P., Moron V., Richard Y., 1997.** Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique : une transition climatique à la fin des années 1960. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, série Ila, t. 324, 181-188 pp.

21. **Bigot S., Moron V., Melice J.L., Servat E., Paturel J.E., 1998.** Fluctuations pluviométriques et analyse fréquentielle de la pluviosité en Afrique centrale. In: Water Resources Variability in Africa during the XXth Century, IAHS Publ. no 252, 71-78 pp.

22. **Boko M., 1988.** Climats et communautés rurales au Bénin : rythmes climatiques et rythmes du développement. Thèse de Doctorat d'Etat. 2 tonnes, CRC, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon 601 p.

23. **Boko M., 2009.** Les changements climatiques en Afrique : opportunités et contraintes pour l'adaptation et la mitigation, International workshop on adaptation to Climate change in West African agriculture. Ouagadougou, Burkina Faso, 27-30 April 2009, 23-29 pp.

24. **Bomba J.C., 1999.** Rythmes climatiques et rythmes pathologiques en Centrafrique. Thèse de doctorat Climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 175 p.

25. **Boote K.J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., 1997.** Simulation of crop growth: Cropgo model. In Peart, R.M. et Curry, R.B. (eds). Climate change and Agricultural Systems Modelling. Marcel Dekker, New York, 651-692 pp.

26. **Boulvert Y., 1980.** Végétation forestière des savanes centrafricaines. Revue Bois et forêts des Tropiques N° 191 mai-juin. Paris, 25 p.

27. **Boulvert Y., 1983.** Carte pédologique de la République Centrafricaine. Note explicative N°100 : 1-258. Paris ORSTOM Ed., 133 p.

28. **Boulvert Y., 1987.** Etude Oro-hydrographique de la République Centrafricaine. Carte à 1:1.000.000, en deux feuilles (Ouest et Est). ORSTOM Ed. Coll. Notice Explicative, 106: 1-258, Paris, 124 p.

29. **Boulvert Y., 1996.** Etude géomorphologique de la République Centrafricaine. Carte à 1:1.000.000, en deux feuilles (Ouest et Est). ORSTOM Ed. Coll. Notice Explicative, 110: 1-258 pp.

30. **Brassard J-P., 2003.** Évaluation des impacts de la hausse de la concentration atmosphérique du CO2 et des changements climatiques sur la production agricole du monde. Vol. 34 : 105-117 pp.

31. **Brisson N., Delecolle R., 1991.** Développement et modèles de simulation de culture. Agronomie, Paris, 253-263 pp.

32. **Brisson N., Mary B., 2002.** STICS : Notice, concepts et formalismes. INRA, 86 p.

33. **Brisson N., 1998.** STICS-APC ou l'adaptation d'un modèle de culture pure aux cultures associées et à certaines composantes de l'agronomie tropicale. Document interne, INRA 41 p.

34. **Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Nicoullaud B., Gate P., Devienne F., Antonioletti R., Dürr C., Richard G., Beaudoin N., Recous, S., Tayot X., Plénet D., Cellier P., Machet, J.M., Meynard J.M. & Delécolle R. 1998.** STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parametrization applied to wheat and corn. Agronomie, 18, 311-346 pp.

35. **Brou Y. T., 2005.** Climat, mutations socio - économiques et paysages en Côte d'Ivoire ; HDR, Université des Sciences et Technologies de Lille. 25 p.

36. **Brunet-Moret Y., 1979.** Homogénéisation des précipitations, Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie, 1979, 16 (3-4), 147-170 pp.

37. **Bryant C. Singh, Thomassin B., Baker P., Desroches L. and Savoie S., 2008.** Evaluation of Agricultural Adaptation Processes and Adaptive Capacity to Climate Change and Variability: The Co-construction of New Adaptation Planning Tools with Stakeholders and Farming Communities in the Saguenay-Lac-Saint-Jean and Montérégie Regions of Québec. Project A1332. University of Montréal and McGill University Research Team.

38. **Buishand T.A, 1982**. Some methods for testing the homogeneity of rainfall record. J. Hydrol., 58, 11-27.

39. **Bussière F., 1996.** De la plante au couvert végétal. In Actes de l'école chercheurs INRA en bioclimatologie- Le Croisic 3-7 pp.

40. **Caesar J., Alexander L.V., Trewin B., Tsé-ring K., Sorany L., 2010.** Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. International Journal of Climatology and Royal Meteorological Society, 51-69 pp.

41. **Camberlin P., Beltrando G., Fontaine B., Richard Y., 2002.** Pluviométrie et crises climatiques en Afrique Tropicale : changements durables ou fluctuations interannuelles. Revue, 'Historiens & Géographes. n° 379. 263-273 pp.

42. **Camberlin P., Okoola R., Diop M., Valimba P., 2003.** Identification des dates de démarrage et de fin de saison des pluies : Applications à l'Afrique de l'Est et au Sénégal. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 15,* 295-303 pp.

43. **Cantat O., 2004.** Analyse critique sur les tendances pluviométriques au 20ème siècle en Basse Normandie : réflexions sur la fiabilité des données et le changement climatique. Annales de l'Association Internationale de Climatologie, vol 1, 11-32 pp.

44. **Carter T.R., M.L. Parry, H. Harasawa, and S. Nishioka. 1994.** IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations. 125-139 pp.

45. **Centella A., 1999.** Climate change scenarios for assessment in Cuba. Climate Research, vol 12, 223-230 pp.

46. **Christensen J. H., Hewitson, B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones, R., Kolli R. K., Kwon W.-T., Laprise R., Na Rueda Maga V., Mearns L., Menendez C. G., Raisanen J., Rinke, A., Sarr A. & Whetton P., 2007.** In Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed, Cambridge University Press: United Kingdom and New York, N., USA.

47. **CILSS, 2000.** Compte-rendu de la réunion annuelle du réseau de prévention des crises alimentaires au Sahel. Club du Sahel 10 p.

48. **CIRAD, 2009.** Changement climatique et agriculture l'environnement et la sécurité alimentaire en jeu, Cirad, Montpellier 44 p.

49. **Cochemé J., Franquin P., 1967.** Etude agroclimatologique dans une zone semi-aride en Afrique au sud du Sahara. OMM Note Technique n° 86 OMM, Genève, Suisse, 49 p.

50. **Combeau A. et Quantin P. 1964.** Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. Cahiers ORSTOM Série Pédologie, T2, n° 11, 3-11 pp.

51. **Cook, K. H. & Vizy, E. K., 2006.** Coupled Model Simulations of the West African Monsoon System: Twentieth-and Twenty-First-Century Simulations. Journal of Climate, 3681-3703 pp.

52. **CTA, 2008.** Implications du changement climatique sur la production agricole durables dans les pays ACP, quelles stratégies d'information et de communication ? Synthèse des travaux du séminaire, Ouagadougou du 26 au 31 octobre, 107 p.

53. **Dai, A., 2006.** Precipitation characteristics in eighteen coupled climate models. Journal of Climate, 4605-4630 pp.

54. **Daouda Hamani O., 2007.** Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques : Cas du département de Téra au Niger. Université internationale de langue française au service du développement africain, Université Senghor 105 p.

55. **Delécolle R., Jayet P-A., Soussana J-F., 2000.** Agriculture française et effet de serre : quelques éléments de réflexion, in Pollution, changement climatique. Unité de Bioclimatologie, INRA, (France), 8 p.

56. **Demangeot J., 2005.** Tropicalité, géographie physique intertropicale. Armand Colin, Paris, 340 p.

57. **DGH, 2009.** Annuaire d'hydrologie de la Centrafrique, Direction générale de l'hydrologie, 236 p.

58. **Diop M., Houndenou C., Richard Y., 1996.** Variabilité des dates de début et de fin de l'hivernage au Sénégal. Publication de l'AIC, 430-436 pp.

59. **Dhonneur G., 1985.** Traité de Météorologie Tropicale : application au cas particulier de l'Afrique Occidentale et Centrale. Direction de la Météorologie Nationale, Paris, 151p.

60. **Djerboua A., Duband D., Bois P., 2004.** Estimations des lois des précipitations extrêmes à partir des données journalières complètes. La Houille Blanche, n° 3, 65-74 pp.

61. **Doorenbos J., Pruitt W.O., 1986.** Les besoins en eau des cultures. FAO, Bulletin irrigation et drainage, n° 24, Rome, 198 p.

62. **Doukpolo B., 2001.** Climat et paysages forestiers dans le bassin de la Sangha en Centrafrique. Mémoire de Maîtrise de Géographie physique, Département de Géographie, FLSH, Université de Bangui, 92 p.

63. **Doukpolo B., 2007.** Variabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest Centrafricain : Enjeux environnementaux. Mémoire de DEA de Géographie, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 73 p.

64. **Doukpolo B., Ogouwalé E., Ndjendolé S. et Boko M., 2012.** Impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures du maïs et du coton et stratégies d'adaptation dans l'Ouham en Centrafrique. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*. XXV$^{e}$ Colloque. septembre, 243-248 pp.

65. **Doukpolo B., et Nguimalet C. R., 2012**. Péjoration climatique et adaptation des pratiques culturales à Bossembélé, République Centrafricaine. Actes du Colloque International sur les Défis de l'eau et l'adaptation aux changements climatiques en Afrique. 24-27 Octobre. In *Journal of environment science Journal of Environmental Science and Engineering* No. JESE-E20130419-02, 27-33 pp.

66. **Doukpolo B., Ndjendolé S. et Boko M., 2012.** Perceptions paysannes du changement climatique et ses manifestations dans le Nord-ouest Centrafricain. In Actes du Colloque International sur les Défis de l'eau et l'adaptation aux changements climatiques en Afrique. Octobre ; 5 p.

67. **Doukpolo B. et Kamga F. A., 2012.** Modélisation du climat actuel et futur dans l'Ouest de la Centrafrique. In Actes du Colloque International sur « *Faire-Face ensemble aux Changements climatiques en Afrique* », Projet IRIACC-FACE : climat, analyse & application et communication. 7-9 novembre 2012, Niamey, 11-20 pp.

68. **Dufumier M.**, **1996.** Les projets de développement agricole, manuel d'expertise, Karthala, 99 p.

69. **Eldin M., 1989.** Analyse et prise en compte des risques climatiques pour la production végétale. Le risque en agriculture. Editions ORSTOM, Collections à travers champs, 47-63 pp.

70. **Encarta, 2009.** Encyclopédie Microsoft © 1993-2003 Microsoft Corporation, version numérique.

71. **FAO, 1978.** Calendriers culturaux. Rome, 57 p.

72. **FAO, 1984.** Promotion des échanges agricoles : les pays sous-développés. Rome, 173 p.

73. **FAO, 1996.** World Food Day, Fighting hunger and malnutrition. Rome, FAO, 16p.

74. **FAO, 1997.** Changement du climat et production agricole. Polytechnica, Rome, 375 p.

75. **FAO, 1997.** Rapport sur l'alimentation mondiale. Rapport sur la situation alimentaire en République Centrafricaine. 29 p.

76. **FAO, 2007.** Situation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation dans le monde, enseignements des 50 dernières années, Rome, Chap. II - 312 p.

77. **FAO, 2008.** Rapport de la 33$^{ème}$ session annuelle du comité de la sécurité alimentaire mondiale, 13-15 juin, Rome, 125 p.

78. **FAO, 2012.** Bases de données statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAOSTAT).

79. **Flageollet J.C., 2012.** Atlas du réchauffement climatique 1971-2010. Publié par Physio-Géo - Collection « Ouvrages », 122 p.

80. **Folland C. K., Palmer, T. N. & Parker, D., 1986.** Sahel rainfall and worldwide sea temperature. Nature, 320, 602- 687 pp.

**81. Fonds pour l'Environnement Mondial, 2001.** Guide de l'autoévaluation nationale des capacités à renforcer pour gérer l'environnement mondial, 58 p.

**82. Fontaine B., Janicot S., 1993.** L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest, revue *La Météorologie,* vol. 8, No.1, 28-41 pp.

**83. Forest F., 1974.** Bilan hydrique et prospective décadaire des besoins en eau des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. Cahiers pédagogiques de 41 pp et 60 cahiers opérationnels de 75 pp. IRD ; Bondy, France, 121 p.

**84. Franquin P., 1969.** Analyse agroclimatique en région tropicale. Saison pluvieuse et saison humide. ORSTOM, série Biologie 9, 66-95 pp.

**85. Franquin P., Diziain R., Cointepas J.P., Boulvert Y., 1988.** Agroclimatologie du Centrafrique. ORSTOM. Collection initiations - documentations techniques n° 71 Paris, 525 p.

**86. Frère M. et Popov G. F., 1987.** Suivi agrométéorologique des cultures et prévisions des rendements. FAO, Rome, 170 p.

**87. Giannini, A., Saravanan, R. & Chang, P., 2003.** Vol. 302 American Association for the Advancement of Science,1027-1030 pp.

**88. GIEC, 2001.** Climate change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group 2 to the Third Assessment Report: 100 p.

**89. GIEC, 1998.** The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability, London, Cambridge University Press.

**90. GIEC, 2001.** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington. 53 p.

**91. GIEC, 2007.** Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.

**92. GIEC, 2007.** Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]., Geneva, Switzerland, 104 p.

**93. GIEC, 2012.** Managing climate extremes and disasters in Africa: Lessons from the SREX report. Catherine Cameron, Gemma Norrington-Davies et Dr Victoria te Velde de Agulhas, CDKN (Climate and Development Knowledge Network), 24 p.

**94. GIEC, 2013.** Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Chapter 9: Evaluation of Climate Models - Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment.* [G. Flato, J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S. Chan Chou,W.Collins, P.Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason, M.Rummukainen], 207 p.

**95. Giorgi F. et Mearns L., 2002.** Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the "Reliability Ensemble Averaging" (REA) Method, Journal of Climate, 15(10), 1141-1158 pp.

**96. Giorgi F., 2008.** Uncertainty in RCM-based regional climate change projections. Presentation at the Fourth ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models, Trieste. 237 p.

**97. Gommes R., 1993.** Current climate and population constraints on world agriculture. In: Agricultural Dimensions of Global Climate Change. Drennen (ed.), St. Lucie Press, Delray Beach, Florida, 67-86 pp.

**98. Gordon H.B., Rotstayn, L.D., McGregor, J.L., Dix, M.R., Kowalczyk, E.A., O'Farrell, S.P. Waterman, L.J. Hirst, A.C. Wilson, S.G. Collier, M.A. Watterson, I.G. and Elliott T.I., 2002.** The CSIRO Mk3 Climate System Model. CSIRO Atmospheric Research paper N° 60, 134 p.

**99. Guillot et Durband, 1967.** La methode de Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies, DTG, Grenoble, 10 p.

**100. Harrison M, Troccoli A, Williams JB and Coughlan M. 2008.** Seasonal Forecasts in Decision Making, in: Seasonal Climate: Forecasting and Managing Risk, Troccoli A, Harrison M, Anderson DLT and Mason SJ, eds, NATO Science Series, Springer Academic Publishers,13–42 pp.

**101. Harrison M. et Boulahya M., 2010.** Analyse des Risques Climatiques de la République Centrafricaine, in Gestion Environnementale pour une Croissance Durable. Vol. II 1 et 2. Annexe Technique, 166 p.

**102. Hoogenboom G., Tsuji, G.Y., et al. 1995.** Decision Support System to study climate change impacts on crop production. In Rosenzweig C., Allen Jr, L.H., Harper, L.A., Hollinger, S.E. et Jones, J.W.(eds). Climate change and agriculture: analysis of potential international impacts. ASA special publication no. 59. American Society of Agronomy, Madison, WI. 51-75 pp.

**103. Hounkponou K. S., Bokonon-Ganta E., 2008.** Changements climatiques au Benin : Vulnérabilité et stratégies d'adaptation, 56 p.

**104. Hunt L. A., Kuchar L. et Swanton C. J., 1998.** Estimation of solar radiation for use in crop modelling. Agricultural and Forest Meteorology, 145 p.

**105. Hunt L.A., Pararajasingham, S., Jones, J.W., Hoogenboom, G., Imamura, D.T. et Ogoshi, R.M., 1993.** GENCALC: Software to Facilitate the Use of Crop Models for Analyzing Field Experiments. Agronomy Journal 85: 1090-1094 pp.

**106. Huntingford C., F. H. Lambert, J. H. C. Gash, C. M. Taylor and A. J. Challinor 2005.** Aspects of Climate Change Prediction Relevant to Crop Productivity. Phil.Trans. R. Soc. B 360 (1463), 1999–2009. Human Development Report 2007–2008, Fighting Climate Change: Human solidarity in a Divided World.

**107. ICASEES, 2010.** Rapport annuel d'activités, sections « Démographie et Economie ». Ministère du Plan et de l'économie. Vol.10-05, 317 p.

**108. ICASEES, 2011.** Rapport annuel d'activités, sections « Démographie et Economie». Ministère du Plan et de l'économie. Vol.11-07, 304 p.

**109. ICRA, 2007.** Activités agraires et exploitations agricoles au centre sud de la Centrafrique. Rapport de mission, vol. 28, 71 p.

**110. ICRA, 2009.** Activités agraires et exploitations agricoles dans les préfectures du sud-est et du nord-ouest de la Centrafrique. Rapport de mission, vol. 30, 163 p.

**111. IFPRI (International Food Policy Research Institute), 2002.** Ending hunger in Africa: Only the small farmer can do it. International Food Policy Research Institute. Washington, DC, 39 p.

**112. Issa M. S., 1995.** Impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement duCO2 atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin. Mémoire de DESS. Université Senghor d'Alexandrie, 113 p.

**113. Issa M. S., 2012.** Changements climatiques et agrosystèmes au Bénin central : Impacts et stratégies d'adaptation. Thèse de doctorat unique de Géographie, université d'Abomey-Calavi, Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), 273 p.

**114. Issine Goana J., 2008.** Les extrêmes thermiques à Bangui de 1970 à 2006, mémoire de maitrise de géographie physique, Département de Géographie, Université de Bangui, 74 p.

**115. Janicot S., 1989.** Variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest et circulations quasi-stationnaires durant une phase de transition climatique. Thèse de Doctorat. Université de Paris VI, 600 p.

**116. Janicot S., 2002.** La mousson d'Afrique de l'Ouest. Des téléconnexions à la variabilité synoptique. Synthèse d'activité scientifique. Thèse HDR, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 104 p.

**117. Janowiak J., 1988.** An investigation of inter annual rainfall variability in Africa. Journal of Climate, 240-255 pp.

**118. Jouve P., 2010.** Pratiques et stratégies d'adaptation des agriculteurs aux aléas climatiques en Afrique subsaharienne in « S'adapter aux aléas climatiques, oui mais comment ? Revue Grain de sel nº 49 janvier – mars 15-16 pp.

**119. Kadékoy-Tigagué D., 2005.** La commercialisation du manioc en République Centrafricaine : une filière transfrontalière en pleine expansion. In actes des IVème Journées Agro-Sylvo-Pastorale : Quelle recherche au service du développement. N'Djamena, Tchad, 7-12 pp.

**120. Kadekoy-Tigague D., 2010.** Impact des stratégies multifonctionnelles sur la performance économique des exploitations agricoles en zone de savanes de Centrafrique face à la crise cotonnière. Thèse de Doctorat. Université européenne de Bretagne-Rennes 2, 282 p.

**121. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G. & Woollen J., 1996.** The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437-471 pp.

**122. Kamga F. A. et Buscarlet E., 2006.** Simulation du climat de l'Afrique de l'Ouest à l'aide d'un modèle climatique régional : validation sur la période de 1961-1990. Revue « La météorologie » N° 25 ; 28-36 pp

**123. Kembé M., 2007.** Notice sur le Climat de la RCA. In Atlas de la République Centrafricaine, version révisée,; Université de Bangui, MECI- Bangui (RCA), 14-17 pp.

**124. Kendall M. G., 1970.** Rank Correlation Methods, Hafner Publishing Co., New York, 256-249 pp.

125. **Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M. & Kousky V., 2001.** The NCEP/NCAR 50-year reanalysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 247–268 pp.

126. **Klein G., 2011.** Variabilité interannuelle (1989-2009) simulée (ARW/WRF) et observée (Météo-France) des précipitations en Bourgogne. Mémoire de Master 2 en Geobiosphère, Centre de Recherches en Climatologie – CNRS UMR 5210, 51 p.

127. **Koko M., 2007.** Notice sur la végétation et sols de la RCA. In Atlas de la République Centrafricaine, version révisée, Université de Bangui, MECI-Bangui (RCA), 19-22 pp.

128. **Lamb P. J. & Peppler, R. A., 1992.** Further case studies of tropical Atlantic surface atmospheric and oceanic patterns associated with sub-Saharan drought. Journal of Climate, 5, 476-488 pp.

129. **Lang J., Malibangar A., 1998.** Synthèse sur l'âge ogolien dans le quaternaire récent de Carnot en Centrafrique. Ed. Quaternaria (sous presse)

130. **Larcher W., 1995.** Physiological Plant Ecology. 3rd Edition, IACR – Long Ashton Research Station. Bristol, UK. 506 p.

131. **Lau K. M., Shen S. S. P., Kim K.-M., Wang H., 2006.** A multimodel study of the twentiethcentury simulations of Sahel drought from the 1970s to 1990s. Journal of Geophysical Research, 111 p.

132. **Le Barbé L., Lebel T., Tapsoba D., 2002.** Rainfall Variability in West Africa during the Years 1950-1990. J. Clim., 15(2) - 187-202 pp.

133. **Le Borgne J., 1990.** La dégradation actuelle du climat en Afrique entre Sahara et Equateur in "la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". 17-36 pp.

134. **Leroux M., 1983.** Le climat de l'Afrique tropicale. Edit. Champion, Paris, 633 p., atlas bilingue, 250 p.

135. **Leroux M. 2005.** Global warming - Myth or Reality? The errings ways of climatology. Chichester, UK, Praxis Publishing Ltd.

136. **Liverman D., 1990.** Vulnerability to global environmental change, *in* R. E Kasperson *et al. (editors),* Understanding Global Environmental Change: The Contributions of Risk Analysis and Management, The Earth Transformed Programme, Clark University, Worcester MA, 27-44 pp.

137. **Lu J. et Delworth T. L., 2005.** Oceanic forcing of the late 20th century Sahel drought. Geophys. Res. Lett., 32, 1-5 pp.

**138. Lu J. and Delworth T. L., 2005.** Oceanic forcing of the late 20th century Sahel drought, Geophys. Res. Lett., 32-39 pp.

**139. Lubès-Niel H., Masson J-M., Paturel J-E., Servat E., 1998.** Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Revue des Sciences de l'Eau, 3, 383-408 pp.

**140. Lubes-Niel H., Masson J-M., Raous P., Tapiayu M., 1994**. Logiciel de calculs statistiques et d'analyse fréquentielles adapté à l'évaluation du risque en hydrologie. manuel de calcul. ORSTOM, Paris, 140 p.

**141. Mahé G., 1992.** Les écoulements fluviaux sur la façade Atlantique de l'Afrique : Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, Analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. *Thèse de Doctorat en science de la terre* OR SAY ORSTOM, Montpellier, 385 p + Annexes.

**142. MacKellar N., Christensen J.H. et Lucas-Picher P., 2010.** Modèles, projections et incertitudes climatiques en Afrique sub-saharienne : Introduction pour les chercheurs et les décideurs. CCDARE, Climate Chante and Development Adapting by Reducing Vulnerability. UNEP. 26 p.

**143. Mann H.B., 1945.** Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245-259 pp.

**144. M'Biandoun F, Guibert H, Olina J.P., 2003.** Caractérisation du climat dans quatre terroirs de la zone soudano-sahélienne au Nord-Cameroun et conséquences pour l'agriculture, in Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (éditeurs scientifiques), Garoua, Cameroun. PRASAC, N'Djamena, Tchad - Cirad, Montpellier, France., 8 p.

**145. Mbétid-Mbessane E., 2009.** Evolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale, in cahiers agricultures, volume 15, n°6, 555-561 pp.

**146. MCI, 2010.** Etude sur les importations des denrées de première nécessité et intrants en provenance de la CEMAC, Bangui, RCA. 123 p.

**147. McKee T. B., Doesken N. J. & Kleist J., 1993.** In 8th Conference on Applied ClimatologyAm. Meteorol. Soc., Anaheim, Calif.

**148. Mearns L.O. et Hulme M., 2001.** Climate scenario development. In: J.T. Houghton et al., Editors, Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge (2001),739–768 pp.

**149. MEE 2002.** Communication Nationale Initiale de la RCA, 175 p.

**150. Mémento de l'agronome, 2002.** CIRAD, Version numérique

**151. Mestrau J.L. et Bessole B.S., 1982.** Géologie et ressources minérales de la République Centrafrique, Rapport d'études scientifiques, ORSTOM, 211 p.

**152. Morel M., 1986.** Les problèmes posés par les normes pluviométriques dans la région sahélienne. In Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Série Hydrologie, 15 p.

**153. Morel M., Braud R., Quantin P., 2008.** Fluctuation climatique et variabilité interannuelle des cultures dans un essai d'assolement à long terme en Centrafrique. Bulletin de la Société géographique de Liège, 51, 139-149 pp.

**154. Moron V., 1993.** Variabilité des précipitations en Afrique tropicale au nord de l'équateur (1933-1990) et relations avec les températures de surface océanique et la dynamique de l'atmosphère. Thèse de doctorat. Centre de recherches de Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon, 219 p. + atlas.

**155. Mouton J et Sillans R., 1954.** Les cultures indigènes dans les régions forestières de l'Oubangui-Chari (Département de la Lobaye), Cahier ORSTOM, 97 p.

**156. Mpounza M., Samba-Kimbata M.J., 1991.** Aperçu sur le climat de l'Afrique centrale et occidentale. In « Les paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique », Lanfranchi R. et Schwartz D. (Eds) ; 31-41 pp.

**157. Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory S., Grübler A., Jung T. Y., Kram T., La Rovere E. L., Michaellis L., Moris L., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Price L., Raihi K., Roehri A., Rogner H. H., Sankoski A., Schelsinger M., Shukla P., Smith S., Swart R., Van Roijen S., Victor N. Et Dadi Z. 2000.** Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of IPCC. Cambridge, RU et New York, NY, USA, 599 p.

**158. Ndjendolé S., 2001.** Contraintes pluviométriques sur les cultures annuelles en Centrafrique : l'exemple de la culture cotonnière. Thèse de doctorat en Climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 227 p.

**159. Ndjendolé S., 2007.** Inventaire de stock en matière de changement climatique en Centrafrique, Projet Autoévaluation Nationale des Capacités à Renforcer pour la Gestion de l'Environnement Mondial (ANCR-GEM), consultation PNUD - GEF, 67 p.

**160. Ndjendolé S., 2008.** Evaluation thématique des contraintes en matière de priorisation des capacités dans le cadre de la CCNUCC en RCA, Projet ANCR-GEM, PNUD, 53 p

**161. Ndjendolé S., Malibangar A., 2009.** Intégration du Programme d'Action National d'Adaptation (PANA) aux Changements Climatiques dans le Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (DSRP 2008-2010). Rapport de consultation PNUD/CCNUCC/PANA, 34 p.

**162. Nguimalet C.R., 2007.** Notice sur le Relief de la RCA. In Atlas de la République Centrafricaine, version révisée, 11-12 ; Université de Bangui, MECI- Bangui (RCA).

**163. Nguimalet C.-R., 2009.** Hydropluviometric and climatic dynamics in the basin-slopes of Tomi at Sibut, Gribingui at Kaga-Bandoro and Fafa at Bouca, Central African Republic. 4thResearch Week and International Conference 15th-17th September 2009, Egerton University, Njoro, Kenya, 9 p.

**164. Ogouwalé E., 2004.** Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. Mémoire de DEA, UAC/EDP/FLASH, 119 p.

**165. Ogouwalé E., 2006.** Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 302 p.

**166. OMM, 1983.** Guide des Pratiques météorologiques - Vol. II : Analyse, prévision et autres applications. Organisation Météorologique mondiale. Publication. N° 168 Genève, Suisse. 174 p.

**167. OMM, 1992.** Vocabulaire météorologique international. Deuxième édition, N° 182. Genève, Suisse, 784 p.

**168. OMM, 2001.** Bilan des changements climatiques 2001. Rapport de synthèse, 204 p.

**169. Oeschger H. et Eddy J. A., 1989.** Global change of the past. The International Geosphere-Biosphere Programme: A study of global change of the International Council of Scientific Unions. IGBP, Global Change Report n°6, IGBP secretary, Stockholm, Sweden, 112 p.

**170. Ouessebanga A.M., 2009.** Etude par Télédétection et système d'Information Géographique de l'extension de la ville de Bangui et de son influence sur le paysage périurbain. Thèse de doctorat de Géographie. Université Paris Didérot-Paris 7, 251 p.

171. **PADDBN (Plan d'Action pour le Développement Durable du Bassin du Niger), 2009.** Scénarios climatiques à l'horizon 2025 sur le bassin du Niger. ACMAD, ABN et AGRHYMET, Niamey, 49 p.

172. **Pagney P., 1973.** La Climatologie. QSJ ? PUF, Paris, 190 p.

173. **Pagney P., 1976**. Les climats de la terre. Collection Initiation aux études de géographie. Masson, Paris, 148 p.

174. **Pal J. S., Giorgi F., Bi X., Elguindi N., Solomon F., Gao X., Francisco R., Zakey A., Winter J., Ashfaq M., Syed F., Bell J.L., Diffanbaugh NS, Kamacharya J., Konare A, Martinez D., da Rocha R-P., Sloan L. C. and Steiner A., 2007.** The ICTP RegCM3 and RegCNET: Regional climate modeling for the developing world. Bulletin of American Meteorological Society 88: 1395 1409

175. **PANA-RCA, 2008.** Programme d'Action National d'Adaptation au Changement climatique, République Centrafrique, MEFCPEE, 67 p.

176. **PARN. 1994.** Plan d'utilisation des terres forestières du sud-ouest Centrafricain. Méthodologies, zonage provisoire et modalités d'intervention, MEFCP, 61 p.

177. **Parry M., 1990.** Global environmental change, Human and Policy Dimensions. Special issue of an assessment of the global effects of climate change under SRES emissions and soci-économic scénarios. United Nations University, University of East Anglia, UK, 99 p.

178. **Parry M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Fischer, G. et Livermore, M., 1999.** Climate change and world food security: a new assessment, Global Environmental Change 9: 51–67 pp.

179. **Parry M., Rosenzweig C. and Livermore M., 2005.** Climate change, global food supply and risk hunger. Philos. T. Roy. Soc. B, 360, 2125-2138.

180. **Paturel J. E., Servat E., Kouamé B., Boyer J. F., Lubès H., Ouedraogo M. et Masson J. M., 1997.** Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part two: An integrated regional approch. Journal of Hydrology, 16-36 pp.

181. **Pedelaborde P., 1970.** Introduction à l'étude scientifique du climat. SEDES, Paris, 246 p.

182. **Pepper, W.J., J. Leggett, R. Swart, J. Wasson, J. Edmonds, and I. Mintzer., 1992.** Emissions Scenarios for the IPCC: An Update - Assumptions, Methodology, and Results. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.112-129

**183. Perard J., Boko M. et Bokonon-Ganta B. E., 1991.** Contraintes climatiques et croyances en Afrique Tropicale : Essai d'éthnoclimatologie. In Actes du 3ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lannion, 163-171 pp.

**184. Pettitt AN.A., 1979.** Non parametric approach to the change point problem. Applied statistics, 126-135 pp.

**185. Phillips T. et Gleckler P., 2006.** Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: The utility of multimodel statistics. Water Resources Research, 42, W03202.

**186. PNUD, 2012.** Programme pays pour la République Centrafricaine (2012-2016). Note de synthèse, 4 p.

**187. PNUE, 2009.** Rapport sectoriel sur l'état de l'environnement en Afrique, Nairobi, 212 p.

**188. Randall D. A., Wood R. A., Bony S., Colman R., Fichefet T., Fyfe, J., Kattsov V., Pitman, A., Shukla J., Srinivasan J., Stouffer R. J., Sumi A. & Taylor K. E., 2007.** In Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change(Ed, Press, C. U.) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**189. Reilly et Hervya E., Glaz K., 1997.** Climate change and agricultural trade: who benefits, who loses? Global environnemental change 4 (1) 24-36 pp.

**190. RGPH, 2003.** Annuaire des statistiques du Recensement Général de la Population et de l'Habitation, BCR, vol. 1-12 compilés, 147 p.

**191. Richard H. Moss, Mustafa Babiker, Sander Brinkman, Eduardo Calvo, Timothy Carter, Jae Edmonds, Ismail Elgizouli, Seita Emori, Lin Erda, Kathy Hibbard, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Ben Matthews, Jerry Meehl, Leo Meyer, John Mitchell, Nebojsa Nakicenovic, Brian O'Neill, Ramon Pichs, Keywan Riahi, Steven Rose, Paul Runci, Ron Stouffer, Detlef van Vuuren, John Weyant, Tom Wilbanks, Jean Pascal van Ypersele, and Monika Zurek., 2008.** *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 155 p.

**192. Ritchie J.T., Singh U., Godwin D.C. et Bowen W.T., 1998.** Cereal growth, development and yield. In Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G. et Thornton, P.K. (eds). Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 79-98 pp.

**193. Rosenzweig C. et Soleck W. D., 2001.** Climate change and a global city. *Environment Vol* 43, *No* 3, *April,* 8-18 pp.

**194. Rotter D., Bharti A.D., Li H.D., Luo C., Bonos S.A., Bughrara S., Jung G., Messing J., Meyer W.A., Rudd S., Warnke S.E. and Belanger F.C., 2007.** Analysis of EST sequences suggests recent origin of allotetraploid colonial and creeping bentgrasses, MA, 80-99 pp.

**195. Roucou P., 2011.** Evolution de la mousson dans les simulations de climat pour le XXIe siècle in Compte rendu du Groupe de travail 5 Scenarii climatiques. Synthèse de la session sur les méthodes utilisées dans le projet ANR-RESSAC. 9 p.

**196. Rowell, D., Folland, C., Maskell, K. & Ward, M., 1995.** Variability of summer rainfall over tropical north Africa (1906-1992): Observations and modeling. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 121 p.

**197. Salack S., Traoré B. S., Sarr B., 2006.** Synthèse sur la collecte, la mise en forme et le stockage des données climatologiques des pays du CILSS, et Etude d'impacts des changements climatiques sur la production agricole au Sahel, Rapport de stage, Centre Régional AGRHYMET, 95 p.

**198. Samba A., 1998.** Les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures-Prévision des rendements du mil en zones soudano-sahéliennes de l'Afrique.-ouest. Sécheresse v.4, 281-288 pp.

**199. Samba-Kimbata M.J., 1991**. Précipitations et bilan de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse de doctorat d'Etat, CRC, Université de Bourgogne, Dijon, 403 p.

**200. Sarr B., 2006.** Les changements climatiques et la vulnérabilité des ressources en eau et de l'agriculture, Centre Régional AGRHYMET, DFR, Niamey. Communication scientifique, 22 p.

**201. Sarr B., 2006.** INSTAT+ en bref Manuel d'utilisation destiné aux Ingénieurs en agrométéorologie et en météorologie aéronautique, CILSS, Centre régional Agrhymet, 74 p.

**202. Sarr B., Lona I., 2009.** Les fortes pluies et les inondations enregistrées au Sahel au cours de l'hivernage 2007 : variabilité et / ou changement climatique. 14ème Colloque International, SIFEE « *Changement climatique et évaluation Environnementale*» Outils et enjeux pour l'évaluation des impacts et l'élaboration des plans d'adaptation, Niamey 26-29 mai. 29 p.

**203. Savoie M. 2006.** Étude du caractère local des impacts du changement climatique sur les rendements en agriculture au Québec. Travail dirigé, 130 p.

**204. Schipper F., Lisa E., Cigarán Paz M., Hedger McKenzie M., 2008.** L'adaptation aux changements climatiques : le nouveau défi pour le développement dans le monde en développement. An Environment & Energy Group Publication, PNUD, 21p.

**205. Seck M., Moussa N. A., 2005**. Adaptation aux Changements Climatiques. L'étude de cas des systèmes de production agricoles de Sébikotane (Sénégal) Linking Climate Adaptation Project, 33 p.

**206. Sen P., 1968.** Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 1379-1389 pp.

**207. Sillans R., 1958.** Les savanes de l'Afrique Centrale. Essai sur la physionomie, la structure et le dynamisme des formations végétales ligneuses des régions de la République Centrafricaine. Paris, Ed. Lechevalier, 423 p.

**208. Sircoulon J., 1990.** Impact possible des changements climatiques à venir sur les ressources en eau des régions arides et semi-arides. WMO/TD-n°380, 87 p.

**209. Smit B., L. Ludlow, et al. 1988.** "Implications of a global Climatic Warming for Agriculture: A review and appraisal." *Journal of Environmental Quality* 17(4) ; 519-527 pp.

**210. SMOC, 2010.** Système Mondial d'Observation du Climat, Bulletin d'information N°51/10/0004 du 01 avril 2010, 23-29 pp.

**211. Stern R, Knock J, Rijks D, Dal I, 2006.** Instat + for windows. Version 3.30. An interactive Statistics Package. Reading: University of Reading UK, 2006, 40 p.

**212. Stern R.D., Dennett M.D., Garbutt D.J., 1981.** The start of the rains in West Africa. / *Revue Climatology*, 59-68 pp.

**213. Stewart, T.R. et Glantz, M.H., 1985.** Expert Judgment and Climate Forescasting: A Methodological Critique of 'Climate Change of the Year 2000'. Climate Change 7: 159-183 pp.

**214. Suchel J.B., 1987**. Les climats du Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bordeaux III. France, 1186 p.

**215. Sultan B., 2011.** L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales, Habilitation à diriger des recherches, Université Pierre et Marie Curie, 137 p.

216. **Sultan B., Baron C., Dingkuhn M., Janicot S., 2004.** La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière, 2ème partie : Applications à la sensibilité des rendements agricoles au Sahel. Sécheresse, in Press.

217. **Tabo R., Sibiry Traore S.P., 2009.** Impacts of Climate Change on Agriculture and adaptation strategies in Africa ICRISAT Niamey and Bamako, 59 p.

218. **Tanaka H.L., 2005.** Intercomparaison of the intensities and trends of Hadley, Walker, and monsoon circulations in the global warming predictions, SOLA, 1, , doi:10.2151/sola.2005-021. 77-80 pp.

219. **Tapsoba A., 2010.** Dynamique des systèmes de production du village de Gombeledougou dans la zone cotonnière de Houndé : Evaluation et modélisation technico-économique, université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du développement rural, 71 p.

220. **Taylor K. E. et McCracken M. CM 1990.** Projected Effects on Increasing Concentrations of Carbon Dioxyde and Trace Gazes on Climate. In Kimball B. A., Rosenberg N. J., Allen L. H. (eds). Impact of Carbon Dioxyde, Trace Gazes and Climate Change on Global Agriculture, ASA 53,1-18 pp.

221. **Theil H., 1950.** Estimates of the regression coefficient.Vol. 53,. 386-392 pp.

222. **Thiébaux J.P., 1987.** Grands Bassins Intertropicaux : Transports de matières sur l'Oubangui, à Bangui. Premiers résultats, 1986-1987 ORSTOM INSU, 60 p.

223. **Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarswamy, A. & Andresen, J. 2009.** Spatial Variation of Crop Yield Responses to Climate Change in East Africa. Global Environmental Change 19, 54–65.UN (2009). World Economic and Social Survey 2009: Promoting Development, Saving the Planet 204 p.

224. **Totin V. H. S., 2010.** Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : stratégies de gestion durable. Thèse de doctorat unique de Géographie physique. Université d'Abomey-Calavi. Laboratoire Pierre PAGNEY, Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE). 283 p.

225. **Tsalefac M., Amougou J., 2007.** Changements climatiques : Bouffée de chaleur sur le Cameroun, mutations, Communication personnelle, 12 p.

226. **UNFPA, 2011.** Etat de la population mondiale : 7 milliards de personnes : leur monde, leurs possibilités. 132 p.

**227. Villeneuve C. et Richard, F., 2007.** Vivre les changements climatiques en Afrique : Quoi de neuf ? Éditions Multi Mondes. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2008, 329-386 pp.

**228. Vopéyandé M.B., Kadekoy-Tigague D. et Kafara J.M., 2006.** Innovation paysanne et amélioration des itinéraires techniques dans les savanes cotonnières de Centrafrique. Revue Scientifique du Tchad, 8 (2) : 10-20 pp.

**229. Vopéyandé P., 2010.** Innovation paysanne et adaptation socio économique des exploitations agricoles des savanes cotonnières de Centrafrique, Symposium International INRA-CIRAD - Montpellier, France12 p.

**230. Wang H., Lau K.-M., 2006.** Atmospheric hydrological cycle in the Tropics in Twentieth Century coupled climate simulations, International Journal of Climatology, 26, 655-678 pp.

**231. WRI, 2010.** Atlas forestier interactif de la République Centrafricaine (version 1.0), document de synthèse. Rapport produit en collaboration avec le Ministère des eaux, forêts, chasse et pêche, 47 p.

**232. Yabi I., 2002.** Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8° de latitude nord au Bénin. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLASH/DGAT, 95 p.

**233. Yabi I., 2008.** Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin. Thèse de Doctorat Unique. EDP/FLASH/UAC, 235 p.

**234. Zhao Y., Wang, C. et Wang S., 2005.** Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the sub-humid and humid tropics. Climate Change, 70, 71-116.

## Webographie


1. http://www.aec.msu.edu/agecon/fs2
2. http://www.africanfuturs.net
3. http://www.cip.csag.uct.ac.za
4. http://www.cru.uea.ac.uk/data
5. http://www.fao.org/ag/agl/swlwpnr/reports/y_sf/car/nouv-pol.htm
6. http://www.faostat.fao.org/site/491/default.aspx
7. http://www.ipcc.ch
8. http://www.ipcc.ch/pub/un/giecgt2.pdf
9. http://www.ipcc.ch/pub/un/giecgt3.pdf
10. http://www.ipcc-data.org/ddc_gcm_intro.html
11. http://www.jfa04.chez.tiscali.fr/gensyst.html
12. http://www. manicore.com
13. http://www.sfds.asso.fr
14. http://www.undp.org
15. http://www.unfcc.de
16. http://www.usd.edu

**Liste des Figures**

**Figure 1.** *Situation géographique de la région d'étude* ..... **27**

**Figure 2.** *Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude* ..... **41**

**Figure 3.** *Cadre conceptuel du modèle d'étude d'impact STICS dans la version 6.0.* **63**

**Figure 4.** *Cadre de l'orientation pour la planification d'une stratégie d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur agricole* ..... **71**

**Figure 5.** *Cadre conceptuel du modèle « PEIR » d'adaptation* ..... **74**

**Figure 6.** *Aspects géologiques dans la région d'étude* ..... **77**

**Figure 7.** *Types de sols dans la région d'étude* ..... **79**

**Figure 8.** *Quelques facteurs secondaires explicatifs de baisse de la fertilité des sols* ..... **82**

**Figure 9.** *Types de relief dans la région d'étude* ..... **84**

**Figure 10.** *Réseau hydrographique dans la région d'étude* ..... **86**

**Figure 11.** *Formations végétales dans la région d'étude* ..... **88**

**Figure 12.** *Evolution de la production des grumes de 1990-2009* ..... **92**

**Figure 13.** *Flux (harmattan/mousson) et position du FIT (Janvier et Juillet)* ..... **94**

**Figure 14.** *Evolution de la population par préfecture dans la région d'étude* ..... **98**

**Figure 15.** *Taux d'accroissement intercensitaire des sous préfectures de la région d'étude* ..... **98**

**Figure 16.** *Répartition de la population dans la région d'étude* ..... **99**

**Figure 17.** *Situation actuelle et projections démographiques (population) aux horizons 2015-2075* ..... **100**

**Figure 18.** *Répartition en % des secteurs d'activités économiques dans la région d'étude (1985-2010)* ..... **101**

**Figure 19.** *Zones agroécologiques dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **108**

**Figure 20.** *Bassins vivriers de production des cultures* ..... **110**

**Figure 21.** *Evolution des rendements agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010* ..... **120**

**Figure 22.** *Evolution des superficies agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010* ..... **122**

**Figure 23.** *Evolution des productions agricoles dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010* ..... **123**

**Figure 24.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyens (domaine guinéen-forestier) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010* ..... **127**

**Figure 25.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyen (domaine soudano-guinéen) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010* ..... **128**

**Figure 26.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyens (domaine soudano-oubanguien) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*..... **129**

**Figure 27.** *Régimes pluviothermique et évapotranspiratoire mensuels moyen (domaine soudano-sahélien) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010* ..... **130**

**Figure 28.** *Courbes de précipitations (P), d'évapotranspiration (ETP) et ½ ETP mensuelles à Nola (domaine guinéen) et à Batangafo (domaine (soudanien), 1951-2010*..... **133**

**Figure 29.** *Fréquence des classes de pluie annuelles (CPA) dans l'Ouest de la République Centrafricaine, 1951-2010* ..... **135**

**Figure 30.** *Evolution de la variable U du test de Pettitt de 1951 à 2010* ..... **135**

**Figure 31.** *Nombre total annuel de jours secs, valeur moyenne à long terme* ..... **138**

**Figure 32.** *Normales pluviométriques interannuelles dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **142**

**Figure 33.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine guinéen-forestier* ..... **143**

**Figure 34.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine soudano-guinéen* ..... **144**

**Figure 35.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine soudano-oubanguien* ..... **144**

**Figure 36.** *Anomalies pluviométriques dans le domaine soudano-sahélien*..... **145**

**Figure 37.** *Cumul moyen des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique (sur 16 stations)*..... **147**

**Figure 38.** *Variabilité interannuelle des températures de l'air dans l'Ouest de la Centrafrique*..... **150**

**Figure 39.** *Anomalies et tendances des températures moyennes de l'air dans la région d'étude*..... **152**

**Figure 40.** *Cycles annuels de l'humidité relative moyenne mensuelle (1951 à 2010)* ..... **153**

**Figure 41.** *Ecart en % des hauteurs moyennes annuelles de précipitations entre les normales 1981-2010 et 1951-1980*..... **156**

**Figure 42.** *Ecart en valeur absolue des températures moyennes entre les normales 1981-2010 et 1951-1980*..... **159**

**Figure 43.** *Pluies maximales cumulées en 3 jours en 1999 et 90$^{ème}$ percentile des pluies maximales cumulées en 3 jours pour la période 1951-2010 dans l'Ouest de la Centrafrique*..... **161**

**Figure 44.** *Comparaison du nombre de jours de pluie >50 mm en 1999 avec la moyenne de la série chronologique 1951-2010 dans l'Ouest de la Centrafrique***162**

**Figure 45.** *Variabilité inter annuelle du nombre de jours de forte chaleur, de très forte chaleur et des paroxysmes des températures maximales (1951-2010) : Bangui et Berbérati dans le domaine guinéen (sud), Bossangoa et Ndélé dans le domaine soudanien (nord)*..... **163**

**Figure 46.** *Durées de retour des températures minimales extrêmes annuelles. Les projections sont effectuées par la loi de Gumbel avec la série des températures minimales (1951-2010).* ..... **164**

**Figure 47.** *Durées de retour des températures maximales extrêmes annuelles. Les projections sont effectuées par la loi de Gumbel avec la série des températures maximales (1951-2010).* ..... **165**

**Figure 48.** *Perceptions paysannes (%) de l'évolution du climat (précipitations et températures) dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*..... **168**

**Figure 49.** *Perceptions paysannes (%) des perturbations climatiques par domaine agroclimatique dans l'Ouest de la Centrafrique, 1951-2010*..... **169**

**Figure 50.** *Schéma descriptif de la boucle de rétroaction* ..... **171**

**Figure 51.** *Evolution des températures globales moyennes de surface de 1880 à 2010 et prévisions des hausses de températures, 2070-2100, par rapport à 1960-1999*.... **173**

**Figure 52.** *Variation relatives du régime des précipitations (%) pour la période 2070-2099, par rapport à la période 1980-1999 à l'échelle globale. Source : GIEC (2007)* ..... **174**

**Figure 53.** *Projections des changements vers la fin du 21$^{e}$ siècle des températures sur l'Afrique à partir des simulations multimodèles des scénarios A1B. Première rangée : changement des températures moyennes annuelles, DJF et JJA.2$^{e}$ rangée : changements fractionnels des précipitations par rapport à la période 1980-1999 à l'échelle globale. Source : Christensen et al., 2007*..... **175**

**Figure 54.** *Projections relatives au réchauffement à la surface du globe selon plusieurs modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan, GIEC, 2007* ..... **177**

**Figure 55.** *Précipitations mensuelles observées et simulées sur la période de 1971 à 2000*..... **185**

**Figure 56.** *Comparaison des anomalies de précipitations observées et simulées sur la période de référence (1971 à 2000). L'existence d'une tendance significative en baisse ou en hausse est donnée par le test non paramétrique de Mann-Kendall.*..... **188**

**Figure 57.** *Corrélation entre les pluies annuelles simulées et observées sur la période 1971-2000* ..... **189**

**Figure 58.** *Comparaison des cumuls pluviométriques mensuels observés et simulés au cours des saisons agricoles actives : Bangui à gauche et Bossangoa à droite.*..... **191**

**Figure 59.** *Cycle annuel des moyennes mensuelles des températures observées et simulées sur la période de 1971 à 2000 dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **192**

**Figure 60.** *Comparaison des anomalies de températures moyennes annuelles simulées et observées sur la période de référence (1971 à 2000). L'existence d'une tendance significative en hausse est donnée par le test non paramétrique de Mann-Kendall.*. **193**

**Figure 61.** *Corrélation entre les températures moyennes annuelles simulées et observées*..... **195**

**Figure 62.** *Changements des précipitations selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) : Les valeurs (proportion) >1.0 indiquent des précipitations accrues aux horizons 2021-2050* ..... **201**

**Figure 63.** *Changements des précipitations selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) : Les valeurs (proportion) >1.0 indiquent des précipitations accrues aux horizons 2071-2100* ..... **201**

**Figure 64.** *Changements des températures moyennes annuelles selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) aux horizons 2021-2050 : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25°C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5°C ou ≥3,0°C* ..... **203**

**Figure 65.** *Changements des températures moyennes annuelles selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) aux horizons 2071-2100 : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C* ..... **204**

**Figure 66.** *Changements maximaux des températures annuelles selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) aux horizons 2021-2050 : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C*..... **207**

**Figure 67.** *Changements maximaux des températures annuelles selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) aux horizons 2071-2100 : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C*..... **207**

**Figure 68.** *Changements minimaux des températures annuelles selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) aux horizons 2021-2050 : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C* ..... **209**

**Figure 69.** *Changements minimaux des températures annuelles selon les scénarios B1 (gauche) et A2 (droite) aux horizons 2071-2100 : Le blanc concerne la plage de -0,25 à +0,25 °C tandis que les couleurs aux extrémités de l'échelle représentent les plages de température de ≤-1,5 °C ou ≥3,0 °C* ..... **209**

**Figure 70.** *Taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 à l'horizon 2025 dans l'Ouest de la RCA* ..... **217**

**Figure 71.** *Taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 à l'horizon 2050 dans l'Ouest de la RCA* ..... **217**

**Figure 72.** *Taux en pourcentage des rendements futurs moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 à l'horizon 2075 dans l'Ouest de la RCA* ..... **218**

**Figure 73.** *Comparaison du taux en pourcentage des rendements moyens simulés des 8 cultures retenues selon les scénarios sec/A2 et humide/B1 entre les horizons 2021-2050 et 2071-2100 dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **219**

**Liste des Tableaux**

**Tableau I.** *Stations météorologiques nationales et du Cameroun retenues* ..... **38**

**Tableau II.** *Exigences climatiques et pédologiques et caractéristiques phénologiques des cultures dans la région d'étude* ..... **44**

**Tableau III.** *Seuils absolus de chaleur et typologie des jours fortement chauds, très chauds et torrides dans la région d'étude* ..... **56**

**Tableau IV.** *Séquences et caractéristiques générales de la période de croissance des cultures*..... **61**

**Tableau V.** *Paramètres agroclimatiques pour la simulation de rendement des cultures* ..... **67**

**Tableau VI.** *Paramètres et variables d'entrées et de sorties du modèle STICS* ..... **69**

**Tableau VII.** *Evaluations nécessaires pour identifier les options en matière d'adaptation*..... **73**

**Tableau VIII.** *Types et réserves utiles des sols en fonction de la profondeur dans la région d'étude*..... **81**

**Tableau IX.** *Synthèse des indicateurs démographiques*..... **103**

**Tableau X.** *Synthèse des indicateurs sociaux*..... **104**

**Tableau XI.** *Synthèse des indicateurs économiques*..... **104**

**Tableau XII.** *Synthèse des indicateurs environnementaux* ..... **105**

**Tableau XIII.** *Calendrier agricole suivant l'alternance des saisons pluviométriques* ..... **117**

**Tableau XIV.** *Taux d'accroissement annuel moyen (TAAM en %) des statistiques agricoles (rendement, production et superficie) dans l'Ouest de la Centrafrique de 1961 à 2010*..... **119**

**Tableau XV.** *Synthèse des résultats des tests d'homogénéité sur les précipitations annuelles de 1951 à 2010 dans la région d'étude* ..... **136**

**Tableau XVI.** *Coefficient $K_3$ d'irrégularité interannuelle des précipitations, 1951-2010*..... **137**

*Tableau XVII. Fréquence (%/an) de jours successifs sans pluie. Occurrence de 1951 à 2010*..... **139**

**Tableau XVIII.** *Début, fin de la saison des pluies et récessions pluviométriques. Périodes calculées sur la série 1951-2010 pour l'occurrence 8/10*..... **141**

**Tableau XIX.** *Cycles pluviométriques interannuels répartis par décennies et normales dans la région d'étude de 1951 à 2010 avec i > 1= AH (années humides) ; i < -1=AS (années sèches) et -1< i >1=AN (années normales)*..... **146**

**Tableau XX.** *Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes mensuelles de précipitations entre les normales 1981-2010 et 1951-1980* ..... **155**

**Tableau XXI.** *Ecarts mensuels des températures maximales entre les normales 1981-2010 et 1951-1980. Valeurs en °C.* ..... **157**

**Tableau XXII.** *Ecarts mensuels des températures minimales entre les normales 1981-2010 et 1951-1980. Valeurs en °C* ..... **158**

**Tableau XXIII.** *Cumuls des trois (3) jours consécutifs des pluies maximales (C3JPM) et leur durée de retour (DDR)* ..... **161**

**Tableau XXIV.** *Perceptions paysannes et quelques manifestations de la modification du climat dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **166**

**Tableau XXV.** *Projections des valeurs moyennes du réchauffement en surface à la fin du 19$^{e}$ siècle, à l'échelle globale par rapport 1960-1999.* ..... **177**

**Tableau XXVI.** *Sélection des MCG dans les archives CMIP3 et leurs résolutions d'origine* ..... **179**

**Tableau XXVII.** *Scénarios SRES marqueurs du GIEC* ..... **182**

**Tableau XXVIII.** *Ecarts entre les pluies mensuelles observées et simulées (1971-2000)* ..... **186**

**Tableau XXIX.** *Ecarts entre les pluies annuelles simulées et observées de 1971 à 2000* ..... **190**

**Tableau XXX.** *Ecarts entre les températures annuelles simulées et observées de 1971 à 2000* ..... **195**

**Tableau XXXI.** *Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2071-2100 Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario B1* ..... **199**

**Tableau XXXII.** *Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2071-2100. Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario A2* ..... **200**

**Tableau XXXIII.** *Synthèse des changements de précipitations projetés en pourcentage pour les scénarios B1 et A2 en 2025, 2050 et 2075 dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **202**

**Tableau XXXIV.** *Changements absolus de la variation des températures moyennes mensuelles aux horizons 2071-2100. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario B1. T°Pj= Températures projetées en °C et Ec=Ecarts absolus des T°C* ..... **205**

**Tableau XXXV.** *Changements absolus de la variation des températures moyennes mensuelles aux horizons 2071-2100. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario A2. T°Pj= Températures projetées en °C et Ec=Ecarts absolus des T°C* ..... **205**

**Tableau XXXVI.** *Synthèse des changements de températures projetés en degrés Celsius pour les scénarios B1 et A2 en 2020, 2050 et 2100 dans l'Ouest de la Centrafrique* ..... **206**

**Tableau XXXVII.** *Rendements simulés de Mil (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude*..... **213**

**Tableau XXXVIII.** *Rendements simulés de Manioc (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude*..... **213**

**Tableau XXXIX.** *Rendements simulés d'Arachide (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude*..... **214**

**Tableau XL.** *Rendements simulés de Maïs (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude* ..... **214**

**Tableau XLI.** *Rendements simulés de igname (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude* ..... **215**

**Tableau XLII.** *Rendements simulés de Sésame (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude*..... **215**

**Tableau XLIII.** *Rendements simulés de Sorgho (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude*..... **216**

**Tableau XLIV.** *Rendements simulés de Riz (kg/ha) selon les scénarios A2 et B1 aux horizons 2025, 2050 et 2075 et en % par rapport à 1971-2000 dans la région d'étude* ..... **216**

**Tableau XLV.** *Facteurs climatiques et tendances culturales aux horizons futurs dans l'Ouest de la RCA* ..... **220**

**Tableau XLVI.** *Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Bangui (domaine guinéen forestier)* ..... **222**

**Tableau XLVII.** *Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Berbérati dans la Mambéré-Kadéi (domaine soudano-guinéen)*..... **222**

**Tableau XLVIII.** *Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Bouar dans la Nana-Mambéré (domaine soudano-oubanguien)*..... **223**

**Tableau XLIX.** *Variation des indices agroclimatiques futurs par rapport à 1971-2000 à Bossangoa dans l'Ouham (domaine soudano-sahélien)* ..... **223**

**Tableau L.** *Redéfinition du calendrier des activités agricoles*..... **233**

**Tableau LI.** *Rôles et responsabilités potentiels des parties prenantes* ..... **237**

**Liste des Planches photographiques**

**Planche 1.** *Quelques aspects du paysage agraire dans la région d'étude* ..... **93**

**Planche 2.***Champ de Sorgho à Sido après levée (gauche) et phase de maturité à Ouaki (droite)* ..... **112**

**Planche 3.** *Labour du champ par l'attelage à Paoua (gauche) et culture de mil (droite) à Bouca* ..... **113**

**Planche 4.** *Champs de case : Maïs à Baoro (gauche) et Manioc à Damara (droite)* **114**

**Planche 5.** *Parcelle rizicole à Sakaï dans l'Ombella-M'Poko (gauche) et champ arachidier dans la commune de Basse-Batouri à Berbérati (droite)* ..... **115**

**Planche 6.** *Champ de maïs à Bingué (Baboua) dans la Nana-Mambéré (gauche) et parcelle rizicole et arachidière à Pissa dans la Lobaye (droite)* ..... **230**

**Planche 7.** *Association de culture : courges, igname et manioc à Boda dans la Lobaye (gauche) ; maïs et manioc à Botambi dans l'Ombella-M'Poko (droite)*..... **231**

**Planche 8.** *Greniers ou banques de stockage des produits agricoles (semences, vivriers…) en pays Ngbaka-Mandja de Bogangolo dans l'Ombella-M'Poko* ..... **235**

# ANNEXES

**Annexe 1 : Outils de collecte de données (Questionnaire)**

**A. Groupes cibles : Ménages ruraux, Paysans, Experts communautaires**

*Le présent questionnaire est destiné aux Ménages ruraux, Paysans et Experts communautaires. Il a pour but de collecter les informations et d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les mutations intervenues dans les systèmes culturaux dans un contexte climatique marqué par une péjoration pluviométrique. Il vise également à dresser de façon détaillée l'ampleur desdites mutations dans les communautés rurales de la Centrafrique depuis les six dernières décennies.*

*La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique dans l'option « Géosciences de l'environnement et aménagement du territoire », spécialité « Climatologie », en codirection scientifique entre l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin et l'Université de Bangui en Centrafrique*

**a) Identification**

- Nom et prénom :
- Niveau de formation :
- Situation matrimoniale :
- Groupe socioculturel :
- Localité :
- Ancienneté dans la localité :
- Age :

**b) Avez-vous une source de revenu autre que l'agriculture ?**

**c) Sources de revenus**

Avez-vous une source de revenu autre que l'agriculture ? Oui ◯ Non ◯

Si oui, laquelle…….

……

……

……

……..

**d) Superficie de terres emblavée par habitant**

| - 1 ha | 1 – 1,5 ha | 2 à 3,5 ha | 4 à 5,5 ha | 6 à 7,5 ha | 8 à 10 ha | 10 ha et + |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

**e) Qualité des terres**

| Médiocre | Peu fertile | Fertile | Très fertile |
|---|---|---|---|
| | | | |

**f) Cultures pratiquées**

| **Manioc** | **Maïs** | **Arachide** | **Sorgho** | **Mil** | **Riz** | **Igname** | **sésame** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |

**g) Quelles sont parmi les cultures pratiques celles qui sont récemment introduites dans votre localité?**.....
.....
.....
.....
.....

**h) Comment peut-on expliquer leur introduction ?**

| | ***Raisons d'introduction des nouvelles cultures*** | ***Oui*** | ***Non*** |
|---|---|---|---|
| ▪ | Brassages ethniques intervenus avec d'autres groupes sociaux | | |
| ▪ | Changements dans les habitudes alimentaires consécutifs aux changements climatiques | | |
| ▪ | Adaptation facile aux conditions climatiques actuelles du milieu | | |
| ▪ | Autres (à préciser) | | |

**i) Quelles sont les cultures que vous ne pratiquez plus ? Prière les énumérer et cocher les raisons dans le tableau suivant :**

……
……
……

| | Raisons d'abandon de certaines cultures | **Oui** | **Non** |
|---|---|---|---|
| ▪ | Bouleversement des saisons | | |
| ▪ | Péjorations climatiques | | |
| ▪ | Baisse de la fertilité des sols | | |
| ▪ | Autres (à préciser) | | |

**j) Quels sont les produits alimentaires consommés dans votre village ?**

| | Manioc | Maïs | Arachide | Sorgho | Mil | Riz | Igname | sésame |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Oui/Non** | | | | | | | | |
| **Rang** | | | | | | | | |

**k) Instruments agricoles utilisés**

| Houe | Machette | Charrue | Motoculteur | Hache | Autres (citer) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

**l) Autres instruments agricoles (prière les énumérer)**

……..…….……
……
……

**m) Techniques utilisées**

| Semis échelonné | Rotation | Culture sur brûlis | Jachère |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**n) Si la pratique de rotation est développée, quel est le cycle de succession des cultures sur les parcelles au fil des années ?**

| **Années** | Année n (n=2010) | Année n-1 | Année n-2 | Année n-3 | Année n-4 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Parcelle 1** | | | | | |
| **Parcelle 2** | | | | | |
| **Parcelle 3** | | | | | |

**o) Autres techniques utilisées par culture**

| | Manioc | Maïs | Arachide | Sorgho | Mil | Riz | Igname | sésame |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Système de fertilisation** | | | | | | | | |
| **Système d'irrigation** | | | | | | | | |
| **Autres systèmes** | | | | | | | | |

**p) Evolution des rendements au cours des dix dernières années par culture**

| | Manioc | Maïs | Arachide | Sorgho | Mil | Riz | Igname | sésame |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Baisse** | | | | | | | | |
| **Stagnation** | | | | | | | | |
| **Augmentation** | | | | | | | | |

**q) Cause des variations des rendements agricoles**

| | Manioc | Maïs | Arachide | Sorgho | Mil | Riz | Igname | sésame |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fluctuations climatiques** | | | | | | | | |
| **Choix de variétés** | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Changement des systèmes de culture** | | | | | | | | |
| **Autres (à préciser)** | | | | | | | | |

**r) Causes des variations de la production agricole globale**

| | Manioc | Maïs | Arachide | Sorgho | Mil | Riz | Igname | sésame |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fluctuations climatiques** | | | | | | | | |
| **Variation des superficies emblavées** | | | | | | | | |
| **Faiblesse des prix des produits agricoles** | | | | | | | | |
| **Autres (à préciser)** | | | | | | | | |

**s) Le climat, par son effet sur la production, a-t-il un effet sur le revenu ?**

**Oui** ◯ **Non** ◯ *Justifiez votre réponse*

……
……
……
……
……
……
……

**t) Les saisons agricoles se déroulent-elles de la même façon qu'auparavant ?**

| | |
|---|---|
| **Oui** | ◯ |
| *Comment ?* | |
| *Pourquoi ?* | |
| **Non** | ◯ |
| *Comment ?* | |
| *Pourquoi ?* | |

**u) Quel est d'après vous le facteur qui a le plus d'effets sur la production agricole ? Cochez la réponse par ordre d'importance**

| **Précipitations** | **Température** | **Sol** | **Autres (préciser)** |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**v) Evénements climatiques extrêmes et leurs impacts sur la production agricole**

- ***Sécheresses***

| | |
|---|---|
| Terminologies | |
| Manifestations | |
| Années/périodes | |
| Autres repères | |

- ***Mémoire des sécheresses et leurs impacts sur la production agricole***

| | |
|---|---|
| Chants/dictons | |
| Contes/fables | |
| Proverbes | |
| Autres (évoquer) | |

- ***Excès pluviométriques et inondations***

| | |
|---|---|
| Terminologies | |
| Manifestations | |
| Années/périodes | |
| Autres repères | |

- ***Mémoire des excès pluviométriques et leurs impacts sur la production agricole***

| | |
|---|---|
| Chants/dictons | |
| Contes/fables | |
| Proverbes | |
| Autres (évoquer) | |

**w) Quelles sont les stratégies que vous aviez adoptées pour lutter contre les effets des sécheresses vécues ?**

| Mesures prises | Contraintes liées aux mesures |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**x) Quelles sont les stratégies que vous aviez adoptées pour lutter contre les effets des excès pluviométriques et inondations connus ?**

| **Mesures prises** | **Contraintes liées aux mesures** |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**y) Indicateurs et état des connaissances des agriculteurs sur le changement climatique (CC)**

| **Indicateurs sur le CC** | **Etat des connaissances sur le CC** |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

- ***Evoluons-nous vers des années de plus en plus sèches ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
- ***Evoluons-nous vers des années de plus en plus pluvieuses ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
- ***Avez-vous remarqué un changement climatique au cours des dernières années ?*** Si oui, comment ?

| Température élevée | Baisse des précipitations | Autres (préciser) |
|---|---|---|
| | | |
| | | |

- ***Ce changement a-t-il eu un effet sur la production agricole ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, comment ?
  Argumentez :……...……...
  ….....
  **.....**
  ……

- ***Ce changement a-t-il eu un effet sur les rendements agricoles ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, comment ?
  Argumentez :……...……...
  ….....
  **.....**
  ……
  ……

- ***Ce changement a-t-il eu un effet sur le niveau de vie des ménages ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯ si oui, comment ?
  Argumentez :……..
  ……
  **.....**
  ……

- ***Etes-vous informé des changements climatiques futurs ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, par qui ?

| | |
|---|---|
| Journées d'information | ◯ |
| Membres de la famille | ◯ |
| Voisins agriculteurs | ◯ |
| Vulgarisateurs agricoles | ◯ |
| Brochures de vulgarisation | ◯ |
| Voisins non agriculteurs | ◯ |
| Autres moyens | ◯ |

- ***Quels sont indicateurs écologiques de l'évolution du climat dans votre localité ?***
  **.....**
  **.....**
  **.....**
  ……

**a1) Mesures d'adaptation**

- ***Prenez vous des mesures d'adaptation au changement climatique ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, lesquelles ?
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Essayez-vous de vous adapter à la variabilité actuelle du climat ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, comment ?
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Prenez-vous des décisions, qui soient en rapport avec l 'évolution du climat, pour la préparation et le suivi de la campagne agricole ?*** **Oui ◯ Parfois ◯ Non ◯**

  Si oui, quelles sont ces décisions ?

  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- **Pensez-vous qu'il y a d'autres mesures d'adaptation au changement climatique que vous êtes actuellement incapable de suivre par manque de moyens ?**

| Mesures d'adaptation | Facteurs empêchant leur mise en oeuvre |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**a2) Pourriez-vous faire un commentaire sur les conséquences de l'évolution du climat sur l'agriculture dans votre localité ?**

……
……
……
……
……
……

**B. Groupes cibles : Institutions/Organismes/ONG intervenant dans le secteur agricole en Centrafrique**

*Le présent questionnaire est destiné aux Institutions/organismes/ONG intervenant dans le secteur agricole. Il a pour but de collecter les informations et d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les mutations intervenues dans les systèmes culturaux dans un contexte climatique marqué par une péjoration pluviométrique. Il vise également à dresser de façon détaillée l'ampleur desdites mutations dans les communautés rurales de la Centrafrique depuis les six dernières décennies.*

*La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique dans l'option « Géosciences de l'environnement et aménagement du territoire », spécialité « Climatologie », en codirection scientifique entre l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin et l'Université de Bangui en Centrafrique.*

***a)*** **Identification**

- Nom de l'Institution/Organisme/ONG :
- Attributions :
- Secteur d'intervention :
- Objectifs poursuivis :
- Année du démarrage des activités :
- Date et adresse (Localisation) :

***b)*** **Quelles sont selon vous les causes de la baisse de la production agricole en Centrafrique ?**

……
……
……
……
……
……

***c)*** **Cette baisse de la production agricole est-elle due essentiellement aux perturbations climatiques ?**

……
……
……
……
……
……
……

***d)*** **Connaissez-vous d'autres facteurs non climatiques de la baisse de la production agricole en Centrafrique ?**

……
……
……
……
……

***e)*** **Quelles sont les mesures qui ont permis de venir à bout de certaines crises agroalimentaires connues dans le pays ?**

……
……
……
……
……
……
……

***f)*** **Disposez-vous d'outils de gestion des crises agroalimentaires ?**

……
……
……
……
……
……
……

***g)*** **Quelles sont les stratégies institutionnelles élaborées pour anticiper ou parer aux incidences des déficits de rendements agricoles (listing des projets) ?**

……
……
……
……
……
……

***h)*** **Comment arrivez-vous à prévoir la mauvaise récolte et les déficits de rendements agricoles ?**

……
……
……
……
……

*i)* **Quels sont les projets exécutés, en cours d'exécution ou à exécuter et dont l'objectif est réduire les impacts des changements climatiques sur l'agriculture en Centrafrique ?**

……
……
……
……
……
……

*j)* **Indicateurs et état des connaissances des personnes ressources sur les changements climatiques**

- ***Avez-vous une idée du phénomène de changements climatiques ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
- ***Avez-vous participé à des séminaires/colloques dans le cadre de l'information sur les changements climatiques ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
- ***Avez-vous participé à des séminaires/colloques dans le cadre de l'information sur risques en agriculture ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯

  Si oui, qu'en pensez-vous ?.....
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Evoluons-nous vers des années de plus en plus sèches ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, quels sont les indicateurs ?.....
  ……
  ……
  ……

- ***Evoluons-nous vers des années de plus en plus pluvieuses ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, quels sont les indicateurs ?.....
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Avez-vous remarqué un changement climatique au cours des dernières décennies ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯

  Si oui,comment ?……
  ……
  ……
  ……

- ***Etes-vous informé des changements climatiques prévus ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, par qui ? Comment ?
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

***k)*** **Impacts et stratégies d'adaptation**

- ***Quels sont les impacts potentiels des changements climatiques sur l'agriculture en Centrafrique ?***
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Quelles sont les recherches déjà faites ou qui sont en cours pour lutter contre les impacts négatifs (vulnérabilité des rendements agricoles, crises agroalimentaires etc.) des changements climatiques ?***
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Développez-vous des mesures d'adaptation de l'agriculture au changement climatique ?*** **Oui** ◯ **Non** ◯
  Si oui, lesquelles ? ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Prenez-vous des décisions, qui soient en rapport avec l 'évolution du climat, pour la préparation et le suivi de la campagne agricole ?*** **Oui** ◯ **Parfois** ◯ **Non** ◯
  Si oui, quelles sont ces décisions ? ……
  ……
  ……
  ……

- ***Quelles sont les stratégies envisagées et que vous conseillez déjà aux populations pour parer aux effets négatifs potentiels des changements climatiques sur la l'agriculture ?***

  ……
  ……
  ……
  ……
  ……

- ***Quelles sont les mesures que vous aviez déjà prises pour faire face à la baisse de la production agricole lors des sécheresses et inondations connues***

| Mesures prises | Contraintes liées à la mesure |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

- ***Quelles mesures peut-on prendre pour garantir la réussite d'une campagne agricole et réaliser une bonne production agricole si les sécheresses venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes ?***

| Mesures envisageables | Contraintes liées à la mesure |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

- ***Quelles mesures peut-on prendre pour garantir la réussite d'une campagne agricole et réaliser une bonne production agricole si les excès pluviométriques et les inondations venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes ?***

| Mesures envisageables | Contraintes liées à la mesure |
|---|---|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

***l)*** **Pourriez-vous faire un commentaire sur les conséquences de l'évolution du climat sur l'agriculture en Centrafrique ?**

**Annexe 2 : Outils de collecte de données (Guide d'entretien)**

**A. Groupes cibles : Groupements agricoles, Experts communautaires, Cadres des ministères, Chefs de projets, Institutions internationales ou nationales intervenant dans le secteur agricole**

*Le présent guide est destiné aux Groupements agricoles, Experts communautaires, Cadres des ministères, Chefs de projets, Institutions internationales ou nationales intervenant dans le secteur agricole. Il a pour but de collecter les informations et d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les mutations intervenues dans les systèmes culturaux dans un contexte climatique marqué par une péjoration pluviométrique. Il vise également à dresser de façon détaillée l'ampleur desdites mutations dans les communautés rurales de la Centrafrique depuis les six dernières décennies.*

*La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique dans l'option « Géosciences de l'environnement et aménagement du territoire », spécialité « Agroclimatologie », en codirection scientifique entre l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin et l'Université de Bangui en Centrafrique*

***Ce guide permet de :***

a) Identifier les indicateurs de la baisse de production et des déficits de rendements agricoles.

b) Connaître les causes des crises agroalimentaires dans l'Ouest de la Centrafrique

c) Appréhender les stratégies institutionnelles élaborées en vue d'anticiper ou parer

d) aux incidences des mauvaises récoltes et de la baisse de production agricole.

e) Connaître les mécanismes de gestion et de prévision des crises agroalimentaires.

f) Répertorier les projets exécutés, en cours d'exécution ou à exécuter pour garantir la des campagnes agricoles et la bonne productivité dans l'Ouest de la Centrafrique.

g) Savoir et évaluer les connaissances endogènes des populations sur les changements climatiques et ses impacts potentiels sur les cultures vivrières dans l'Ouest de la Centrafrique.

h) Identifier les recherches déjà faites ou en cours et à faire pour lutter contre les impacts négatifs (vulnérabilité des rendements agricoles, crises agroalimentaires, etc.) des changements climatiques.

i) Savoir les stratégies envisagées et que vous conseillez déjà aux populations pour parer aux effets négatifs potentiels des changements climatiques sur l'agriculture.

j) Savoir les mesures que vous aviez prises pour faire face aux déficits de rendements agricoles lors des sécheresses connues.

k) Savoir les mesures que vous aviez prises pour faire face aux déficits de rendements agricoles lors des excès pluviométriques et/ou inondations connus.

l) Savoir les mesures à prendre pour garantir une bonne productivité si les sécheresses venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes.

m) Avoir les mesures à prendre pour garantir une bonne productivité si les excès pluviométriques et/ou venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes.

n) Connaître la perception des populations sur l'évolution du climat.

o) Connaître votre point de vue (facultatif) sur la variabilité et le changement climatique et leurs conséquences sur l'agriculture.

**B. Groupes cibles : Ménages ruraux, Paysans et Experts communautaires**

*Le présent guide est destiné aux Ménages ruraux, Paysans et Experts communautaires. Il a pour but de collecter les informations et d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les mutations intervenues dans les systèmes culturaux dans un contexte climatique marqué par une péjoration pluviométrique. Il vise également à dresser de façon détaillée l'ampleur desdites mutations dans les communautés rurales de la Centrafrique depuis les six dernières décennies.*

*La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique dans l'option « Géosciences de l'Environnement et Aménagement du Territoire », spécialité « Agroclimatologie », en codirection scientifique entre l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin et l'Université de Bangui en Centrafrique*

***Ce guide permet de :***

a) Avoir une meilleure connaissance des terres cultivables et de leur utilisation : disponibilité, qualité et cultures pratiquées dans votre localité.

b) Connaître les mutations récentes intervenues dans les pratiques culturales.

c) Connaître les moyens techniques de production agricole.

d) Evoquer les difficultés relatives à la conservation des terres agricoles.

e) Répertorier les cultures récemment introduites dans la région et les raisons de leur introduction.

f) Appréhender la perception populaire de la dynamique des saisons agricoles (les saisons se déroulent-elles de la même façon qu'auparavant ? Pourquoi ?).

g) Collecter les indicateurs qualitatifs et endogènes (proverbes, contes, légendes, etc.) sur les sécheresses, les excès pluviométriques et leurs impacts sur l'agriculture.

h) Connaître les impacts agricoles des changements climatiques et les stratégies paysannes d'adaptation.

i) Savoir les mesures prises pour faire face à la baisse de production et de rendement agricoles lors des sécheresses connues.

j) Savoir les mesures prises pour faire face à la baisse de production et de rendement agricoles lors des excès pluviométriques connus.

k) Identifier les mesures préconisées pour garantir une bonne production agricole alimentaire si les sécheresses/inondations venaient à se répéter et les contraintes y afférentes.

l) Connaître la perception populaire de l'évolution du climat.

m) Connaître votre point de vue (facultatif) sur la variabilité et le changement climatique et leurs conséquences sur l'agriculture.

**Annexe 3 : Caractéristiques des sols par zone agroécologique dans l'Ouest de la RCA**

**Groupes cibles :** ***Cadres des institutions spécialisés en agroclimatologie et experts communautaires***

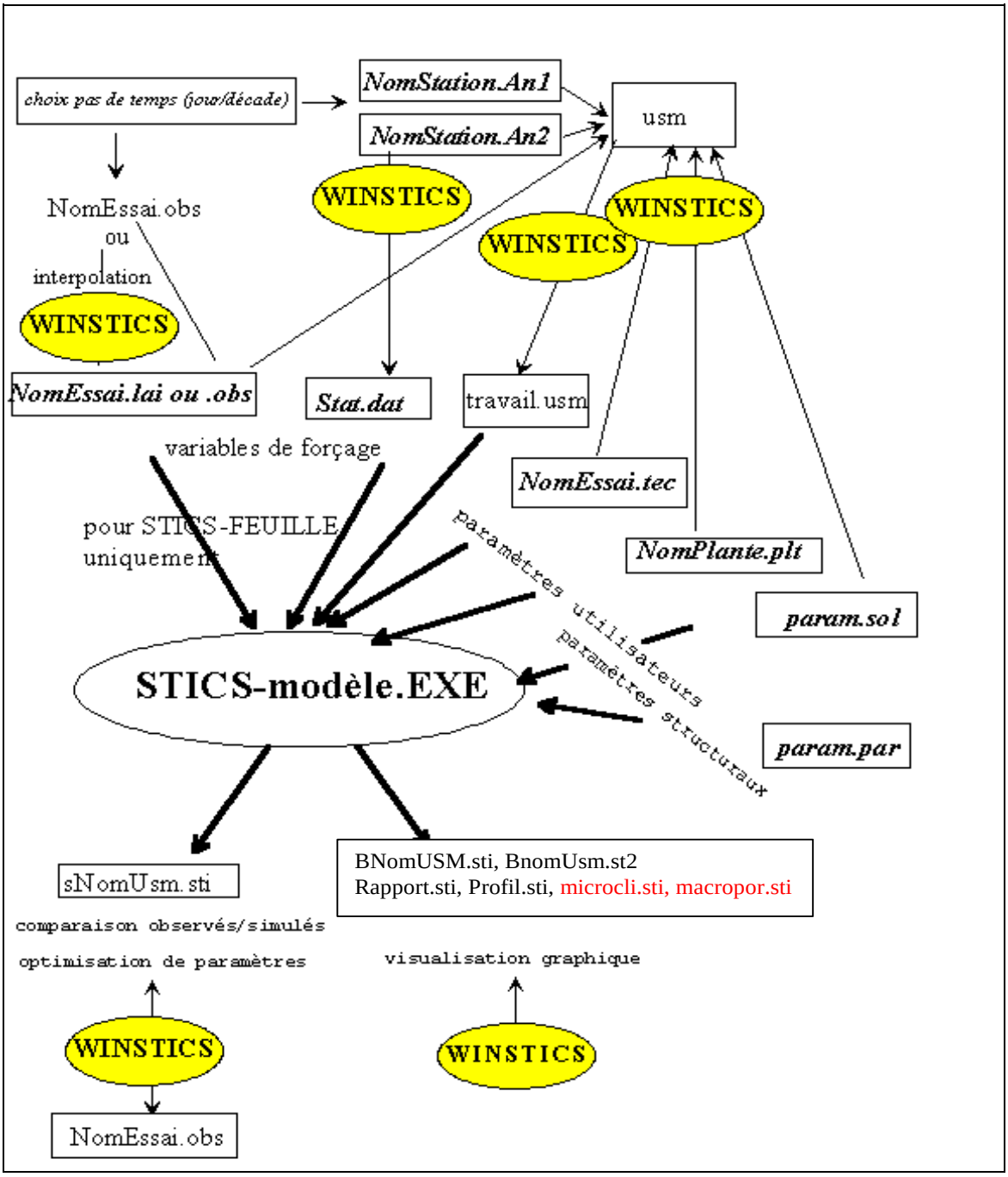
| Localité/commune/région | Types de sol | Potentialités agronomiques |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

**Annexe 4 : Matrice d'évaluation de la capacité d'adaptation**

| | **Variables** | **Indicateurs** |
|---|---|---|
| **Flexibilité** | Diversité des systèmes agricoles | *Diversité des cultures et disponibilité des semences, nombre de saisons culturales* |
| | Diversité et niveau des sources de revenus | *Diversité des sources de revenu (agriculture, élevage, commerce…)* |
| | Fondements des productions agricoles et spécificités socio-économiques | *Disponibilité des ressources en eau ; Disponibilité des terres (nombre d'hectares par habitant), qualité (degré de fertilité) des terres cultivables Situations socio-économiques (niveau d'éducation et âge, équipement disponibles, etc.)* |
| **Stabilité** | Ampleur des risques climatiques | *Impacts climatiques majeurs telles les pertes de récolte, réduction de la durée des saisons culturales, aridité et diminution de la fertilité des sols, etc.* |
| | Tendance des prix des produits agricoles | *Vulnérabilité des revenus agricoles et autres possibilité de reconversion professionnelle* |
| | Changements dans la vie et l'économie locale | *Migrations, vente des terres, location des terres* |
| **Accès aux ressources** | Disponibilité des ressources financières au niveau local | *Possibilité de crédits formels avec de moindres contraintes/conditionnalités* |
| | Programmes d'assistance, de soutien/recherche élaborés et profitables | *Information sur les changements climatiques et leurs impacts possibles sur les secteurs économiques locaux ; Transfert de technologies Développement des cultivars adaptés et appropriés Assistance technique et vulgarisation* |
| | Existence des programmes sociaux développés par les structures privées, étatiques, etc. | *Accès aux programmes d'assistance sociale ou de secours ; Services sociaux.* |

Adapté de **Centella, 1999**. CAST [Council for Agricultural Science and Technology]

**Annexe 5 : Schéma des entrées/sortie de STICS et rôle de WINSTICS**




Tous les fichiers environnant STICS sont des fichiers ASCII et STICS peut être utilisé sous MS-DOS sans l'environnement WINDOWS. Toutefois l'utilitaire WINSTICS aide à la gestion des fichiers d'entrées et permet de travailler confortablement sur les sorties du modèle.

Le modèle STICS est interfacé avec 5 (*6 pour STICS-feuille*) fichiers d'entrée. Le fichier **travail.usm** décrit la simulation en spécifiant le nom des fichiers d'entrée, les conditions initiales et la période de simulation. Les fichiers **stat.dat** et **NomEssai.lai (.obs)** donnent les variables de forçage au pas de temps choisi pour la simulation.

Les fichiers NomEssai.tec, param.sol, NomPlante.plt et param.par précisent les paramètres liés à l'itinéraire technique, au sol, à la plante et les paramètres structuraux utiles à la simulation.

La répartition des informations utiles à la simulation dans différents fichiers obéit à la logique suivante :

- *l'utilisateur non modélisateur ne doit renseigner que le fichier des techniques **NomEssai.tec,** celui des sols **(param.sol)** et constituer son fichier de simulation **(travail.usm**) en choisissant les bonnes options de modélisation*
- *l'utilisateur spécialiste de la plante pourra modifier les paramètres du fichier **plante.plt.** Il pourra toujours revenir aux paramètres par défaut proposés par les auteurs grâce aux fichiers **plante.def***
- *les paramètres du fichier **param.par** sont considérés comme indépendants du type de plante et ne devront être changés qu'en dernier recours (retour aux paramètres originaux avec le fichier **param.def**)*

## Annexe 6 : Tableau de conversion des dates calendaires en jours juliens

| jour | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 1 | 32 | *60* | *91* | *121* | *152* | *182* | *213* | *244* | *274* | *305* | *335* |
| **2** | 2 | 33 | *61* | *92* | *122* | *153* | *183* | *214* | *245* | *275* | *306* | *336* |
| **3** | 3 | 34 | *62* | *93* | *123* | *154* | *184* | *215* | *246* | *276* | *307* | *337* |
| **4** | 4 | 35 | *63* | *94* | *124* | *155* | *185* | *216* | *247* | *277* | *308* | *338* |
| **5** | 5 | 36 | *64* | *95* | *125* | *156* | *186* | *217* | *248* | *278* | *309* | *339* |
| **6** | 6 | 37 | *65* | *96* | *126* | *157* | *187* | *218* | *249* | *279* | *310* | *340* |
| **7** | 7 | 38 | *66* | *97* | *127* | *158* | *188* | *219* | *250* | *280* | *311* | *341* |
| **8** | 8 | 39 | *67* | *98* | *128* | *159* | *189* | *220* | *251* | *281* | *312* | *342* |
| **9** | 9 | 40 | *68* | *99* | *129* | *160* | *190* | *221* | *252* | *282* | *313* | *343* |
| **10** | 10 | 41 | *69* | *100* | *130* | *161* | *191* | *222* | *253* | *283* | *314* | *344* |
| **11** | 11 | 42 | *70* | *101* | *131* | *162* | *192* | *223* | *254* | *284* | *315* | *345* |
| **12** | 12 | 43 | *71* | *102* | *132* | *163* | *193* | *224* | *255* | *285* | *316* | *346* |
| **13** | 13 | 44 | *72* | *103* | *133* | *164* | *194* | *225* | *256* | *286* | *317* | *347* |
| **14** | 14 | 45 | *73* | *104* | *134* | *165* | *195* | *226* | *257* | *287* | *318* | *348* |
| **15** | 15 | 46 | *74* | *105* | *135* | *166* | *196* | *227* | *258* | *288* | *319* | *349* |
| **16** | 16 | 47 | *75* | *106* | *136* | *167* | *197* | *228* | *259* | *289* | *320* | *350* |
| **17** | 17 | 48 | *76* | *107* | *137* | *168* | *198* | *229* | *260* | *290* | *321* | *351* |
| **18** | 18 | 49 | *77* | *108* | *138* | *169* | *199* | *230* | *261* | *291* | *322* | *352* |
| **19** | 19 | 50 | *78* | *109* | *139* | *170* | *200* | *231* | *262* | *292* | *323* | *353* |
| **20** | 20 | 51 | *79* | *110* | *140* | *171* | *201* | *232* | *263* | *293* | *324* | *354* |
| **21** | 21 | 52 | *80* | *111* | *141* | *172* | *202* | *233* | *264* | *294* | *325* | *355* |
| **22** | 22 | 53 | *81* | *112* | *142* | *173* | *203* | *234* | *265* | *295* | *326* | *356* |
| **23** | 23 | 54 | *82* | *113* | *143* | *174* | *204* | *235* | *266* | *296* | *327* | *357* |
| **24** | 24 | 55 | *83* | *114* | *144* | *175* | *205* | *236* | *267* | *297* | *328* | *358* |
| **25** | 25 | 56 | *84* | *115* | *145* | *176* | *206* | *237* | *268* | *298* | *329* | *359* |
| **26** | 26 | 57 | *85* | *116* | *146* | *177* | *207* | *238* | *269* | *299* | *330* | *360* |
| **27** | 27 | 58 | *86* | *117* | *147* | *178* | *208* | *239* | *270* | *300* | *331* | *361* |
| **28** | 28 | 59 | *87* | *118* | *148* | *179* | *209* | *240* | *271* | *301* | *332* | *362* |
| **29** | 29 | | *88* | *119* | *149* | *180* | *210* | *241* | *272* | *302* | *333* | *363* |
| **30** | 30 | | *89* | *120* | *150* | *181* | *211* | *242* | *273* | *303* | *334* | *364* |
| **31** | 31 | | *90* | | *151* | | *212* | *243* | | *304* | | *365* |

*A plusieurs endroits dans STICS, vous aurez besoin de convertir des dates en jours juliens* :
en italique : +1 en année bissextile

## Annexe 7 : Exemple de fichier de sortie bilan du mil

```
 Bilan de la simulation STICS 6.0, modèle culture [Mil]
 ************************************************
 1. DONNEES d'ENTREE
 *******************
   Fichier climatique            : climmilj.2000
   Fichier techniques culturales : mil.tec
   Fichier plante                : \mil.plt           Variété :inc
   Valeurs initiales du sol      :       solmil
        Eau (% sol sec)      NO3 (kg/ha)      NH4 (kg/ha)
              3.0              3.1               .0
              5.0              2.9               .0
             12.0              4.0               .0
             12.0               .0               .0
             12.0               .0               .0

   Début de simulation : 01-juin-2000      jour 152
   Fin de simulation : 15-nov-2000 jours 318
   Irrigation :           Nombre d'arrosages= +++
     Date des arrosages          dose (mm)
     ------------------          ---------
     Quantité totale apportée :   806.0 mm
   Fertilisation :        Nombre d'apports= +++++
     Date des apports N                    dose (kg N/ha)
     ------------------                    --------------
     Quantité totale apportée naturellement :     300.
   Résidus organiques et/ou travail du sol
     Résidus de type 1    jour 297    sur 22.cm    MF= 2.0 t/ha    C/N= 60.

 2. DEVELOPPEMENT DE LA CULTURE
 ******************************
     Type                    : plante de jours longs
     Unité de développement : vernalo-photo-thermique
     Température considérée : température de culture

Stade            date           unités     unités cumulées depuis le semis
sowing            25-oct-2000            0.            0.
    Stades végétatifs
    Durée du cycle 160 jours
    Mode de récolte : moisson
    Récolte en fonction de la teneur en eau

 3. CROISSANCE ET COMPOSANTES DU RENDEMENT
 *****************************************
   Le :   25-oct-2000
   Biomasse aérienne récolte (0 % eau) =   3.25 t/ha
   Rendement grains, fruits   (0 % eau) =    1.02 t/ha
   Rendement grains, fruits (14.% eau)=   6.46 t/ha
   Nombre de grains, fruits             = 3258. /m2
   Indice de récolte                   =     .39
   Densité de plantes                  =   111.0 /m2
   Poids du grain, fruit (14.% eau) =    .045 g
   Vit. de croissance (phase latence)=   26.27 mg/m2/j
   Nombre de feuilles émises            =    12
   Nombre de jours échaudant ou froids =     0
   Biomasse aérienne sénescente (0 % eau)=   1.63t/ha
   Quantité N dans la culture         =    259. kg/ha
   Quantité N dans les grains, fruits =    200. kg/ha
   Teneur en N plante entière         = 1.11 % MS
```

```
   Teneur en N grains, fruits          = 1.82 % MS
   Efficience de l'engrais (CRU)     =   .91

  Composition de la matière fraiche des grains/fruits
   Teneur en matière sèche            = 86.31 % MF
   Teneur en azote                    = 1.57 % MF
   Teneur en sucre                    =   .00 % MF
   Teneur en huile                    =   .00 % MF
   Résidus pour la culture suivante : paille
      Quantité = 15.4 t/ha       C/N =102.
```

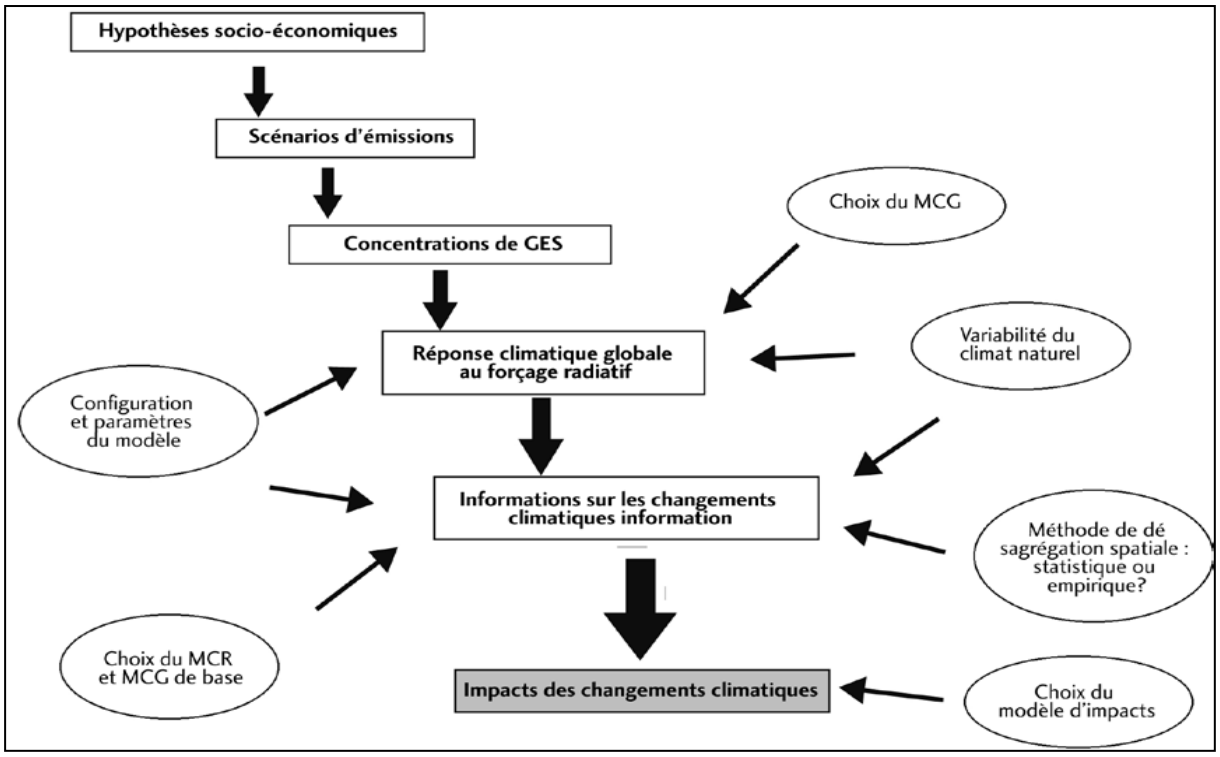
**4. BILANS EAU et AZOTE sur le cycle de culture**

```
*********************************************
                            Somme ETM = 487. mm
                            Somme ETR = 487. mm
                            Somme ES = 215. mm
                            Somme TR = 272. mm
                            Somme P   = 651. mm
     Réserve en eau maximale utilisée = 110. mm
     Front racinaire maxi à = 120. cm

  Indices moyens de STRESS :       swfac   turfac   inns   tcult-tair
exofac
   Phase végétative    (lev-drp)     1.00    1.00    1.00     .02     .00
   Phase reproductrice (drp-mat)     1.00     .99     .92     .05     .00

   dégats de gel du feuillage : avant AMF     1.83 après AMF     .00
   dégats de gel des fleurs ou fruits      .00
```

**5. BILANS EAU et AZOTE sur toute la période de simulation (160 jours)**

```
************************************************************************
     Jours normalisés à 28°C   Humus : 74.    Résidus : 174.
                  ENTREES                          SORTIES
 EAU (mm)
          Pluie                806.          Évaporation            643.
          Irrigation             0.          Transpiration          252.
          Remontées              0.          Ruissellement            0.
                                             Infiltration profonde   32.
                                             Drainage agricole        0.
                                             Interception feuille     0.
                                             Interception mulch       0.
                                             irrigat non efficace     0.
          Stock eau initial   195.           Stock eau final        106.
          ------------------------           ---------------------------
          TOTAL               1001.          TOTAL                 1001.

 AZOTE (kg/ha)
          Pluie                 14.          Exportation culture    196.
          Irrigation             0.          Restitution culture     64.
          Engrais              300.          Lixiviation              0.
          Fixation symbiot.      0.          organisation engrais    60.
          minéralis. Humus     111.          volat+dénit. Engrais     9.
          minéralis. Résidus -12.           volat. Amendements       0.
                                             Dénitrification          0.
          N plante initial       0.          Lixiviation drains       0.
          NO3 sol initial       10.          NO3 sol final           97.
          NH4 sol initial        0.          NH4 sol final            0.
          ------------------------           ---------------------------
          TOTAL                423.          TOTAL                  425.
```

## Annexe 8 : Processus de modélisation climatique




## Annexe 9 : Analyse de la vulnérabilité (Matrice de sensibilité)

L'analyse de la vulnérabilité consiste à élaborer une matrice dite ***matrice de sensibilité***. Elle établit, sur la base d'un barème de notation, le degré de sensibilité d'unités d'exposition données (agriculture) aux risques climatiques identifiés.

| **Barème de notation de la sensibilité aux risques climatiques** | |
|---|---|
| ***Échelle de grandeur*** | ***Sensibilité au risque*** |
| 1 | Faible |
| 2 | Assez faible |
| 3 | Moyen |
| 4 | Assez fort |
| 5 | Fort |
| 6 | Très fort |

## Annexe 10 : Outil méthodologique d'identification et d'évaluation des coûts et bénéfices des impacts du changement climatique et de l'adaptation

**(*Tableau matriciel mettant en relation impacts et mesures d'adaptation*)**

| Scénario d'adaptation | **Types et coût d'adaptation** | | **Impacts agricoles résiduels présents ou futurs (2025, 2050, 2075)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mesures | Prise en compte | Pertes de production liées aux changements du climat moyen | Pertes de production liées aux changements des extrêmes climatiques | Pertes de production liées aux à la prolifération des parasites et maladies | Erosion, épuisement des sols | Perte financière en tenant compte des évolutions du prix mondial |
| aucune | | | | | | | |
| Parfaite | Modification des zones de cultures et pratiques agricoles | | | | | | |
| Spontanée | Changements des dates de semis, bouturage et plantation | | | | | | |
| | Changement de variétés culturales | | | | | | |
| | Changement de cultures | | | | | | |
| | Modification des prix sur les marchés | | | | | | |
| | Mise en irrigation des cultures | | | | | | |
| Planifiée | Amélioration des prévisions météorologiques et saisonnières | | | | | | |
| | Production de nouvelles variétés de semences | | | | | | |

Adapté de **Parry M.** et *al*., **2005**

## Annexe 11 : Publications des Articles dans les Revues scientifiques et Actes des Colloques Internationaux

IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES CULTURES DU MAÏS ET DU COTON ET STRATEGIES D'ADAPTATION DANS L'OUHAM EN CENTRAFRIQUE…….***300***

PERCEPTIONS PAYSANNES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES MANIFESTATIONS DANS LE NORD-OUEST CENTRAFRICAIN……...***309***

PEJORATION CLIMATIQUE ET ADAPTATION DES PRATIQUES CULTURALES A BOSSEMBELE, REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE…….***315***

MODELISATION DU CLIMAT ACTUEL ET FUTUR DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE…….***322***

# IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES CULTURES DU MAÏS ET DU COTON ET STRATEGIES D'ADAPTATION DANS L'OUHAM EN CENTRAFRIQUE

**Bertrand DOUKPOLO[1-2], Euloge OGOUWALE[2], Sylvain NDJENDOLE[1] Michel BOKO[2]**

1. *Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG), Guy LASSERRE Département de Géographie, FLSH, Université de Bangui, BP 1037, Bangui, Centrafrique* bertrandoukpolo@yahoo.fr

2. *Laboratoire de Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Pierre PAGNEY Département de Géographie, FLASH, Université d'Abomey-Calavi, BP 526, Calavi, Bénin* bokomichel@gmail.com

***Publication de l'Association Internationale de Climatologie.***

**XXV[e] Colloque, Grenoble, septembre 2012, pp 243-248**

RESUME

*La présente étude est une contribution à l'évaluation des impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures du maïs et de coton, deux variétés agricoles très importantes pour l'économie locale dans la préfecture de l'Ouham en Centrafrique. La démarche méthodologique est fondée sur l'utilisation du modèle biophysique DSSAT V4.5 de simulation des rendements agricoles, la description des physionomies climatiques futures ainsi que les écarts qui existent entre les situations climatiques de demain et celles connues (situation de référence). L'analyse des rendements simulés et comparés à ceux observés dans l'Ouham indique une baisse de 19 à 26 % des rendements dans le contexte d'un changement climatique nécessitant des stratégies adaptives plus appropriées afin de réduire la vulnérabilité agricole.*

**Mots clés** *: Ouham, changements climatiques, impacts agricoles, adaptation*

ABSTRACT

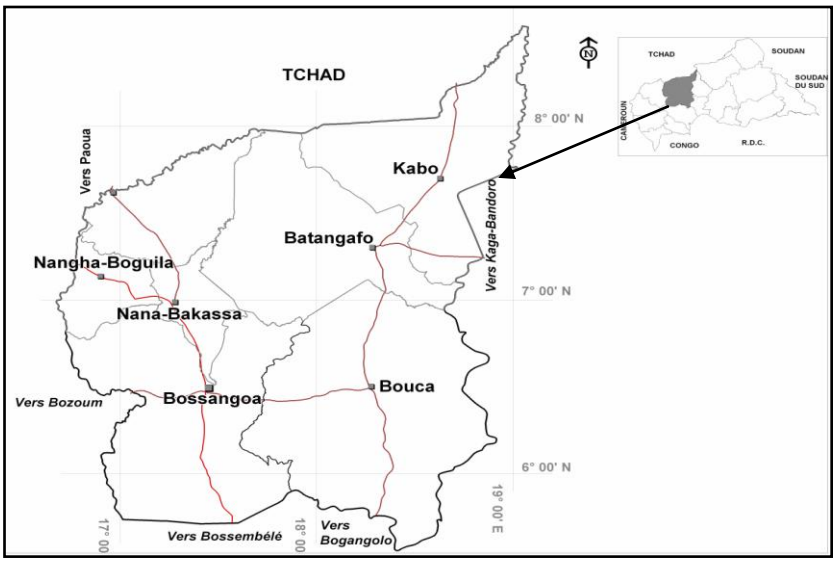
*This study is a contribution to the assessment of potential impacts of climate change on the crops of corn and cotton, two important agricultural varieties for the local economy in the prefecture of Ouham in CAR. The methodology approach is based on the use of biophysical model DSSAT V4.5 simulation of crop yields, the description of future climate and faces the gap between future climate situations and those known (baseline). The analysis of yields simulated and compared to those observed in Ouham indicates lower19 to 26 % yields in the context of climate change requiring adaptive strategies more appropriate to reduce agricultural vulnerability.*

**Keywords** : *Ouham, climate change, agricultural impacts, adaptation*

## Introduction

Les changements climatiques auront des impacts sur l'agriculture des pays en développement (IPCC, 2001). Plusieurs auteurs dont Issa (1995) et Ogouwalé (2006) ont montré la forte corrélation entre le rendement des cultures et les précipitations au cours de la grande saison agricole en Afrique de l'Ouest, notamment au Bénin. Les implications agricoles de la vulnérabilité climatique ont été largement abordées dans les études de Boko (1988), Ndjendolé (2001) et Ogouwalé (2006). La synthèse de leurs analyses met en évidence la forte variabilité de la pluviométrie et les différents contrastes saisonniers caractérisant le climat qui déterminent l'évolution des rendements agricoles.

Un tel contexte de forte dépendance climatique de l'agriculture sera aggravé par les changements climatiques dans plusieurs bassins agricoles d'Afrique tropicale comme celui de l'Ouham (figure 1). Cette situation compromettante met en avant la question de la vulnérabilité agricole et de l'insécurité alimentaire constituant une problématique difficile du monde paysan, de plus en plus récurrente. Cette étude a pour objectifs majeurs de simuler les climats futurs et de déterminer leurs impacts potentiels sur les rendements des cultures (maïs et coton) dans l'Ouham en Centrafrique.




Située entre 05° et 09° N et 16° et 19° E, l'Ouham est un bassin agricole de forte production. Le maïs et le coton sont les plus importantes cultures produites dans ce bassin par plus des ¾ des populations (Doukpolo, 2007).

## 1. Données et méthodes

Les principales données d'entrée sur les paramètres agroclimatiques proviennent d'une étude de la Banque Mondiale et de la FAO (Harrison et Boulahya, 2010) relative à l'élaboration de scénarios climatiques à l'échelle de la Centrafrique. Les données sur les rendements (période 1970-2000) sont fournies par les Services des statistiques agricoles du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR).

L'étude est faite à partir des données de deux (2) stations météorologiques, appartenant au réseau d'observation de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) : l'une synoptique (Bossangoa) et l'autre pluviométrique (Bouca). Les stations choisies ont été celles qui offrent des séries d'observations suffisamment longues (au minimum de 60 ans). La période de référence est la normale pluviométrique (NPR) 1961-1990 (tableau 1) considérée par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

**Tableau 1**. Normales pluviométriques sur la période de référence (1961-1990) à Bossangoa (a) et à Bouca (b)

| | Jan | Fev | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Déc | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **(a)** mm | 0 | 8 | 71 | 19 | 259,1 | 131,4 | 194,1 | 174,9 | 208,1 | 157,3 | 84 | 1 | **1307,9** |
| **(b)** mm | 1,9 | 5,8 | 41,0 | 89,2 | 138,6 | 167,4 | 219,2 | 224,2 | 209,8 | 157,0 | 25,8 | 2,5 | **1282,5** |

Deux scénarios climatiques analogues sec et humide ont été utilisés comme modèle empirique dans le but d'évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur les rendements du maïs et de coton :

- Le Scénario Analogue Humide (SAH) est construit à partir des données de la période 1951-1980. Cette séquence du climat a été marquée par une pluviométrie importante par rapport à la normale 1981-2010 (Kembé, 1995 ; Ndjendolé, 2001 ; Doukpolo, 2007,).
- Le Scénario Analogue Sec (SAS) correspond aux conditions climatiques de la normale 1981-2010, marquée par une péjoration pluviométrique et des minima thermométriques en hausse confirmés par plusieurs études en Afrique tropicale (Boko, 1988 ; Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2006).

La modélisation des rendements est faite à partir du modèle DSSAT V.4.5 (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer* Version 4.5). Ce modèle inclut la réponse physiologique des cultures aux paramètres climatiques et édaphiques en simulant les processus de la photosynthèse, la respiration, la transpiration, la translocation des carbohydrates et le développement phénologique des plantes.

Le DSSAT V.4.5 est utilisé pour estimer les rendements de cultures en fonction de la génétique, du climat, des sols et des techniques d'utilisation des terres. Il tient compte également des effets physiologiques bénéfiques des concentrations accrues de $CO_2$ sur la croissance des plantes et utilise les résultats du modèle de photosynthèse pour l'évaluation des rendements de cultures basée sur la méthodologie développée par la FAO en 1978.

Après la simulation, le modèle DSSAT V.4.5 donne plusieurs informations notamment : le rendement de la culture, le poids des grains, la biomasse, la surface foliaire, le bilan hydrique, le taux des intrants agricoles, les facteurs environnementaux et de stress de la culture. La sortie du modèle permet de comparer les données simulées et les données mesurées.

## 2. Résultats et discussion

### *2.1. Régimes pluviométriques futurs dans l'Ouham*

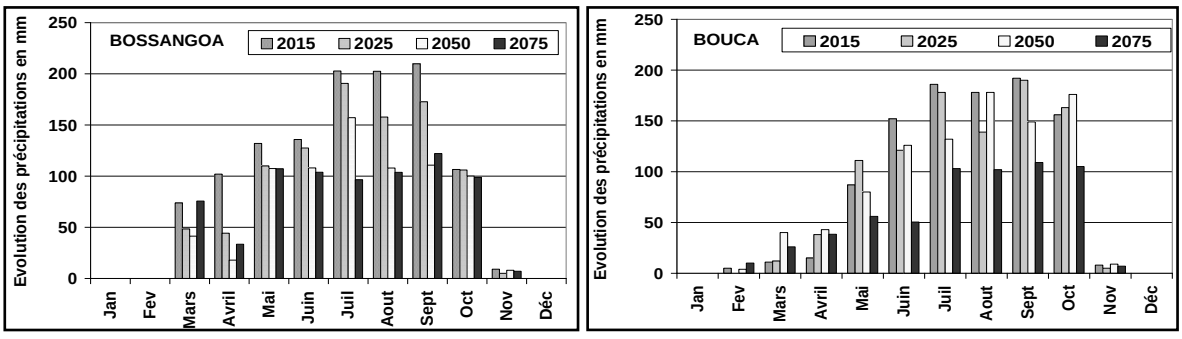



**Figure 2**. Précipitations moyennes mensuelles simulées aux horizons 2015, 2025, 2050 et 2075

Au cours des prochaines décennies, on assistera dans l'Ouham à une baisse progressive des totaux pluviométriques mensuels et un déficit hydrique -29 % marqué de novembre à février et surtout au début et en pleine saison agricole (avril, mai, juin et juillet).

Sous les scénarii sec et humide une diminution respective des précipitations (figure 2) serait enregistrée aux horizons 2025 (-17 à -8%) et 2050 (-18 à -6%) dans la zone d'étude.

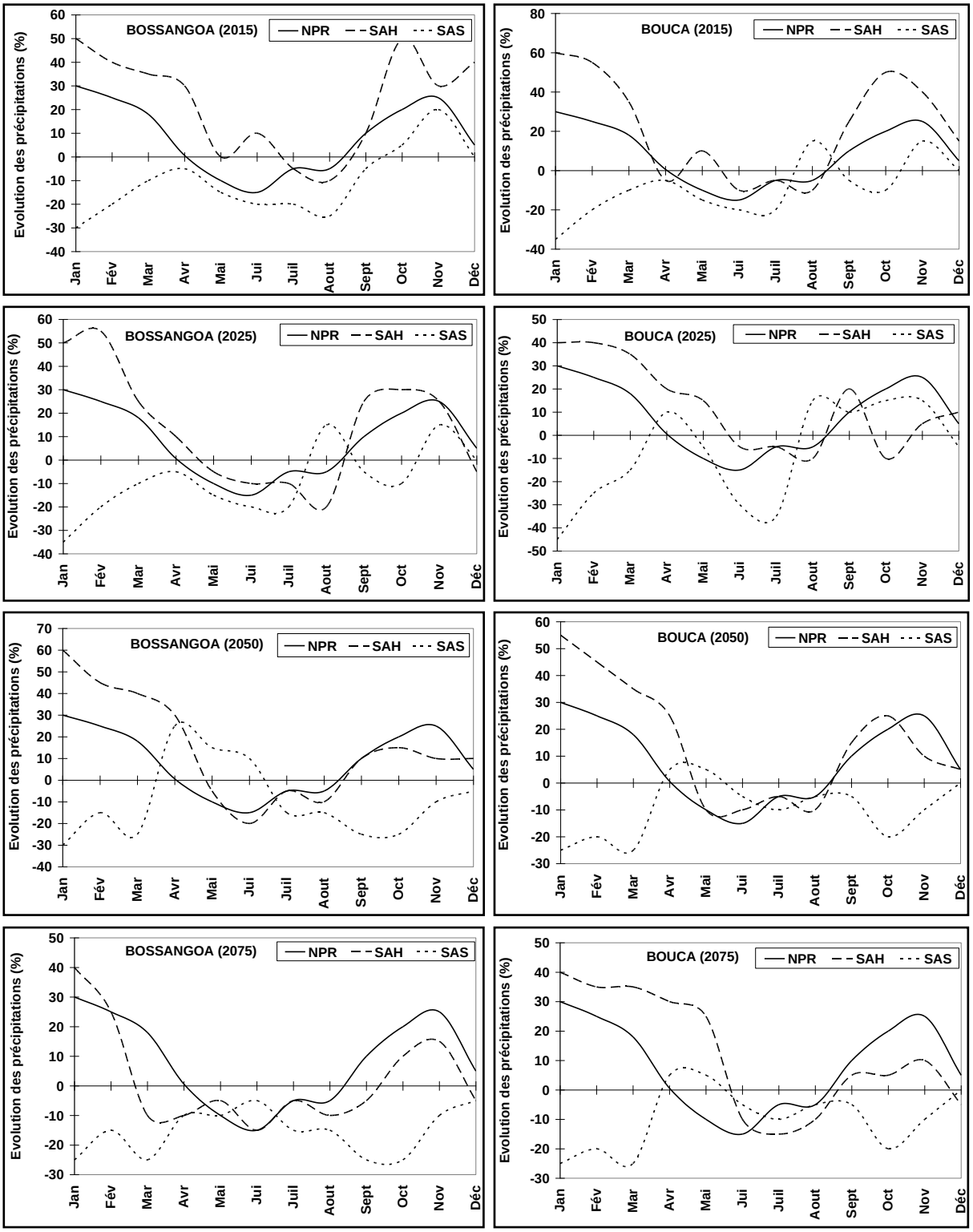



**Figure 3**. Evolution des précipitations en 2015, 2025, 2050 et 2075 par rapport à celles de la normale 1961-1990

### *2.2. Impacts potentiels des changements climatiques sur le rendement du maïs*

**Tableau 2** : Paramètres agronomiques futurs et comparaison des rendements moyens observés (1970-2000) à ceux potentiels du maïs à l'Ouham aux horizons 2015, 2025, 2050 et 2075

| **Variables** | **Valeurs observées** | **Valeurs simulées** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1970-2000** | **2015** | **2025** | **2050** | **2075** |
| Durée semis-floraison (jour) | 62 | 63 | 61 | 57 | 65 |
| Durée semis maturité biophysique | 125 | 131 | 128 | 119 | 123 |
| Rendement grain (kg/ha) | 7019 | 6385 | 5261 | 4099 | 5787 |
| Poids grain | 0,375 | 0,311 | 0,300 | 0,256 | 0,333 |
| Nombre de grain/m² | 1589 | 1474 | 1619 | 1169 | 1633 |
| Nombre de grain/épis | 298 | 274 | 301 | 209 | 315 |
| Indice foliaire maximal | 1,09 | 1,08 | 1,14 | 0,91 | 1,22 |
| Biomasse totale (kg/ha) | 7985 | 7356 | 7118 | 6088 | 7642 |
| Ecarts entre les rendements observés et espérés, avec un SAS (%) | | -25,3 | -28,1 | -51,7 | -44,9 |
| Ecarts entre les rendements observés et espérés, avec un SAH (%) | | -07,1 | -09,7 | -19,3 | -17,4 |

Le tableau 2 montre une diminution progressive de la durée du cycle de la culture. En 2050, le cycle sera raccourci de 10 jours. Aussi, on note une réduction de la surface foliaire et du poids des grains. Cette réduction est beaucoup plus accentuée en 2050 suite à un déficit hydrique important pendant la floraison et la réduction du nombre de jours semis-floraison. On observe que les écarts entre les rendements observés et attendus du maïs sont plus accrus avec un scénario sec qu'avec un scénario humide (figure 3).

### *2.3. Impacts potentiels des changements climatiques sur le rendement de coton*

Les valeurs simulées obtenues et comparées à celles observées (tableau 3) montrent une évolution à la baisse des rendements du coton au cours des prochaines décennies.

**Tableau 3 :** Comparaison des rendements moyens observés (1970-2000) et potentiels du coton dans l'Ouham aux horizons 2015, 2025, 2050 et 2075

| **Variables** | **Valeurs observées** | **Valeurs simulées** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1970-2000** | **2015** | **2025** | **2050** | **2075** |
| Superficie (ha) | 128 145 | 131 402 | 145 777 | 155 522 | 167 342 |
| Précipitation effective (Pe) en mm | 1295,19 | 1150,08 | 1231,11 | 1190,14 | 1003,27 |
| Evapotranspiration potentielle (ETP) en mm | 1198,12 | 1040,18 | 1150,13 | 1103 ,89 | 0989,98 |
| Pe/ETP | 1,08 | 1,10 | 1,07 | 1,07 | 1,01 |
| Rendement (Kg/ha) | 1518 | 1574 | 1719 | 1469 | 1339 |
| Production (tonnes) | 423 895 | 450 274 | 350 301 | 377 209 | 314 315 |
| Ecarts entre les rendements observés et espérés avec le SAS (%) | | -29,2 | -34,6 | -53,7 | -49,7 |
| Ecarts entre les rendements observés et espérés avec le SAH (%) | | -11,9 | -13,5 | -16,8 | -21,4 |

Dans les conditions climatiques futures (figure 3), les résultats du DSSAT V.4.5 attestent la vulnérabilité agricole dans l'Ouham. L'analyse des rendements simulés comparés à ceux observés indique une réduction des rendements dans le contexte d'un changement climatique pour les deux scénarios testés (figure 4).

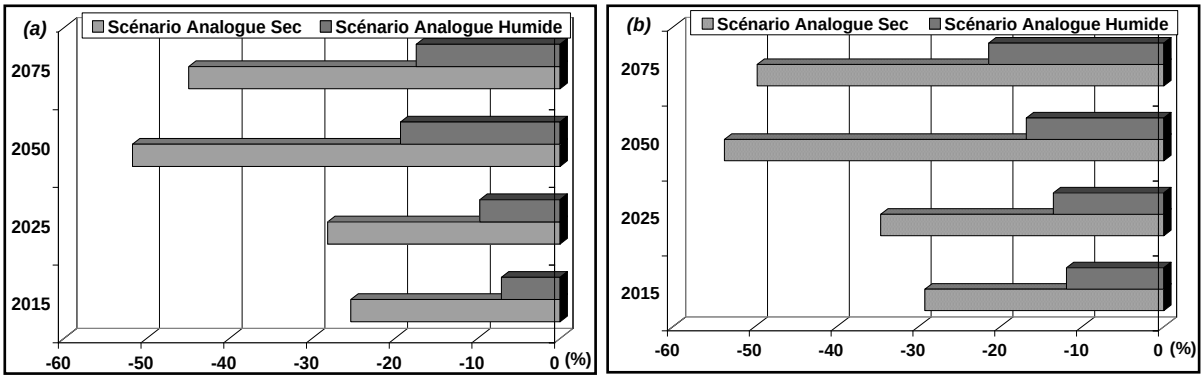



**Figure 4**. Evolution comparée (%) des écarts de rendements observés et simulés du maïs (a) et de coton (b) en fonction des SAS et SAH aux horizons futurs (2015, 2025, 2050 et 2075) dans l'Ouham

Les rendements du maïs et de coton connaîtront des baisses globales comprises entre 20 et 60% et dans le scénario analogue sec entre 8 à 25 % pour le scénario analogue humide dans l'Ouham. Ces projections obtenues sont déjà mises en évidence par les résultats des travaux de Issa (2001), de Kieft (2003) et de Ouédraogo et *al* (2010) en Afrique tropicale.

**Conclusion et recommandations**

Les cultures sont vulnérables dans les deux scénarios climatiques. Cette vulnérabilité serait accrue et plus défavorable à la production agricole, au scénario analogue sec, de part l'ampleur des baisses des rendements des cultures aux horizons temporels futurs (figure 4) :

- pour le maïs, on obtiendrait une baisse générale des rendements suite à une diminution progressive de la durée de la saison pluvieuse. Cela entraînerait une diminution également progressive de 7 à 10 jours de la durée du cycle cultural (Kieft, 2003).
- pour le coton : une baisse généralisée des rendements du cotonnier entre 2015 et 2025 sera observée et les pertes de production se situeraient entre 150 tonnes en 2025 et 350 tonnes en 2050.

Puisque, les changements climatiques sont reconnus de nos jours comme une menace sérieuse qui compromet les efforts d'un développement agricole durable (Houndenou, 1999 ; IPCC, 2001) et face à cette réalité, l'adaptation est une des mesures conseillées pour réduire la vulnérabilité des cultures (Ogouwalé, 2006), même si un certain nombre de défis et contraintes dont la pauvreté et la vulnérabilité des populations agricoles méritent d'être considérées. Celles-ci disposent de ressources limitées aux niveaux social, technologique et financier pour l'expérimentation des stratégies d'adaptation. Ainsi, pour les prochaines décennies, il faut :

- réaménager à l'aide de cahiers de suivi quotidien en météorologie paysanne, le calendrier cultural, tout en documentant les phénomènes exceptionnels qui pourraient servir d'analogues empiriques ;
- adopter les variétés qui résistent au déficit pluviométrique ;
- utiliser les variétés à cycle court dont la période d'exigence en eau peut être couverte par la période de disponibilité de réserves utiles dans les sols ;
- améliorer les pratiques culturales par une meilleure utilisation des ressources en eau, en compensant les déficits hydriques par l'irrigation ou les techniques hydro-agricoles…

Somme toute, les impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures du maïs et de coton dans l'Ouham sont de nature à exacerber l'état de précarité dans lequel se trouvent déjà les populations de cette région dont le nombre va doubler d'ici à 2050. Dans ce contexte redouté, l'Ouham connaîtrait des problèmes agroalimentaires.

**Références bibliographiques**

Boko M., 1988 : Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat d'Etat ès L. S. H. CRC, URA 909 du CNRS, Université de Bourgogne, Dijon. Volume 2, 601p.

Doukpolo, B., 2007 : Variabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest de la Centrafrique : Enjeux environnementaux. Mémoire de DEA de Géographie, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 73p.

FAO, 1978 : *Calendriers culturaux*. Rome, 57p.

Harrison, M. et Boulahya, M., 2010 : Perspectives et scénarios climatiques en Centrafrique, in « Analyse des risques climatiques en RCA », Rapport de la Banque Mondiale et de la FAO, volume II, 165 p.

Houndénou C., 1999 : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de géographie. UMR 5080, CNRS, Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, 341 p.

IPCC, 2001 : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington, 53 p.

Issa M. S., 1995 : Impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement du CO2 atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin. Mémoire de DESS. Université Senghor d'Alexandrie, 113 p.

Kembé, M., 1995 : Climat et agriculture dans l'Est de la Centrafrique. Mémoire de DEA en climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 47 p.

Kieft, H., 2003 : L'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ses effets en Afrique subsaharienne aux moyens des pratiques de gestion durable des terres. Guide d'orientation – version 1.0. 129 p

Ndjendolé S., 2001 : Contraintes pluviométriques sur les cultures annuelles en Centrafrique : l'exemple de la culture cotonnière. Thèse de doctorat en Climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 227 p.

Ogouwalé E. 2006 : Changements climatiques dans le Bénin méridional et Central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de doctorat de géographie, UAC /EDP/FLASH, 302 p.

Ouédraogo M., Dembélé Y. et Somé L., 2010 : Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. Article de recherche in Sécheresse 21(2) : pp 87-96

# Perceptions paysannes du changement climatique et ses manifestations dans le Nord-ouest Centrafricain

**BERTRAND DOUKPOLO[1-2], SYLVAIN NDJENDOLE[1] ET MICHEL BOKO[2]**

bertrandoukpolo@yahoo.fr – sndjendole@yahoo.fr – bokomichel@gmail.com

1. Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG), Guy LASSERRE. Département de Géographie, FLSH, Université de Bangui, Centrafrique

2. Laboratoire de Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Pierre PAGNEY Département de Géographie, FLASH, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

***In Actes du Colloque International sur les Défis de l'eau et l'adaptation aux changements climatiques en Afrique Bangui, Octobre 2012, pp 19-23.***

RESUME

*Les perceptions paysannes ethno-météorologiques du changement climatique dans le Nord-ouest Centrafricain constituent des savoirs locaux basés sur les expériences vécues pour expliquer et comprendre l'évolution récente du climat. Ces connaissances paysannes sur le changement climatique ont été capitalisées à l'aide des outils et techniques d'investigations socio-anthropologiques (interview, questionnaire et focus group). Les résultats obtenus montrent que plus de 80% des populations ont noté un fort rayonnement du soleil qui n'est en fait que la manière d'exprimer l'augmentation des températures. Les faits évocateurs des manifestations du changement climatique sont entre autres la réduction du nombre de jours des pluies et de la durée des saisons pluvieuses, arrivée précoce et retrait tardif de l'harmattan, la disparition des espèces animales et végétales annonçant les saisons et le bouleversement du calendrier cultural. Ces perturbations climatiques conduisent les populations paysannes à développer des stratégies endogènes pour s'adapter aux conséquences des changements constatés. Les perceptions ethno-météorologiques confrontées aux données conventionnelles observées peuvent permettre d'analyser les impacts réels de la modification du climat dans le Nord-ouest de la Centrafrique.*

MOTS CLES : Nord-Ouest centrafricain, perceptions paysannes, connaissances ethno-climatologiques, changement climatique

ABSTRACT

*Farmers' perceptions ethno-weather climate changes in the North-west of Central African local knowledge are based on experiences to explain and understand the recent climate change. These farmers' knowledge on climate change have been capitalized using the tools and techniques of socio-anthropological investigations (interview, questionnaire and focus group). The results show that over 80% of people have noted strong sunlight which is in fact the way to express higher temperatures. Facts suggestive manifestations of climate change including reducing the number of days of rain and the duration of the rainy season, early arrival and late withdrawal of the harmattan, the disappearance of animal and plant species and seasons announcing the disruption the cropping calendar. These climatic perturbations lead the peasantry to develop strategies to adapt to endogenous consequences of the observed changes. Perceptions ethno-conventional meteorological data observed face can help analyze the real impacts of climate change in the North-western of Central African.*

KEY WORDS: Northwest Central african, farmer's perceptions, climate endogenous knowledge, climate change

## 1. Introduction et problématique

Le Nord-ouest du Centrafrique est situé entre les latitudes 3°45' et 8°35' N, et les longitudes 14° 25' et 19° 00' Est. Cet espace vaste de plus de 167.000 Km² représente près de 25 % du territoire national. Il englobe les préfectures de l'Ouham, de l'Ouham-Pendé, de Nana-Mambéré, de la Mambéré-Kadéi et de l'Ombella-Mpoko (Figure 1). En effet, la plupart des peuples en Afrique tropicale sont encore tributaires de leurs climats (Afouda, 1990). La manière de s'y adapter et de se les représenter leur est propre. Les savoirs sur le temps, accumulés au fil des générations, ne sont plus partout respectés, mais, ils demeurent un héritage culturel, précieux pour la compréhension et la gestion d'un fragile équilibre entre l'homme et la nature.

Il mérite d'être reconsidéré à la lumière des changements rapides et de l'augmentation des risques climatiques, car plus que la terre, c'est le ciel qui est le déterminisme d'une bonne ou mauvaise récolte (Blanc-Pamard, 1986). Le climat reste et demeure l'un des facteurs le plus important de la production agricole (Ndjendolé, 2001).

C'est pourquoi, les modifications des paramètres climatiques intéressent et inquiètent les communautés paysannes. Les informations livresques, diffusées de bouches à oreilles font état de ce que les populations paysannes détiennent des connaissances qui témoignent de la forte relation qui existe entre le climat et les activités agricoles (Boko et Pérard, 1997). Ces connaissances sont transmises à travers des adages et chansons qui reflètent clairement l'importance que le temps et le climat ont pour les activités agricoles et la vie sociale.

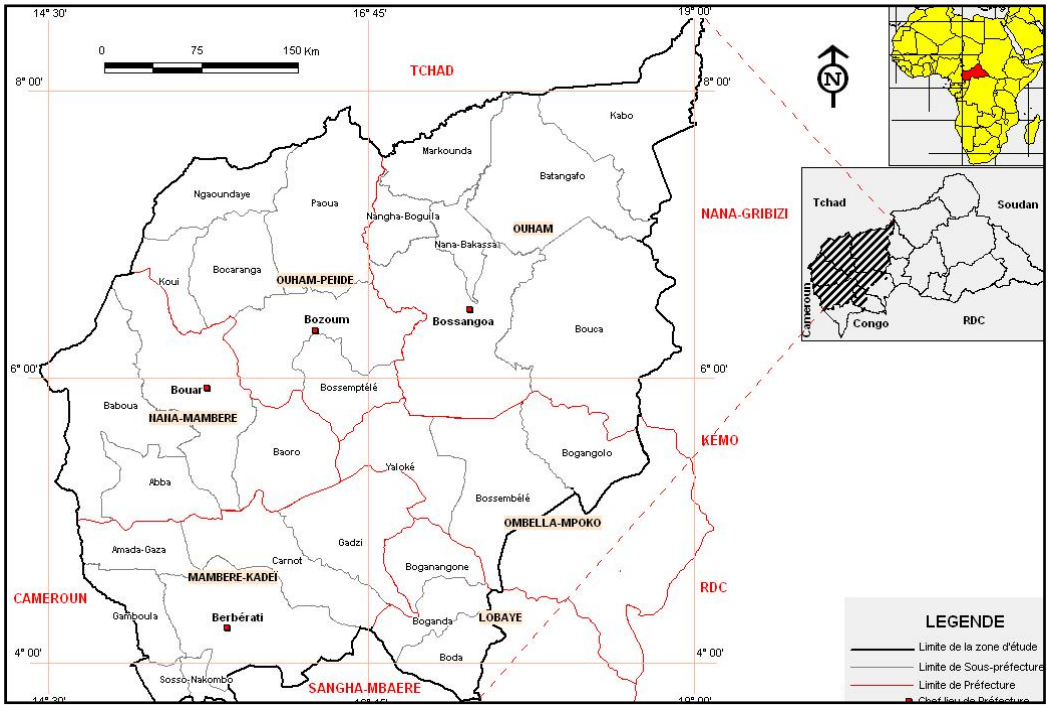



**Figure 1** : *Localisation de la zone d'étude*

Dans un contexte de tradition fondée sur l'oralité, il n'existe aucun compendium relatant et conservant ces mines d'informations sur les connaissances paysannes de la dynamique du climat dans le Nord-ouest du pays (Doukpolo *et al.*, 2012). Et on peut se poser la question de savoir si les populations disposent véritablement des connaissances sur les indicateurs de l'évolution du climat. Autrement dit, quels sont les faits écologiques qui témoignent de la dynamique du climat dans le Nord-ouest du pays? Mieux, quel est le changement d'état enregistré au niveau des paramètres pluviométriques et thermiques au point d'être un marqueur de l'évolution du climat pour les populations paysannes ?

## 2- Démarche méthodologique

La Méthode des Itinéraires (MI) a permis d'identifier 95 acteurs ruraux, paysans et personnes ressources communautaires, ayant une bonne connaissance des faits climatiques et qui en détiennent la mémoire à travers les canaux informationnels traditionnels. Cette technique a également été utilisée pour collecter des informations relatives aux perceptions et connaissances paysannes sur l'évolution du climat. Elle part de l'hypothèse que les populations ont au fil du temps acquis des connaissances en fonction de leur perception de la dynamique du climat. La tendance évolutive des paramètres climatiques (températures et précipitations inter annuelles, saisons et nombre de jours pluvieux) a été déterminée sur les séries chronologiques de 1951-2010. L'ajustement linéaire des tendances observées est effectué en tenant compte de certains paramètres de précision comme l'erreur moyenne relative exprimé en pourcentage.

## 3- Résultats et discussion

Les perceptions socio-anthropologiques portent sur les modifications de la géographie de certaines espèces animales et végétales, la perturbation des régimes des cours d'eau, la spontanéité des crues, l'augmentation des températures, la réduction du nombre de jours pluvieux, etc.

### 3.1- Modification des régimes hydrologiques et identificateurs écologiques de l'évolution du climat

Les débits des cours d'eau comme la *Pendé* à Bocaranga, la *Koumi et la Fafa* à Bouca, *Mambéré* à Bouar se sont réduits de 16 à 22 % au cours des trois dernières décennies (Azouka, 2012). Cette réduction visible des volumes d'eau traduit l'évolution du climat pour les populations. Selon 71 % des personnes enquêtées, les abords des principaux cours d'eau ne permettent plus de pratiquer les cultures maraîchères et de contre-saison comme par le passé. Par ailleurs, la multiplication des forages des puits traditionnels est devenue inévitable pour s'approvisionner en eau, car la plupart des sources tarissent vite. Pour atténuer les

problèmes d'approvisionnement en eau, les femmes participent au forage des puits traditionnels, activité exclusive aux hommes et l'instar de ce qui se passe sur les terroirs dahoméens (Ogouwalé, 2011).

Pour 80 % des enquêtés, la sécheresse est annoncée par la floraison de quelques arbres comme : Ogbira[1] (*Erythrina senegalensis*), Korowè (*Spathodea campanulata*), Gbèryé (*Combretum racemosum*), Djébéré (*Calotropis procera*), zèné (*Uvaria picta*). Mais, depuis deux décennies, des modifications apparaissent : les espèces peuvent fleurir sans que la sécheresse ne se réalise. Le contraire est aussi souvent remarqué. Dans ce cas, les espèces citées ne fleurissent point avant que la sécheresse ne s'installe.

L'apparition des oiseaux est aussi un signe annonciateur d'une saison sèche souvent rude : c'est le cas des tourterelles à cou cendré (*Golgotto*) et des hérons blancs. Il en est de même des hiboux et chouettes qui apparaissent au mois de novembre, hululent à partir de 23 heures. Pour les tisserins, la présence de leurs nids en hauteur dans un bas-fond signale que la prochaine saison sèche sera catastrophique (61 % des enquêtés). De nos jours, ces signaux ne prévoient plus les saisons selon 69 % des populations enquêtées. Pour les paysans, une telle situation découle de l'évolution du climat, l'abattage de certaines espèces et la colère des dieux en raison du non respect des interdits sociaux.

Les investigations en milieu réel ont montré qu'il y a diminution des eaux pluviales. Cet amenuisement explique la disparition des marigots, des rivières et la réduction des périodes de crues. Certains cours d'eaux, par le passé pendant certaines périodes de l'année, du fait de l'ampleur des crues, coupaient les pistes et empêchaient l'accès aux champs. Ces genres de crues ne surviennent plus ou du moins surviennent rarement aujourd'hui, selon 84 % des personnes interrogées.

### 3.3. Baisse des totaux pluviométriques et tendance perceptible au réchauffement

91 % des paysans pensent que la pluviométrie a diminué de nos jours (2010) contre 6 % en 1951. Par contre, pour 80 % des paysans de la zone d'étude, la pluviométrie était normale en 1951 jusqu'en 1980 contre moins de 2 % actuellement (Figure 2a). Selon les données météorologiques, la tendance pluviométrique est régressive et évolue vers une aridification. Les hauteurs d'eau ont baissé de 17,4% entre 1951 et 2010.

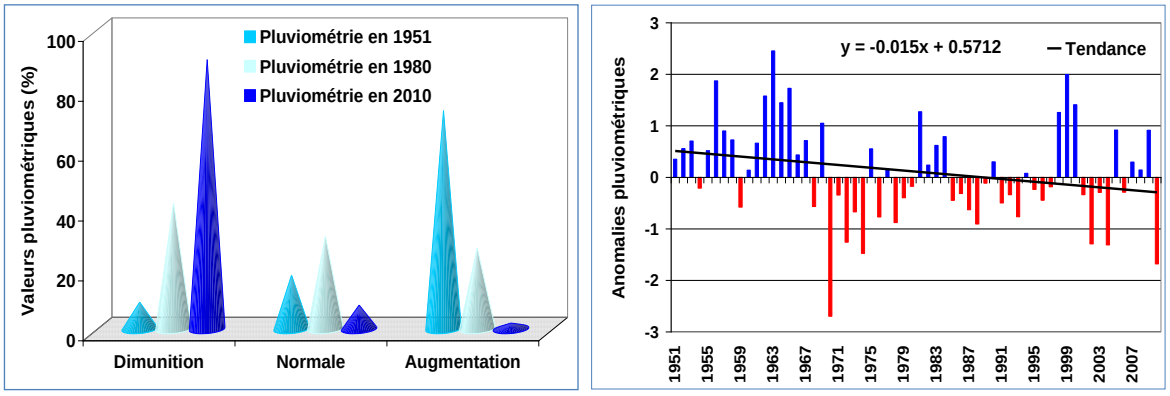



**Figure 2** : *Perceptions paysannes de l'évolution des précipitations de la zone d'étude (a). Tendance pluviométrique moyenne des stations météorologiques dans le Nord-ouest de la Centrafrique (b)*

Environ 83 % des paysans pensent qu'en 1951, l'intensité de la température était faible contre 19 % 30 ans après et 2% en 2010. Par contre, plus de 40 % des paysans considèrent que cette intensité a augmenté contre 0 % de répondants 60 ans avant (Figure 3a).

L'analyse de la figure 3b révèle une tendance évolutive au réchauffement du climat dans la zone d'étude entre 1951 et 2010. On y note une allure globalement linéaire avec un taux de croissance de 0,03°C par an et une différence de 1,9°C entre 1951 et 210 (26,2 °C à 28,3 °C).

[1] Noms vernaculaires *(Gbaya de Bouca)*

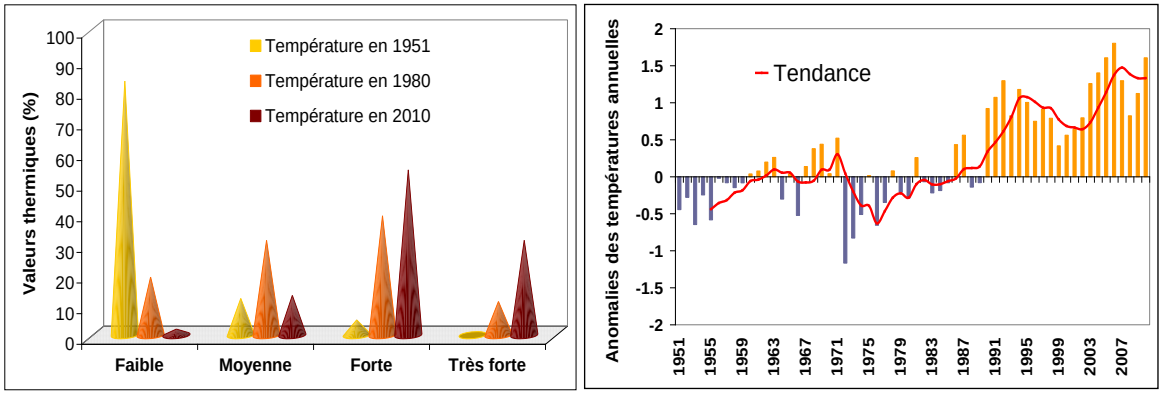



**Figure 3** : *Perceptions paysannes de l'évolution de la température de la zone d'étude (a). Tendance thermométrique moyenne des stations météorologiques dans le Nord-ouest de la Centrafrique (b)*

Depuis quelques décennies, l'insolation est si forte qu'elle ne facilite plus l'exercice des activités agricoles. Cela est un indicateur de l'évolution du climat. 79 % de la population affirment que les 30 dernières années ont été marquées par une mauvaise répartition des pluies, et par une réduction du nombre de jours pluvieux. La saison des pluies commence tard et prend vite fin.

Le flétrissement des plantes cultivées dans les champs au cours des périodes pluvieuses est exhibé (*ngángá* ou récession pluviométrique), entre autres, par les paysans comme la conséquence d'une forte et persistante chaleur au cours de l'année. Le soleil communément appelé *wéssé* signifie quelque chose qui éclaire et chauffe. Pour les paysans, le soleil donne la clarté et permet de travailler aux champs. Il permet aussi de sécher les récoltes en vue d'une bonne conservation.

Les arbres, qui sont aux alentours des maisons, sont pris d'assaut par la population qui se repose sous leur ombrage afin de se soulager des fortes températures ressenties. La chaleur qui était seulement caractéristique de la saison sèche, est aujourd'hui fortement ressentie, même en période de pluie, surtout après la formation des nuages qui ne sont pas suivis de pluies. Les temps sont de plus en plus chauds selon 69 % des enquêtés.

### 3.3- Allongement de la durée des saisons sèches et fréquence des événements extrêmes

Environ 69 % des paysans pensent que les saisons étaient normales en 1951 contre 28 % en 210 et 44 % disent qu'elles sont réduites actuellement contre 0 % il y a 60 ans. L'un des repères du démarrage de la saison agricole est la pluie de février-mars appelée « *coroyifö* ». Mais de nos jours, cet indicateur n'est plus fiable du fait de la persistance et de l'allongement de la durée de la saison sèche. Il en résulte une perturbation du calendrier agricole et une baisse des rendements agricoles selon 76 % des paysans enquêtés. Depuis les années 1980, les événements climatiques extrêmes sont devenus plus fréquents selon 77 % des enquêtés. Les populations paysannes ont encore souvenance des années de fortes inondations telles que 1962, 1963, 1968, 1999, 2009, etc. et les années de fortes sécheresses comme 1971, 1976, 1977, 1983, 2005, etc. Les révélations d'un vieil homme Dagba dans la commune de Ngatoua à Bouca à propos des événements extrêmes sont évocatrices : « *Tout laisse croire que d'une année à l'autre, le climat devient plus inconfortable. Les inondations et les sécheresses apparaissent presque tous les trois ou cinq ans. Est-ce une malédiction de nos ancêtres ou une punition divine ?, Que deviendra la vie de demain ?*» (Source orale, mai 2010).

### 3.4- Autres indicateurs de l'interprétation populaire du changement climatique

Dans l'Ouham Pendé, l'Ouham et la Nana-Gribizi, 61 % des enquêtés ont reconnu l'installation précoce de l'harmattan depuis les vingt dernières décennies. Quant à son retrait tardif, il a été affirmé par 70 % des enquêtés. Pour la plupart des personnes qui savent un peu de l'harmattan en Centrafrique, la rigueur de l'harmattan est presque identique à ce qui caractérise le climat typiquement soudanien-sahélien.

Plusieurs éléments ou faits astrophysiques aident les paysans dans la zone d'étude dans l'exercice de leur profession agricole. Parmi ces éléments, il faut retenir :

- la **lune**, désignée sous le nom de *zè*, signifie quelque chose qui éclaire la nuit mais ne chauffe pas. Elle permet de prévoir une bonne saison agricole lorsqu'elle apparaît de façon inclinée vers l'est. Par

contre, elle annonce une mauvaise saison agricole lorsque sa position est orientée à l'ouest. Depuis quelques décennies, ce signe s'est révélé inefficace pour 86 % de la population paysanne investiguée et ne permet plus de prendre des décisions ;

- le **vent**, localement appelé *boù*, signifie air en déplacement. Il permet de prévoir la sécheresse ou l'excès pluviométrique grâce à sa direction. Par exemple, lorsque le vent est dirigé de l'est vers l'ouest à l'approche de la saison pluvieuse, il y aura une sécheresse. Par contre, une direction ouest-est en ce même moment permet de prévoir un excès pluviométrique. De nos jours, cet indicateur ne permet plus aux paysans de programmer les activités agricoles ;
- le **tonnerre**, appelé *foundakoro*, signifie bruit de la pluie. Il marque la fin d'une pluie ou l'annonce. De nos jours, le tonnerre peut gronder pendant plusieurs heures sans aucune goutte de pluie. Ceci témoigne d'une évolution du climat pour 81 % des paysans enquêtés ;
- les **nuages**, *yîkoro*, signifient eau en suspension. Ils permettent de prévoir les pluies. Lorsqu'ils se condensent à l'est, le paysan a la certitude qu'il va pleuvoir. Mais depuis les décennies 1960, des changements sont intervenus au point où personne ne peut prévoir une probable pluie rien qu'en tenant compte des manifestations des nuages.

## 4. Conclusions et recommandations

Les paysans évoquent certains faits contemporains témoins du changement climatique et ont des connaissances qui attestent de l'évolution du climat et de son lien avec les activités agricoles. Ils détiennent des adages et chansons qui reflètent clairement la dépendance de l'agriculture au climat. Dans cette étude, il aurait été intéressant d'approfondir les résultats issus des données socio-anthropologiques en les confrontant à ceux des données conventionnelles pour apprécier leur poids dans la validation d'arguments scientifiques. Un tel exercice permettrait de savoir le degré de confiance à accorder aux savoirs climatiques paysans. Les populations ne disposent à leur actif d'aucun instrument de mesure. Elles ont des perceptions relativistes et conjoncturelles. Toutefois, les connaissances qu'elles détiennent sur les faits climatiques, combien subjectives et qualitatives, peuvent aider à valider les analyses scientifiques. La prévision des manifestations climatiques demeure indispensable pour l'exercice des activités agricoles. Le paysan est confronté aux faux départs pluviométriques de la saison culturale, qui sont préjudiciables au semis et à la mise en place du système végétatif. Des mesures proactives sont plus que tout nécessaires.

## 5. Références bibliographiques


Afouda F. (1990) : *L'eau et cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu de la savane africaine.* Thèse de doctorat. Paris IV-Sorbonne, 428 pages.

Azouka J.B. (2012) : Variabilités de pluie et débit dans le bassin-versant de l'Ouham à Batangafo (1950-1995), Mémoire de Maîtrise de géographie physique, Département de géographie, Université de Bangui, 104 pages.

Blanc-Pamard, C. (1986) : Dialoguer avec le paysage ou comment l'espace écologique est vu et pratiqué par les communautés rurales des hautes terres malgaches. *In Chatelin, Y. ; Riou, G. (ed.). Milieux et paysages.* Paris : Masson, p. 17-34.

Boko M. ; Perard J. (1997) : Rythmes climatiques et météorologie populaire au nord du Bénin. *In* LAMARRE *D. (dir.). Les risques liés au climat,* Editions Universitaires de Dijon, p. 77-86.

Doukpolo B. (2007): *Variabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest Centrafricain : Enjeux environnementaux.* Mémoire de DEA de Géographie, UAC, 73 pages.

Doukpolo B., Ogouwalé E., Ndjendolé S. et Boko M., 2012. *Impacts potentiels des changements climatiques sur les cultures du maïs et du coton et stratégies d'adaptation dans l'Ouham en Centrafrique*. Publication de l'Association Internationale de Climatologie. XXVe Colloque. pp. 243-248.

Ndjendolé S. (2001) : *Contraintes pluviométriques sur les cultures annuelles en Centrafrique : l'exemple de la culture cotonnière.* Thèse de doctorat en Climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 227 pages.

Ogouwalé E. et al. 2011 : *Modèle ethnoclimatique et portrait des paramètres climatiques à partir des données climatologiques officielles dans le département du Plateau au Bénin* (Afrique de l'ouest) : quels liens et quels enseignements ?

Perard J. (1997) : Risques climatiques et espace vécu dans le domaine intertropical, *In Dubreuil, V.; Marchand J.P. Le climat, l'eau et les hommes.* Rennes : P.U.R, pp. 105-111.

# Péjoration climatique et adaptation des pratiques culturales à Bossembélé, République Centrafricaine

**BERTRAND DOUKPOLO ET CYRIAQUE-RUFIN NGUIMALET**

bertrandoukpolo@yahoo.fr[1-2], cyrufinnguimalet@ymail.com[1]

1. Laboratoire de Climatologie, de Cartographie et d'Etudes Géographiques (LACCEG) : Guy LASSERRE
Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines (FLSH), Université de Bangui,
BP 1037, Bangui, République Centrafricaine

2. Laboratoire de Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) : Pierre PAGNEY
Département de Géographie et d'Aménagement du Territoire, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH),
Université d'Abomey-Calavi, BP 536, Cotonou, République du Bénin

- ***In Actes du Colloque International sur les Défis de l'eau et l'adaptation aux changements climatiques en Afrique, Bangui, Octobre 2012, pp 33-37***
- **A paraître dans *le Journal of Environmental Science and Engineering A (ISSN 1934-8932, USA) de David Publishing Company located at 9460 Telstar Ave Suite 5, EL Monte, CA 91731, USA. Volume 1, numéro 6, juin 2013***

RESUME

*Ce travail analyse de manière couplée la variabilité climatique et les faits porteurs de l'adaptation des pratiques culturales à Bossembélé, localité située dans le Centre-ouest du Centrafrique. Les agrosystèmes de la zone d'étude sont soumis aux effets des fluctuations du climat, se traduisant par les températures maximales récurrentes (30,5 à 34,9°C), la sévérité des sécheresses, le raccourcissement, la réduction et la mauvaise répartition des pluies. Des pertes consécutives à ces phénomènes caractérisent la production agricole, et posent le problème crucial de sécurité alimentaire, de l'efficacité des stratégies d'adaptation des techniques agricoles et de la vulnérabilité des communautés paysannes. Les données pluviométriques et thermiques à divers pas de temps ont été utilisées pour déterminer les rythmes et les tendances climatiques. Les tests de tendance de Mann-Kendall et de Spearman ont montré un seuil de significativité respectivement à 97 % et 98 % ; le cycle interannuel des pluies est caractérisé par des séquences sèches dominantes. La méthode des Itinéraires et le focus group ont permis d'appréhender les perceptions locales de la dynamique du climat et de répertorier les formes d'adaptation des pratiques culturales (rotations culturales, adaptation variétale ; utilisation des techniques de conservation des eaux et sols, et de la fumure organique ; modification des dates de semis et mise en valeur des bas-fonds) au regard de leurs capacités actuelles et potentielles à réduire durablement les impacts de la variabilité et du changement climatiques.*

MOTS CLES : Bossembélé, variabilité climatique, vulnérabilité agricole, adaptation, pratiques culturales

ABSTRACT

*This study analyzes the coupled climate variability and facts bearing adapting farming practices to Bossembélé, a town in central-western CAR. Agroecosystems of the study area are subject to the effects of climate fluctuations, resulting in maximum temperatures recurrent (30.5 to 34.9°C), severe drought, shortening, reduction and poor distribution of rainfall. Losses resulting from these phenomena characterize agricultural production and raise the crucial issue of food security, the effectiveness of the coping strategies of agricultural techniques and the vulnerability of farming communities. Rainfall data and temperature at various time steps were used to determine patterns and climate trends. The trend tests Mann-Kendall and Spearman showed a level of significance respectively at 97% and 98% interannual rainfall cycle is characterized by dominant sequences dry. The method routes and focus group helped to understand local perceptions of climate dynamics and identify ways of adapting farming practices (crop rotation, varietal adaptation, using the techniques of water and soil conservation, and organic manure, changing planting dates and development of lowlands) in relation to their current and potential capacities to sustainably reduce the impacts of climate variability and change.*

KEY WORDS: Bossembélé, climate variability, agricultural vulnerability, adaptation, cultural practices

## 1. Introduction et problématique

Les impacts vécus ou attendus de la variabilité et du changement climatiques sont des défis énormes pour un développement agricole durable en Afrique. C'est dans ce contexte que les questions de modifications et de fluctuations climatiques préoccupent de plus en plus les scientifiques, les décideurs politiques et les acteurs ruraux, en raison de l'affectation durable des agrosystèmes tropicaux (GIEC, 2007 ; Kouassi et *al.*, 2010). Le cycle de l'eau étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de sa perturbation sur les régimes pluviométriques sont notables pour l'agriculture pluviale et la sécurité alimentaire, secteurs vulnérables mais vitaux de l'économie de la plupart des pays en développement.

En effet, la variabilité climatique en Afrique tropicale, notamment en Centrafrique a été largement étudiée et caractérisée par nombre d'auteurs (Bakam, 1996 ; Paturel *et al.*, 1997 ; Bigot, 1997 ; Bomba, 1999 ; Ndjendolé, 2001 ; Doukpolo, 2007). Les anomalies pluviométriques constatées depuis plus de cinq décennies montrent des déficits accrus de 19 à 31%, lesquels ont eu des répercussions notables sur les pratiques culturales avec un niveau de vulnérabilité très perceptible à Bossembélé. Cette localité est un des principaux bassins écologiques à réputation agropastorale du, situé entre les latitudes 5° et 6° nord (Figure 1). Cette situation de forte variabilité du climat contraint les populations paysannes à s'y adapter, en développant des pratiques culturales plus améliorées afin de réduire leurs sensibilités aux effets des perturbations bioclimatiques.

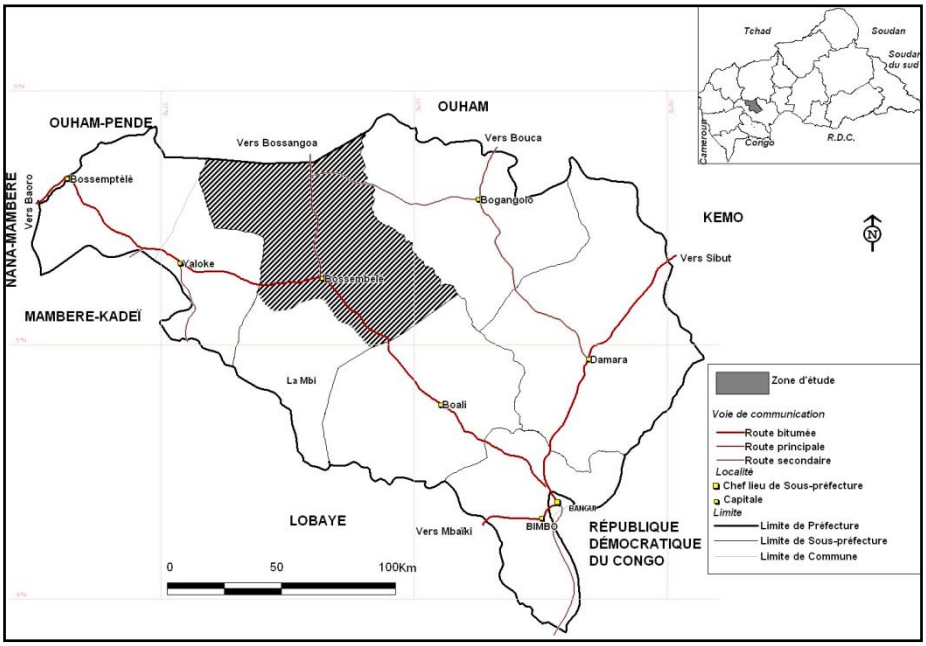



**Figure 1** : *Localisation de la zone d'étude*

## 2. Données et méthodes

Les données pluviométriques et thermiques sur la période de 1951 à 2000, fournies par la Direction de la Météorologie Nationale, ont été d'abord utilisées. Celles-ci ont été assez homogènes et représentatives de la zone d'étude. Ensuite, les données issues des investigations socio-agricoles sur l'adaptation des pratiques culturales ont été collectées par questionnaire et traitées à l'aide du logiciel SPSS v.17, afin d'extraire et de capitaliser les informatiques sous forme numérique.

Pour les données pluviothermiques, les statistiques descriptives (moyennes, totaux, écart-type, cumuls, indices, etc.) ont été calculées. L'indice pluviométrique a été aussi calculé pour apprécier l'évolution de la pluie sur la période d'étude, en tenant compte des périodes/années excédentaires et déficitaires simultanément. L'indice de la pluie interannuelle a été déterminé et se définit comme une variable centrée réduite et exprimée par l'équation :

$$\lambda = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Afin de valider les occurrences cinquantenales de la norme météorologique, le calcul des normales pluviométriques qui sont des moyennes glissantes de 30 ans, se succédant les unes aux autres tous les 10 ans a été effectuée. Pour l'analyse de la dynamique des régimes pluviométriques saisonniers, une comparaison des normales 1951-1980 et 1971-2000 a été effectuée.

Le test de stationnarité a été fait par la procédure de segmentation qui fournit au moyen d'un algorithme spécifique une ou plusieurs dates de rupture (Figure 2b) séparant les segments contigus dont les moyennes sont significativement différentes (Hubert et *al.*, 1998). Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à deux, l'hypothèse de stationnarité de la série est acceptée. Les résultats obtenus sont définis par rapport au nombre de segments. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir rechercher des changements multiples de moyenne dans une série météorologique (Paturel et *al.*, 1997).

Les tests de corrélation de rang de Spearman et de tendance de Mann-Kendall ont été utilisés, pour l'appréciation de la significativité des tendances temporelles des différents paramètres considérés dans cette étude. Ainsi, Spearman a testé la présence de dépendance en comparant, grâce au coefficient de corrélation, l'ordre de l'échantillon recueilli avec celui issu d'une procédure de tri (Kouassi et *al.*, 2010).

Ainsi, à chaque observation x*i*, ..., x*n*, sont associés son rang *i* dans l'échantillon observé et son rang R*i* dans l'échantillon ordonné. L'expression mathématique de ce coefficient est :

$$\rho_s = \frac{Cov(R_i, i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} R_i \cdot \sum_{i=1}^{n} i}} = 1 \quad \frac{6 \sum_{i=1}^{n} (Ri \quad i)^2}{n(n^2 \quad 1)}$$

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Rythmes et tendances pluviométriques

#### *3.1.1. Régime pluviométrique actuel de Bossembélé : vers une baisse significative de la pluviosité*

Les précipitations mensuelles totales sont illustrées à la figure 2a sur laquelle le déplacement latitudinal saisonnier de la ceinture de précipitations est clairement tracé. La pointe de la saison des pluies est atteinte en août avec plus de 280mm enregistrés. La période sèche se concentre autour de décembre à février, mois pendant lesquels quelques millimètres (1 à 10mm) sont reçus.

Quelques ruptures de stationnarité dans les séries pluviométriques entre 1965 et 1973 ont été notées (Figure 2b), lesquelles correspondent à une diminution de la pluviosité. La figure 2a présente trois normales pluviométriques unimodales : la première de 1951 à 1980 commence par une décennie (1951-1960) très arrosée en général, suivie d'une décennie normale (1961-1970) et se termine par une décennie sèche (1971-1980). La deuxième 1961-1990 est caractérisée par l'existence de deux décennies sèches (1971-1990). La troisième normale est 1971-2000. Cette période a la particularité de contenir les séquences de sécheresse intense de la période 1968-1972 et 1982-1983. Les différentes normales pluviométriques (1951-1980, 1961-1990 et 1971-2000) ont baissé d'amplitude comme le montre bien les anomalies sur la figure 3a

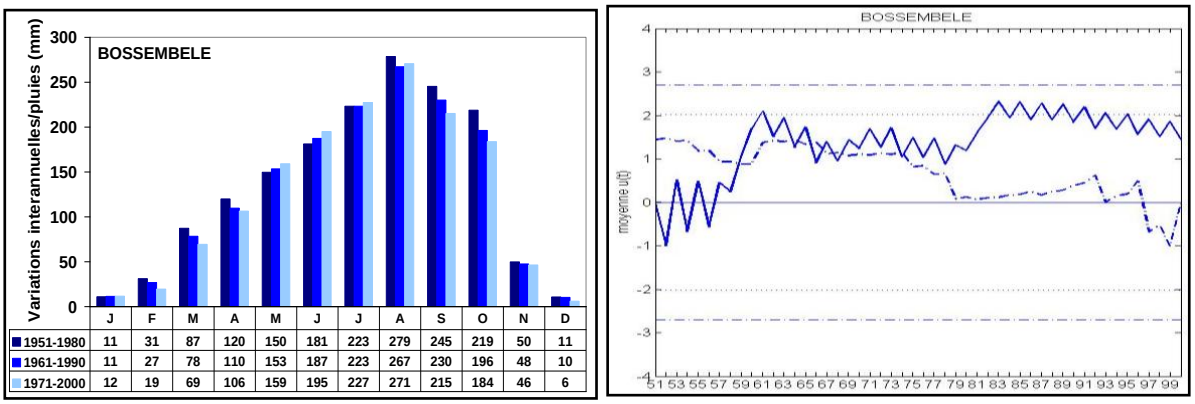



**Figure 2** : *Variations interannuelles des régimes pluviométriques (a) et rupture de stationnarité (b) dans la série chronologique de 1951 à 2000*

#### *3.1.2. Anomalies et tendance des précipitations annuelles à Bossembélé*

Les cumuls de hauteurs pluviométriques ont connu des changements. Cette situation s'est accompagnée d'une modification de la durée des saisons pluvieuses. En effet, le début des saisons de pluie a accusé un retard dont la durée reste variable d'une année à l'autre et une fin précoce. Une tendance au raccourcissement des saisons des pluies et à l'allongement de la période sèche est mise en exergue à Bossembélé.

Les travaux de Houndenou et Hernandez (1998), de Paturel et *al.* (1997), de Sultan et *al.* (2004) et de Nguimalet (2010) ont abouti à la même conclusion au cours des études similaires sur la variabilité hydro-pluviométrique en Afrique tropicale. La figure 3*a* et *b* permet de constater que Bossembélé est marqué par une forte variabilité pluviométrique sous la forme d'une alternance d'années déficitaires (sèches) et excédentaires (humides). Un regroupement par classe de ces années montre que :

- 41,9 % des années ont été déficitaires et se sont succédées quasi-régulièrement sur la normale 1961-1990 ;
- 33,7 % des années ont été normales ;
- 24,4 % des années ont été excédentaires et s'identifiant sur les extrêmes de la série chronologique, notamment les décennies 50 et 90.

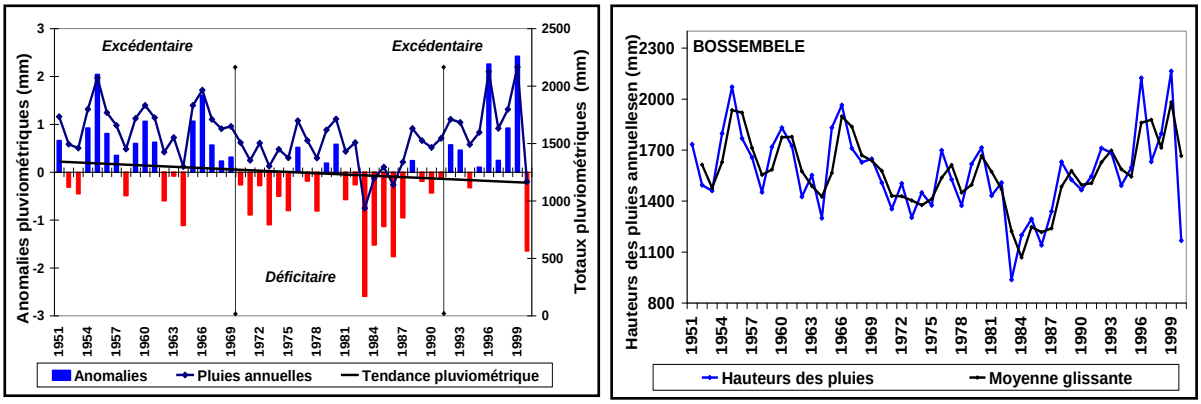



**Figure 3** : *Tendance (a) et variations interannuelles (b) des totaux pluviométriques à Bossembélé de 1951 à 2000*

### 3.2. Fluctuations et tendances thermométriques

#### *3.2.1. Un réchauffement perceptible à Bossembélé*

Les tendances thermométriques minimales et maximales annuelles observées montrent un réchauffement constant. Les températures minimale (allant de 17,8 °C à 22,1 °C) et maximale (de 30,8°C à 34,9°C) sont en hausse (figure 4). Cette augmentation, qui est due au fort rayonnement solaire déploré par la population paysanne, se traduit par une chaleur constante dans les habitations.

La fréquence des jours chauds passe du simple à plus du double dans les années sèches, tandis que le nombre de nuits chaudes pourrait passer du simple au triple. Les jours secs ont tendance à être plus chauds que les jours pluvieux. La contrainte thermique due à la chaleur est plus importante que celle liée au froid, car les minimas thermiques, toujours constants, ne tombent pas en dessous de 15 °C.

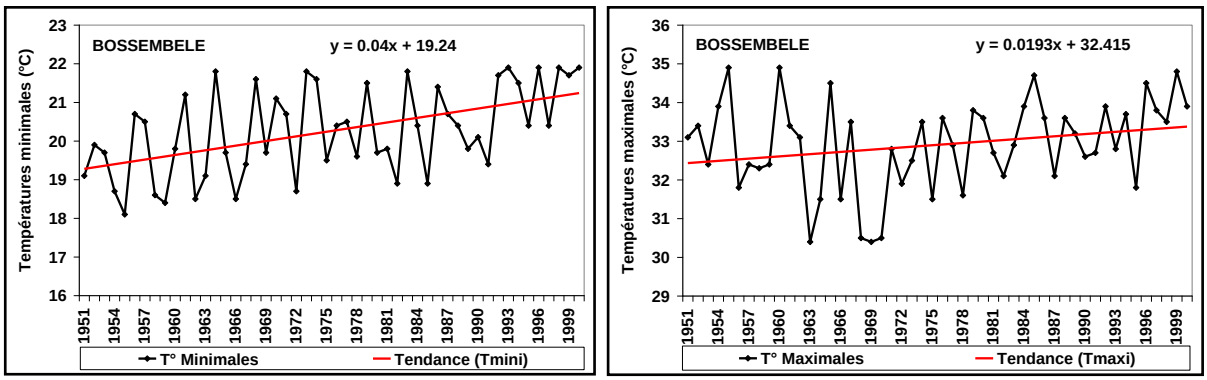



**Figure 4** : *Evolution interannuelle des températures minimales et maximales à Bossembélé de 1951 à 2000*

#### *3.1.2. Anomalies et tendance des températures annuelles à Bossembélé*

Il fait de plus en plus chaud sur l'ensemble du dôme qui environne Bossembélé depuis 1983 (Figure 5a). Cette tendance s'est accentuée à partir des années 1990 avec des températures supérieures à 26,8 °C en moyenne. Les plus fortes valeurs s'observent vers la fin de cette décennie et ne semblent se maintenir. Un tel réchauffement du climat détermine l'augmentation quasi-continue des anomalies thermométriques positives depuis les années 1980 (Figure 5b). La magnitude des anomalies des températures moyennes annuelles est de -1,8 °C à +2,1 °C à Bossembélé.

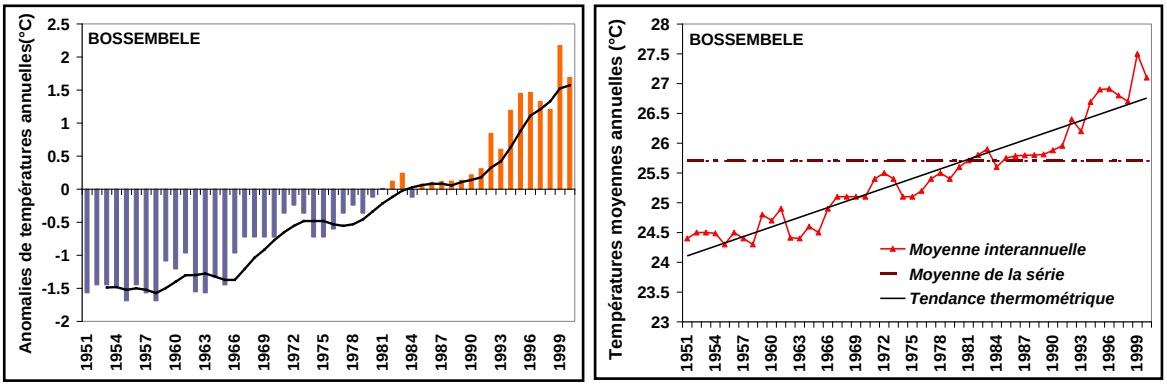



**Figure 3** : *Indices (a) et tendances (b) des températures moyennes annuelles à Bossembélé de 1951 à 2000*

### 3.3. Adaptation des pratiques culturales à Bossembélé

À partir d'enquêtes auprès de 85 exploitations agricoles, cette étude a montré que les paysans sont très vulnérables aux conséquences de la variabilité climatique. Celle-ci se traduit par une diminution et une irrégularité croissante des pluies, un dérèglement de la saison sèche, une plus grande fréquence de poches de sécheresse, etc. En réponse à ces perturbations, les agriculteurs ont adopté des stratégies d'adaptation dont les plus répandues sont : les rotations culturales, l'adaptation variétale, la modification des dates de semis, la mise en valeur des bas-fonds, les techniques de conservation des eaux et des sols, la jachère et l'agroforesterie.

*3.3.1. Rotations culturales*

Les rotations culturales sont pratiquées par 89 % des agriculteurs enquêtés. L'ordre de rotation vise à permettre aux cultures de bénéficier des arrières effets des fertilisants organiques (détritus) et de lutter contre certains adventices. Les types de successions culturales sont dominés à 71 % par l'ordre de succession « manioc-maïs-arachide-manioc».

*3.3.2. Utilisation de la fumure organique*

39,7 % des agriculteurs disposent de fosses fumières compostières) fonctionnelles. 80 % des groupements d'intérêts ruraux possèdent des ruminants pour les opérations de labour et de fertilisation des champs par l'attelage très pratiquées à au village Bogbaloko.

*3.3.3. Pratiques de la jachère et de l'agroforesterie*

La jachère est assez courante chez 67,4 % des paysans agricoles. Ils l'expliquent par le manque de terres disponibles pour les cultures. Les agriculteurs sont conscients de l'importance de la jachère dans la réhabilitation des sols. L'agroforesterie n'est pas fortement répandue chez les agriculteurs. La plupart d'entre eux sont persuadés de l'importance de cette pratique, mais en réalité, opèrent d'autres choix. La raison évoquée est la tenure du foncier.

## 4. Conclusion et recommandations

Variabilité et crises agroclimatiques des années 1951 à 2000 ont eu d'énormes répercussions sur les pratiques culturales à Bossembélé. Elles ont conduit les paysans à développer des stratégies d'adaptation pour y faire face de façon durable. Bien qu'efficaces, les types d'adaptation mises en œuvre sont limités par des contraintes matérielles, financières et techniques et surtout d'accès à l'information. Les capacités d'adaptation paysannes nécessitent d'être renforcées par des ajustements publics planifiés et des initiatives privées.

**Références bibliographiques**


Bakam V., 1996 : Variabilité et fluctuations pluviométriques en Afrique Centrale. Recueil des données pluviométriques mensuelles. Thèse de doctorat, Université de Lille, 643 pages.

Bigot S., 1997 : Précipitations et convection profonde en Afrique centrale. Cycle saisonnier. Variabilité interannuelle et impact sur la végétation. Thèse de doctorat de Géographie, spécialité Climatologie, CRC, Université de Bourgogne, 186 pages.

Bomba J.C., 1999 : Rythmes climatiques et rythmes pathologiques en Centrafrique. Thèse de doctorat Climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 175 pages.

Doukpolo, B. (2007): Variabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest Centrafricain : Enjeux environnementaux. Mémoire de DEA de Géographie, UAC, 73 pages.

GIEC: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 996 pages.

Kouassi A.M., Kouamé K.F., Goula B.T.A., Lasm T., Paturel J.E., Biémi J., 2008, « Influence de la variabilité climatique et de la modification de l'occupation du sol sur la relation pluie-débit à partir d'une modélisation globale du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire », *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, vol. 11, 207-229.

Houndenou C., Hernandez K., 1998. Modification de la saison pluvieuse dans l'Atacora (1961-1990) : un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique Occidentale). Sécheresse, 9, pp. 23-34.

Hubert P., Servat E., Paturel J.E., Kouamé B., Bendjoudi H., Carbonnel J.P., Lubès-Niel H., 1998, « La procédure de segmentation, dix ans après », IAHS Publication, vol. 252, 267-273.

Ndjendolé S., 2001 : Contraintes pluviométriques sur les cultures annuelles en Centrafrique : l'exemple de la culture cotonnière. Thèse de doctorat en Climatologie, CRC Dijon, Université de Bourgogne, 227 pages.

Nguimalet C-R, 2010: Climate Change Perceptions & Local Coping Strategies of Water Management: Comparative Analysis of Kenya and CAR Catchments, in des Actes du colloque de Dakar, Hôtel le Méridien, 17 pages (diapos)

Paturel J.E., Servat E., Kouamé B., Lubès-Niel H., Ouedraogo M., Masson J.M., 1997 : Climatic variability in humid Africa along the Gulfe of Guinea. Part two: an integrated regional approach, Journal de l' Hydrologie, vol. 191, 16-36.

Sultan B., Baron C., Dingkuhn M., Janicot S., 2004. La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière, 2ème partie : Applications à la sensibilité des rendements agricoles au Sahel. Sécheresse, in Press.

# Modélisation du climat actuel et futur dans l'Ouest de la Centrafrique

**BERTRAND DOUKPOLO ET ANDRE F. KAMGA**

bertrandoukpolo@yahoo.fr[1-2], akamgaf@yahoo.com[2]

1. Laboratoire de Climats, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) : Pierre PAGNEY, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Université d'Abomey-Calavi, BP 536, Cotonou, République du Bénin

2. Centre Africain pour les Applications de la Météorologie au Développement (ACMAD), Département « Climat et Environnement », 85, Avenue des ministères, BP 13184 Niamey (Niger)

***In Actes du Colloque International sur* « Faire-Face ensemble aux changements climatiques en Afrique »,**
***Projet IRIACC-FACE : climat, analyse & application***
***et communication 7-9 novembre 2012, Niamey, pp 11-20.***

RESUME

*Le climat actuel dans l'Ouest de la Centrafrique est caractérisé à partir des simulations de l'évolution de la température moyenne de l'air et des précipitations aux échelles journalière, mensuelle et annuelle par les modèles climatiques globaux qui reproduisent assez parfaitement les observations. Les écarts moyens des températures (°C) et des précipitations (mm et %) sont fondés sur l'analyse des observations (1971-2000) considérée comme la période de référence. Le choix des périodes est déterminé par la disponibilité d'accès aux données et à la longueur des séries chronologiques. L'évaluation des modèles présentée ici est basée sur la comparaison des écarts types simulés avec la référence, l'erreur quadratique moyenne et la corrélation. Un aspect important de la validation d'un modèle climatique est l'évaluation de sa capacité à reproduire la variabilité du système climatique. La variabilité interannuelle, les fluctuations saisonnières, le début, le maximum et la fin de la saison des pluies, dont les répercussions sont cruciales sur les activités agricoles de la zone d'étude, sont des éléments déterminants pour qualifier un modèle ou un ensemble multimodèle avant de l'utiliser pour la prévision saisonnière et les projections climatiques. Les cycles annuels des moyennes mensuelles des précipitations et des températures simulées par les 12 modèles sur la région d'étude sont analysés. Une appréciation visuelle permet de vérifier que l'ensemble multimodèle a quasiment reproduit l'amplitude, le début et la fin de la saison et le nombre et la position des modes.*

MOTS CLES : Ouest-centrafricain climat, observations, simulations, modèles climatiques

ABSTRACT

*The current climate in Western Central Africa is characterized from simulations of the evolution of the average temperature of the air and precipitation scales daily, monthly and annual basis by global climate models which reproduce quite well the observations. The mean differences in temperature (° C) and precipitation (mm and %) are based on the analysis of observations (1971-2000) considered the reference period. The choice of the periods is determined by the availability of access to data and the length of time series. The model evaluation presented here is based on the comparison of simulated deviations with reference MSE and correlation. An important aspect of the validation of a climate model is the assessment of its ability to reproduce the variability of the climate system. Inter-annuels variability, seasonality, the beginning, maximum and end of the rainy season, which are crucial impact on agricultural activities in the study area, are key elements to describe a model or multimodel ensemble before using for seasonal forecasting and climate projections. The annual cycles of monthly mean precipitation and temperature simulated by the 12 models in the study region are analyzed. Visual assessment ensures that all multimodel has virtually reproduces the amplitude, the beginning and the end of the season and the number and position of modes.*

KEY WORDS: West-Central African, climate, observations, simulations, climate model

## Introduction

Les simulations de l'évolution du climat sont généralement construites à l'aide de modèles climatiques planétaires (MCG, pour modèles de circulation générale). Cependant, les MCG ont des résolutions spatiales de l'ordre de dizaines à plusieurs centaines kilomètres, ce qui est acceptable pour évaluer le changement climatique à l'échelle globale sur la Terre, mais insuffisant pour étudier ses impacts généralement localisés (MacKellar et al., 2010).

A défaut de disposer d'un modèle climatique régional qui couvre la zone d'étude, nous allons utiliser les moyennes des sorties de modèles globaux du GIEC (2007). Cette démarche a permis de valider les résultats d'une simulation menée sur la période 1971-2000, en prenant comme données de référence les observations et les analyses d'observations. Il s'agira par la suite d'utiliser ces moyennes multimodèles pour simuler les changements climatiques futurs et leurs impacts sur l'agriculture dans l'Ouest de la Centrafrique.

Selon Phillips et Gleckler (2006), les modèles couplés Océan Atmosphère (AOGCM) arrivent à reproduire certains aspects observés du climat actuel. Cependant il y a des biais plus importants pour certaines variables comme les précipitations ou pour certaines régions comme l'Afrique. Raison pour laquelle un travail préalable de validation doit être effectué pour estimer la crédibilité d'un modèle sur une région particulière.

Notre étude se basant sur une représentation en courbes des sorties des 21 modèles du CMIP3 pour chaque paramètre climatique et par station arrive à la conclusion que sur la zone d'étude, douze (12) modèles (Tableau 2) semblent simuler le mieux les observations des précipitations et des températures.

C'est ainsi que les sorties de ces modèles sont moyennées afin de réduire leurs disparités et en constituer un ensemble dit 'moyennes multimodèles' qui sont identifiés comme les plus aptes à reproduire le climat passé et actuel de la zone d'étude. Les autres modèles surestiment ou sous-estiment les observations.

## 1. Simulations climatiques

### 1.1. Simulation de la variabilité pluviométrique

#### 1.1.1. Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées

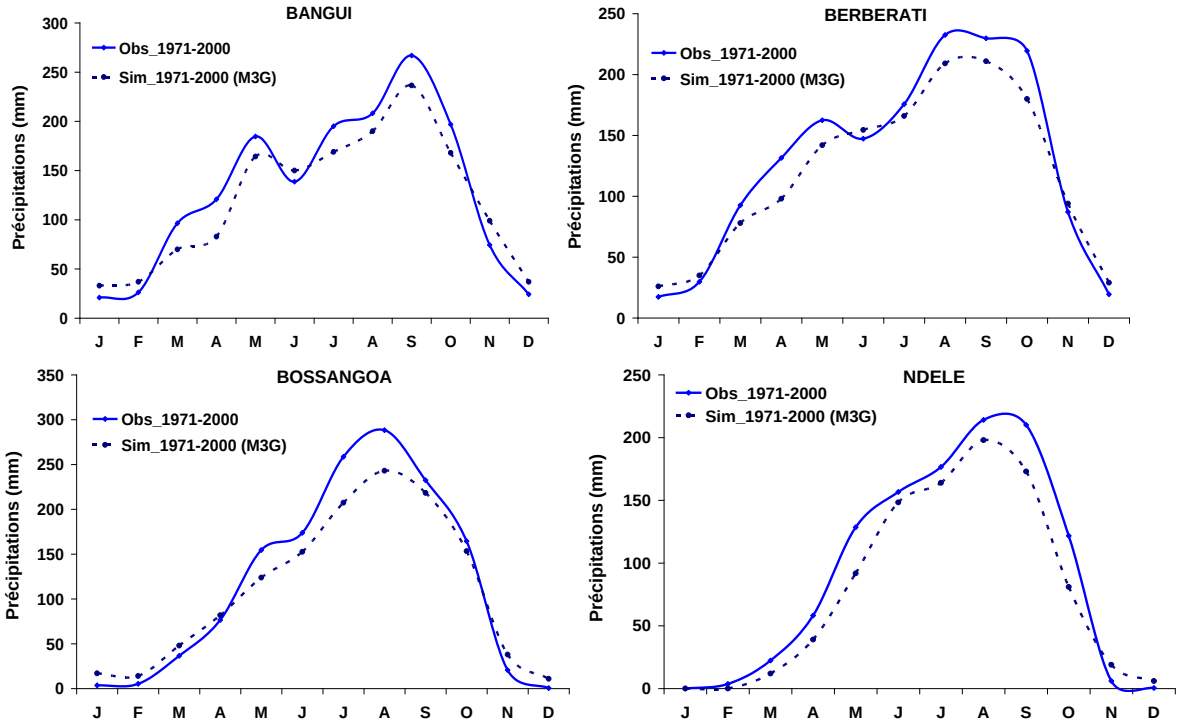



Figure 1. *Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées dans la zone d'étude*

#### *1.1.2. Tendances observées et simulées des précipitations annuelles*

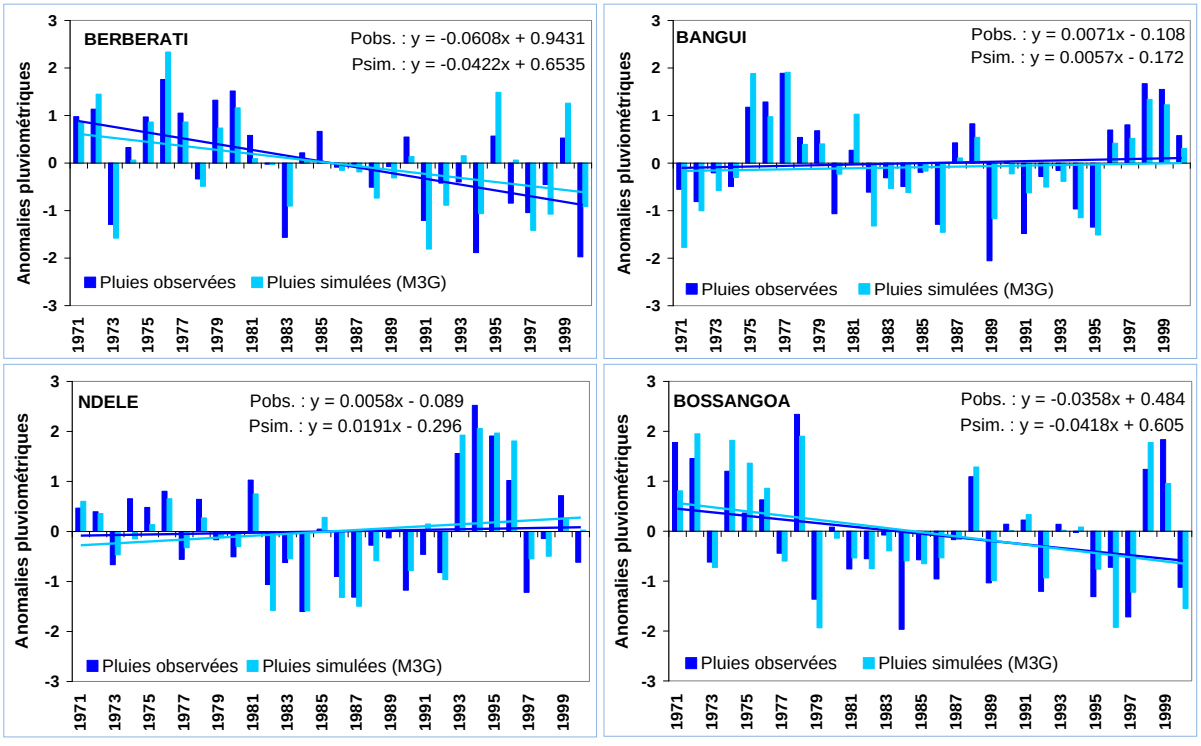



Figure 2. *Anomalies et tendances des précipitations annuelles observées et simulées*

### 1.1.3. Détermination des coefficients de corrélation

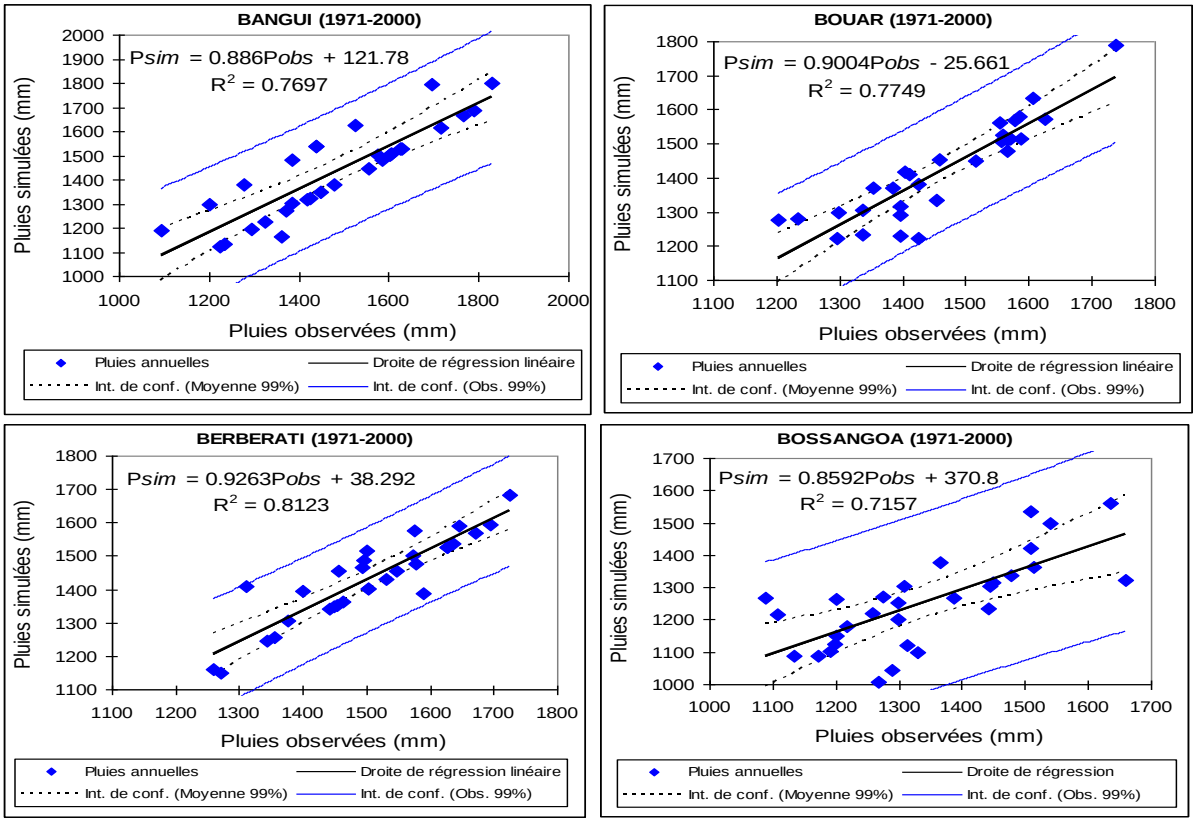



Figure 3. *Corrélation entre pluies observées et pluies simulées dans la zone d'étude*

### 1.1.4. Ecarts absolus et relatifs entre les observations et les simulations des pluies

**Tableau 1. Ecarts absolus (EA en mm) et écarts relatifs (ER en %)**

| | Bangui | | Berbérati | | Bossangoa | | Ndélé | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) | EA (mm) | ER (%) |
| **1971** | 12.0 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 17.2 | 1.5 | 8.6 | 0.7 |
| **1972** | 87.0 | 4.6 | 56.0 | 3.4 | 26.4 | 1.7 | 15.8 | 1.4 |
| **1973** | 93.0 | 5.5 | 48.0 | 2.4 | 87.8 | 5.4 | 4.1 | 0.4 |
| **1974** | 96.0 | 5.9 | 92.0 | 5.0 | 50.7 | 4.9 | 21.5 | 2.2 |
| **1975** | 54.0 | 3.9 | 31.0 | 2.2 | 29.3 | 2.3 | 58.6 | 5.0 |
| **1976** | 89.0 | 5.0 | 40.0 | 2.3 | 10.5 | 0.8 | 59.4 | 5.9 |
| **1977** | 28.0 | 1.5 | 40.0 | 2.9 | 35.6 | 2.9 | 8.4 | 0.8 |
| **1978** | 76.0 | 4.8 | 21.0 | 1.8 | 36.5 | 2.3 | 61.0 | 4.2 |
| **1979** | 50.0 | 3.2 | 10.0 | 1.0 | 80.3 | 6.6 | 44.1 | 2.7 |
| **1980** | 30.0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 47.2 | 3.2 | 13.3 | 1.3 |
| **1981** | 04.0 | 0.2 | 66.0 | 3.7 | 83.5 | 3.1 | 45.7 | 3.7 |
| **1982** | 70.0 | 4.7 | 52.0 | 3.3 | 62.7 | 5.2 | 08.9 | 0.7 |
| **1983** | 30.0 | 3.1 | 70.0 | 4.6 | 59.2 | 2.5 | 6.0 | 0.5 |
| **1984** | 33.0 | 2.0 | 35.0 | 2.5 | 90.7 | 4.5 | 20.2 | 2.3 |
| **1985** | 60.0 | 3.9 | 10.0 | 1.6 | 74.7 | 4.2 | 87.0 | 4.6 |
| **1986** | 30.0 | 2.1 | 28.0 | 1.9 | 51.1 | 4.3 | 76.4 | 4.5 |
| **1987** | 91.0 | 2.1 | 65.0 | 3.0 | 37.9 | 3.0 | 45.7 | 5.0 |
| **1988** | 50.0 | 3.1 | 70.0 | 4.9 | 61.0 | 4.8 | 58.2 | 5.5 |
| **1989** | 40.0 | 3.2 | 10.0 | 0.7 | 48.3 | 4.3 | 5.8 | 0.5 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1990** | 40.0 | 2.8 | 70.0 | 4.5 | 35.2 | 1.3 | 35.1 | 3.7 |
| **1991** | 90.0 | 43 | 69.0 | 4.4 | 3.9 | 0.3 | 69.1 | 2.7 |
| **1992** | 61.0 | 3.4 | 80.0 | 5.9 | 54.7 | 3.2 | 37.2 | 3.8 |
| **1993** | 70.0 | 3.9 | 0.0 | 0.0 | 44.0 | 3.4 | 53.0 | 3.4 |
| **1994** | 55.0 | 3.7 | 90.0 | 5.4 | 2.6 | 0.2 | 63.3 | 4.4 |
| **1995** | 41.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 75.5 | 4.6 | 06.0 | 0.4 |
| **1996** | 40.0 | 2.5 | 6.0 | 0.4 | 62.1 | 4.5 | 73.4 | 4.5 |
| **1997** | 10.0 | 1.0 | 71.0 | 5.1 | 41.7 | 2.7 | 63.5 | 4.5 |
| **1998** | 3.0 | 0.3 | 37.0 | 2.9 | 44.6 | 3.3 | 36.9 | 3.7 |
| **1999** | 13.0 | 1.4 | 16.0 | 1.1 | 88.3 | 5.8 | 51.8 | 2.0 |
| **2000** | 03.0 | 0.3 | 83.0 | 6.9 | 76.5 | 5.6 | 26.6 | 2.6 |

## 1.2. Simulation de la variabilité thermométrique

### 1.2.1. Cycle annuel des températures mensuelles observées et simulées

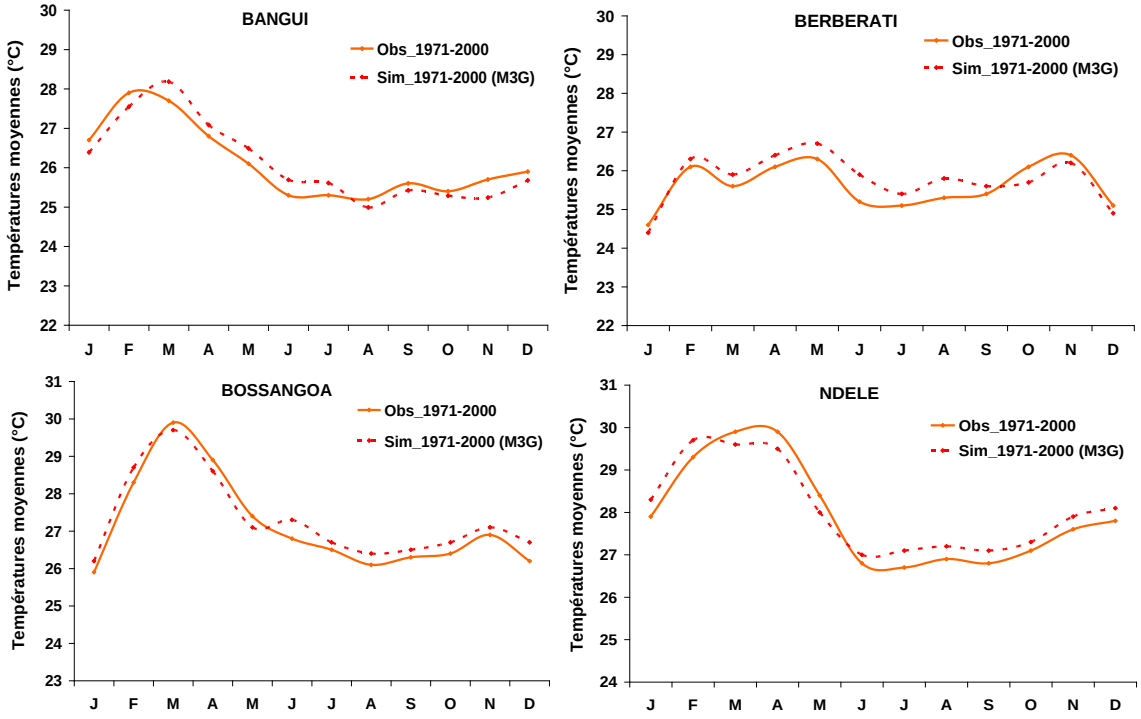
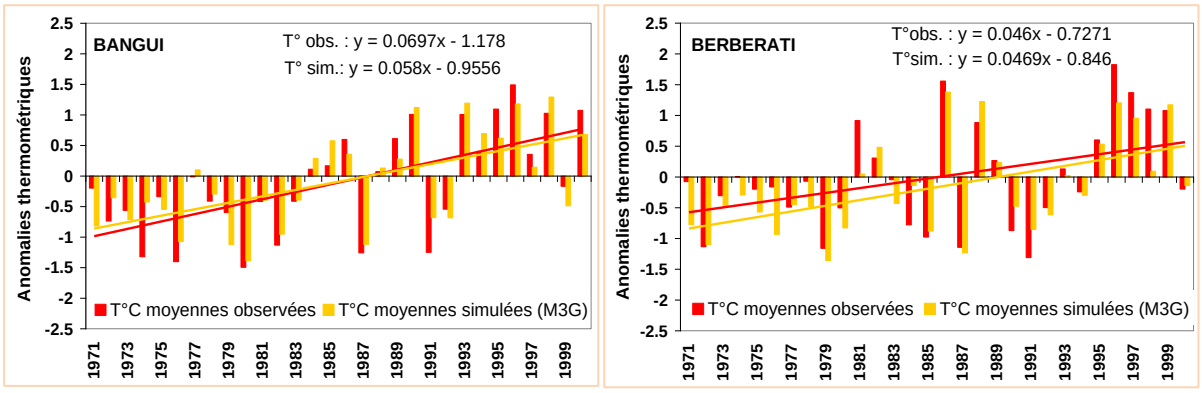



Figure 74. *Cycle annuel des températures mensuelles observées et simulées dans la zone d'étude*

### 1.2.2. Tendances observées et simulées des températures annuelles



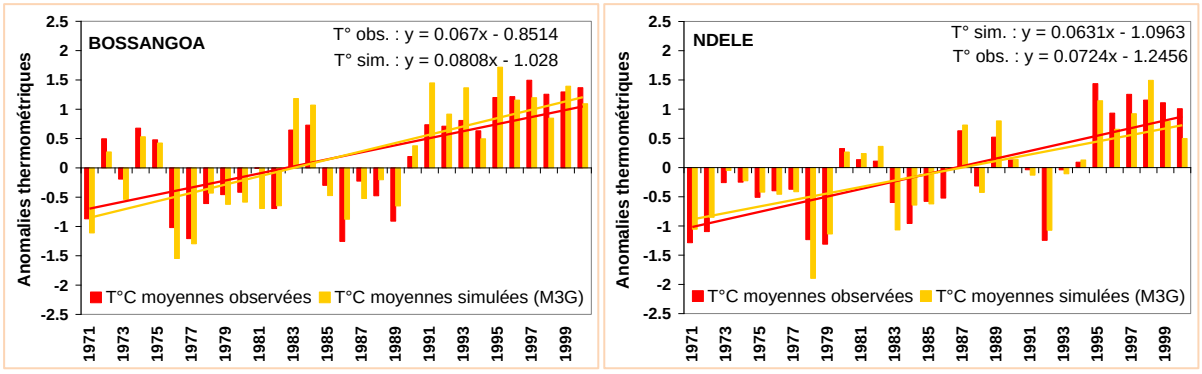



Figure 5. *Anomalies et tendances des températures annuelles observées et simulées*

### 1.2.3. Détermination des coefficients de corrélation

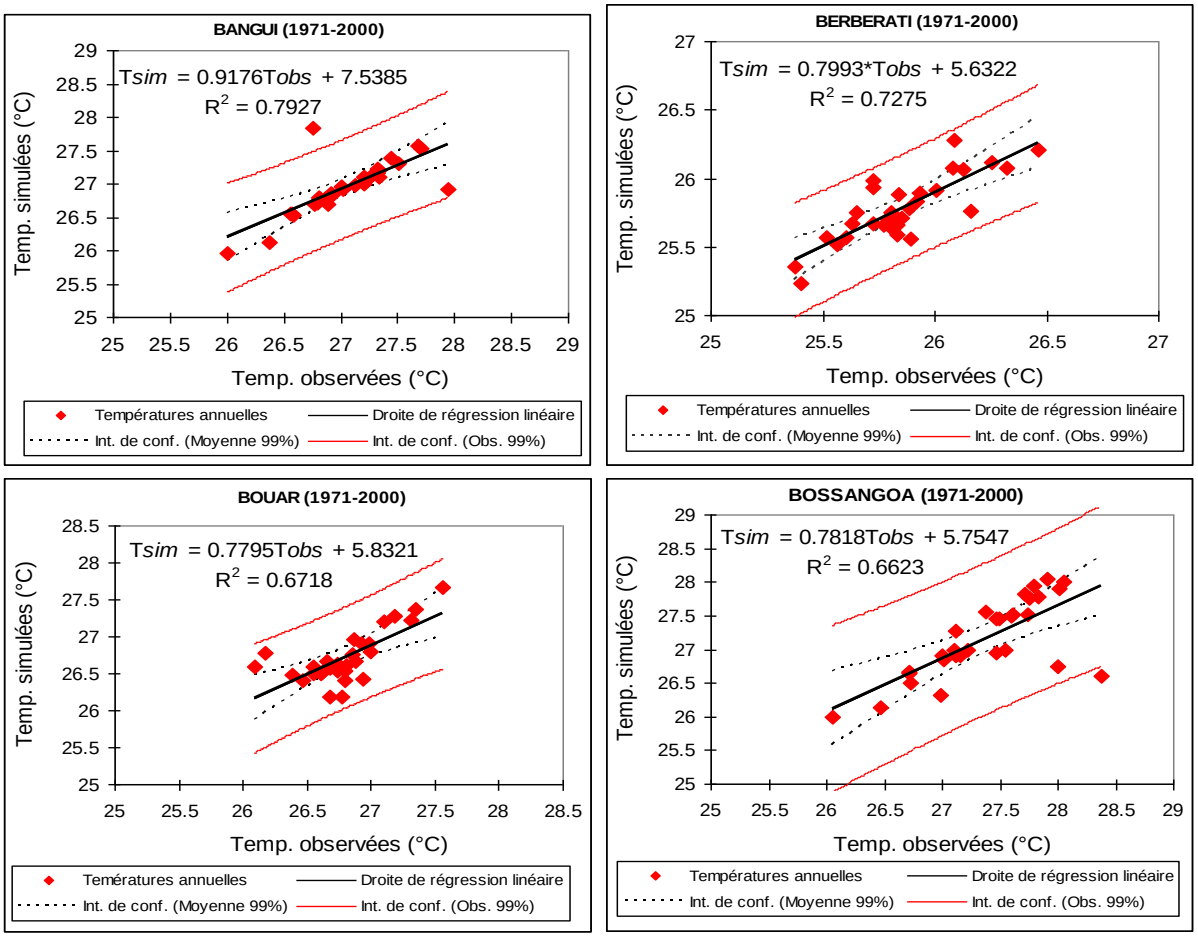



Figure 6. *Corrélation entre les T° observées et les T° simulées dans la zone d'étude*

### 1.2.4. Ecarts absolus entre les observations et les simulations des températures moyennes

**Tableau 2. Ecarts absolus exprimés en °C**

| | Bangui | Berbérati | Bossangoa | Ndélé | | Bangui | Berbérati | Bossangoa | Ndélé |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1971 | 0.08 | 0.24 | 0.04 | 0.16 | 1986 | 0.04 | 0.14 | 0.08 | 0.12 |
| 1972 | 0.96 | 0.05 | 0.11 | 0.09 | 1987 | 0.03 | 0.17 | 0.14 | 0.04 |
| 1973 | 0.05 | 0.11 | 0.01 | 0.14 | 1988 | 0.08 | 0.00 | 0.36 | 0.01 |
| 1974 | 0.86 | 0.15 | 0.16 | 0.15 | 1989 | 0.08 | 0.08 | 0.26 | 0.29 |
| 1975 | 0.96 | 0.16 | 0.21 | 0.13 | 1990 | 0.04 | 0.04 | 0.24 | 0.01 |
| 1976 | 0.06 | 0.34 | 0.13 | 0.21 | 1991 | 0.07 | 0.06 | 0.34 | 0.09 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1977 | 0.95 | 0.06 | 0.11 | 0.20 | 1992 | 0.06 | 0.21 | 0.04 | 0.12 |
| 1978 | 0.09 | 0.17 | 0.25 | 0.17 | 1993 | 0.11 | 0.10 | 0.23 | 0.22 |
| 1979 | 0.07 | 0.02 | 0.10 | 0.21 | 1994 | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.03 |
| 1980 | 0.07 | 0.26 | 0.10 | 0.69 | 1995 | 0.07 | 0.10 | 0.12 | 0.02 |
| 1981 | 0.05 | 0.19 | 0.17 | 0.38 | 1996 | 0.03 | 0.25 | 0.01 | 0.23 |
| 1982 | 0.19 | 0.03 | 0.21 | 0.14 | 1997 | 0.02 | 0.25 | 0.06 | 0.02 |
| 1983 | 0.08 | 0.04 | 0.57 | 0.45 | 1998 | 0.06 | 0.40 | 0.05 | 0.11 |
| 1984 | 0.05 | 0.09 | 0.53 | 0.15 | 1999 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.11 |
| 1985 | 0.05 | 0.04 | 0.26 | 0.21 | 2000 | 0.08 | 0.06 | 0.15 | 0.05 |

**2. Evaluation de la performance de l'approche multimodèle**

La performance de l'approche multimodèle quant à reproduire au mieux le comportement climatique dans l'Ouest de la Centrafrique a été évaluée à partir de la comparaison des données simulées à celles observées. Les cycles annuels et les tendances des précipitations et températures moyennes mensuelles ont été analysés et les écarts entre les observations et les simulations ont été calculés. Il en ressort que :

- Les modèles globaux de climat ont encore beaucoup de biais dans leur simulation, notamment pour les paramètres comme les précipitions (Phillips & Gleckler, 2006) l'une des plus importantes variables climatiques. Bien que les modèles couplés reproduisent les quantités de pluies observées (amplitude, cycles saisonniers, modes, etc.), ils donnent une représentation peu précise des variations inter saisonnières et des événements extrêmes.
- En comparant les simulations à des données d'observation journalières de précipitations selon une démarche focalisée sur la fréquence et l'intensité des pluies ainsi que le nombre de jours pluvieux, bien que les quantités soient assez bien simulées, les multimodèles sont incapables de reproduire l'intensité et la structure spatiale de la fréquence des événements pluvieux. Cette analyse a rejoint les conclusions de Sun et al. (2006) dans leur étude sur la performance des 18 modèles couplés du GIEC sur l'Afrique.
- Au regard des résultats obtenus, on ne peut pas exclure, même si les moyennes simulées s'accordent avec les observations, qu'il y a encore de biais important notamment sur la variabilité spatiale ou l'amplitude et la phase du cycle saisonnier. Ces déficiences qui sont à la base des incertitudes sur les précipitations simulées pourraient également être à l'origine de la meilleure performance des moyennes multimodèles.
- Les modèles couplés Océan-Atmosphère sur l'Afrique tropicale ont du mal à simuler correctement la mousson atlantique, car ils reproduisent mieux les précipitations sur le nord du contiennent américain que sur le continent africain (Folland et al., 1986). Cela peut s'expliquer par le fait que le mécanisme de la mousson africaine n'est toujours pas bien compris, ou même par le faible nombre de stations d'observation dans les régions centre et ouest-africaines. En dépit de ce qui semble vrai, nombre d'études dont celles de Giannini et al., 2003; Lu & Delworth, 2005 et Hoerling et al., 2006 ont montré que les modèles forcés avec les valeurs observées des températures de surface de la mer arrivent à reproduire assez correctement le climat Sahel, notamment la tendance à la baisse des précipitations des années 1950 aux années 1980. Mais les modèles couplés océan - atmosphère ont du mal à reproduire cette tendance.

**3. Projections climatiques futures dans l'Ouest de la Centrafrique**

L'ensemble multimodèle couplé Océan-Atmosphère a reproduit assez correctement les tendances observées sur les périodes passées et actuelles sur la période 1971-2000 dans l'Ouest de la Centrafrique. Cette analyse a montré certes ses limites mais elle a permis d'étudier les projections climatiques futures aux horizons 2071-2100. Cependant, ces projections climatiques restent encore incertaines en termes de

modes de variabilité ; la multiplication des modèles n'a fait qu'élargir le spectre des réponses possibles au forçage anthropique (Dai, 2006).

- Les prévisions des précipitations sont faites en calculant le rapport entre les précipitations prévues par un modèle (M3G) donné et la climatologie du même modèle (M3G) sur la période de référence 1971-2000. La projection est alors obtenue en appliquant ce facteur multiplicatif à la climatologie observée (données stationnelles) ;
- Les prévisions des températures sont faites en calculant les écarts entre les températures prévues par le modèle (M3G) et la climatologie du même modèle (M3G) sur la période de référence 1961-1990. La projection est obtenue en additionnant ces écarts à la climatologie observée (données stationnelles).

La moyenne multimodèle a souvent été utilisée afin de représenter le changement climatique, mais cette méthode peut induire en erreur non seulement en donnant l'impression qu'une seule valeur déterministe peut être offerte avec assurance mais également en ne fournissant pas d'informations sur la plage des valeurs données par tous les modèles, qui sont tous individuellement capables d'établir une projection du climat (Harrison et Boulahya (2010). Dans l'idéal, tous les résultats seraient présentés en termes de probabilités plutôt qu'en termes de valeurs déterministes, mais l'on s'attend à ce que les probabilités calculées à partir de l'ensemble multimodèle manquent de fiabilité ; ainsi des plages ont été utilisées à leur place. Les tableaux 3, 4, 5 et 6 présentent les résultats des changements des précipitations et de températures, dans la zone d'étude, selon les scénarios les scénarios SRES A2 et B1 qui définissent les états futurs possibles des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

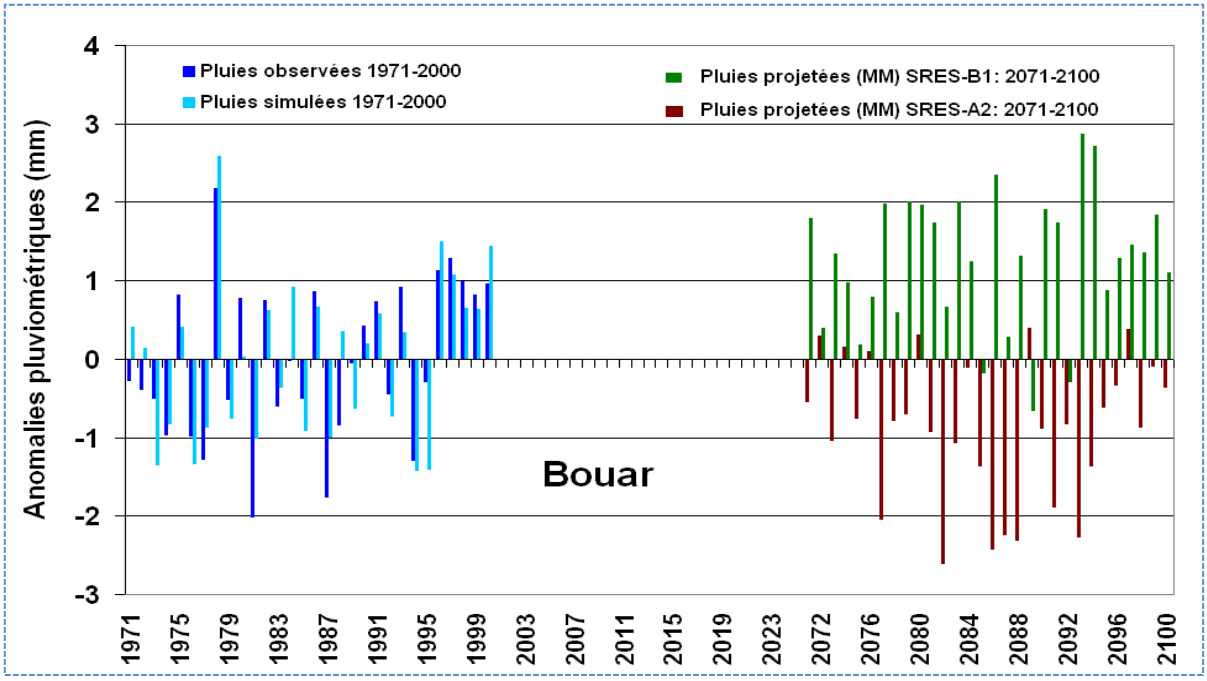
### 3.1. Projections des précipitations moyennes aux horizons 2071-2100

**Tableau 3.** Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2071-2100. Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario B1

| | **Bangui** | | **Berbérati** | | **Bouar** | | **Bossangoa** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | % | mm | % | mm | % | mm | % |
| **J** | 13.7 | 21 | 16.54 | 49 | 3.74 | 30 | 1.36 | 45 |
| **F** | 21.4 | 17 | 37.00 | 44 | 18.63 | 50 | 1.94 | 08 |
| **M** | 148.8 | 13 | 125.93 | 14 | 82.66 | 1 | 35.86 | 26 |
| **A** | 188.9 | 07 | 207.13 | 18 | 147.02 | 26 | 103.25 | 43 |
| **M** | 216.4 | 03 | 230.83 | 25 | 224.68 | 20 | 211.48 | 09 |
| **J** | 230.8 | 25 | 184.51 | 32 | 242.33 | 13 | 225.78 | 14 |
| **J** | 286.5 | 07 | 228.40 | 22 | 282.77 | 16 | 333.66 | 03 |
| **A** | 246.4 | -04 | 277.87 | 07 | 315.72 | 05 | 350.80 | 03 |
| **S** | 373.5 | 05 | 271.44 | 08 | 287.55 | 07 | 278.73 | 13 |
| **O** | 265.7 | 04 | 272.61 | 02 | 305.14 | 03 | 205.81 | 17 |
| **N** | 66.9 | 36 | 99.00 | 23 | 39.48 | 20 | 21.96 | 89 |
| **D** | 18.6 | 48 | 18.33 | 47 | 9.03 | 72 | 0.32 | 251 |

**Tableau 4.** Changements (absolu et relatif) des précipitations aux horizons 2071-2100. Valeurs calculées par rapport à la climatologie de référence selon le scénario A2

| | Bangui | | Berbérati | | Bouar | | Bossangoa | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) | (mm) | (%) |
| **J** | 7.02 | -38 | 4.75 | -57 | 1.66 | -42 | 0.12 | -88 |
| **F** | 19.09 | 04 | 18.83 | -27 | 6.15 | -51 | 1.83 | 03 |
| **M** | 61.76 | -53 | 85.49 | -23 | 68.90 | -16 | 2.41 | -92 |
| **A** | 155.73 | -12 | 152.36 | -13 | 127.09 | 09 | 95.80 | 32 |
| **M** | 282.47 | 35 | 180.41 | -02 | 162.43 | -13 | 258.80 | 34 |
| **J** | 133.06 | -28 | 172.56 | 24 | 186.02 | -14 | 151.81 | -23 |
| **J** | 181.47 | -32 | 184.26 | -01 | 181.57 | -25 | 257.01 | -21 |
| **A** | 219.23 | -15 | 234.97 | -10 | 230.47 | -23 | 203.50 | -40 |
| **S** | 219.84 | -38 | 184.26 | -27 | 250.17 | -07 | 130.04 | -47 |
| **O** | 195.98 | -23 | 204.42 | -23 | 257.01 | -13 | 142.48 | -19 |
| **N** | 22.99 | -53 | 47.51 | -41 | 29.27 | -11 | 9.48 | -18 |
| **D** | 0.52 | -96 | 7.45 | -40 | 3.56 | -32 | 0.18 | -10 |




- ✓ L'analyse de la situation à Bouar par exemple, montre qu'aux horizons 2071-2100 avec le scénario A2 plus sec, la baisse des précipitations annuelles (figure ci-dessus) varie entre 17 à 39%; avec un scénario B1 plus humide, la hausse des précipitations annuelle varie entre 22 % et 44 % par rapport aux observations 1971-2000.
- ✓ Le nombre d'années excédentaires est supérieur au nombre d'années déficitaires. Somme toute, les précipitations augmenteront légèrement à la fin du XXI de 1 à 4,7 %.

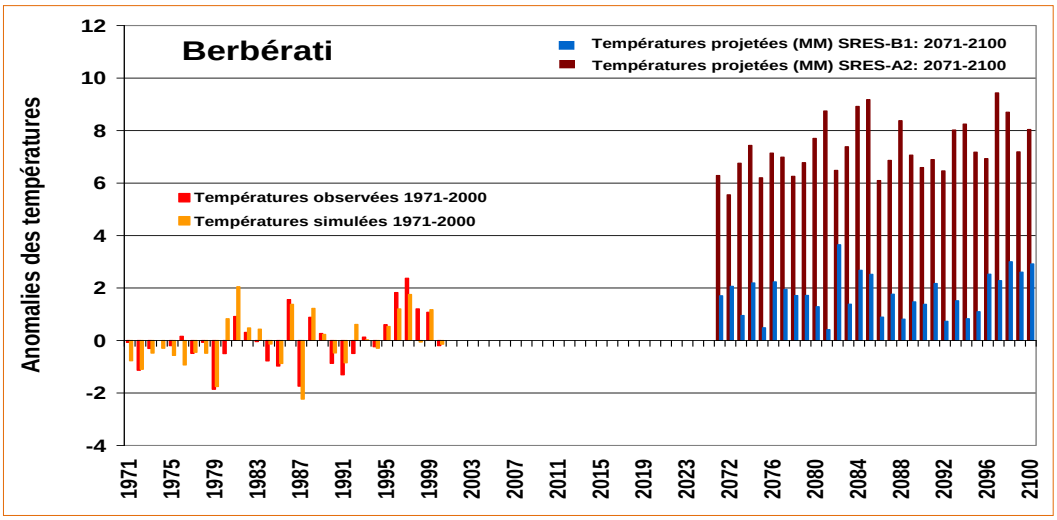
### 3.2. Projections des températures moyennes aux horizons 2071-2100

**Tableau 5.** Changements absolus de la variation des températures moyennes mensuelles aux horizons 2071-2100. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario B1. T°Pj= Températures projetées et Ec=Ecarts absolus des T°C

| | Bangui | | Berbérati | | Bouar | | Bossangoa | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec |
| **J** | 28.4 | 1.4 | 26.1 | 1.3 | 28.3 | 1.9 | 29.8 | 1.9 |
| **F** | 30.0 | 1.7 | 27.3 | 1.4 | 28.0 | 2.3 | 32.2 | 2.1 |
| **M** | 29.4 | 2.2 | 27.5 | 2.2 | 29.3 | 1.2 | 31.6 | 2.4 |
| **A** | 28.3 | 1.8 | 27.7 | 1.9 | 28.7 | 1.3 | 30.9 | 3.2 |
| **M** | 27.7 | 2.0 | 27.4 | 1.5 | 28.7 | 1.5 | 29.2 | 2.9 |
| **J** | 26.8 | 1.9 | 26.4 | 1.9 | 28.7 | 2.6 | 28.6 | 2.3 |
| **J** | 26.9 | 1.9 | 26.7 | 1.9 | 28.5 | 2.4 | 27.9 | 2.1 |
| **A** | 27.3 | 1.9 | 26.5 | 1.7 | 27.4 | 1.7 | 28.3 | 2.2 |
| **S** | 27.6 | 1.8 | 26.9 | 1.7 | 28.3 | 2.2 | 28.4 | 2.3 |
| **O** | 27.3 | 1.8 | 27.5 | 1.0 | 27.1 | 1.3 | 28.6 | 1.9 |
| **N** | 28.2 | 2.0 | 27.7 | 1.1 | 28.6 | 1.4 | 27.0 | 1.3 |
| **D** | 27.9 | 1.8 | 27.4 | 2.1 | 28.5 | 1.5 | 27.6 | 2.0 |

**Tableau 6.** Changements absolus de la variation des températures moyennes mensuelles aux horizons 2071-2100. Les écarts sont calculés par rapport à la climatologie de référence selon le scénario A2. T°Pj= Températures projetées et Ec=Ecarts absolus des T°C

| | Bangui | | Berbérati | | Bouar | | Bossangoa | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec | T°Pj | Ec |
| **J** | 30.2 | 3.2 | 29.1 | 4.3 | 30.4 | 4.0 | 29.7 | 4.1 |
| **F** | 32.1 | 3.8 | 30.2 | 4.3 | 30.7 | 5.0 | 31.6 | 3.7 |
| **M** | 30.9 | 3.7 | 29.7 | 4.4 | 31.3 | 3.2 | 34.3 | 4.2 |
| **A** | 31.0 | 4.5 | 29.9 | 4.1 | 30.7 | 3.3 | 33.9 | 4.7 |
| **M** | 29.5 | 3.8 | 29.6 | 3.7 | 31.0 | 3.8 | 32.7 | 5.0 |
| **J** | 29.4 | 4.5 | 29.2 | 4.7 | 30.7 | 4.6 | 31.0 | 4.7 |
| **J** | 30.4 | 5.4 | 29.1 | 4.3 | 30.6 | 4.5 | 30.4 | 4.1 |
| **A** | 30.3 | 4.9 | 28.7 | 3.9 | 30.2 | 4.5 | 29.6 | 3.8 |
| **S** | 30.5 | 4.7 | 28.8 | 3.6 | 30.4 | 4.3 | 30.0 | 3.9 |
| **O** | 30.5 | 5.0 | 30.1 | 3.6 | 30.1 | 4.3 | 30.0 | 3.9 |
| **N** | 30.9 | 4.7 | 30.7 | 4.1 | 30.1 | 2.9 | 30.4 | 3.7 |
| **D** | 30.6 | 4.5 | 30.2 | 4.9 | 29.8 | 2.8 | 29.4 | 3.7 |



- ✓ La tendance des températures résulte des émissions de gaz à effet de serre et est à la hausse comme illustrée à Berbérati, bien qu'il y ait inévitablement des fluctuations de la tendance d'une année à l'autre.
- ✓ Les projections des températures annuelles calculées prévoient une augmentation de l'ordre de variant de +2, 37 °C à + 3,64 °C dans le cas des scénarios A2 plus sec et de 1,5 °C à 2 °C dans le cas du scénario B1 plus humide aux horizons 2071-2100.

Dans les deux scénarios climatiques, la tendance à la hausse des températures semble régulière et continue dans l'ensemble du siècle. Jusqu'en 2075 dans le cas B1 le taux moyen d'augmentation est de l'ordre de 0,3°C par décennie, tandis que dans le scénario cas A2 il est plus proche en moyenne de 0,5°C par décennie.

**Conclusion et perspectives**

Somme toute, les champs moyens et le cycle annuel de la température de surface et des précipitations sont correctement simulés, même si quelques écarts aux observations sont mis en évidence : excès de précipitations et biais froid au niveau des stations soudaniennes, début de la saison des pluies en avance ou en retard d'un à deux mois. La simulation reproduit aussi correctement la variabilité interannuelle de la température et celle des précipitations dans l'Ouest de la Centrafrique. Ainsi, au terme de l'analyse menée, et en dépit de ses imperfections, l'approche multimodèle apparaît comme un outil appréciable pour étudier les futurs changements climatiques et leurs impacts potentiels dans la zone d'étude. Ces résultats se trouvent dans tous les deux cas vers l'extrémité supérieure de la plage des taux d'augmentation dans la région de la Centrafrique pendant la période de 1980 à 2005 selon le GIEC (2007). Ils constituent des intrants nécessaires au renseignement et au calibrage du modèle d'impact afin d'estimer des rendements agricoles dans la zone d'étude.

**Références bibliographiques**

Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W.-T., Laprise, R., na Rueda, Maga, V., Mearns, L., Menendez, C. G., Raisanen, J., Rinke, A., Sarr, A. & Whetton, P. (2007) In Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report

Cook, K. H. & Vizy, E. K. (2006) Coupled Model Simulations of the West African Monsoon System: Twentieth-and Twenty-First-Century Simulations. Journal of Climate, 19, 3681-3703.

Giannini A., R. Saravanan et P. Chang, 2003: Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. Science, 302, 1027-1030.

Lau, K. M., Shen, S. S. P., Kim, K.-M. & Wang, H. (2006) A multimodel study of the twentieth century simulations of Sahel drought from the 1970s to 1990s. Journal of Geophysical Research, 111

Phillips, T. & Gleckler, P. (2006) Evaluation of continental precipitation in 20th century climate simulations: The utility of multimodel statistics. Water Resources Research, 42, W03202.

Sen, P. (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 1379-1389.

Torrence C. et G. Compo, 1998: A practical guide to wavelet analysis. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79, 61-78.

## Table des Matières

**SOMMAIRE** ... **3**

**DEDICACE** ... **5**

**SIGLES ET ABREVIATIONS** ... **6**

**AVANT PROPOS** ... **8**

**RESUME** ... **14**

**SUMMARY** ... **15**

**INTRODUCTION** ... **16**

**PREMIERE PARTIE PROBLEMATIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET CADRE DE L'ETUDE** ... **21**

**CHAPITRE I PROBLEMATIQUE, DONNEES ET METHODES DE L'ETUDE** ... **22**

**1.1. APPROCHES THEORIQUES ET CONCEPTUELLES** ... **22**

1.1.1. PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE ... 22
1.1.2. SITUATION ET JUSTIFICATION DU CHOIX DE LA REGION D'ETUDE ... 26
1.1.3. HYPOTHESES DE TRAVAIL ... 28
1.1.4. OBJECTIFS DE L'ETUDE ... 28
1.1.5. REVUE DE LITTERATURE ... 28
1.1.6. CLARIFICATIONS DES CONCEPTS ... 32
1.1.7. CONTRAINTES ET LIMITES DE L'ETUDE ... 36

**1.2. DONNEES ET METHODES** ... **38**

1.2.1. RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET TYPOLOGIE DES DONNEES ... 38
1.2.2. TYPES, NATURE ET SOURCES DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES ... 38
*1.2.2.1. Données d'observation* ... *38*
*1.2.2.2. Données de simulation* ... *39*
*1.2.2.3. Données de projection et de validation* ... *39*
*1.2.2.4. Appartenance géographique des stations météorologiques* ... *40*
*1.2.2.5. Critiques et contrôle de qualité des données climatologiques* ... *41*
1.2.3. DONNEES AGRONOMIQUES ET PHENOLOGIQUES ... 43
1.2.4. DONNEES AGROECONOMIQUES ET SOCIO-ANTHROPOLOGIQUES ... 45
1.2.5. TECHNIQUES ET OUTILS DE COLLECTE DES DONNEES ... 45
*1.2.5.1. Détermination de la taille optimale de l'échantillon* ... *45*
*1.2.5.2. Méthodes d'enquêtes socio-anthropologiques* ... *46*
*1.2.5.3. Outils de traitement et d'analyse des données* ... *47*

**1.3. METHODES D'ANALYSE DE LA VARIABILITE ET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES** ... **48**

1.3.1. CORRECTION ET RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES ... 48
1.3.2. PARAMETRES DE TENDANCE CENTRALE ET MOYENNE ARITHMETIQUE ... 49
*1.3.2.1. Paramètres de dispersion et anomalies standardisées* ... *49*
*1.3.2.2. Méthode de détermination des tendances climatiques* ... *50*
*1.3.2.3. Méthodes de détection des ruptures dans les séries pluviométriques* ... *51*
*1.3.2.4. Méthode d'interpolation spatiale des précipitations* ... *52*
*1.3.2.5. Détermination du coefficient de corrélation linéaire* ... *52*
1.3.3. METHODE D'ANALYSE DES EXTREMES CLIMATIQUES ... 53
*1.3.3.1. Approche statistique de l'analyse des extrêmes pluviométriques* ... *53*
*1.3.3.2. Approche agrophysiologique de la définition des paroxysmes de chaleur* ... *54*
1.3.4. METHODES DE DETERMINATION DU BILAN HYDRIQUE ... 57
*1.3.4.1. Bilan hydrique potentiel* ... *57*
*1.3.4.2. Disponibilité en eau des cultures* ... *58*
1.3.5. IDENTIFICATION DES INDICATEURS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES ... 59

**1.4. METHODE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES CULTURES ET D'ESTIMATION DE RENDEMENTS** ... **60**

1.4.1. CARACTERISATION DE LA SAISON DE CROISSANCE DES CULTURES ... 61

1.4.2. DESCRIPTION DU MODELE D'IMPACT STICS ..... 62
*1.4.2.1. Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standards (STICS)* ..... *62*
*1.4.2.2. Processus de calibrage et de simulation des cultures dans STICS* ..... *64*
*1.4.2.3. Choix des variables pour la simulation du rendement* ..... *65*
*1.4.2.4. Facteurs limitants (stress) au cours des stades phénologiques* ..... *68*
*1.4.2.5. Les entrées et sorties du modèle STICS* ..... *69*
1.4.3. INDICATEURS DE LA VULNERABILITE DES RENDEMENTS AGRICOLES ..... 70
*1.4.3.1. Analyse fréquentielle des indices pluviométriques* ..... *70*
*1.4.3.2. Planification et développement d'une stratégie d'adaptation* ..... *71*
*1.4.3.3. Evaluation des vulnérabilités et définition des politiques d'adaptation* ..... *72*
*1.4.3.4. Formulation des stratégies d'adaptation intégrées à l'aide du modèle « PEIR »* ..... *74*

**CHAPITRE II FONDEMENTS BIOPHYSIQUES ET DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE ..... 76**

**2.1. CADRE BIOPHYSIQUE DE LA PRODUCTION AGRICOLE DANS LA REGION D'ETUDE ..... 76**

2.1.1. CONTEXTE MORPHO-PEDOLOGIQUE ..... 76
*2.1.1.1. Substrat géologique* ..... *76*
*2.1.1.2. Types de sols et leur valeur agronomique* ..... *78*
*2.1.1.3. Quelques facteurs (secondaires) de baisse de la fertilité des sols* ..... *82*
2.1.2. CONTEXTE ORO-HYDROGRAPHIQUE ..... 83
*2.1.2.1. Contours orographiques* ..... *83*
*2.1.2.2. Densité et régimes des cours d'eau* ..... *85*
2.1.3. CONTEXTE PHYTOGEOGRAPHIQUE ..... 87
*2.1.3.1. Formations végétales* ..... *89*
*2.1.3.2. Evolution des superficies végétales* ..... *90*
2.1.4. CONTEXTE GEOCLIMATIQUE ..... 93
*2.1.4.1. Dispositions moyennes du climat centrafricain* ..... *94*
*2.1.4.2. Trames climatiques* ..... *96*

**2.2. DETERMINANTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE ..... 97**

2.2.1. CARACTERISTIQUES ET DYNAMIQUE DE LA POPULATION ..... 97
2.2.2. ACTIVITES ECONOMIQUES ET INDICATEURS DE VULNERABILITE ..... 101
*2.2.2.1. Secteurs d'activités économiques* ..... *101*
*2.2.2.2. Lourdes pesanteurs et vulnérabilité des populations* ..... *103*
*2.2.2.3. Contraintes structurelles et socio-sanitaires de la production agricole* ..... *105*

**CHAPITRE III SECTEURS AGROECOLOGIQUES ET SYSTEMES DE CULTURES ..... 107**

**3.1. SECTEURS AGROECOLOGIQUES ..... 107**

**3.2. SYSTEMES DE CULTURES ..... 110**

3.2.1. SYSTEME DE CULTURE DU DOMAINE SAHELIEN (PAYS *KABA-DAGBA*) ..... 112
3.2.2. SYSTEME DE CULTURE DU DOMAINE SOUDANO-SAHELIEN (PAYS *GBAYA-SOUMA*) ..... 112
3.2.3. SYSTEME DE CULTURE DU DOMAINE SOUDANO-OUBANGUIEN (PAYS *GBAYA-MANDJA*) ..... 114
3.2.4. SYSTEME DE CULTURE DU DOMAINE GUINEEN FORESTIER (PAYS *NGBAKA-ISSONGO*) ..... 115

**3.3. CARACTERISTIQUES DE L'AGRICULTURE DANS LA REGION D'ETUDE ..... 116**

3.3.1. CALENDRIER CULTURAL ET ASSOLEMENT ..... 116
3.3.2. IMPORTANCE DES FACTEURS DE PRODUCTION AGRICOLE ..... 118

**3.4. EVOLUTION DES PARAMETRES AGRICOLES ..... 118**

**SYNTHESE DE LA PREMIERE PARTIE ..... 124**

**DEUXIEME PARTIE : TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES ET SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE : IMPACTS ET ADAPTATION ..... 125**

**CHAPITRE IV VARIABILITE ET TENDANCES CLIMATIQUES ACTUELLES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 126**

**4.1. VARIABILITE ET TENDANCES PLUVIOMETRIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 126**

4.1.1. REGIMES DE PLUIE MENSUELS ET SAISONNIERS ..... 126
4.1.2. SEUILS ET TYPES DE COMPORTEMENTS PLUVIEUX ..... 131
4.1.3. ANALYSE DES BILANS HYDRIQUES POTENTIELS MENSUELS ..... 132
4.1.4. FREQUENCE DES CLASSES DE PLUIE ET DETECTION DES RUPTURES DE STATIONNARITE ..... 134
4.1.5. NOMBRE DE JOURS DE PLUIE ET DE JOURS SUCCESSIFS SANS PLUIE ..... 137
*4.1.5.1. Nombre de jours de pluie ..... 137*
*4.1.5.2. Nombre de jours successifs sans pluie ..... 138*
*4.1.5.3. Détermination des dates de début et fin de la saison des pluies ..... 139*
4.1.6. VARIABILITE DES NORMALES PLUVIOMETRIQUES INTERANNUELLES ..... 141
4.1.7. ANALYSE DES TENDANCES PLUVIOMETRIQUES PAR DOMAINE AGROCLIMATIQUE ..... 143
4.1.8. ANALYSE TEMPORELLE DES SERIES PLUVIOMETRIQUES ANNUELLES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 147
4.1.9. SPATIALISATION DU CUMUL ANNUEL MOYEN PLUVIOMETRIQUE ENTRE 1951 ET 2010 ..... 148

**4.2. VARIABILITE ET TENDANCES THERMOMETRIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 148**

4.2.1. VARIATION INTERANNUELLE DES TEMPERATURES MINIMALES, MOYENNES ET MAXIMALES ..... 149
4.2.2. ANOMALIES DES TENDANCES THERMOMETRIQUES MOYENNES ..... 151

**4.3. VARIABILITE HYGROMETRIQUE DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 153**

**4.4. INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACTUELS DANS LA REGION D'ETUDE ..... 154**

4.4.1. INDICATEURS PLUVIOMETRIQUES DE L'EVOLUTION DU CLIMAT ..... 154
4.4.2. INDICATEURS THERMOMETRIQUES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ..... 157

**4.5. EVENEMENTS CLIMATIQUES EXTREMES DANS LA REGION D'ETUDE ..... 160**

4.5.1. PLUIES MAXIMALES CUMULEES EN 3 JOURS ET LEUR DUREE DE RETOUR ..... 160
4.4.2. NOMBRE DE JOURS DE PLUIES SUPERIEURES A 50 MM ET LEUR DEGRE DE SIGNIFICATIVITE ..... 161
4.5.3. TEMPERATURES EXTREMES MAXIMALES ET MINIMALES ..... 162

**4.6. PERCEPTIONS PAYSANNES DE L'EVOLUTION DU CLIMAT DANS LA REGION D'ETUDE 166**

**DISCUSSION ..... 169**

**CHAPITRE V SCENARIOS ET PROJECTIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 171**

**5.1. CHANGEMENTS CLIMATIQUES : DU GLOBAL A L'ECHELLE CENTRE-AFRICAINE ..... 171**

5.1.1. TEMPERATURES GLOBALES MOYENNES OBSERVEES ET PREVUES ..... 173
5.1.2. PROJECTIONS DES PRECIPITATIONS A L'ECHELLE GLOBALE ..... 174
5.1.3. VARIATIONS FUTURES DES TEMPERATURES ET DES PRECIPITATIONS EN AFRIQUE CENTRALE ..... 174

**5.2. MODELES GLOBAUX ET SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS ..... 176**

5.2.1. SELECTION DES MODELES CLIMATIQUES GLOBAUX ..... 178
5.2.2. CHOIX ET JUSTIFICATION DES SCENARIOS CLIMATIQUES ..... 180
5.2.3. SCENARIOS SRES ET ELABORATION DES SCENARIOS CLIMATIQUES ..... 181

**5.3. MODELISATION DU CLIMAT ACTUEL DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 183**

5.3.1. SIMULATION DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ..... 184
*5.3.1.1. Cycle annuel des précipitations mensuelles observées et simulées ..... 184*
*5.3.1.2. Tendances observées et simulées des précipitations annuelles ..... 186*
*5.3.1.3. Cycle saisonnier des précipitations mensuelles observées et simulées ..... 190*

5.3.2. SIMULATION DE LA VARIABILITE THERMOMETRIQUE ..... 191
*5.3.2.1. Cycle annuel des moyennes mensuelles des températures observées et simulées ..... 191*
*5.3.2.2. Tendances observées et simulées des températures moyennes annuelles ..... 193*
5.3.3. EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE L'APPROCHE MULTIMODELE ..... 196

**5.4. PROJECTIONS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE AUX HORIZONS FUTURS ..... 198**

5.4.1. PROJECTIONS DES PRECIPITATIONS MOYENNES AUX HORIZONS 2021-2050 ET 2071-2100 ..... 199
5.4.2. PROJECTIONS DES TEMPERATURES MOYENNES AUX HORIZONS 2021-2050 ET 2071-2100 ..... 203
5.4.3. PROJECTIONS DES TEMPERATURES MAXIMALES AUX HORIZONS FUTURS ..... 206
5.4.4. PROJECTIONS DES TEMPERATURES MINIMALES AUX HORIZONS FUTURS ..... 208
DISCUSSION ..... 210

**CHAPITRE VI IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES ..... 212**

**6.1. TENDANCES FUTURES PAR SCENARIO DES RENDEMENTS AGRICOLES ..... 212**

6.1.1. SORTIES AGRONOMIQUES DU MODELE D'IMPACTS : RENDEMENTS DES CULTURES PAR REGION ..... 212
6.1.2. ANALYSE DES RENDEMENTS AGRICOLES PAR SCENARIO EN 2025 ..... 216
6.1.3. RENDEMENTS AGRICOLES PAR SCENARIO EN 2050 ..... 217
6.1.4. RENDEMENTS AGRICOLES PAR SCENARIO EN 2075 ..... 218
6.1.5. COMPARAISON DES RENDEMENTS AGRICOLES : 2021-2050 ET 2071-2100 ..... 219

**6.2. ANALYSE DES INDICES AGROCLIMATIQUES FUTURS ..... 220**

6.2.1. VARIATION DES INDICES AGROCLIMATIQUES FUTURS EN ZONE GUINEENNE ..... 221
6.2.2. VARIATION DES INDICES AGROCLIMATIQUES FUTURS EN ZONE SOUDANIENNE ..... 223

**DISCUSSION ..... 226**

**CHAPITRE VII ADAPTATION DES PRATIQUES CULTURALES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 228**

**7.1. VULNERABILITE AGRICOLE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ..... 228**

**7.2. STRATEGIES D'ADAPTATION ENDOGENES ET PLANIFIEES ..... 229**

7.2.1. PRATIQUES PAYSANNES D'ADAPTATION ..... 230
*7.2.1.1. Choix de l'extensif ..... 230*
*7.2.1.2. Association de cultures ..... 231*
*7.2.1.3. Assolement des cultures ..... 232*
7.2.2. STRATEGIES D'ADAPTATION PLANIFIEES AUX RISQUES CLIMATIQUES ..... 232
*7.2.2.1. Mesures d'adaptation alternatives ..... 234*
*7.2.2.2. Adaptation par la mobilité ..... 235*
*7.2.2.3. Stockage de récolte ..... 235*

**7.3. OPTIONS PRIORITAIRES D'ADAPTATION POUR FAIRE FACE AUX VULNERABILITES .. 236**

**7.4. DISPOSITIONS NECESSAIRES POUR LA PLANIFICATION ET LA MISE EN OEUVRE DE L'ADAPTATION ..... 237**

**SYNTHESE DE LA DEUXIEME PARTIE ..... 238**

**CONCLUSION ..... 241**

**BIBLIOGRAPHIE ..... 244**

**WEBOGRAPHIE ..... 265**

**LISTE DES FIGURES ..... 266**

**LISTE DES TABLEAUX ..... 270**

**LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES ..... 273**

**ANNEXES ..... 274**

ANNEXE 1 : OUTILS DE COLLECTE DE DONNEES (QUESTIONNAIRE) ..... 275
*A. Groupes cibles : Ménages ruraux, Paysans, Experts communautaires ..... 275*
*B. Groupes cibles : Institutions/Organismes/ONG intervenant dans le secteur agricole en Centrafrique . 283*
ANNEXE 2 : OUTILS DE COLLECTE DE DONNEES (GUIDE D'ENTRETIEN) ..... 289
*A. Groupes cibles : Groupements agricoles, Experts communautaires, Cadres des ministères, Chefs de projets, Institutions internationales ou nationales intervenant dans le secteur agricole ..... 289*
*B. Groupes cibles : Ménages ruraux, Paysans et Experts communautaires ..... 290*
ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES DES SOLS PAR ZONE AGROECOLOGIQUE DANS L'OUEST DE LA RCA ..... 292
ANNEXE 4 : MATRICE D'EVALUATION DE LA CAPACITE D'ADAPTATION ..... 293
ANNEXE 5 : SCHEMA DES ENTREES/SORTIE DE STICS ET ROLE DE WINSTICS ..... 294
ANNEXE 6 : TABLEAU DE CONVERSION DES DATES CALENDAIRES EN JOURS JULIENS ..... 296
ANNEXE 7 : EXEMPLE DE FICHIER DE SORTIE BILAN DU MIL ..... 297
ANNEXE 8 : PROCESSUS DE MODELISATION CLIMATIQUE ..... 299
ANNEXE 9 : ANALYSE DE LA VULNERABILITE (MATRICE DE SENSIBILITE) ..... 299
ANNEXE 10 : OUTIL METHODOLOGIQUE D'IDENTIFICATION ET D'EVALUATION DES COUTS ET BENEFICES DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'ADAPTATION ..... 300
ANNEXE 11 : PUBLICATIONS DES ARTICLES DANS LES REVUES SCIENTIFIQUES ET ACTES DES COLLOQUES INTERNATIONAUX ..... 301

- **IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES CULTURES DU MAÏS ET DU COTON ET STRATEGIES D'ADAPTATION DANS L'OUHAM EN CENTRAFRIQUE ..... 302**
- **PERCEPTIONS PAYSANNES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES MANIFESTATIONS DANS LE NORD-OUEST CENTRAFRICAIN ..... 309**
- **PEJORATION CLIMATIQUE ET ADAPTATION DES PRATIQUES CULTURALES A BOSSEMBELE, REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE ..... 315**
- **MODELISATION DU CLIMAT ACTUEL ET FUTUR DANS L'OUEST DE LA CENTRAFRIQUE ..... 322**

**TABLE DES MATIERES ..... 333**