Université d'Abomey-Calavi

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)

ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
«Espace, Cultures et Développement»

Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE)

Thèse présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi
Option : Dynamique des Systèmes Climatiques

CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL : INDICATEURS, SCENARIOS ET PROSPECTIVE DE LA SECURITE ALIMENTAIRE

Par

Euloge OGOUWALE

Sous la direction de :

Monsieur le Professeur Michel **BOKO** *(UAC/FLASH)*
Monsieur Firmin D. **ADJAHOSSOU,** *Docteur d'Etat ès Sciences (UAC/FSA)*
Monsieur Marie Joseph SAMBA-KIMBATA, Maître de Conférences (UMN, Brazzaville)

Soutenue publiquement le 30 septembre 2006 devant le Jury composé de :

Président	**: Thiou T. K. TCHAMIE**	Professeur Titulaire, Université de Lomé
Rapporteur	**: Michel BOKO**	Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi
Co-rapporteur	**: Firmin D. ADJAHOSSOU**	Docteur d'Etat ès Sciences, Université d'Abomey-Calavi
Co-rapporteur	**: Marie Joseph SAMBA-KIMBATA**	Maître de Conférences, Université de Brazzaville
Rapporteur de la soutenance	**: Abel AFOUDA**	Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi
Examinateur	**: Pierre T. ZOUNGRANA**	Maître de Conférences, Université de Ouagadougou

Mention : Très Honorable avec Félicitations à l'Unanimité des Membres du Jury et Publication de la Thèse

Université d'Abomey-Calavi

Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH)

ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
«Espace, Cultures et Développement»

Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE)

Thèse présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi
Option : Dynamique des Systèmes Climatiques

CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL : INDICATEURS, SCENARIOS ET PROSPECTIVE DE LA SECURITE ALIMENTAIRE

Par

Euloge OGOUWALE

Sous la direction de :

*Monsieur le Professeur Michel **BOKO** (UAC/FLASH)*
*Monsieur Firmin D. **ADJAHOSSOU,** Docteur d'Etat ès Sciences (UAC/FSA)*
Monsieur Marie Joseph SAMBA-KIMBATA, Maître de Conférences (UMN, Brazzaville)

Soutenue publiquement le 30 septembre 2006 devant le Jury composé de :

Président	**: Thiou T. K. TCHAMIE**	Professeur Titulaire, Université de Lomé
Rapporteur	**: Michel BOKO**	Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi
Co-rapporteur	**: Firmin D. ADJAHOSSOU**	Docteur d'Etat ès Sciences, Université d'Abomey-Calavi
Co-rapporteur	**: Marie Joseph SAMBA-KIMBATA**	Maître de Conférences, Université de Brazzaville
Rapporteur de la soutenance	**: Abel AFOUDA**	Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi
Examinateur	**: Pierre T. ZOUNGRANA**	Maître de Conférences, Université de Ouagadougou

Mention : Très Honorable avec Félicitations à l'Unanimité des Membres du Jury et Publication de la Thèse

***A* :**

- *tous ceux qui se mobilisent et mobilisent en faveur de la protection du climat et pour l'élimination de la faim dans les pays en développement ;*
- *Mes parents, mon épouse Irène et à mes enfants Nelris Iforiti-Iréti et Gratis Eulisen Moumiranti.*

Sommaire

	Page
Dédicace	4
Sommaire	5
Liste des abréviations et des sigles	7
Avant propos	9
Résumé	15
Summary	16
INTRODUCTION	17
PREMIERE PARTIE : PROBLEMATIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE, BASES ET SITUATIONS AGROALIMENTAIRES DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL	20
CHAPITRE PREMIER : REVUE DE LA LITTERATURE, JUSTIFICATION DU SUJET ET CLARIFICATION CONCEPTUELLE	21
1.1 - Etat des connaissances et justification du sujet	21
1.2 - Justification du choix des régions d'étude	25
1.3 - Hypothèses de travail	27
1.4 - Objectifs de l'étude	28
1.5 - Clarification des concepts	28
CHAPITRE DEUXIEME : DEMARCHE D'IDENTIFICATION DES INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE	38
2.1 - Typologie des données et des stations météorologiques retenues	38
2.2 - Travaux de terrain et méthode de détermination du bilan alimentaire	41
2.3 - Analyse des paramètres climatiques et identification des indicateurs des changements climatiques actuels	44
2.4 - Simulation du climat futur	48
2.5 - Modélisation des cultures et simulation des rendements	52
2.6 - Détermination des indicateurs de vulnérabilité des rendements	56
2.7 - Disponibilités et évaluation des besoins alimentaires en 2050	57
2.8 - Analyse des situations alimentaires et formulation de stratégies alimentaires intégrées et durables	58
CHAPITRE TROISIEME : FONDEMENTS DE LA PRODUCTION AGROALIMENTAIRE DANS LES DEUX REGIONS D'ETUDE	61
3.1 - Fondements naturels de la production alimentaire	61
3.2 - Déterminants socio-économiques de la production alimentaire	73
CHAPITRE QUATRIEME : SECTEURS AGROECOLOGIQUES, DYNAMIQUE DES PRODUCTIONS AGRICOLES ET SITUATIONS ALIMENTAIRES DE BASE	84
4.1 - Secteurs agroécologiques et systèmes culturaux	84
4.2 - Evolution des paramètres agricoles et évaluation des situations alimentaires récentes dans le Bénin méridional et central	90
Synthèse et conclusion de la première partie	99
DEUXIEME PARTIE : PALEOCLIMATS, CLIMATS ACTUELS ET SCENARIOS CLIMATIQUES POUR LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL	101
CHAPITRE CINQUIEME : VARIATIONS CLIMATIQUES PASSEES EN AFRIQUE ET DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL	102
5.1 – Sources et méthodes d'étude des paléoclimats	102
5.2 – Synthèse sur les paléoclimats dans le monde	107
5.3 – Variations climatiques anciennes en Afrique	114
5.4 - Indicateurs des changements climatiques anciens dans le Bénin méridional et central	118

CHAPITRE SIXIEME : DIAGNOSTIC, TENDANCES CLIMATIQUES ET PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DES CLIMATS DANS LES DEUX REGIONS D'ETUDE 125
6.1 - Précipitations et températures mensuelles dans le Bénin méridional et central sur la normale (1961-1990) 125
6.2 - Tendances pluviométriques et thermométriques 133
6.3 – Analyse décennale des bilans climatiques sur la période 1971-2000 dans les deux régions d'étude 137
6.4 - Perceptions socio-anthropologiques de l'évolution des climats actuels dans le Bénin méridional et central 141
CHAPITRE SEPTIEME : INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACTUELS DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL 147
7.1 - Indicateurs thermométriques des changements climatiques dans les deux régions 147
7.2 - Indicateurs pluviométriques de l'évolution des climats dans le Bénin méridional et central 156
CHAPITRE HUITIEME : EMISSIONS ET CONCENTRATIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE ET SIMULATION DES CLIMATS FUTURS DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL 166
8.1 – Notion d'effet de serre naturel et d'effet de serre additionnel 166
8.2 – Contribution de chaque GES à l'augmentation de l'effet de serre au niveau mondial 169
8.3 – Point sur émissions de gaz a effet de serre au Bénin 171
8.4 – Pollution atmosphérique dans les principales villes du Bénin méridional et central 173
8.5 - Climats futurs dans le Bénin méridional et central 177
Synthèse et conclusion de la deuxième partie 183
TROISIEME PARTIE : IMPACTS POTENTIELS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA SECURITE ALIMENTAIRE, REPONSES ADAPTATIVES ET MITIGATION 186
CHAPITRE NEUVIEME : RISQUES AGROALIMENTAIRES ET VULNERABILITE DES POPULATIONS A UN CLIMAT FUTUR 187
9.1 - Rendements agricoles par scénario climatique en 2050 187
9.2 – Vulnérabilité des populations 198
9.3 – Autres impacts socio-économiques et réponses sociales 201
CHAPITRE DIXIEME : STRATEGIES REACTIVES PUBLIQUES ET AJUSTEMENTS AUTONOMES PAYSANS D'ADAPTATION AUX RISQUES AGROCLIMATIQUES ET ALIMENTAIRES 206
10.1 - Stratégies réactives des pouvoirs publics 206
10.2 - Ajustements autonomes des cultures et stratégies d'adaptation paysannes 213
CHAPITRE ONZIEME : OPTIONS ET STRATEGIES DE MITIGATION POUR UNE PLANIFICATION DE LA SECURITE ALIMENTAIRE 224
11.1 - Scénario ''zéro'' importation des produits alimentaires 224
11.2 - Options de mitigation et planification agroalimentaire 224
11.3 - Amélioration des systèmes de conservation et de techniques de transformation des produits agricoles 232
11.4 - Vigie Stratégie pour la Sécurité Alimentaire (VSSA) 234
Synthèse et conclusion de la troisième partie 241
DISCUSSION ET LIMITES METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE 243
CONCLUSION 247
Références bibliographiques 250
Liste des figures 270
Listes des photos 273
Liste des tableaux 274
Annexes 276
Table des matières 299

Liste des abréviations et des sigles

ABE	: Agence Béninoise pour l'Environnement
ASECNA	: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
BADEA	: Banque Africaine pour le Développement Economique en Afrique
BID	: Banque Internationale de Développement
BP	: Before Present
C_3	: Plante dont le premier produit formé est une molécule à trois (3) carbones grâce au mécanisme d'assimilation du CO_2
C_4	: Plante dont le premier produit formé est une molécule à quatre (4) carbones grâce au mécanisme d'assimilation du CO_2
CENATEL	: Centre National de Télédétection et de Surveillance du Couvert Végétal
CeRPA	: Centre Régional pour la Promotion Agricole
CFC	: Chlorofluorocarbone
CIFRED	: Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable
CILSS	: Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CLCAM	: Caisse Locale de Crédits Agricoles et Mutuels
CNUCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
DEA	: Diplôme d'Etudes Approfondies
DGAT	: Département de Géographie et Aménagement du Territoire
DIAPER	: Diagnostic Permanent
DMN	: Direction de la Météorologie Nationale
DPDR	: Déclaration de Politique de Développement Rural
DSSAT	: Decision Support System for Agrometeorology Transfer
E-CO_2	: Equivalent gaz carbonique
ECVR	: Enquêtes sur les Conditions de Vie en milieu Rural
EDP	: Ecole Doctorale Pluridisciplinaire
FIDA	: Fonds International pour le Développement Agricole
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FEM	: Fonds Mondial pour l'Environnement
FLASH	: Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
FNUAP	: Fonds des Nations Unies pour la Population
FSA	: Faculté des Sciences Agronomiques
GES	: Gaz à Effet de Serre
HadCM2	: Hadley Centre Unified Model 2
IAC	: Indice Agroclimatique
IDH	: Indice de Développement Humain
IFPRI	: International Food Policy Research Institute
IITA	: International Institute of Tropical Agriculture
INRAB	: Institut National de Recherches Agricoles du Bénin
INSAE	: Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change

LDPDR	: Lettre de Déclaration de Politique de Développement Rural
LECREDE	: Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes
LSSEE	: Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MAGICC - SCENGEN	: Model for Assessment of Green House Gaze Induced Climate Change – Scenario Generator
MARP	: Méthode Accélérée de Recherche Participative
MCCAG-PD	: Ministère Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale, de la Prospective et du Développement
MCG	: Modèle de Circulation Générale
MEHU	: Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
MISD	: Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité et de la Décentralisation
OBAR	: Office Béninois d'Aménagement Rural
OMM	: Organisation Mondiale de la Météorologie
ONASA	: Office National pour la Sécurité Alimentaire
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
OCDE	: Organisation de coopération et de développement économiques
PAGER	: Projet d'Activités Génératrices de Revenus
PCNCC-B	: Projet Communication Nationale sur les Changements Climatiques - Bénin
PDFM	: Projet de Développement de la Filière Manioc
PDRT	: Programme de Développement des Racines et Tubercules
PIB	: Produit Intérieur Brut
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRSA	: Projet de Restructuration des Services Agricoles
PILSA	: Projet d'Interventions Locales pour la Sécurité Alimentaire
PSSA	: Programme Spécial de Sécurité Alimentaire
SADEVO	: Société d'Aménagement de la Vallée de l'Ouémé
SAH	: Scénario Analogue Humide
SAS	: Scénario Analogue Sec
SIG	: Système d'Information Géographique
SMIAR	: Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide sur l'alimentation et l'agriculture
SONIAH	: Société Nationale d'Irrigation et d'Aménagement Hydro-Agricole
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios
UAC	: Université d'Abomey-Calavi

Avant-propos

Il est maintenant prouvé que la planète est soumise à des forçages dus aux activités d'origine anthropique, qui sont hors des limites de la variabilité naturelle connue (IPCC, 2001). La plupart des études effectuées montrent que les changements intervenus dans l'environnement planétaire, leur intensité, à la fois en amplitude et en rapidité, sont sans précédent dans l'histoire de l'humanité, et probablement dans toute l'histoire de la terre (Wigley, 1981). Le climat mondial est ainsi entré dans une évolution sans analogie au regard des données disponibles sur le climat des deux derniers millénaires (Berger, 1992).

Bien que la nature et l'ampleur des changements climatiques dus à l'accroissement des gaz à effet de serre (GES) ne peuvent être quantifiées avec exactitude, les experts de IPCC sont unanimes au sujet des impacts dudit phénomène qui sont déjà perceptibles dans certaines régions du monde. Et, en dépit de la mise en œuvre d'importantes mesures visant à réduire les émissions de GES, il est reconnu que les changements climatiques s'intensifieront et auront des conséquences économiques, sociales et environnementales importantes dans les pays en développement (IPCC, 2001) au cours des prochaines décennies.

Face à une telle situation, il faut agir dès maintenant afin de limiter les dégâts, tout en considérant une gamme d'incertitudes et en tenant compte de la complexité et de la non linéarité des changements climatiques ainsi que de ses incidences sur les sociétés humaines d'aujourd'hui et de demain. Cette complexité ne doit pas émousser les recherches sur les changements climatiques. Au contraire, il importe de chercher à réduire les incertitudes, à ouvrir suffisamment l'horizon et travailler à amoindrir l'obscurité avec l'ambition de contribuer au développement générationnel.

Selon IFPRI (1995), on s'attend à voir en Afrique le nombre d'enfants sous-alimentés augmenter de 45 % en 2020 par comparaison à la situation de 1993. En outre, cette institution estime qu'en 2020, près de 70 % de la population vivant dans l'insécurité alimentaire habiteront l'Afrique sub-saharienne et l'Asie du Sud. En 2020, il est probable qu'une personne sur trois sera affectée par l'insécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, contre une sur huit en Asie du Sud et une sur vingt en Asie

orientale. Au nombre des facteurs explicatifs de cette situation figurent en bonne place les changements climatiques.

Paradoxalement, les ressources des organisations qui luttent contre la faim n'ont jamais autant diminué (IFPRI, 1995) du fait du désintéressement des partenaires au développement. Si un tel désintéressement est maintenu, la solution à la faim serait principalement nationale et fondée sur les productions locales. Or, l'agriculture africaine en général et celle du Bénin en particulier, principale source des denrées alimentaires, déjà affectée par les contre-coups de la variabilité climatique contemporaine, est dans un tel contexte sous la menace d'un changement de climat. Cela se traduira par une vulnérabilité plus accrue des secteurs économiques et une fragilité aggravée des populations. Que faire ?

Selon Sombroek et Gommes (1997) puis l'OMM et le PNUE (2002), pour réduire les effets néfastes, directs ou indirects potentiels des changements climatiques sur le système agroalimentaire, les populations doivent s'adapter et les systèmes économiques devront être adaptés aux futurs contextes climatiques. Pour adapter le système agroalimentaire et amener les populations à s'adapter, il est indispensable de bien comprendre ledit système, sa sensibilité aux changements climatiques et sa capacité intrinsèque de résilience. Cette étude intitulée : **''Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire''** réalisée dans le cadre de l'obtention du Diplôme de Doctorat Unique, option climatologie, de l'Université d'Abomey-Calavi, répond à cette préoccupation.

Cette thèse est le résultat de nombreux échanges scientifiques et de collaboration avec des personnes, auxquelles j'aimerais ici exprimer toute ma reconnaissance sachant que ces quelques lignes sont insuffisantes pour résumer le précieux rôle qu'elles ont eu à jouer.

Je tiens à présenter d'abord ma gratitude à mon Directeur de thèse, Monsieur le Professeur Michel Boko, pour sa contribution et son entière disponibilité à diriger ce travail et à m'accompagner dans mes efforts malgré ses multiples occupations. Je vous suis profondément reconnaissant, Monsieur le Professeur, pour avoir accepté de vous engager avec moi sur un sujet à plusieurs facettes mais évocateur et

d’actualité. La richesse de vos idées et encouragements, vos propos incitateurs et stimulateurs ont constitué des atouts précieux pour la réalisation de cette thèse. Monsieur le Professeur Michel Boko, je m’incline devant votre félicité scientifique.

Que Monsieur le Professeur Firmin D. Adjahossou, co-Directeur de cette thèse accepte les mêmes mots de reconnaissance pour sa contribution combien inestimable. Monsieur le professeur je n'oublie pas que vous avez toujours su m'indiquer les pistes scientifiques qui m’ont aidé à évoluer rapidement dans les recherches indispensables pour la rédaction de cette thèse. Monsieur le Professeur, toute ma gratitude pour tout ce que j’ai appris par vous sur les notions de l’adaptabilité et de la résistance des cultures à la sécheresse. Je n’oublie pas vos propos répétitifs d’encouragement et d’invitation aux différentes séances de travail pour la validation de certains résultats auxquels je parvenais.

Je prie Monsieur Marie Joseph Samba Kimbata, Maître de Conférences à l’Université Marien Ngouabi de Brazzaville (Congo), également co-Directeur de cette thèse, de recevoir ma profonde gratitude. Malgré la distance qui nous séparait, cher Professeur, vous m’avez assuré de façon constante un encadrement scientifique en utilisant toutes les possibilités et canaux offerts par les nouvelles technologies de l’information. Je n’oublie pas vos conseils. Ce sont ces conseils associés à votre rigueur et votre immense expérience qui m’ont permis de finaliser et d’améliorer notablement cette thèse.

Je remercie également Monsieur le Professeur Thiou T. K. Tchamié, Vice-Président de l’Université de Lomé (Togo), qui, grâce à un examen minutieux et détaillé, a contribué largement à l’amélioration de cette thèse. Cher Professeur, merci pour vos incessants et continus conseils. Merci également pour avoir accepté de présider le jury de soutenance de cette thèse.

J’exprime aussi mes remerciements à Monsieur le Professeur Abel Afouda (Maître de Conférences à la Faculté des Sciences Techniques à l’Université d’Abomey-Calavi, pour toutes ses critiques, ses observations et ses suggestions qui ont concouru à l’amélioration de cette thèse. Cher Professeur, veuillez trouver également ici l’expression de ma profonde gratitude pour avoir accepté de rapporter les travaux de soutenance de cette thèse.

Je dis merci aussi à Monsieur Pierre T. Zoungrana, Professeur à l'Université de Ouagadougou, pour ses contributions à l'amélioration de la qualité de cette thèse et pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

J'exprime également ma profonde gratitude à Monsieur Issa Maman-Sani, Directeur Exécutif de l'Agence Route des Pêches et Chef du département SISE à l'Agence Béninoise pour l'Environnement, dont les conseils, les contributions techniques, matérielles, etc. ont été précieux dans la réalisation de cette thèse. Je salue son sens de collaboration élevé, la valeur de sa culture scientifique, qui à mon humble avis, sont exceptionnels. Je remercie son épouse, Madame Issa Bintou, pour ses chaleureux accueils et soutiens réconfortants.

Merci à Messieurs Christophe Sègbè Houssou (Chef du Département de Géographie) et Antoine Aoga (Expert en technologie alimentaire à Sasakawa Global 2000), pour leurs encouragements, leurs contributions de toutes sortes à la réalisation de cette thèse. J'apprécie leurs conseils et leurs indications au sujet de la conduite à tenir dans le milieu scientifique. Je salue leurs propos répétitifs de motivation, d'orientation, d'enrichissement psychologique, etc.

Je voudrais dire toute ma gratitude à tous les chercheurs juniors du Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE). Je veux nommer Messieurs Henri V. S. Totin, Ibouraïma Yabi, Ernest Amoussou, Zacharie Y. Séyigona et Cyr G. Eténé. Ces personnes ont consacré énormément leur temps à la réalisation de cette thèse. Je leur suis sincèrement reconnaissant. Chers collègues, souvenez-vous de nos différentes et longues séances de travail sur la validation de certains résultats provisoires. C'étaient des occasions d'échanges fructueux, des séances de donner et recevoir dans notre vie scientifique. A chacun de vous, je réitère mes remerciements et je vous souhaite du courage, de la détermination et de la combativité continue afin que vous puissiez finaliser vos travaux de thèse dans les jours à venir. Chers frères, retenez avec moi que nos valeurs ne se limitent pas seulement à nos valeurs intellectuelles en construction mais elles s'étendent également à celles qui consistent à se faire confiance, se soutenir, se contredire, se défier sur des débats scientifiques pour finalement s'entendre sur l'essentiel. Je n'oublierai pas ces moments de notre existence et je demande de continuer ainsi, c'est la voie de l'affirmation scientifique.

Au nom de tous ces chercheurs juniors et en mon nom propre, je dis encore merci à Monsieur le Professeur Michel Boko pour nous avoir permis de disposer d'un cadre adéquat de travail, constamment renforcé et renouvelé par ses soins.

Que Messieurs Fulgence Afouda, Léon Okioh, Constant Houndénou, Jean Houndagba, Yves Tohozin, François Tchibozo, Brice Tenté, Joseph Akpaki et Madame Odile Guèdègbé, tous Professeurs au Département de Géographie**,** et le Docteur Sèdami Adjahossou reçoivent mes mots de reconnaissance pour leur franche collaboration.

Je remercie Madame Isabelle Carman et Monsieur Bo Lim (PNUD, New York), Monsieur Paeth Heikko (Université de Bonn), Monsieur Akpovi Akoègninou (Maître de Conférences à la FAST/UAC), Monsieur Mathieu Afanou et Monsieur Mathias Toffi pour leurs conseils et leur amitié.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Professeur Adrien Huannou, Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire et à Monsieur Charles Gbèhi, secrétaire dans ladite école.

Je suis également reconnaissant à tout le corps professoral du Département de Géographie et Aménagement du Territoire pour toutes les facilités qui m'ont été accordées lors de la réalisation de cette thèse. Je dis un grand merci à Monsieur Yessoufou Takpa L. Mouinou, secrétaire dans ledit Département.

Merci à tous les membres du LECREDE ; je veux nommer entre autres Mesdames Elisabeth d'Olivera, Léocadie Odoulami et Clarisse Sidonie Hédiblè, Messieurs Placide Clédjo, Etienne Biaou (in memoriam), Kaza do Rego, Expédit Vissin et Florent Houéssou.

Merci également à Madame Philomène Chodaton, Assistante en Passation des Marchés à l'Agence Béninoise pour l'Environnement, pour sa franche collaboration et son assistance. Merci aussi à Monsieur Côme Linsoussi et Monsieur Idelphonse Décadjévi pour avoir renforcé mes capacités en utilisation et manipulation du tableur Excel et en initiation au langage de programmation. Je remercie Messieurs Blaise Donou, Romaric Ogouwalé, Janvier Assouni, Guy Wokou, Saturnin Agbomahena,

Mesdemoiselles Rafiatou Bamisso, Flora Djogbénou et Justine Vodounon pour leur permanente disponibilité et leurs contributions diverses et variées.

Que tous les membres de la famille des Professeurs Michel Boko et Firmin D. Adjahossou, qui m'ont toujours réservé un accueil chaleureux et un soutien moral, trouvent ici l'expression de ma gratitude et de mon profond attachement.

Que toutes les personnes, qui à un moment ou un autre ont su me consacrer quelques minutes de leur temps pour répondre à mes questions et me faire des suggestions pertinentes acceptent mes mots de remerciement. Je n'oublie pas mes chers amis en fin de cycle ou encore étudiants au Département de Géographie. A tous, je souhaite du courage pour le reste du parcours académique.

Mes marques de gratitude vont aussi à l'endroit de feue ma soeur Victoire Ogouwalé pour sa contribution au façonnement de ma personne. Victoire, paix à toi dans ton repos sempiternel.

Ma plus grande gratitude va à l'endroit de mes parents ; je veux nommer Monsieur Adrien Ogouwalé et Madame Lydia Ogouwalé, qui m'ont toujours fait confiance dans mes choix. Au fil de ces longues années d'études, par leur soutien et réconfort, ils m'ont permis d'aller plus loin. Je voudrais leur dédier l'ensemble de ce travail. Très chers parents, je suis comblé parce que je partage l'aboutissement de cette thèse avec vous. Longévité à vous.

Je dis également merci à tous mes frères et sœurs, mes collaborateurs ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué d'une façon quelconque à la réalisation de la présente thèse. Je n'oublie pas aussi tous ceux qui se battent tous les jours pour mieux comprendre le passé et le devenir des climats ainsi que leurs incidences sur les activités économiques et les composantes sociales.

Résumé

Cette étude identifie les traces des paléoclimats, les indicateurs de l'évolution du climat actuel et établit les impacts d'éventuels changements climatiques sur la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

Les études antérieures et les travaux de terrain révèlent que le Bénin méridional et le Bénin central ont été le centre de plusieurs changements climatiques dans le temps. Les types de sols, la présence des dalles cuirassées, de sables jaunes, de plusieurs lacs, etc. et certaines spécificités géomorphologiques dans le milieu littoral, sont les traces et les signes évidents des changements climatiques anciens dans les deux régions d'étude.

L'étude comparée des données climatologiques entre les normales 1971-2000 et 1941-1970, montre globalement que les précipitations ont baissé de 16 et 28 % dans le Bénin méridional et central. Dans ce même intervalle de temps, les températures ont augmenté globalement de +1 °C dans les deux régions.

En 2050, sur la base des émissions SRESB2 et en utilisant le HadCM2 du MAGICC SCENGEN, les températures augmenteront entre 1,5 et 2 °C dans les deux régions, par rapport à la référence 1961-1990. La baisse de la pluviométrie serait comprise entre 11 et 30 %. A ces modifications s'ajoutera un décalage dans la structure des saisons. Les mois d'avril et de mai seront marqués par une baisse respective de 5,8 et 10,9 %. De même, juin et juillet connaîtront une baisse respective de 16 et 5 %. Par contre, octobre par exemple, sera marqué par un accroissement de 25 % de sa pluviométrie par rapport à ce qu'elle était sur la période 1961-1990.

Dans un tel contexte, les données de sortie du DSSAT V.4 montrent que les rendements agricoles décroîtront. Une comparaison des "rendements futurs" à ceux consignés dans le compendium des statistiques du MAEP montre que les baisses des rendements seraient globalement comprises entre 10 et 30 % pour les scénarios analogue sec et SRESB2/HadCM2 dans les deux régions. Pour ces deux scénarios, 40 et plus de 55 % des populations seront menacées par l'insécurité alimentaire dans le Bénin méridional à l'horizon 2050. Dans le Bénin central, seule la production du niébé sera déficitaire.

Appui aux différentes structures de recherche (LECREDE, FSA, INRAB, ONASA, etc.), mise à jour des variétés résistantes à la chaleur et la sécheresse, amélioration de la fertilité des sols, promotion de l'agriculture urbaine et de la culture fruitière, irrigation, implication et promotion des rôles des femmes dans la production alimentaire, élaboration d'une vigie stratégie alimentaire, constitution de banques de céréales décentralisées sont entre autres des mesures proposées pour atténuer ou tirer opportunément profit des incidences d'un changement de climat dans le Bénin méridional et central au cours des cinquante années à venir.

Mots clés : Bénin méridional et central ; scénarios ; changements climatiques ; sécurité alimentaire ; vulnérabilité ; mitigation

Summary

This study identifies the traces of the paleoclimates, the indicators of the current climate evolution and establishes the impacts of possible climatic changes on food security in southern and central Benin.

The former studies and field researches reveal that southern and central Benin were the centre of several climatic changes in the past. The types of soils, the presence of battleship flagstones, yellow sands, several lakes, etc and certain geomorphological specificities in the littoral area, are the traces and the obvious signs of the old climatic changes in the two areas of study.

The comparative study of the climatological data between periods 1971-2000 and 1941-1970, shows overall that precipitations dropped by 16 and 28 % respectively in southern and central Benin. In this same interval of time, temperatures increased overall by +1 °C in both areas.

In 2050, on the basis of emissions SRESB2 and by using HadCM2 of MAGICC SCENGEN, temperatures will increase between 1,5 and 2 °C in the two areas, compared to the reference period 1961-1990. Drop in rainfall would lie between 11 and 30 %. A shift in seasons structure will add to these modifications. A fall of 5,8 and 10,9 % will be noted respectively in April and May, and of 16 and 5 % respectively in June and July. On the other hand, a rainfall increase of 25 % will be noted in October compared to what it was over the period 1961-1990.

In such a serious context, the outputs of the DSSAT V.4 show that agricultural yields will decrease. A comparison of the "future yields" to those consigned in the compendium of the MAEP's statistics shows that drops in the yields would lie overall between 10 and 30 % in the similar scenarios dry and SRESB2/HadCM2 in both areas. In these two scenarios, 40 and more than 55 % of the populations will be exposed to food insecurity in southern Benin by 2050. In central Benin, only the production of bean will be insufficient.

Support to the various research institutions (LECREDE, FSA, INRAB, ONASA, etc), updated of heat and drought resistant varieties, soil fertility improvement, promotion of urban agriculture and fruit-bearing culture, irrigation, involvement and promotion of women's roles in food production, elaboration of a supervising strategy for food security, constitution of decentralized cereal banks are some measures suggested to attenuate or take advantage of the climatic changes impacts in the southern and central Benin during the fifty coming years.

Key words: Southern and central Benin; climatic changes; food security; vulnerability; scenarios; mitigation

INTRODUCTION

Les changements climatiques et leurs impacts constituent aujourd'hui l'un des sujets les plus préoccupants de la communauté scientifique internationale. Même s'il subsiste encore de nombreuses incertitudes et bien des désaccords entre les chercheurs sur les changements climatiques, un consensus semble se dégager pour dire que les activités humaines contribuent à une modification du système climatique. Un climat modifié, qui se traduirait par une amplification des phénomènes extrêmes dans certains pays des régions intertropicales aura des impacts sur l'agriculture (IPCC, 2001 ; FAO, 2002) et par conséquent sur la sécurité alimentaire.

Et déjà indépendamment des changements climatiques, le début de la décennie 70 a été marqué par une série de crises alimentaires sur le continent africain. En témoignent les famines des années 1972 et 1974 au Sahel (Niger, Burkina Faso, Mauritanie, etc.).

Au Bénin, si les crises alimentaires n'ont pas atteint l'ampleur de celles connues par les pays sahéliens, il n'en demeure pas moins que le pays est souvent confronté à de sérieux déficits alimentaires (Issa, 1995). Selon Igué (1988), entre 1976 et 1984, environ 46 % des populations béninoises ont vu leur situation nutritionnelle se dégrader. Une telle situation serait due à l'évolution des climats actuels (Ogouwalé, 2004) pour laquelle des indicateurs restent à établir en analysant, par exemple, les données thermométriques et pluviométriques sur une longue période.

C'est dans ce contexte de crises alimentaires récurrentes, avec le fait que l'agriculture béninoise reste et demeurera encore de type pluvial que s'annoncent des bouleversements et modifications climatiques majeurs (Issa, 1995 ; Boko, 1997 ; IPCC, 2001). Les simulations effectuées à partir des modèles climatiques annoncent que la température de la planète augmentera de 1,5 à 6 °C d'ici à l'an 2100 (IPCC, 2001). Une telle hausse serait la plus importante de toutes celles survenues au cours des dix mille dernières années et serait la conséquence de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère.

Les émissions de GES continuent et continueront de modifier l'atmosphère et auront des répercussions sur le climat (IPCC, 2001). Les données actuelles montrent que le

climat a peut être déjà commencé à évoluer en raison des émissions passées (OMM et PNUE, 2002). Une telle évolution aurait des incidences sensibles sur les autres composantes de l'environnement biophysique et par suite sur les systèmes humains. La productivité de l'agriculture de tous les pays de la planète souffrira énormément, mais de façon différenciée (FAO, 1997). En effet, à partir de quatre modèles de projection des impacts des changements climatiques sur la production alimentaire, la FAO estime qu'en 2080, les pays développés devraient faire des gains de productivité alors qu'inversement, 40 des pays les moins développés de la planète, comptant une population globale projetée à plus de 3 milliards, devraient perdre de 10 à 20 % de leur capacité de production céréalière. Dans le même ordre d'idée, l'OMM et le PNUE (2002) prédisent que les changements climatiques auraient des impacts socio-économiques et environnementaux négatifs, principalement en Afrique sub-saharienne.

Au Bénin, selon Issa (1995) et Ogouwalé (2004), un stress thermique supplémentaire et des sols plus secs risquent de réduire les rendements dans les différentes régions agroécologiques. En outre, la multiplication et l'expansion des nuisibles des cultures en raison des changements climatiques viendront aggraver le risque de pertes post-récolte. Les risques alimentaires seront énormes et les populations les plus vulnérables sont les paysans, les démunis ruraux et urbains, etc. (IPCC, 2001 ; FAO, 2002 ; Ogouwalé, 2004).

Or, la capacité d'un pays à assurer l'alimentation à sa population à partir des ressources locales est considérée comme une condition essentielle pour le développement économique et social (FAO, 2002). Dès lors, il importe d'évaluer la capacité des régions du Bénin à nourrir leurs populations dans le contexte d'un changement climatique et de proposer des stratégies de planification alimentaire qui intègrent les incertitudes futures liées à l'évolution du climat. Ceci permettra d'établir un cadre logique de prévision et de gestion des risques alimentaires à court et à moyen terme. C'est ce qui est tenté d'être abordé dans cette thèse intitulée **"Changements Climatiques dans le Bénin Méridional et Central : Indicateurs, Scénarios et Prospective de la Sécurité Alimentaire".**

Cette thèse, structurée en trois parties et comportant onze (11) chapitres, est une contribution aux débats scientifiques sur les risques alimentaires liés aux changements climatiques au Bénin, notamment dans le Bénin méridional et central (compris entre 6°30’ et 8°45’ de latitude nord et 1°35’ et 2°45’ de longitude est).

La première partie intitulée : problématique, démarche méthodologique, bases et situations agroalimentaires dans le Bénin méridional et central comprend quatre (4) chapitres. Le chapitre 1 aborde l’état des connaissances, expose la position et la justification du sujet. Il présente également la clarification des concepts et la délimitation des régions d’étude. Le chapitre 2 développe la démarche méthodologique d’identification des indicateurs d’une évolution du climat et d’évaluation des risques agricoles et alimentaires relatifs aux changements climatiques. Les chapitres 3 et 4 portent respectivement sur les fondements des productions alimentaires, l’analyse des productions agricoles et des situations alimentaires de base dans les deux régions d’étude.

La deuxième partie libellée : paléoclimats, climats actuels et scénarios climatiques pour le Bénin méridional et central, comprend les chapitres 5, 6 et 7. Le chapitre 5 présente une synthèse sur les paléoclimats, notamment dans le Bénin méridional et central. Le chapitre 6 porte sur les tendances climatiques et la perception des populations du climat actuel et le septième chapitre dresse les indicateurs des changements climatiques contemporains. Le chapitre 8 porte sur les sources et l’ampleur des émissions des gaz à effet de serre au Bénin. De plus, il y est abordé, à partir des scénarios climatiques convenablement déterminés, les évolutions possibles des climats dans le Bénin méridional et central à l’horizon 2050.

La troisième partie dénommée : impacts potentiels des changements climatiques sur la sécurité alimentaire, réponses adaptatives et mitigation se compose de trois chapitres. Le chapitre 9 identifie les impacts des changements climatiques sur les productions agroalimentaires ainsi que leurs incidences socio-économiques. Les chapitres 10 et 11 quant à eux présentent respectivement les stratégies réactives développées et les options de mitigation pour une planification durable de la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

Première partie

Problématique, démarche méthodologique, bases et situations agroalimentaires dans le Bénin méridional et central

CHAPITRE PREMIER : REVUE DE LA LITTERATURE, JUSTIFICATION DU SUJET ET CLARIFICATION CONCEPTUELLE

1.1 - Etat des connaissances et justification du sujet

Les dernières décennies de la fin du deuxième millénaire ont été marquées par une évolution rapide des climats (IPCC, 1990 ; Olaniran, 1991 ; Nicholson, 1998).

Les recherches effectuées par Olivry et *al*. (1983) et Sircoulon (1990) indiquent que les précipitations en Afrique ont été marquées par une diminution. Cette tendance est qualifiée de ‘’nouvelle phase climatique’’ ou encore de ‘’rupture climatique’’ par Carbonnel et Hubert (1992). Dans ce contexte continental, la région ouest-africaine a connu une récession pluviométrique aux ampleurs parfois très accusées doublée d’une augmentation significative du nombre d'années sèches (Sircoulon, 1990). Nicholson (1989) estime que la baisse des hauteurs pluviométriques en Afrique de l’Ouest est comprise entre 10 et 25 % en comparaison à celle enregistrée au début du 20ème siècle. Une telle situation a engendré une baisse des rendements agricoles dans cette partie de l’Afrique (FAO, 1995). Et, la situation serait probablement intenable dans un contexte de changement climatique (Sombroek, 1997 ; IPCC, 2001).

Les différentes études effectuées montrent que le réchauffement du climat, suite à un doublement du CO_2, aurait des répercussions importantes sur la production agricole mondiale, avec des différences marquées d’une région à une autre. Par exemple au Saskatchewan, Stewart (1986) et Williams et *al*. (1988) et au Manitoba, Arthur et *al*. (1986) cités par Singh (1992), montrent qu’en dépit de l’augmentation des précipitations, le rendement du blé baisserait d'environ 18 % suite au stress hydrique plus important induit par une température plus élevée. Par contre, au Québec, Sinha (1991) a noté une importante augmentation des rendements potentiels du maïs. En revanche, dans les régions tropicales et plus généralement les pays en développement, les productions agricoles essentiellement pluviales connaîtraient des baisses de productivité de 20 à 30 %. Cette diminution de la productivité agricole se traduirait par une vulnérabilité sociale plus accrue. Par exemple, plus de 34 % de la population de l’Afrique subsaharienne vivront dans l’insécurité alimentaire (FAO, 1997).

Au Bénin, Boko (1988), Afouda (1990) et Houndénou (1999) ont montré que la baisse de la pluviométrie associée au réchauffement thermique, ont induit une dégradation du milieu écologique et se sont soldés par des impacts négatifs sur la production agricole. En effet, les dérèglements et les déficits pluviométriques saisonniers enregistrés ont perturbé les cycles culturaux, bouleversé le calendrier agricole paysan et rendu non opérationnelles les normes culturales empiriques en vigueur chez les populations paysannes (Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2001). Dans les différentes régions du Bénin, la vulnérabilité se manifeste par une détérioration des rendements et des pertes importantes de récoltes (Boko, 1988 ; Issa, 1995). Cette situation est due à l'indigence pluviométrique (Afouda, 1990), à la réduction de la durée des saisons agricoles (Issa, 1995), au réchauffement thermique et à la péjoration pluviométrique (Ogouwalé, 2004), indicateurs d'une évolution des climats.

Mais, la plupart des études réalisées sur le climat en Afrique subsaharienne en général (Nicholson, 1989 ; Carbonnel et Hubert, 1992) et au Bénin en particulier indiquent plus une variabilité climatique (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999) qu'une évolution des climats. En conséquence, à l'heure actuelle, aucune étude n'a véritablement porté sur les preuves d'une modification des paramètres climatiques, signe annonciateur d'un changement climatique. Les données disponibles sur l'évolution du climat sont parcellaires et peu suggestives pour enclencher une mobilisation nationale en faveur de la protection du climat. La plupart des indicateurs sur les changements climatiques sont ceux de IPCC, qui restent globaux et ne permettent pas de cerner la dynamique des composantes climatiques à une échelle plus fine. Or, il importe de fournir des informations chiffrées à la population et aux décideurs sur les changements climatiques. En effet, une population mieux informée sera davantage en mesure de participer à la lutte contre les changements climatiques annoncés et de contribuer aux programmes élaborés pour l'atténuation des risques climatiques. D'où, la nécessité d'établir les indicateurs d'une évolution du climat, qui selon la FAO (1997) pourrait engendrer des situations alimentaires difficiles au cours des prochaines décennies.

Selon les données récentes de IPCC (2001), les changements climatiques continueront à caractériser une bonne partie du troisième millénaire. Dans un tel contexte, la FAO (2002) prévoit que la réduction de moitié du nombre des personnes

sous-alimentées à l'horizon 2015 serait hypothéquée et risquerait de ne pas être atteinte en 2030, notamment dans les pays au sud du Sahara. En effet, dans un monde déjà chaud, un réchauffement supplémentaire associé à des fluctuations exagérées de la pluviométrie n'avantagera probablement pas les régions intertropicales alors que par coïncidence ou non, ces régions semblent être habitées par les plus pauvres du monde (Reilly et *al*., 1994).

Déjà, les dernières décennies du 20ème siècle ont été marquées par une dégradation de la situation alimentaire dans les pays en développement (FAO, 1995 ; PNUD, 2000). Dans les pays sahéliens, le déficit alimentaire au cours des vingt-cinq dernières années a atteint 20 % par rapport à la demande en produits alimentaires des populations en raison des sécheresses récurrentes (FAO, 1997). Les réponses curatives apportées, qui s'étaient traduites par l'acheminement et la multiplication des ponts aériens en direction des pays les plus durement touchés tels le Soudan, l'Ethiopie, la Mauritanie, ont permis de réduire la vulnérabilité alimentaire des populations. Aujourd'hui, le continent africain importe environ huit (8) millions de tonnes de céréales par an. Les estimations faites pour 2020 montrent que cette importation augmentera jusqu'à 30, voire à 50 millions de tonnes par an (FAO, 1997).

Au Bénin, des crises alimentaires ont marqué l'histoire des communautés. Par leur ampleur, elles ont déstabilisé les économies traditionnelles (Boko, 1988). Entre 1976 et 1977, environ 46 % des béninois avaient été victimes d'une pénurie alimentaire (Odjo, 1997) et la famine de 1931 à 1934 et celle de 1944 (Boko, 1988) ont durement frappé les populations béninoises. La mémoire collective en garde encore le souvenir à travers des légendes, dictons, etc. (Gnitona, 2000 ; Ogouwalé, 2001).

Cette situation s'expliquerait par l'utilisation abusive des provisions lors des cérémonies, la commercialisation dans le cadre d'échanges locaux et régionaux, etc. (Igué, 2001). Mais ONASA (2002), pour sa part, lie la rupture de l'équilibre alimentaire aux contraintes financières. Agbo (1977), Boko (1988), Afouda (1990) et Dansou (1999) pour leur part, ont montré que les crises alimentaires relèvent de la dynamique des composantes climatiques des trois dernières décennies. En effet, le contexte climatique s'est caractérisé par une irrégularité et une diminution pluviométrique saisonnière. Une telle situation a induit des contraintes hydriques pour les cultures (Adjahossou, 1983).

En somme, les fréquentes crises alimentaires de l'époque contemporaine incitent à s'interroger sur la capacité de l'agriculture béninoise à assurer son rôle historique de nourrir les populations (Issa, 2001). Du reste, sans les changements climatiques, si les séquences climatiques des années 1946, 1962, 1964, 1969, 1977 et 1983, marquées par des périodes de grandes famines (Nouatin, 1989), se répétaient, la sécurité alimentaire serait fortement compromise. En effet, ce sont les paramètres pluviométriques qui déterminent la sécurité alimentaire (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999), même si l'amélioration de cette dernière dépend aussi de l'ampleur de la pauvreté rurale (Dansou, 1999 ; Igué, 2001).

C'est dans ce contexte climatique difficile, chargé de risques pour l'agriculture pluviale, que s'annonce à l'horizon un changement climatique dû à l'accroissement continu des gaz à effet de serre. Et, toutes les données montrent qu'un changement au niveau du système climatique affecterait les composantes socio-économiques.

Dès lors, les changements climatiques, un des plus grands défis de ce siècle, qui exigent une réponse à l'échelle mondiale, mobilisent et continuent de mobiliser la communauté scientifique du Bénin (Ogouwalé, 2004). Evidemment, le débat sur les changements climatiques n'a été effectivement engagé au Bénin qu'avec la rédaction de la Communication Nationale Initiale et qui n'a pas véritablement abordé la question des risques agroalimentaires à un réchauffement climatique. Les études réalisées par la FAO (1997) et l'IPCC (2001) sur le continent africain annoncent des difficultés majeures sur le plan alimentaire. Contrairement à l'Asie, où les estimations montrent une amélioration de la sécurité alimentaire, en Afrique le nombre d'affamés passera de 291 millions en 2002 à 415 millions en 2060 (Fisher et *al*., 1997). En effet, dans cette partie du monde, IPCC (1996), FAO (1997) et Fisher et *al*. (1997) ont montré que l'impact d'un changement climatique, dû aux gaz à effet de serre sur l'agriculture se manifestera par une réduction de 10 à 30 % des productions. Cette situation découlerait de la baisse des rendements des cultures en raison d'une augmentation des températures, de la réduction de la saison de croissance, d'une croissance éventuelle de la production de matière sèche au détriment du rendement surtout pour les céréales (Parry, 1990) ainsi que d'une multiplication des nuisibles des cultures (Issa, 1995).

Les baisses attendues, en ce qui concerne les différentes régions béninoises, au niveau des rendements des cultures seraient de l'ordre de 3 à 18 % (Issa, 1995) voire 10 à 30 % dans le Bénin méridional (Ogouwalé, 2004). En conséquence, s'interroger sur la capacité de l'agriculture des régions béninoises à assurer la sécurité alimentaire dans les conditions d'un changement du climat et d'une poursuite de la croissance démographique devient nécessaire.

Mais jusqu'ici, au regard des données de la littérature (FAO, 2002), peu d'études détaillées à l'échelle sous-régionale, nationale ou locale ont été réalisées sur la question de la sécurité alimentaire en rapport avec les changements climatiques. Or, tous les pays en voie de développement doivent renforcer leur capacité d'évaluation des impacts des changements climatiques, s'ils veulent asseoir un développement meilleur (Bruce, 1991). De plus, les stratégies de développement agricole durable doivent prévoir notamment des dispositifs d'atténuation et de prévention, faisant appel à la planification, à la diffusion d'alertes précoces (IPCC, 2001).

Par ailleurs, comment seront affectés les liens entre les ressources agroclimatiques et la production alimentaire au regard des tendances démographiques des 50 prochaines années dans le Bénin méridional et central ? Quelles sont les physionomies possibles de la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central dans les scénarios d'un changement de climat ? Autant de raisons justificatives de l'étude intitulée **"Changements Climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire".**

1.2 - Justification du choix des deux régions d'étude

Les deux régions d'étude (1) sont caractérisées par deux facettes bien différenciées sur le plan climatique.

Le Bénin central est retenu en raison de sa disponibilité en terres favorables à la culture des denrées alimentaires et du fait qu'il accueille le plus grand nombre de populations agricoles venant des régions surpeuplées ou celles aux sols peu fertiles du Bénin. En outre, il fait partie des départements dits greniers du Bénin en dépit du fait qu'il est sujet à des contraintes climatiques majeures du point de vue agricole (forte variabilité, pluviométrie tantôt bimodale et tantôt unimodale). L'étude permettra d'évaluer les influences des changements climatiques sur les productions

agroalimentaires dans cette région de transition climatique et de savoir jusqu'à quand cette région continuera d'être excédentaire en produits alimentaires.

Quant au Bénin méridional, marqué par une pluviométrie bimodale, il est choisi du fait que cette partie du pays, qui ne représente que 20 % du territoire national, concentre environ 66 % de la population béninoise. En conséquence, la disponibilité en terres agricoles est faible avec une moyenne de 0,5 hectare par habitant (MAEP, 2002). Si à cette faiblesse de l'indice agrodémographique s'ajoute une vulnérabilité des cultures, quelles seront les situations alimentaires dans cette région ?

Une analyse systémique permettra d'appréhender le degré de vulnérabilité des ressources agroalimentaires aux changements climatiques au niveau de chaque région. Ceci permettra d'identifier les possibilités de transférabilité agricole entre les deux régions et d'élaborer d'autres stratégies pour atténuer les impacts négatifs et maximiser ceux positifs des changements climatiques sur les systèmes agroalimentaires dans les deux régions d'étude.

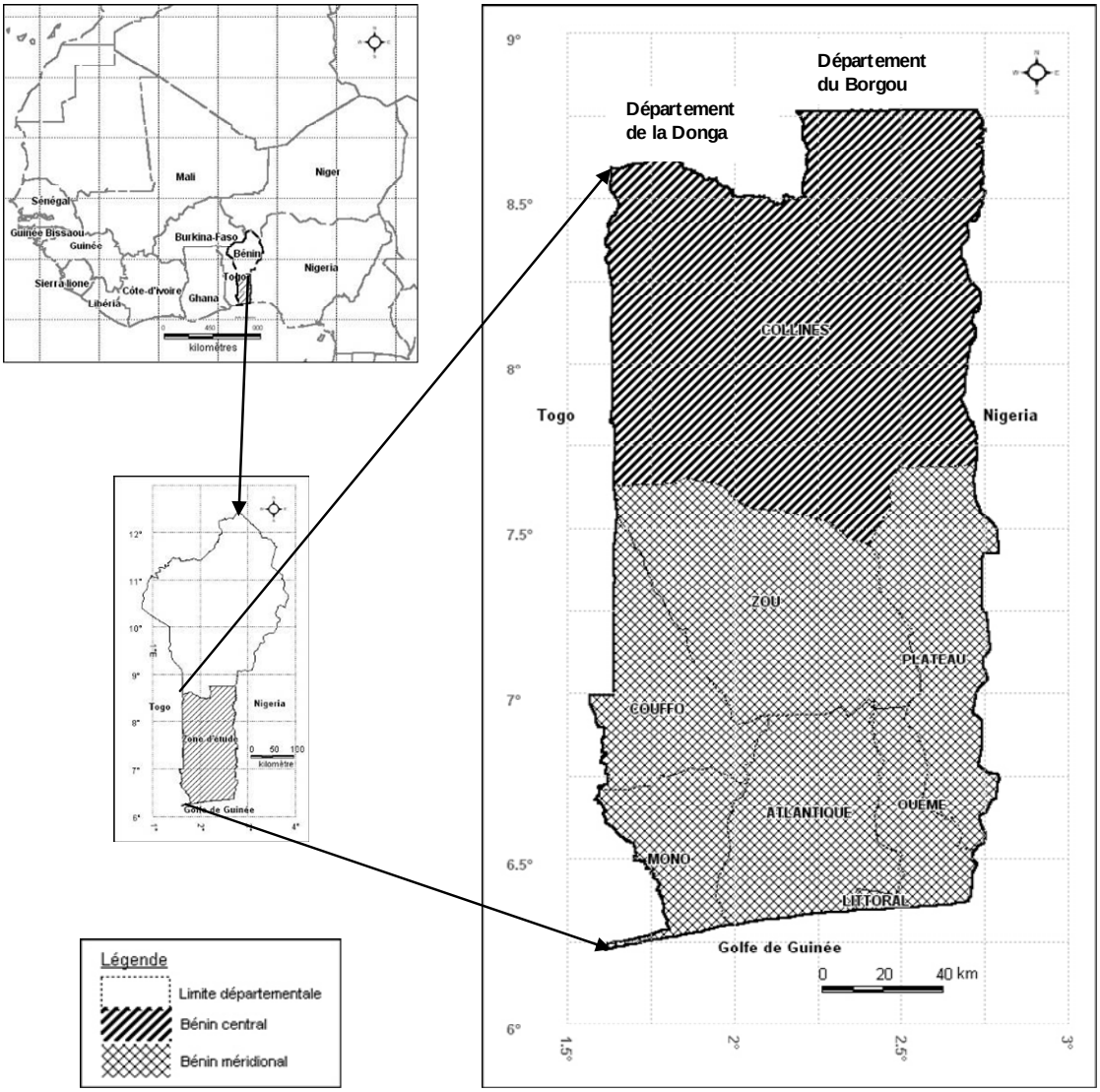


Figure 1 : Situation géographique du Bénin méridional et central

1.3 - Hypothèses de travail

Cette étude est fondée sur les hypothèses de travail suivantes :

- l'analyse des données climatologiques révèle des indicateurs de l'évolution des climats contemporains dans le Bénin méridional et central ;
- la concentration plus accrue des gaz à effet de serre dans l'atmosphère se traduit par une évolution majeure des déterminants (températures et pluviométrie) de la production agricole dans le Bénin méridional et central à l'horizon 2050 ;

- les changements climatiques constituent une menace pour la sécurité alimentaire des populations dans les deux régions d'étude ;
- des stratégies d'adaptation sont développées par les populations et les pouvoirs publics et des mesures de mitigation existent pour parer les effets néfastes des changements climatiques sur la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

1.4 - Objectifs de l'étude

L'objectif global est de contribuer à une bonne connaissance des indicateurs de l'évolution des climats et des incidences des changements climatiques sur la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

Spécifiquement, il s'agit de :

- ✓ établir les indicateurs d'un changement climatique dans les deux régions d'étude ;
- ✓ extrapoler le contexte climatique du Bénin méridional et central à l'horizon 2050 dans le scénario d'un accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère ;
- ✓ estimer les risques agricoles consécutifs à un climat modifié dans les deux régions d'étude ;
- ✓ évaluer les impacts socio-alimentaires découlant des incidences d'un climat modifié sur l'agriculture, au regard des tendances démographiques des cinq prochaines décennies ;
- ✓ proposer des mesures alternatives d'adaptation, fondées entre autres sur les stratégies d'adaptation paysannes et publiques développées, pour satisfaire les besoins alimentaires des populations du Bénin méridional et central dans le contexte d'un changement du climat.

1.5 - Clarification des concepts

Cette clarification consiste en un exposé sur l'évolution et la définition des concepts clés utilisés dans cette thèse. Ces mots sont définis en partant du langage utilisé par la communauté scientifique internationale et en tenant compte du contexte local. L'objectif de cet exercice est, entre autres, de permettre et de faciliter la compréhension et l'exploitation des résultats de cette thèse.

1.5.1 - Sécurité alimentaire : une préoccupation permanente

Le concept de **sécurité alimentaire** a évolué selon les vicissitudes politiques et économiques et en fonction du dynamisme du climat sous les latitudes tropicales.

Introduit par le Secrétaire d'Etat américain Henry Kissinger lors de la Conférence Mondiale sur l'Alimentation tenue à Rome en 1974, le concept de sécurité alimentaire reflète ‘’la capacité d'accès pour tous et à tout moment à une alimentation suffisante pour une vie active et saine’’. Pour le PNUD (1996), elle se définit comme ‘’la capacité d'un pays à fournir une alimentation suffisante et durable, afin que sa population puisse mener une vie active et saine’’. Un peu plus tard, lors de la conférence commune des planificateurs, statisticiens et démographes africains, tenue à Addis-Abeba (Ethiopie) en mars 1988, il a été retenu que la ‘’sécurité alimentaire signifie : être capable de produire suffisamment de denrées alimentaires pour tous les groupes de la population du pays ou disposer suffisamment d'argent pour s'approvisionner sur le marché afin de nourrir la population’’. Au niveau des ménages, la sécurité alimentaire est entendue comme la capacité de la famille à se procurer de façon régulière et durable une nourriture suffisante et adéquate (FAO, 1997). Toutes ces définitions proposées soulèvent en fait deux impératifs essentiels à savoir : la capacité de produire localement les denrées alimentaires de qualité à tout moment de l'année et la disponibilité des ressources financières pour avoir accès à ces produits.

Au Bénin, plusieurs études ont porté sur la question de la sécurité alimentaire. Au nombre de ces dernières, celle du MCCAG (2001) indique que le concept de la sécurité alimentaire englobe trois éléments fondamentaux qui sont : disponibilité, stabilité et accessibilité de l'offre alimentaire. L'offre ou le disponible alimentaire sous-entend la présence de toutes les denrées qui composent le régime alimentaire en qualité et en quantité. Ainsi, souscrivant au principe qui veut que le droit à la nourriture soit un droit fondamental de l'homme, le Bénin s'est proposé dans sa Déclaration de Politique de Population (DEPOLIPO) en 2001 et plus précisément en son objectif 7 de : "garantir à chacun en tout temps et en tout lieu une alimentation suffisante, saine et capable de lui assurer un bien-être nutritionnel". A cet effet, des projets (Projet Spécial pour la Sécurité Alimentaire, Projet Intégré pour la Sécurité

Alimentaire Renforcée, etc.) ont été initiés et mis en œuvre de concert avec les institutions onusiennes (PNUD, FAO, etc.).

Dans cette étude, la **sécurité alimentaire** est vue sous l'angle des possibilités qu'ont les ménages ou les individus de satisfaire quantitativement leurs besoins annuels grâce à la production locale. Conséquemment, dans l'analyse, seule la production alimentaire locale est prise en considération dans la mesure où elle est la principale composante de l'offre alimentaire (MCCAG, 2001 ; Igué, 2001). Les importations alimentaires ont été négligées parce que plus de la moitié de la population des deux régions d'étude est affectée par une forte incidence de pauvreté (figure 2) et en raison du fait que les déficits pluviométriques de la période 1981-1984, par exemple, ont appauvri l'Etat et occasionné une baisse de 18,52 % du Produit National Brut (Boko, 1988). En outre, les changements climatiques engendreraient une réduction des revenus des petits exploitants, des consommateurs urbains pauvres (IPCC, 2001).

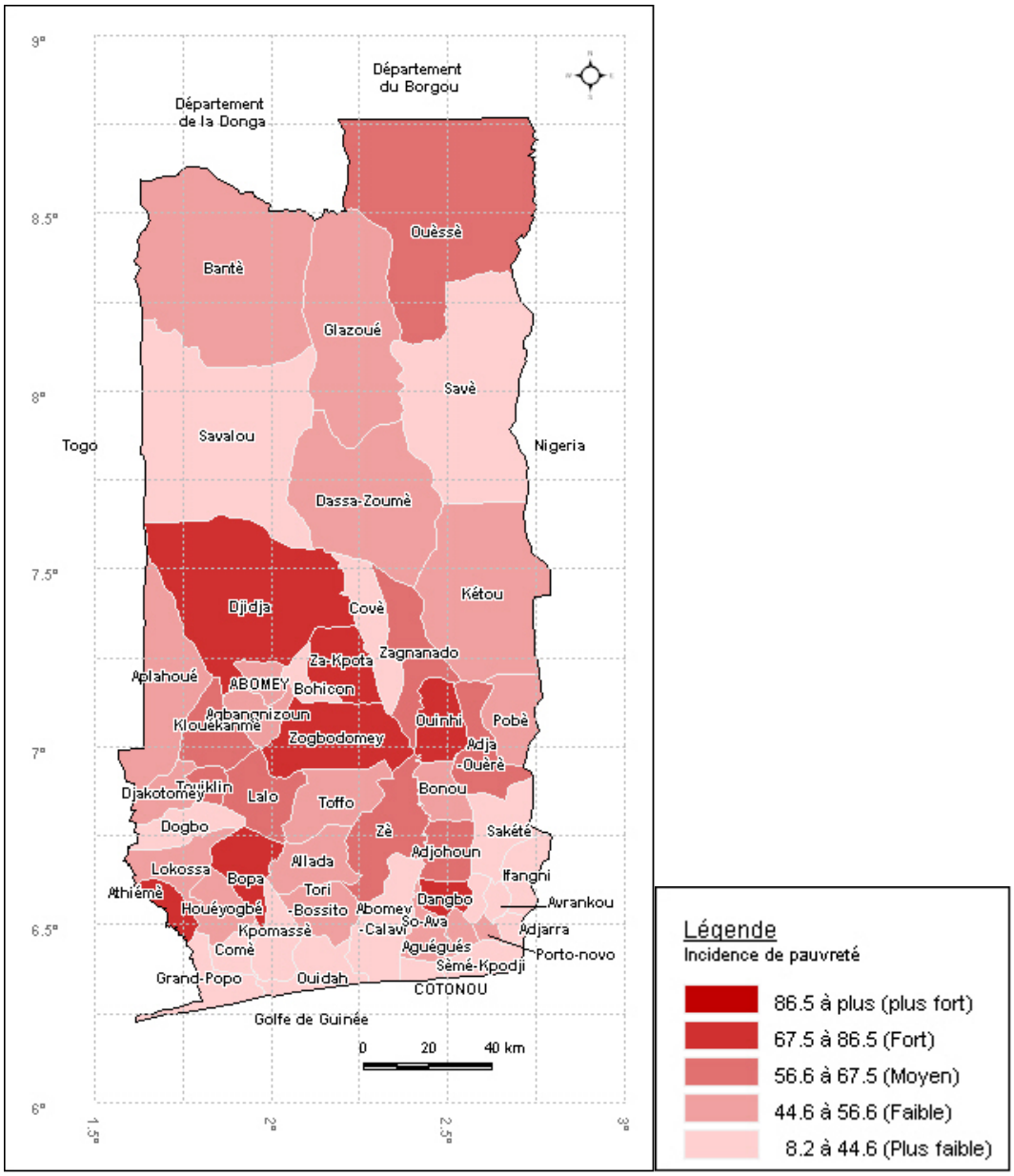


Figure 2 : Incidences de la pauvreté dans le Bénin méridional et central

Au-delà, le concept de **souveraineté alimentaire**, qui est le droit des populations, des communautés et des pays à définir leur propre politique alimentaire, laquelle doit être écologiquement, socialement, économiquement et culturellement adaptée à chaque entité territoriale est émergent (IFPRI, 1995). Cette souveraineté alimentaire se conçoit sur un principe directeur fondé sur des stratégies nationales de développement, qui intègrent toutes les incertitudes et les risques majeurs du présent et du futur. Dès lors, les études prospectives sur la sécurité alimentaire sont désormais recommandées par la FAO (1997) pour tout pays qui se veut anticipateur pour juguler les risques alimentaires et ‘’protéger’’ sa souveraineté alimentaire. En effet, **la prospective** qui est une science portant sur l’évolution future de la société

ou des composantes socio-économiques vise, par l'étude des diverses causalités en jeu, à favoriser la prise en compte de l'avenir dans les décisions du présent (Futurs Africains, www.africanfuturs.net). Dans cette thèse, la **prospective de la sécurité alimentaire** est une étude des tendances ou une simulation de la sécurité alimentaire des populations dans l'hypothèse d'un changement climatique. Elle est focalisée sur l'évolution à l'horizon 2050 des productions agroalimentaires dans le contexte d'un climat modifié. Elle aide à la formulation des stratégies dans le sens de garantir la sécurité alimentaire des populations du Bénin méridional et central dans un contexte de changement climatique.

1.5.2 - Changements climatiques, évaluation des impacts et stratégies d'adaptation

L'époque contemporaine a été marquée par des concepts majeurs : populations et environnement, environnement et développement durable, gaz à effet de serre, changements climatiques, etc. Même si l'unanimité n'est pas encore réalisée autour de la réalité des changements climatiques, il est indiscutable que des signes de réchauffement global existent et que les recherches récemment effectuées prouvent la validité des hypothèses relatives audit phénomène (OMM et PNUE, 2002).

Selon IPCC (1996), **les changements climatiques** désignent toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Cette définition est différente de celle de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, selon laquelle les changements climatiques 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. Pour Ogouwalé (2001), les changements climatiques sont une modification du statut des précipitations et une augmentation prononcée des températures au cours du temps. De tels changements sont révélés par les indicateurs climatiques.

Un **indicateur** est un outil identificateur de la réalité portant sur un fait ou un phénomène naturel, notamment climatique (Ogouwalé, 2003). On distingue les indicateurs directs et ceux indirects, qui peuvent être qualitatifs ou quantitatifs. Un indicateur indirect est un relevé local qui est interprété, à partir des principes

physiques et biophysiques, pour représenter certaines combinaisons de variations liées ou attribuées à l'évolution du climat (IPCC, 2001).

Les indicateurs climatiques dans cette étude sont des mesures récapitulatives et rétrospectives au niveau du statut de certains paramètres climatiques considérant 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 terme de situation moyenne, d'anomalie positive ou négative. Les indicateurs quantitatifs, notamment climatiques mettant en évidence les changements climatiques peuvent être établis en utilisant les longues séries climatologiques. Les indicateurs climatiques qualitatifs quant à eux peuvent être extraits des perceptions paysannes sur la dynamique des éléments ou écosystèmes naturels dépendant du climat, par exemple, la disparition ou l'apparition de certaines espèces animales ou végétales ou l'impossibilité de pratiquer encore certaines cultures.

Tous ces indicateurs permettent de mettre en évidence les changements climatiques actuels qui sont de plus en plus d'origine anthropique (Nakicenovic et *al*., 2000). En effet, les récentes données et les nouvelles preuves mieux étayées que par le passé, viennent confirmer que la majeure partie du réchauffement observé au cours des cinquante (50) dernières années est largement imputable aux activités humaines. Ces dernières se traduisent par de fortes émissions et concentrations de gaz à effet de serre, génératrices de la modification de la composition atmosphérique, qui se poursuivra tout au long du troisième millénaire (IPCC, 2001).

Pour cerner les implications de telles tendances la climatologie recourt aujourd'hui à une large palette de modèles pour effectuer des estimations précises. Ceux-ci prennent en compte différentes composantes du système climatique, qui selon l'IPCC (2001) est un ensemble complexe qui comprend cinq grands éléments, à savoir : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, les terres émergées et la biosphère. Il évolue avec le temps sous l'influence de sa propre dynamique interne et par suite de forçages externes tels que les éruptions volcaniques, les variations de l'activité solaire ou les forçages dus à l'activité humaine.

Les premiers modèles globaux furent développés dans les années 1960 pour les prévisions météorologiques, les ordinateurs ayant alors atteint une puissance

suffisante. Au début, ils ne faisaient que simuler la circulation atmosphérique. Pour mieux décrire le climat, ils furent progressivement complétés (prise en compte des océans, glaciers et banquise, terre fermée et biosphère) et sont sans cesse améliorés (annexe 1).

Selon IPCC (1996), un **modèle climatique** est une représentation numérique du système climatique basé sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants, leurs processus d'interaction et de rétroaction, représentation de la totalité ou partie de ses propriétés connues. Les modèles présentent des différences telles que le nombre de dimensions spatiales, l'étendue de la représentation explicite des processus physiques, chimiques ou biologiques ou le degré d'inclusion des paramétrages empiriques (Wigley et *al*., 2000). Ce sont des outils de recherche utilisés pour l'étude et la simulation du climat dans un but opérationnel, notamment les prévisions climatiques mensuelles, annuelles et interannuelles fondées sur un certain nombre de scénarios (Hulme et *al*., 2000).

Un **scénario** est une description plus ou moins détaillée de quelques-uns des futurs possibles dans un univers de tendances (IPCC, 1996). C'est une description vraisemblable et souvent simplifiée de ce que nous réserve l'avenir, fondé sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les principales relations et forces motrices en jeu (IPCC, 2001). Il sert à clarifier les décisions et à faciliter les choix majeurs. Il part des faits et des données connues pour mettre en relief des situations plausibles, et ce, dans un contexte donné et en fonction de ce que décrivent les tendances évolutives des principaux éléments du système étudié.

Spécifiquement, un **scénario climatique** est une représentation plausible et souvent simplifiée du climat futur. Cette représentation est fondée sur un ensemble cohérent de relations climatologiques, établies pour déterminer les conséquences possibles des changements climatiques dus à des facteurs anthropiques. Dès lors, un scénario du changement climatique correspond à la différence entre un scénario climatique et le climat actuel (Parry, 1990 ; IPCC, 2001). Depuis les années 1990, IPCC utilise trois grandes catégories de scénarios climatiques dans les évaluations d'incidences d'un climat modifié. Il s'agit des scénarios incrémentiels (scénarios climatiques

obtenus à partir, par exemple, d'une augmentation de 2 °C appliquée à un enregistrement des températures d'une station à des échelles déterminées, des scénarios analogiques (scénarios construits en choisissant un régime climatique connu qui peut ressembler au climat futur prévu pour la région) et des scénarios fondés sur les modèles climatiques. A ces derniers, il faut ajouter ceux qui décrivent les conditions socio-économiques. C'est sur eux que sont fondés les **scénarios d'émissions.** Ces derniers sont en fait une représentation plausible de l'évolution future des émissions de substances susceptibles d'avoir des effets radiatifs (par exemple les gaz à effet de serre ou les aérosols). Ils sont basés sur un ensemble cohérent et homogène d'hypothèses relatives aux éléments moteurs (évolution démographique et socio-économique, progrès technologiques, etc.) et à leurs interactions. Après la génération des scénarios ''IS92'', le dernier rapport spécial de IPCC consacré aux scénarios d'émissions (Nakicenovic et *al*., 2000) a présenté de nouveaux scénarios d'émissions, appelés ''scénarios SRES'' dont les canevas A2 et B2 sont utilisés dans cette thèse portant entre autres sur l'évaluation de la vulnérabilité des ressources agroalimentaires aux changements climatiques.

Pour IPCC (1994), la **vulnérabilité** est la magnitude ou le degré auquel un système naturel ou humain est susceptible d'être détérioré ou de subir des dommages sévères en raison des changements climatiques. C'est aussi la sensibilité d'un système ou son incapacité à faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (Issa, 1995 et Ogouwalé, 2001). La sensibilité est le degré d'affectation d'un système par des stimuli liés au climat. C'est l'évaluation des incidences du climat futur qui permet de cerner le degré et les effets des changements climatiques sur les ressources agroalimentaires. Cette évaluation est un processus de détermination et d'estimation des conséquences néfastes ou bénéfiques de l'évolution du climat pour les systèmes naturels et humains (IPCC, 2001). Dans le contexte de cette étude, elle part d'une meilleure détermination de l'influence ou des effets directs ou indirects d'un climat modifié sur la physiologie des cultures, leurs rendements ainsi que sur la magnitude de leur auto-ajustement. Les impacts des effets directs ou indirects du climat sont estimés à partir d'une analyse systémique en partant des relations climat-production agricole et sécurité alimentaire des populations. L'analyse systémique est une approche de représentation, de modélisation d'un objet actif ou phénomène finalisé,

physique ou immatériel, en interaction avec ses environnements par l'intermédiaire de flux (énergétiques, informationnels, etc.) sur lesquels un système exerce une action (Bo Lim et al., 2005 ; http : //jfa04.chez.tiscali.fr/gensyst.html).

Dans cette étude, la vulnérabilité fait référence à toute la gamme de facteurs qui exposent les populations à l'insécurité alimentaire du fait des contraintes bioclimatiques subies par les ressources agroalimentaires. Le **degré de vulnérabilité** pour un individu, un ménage ou un groupe de personnes, est déterminé par son exposition aux facteurs de risque et par son aptitude à affronter les situations de crise agroclimatiques. Le groupe vulnérable est l'ensemble des personnes présentant des caractéristiques communes et exposées à l'insécurité alimentaire.

Pour atténuer les impacts ou tirer profit des effets des changements climatiques, l'**adaptation climatique** est souvent préconisée. Cette adaptation se résume à un ensemble de réajustements opérés ou auto–opérés à l'intérieur des systèmes naturel et humain, en réponse curative ou préventive aux stimuli climatiques actuels ou futurs ou à leurs effets en vue d'atténuer leurs nuisances ou d'en tirer opportunément profit (Issa, 1995). Elle apparaît être une des solutions qui permettraient à la communauté humaine de réduire les impacts des changements climatiques annoncés. Au nombre des formes d'adaptation souvent préconisées, figurent les adaptations proactive, réactive, privée, publique, spontanée, planifiée, etc. Une notion fondamentale découle du concept d'adaptation. Il s'agit de la capacité d'adaptation subdivisée en deux types :

- **la capacité d'adaptation des agrosystèmes** : elle est assimilée à la résilience des systèmes naturels, c'est-à-dire leur aptitude à supporter les magnitudes de changement des paramètres du système ou de l'élément étudié pour revenir à des états de dynamique stable à moyen terme sans changement majeur de leurs physionomies, qualités et compositions spécifiques ;
- **la capacité d'adaptation du système humain** : il s'agit de l'aptitude d'une communauté à planifier, à se préparer pour faciliter et mettre en œuvre des mesures d'adaptation en tenant compte de ses atouts économiques, technologiques, institutionnels, etc.

Pour réduire les risques agroalimentaires en rapport avec les changements climatiques, il est nécessaire d'élaborer les formes d'adaptation suivant une approche systémique. Les différentes mesures d'adaptation qui seront à préconiser doivent constituer les input d'une stratégie alimentaire globale qui a pour finalité la satisfaction des besoins alimentaires des populations. Ces mesures constituent le moyen et les infrastructures décisionnelles à développer afin que les deux régions d'étude arrivent à une meilleure maîtrise de leurs productions en particulier par un effort intégré visant à accroître la production vivrière, améliorer la consommation des denrées et réduire le risque de famine pour les populations. Les stratégies d'adaptation préconisées doivent faire l'objet d'une évaluation. Cette dernière consiste en l'appréciation desdites stratégies en fonction des critères tels que le temps de réponse, les avantages, l'efficacité ou la faisabilité et les coûts (IPCC, 2001). Les **coûts des stratégies d'adaptation** renvoient aux coûts de l'élaboration, de la planification, de la préconisation et de l'application des mesures d'adaptation, y compris les coûts de transition (IPCC, 2001). Ce sont les investissements nécessaires ainsi que les moyens techniques et humains qu'exigent la formulation et la mise en œuvre des stratégies proactives ou de mitigation pour réduire les incidences des changements climatiques (Ogouwalé, 2004).

Le terme "Mitigation" signifie qu'on entreprend des actions visant à atténuer les effets des aléas avant qu'ils ne se produisent (IPCC, 2001). Dans cette étude, le concept de mitigation désigne toutes les actions destinées à atténuer l'impact des changements climatiques qui peuvent être entreprises avant l'occurrence de ceux-ci. Elles incluent les mesures de préparation contre les effets de l'évolution des climats et les mesures à long terme de réduction des risques. Cela englobe aussi bien la planification et l'application de mesures destinées à diminuer les risques associés aux changements climatiques.

La justification du sujet, la clarification des concepts utilisés et la délimitation du champ de l'étude étant faites, le chapitre 2 décrit les étapes de la démarche méthodologique qui ont servi à l'identification des indicateurs des changements climatiques, à la détermination des situations alimentaires à l'horizon 2050, etc. ainsi qu'à la formulation des stratégies alternatives suggérées.

CHAPITRE DEUXIEME : DEMARCHE D'IDENTIFICATION DES INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

Ce chapitre expose la démarche d'identification des indicateurs de l'évolution des climats actuels et d'évaluation des impacts potentiels des changements climatiques sur la sécurité alimentaire du Bénin méridional et central. Les principales étapes de cette démarche sont : les investigations socio-anthropologiques, l'élaboration de scénarios et simulation des climats, la détermination des rendements futurs, l'évaluation de la disponibilité et de la demande alimentaire en 2050 en se fondant sur des scénarios climatiques, socio-démographiques et d'utilisation des terres pour les cinquante prochaines années.

2.1 – Typologie des données et des stations météorologiques retenues

Les types de données et les différentes stations météorologiques retenues dans cette étude ainsi que les techniques de comblement des données manquantes sont présentés ici.

2.1.1 – Nature et sources des données

La recherche documentaire a été réalisée au niveau des institutions de recherche dont les activités sont en liaison avec l'objet de cette recherche. Elle a été conduite principalement au Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE), à la bibliothèque de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) à Cotonou, au Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), au Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), au Ministère de la Planification et du développement (MPD), à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (l'INSAE), à l'Office National pour la Sécurité Alimentaire (ONASA), dans les Centres Régionaux pour la Promotion Agricole (CeRPA), etc. Cette revue documentaire a aidé à mieux appréhender les articulations ainsi que les contours du sujet choisi.

Les données utilisées sont extraites des :

- statistiques agricoles portant sur les superficies emblavées, les productions et les rendements des campagnes agricoles sur la période 1983-2002, tirées des compendia des statistiques du MAEP et de l'ONASA. Pour être conforme à la méthodologie de la FAO (1994), seules les données agroalimentaires de 2000, 2001, 2002 et 2003 sont utilisées pour établir les bilans alimentaires ;
- statistiques sur les revenus, la démographie, etc. archivées à l'INSAE ;
- informations qualitatives d'investigations socio-anthropologiques. Elles permettent d'appréhender les habitudes alimentaires et la perception des populations vis-à-vis de la dynamique du climat et de cerner les mesures adaptatives qu'elles développent pour faire face aux crises alimentaires ;
- statistiques climatologiques : pluviométrie, température, humidité, insolation, vitesse du vent, etc. des deux régions d'étude.

2.1.2 - Stations météorologiques retenues, critique et reconstitution des données manquantes

Un réseau final de quinze (15) stations répondant à une meilleure répartition spatiale et offrant des séries d'observations pouvant être divisées en deux normales a été retenu pour les analyses et pour vérifier l'existence d'une évolution du climat. Toutes ces stations appartiennent au réseau d'observation de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Ces stations ne sont pas de la même génération. En conséquence, les relevés ne couvrent pas des périodes identiques. En outre, on note des lacunes qui constituent un handicap pour une analyse approfondie. Par ailleurs, il se pose le problème de la qualité et de la fiabilité des observations et de la répartition spatiale des stations dans les deux régions d'étude. Le réseau du Bénin méridional est plus dense que celui du Bénin central.

Les séries de données climatologiques sont extraites de la base de données du Laboratoire de Climatologie. Les séries qui présentent moins de 5 % de lacunes ont été comblées. Pour restituer les valeurs manquantes, la méthode de correction par régression multiple utilisée par Vissin (2001) n'a pas été retenue, car elle est coûteuse en temps, et n'a d'intérêt que si elle concerne un nombre important de données. Or, les erreurs détectées lors des traitements statistiques ne concernaient généralement que des périodes relativement courtes, et souvent une seule journée. Dès lors, plusieurs techniques ont été utilisées pour remplacer les données

manquantes par celles de la station voisine présentant le plus fort coefficient de détermination (r^2) sur l'année considérée (régression linéaire simple) ou en remplaçant les lacunes par la moyenne de la série ou par la moyenne des valeurs encadrant la lacune, pour un nombre de manques inférieur à cinq et non consécutif.

La figure 3 présente la répartition des stations climatologiques retenues pour l'analyse.

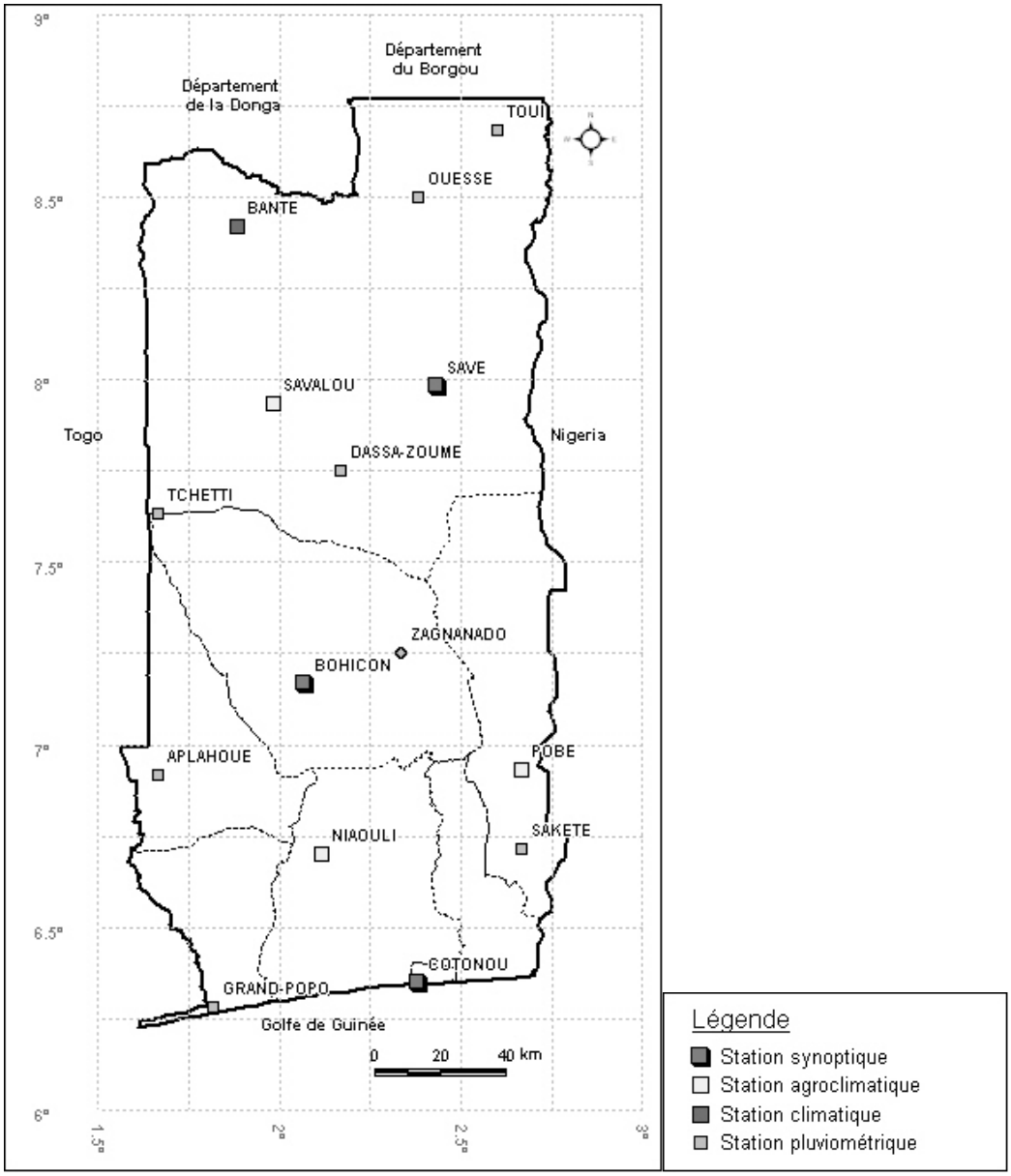


Figure 3 : Réseau des stations retenues

Dans le Bénin méridional, huit (8) stations représentatives ont été retenues : deux (2) stations synoptiques (Bohicon et Cotonou), deux (2) stations climatologiques (Pobè et Niaouli) et quatre (4) postes pluviométriques (Grand-Popo, Aplahoué, Sakété et

Zagnanado). Tous les paramètres climatiques sont relevés au niveau des stations synoptiques. Les stations agroclimatologiques de Niaouli et de Pobé sont choisies en raison de la forte potentialité agricole des localités qu'elles contrôlent.

Pour le Bénin central, sept (7) stations disséminées dans la région ont été retenues. La station de Savè est sélectionnée en ce sens qu'elle est l'unique station synoptique de cette région béninoise de transition climatique. Le choix de la station de Savalou est guidé par le fait qu'elle est la seule station agroclimatique de cette région du Bénin. Elle fournit les mêmes types de données que celles de Pobè et Niaouli, situées dans la partie méridionale du Bénin. Les stations de Bantè, de Dassa-Zoumè, de Ouèssè, de Tchetti et de Toui sont essentiellement des postes pluviométriques. Elles ont été prises en compte en ce qu'elles permettent de couvrir convenablement l'espace du Bénin central.

2.2 - Travaux de terrain et méthode de détermination du bilan alimentaire

2.2.1 - Investigations socio-anthropologiques

Dans le cadre de cette recherche, la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) a permis de collecter les informations auprès des populations paysannes, du personnel d'encadrement, des intellectuels communautaires (personnes ayant une bonne connaissance des faits climatiques et qui en détiennent la mémoire à travers les canaux informationnels traditionnels), etc. La MARP est un processus continu d'apprentissage pour une meilleure connaissance des conditions de vie et des problèmes des populations. Cette technique est utilisée pour collecter les informations relatives au problème de développement et pour appréhender les perceptions et les savoirs des communautés. Elle part de l'hypothèse que les populations ont élaboré un savoir au fil du temps et qu'il faut nécessairement le respecter pour mener des enquêtes dans le domaine agroalimentaire. A cette technique, s'ajoute le diagnostic rapide ou le Rapide Rural Appraisal (RRA). Il a consisté à effectuer des visites exploratoires dans les localités choisies où la collecte des informations est faite. Il est utilisé pour identifier les faits porteurs et les tendances lourdes en rapport avec les différentes activités agricoles. Il a également aidé à l'identification des personnes ressources impliquées dans le développement agricole dans les deux régions. En outre, la technique de discussion de groupes, les

entretiens individuels, les séances de diagnostic participatif avec des groupes de taille moyenne (5 à 10 personnes) ont été utilisés. Les entretiens individuels avec les experts communautaires, les techniciens des CeRPA et des ONG, les responsables des organisations paysannes, etc. ont aidé à appréhender la problématique de la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

Deux types de questionnaires et deux guides d'entretien élaborés ont permis d'appréhender la perception paysanne du climat, les habitudes alimentaires, les changements récents qui y sont intervenus. En outre, les informations recueillies à partir de ces outils ont permis d'apprécier les stratégies endogènes développées lors des périodes de crises climatiques et de disettes connues et d'identifier les techniques de stockage des produits agricoles ainsi que les autres formes d'utilisation des produits alimentaires.

L'étude a porté sur cinq (05) localités dans les Départements principalement choisis (Collines, Couffo, Ouémé et Zou) compte tenu de leur importance dans la production agricole et sur deux (02) localités dans les autres départements des deux régions d'étude. Le choix des personnes enquêtées repose sur les critères suivants : avoir au moins cinquante (50) ans, avoir vécu dans la localité tout au moins les trente (30) dernières années avant l'enquête et être un acteur du développement agricole. Les autres personnes ressources (personnel des CeRPA, intellectuels communautaires, etc.) sont choisies en fonction de leur responsabilité dans le développement agricole du milieu ou de leur connaissance des relations climat-productions agroalimentaires.

2.2.2 - Vivriers choisis et méthode de calcul des bilans alimentaires

La caractérisation des situations alimentaires est faite à partir du modèle d'évaluation et de prévision alimentaire utilisé par l'ONASA et du système DIAgnostic PERmanent (DIAPER), développé par le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS). Selon ce système, le bilan alimentaire consiste en une présentation analytique indiquant le volume, la composition des ressources et des usages des vivriers dans un pays donné pour une période de douze (12) mois. Ce système est choisi en ce qu'il est adaptable au contexte du Bénin méridional et central plus que le Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide sur l'alimentation et l'agriculture (SMIAR) conçu par la FAO. Utilisant donc le DIAPER comme porte d'entrée, et le

modèle ONASA, fondé sur trois hypothèses (forte, moyenne, faible) en terme de consommation par an et par habitant, le bilan vivrier des deux régions d'étude est déterminé. Des trois hypothèses utilisées par l'ONASA, celle moyenne est retenue en ce qu'elle est intermédiaire et n'exagère pas la consommation par an et par habitant (Issa, 2001). Le bilan vivrier est déterminé selon le modèle présenté dans le tableau I.

Tableau I : Format de détermination du bilan alimentaire

Produits	Entités territoriales	Consommation kg/hbt/an	Consommation en tonnes	Production disponible	Production utile		Solde
					%	Tonne	

Les cultures vivrières à savoir : l'arachide, le gombo, l'igname, le maïs, le manioc, le niébé, la patate douce, le piment, le riz et la tomate, dont les écologies sont indiquées dans le tableau II, sont retenues en fonction de leur importance dans les habitudes alimentaires des populations du Bénin méridional et central.

Tableau II : Préférendums thermiques et pluviométriques des cultures

Cultures		**Exigences**	
Nom courant	Nom scientifique	Températures en °C	Besoins en eau (mm)
Arachide	*Arachis hypogea*	+24 à +33	400 à 1200
Igname	*Dioscorea cayenensis*	*	1000 à 1500
Niébé	*Vigna spp*	+18 à +25	400 à 800
Maïs	*Zea mays*	+18 à +30	500 à 1000
Manioc	*Manihot esculenta*	+25 à +30	1000 à 1200
Riz	*Oryza sativa/glaberrima*	+28 à +30	1000 à 1800
Gombo	*Abelmoschus esculentus*	+20 à +30	1000 à 1500
Patate douce	*Ipomea batatas*	+10 à +28	750 à 1000
Piment	*Capsicum annuum*	+18 à +28	*
Tomate	*Lycopersicon esculentum*	+10 à +30	*

Source : Mémento de l'agronome (2002)
*Données non disponibles

Les conditions alimentaires des populations sont appréciées sur la base de la situation alimentaire estimée à partir du bilan établi par année et par denrée. Il est égal à la production de l'année, avec déduction des consommations, des pertes et semences dont les taux sont indiqués dans le tableau III.

Tableau III : Consommation (kg/an/habitant) et pertes (%) des productions

Denrées	Consommation (kg/an/habitant)		Semences et pertes (en % de la production)
	Bénin méridional	Bénin central	
Arachide	06	06	40
Gombo	08	08	10
Igname	150	252	30
Maïs	92	43	20
Manioc	130	88	10
Niébé	7	09	30
Patate douce	12	08	15
Piment	02	02	10
Riz	12	11	30
Tomate	30	29	16

Source des données : INSAE (2002), ONASA (2004) et enquêtes (2004 et 2005)

Les données du tableau III et les statistiques des productions agricoles ont permis d'établir les bilans alimentaires de 2000, 2001, 2002 et 2003. Ils montrent le statut des disponibilités alimentaires du Bénin méridional et central. Des recoupements ont été ensuite réalisés en se fondant sur les informations supplémentaires tirées des résultats d'enquêtes socio-spatiales, ainsi que des indications fournies par certaines personnes ressources. Le bilan alimentaire par année ainsi établi, bien qu'il soit souvent considéré comme très peu satisfaisant du point de vue strictement statistique (FAO, 1997), donne une image approximative des disponibilités alimentaires totales du Bénin méridional et central, pouvant être utilisée pour élaborer une planification alimentaire.

Les besoins annuels en une denrée alimentaire sont obtenus à partir de la consommation individuelle par an, multipliée par la population en cette année. La population P_n d'une année est déterminée à partir de celle de l'année précédente Pn-1 par la formule : $Pn = P_{n-1}(1+r)$, où r est le taux d'accroissement intercensitaire (1992-2002) et est extrait de la formule : $P2002 = P1992\ (1+r)^n$ avec n = 10, le nombre d'années séparant les deux recensements.

2.3 - Analyse des paramètres climatiques et identification des indicateurs des changements climatiques actuels

Les observations faites dans le monde montrent une tendance au réchauffement global, une forte fluctuation et amenuisement des précipitations et une plus grande fréquence des phénomènes extrêmes depuis les années 70 du vingtième siècle

(IPCC, 2001). La détermination des indicateurs d'une telle tendance dans le Bénin méridional et central a suivi les étapes développées ci-dessous.

2.3.1 - Analyse des tendances climatiques et du bilan hydrique

La détermination des tendances thermométriques et pluviométriques sur la période de référence (1961-1990) a été faite à l'aide de la méthode graphique. Elle consiste en une représentation, par exemple, des températures en fonction du temps (année sur la période choisie) et permet de déceler la tendance considérant la totalité N des observations. L'équation de la droite de tendance est de la forme y = at + b où y représente les températures, et t le temps ; a et b étant des constantes, telles que :

$a = \frac{(\Sigma y)\ (\Sigma t^2) - (\Sigma t)\ (\Sigma ty)}{N\Sigma\ t^2 - (\Sigma t)^2}$	$b = \frac{N(\Sigma yt) - (\Sigma t)\ (\Sigma y)}{N\Sigma\ t^2 - (\Sigma t)^2}$

Les droites de tendance sont des droites de régression des valeurs de températures par rapport au temps sur la normale 1961-1990, recommandée par l'OMM et l'IPCC. Les stations de Cotonou, de Bohicon, de Niaouli, de Pobè, de Savalou et de Savè ont été choisies pour analyser les données observées et identifier les tendances y afférentes sur le plan thermométrique.

Les droites de tendance, fondées sur le même protocole que celui pour les températures, sont utilisées pour déterminer la dynamique des précipitations sur la série 1961-1990. L'identification des Séquences Significatives Pluvieuses (SSP), des Séquences Significatives Sèches (SSS) et des Séquences Significatives Moyennes (SSM) est faite à partir de l'analyse des indices pluviométriques sur la normale (1961-1990) et par station. Ces indices sont déterminés à partir de la formule $(X_i - X_{moy})/\sigma$ où Xi est la variable étudiée pour une année, X_{moy} la pluviométrie moyenne et σ l'écartype de la série.

Par ailleurs, 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 dans les deux régions d'étude. Le bilan hydrique est un outil de gestion technique simple qui permet d'analyser l'ensemble des besoins et des apports. Il permet d'identifier les périodes déficitaires et excédentaires tout au long des saisons agricoles. Son analyse, en fin de saison, quand on a connaissance des rendements,

peut expliquer le fonctionnement des parcelles et les réactions des cultures aux divers événements climatiques.

Dans le contexte de cette étude, les bilans hydriques au pas de temps décadaire et mensuel sont déterminés suivant l'équation simplifiée : P = RU + ETR, où
P = précipitations, ETR = évapotranspiration réelle et RU = réserve hydrique du sol.

A partir de ces bilans hydriques, les impacts agronomiques des fluctuations ou des variations du début et de la fin des séquences humides ont été évalués sur la base des calendriers culturaux en vigueur dans le Bénin méridional et central.

2.3.2 - Identification des indicateurs des changements climatiques

Pour identifier les signes précurseurs d'un changement climatique, les statistiques climatologiques des normales (1941-1970) et (1971-2000) sont analysées et comparées. La division de la longue série en deux sous séries (1941-1970) et (1971-2000) a été faite grâce au test de rupture de Mann-Whitney (Pettitt, 1979).

La dynamique du climat dans les deux régions est appréhendée à partir de l'analyse de deux paramètres les plus déterminants dans la zone intertropicale : les températures et les précipitations (Boko, 1988 ; Afouda, 1990). En ce qui concerne les précipitations, le nombre de jours de pluies et les hauteurs pluviométriques aux échelles annuelle, trimestrielle et mensuelle sont retenus pour l'analyse. Ces échelles sont retenues pour l'examen de ces paramètres dans le but d'appréhender leur l'influence sur l'agriculture (saisons agricoles, calendrier agricole, etc.).

Le cumul du nombre de jours de pluies (ΣNjp), à ces échelles, a permis de déterminer les écarts moyens de jours pluvieux entre les deux normales considérées. Les moyennes pluviométriques ont été soumises à un même type d'analyse, ce qui a permis de déterminer les écarts entre les deux normales considérées. Les données générées aux différentes échelles ont été traduites en valeurs relatives suivant la formule : **I = (100*E)/M1** avec :

I = indicateur de changement ou d'évolution ;
E = Ecart entre la moyenne (M2) de la normale (1971-2000) et la moyenne (M1) de la normale (1941-1970) des hauteurs de précipitations.

Le même protocole a été appliqué au nombre de jours pluvieux considérant les échelles évoquées supra. Pour les températures, les indicateurs du réchauffement ou non sont fondés sur le calcul des écarts (°C) entre les normales considérées (1941-1970 et 1971-2000).

Par ailleurs, de tous les tests statistiques élaborés pour la caractérisation des changements climatiques, le test de Student de la différence de deux moyennes (WMO, 1966) est celui utilisé. Ce test paramétrique s'applique lorsque l'on suppose qu'un changement brutal est intervenu dans une série de telle sorte que celle-ci peut être découpée en deux sous-séries de moyennes significativement différentes. Si l'on désigne les deux moyennes en question par $\overline{X}_1 - \overline{X}_2$ 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 :

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

Les indicateurs indirects et qualitatifs complètent ceux quantitatifs. Il s'agit des indicateurs socio-anthropologiques, extraits des informations fournies par les populations enquêtées. Ces informations portent sur les faits témoins de l'évolution du climat actuel dans le Bénin méridional et central. Aussi, ceux qui attestent des changements climatiques anciens ont été tirés de la littérature disponible et complétés par l'étude des traces historiques laissées par les variations climatiques dans les paysages des deux régions d'étude.

Le traitement des données collectées ou générées a été fait grâce aux programmes avancés du logiciel Excel. Ce logiciel a été, en effet, utilisé pour agréger certaines données journalières en données mensuelles, trimestrielles, annuelles, etc. et pour

calculer certaines valeurs centrales et de dispersion ainsi que pour réaliser les différents graphiques.

Les cartes ont été réalisées grâce aux logiciels MapInfo (traitement cartographique) et Surfer (interpolation spatiale par krigeage). Ces logiciels ont été alimentés en données générées en utilisant deux approches. La première, l'approche terrain, a consisté en des observations directes sur le terrain et au géoréférencement des éléments du paysage, des localités, etc. à l'aide du système portatif de positionnement global. La seconde approche est un ensemble de méthodes indirectes qui ont consisté en une transformation des données primaires en cartes thématiques.

Par ailleurs, les vues, prises grâce à un appareil photographique numérique, rapportent certains faits évocateurs des agrosystèmes et des composantes socio-techniques.

2.4 - Simulation du climat futur

L'évaluation de l'ampleur de la vulnérabilité du Bénin méridional et central aux changements climatiques est faite par estimation des modifications qui affecteraient la température et la pluviométrie. Le jugement empirique fondé sur les analogies temporelles et le modèle de circulation générale (HadCM2) sont retenus pour le développement des scénarios climatiques en utilisant les hypothèses A2 (scénario de référence) et B2 (scénario de politique d'atténuation) du Special Report on Emissions Scenarios (SRES) développée par Nakicenovic et *al*. (2000).

2.4.1 - Justification du choix de l'horizon temporel et des scénarios climatiques

L'an 2050 est l'horizon temporel pour lequel les scénarios climatiques sont construits dans cette étude. Ce choix est fait en raison de ce que la FAO (1997) prévoit une stabilisation de la fécondité dans les pays en développement à cet horizon. En outre, au regard de la littérature disponible, 2060 est indiquée comme année limite de simulation si l'on ne veut pas s'éloigner de la réalité. Même si le protocole de Kyoto était appliqué, il ne faut pas en attendre des résultats tangibles de réduction des gaz à effet de serre avant 2070. Déjà, la FAO (1997) a procédé à la prospection de l'agriculture mondiale sur l'horizon temporel 2080. En outre, le délai qu'exige

l'adaptation climatique impose que l'horizon temporel ne soit pas trop rapproché de l'année de base des projections. Pour toutes ces raisons, 2050 apparaît comme un horizon temporel raisonnable. En effet, un tel horizon permet aux acteurs (institutions, agriculteurs, organisations paysannes, etc.) du système agroalimentaire de développer dès maintenant des mesures de précaution pour adapter ledit système à l'évolution du climat.

Trois grands types de scénarios climatiques sont couramment utilisés dans les évaluations des incidences (IPCC, 2001). Les premiers, scénarios incrémentiels consistent simplement à ajuster les valeurs de référence en fonction des changements prévus pour tester la sensibilité d'un système au climat. Les seconds, analogiques 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 sont établis en appliquant aux valeurs de référence (la période 1961-1990 dans cette étude) l'écart proportionnel ou absolu entre les simulations du climat actuel et du climat futur. Des trois (3) catégories, les scénarios incrémentiels sont rejetés parce que les ajustements qui les fondent sont arbitraires et ne sont pas forcément réalistes du point de vue météorologique. Dans cette, trois (3) scénarios sont définis à partir des modèles analogique et expérimental.

Le Scénario Analogue Sec (SAS) et le Scénario Analogue Humide (SAH) ont été développés en ce qui concerne le modèle empirique. L'analogue sec correspond aux conditions climatiques de la normale 1971-2000, marquée par une péjoration pluviométrique et des minima thermométriques en hausse. Cette séquence climatique se singularise par la baisse de la pluviométrie et la multiplication des années sèches telles que 1977 et 1983 (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2001 et 2004). Quant à l'analogue humide, il est construit à partir des données de la période 1941-1970. Cette séquence du climat a été plus humide par rapport à la normale 1971-2000 (Ogouwalé et *al*., 2003 ; Yabi et *al*., 2004 ; Totin, 2005).

Le troisième scénario (le modèle expérimental) a consisté à combiner les résultats des modèles climatiques simples (MCS) avec les résultats des modèles climatiques

globaux (MCG), employés déjà par Hulme (1996), Centella (1999), Parry (1990), Issa (1995) et Ogouwalé (2001 et 2004). La méthode a été choisie parce que :

- les MCG constituent l'unique outil que possèdent actuellement les scientifiques pour obtenir des résultats fiables de simulation des processus physiques qui déterminent le climat. Ces modèles sont des représentations numériques multidimensionnelles de simulation du comportement du système climatique ;
- les MCS reproduisent assez bien les résultats des MCG au niveau global (IPCC, 2001) et incluent les connaissances avancées sur les processus complexes qui se font au niveau de l'atmosphère, comme les rétro-alimentations dues à l'effet fertilisant du CO_2, ou le forçage radiatif négatif des aérosols de sulfate, entre autres (IPCC, 1994 et 2000).

Le processus de création des scénarios de changement climatique utilisant la combinaison des résultats des MCG et des MCS comprend trois (3) étapes fondamentales qui sont : la définition d'un scénario global d'émission de gaz à effet de serre qui sera utilisé (le SRESB2 dans cette étude), la conversion des émissions en projections de réchauffement global et d'augmentation du niveau de la mer et la combinaison des projections globales avec les modèles climatiques régionaux. Ces étapes furent exécutées avec la version 4.1 du logiciel MAGICC/SCENGEN (Model for Assessment of Green House Gaze Induced Climate Change/Scenario Generator).

2.4.2 - Description du SRES

C'est un ensemble de familles de scénarios développés par Nakicenovic et *al.* (2000) et utilisés comme base pour les projections climatiques. Il s'agit de quatre scénarios d'émission (A1, A2, B1, B2), fondés sur les conditions susceptibles de résulter des choix opérés par les populations humaines en matière de politique sociale et économique, de démographie, d'activités professionnelles, d'énergie et d'utilisation des technologies (IPCC, 2001). Le tableau IV présente les hypothèses de base ayant servi à élaborer ces scénarios.

Tableau IV : Hypothèses de base des scénarios SRES

SRESA1	Confort personnel au détriment de la qualité environnementale - Croissance rapide de l'économie - Croissance lente de la population - Apparition d'une technologie énergétique nouvelle et efficace
SRESA2	Renforcement de l'identité culturelle des régions et croissance lente de l'économie Croissance rapide de la population et emphase sur les valeurs familiales et traditions locales
SRESB1	Non-matérialisme et énergie propre - Conscience renforcée des populations vers les valeurs environnementales - Introduction de nouvelles technologies d'énergie propres
SRESB2	Tendance vers les solutions locales et régionales pour le maintien de l'économie, forte préoccupation de la santé environnementale et de l'équilibre écologique

Source : IPCC (2001)

Dans cette étude, en se fondant sur les politiques de développement national, et considérant les résultats et recommandations des Etudes de Prospectives Nationales à long terme (Bénin 2025), les canevas A2 et B2 du SRES sont choisis respectivement dans le cadre du scénario de référence et du scénario d'atténuation. Le scénario B2 est également choisi parce qu'il s'appuie sur des thématiques majeures qui intègrent les axes de développement identifiés par le Bénin à savoir : nourrir sa population, renforcer les alliances politiques et économiques au niveau régional et préserver l'équilibre écologique. Les projections globales des températures et d'élévation du niveau de la mer sont donc fondées sur l'utilisation de ces scénarios.

2.4.3 - Projections globales des températures et d'élévation du niveau marin

Les projections globales de températures (T) et de l'élévation du niveau marin (NM) pour le SRESB2 sont obtenues par conversion des émissions en concentrations atmosphériques. Les données futures de températures et du niveau marin sont extraites de la version 4.1 du MAGICC. Ce modèle climatique offre des estimations de concentrations de gaz à effet de serre, de la température moyenne globale et de l'élévation du niveau de la mer sur la période 1990-2100. A l'intérieur du MAGICC, il y a plusieurs paramètres qui déterminent les valeurs de T et NM. Mais, le paramètre le plus important est la sensibilité climatique (T2X) qui est une mesure de la

température moyenne globale pour un forçage radiatif déterminé. La valeur de sensibilité climatique moyenne T2X = 2,5 °C est ici utilisée pour estimer grâce au SCENGEN les écarts de températures et des hauteurs pluviométriques entre l'horizon 2050 et la période de référence 1961-1990.

2.4.4 - Modèles de changements climatiques pour le Bénin méridional et central

La dernière étape de la création des scénarios climatiques est la combinaison des résultats des MCS (MAGICC) avec les résultats des MCG. Les MCG ont assez bien simulé les températures actuelles, mais pas de façon précise les précipitations (IPCC, 2001).

Pour déterminer les paramètres du climat de 2050, le HadCM2 dans lequel le climat simulé s'est réchauffé d'environ 4 °C d'ici 2060 et où la concentration en CO_2 est supposée être de 475 ppm aux alentours de 2050, est utilisé parce que :

- si l'on se réfère aux coefficients de corrélation spatiale des précipitations qui mesurent le degré de relation entre les valeurs réelles et simulées des précipitations moyennes mensuelles globales, le modèle HadCM2 s'avère le meilleur (Hulme, 1996) ;
- les résultats de HadCM2 appartiennent à des simulations récentes. D'après Hulme et *al*. (2000), les expériences réalisées récemment sont probablement meilleures puisqu'elles se fondent sur des connaissances actualisées des différents processus du système climatique ;
- les résultats du HadCM2 ont été utilisés dans différentes études d'impact des changements climatiques (Hulme et *al*., 2000 ; Centella, 1999 ; Ogouwalé, 2004).

Les données issues des modèles climatiques et autres ont été utilisées pour modéliser le comportement du système agricole en climat modifié.

2.5 - Modélisation des cultures et simulation des rendements

L'évaluation de l'impact des changements climatiques sur les cultures a nécessité l'utilisation du modèle biophysique, DSSAT V4.0. Ce modèle inclut la réponse physiologique des cultures aux paramètres climatiques et édaphiques en simulant les processus de la respiration, la transpiration, la translocation des carbohydrates et le développement phénologique des plantes. Les rendements potentiels pour les

cultures non irriguées s'obtiennent pour une culture indemne de pestes et de maladies avec tous ses besoins en nutriments satisfaits, mais dont les besoins en eau sont satisfaits par le régime de précipitations et les caractéristiques hydrophysiques du sol. Les différentes étapes de simulation des rendements sont présentées infra.

2.5.1 - Détermination de la saison de croissance

Le facteur limitant de la croissance végétale en régions tropicales et ailleurs est l'eau. Cette saison de croissance commence dès le moment où l'humidité est disponible pour une période suffisamment longue sans retour de conditions sèches. Les études agroclimatiques en milieu tropical de Cochémé et Franquin (1968) établissent que dès le début de la saison pluvieuse, la saison de croissance peut être décomposée en trois périodes : période pré-humide, période humide et période post-humide (tableau V).

Tableau V : Séquences et caractéristiques de la période de croissance des cultures

Période pré-humide	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.
Période 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.
Période 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 : (Issa, 1995 ; Ogouwalé, 2004 ; Mémento de l'agronome, 2002)

A partir des caractéristiques de la saison de croissance, les conditions suivantes ont été établies dans le Crop-Model :

DSC = Pi > ETPi/2, avec i = 1 à 365

FSC= P_k < ETP_k/2, avec k = 365 - j et, j = 1 à 365

DSC = Début de la saison de croissance en date julienne

FSC = Fin de la saison de croissance en date julienne

i, j, k = jours en date julienne.

2.5.2 – Protocole de calcul de la biomasse et du rendement par culture utilisé dans le DSSAT V.4

La production de biomasse nette, dans les conditions idéales de croissance dépend de la capacité de la culture à capter l'énergie solaire incidente, de la température au cours de la saison de croissance et de la longueur de la saison de croissance (FAO, 1978). Elle est donnée par l'équation :

$B_n = \frac{0,36\ b_{GM}}{(\frac{1}{N} + 0,25\ C_T)}$ où

- B_n = biomasse nette produite en kg ha^{-1}
- b_{GM} = taux maximum de production de biomasse brute pendant la saison de croissance en kg ha^{-1} J^{-1} ;
- C_T = coefficient de transpiration de la plante ;
- N = longueur de la saison de croissance en jour ;

Or, d'après Mc Gree (1974), $C_T = C_{30}$ $(0,044 + 0,0019T + 0,0010T^2)$ avec

T= température moyenne de l'air en °C ;

C_{30} = coefficient de transpiration à 30 °C, variant de 0,0283 pour les légumineuses à 0,0108 pour les non légumineuses.

Et, d'après De Wit (1965), b_{GM}= F x b_o + (1- *F)* x b_c à LAI = 5 où

F = temps pendant lequel le ciel est couvert par jour ;

b_o= taux de production de biomasse par ciel couvert ;

b_c = taux de production de biomasse par ciel clair ;

LAI = indice de surface foliaire (leaf area index).

or $F = \frac{(PAR_c - 0,5K\downarrow)}{0,8PAR_c}$ où

PAR_c = part de rayonnement photosynthétisable par ciel clair ;

K↓ = rayonnement reçu au-dessus de la canopée.

Ainsi, l'estimation de la biomasse nette potentielle est donnée par $B_{np} = B_n$ x MCGR

(taux maximum de croissance de la plante) avec MCGR = 0,004 + 0,316LAI – $0,032LAI^2$ si LAI = 5 ou bien MCGR = 1 si LAI > 5 avec B_{np} = biomasse nette potentielle ; B_n = biomasse nette produite.

Tout le développement fait supra suppose que la plante croît dans les conditions idéales. Il s'agit par exemple d'une assez bonne répartition des précipitations, d'une thermométrie convenable, d'une fertilité assez intéressante des sols, d'une distribution convenable de la luminosité ou du rayonnement. Pour approcher le rendement théorique, il s'avère nécessaire de soustraire du rendement potentiel, les pertes attribuables à la maladie des cultures, aux adventices, au stress hydrique, à la qualité du sol, et aux contraintes techniques. En raison de la difficulté de quantifier la plupart de ces contraintes agroclimatiques qui réduisent les rendements des cultures, le DSSAT V4.0 ne comporte que trois d'entre elles : le stress hydrique ; la contrainte de travail et la qualité du sol.

Le concept de stress hydrique (MYRF) tel que choisi dans le DSSAT V.4 s'écrit :

$$MYRF = 1 - K_y\left(1 - \frac{ET_A}{PE}\right)$$

où

MYRF = facteur de réduction du rendement par le stress hydrique ;

ET_A = évapotranspiration réelle pendant la saison de croissance ;

PE = évapotranspiration potentielle pendant la saison de croissance en mm ;

Ky = indice de réponse de la culture au déficit hydrique.

$$\text{Or, } \frac{ET_A}{PE} = \frac{\sum_{i=DSC}^{ESC}(P_i + \Delta S - R_i)}{\sum_{i=DSC}^{ESC} PE_i} \text{ avec :}$$

DSC = début de la saison de croissance ; FSC = fin de la saison de croissance en date julienne ; P_i = hauteur journalière de pluie en mm ; R_i = écoulement par jour en mm et ΔS = variation de l'humidité du sol (en mm) entre DSC et le jour i.

Enfin, le rendement espéré ou estimé (RE) s'obtient en posant :

$B_{ne} = B_{np} \times MYRF \times WI \times SI$ et $RE = B_{ne} \times HI$ où

B_{ne} = biomasse nette estimée ou espérée en kg ha^{-1};

B_{np} = biomasse nette potentielle en kg ha^{-1};

MYRF = indice de réduction du rendement par le stress hydrique (0 à 1) ;

WI = indice de possibilité de travail, SI = indice de sol (0 à 1), RE = rendement espéré en kg ha^{-1} et HI = indice de récolte.

En somme, l'estimation du "rendement futur" grâce au DSSAT V4.0 a nécessité l'utilisation des résultats du modèle de photosynthèse élaboré par De Wit (1965) et dans lequel l'évaluation des rendements des cultivars est fondée sur la méthodologie développée par la FAO en 1978. Il est utilisé pour déterminer les rendements de cultures en fonction de la génétique, du climat, des sols et des techniques d'utilisation des terres. Le DSSAT V4.0 tient compte également des effets physiologiques bénéfiques des concentrations accrues de CO_2 sur la croissance des plantes. Dans cette étude les données injectées dans le DSSAT sont :

1. **les données climatologiques**. Elles concernent les moyennes mensuelles des températures (minimales, maximales et moyennes en °C), de la vitesse moyenne du vent en cm s^{-1}, de la valeur du rayonnement global en Wm^{-2}, de la tension de vapeur de l'air en hPa, de la pluviométrie en mm et de l'évapotranspiration potentielle en $mm.j^{-1}$;
2. **les informations sur les cultures choisies**. Il s'agit du cycle variétal en jours et de l'indice de réponse de la culture au déficit hydrique, de l'indice de surface foliaire à la phase de pleine croissance et de l'indice de récolte, du pourcentage de matière sèche et du coefficient cultural à la phase de pleine végétation et du groupe d'adaptabilité de la culture (C3, C4) ;
3. **les informations sur le sol**. Elles sont relatives à l'indice du sol, la texture, la structure et le pH du sol.

Ces données ont aidé pour simuler les rendements des cultures, mais également pour calculer certains indices agroclimatiques, révélateurs des conditions prévalant dans les agrosystèmes.

2.6 - Détermination des indicateurs de vulnérabilité des rendements

Les indicateurs calculés sont l'indice d'humidité et l'indice de stress agroclimatique. L'indice d'humidité (IH) mesure le rapport des précipitations (P) à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période déterminée. Son expression mathématique est :

$IH = [\Sigma P / \Sigma ETP]*100$

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.

Quant à l'indice de stress agroclimatique (IAC), il est le rapport du déficit d'évaporation à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période donnée. Il est noté :

$IAC = [\Sigma ETP - \Sigma ETR)/ \Sigma ETP]*100.$

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.

En somme, les différents indicateurs calculés permettent d'appréhender les facteurs de la vulnérabilité des cultures. En se fondant sur cette vulnérabilité des cultures, les tendances de la sécurité alimentaire sont approchées en fixant des scénarios socio-économiques.

2.7- Disponibilités et évaluation des besoins alimentaires en 2050

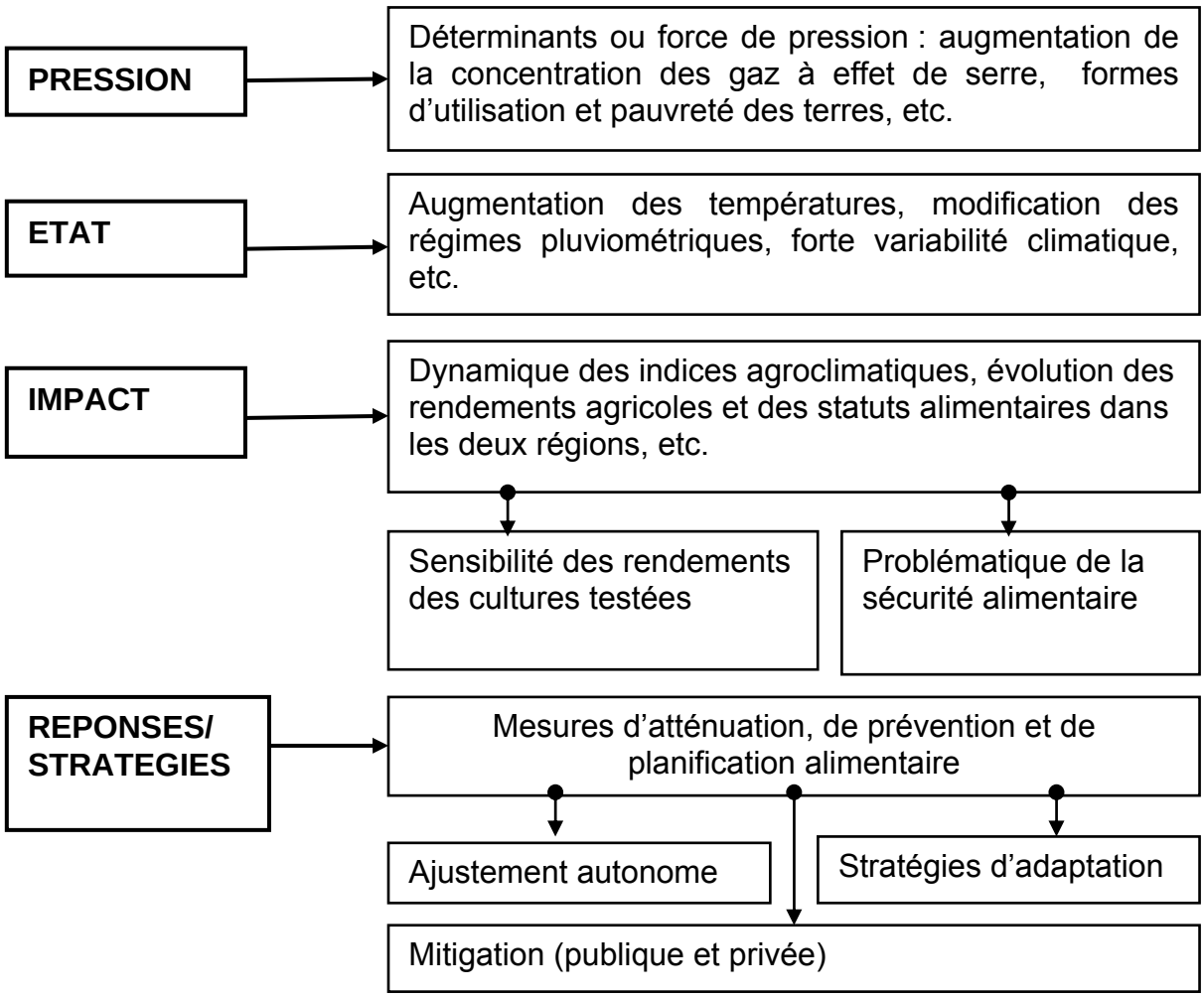
L'évaluation de la disponibilité et de besoins alimentaires est fondée sur les tendances démographiques, les différentes utilisations des produits alimentaires, etc. et il est supposé pour les cinq prochaines décennies que : les revenus annuels des populations seront maintenus à leur niveau actuel ou auront timidement augmenté en dépit des conjonctures internationale et régionale projetées et la demande alimentaire totale dépendra de la consommation par individu, et les besoins alimentaires totaux augmenteront avec l'évolution numérique de la population des régions d'étude.

La détermination des productions agricoles est faite à partir des rendements futurs et en fixant les emblavures de 2050 par culture. La fixation des superficies supposées emblavées est réalisée à partir de l'étude des tendances. Elle consiste en une représentation de superficies (y1, y2….yn) par culture sur la période 1983-2002 dans le but de mettre en évidence ou de déceler l'évolution des superficies cultivées. Elle est précédée de la représentation de nuages de points pour aider à déterminer la loi d'évolution linéaire, toutes cultures confondues. En représentant le nuage de points, on obtient la courbe $y = f(t)$. A partir des outputs de la fonction ainsi établie, les droites de tendance annuelle avec une option prospective sur 2050 sont tracées.

2.8 - Analyse des situations alimentaires et formulation de stratégies alimentaires intégrées et durables

L'analyse des impacts des ''climats futurs'' sur la sécurité alimentaire est faite en utilisant le modèle PEIR (Pression-Etat-Impacts-Réponses). L'utilisation du modèle PEIR comme base d'analyse a permis d'évaluer l'état et les tendances en se focalisant sur la connaissance des déterminants et des causes profondes de la pression (la dynamique du climat), des impacts sur les composantes sociales (santé, sécurité alimentaire) et les réponses apportées par les populations. Les composantes du PEIR (pression, état, impact et réponse) se présentent comme ci-après (tableau VI).

Tableau VI : Articulations du modèle PEIR



La pression est ici toute force climatique agissante ayant la capacité de modifier la situation alimentaire initiale ou susceptible d'affecter de façon tangible un ou des

éléments du système agroalimentaire au point de le rendre dysfonctionnel ou de le dénaturer.

L'état pour sa part, est par exemple, le statut actuel de la sécurité alimentaire. Cet état est celui qui existe en condition ‘’sans pression’’. Il est connu grâce aux investigations en milieu réel, aux données de la littérature et à l'analyse des statistiques agroalimentaires.

L'évaluation des impacts est faite suivant une méthode qui met en relation les forces de pression (ou sources d'impact) et les composantes agroalimentaires. Elle a permis de déterminer l'ampleur des dommages et des risques de fragilisation du système agroalimentaire dans un contexte de changements climatiques.

La réponse développée par les acteurs agricoles se rapporte aux différents types de stratégies et à leur capacité d'adaptation. Cette capacité adaptative dépend de l'accès aux ressources, de la flexibilité ou de la résilience et de la capacité des agrosystèmes au retour à l'état d'équilibre après avoir été affecté par un changement au niveau des facteurs, notamment agroclimatiques et de la capacité de prévision et de gestion des risques climatiques. Elle peut aussi dépendre de la stabilité, qui se rapporte à la fréquence des chocs climatiques et non climatiques et du degré d'incertitude affectant l'environnement de prise de décision, et de l'acceptabilité des nouvelles pratiques ou techniques introduites. Dans cette étude, l'évaluation de la capacité adaptative est réalisée à partir des informations extraites de la documentation et en collaborant avec les acteurs du secteur agroalimentaire.

Au total, tenant compte de la séquence IR (Impacts-Réponses) du modèle PEIR, des mesures conséquentes et intégrées proposées sont fondées sur les réactions adaptatives des populations et des mesures réactives développées par les structures institutionnelles. Les stratégies alternatives pour une sécurité alimentaire sont fondées sur une analyse systémique des problèmes du secteur agroalimentaire du Bénin méridional et central.

La figure 4 résume le canevas méthodologique suivi dans cette étude.

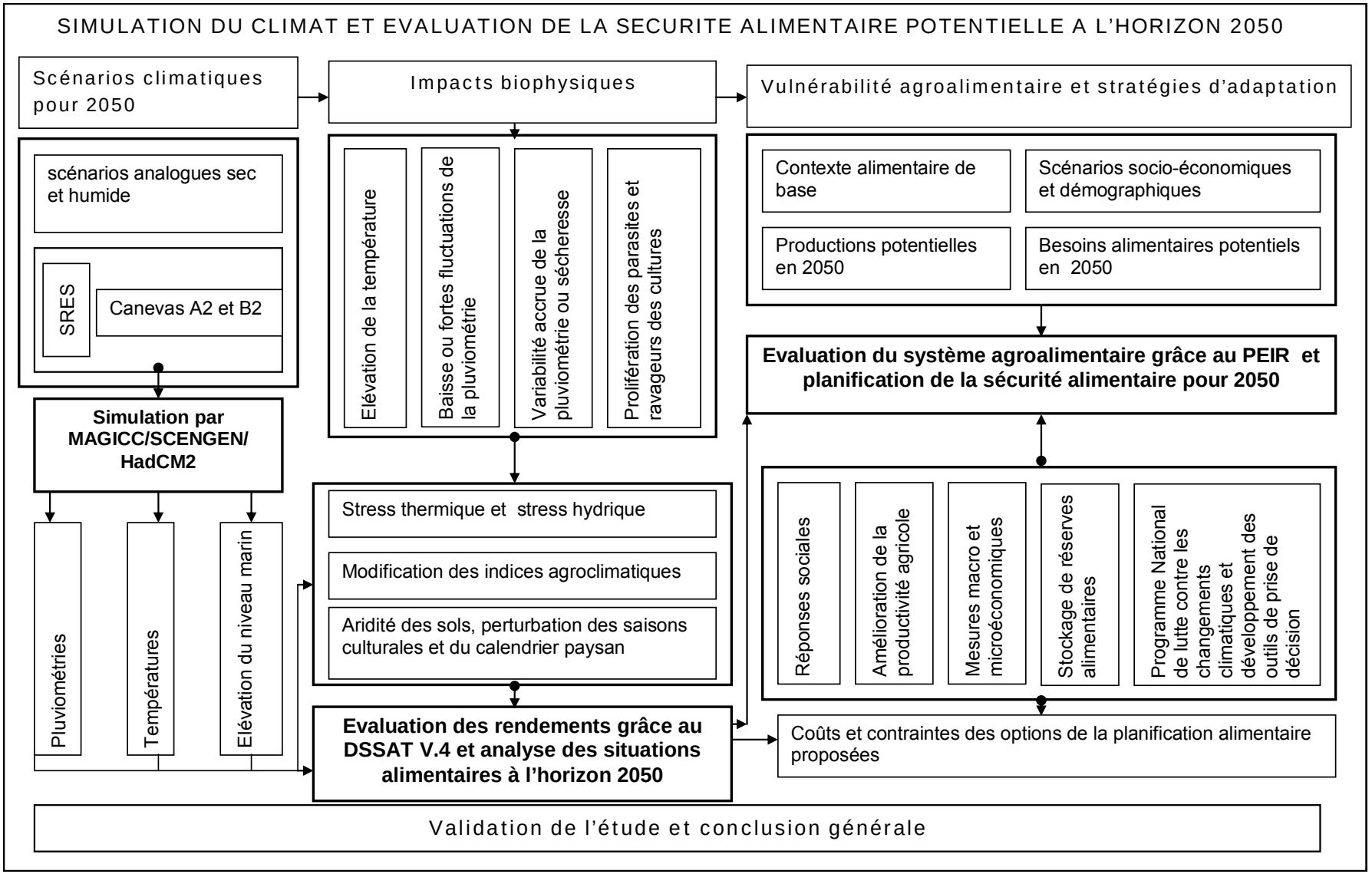


Figure 4 : Synthèse de l'approche méthodologique

CHAPITRE TROISIEME : FONDEMENTS DE LA PRODUCTION AGROALIMENTAIRE DANS LES DEUX REGIONS D'ETUDE

Les deux régions d'étude représentent 27,26 % du territoire national avec une superficie de 31 400 km^2.

Dans ce troisième chapitre, sont exposées les composantes biophysiques du Bénin méridional et central, les déterminants naturels de la production alimentaire. En outre, il y est décrit les composantes humaines, notamment les acteurs des productions agroalimentaires et les articulations de l'économie des régions étudiées.

Enfin, il aborde les faits porteurs, que sont les potentialités ou toute situation en développement pouvant être utilisée pour élaborer des stratégies d'adaptation poactives. Les tendances lourdes supposées être des éléments ou phénomènes d'inertie et pouvant réduire les capacités adaptatives ou constituer des contraintes majeures au développement des stratégies d'adaptation proposées y sont également abordées.

3.1 - Fondements naturels de la production alimentaire

L'étude et l'analyse des composantes naturelles sont nécessaires en ce qu'elles constituent les bases de toutes les activités dans le contexte d'une économie encore dominée par le secteur primaire.

3.1.1 – Aspects géologiques et géomorphologiques

La topographie, qui est généralement fonction et reflet des structures géologiques, intervient pour introduire des particularités dans les champs climatiques et partant dans le façonnement des paysages agraires (Berning et Van, 1982). C'est pour cette raison que ces composantes, intimement liées du milieu naturel des deux régions d'étude, sont présentées.

Selon Slansky (1959), deux unités géologiques distinctes se dégagent en observant de part et d'autre de la ligne allant d'Aplahoué (Département du Couffo) à Adakpamè (Département du Plateau). La région des Collines qui se retrouve au nord de cette ligne repose sur un vieux socle cristallin datant du précambrien. Les formations géologiques dans cette région, constituées d'éléments granito-gneissiques, ont été

érodées pour générer une pénéplaine. Sur ce modelé polyconvexe de socle d'altitude moyenne culminant entre 200 et 400 m, s'observent une série de collines isolées. Selon Berning et Van (1982), les premières, celles en forme de "pains de sucre", aux flancs lisses comme à Savè (photo 1), Banté, Agouna et Kèmon sont généralement formées de granite ou d'orthogneiss. Les secondes, constituées de celles de Dassa-Zoumè, Savalou et Gbadagba, sont allongées et orientées nord-sud.



Photo 1 : Vue partielle des collines à Savè
Source : Cliché E. Ogouwalé, avril 2005

Au sud de cette ligne, le bassin sédimentaire côtier est constitué d'une série de couches de sédiments du crétacé et de l'Eocène (Slansky, 1959), qui repose sur un socle également granito-gneissique (Lang et Paradis, 1984). Cette région qu'est le Bénin méridional, est marquée par la présence des plateaux d'altitudes comprises entre 20 et 200 m (Adam et Boko, 1993). Ces plateaux sont séparés par une dépression médiane appelée dépression des Tchi, de la Lama et d'Issaba respectivement dans le Mono, le Zou et la basse vallée de l'Ouémé.

L'alignement des différentes unités géomorphologiques imprime à la topographie un aspect relativement accidenté, notamment dans la région des Collines. Cette caractéristique associée aux conditions climatiques et techniques d'utilisation et d'occupation des terres, expliquent l'ampleur du phénomène d'érosion que connaissent les deux régions d'étude.

Somme toute, il est à retenir que les facettes géomorphologiques dans le Bénin méridional et central, mis à part quelques secteurs collinaires, offrent d'importantes superficies de terres cultivables. En outre, l'orientation de ces unités ainsi que leur

altitude influencent dans une certaine mesure le climat à travers les précipitations dans les deux régions (Afouda, 1990 et Houndénou, 1992).

3.1.2 – Climats dans le Bénin méridional et central

Le climat est défini comme étant la synthèse des phénomènes météorologiques observés sur l'ensemble d'une période statistiquement assez longue pour pouvoir établir ses propriétés statistiques d'ensemble à savoir : valeurs moyennes, variances, probabilités des phénomènes extrêmes, etc. (Pedelaborde, 1970 ; Leroux, 1980).

De nombreux auteurs ont examiné l'importance du climat pour les écosystèmes et la vie agricole au Bénin. Boko (1988) a montré que les fluctuations climatiques et les ''chocs climatiques'' ébranlent le système économique et tout le tissu social. Sircoulon (1990) et Afouda (1990) rapportent aussi que la dynamique du climat entraîne des bouleversements écologiques et génère une modification des systèmes culturaux. C'est pourquoi le climat, l'un des facteurs déterminants du développement agricole mérite d'être décrit et analysé pour en saisir les mécanismes.

3.1.2.1 – Mécanismes de la pluviogenèse, générateurs des trames climatiques

Les centres et mécanismes générateurs des ambiances climatiques en Afrique de l'Ouest et dans les deux régions d'étude ont été largement décrits d'abord par Hubert (1926), Dettwiller (1965), Pedelaborde (1970), Leroux (1970, 1980) et ensuite par Boko (1988), Afouda (1990) et Houndénou (1999). Ces centres et mécanismes concernent le groupe anticyclonique de l'hémisphère nord, d'origine composite, dominé par l'anticyclone des Açores, de souche maritime, et l'anticyclone continental "Egypto-libyen". A l'opposé, dans l'hémisphère sud, se développe la cellule anticyclonique de Sainte-Hélène dont l'origine est semblable à celle des Açores.

L'anticyclone des Açores varie en son centre de 1025 hPa en juin- juillet à 1020 hPa en novembre par exemple. Sa position en latitude peut aller jusqu'à 35° N en janvier et descendre à 28°N en mars ; alors qu'en longitude il se rapproche du continent à 18°W en janvier pour s'en éloigner jusqu'à 36°W en mai et octobre (Leroux, 1980).

En fonction de sa position, il dirige sur l'Afrique de l'ouest des flux d'origines diverses, qui définissent en grande partie les types de temps dans cette partie de l'Afrique (Fontaine, 1986, Olivry, 1986).

L'anticyclone "Egypto-libyen" est quant à lui situé vers 1W' N - 25° E. Il se trouve de ce fait plus proche de l'équateur géographique (Dhonneur, 1985). Cette proximité, à laquelle s'ajoute l'effet de continentalité (chaleur de surface) donne un caractère chaud, sec et poussiéreux au flux d'air dont les effets sont saisonnièrement ressentis, de façon éphémère dans le Bénin méridional et central. Il s'agit de l'alizé du NE, un air continental tropical stable connu sous le vocable de "harmattan".

Pendant la période sèche, cet anticyclone prédomine et dirige sur le Bénin les flux du nord, air sec et chaud pendant la journée, se rafraîchissant la nuit. Au cours de la période des pluies, l'anticyclone égypto-libyen se retire en altitude à la suite de la remontée des flux générés par l'anticyclone de Sainte Hélène.

L'anticyclone de Sainte-Hélène a une position moyenne de 10°W en surface et 25°W en altitude (Dhonneur, 1985). Il peut descendre jusqu'à 32°S en février-mars, pour remonter à 26°S en juin. En longitude, son décalage est plus important : jusqu'en décembre et 15°W en juin. Six mois sur douze, cet anticyclone affiche 1020 hPa. Ce seuil descend à 1018 hPa uniquement en février, puis remonte à 1024 hPa en juillet.

L'anticyclone de Sainte Hélène est générateur d'un flux d'air maritime. C'est ce flux d'air appelé mousson, grand pourvoyeur des amas nuageux pluviogènes, qui génère des pluies en Afrique de l'ouest, notamment sur le Bénin méridional et central (Leroux, 1970 ; Moron, 1993 ; Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999). Ces pluies de mousson sont des précipitations généralement fortes. Evidemment, la mousson étant une masse d'air caractérisée par les vents à fortes composantes sud et pour avoir séjourné longtemps sur l'océan et en raison des amas nuageux (Cumulonimbus) qu'elle génère, on assiste à de pluies relativement abondantes, continues de mai à octobre. Selon Leroux (1980), Boko (1988) et Afouda (1990), ces pluies de mousson naissent de la convergence des flux des basses couches atmosphériques au niveau de l'Equateur Météorologique (EM) vers 1500 m avec des vents forts de 10 à 15 nœuds, lorsque l'EM est proche de la verticale. Elles

interviennent au Bénin au moment où l'anticyclone de Sainte-Hélène se renforce et lorsque le flux de mousson s'épaissit vers 6° et 8° Nord.

Entre les anticyclones subtropicaux des deux hémisphères, se forme une ceinture dépressionnaire. La zone à l'intérieur de cette ceinture où convergent les masses d'air provenant des anticyclones subtropicaux est appelée zone intertropicale de convergence (ZIC). Cette zone se déplace au nord et au sud de l'Equateur et arrive généralement en juillet à sa position située le plus au nord. Les nuages de pluie subséquents se situent généralement à 150 ou 200 km au sud du front intertropical (Olivry, 1986).

Le front intertropical est la trace à la surface du sol de la zone intertropicale de convergence. La date de passage du FIT en un lieu détermine le début et la fin de la saison des pluies. Cette saison est plus courte avec de plus grandes variations inter-annuelles de la pluviométrie totale à mesure que la latitude croît. Le FIT se déplace du sud au nord de janvier à août (figure 5). La migration inverse se produit de septembre à décembre (Moron, 1980 ; Afouda, 1990).



Figure 5 : Position extrême du FIT sur l'Afrique Occidentale
Source : Leroux (1980)

Dans les couches supérieures, selon Leroux (1980) et Fontaine (1986) des accélérations de vent dans les flux d'est entre 700 et 500 hPa, s'observent au nord et au sud de l'équateur météorologique. Ce sont les jets d'Est Africains. Au nord, sur l'Afrique occidentale, c'est le jet d'Est Africain nord qui s'établit en janvier vers 5°N. Il migre avec l'équateur météorologique pour atteindre 15-17°N en juillet-août avec des vitesses élevées. Mais c'est en septembre, lorsqu'il est situé sur 12-13°N, que sa vitesse est partout maximale. En octobre-novembre, le courant migre rapidement

vers le sud, en s'affaiblissant. Au sud de l'équateur météorologique, le Jet d'Est Africain Sud est repéré en hiver (en janvier-février) sur l'Afrique centrale et l'Atlantique sud. Il migre vers le nord, de mars à juillet-août où on le trouve sur le golfe de Guinée à proximité de l'équateur. Dès septembre, il se décale vers le sud et sa vitesse diminue.

Ce sont les mouvements de ces différentes masses d'air et les flux qu'elles véhiculent qui déterminent l'articulation saisonnière dans les deux régions d'étude.

3.1.2.2 - Articulations saisonnières dans le Bénin méridional et central

Selon les travaux de Boko (1988), de Afouda (1990) et de Houndénou (1999), du point de vue de la répartition pluviométrique, le Bénin méridional connaît quatre séquences saisonnières à savoir :

- une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars ;
- une grande saison de pluies de mi-mars à mi-juillet ;
- une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;
- une petite saison de pluies de mi-septembre à mi-novembre.

Une telle succession des séquences pluviométriques permet la réalisation de deux saisons agricoles franches.

Le Bénin central, pour sa part, connaît un climat de transition (Boko, 1988 ; Afouda, 1990) intermédiaire entre celui subéquatorial à deux saisons humides et celui tropical de type soudanien. A la différence du Bénin méridional qui a un régime bimodal, le Bénin central connaît soit une pluviométrie unimodale, soit une pluviométrie bimodale (figure 6).

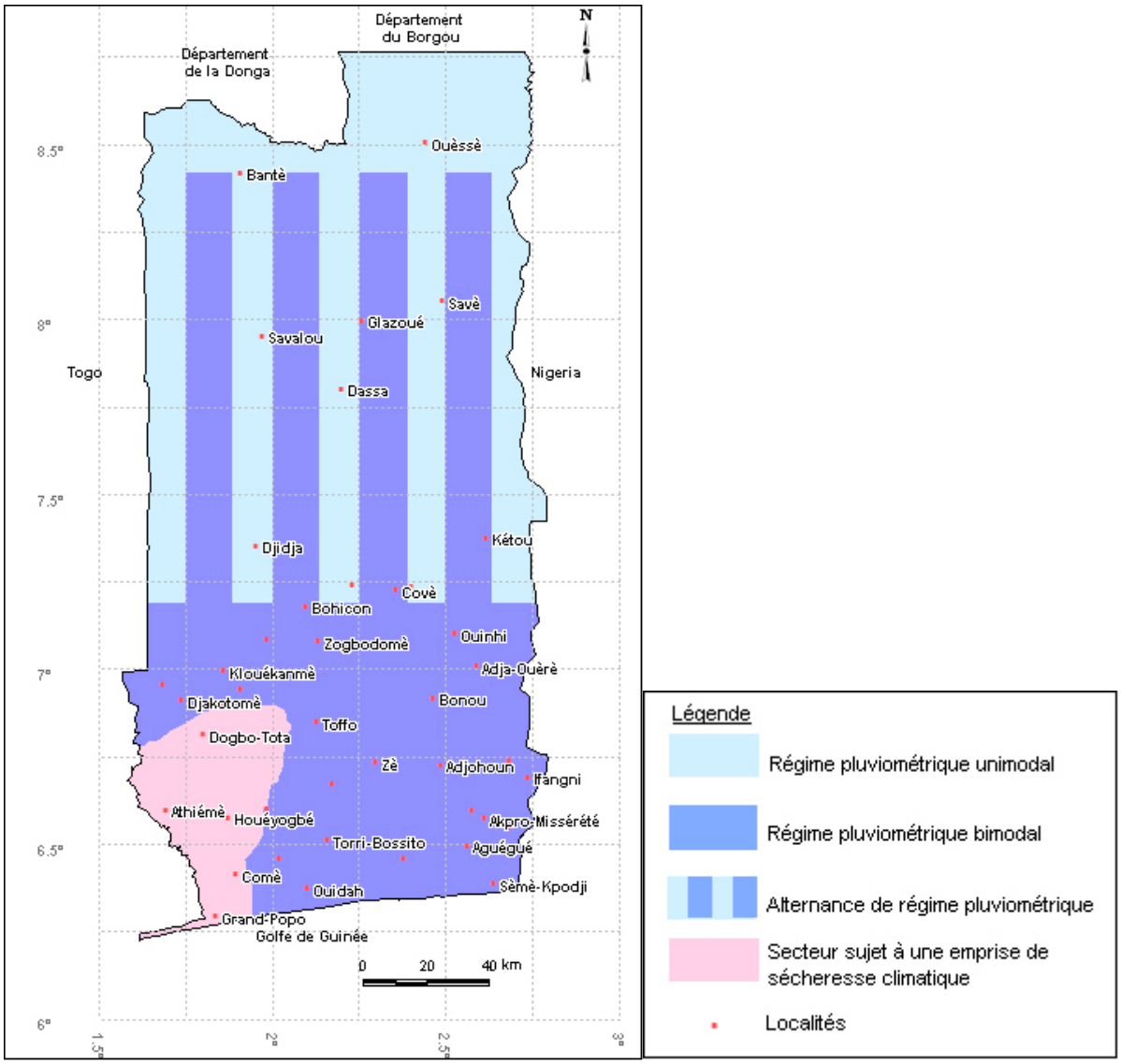


Figure 6 : Statuts et contraintes pluviométriques dans le Bénin méridional et central

La figure 6 présente les différents secteurs où les statuts pluviométriques imposent des contraintes majeures au développement agricole. Le sud-ouest du Bénin méridional, est marqué par la présence d'une emprise de sécheresse, qualifiée de diagonal de sécheresse par Bokonon-Ganta (1987). Dans le Bénin central, le changement ou l'alternance du régime d'humidité (unimodal ou bimodal) constitue dans une certaine mesure un facteur naturel limitant pour le développement des activités socio-économiques, notamment l'agriculture.

La température moyenne, selon Ogouwalé (2001 et 2004), varie entre 27 et 31 °C au pas de temps mensuel. La température minimale moyenne est de 20 °C. La température maximale avoisine les 37 °C en mars pour finalement chuter à 30 °C en juillet. Elle augmente à nouveau à partir d'octobre et se maintient à 35 °C le reste du

temps. L'amplitude thermique moyenne mensuelle peut atteindre 10 °C, avec des minima en août et des maxima en mars (Adam et Boko, 1993). Sur la période 1961-1990, l'évapotranspiration a été de 659,5 mm/an au cours de la grande saison pluvieuse et de 375 mm/an pendant la petite saison des pluies. L'humidité relative pour sa part, reste pratiquement peu variable à l'échelle de l'année avec un minimum de 65 % et un maximum de 95 % au début de la première saison agricole.

Ces caractéristiques des climats ont favorisé le développement d'une végétation subissant la pression humaine et de sols agricolement satisfaisants mais en proie depuis quelques années à l'érosion hydrique.

3.1.3 – Couvert végétal et armature pédologique dans les deux régions

Les deux régions d'étude sont par excellence le domaine de savanes claires et par endroits de savanes boisées (figure 7). Au niveau des bas-fonds et le long des cours d'eau, on rencontre des forêts galeries qui constituent un ensemble de hautes herbes et de grands arbres servant de refuge aux animaux. La savane arbustive pour sa part, s'est développée partout où la végétation naturelle a été entamée par l'activité humaine. Dans les périmètres situés au voisinage de l'Ouémé, du Mono, du Zou, etc. sur des sols lourds se développe une savane claire où prédominent entre autres certaines espèces caractéristiques dont *Anogeissus léiocarpus* et *Diospyros mespiliformis*. Les quelques forêts arborées encore intactes et suffisamment denses ne sont que des lambeaux de forêts et de reliques ayant échappé à la dégradation. Y domine *Daniella oliveri* qui s'impose d'ailleurs dans le paysage et est couramment associé à *Afzelia* et au *Parkia biglibosa*. Pour la plupart, elles sont déclarées classées. A cette végétation naturelle il faut ajouter celle artificielle constituée de *Tectona grandis* et *Anacardium occidentalis* devenus depuis 1990 des produits d'exportation.

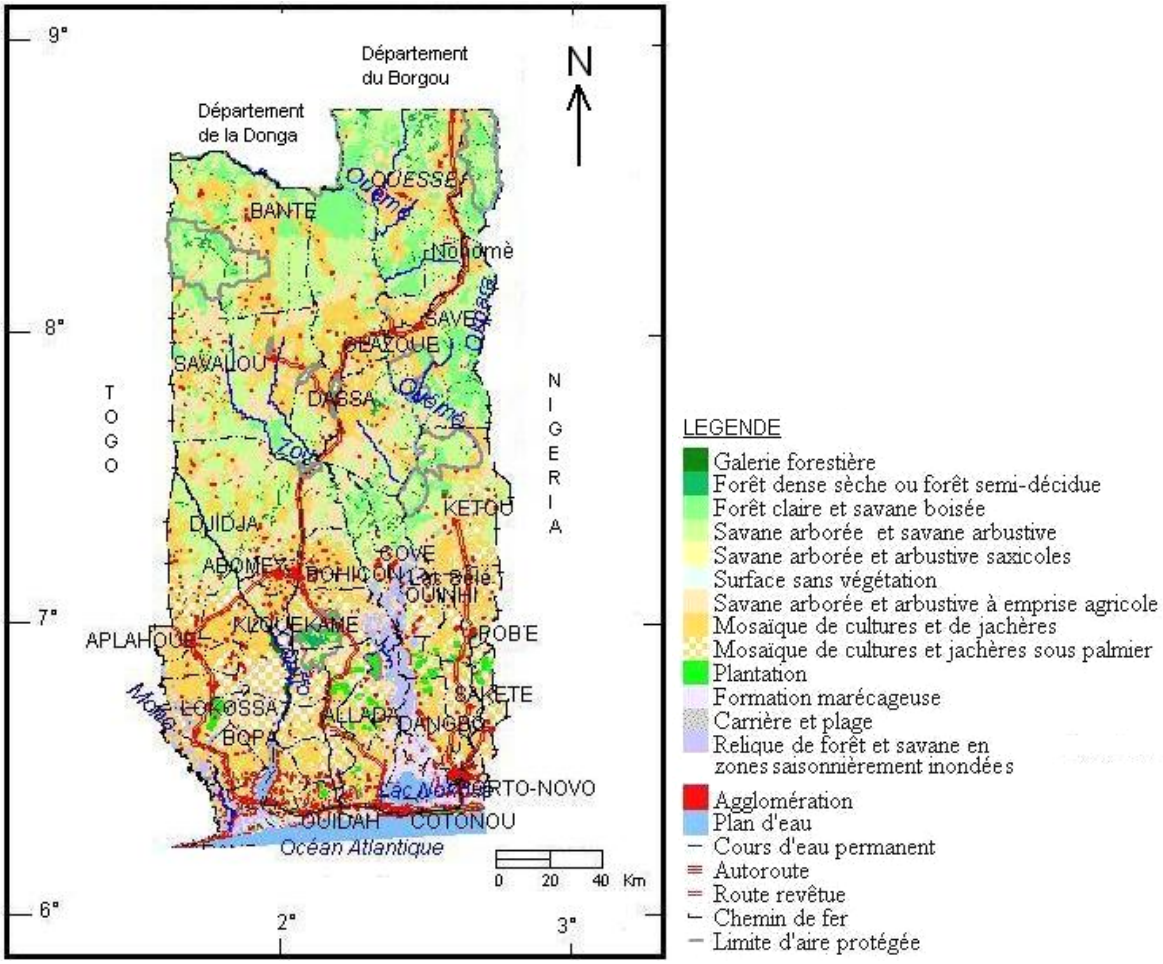


Figure 7 : Couvert végétal dans le Bénin méridional et central
Source : Image spot (2000)

Pour Ogouwalé (2001) et Adjahossou (2005), une dégradation accrue caractérise aujourd'hui les paysages végétaux du Bénin méridional et central. Les taux de régression ont été partout significatifs (figure 8) au cours des deux dernières décennies (Baloubi et *al*., 1999 ; Afouda et *al*., 2003).

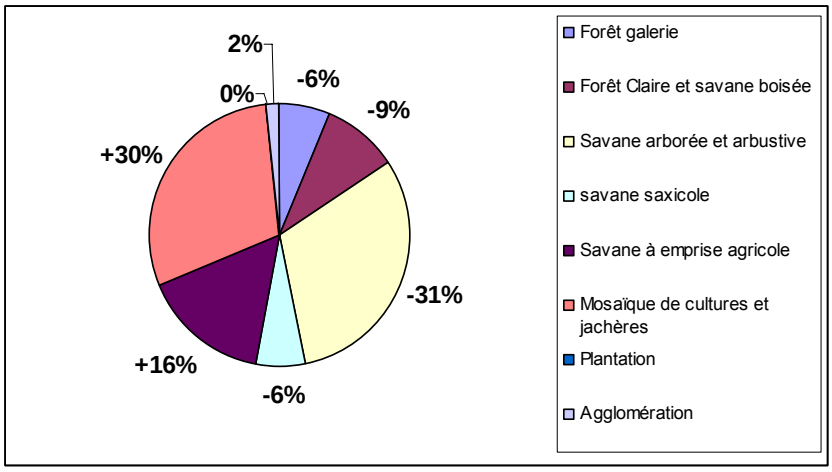


Figure 8 : Evolution des composantes environnementales entre 1982 et 2002

Cette dégradation est due à la pratique d'une agriculture itinérante sur brûlis, aux feux de végétation et incendies de forêts, au prélèvement incontrôlé du bois de feu et de charbon, etc.

Sous ces paysages végétaux, se sont développés des sols ferralitiques, ferrugineux tropicaux lessivés, sols ferrugineux tropicaux appauvris (figure 9). A ces types de sols, s'ajoutent les sols des secteurs de dépression dominés par les vertisols et les sols hydromorphes. Ces sols sont de texture argilo-sableuse. Leur profil comporte un ensemble d'horizons sableux et sablo-limoneux de 30 à 70 cm d'épaisseur. Ils sont chimiquement très riches et possèdent des réserves minérales très satisfaisantes pouvant supporter encore l'agriculture sur plusieurs décennies (CENAP, 1982).

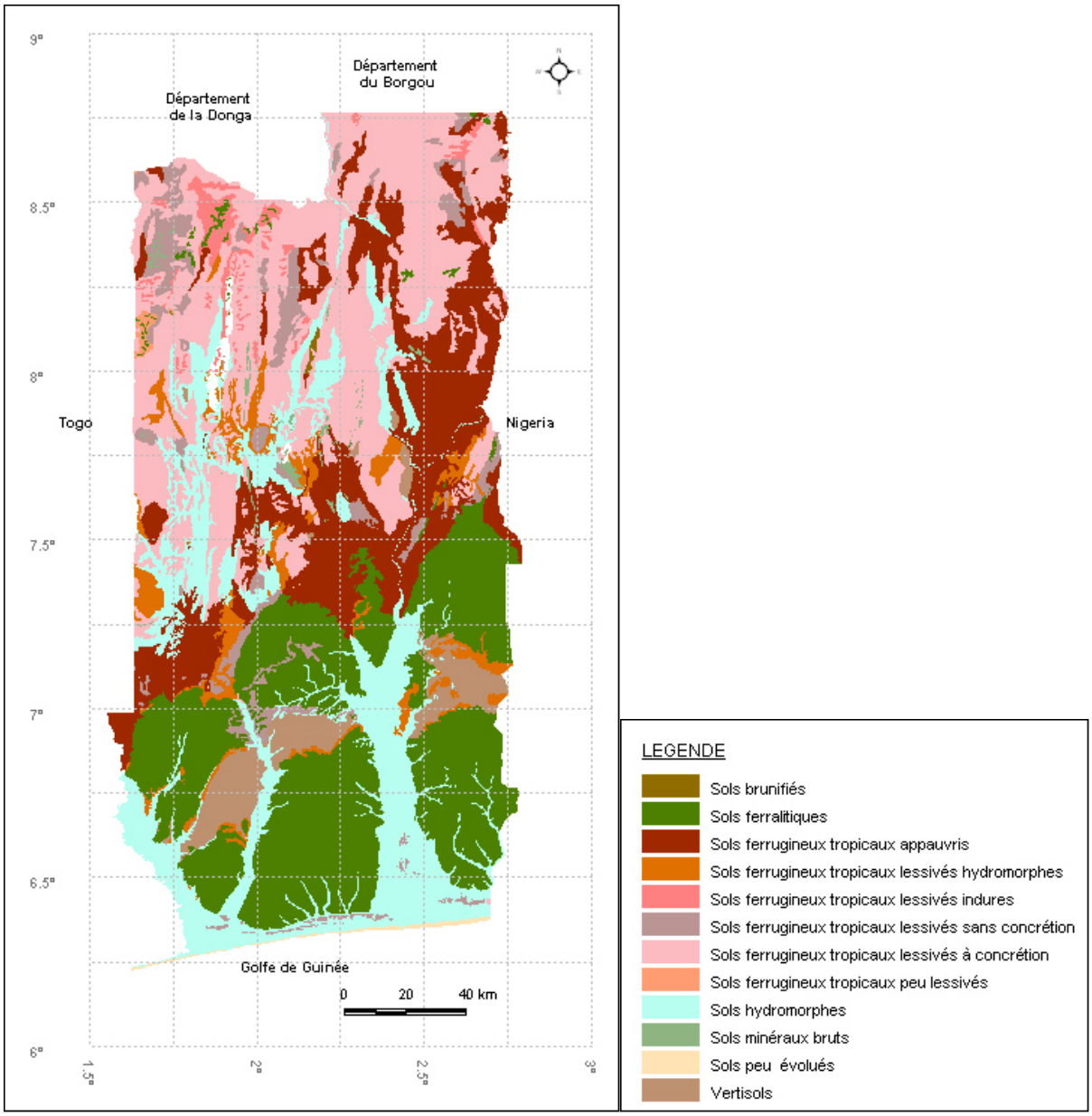


Figure 9 : Composantes pédologiques dans le Bénin méridional et central

Mais dans les deux régions, les différents types de sols sont aujourd'hui en proie à une dégradation du fait principalement des pratiques culturales, qui accroissent la vulnérabilité des terres à l'érosion et occasionnent une baisse de la fertilité des terres. Cette diminution de la fertilité des terres est confirmée par les propos de 68 % des populations paysannes, qui pour réduire leur vulnérabilité développent des stratégies d'adaptation telles l'occupation des bas-fonds et des berges des cours d'eau du Bénin méridional et central.

3.1.4 – Réseau hydrographique et aspects hydrogéologiques

Le fleuve Ouémé est le principal cours d'eau des deux régions d'étude (figure 10). Il reçoit le Gbeffa et le Zou à l'ouest et l'Okpara à l'est. Il a un régime tropical, car subissant principalement l'influence du climat soudanien. Son débit maximum (300 m^3/s) est enregistré en septembre, parfois en octobre.

Quant à la rivière Zou, il parcourt le socle précambrien sur environ 100 km avant d'aborder la terre de barre sur près de 50 km, puis se jette dans l'Ouémé à la latitude de Bonou. Il a un régime de type tropical avec une seule période de hautes eaux qui s'étend de juillet à octobre. Son débit maximal est 100 m^3/s pendant cette période à Atchérigbé. Les affluents du Zou qui permettent la pratique des cultures de contre saison sont : Agbado (2703 km²) ; Otio (442 km²) ; Bogui (1450 km²) et Agbla (479 km²). En outre, les berges du fleuve Couffo qui longent la limite Ouest du Département du Zou sont utilisées à des fins agricoles par les populations riveraines. Il en est de même du fleuve Mono.

Tous ces cours d'eau (figure 8) se jettent dans la mer au sud du Bénin en passant par les lacs Nokoué, Ahémé, etc. les lagunes de Porto-Novo, de Cotonou, etc., qui offrent de grandes possibilités pour développer une agriculture irriguée.

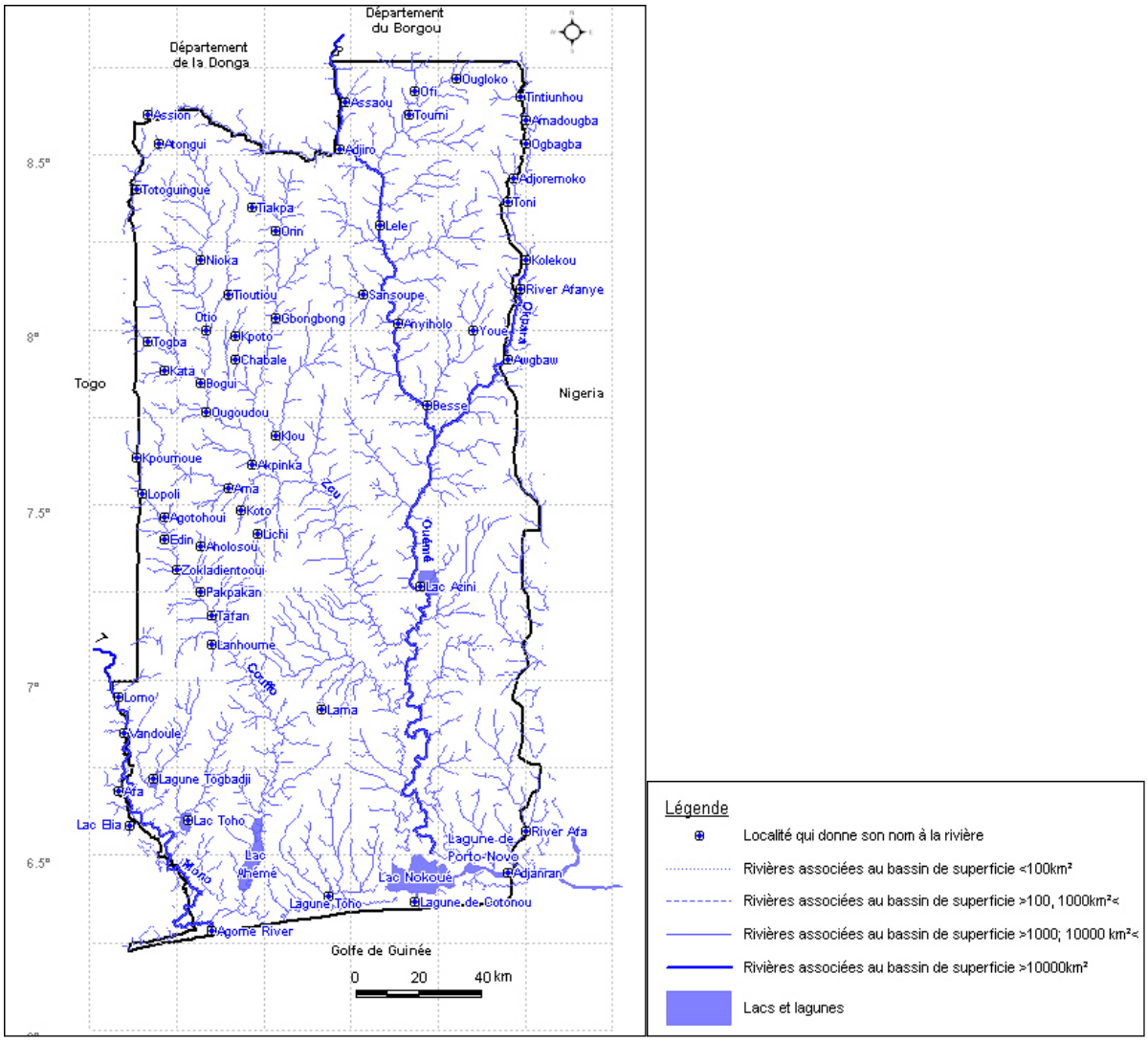


Figure 10 : Réseau hydrographique dans le Bénin méridional et central

Les agrosystèmes du Bénin méridional et central sont bien drainés. Ce drainage est une potentialité qu'on pourrait davantage exploiter à des fins de développement agricole dans les deux régions d'étude.

Par ailleurs, les ressources en eau souterraines sont très inégalement réparties ; les plus importants aquifères (figure 11) sont dans le bassin sédimentaire et couvrent moins de 20 % de la superficie totale du Bénin.

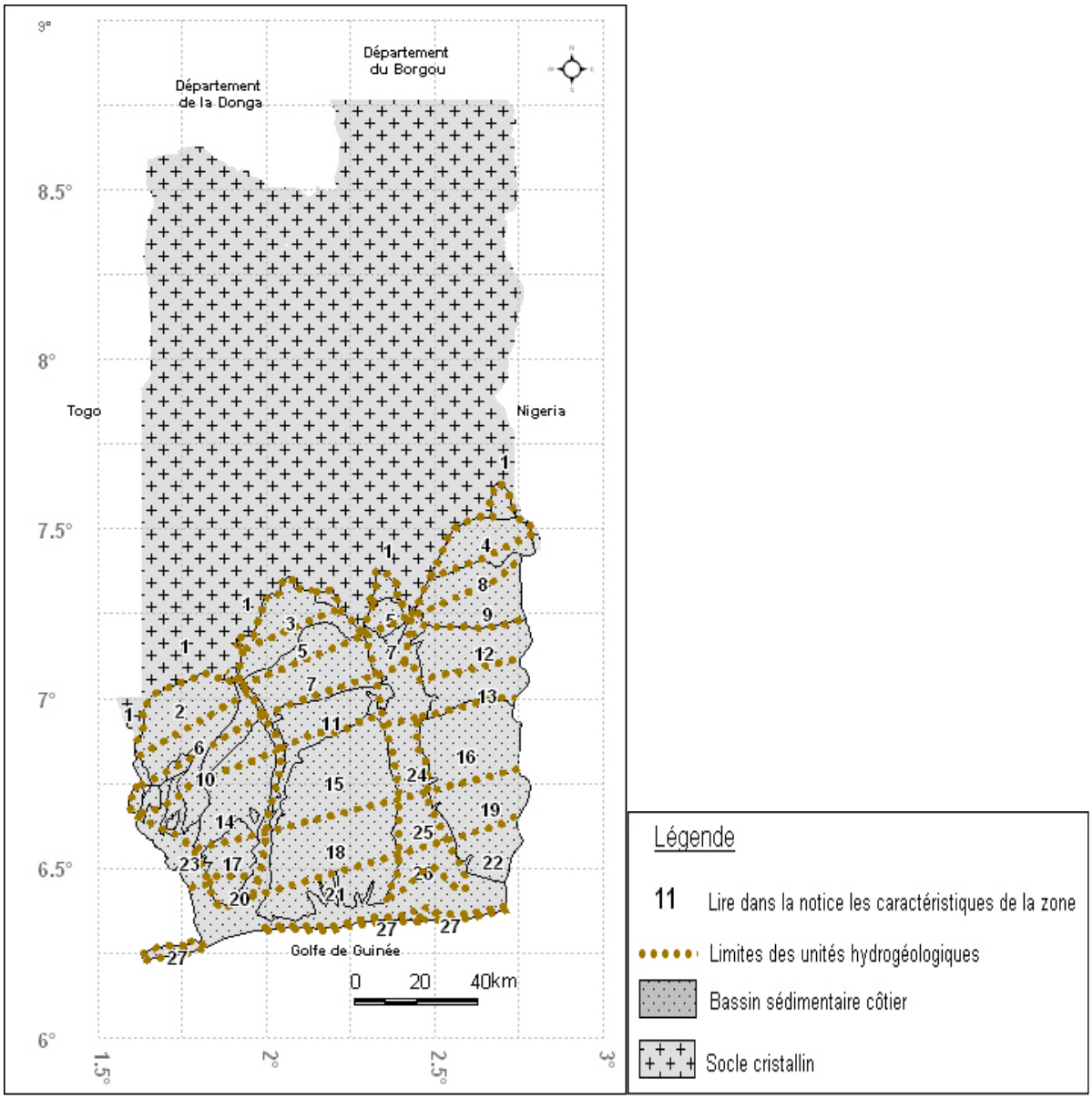


Figure 11 : Unités hydrogéologiques dans le Bénin méridional et central

Les deux régions d'étude regorgent ainsi de conditions naturelles favorables au développement de l'agriculture et qui sont mises en valeur par une population aux caractéristiques sociales et démographiques particulières.

3.2 - Déterminants socio-économiques de la production alimentaire

3.2.1 - Caractéristiques démographiques

Le Bénin méridional et central concentraient en 2002 une population de 4 613 821 d'habitants (INSAE, 2002). La figure 12 montre l'évolution de la population par département du Bénin méridional et central à l'horizon 2050.

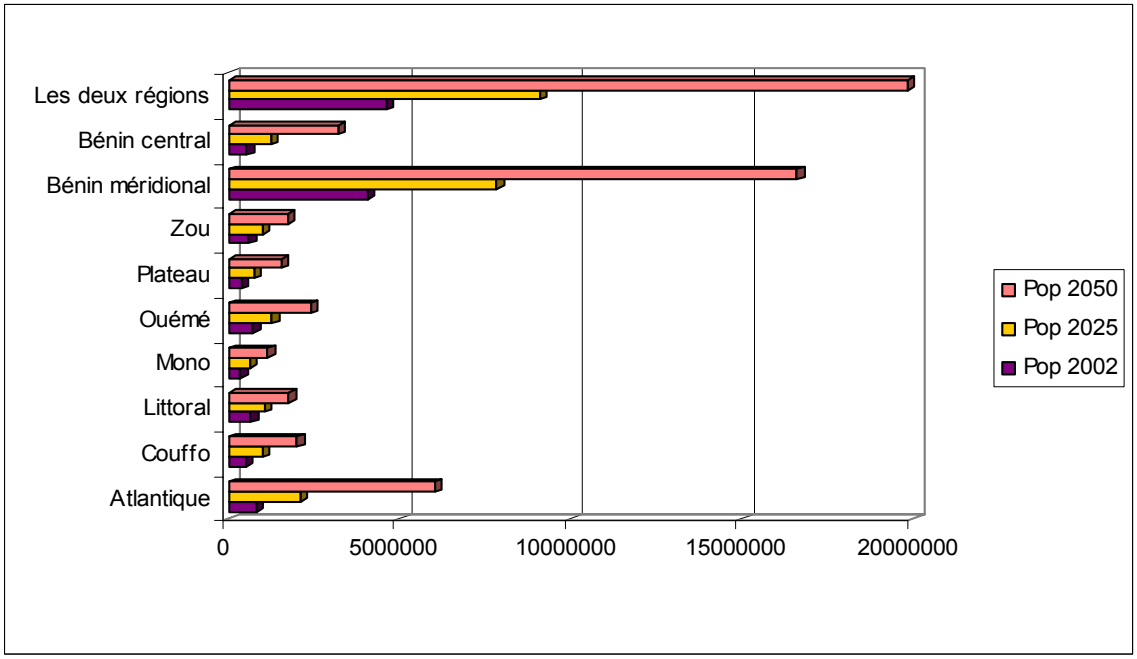
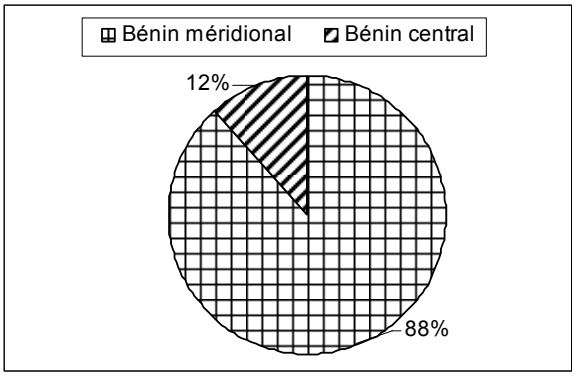
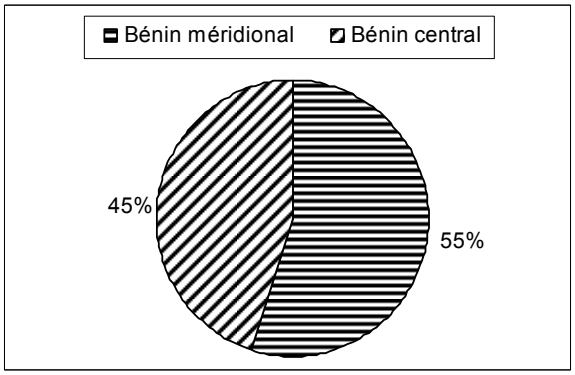


Figure 12 : Population du Bénin méridional et central en 2050 à partir des données de INSAE (1992 et 2002)

La figure 12 montre que les populations du Bénin méridional et du Bénin central atteindront respectivement 16 638 165 et 3 209 010 habitants en 2050. Dans un tel contexte, le problème de sécurité alimentaire se posera, du moins si les bouleversements climatiques se reproduisent plus fréquemment et si les pratiques culturales actuelles ne sont pas significativement améliorées et continuellement adaptées.

Avec une telle évolution numérique des populations, la densité sera élevée à l'horizon 2050. Les données actuelles indiquent déjà que la densité moyenne est de 200 habitants au km² dans les départements potentiellement agricoles, hormis le département de l'Ouémé qui est largement au-delà de cette moyenne avec 600 habitants au km². Le poids démographique de chaque région étudiée (figure 13.1) rapporté à la superficie du Bénin méridional et central (figure 13.2) montre une nette différence en ce qui concerne la disponibilité en terres agricoles (figure 13).





(1) **(2)**

Figure 13 : Poids démographiques (1) et répartition des terres entre les deux régions (2)

Source des données : INSAE (2002)

Les quatre vingt huit pour cent (88 %) des populations des deux régions se trouvent concentrées dans le Bénin méridional et ne disposent que de 55 % de la superficie totale (figure 13). Pendant ce temps, les 12 % restants (populations du Bénin central) développent théoriquement leurs activités sur les 45 % de la superficie totale. Un tel contexte suggère qu'en dehors des changements climatiques, la faible disponibilité en terres figurera au nombre des contraintes au développement de l'agriculture, base fondamentale des économies locales tout au moins dans le Bénin méridional.

3.2.2 - Secteurs économiques dans le Bénin méridional et central

L'agriculture reste dominée par les principales cultures que sont le maïs, le manioc, l'igname et l'arachide. Le palmier à huile dont la production diminue en raison des conditions climatiques et de l'abattement persistant des plants pour la fabrication d'une boisson locale communément appelée *sodabi* est une culture d'exportation. A cette culture, il faut ajouter celles d'ananas, du coton et d'anacardier qui ont pris un essor considérable depuis les années 1990.

L'élevage n'est pas bien développé et porte essentiellement sur les petits ruminants (ovins, caprins). Il constitue la principale activité économique des Peulh. Aujourd'hui, surtout dans le Bénin central, ces Peulh développent un système cultural fondé sur l'association élevage et agriculture, ce qui les incite à une sédentarisation.

Les activités commerciales sont caractérisées, en dehors de Cotonou et de certaines villes, par des micro-entreprises marchandes individuelles où s'opère généralement le commerce de détail. Les marchés de Bohicon, Azovè, Ouèssé, Glazoué, Banté,

Sèhouè, etc. constituent les aires d'échange ou de collecte d'une grande quantité de produits agricoles qui pour l'essentiel sont convoyés au marché de Dantokpa (photo 2), le plus grand centre de commercialisation de ces produits agricoles.



Photo 2 : Déchargement (1) de l'igname et exposition-vente (2) des produits agricoles (maïs) au marché de Dantokpa
Source : Cliché E. Ogouwalé, mars 2006

La production et la vente des différents produits agricoles procurent aux populations des revenus nécessaires à la satisfaction de leurs besoins. Selon que la production agricole est bonne ou mauvaise, en raison de la situation climatique, le niveau de vie des populations se trouve amélioré ou affecté.

3.2.3 – Indicateurs socio-économiques

Les régions béninoises ont connu au cours des dix dernières années les progrès les plus faibles en matière de développement humain (PNUD, 2000). Ces faibles progrès n'ont pas permis d'éradiquer la pauvreté qui se manifeste par la faim ou l'absence de sécurité alimentaire, la dégradation de l'état de santé et les mauvaises conditions de logement.

Le tableau VII indique les niveaux de pauvreté alimentaire et de revenus annuels, l'incidence de la pauvreté dans les différents départements du Bénin méridional et central.

Tableau VII : Synthèse des situations socio-économiques observées par Département

	Indicateurs socio-économiques et situations observées
Atlantique	Le département est marqué par un seuil de pauvreté alimentaire évalué à 52 801 F CFA avec une incidence de 26,3 %. Le seuil de pauvreté s'est accru de 10,3 % entre 1994 et 2001. La taille moyenne du ménage est de 6 personnes et le taux de dépendance est de 42 %. Le revenu annuel moyen est 247 498 F CFA et 7 % de ce revenu est consacré aux dépenses alimentaires.
Collines	Dans le département des Collines, ce sont les revenus agricoles qui dominent la structure des revenus avec une importance relative de 55 %. Le revenu net a été évalué à 97 977 Fcfa par ménage et par an contre une dépense moyenne de 114.065 Fcfa. 68 % des revenus sont consacrés à l'alimentation des ménages.
Couffo	44 % des ménages ruraux sont pauvres et environ 22 % des ménages se trouvaient en dessous du seuil de pauvreté alimentaire entre mars 1999 et février 2000. L'incidence la plus observée de la pauvreté globale était de 59,38 %. Le revenu net par ménage et par an est de 81 992 F CFA.
Littoral	C'est un département plus consommateur que producteur de denrées alimentaires. Les surfaces agricoles emblavées ont régulièrement baissé. Le seuil de pauvreté global s'est accru de 10,3 % entre 1994 et 1999. La grande partie des revenus des populations provient des activités non agricoles. Le revenu annuel moyen est 290 708 F CFA.
Mono	Le revenu net moyen annuel par ménage rural est de 128 108 F CFA et provient à 46 % des activités agricoles et également 46 % des activités non agricoles. Le taux de dépendance est estimé à 46 %. Le seuil de la pauvreté alimentaire est de 52.449 F CFA avec une incidence de 21 % pendant les périodes critiques. Le seuil global de la pauvreté est de 81 085 F CFA par équivalent-adulte.
Ouémé	Le seuil de la pauvreté alimentaire est de 52 591 F CFA avec une incidence de 19,3 %. Le seuil global de la pauvreté est de 78 255 F CFA par équivalent adulte. Son incidence est de 52 %. La part des ménages ruraux qui ne sont pas arrivés à satisfaire leurs besoins alimentaires entre mars 1999 et février 2000 a été estimé à 19 %.
Plateau	Le seuil de la pauvreté alimentaire est de 53 413 F CFA. Le seuil global de la pauvreté est de 74 168 F CFA par équivalent-adulte. Son incidence est de 52 %. 29 % des ménages se trouvent en dessous du seuil de la pauvreté alimentaire. Le pourcentage de pauvre est beaucoup plus élevé (48 %) en 2001 contre 36 % en 1994, soit une augmentation de 12 %.
Zou	Le seuil global de pauvreté est estimé à 76 987 F CFA. La variation du seuil de la pauvreté alimentaire entre 1994 et 2000 est de 14,82 %. Toutefois, selon les données de l'ECVR2, le Département du Zou est moins affecté par le phénomène de pauvreté avec ses 16,2 % de population vulnérable sur le plan alimentaire en période critique.

Source : PNUD-ECVR2 (2001) et INSAE (1998 et 2002)

Il ressort des données du tableau VII que les ménages sont généralement confrontés à une situation de déficit budgétaire. En dépit des efforts consentis par les différents acteurs du développement, rien ne laisse augurer d'une meilleure perspective surtout

que les tendances démographiques associées à la faible productivité dans tous les secteurs économiques vont probablement se poursuivre au cours des prochaines décennies. Cela fait partie des tendances lourdes pour le Bénin.

3.2.4 - Faits porteurs et tendances lourdes dans les deux régions

Comme indiqué plus haut, les faits porteurs dans cette étude sont toutes les situations actuelles ou en développement pouvant être utilisées pour développer des stratégies d'adaptation et de mitigation aux changements climatiques. Dans ce cadre, il faut signaler que depuis quelques années, des structures locales ayant pour vocation le développement agricole ont vu le jour dans presque tous les départements. Des associations, des ONG et des organisations de jeunes ont été créées et soutiennent les initiatives locales pour la modernisation du secteur agricole. En outre, le Bénin méridional dispose, par exemple, de nombreux cours et plans d'eau ayant des plaines inondables aménageables à des fins agricoles sur des centaines d'hectares (photo 3).



Photo 3 : Plaine d'inondation dans le secteur de confluence entre le fleuve Couffo et le lac Ahémé à Couffonou dans le Bénin méridional
Source : Cliché Totin, août 2005

De même, dans le Bénin central, certaines parties du bassin du fleuve Zou peuvent permettre la construction de micro-barrages pour l'irrigation. Certaines parties de l'Ouémé peuvent également permettre de multiplier les barrages à l'instar de ce qui existe déjà à Savè (photo 4).



Photo 4 : Barrage réalisé à partir d'un bras de l'Ouémé à Savè pour l'irrigation des plantations de canne à sucre

Source : Cliché E. Ogouwalé, mai 2005

Les deux régions d'étude disposent également de 320 000 hectares de terres irrigables pour 60 000 hectares de bas-fonds aptes à la riziculture et aux cultures maraîchères et de contre-saison et dont seulement 11 % sont exploités (MAEP, 2001). En outre, des 74 % des terres du Bénin méridional et central disponibles, seulement 12,5 % (soit environ 1 375 000 hectares) sont exploitées chaque année.

Par ailleurs, le récent essor des unités de transformation et de conservation des produits agricoles grâce aux appuis de certains organismes tels que Sassakawa Global 2000, la FAO, etc., l'existence des groupements de femmes, l'implantation et le développement de la Caisse Locale de Crédit Agricole et Mutuelle (CLCAM) et dans une certaine mesure la tradition de participer aux financements des programmes ou projets de développement (Ogouwalé, 2002) sont des atouts qui pourront être exploités dans le cadre d'une élaboration des options de mitigation de l'agriculture aux changements climatiques. A cela, il faut ajouter l'émergence d'un nouveau type d'agriculteurs sortis des structures de formation telles le centre Songhaï de Porto-Novo, le lycée Agricole Médji de Sékou, etc.

Quant aux tendances lourdes, les enquêtes ont permis de se rendre à l'évidence d'un désengagement de l'Etat du secteur de l'agriculture laissant libre cours à des initiatives non coordonnées, disparates et qui ne profitent pas toujours à la paysannerie. Les investissements publics pour le développement agricole sont en diminution passant de 35,57 % en 1990 à moins de 15 % en 2004 (MCCAG, 2004).

A ces tendances lourdes viennent s'ajouter la persistance de l'analphabétisme, la résistance au changement découlant de la faible capacité de malléabilité des populations paysannes. En outre, l'engouement des jeunes pour le gain facile et le fait que les outils agricoles demeurent rudimentaires sont autant de facteurs et de situations conjoncturelles voire structurelles qui inhibent et inhiberont encore le développement agricole au cours des prochaines décennies dans un contexte de changements climatiques.

La forte capacité érosive du climat constitue également une tendance lourde. En effet, l'indice d'agressivité climatique de Fournier qui s'écrit $F=p/P^2$ avec p la pluviométrie mensuelle la plus élevée et P la moyenne pluviométrique annuelle, permet de constater que cette capacité érosive est importante et varie en fonction des facettes géologiques (figure 14).

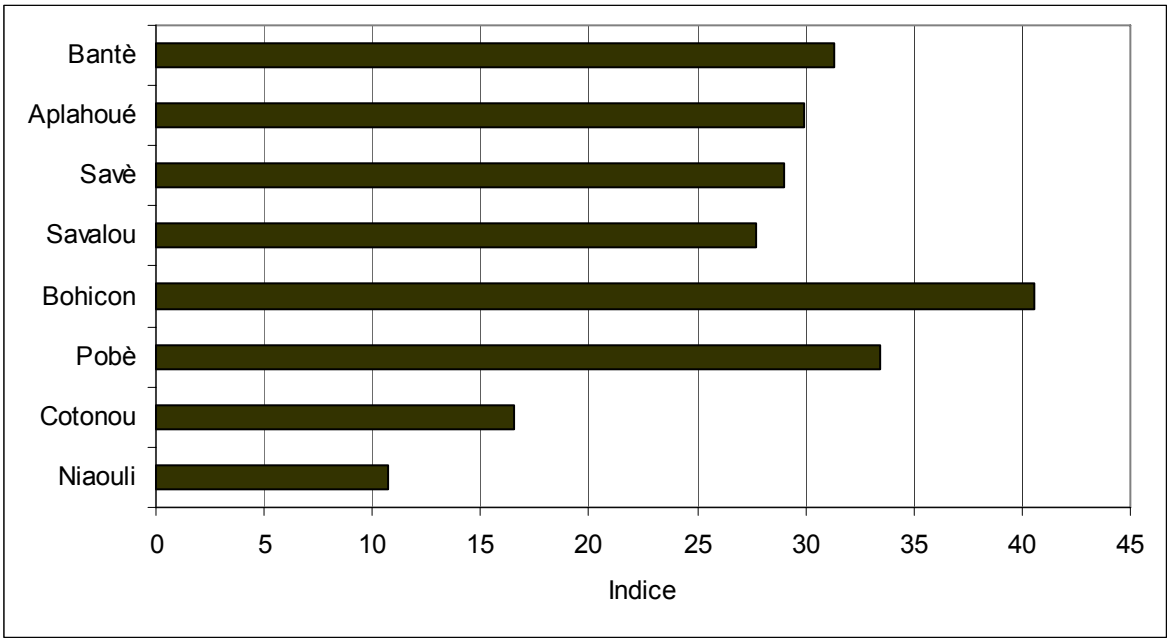


Figure 14 : Indice d'agressivité climatique (1961-1990) dans le Bénin méridional et central

Les secteurs de Bohicon et de Pobè, situés sur la terre de barre, détiennent les indices les plus forts. Ces secteurs sont suivis par ceux de la région des Collines, où affleure un socle cristallin.

Aujourd'hui, l'érosion marque partout le paysage et est devenu un sujet de grande préoccupation. Dans les champs, il est observé une érosion en nappes et parfois en rigoles (photo 5).



Photo 5 : Terres érodées à Lanta
Source : Cliché E. Ogouwalé, août 2005

Cette érosion a des coûts très élevés à cause de l'appauvrissement organique et minéral des terres agricoles. Déjà surexploitées, les terres n'arrivent plus à se régénérer et deviennent impropres à l'agriculture (figure 15). Ceci est déjà un facteur contributif à la faiblesse des rendements agricoles dans le Bénin méridional.

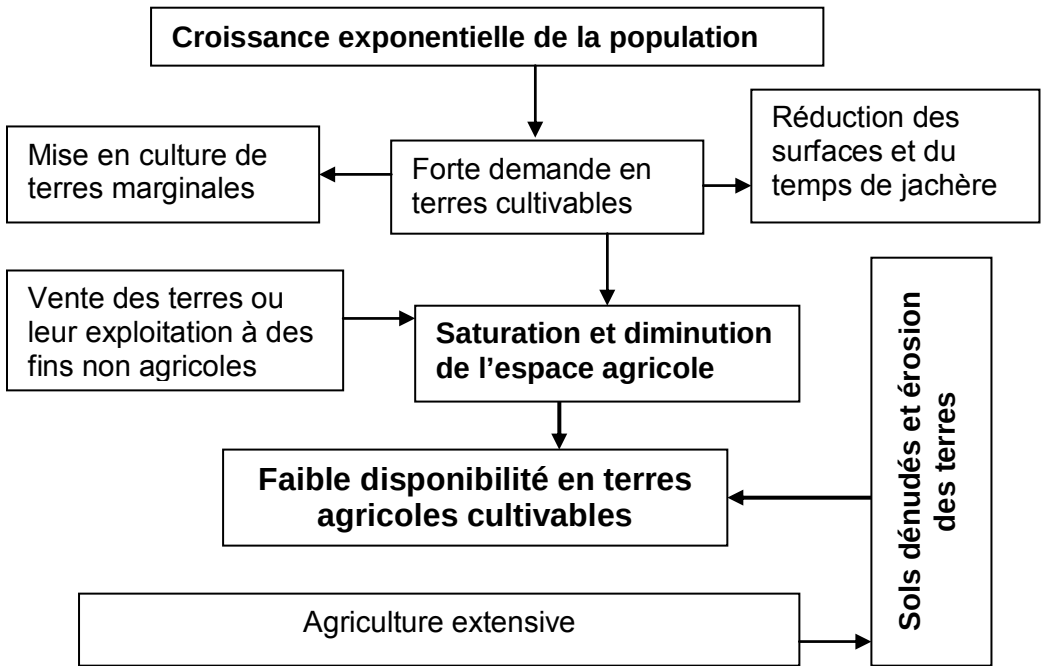


Figure 15 : Facteurs et processus de dégradation et de saturation de l'espace dans le Bénin méridional

Par ailleurs, la jeune génération qui doit assurer la relève éprouve un dédain pour les travaux agricoles, considérés comme difficiles et ne nourrissant pas son homme selon 68 % des jeunes interrogés. L'encadré 1 ci-après en est évocateur à plus d'un titre.

Encadré 1. Je n'aime pas le travail agricole. C'est trop difficile et moins rémunérateur. En plus de cela, ce sera difficile pour les jeunes de ma génération et plus à ceux des générations futures d'avoir un lopin de terre pour les cultures. En effet, en ce qui me concerne, mon grand-père avait laissé 3 hectares de terre à mon père et son frère. Ces deux derniers ont vendu 2 hectares. Il reste alors un hectare pour moi et mes six frères et cousins. Ce seul hectare, après une série d'empoignades verbales entre les autres et moi, a été morcelé et chacun a déjà vendu la parcelle qui lui était revenue. Ce dernier fait est courant aujourd'hui. Dans la région, des conflits surviennent à propos des partages d'héritages entre fils, collectivités, etc. au sujet du droit de propriété foncière.

Source : Enquête, avril 2005

La pauvreté paysanne continue d'encourager la vente massive des terres dans les régions proches des villes (Abomey-Calavi, banlieue de Porto-Novo et autour de Bohicon dans un rayon de 30 km environ) à des fonctionnaires, à de riches commerçants et à des hommes politiques qui ne les mettent pas en valeur. C'est ce qu'illustre l'encadré 2, extrait des informations collectées auprès d'un paysan de Glodjigbé dans la Commune d'Abomey-Calavi.

Encadré 2. Je suis né dans l'agriculture et du temps de nos pères, les terres étaient disponibles et suffisamment fertiles. Mais aujourd'hui n'est plus comme avant. Les temps ont changé. Et si le temps n'a pas changé, il a évolué. De nos jours, les terres cultivables appartiennent à ceux qui ont des moyens financiers et non aux premiers occupants. Devant mon lopin de terres (environ un quart d'hectare), il y a une grande superficie de terres qui appartient à un homme d'affaires. Ces terres ne sont pas mises en valeur depuis environ 12 ans. Pendant ce temps, nous, on cherche de terres à cultiver.

Source : Enquête, avril 2005

Aussi, la productivité et la rémunération du travail sont encore faibles (450 F CFA/jour) et la force de travail n'est que très partiellement valorisée (100 à 150 jours de travail par an) selon les données de l'INSAE en 2002.

En dehors de ces contraintes ou facteurs handicapant le développement agricole, il faut également évoquer entre autres :

- les profonds changements de mentalité liés au passage d'une économie de subsistance à une économie de marché qui ont inéluctablement modifié les rapports de l'exploitant agricole à la terre depuis quelques décennies ;

- l'absence d'une législation appropriée qui organise et réglemente la propriété foncière et l'inadéquation des infrastructures de stockage, de conservation (photo 6) des produits agricoles provoquant chaque année d'importantes pertes, sont autant de faiblesses de l'agriculture, qui constitueraient des tendances lourdes dans les deux régions d'étude.



Photo 6 : Système traditionnel de conservation des produits agricoles à Lanta (1) et à Gougouta (2)
Source : Cliché Totin, février 2005

Les contraintes sanitaires viennent s'ajouter à ces tendances lourdes (figure 16).

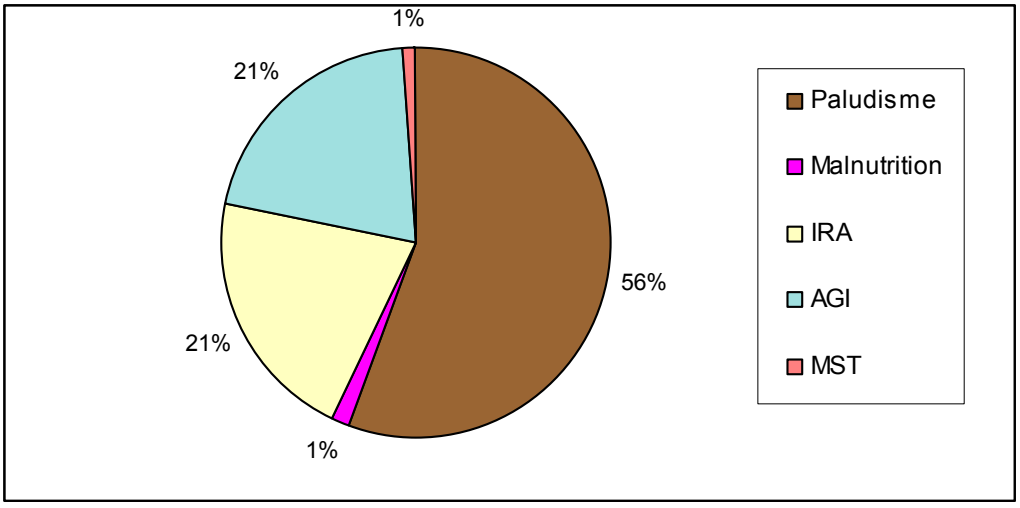


Figure 16 : Situation épidémiologique dans le Bénin méridional et central
Source : Ministère de la Santé Publique, 2004

La figure 16 permet de réaliser que le paludisme, les Infections Respiratoires Aiguës (IRA) et les Affections Gastro-Intestinales (AGI) sont les affections majeures qui fragilisent l'état de santé des populations du Bénin méridional et central. Ces tendances lourdes limitent l'essor de l'agriculture développée dans les différents secteurs agroécologiques du Bénin méridional et central.

CHAPITRE QUATRIEME : SECTEURS AGROECOLOGIQUES, DYNAMIQUE DES PRODUCTIONS AGRICOLES ET SITUATIONS ALIMENTAIRES DE BASE

Ce chapitre présente les systèmes culturaux développés par les populations paysannes dans le but d'utiliser de façon optimale les possibilités naturelles de chaque secteur agroécologique dans les deux régions d'étude.

Il aborde également l'évolution des rendements, des emblavures et des productions agricoles sur la période 1983-2002 et les situations alimentaires des années 2000, 2001, 2002 et 2003, qu'ont connu les populations du Bénin méridional et central.

4.1 - Secteurs agroécologiques et systèmes culturaux

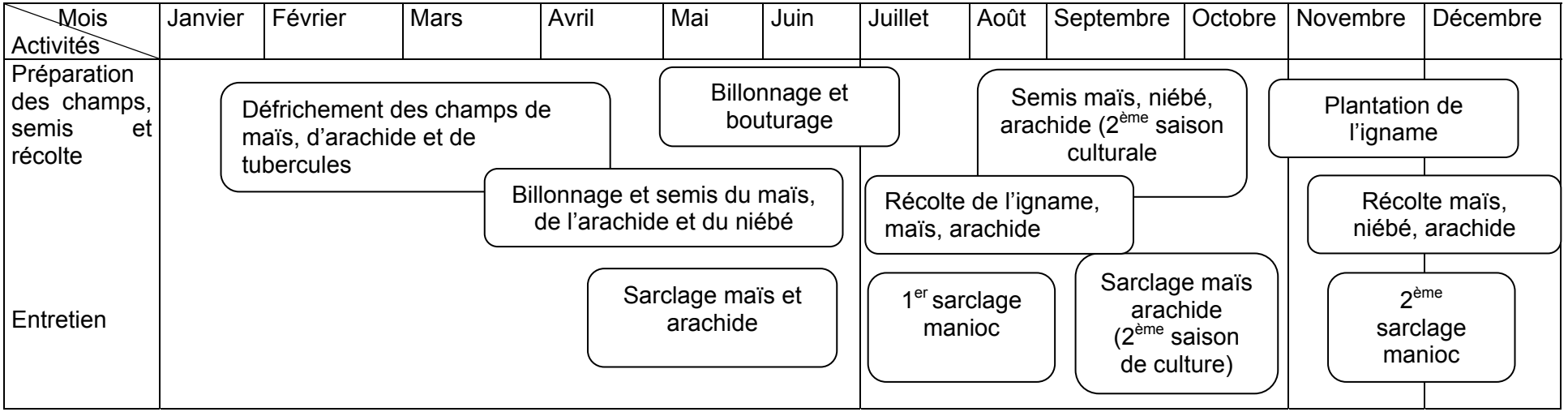
Le calendrier agricole dans le Bénin méridional et central est résumé dans le tableau VIII. Pour les cultures vivrières sauf la tomate et généralement les cultures maraîchères, la période optimale de semis est de mi-mars à mi-avril. La deuxième saison commence à partir de la première quinzaine de septembre.

Le mode d'exploitation des terres pour la majorité des paysans reste la culture sur brûlis et presque sans intrants. Ainsi, la pratique des feux de végétation (photo 7) reste largement répandue.



Photo 7 : Paysages après le passage de feux de végétation à Savè
Source : Cliché E. Ogouwalé, février 2005

Tableau VIII : Calendrier agricole traditionnel (1995-2004)



Source : Ogouwalé (2001) et enquêtes, novembre-décembre 2004 et mars-juin 2005

Les outils agricoles restent et demeurent encore rudimentaires selon 88 % des enquêtés. La culture séquentielle est pour le paysan du Bénin méridional et central le moyen d'utiliser toutes les possibilités agronomiques du sol sans l'épuiser (Ogouwalé, 2001 ; Adjahossou, 2005). Cependant, l'association des cultures continue de dominer dans les différentes localités. Elle consiste à cultiver simultanément sur une même parcelle deux ou plusieurs cultivars. La photo 8, où sur la même parcelle, sont cultivés le maïs et l'arachide à Abomey-Calavi dans le Bénin méridional (1) et le maïs, l'arachide et le manioc à Kilibo dans le Bénin central (2) illustre bien cette pratique.



Photo 8 : Association des cultures à Abomey-Calavi dans le Bénin méridional (1) et à Kilibo dans le Bénin central (2)
Source : Clichés E. Totin (2005) et Ogouwalé (2001)

Le tableau IX présente les caractéristiques agroécologiques ainsi que les systèmes culturaux en vigueur dans les différents secteurs agroécologiques du Bénin méridional et central.

Tableau IX : Secteurs agroécologiques et utilisation des terres cultivables

Caractéristiques		Systèmes de culture et observations
Secteur des pêcheries	Le secteur des pêcheries concerne les localités lacustres des Départements de l'Atlantique (Ouidah et de Sô-Ava), du Mono où elle couvre les Communes d'Athiémé, de Grand-Popo, de Bopa, de Lokossa, de Comè, et de l'Ouémé (Sèmè-Kpodji, Aguégué, Dangbo, Adjohoun et Bonou) et le Département du Littoral. Le climat est à deux saisons de pluies avec une pluviosité annuelle qui oscille entre 1000 et 1400 mm. L'humidité relative est forte et varie peu. La période de croissance végétative est de 240 jours. Les sols sont de types alluviaux et colluviaux des vallées des fleuves, plus ou moins hydromorphes, très riches en matières organiques, très fertiles mais saisonnièrement inondés lors des hautes eaux des cours d'eau (Ouémé, Mono et Couffo). La forte densité de population et les risques d'inondations de ces localités ne permettent pas l'implantation d'exploitations agricoles viables. Toutefois, les ressources hydro-agricoles (marais, bas-fonds et plans d'eau) peuvent être aménagées pour la pisciculture et la production maraîchère de contre-saison.	Le système de production agricole est essentiellement à base de maïs (en tête de rotation), du manioc, du niébé sur les terres exondées et du maraîchage sur les levées de berge et sur les versants des accumulations dunaires. Les cultures sont pratiquées à plat ou sur billons. Dans les vallées comme à Sô-Ava (Atlantique), la disponibilité des terres est très faible, ce qui limite l'extension de l'agriculture.
Secteur de la dépression	Ce secteur couvre une partie des communes de Pobè (Plateau), de Toffo (Atlantique) et de Lalo (Mono). Le climat est marqué par deux saisons de pluies avec une pluviosité annuelle comprise entre 800 et 1200 mm. Les températures varient peu au cours de la journée et la période de croissance végétative varie entre 210 et 240 jours. La disponibilité en terres cultivables est réduite en dehors de la partie Sud où il est possible d'obtenir des parcelles de plus de 5 ha d'un seul tenant. Dans l'extrême Ouest (Lalo) et Est (Pobè et Adja-Ouèrè) on a les vertisols, noirs, très argileux, profonds et très humifères. Ils sont souvent hydromorphes et difficiles à travailler. Dans les abords de la Lama (Sèhouè), les sols sont assez fertiles et aptes aux cultures annuelles comme le maïs et les fruitiers (orangers, bananiers, etc.).	Le système de culture est à base de maïs associé au manioc, ou au niébé et parfois accompagné de cultures maraîchères (tomate, piment, etc.). Les cultures sont pratiquées à plat ou sur billons.

Secteur des terres de barre	Ce secteur regroupe les sept (07) plateaux du Sud-Bénin à savoir : Bopa, Allada, Aplahoué, Zagnanado, Abomey, Kétou et Pobè. Il est caractérisé par un climat subéquatorial à deux saisons de pluies avec une hauteur annuelle comprise entre 800 et 1200 mm dans sa partie Ouest et entre 1000 et 1400 mm dans sa partie Est. La période de croissance végétative varie entre 80 et 100 jours. Les sols sont de type ferrallitique et argilo-sableux fortement dégradés, mais très bien drainés et à faible capacité de rétention. En général, les terres de ce secteur sont aptes à la culture du manioc et particulièrement du maïs sur le plateau de Pobè. La superficie moyenne exploitable est d'un hectare par habitant (0,06 ha/tête à Abomey, 0.07ha/tête à Toviklin et 0,22 ha/tête à Agbangnizoun). Mais, Kétou fait exception avec une disponibilité quantitativement meilleure comprise entre 0,5 et 1ha/tête. Dans ce secteur se trouvent les périmètres rizicoles de Mitro, Kpinnou et Dévè.	Le système cultural se résume à : ❑ la pratique de deux (2) saisons culturales annuelles liées au régime des pluies ; ❑ l'association palmier à huile et cultures annuelles ; ❑ la prépondérance de la culture de maïs suivie de cultures moins exigeantes (manioc, niébé et surtout arachide).
Secteur cotonnier du centre Bénin	Elle couvre le Département des Collines. Le climat est intermédiaire entre celui subéquatorial à deux saisons humides et celui tropical de type soudanien à une saison humide. La pluviométrie annuelle varie entre 1000 et 1200 mm. Les amplitudes thermiques sont ne sont pas significatives et la période de croissance végétative varie entre 80 et 100 jours. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou en voie d'appauvrissement sont les plus répandus. L'igname, le maïs, le sorgho, l'arachide et le niébé y poussent particulièrement entre Savè et Toui dans des conditions agroécologiques très favorables. Les sols dégradés sont localisés sur les versants à pentes moyennes ou dans les champs surexploités pour la production végétale (cultures d'igname, sorgho, mil et maïs). Ces sols occupent les bassins versants de Ouèssè, Bantè, Ouèdèmè et Aklamkpa, les versants pentus des collines de Savè qui longent le fleuve Ouémé, et s'étendent de Ouessè à Savè, les régions de Dassa-Zoumè et Panhouingnan, les berges du fleuve Zou. Les superficies exploitables sont comprises entre 3 et 5 ha par habitant.	Le système cultural est caractérisé par : ❑ la pratique de deux (2) saisons culturales annuelles liées au régime des pluies ; ❑ la prépondérance de la culture de l'igname, de manioc, de maïs, de niébé et d'arachide.

Sources : MAEP (2000) ; Issa (2001) ; Ogouwalé (2004) et résultats d'enquête (2005)

Les données du tableau IX permettent de réaliser que les exploitations agricoles sont différentes tailles dans les différents secteurs agroécologiques dont la géographie est présentée par la figure 17.

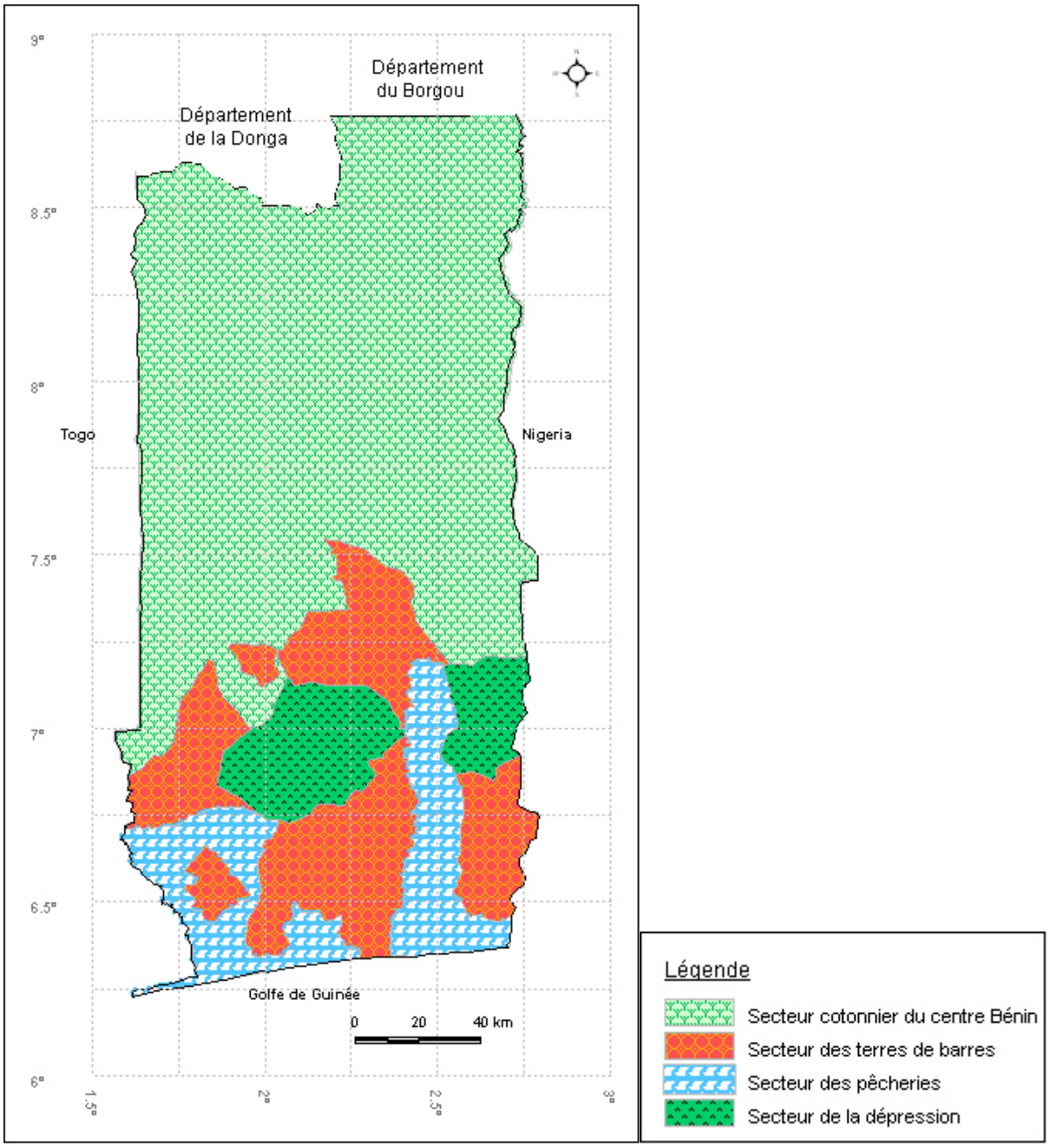


Figure 17 : Secteurs agroécologiques dans le Bénin méridional et central

Dans le Bénin méridional, ces exploitations sont de petites tailles, inférieures à un hectare et plus réduites dans les cités lacustres (ABE, 2001). Par contre, dans le Bénin central, selon Baloubi et *al.*, (1999), l'exploitation couvre en moyenne 2,7 ha et les résultats des investigations menées montrent que la principale structure d'exploitation est de type individuel car à peine 8 % des actifs agricoles interrogés ont déclaré appartenir à des structures pré-coopératives et coopératives.

Somme toute, ces secteurs agroécologiques ainsi que les différentes techniques culturales sommairement décrites continuent d'être le substrat d'une agriculture globalement marquée par une stagnation des rendements et un faible accroissement des productions alors que les superficies cultivées sont en nette augmentation.

4.2 – Evolution des paramètres agricoles et évaluation des situations alimentaires récentes dans le Bénin méridional et central

L'analyse des statistiques agricoles au cours de la période 1983-2002 a permis de dégager les tendances globales de la production agricole dans le Bénin méridional et central. L'étude de ces tendances a été faite par culture ciblée et par région d'étude.

La figure 18 montre que les rendements des dix cultures ciblées n'ont pas connu une véritable augmentation au cours des deux décennies.

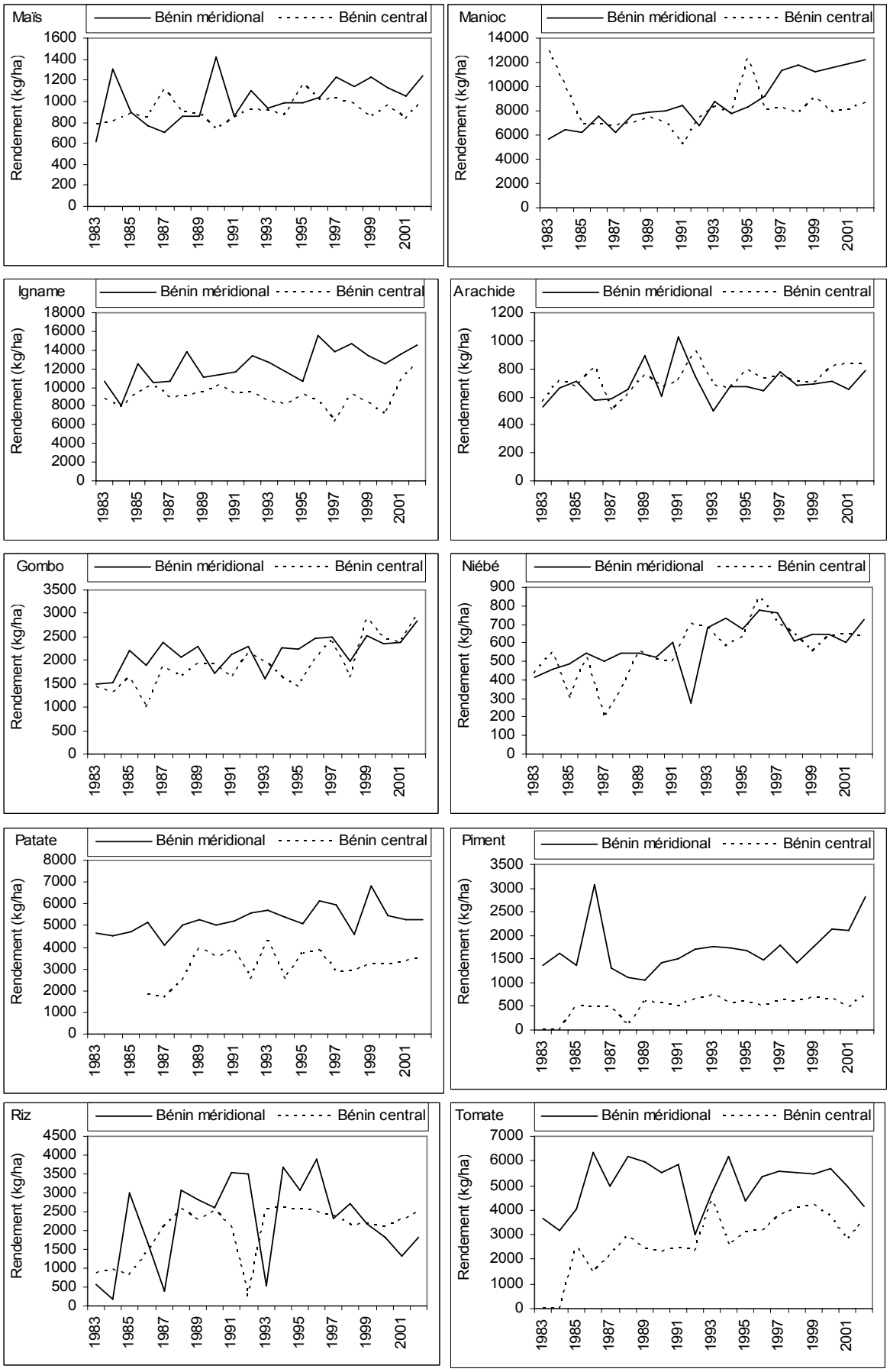


Figure 18 : Evolution des rendements dans le Bénin méridional et central (1983-2002)

L'analyse de la figure 18 permet d'identifier globalement deux phases dans l'évolution des rendements des dix cultures. Au cours de la première phase qui va de 1983 à 1993, les rendements après avoir globalement stagné ont baissé. La seconde phase a été marquée par une légère amélioration des rendements. Sur la période, le taux d'accroissement moyen annuel des rendements est resté faible pour les principales cultures (tableau X).

Tableau X : Taux d'accroissement moyen annuel des rendements dans le Bénin méridional et central entre 1983 et 2002

Cultures	Bénin méridional	Bénin central
Arachide	5,01	3,77
Gombo	5,52	8,53
Igname	3,44	3,53
Maïs	7,96	2,48
Manioc	4,96	0,21
Niébé	7,74	8,61
Patate douce	1,90	8,90
Piment	9,08	35,30
Riz	72,21	53,98
Tomate	4,11	6,79

Source des données : Compendiums des statistiques agricoles du MAEP (2003)

Les données du tableau X montrent que hormis le riz dans les deux régions et le piment dans le Bénin central, aucune culture n'a connu au cours des vingt dernières années, un accroissement de rendement de 10 %. Le maïs, le manioc et le niébé ont vu leurs rendements augmenter respectivement de 7,96 %, 4,96 % et 7,74 % dans le Bénin méridional. Les mêmes cultures ont été marquées par de faibles évolutions à l'échelle annuelle, avec respectivement 2,48 %, 0,21 % et 8,6 1% dans le Bénin central. La culture du riz pour sa part, a connu par unité de superficie un accroissement significatif de 72,21 % dans le Bénin méridional et de 53,98 % dans le Bénin central. Les accroissements des rendements de la culture d'igname pour leur part, sont voisins et peu significatives avec une moyenne de 3,50 % dans les deux régions.

Quant aux productions globales, toutes cultures confondues, en dehors du riz dans le Bénin méridional et de la tomate dans le Bénin central, elles sont en nette augmentation (figure 19).

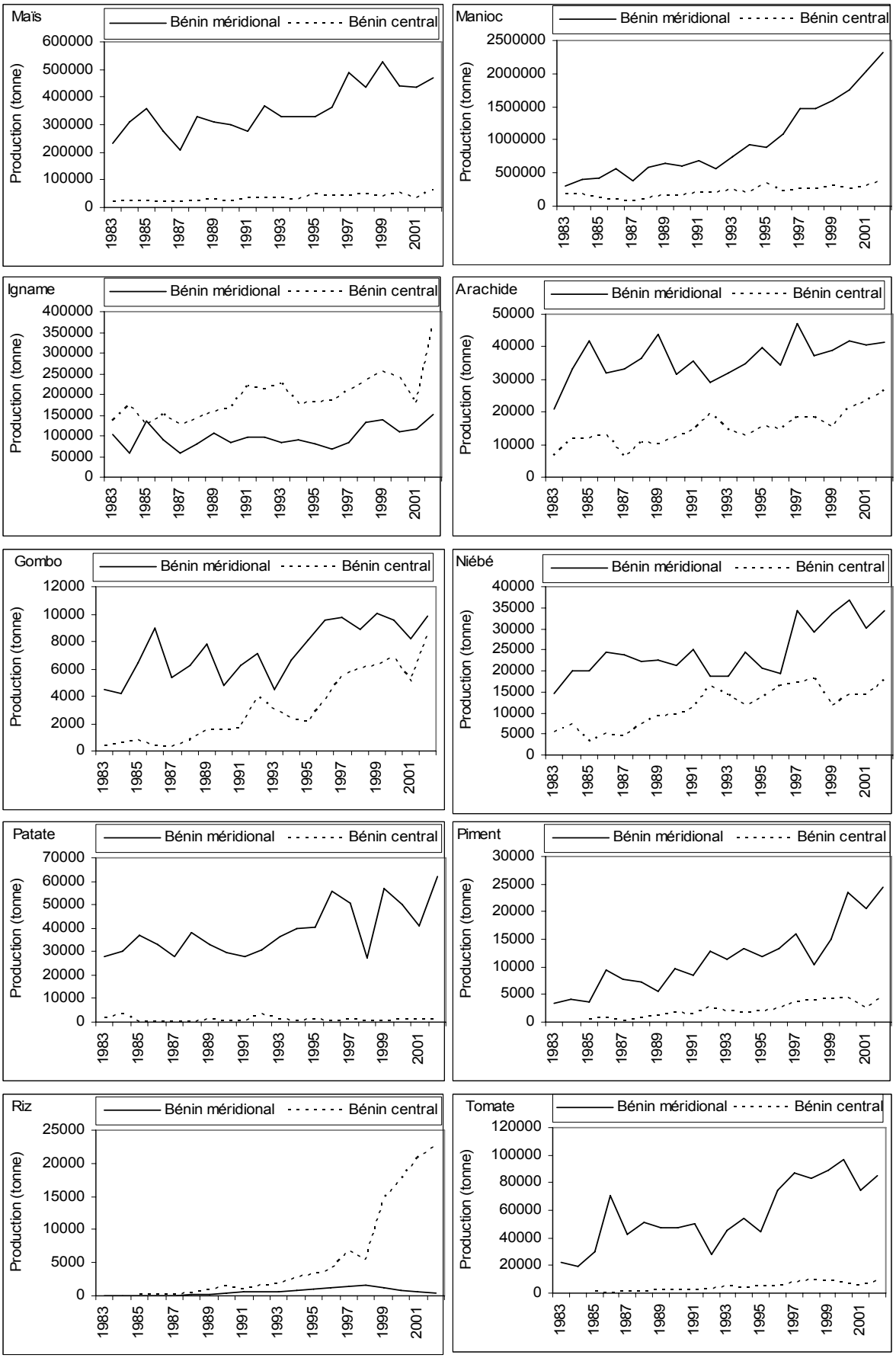


Figure 19 : Evolution des productions dans le Bénin méridional et central (1983-2002)

La figure 19 montre que les productions, entre 1983 et 2002, ont connu une évolution ascendante dans le Bénin central et en dents de scie dans le Bénin méridional. Le tableau XI présente les taux moyens annuels des productions agricoles au cours des deux décennies dans les deux régions.

Tableau XI : Taux d'accroissement moyen annuel des productions dans le Bénin méridional et central entre 1983 et 2002

Cultures	Bénin méridional	Bénin central
Arachide	5,73	11,84
Gombo	7,95	30,05
Igname	8,25	8,41
Maïs	5,77	9,79
Manioc	13,17	6,88
Niébé	6,82	11,05
Patate douce	8,66	48,00
Piment	17,63	26,57
Riz	54,23	43,33
Tomate	13,66	21,33

Source des données : Compendiums des statistiques agricoles du MAEP (2003)

Les données du tableau XI montrent que dans le Bénin méridional, seules les productions du manioc, du piment, de la tomate et du riz sont en nette progression avec respectivement 13,17 % ; 17,63 % ; 13,66 % et 66 %. En revanche, les accroissements moyens annuels des productions de l'arachide, du gombo, de l'igname, du maïs, du niébé et de la patate douce ont été inférieurs à 10 %.

Dans le Bénin central, en dehors de l'igname et du manioc, qui connaissent des accroissements moyens inférieurs à 10 %, les autres cultures ont été marquées par de fortes augmentations de leurs productions à l'échelle annuelle au cours de la période. L'arachide, le gombo et le riz, par exemple, ont vu leurs productions augmenter respectivement de 11,84 % ; 30 % et 43,33 %. Cette augmentation des productions pour certaines cultures est essentiellement due à un accroissement continu des superficies emblavées (figure 20).

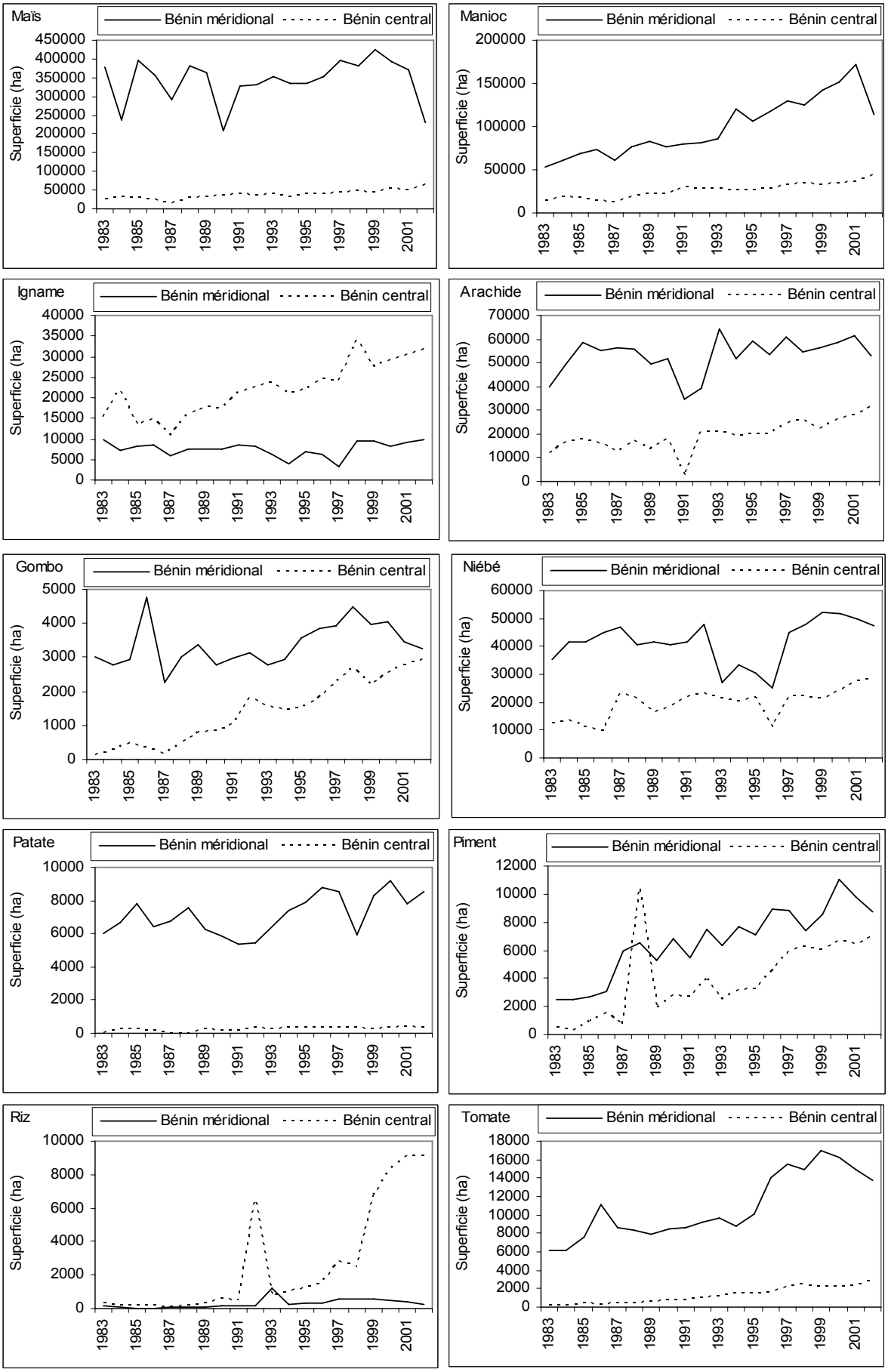


Figure 20 : Evolution des emblavures dans le Bénin méridional et central (1983-2002)

Les graphiques de la figure 20 montrent qu'au cours de la période d'analyse, les superficies emblavées par culture ont continuellement augmenté surtout dans le Bénin central. Dans le Bénin méridional, après les augmentations des années 1995, l'évolution des emblavures par culture est à la baisse. Le tableau XII présente les taux moyens d'augmentation enregistrés par an et par culture entre 1983 et 2002.

Tableau XII : Taux d'accroissement moyen annuel des emblavures entre 1983 et 2002 dans le Bénin méridional et central

Cultures	Bénin méridional	Bénin central
Arachide	3,30	51,72
Gombo	3,03	32,28
Igname	7,92	6,25
Maïs	0,96	7,37
Manioc	5,26	7,44
Niébé	3,86	10,00
Patate douce	3,11	26,06
Piment	9,60	33,54
Riz	44,88	66,00
Tomate	5,48	21,80

Source des données : Compendiums des statistiques agricoles du MAEP (2003)

Les données du tableau XII permettent de constater que les emblavures ont connu des évolutions contrastées entre le Bénin méridional et le Bénin central. Dans le Bénin méridional, en dehors des emblavures du riz qui ont fait des bons largement significatifs avec 54,88 %, les autres spéculations ont été caractérisées par des accroissements largement inférieurs à 10 % au cours de la période. Par contre, dans le Bénin central, en dehors des emblavures de l'igname, du manioc et du maïs, les sept autres cultures ont été marquées par de fortes augmentations annuelles au cours de la période (1983-2002). L'arachide, la patate douce et le riz, par exemple, ont vu leurs emblavures connaître des augmentations respectives de 51,72 % ; 26 % et 66 %.

Au total, les figures 19 et 20 indiquent que les productions globales et les emblavures ont été marquées généralement par une tendance à la hausse au cours de la période 1983-2000. Toutefois, dans le Bénin méridional, les superficies de toutes les cultures hormis l'igname, sont en diminution après les augmentations enregistrées dans les années 1995. C'est certainement un signe de la saturation de

l'espace agricole dans cette région béninoise. En revanche, les emblavures continuent d'augmenter dans le Bénin central.

Les rendements de toutes les cultures, dans les deux régions à l'exception de la patate et du piment dans le Bénin central et de l'igname dans le Bénin méridional, après les faibles améliorations enregistrées entre 1995 et 1998 sont à la baisse. En conséquence, l'augmentation générale observée au niveau des productions après les années 1995 est souvent due plus à un accroissement des superficies emblavées qu'à une augmentation des rendements. Et, il faut se poser la question de savoir jusqu'à quand l'agriculture des deux régions a permis et permettra de réaliser la sécurité alimentaire des populations. C'est pour cela et en se fondant sur la méthodologie FAO que les récentes situations alimentaires dans le Bénin méridional et central sont étudiées et caractérisées.

La figure 21 présente les bilans alimentaires dans les deux régions d'étude sur les années 2000, 2001, 2002 et 2003 pour les dix cultures ciblées.

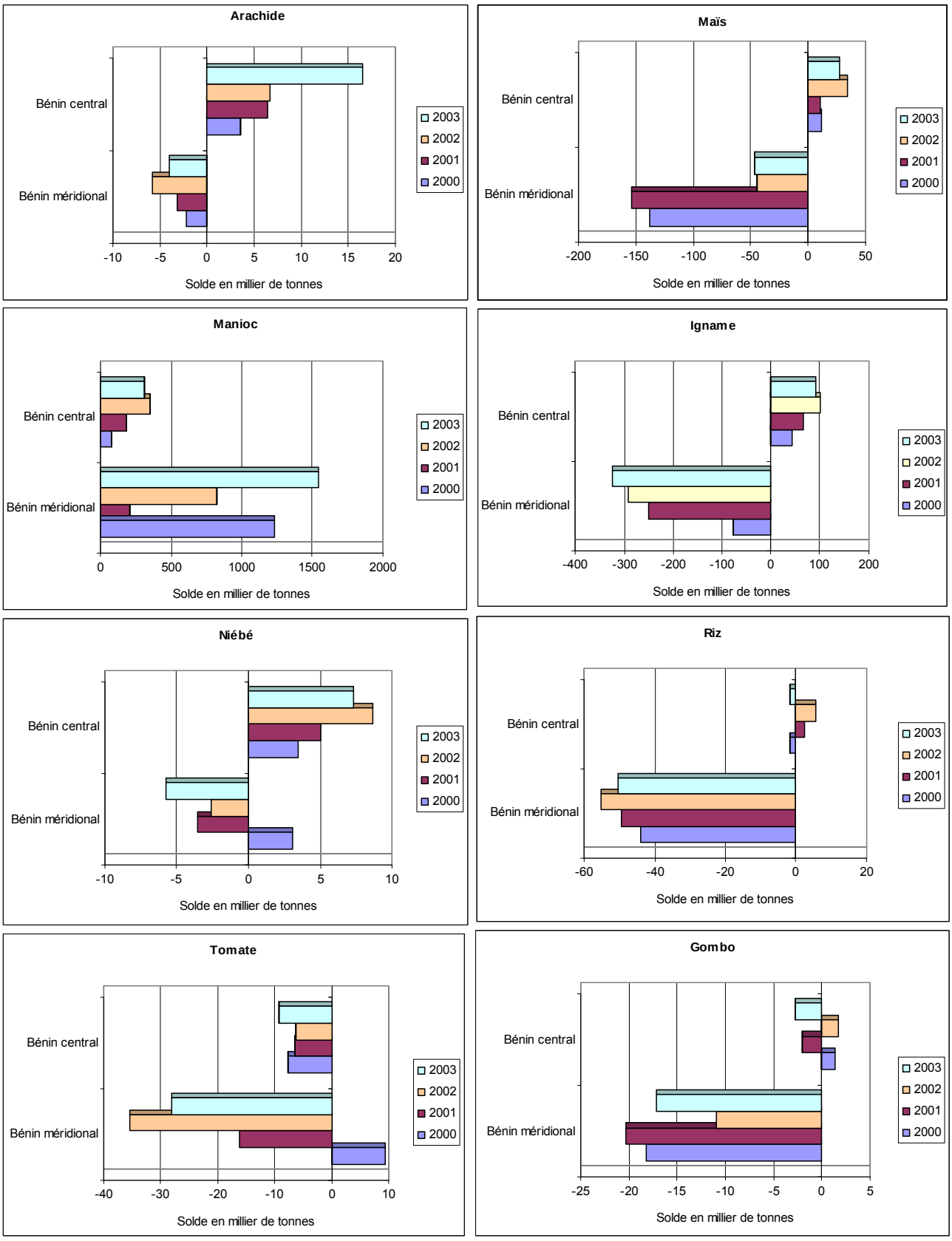


Figure 21 : Bilans alimentaires (2000, 2001, 2002 et 2003) pour le Bénin méridional et central en millier de tonnes

L'examen des bilans alimentaires sur les quatre années indique que le Bénin méridional a un bilan déficitaire. En effet, à l'exception de la production du manioc qui est, quelle que soit l'année excédentaire avec, par exemple, 1 500 000 tonnes en 2003 et le niébé avec un surplus de 3 000 tonnes en 2000, les autres productions n'ont pas permis de couvrir les besoins alimentaires des populations. Le bilan des départements est déficitaire pour la production du maïs à l'exception du département du Plateau qui a enregistré d'importants surplus sur les quatre ans. Les productions de riz sont largement inférieures à la demande alimentaire avec un déficit record de 55 000 tonnes en 2002. Outre les départements du Couffo et du Zou qui ont obtenu des surplus de productions substantielles pour l'arachide sur toutes les quatre années, les autres départements ont été largement déficitaires. Ces différentes situations de déficit se traduisent par des problèmes d'insécurité alimentaire selon 56 % des enquêtés. En revanche, quelle que soit l'année, le Bénin central dégage des surplus alimentaires pour toutes les cultures, hormis la tomate et le gombo. En 2002 par exemple, les besoins des populations en arachide ont été couverts au point qu'un surplus de plus de 15 000 tonnes a été dégagé. Il en était de même pour le manioc avec un excédent de 400 000 tonnes pour la même année.

Synthèse et conclusion de la première partie

L'analyse des composantes naturelles et humaines a permis de déduire que les deux régions d'étude disposent d'importantes potentialités pour la production alimentaire. Les ressources exploitables à cette fin sont, par exemple, les plaines d'inondation, les savoirs locaux, etc.

Les ressources en sols sont sous la pression des facteurs naturels (forte déclivité, agressivité climatique pendant les années fortement humides, etc.) aggravés par celle anthropique (feux de végétation, exploitation irrationnelle de ressources ligneuses, pratiques culturales consommatrices d'espace et peu respectueuses de l'environnement, etc.). En outre, l'indice agrodémographique est déjà très faible avec 0,5 ha par habitant dans le Bénin méridional alors qu'il est encore d'au moins deux (2) ha dans le Bénin central.

Sur le plan socio-économique et technique, les deux régions disposent de ressources humaines sur lesquelles peuvent être fondées les stratégies de

mitigation aux changements climatiques. Mais, il faut noter qu'une bonne frange de la population est jeune et éprouve un sentiment de dédain vis-à-vis des activités agricoles à cause des techniques agricoles qui restent et demeurent rudimentaires. De plus, la population active est, dans une forte proportion, analphabète et reste imbue au conservatisme sur le plan agricole.

Les accroissements moyens annuels des rendements ont été faibles (entre 1 et 7 %) dans les deux régions toutes cultures confondues, à l'exception du riz et du piment avec respectivement 35 et 54 % d'augmentation dans le Bénin central. Les emblavures, en dehors du riz et du piment dans le Bénin méridional, qui ont connu des accroissements moyens largement supérieurs à 10 %, sont caractérisées par des accroissements inférieurs à 10 % entre 1983 et 2002. Par contre, en dehors du maïs, du manioc et de l'igname, les emblavures des différentes cultures ont globalement progressé à un rythme compris entre 10 et plus de 50 % dans le Bénin central.

L'évolution annuelle des productions a été inférieure à 10 % dans le Bénin méridional, exception faite à celles du manioc, du piment et à la tomate qui ont dépassé 13 % et du riz 66 %. Dans le Bénin central, l'accroissement annuel des productions, entre 1982 et 2002, a été largement supérieur à 10 % pour toutes les cultures, sauf l'igname et le manioc.

Somme toute, l'augmentation des productions agricoles est due plus à un accroissement des emblavures moins qu'à une amélioration des rendements.

Sur le plan alimentaire, le Bénin méridional, à la différence du Bénin central, est déficitaire. Cette situation est confirmée par 56 % des populations enquêtées. Et c'est dans ce contexte alimentaire difficile que se profilent à l'horizon les changements climatiques, qui, annonce-t-on, auront des effets préjudiciables pour les productions agricoles.

Deuxième partie

Paléoclimats, climats actuels et scénarios climatiques pour le Bénin méridional et central

CHAPITRE CINQUIEME : VARIATIONS CLIMATIQUES PASSEES EN AFRIQUE ET DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL

Le concept de changements climatiques peut se comprendre sous deux formes : celle relative aux changements climatiques à venir ou probables et les variations climatiques anciens qui sont du domaine de la paléoclimatologie (Parry, 1990). Formée il y a 4,5 milliards d'années, la terre a toujours été affectée par des variations climatiques dont les mieux connues sont celles du Quaternaire (Berger, 1992).

Au cours des cinquante dernières années, en relation avec le réchauffement global du climat (IPCC, 2001), de nombreux travaux ont été effectués sur la problématique de l'interaction entre les phénomènes d'effet de serre, augmentés par les activités humaines, et les variations climatiques naturelles. Cet effort vise à prévoir les changements climatiques futurs ; ce qui ne peut se faire sans une bonne connaissance des climats passés (Berger, 1992). C'est pourquoi ce chapitre porte successivement sur : la présentation sommaire des méthodes et techniques d'étude de la paléoclimatologie et des indices du milieu naturel attestant des changements climatiques anciens dans le monde et sur le continent africain en général et dans les deux régions d'étude en particulier.

5.1 – Sources et méthodes d'étude des paléoclimats

La paléoclimatologie est le domaine de la climatologie qui étudie les climats du passé. Plusieurs méthodes et techniques permettent de reconstituer l'histoire du climat (Berger, 1992). Les variations climatiques récentes peuvent être connues grâce aux mesures météorologiques et documents historiques (écrits, oraux). En revanche, pour l'étude des paléoclimats, il faut recourir aux sources et indicateurs naturels laissés par chaque changement climatique.

5.1.1 - Sources des données paléoclimatiques

L'information paléoclimatique peut provenir fondamentalement de deux sources. Il s'agit de :

- la documentation historique qui couvre les derniers millénaires ;
- des données obtenues à partir de la composition isotopique de l'oxygène, du deutérium et du carbone (C_{14}) mesurée dans les calottes polaires, les cernes des

arbres et les strates géologiques ; à partir de témoins des faunes et flores du passé (tels que les pollens, les microfaunes marines, les insectes, les mammifères, les mollusques, les plantes fossiles) ; et à partir des preuves géomorphologiques (moraines, évaporites, paléosols, dunes, coraux, plages fossiles, etc.).

Les caractéristiques et l'information paléoclimatique que révèlent ces différentes données préservées dans des archives naturelles sont présentées dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Archives naturelles pour la reconstruction des paléoclimats

Archives	Résolution temporelle	Période couverte (ans)	Paramètres climatiques dérivés							
Cernes des arbres	an-saison	10^4	T	H	C_a	B	V	M	L	S
Sédiments lacustres	an	$10^4 – 10^6$	T			B	M			
Carottes de glace polaire	an	10^5	T	H	C_a	B	V	M		S
Carottes de glace des latitudes moyennes	an	10^3	T	H	C_a	B	V	M		S
Dépôts coralliens	an	10^5	T		C_W				L	
Loess	10 ans	10^6		H	C_s	B		M		
Carottes océaniques	100 ans	10^7	T		C_w	B		M		
Pollen	1000 ans	10^5	T	H		B				
Paléosols	100 ans	10^5	T	H	C_s		V			
Roches sédimentaires	2 ans	10^7		H	C_s		V	M	L	
Données historiques	Jour-heure	10^3	T	H		B	V	M	L	S

T = température, H = humidité ou précipitation, C = composition chimique de l'air (a), de l'eau (w) ou des sols (s), B = information sur la biomasse comme dans les échantillons de pollens, V = éruptions volcaniques, M = champ géomagnétique, L = niveau des mers, S = activité solaire

Source : Oeschger et Eddy (1989)

Ces différentes sources à elles seules ne permettant pas de reconstruire les climats anciens, elles sont associées à d'autres méthodes et techniques de recherche pour une meilleure connaissance des variations climatiques anciennes.

5.1.2 – Méthodes et techniques pour la reconstruction des paléoclimats

Les chercheurs, notamment les géologues et les géographes ont commencé très tôt les recherches ayant permis de reconstruire les paléoclimats à partir des événements géologiques. Cette reconstitution a nécessité l'utilisation de plusieurs méthodes et techniques dont la palynologie, la dendrochronologie, la

thermoluminescence, la géochronologie, les études des fossiles, les études radiométriques, etc.

L'étude des fossiles présents dans les couches sédimentaires a permis de connaître les milieux de vie et les climats qui régnaient au moment du dépôt des différentes roches. Dans ce cadre, l'utilisation de la palynologie qui est une méthode reposant sur l'analyse des pollens ou de leurs résidus emprisonnés dans les sédiments est nécessaire.

La dendrochronologie, quant à elle, permet de dater les événements du passé récent. Elle est fondée sur l'étude de la croissance annuelle des cernes des arbres et renseigne sur les conditions climatiques dans lesquelles ceux-ci ont opéré leur croissance. Des échelles spécifiques permettent aux dendrochronologues de dater avec précision les événements et les conditions climatiques des dernières 3 000 à 4 000 années (Berger, 1992).

Les études radiochronologiques pour leur part, permettent de cerner également les variations climatiques qui ont marqué l'histoire de la terre (Kukla, 1977). Ces études ont été rendues possible grâce aux techniques radiométriques qui découlent de la découverte de la radioactivité en 1896. En se fondant sur cette dernière, le chimiste américain Willard Libby et ses associés de l'université de Chicago en 1947 ont mis au point la technique de radiochronologie au carbone 14 pour la première fois (Kukla, 1977). Cette technique a été utilisée en océanographie, en pédologie, en géologie, en climatologie, etc. pour réaliser les investigations sur les paléoenvironnements suivant les étapes de la figure 22.

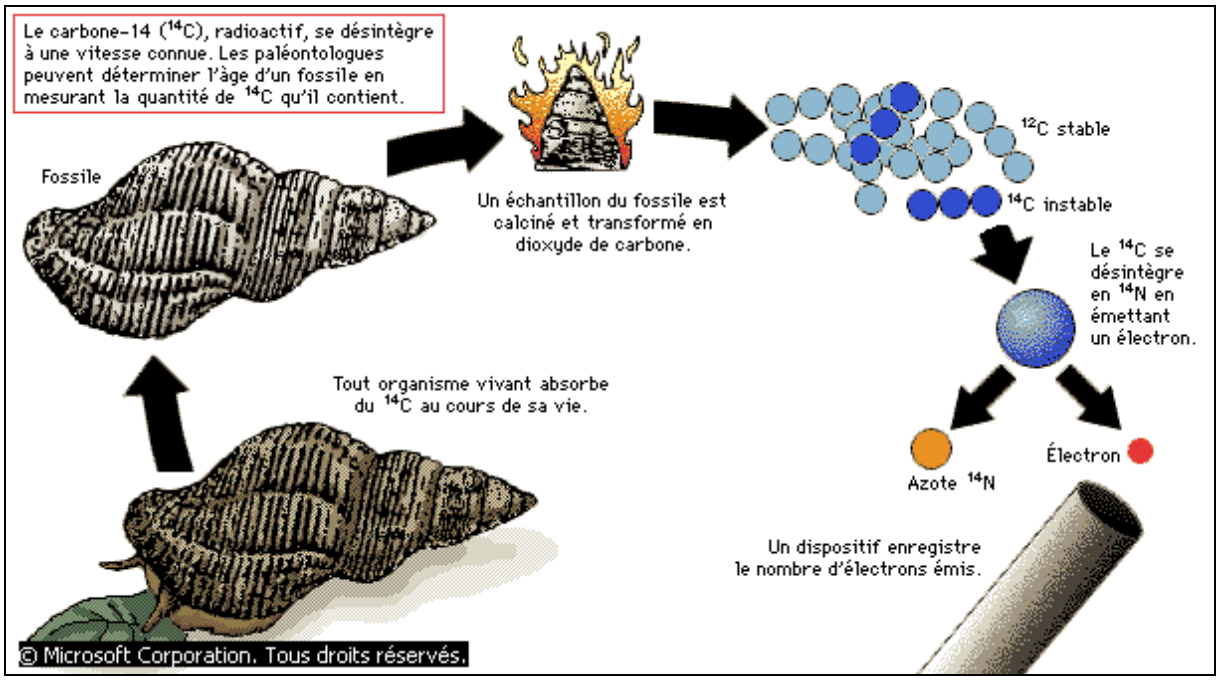


Figure 22 : Procédure de radiochronologie au carbone 14
Source : Encarta (2004)

Cette figure présente de façon synthétique les conditions et les étapes à suivre pour réaliser la radiochronologie au carbone 14. Selon Willard Libby cité par (Kukla, 1977), à travers l'activité métabolique, le taux de carbone 14 dans un organisme vivant est constamment en équilibre avec le taux de carbone 14 dans l'atmosphère et/ou dans l'océan. A la mort de l'organisme, le carbone 14 commence à se désintégrer à une vitesse rapide, et il n'est plus remplacé par le carbone atmosphérique. Cette désintégration rapide de carbone 14 limite généralement la période de datation approximativement à 30 000 ans. De plus, l'échelle de temps du radiocarbone présente des erreurs de 2 000 à 5 000 ans (Kukla, 1977). Mais, depuis les années 1980, les datations au radiocarbone ont gagné en fiabilité avec l'utilisation de l'accélérateur de particules lié au spectrographe de masse, et ne nécessitent plus pour effectuer des analyses que des échantillons de quelques grammes au lieu de plusieurs dizaines.

Parmi les méthodes de datation absolue, il y a également la géochronologie qui est fondée sur l'étude des abondances des éléments en fonction de leurs isotopes radioactifs ou radiogéniques (qui résultent de la désintégration d'un autre élément radioactif). Elle permet une caractérisation précise des âges géologiques. Ainsi, alors que l'abondance d'un élément radioactif décroît exponentiellement avec le temps,

celle d'un élément radiogénique croît exponentiellement. La connaissance de la période radioactive ou demi-vie des éléments radioactifs permet une estimation de l'âge d'une roche ou celui d'une couche (âge radiométrique). La période radioactive est le temps au terme duquel la moitié des nucléides d'un élément se sont désintégrés. La période radioactive du carbone-14 est de 5 730 années ; celle de l'uranium 238 est de 4,5 milliards d'années.

Parmi les éléments chimiques les plus utilisés, figurent l'isotope instable du rubidium à 87 nucléons (^{87}Rb), de période radioactive T égale à 47 milliards d'années et se transformant en strontium (^{87}Sr) : le processus de désintégration est noté [^{87}Rb,^{87}Sr], le thorium ([^{232}Th,^{208}Pb], T = 13,9.10^9 ans ; [^{230}Th,^{226}Ra], T = 75 200 ans), le potassium ([^{40}K,^{40}Ar], T = 11,9.10^9 ans), l'uranium ([^{238}U,^{206}Pb], T = 4,6.10^9 ans ; [^{235}U,^{207}Pb], T = 700.10^6 ans ; [^{234}U,^{230}Th], T = 250 000 ans), le carbone ([^{14}C,^{14}N], T = 5 568 ans), l'isotope de l'hydrogène tritium ([^{3}T,^{2}H], T = 12,26 ans).

Pour dater les fossiles récents, on se fonde sur le rapport ($^{14}C/^{14}N$). En revanche, selon (Kukla, 1977 et Berger, 1992), le rapport ($^{40}K/^{40}Ar$) est utilisé pour dater des formations datant de 1 à 100 millions d'années et celui ($^{87}Rb/^{87}Sr$) pour les terrains formés aux époques les plus reculées (jusqu'à 3,8 à 4,5 milliards d'années).

A ces techniques, il faut ajouter la thermoluminescence qui utilise le phénomène des radiations ionisantes naturelles. Celles-ci peuvent créer des électrons libres dans les minéraux qui sont piégés dans des défauts des structures cristallines. Ces électrons piégés s'échappent par thermoluminescence lorsqu'ils sont chauffés à une température inférieure à celle de l'incandescence. En enregistrant la thermoluminescence d'un minéral qui a été exposé à un niveau de radiation constant, le dernier drainage des électrons piégés peut être ainsi daté sur plusieurs centaines de milliers d'années (Berger, 1992).

Ces méthodes et techniques ne permettent pas encore de cerner dans le détail les différentes variations climatiques qui ont marqué l'histoire de la Terre. Dès lors, les recherches et les efforts pour une meilleure connaissance des changements climatiques anciens continuent et se poursuivent. Les conférences se succèdent et depuis peu, les scientifiques ont adopté une échelle de mesure de temps appelée Before Present (BP) dont la référence est 1950. Cette échelle est calquée sur celle

exprimée dans le monde chrétien en référence à l'année de naissance supposée de Jésus Christ (9 950 BP = 8 000 ans avant Jésus Christ, soit moins 8 000 ans). Cette échelle permet d'harmoniser la chronologie des variations climatiques dans le monde.

5.2 – Synthèse sur les paléoclimats dans le monde

La Terre a toujours été affectée par des variations climatiques de grande ampleur qui ont perturbé et bouleversé fondamentalement les écosystèmes naturels anciens. L'ère secondaire a été marquée par des climats chauds et le Tertiaire a connu des climats plus secs et moins chauds (Davies, 1964). Watson cité par Barnett (1956) rapporte qu'à certaines époques, il fit très chaud sur la terre. Les glaces fondirent et se déversèrent dans les océans dont les niveaux avaient monté. Les eaux envahirent une grande partie du globe et y laissèrent des dépôts marins. A d'autres époques, le climat de la terre s'est humidifié. La glace se reformant autour des pôles, le niveau des mers diminua de nouveau et celles-ci réintégraient leurs profonds bassins. Par ailleurs, la plus récente ère glaciaire, qui s'est terminée il y a 10 000 BP, et le réchauffement climatique relatif actuel sont des exemples des deux extrêmes du long passé climatique de notre planète (Imbrie et Kipp, 1971). Ces changements du climat ont bouleversé ou modifié l'équilibre écologique et la vie sur la terre (Kukla, 1977).

Ruddiman et McIntyre (1981) rapportent que le climat planétaire s'est réchauffé pour ensuite s'humidifier vers 22 000 BP. Dans la région du Croissant fertile, qui s'étend sur l'est de la Turquie, le nord de la Syrie et de l'Irak jusqu'au golfe Persique, les conditions environnementales s'améliorent de façon sensible. Elles sont particulièrement favorables à certaines plantes, comme les céréales sauvages, et à la végétation arbustive (pistachiers, chênes). C'est dans ce contexte qu'a émergé l'agriculture sédentaire vers 12 000 BP (Ruddiman et McIntyre, 1981). En effet, après le maximum glaciaire, l'holocène évolua vers un optimum climatique atteint il y a 6 à 8 000 ans, avec une température supérieure de deux à trois degrés à celle de nos jours (Berger, 1992). C'est la période la plus chaude du stade interglaciaire actuel ; il permit à l'homme de modifier son comportement de chasseur-cueilleur à éleveur-agriculteur et de fonder les premières cités vers 6 000 BP (Davies, 1964 ; Berger, 1992).

Plusieurs études renseignent aujourd'hui sur les variations du climat au Quaternaire. D'après Savin (1980), les deux derniers millions d'années ont connu une vingtaine de cycles froids, provoquant des glaciations de grande ampleur, séparés par des cycles plus chauds. Pareillement, les travaux de Shackleton et *al.* (1990) fondés sur l'étude des isotopes de l'oxygène dans les carottes océaniques permettent de réaliser que les cycles glaciaires et interglaciaires se seraient répétés au moins trente fois au cours des deux derniers millions d'années. De plus, pour bon nombre d'auteurs (Elouard, 1976 ; Kukla, 1975 ; Arrignon, 1987 ; Crowlet, 1983), de nombreuses glaciations qui ont fait varier le niveau marin se sont succédées depuis le début du Quaternaire. Les cinq dernières glaciations (figure 23), appelées Donau, Günz, Mindel, Riss et Würm sont les plus importantes de l'histoire récente du climat de la Terre.

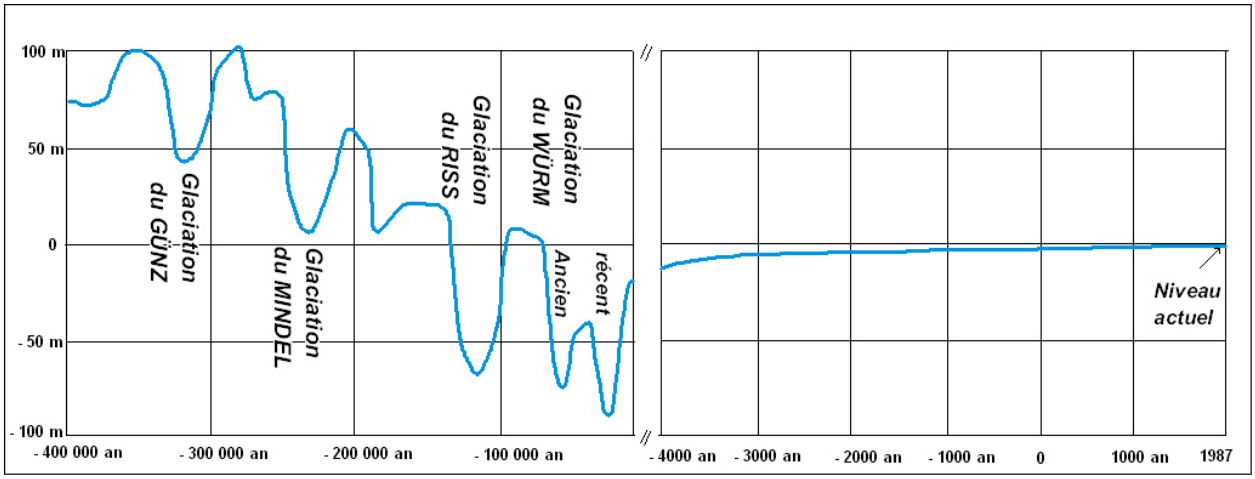


Figure 23 : Variation du niveau marin au Quaternaire
Source : Paskoff et Fairbridge in Pitte et *al*., 1987

La figure 23 permet de déduire que la phase glaciaire s'accompagne d'une baisse du niveau marin et la phase interglaciaire d'une remontée des eaux. Tout ceci permet de réaliser que le climat de la Terre semble osciller depuis le commencement du Pléistocène entre des épisodes froids, dits glaciaires, et chauds, dits interglaciaires (Davies, 1964 ; Elouard, 1976 ; Arrignon, 1987 ; Crowlet, 1983). Selon Davies (1964), pendant les périodes glaciaires, de nombreuses formes de vie disparaissent ou sont bouleversés. Arrignon (1987) et Crowley (1988) rapportent que l'homme a certainement survécu à toutes ces épreuves naturelles en s'adaptant à travers le développement des stratégies d'adaptation spécifiques.

Selon Milankovitch (1941), c'est la combinaison de trois variables affectant la rotation de la Terre et entraînant des différences d'insolation, qui est la cause des glaciations. La première variable est l'excentricité de l'orbite terrestre, qui désigne la déformation de l'ellipse (écliptique) que la Terre décrit autour du Soleil ; tous les 100 000 ans environ, l'ellipse est très allongée, ce qui modifie la distance Terre-Soleil. La deuxième est l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre qui, en 41 000 ans, oscille entre 21,5 et 24,5°. La troisième variable est la précession des équinoxes, variation de l'orientation de la rotation de la Terre, qui décrit un cône, et de la rotation sur elle-même de l'orbite terrestre. La précession modifie la relation qui existe entre la distance Terre-Soleil et le déroulement des saisons. Ces variations de la position précise de la Terre par rapport au Soleil correspondent assez bien à la périodicité des cycles glaciaires majeurs et secondaires (Berger, 1992).

Les différentes variations du niveau marin liées aux périodes glaciaires et à la déglaciation ont laissé pour leur part, des traces sur la bordure continentale (Paradis, 1977 ; Oyédé, 1983). D'autres évidences géomorphologiques sont fournies par les traces des anciens rivages. Ces traces sont entre autres les replats submergés, les formes d'accumulation et de colmatage telles que les conglomérats de plage, les tourbes, etc., qui sont des modelés de reliefs liés à des conditions climatiques précises (Tastet, 1977 ; Oyédé, 1983). En outre, selon Davies (1964), des roches polies ou striées, des dépôts de moraines témoignent d'une action glaciaire ; des dunes ou des croûtes de sel indiquent une érosion en milieu désertique. Des argiles rouges, riches en fer et en alumine, sont la marque d'un climat tropical. La présence de tous ces indices dans certaines régions du monde, notamment dans le Proche Orient, montre qu'elles ont connu différents types de climats dans le temps.

Au total, les résultats des différentes recherches attestent des glaciations du Quaternaire. Depuis plus de 10 000 ans, la Terre est entrée dans une période interglaciaire (Savin, 1980). Selon Jones (1990), dans 20 000 ou 30 000 ans, une nouvelle glaciation surviendra probablement à moins que les poussières industrielles et l'accumulation de gaz carbonique ou la destruction de l'ozone atmosphérique par les activités humaines ne donnent au cycle du climat de nouvelles orientations.

L'histoire de la Terre est faite des changements climatiques révélés par les méthodes et techniques d'études des paléoclimats. Les datations au carbone 14, les

mesures isotopiques, l'analyse palynologique, les investigations fondées sur la sédimentologie, la botanique, etc. montrent effectivement que la Terre a connu des changements de régime climatique dus à des processus astronomiques et géophysiques à côté desquels les facteurs anthropiques apparaissent dérisoires (Wigley, 1987). A l'échelle géologique, de grands changements de climat ont marqué profondément la planète par leur ampleur et leur durée : climats chauds de l'ère secondaire, climats plus secs et moins chauds du tertiaire suivis du quaternaire plus froid. Le tableau XIV présente une synthèse sur les variations climatiques anciennes qui ont marqué la Terre au cours du temps.

Tableau XIV : Synthèse sur les variations climatiques anciennes

Eon	Ere	Période	Epoque	Période en Ma	Durée en Ma	Ambiances climatiques et milieux de vie
Phanérozoïque	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		1/100 Ma à nos jrs	Epoque marquée par un accroissement très net des températures sur l'ensemble du globe et par le retrait des glaciers. Toutefois, durant cette courte période qui se poursuit jusqu'à nos jours, le climat enregistre aussi des fluctuations : le petit âge glaciaire, qui sévit entre le XVe et le début du XVIIIe siècle, est ainsi accompagné d'hivers très rudes et d'une nouvelle avancée des glaciers. Le début de l'holocène coïncide avec l'apparition d'un nouveau mode d'organisation des sociétés humaines.
			Pléistocène	- 0.01	2	Période de diversification spectaculaire des espèces du genre *Homo*. Elle est marquée par une succession de variations climatiques rapides et fortes qui engendrent une alternance de périodes glaciaires et interglaciaires. À chaque épisode glaciaire, les calottes de glace de la zone polaire s'avancent vers le sud, jusqu'à recouvrir environ un tiers des terres émergées du globe.
		Tertiaire	Pliocène	- 2	11	Accélération du refroidissement et de l'assèchement du climat amorcé au miocène
			Miocène	- 5 à - 24	19	Climat semblable au climat d'aujourd'hui, mais plus chaud. Il y avait des palmiers et des alligators en Angleterre et au Nord de l'Europe.
			Oligocène	- 24 à - 37	13	Glace au Pôle du sud, mais pas au Pôle du nord.
			Eocène	- 37 à - 58	21	L'**Eocène moyen et supérieur** (de -37 à -50 millions d'années) est marqué par un net refroidissement et une sécheresse marquée aux hautes latitudes. L'**Eocène inférieur** (-50 millions d'années) fut une époque planétaire chaude (la plus chaude de tout le Cénozoïque). L'Inde était couverte de forêts tropicales humides et les forêts tempérées chaudes recouvraient l'Australie.

			Paléocène	- 58 à - 66	8	Le climat était plus chaud qu'aujourd'hui. Les palmiers ont poussés au Groenland et en Patagonie.
	Mésozoïque	Crétacé		- 66 à - 144	78	Au **Crétacé supérieur** (-70 millions d'années) le climat général était plus chaud qu'aujourd'hui. Les dinosaures migraient des régions froides vers les régions chaudes. Au **Crétacé inférieur** (-140 millions d'années) le climat mondial était une douce glacière.
		Jurassique		- 144 à - 208	64	Pendant le **Jurassique supérieur** (-150 millions d'années) le climat global commença à changer à la suite de la rupture de la Pangée. Pendant les **Jurassique inférieur et moyen** (de -160 à -200 millions d'années), la grande mousson de Pangée battait son plein. La Pangée intérieure était très aride et chaude. Les déserts couvraient ce que sont devenues, de nos jours, les forêts tropicales humides d'Amazonie et du Congo.
		Triasique		- 208 à - 245	37	Au **Trias supérieur** (-220 millions d'années) le climat général était chaud. Lors du **Trias moyen** (-230 millions d'années), l'intérieur de la Pangée était sec. Les régions polaires étaient chaudes, même pendant l'hiver. Au **Trias inférieur** (-240 millions d'années), l'intérieur de la Pangée était aussi chaude et sèche qu'aux deux époques suivantes. Ce fut la période la plus chaude de l'histoire de la Terre. 99 % des espèces disparurent.
	Paléozoïque	Permien		- 245 à - 286	41	Au **Permien supérieur** (-260 millions d'années) la forêt équatoriale humide disparaît et le désert s'étend à travers la Pangée centrale. Au **Permien inférieur** (-280 millions d'années), la plupart de l'hémisphère sud est couvert par la glace et les glaciers poussaient vers le Nord.
		Carbonifère		- 286 à - 360	74	Durant le **Carbonifère supérieur** (-300 millions d'années), les forêts équatoriales humides couvrent les régions tropicales de la Pangée qui était délimitée au Nord et au Sud par le désert. Au **carbonifère moyen** (-330 millions d'années) des forêts équatoriales humides couvrent les

						régions tropicales de la Pangée. Au **carbonifère inférieur** (-350 millions d'années), la Pangée se déplace vers le Nord et les ceintures climatiques se déplacent vers le Sud et commence à se refroidir.
		Dévonien		- 360 à - 408	48	Le **Dévonien supérieur** (-370 millions d'années) est marqué par la glaciation du Carbonifère. Au **Dévonien moyen** (-385 millions d'années) des mers peu profondes sous des cieux sans nuages couvre la plupart de l'Amérique du Nord. Au **Dévonien inférieur** (-400 millions d'années) les conditions sèches prévalaient à travers l'Amérique du Nord, la Sibérie, la Chine et l'Australie. L'Amérique du Sud et l'Afrique étaient couvertes par des mers fraîches et tempérées.
		Silurien		- 408 à - 438	30	Au Silurien, on assiste à un développement des récifs coralliens dans l'Amérique du Nord et l'Europe du Nord. Des conditions glaciaires prolongées ont régné près du pôle Sud.
		Ordovicien		- 438 à - 505	67	A l'**Ordovicien moyen et supérieur** (aux alentours de – 450 millions d'années) le monde était une véritable glacière. A l'**Ordovicien inférieur** (-480 millions d'années) la douceur du climat fut probablement générale en Afrique.
		Cambrien		- 505 à - 570	65	Le climat est mal défini pour cette époque. Il était probablement ni trop chaud, ni trop froid. De toute évidence, il n'y avait pas de glaces aux pôles.
Protérozoïque	Précambrien			- 2 500 à - 570	3 230	Apparition des premières formes de vie entre - 4,6 et - 3,8 milliards Entre - 3,8 et - 2,5 milliards d'années, apparition des cyanobactéries et des stromatolites. Entre -2,5 milliards à - 540 millions d'années, naissance des premiers organismes uni- et multicellulaires et des premiers fossiles à coquille.
Archéen				- 3 800 à - 2 500		
Hadéen				4 600 à 3 800	800	

Sources : Synthèse bibliographique : Demangeot (1989), Berger (1992), http://www.usd.edu/esci/e103/exam/Chap-14.html, http://www.inrp.fr/Acces/Biogeo/themes/evolenvi/html.htm et Encarta (2004)

Ma = Million d'années

Jrs = jours

Dans ce concert mondial d'évolution des climats, des différenciations et des particularités ont été notées à l'échelle du continent africain.

5.3 – Variations climatiques anciennes en Afrique

Les variations climatiques qui ont affecté l'Afrique à la fin du Tertiaire et durant le Quaternaire ont été mises en évidence par les études dirigées par de nombreux chercheurs : Alimen (1955), Davies (1964), Arrignon (1987), etc.

En Lybie, dans une région marquée aujourd'hui par des précipitations annuelles de moins de 30 mm, les recherches de Alimen (1955) attestent la présence d'un lac d'eau saumâtre qui a couvert environ 2 000 m^2 avec une profondeur comprise entre 40 et 50 m. Il s'est asséché vers 90 000 ans BP. Puis entre environ 10 000 et 4 000 BP, une multitude de petits lacs ont occupé les creux interdunaires du Sahara et du Sahel. Le Sahara connut alors une période pluvieuse témoignée par la formation d'une immense nappe phréatique sous le Sahara exploitée actuellement (Davies, 1964). A la suite de ces deux auteurs, les résultats des travaux de recherche de Schove (1967) sur les paléolacs africains confirment l'humidité qui a prévalu à l'Holocène dans le Sahara (figure 24).

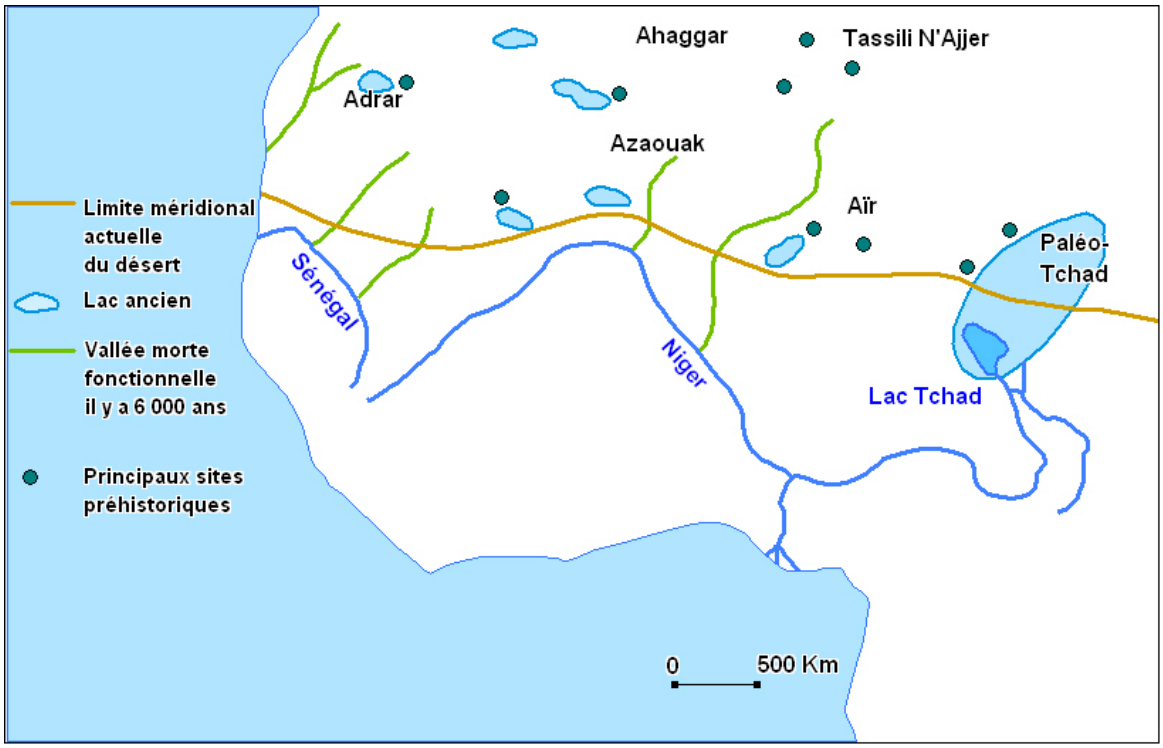


Figure 24 : Indicateurs de l'humidité dans le Sahara entre 10 000 et 5 000 BP
Source : Pitte et *al.*, 1987

Cette partie de l'Afrique a présenté en cette période un paysage végétal sempervirent, loin des spectacles de dunes de sable et des ergs rencontrés aujourd'hui. En effet, pour Davies (1964), Schove (1967) et Elouard (1976) les données sur le dernier cycle climatique dans le Sahara indiquent qu'il y a 6 000 ans, se sont développés dans le Sahara méridional des arbres et arbustes qui sont aujourd'hui caractéristiques des forêts sèches et des savanes soudanaises. L'art pariétal en apporte des témoignages considérables (gravures, peintures rupestres, etc.). Cette humidité serait probablement due, en cette période, à une remontée plus prononcée de la mousson (Davies, 1964). Cette remontée de la mousson a favorisé la mise en place d'un réseau hydrographique aussi important comme le témoignent les nombreux lacs de la figure 18 et une flore riche, une faune abondante constituée d'éléphants, de girafes, de bovidés, etc. (Pitte et *al*., 1987).

Un tel contexte climatique a favorisé l'installation d'une paysannerie nombreuse qui pratiquait les cultures du sorgho dans la frange méridionale plus arrosée, espace voué aujourd'hui à un nomadisme pastoral (Arrignon, 1987). De plus, Davies (1964) indique que Tin Ouffadene (20°10'40 N, 9°11'30 E) était une petite cuvette tapissée de sédiments lacustres, au cœur d'un champ de dunes du désert du Ténéré dans l'actuel Niger. Le site est bien connu des archéologues pour la richesse de son industrie néolithique (encadré 3).

Encadré 3 : Ténéré

Ténéré, région du Sahara, au Niger est située entre le massif de l'Aïr à l'ouest et les oasis du Kawar, à l'est. Le Ténéré est couvert de pierrailles dans le nord, la partie la moins fréquentée, et de dunes dans sa partie méridionale, empruntée par les transporteurs routiers qui joignent le Niger à la Libye par l'oasis de Bilma. Cette ancienne cuvette lacustre est aujourd'hui dépourvue d'eau, et le seul arbre qui y subsistait encore, jusqu'à sa destruction par un camionneur en 1973, était marqué sur les cartes sous le nom d'Arbre du Ténéré. Cet *Acacia radiana* aux racines plongeant à 40 m était le seul survivant d'une flore témoignant d'un climat plus humide. Il y a trois millénaires, en effet, la région était couverte de lacs et de marécages au bord desquels vivaient des éléphants, des hippopotames et une faune de savane. Les hommes, qui étaient loin d'être absents, ont laissé des spécimens d'objets en pierre (pointes de flèche) et des poteries qui comptent parmi les plus remarqués du néolithique saharien. Au sud de Tazolé, à l'ouest du Ténéré, on a découvert des fossiles de dinosaures remontant à plus de 60 millions d'années.

Source : Alimen (1955) et Encarta (2004)

Le site abrite une réserve naturelle peuplée jusqu'à présent d'importantes d'espèces fauniques et floristiques, mais en voie de disparition en raison des pressions de déboisement et de braconnage des peuples nomades et autres (réchauffement thermique, aridité, etc.) qui pèsent sur ces ressources.

L'hyperaridité du climat n'autorise pas aujourd'hui la vie dans cette région de l'Afrique. Or, les eaux souterraines datées de l'Holocène inférieur dans la région détiennent la mémoire des précipitations qui ont rechargé les aquifères (Alimen, 1955). Elles sont représentatives des eaux d'alimentation du paléolac, très appauvries en isotopes lourds de l'oxygène (-9,5 ‰), et à salinité faible (0,1 $g.l^{-1}$). La teneur en isotopes lourds de ces eaux, bien inférieure à celles des pluies actuelles est la conséquence d'un régime d'évaporation moins intense à l'époque et donc une atmosphère plus humide (Schove, 1967). Ce n'est qu'à partir de 14 000 BP, que le Sahara amorcera progressivement la désertification, phénomène plurimillénaire, considéré essentiellement comme d'origine climatique (Arrignon, 1987). Les autres régions, qui sont de part et d'autre de la bande saharienne ont été également marquées par des changements climatiques au cours des temps géologiques. La figure 25 illustre ceux connus dans les différentes régions africaines au Quaternaire.

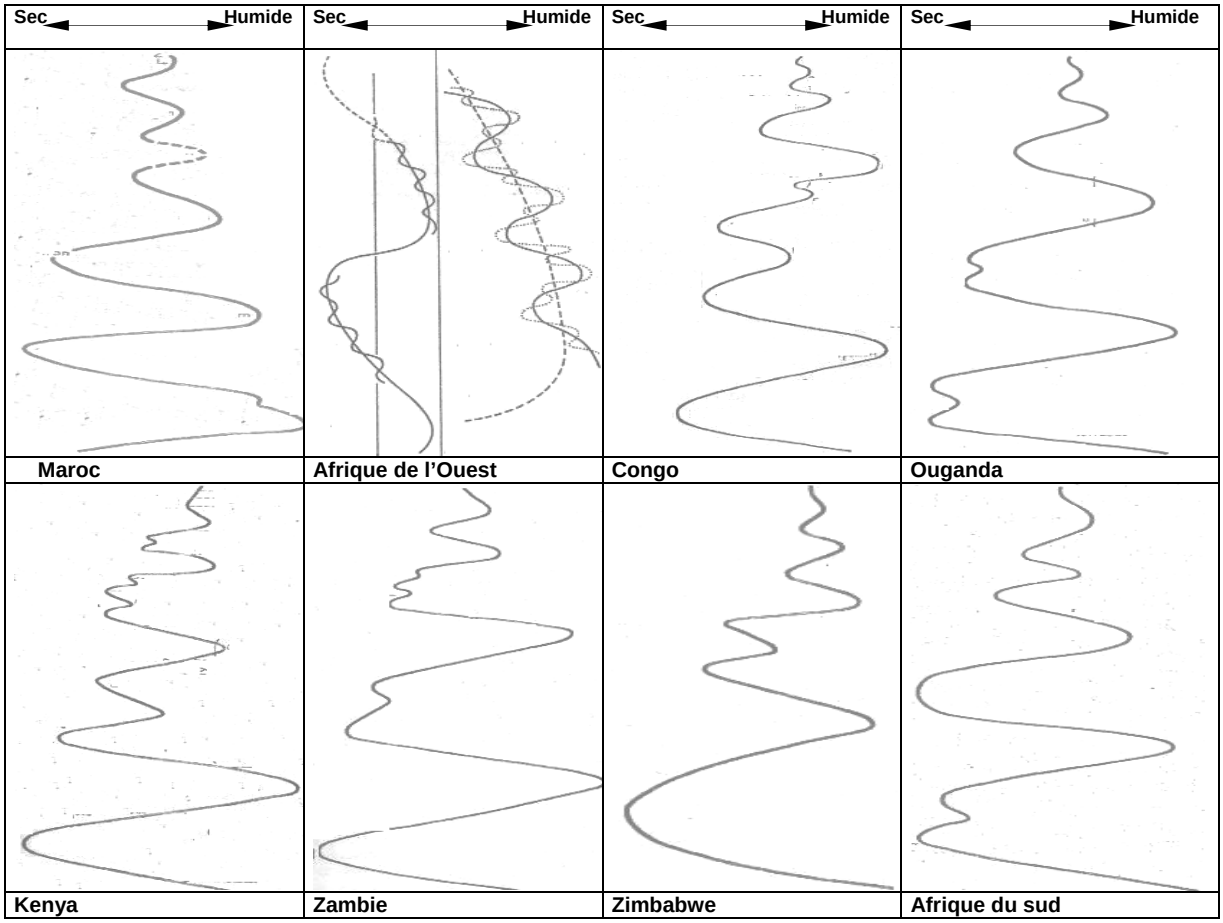


Figure 25 : Changements climatiques au Quaternaire en Afrique
Source : Alimen (1955)

Ces différents pays et régions (figure 25) ont connu des oscillations climatiques majeures depuis les deux derniers millions d'années de l'histoire de la Terre. Les séquences sèches et humides se sont succédées alternativement. Les périodes glaciaires et interglaciaires à l'Holocène ont été très intenses et moindres au Pléistocène et l'étendue de chaque séquence climatique a énormément varié dans l'espace (Alimen, 1955).

En somme, de pertinents indices géologiques témoignent des changements climatiques anciens dans le monde et en Afrique. Ils sont aussi révélés par les variations du niveau des mers, les marqueurs géomorphologiques et les paléolacs. A ces indices s'ajoutent, les restes de végétaux et d'animaux, etc. Par ailleurs, tout montre qu'aucune région n'a été épargnée par les oscillations climatiques dans le passé, même si leur ampleur et leur étendue ont varié au regard des données qui ne portent, par exemple, que sur le quaternaire des pays de l'ouest africain comme le Bénin.

5.4 - Indicateurs des changements climatiques anciens dans le Bénin méridional et central

Plusieurs variations climatiques ont affecté les régions du Bénin durant le Quaternaire (Boko, 1975). Les travaux des historiens (Adandé, 1982 ; Harrisson, 1974 ; de Medeiros, 1984), cités par Bokonon-Ganta (1992) et de Akoègninou (1984) et de Tossou (2002), indiquent que le Dahomey-Gap n'est pas contemporain. Il est probable que le paysage végétal actuel soit consécutif aux péjorations pluviométriques qui ont caractérisé l'Holocène Moyen (Maley, 1991).

Selon Aubreville (1949), l'analyse des données palynologiques montre une dynamique du couvert végétal ouest-africain pendant l'Holocène (figure 26).

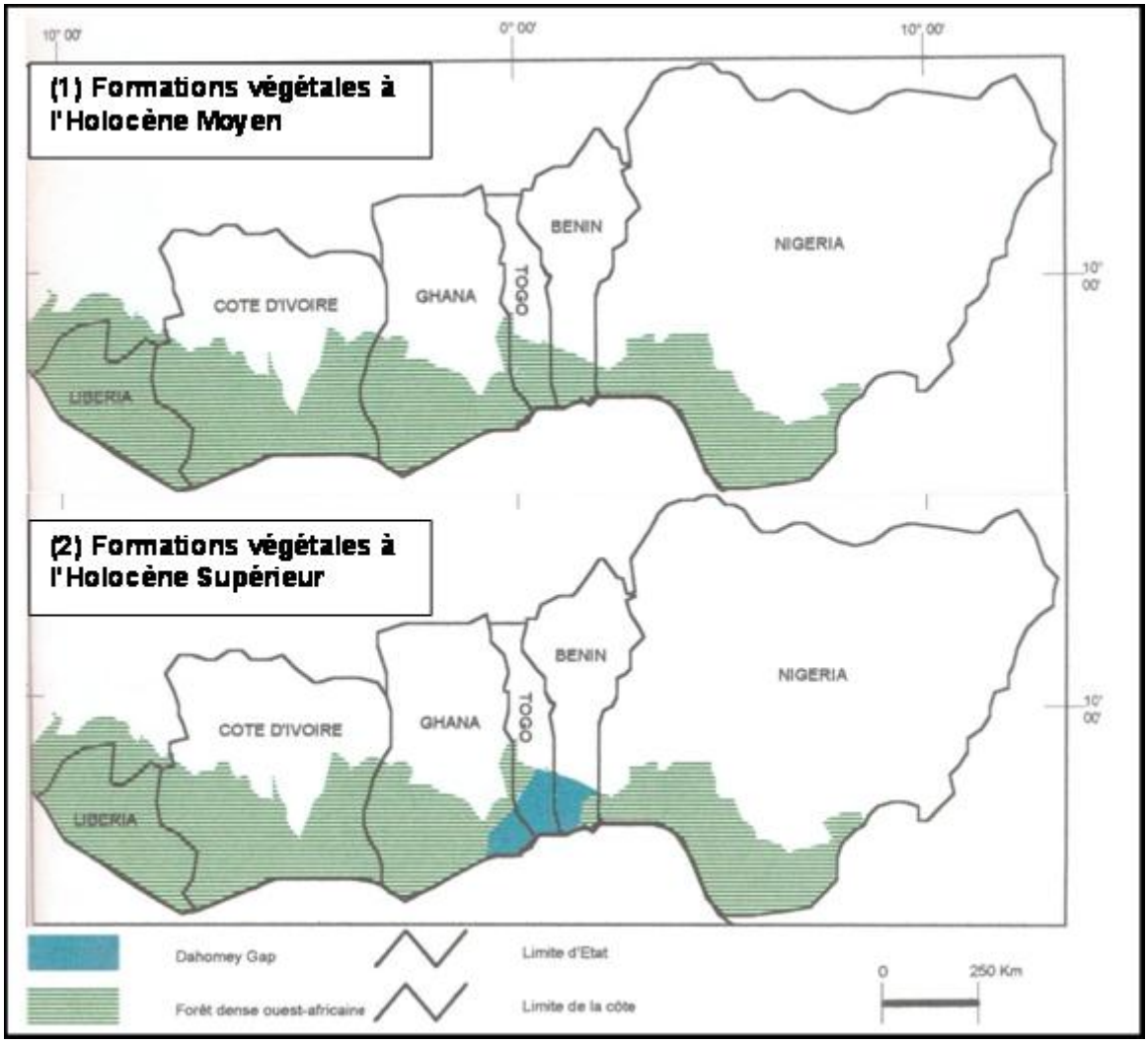


Figure 26 : Evolution du paysage végétal ouest-africain entre l'Holocène Moyen (7500-2500 BP) et Supérieur (2500 BP à nos jours)

Source : Aubreville (1949)

La figure 26 montre qu'à l'Holocène Moyen (7500-2500 BP), le Dahomey-Gap était occupé par une végétation forestière de type semi-décidu (figure 26.1). A l'Holocène Supérieur (2500 BP à nos jours), cette végétation forestière de l'Holocène Moyen a laissé place à des formations ouvertes. Le Dahomey-Gap (figure 26.2) était donc absent à l'Holocène Moyen.

Par ailleurs, les facettes pédologiques actuelles sont révélatrices des variations climatiques passées dans le Bénin méridional et central. Pour Berding et Van (1982), les études pédologiques laissent penser qu'un certain nombre de faits d'observation ne pouvaient s'expliquer qu'en faisant appel aux influences paléoclimatiques. Ce sont ces dernières qui auraient engendré les caractéristiques morpho-pédologiques et la répartition géographique actuelle des sols. Ainsi, Lang et Paradis (1984) estiment que ce sont les phénomènes climatiques, sous un climat tropical humide, qui ont favorisé une sédimentation argilo-sableuse dans le Bénin méridional.

Selon Berding et Van (1982), c'est vers la fin du tertiaire et le début du quaternaire (Pliocène/Pléistocène) que des sédiments continentaux (Continental Terminal) recouvrent l'ensemble des bassins du sud du Bénin. Un peu plus précis, Darbin et Maignien (1979) rapportent que les sols actuels auraient achevé leur mise en place au Quaternaire après différents processus de ferratilisation. Ces processus de ferrallitisation s'effectuent très souvent dans les régions les plus arrosées, en toute situation topographique à bon drainage externe ; et donc en climat moyennement humide sur des milliers d'années.

En outre, les dalles de cuirasses (photo 9) observées dans les plateaux d'Abomey, de Zagnanado, de Kétou, etc. sont héritées de conditions pédogénétiques ou climatiques différentes. Ces dalles semblent être les témoins d'une époque de cuirassement des sols qui aurait été suivie d'une période d'érosion intense (climat humide) se traduisant par la formation d'immenses glacis et de surfaces d'érosion. Les conditions actuelles semblent être appropriées pour la conservation de ces formes.



Photo 9 : Vue partielle des dalles cuirassées à Abomey dans le Bénin méridional
Source : Cliché E. Ogouwalé, avril 2005

Les études pédologiques et géomorphologiques de Darbin et Maignien (1979), ont montré que l'existence de ces dalles de cuirasses ne peut s'expliquer, entre autres, que par l'action de climats anciens. L'hypothèse la plus répandue étant celle de la prédominance d'un climat tropical humide qui a régné au sud du Sahara dès le Crétacé, et qui a provoqué une forte évolution ferrallitique des sols (Davies, 1964).

Dans le Bénin central, où dominent les sols ferrugineux, Berding et Van (1982) estiment que les profils caractéristiques des sols et les différentes facettes latéritiques seraient liés à la nature des roches ainsi qu'aux conditions climatiques qui ont prévalu dans cette région au cours des périodes géologiques récentes.

D'une façon générale, trois principaux types de sol sont à distinguer selon la nature du matériau originel, l'influence des paléoclimats et des cycles d'érosion :

- les sols ferrugineux développés sur les longues pentes de raccordement entre les massifs collinaires et un aval (cours d'eau, bas-fonds, etc.) ;
- les sols de plateaux, fondamentalement la terre de barre dont l'existence est due à l'action combinée des paléoclimats et des cycles d'érosion ;
- les sols des plaines alluviales sur des sédiments quaternaires de texture diverse, d'origine marine, fluviatile ou lacustre.

Sur le plan géomorphologique, les formations de la plaine côtière sont des témoins quaternaires issus des dernières oscillations holocènes (Boko, 1975). Cette plaine sableuse est constituée de sédiments arrachés aux plateaux du Continental Terminal (argilo-sableux) lors de la dernière transgression (Holocène) qui a vu les eaux

monter au-dessus du niveau actuel (Oyédé, 1991). En outre, les cordons de sables jaunes (photo 10) sont témoins des oscillations climatiques qui ont marqué la frange littorale au Quaternaire (Guilcher, 1959 ; Boko, 1975).



Photo 10 : Vue partielle des périmètres de sable jaune à Djrègbé
Source : Cliché H. Totin, mars 2005

Ces carrières de sables jaunes (photo 10) sont très exploitées à Sèmè et à Ouidah. Guilcher (1959) et Oyédé (1991) estiment que ces sables sont d'origine marine et d'âge holocène, mais remaniés ultérieurement (Adam, 1996). Aussi, les deux autres cordons (un cordon médian de sables de couleur grise, un cordon de sables blancs ou bruns actuel ou subactuel) au sud du cordon de sable jaune sont issus des dernières oscillations marines de l'Holocène supérieur (Guilcher, 1959). La figure 27 présente la répartition géographique de ces dépôts de sables récents dans la frange littorale du Bénin.

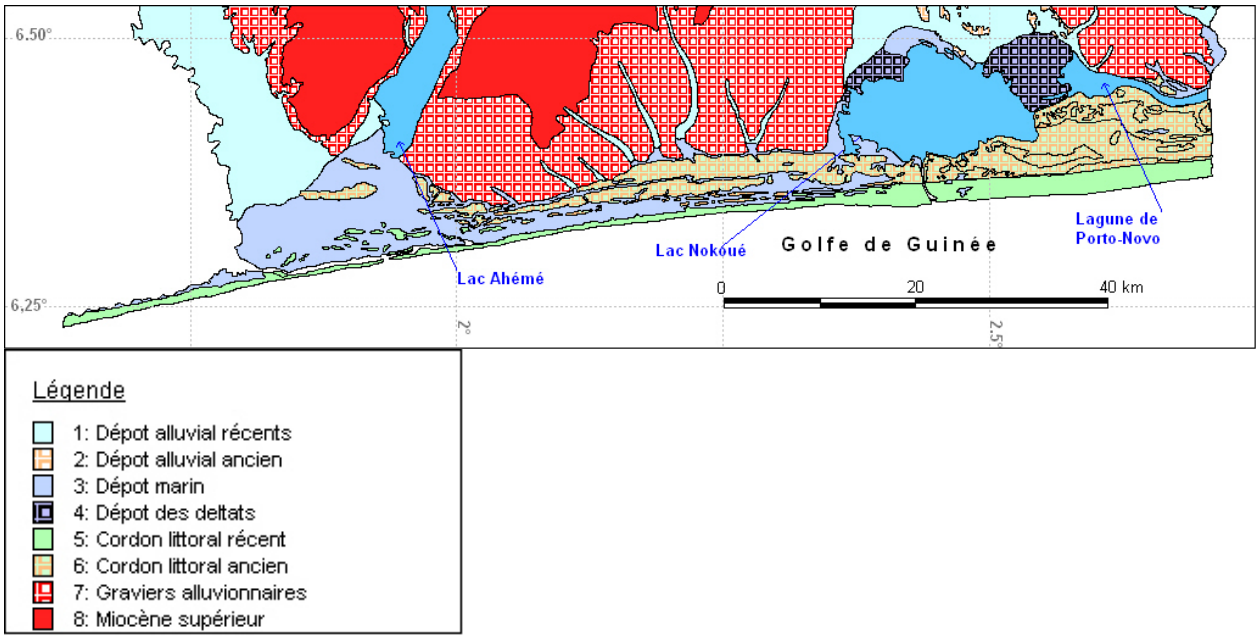


Figure 27 : Répartition des dépôts récents et anciens dans le littoral béninois
Source : Extrait de Ulrich Weller, 1999

Cette diversité des dépôts anciens renseigne sur les modifications climatiques qui ont jalonné l'histoire de la frange littorale du Bénin. Les dépôts récents seraient les traces de nouvelles transgressions et régressions du fait des variations climatiques ayant prévalu au Quaternaire en Afrique de l'Ouest (Guilcher, 1958).

A ces témoins, il faut ajouter les lacs et certaines dépressions (figure 28) qui auraient pour origine les oscillations climatiques (Schove, 1967) et qui détiennent en retour dans leurs sédiments des indicateurs des climats du passé.

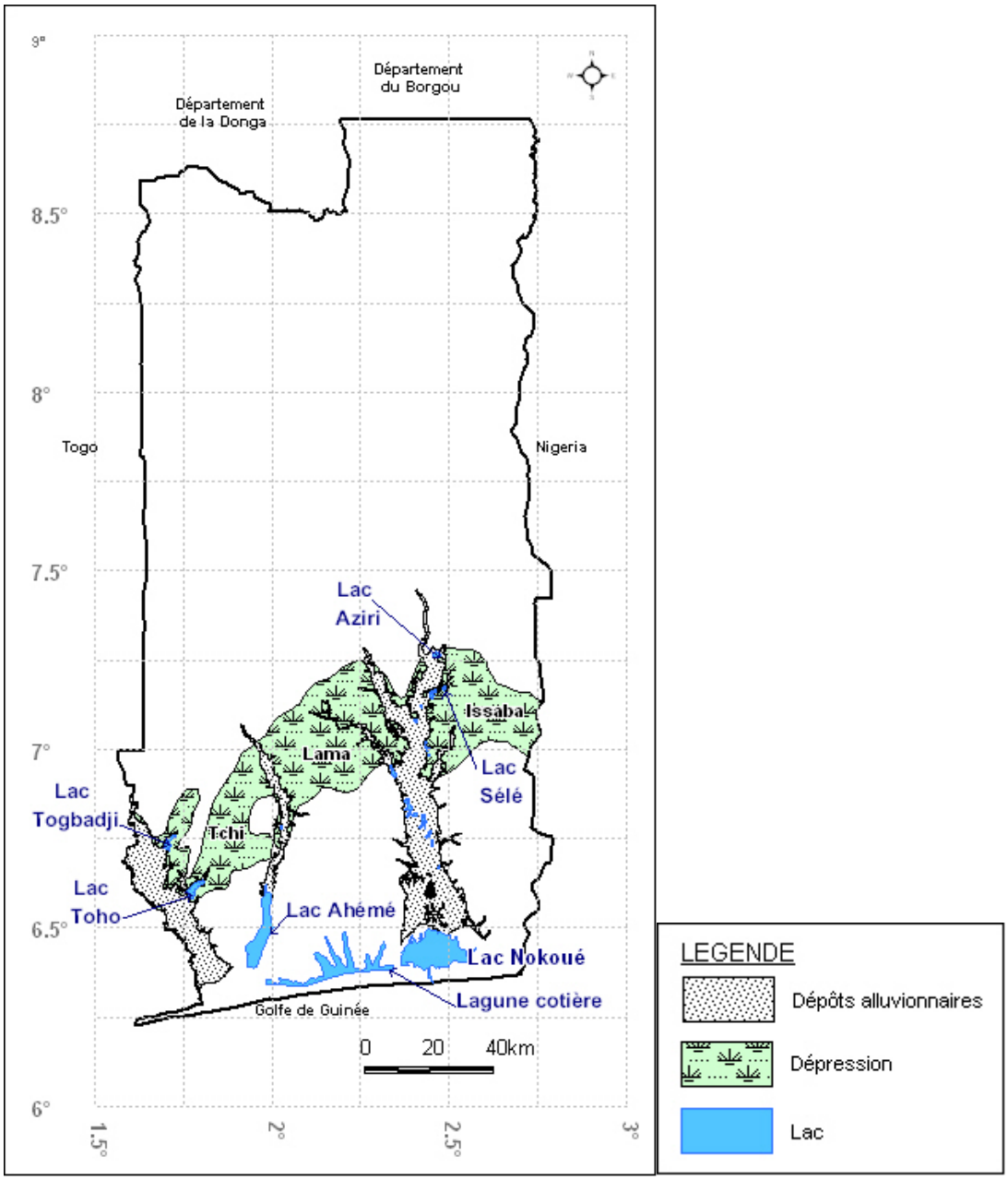


Figure 28 : Répartition des lacs et dépressions dans le Bénin méridional

La figure 28 montre que dans le Bénin central, il n'existe pas de lac. Ceci peut être expliqué par le fait que cette région n'est pas sous l'influence directe des oscillations du niveau marin. En revanche, au sud de cette région, ils sont présents. Les plus importants sont les lacs Nokoué et Ahémé. Ces lacs ont pour origine les variations climatiques des périodes récentes du Quaternaire qui ont engendré une évolution géomorphologique particulière de la région ouest africaine. Selon plusieurs auteurs (Alimen, 1955 ; Guilcher, 1958 ; Boko, 1975), la région ouest-africaine à l'instar des certaines régions du monde a subi différentes glaciations dont la dernière en date est celle de "würm", dernière des cinq glaciations du Quaternaire.

La fin de cette glaciation provoque une lente remontée de l'océan avec une accumulation de sable répandu par les vents sur les plateaux du Bénin méridional (Guilcher, 1959). Lors du retrait de l'océan, des bancs considérables de sable se sont trouvées exondées. L'accumulation de sable par les forces éoliennes, formant des dunes, a très vraisemblablement empêché l'écoulement des eaux vers l'océan. Cette eau s'est accumulée formant d'abord des étangs communicant avec l'océan puis ils se sont définitivement fermés.

Par ailleurs, Berding et Van (1982), indiquent que l'importance de l'entaille dans la basse vallée de l'Ouémé est le signe que le niveau de la mer avait dans une période donnée une cote différente de celle du niveau actuel. C'est au cours de cette période que se sont creusées les grandes et longues vallées qui entaillent les plateaux méridionaux du Continental Terminal. Dans une phase consécutive le niveau de la mer se relève progressivement, provoquant le remplissage par des alluvions des entailles précédemment élaborées. Il est probable que les lacs Ahémé et Nokoué soient les traces des estuaires des fleuves de cette époque.

Les données issues des travaux de terrain et de la bibliographie spécialisée montrent que le Bénin méridional et le Bénin central ont été le siège d'importantes variations des climats dans le temps, notamment au cours du Quaternaire. Les grandes unités de sols : les sols ferrallitiques qui dominent le paysage pédologique dans le Bénin méridional et les sols ferrugineux plus présents dans le Bénin central, sont les héritages et les témoins des changements climatiques anciens. Ces changements climatiques profonds de longue durée ont laissé des traces très visibles sur les milieux naturels et dans l'organisation des paysages humains sur laquelle les données fiables ne sont que contemporaines.

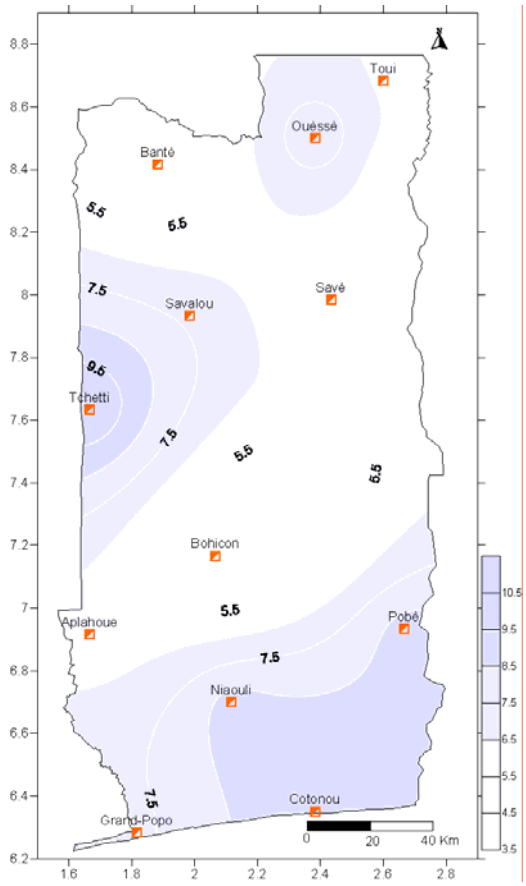
CHAPITRE SIXIEME : DIAGNOSTIC, TENDANCES CLIMATIQUES ET PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DES CLIMATS DANS LES DEUX REGIONS D'ETUDE

Ce chapitre traite des tendances thermométriques et pluviométriques dans les deux régions d'étude sur la normale 1961-1990. Cette normale est choisie pour la simple raison que IPCC (1990) la considère comme une période de référence en ce qui concerne les modifications majeures du climat contemporain. Egalement, il aborde la perception de l'évolution des climats par les populations, notamment paysannes du Bénin méridional et central.

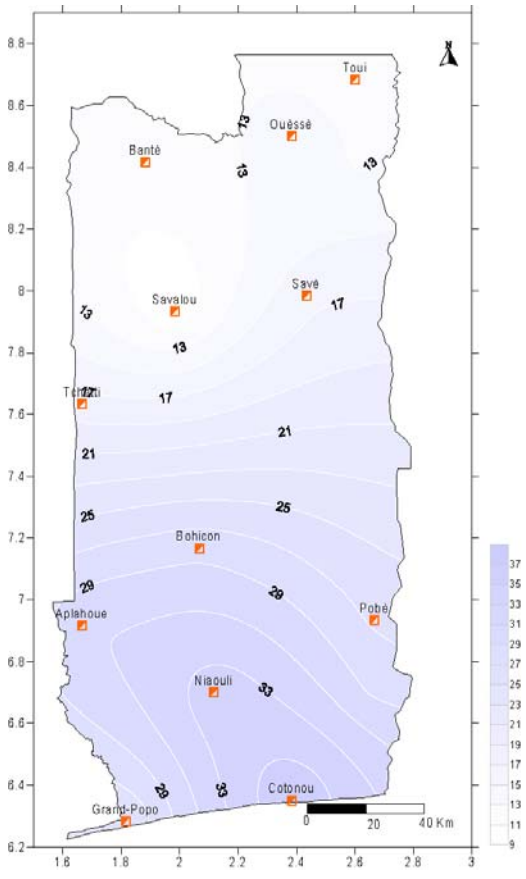
6.1 - Précipitations et températures mensuelles dans le Bénin méridional et central sur la normale (1961-1990)

Les précipitations et les températures constituent les principaux éléments qui déterminent fondamentalement les climats sous les latitudes intertropicales. C'est pourquoi, ces deux paramètres climatiques sont principalement choisis dans le cadre de l'analyse des facettes climatiques de base dans le Bénin méridional et central.

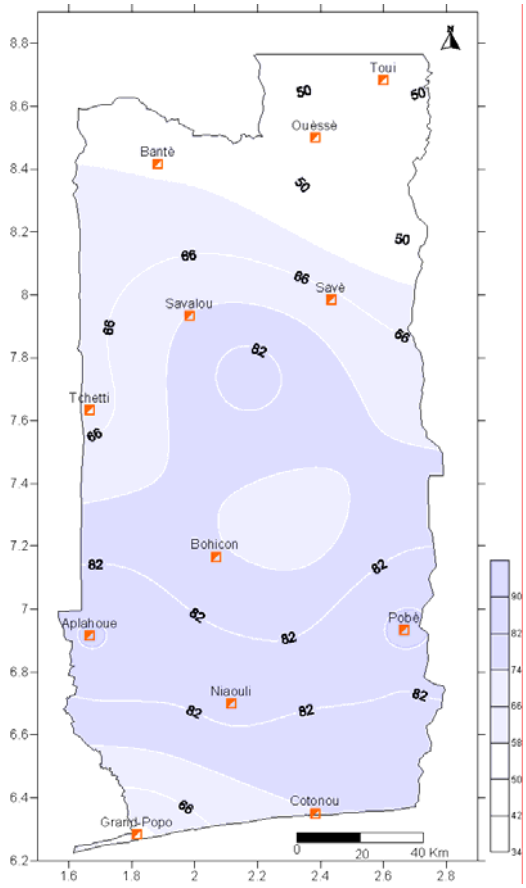
La figure 29 présente l'évolution des isohyètes dans le Bénin méridional et central sur la normale de référence (1961-1990).



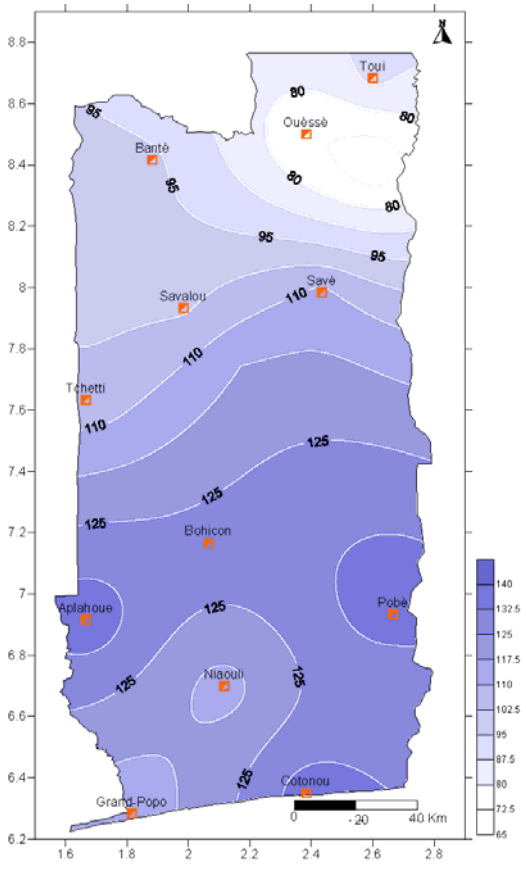
Janvier



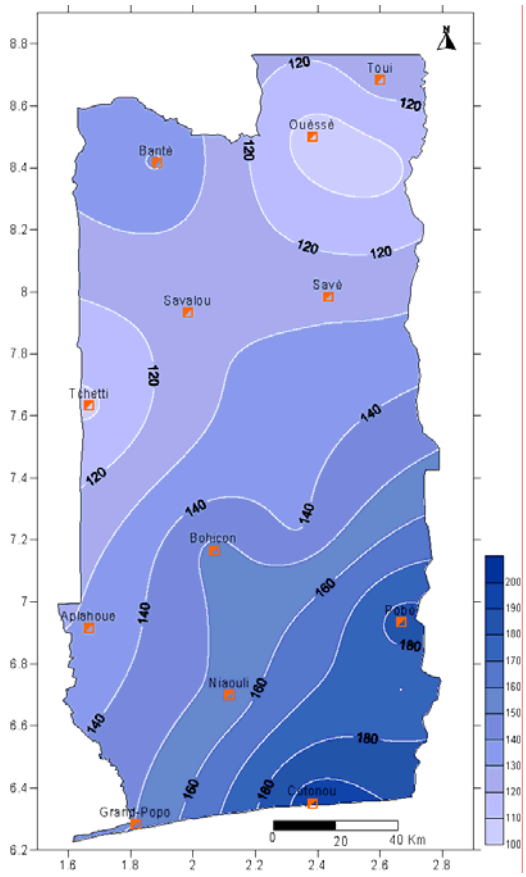
Février



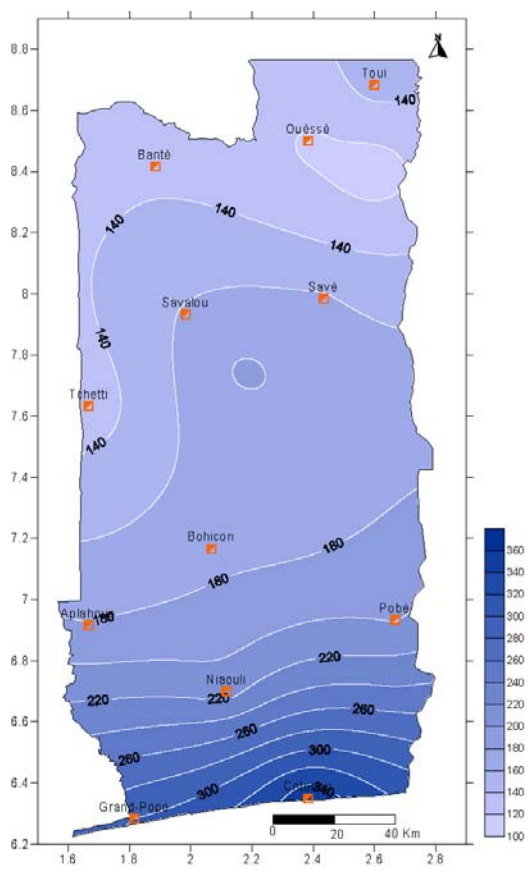
Mars



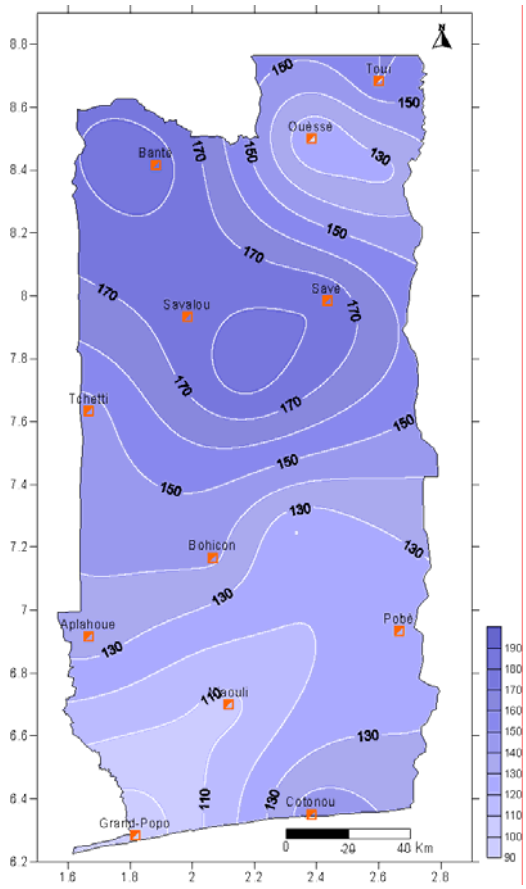
Avril



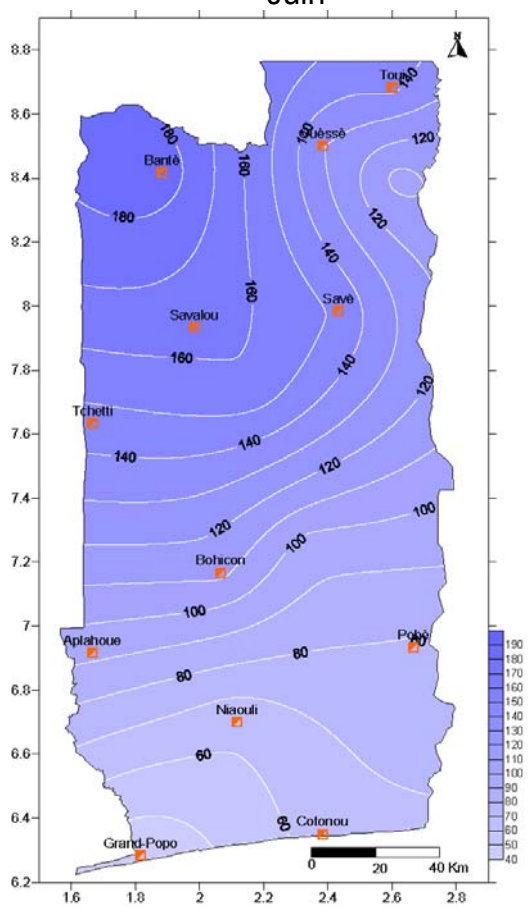
Mai



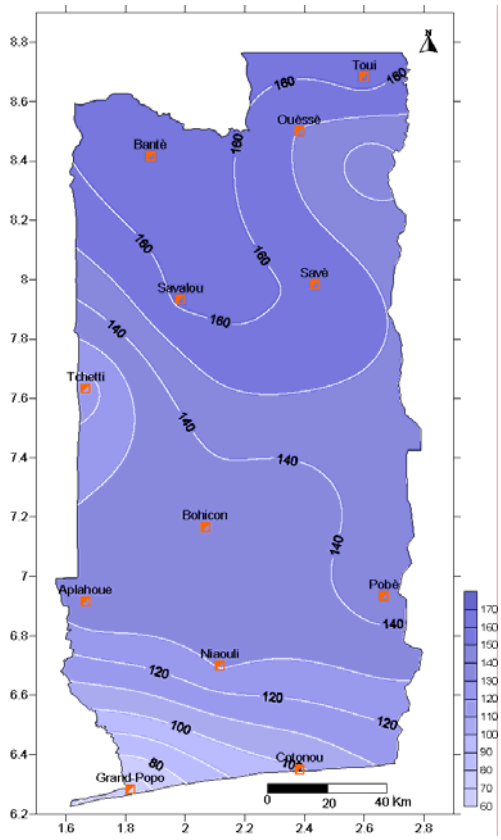
Juin



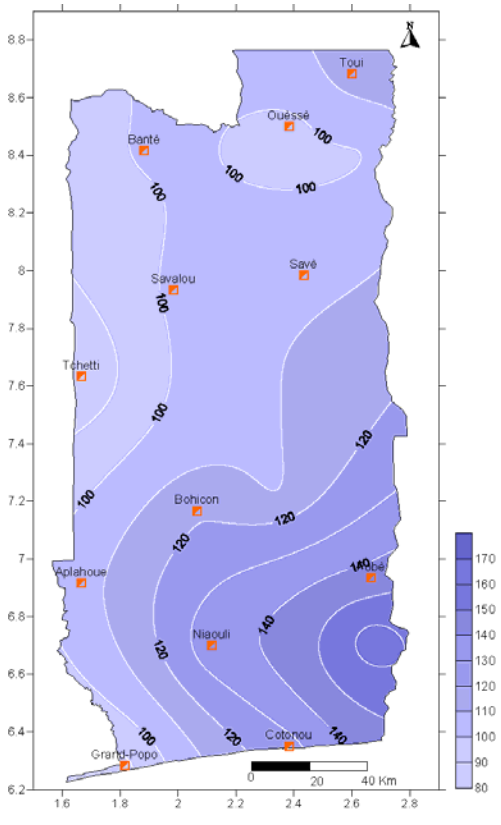
Juillet



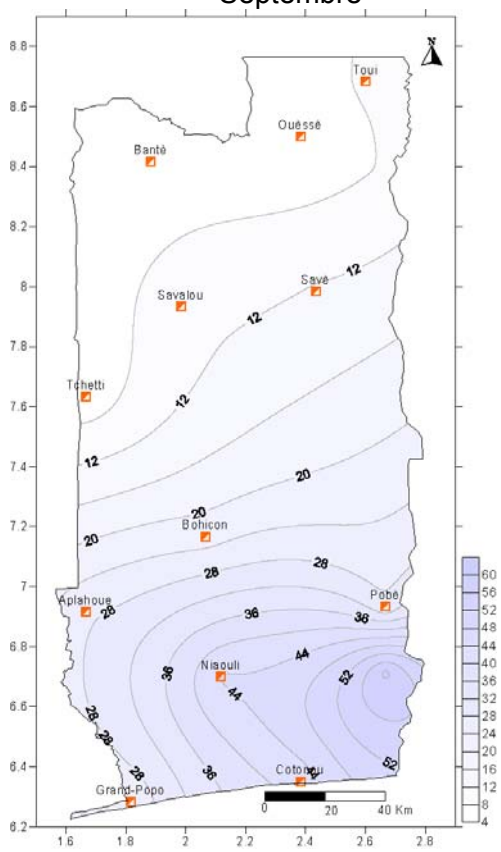
Août



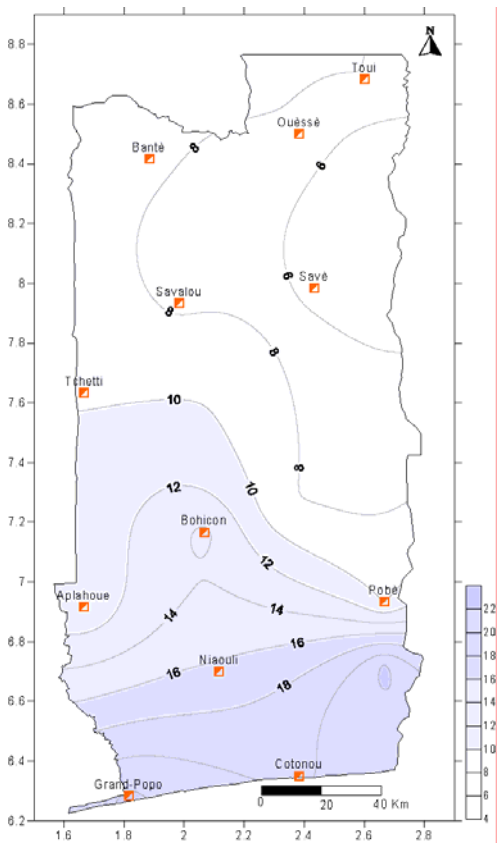
Septembre



Octobre



Novembre



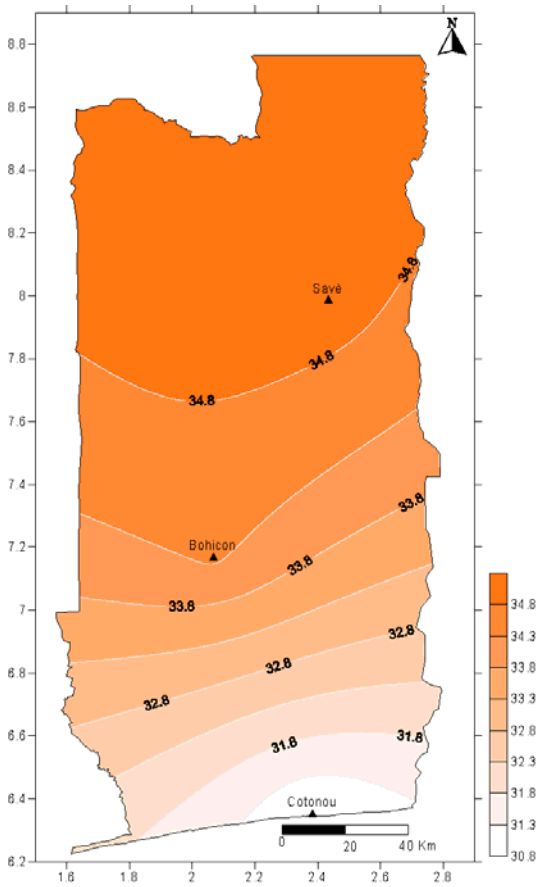
Décembre

Figure 29 : Isohyètes mensuelles (1961-1990) dans le Bénin méridional et central

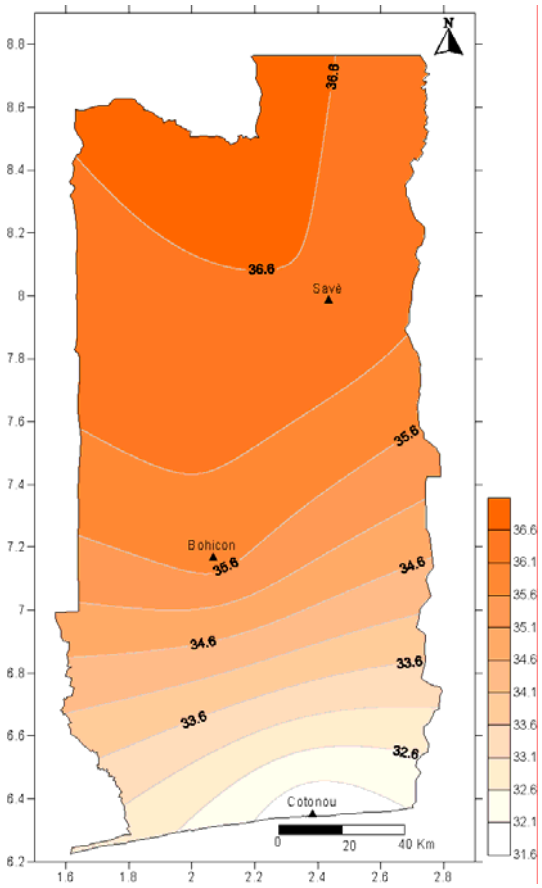
L’évolution des précipitations mensuelles moyennes sur la normale 1961-1990 (figure 29) montre que le Bénin méridional a été plus arrosé que le Bénin central.

Pendant les mois de janvier et de février, le gradient pluviométrique ne peut être clairement défini. Le mois de février connaît des hauteurs de pluies qui sont de 33 ; 25 et 17 mm respectivement à Niaouli, Bohicon et Savè. Ceux de mars et avril sont marqués par un même type de gradient (nord-sud). Seulement ces mois sont plus arrosés que le mois de février. Les hauteurs de pluies, en mars, vont en effet de 80 à 125 mm respectivement à Toui et à Cotonou. Au cours des mêmes mois, ces hauteurs sont de 50 mm à Ouèssè (Bénin central) et 82 mm à Niaouli (Bénin méridional). En mai la frange littorale est marquée par un gradient de direction ouest-est. En dehors de ce secteur, la pluviométrie au cours de ce mois est marquée par une évolution graduelle avec un gradient de direction nord-sud. La distribution des hauteurs de précipitations qui sont de 120 mm à Savè, 140 mm à Bohicon et 180 mm à Cotonou en est révélatrice.

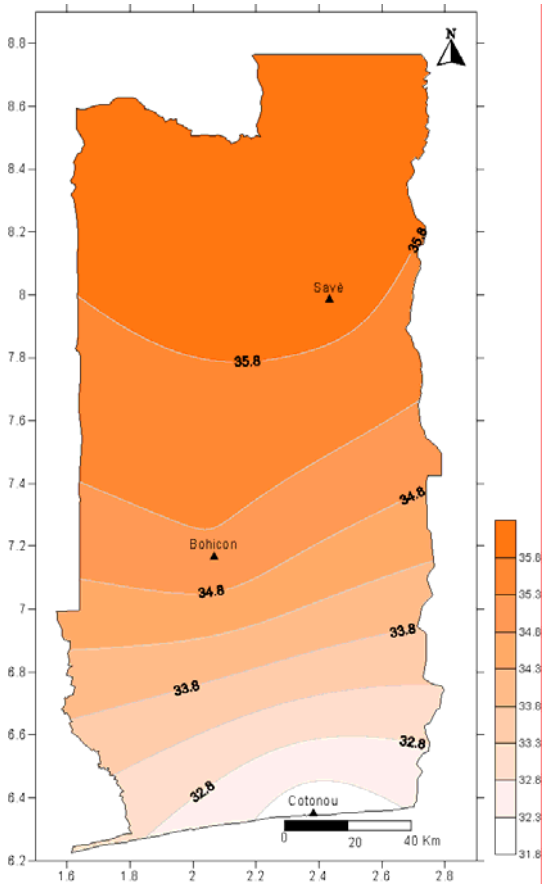
Juin quant à lui reste le mois le plus pluvieux au cours de l’année. En effet, à Cotonou la hauteur de pluies culmine à 300 mm et à 180 mm à Bohicon. Elle chute à 140 mm à Savè et au delà. Globalement, le gradient pluviométrique est nord-sud. En juillet comme en août, ce gradient devient sud-nord. Le mois d’août enregistre 180, 160, 100 et 60 mm de pluies respectivement à Bantè, Savalou, Bohicon et Cotonou. En septembre, dans la frange littorale, le gradient est ouest-est avec 80 mm à Grand-Popo et 120 mm à Sèmè. Le gradient pluviométrique devient sud-nord entre la latitude de Savè et celle de Niaouli pour le même mois avec des hauteurs de pluies culminant à 180 à Savè et 140 mm à Pobè. Le mois d’octobre pour sa part, est marqué, dans le Bénin méridional, par un gradient ouest-est (100 mm à Grand-Popo, 120 mm à Niaouli, et 140 mm à Pobè). Au nord de cette bande, les hauteurs pluviométriques restent uniformément réparties. Les mois de novembre et décembre sont marqués par un gradient de direction nord-sud. Au cours de ces mois, les précipitations deviennent partout faibles. En décembre, Savè enregistre 8 mm et Niaouli 16 mm et les températures sur la normale 1961-1990 sont respectivement de 33et 32 °C (figure 30).



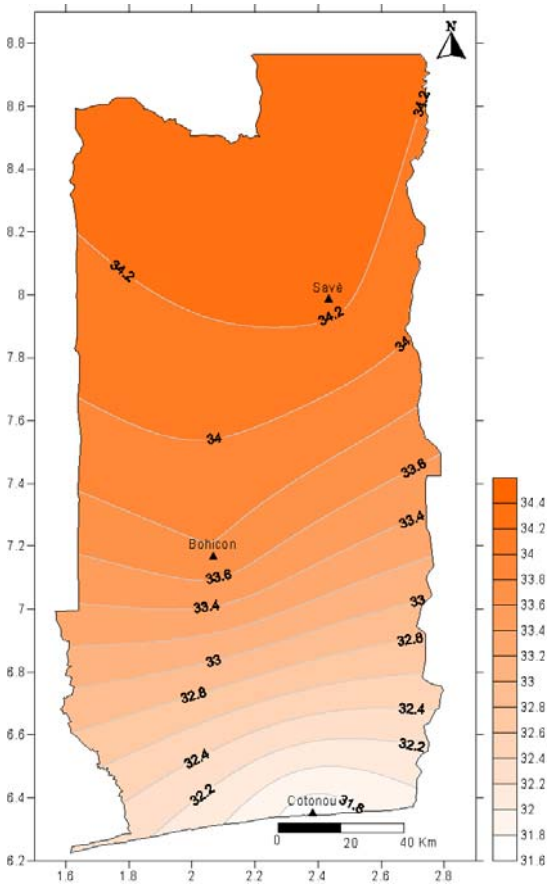
Janvier



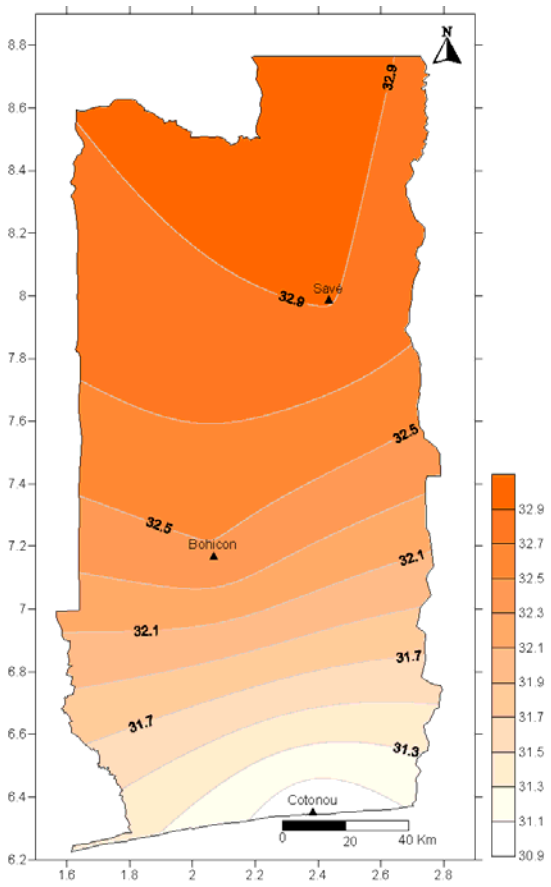
Février



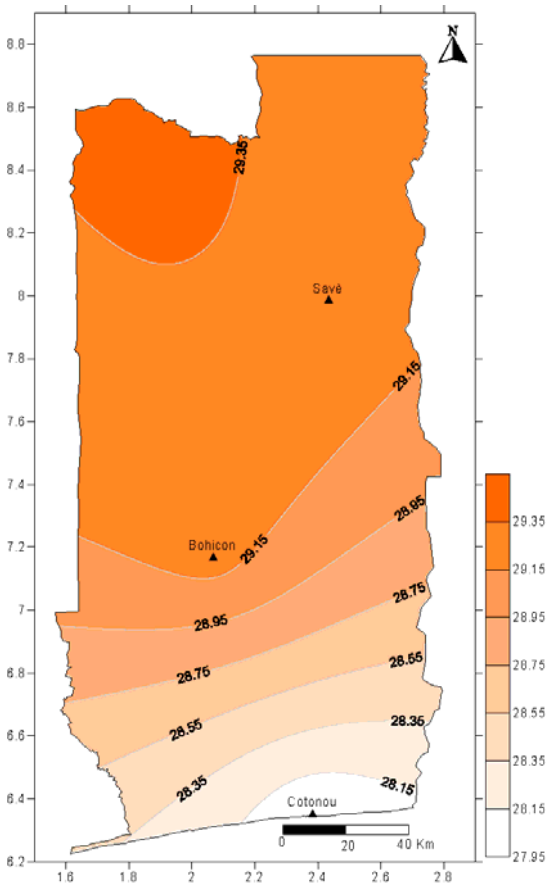
Mars



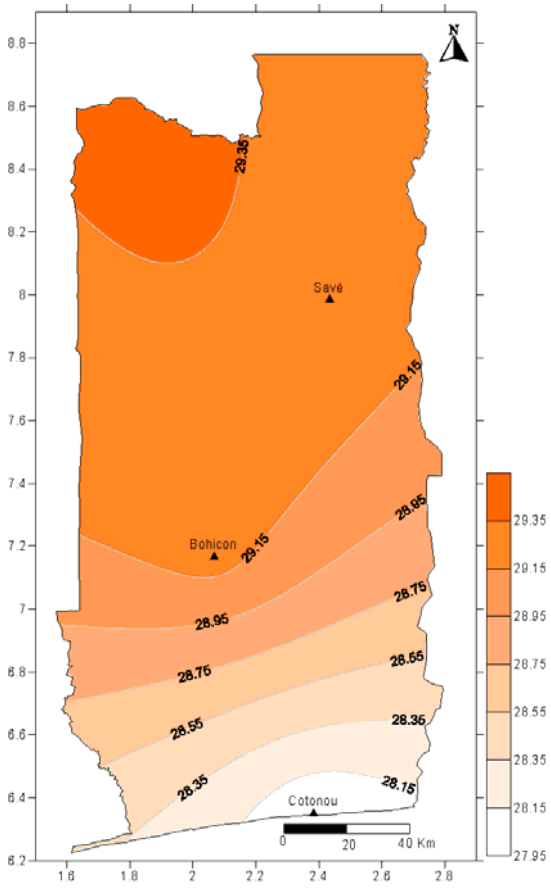
Avril



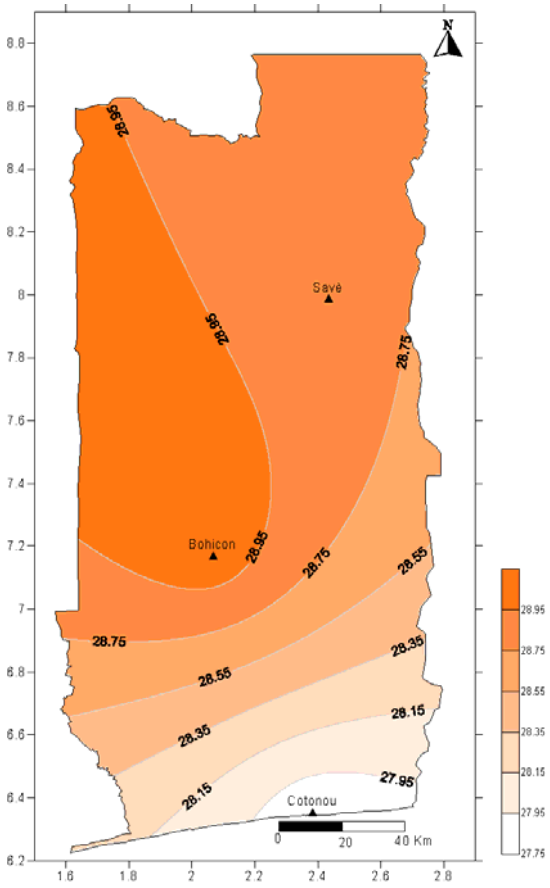
Mai



Juin



Juillet



Août

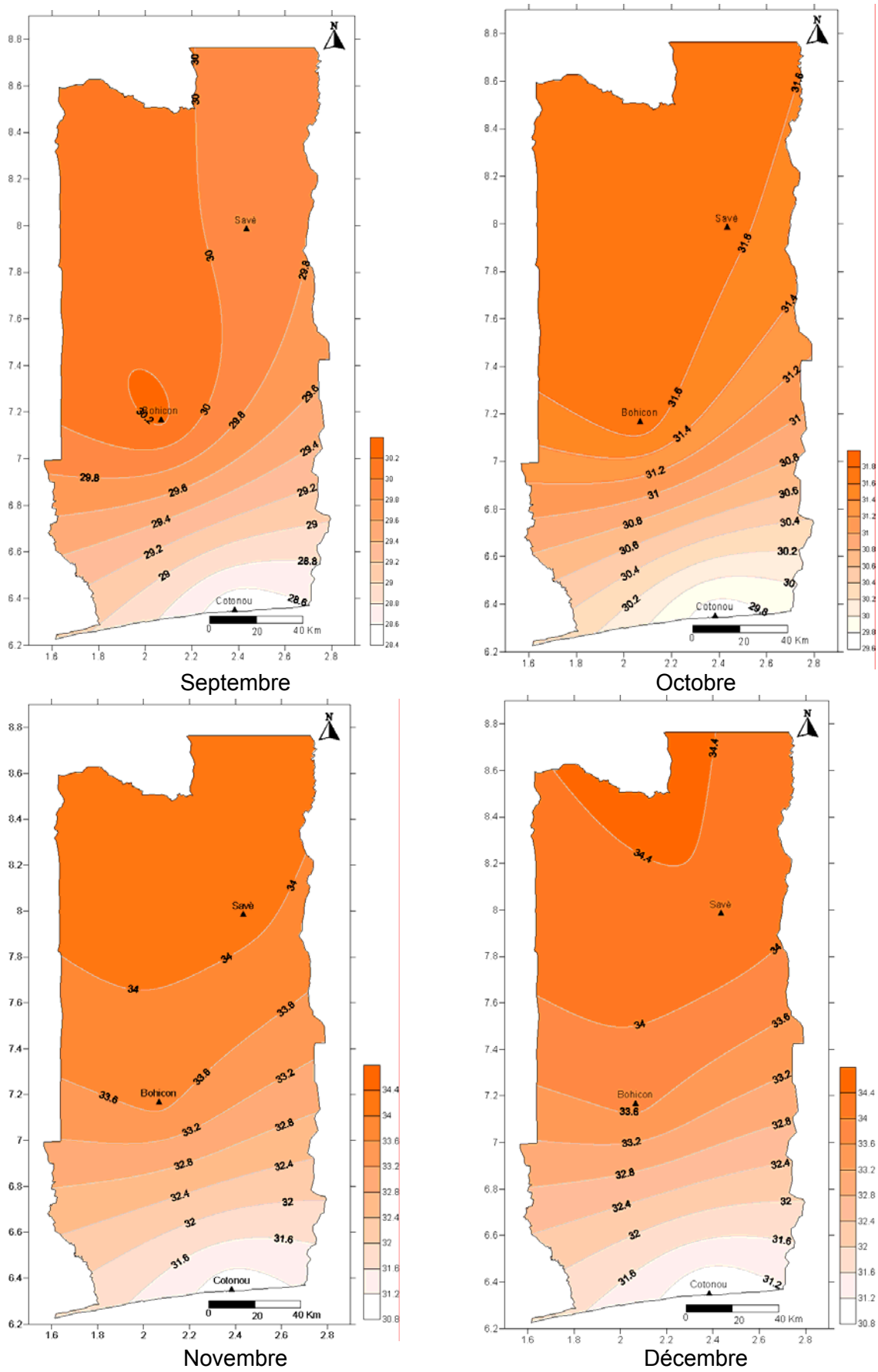


Figure 30 : Températures mensuelles moyennes dans le Bénin méridional et central sur la normale 1961-1990

A la différence des précipitations, le gradient thermique est uniforme sur l'ensemble des deux régions étudiées (figure 30). Ce gradient est de direction sud-nord. Les températures maximales se situent autour de 32 °C et 34 °C respectivement dans le Bénin méridional et central. Les minima pour leur part, oscillent entre 22 et 24 °C dans la région méridionale du Bénin et entre 23 et 26 °C dans le Bénin central. Les mois de juin et juillet restent les moins chauds dans le Bénin méridional et central. Les températures moyennes annuelles sont de 28,15 °C à Cotonou et de 29 °C à Bohicon comme à Savè. Par contre, janvier, février et mars sont les mois les plus chauds de l'année. Par exemple, en février les températures moyennes sont de 32,6 ; 35,6 et 36,8 °C respectivement à Cotonou, Bohicon et Savè.

Au terme de cette analyse sur le statut des précipitations et des températures dans le Bénin méridional et central, il ressort que :

1. **les hauteurs des précipitations décroissent de la frange côtière à la latitude de Savè ;**
2. **les températures par contre, sont de plus en plus élevées au fur et à mesure qu'on quitte la plaine littorale pour la pénéplaine cristalline.**

Au total, la période 1961-1990 a été marquée par une augmentation des températures. Mieux, les précipitations ont partout baissé. Dans un tel contexte, il est nécessaire de chercher à cerner les tendances qui ont caractérisé ces paramètres du climat au cours de la normale étudiée.

6.2 - Tendances pluviométriques et thermométriques

Les tendances des températures maximales et minimales sur la période de référence montrent que les deux régions d'étude sont affectées par un réchauffement (figure 31).

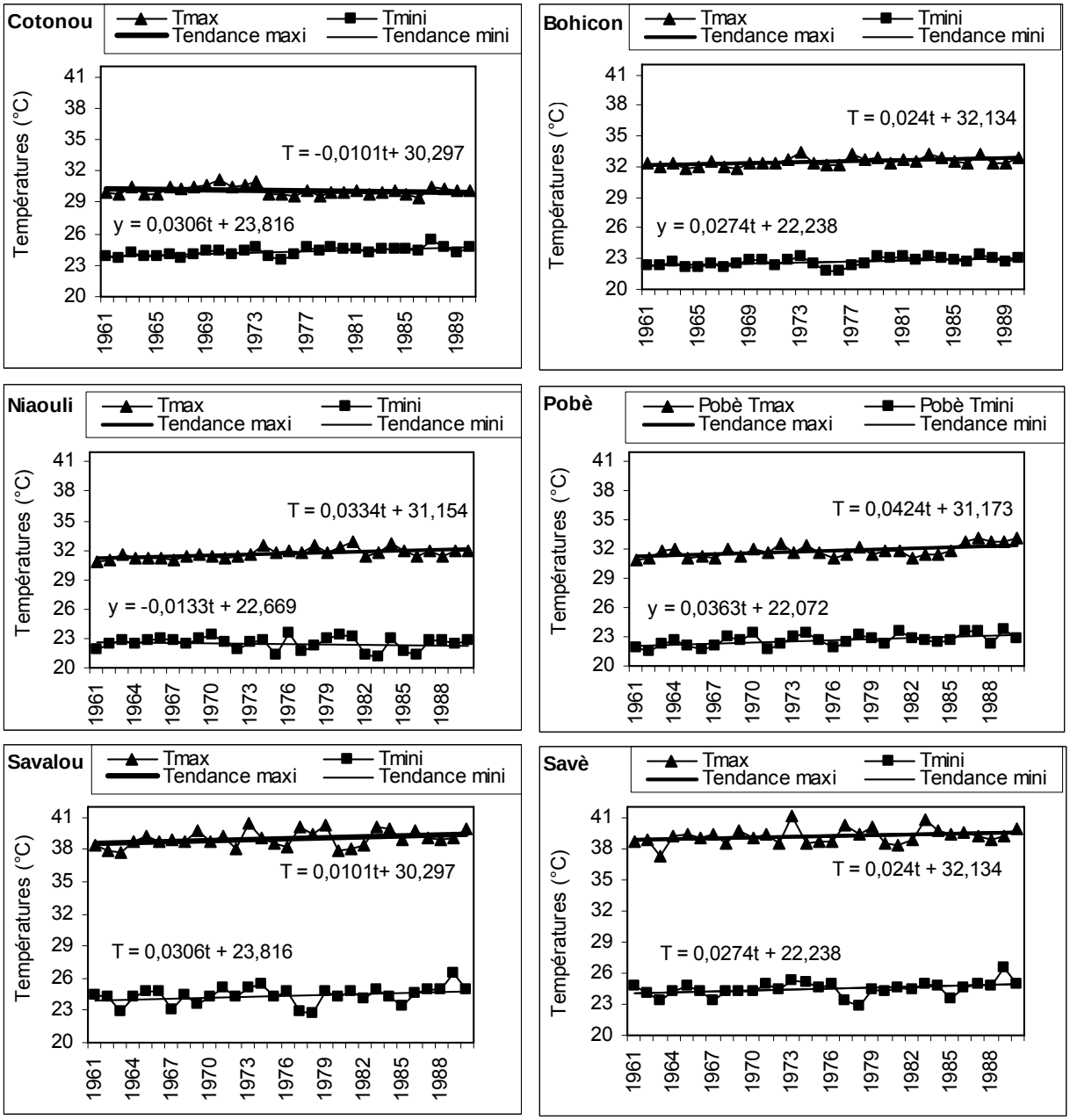


Figure 31 : Tendances thermométriques dans le Bénin méridional et central (1961-1990)

Les températures maximales (figure 31) ont constamment augmenté au cours des trente dernières années. Cette tendance est confirmée par 76 % des enquêtés. La hausse observée est en moyenne de 0,9 °C. Quant aux températures minimales, elles ont également connu une évolution à la hausse. Elles sont en effet, passées de 24 à 25,1 °C à Cotonou, 22 à 22,9 °C à Pobè, 22 à 24,6 °C à Savè entre 1961 et 1990, soit une augmentation globale de plus 1,5 °C au cours de la période.

Cette augmentation des températures dans les deux régions d'étude est associée à une péjoration pluviométrique comme l'indiquent les figures 32.1 et 32.2.

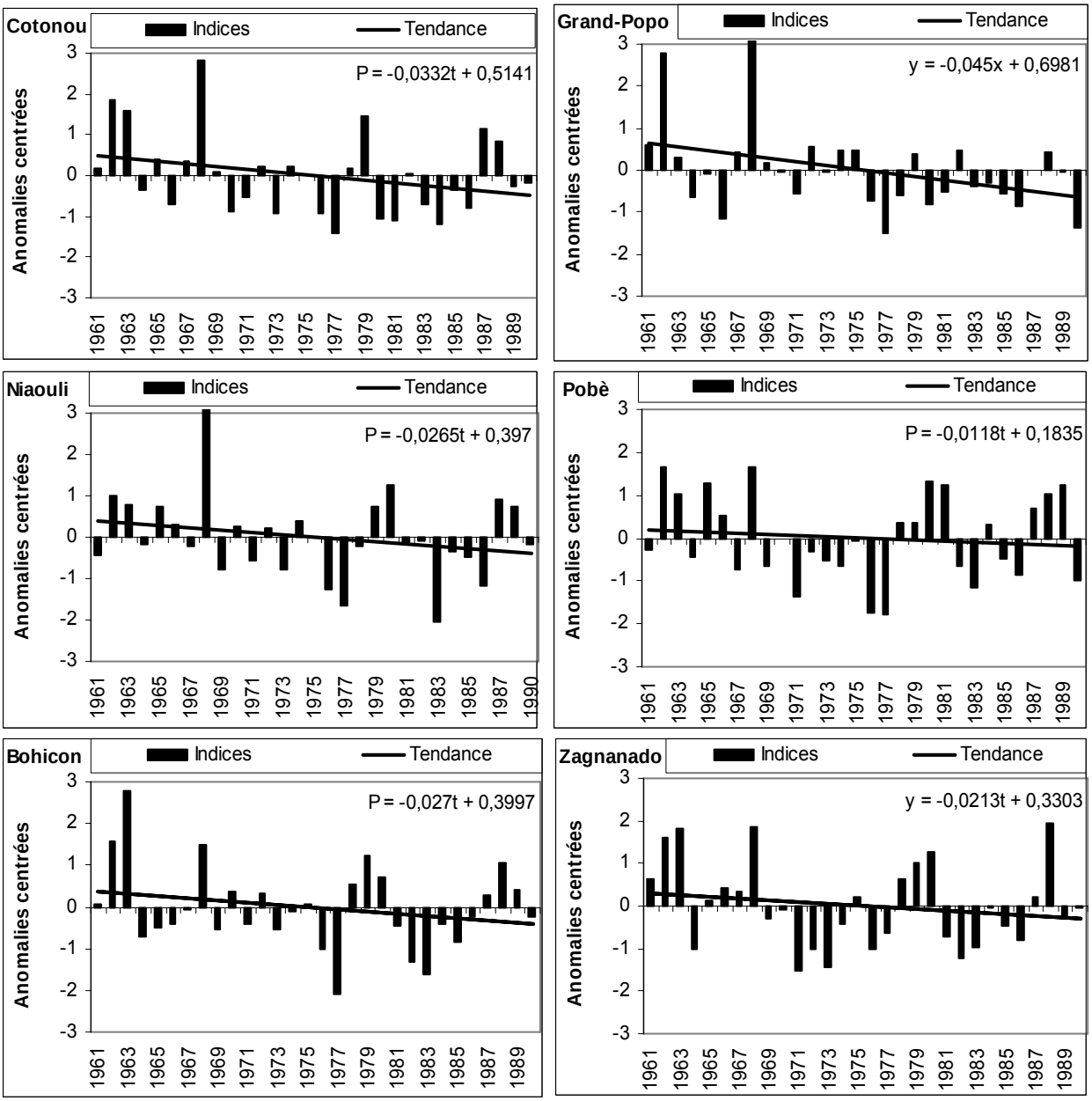


Figure 32.1 : Tendances pluviométriques dans le Bénin méridional

Une tendance à la baisse des hauteurs pluviométriques annuelles (figure 32.1) marque le Bénin méridional. Cette péjoration pluviométrique est plus accentuée dans le Bénin central (figure 32.2).

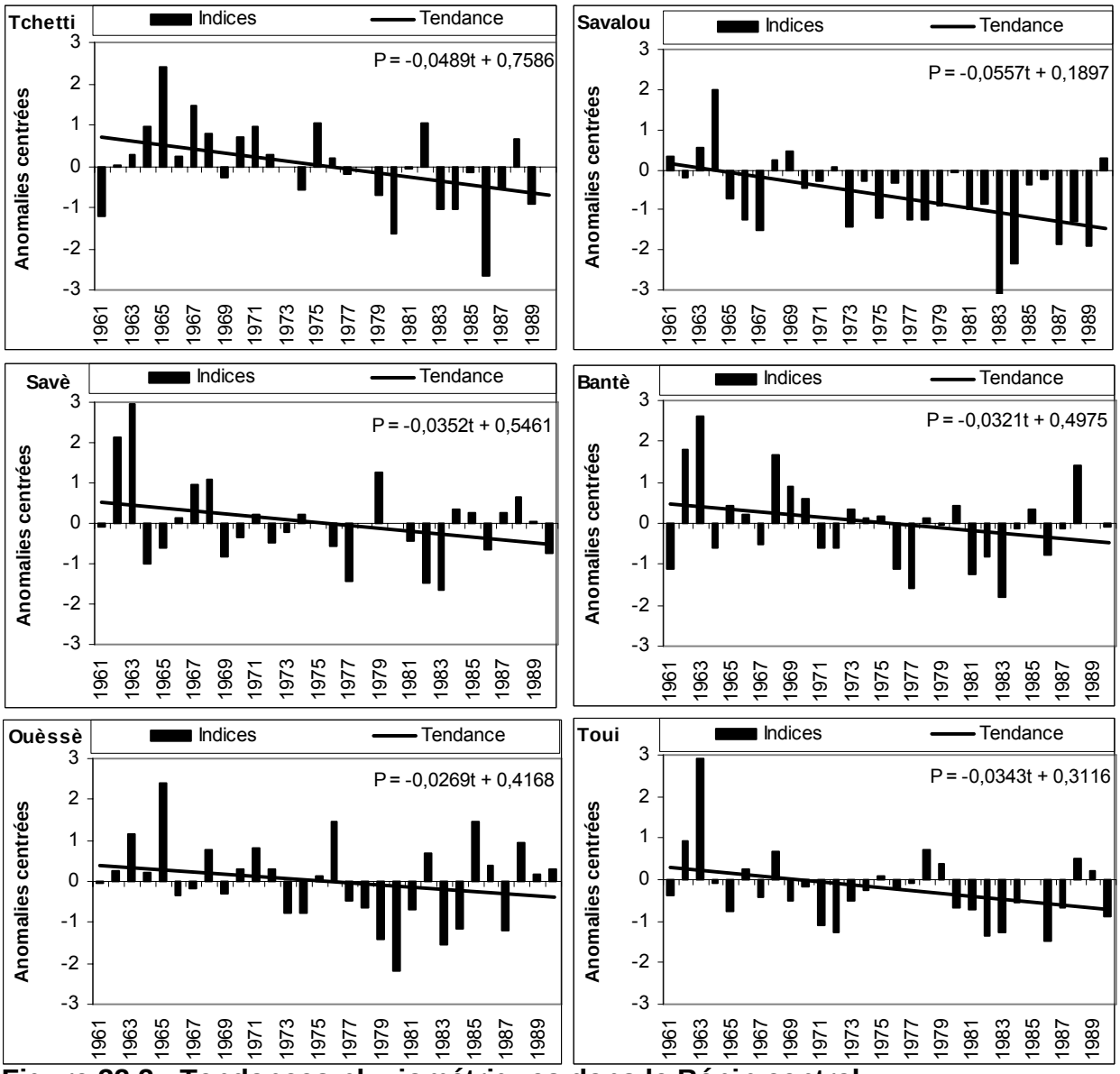


Figure 32.2 : Tendances pluviométriques dans le Bénin central

L'évolution des indices pluviométriques est fortement contrastée dans cette région du Bénin (figure 32.2). L'analyse de ces graphiques permet de réaliser globalement que la normale 1961-1990 a été marquée par une récurrence d'années sèches telles 1977, 1980, 1983, 1987, 1986, 1989, etc.

Les figures 32.1 et 32.2 révèlent qu'après les fortes précipitations des années 1968, la tendance à la baisse caractérise désormais le champ pluviométrique du Bénin méridional et central. En outre, les conditions climatiques sont caractérisées par une très forte irrégularité et une très mauvaise répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace (Houndénou, 1999). En dehors de Sakété qui a connu une évolution singulière en raison de sa relative stabilité, la tendance est à la baisse pluviométrique au niveau des autres stations.

Les impacts du réchauffement et de cette péjoration pluviométrique sont fondamentalement négatifs sur le plan agricole. Selon 62 % des agriculteurs enquêtés et selon Ogouwalé (2004), la baisse des hauteurs des précipitations, relativement forte, impose des contraintes d'ordre agronomique et induit des changements dans les techniques endogènes d'utilisation des terres.

Au total, l'analyse des figures 32.1 et 32.2, confirme notamment la diminution de totaux annuels des précipitations qui avait déjà été mise en évidence par Afouda (1990), Houndénou (1999) et Ogouwalé (2004). Dans les deux régions :

1. **la normale (1961-1990) est marquée par une tendance à la hausse des températures et qui est de l'ordre de 0,9 °C ;**
2. **après les séquences significativement humides des années 1960, ce sont des séquences significativement sèches qui ont marqué et caractérisé les facettes climatiques du Bénin méridional et central à partir des années 1970. Les baisses des précipitations sont estimées, par an, à 2,84 % dans le Bénin méridional et 3,5 % dans le Bénin central.**

La question est de savoir si cette nouvelle donne climatique n'a pas modifié les périodes d'humidité et en conséquence perturbé le cycle végétatif et ébranlé la capacité d'adaptation des cultures aux contraintes environnementales, notamment climatiques.

6.3 - Analyse des bilans hydriques dans les deux régions d'étude

Le bilan hydrique permet de statuer sur l'évolution et les particularités des saisons agricoles. Pour ce faire, l'analyse est faite en en considérant les années d'extrêmes pluviométriques (1968 et 1977) et une année de pluviométrie moyenne (1990), qui ont caractérisé les climats actuels du Bénin méridional et central au cours des décennies récentes.

La figure 33 traduit l'évolution des périodes humides et sèches en fonction des statuts des bilans hydriques dans le Bénin méridional et central.

.

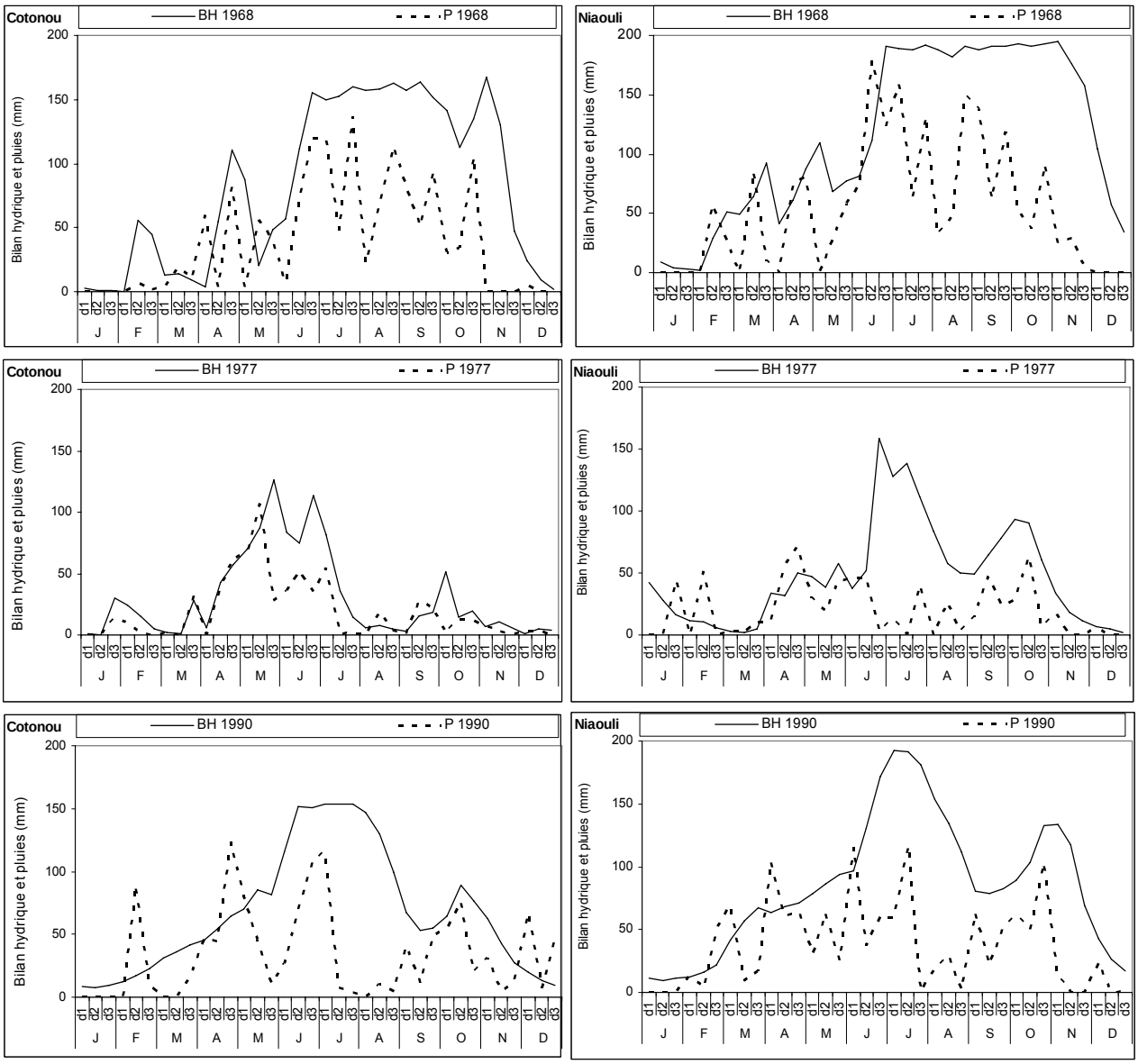


Figure 33 : Bilans hydriques en année moyenne (1990) et d'extrêmes pluviométriques (1968 et 1977) dans le Bénin méridional et central

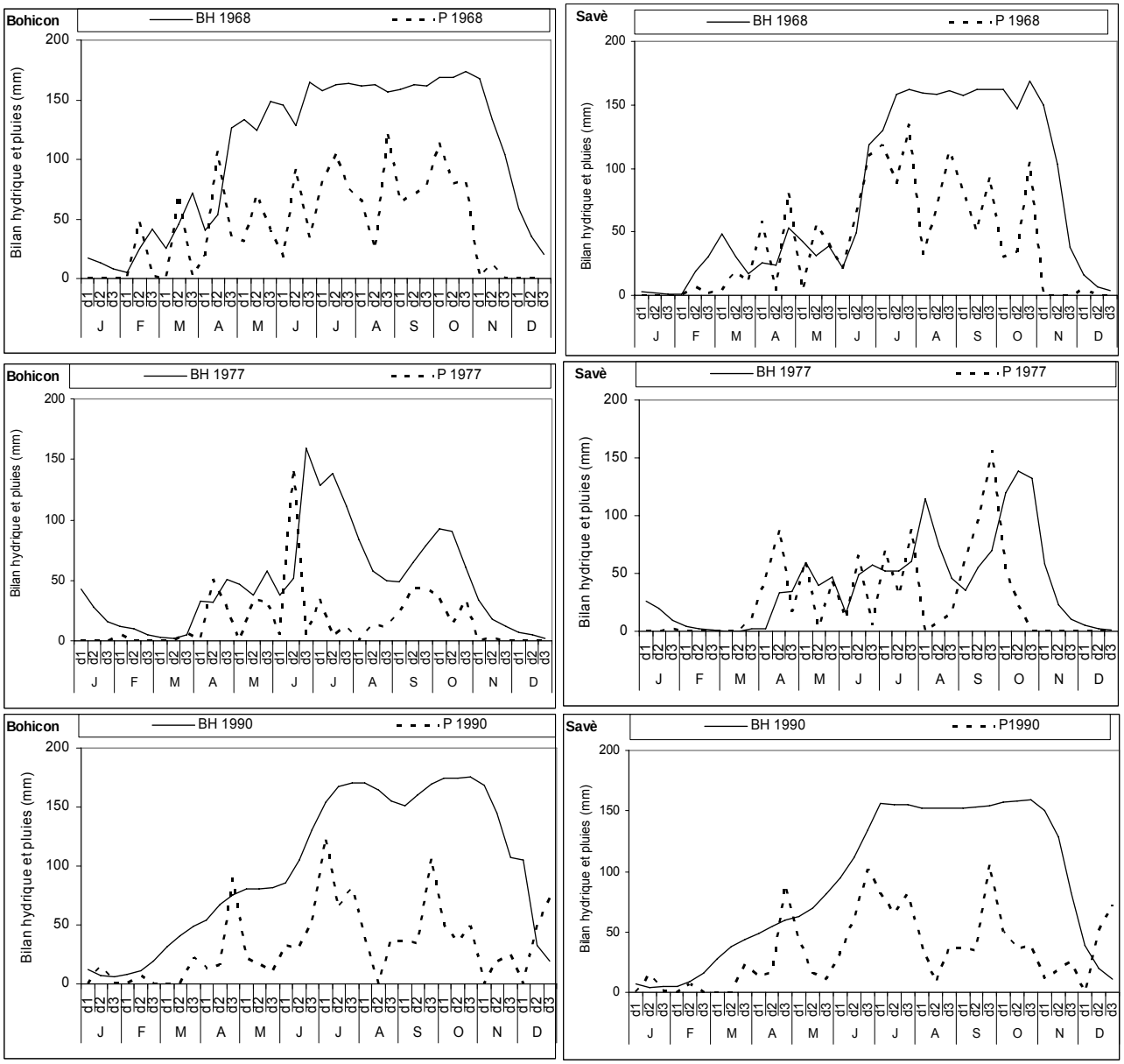


Figure 33 (suite) : Bilans hydriques en année moyenne (1990) et d'extrêmes pluviométriques (1968 et 1977) dans le Bénin méridional et central

L'analyse de la figure 33 permet de réaliser que dans le secteur côtier, la saison agricolement humide a court de la deuxième décade de mai jusqu'en décembre. Le reste de l'année a été sec. En 1977, la période humide a duré moins de quatre mois (avril à juillet). En revanche, l'année 1990 a enregistré environ huit mois de forte humidité.

A Niaouli en 1968, le schéma du régime d'humidité a duré plus de huit mois. Mais l'année 1977 a connu trois mois humides de moins que 1968. En 1990, cette période d'humidité a augmenté pour atteindre sept mois francs).

A Bohicon, la période idéale pour le développement des cultures va de la deuxième décade d'avril jusqu'au-delà de la première décade de décembre de l'année pluviométriquement excédentaire de 1968. Mais en 1977, la période humide a été brève (environ quatre mois) et caractérisée par une faible intensité. Par contre, la situation enregistrée en 1990 est comparable à celle de 1968 lorsqu'on considère la durée de la saison favorable au développement des cultures.

Au nord de Bohicon, en pleine région de transition climatique, l'année 1968 a connu six mois franchement humides avec un maximum d'environ 150 mm au cœur de la saison agricole. Par contre, l'année 1977 a été caractérisée par un déficit hydrique ayant occasionnée une baisse importante de rendements des cultures selon 65 % des populations paysannes enquêtées.

L'analyse et la caractérisation des bilans hydriques en année pluviométriquement exceptionnelle et en année moyenne montrent que :

1. **le début et la fin des saisons humides varient dans le temps et dans l'espace ;**
2. **le rythme et l'intensité d'humidité changent d'une année à l'autre.**

L'étude du bilan hydrique montre des variations temporelles dans la longueur des périodes d'humidité. Ces variations, selon Parcevaux et *al*. (1990), sont des facteurs limitants de la production agricole.

Dans les deux régions, le paysan reste confronté aux faux départs pluviométriques de la saison culturale qui sont préjudiciables au semis, à la mise en place du système végétatif des cultures. Pourtant, les bilans agricoles, en dehors de quelques années spécifiques telles que 1977 et 1983, n'ont pas été aussi catastrophiques. Ceci serait dû au fait que les différents cultivars ont mis en jeu leur capacité de résilience ou d'adaptation pour surmonter les différents stress hydriques qu'engendrent la baisse et les changements de période d'humidité alors que le calendrier est resté relativement figé.

La question qu'on peut se poser est de savoir si les cultures pratiquées dans le Bénin méridional et central n'ont pas déjà épuisé leur différente capacité d'adaptation. Et, il est à craindre qu'à l'avenir et surtout dans le contexte d'un changement climatique, ces cultures ne disposent que d'une faible capacité de résilience et d'adaptation optimum pour s'auto ajuster aux stress agroclimatiques qu'engendreraient les changements climatiques des cinquante années à venir et dont les signes annonciateurs sont déjà perceptibles selon les populations.

6.4 - Perceptions socio-anthropologiques de l'évolution des climats actuels dans le Bénin méridional et central

Les communautés paysannes entretiennent des liens étroits avec leur milieu environnant. Les dictons, proverbes et pratiques sont révélateurs et signes de ces liens millénaires. En effet, les conditions climatiques déterminent celles de l'agriculture, principale activité des populations du Bénin méridional et central (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Ogouwalé, 2004). Sans toutefois vouloir aller à un déterminisme climatique, tout montre que certaines pratiques culturales sont intimement liées à un contexte climatique particulier. Le tableau XV présente quelques exemples de faits témoins de l'évolution des climats selon les populations paysannes.

Tableau XV : Synthèse sur les perceptions paysannes de l'évolution des climats

Bouleversements climatiques majeurs	**Manifestations/conséquences**
Démarrage tardif et/ou mauvaise répartition des pluies	74 % des enquêtés indiquent qu'il y a un changement dans le déroulement de la saison agricole, qui induit la non opérationalisation du calendrier agricole paysan.
Chevauchement des deux saisons de pluies et réduction de la durée des périodes d'humidité	Perturbation du calendrier agricole et pertes des récoltes, telles sont les implications de ce chevauchement des saisons pour 65 % des paysans interrogés.
Diminution du nombre de jours de précipitations	Cela se traduit selon 76 % des populations enquêtées par une concentration des activités culturales sur une plus courte période.
Amenuisement des eaux pluviales et sécheresse des terres agricoles répétées (1977, 1982, 1983, 1990)	Ce fait climatique perturbe le déroulement normal des activités agricoles et se traduit par une baisse chronique des rendements des cultures pour 60% des populations. En outre, sécheresse des terres, sécheresse pluviométrique prolongée, etc. sont autant d'indicateurs de l'évolution du climat contemporain.
Faiblesse d'écoulement ou assèchement rapide de certains cours d'eau	Pour 61 % des personnes enquêtées, ce phénomène résulte de l'impossibilité manifeste de profiter de l'humidité que génèrent les crues pour développer des cultures maraîchères et de contre saison.
Rareté ou disparition assez rapide des périodes de crues	Certains cours d'eau par le passé pendant certaine période de l'année du fait de l'ampleur des crues coupaient les pistes en deux et empêchaient l'accès aux champs. Ces genres de crues ne surviennent plus aujourd'hui selon 68 % des personnes interrogées.
Chaleur de plus en intense et accablante	Les temps sont de plus en plus chauds selon 76 % des enquêtés. Le flétrissement des plantes cultivées dans les champs est exhibé entre autres par les paysans comme la conséquence d'une forte et persistante chaleur au cours de l'année.

Source : Ogouwalé (2001 et 2004) et résultats d'enquêtes, mars-avril 2005

Les communautés rurales du Bénin méridional et central perçoivent les effets des bouleversements pluviométriques et thermiques. En effet, les déficits et irrégularités pluviométriques constituent des facteurs de perturbation des travaux champêtres et sont inducteurs de la baisse du rendement des cultures dans les régions étudiées.

Les pluies tardives et les sécheresses (*oda* en Shabè et Idaatcha, *o*sá en Itcha, *okundo* en Mahi, *akudo* en fon, *sidiku* en Adja, etc.), d'une façon générale, interviennent très souvent et constituent une menace pour la profession agricole. La tradition dans les deux régions d'étude abonde en adages et chansons (tableau XVI) qui reflètent l'importance que le temps et le climat revêtent pour les activités agricoles. La mémoire collective des communautés paysannes en pays Nagot, Fon, Adja, etc. témoins d'une telle importance, exprime clairement cette relation en faisant observer que c'est l'année et non pas le champ qui porte les fruits ou que c'est le ciel plus que la terre qui est le déterminisme d'une bonne ou mauvaise récolte.

Tableau XVI : Synthèse des adages et chansons gardés dans la mémoire collective, témoins des perceptions de l'évolution du climat

Adages	**En pays nagot (nagot de Kétou, Savè et de igbo Idaatcha)**
	[lásiKó ójò láwá aman Kpánon waó fulá]. [C'est la période des pluies mais le toit des maisons est encore sale] Cela signifie que la sécheresse perdure alors qu'en principe et traditionnellement c'est la période des pluies. [áíró ójò lójó obirin ndèdo] [C'est parce qu'il ne pleut pas que les femmes ont commencé par forer des puits] Dans cette société, le forage des puits est une activité exclusive des hommes. Mais avec les dures et fortes péjorations pluviométriques, les femmes sont obligées de participer également au forage des puits, les hommes étant débordés.
Chanson	[uKu ńcó ahun ńcó] [La sécheresse n'a qu'à s'éloigner au même titre que la mort] En d'autres termes, la sécheresse est une calamité au même titre que la mort.
Adage	**En pays nagot (Itcha et Ifè)**
	[kpáKí tén lóKó ígbádó cá Kpácón]. [Le stock de manioc est terminé alors que le maïs n'a fait que sortir les fleurs] Cette boutade rappelle les crises alimentaires qui succèdent aux années de forts déficits pluviométriques. Pendant ces moments, alors que le maïs ne peut pas entrer dans sa phase d'épiaison du fait d'un arrêt ou d'une insuffisance de pluies, le stock de manioc, principal recours alimentaire, est épuisé.
chansons	[osá lódé ni fęró dó ré ólóKó] [Les bas-fonds sont devenus l'ami du paysan à cause de la sécheresse] Cela signifie que ce sont les sécheresses répétées et plus accusées qui sont les facteurs explicatifs de l'aménagement récent des bas-fonds. [tęlę Baaba ánúkiń lóní amán lóndoń ní anú oúgba lóní] [Du temps de nos parents, la rivière BAABA avait une seule bouche mais depuis quelques années elle en a jusqu'à 200] Du temps des parents, l'unique puits creusé dans les périmètres de la rivière Baaba permettait aux populations de s'approvisionner en eau. Mais depuis les décennies 80, les populations démultiplient les puits dans le périmètre de la rivière Baaba et en année de sécheresse prolongée, chaque clan ou famille est obligé de creusé son propre puits et d'en assurer la surveillance pour éviter que d'autres ne viennent puiser la petite quantité d'eau disponible. Ce phénomène est courant depuis les dernières décennies du deuxième millénaire marquées, qui été marquées par des sécheresses prolongées.

Adage	**En ‘’pays’’ Mahi**
	[Eóxólu nú oKúndúdó] Les sécheresses restent et demeurent un phénomène stressant pour les populations paysannes.
chanson	[éjí májá tówágba ócó ówóó álúmé mé wé tógbá mé nón món áwán] La sécheresse est le facteur de l’aménagement des bas-fonds.
Adages	**En milieu Fon**
	[Mandou-xwé] Cette expression populaire indique ou rappelle les années, ou saisons au cours desquelles le légume-feuille devient l’alimentation de base, et cela par dérision, en l'absence du maïs et du manioc, aliments de base en pays fon. [Ado ton] Ce qui signifie que la famine s'installe. Pendant cette période, l’expression [he hon numin] qui veut dire ‘’rabats-moi ma porte, de peur que quelqu'un vienne partager mon repas avec moi" est dans toutes les lèvres. Dans un tel contexte les liens, et l'hospitalité légendaires cèdent dans un système socio-culturel en déroute du fait des crises climatiques qui débouchent sur des crises alimentaires. [Edo nu Akaba do ji gbe jija] La persistance de jours sans pluie alors que la fin de la saison culturale est proche inquiète les populations et s’en remettent au Roi Akaba en l’informant de la situation en ces termes : la pluie ne veut pas tomber. Et pour tout propos consolateur et d’invitation de son peuple à l’espérance, le Roi réponds [E non kaka o dja djin enawadja] Ce qui veut dire que tôt ou tard, il pleuvra.
Adages	**En ‘’pays’’ Adja et Sahuè**
	[Noezo hogbeo dodume yiclan yino] Cela signifie que lorsque le feu gagne la forêt l’animal va vers le trou. C’est une analogie pour exprimer et expliquer la mise en valeur de certains écosystèmes particuliers en pays adja depuis les trente dernières années du vingtième siècle. En effet, en raison des péjorations pluviométriques contemporaines les populations paysannes Adja ont investi les zones basses pour développer certaines cultures vivrières. [Novi magnon]. Ce que j’ai pour mes enfants et moi ne suffira pas pour mes frères qui me rendront visite. Cette boutade rappelle les crises alimentaires consécutives aux sécheresses des six dernières décennies. Pendant ces moments, l’hospitalité légendaire manifestée à l’égard de tout individu, et qui se traduit par l’invitation à prendre un repas à toute personne invitée ou non disparaît. Par ces temps, certains au lieu de prendre leur repas dans la cour comme cela se fait habituellement rentrent dans le salon voire dans la chambre à coucher afin d’éviter de partager le peu de repas avec les autres.

Sources : Ogouwalé (2001) et résultats d’enquêtes de terrain (mars et novembre 2005)

Le tableau XVI récapitule les adages et chansons recueillies sur le terrain lors des investigations en milieu réel. Les perceptions socio-anthropologiques montrent véritablement que les deux régions d'étude ont été marquées par une diminution des eaux pluviales au cours des cinquante dernières années. Elle s'est traduite par une irrégularité pluviométrique associée à une mauvaise répartition spatio-temporelle des précipitations et une réduction du nombre de jours pluvieux ont affirmé 76 % des personnes sexagénaires interrogées. Pour 72 % des populations paysannes, une telle situation est le facteur générateur d'une perturbation des cycles culturaux, du calendrier agricole traditionnel, et de la caducité des normes culturales empiriques en vigueur (Ogouwalé, 2001 et 2004).

La sécheresse, en fonction de son ampleur et de ses impacts négatifs sur les activités agricoles, constitue un phénomène stressant pour les populations du Bénin méridional et central qui l'ont intégré dans leur mémoire collective. Les données collectées révèlent le pessimisme paysan, devant les caprices de la sécheresse qui altère le grain, ou flétrit les racines et les tubercules.

En somme, les populations du Bénin méridional et central, malgré leurs conceptions empiriques des événements climatiques évoquent certains faits contemporains, témoins de l'évolution du climat. Les modifications du système climatique se manifestent selon l'opinion populaire (82 %) par un réchauffement très sensible et la sécheresse sous toutes ses formes. La référence à l'époque de leur installation dans leur localité respective, permet aux populations, notamment aux intellectuels communautaires, d'affirmer que les pluies diminuent progressivement malgré quelques années d'excès pluviométriques comme 1968.

La connaissance des espèces culturales dans une région, des pratiques culturales, des dates des travaux agricoles, etc., peut permettre de comprendre les conditions climatiques locales. Mais, les perceptions populaires ne s'attardant plus souvent que sur les événements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, etc.) moins que sur les conditions normales, sont utilement complétées par une analyse comparative des données de deux normales climatologiques à savoir 1941-1970 et 1971-2000.

CHAPITRE SEPTIEME : INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACTUELS DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL

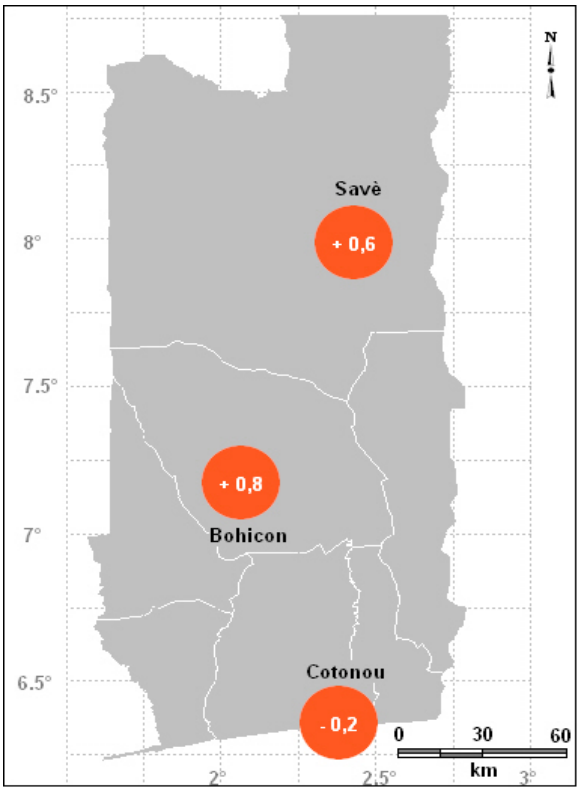
Les changements climatiques peuvent être considérés comme une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus). De manière simple, il faut entendre ici par changement climatique la différence entre deux états comparables du climat, tels que les états d'un mois sur deux normales distinctes.

Dans ce chapitre qui porte sur les indicateurs thermométriques et pluviométriques des changements climatiques dans le Bénin méridional et central, le premier trimestre ou trimestre 1 réunit les mois de décembre, janvier et février. Le deuxième trimestre ou trimestre 2 prend en compte les mois de mars, avril et mai et le troisième trimestre ou trimestre 3, juin, juillet et août. Le quatrième trimestre rassemble septembre, octobre et novembre. Le premier semestre ou semestre 1 correspond au premiers six mois de l'année et le second ou semestre 2 désigne les six autres mois de l'année. Par ailleurs, il est utilisé le vocable normale 1 pour désigner la période climatique allant de 1941 à 1970 et normale 2 pour la trentenaire 1971-2000.

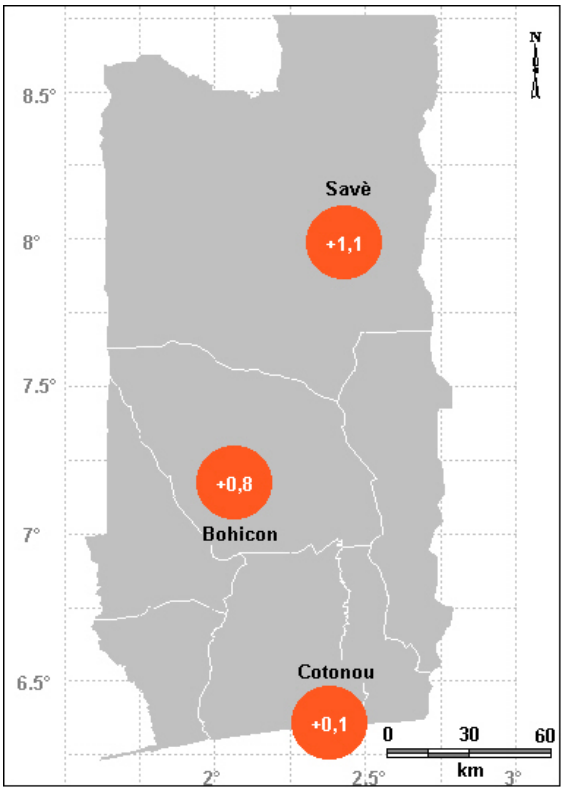
Ces différentes échelles, fondées sur les périodes et saisons agricoles, ont été retenues pour saisir les moindres modifications intervenues dans les facettes climatiques des deux régions d'étude.

7.1 - Indicateurs thermométriques des changements climatiques dans les deux régions

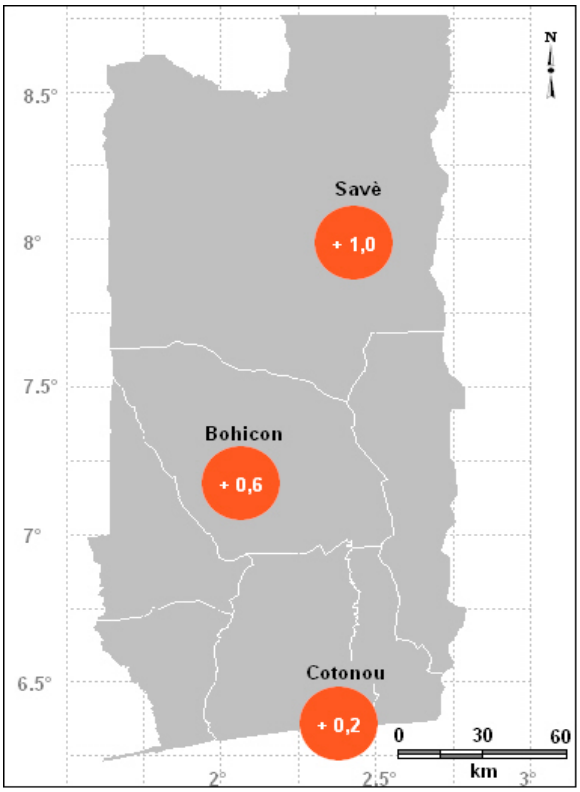
Les indicateurs calculés (figure 34) sont témoins de l'évolution des températures maximales dans le Bénin méridional et central entre les deux normales. Ces indicateurs ne sont rien d'autre que l'écart entre les valeurs moyennes de températures sur la trentenaire 1971-2000 et celles de 1941-1970.



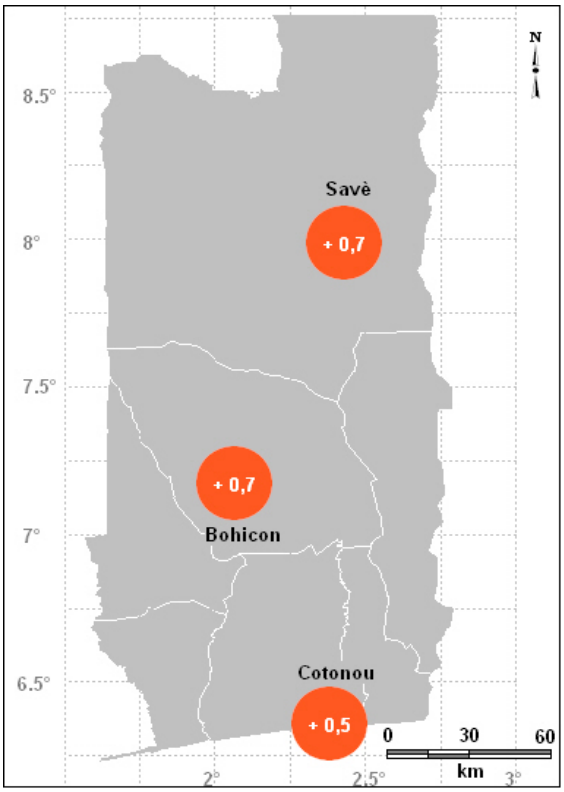
Janvier



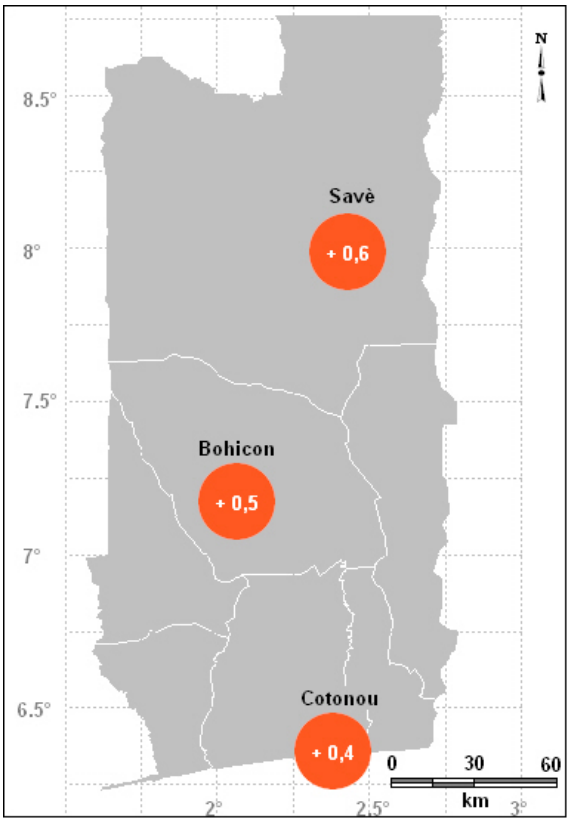
Février



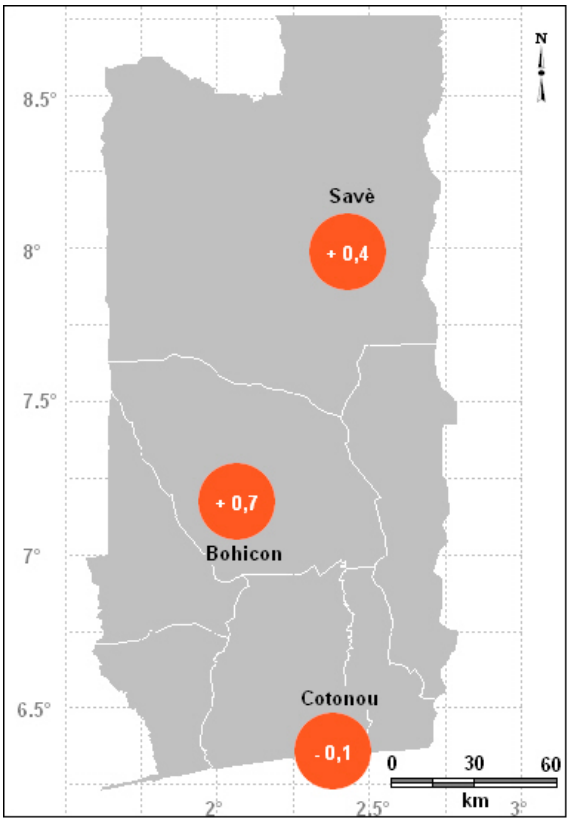
Mars



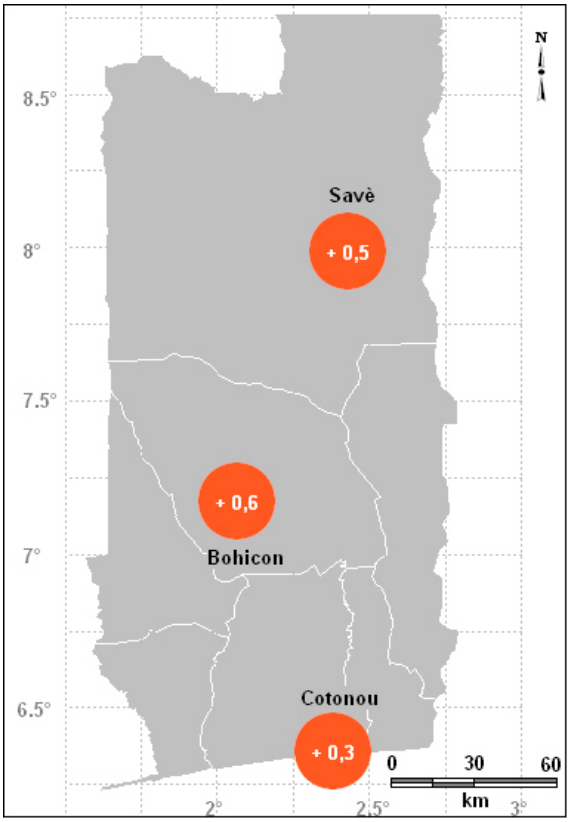
Avril



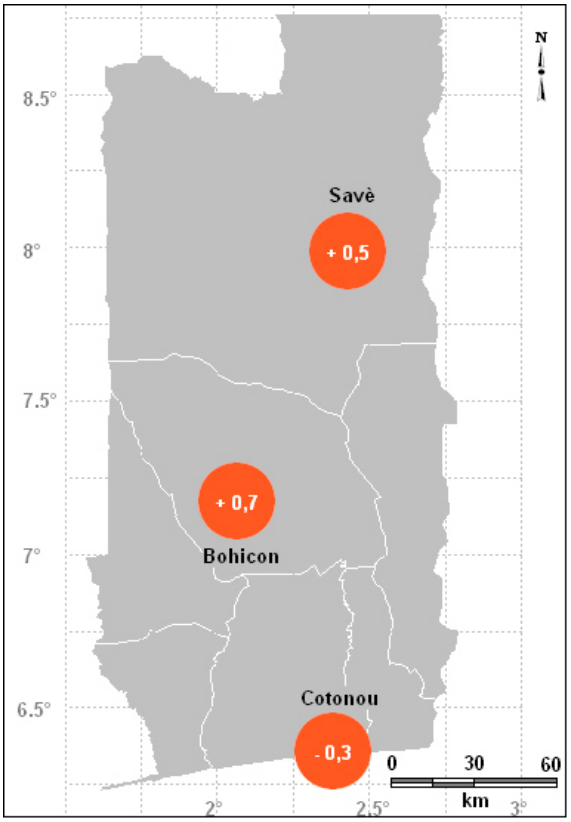
Mai



Juin



Juillet



Août

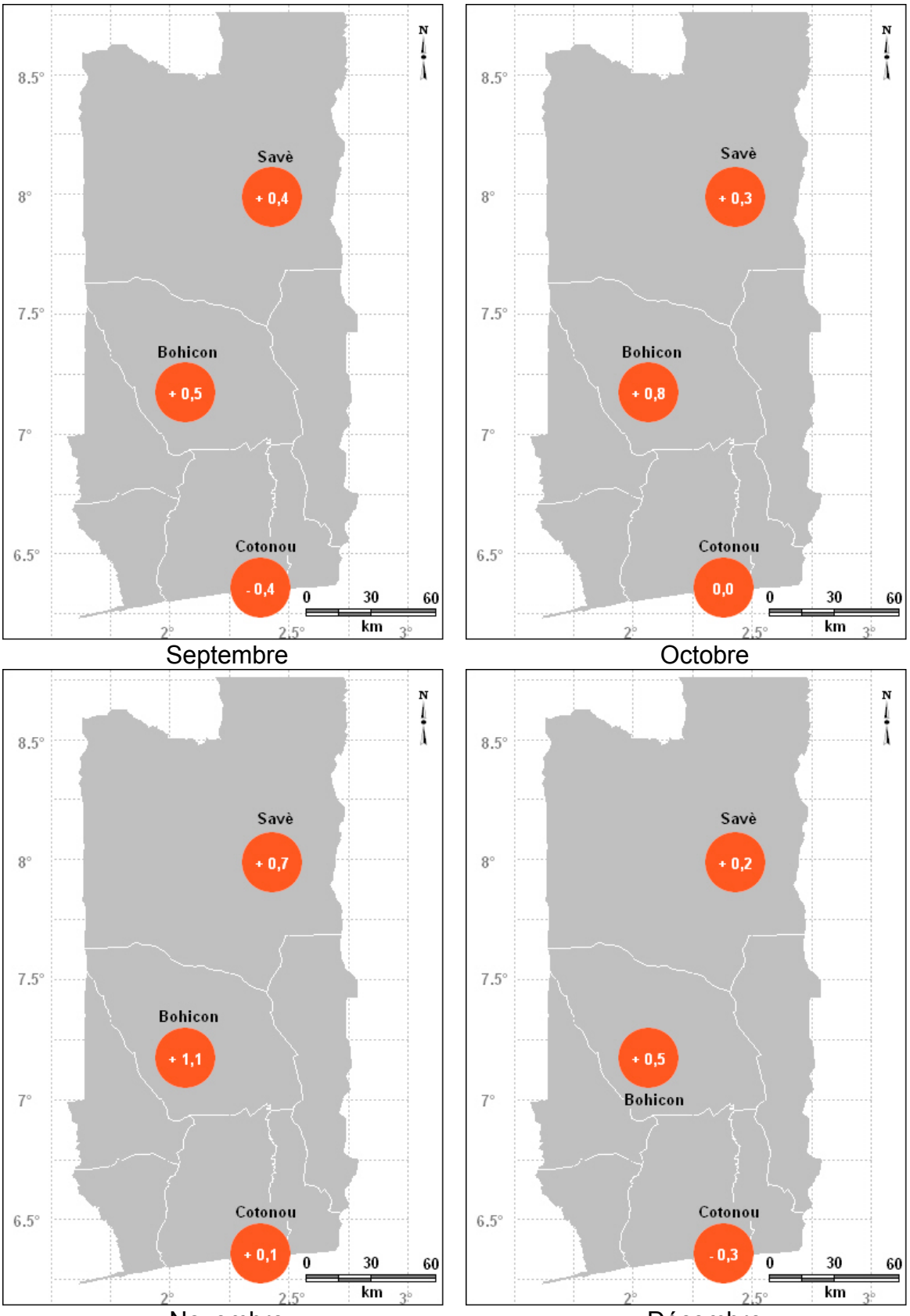
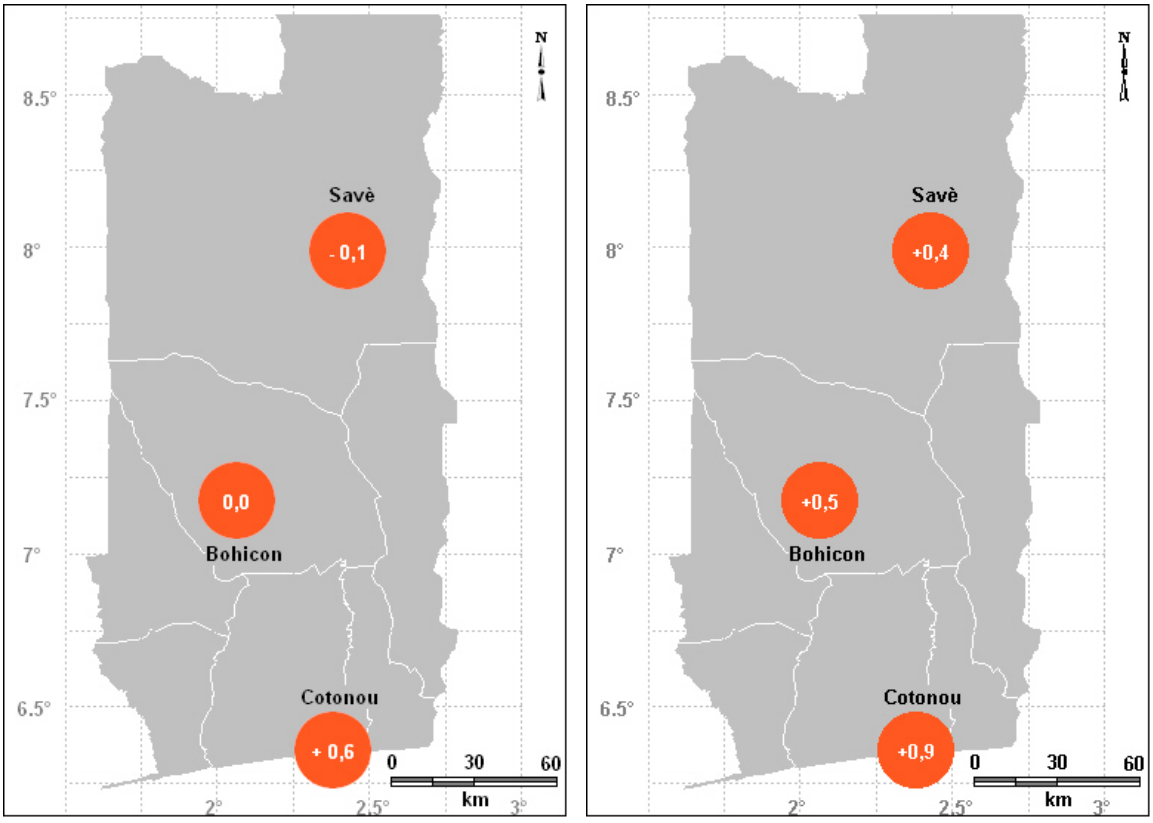


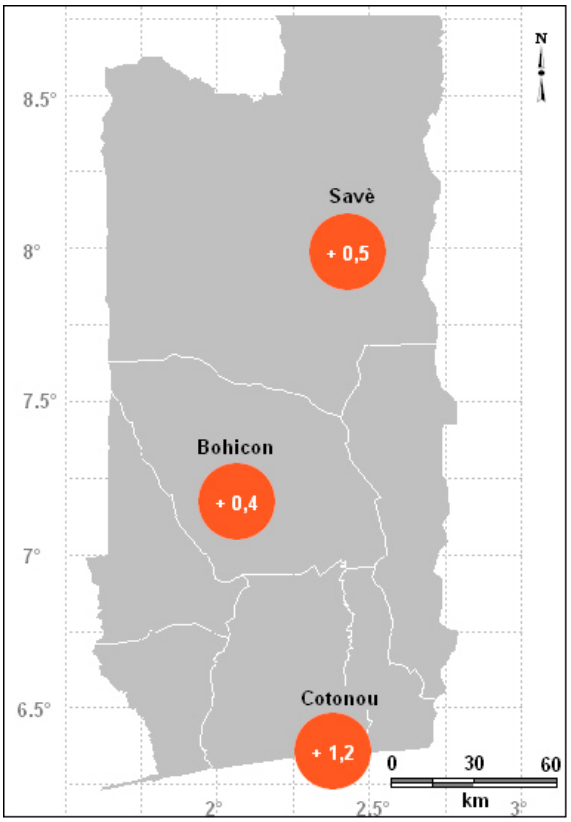
Figure 34 : Ecart mensuel des températures maximales entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

La figure 34 montre que les températures maximales ont partout augmenté en janvier, février, mars et avril entre les deux périodes. Le Bénin central est le plus affecté si l'on considère seulement ces mois avec une augmentation des températures maximales dépassant 1,1 °C en février et mars à Savè. Dans le Bénin méridional, les températures maximales baissent à Cotonou en janvier mais elles enregistrent une hausse significative en avril. A Bohicon, l'augmentation des températures maximales est plus marquée avec des hausses de +0,8 °C en janvier et février. Quant aux mois d'août, d'octobre et de novembre, ils ont connu des augmentations respectives de +0,7 ; +0,8 et +1,1 °C à Bohicon puis de +0,5 ; +0,3 et +0,2 °C à Savè. L'augmentation des températures maximales est moins accusée dans la bande littorale, sinon que c'est une tendance au refroidissement qui marque cette partie du Bénin avec -0,2 ; -0,3 ; -0,4 et -0,3 °C respectivement en janvier, août, septembre et décembre.

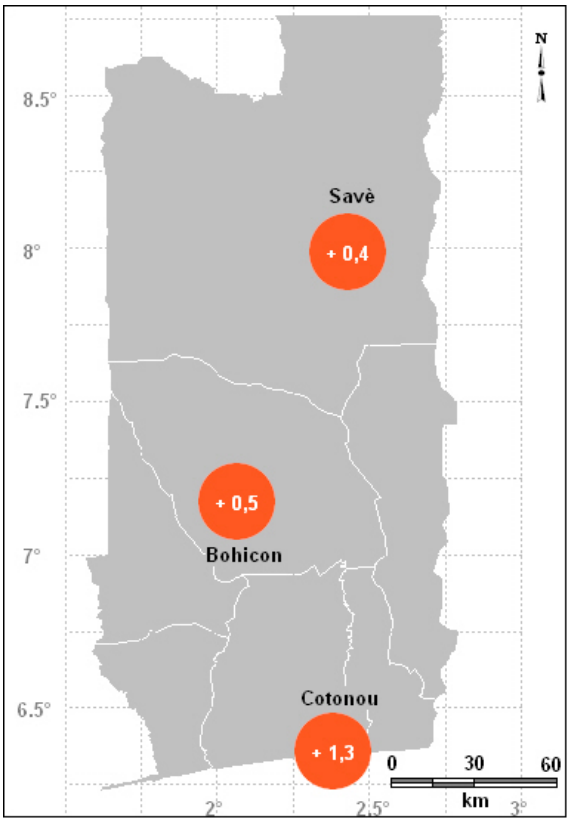
Les températures minimales ont, par ailleurs, connu dans les deux régions une évolution à la hausse (figure 35).



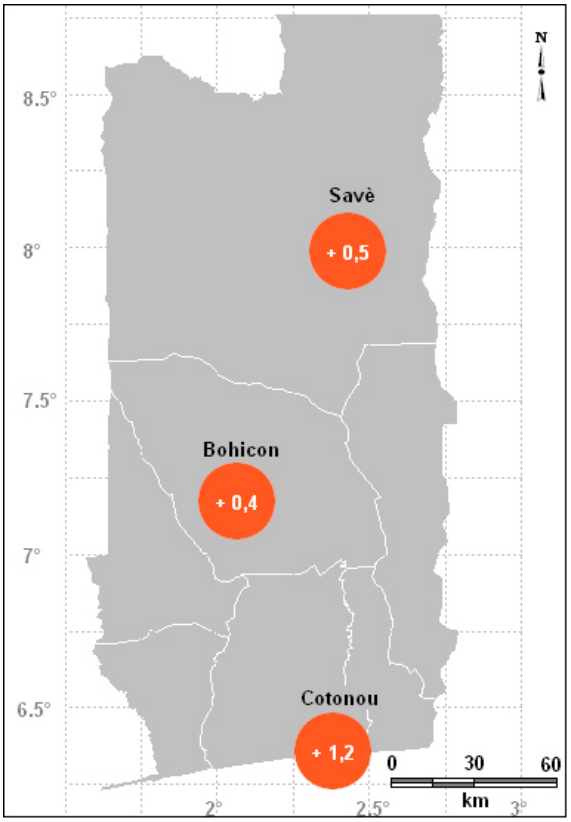
Janvier Février



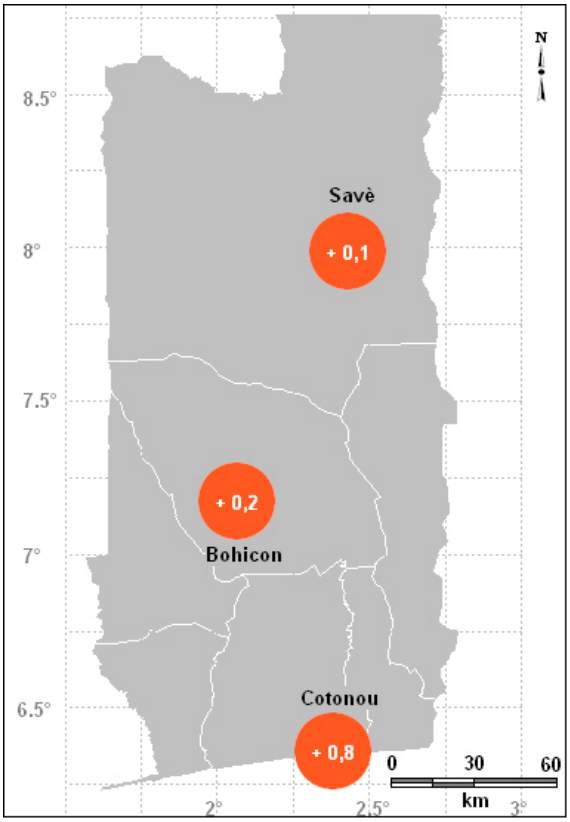
Mars



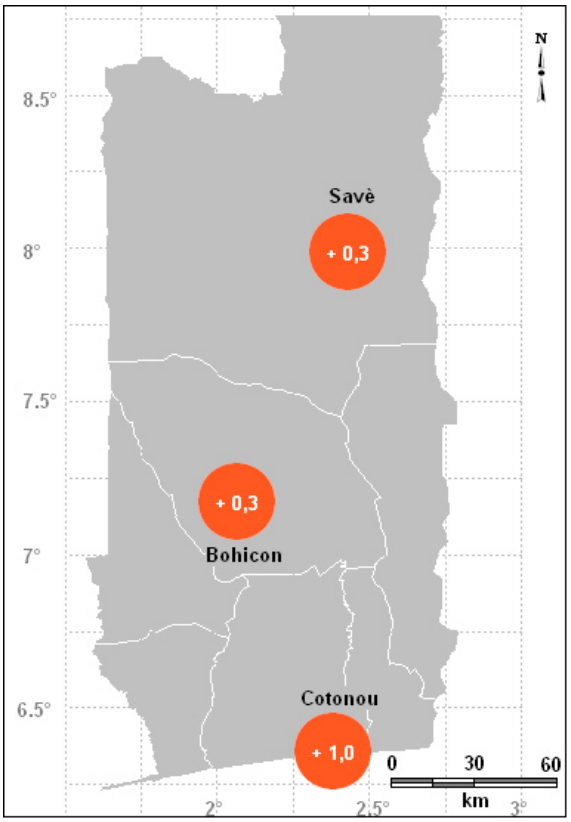
Avril



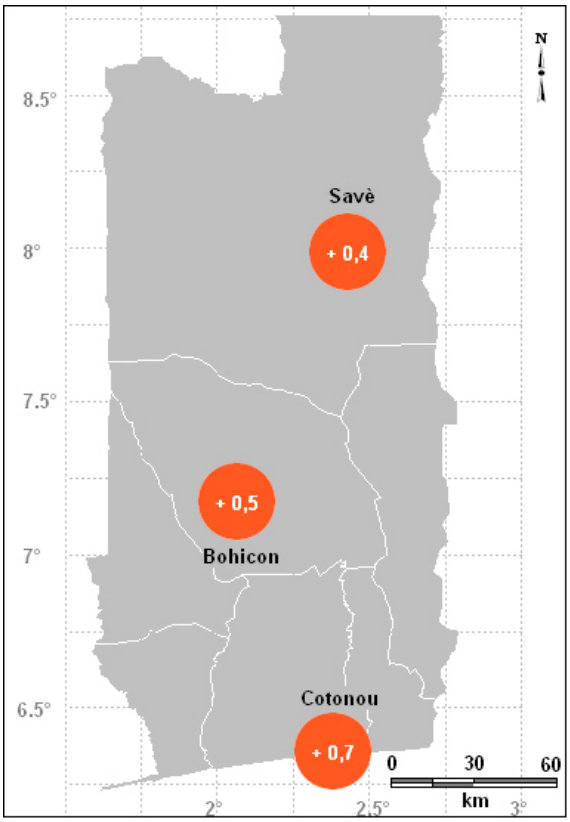
Mai



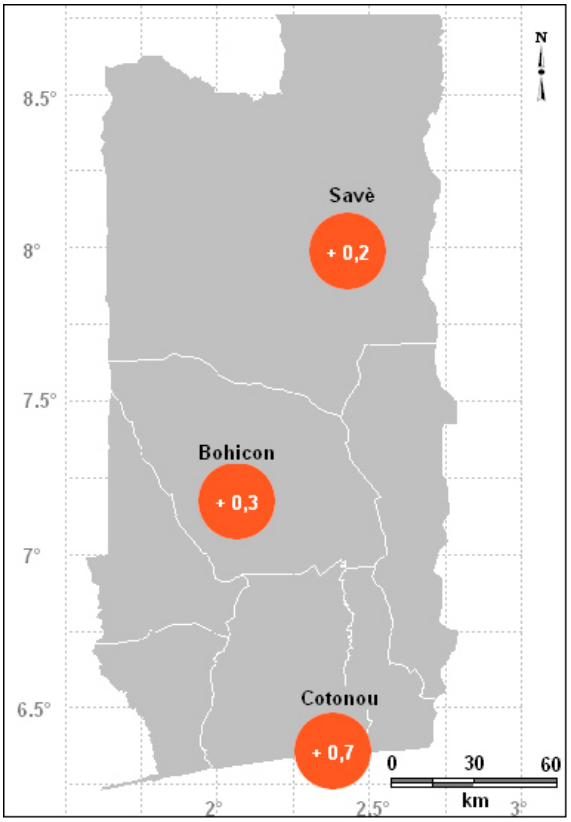
Juin



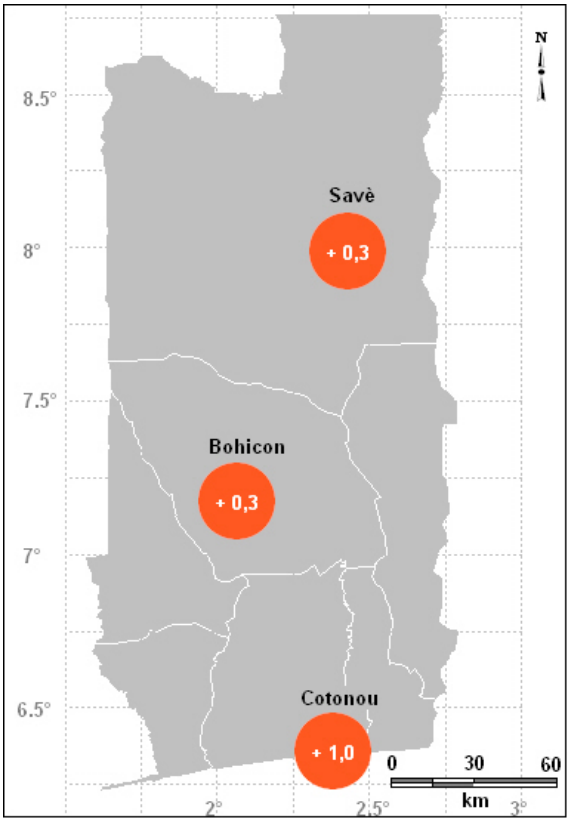
Juillet



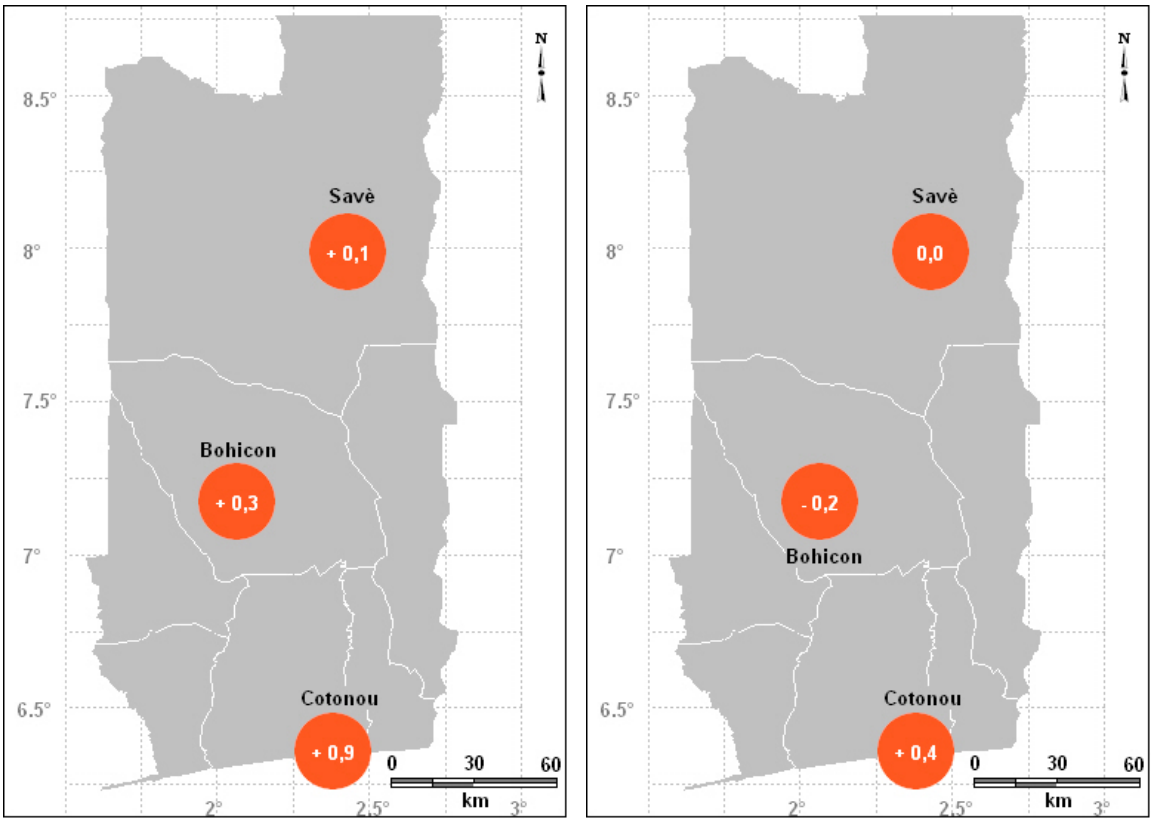
Août



Septembre



Octobre



Novembre Décembre

Figure 35 : Ecart mensuel des températures minimales entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

L'analyse de la figure 35 montre que les plus fortes augmentations des températures minimales ont été enregistrées dans la bande littorale du Bénin. Les mois de mars, avril, mai, juillet et octobre ont connu des augmentations supérieures à 1 °C. En revanche, les autres mois de l'année ont connu des augmentations de températures minimales relativement peu importantes (entre 0,6 et 0,9 °C).

Ces données indiquent que les températures minimales ont augmenté plus rapidement que des températures maximales. La tendance à l'échelle trimestrielle n'est pas différente de celle observée à l'échelle mensuelle (figure 36).

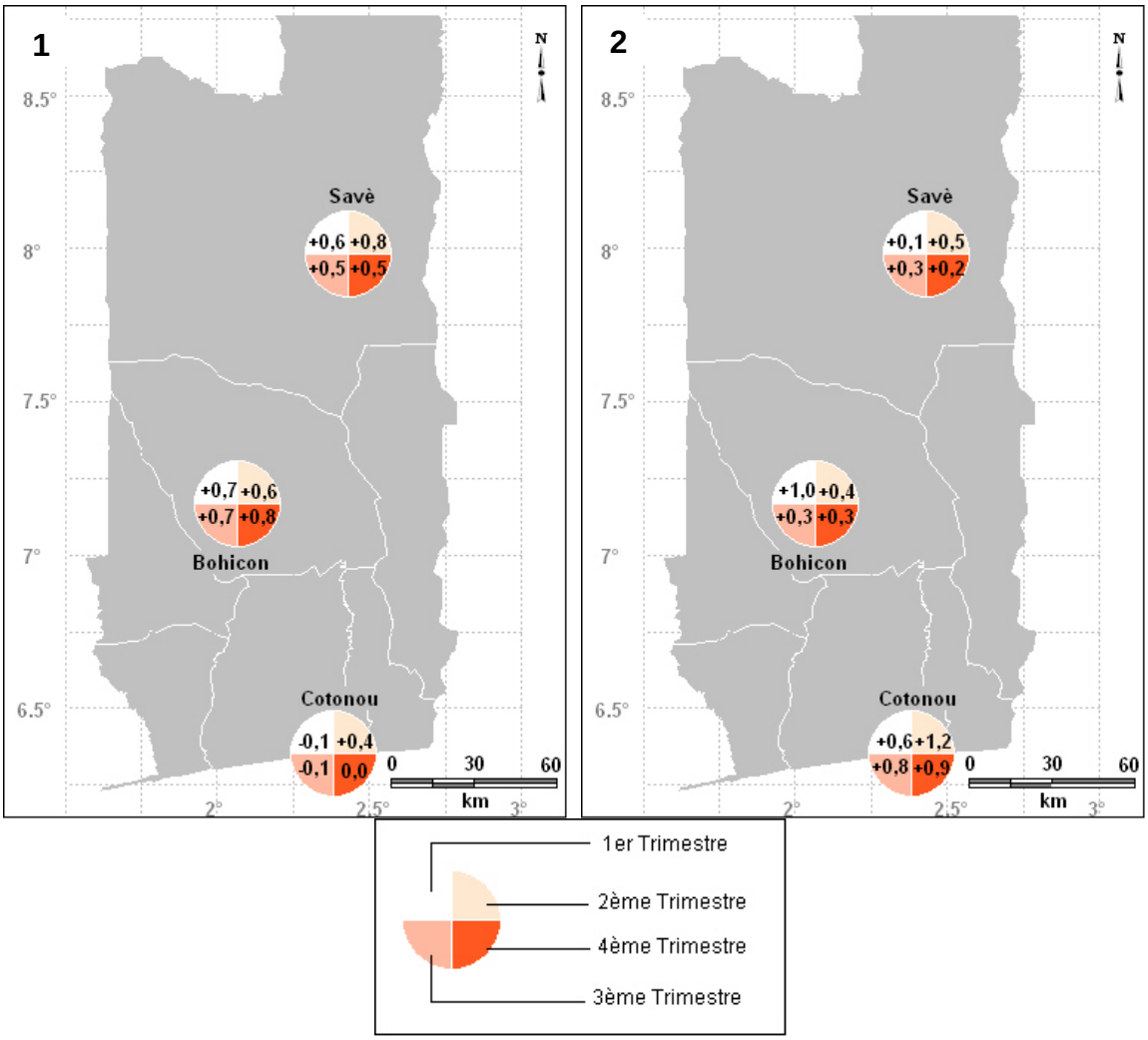


Figure 36 : Ecart des températures maximales (1) et minimales (2) entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

Les températures maximales sur les trimestres de la période 1971-2000 ont été plus chaudes à Bohicon et Savè que ceux de la normale 1941-1970. Dans la bande littorale, le premier et le troisième trimestre ont été moins chauds et le quatrième est resté stable. Seul le deuxième trimestre de la normale 1971-2000 a vu ses températures se réchauffer de +0,4 °C.

Les températures minimales quant à elles, ont été plus élevées. A Cotonou et à Savè, le second trimestre de l'année a été plus chaud avec respectivement +1,4 et 0,5 °C. Dans l'ensemble, Cotonou et ses environs ont vu leurs températures minimales augmenter le plus à l'échelle trimestrielle.

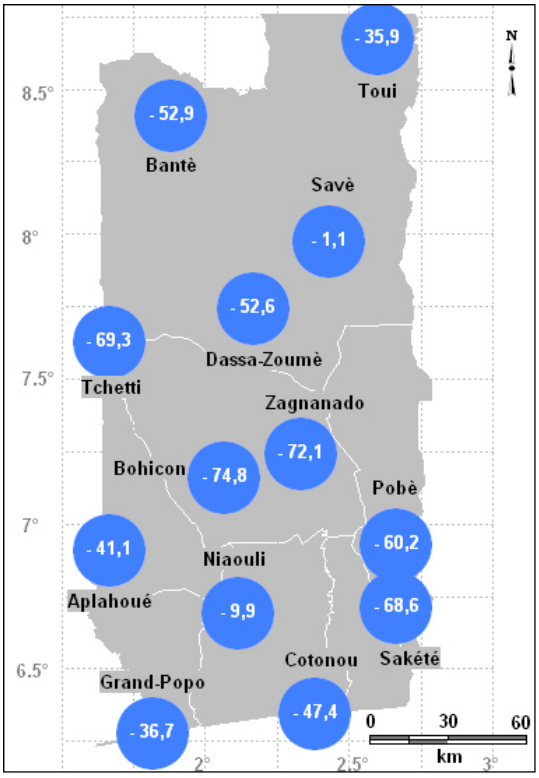
L'évolution du climat dans le Bénin méridional et central est caractérisée principalement par une augmentation très marquée des températures entre les deux normales. La hausse des températures s'accentue au fur et à mesure qu'on va de la

frange littorale vers le Bénin central. Ce réchauffement associé à une péjoration pluviométrique caractérise désormais le Bénin méridional et central.

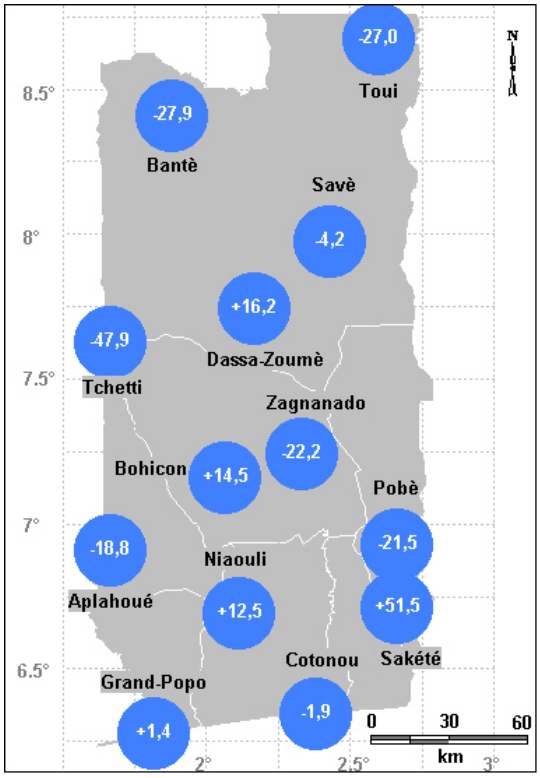
7.2 - Indicateurs pluviométriques de l'évolution des climats dans le Bénin méridional et central

Les précipitations constituent un des paramètres fondamentaux du climat et leur évolution peut être indicatrice d'un changement de climat (Issa, 1995 ; Ogouwalé et *al*., 2003) en milieu tropical, notamment dans le Bénin méridional et central.

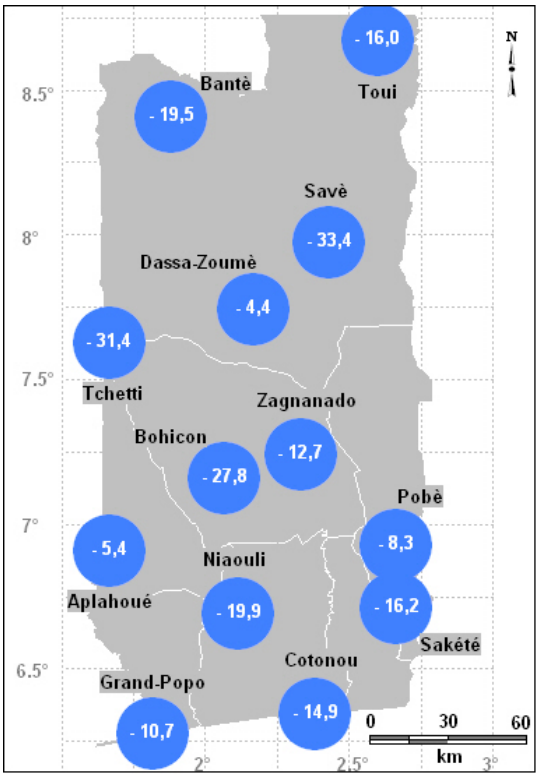
La figure 37 traduit l'évolution en pourcentage (%) des hauteurs moyennes de précipitations mensuelles entre les périodes 1971-2000 et 1941-1970.



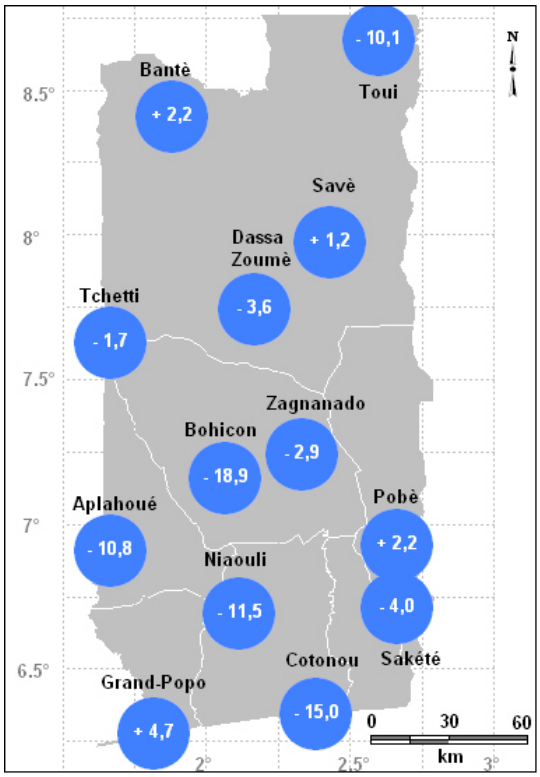
Janvier



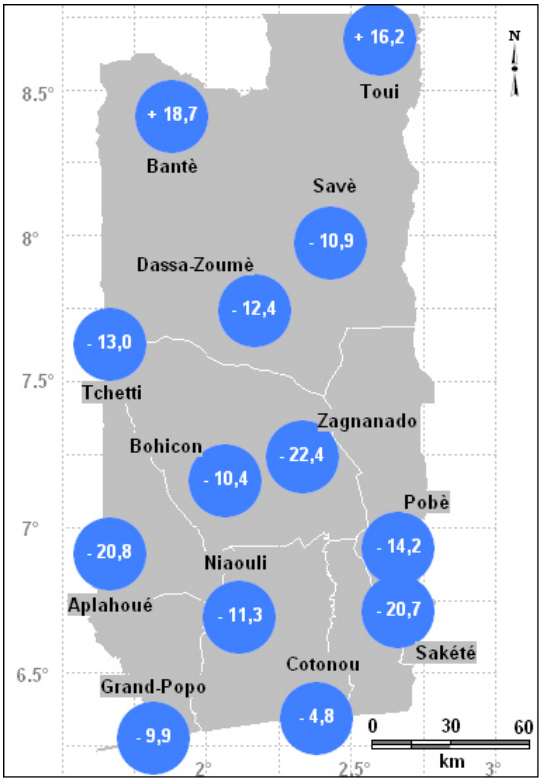
Février



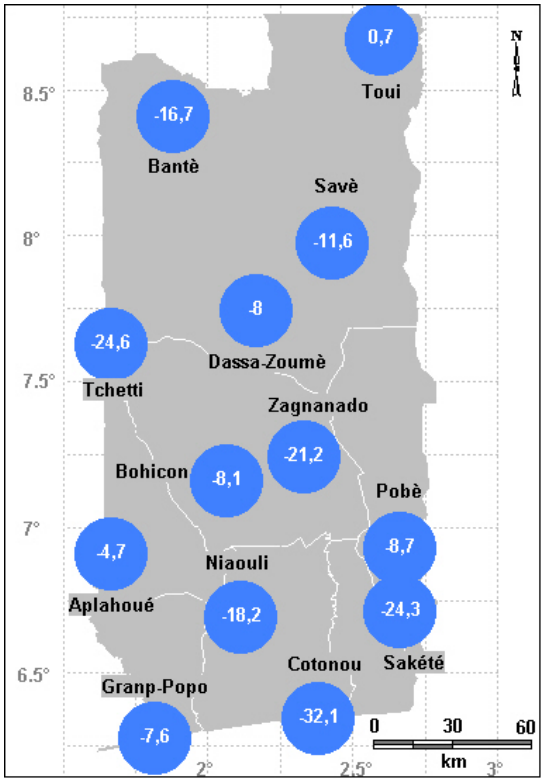
Mars



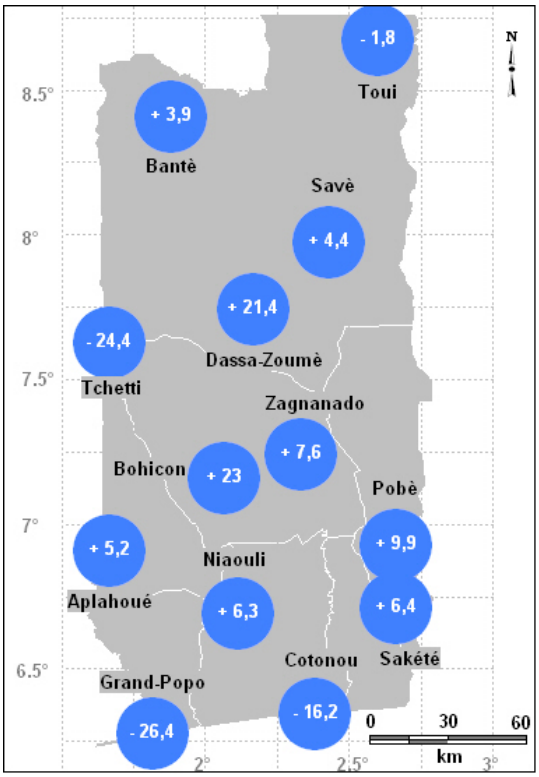
Avril



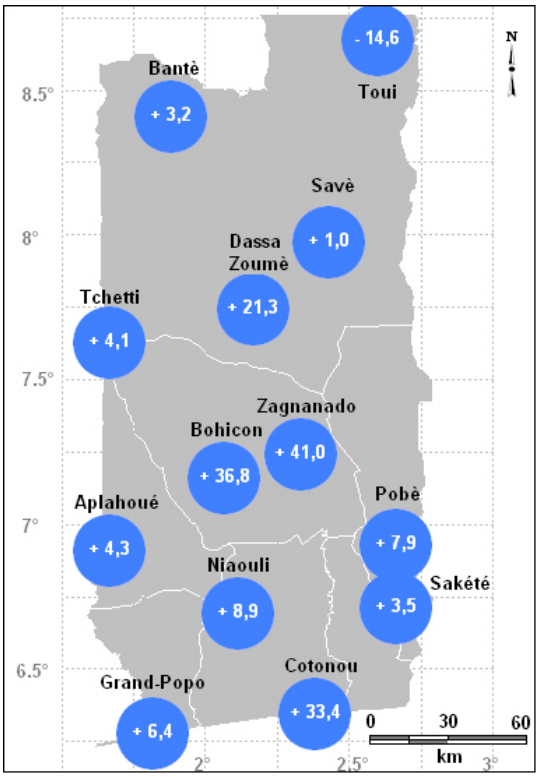
Mai



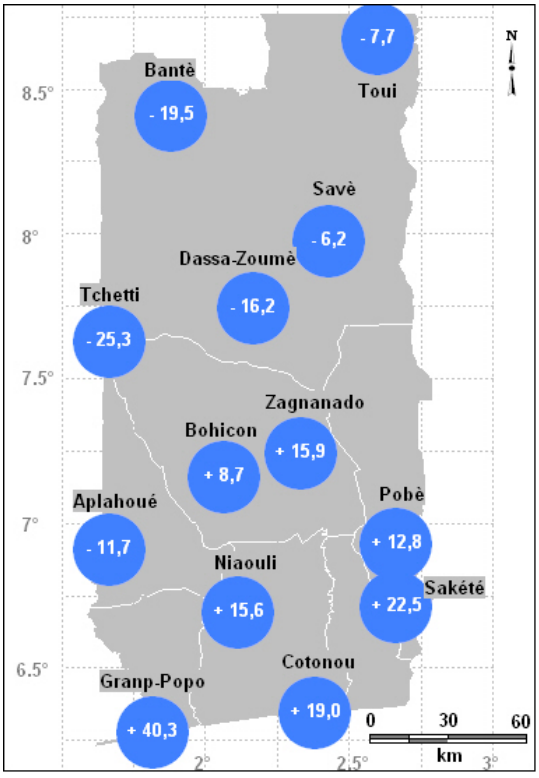
Juin



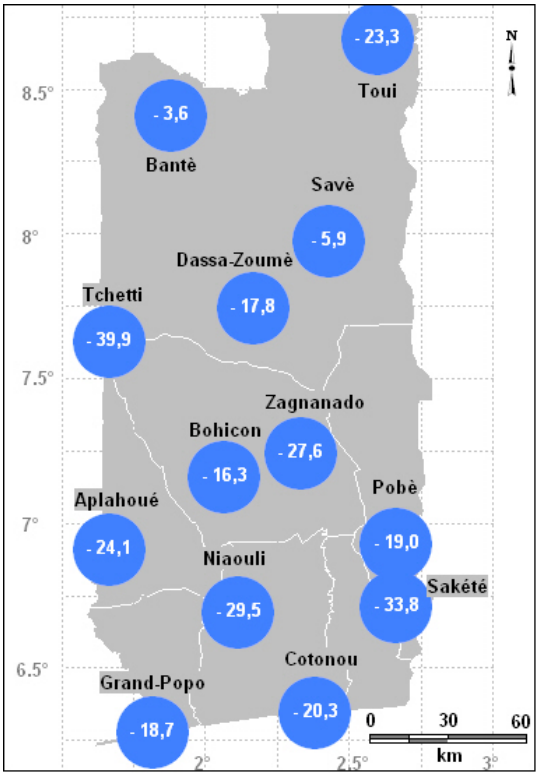
Juillet



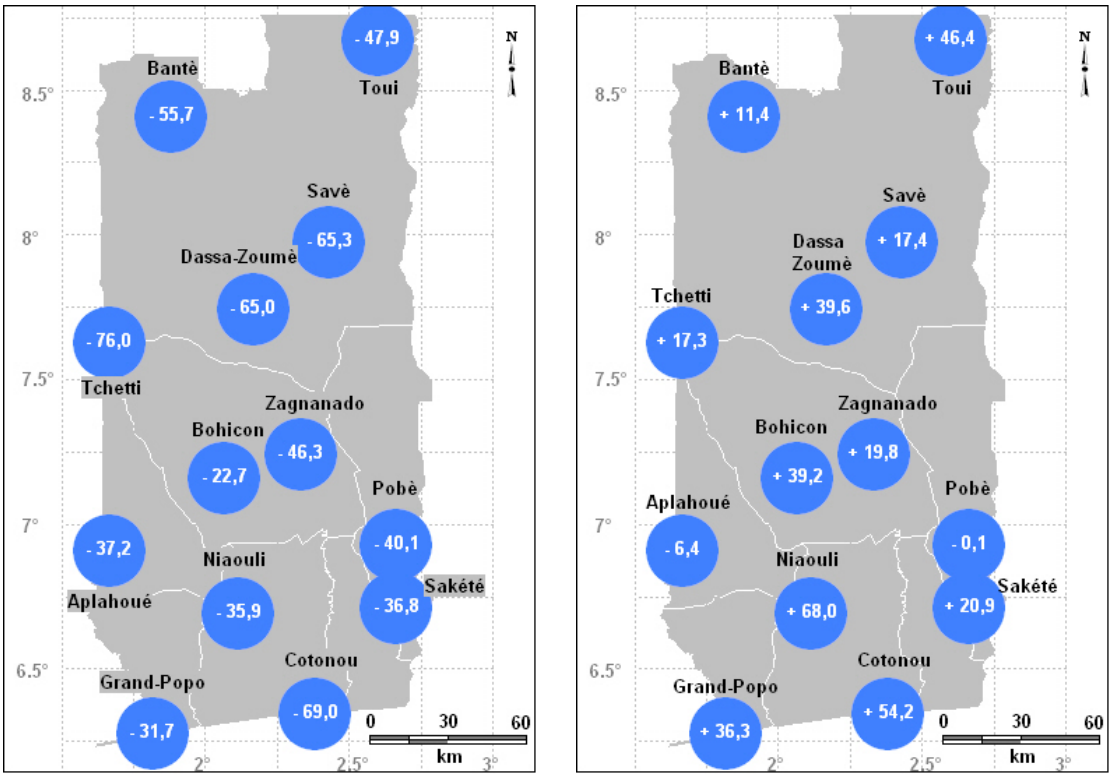
Août



Septembre



Octobre



Novembre Décembre

Figure 37 : Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes mensuelles de précipitations entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

La figure 37 montre qu'en janvier toutes les stations du Bénin méridional, en dehors de celle de Niaouli, ont été marquées par des baisses significatives des hauteurs pluviométriques entre 1971-2000 et 1941-1970. Ces baisses varient globalement entre 10 et 40 %. En février, sauf à Dassa, Bohicon, Niaouli, Sakété et Grand-Popo, les autres stations ont enregistré une diminution comprise entre 18 et 28 %) des précipitations moyennes au cours des trente dernières années du XXème siècle.

En mars, les hauteurs pluviométriques ont partout diminué significativement, avec notamment plus de 30 % à Tchetti et à Savè. Mais au mois d'avril, les réductions les plus significatives ont été enregistrées à Bohicon (-18,8 %) et à Cotonou (-15 %). Pendant le même mois, Banté, Savè, Pobè et Grand-Popo ont connu de faibles augmentations comprises entre 1,2 % et 4,7 %.

En mai, en dehors de Bantè et de Toui qui ont connu une hausse et Cotonou une faible baisse des hauteurs de précipitations, les autres stations ont été marquées par des diminutions significatives avec 22 % à Zagnanado et 20 % à Sakété. Juin de la normale 1971-2000 pour sa part, a été sec par rapport à celui de la normale

précédente. Cotonou (-32 %), Sakété (-24,3 %), Tchetti (-24,6 %) et Bantè (-16,7 %) enregistrent de fortes baisses des hauteurs de précipitations moyennes.

En juillet, en dehors de Cotonou, de Grand-Popo et de Tchetti qui ont été marquées par des baisses significatives, les autres stations ont vu leurs précipitations augmenter de +23 % à Bohicon et +21,4 % à Dassa. Août quant à lui, connaît partout des augmentations des hauteurs de précipitations sauf à Toui. Les plus forts accroissements ont été enregistrés à Cotonou (+33 %), à Bohicon (+37 %) et à Dassa (+21 %).

En septembre deux situations se présentent. Toutes les stations du Bénin central sont affectées par une forte diminution des précipitations sauf à Savè et Toui. Dans le Bénin méridional, en dehors d'Aplahoué qui se singularise par une baisse de 11%, les autres stations ont enregistré des hausses avec +40 % à Grand-Popo et +22,5 % à Sakété. En revanche, le mois d'octobre, de la période 1971-2000, a été marqué par une décroissance des hauteurs de précipitations. De fortes baisses ont été enregistrées au niveau de toutes les stations, sauf à Savè (-6 %) et Bantè (-3,6 %).

Le mois de novembre a connu une diminution des hauteurs de précipitations sur toutes les stations. Dans ce contexte de baisse généralisée des précipitations, le Bénin central enregistre les plus forts taux de déficits (-50 %). Pendant le mois de décembre, le Bénin central a enregistré des augmentations comprises entre +11 et +46 %. Il en est de même dans le Bénin méridional même si Aplahoué et Pobè se singularisent par des baisses inférieures à 10 %.

Somme toute, l'évolution des hauteurs de précipitations à l'échelle mensuelle est globalement caractérisée par une diminution. Cependant, le mois de décembre a connu une augmentation des hauteurs de précipitations moyennes.

A l'échelle trimestrielle, les tendances sont globalement similaires (figure 38).

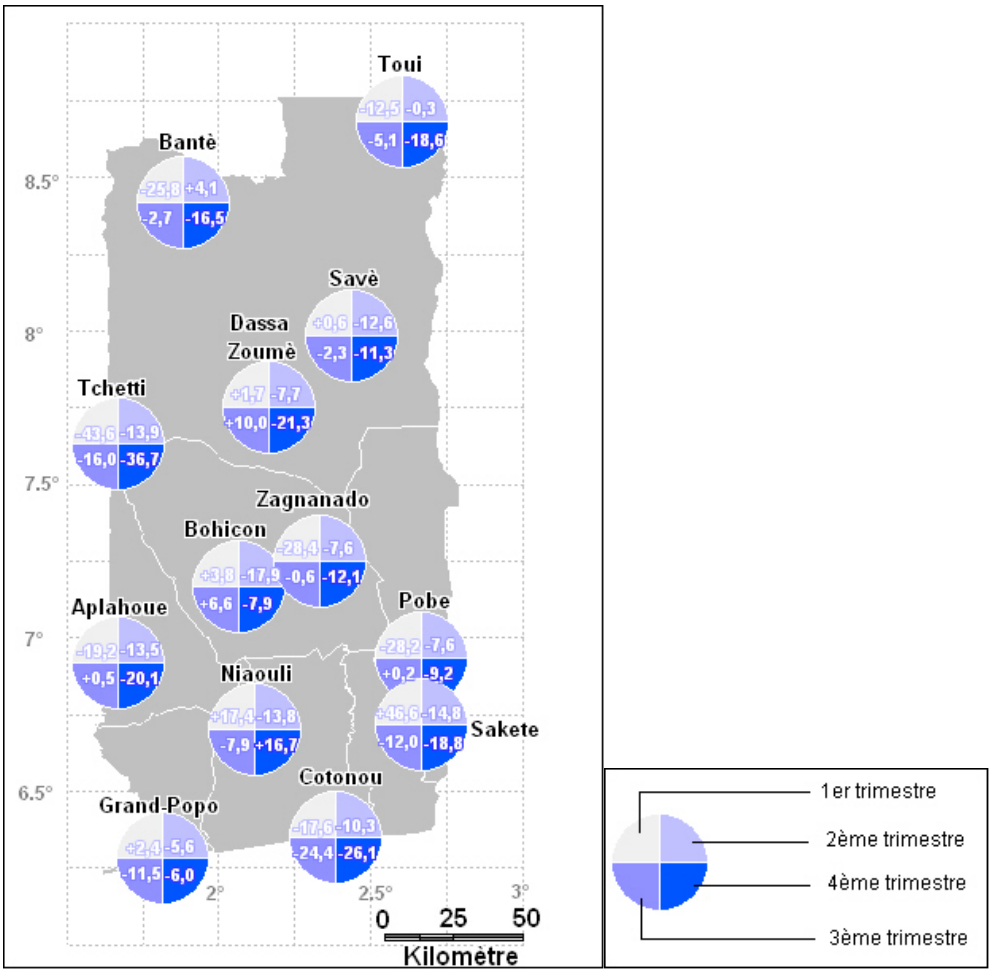


Figure 38 : Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes trimestrielles de précipitations entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

A l'échelle trimestrielle, les baisses des hauteurs moyennes des précipitations enregistrées sont de -43,6 % à Tchetti, -25,8 % à Bantè et -12,5 % à Toui. Par contre, Savè et Dassa restent stables au trimestre 1 dans le Bénin central. Dans le Bénin méridional, d'importantes baisses ont été enregistrées à Zagnanado, Aplahoué et Pobè. Les hausses significatives sont enregistrées à Sakété (+46,6 %) et à Niaouli (+17,4 %) de leur cumul pluviométrique au cours du trimestre 1.

Au second trimestre, dans le Bénin central, hormis Bantè avec une augmentation de +4,1 %, c'est le déficit qui caractérise toutes les stations lorsqu'on compare les statuts des hauteurs pluviométriques entre les deux normales. Dans le Bénin méridional, le trimestre 2 a été également sec. Les fortes baisses concernent Cotonou (-10,3 %), Sakété (-14 %), Niaouli (-14 %). Bohicon vient en tête avec une baisse de 18 % entre les deux normales.

Le troisième trimestre dans le Bénin central a été marqué par des baisses inférieures à -10 %. Dans le Bénin méridional, les stations de Grand-Popo, de Cotonou et de Sakété ont enregistré une baisse de leurs hauteurs moyennes de précipitations avec respectivement -11,5 ; -24,4 et -12 % au troisième trimestre.

Quant au quatrième trimestre de la normale 1971-2000, dans le Bénin central, il a été déficitaire partout en comparaison des données du même trimestre de la normale 1941-1970. Les baisses sont de -36,7 % à Tchetti, -21,3 % à Dassa et -18,5 % à Toui au nord de Savè. Dans le Bénin méridional, le même trimestre, en dehors de Niaouli qui connaît une augmentation de +16,7 %, les autres stations ont vu leurs hauteurs moyennes de précipitations baisser. Cotonou, Sakété et Aplahoué avec respectivement -26 ; -18 et -20 % connaissent les plus fortes baisses.

Entre les deux normales considérées, les hauteurs moyennes des précipitations observées dans le Bénin méridional et central ont chuté au cours des différents trimestres, sauf au premier trimestre.

Toutes ces tendances à la baisse ont tout naturellement des répercussions sur le statut annuel des précipitations dans le Bénin méridional et central (figure 39).

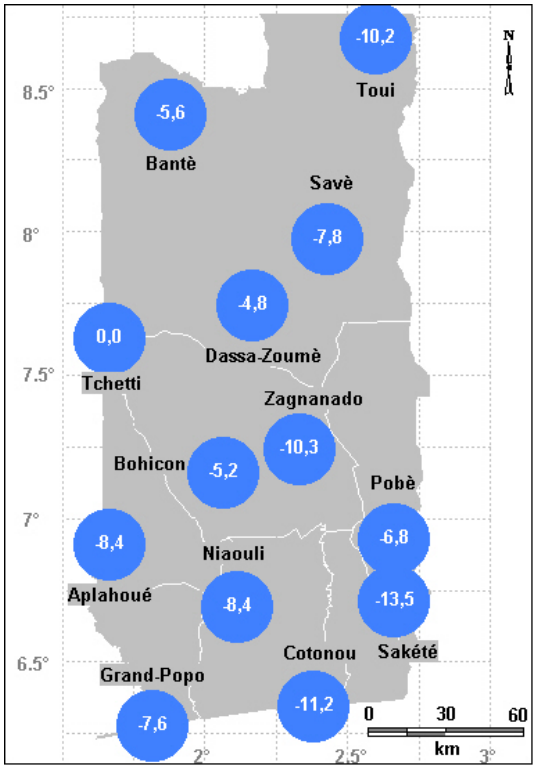


Figure 39 : Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes annuelles de précipitations entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

Les précipitations annuelles ont été affectées par une baisse entre les deux périodes. Les stations de Cotonou, de Sakété, de Zagananado et de Toui ont enregistré des baisses supérieures à -10 %. Cette décroissance des hauteurs moyennes de précipitations à toutes les échelles serait due aux faibles intensités pluvieuses (Issa, 1995 ; Ogouwalé et *al*. 2003) ainsi qu'à la diminution du nombre de jours pluvieux (figure 40).

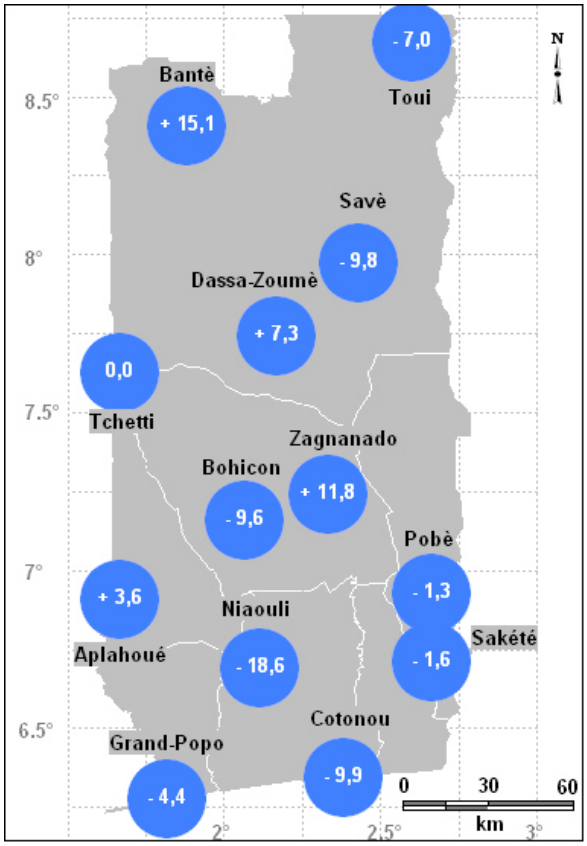


Figure 40 : Ecart du nombre de jours annuels (%) de pluies entre les normales 1971-2000 et 1941-1970

La figure 40 montre que le nombre de jours pluvieux a diminué dans le Bénin méridional et central. Les diminutions du nombre de jours pluvieux enregistrées sont de -10 % à Cotonou, -18,6 % à Niaouli et -10 % à Savè.

L'analyse des données thermométriques du Bénin méridional et central montre un réchauffement de l'ordre de 1 °C. La période la 1971-2000 a été plus chaude que la normale 1941-1970 sous les latitudes comprises entre Cotonou et Savè. Cotonou et ses environs ont enregistré des fortes augmentations de températures minimales par rapport aux autres localités du Bénin méridional et central. Par contre, ce sont les températures maximales qui ont le plus augmenté avec une élévation plus marquée à Bohicon et relativement moindre dans le Bénin central.

Par ailleurs, la diminution des hauteurs de précipitations, ''carburant'' essentiel de l'agriculture béninoise est mise en évidence. Les mois de mai et de juin antérieurement humides sont devenus moins humides sur la période 1971-2000 avec des baisses respectives de -20 et -25 %. En revanche, en décembre, dans les deux régions, les hauteurs de pluies ont augmenté de 54 ; 40 et 46,4 % respectivement à Cotonou, à Dassa et à Toui. Le nombre de jours de pluies a diminué globalement de -10 % au cours de la normale 1971-2000 par rapport à celui enregistré sur la période 1941-1970.

Au seuil de 5 %, les tests de Student (annexe 8) confirment que les différences, au niveau des statuts des moyennes des deux normales considérées, sont par endroits et en certains mois significatives pour les précipitations (la différence est significative entre les moyennes lorsque la valeur de t est égale à 0,025).

Le mois de novembre enregistre une différence significative des moyennes pluviométriques entre les deux normales. En effet, partout dans le Bénin méridional, en dehors de la station d'Aplahoué, la valeur t du test de Student est inférieure à 0,025. Des situations analogues sont notées à Niaouli, Pobè, Sakété et Zagnanado avec des différences plus significatives que celles enregistrées en novembre. La situation est similaire en janvier dans le Bénin méridional, sauf à Grand-Popo et à Niaouli. Pour le reste et pour ce même mois de janvier, les différences ne sont pas significatives, sauf à Bohicon en avril avec 0,008, à Sakété avec 0,005 et à Zagnanado avec 0,011. Les différences sont également significatives en juin au niveau de ces dernières stations.

Dans le Bénin central, en novembre, toutes les stations enregistrent, tout comme dans le Bénin méridional, de différences significatives entre les deux normales. Partout dans cette région du Bénin, la valeur de t est inférieure à 0,025. Autrement dit, 100 % des stations du Bénin central considérées ont été marquées par une baisse significative de leur moyenne pluviométrique au cours de la normale 1971-2000. Les différences sont aussi significatives en janvier, en mars et en juin à Savalou, en janvier, en février et en octobre à Savè, en janvier, en juin et en octobre à Tchetti avec des valeurs de t respectivement égales à 0,025 ; 0,013 et à 0,000.

Pour le reste des mois, au niveau des toutes les stations du Bénin central, les différences ne sont pas significatives.

Somme toute, entre deux normales considérées, les précipitations ont été marquées par des baisses (en juin par exemple) ou des augmentations (en août par exemple). Mais, à quelle exception près, la diminution ou l'augmentation des hauteurs de précipitations entre les périodes 1941-1970 et 1971-2000 ne permettent de conclure à une nette différenciation au niveau des statuts pluviométriques mensuels dans les deux régions d'étude.

En ce qui concerne les températures, dans le Bénin méridional et central, les valeurs de t (annexe 9) sont significatives et témoignent de la nette tendance au réchauffement du climat.

Cotonou se particularise en ce qui concerne les températures maximales avec des différences non significatives. Il en est de même en juillet et en novembre à Savè pour les températures minimales. Les températures minimales ont fortement augmentées à Cotonou alors que ce sont les températures maximales qui ont été marquées par une forte hausse à Savè dans le Bénin central.

Du reste, la tendance au réchauffement est une réalité dans les régions d'étude. C'est dans ce contexte que les études de IPCC (2001) postulent encore à un réchauffement plus accentué et donc à une évolution plus rapide des climats en raison d'une concentration plus accrue des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

CHAPITRE HUITIEME : EMISSIONS ET CONCENTRATIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE ET SIMULATION DES CLIMATS FUTURS DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL

Les cent cinquante dernières années ont été caractérisées par un accroissement sans précédent des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, etc.), générateur du réchauffement climatique de l'époque contemporaine (Nakicenovic et *al*., 2000).

Ce huitième chapitre présente les sources et les émissions de gaz à effet de serre au Bénin et analyse l'état de la pollution atmosphérique dans les principales villes du Bénin méridional et central. Les résultats de la simulation du climat du Bénin méridional et central à l'horizon 2050 sous le scénario B2 du SRES, y sont également présentés.

8.1 – Notion d'effet de serre naturel et d'effet de serre additionnel

La température de l'atmosphère terrestre est réglée par un ensemble d'interactions suffisamment complexes, qui s'opèrent continuellement entre les composantes thermiques, mécaniques et chimiques du système solaire (Hulme et *al*., 2000). Selon Berger (1992), la quantité totale d'énergie solaire qui arrive sur terre est celle qui passe à travers un disque de rayon R, égal à celui de la terre et perpendiculaire aux rayons du soleil. Si S_0 désigne la constante solaire, dont la valeur actuelle est comprise entre 1365 et 1372 Wm^{-2} (Ramanathan et *al*., 1989), cette quantité d'énergie est égale à $\pi R^2 S_0$. Une partie de cette énergie est réfléchie par l'atmosphère et la terre. Dès lors, distribuée sur toute la terre de surface de $4\pi R^2$, la quantité d'énergie réellement disponible par unité de surface de la Planète est donnée par la formule : $\frac{S_0}{4}(1-\alpha)$. Globalement, la planète terre réémet une quantité d'énergie équivalente donnée par la loi de Stéfan-Boltzman (Berger, 1992) de sorte que, à l'équilibre, on ait : $\frac{S_0}{4}(1-\alpha) = \sigma T_e^4$ (1) où

- T_e est la température effective et représente la température d'émission infrarouge de la terre, considérée comme un corps noir, telle qu 'elle est perçue par les satellites, en particulier ;

- σ étant égal à 0,567.10^{-7} wm^{-2} K^{-4} et α, mesuré par des satellites, étant égal à 0,3 T_e vaut -18 °C, ce qui correspond à une émission infrarouge de 237 wm^{-2}.

Si l'atmosphère était transparente à ce rayonnement, la température à la surface de la terre (T_S) serait donc aussi de –18 °C. Or, les observations donnent un T_S de l'ordre de 15 °C. Autrement, en l'absence de ce phénomène, la terre aurait une température moyenne de -18 °C contre +15 °C actuellement. Cette différence, Ts-Te, de 33 °C représente un piégeage d'énergie par l'atmosphère de 153 wm^{-2}. Elle est la manifestation de l'effet de serre naturel et due au fait que certains composants de l'atmosphère, appelés gaz à effet de serre (GES), absorbent efficacement le rayonnement infrarouge émis par la surface et l'atmosphère terrestres. Si l'émissivité de la surface est appelée ε (ε est sensiblement égale à 1), et si τ désigne la transmissivité globale de l'atmosphère, l'équation (1) peut s'écrire : $\frac{S_0}{4}(1-\alpha) = \varepsilon\tau\sigma T_s^4$ (2) et pour des valeurs conventionnelles de $S_{0,}$ α , ε et $T_{s,}$ τ est approximativement égale à 0,6.

L'équilibre climatique de la terre est établi grâce à l'effet de serre naturel généré par les constituants optiquement actifs des gaz présents dans l'atmosphère. Ces gaz naturels sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, l'ozone, le méthane et l'oxyde nitreux. Ils sont générateurs de l'effet de serre naturel, qui maintient la température de la planète à environ +15 °C.

Le problème aujourd'hui est que les activités humaines augmentent non seulement les concentrations atmosphériques de ces gaz responsables de l'effet de serre existant dans le milieu naturel, mais ajoutent en plus de nouveaux gaz absorbant puissamment l'infrarouge tels que les produits chimiques industriels connus sous le nom de chlorofluorocarbones modifiant l'équilibre énergétique terre-atmosphère (IPCC, 2001) et perturbant le mécanisme fonctionnel de l'atmosphère (figure 41).

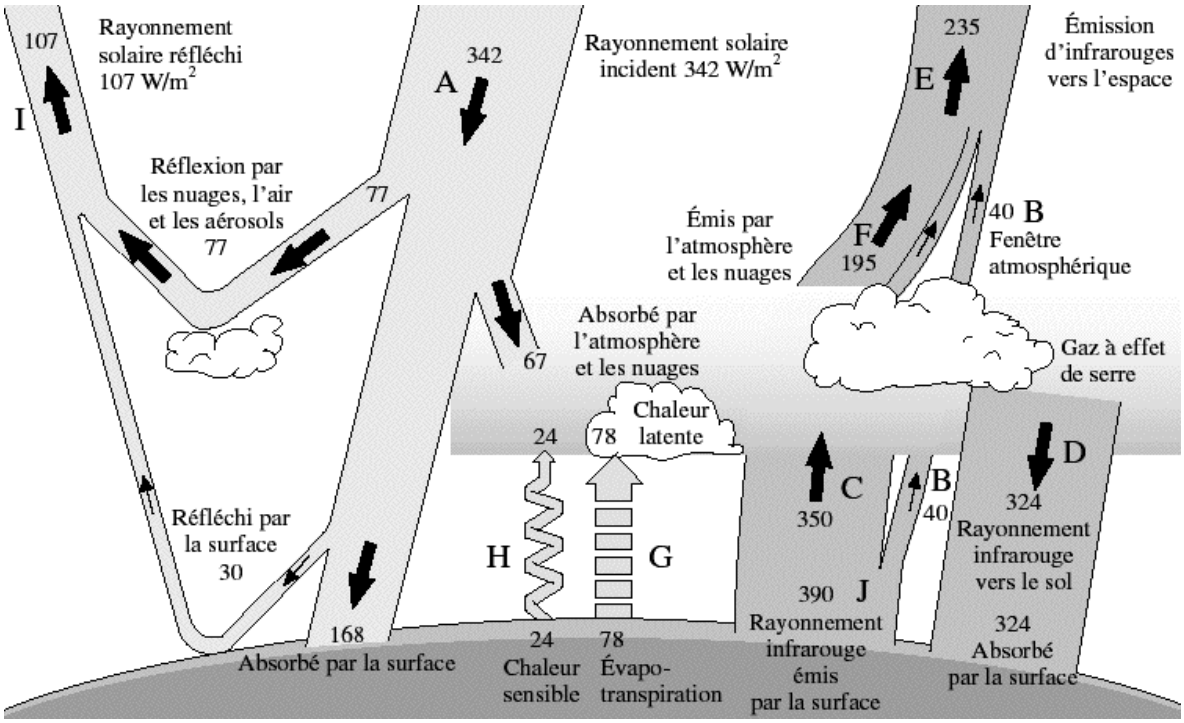


Figure 41 : Mécanisme de flux et de reflux d'énergie entre le soleil et la terre
Source : Jean-Marc Jancovici, 2002 dans WWW. manicore.com

La figure 41 est un schéma simplifié du fonctionnement général de l'atmosphère. Les chiffres représentent la valeur moyenne, temporelle (sur l'année) et géographique (sur la surface de la planète) en Watts par mètre carré, de chaque flux d'énergie représenté. Le "réchauffement climatique" peut, en première approximation, être résumé de la manière suivante : quand on augmente la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, cela augmente son opacité au rayonnement terrestre, et donc le terme B (le rayonnement infrarouge terrestre qui parvient à s'échapper directement vers l'espace) diminue. Corrélativement le terme C augmente, ce qui conduit l'atmosphère à recevoir plus d'énergie. Elle rayonne donc plus, et le terme D augmente aussi. Le sol recevra donc davantage d'énergie et sa température moyenne va augmenter.

Les gaz à effet de serre, qui avaient laissé passer la lumière sans encombre, ont par contre la propriété d'absorber une partie de ces infrarouges. Ce faisant, ils en récupèrent l'énergie et chauffent. Tout comme la surface de la terre, ils vont dissiper cette énergie en émettant eux aussi des infrarouges, dont une partie retourne vers le sol, le chauffant donc une deuxième fois après que le soleil l'ait fait une première fois. Cette interception de chaleur conduit l'atmosphère basse ou la troposphère, puis la surface de la Terre, à être plus chauds que si le rayonnement infrarouge passait à

travers l'atmosphère sans être intercepté. Et c'est là, le danger du siècle, du fait d'une émission plus accrue de gaz à effet de serre, générateurs de l'**"effet de serre additionnel"**.

8.2 - Contribution de chaque GES à l'augmentation de l'effet de serre au niveau mondial

La figure 42 présente les différents gaz à effet de serre ainsi que les émissions d'origine anthropique relatives à chaque gaz à l'échelle planétaire.

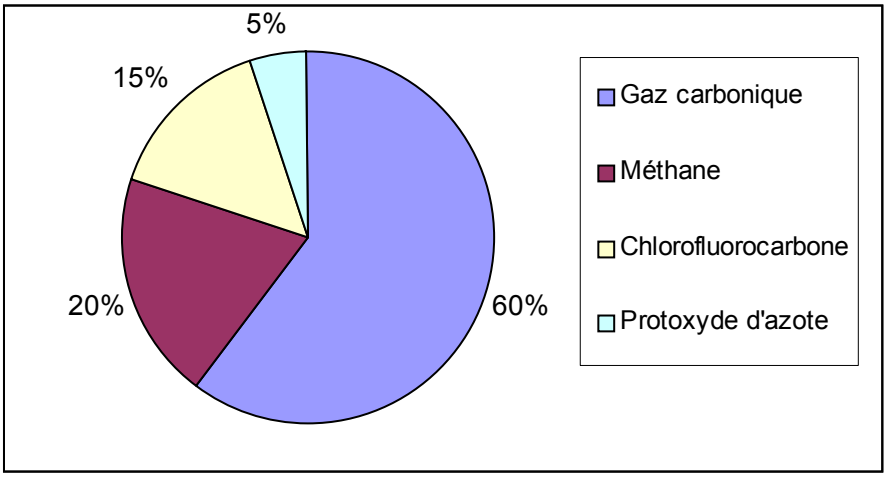


Figure 42 : Emissions humaines de gaz à effet de serre dans le monde en 2000
Source des données : Nakicenovic et *al*. (2000)

Le dioxyde de carbone est actuellement responsable de plus de 60 % de l'effet de serre "renforcé". Sa production d'origine anthropique a fait que les émissions annuelles s'élèvent actuellement à plus de sept milliards de tonnes de carbone qui entrent dans le cycle naturel du carbone. Les mesures effectuées actuellement et les reconstitutions autorisées par l'analyse des carottes glaciaires permettent de conclure que l'accélération des émissions de dioxyde de carbone au cours du dernier millénaire est intervenue essentiellement depuis le début de l'ère industrielle (IPCC, 2001). Au rythme actuel d'émission, la concentration atmosphérique de gaz carbonique dépasserait 400 ppmv en 2025 et 500 ppmv vers 2100 (Nakicenovic et *al*., 2000). La figure 43 indique aussi que la contribution du méthane à l'intensification de l'effet de serre représente 20 %. D'après les mesures opérées, les concentrations ont augmenté d'environ 150 % depuis 1750 (figure 39), et il semble que le seuil atteint actuellement n'a jamais été dépassé au cours des 420 000 années précédentes. La moitié des émissions de méthane est d'origine anthropique (Nakicenovi et *al*., 2000).

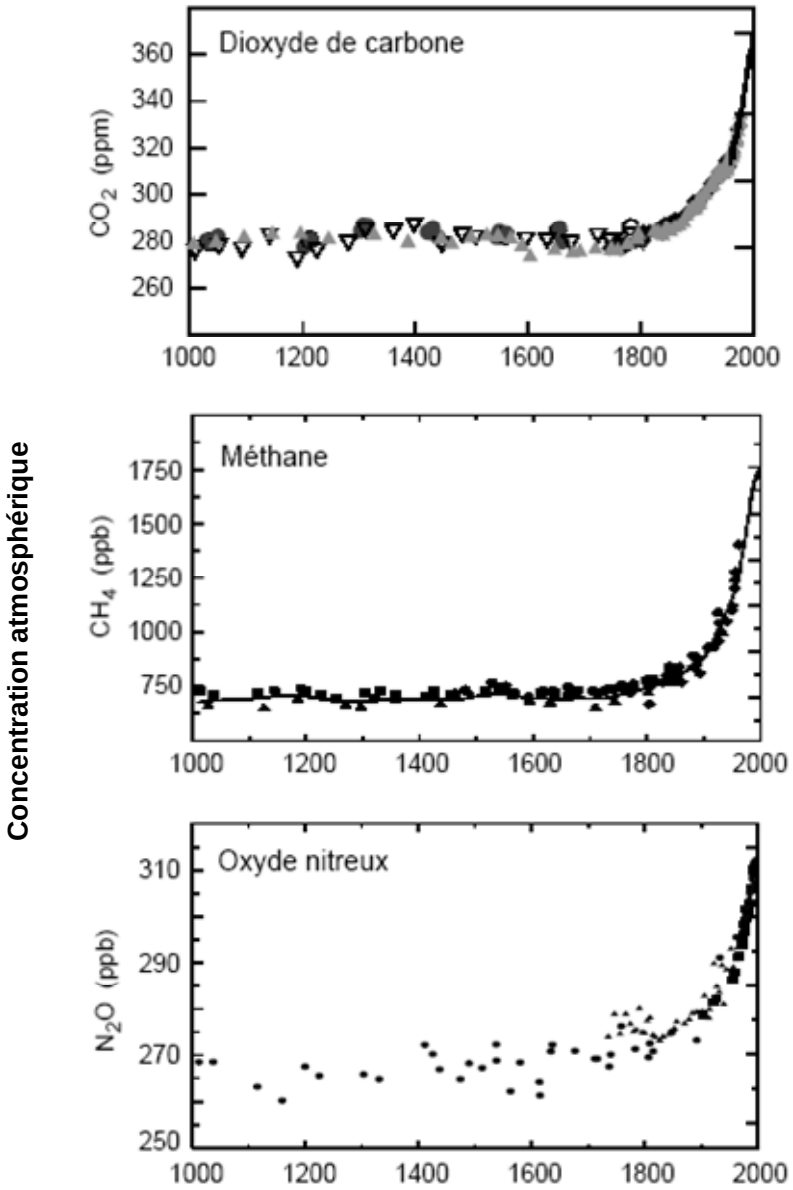
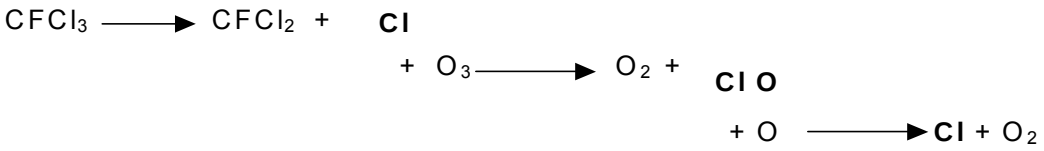


Figure 43 : Indicateurs de l'influence de l'homme sur l'atmosphère depuis l'ère industrielle

Source : IPCC (2001)

L'oxyde nitreux, les CFC (CFC-11, CFC-12, CFC-113, etc.) et l'ozone troposphérique pour leur part, contribuent pour 20 % à l'augmentation de l'effet de serre (figure 42). Ces CFC, qui contiennent des atomes de chlore, de fluor et de carbone, détruisent lentement mais sûrement la couche d'ozone dont le rôle dans la protection de la terre n'est plus à démontrer. Une fois émis, ces gaz s'élèvent et atteignent une strate importante de l'atmosphère : la stratosphère qui renferme la couche d'ozone sous l'action des rayons ultra violet sur les CFC permet la rupture des liaisons chimiques et la libération des atomes de chlore. Chaque atome de chlore libéré va attaquer une molécule d'ozone pour lui enlever un atome d'oxygène avec lequel il forme une

molécule de monoxyde de chlore. En présence d'un autre atome d'oxygène, ce complexe régénère l'atome de chlore et il se forme du dioxygène. L'atome de chlore régénéré va attaquer à nouveau une autre molécule d'ozone et la même réaction que précédemment se reproduit indéfiniment. Ainsi, un seul atome de chlore peut détruire 100 000 molécules d'ozone. Les chaînes de réactions dans le cas du CFC 11 de formule chimique CFCl3 se présente comme suit :



Au total, même si l'effet de refroidissement des aérosols joue en sens inverse de l'effet de réchauffement des gaz à effet de serre, les scientifiques sont certains que les aérosols ne peuvent compenser l'effet des gaz à effet de serre sur le long terme. De plus, même s'il était établi que l'effet de refroidissement des aérosols était de même ampleur que l'effet de réchauffement des gaz à effet de serre, l'hétérogénéité spatiale de la présence d'aérosols, comme leur brève durée de vie (quelques semaines seulement dans l'atmosphère), empêcherait de considérer que leur impact pourrait compenser de manière réelle le réchauffement induit par les gaz à effet de serre. Cette tendance au réchauffement ne s'inversera pas devant le refus des Etats-Unis à se soumettre à la discipline internationale fondée sur le Protocole de Kyoto et du fait qu'à la suite des pays développés, ceux en développement compteront parmi les grands émetteurs au troisième millénaire.

8.3 – Point sur les émissions de gaz à effet de serre au Bénin

Les résultats d'une étude menée en 2001 dans le cadre du Projet de rédaction de la première communication du Bénin sur les changements climatiques indiquent que les gaz à effet de serre les plus émis sont : le CO_2, le CH_4, le N_2O et le CO.

Les figures 44.1 et 44.2 présentent respectivement la contribution de différents secteurs ainsi que celle de chaque principal gaz aux émissions totales de GES en équivalent du gaz carbonique (E-CO_2).

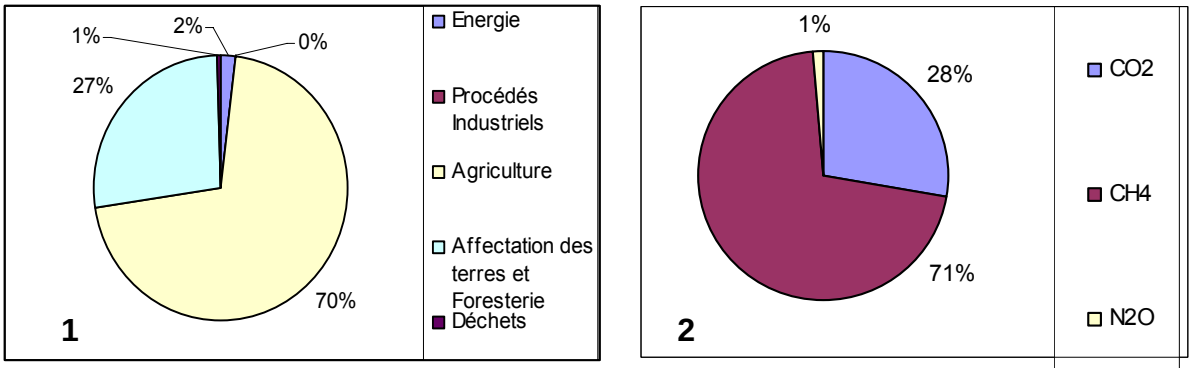


Figure 44 : Contribution de chaque secteur (1) et de chaque gaz (2) aux émissions totales de GES au Bénin

Source : MEHU (2001)

Les principales sources de GES en équivalent CO_2 (E-CO_2) sont les secteurs "agriculture" et "affectation des terres et foresterie". La contribution du secteur agriculture est de 70 % et est due essentiellement aux émissions de méthane dans ce secteur. Quant au "secteur affectation des terres et foresterie", sa contribution est de 27 % et est due en grande partie aux émissions de dioxyde de carbone.

Le dioxyde de carbone, après le méthane, est le deuxième gaz important émis par les activités anthropiques (agriculture, incendies de forêt, etc.) au Bénin. Sa contribution au réchauffement global est de 28 % (figure 44.2). Il provient essentiellement du secteur affectation des terres et foresterie (95,28 %) et dans une moindre mesure du secteur énergie (figure 44.1). Le méthane pour sa part contribue pour 71 % aux émissions totales de GES en E-CO_2 (figure 44.2). Il provient essentiellement du "secteur agriculture" pour 98,03 % (figure 45.1), notamment du sous-secteur riziculture avec 89 % des émissions.

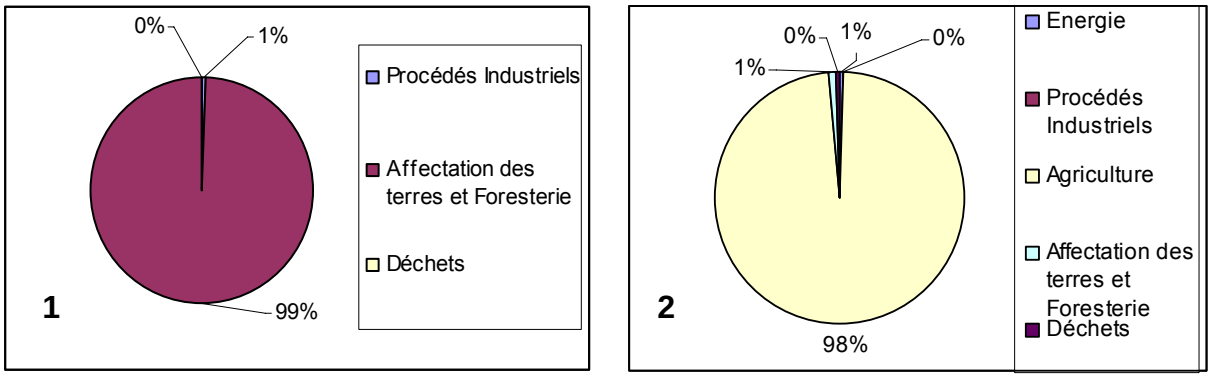


Figure 45 : Contribution de chaque secteur d'activité aux émissions de CO_2 (1) et de CH_4 (2) au Bénin

Source des données : MEHU (2001)

L'oxyde nitreux (N_2O) est le gaz à effet de serre direct le moins émis en ce qu'il contribue pour 1,45 % aux émissions totales en E-CO_2 (figure 44.2) et provient en grande partie des secteurs agriculture (77,62 %) et déchets (11,94 %) (figure 46.1).

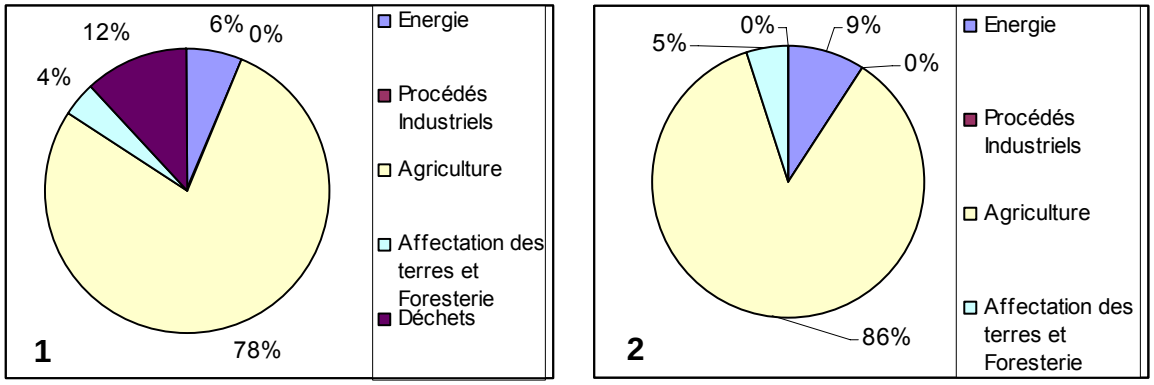


Figure 46 : Contribution de chaque secteur d'activités aux émissions de N_2O (1) et de CO (2) au Bénin

Source des données : MEHU (2001)

Les principaux GES émis au Bénin sont le méthane, le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone. Ces gaz proviennent surtout du "secteur affectation des terres et foresterie" pour le CO_2 et du secteur agriculture pour le CH_4 et le CO.

L'émission totale de GES au Bénin est évaluée à 54 058,59 Gg de CO_2. Elle est atténuée par la séquestration de carbone due au stock de biomasse par les forêts et autres systèmes boisés dans le "secteur affectation des terres et foresterie", estimée à 62 108,16 Gg (MEHU, 2001).

Somme toute, les inventaires des GES montrent que le Bénin est un puits en ce que sa capacité de séquestration grâce aux formations végétales est encore de loin supérieure aux émissions totales. Certes, si le Bénin, au regard des données actuelles d'émissions de GES peut se féliciter ne pas être encore un contributeur au réchauffement climatique, la question de la pollution atmosphérique reste entièrement posée, notamment dans les villes béninoises

8.4 - Pollution atmosphérique dans les principales villes du Bénin méridional et central

La question de la pollution atmosphérique fait l'objet d'une attention particulière des pouvoirs publics depuis les cinq dernières années. En effet, plusieurs études ont montré que la pollution a atteint des seuils inadmissibles (MEHU, 2000). Dès lors,

des mesures ont été prises (contrôle des échappements des véhicules, élaboration des normes, mise en place de la police environnementale, etc.) pour réduire l'ampleur du phénomène. La synthèse présentée permet d'identifier les sources ainsi que les modes et facteurs de pollution atmosphérique dans les principales villes du Bénin méridional et central.

Selon les données de MEHU (2000), la pollution atmosphérique est générée par les gaz d'échappement des taxis-motos communément appelés Zémidjan et des automobiles (photo 11) dont 75 % sont constitués de véhicule d'occasion.



Photo 11 : Circulation et pollution à Cotonou
Sources : Base de données du LECREDE et cliché Ogouwalé E., juin 2005

Le contexte dans lequel évolue le sous-secteur transport au Bénin est caractérisé par : le développement rapide du mode de transport commercial avec les véhicules à deux roues (les motos-taxis dit "zémidjan"). Leur nombre s'accroît rapidement dans toutes les villes du Bénin méridional et central.

A ces facteurs explicatifs de l'ampleur de la pollution atmosphérique dans les principales villes du Bénin méridional et central, il faut ajouter le fait que 70 % des véhicules sont alimentés en essence de mauvaise qualité vendue aux abords des voies de circulation (photo 12). Cette essence utilisée provient essentiellement du secteur informel. Le mélange essence/huile se fait généralement avec un rapport de 8 % d'huile pour l'alimentation des vélomoteurs à 2T (deux temps) dans les stations privées agréées ; ce qui est déjà excessif, dépasse la proportion de 12 % chez les vendeurs de l'informel (MEHU, 2000).



Photo 12 : Parc de stockage et stations informelles de vente d'essence aux abords des voies à Abomey-Calavi (1) et Kilibo (2)

Source : Cliché E. Ogouwalé, juin 2005

A Cotonou, principale ville du Bénin, l'analyse des données montre que la pollution provient à la fois du ''secteur transports'' et des industries. L'absence des transports en commun, la faiblesse du réseau urbain ont favorisé le renforcement du secteur de taxi-motos (zémidjan) dont 95 % sont d'occasion ainsi que l'utilisation des voitures d'occasion engendre à longueur de journée des traînées de fumée dans la ville notamment aux heures de pointe. Ces traînées de fumées proviennent des imbrûlées des hydrocarbures et autres particules dues aux défauts mécaniques des moteurs résultant principalement de la mauvaise qualité du carburant. Selon les données de MEHU (2001), les principaux polluants émis lors des activités de transport à Cotonou sont par ordre d'importance le CO_2, le CO, les COV et le NO_2.

La figure 47 indique la part des principaux types de moyen de transport dans l'émission des différents gaz à effet de serre.

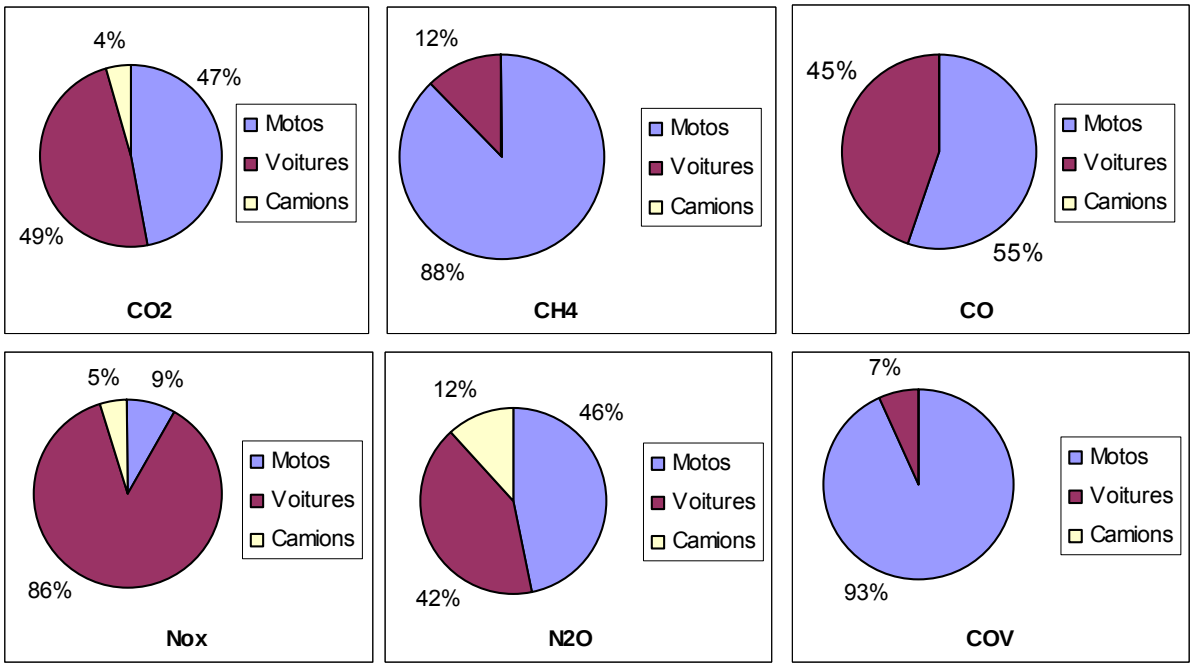


Figure 47 : Part des trois principaux moyens de transport dans l'émission des GES à Cotonou

Source des données : MEHU (2000)

La figure 47 montre que ce sont les voitures et les motos qui sont les plus grands émetteurs de gaz carbonique à Cotonou. Ces deux moyens de transport sont responsables respectivement de 49 et 47 % des émissions de CO_2 à Cotonou. Le méthane quant à lui est principalement émis par les motos (88 %) et puis par les voitures à hauteur de 12 %. Par contre, ce sont les voitures qui émettent une forte proportion (86 %) de NO_X dans la ville de Cotonou. Le NO_2 quant à lui provient pour 46 et 42 % respectivement des motos et de véhicules qui circulent dans la grande métropole béninoise qu'est Cotonou. Les composés organo-volatiles pour leur part, sont à 93 %, le fait des motos.

Le ''secteur déchet'' est également une source de la pollution atmosphérique à Cotonou. Les émissions du CO_2 par le ''secteur déchet'' qui était de plus de 1750 tonnes en 1999 et dépasserait les 3000 tonnes en 2010 (MEHU, 2000) si rien n'est fait pour gérer rationnellement les déchets dans la ville de Cotonou. La gestion des déchets reste pour l'instant peu rationnelle. Ces déchets solides sont purement et simplement déversés dans les décharges sauvages, brûlés à l'air libre ou enfouis dans le sol.

A ces sources d'émission de gaz à effet de serre dans la ville de Cotonou, il faut ajouter les unités industrielles telles : la Société Béninoise des Textiles, l'Abattoir de Cotonou, les brasseries, les cimenteries, les usines de fabrique de mousse et autres qui rejettent toute sorte de déchets polluant les différents écosystèmes naturels et humains de la ville de Cotonou.

Les observations faites dans la ville de Porto-Novo et les données de la documentation montrent que le phénomène de pollution atmosphérique est surtout le fait des échappements des taxis moto. Un contrôle fait par le MEHU en 2000 a montré un dosage de 11-12 % de l'essence mélange, soit deux fois plus élevé que la norme, ce qui favorise le rejet excessif de fumée. A Lokossa, on note parmi les sources de pollution atmosphérique les ordures ménagères, les déchets médicaux, les "zémidjan", la SITEX (actuellement non fonctionnelle) et l'usine d'égrenage. A Bohicon, le phénomène de pollution s'observe aux heures de pointe. Les véhicules et l'usine de fabrication d'huile de coton, l'huilerie Fludor, etc., représentent des sources de rejet de gaz polluants dans l'atmosphère. A cela, il faut ajouter la source de pollution actuelle que représente le recyclage des pneus usés.

Au total, au regard des données portant sur l'inventaire de GES, on retient que les gaz les plus émis au Bénin sont dans l'ordre décroissant et d'importance : le CO_2, le CO, le CH_4, et le N_2O. Les émissions totales sont de **54058,59 Giga grammes de CO_2** et placent, dans une analyse comparative à l'échelle mondiale, le Bénin au rang des pays non émetteurs.

A l'échelle planétaire, les données relevées à l'observatoire de Mauna Loa (Hawaï) permettent de constater une augmentation de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère depuis 1957 (Laberie, 1985 ; Taylor et Mc Cracken, 1990). Ce constat a donné lieu à une série de tentatives visant à estimer les conséquences climatiques de ce phénomène à l'échelle du globe et désormais à des échelles plus fines (pays, région, etc.) comme par exemple le Bénin méridional et central.

8.5 - Climats futurs dans le Bénin méridional et central

La modélisation climatique en développement comporte encore de nombreuses incertitudes mais permet d'envisager les climats futurs. En se fondant sur les émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols dues aux activités humaines le

scénario SRESB2 développé par Nakicenovic et *al.* (2000) a permis d'avoir une image des tendances d'évolution des émissions et de concentrations des gaz à effet de serre, responsables du réchauffement planétaire.

8.5.1 - Evolution des émissions et concentrations du CO_2 atmosphériques sous SRESB2 dans le monde

Les simulations effectuées indiquent une augmentation des émissions et concentrations des différents gaz à effet de serre, notamment le CO_2 dans l'atmosphère mondial (figure 48).

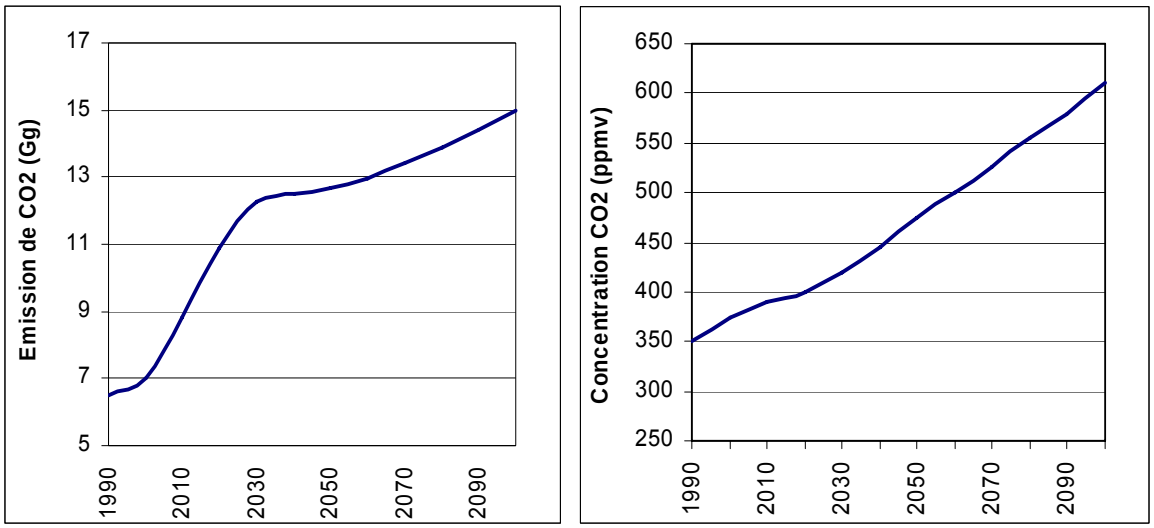


Figure 48 : Evolution des émissions et concentrations mondiales de CO_2 sous SRESB2

Les émissions de CO_2 vont doubler entre 1990 et 2050 en passant de 6,5 à plus de 12,7 Gg. Pendant ce temps, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère passerait de 350 à 600 ppmv.

En outre, les quantités de CH_4 émises, tout comme la concentration du même gaz dans l'atmosphère, vont considérablement augmenter (figure 49).

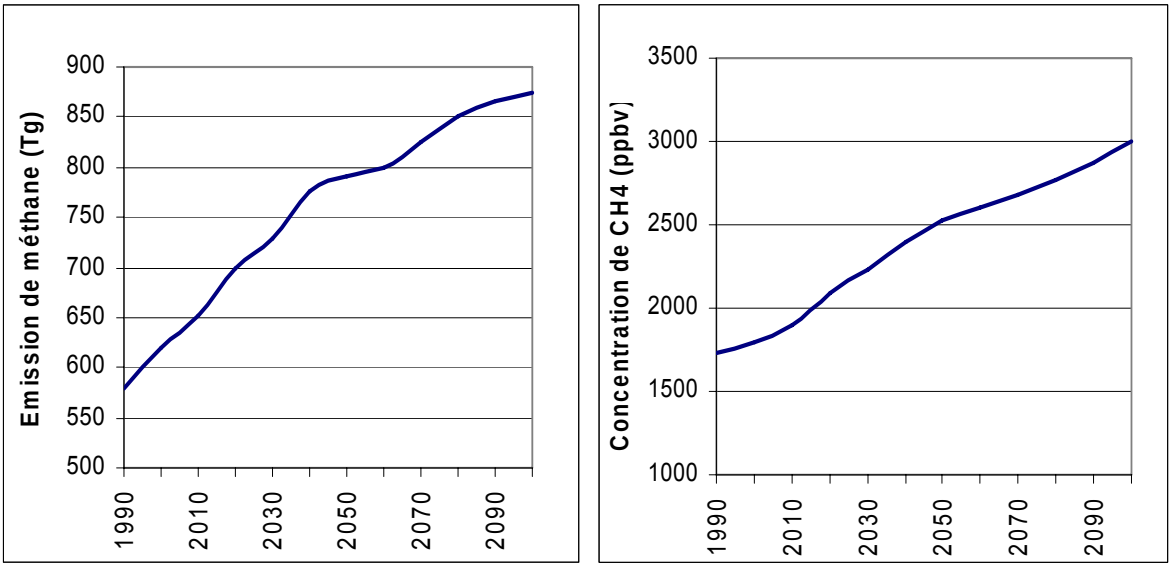


Figure 49 : Evolution des émissions et concentrations mondiales de CH_4 sous SRESB2

L'émission de CH_4 augmentera de 210 Tg, de 1990 à 2050. En conséquence, la concentration atmosphérique du même gaz connaîtra un accroissement de 800 ppbv. Cette évolution inégalée associée à celles des autres gaz à effet de serre, conduiront au réchauffement planétaire et à une élévation du niveau marin (IPCC, 2001).

8.5.2 - Evolution des températures mondiales et du niveau marin sous SRESB2

La température moyenne globale et le niveau marin, selon les données extraites du Magicc Scengen s'élèveraient (figure 50) dans le contexte d'un accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

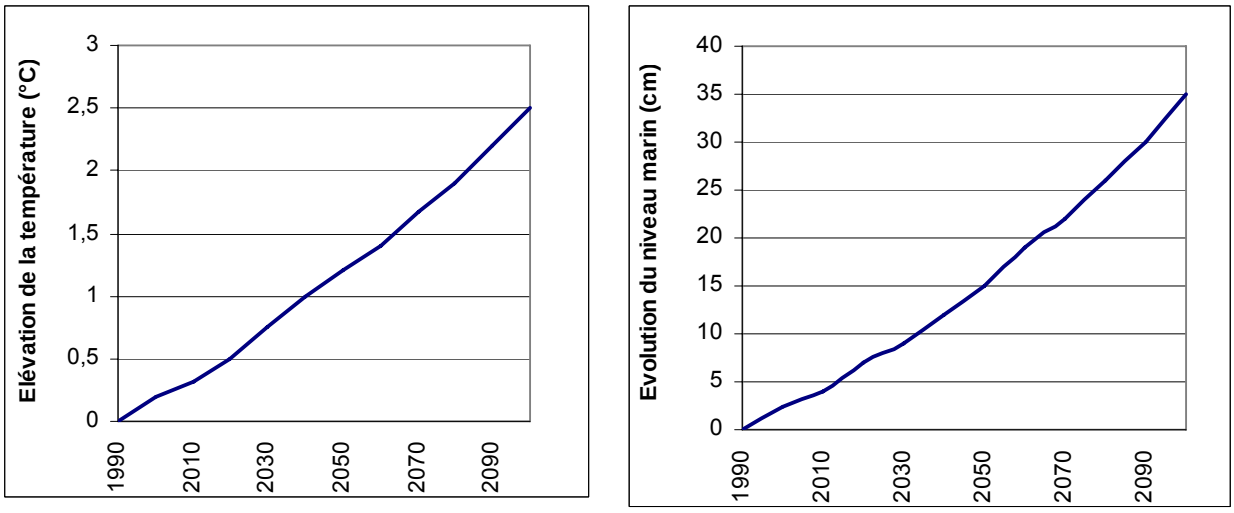


Figure 50 : Evolution des températures mondiales et du niveau marin sous SRESB2

Les températures moyennes augmenteront de 1,25 °C en 2050 à l'échelle mondiale

par rapport à 1990 et le niveau marin s'élèverait de 15 cm. Une telle tendance va se manifester différemment selon les positions latitudinales et en fonction des spécificités locales (orographie, végétation, orientation des côtes, etc.).

Somme toute, l'atmosphère étant sans frontière, il est une évidence que toutes perturbations de la composition atmosphérique engendreraient une modification des climats du Bénin méridional et central.

8.5.3 - Pluviométrie et températures futures dans le Bénin méridional et central

Il existe à présent des preuves plus concluantes de l'influence des activités humaines sur le climat mondial (IPCC, 2001). Les écarts (∆) SRESB2 CO2-CO2 (1961-1990) des températures et des précipitations sont extraits du SCENGEN, utilisant le CGM HadCM2. La simulation des climats du Bénin méridional et central est faite sur la base d'une concentration de 475 ppm du CO2 atmosphérique en 2050.

La figure 51 indique globalement une évolution très peu contrastée des régimes pluviométriques à l'horizon 2050 dans le Bénin méridional et central.

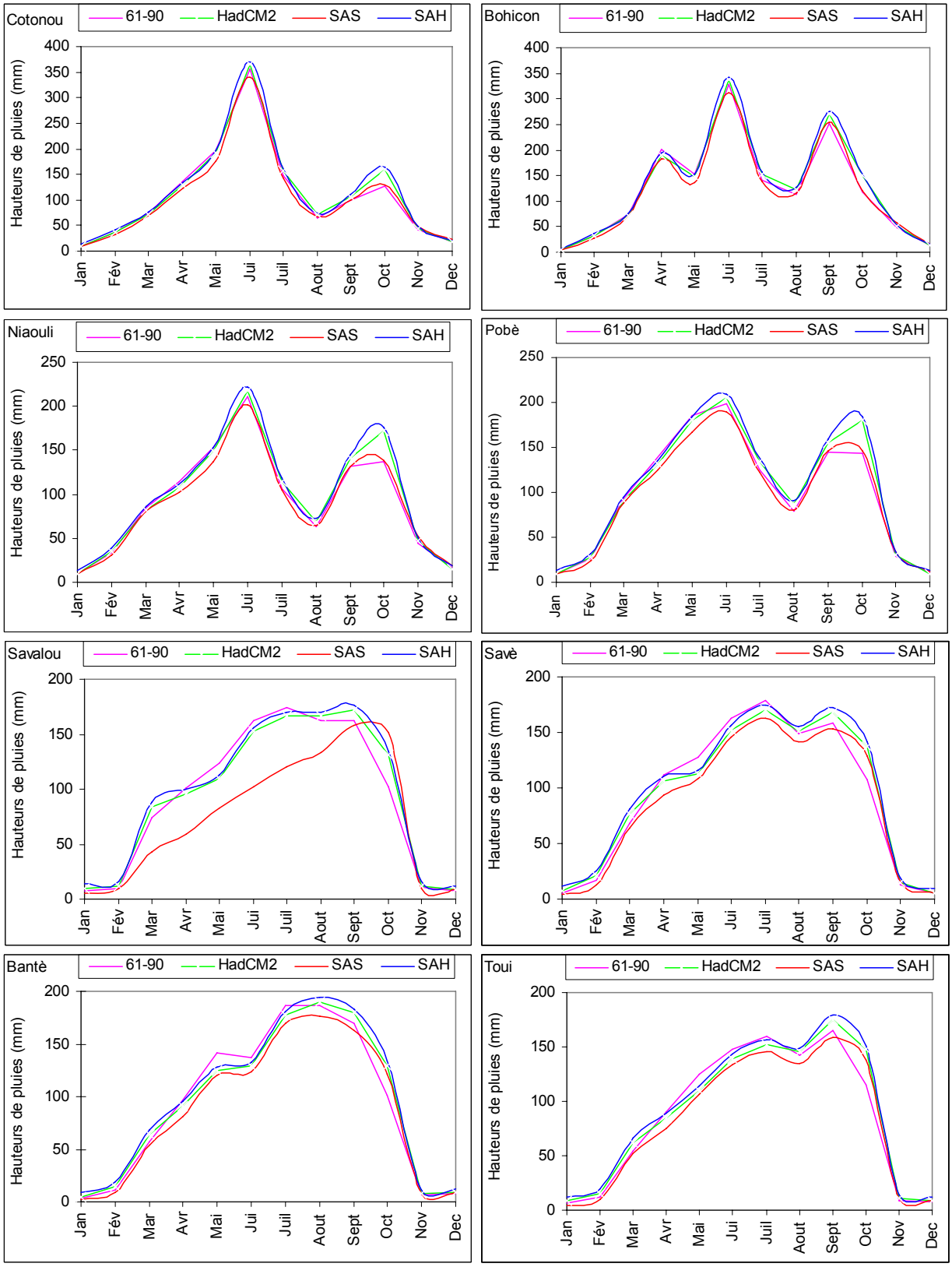


Figure 51 : Evolution comparée des régimes pluviométriques de 2050 et de 1961-1990

Les régimes pluviométriques ne seront pas fondamentalement modifiés à l'horizon 2050 (figure 51). Il y aurait plutôt un déplacement des saisons en ce que les mois d'octobre et novembre, par exemple, deviendraient plus humides alors que mai, juin

au cœur de la première saison culturale seraient marquées par des baisses par rapport à leur statut sur la normale 1961-1990 (figure 52).

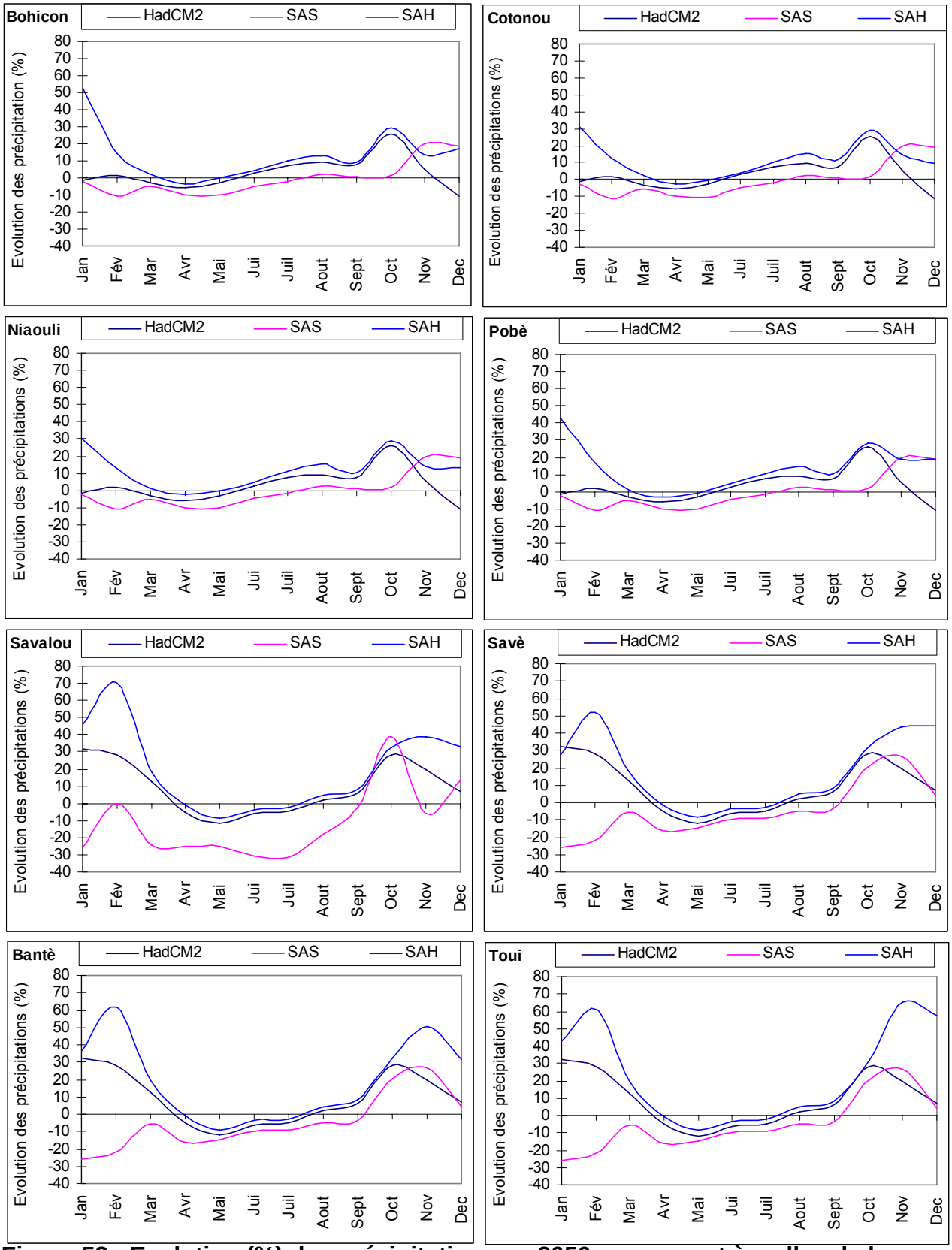


Figure 52 : Evolution (%) des précipitations en 2050 par rapport à celles de la normale 1961-1990

L'examen de la figure 52 montre, par comparaison à la normale 1961-1990 que les mois de mars, avril et mai sont marqués par une baisse respective de 3,2 ; 5,8 et 10,9 %. De même, juin et juillet connaîtraient des baisses respectives de 16 et 5 %. En revanche, octobre, initialement moins pluvieux devient plus humide avec une augmentation de 25 %. Dans le même temps, les températures maximales et minimales augmenteront. La comparaison des températures maximales futures et de celles de la période 1961-1990 montre que la hausse dépasserait 2 °C dans le Bénin central (tableau XVII).

Tableau XVII : Données thermométriques futures sous SRESB2/HadCM2

Stations	Temp	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Niaouli	max	36,3	37,9	37,4	36,9	35,4	33,1	31,5	31,6	32,6	33,7	35,2	35,4
	min	25,0	26,3	26,7	26,7	25,9	24,3	24,4	24,3	24,5	24,7	25,4	24,8
Bohicon	max	37,5	38,9	38,5	37,3	35,5	33,4	31,7	31,6	32,7	34,2	36,2	36,4
	min	24,0	25,3	25,6	25,4	24,6	23,6	23,0	22,7	23,0	23,4	24,2	23,8
Pobè	max	36,2	37,7	37,6	36,5	34,6	32,6	30,9	30,9	31,8	33,0	34,3	34,9
	min	22,3	23,4	23,4	23,2	22,7	22,2	21,9	21,6	21,8	22,1	22,6	22,3
Savalou	max	38,5	38,7	39,1	37,5	35,8	33,7	32	31,9	32,8	34,4	36,6	36,7
	min	24,5	25,6	25,8	25,8	24,9	23,6	23,4	23	23,6	23,4	24,3	23,9
Savè	max	38,4	38,7	39,0	37,6	35,8	33,8	31,9	31,9	32,7	34,3	36,5	36,7
	min	24,6	25,7	25,6	24,7	25,2	23,9	23,7	24	23,5	23,5	24,4	23,9

Source : Résultats de calculs

Temp = Température ; max = maximale ; min = minimale

L'éventualité d'un changement de climat aggraverait les problèmes de l'agriculture. L'élévation des températures provoquerait un accroissement de l'évapotranspiration potentielle (ETP), facteur dont dépendent fortement les besoins en eau des cultures. Ces besoins représentés par l'évapotranspiration maximum (ETM) seront accrus proportionnellement à l'augmentation de l'ETP dans la mesure, où ETM = kc x ETP où kc représente le coefficient cultural. Cela va négativement influencer les rendements et partant les situations alimentaires des populations du Bénin méridional et central.

Synthèse et conclusion de la deuxième partie

Les données de littérature révèlent que la Terre en général, et les deux régions d'étude en particulier ont été le siège de plusieurs variations climatiques dans le temps. L'existence des dalles cuirassées dans la région d'Abomey, des différents types de sols, des nombreux lacs (Nokoué, Ahémé, etc.) dans le

Bénin méridional, des cordons des sables jaunes (Sèmè et Ouidah), ne peut être expliquée sans qu'on fasse recours aux paléoclimats. Ces différents éléments du paysage constituent les indicateurs des changements climatiques anciens dans le Bénin méridional et central.

L'analyse des données pluviométriques de la période de référence (1961-1990) montre une baisse respective de -2,84 % et -3,5 % par an dans le Bénin méridional et central et un réchauffement de +0,9 °C entre 1961 et 1990.

En outre, l'analyse comparative des données pluviométriques et thermiques sur les périodes 1971-2000 et 1941-1970, permet d'appréhender les changements intervenus dans les champs pluviométriques des deux régions d'étude. Partout, on constate une réduction (en moyenne de 10 %) du nombre de jours pluvieux, une diminution des hauteurs moyennes de précipitations comprise entre -18 et -28 % au cours de la première saison agricole et un réchauffement thermique, à l'échelle annuelle, de +0,6 °C dans le Bénin méridional et de +1 °C dans le Bénin central qui sont autant d'indicateurs de l'évolution des climats actuels dans les deux régions d'étude.

Cette évolution climatique, notamment le réchauffement actuel est la conséquence directe des activités de l'homme sur le climat, par le biais des émissions accrues de gaz à effet de serre, principalement le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (NO_2).

Dans un contexte caractérisé par une émission continue des GES, les simulations faites, sous le canevas B2 du SRES indiquent une hausse des températures comprises globalement entre +1,5 et +2 °C en 2050. La baisse de la pluviométrie serait comprise entre -11 et -30 %. A ces modifications s'ajoutera un éventuel basculement des saisons. En effet, le recul à l'échelle annuelle des précipitations sera associé à une forte fluctuation et à un déplacement des saisons d'humidité. Les mois de mars, d'avril et de mai sont marqués par une baisse respective de -3,2 ; -5,8 et -10,9 %. En juin et en juillet il y aura une baisse respective de -16 et -5 %. En octobre, on notera un accroissement de plus de +25 % de ses hauteurs en référence à son statut sur la normale 1961-1990 dans les deux régions d'étude.

Le réchauffement climatique est dû à un accroissement d'origine anthropique des gaz à effet de serre, phénomène qui vient ces dernières années s'ajouter à une phase de réchauffement naturelle. La rapidité des dérèglements constatés ne laisse pas le temps à de nombreuses espèces végétales de s'adapter. Or, les changements climatiques d'origine humaine vont se poursuivre pendant encore de nombreux siècles. Quels en seront les impacts sur le plan agroalimentaire et les incidences sur la vie économique ? Et que faire pour garantir la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central ?

Troisième partie

Impacts potentiels des changements climatiques sur la sécurité alimentaire, réponses adaptatives et mitigation

CHAPITRE NEUVIEME : RISQUES AGROALIMENTAIRES ET VULNERABILITE DES POPULATIONS A UN CLIMAT FUTUR

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.

Ce chapitre est consacré à la détermination du contexte alimentaire qui découlerait de la vulnérabilité des rendements des cultures ciblées aux changements climatiques. A partir de l'examen des impacts d'un changement du climat sur les ressources alimentaires, ce chapitre aborde la magnitude de la vulnérabilité des populations ainsi que les autres incidences socioéconomiques liées à l'évolution des climats dans le Bénin méridional et central.

9.1 - Rendements agricoles par scénario climatique en 2050

Les recherches expérimentales jusque-là effectuées 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. (IPCC, 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 le Bénin méridional et central d'ici à 2050.

Dans les conditions climatiques de 2050, les sorties du modèle de simulation attestent la vulnérabilité agricole dans le Bénin méridional et central. Les rendements moyens des dix cultures en ce qui concerne le Bénin méridional sont présentés dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII : Rendements (kg/ha) des cultures en 2050 par scénario climatique dans le Bénin méridional

Scénarios / Culture	Scénario analogue sec	Scénario analogue humide	Scénario SRESB2/ HadCM2
Arachide	509,6	794,0	577,2
Gombo	1651,7	2197,6	1757,2
Igname	8544,5	9714,7	9404,3
Maïs	695,1	897,0	747,0
Manioc	7929,3	9383,7	7878,9
Niébé	455,7	554,7	474,7
Patate douce	4401,4	4840,3	4974,7
Piment	1905	2305	1399
Riz	1681,3	2380,6	1849,4
Tomate	4264,0	4512,1	4563,0

Source : Résultats de simulation par DSSAT V.4

Le rendement du manioc serait voisin dans les scénarios analogue sec et SRESB2/HadCM2. Il en serait de même pour le maïs avec respectivement des rendements de 695,1 et 747,0 kg/ha. L'analyse comparative des rendements du tableau XVIII à ceux observés dans le Bénin méridional sur les vingt dernières années (1983-2002) indique une détérioration des rendements dans le contexte d'un changement climatique, et ce, tous scénarios confondus (figure 53).

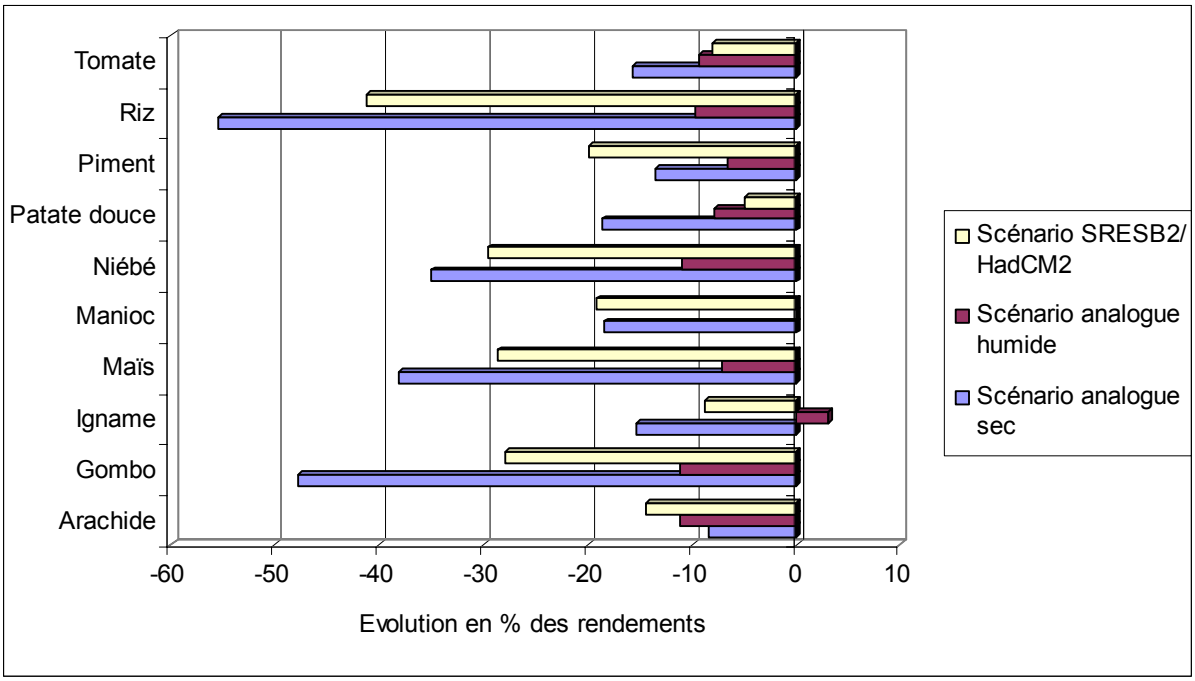


Figure 53 : Ecart en pourcentage (%) des rendements futurs et des rendements moyens actuels (1983-2002) dans le Bénin méridional

Si le contexte actuel de mise en valeur des terres se maintient, les rendements agricoles baisseront en 2050 dans le Bénin méridional. Dans les scénarios climatiques analogues humide et sec, les écarts entre les rendements actuels et ceux potentiels pour l'arachide, le maïs, le manioc et le niébé seraient respectivement de –8,4 et –14,6 % ; -7,1 et –38,2 % ; -0,1 et -19,2 % et -10,9 et –35,0. Le contexte climatique du scénario analogue sec va engendrer une plus grande détérioration des rendements des cultures, principalement du maïs, du niébé et du riz. Quel que soit le scénario, l'examen des rendements futurs suggère que les cultures, sauf l'igname dans le scénario analogue humide, connaîtraient des baisses relativement importantes.

Les rendements espérés pour les dix cultures dans les conditions climatiques supposées pour le Bénin central sont consignés dans le tableau XIX.

Tableau XIX : Rendements (kg/ha) des cultures en 2050 par scénario climatique dans le Bénin central

Scénarios / Culture	Scénario analogue sec	Scénario analogue humide	Scénario SRESB2/ HadCM2
Arachide	512,6	1002,0	629,2
Gombo	1635	2417,4	1985,6
Igname	4294	12170	7805,7
Maïs	704,4	1047,0	708,0
Manioc	7962,1	9281,4	6605,9
Niébé	436,7	703,4	394,7
Patate douce	3528	4279,6	3974,7
Piment	481,2	707,2	625,6
Riz	1501	2858,0	1902,0
Tomate	3064,0	3980,0	3563,0

Source : Résultats de simulation par DSSAT V.4

Le rendement de l'arachide varierait énormément selon les scénarios (tableau XIX). Il sera de 512,6 ; 1002,0 et 629,2 kg/ha respectivement dans les scénarios analogues sec, humide et SRESB2/HadCM2. De même, l'igname enregistrerait un rendement de 4294 kg/ha dans le scénario analogue sec alors qu'il serait trois fois plus élevé dans le scénario SRESB2/HadCM2. Une analyse comparative faite entre les rendements présentés dans le tableau XIX et ceux des compendia des statistiques agricoles du MAEP sur la période 1983-2002, indique une situation agricole critique dans le Bénin central à l'horizon 2050 (figure 54).

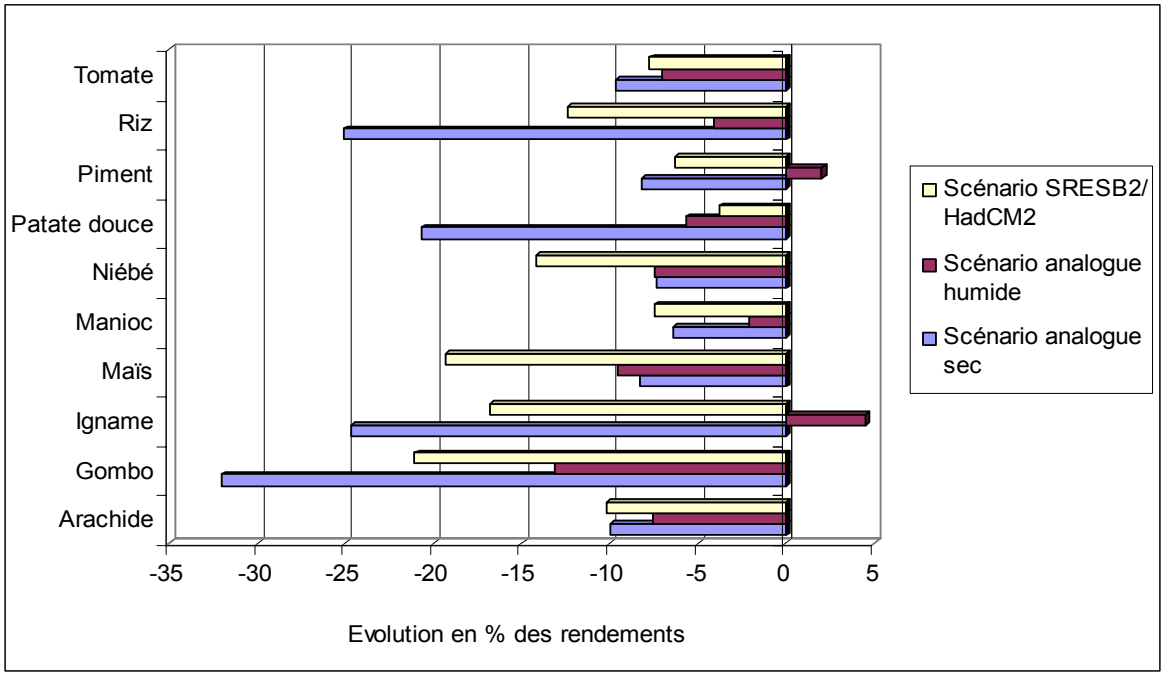


Figure 54 : Ecart en pourcentage (%) des rendements futurs et des rendements moyens actuels (1983-2002) dans le Bénin central

Au regard de la figure 54, le Bénin central connaîtrait une baisse des rendements des cultures, sauf pour le piment et l'igname dans le scénario analogue humide. Dans le scénario analogue sec, les baisses du rendement de l'igname, du maïs, du manioc et du niébé seraient respectivement de -24 % ; de -8,3 % ; de -14,4 % et de -7,3 %. Le riz verra son rendement chuter de -25 et -12,4 % respectivement dans le scénario analogue sec et le scénario SRESB2/HadCM2. Le niébé serait plus vulnérable au contexte climatique du scénario SRESB2/HadCM2. La baisse attendue est d'environ -15 %. Pour le scénario analogue humide, le rendement de l'igname, aliment de base dans le Bénin central, va augmenter de +4 %. Et comme dans le Bénin méridional, c'est dans le scénario analogue sec que les principales cultures subiront une forte détérioration de leur rendement à l'horizon 2050.

Dans les deux régions, l'examen des résultats de simulation montre que les rendements des cultures entrant dans les habitudes alimentaires subiront des baisses importantes. Le maïs, par exemple, pour le Bénin méridional et l'igname pour le Bénin central, vont connaître des baisses de -38 et -25 % et de -29 et -17 % respectivement dans le scénario analogue sec et dans celui du SRESB2/HadCM2 à l'horizon 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 bonne résistance du manioc et de l'arachide est à relativiser. En effet, 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 très dur. Selon les propos de Bokonon-Ganta rapportés par Ogouwalé (2001), au Togo en 1983, l'usine de Ganavé a dû fermer dans la mesure où les champs de manioc n'ont pu être récoltés en raison de l'ampleur de l'aridité des terres consécutive à la sécheresse de cette année. Dans les mêmes conditions, il est évident que beaucoup de gousses d'arachide resteront en terre au cours de la récolte (Ogouwalé, 2001).

Les conditions climatiques des cinq prochaines décennies induiront une baisse des récoltes 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 d'Humidité (IH), présenté dans le tableau XX, dont les baisses signifient une diminution de l'apport en eau pluviale pendant les phases de croissance et de développement des différentes cultures.

Tableau XX : Indice d'humidité en 2050 comparé à celui de 1961-1990

Scénarios	Référence et projection	Bohicon	Cotonou	Niaouli	Pobè	Savalou	Savè
Scénario analogue sec	Climat (1961-1990)	0,978	0,984	1,000	1,000	0,922	0,935
	Climat 2050	0,699	0,720	0,877	0,840	0,810	0,776
	Evolution (%)	-28,5	-26,8	-12,3	-16,0	-12,14	-16,8
Scénario analogue humide	Climat (1961-1990)	0,978	0,984	1,000	1,000	0,962	0,935
	Climat 2050	0,960	0,892	0,986	0,936	0,933	0,922
	Evolution (%)	-02,1	-9,01	-01,0	-6,12	-03,3	-13,1
Scénario SRES/B2 HadCM2	Climat (1961-1990)	0,978	0,984	1,000	1,000	0,922	0,935
	Climat 2050	0,797	0,780	0,913	0,860	0,707	0,820
	Evolution (%)	-18,0	-20,1	-09,0	-14,0	-23,2	-12,05

Source : Résultats de calculs

La variation des indices d'humidité indique une tendance à l'assèchement bioclimatique dans le Bénin méridional et central. Lorsqu'ils se rapprochent de zéro,

plus le climat devient aride (Issa, 1995 et Ogouwalé, 2004) et cela se manifeste par un plus fort assèchement des terres.

Une diminution des précipitations (scénarios analogue sec et SRESB2/HadCM2) affectera les plantes annuelles, qui ne peuvent accéder aux réserves d'humidité profondes du sol. Par conséquent, ces plantes ne pourront pas terminer leur cycle végétatif.

Une telle situation, qui s'amplifierait dans le scénario analogue sec, serait due à un stress hydrique plus accru. Ceci enlèverait aux cultures leur capacité adaptative de fermeture hydroactive des stomates et le mécanisme de régulation de perte en eau qui contribuent à maintenir ou à augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau, notamment à la plus forte demande évaporatoire qui aura cours dans les climats futurs. L'augmentation des pertes en eau en début de cycle influencera fortement les phases de fructification et de remplissage (Allen et *al*., 1998). Tout ceci se traduira par une réduction des rendements des cultures dans le Bénin méridional et central.

Par ailleurs, les changements au niveau de la durée de la période végétative affecteront le déroulement des différentes phases de développement des cultures (Sombroek, 1997 ; Ogouwalé, 2004). La figure 55 montre un rétrécissement des saisons de croissance en climat futur et indiquent la tendance à un glissement ou déplacement des saisons pluviométriques dans le Bénin méridional et central.

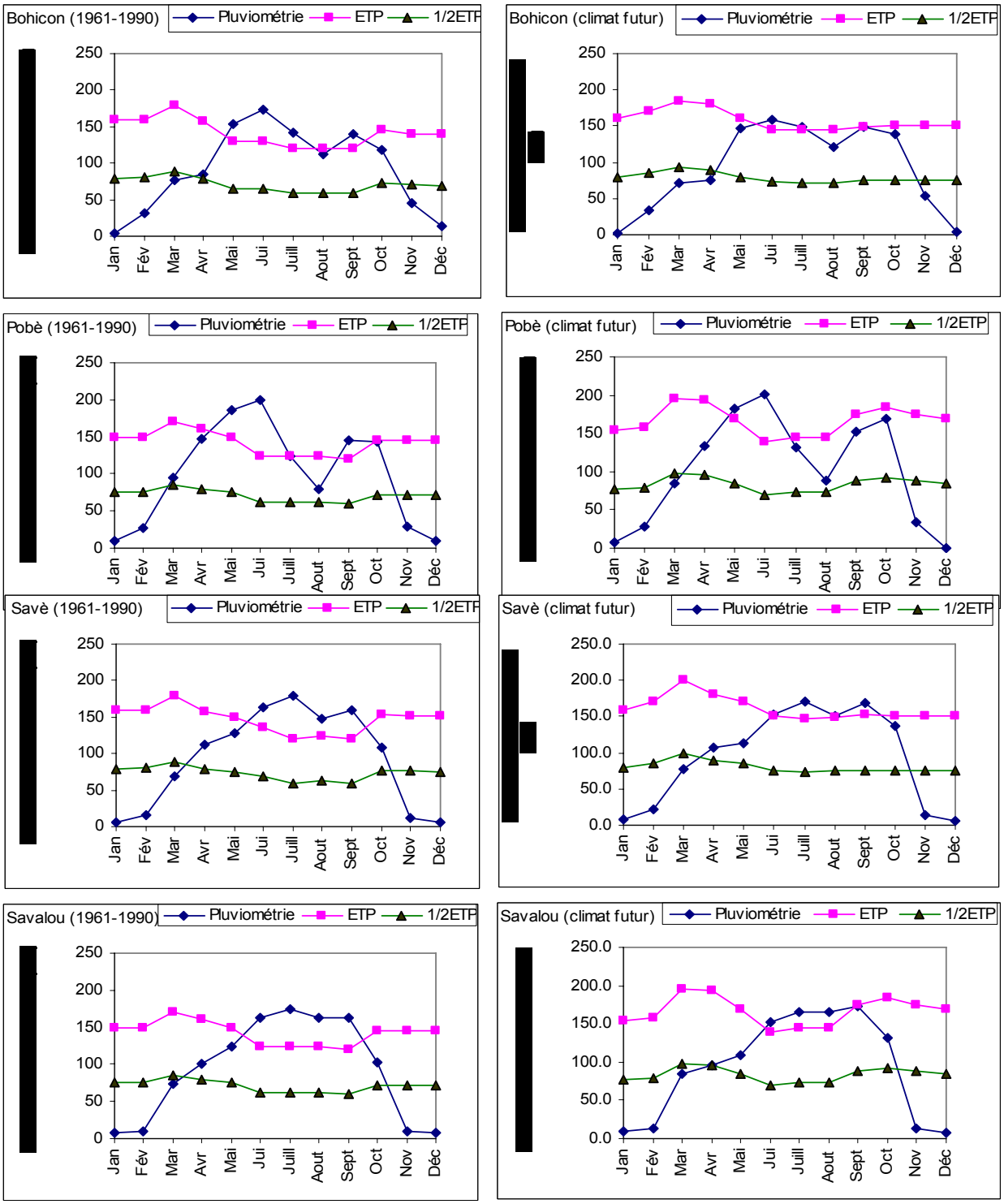


Figure 55 : Saisons de croissance en climat actuel (1961-1990) et en climat futur (2050)

La figure 51 montre une avancée du point où la courbe de pluviosité rencontre pour la première fois celle de 1/2ETP, début de saison de croissance et, par une légère avancée du second point où la courbe de la pluviométrie recoupe la courbe de 1/2ETP, fin de la saison culturale. Cela se traduit par un passage du statut bimodal à

celui unimodal de l'humidité. Ce changement du mode d'humidité qui se traduira par un raccourcissement de la période de croissance associé à des températures plus élevées pendant la période de croissance hâtera les cultures annuelles dans leur développement (surtout le stade de remplissage des grains). Ceci entraverait la production de grains et partant une réduction des rendements des cultures testées. Aussi, une diminution de la disponibilité en eau due à une combinaison de hausses des flux d'évapotranspiration en climat plus chaud et pertes accrues d'humidité du sol dans les scénarios de changement du climat, viendrait s'ajouter et expliquerait la détérioration des rendements (Ogouwalé, 2004).

La baisse du rendement des différentes cultures serait davantage expliquée par l'évolution des indices de stress agroclimatiques (IAC) dont l'augmentation signifie une insatisfaction des besoins en eau des cultures au cours des phénophases sensibles. Ceci entraîne une réduction des rendements en raison de la faiblesse de ré-allocation des nutriments (azote, oxygène, hydrogène, potassium, etc.) au niveau des plantes. Les tableaux XXI, XXII et XXIII présentent respectivement à Bohicon, Pobè et Savè les valeurs de cet indice sous le scénario SRESB2/HadCM2.

Tableau XXI : IAC en climat (1961-1990) et IAC en climat futur à Bohicon

Cultures	Climat (1961-1990)	Climat 2050	Evolution (%)
Arachide	0,076	0,075	-01,3
Gombo	0,072	0,074	+02,8
Igname	0,073	0,076	+04,1
Maïs	0,072	0,076	+05,6
Manioc	0,072	0,073	+01,4
Niébé	0,072	0,079	+09,7
Patate douce	0,073	0,076	+04,1
Piment	0,074	0,075	+03,1
Riz	0,075	0,081	+08,0
Tomate	0,072	0,075	+04,2

Tableau XXII : IAC en climat (1961-1990) et IAC en climat futur à Pobè

Cultures	Climat (1961-1990)	Climat 2050	Evolution (%)
Arachide	0,117	0,137	+17,1
Gombo	0,116	0,116	00,0
Igname	0,115	0,140	+12.2
Maïs	0,116	0,134	+15,5
Manioc	0,119	0,136	+14,3
Niébé	0,116	0,115	-09,2
Patate douce	0,115	0,148	+28,7
Piment	0,118	0,123	+06,4
Riz	0,114	0,129	+13,2
Tomate	0,116	0,111	-04,3

Tableau XXIII : IAC en climat (1961-1990) et IAC en climat futur à Savè

Cultures	Climat (1961-1990)	Climat 2050	Evolution (%)
Arachide	0,075	0,096	+21,1
Gombo	0,081	0,074	+14,8
Igname	0,080	0.091	+13,8
Maïs	0,081	0,093	+14,2
Manioc	0,079	0,092	+16,4
Niébé	0,081	0,093	-04,8
Patate douce	0,068	0,098	+28,1
Piment	0,082	0,094	+17,4
Riz	0,083	0,092	+10,6
Tomate	0,081	0,092	+10,8

L'analyse comparative des IAC en climats actuels (1961-1990) et sur la base des données des tableaux XXI, XXII et XXIII, indique une augmentation de ce paramètre agroclimatique en raison du réchauffement climatique et de la forte demande évaporatoire dans le Bénin méridional et central au cours des cinquante prochaines années. En dehors de l'arachide à Bohicon, du Niébé à Pobé et à Savè et de la tomate à Savè, marquées par une baisse de leur IAC, les autres cultures connaissent une augmentation comprise entre 3 et 28 % de cet indice. 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.

En somme, un stress thermique supplémentaire risque de réduire les rendements dans les deux régions étudiées. 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.

Par ailleurs, l'augmentation de l'évaporation du sol et l'intrusion d'eau marine (Totin, 2003) vont accentuer le degré de salinité des terres agricoles provoquant ainsi leur dégradation, notamment dans le Bénin méridional. Aussi, déjà encline au phénomène d'érosion du fait de la déclivité topographique et des techniques agricoles, la répétition d'événements climatiques extrêmes dans le futur (IPCC, 2001) viendrait accroître les risques d'érosion, et partant une diminution de la fertilité des terres.

A ces facteurs explicatifs de la baisse des rendements évoqués, s'ajoutera celui lié à la dérioration plus accrue de l'état de santé des populations paysannes du fait des changements climatiques. 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 (Houssou ; 2000). Les maladies comme la méningite cérébro-spinale pourrait regagner du terrain dans le scénario analogue sec à cause des saisons sèches devenues très longues.

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 aux travaux champêtres. Une telle situation ne ferait qu'aggraver la baisse des productions agroalimentaires.

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 (Sinha, 1991). 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 récolte.

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 notable 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 Adjahossou (1983) et Sombroek et Gommes (1997), 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.

Dans un tel contexte, combien d'affamés ou de mal nourris compteront le Bénin méridional et le Bénin central à l'horizon 2050 et quels sont les autres problèmes socio-économiques associés à la baisse des rendements agricoles et à la précarité alimentaire ?

9.2 - Vulnérabilité des populations

La baisse du rendement des cultures associée à la faiblesse continue de l'indice agrodémographique au cours des prochaines décennies, qui caractérisera les deux régions d'étude, va induire une chute des productions. En conséquence, il se posera le problème de l'insécurité alimentaire. Partant de la consommation par habitant et par an et par denrée nécessaire au maintien de l'intégrité physiologique et biologique, le nombre de ménages et le taux de personnes qui pourraient être affamés ou sous alimentés en 2050 dans les deux régions d'étude (tableau XXIV et XXV) seront élevés.

Tableau XXIV : Nombre de ménages (en millier) ne pouvant pas satisfaire à leurs besoins alimentaires par culture et par scénario en 2050

Scénarios	Scénario analogue sec		Scénario analogue humide		Scénario SRESB2/ HadCM2	
Région / Cultures	Bénin méridional	Bénin central	Bénin méridional	Bénin central	Bénin méridional	Bénin central
Arachide	1088,3	0,0	906,4	0,0	1100,5	0,0
Gombo	1886,3	136	1659,6	0,0	1800,4	51
Igname	NP	0,0	NP	0,0	NP	304
Maïs	1765,2	50	1707,0	0,0	2025.2	47
Manioc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Niébé	1709,1	139	0,0	0,0	0,0	177
Patate douce	34,3	495	370,9	487	474,0	490
Piment	556,8	0,0	3456,8	0,0	2456,8	0,0
Riz	2741,4	0,0	2689,4	0,0	2717,4	0,0
Tomate	848,3	0,0	1505,9	0,0	1566,2	0,0

- NP = Non Prise en compte car seuls les départements du Plateau et du Couffo en sont producteurs.

Les données du tableau XXIV permettent de constater que les productions de riz et de l'arachide permettront aux populations du Bénin central de subvenir à leurs besoins alimentaires, tous scénarios confondus. Par contre, pour les mêmes cultures, les populations du Bénin méridional ne pourront pas satisfaire ces besoins. En 2050, 1 100 500 et 1 088 300 ménages ne disposeront pas en quantité suffisante d'arachide pour subvenir à leur besoin respectivement dans le scénario SRESB2/HadCM2 et celui de l'analogue sec. En outre, dans les deux régions des milliers de ménages ne pourront pas satisfaire leurs besoins en maïs. Mais, c'est dans le Bénin méridional que le nombre de ménages en situation alimentaire difficile serait important. La production du manioc disponible dans les deux régions, permettrait de subvenir aux besoins des populations.

Dans le scénario analogue humide, à l'opposé du Bénin méridional, le Bénin central pour toutes les cultures, en dehors de la patate, disposerait de produits alimentaires pour nourrir sa population. Les taux de populations ne disposant pas de quoi se nourrir convenablement sont présentés dans le tableau XXV.

Tableau XXV : Pourcentage de populations ne pouvant pas satisfaire leurs besoins alimentaires par culture et par scénario en 2050

Scénarios	Scénario analogue sec		Scénario analogue humide		Scénario SRESB2/ HadCM2	
Région / Cultures	Bénin méridional	Bénin central	Bénin méridional	Bénin central	Bénin méridional	Bénin central
Arachide	39,2	0,0	32,7	0,0	39,7	0,0
Gombo	68,0	25,5	59,8	0,0	64,9	9,5
Igname	NP	0,0	NP	0,0	NP	26,8
Maïs	63,7	9,3	61,6	0,0	73,0	8,9
Manioc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Niébé	61,6	25,9	0,0	0,0	0,0	33,0
Patate douce	1,2	92,6	13,4	91,0	17,1	91,6
Piment	43,4	0,0	22,6	0,0	52,5	0,0
Riz	98,9*	0,0	97,0*	0,0	98,0*	0,0
Tomate	30,6	0,0	54,3	0,0	56,5	0,0

* à relativiser du fait que les données actuelles ne permettent pas d'avoir des tendances crédibles
NP = Non Prise en compte car seuls les départements du Plateau et du Couffo en sont producteurs.

Le Bénin méridional enregistrera, selon les données du tableau XXV, les plus forts taux de personnes ne disposant pas de denrées alimentaires en quantité suffisante, exception faite au manioc, pour satisfaire les besoins alimentaires des populations. Dans les scénarios analogues sec et SRESB2/HadCM2, respectivement 63,4 et 73,0 % de ces populations ne pourront pas subvenir à leurs besoins en maïs.

Pendant ce temps, le Bénin central continuera d'enregistrer des surplus pour la plupart des denrées alimentaires. C'est seulement pour la culture du niébé que 25,9 et 33,0 % des populations ne pourront pas satisfaire leurs besoins en cette denrée respectivement dans les scénarios analogues sec et SRESB2/HadCM2. La détérioration alimentaire dans cette région, si elle advenait, proviendrait d'une mauvaise gestion des récoltes ou d'une très forte augmentation de la population.

Dans les deux régions d'étude, la production de la patate douce serait insignifiante de sorte que plus de 90 % de la population seront affectées. Les populations vulnérables seraient les petits exploitants agricoles dont les ressources sont insuffisantes, les manœuvres ruraux sans terre et les citadins pauvres. En dehors de cette catégorie, les populations les plus vulnérables sont les enfants, les démunis et les personnes isolées (Issa, 1995 ; Ogouwalé, 2004). Ces populations auront plus du mal à faire face aux conséquences agricoles des changements climatiques à cause des insuffisances infrastructurelles, du manque d'accès aux technologies et à

l'information (Ogouwalé, 2001). L'ampleur de la vulnérabilité des populations sera directement fonction de leur capacité d'adaptation, ce qui dépendra de leurs ressources économiques et techniques et de la gestion des autres impacts socio-économiques des changements climatiques.

9.3 – Autres impacts socio-économiques et réponses sociales

Les impacts évoqués ici sont envisagés en se fondant sur les situations connues lors des évènements climatiques extrêmes révélés par les populations lors des investigations sur le terrain. Selon 64 % des populations paysannes interrogées, les sécheresses de 1977 et 1983 ont engendré en dehors de la pénurie alimentaire dans le Bénin central et de la famine dans le Bénin méridional, d'autres problèmes sociaux qui ont amplifié les difficultés alimentaires.

9.3.1 - Modification des habitudes alimentaires et réponses sociales

Les données collectées sur le terrain permettent de constater que face aux sécheresses passées les populations ont eu à développer des capacités d'adaptation autonome aux crises alimentaires. En outre, la littérature renseigne sur le fait que la longue sécheresse du temps du règne du roi Ghézo (1818-1858) a déjà bouleversé la base alimentaire des populations. Par exemple, le beignet de céréales, appelé ''Kléklé-Kpodogba'' est contemporain de la sécheresse des années 1850 (Bokonon-Ganta, 1987). C'est à cette période que le mil ou le sorgho de cycle long (160 à 180 jours) a été remplacé par le maïs de cycle court (90 jours) dans certaines régions béninoises (Boko, 1988). Plus tard, c'est l'invasion alimentaire du riz et du blé, importés à grands frais, pour suppléer l'insuffisance chronique des productions vivrières nationales, qui était intervenue. Il s'en est suivi un profond bouleversement des régimes alimentaires dans les campagnes avec pour corollaire, la disparition progressive de la petite ''industrie alimentaire traditionnelle'' (beignet, galettes de maïs ou du haricot) au bénéfice des boulangeries installées dans les villes et les gros villages (Boko, 1988).

Dans le contexte d'un changement du climat, en se fondant sur le passé, on peut estimer que les types d'adaptation évoqués reverront le jour. En plus, il se peut quon assiste à une déprotection des sources alimentaires sacrées et à un relâchement des interdits comme cela a pu se produire au cours des sécheresses passées (selon

les dires de 62 % des populations interrogées) et à une flambée de prix des produits alimentaires.

9.3.2 - Augmentation des prix des produits agricoles et risques économiques

Dans une situation de pénurie accrue, comme c'était le cas en 1977, on assistera à une augmentation du prix des produits alimentaires. Une inflation économique généralisée en découlerait, et le bien-être socio-économique de toute la population du Bénin méridional et central sera fortement menacé.

Les risques économiques potentiels sont à craindre parce que les usines de transformation des produits agricoles tourneront au ralenti ou fermeront leurs portes, puisqu'elles sont tributaires des produits agricoles, qui constituent leurs principales matières premières. Ceci entraînera une hausse des prix des produits manufacturés locaux. Les prix des produits agricoles qui entrent directement dans les habitudes alimentaires augmenteront et engendreront une inflation sans commune mesure. Ce fut le cas chaque fois que la pénurie a été observée sur le marché national. Par exemple entre 1976 et 1977, le prix du maïs (appelé pour la circonstance " awinounkoun" ou "nivaquine") a augmenté de plus de 300 % selon les informations collectées auprès des populations et personnes ressources consultées.

Par ailleurs, la diminution de la productivité agricole pourrait accélérer l'abandon de l'économie rurale et la migration vers les centres urbains. En effet, un tel mouvement a été déjà observé lors des sécheresses passées. Aussi, l'impossibilité de s'adapter à des changements défavorables pourrait entraîner d'importantes privations et plusieurs autres conséquences socioéconomiques.

9.3.3 - Appauvrissement continu des populations

Les revenus par tête sont déjà faibles (en moyenne 150.000 francs CFA par an) selon PNUD (2001) dans ECVR2. Or, les changements climatiques induiront une faible productivité agricole. Cela se manifesterait par une chute prononcée des revenus des populations paysannes, qui sont évalués sous certains critères.

L'évaluation des incidences de la baisse des rendements sur les revenus est faite en supposant qu'un ménage qui emblave un (1) hectare par culture ciblée au cours d'une année agricole cultivera la même superficie par culture en 2050. Le prix au

kilogramme des différents produits, supposés augmenter de 10 % au cours des décennies à venir, a été multiplié par les quantités de production par culture et par unité de superficie en tenant compte des rendements actuels et de ceux de 2050 estimés. La figure 56 présente l'évolution des revenus bruts en 2050 par culture et en comparaison à ceux de la période 1998-2002 dans le Bénin méridional.

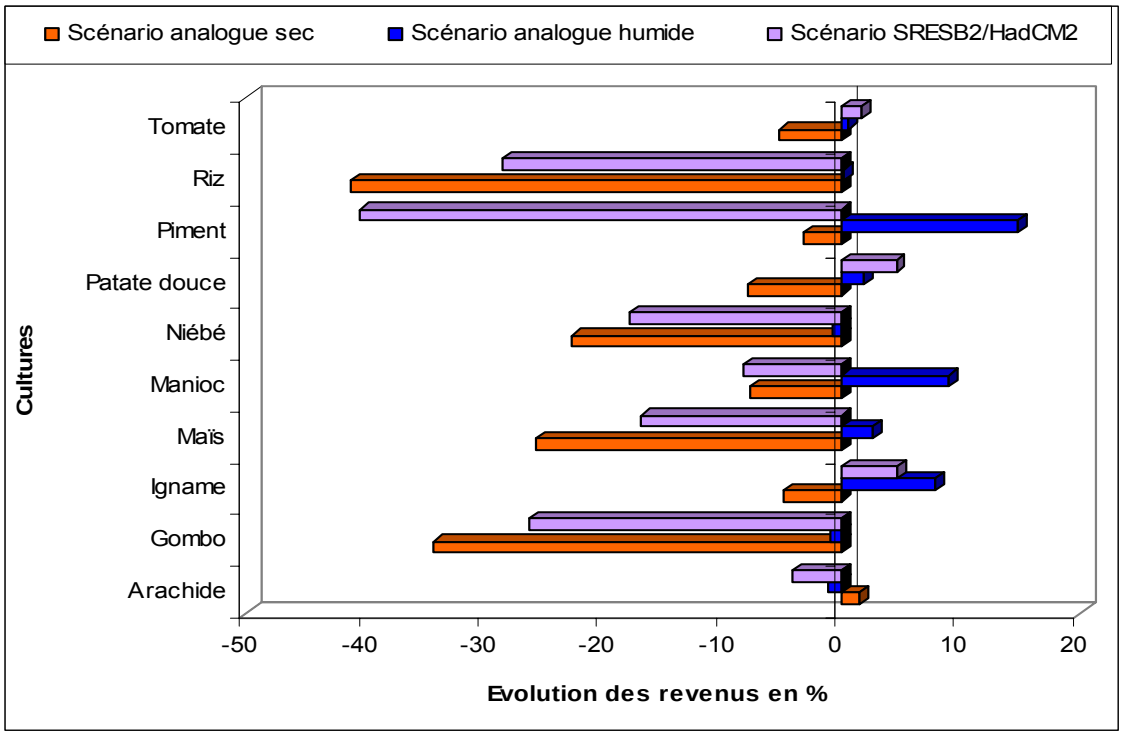


Figure 56 : Evolution comparée des revenus en pourcentage par hectare et par culture à l'horizon 2050 dans le Bénin méridional

L'examen de la figure 56 permet de constater qu'en dehors des revenus générés par les cultures du maïs, du piment, du manioc et de l'igname, qui enregistrent des augmentations comprises entre 3 et 17 %, notamment dans le scénario analogue humide, c'est à la baisse des revenus qu'on assistera dans le Bénin méridional. Cette baisse des revenus des populations paysannes atteindrait 40 et 30 % pour le riz, 25 et 18 % pour le maïs, respectivement dans le scénario analogue sec et celui SRESB2/HadCM2.

La situation serait tout aussi difficile pour les populations paysannes dans le Bénin central (figure 57).

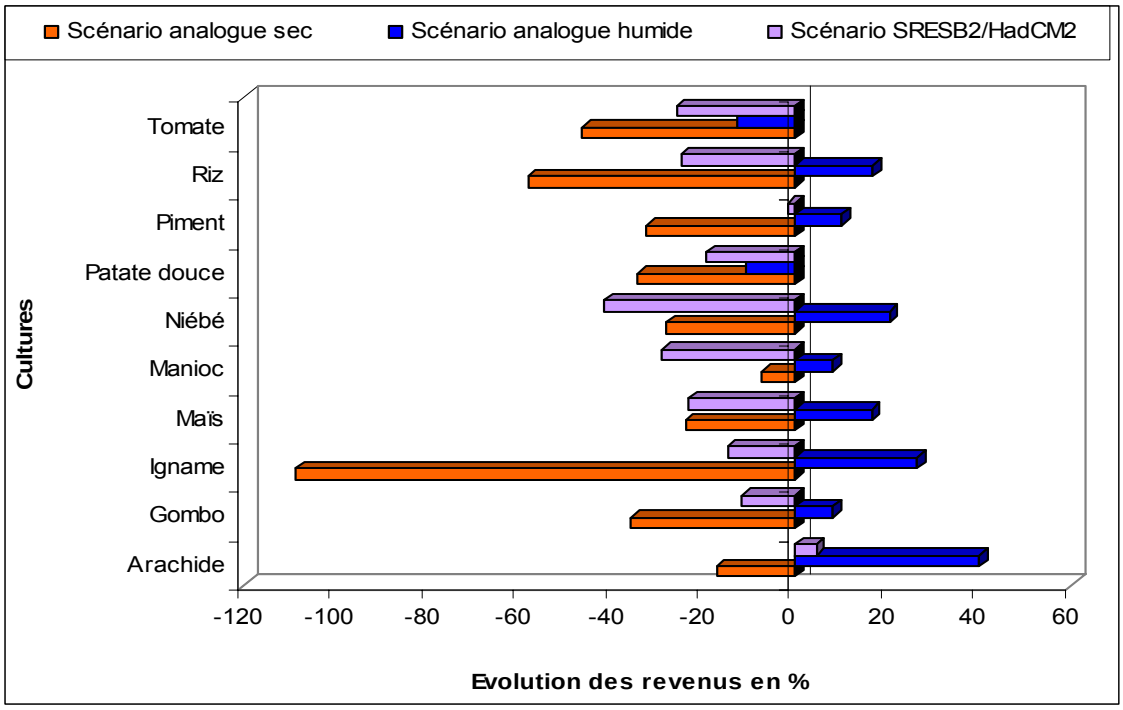


Figure 57 : Evolution comparée des revenus en pourcentage par hectare et par culture à l'horizon 2050 dans le Bénin central

Les revenus générés par la culture de l'igname baisseraient de plus de 100 % à l'horizon 2050 alors que ceux de la culture du manioc n'excéderaient pas 7 % dans le scénario analogue sec. En revanche, dans le scénario analogue humide, les revenus générés par les cultures d'arachide, d'igname, du riz, etc. s'amélioreraient respectivement de 40 ; 25 et 20 %.

En somme, dans le Bénin méridional et central, pour le scénario analogue humide, les revenus des paysans connaîtraient une amélioration comprise entre 3 et 10 %. Par contre, les populations paysannes enregistreront, dans le Bénin méridional et central, des baisses de revenus agricoles, qui se situeront entre 15 et 40 % dans le scénario analogue sec et entre 13 et 25 % dans le scénario SRESB2/HadCM2 à l'horizon 2050. Plus concrètement, si les prix des produits agricoles ne connaissaient que les faibles augmentations (MAEP, 2000) et dans le scénario analogue sec, le paysan du Bénin méridional perdrait 17 366 et 50 505 francs CFA respectivement pour les cultures du maïs et du manioc. Dans les mêmes conditions, le paysan du Bénin central verrait ses revenus diminuer de 148 526 et 189 830 francs CFA respectivement pour les cultures du manioc et de l'igname. Une nette dégradation des conditions de vie des populations deviendrait une réalité.

Au total, dans le contexte d'un climat modifié, la sécurité alimentaire se trouverait compromise, car les soldes alimentaires seraient négatifs pour l'essentiel des cultures. Les deux régions d'étude devront faire face à de nouveaux risques et à des pressions alimentaires énormes. La famine deviendrait une réalité dans le Bénin méridional et le Bénin central risque de connaître des pénuries alimentaires plus accentuées. De même, les changements climatiques réduiraient les revenus des populations vulnérables et augmenteraient conséquemment le nombre absolu de personnes exposées à la pauvreté.

Face à de telles tendances, il faut réagir dès maintenant. Cette nécessité de réaction amène à se poser certaines questions telles que : quelles sont les stratégies qui ont été développées lors des extrêmes climatiques connues ? Dispose-t-on de techniques et possibilités d'action pouvant permettre d'accroître la productivité agricole dans le contexte d'une évolution des climats au cours des cinquante années à venir ? Et quelles sont leurs limites ou les contraintes qui y sont liées ?

CHAPITRE DIXIEME : STRATEGIES REACTIVES PUBLIQUES ET AJUSTEMENTS AUTONOMES PAYSANS D'ADAPTATION AUX RISQUES AGROCLIMATIQUES ET ALIMENTAIRES

Ce chapitre décrit les différentes stratégies développées par les acteurs du secteur agricole (populations paysannes, structures étatiques, ONG, partenaires au développement, etc.). Ainsi, en réaction à l'évolution récente du climat, les populations paysannes ont procédé à des réajustements des pratiques agricoles, et ont investi d'autres écosystèmes autrefois abandonnés.

L'Etat de son côté à travers certaines structures de recherche (INRAB, LSSEE, LECREDE, FSA, ONASA, etc.) et plusieurs institutions nationales et internationales (FAO, FIDA, IITA, etc.) a exécuté des projets dans le sens du renforcement des stratégies paysannes ou pour améliorer les conditions de vie des populations à travers une meilleure productivité agricole.

10.1 - Stratégies réactives des pouvoirs publics

Les perturbations climatiques des trois dernières décennies ont incité les pouvoirs publics à développer plusieurs stratégies. Elles concernent principalement la mise en œuvre d'un certain nombre de projets, le couplage des cultures de rente et celles vivrières, la vulgarisation de nouveaux cultivars et la promotion de l'utilisation des intrants agricoles pour accroître la productivité des terres.

10.1.1 – Politiques et projets mis en œuvre pour la sécurité alimentaire

Le Bénin a défini les grandes orientations de sa politique agricole dans la "Lettre de Déclaration de Politique de Développement Rural" (LDPDR) depuis le 31 mai 1991. La mise en œuvre du Projet de Restructuration des Services Agricoles (PRSA) et la tenue de la Table Ronde du Secteur Rural, interviendront en 1995. En outre, afin de mieux intégrer le pays aux dynamiques économiques régionales et internationales, le Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche a défini des options stratégiques à travers la Déclaration de Politique de Développement Rural (DPDR) de juin 2000. La mise en œuvre de cette déclaration devait permettre une diversification des cultures d'exportation, une meilleure productivité agricole et la garantie de la sécurité alimentaire.

L'application des options stratégiques définies depuis 1991, a transformé le Bénin méridional et le Bénin central en un véritable pôle d'initiatives de développement rural pour une sécurité alimentaire. En effet, plus d'une dizaine de projets financés par le budget national et les partenaires au développement ont été exécutés ou sont en cours pour appuyer les populations dans différents domaines tels :

- la formation agricole et la vulgarisation des techniques agraires qui préservent l'environnement ;
- l'assistance à la paysannerie à travers l'octroi de crédits ;
- la mise en place des infrastructures de stockage et de commercialisation des produits alimentaires ;
- la promotion d'infrastructures communautaires (adduction d'eau, pistes rurales).

Le Projet d'Interventions Locales pour la Sécurité Alimentaire (PILSA), d'un coût global de 10,5 milliards de francs CFA, exécuté entre 1995 et 2000, a aidé à la réalisation de micro-projets d'infrastructures de renforcement de la sécurité alimentaire. Le Projet d'Activités Génératrices de Revenus (PAGER) pour sa part, lancé en 1997, a financé les activités génératrices de revenus et a contribué au renforcement et à la dynamisation de la transformation des produits agricoles.

Le Programme Spécial de Sécurité Alimentaire (PSSA), d'un coût de plus de 2,5 milliards de francs CFA, s'inscrit dans la stratégie nationale pour augmenter l'offre alimentaire. En effet, ce programme vise à travers une approche participative à accroître la production alimentaire à partir d'une hausse de la productivité agricole tout en protégeant durablement les composantes environnementales, et à améliorer l'accès à la nourriture des populations vulnérables. L'accent est surtout mis sur l'accroissement de la productivité des petits producteurs en vue d'améliorer la sécurité alimentaire des ménages. En outre, ledit programme est axé sur le développement des systèmes post-récolte et l'intégration sociale et économique des femmes.

Le Projet de Développement de la Filière Manioc (PDFM) et le Programme de Développement des Racines et Tubercules (PDRT) quant à eux, sont autant d'initiatives des pouvoirs publics pour une accélération de la croissance des productions agricoles.

Le PDFM lancé depuis 2000 a pour objectif global de renforcer la capacité des acteurs de la filière à savoir : les producteurs, les transformateurs et les opérateurs commerciaux. D'un coût de 35,5 milliards de francs CFA, ce projet vise :

- le doublement de la production nationale du manioc au bout de cinq (5) ans avec une faible croissance d'emblavures de l'ordre de 8 % ;
- la formation axée sur les techniques d'amélioration des rendements de production en racine fraîche de vingt mille (20 000) exploitants de type nouveau ;
- l'approvisionnement des marchés nationaux et de certains pays de l'Afrique centrale voire le marché international en quatre (4) produits à savoir : le gari, les cossettes de manioc, le tapioca et la farine de manioc.

Le PDRT, a pour objectifs opérationnels : la construction de pistes rurales, l'acquisition de matériels agricoles, la construction des infrastructures de stockage des produits agricoles, l'appui à l'élaboration de la politique nationale des racines et tubercules et la facilitation à l'accès aux crédits des acteurs de la production agricole.

A ces différentes initiatives s'ajoutent celles de l'Office National de Sécurité Alimentaire (ONASA) qui a mis au point un système d'information et d'alerte rapide sur le prix des principales céréales et les disponibilités alimentaires, devant permettre ainsi une détection rapide des déficits alimentaires.

Toutefois, ces actions et initiatives n'intègrent pas la problématique d'une évolution des climats tant dans leur formulation que dans leur mise en œuvre. C'est là l'une de leurs faiblesses majeures. De plus, leurs impacts restent et demeureront fortement limités dans la mesure où la majeure partie des ressources allouées est destinée plus aux frais de fonctionnement, moins qu'à la réalisation des actions, mêmes parcellaires, devant contribuer à la résolution des problèmes afférant à l'insécurité alimentaire.

10.1.2 – Couplage des cultures et projet de modernisation de l'agriculture

La politique du couplage des cultures de rente et des cultures vivrières a été initiée en réaction à la fulgurante percée de la production cotonnière au détriment de celle des cultures vivrières à partir des années 1990. Elle vise un seul objectif : garantir la sécurité alimentaire tout en encourageant et en soutenant les productions de rente.

Mais, les données disponibles n'indiquent pas que cette politique ait eu les effets escomptés, car il est difficile de réussir la motivation de la paysannerie à la culture vivrière, au regard des avantages immédiats des cultures de rente.

Par ailleurs, dans le sens du renforcement de la production agricole et de la modernisation de l'agriculture béninoise, le Gouvernement à travers son programme d'action poursuit :

- la vulgarisation de la culture attelée et la formation des paysans ;
- la lutte contre l'érosion des terres ;
- l'élaboration et l'application d'une législation foncière appropriée ;
- la réhabilitation de 100 entreprises agricoles par an pour la mise en valeur de 2 400 hectares au profit des jeunes désireux de faire carrière dans l'agriculture ;
- la création d'une banque à vocation agricole avec l'appui des partenaires privés et des Caisses Locales de Crédit Agricole et Mutuels (CLCAM) ;

Mais, toutes ces actions ne permettent pas encore de donner un coup d'accélération au processus de modernisation du secteur agricole tant souhaité et qui est une exigence si l'on veut se mettre à l'abri de l'arme alimentaire. C'est certainement pour éviter une telle crise que les pouvoirs publics ont développé plusieurs autres stratégies allant de l'intensification agricole à la culture irriguée.

10.1.3 – Développement et promotion des cultures irriguées

Le Bénin, au cours des trois dernières décennies a mis en œuvre plusieurs projets de création et de développement des périmètres rizicoles. Il s'agit entre autres, par exemple, de la Société d'Aménagement de la Vallée de l'Ouéme (SADEVO) devenue Société Nationale d'Irrigation et d'Aménagement Hydro-Agricole (SONIAH) et plus tard Office Béninois d'Aménagement Rural (OBAR). Cette société d'Etat n'existe plus aujourd'hui. Dès lors, les aménagements importants, datant des années 1970, sont presque à l'abandon. La reprise des initiatives dans ce domaine est encore timide. Les superficies exploitées sous irrigation avec maîtrise totale de l'eau pour la campagne 1999/2000 totalisent 563 ha de périmètres formels et environ 1 300 ha de périmètres informels exploités. Les 563 ha sont développés au niveau

des périmètres rizicoles de Malanville (Bénin septentrional), Koussin-Lélé, Dévé et Tchi-Ahomadégbé (Bénin méridional) selon les données du MAEP (2000).

Ces différents aménagements ont été réalisés grâce à la coopération internationale, notamment les appuis des partenaires au développement national. Selon le Service Aménagement Hydro-Agricole de la Direction du Génie Rural du MAEP, c'est un ancien projet de Coopération chinoise qui avait permis de réaliser le périmètre rizicole de 150 ha à Dévé (photo 13) dans la vallée du Mono.



Photo 13 : Vue partielle des parcelles billonnées sur le périmètre rizicole de Dévé (Bénin méridional)
Source : Cliché E. Ogouwalé, avril 2005

Mais, ce périmètre rizicole n'a fonctionné qu'à moins de 25 % de sa capacité alors que toutes les conditions naturelles à savoir : sol fertile et avantage de la proximité du cours du fleuve Mono (photo 14) sont réunies.



Photo 14 : Potentialités naturelles favorables au développement du périmètre rizicole de Dévé (Bénin méridional)
Source : Cliché E. Ogouwalé, avril 2005

Au regard des données collectées au MAEP d'une part, et au LSSEE d'autre part, les paramètres du sol (porosité, capacité de rétention, etc.) dudit périmètre sont excellents. En outre, le cours du Mono en ce point précis permet l'irrigation du périmètre toute l'année.

En dehors de ces potentialités naturelles, il faut ajouter les facteurs techniques (photo 15) pour lesquels l'équipe chinoise n'a ménagé aucun effort pour le bon fonctionnement du périmètre selon les agents du CeRPA-Mono.



Photo 15 : Facteurs techniques favorables au développement du périmètre rizicole de Dévé (Bénin méridional)
Source : Cliché E. Ogouwalé, avril 2005

Selon les populations riveraines, qui sont d'ailleurs déçues de la contre performance de ce périmètre rizicole, les raisons du non fonctionnement dudit périmètre sont entre autres liées aux détournements récurrents, à la vente frauduleuse des récoltes, à la mauvaise gestion technique et financière, à la non maîtrise des itinéraires techniques de production sous irrigation, à la dégradation du réseau d'irrigation, etc.

En somme, la documentation existante évalue le potentiel hydroagricole à 322 000 ha de terres irrigables, dont 117 000 ha de vallées et 205 000 ha de bas-fonds et plaines inondables. Mais ce potentiel n'est que partiellement valorisé. La culture irriguée dans les différentes régions béninoises demeure embryonnaire et occupe une très faible proportion des producteurs (MAEP, 2000).

Par ailleurs, deux nouveaux projets d'irrigation viennent de démarrer. Il s'agit du :

- Projet vallée du Mono à Athiémé avec la Banque Africaine pour le Développement Economique en Afrique (BADEA) pour 500 ha de périmètres rizicoles ;
- Projet d'Aménagement de Petits Périmètres Irrigués (PAPI) avec la Banque Internationale de Développement (BID) pour 1800 ha dont 300 ha de petits périmètres et 1500 ha de bas-fonds.

En perspective, il y a un autre projet qui permettra la réhabilitation de 1000 ha de terres agricoles dans les localités de Dangbo, Tori-Bossito et Lalo. D'un coût de deux milliards et demi de francs CFA, ce projet devrait permettre d'améliorer le potentiel productif par l'aménagement et la mise en valeur de 900 ha de bas-fonds rizicoles et de 100 ha de petits périmètres maraîchers et rizicoles. Il contribuera également à la réhabilitation de 100 km de pistes rurales et au renforcement de la capacité des organisations paysannes, à l'amélioration de la maîtrise de l'eau dans les bas-fonds au bénéfice de petits exploitants familiaux. Le principal résultat attendu de la mise en œuvre de ce projet est l'augmentation du volume des productions vivrières pour garantir la sécurité alimentaire grâce entre autres à l'amélioration des systèmes traditionnels de production et une meilleure accessibilité aux sites et aux marchés. A ces initiatives étatiques, il faut ajouter celle qui a consisté à faire la promotion des intrants agricoles à travers des prêts aux paysans pour l'acquisition desdits intrants.

10.1.4 – Intensification de l'utilisation d'intrants

Selon la Banque mondiale en 1993, le Bénin était l'un des pays africains où la consommation d'engrais chimiques synthétiques est très faible. En 1992, elle était d'environ 38 kg/hectare. En effet, toutes les politiques agricoles mises en œuvre depuis l'indépendance (1960) ont accordé très peu d'attention et de ressources à l'agriculture vivrière qui, pourtant, occupe la presque totalité des actifs agricoles et des superficies mises en valeur. Seuls le palmier à huile, l'arachide et le coton, principales cultures de rente et pourvoyeuses de devises ont successivement dans le temps bénéficié des efforts officiels à travers une politique d'apport d'intrants.

Ces mesures mises en oeuvre par les pouvoirs publics, s'ajoutent aux différentes stratégies développées par les populations paysannes pour s'adapter aux fluctuations climatiques qui ont marqué les trente dernières années.

10.2- Ajustements autonomes des cultures et stratégies d'adaptation paysannes

La plupart des cultures disposent de mécanismes physiologiques d'adaptation aux conditions hydriques difficiles. De même, les communautés paysannes du Bénin méridional et central ont développé des stratégies particulières pour s'adapter à la nouvelle donne climatique manifestée par les baisses des précipitations et les sécheresses récurrentes. Ces différentes stratégies d'adaptation, qui rélèvent de l'ingéniosité des paysans, ont permis dans une certaine mesure de réduire les contraintes climatiques au développement agricole pour assurer la sécurité alimentaire.

10.2.1 - Capacités d'adaptation des plantes

On distingue, chez les plantes, trois grandes formes d'adaptation à la sécheresse. Il s'agit de la capacité d'esquiver la sécheresse, de l'aptitude à éviter la sécheresse et de l'aptitude à tolérer la sécheresse (Levitt et *al*., 1960 et Levitt, 1980). Chacune de ces formes d'adaptation présente des avantages mais aussi des inconvénients, et une variété adaptée à un environnement donné doit nécessairement un équilibre entre les réponses d'esquive, d'évitement et de tolérance, afin de maintenir des niveaux satisfaisants de productivité (Gollan et *al*., 1985).

Selon Annerose (1990), les cultures pouvant esquiver la sécheresse sont celles qui ont la capacité de leur cycle complet de développement avant ou pendant la manifestation d'important déficit physique du sol. Elle se traduit généralement par un raccourcissement des phases de floraison, de fructification et de maturation.

L'évitement de la sécheresse quant à lui, est une stratégie autonome qui aide les cultures à maintenir à des niveaux élevés le potentiel hydrique de leurs tissus durant des périodes sans pluies significatives. Cette forme d'adaptation est possible grâce à deux dispositifs internes aux différentes cultures comme le maïs, l'arachide, l'igname, le riz, etc. Ces dispositifs concernent les mécanismes de croissance racinaire et d'absorption hydrique et la réduction des pertes en eau pour laquelle différents mécanismes et caractères morphologiques des cultures sont mis en jeu durant le développement d'un stress hydrique (Turner, 1986). Par exemple, la fermeture hydroactive des stomates, lorsqu'elle est associée à une faible transpiration cuticulaire, constitue le mécanisme de régulation de perte en eau le plus performant (Gollan et *al*., 1984).

En ce qui concerne la tolérance à la sécheresse, sous ce terme, il faut entendre les mécanismes qui permettent à la plante de maintenir l'intégrité de ses fonctions métaboliques tout en endurant un déficit hydrique de ses tissus. Les principaux mécanismes de tolérance à la sécheresse sont le maintien de la turgescence et la tolérance à la déshydratation.

Le maintien de la turgescence, à travers l'accumulation de solutés dans les tissus cellulaires déshydratés, l'augmentation des tissus cellulaires et la diminution de la taille des cellules contribuent à maintenir l'ouverture des stomates, la photosynthèse, l'absorption hydrique et la croissance racinaire (FAO, 1978 ; Turner, 1986).

La tolérance à la déshydratation quant à elle dépend de la capacité des membranes cellulaires, des protéines membranaires et cytoplasmiques à résister à la dégradation et à la dénaturation des conditions agroclimatiques. Au demeurant, la tolérance à la déshydratation reste un terme général recouvrant à la fois la résistance mécanique des tissus au déficit hydrique ainsi que la résistance biochimique des enzymes et des protéines à la dénaturation. Les études les plus

avancées, sur l'arachide, indiquent que la capacité de tolérance à la dessiccation augmente avec l'âge du matériel (CIRAD, 1984 ; Annerose, 1990).

C'est certainement ces capacités d'auto ajustement qui ont permis, aux différentes cultures pratiqueées par les paysans des deux régions d'étude, de produire des rendements relativement intéressants en dépit de la péjoration pluviométrique couplée à un réchauffement thermique.

Les stratégies d'adaptation paysannes sont certainement arrivées en appui aux différentes capacités d'ajustements autonomes des cultures développées par les populations dans le Bénin méridional et central.

10.2.2 - Mise en valeur des bas-fonds et des berges des cours d'eau

Le bas-fond n'était fondamentalement pas exploité par les populations paysannes du Bénin méridional et central. Les raisons évoquées sont multiples et portent pour l'essentiel sur le difficile billonnage du fait de la lourdeur des sols, le désherbage multiple en raison de la croissance rapide des adventices, etc. Mais aujourd'hui, nombreux sont les paysans qui ont investi cet agroécosystème tant dans le Bénin méridional que dans le Bénin central. Selon 37 % des populations enquêtées, la mise en valeur récente des bas-fonds est liée à la baisse de la pluviométrie et à la grande tendance à une extension de la période de la saison sèche.

Mais l'analyse des informations socio-spatiales permet d'identifier deux raisons fondamentales qui semblent orienter le choix des paysans. Il y a d'une part, la présence prolongée de l'humidité dans ces écosystèmes et ce sont des milieux fertiles et donc favorables à la production des cultures pratiquées d'autre part, par les populations paysannes dans les deux régions d'étude.

Cet écosystème est aujourd'hui aménagé. Les populations y cultivent les légumes, la tomate, l'igname, le maïs et le riz (photo 16).



Photo 16 : Mise en valeur des bas-fonds à Glazoué (1) et à Kilibo (2)
Source : Cliché E. Ogouwalé, septembre 2001

Ce système cultural est aussi mis en place dans le Bénin méridional où selon 52 % des paysans interrogés (résultats d'enquêtes, 2003 et 2005), les terres des interfluves sont de moins en moins fertiles.

Les bas-fonds et les marécages sont occupés pour les différentes cultures et sont de plus en plus aménagés par les populations paysannes. Mais l'efficacité à long terme de cette stratégie serait à relativiser. En effet, les changements climatiques provoqueront une baisse des réserves en eau du sol à cause de l'augmentation de l'évaporation au niveau des essences végétales et du sol due à l'élévation des températures. Par ailleurs, la sécheresse accrue au cœur de l'hivernage et la remontée d'eau marine dans la plaine côtière entraîneront une forte salinisation des marécages, ce qui rendra ces écosystèmes impropres aux cultures vivrières.

En outre, dans les deux régions d'étude, notamment dans le Bénin méridional, la pratique qui consiste à mettre en valeur les berges des principaux cours d'eau, est en développement (photo 17).



Photo 17 : Mise en valeur des berges du Couffo à Lon Agamè
Source : Cliché Amoussou, 2005

C'est une pratique pluridécénnale à la différence que cela a pris une ampleur au cours des vingt dernières années comme la pratique de semis échelonnés et l'augmentation des superficies agricoles.

10.2.3 - Augmentation des emblavures et semis échelonnés et/ou semis répétés

L'augmentation des emblavures a été et continue d'être une stratégie développée par les populations paysannes du Bénin central. Pour 44 % de paysans, l'accroissement des emblavures par culture est un moyen pour maintenir à un niveau acceptable la production agricole annuelle en dépit de la baisse des rendements. Cette réaction adaptative paysanne est confirmée par les statistiques sur les emblavures concernant cette région en ce que les superficies ont effectivement, et ce, régulièrement connu une augmentation moyenne de 11 % par an pour les principales cultures.

Par ailleurs, les semis répétés sont une autre stratégie mise en œuvre par les populations paysannes dans le cadre d'une adaptation des activités agricoles aux péjorations pluviométriques. Cette stratégie consiste à semer plusieurs fois la même variété culturale sur les mêmes parcelles au cours de la même saison culturale. En effet, lorsque les précipitations connaissent un début tardif ou un arrêt en phase de croissance, ces cultures jaunissent et sèchent surtout lorsque la rupture des pluies se prolonge. A la reprise normale des pluies, le paysan procède au "resemis" qui consiste à un remplacement des plants fanés ou ''grillés'' par d'autres semences. Il

convient toutefois de souligner qu'avant les semis ultérieurs, le paysan arrache les plants non viables et conserve ceux qui connaissent une croissance normale.

Une autre pratique culturale est en cours et est développée par 47 % des paysans. Elle consiste à semer la même culture sur deux parcelles différentes à des dates différentes, espérant que le rythme pluviométrique va correspondre aux phases de croissance de l'une au moins des cultures par rapport à leur date de semis. La photo 18 présente une image de cette pratique.



Photo 18 : Semis échelonnés de l'arachide à Ouèssè dans le Bénin central
Source : Cliché E. Ogouwalé, mai 2001

Il s'agit de deux parcelles de culture d'arachide. La plus évoluée a été semée deux semaines plus tôt. Cette forme d'adaptation ne permet pas au paysan d'observer le calendrier agricole traditionnel qui est en passe d'être abandonné.

10.2.4 – Abandon progressif du calendrier agricole empirique

Les populations paysannes des deux régions d'étude ont hérité d'un calendrier agricole empirique. Ce calendrier a résulté de la perception et de la vision qu'ont eu les générations paysannes précédentes des conditions climatiques de leur époque. Il était respecté et rigoureusement suivi par les paysans pendant plusieurs années. Ce fut alors le plus précieux héritage du monde paysan.

Mais, les sécheresses récurrentes et la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie ont rendu difficile le respect de ce calendrier. "Il n'est plus en phase avec les réalités climatiques des deux dernières décennies de notre époque" selon 76 % des paysans. Selon un quadragénaire ayant participé à l'un des focus-groups: "le calendrier agricole paysan, depuis plus d'une vingtaine d'années se comporte comme la monnaie nigériane : le naira". Autrement dit, le calendrier agricole hérité n'est actuellement plus opérationnel.

En conséquence, il urge que des recherches soient enclenchées afin de l'identification des dates de semis convenables pour réduire au minimum entre autres, le risque de stress thermique et hydrique pour certaines phases de croissance des cultures.

10.2.5 - Adoption de nouvelles variétés de cultures et principe d'utilisation du post-effet de l'engrais

Les populations ont continuellement modifié les systèmes culturaux de base en adoptant par exemple de nouveaux cultivars dans le but de répondre au contexte climatique actuel. En conséquence, certaines cultures héritées qui pour l'essentiel ont un cycle long, sont en cours d'abandon par les paysans. Le maïs local, le mil jaune, le haricot blanc, etc. sont autant de cultures annuelles qui ne sont plus pratiquées comme auparavant. Partout, ces anciennes variétés ont été remplacées par les variétés de plantes plus résistantes à la sécheresse et à haut rendement. Désormais, le manioc de cycle court (6 à 8 mois) est devenu la préférence des paysans du Bénin méridional et central. Au nombre des nouvelles variétés adoptées, il faut ajouter le "maïs sasakawa", le maïs DMR pour sa précocité, l'arachide TS 32-1, etc. La compatibilité entre les exigences en eau et en températures de ces nouvelles variétés de cultures et les nouvelles conditions écologiques résultant de la dynamique du climat sont les motifs qui fondent leur adoption et leur succès selon 45 % des paysans.

En outre, les paysans utilisent aujourd'hui plus d'engrais chimiques que par le passé. La pratique se généralise et selon 62 % des paysans enquêtés, l'usage de l'engrais chimique permet d'améliorer les rendements des cultures qui sont en baisse. Mais, cette utilisation des engrais chimiques est pour l'instant indirecte pour les cultures vivrières. En effet, cet engrais est utilisé en premier lieu pour le coton. Ce n'est

qu'à la saison culturale suivante que le paysan sème les cultures vivrières, notamment céréalières sur les parcelles ayant bénéficié précédemment de l'apport de l'engrais lors de la culture du coton.

Il résulte de ce qui précède que les populations paysannes du Bénin méridional et central ne sont pas restées les passifs face à la dégradation des conditions pédoclimatiques. Elles ont développé des stratégies qui leur ont permis de réduire la vulnérabilité des cultures aux aléas climatiques. Mais, dans l'ensemble, certaines de ces stratégies du fait de leurs contraintes/limites (tableau XXVI) ne permettront pas aux populations paysannes de réduire convenablement les effets négatifs des changements climatiques sur les productions agroalimentaires.

Tableau XXVI : Contraintes et évaluation de coûts des stratégies endogènes

Stratégies	Contraintes/limites	Coûts
Mise en valeur des bas-fonds	• Défrichage difficile ; • Concurrence des adventices en terme de vitesse de leur croissance par rapport à celle des cultures ; • Désherbages multiples ; • Risque pathologique ; • Risque de comblement ; • Non maîtrise des techniques d'exploitation de cet écosystème.	• Achat d'outils agricoles ; • Coût de désherbage élevé (3 000 à 4 000) au lieu de 2000 ou 2 500 sur les interfluves et les versants.
Augmentation des emblavures par culture	• Champs plus loin du village pour avoir une bonne et vaste étendue de terres ; • Terres fertiles de plus en plus rares.	• Plus d'investissement humain. Le paysan dépense beaucoup pour le désherbage et le transport des récoltes
Semis échelonnés et semis répétés	• Impossibilité de faire la récolte d'un seul trait (récolte multiple) ; • Temps supplémentaire alloué pour les sémis.	• Demande en semence importante ; le paysan doit multiplier par deux au moins la quantité de semence.
Utilisation du post-effet de l'engrais	• Nécessité pour le paysan de cultiver d'abord du coton.	• -

Adoption de nouvelles variétés culturales	• Problème de conservation des récoltes ; • Manque de connaissance des techniques culturales adaptées ; • Dépendance chronique du paysan en terme d'approvisionnement en semence.	• Construction des silos de stockage ; • Le paysan doit investir périodiquement pour acheter la semence.

Sources : Ogouwalé (2001 et 2004) et enquêtes de mars-avril et septembre 2005

Au total, pour accroître les productions agricoles, les pouvoirs publics et les communautés paysannes du Bénin méridional et central ont développé des stratégies pour s'adapter à l'évolution climatique contemporaine. Mais, ces initiatives et actions des pouvoirs publics et stratégies développées par les populations paysannes ne seront pas suffisamment opérationnelles dans le contexte des climats qui marqueront le Bénin méridional et central à l'horizon 2050. Alors que faire ? Dans l'intervalle, il faut développer une série d'actions visant à contrôler les émissions des gaz à effet de serre, à s'adapter aux impacts de ceux émis depuis 1850, à encourager la recherche scientifique et à développer des stratégies de mitigation pour une planification alimentaire de riposte aux effets négatifs des changements climatiques.

CHAPITRE ONZIEME : OPTIONS ET STRATEGIES DE MITIGATION POUR UNE PLANIFICATION DE LA SECURITE ALIMENTAIRE

Ce chapitre propose les stratégies alimentaires à mettre en œuvre pour parer aux effets des changements climatiques sur la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central. Ainsi, à partir d'une analyse multicritères, fondée sur les différentes échelles de décision (nationale, régionale, communale et locale), des stratégies d'adaptation potentielles et un modèle de prise de décision sont développés pour améliorer la gestion de la sécurité alimentaire des populations et anticiper ou gérer les crises alimentaires dans le Bénin méridional et central.

11.1 - Scénario ''zéro'' importation des produits alimentaires

A priori cette proposition paraîtrait irrationnelle au regard du contexte actuel sur le plan de la sécurité alimentaire. Mais partant du principe que c'est la nation qui doit approvisionner prioritairement la nation, le Bénin ne peut, que considérer la suspension des importations alimentaires comme porte d'entrée de toute mitigation.

Par ailleurs, selon la FAO (2002), les cours mondiaux des céréales doubleraient en 2010, tandis que ceux du blé et du riz augmenteraient encore davantage (en prenant pour base l'année 1992). Or, les ressources de l'Etat stagneront ou chuteront si les tendances (mauvaise gouvernance, démographie galopante et exploitation accrue des ressources naturelles, etc.) se maintiennent.

Pour toutes ces raisons, et pour éviter l'arme alimentaire, qui ne serait qu'un élément supplémentaire de dépendance, il ne serait pas judicieux encore moins pour le Bénin de parier sur l'importation des produits alimentaires pour atténuer les impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire des populations. En conséquence, des options de mitigation sont proposées pour garantir la sécurité alimentaire dans un contexte de changement climtique.

11.2 – Options de mitigation et planification agroalimentaire

La vulnérabilité des rendements agricoles et les incidences alimentaires simulées des changements climatiques exigent un renforcement des stratégies adaptatives et une élaboration des options de mitigation.

11.2.1 – Renforcement des structures de recherche

La mitigation des répercussions des changements climatiques sur la sécurité alimentaire au cours des prochaines décennies dépendra des progrès réalisés en matière de recherche appliquée dans le domaine de l'agriculture (FAO, 1997). Dès lors, il est nécessaire de poursuivre et de renforcer la capacité des structures de recherche pour l'élaboration de mesures visant à favoriser l'adaptation aux changements climatiques sur la base des connaissances existantes et d'une évaluation systématique des incidences prévues des changements climatiques dans le secteur agroalimentaire. Ainsi, il est plus qu'indispensable d'améliorer la qualité de la recherche agronomique pour créer des variétés de cultures qui s'adaptent aux nouvelles conditions édapho-climatiques. Le fait que les effets de concentrations plus élevées de CO_2 ne sont bénéfiques, que pour les plantes de type C_3 alors que le maïs, principale denrée alimentaire des régions étudiées est de type C_4, doit être pris en compte lors du développement des nouvelles variétés de cultures.

Le renforcement des capacités d'intervention et de réaction des structures publiques ou non du secteur agroalimentaire pour sa part, passera par la mise en œuvre d'un programme de recyclage et de formation continue des membres des Groupements Villageois (GV) et des Groupements Féminins (GF) et des ONG. Les institutions comme l'ONASA, l'INRAB, etc. doivent davantage se familiariser à l'utilisation des données climatologiques. Les différentes structures de recherche devront travailler pour une orientation importante vers le développement d'une agriculture de riposte. Elle consistera en la mise en place d'une série de techniques visant à optimiser la prise de décision grâce à une surveillance étroite des conditions de croissance des cultures tant en milieu rural qu'urbain.

11.2.2 - Promotion de l'agriculture maraîchère et implication des femmes dans le processus de la sécurité alimentaire

La majeure partie de la main-d'œuvre agricole est féminine et la gestion des exploitations au quotidien est aujourd'hui du ressort des femmes (ECVR2). Mais en dépit de leur importance dans la sécurité alimentaire familiale, il subsiste des contraintes (droit foncier, l'inaccessibilité des paysannes aux intrants, etc.) qui les empêchent de remplir pleinement leur rôle contributeur à la sécurité alimentaire. Ces contraintes doivent être levées par : la création de mécanismes pour rendre souples

aux femmes les conditions d'accès à la terre, aux crédits et intrants agricoles ; la promotion des organisations de femmes pour faire en sorte que les problèmes qui limitent le rôle des femmes dans la sécurité alimentaire soient pris en compte et la formation des femmes dans le domaine agricole.

Par ailleurs, il va falloir promouvoir davantage le maraîchage, qui occupe une frange importante de la population active, en particulier les femmes (photo 19).



Photo 19 : Femme et production maraîchère à Cotonou
Source : Cliché E. Ogouwalé, 2003

Cinquante deux pour cent (52 %) des maraîchers enquêtés, souhaitent que l'Etat vienne en appui à leur secteur par l'octroi des crédits et des subventions. Cet appui passera aussi par la résolution du problème de manque de terres auquel sont confrontés les maraîchers de Cotonou et des autres villes des deux régions. Des sites peuvent être créés sur les basses terres des communes (Abomey-Calavi, Zè, etc.) situées au nord et à l'est de Cotonou (Sèmè). Des sites appropriés de plusieurs dizaines d'hectares devront être identifiés dans chaque commune pour accueillir des unités de production maraîchère.

Pour ce faire, il va falloir développer une stratégie devant permettre une mobilisation et une disponibilité permanente de l'eau.

11.2.3 – Mobilisation des eaux de ruissellement, création de micro barrages et intensification des aménagements hydro-agricoles

L'eau constitue, sans les changements climatiques, un facteur limitant pour le développement agricole dans la mesure où l'agriculture est encore tributaire de la pluviométrie. Dans le contxte d'un "climat futur", la situation va certainement s'empirer comme le montrent les différentes projections et les diverses simulations.

Pour palier cette insuffisance, qui s'amplifiera à l'horizon 2050, la mise en place d'un dispositif de mobilisation des eaux de ruissellement pour une irrigation à faible coût s'avère nécessaire.

Dans le Bénin central, il s'agira de développer des mécanismes ou de réaliser des aménagements pour la collecte des eaux de ruissellement. Ces aménagements de taille économiquement viable et acceptable devront permettre de collecter les eaux pluviales et de ruissellement alors négligées lorsque le climat était relativement humide. De tels aménagements permettront de conserver les moindres quantités d'eau pour une utilisation productive et auront le double avantage d'augmenter les rendements agricoles quand les pluies sont régulières mais insuffisantes et de réduire les risques de mauvaise récolte en cas d'irrégularité des pluies.

Le système de collecte de eaux de ruissellement à mettre en place sera caractérisé par la présence d'aire de ruissellement (bassin versant) et d'une aire de réception (figure 58) où s'accumulera l'eau ruisselée pour une utilisation immédiate ou ultérieure. Cette aire de stockage pourrait être des citernes dans les sols, des petits bassins au niveau des fermes, des lacs artificiels érigés au pied des collines et les grandes retenues d'accumulation.

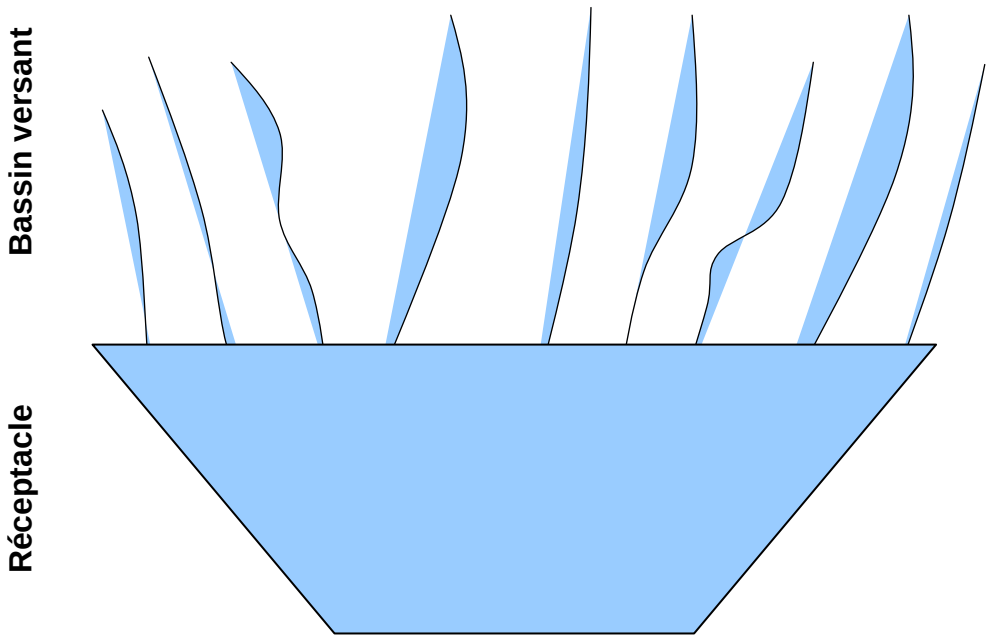


Figure 58 : Schéma du système de mobilisation des eaux de ruissellement

Par ailleurs, le Bénin méridional dispose d'un écosystème fluvio-lacustre relativement étendu (terrain en pente, plaines inondables, lacs, lagunes) et de dépressions dont les abords peuvent supporter des aménagements hydro-agricoles. Cette potentialité naturelle doit être davantage valorisée dans le cadre d'un développement de micro-aménagements agricoles. Ces micro-aménagements peuvent être réalisés, dans les vallées des cours d'eau sur des sites sélectionnés en fonction des risques hydroclimatiques (abords des fleuves Couffo, Mono, Ouémé, de la rivière Sô, etc.). Ils devront être de taille adaptée à la capacité de gestion des populations.

Cette stratégie ne sera pas la panacée. On devra aussi développer d'autres mesures visant la restauration et une fertilité plus accrues des terres agricoles.

11.2.4 – Amélioration de la fertilité du sol et des techniques d'utilisation des terres

Les terres ne sont plus fertiles dans le Bénin méridional et central selon 48 % des populations paysannes. Les expérimentations visant à une reconstitution biologique de la fertilité par la jachère à *Mucuna pruriens*, la pratique des cultures en couloirs qui consistent en la protection de la culture principale par des bandes de cultures associées, généralement de plantes améliorantes (*Leucena*, *Cajanus cajan*, etc.) pour lutter contre l'érosion et améliorer la fertilité des sols, sont à poursuivre. Cette amélioration de la fertilité des terres pourrait, au regard du contexte biophysique futur du Bénin méridional et central, prendre plusieurs formes.

La promotion de la pratique continue de la succession et de l'association culturale concernera tout ce qui touche aux rotations culturales et aux choix variétaux, à leur organisation dans l'espace (densité et mode de plantation, assolements) et dans le temps (cultures pures, associées ou relais, etc.). Les études de IITA ont montré tout l'intérêt d'une répartition ordonnée dans l'espace de cultures pures ou associées le long des toposéquences, de façon à en valoriser au mieux les gradients de fertilité. Plus récemment encore, les travaux de cette même institution ont montré le grand intérêt des cultures de légumineuses (type *Mucuna sp.*), qui semées en couloir dans des cultures vivrières assurent la protection des sols et l'enrichissement organique des terres.

Par ailleurs, la protection physique des terres cultivées est à promouvoir. Les expériences faites par certaines structures comme les CeRPA (Centre Régional de Promotion Agricole), l'IITA (International Institute for Tropical Agriculture), ont mis en évidence l'augmentation de rendement résultant d'un bon travail du sol (labour ou scarification par rapport au travail manuel à la houe) et de l'extirpation des adventices. Dans le cadre d'un changement homéopathique, la vulgarisation de l'utilisation d'outils à dents de type croc à bêcher qui permet d'extirper les racines au lieu de les biner à la houe sera à faire.

Autant de techniques, qui en association avec le réajustement du calendrier agricole, la promotion de la culture attélée, etc., permettraient de produire davantage pour assurer la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

11.2.5 – Promotion de la culture attelée

La culture attelée n'est applicable qu'à des exploitations qui portent sur des dizaines d'hectares pour permettre d'amortir l'investissement (FAO, 1997). Elle peut être pratiquée avec peu de contraintes dans le Bénin central. Dans le Bénin méridional, la culture attelée ne convient pas aux sols très lourds d'Issaba, de la Lama et des Tchi. En revanche, elle pourrait être développée et appuyée dans les plaines d'inondation des cours d'eau surtout dans le Bénin central et dans les plaines côtières non soumises à la salinisation. Le tableau XXVII présente les contraintes et les coûts des différentes stratégies proposées.

Tableau XXVII : Contraintes et évaluation de coûts des stratégies proposées

Stratégies	Contraintes/limites	Coûts
Correction des dates de semis	• Résistance des paysans vis-à-vis de l'innovation ; • Nécessité de modifier le système de culture ; • Conformisme et résistance à l'adaptation de la part des paysans ; • Nécessité de créer des secteurs témoins, des sites d'expérimentation.	• Création de nouveaux sites d'expérimentation ; • Formation de chercheurs ; • Assistances techniques ; • Aquisition de matériels de laboratoire ; • Equipement roulant.
Mise à jour de nouvelles variétés de cultures	• Délai des recherches assez long ; • Nécessité de faire appel à des compétences autres que nationales ; • Nécessité de l'utilisation d'intrants agricoles.	• Coûts exorbitants des recherches ; Nécessité de construire des silos de stockage de graines ; • Coûts élevés des intrants agricoles ; • Formation et recyclage des chercheurs.
Mobilisation des eaux de ruissellement	• Nécessité de construire des réservoirs de grande capacité pour réduire les coûts unitaires du stockage.	• Coût de réalisation des canaux de mobilisation et des réceptacles ; • Transfert de technologies et de maîtrise d'ouvrage d'art ; • Formation des agents des CeRPA et des paysans.
Irrigation	• Exigence d'une technique d'exploitation spéciale ; • Inexistence ou difficulté d'avoir de la main d'œuvre compétente ; • Erosion ; • Incertitude sur la disponibilité des ressources superficielles et souterraines dans le futur.	• Construction de retenues d'eau ; • Lutte contre l'érosion ; • Transfert de technologies et maîtrise d'ouvrage d'art ; • Acquisition de matériels agricoles.

11.2.6 – Promotion de l'arboriculture

La consommation des fruits fait partie des habitudes alimentaires des populations. La promotion de la culture des fruitiers dans les deux régions est recommandable surtout que Sinha (1991) rapporte que les plantes pluriannuelles supporteraient mieux les impacts des changements climatiques. En effet, la particularité des cultures pérennes réside dans le fait qu'avec leur système d'enracinement profond, ils supportent mieux les anomalies climatiques que les cultures annuelles. Mieux, selon les donnés récentes de la FAO (1997), l'augmentation de la teneur en gaz carbonique pourrait avoir une influence éventuellement positive plus importante sur les plantations du fait d'une stimulation accrue de la photosynthèse des arbres et d'une meilleure croissance de la surface foliaire. Les fruitiers qui conviennent aux sols des deux régions et qui sont à promouvoir sont entre autres : le papayer, le manguier, l'oranger, le mandarinier. Ces différents fruitiers pourront également être développés dans les jardins de concessions et les périmètres maraîchers. En effet, toute la quantité d'eau apportée en arrosage ne profite pas aux légumes cultivés, puisqu'une partie descend dans le sol plus profondément que leurs racines. Quelques arbres fruitiers seront donc judicieusement plantés dans les jardins maraîchers : ils profiteront des soins liés au maraîchage ; ils utiliseront l'eau d'arrosage gravitairement excédentaire.

Pour une adoption des stratégies proposées, il faut développer une stratégie de communication sur les changements climatiques et sur leurs impacts agricoles.

11.2.7 – Information sur les changements climatiques et sensibilisation des paysans

L'information des populations sur les changements climatiques reposera sur une stratégie communicationnelle avérée pour amener les communautés à intégrer dans leurs comportements quotidiens les préoccupations de la protection du climat, de l'adaptation à son évolution et la problématique de la durabilité. Dans un premier temps, il s'agira d'informer et d'amener les populations à cerner de près et donc à avoir une meilleure connaissance des changements climatiques et de leurs impacts potentiels. Dans un deuxième temps, il sera question de persuader les paysans à adopter l'ensemble des mesures et options proposées, surtout les variétés de

cultures identifiées comme ayant des potentiels élevés de résistance à la sécheresse et généralement au contexte écologique futur.

La mise en œuvre de cette stratégie communicationnelle passera par l'organisation des séances d'informations et de partage sur les changements climatiques à l'endroit des agents du développement rural, des responsables des organisations paysannes et autres acteurs en vue d'inculquer par exemple une culture agrométéorologique à tout ce monde. Cela pourra se faire également par la diffusion des bullettins agrométéorologiques en langues locales (Fon, Adja, Ouémè, Mahi, Ifè, Shabè, Idaatcha et Itcha) et à travers des émissions radiophoniques rurales sur les changements culturaux qu'impose l'évolution des climats.

Les stratégies adaptatives potentielles du secteur agricole préconisées sont fort applicables, tous scénarios climatiques confondus, en ce sens qu'elles engendreraient une meilleure productivité agricole et partant un renforcement de la sécurité alimentaire. Ces stratégies sont des moyens de se préparer pour faire face aux effets des changements climatiques des cinquante années à venir.

Mais, ces adaptations potentielles ne suffiront pas ou ne seraient pas efficaces si elles ne sont pas accompagnées de mesures adéquates en matière de conservation et de transformation agroalimentaires.

11.3 - Amélioration des systèmes de conservation et de techniques de transformation des produits agricoles

Les systèmes de conservation des produits agricoles constituent un volet essentiel dans la réalisation de la sécurité alimentaire. L'ONASA a déjà montré que les systèmes paysans actuels de conservation des produits agricoles sont peu performants. Ils sont pour une grande part responsables de perte de récoltes et méritent en conséquence d''être améliorés. En outre, ces produits sont actuellement peu transformés en raison de la méconnaissance ou de la non maîtrise des itinéraires techniques par les populations.

Dans le cadre de la mitigation proposée, il faut améliorer les systèmes existants et en développer d'autres pour renforcer les capacités des deux régions d'étude en matière de sécurité alimentaire.

11.3.1 - Promotion des technologies de la transformation agroalimentaire

Le secteur de la transformation joue un rôle important dans la stratégie de sécurité alimentaire. En attendant une transformation à grande échelle, il faut entre autres :

- procéder à l'inventaire, à l'évaluation et à la valorisation des technologies traditionnelles de transformation des céréales, des racines et tubercules, des légumineuses et oléagineux, des fruits et légumes ;
- vulgariser les techniques de production de cossettes d'igname en vue de leur valorisation pour l'approvisionnement des marchés urbains ;
- mettre en place un système pour la promotion des produits locaux et organiser une banque de données pour systématiser l'information sur les produits et les savoir-faire agroalimentaires locaux ;
- développer des programmes de coopération régionale sur les "Innovations agroalimentaires et la valorisation des savoirs-faire locaux" ;
- développer des projets de transfert de technologie appropriée de production de farine panifiable à partir du manioc et autres racines et tubercules.

La promotion de la transformation artisanale est d'une importance capitale en ce qu'elle est plus souple (car la quantité à transformer pour assurer la rentabilité de l'opération est assez faible), à la capacité de s'adapter plus facilement à des variations de l'offre de produits à transformer et assure des productions bien adaptées aux goûts des consommateurs.

A moyen terme, cette transformation artisanale doit être couplée avec celle industrielle légère. Dans ce cadre, il sera nécessaire de favoriser les opérateurs locaux par la mise en place d'une série d'assiettes tarifaires et non tarifaires aux importations des intrants qui entrent dans les dispositifs de transformation (pièces de rechange, renouvellement de moyens de transformation, etc.).

11.3.2 - Renforcement du dispositif de stockage et de commercialisation

La commercialisation permet le transfert des produits agricoles du producteur au consommateur et permet aussi l'approvisionnement du producteur en intrants agricoles. Elle regroupe une série d'institutions qui permettent les transferts des biens entre différents agents économiques. La principale institution est le marché, lieu de rencontre d'une multitude de vendeurs et d'acheteurs pour arriver à l'échange

d'un bien. L'intérêt fondamental du marché est de pouvoir synthétiser les demandes et les offres de milliers, voire de millions d'agents économiques sous la forme d'un prix. Le prix qui résulte de la confrontation de l'offre et de la demande d'un bien dans le cadre du marché est l'expression d'un accord entre acheteurs et vendeurs qui permet l'échange.

Le stockage est aussi indispensable puisque la récolte se déroule en général pendant quelques semaines alors que la consommation dure toute l'année. Dès lors, il est indispensable de constituer des banques décentralisées de denrées alimentaires. Les réserves stratégiques constituées permettront au Gouvernement, aux structures décentralisées ou organismes de commercialisation de réduire les fluctuations trop importantes des prix et de mettre en vente des aliments en cas de crise. Mais, la constitution de banques de céréales ne peut, à elle seule, garantir la sécurité alimentaire, encore faut-il que des mesures soient prises pour que tous aient accès à la nourriture. C'est pour cela qu'il faut actionner davantage les appuis et le processus de réduction de la pauvreté et organiser la société civile pour une mobilisation collective pour faire face aux catastrophes alimentaires.

Toutes ces stratégies pour générer les résultats escomptés nécessitent qu'elles soient traduites en un Programme de Mitigation de la Sécurité Alimentaire au climat futur (PMSS) piloté par un organisme stable sera chargé de la mise en œuvre de la veille alimentaire.

11.4 - Vigie Stratégie pour la Sécurité Alimentaire (VSSA)

Les effets négatifs des changements climatiques sur la sécurité alimentaire peuvent être limités en instituant un schéma décisionnel d'alerte précoce, un mécanisme d'évaluation des risques alimentaires par scénario climatique et une bonne articulation et mise en oeuvre de mesures d'adaptation et de mitigation agricole par un organisme chargé de la veille ou vigie stratégie alimentaire. Cette vigie sera établie par la mise en place d'un **Système d'Alerte Rapide pour la Sécurité Alimentaire par Région** (SARSAR) fondé sur un principe moteur à savoir que la région doit approvisionner prioritairement la région et que la dépendance alimentaire lorsqu'elle existe est vue sous l'angle de la complémentarité alimentaire entre régions. Le SARSAR sera un outil ou mécanisme d'information et de cartographie de

l'insécurité alimentaire à partir d'un réseau de systèmes qui collecte, analyse et diffuse l'information sur les risques d'insécurité alimentaire aux échelles locale, régionale, etc. Ce système, pour être opérationnel, s'articulera sur les principales catégories de sous-systèmes d'informations déclinées infra.

Le **Système d'Information sur la Météorologie et les Ressources Climatiques (SIMRC)** établira périodiquement les situations climatiques à l'échelle de station. Les données climatologiques et agroclimatologiques sont générées par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Cette structure doit être davantage appuyée pour développer la technologie de l'obtention de données météorologiques nécessaires pour une bonne détection des conditions météorologiques opératoires à chaque moment (pronostic des conditions climatiques, système de vigilance et d'alerte de la sécheresse, etc.).

A partir des données météorologiques, le Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE) établit les indicateurs sur les différents paramètres du climat et produit un rapport circonstancié intégrant le diagnostic (variabilité, amplitude de variation, fréquence et probabilité des paramètres météorologiques primaires et dérivés, ainsi que des seuils critiques) et les tendances d'évolution des précipitations, des températures, etc. La Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) et le LECREDE développeront conjointement l'agrométéorologie opérationnelle qui aura pour double objectif de conseiller les agriculteurs sur les moyens de tirer le meilleur profit des aspects du climat pouvant permettre le développement de leurs activités et contribuer à réduire les dommages causés à la production agricole qui sont directement ou indirectement imputables à de mauvaises conditions météorologiques. L'ultime but de cette météorologie agricole, fondé sur deux catégories d'objectifs (la contribution au développement agricole à long terme et la prise de décisions journalières dans l'exploitation agricole) sera d'indiquer aux paysans comment ils peuvent tirer le meilleur parti et éviter les conséquences les plus graves de l'évolution du climat.

Le **Système d'Information Agricole (SIA)** sera élaboré de concert avec le Ministère de l'Agriculture, de l'élevage et de la Pêche (MAEP), qui à travers son service des statistiques fournit les données sur les différents modes de production agricole, le

commerce des produits agricoles, les intrants agricoles, les systèmes d'exploitation et les niveaux des revenus ruraux et plus généralement sur les politiques et stratégies agricoles développées par les pouvoirs publics.

Le **Système d'Information sur la Nutrition et la Sécurité Alimentaire des Ménages (SINSAM)** pour sa part, à partir des données de l'Office National pour la Sécurité Alimentaire (ONASA) dressera des indicateurs de nutrition issus des enquêtes régionales ou nationales établis à partir de la collecte et l'analyse de données au niveau infrarégional (à l'échelon des départements, des Communes et des ménages). Ce système sera orienté vers une meilleure connaissance des besoins d'information liés à la disponibilité des produits alimentaires de base et l'établissement des projections de la demande et de l'offre alimentaire. Les résultats issus de ce système permettront d'établir des rapports de suivi des campagnes agricoles, de faire des prévisions de récolte, des estimations du volume des réserves, des prix du marché, des besoins alimentaires et des exportations de denrées de base. L'opérationnalisation d'un tel système suppose la présence de réseaux finement maillés de collecte de données, primaires et secondaires, et qui fonctionnent souvent en collaboration étroite avec les autres systèmes d'information nationaux et infranationaux.

Le **Système d'Information sur les Marchés (SIM)** sera alimenté prioritairement par les données de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE). Ledit système livrera les informations sur les prix des produits et des intrants agricoles, les perspectives commerciales et d'autres données connexes permettant d'améliorer le fonctionnement des marchés agricoles. Ces informations seront utilement complétées par les données sociodémographiques.

Le **Système d'Information Sanitaire (SIS)** est développée conjointement avec le Ministère de la Santé Publique. Ce système d'information regroupe des données cliniques et d'autres informations socio-sanitaires.

Le **Système d'Information sur les Sols et les Ressources en Eau (SISRE)** est alimenté à partir des informations géoréférencées sur la topographie, les paysages, les caractéristiques des sols, les secteurs agroécologiques, les disponibilités en eau et leur utilisation, l'utilisation des terres et du couvert végétal, les superficies arables,

la vocation et la productivité des terres, les régimes fonciers, l'irrigation et les aménagements hydrauliques. Les informations nécessaires pour alimenter ce système sont disponibles à l'Institut National de Recherche Agricole (INRAB) et au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE). Ces informations sont précieuses pour examiner plusieurs des principaux déterminants de la disponibilité alimentaire.

Les données générées et compilées par les différents systèmes constitueront les infrastructures pour l'élaboration d'un **Système de Cartographie de la Vulnérabilité Alimentaire (SCVA).** Ce système permettra de produire des rapports qui décrivent et analysent les facteurs de risques auxquels les populations sont exposées, et ce, à partir de l'usage intensif des données produites par les systèmes d'informations géographiques (SIG) pour analyser des ensembles souvent complexes d'informations et de relations, et en simplifier la présentation.

Le SARSAR (figure 59) tel que conçu sera un outil de la Vigie Stratégie pour la Sécurité Alimentaire, fondée sur un ensemble de composantes intégrées et devant impliquer de nombreux acteurs (politiques, structures de l'Etat, scientifiques, opérateurs économiques, paysans, etc.). Dans ce cadre, certains ministères clés vont constituer une Commission d'Evaluation de la Sécurité Alimentaire (CESA). Le Système d'Alerte Rapide et d'Intervention (SARI) sera composé des CESA et des Cellules Communales pour la Sécurité Alimentaire (CCSA). A la fin de chaque saison agricole les CESA se réuniront pour envisager les situations alimentaires possibles.

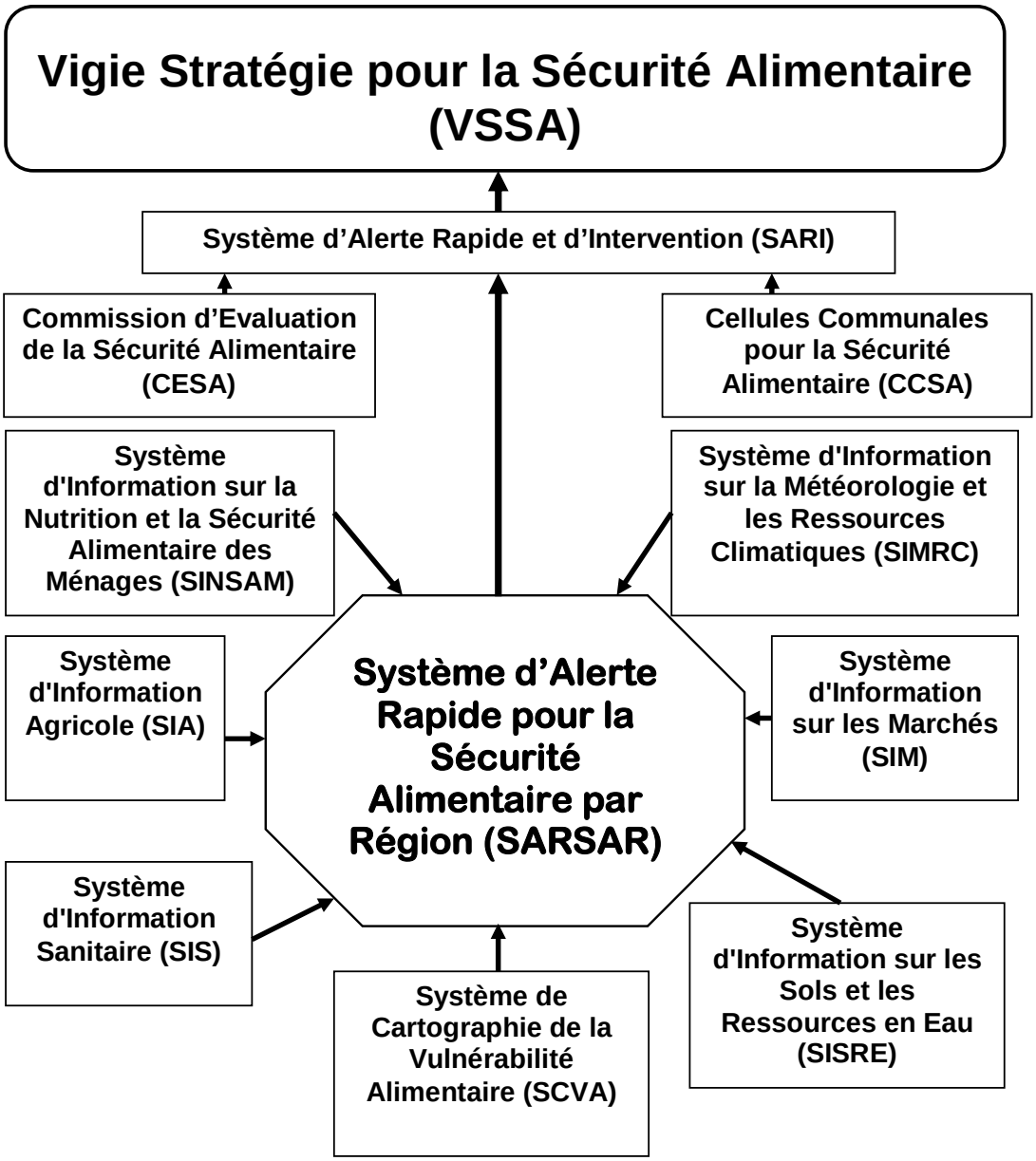


Figure 59 : Configuration du VSSA et composantes du SARSAR

Par ailleurs, le LECREDE, de concert avec la FSA et l'INRAB, simulera les rendements agricoles en utilisant au moins trois scénarios climatiques. Ces rendements seront ensuite utilisés pour tourner le Modèle d'Evaluation des Risques Alimentaires par Scénario (MERAS). Les sorties dudit modèle permettent d'envisager les situations alimentaires dans les contextes climatiques supposés. En fonction des sorties du MERAS, et considérant les stocks disponibles évalués par l'ONASA, le LECREDE et la DMN élaboreront un prototype de SARI national conséquent pour parer à toute éventualité. Ledit SARI est exposé et adopté après débat par les structures qui pilotent les différents systèmes d'informations du SARSAR. Les

dispositions techniques complémentaires et financières appropriées sont prises par le VSSA qui est chargée de la mise en œuvre du SARI. Le VSSA est un organisme rattaché à la Présidence de la République et un mécanisme d'alerte précoce.

En tant que mécanisme, elle serait un système de diagnostic multifonction d'information, de suivi et d'outil d'aide à la décision pour :

- estimer la production des principales cultures ;
- apprécier l'évolution de la situation agroalimentaire par région ;
- prendre les mesures nécessaires concernant les problèmes de déficits et excédents de production ;

En tant qu'organisme, elle sera fonctionnelle à travers l'organisation ou la supervision de certaines activités opérationnelles telles que :

- des réunions pour l'analyse du déroulement des activités agricoles et des conditions alimentaires des populations ;
- la production de bulletins mensuels d'informations agro hydro météorologiques pour les décideurs pendant toute l'année ;
- la production de bulletins spéciaux en cas d'évènements (inondations, sécheresse, etc.). Cette production d'information est réalisée par une équipe multidisciplinaire composée de météorologues, géographes, agronomes, agrométéorologues, sociologues, hydrologues, physiologistes, etc. ;
- le développement d'un système de prédiction des précipitations saisonnières et à plus long terme et incorporer lesdites prédictions à la gestion de l'agriculture et des économies locales.

L'ensemble des mesures et stratégies proposées permettrait de faire des prévisions et de détecter rapidement ou précocement les crises alimentaires au regard de la production agricole globale sur une année de référence.

Les adaptations préconisées vont engendrer une meilleure productivité agricole permettant de parer les crises alimentaires futures (figure 60).

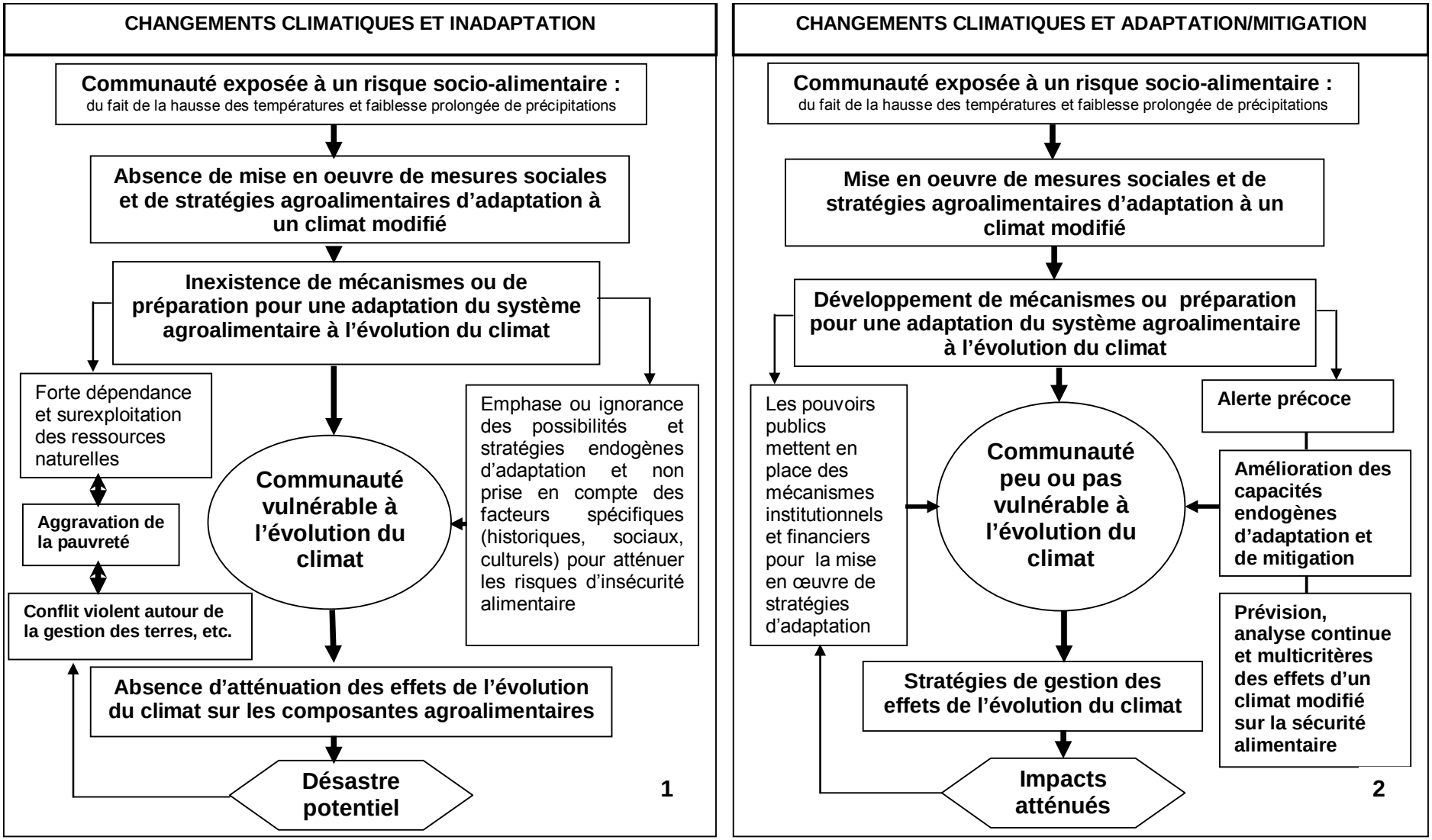


Figure 60 : Schéma conceptuel de la vulnérabilité (1) et de la non vulnérabilité (2) du système agroalimentaire aux changements climatiques (inspiré de CILSS, 1989)

En somme, la capacité d'adaptation et de mitigation sera fonction de la capacité institutionnelle, des ressources financières, du mécanisme de gestion, du calendrier de planification, du cadre organisationnel, de la technologie et de la mobilisation des populations autour des options choisies pour une bonne productivité agricole pour atteindre les objectifs et l'impératif sécurité alimentaire. Et, si l'on veut assurer la sécurité alimentaire à long terme, il faut aller vers une agriculture durable, qui selon la FAO (1997), est une agriculture qui conserve les ressources en terre et en eau, ainsi que les ressources génétiques végétales et ne dégrade pas l'environnement tout en restant viable sur le plan économique et acceptable sur le plan social et générationnel. Pour ce faire, les décideurs en collaboration avec la société civile et les acteurs des collectivités décentralisées devront développer des mécanismes pour :

- protéger le patrimoine semencier (végétal) qui constitue la base de l'alimentation ;
- décréter un moratoire sur les organismes génétiquement modifiés qui aboutissent à une pollution génétique de l'indispensable diversité génétique des plantes, et à l'impossibilité pour les paysans de disposer librement des semences ;
- soutenir financièrement les activités de production agricole, orientées vers la durabilité des agrosystèmes, par des subventions.

En aval de toutes ces mesures, il faut chercher à réduire le taux d'accroissement démographique actuel. Pour ce faire, la promotion du planning familial contribuerait puissamment à réduire les taux de fécondité pour ralentir la croissance démographique et limiter le nombre de bouches à nourrir.

Synthèse et conclusion de la troisième partie

Les impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire varieront en fonction des scénarios. Le scénario analogue humide rendrait moins vulnérables les rendements des principales cultures dans les deux régions. Par contre, les scénarios analogue sec et SRESB2/HadCM2 sont les plus catastrophiques. Les baisses attendues sont globalement comprises entre -10 et -30 % par rapport aux rendements moyens sur la période 1982-2002.

Pour ces deux scénarios, respectivement 40 et plus de 55 % des populations seront menacées par l'insécurité alimentaire dans le Bénin méridional à l'horizon 2050. La situation serait moins difficile dans le Bénin central.

Face à un tel contexte chargé de risques, le Bénin méridional et le Bénin central disposent de potentialités qui pourraient à moyen et long termes permettre de faire face aux effets des changements climatiques sur la vie économique et sociale, notamment la sécurité alimentaire des populations si les stratégies développées sont mises en œuvre. Ces stratégies doivent être organisées autour de deux axes majeurs, correspondant aux deux dimensions de la problématique de sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central à savoir : la contribution à l'amélioration durable de la sécurité alimentaire par le développement du secteur agricole en prenant en compte les contraintes agroclimatiques des années à venir et la prévention des crises alimentaires grâce au développement du SARSAR dans le cadre de la VSSA.

Les avantages nets des solutions de mitigation proposées malgré leurs contraintes (la longue durée de recherche, l'exigence de moyens financiers importants mais pas excessifs, etc.), sont dans une certaine mesure indépendants des changements climatiques.

La perspective d'un changement climatique qui se traduira par la réduction de la pluviosité et le dérèglement des saisons entraînerait une baisse de la productivité agricole. Les savoirs paysans associés aux stratégies de mitigation suggérées permettront de parer aux risques agroalimentaires des années à venir.

DISCUSSION ET LIMITES METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE

La problématique examinée dans cette thèse s'inscrit dans la série de recherches-développement en cours au LECREDE et qui est axée sur les impacts de la variabilité et des changements climatiques sur les différents secteurs socio-économiques. Avant de conclure la présente étude, certains des résultats obtenus méritent d'être discutés.

L'analyse des longues séries de données climatologiques a permis d'identifier les tendances et l'évolution des paramètres des climats. Mais, les postes des enregistrements sont encore manuels et plusieurs stations ne disposent pas de données complètes.

Le scénario SRESB2 ne résoud pas tous les problèmes liés à l'élaboration de scénarios socioéconomiques, même s'il constitue une bonne base pour l'examen de facteurs importants tels que la croissance et les tendances démographiques, la conjoncture économique et les changements technologiques (IPCC, 2001 ; Nakicenovic et al., 2000). Les émissions suggérées par ledit scénario sont donc à relativiser.

En outre dans ce travail, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre liée aux activités humaines est supposée est le seul responsable des changements climatiques. Or, Wigley (1981) et Berger (1992) indiquent que les changements du climat dépendent d'abord du jeu de plusieurs facteurs. En premier lieu, les variations du bilan radiatif du globe terrestre, elles-mêmes liées à de nombreux phénomènes :

- les fluctuations de l'activité solaire, surtout responsables des cycles climatiques de courte durée ;
- les variations de la position de la terre par rapport au soleil par changement de l'inclinaison de l'axe des pôles ou modification de l'orbite terrestre ;
- la présence périodique de voiles de poussières qui interceptent le rayonnement et qui sont liées aux éruptions volcaniques, à l'explosion de météorites ou à des nuages très diffus situés dans l'espace de notre galaxie et appelés nuages interstellaires.
- la dérive des continents qui modifie lentement, mais en permanence, la répartition des terres et des mers perturbant le bilan radiatif et la circulation atmosphérique.

La simulation a été faite avec le HadCM2. Pour la température à la surface du globe, les modèles climatiques convergent pour montrer que le monde tropical sera marqué par un réchauffement. Mais, lorsque l'on s'intéresse aux précipitations, certains de ces modèles prévoient des précipitations accrues et d'autres des périodes plus sèches dans les régions tropicales. En effet, les MCG souffrent de défauts dans la résolution horizontale et dans la paramétrisation des processus physiques dominants dans les différentes régions (IPCC, 1990 ; Parry, 1996 ; Hulme, 2000), et des incertitudes subsistent quant à l'aptitude des modèles à simuler la variabilité naturelle de manière réaliste et l'importance des changements à venir (Parry, 1990 ; Issa, 1995). C'est dire donc que les incidences des changements climatiques sur les productions agroalimentaires restent à être réévaluées dès que ces incertitudes seront levées.

Dans le processus d'évaluation de la vulnérabilité des rendements des cultures aux changements climatiques, les cultivars sont supposés subir une contrainte homogène au cours des phases de leur croissance (germination, floraison, maturation, etc.). Cela n'est pas évident.

La dégradation des sols, processus par lequel la capacité de production actuelle ou future des sols se trouverait réduite en raison de modifications chimiques, physiques ou biologiques, n'a pas été suffisamment prise en compte dans la démarche suivie pour effectuer la simulation des rendements agricoles. Or, tout laisse envisager une plus grande dégradation des terres à l'horizon 2050 au regard des tendances actuelles en ce qui concerne les formes d'utilisation des terres et le phénomène érosif.

L'approche utilisée pour établir les bilans alimentaires n'a pas tenu compte de toutes les réalités socio-alimentaires dans le Bénin méridional et central. En effet, les conditions d'alimentation des ménages varient en réalité suivant le statut social et les groupes socioculturels. La réalité alimentaire des ménages est une alternance de périodes d'abondance et de pénurie. En outre, les produits de ramassage, de cueillette et de l'élevage qui entrent également dans le bol alimentaire des populations et qui servent d'appoint à leur alimentation à certaines périodes de l'année n'ont pas été pris en compte.

La démarche d'évaluation de la sécurité alimentaire en 2050 a négligé la possibilité des transactions alimentaires entre le Bénin méridional et central et les autres départements du Bénin pour la simple raison que Issa (1995) et Ogouwalé (2001 et 2004) ont montré que la plupart des régions agricoles du Bénin sont vulnérables aux changements climatiques. Dès lors, les analyses ont été menées en considérant que chaque région doit satisfaire les besoins alimentaires de ses populations à partir des productions locales.

Aussi, est-il supposé que toute la production utile est destinée à la consommation des ménages. Mais dans la réalité, une importante quantité du disponible alimentaire est mal gérée lors des cérémonies d'initiation, des funérailles, etc., et une autre part non moins importante alimente les flux d'échanges régionaux et transfrontaliers (Igué, 2001). Autrement dit, les problèmes de sécurité alimentaire trouveraient leur part d'explication aussi dans la gestion des récoltes, ce qui n'a pas été pris en considération dans la présente étude en raison du fait qu'il est difficile de quantifier par exemple le volume des ressources alimentaires destinées aux diverses cérémonies.

Dans le même ordre d'idée, les déterminants des risques alimentaires futurs ne seraient pas exclusivement liés aux changements climatiques. D'autres obstacles à la réalisation d'une agriculture et d'une sécurité alimentaire durables, sont les pénuries de terres arables dans le Bénin méridional, la dégradation des terres, les pertes de terres agricoles à la suite de l'urbanisation, les pénuries d'eau, la pollution de l'eau, les problèmes d'irrigation, etc. En outre, la réalisation à long terme de la sécurité alimentaire dépendra en partie la maîtrise de la croissance démographique.

L'insécurité alimentaire peut être également due à la réduction des investissements dans l'agriculture et l'infrastructure, à la diminution de terres cultivables et fertiles. A ces éléments, il faut ajouter les modèles de développement qui, s'ils continuent d'être imposés par la Banque Mondiale et le Fonds Monétaire International, vont amplifier l'insécurité alimentaire. En effet, les programmes d'ajustement structurel ont souvent mis l'accent sur l'augmentation des exportations comme solution aux problèmes des pays africains, réduisant du coup la part des productions vivrières qui répondent aux besoins de base des populations. La situation serait intenable si le VIH/SIDA, la tuberculose, le paludisme et les maladies chroniques ne sont pas

maîtrisés. En effet, le VIH/SIDA détruit le tissu social, empêche la transmission du savoir agricole d'une génération à l'autre. Le paludisme quant à lui, frappe fréquemment au moment des semailles et des récoltes (Ogouwalé, 2004) et peut occasionner une dimunition de la production agricole et c'est une une menace pour la sécurité alimentaire.

Après toutes ces réserves, les simulations des paramètres climatiques sont comparables à ceux de Issa (1995) et Ogouwalé (2001 et 2004), et les écarts entre les rendements observés et ceux prédits sont dans les fourchettes évoquées par Sombroek et Gommes (1997) et FAO (1997).

Aussi, les impacts socio-alimentaires identifiés ne sont pas exagérés mais plutôt réalistes en ce sens que les modèles d'analyse utilisés sont ceux de l'ONASA associés à celui développé par le CILSS, structures de référence en Afrique dans le domaine de prévision et de l'alerte en matière des risques alimentaires. Les stratégies proposées éclaireront certainement les pouvoirs publics et les acteurs du développement du Bénin méridional et central en matière de prise de décision. Les indicateurs de l'évolution des climats identifiés permettront de mobiliser les pouvoirs publics ainsi que les communautés en faveur de toute action visant la protection de l'atmosphère et donc du climat.

CONCLUSION

La présente étude est une contribution à l'identification des indicateurs de l'évolution des climats dans le Bénin méridional et central. Elle aide à une meilleure connaissance de la vulnérabilité des rendements agricoles à l'évolution du climat dans ces deux régions. Et, elle est surtout une simulation des impacts des changements climatiques sur la sécurité alimentaire des populations du Bénin méridional et central à l'horizon 2050.

Les données bibliographiques et celles issues des enquêtes montrent que les deux régions d'étude ont été marquées par des changements climatiques. Les signatures (dalles cuirassées, dépôts de sables jaunes, présence de lacs, etc.) visibles dans les milieux naturels actuels sont les indicateurs paléoclimatologiques identifiés.

Les dictons, les proverbes et l'évolution des pratiques culturales révèlent que les deux régions étudiées ont été caractérisées par une modification des paramètres climatiques, notamment les précipitations et les températures.

L'analyse des données climatologiques permet de constater que le gradient de réchauffement thermique est nord-sud pour les températures maximales et sud-nord pour celles minimales. Entre les périodes 1971-2000 et 1941-1970, les deux régions d'étude ont été marquées par un réchauffement de +1 °C.

Les hauteurs de précipitations annuelles pour leur part, ont enregistré une diminution comptise entre -18 et -28 % au cours de la première saison agricole. Le nombre de jours pluvieux dans les deux régions a connu une régression annuelle de -10 % entre les deux normales.

Dans le contexte d'une augmentation continue des gaz à effet de serre au niveau mondial, notamment dans le scénario SRESB2 à l'horizon 2050, la hausse des températures serait de +1,5 °C dans le Bénin méridional et dépasserait les +2 °C dans le Bénin central. Les mois de mars, avril et mai sont marqués par une baisse respective de -3,2 ; -6 et -11 %. De même, juin et juillet connaîtraient une baisse variant entre -5 et -16 %. Mais certains mois, comme octobre par exemple, connaîtraient un accroissement de +25 % de leur pluviométrie par rapport à ce qu'ils

étaient sur la normale 1961-1990 dans le Bénin méridional et central. Il en résulterait une forte perturbation des saisons agricoles, déjà fragilisées par les tendances climatiques actuelles.

Dans de telles situations climatiques, les rendements des cultures baisseront. Les principales cultures (manioc, maïs, arachide, riz) connaîtront des baisses allant de -12 à -20 % dans le scénario SRESB2/HadCM2 ; de -10 à -30 % dans le scénario analogue sec et entre -5 à -10 % pour le scénario analogue humide dans le Bénin méridional. Dans le Bénin central et pour les mêmes scénarios, les baisses seraient de -8 à -18 % ; de -5 à -22 % et de -10 % pour l'igname, le maïs, le manioc, l'arachide et le riz.

Dans un tel contexte agricole, 63,4 et 73 % des populations du Bénin méridional ne pourront pas subvenir à leurs besoins en maïs respectivement pour les scénarios analogues sec et SRESB2/HadCM2. Dans le Bénin central, des surplus seront enregistrés pour toutes les denrées alimentaires, sauf pour le niébé et la patate douce, pour lesquels les déficits seront respectivement de -25,9 et -33 % par rapport à la demande alimentaire.

La satisfaction des besoins alimentaires des populations du Bénin méridional et central en pleine croissance numérique à l'horizon 2050, implique la valorisation de certaines stratégies endogènes et la mise en œuvre dès maintenant des stratégies de mitigation suggérées. Les recherches sur le plan agrobiotechnologique (mise à jour de nouveaux cultivars ayant des potentiels génétiques leur permettant de résister à la chaleur, à la sécheresse et aux ennemis des cultures et les innovations dans la conservation et la transformation des produits agricoles) sont nécessaires. L'amélioration des techniques d'utilisation des terres, le développement des cultures fruitières, l'irrigation, l'information des communautés sur les changements climatiques ainsi que sur leurs impacts possibles, etc. font partie des mesures suggérées et à mettre en œuvre. La mise en place d'un cadre spécial de prévision et de gestion des risques d'insécurité alimentaire et une meilleure implication des femmes dans le processus du développement agricole sont aussi importantes. En outre, les simulations multicritères et scénarios doivent être poursuivies à l'échelle nationale pour évaluer la vulénérabilité de toutes les régions du Bénin sur le plan

alimentaire aux changements climatiques et concevoir les systèmes d'échanges efficaces entre régions excédentaires et celles à déficit alimentaire.

Les investigations sont à poursuivre sur le front de la paléoclimatologie afin de mieux appréhender les indices et traces des variations climatiques passées qui ont marqué le Bénin. Par ailleurs, un réexamen de la vulnérabilité socio alimentaire dans le Bénin méridional et central sera indispensable dès que les limites des modèles de simulation climatique seront levées.

Dans ce cadre, les prochains travaux sur le front scientifique porteront sur :

1. **l'approfondissement de la recherche sur l'identification des indicateurs de l'évolution des climats ;**
2. **la simulation et l'élaboration des cartes de potentialités et de vulnérabilité des productions agricoles par secteur agroécologique et à des échelles plus détaillées ;**
3. **la réalisation des études et le développement des réflexions sur les possibilités de transférabilité agricole ;**
4. **l'étude des impacts des changements climatiques sur le rythme de développement national, voire régional.**

Bibliographie

1 ABE [Agence Béninoise pour l'Environnement] (2001) : Inventaire et diagnostic pour la préparation du schéma directeur du littoral. Rapport de Consultation, Cotonou, 130p.

2 Adam K. S. (1996) : L'évolution géomorphologique de la plaine côtière dans le Golfe du Bénin.

3 Adam K. S. et Boko M. (1993) : Le Bénin. Ed. du flamboyant, Cotonou, 93p.

4 Adams R. M. et *al*. (1989) :"The economic effects of climate change on U.S. agriculture : A preliminary assessment." In : B. Smith and D Tirpak (eds). US Environmental Protection Agency, Washington DC, pp 4-56.

5 Adams R.M., McCarl B.A., Dudek D.J. and Glyer J.D. (1988) : Implications of global climate change for western agriculture. Western J. Agric. Economics 13, pp 348-356.

6 Adédoyin J. A. (1992) : Variabilité du climat mondial, tendances globales du climat et production alimentaire en Afrique. In La natte des autres pour un développement endogène. Ed. J. Ki-Zerbo, pp 215-226.

7 Adejuwon J. O., Balogun E. E., Adejuwon S. A. (1990) : On the annual and seasonal patterns of rainfall fluctuations in sub-saharian West-Africa. Journal of Climatology, 10, pp 839-848.

8 Adjahossou B. S. (2005) : Biodiversité végétale, facteur de productivité et de durabilité de l'agriculture : cas du département de l'Atlantique au Bénin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, Univ. d'Abomey-Calavi, 232p.

9 Adjahossou D. F. (1983) : Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le palmier à huile, *Elea guineensis Jacq*. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences, Univ. Paris 7, 203p.

10 Adjahossou D. F. (1998) : Effet de l'ablation des inflorescences sur le rendement en tubercule de quelques accessions de Pachyrhizus erosus Urban et de P. tubersus (Lam.) Sprengel. In proceedings of 2nd International Symposisum on tuberous legumes, Kobenhavn. Edit Sorensen M., Engelmann J. E., Hamann O. J., Santa Aa Rios Ruiz M. C., pp 97-114.

11 Adjovi C. L. (1991) : Analyse statistique des précipitations dans le bas-Bénin : étude de tendance et de persistance. Mémoire de maîtrise de Géographie, UNB/FLASH, 94p.

12 Afouda F. (1990) : L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de Doctorat nouveau régime, Univ. Paris IV (Sorbonne), Institut de Géographie, 428p.

13 Afouda F., Housou S. C., Tenté B., Vissin E., Ogouwalé E., Totin H. et Yabi Ibouramima (2003) : Economie du charbon et durabilité dans la Commune de Djidja. Rapport de Consultantion, PadeCOM/Zou, Abomey, 58p.

14 Agbo A. V. (1977) : Paysannat traditionnel et développement rural de l'Atacora (Bénin). Thèse de doctorat de 3ème cycle, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 406p.

15 Aho N. et Kossou D. (1997) : Précis d'agriculture tropicale, base et éléments d'application, Flamboyant, Cotonou, 464p.

16 Akoègninou A. (1984) : Contribution à létude botanique des ilôts de forêts danses humides semi-déciues en République du Bénin. Thèse de doctorat du troisième cycle de Géographie Tropicale. Ecologie-Aménagement-Développement. Option : Ecologie Tropicale. Université de Bordeaux III. UER Aménagement et Ressources Naturelles, Département de l'homme et son environnement, 246p.

17 Alidou S. (1983) : Etude géologique du bassin paléo-Mésozoique de Kandi (Nord-Est du Bénin, Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences. Université de Dijon, 328p.

18 Alimen H. (1955) : Préhistoire de l'Afrique. Editions N. Boubée et Cie, Paris, 330p.

19 Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. et Smith M. (1998) : Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome Italy, 300p.

20 Amoussou E. (2003) : Dynamique hydro-sédimentaire et mutations des écosystèmes du ''lac'' Ahémé. Mémoire de maîtrise, DGAT/ FLASH/ UAC, 103p.

21 Amoussou E. (2004) : Systèmes traditionnels de gestion durable du lac au Bénin. In Développement durable : leçons et perspectives. Actes de Colloque AUF Ouagadougou, pp 263-270.

22 Amoussou E. (2005) : Variabilité hydro-climatique et dynamique des états de surface dans le bassin versant du Couffo. Mémoire de DEA, EDP/ FLASH/ UAC, 105p.

23 Amoussou E., Vissin E.W., Houssou C.S. et Boko M. (2004) : Changes in Physicochemical parameters and productivity of Aheme lake. In the 14th Stockholm Water Symposium : Drainage basin management-regional approaches for food and urban security. Stockholm Water Symposium, pp 159-170.

24 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, 282p.

25 Arrignon J. (1987) : Agroécologie des zones arides et sub-humides. Maisonneuve et Larose et ACCT, Paris, 271p.

26 Assemlen P. Filleron J. C. Martin L. Tastet J. P. (1970) : Le quaternaire de la zone littoral de Côte-d'Ivoire. Quatern. Afr. Bull. Liaison, Sénégal, n° 25, pp 65-78.

27 Attignon K. H. (1960) : Le climat de la zone côtière entre Takoradi et Cotonou et ses conséquences biogéographiques. DES de Géographie, Faculté des Lettres d'Aix-Provence, 72p.

28 Aubreville A. (1949) : Climats, forêts, désertification de l'Afrique tropicale. Société des Editions Maritimes et Coloniales, Larose, Paris, 351p.

29 Aubréville A., 1962 : Savanisation tropicale et glaciation quaternaire. Adansonia, Tome 2, fasc. 1, pp 6-84

30 Baloubi D., Azonkponon N., Badou M. R. et Gbaguidi B. (1999) : Monographie du Département du Zou. Mémoire de maîtrise de géographie, UAC/FLASH/DGAT, 106p.

31 Banque Mondiale (1992) : Culture et développement en Afrique. Actes de la conférence internationale, Washington, 12p.

32 Banque Mondiale (1996) : Vers un développement durable du point de vue de l'environnement en Afrique Centre – Ouest, Div-Agic et env. Dép afrique, 111p.

33 Beltrando G. (1990) : Variations spatio-temporelles des précipitations sahéliennes de l'Atlantique à l'ouest du Massif Ethiopien (1936-1976), MET, VIIe série, pp 1-8.

34 Berger A. (1992) : Le climats de la Terre : Un passé pour quel avenir ? De Boeck Wesmael, Bruxelles, 479p.

35 Berning F. et Van Diepen C. A. (1982) : Notice explicative des cartes d'aptitude culturale en République du Bénin. Etude n° 251, Projet d'Agro-Pédologie, 131p.

36 Besancenot J-P. (1986) : Recherche de bioclimatologie humaine en zone intertropicale in Pagney P., Nieuwolt S. Etude de climatologie tropicale, Paris Masson, Coll. ''Recherche en géographie'', pp 11-28.

37 Biaou G. (1995) : Analyse de l'impact de la dévaluation du franc CFA sur la production agricole et la sécurité alimentaire au Bénin : proposition d'actions et systèmes de productions. FAO, Cotonou, 77p.

38 Biaou G. (1995) : Perspectives du développement rural au Bénin dans les 15 années à venir. Enquête auprès des institutions de développement rural, In Institutions et technologies pour le développement en Afrique de l'ouest, n°4, pp 45-57.

39 Bo Lim, Erika S-S., Burton I., Malone E. (eds) (2005) : Adaptation Policy Frameworks for Climate Change : Developing Strategies, Policies and Measures. UNDP, Cambridge University Press, 253p.

40 Bohl, H.G., Downing T.E. and Watts M.J. 1994. Climate change and social vulnerability: toward a sociology and geography of food insecurity. Global Environ. Change 4 (1), pp 37-48.

41 Bois Ph. (1971) : Une méthode de contrôle de séries chronologiques utilisées en climatologie et en hydrologie. Laboratoire de Mécanique des Fluides, Université de Grenoble, ''Section hydrologie'', 49p.

42 Bois Ph. (1986) : Contrôle des séries chronologiques corrélées par étude du cumul des résidus. Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM, Montpellier, pp 89-100.

43 Boko M. (1975) : La plaine côtière du Dahomey à l'Ouest de Cotonou. Thèse de Doctorat de 3ème cylce de Géographie Tropicale. Univ. de Bourgogne, Dijon, 221p.

44 Boko M. (1988) : Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences Humaines. CRC, URA 909 du CNRS, Univ. de Bourgogne, Dijon, 2 volumes, 601p.

45 Boko M. (1997) : Les changements climatiques et le développement économique, social et environnemental du Bénin : Planification et développement des zones côtières Béninoises. MEHU, Cotonou, 28p.

46 Boko M. (éd) (2005) : Agriculture durable et gestion des ressources naturelles. Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Centre de Publications Universitaires, Cotonou, 180p.

47 Boko M. (éd) (2005) : Dimensions technologiques du développement durable. Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Centre de Publications Universitaires, Cotonou, 157p.

48 Boko M. (éd) (2005) : Méthodes et techniques des sciences environnementales. Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Centre de Publications Universitaires, Cotonou, 303p.

49 Boko M. et Adjovi L. C. (1994) : Recherche de tendance dans les séries pluviométriques du Bénin : implications agroclimatiques. Publications de l'AIC, vol 7, pp 294-304.

50 Boko M. Houssou C. S. Houndénou C. Vissin E., Totin V. S. H., Ogouwalé E., Yabi I., Amoussou E. (2003) : Gestion des risques hydro-climatiques et développement économique durable dans le bassin du Zou. UAC/DGAT/Laboratoire de Climatologie, 52p.

51 Bokonon-Ganta E. B. (1987) : Les climats de la région du Golfe du Bénin. (Afrique Occidentale). Thèse de doctorat du 3ème cycle, Paris IV, Sorbonne, 248p + Annexes.

52 Bokonon-Ganta E. B. (1992) : Contraintes Climatiques et Développement dans la Région du Golfe du Bénin (Ghana, Togo, Bénin). Laboratoire de Climatologie, Université d'Abomey-Calavi, 8p inédit.

53 Bonneaud S. (1994) : Méthodes de détection des ruptures dans les séries chronologiques. Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier, filière Sciences et Technologies de l'Eau. Laboratoire d'Hydrologie et Modélisation, Université Montpellier II, 40p.

54 Bricquet J. P., Mahé G. et Bamba F. (1995) : Changements climatiques et modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro (Mali). In : L'Hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement. Mélanges à la mémoire de Jean Rodier (Actes de la conférence de Paris, 2-4 Mai 1995) (édité par P. Chevallier & B. Pouyaud), IAHS Publ, N°238, pp 113-124.

55 Bruce J. P. (1991) : The World Climate Programme. Achievement and challenge. In Jäger J., Ferguson H. L. (eds), Climate Change, science, impact and policy. Cambridge University Press, Great Britain, pp 149-156.

56 Buishand T. A. (1982) : Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology, vol.58, pp 11-27.

57 Buttrose M. S. (1969) : Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity, Vitis 8. pp 280-285.

58 Caceres D.M. (1993) : Peasant Strategies and Models of Technological Change : A Case Study from Central Argentina. M.Phil. Thesis, University of Manchester, Manchester, 278p.

59 Cadet D. et Granier R. (1988) : L'Oscillation Australe et ses relations avec les anomalies climatiques globales. In La Météorologie Série VII N°21, pp 4-17.

60 Camberlin P. (1987) : Les relations du champ pluviométrique ouest-africain aux forçages atmosphériques et océaniques d'échelles régionales et planétaires. Mémoire de Maîtrise de Climatologie. Centre de Recherches de Climatologie. URA 909 du CNRS ''Climatologie Tropicale'', Université de Bourgogne, Dijon, 108p.

61 Camberlin P. (1994) : Les précipitations dans la corne de l'Afrique : Climatologie, variabilité et connexions avec quelques indicateurs océano-atmosphériques. Thèse de Doctorat de Géographie. Spécialité : Climatologie. Centre de Recherche de Climatologie. Université de Bourgogne, Dijon, 379p.

62 Carbonnel J. P. et Hubert P. (1987) : Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. Journal of Hydrology, 95, pp 165-183.

63 Carbonnel J. P. et Hubert P. (1992) : Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne : Remise en cause de la stationnarité des séries. In l'aridité : Une contrainte pour le développement. Editions ORSTOM, pp 37-51.

64 Carter T. R. (1995) : Directives techniques du GIEC pour l'évaluation des incidences de l'évolution du climat et des stratégies d'adaptation. Island Press, Washington, 62p.

65 CAST [Council for Agricultural Science and Technology] (1992) : Preparing U.S. Agriculture for Global Climate Change. Task Force Report No. 119, CAST, Ames, Iowa, 96 p.

66 CENAP [Centre National d'Agropédologie] (1982) : Notice explicative sur les cartes d'aptitudes culturales du Bénin. Etude Nº 251 - Cotonou.

67 Centella A. (1999) : Climate change scenarios for assessment in Cuba. Climate Research, vol 12, pp 223-230.

68 Champigny M. L., Miginiac-Malow M. (1971) : Relation entre l'assimilation photosynthétique du CO_2 et la photophosphorylation de chloroplastes isolés. Simulation de la fixation de CO_2 par l'antimycine A., antagoniste de son inhibition par le phosphate. Bioch Biophys Acta, 243, pp 35-43.

69 Chaouche A. (1988) : Structure de la saison des pluies en Afrique Soudano-Sahélienne. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 263p.

70 Charles R. (1993) : L'eau et la production végétale. In Sécheresse, n° 2, Vol 4, pp 75-83p.

71 Chatfield C. (1989) : The analysis of time series. An introduction. Fourth edition, Chapman and Hall, 241p.

72 Cheich S. S. et Gorgui B. D. (1998) : Les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures : Prévision des rendements du mil en zones soudano-sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest. In Sécheresse, n° 4, Vol 9, pp 281-288.

73 Choisnel E. (1988) : L'analyse spatiale du bilan hydrique en agroclimatologie. In La Météorologie VIIème N°43, pp 31-42.

74 CILSS [Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel] (1989) : Stratégies et politiques alimentaires au Sahel. Edition du Centre Sahel, Québec, 518p.

75 CIMMYT [Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo] (1991) : Annual Report, Improving the Productivity of Maize and Wheat in Developing Countries: An Assessment of Impact. Mexico City, 125p.

76 Ciparisse G. (1997) : Dynamique foncière et agriculture en zone péri-urbaine. In réforme agraire, pp 67-74.

77 CIRAD [Centre International de Recherche Agricole pour le Développement] (1984) : La sécheresse en zone intertropicale. Actes de colloque – Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme. Dakar du 24 au 27 septembre, 583p.

78 Cochemé J. et Franquin P. (1968) : Etude agroclimatique dans une zone semi-aride en Afrique au sud du Sahara. OMM – n°210, TP. 110, Génève, 140p.

79 Cramer H. (1946) : Mathematical methods of statistics. Princeton University Press, 368p.

80 Crowlet (1983) : The geologic record of climate change and extinction events in Earth history. Sciences, 240, pp 996-1002.

81 Crowlet T. J. et North G. R. (1988) : Abrupt climate change. Rev. Geophys. and space physics, 21, pp 828-877.

82 da Silva Vieira J. B. (1976) : Water stress, ultrastructure and enzymatic activity. In water and plant life : problems and modern approaches. Lange OL, Kappen L., Schulze E. D. (eds) Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. Ecological studies, pp 7-24.

83 Dagnelie P. (1970) : Théorie et Méthodes Statistiques. Vol 2, Les presses agronomiques de Gembloux, 451p.

84 Dalrymple D.G. (1986) : Development and Spread of High-Yielding Rice Varieties in Developing Countries. 7th ed. USAID, Washington DC, 56p.

85 DANA [Direction d'Analyse et de la Nutrition Appliquée] (1992) : Rapport sur la situation alimentaire et nutritionnelle au Bénin. Cotonou, Bénin, 26p.

86 DANA [Direction d'Analyse et de la Nutrition Appliquée] (1995) : Transformation de quelques aliments locaux. Cotonou, Bénin, 33p.

87 Dancette C. (1983) : Estimation des besoins en eau des principales cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. In Agronomie Tropicale 38(4), pp 281-293.

88 Dansou J. (1999) : Climat et sécurité alimentaire dans le sud-ouest du Bénin (Afrique Occidentale). Mémoire de DEA ''Interface Nature-Société'', Université de Bourgogne, Dijon, 51p.

89 Darbin B. et Maignien R. (1979) : Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. In Cah. ORSTOM, ser. Pedol., vol. XVII, n°4, pp 235-257.

90 Darwin R., Tsigas M., Lewandrowski J. and Raneses A. (1995) : World Agriculture and Climate Change : Economic Adaptation. Report N° AER-709, Economic Research Service, Washington DC, 302p.

91 Davies O. (1964) : The Quaternary in the coastlands of Guinea. Jackson, Son and Company, 429p.

92 de Percevaux S., Payen D., Brochet P., Samie C., Hallaire M. et Mériaux S. (1990) : Dictionnaire encyclopédique d'agrométéorologie. CIFL, Paris, 318p.

93 De Wit C. T. (1965) : Photosynthesis of Leaf Canopies. Agriculture Reports 663, Centre for Agriculture. Wageningen, Netherland, 57p.

94 Delecolle R. (1989) : Indices et modèles, outils du zonage agropédoclimatique. In Le zonage agropédoclimatique (ed. C. Riou), Paris, pp 7-39.

95 Demangeot J. (1989) : Les milieux ''naturels'' du globe. Armand Colin, Paris, 316p.

96 Demarée G. R. (1990) : Evidence of abrupt climate change from the rainfall data of a Mauritanian station. Publication de l'Institut Royal Météorologique, Bruxelles, séries A n°124, pp 68-74.

97 Demarée G. R. et Nicolis C. (1990) : Onset of the sahelian drought viewed as a climatic fluctuation induced transition. Quart. Jour. Roy. Met. Soc., 116, pp 221-238.

98 Denett M. D., Rodgers J. A. et Stem R. D. (1985) : A reappraisal of rainfall trends in the sahel. Journal of Climatology, n°5, pp 353-362.

99 Dettwiller J. (1965) : Note sur la structure du FIT boréal sur le nord-ouest de l'Afrique. La Météorologie. N° 80, pp 337-347.

100 Dhonneur G. (1985) : Traité de Météorologie Tropicale : application au cas particulier de l'Afrique Occidentale et Centrale. Direction de la Météorologie Nationale, Paris, 151p.

101 Djossou V. (1991) : Analyse fréquentielle des anomalies pluviométriques positives de la petite saison sèche dans le bas-Bénin. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLASH/DGAT, 114p.

102 Doorenbos J. et Pruitt W. (1976) : Besoins en eau des cultures. FAO, Rome, 198p.

103 Doorenbos J. et Kassam A. H. (1984) : Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N°33, Rome, 233p.

104 Downing T.E. (1992) : Climate Change and Vulnerable Places : Global Food Security and Country Studies in Zimbabwe, Kenya, Senegal, and Chile. Research Report N°. 1, Environmental Change Unit, University of Oxford, 54p.

105 Durand R., Bonhomme R. et Derieux M. (1982) : Optimal base temperature for calculating degree-day sums applied to maize (*Zea mays L*.), 366p.

106 Eeg J. et Igue J. (1993) : L'intégration par le marché dans la sous-région Est : l'impact du Nigeria sur ses voisins immédiats, programme échanges régionaux, commerce frontalier et sécurité alimentaire en Afrique de l'ouest coordonné par l'INRA (Montpellier), l'IRAM (Paris) et UNB (Cotonou), 98p.

107 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, pp 47-63.

108 Elouard P. (1976) : Oscillations climatiques de l'Holocène à nos jours en Mauritanie atlantique et dans la vallée du Sénégal. In la Désertification au sud du Sahara. Actes de colloque de Nouakchott, Les nouvelles Editions Africaines, pp 27-36.

109 Encarta (2004) : Encyclopédie Microsoft © 1993-2003 Microsoft Corporation, version numérique.

110 Eténé C. G (2005) : Hydrologie urbaine d'Allada : impacts sur les infrastructures socio-économiques. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, LECREDE/EDP/FLASH/UAC, 77p.

111 Eténé C. G. et Aboudou A. I. (2002) : Les spéculations foncières autour de construction de l'Aéroport International de Glo Djigbé : Un essai de signification de la géographie prospective. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UAC, 129p.

112 Euverte G. (1970) : Les climats et l'agriculture. PUF, Que sais-je ? N°824, 103p.

113 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1984) : Promotion des échanges agricoles entre les pays en développement. Rome, 173p.

114 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1978) : Calendriers culturaux. Rome, 57p.

115 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1990) : Women in agricultural development-Women, food systems and agriculture. Rome, FAO, 44p.

116 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1994) : Evaluation des besoins d'aide alimentaire. Rome, 24p.

117 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1995) : La mise en valeur des eaux au profit de la sécurité alimentaire. Rome, 42p.

118 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1995) : L'agriculture mondiale à l'horizon 2010. Rome et Polytecnica, Paris, 472p.

119 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1996) : World Food Summit : Rome declaration on world food security and World Food Summit plan of action. Rome, FAO, 43p.

120 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1996) : World Food Day, Fighting hunger and malnutrition. Rome, FAO, 16p.

121 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (1997) : Changement du climat et production agricole. Rome, Polytechnica, Paris, 375p.

122 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (2000) : Agriculture Towards 2015/2030. Technical interim report, April. Economic and social department. Rome, Italy. 145p.

123 FAO [United Nations Food and Agriculture Organization] (2002) : Food insecurity: When people must live with hunger and fear starvation. The state of food insecurity in the world 2002. FAO. Rome, Italy, 214p.

124 FAO-Bénin [United Nations Food and Agriculture Organization] (1997) : Rapport sur l'alimentation mondiale. Rapport sur la situation alimentaire en République du Bénin. Cotonou, 17p.

125 Faure H. (1966) : Une importante période humide du Quaternaire supérieur au Sahara. Bull. ASEQUA, n°10-11, pp 14-19.

126 Fischer G., Frohberg K., Parry, M.L. et Rosenzweig C. (1994) : Climate change and world food supply, demand and trade. Global Environ. Change. 4 (1), pp 7-23.

127 Fischer G., Frohberg K., Parry M.L. et Rosenzweig C. (1997) : Les effets potentiels du changement de climat sur la production et la sécurité alimentaire mondiale. In Changement du climat et production agricole, FAO, pp 233-276.

128 Fondation pour le Développement en Afrique et Centre Songhaï (1993) : Les technologies adaptées au développement à la base. Cotonou, 38p.

129 Fontaine B. (1985) : La variabilité des précipitations en domaine sahélien et ses connexions avec la circulation atmosphérique africaine atlantique. In Cahier de Centre de recherche de Climatologie, N°11, URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon, pp 85-91.

130 Fontaine B. (1990a) : Champ Atlantique, pluviométrie ouest-africaine et oscillation australe. In Veille Climatique Satellitaire, N°32, pp 34-49.

131 Fontaine B. (1990b) : Etude comparée des moussons indienne et ouest-africaine : caractéristiques, variabilités et télé-connexions. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Lettres et Sciences Humaines, Centre de Recherches de Climatologie, URA 909 du CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 2 volumes, 511 p.

132 Fontaine B. et Bigo S. (1991) : Modes de sécheresse ouest-africain et température de surface océanique. In Veille Climatique Satellitaire, 38, pp 38-49.

133 Franquin P. (1969) : Analyse agroclimatique en région tropicale. Saison pluvieuse et saison humide. ORSTOM, série Biologie 9, pp 66-95.

134 Frère M. et Popov G. F. (1987) : Suivi agrométéorologique des cultures et prévisions des rendements. FAO, Rome, 170p.

135 Germain P. (1975) : Contribution à la connaissance du quaternaire récent du littoral dahoméen. Ass. Sénégal. Quatern. Afr. Bull. Liaison, Sénégal, n° 44-45, pp 33-45.

136 Ghersis G. et Martin F. (1988) : Stratégies et politiques alimentaires : définitions et conceptions clés. Série conférence n°3, Centre Sahel, 51p.

137 Giorgis D. (1992) : L'aide humanitaire : l'écart entre les besoins et la réponse. In aide humanitaire. Le Courrier ACP Bimestriel, novembre - décembre, pp 32-43.

138 Giri J. (1986) : L'Afrique en panne. Vingt-cinq ans de ''développement''. Karthala, Paris, 204p.

139 Glantz M. (1987) : Drought and Hunger in Africa : denying famine of future. Cambridge University New-York USA, 457p.

140 Gnitona P. (2000) : Stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques et climatiques chez les Bètèmmariba de l'Atacora. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLASH/DGAT, 88p.

141 Godet M (1997) : Manuel de prospective stratégique : une discipline intellectuelle. Editions Dunod, tome 2, Paris, 56p.

142 Gollan T., Turner N. C. et Schulze E. D. (1985) : The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and water soil content. In the scleropyllous woody species *Nerium oleander*, 65, pp 56-62.

143 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, pp 67-86.

144 Gonni C. (1986) : Quelques données sur la sécheresse de ces dernières années. In Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), 14p.

145 Guillot B. Lahuec J. P., Citeau J., Bellec B. et Noyalet A. (1976) : Analyse de l'évolution climatique en Afrique de l'Ouest entre 1983-1985 à l'aide de l'imagerie satellitaire et de données conventionnel de l'ORSTOM. Dakar, pp 173-202.

146 Guiwa C. (1996) : L'évolution des systèmes de production et les mutations socio-économiques dans la sous-préfecture de Banikoara. Mémoire de maîtrise de géographie, UAC.FLASH.DGAT, 139p.

147 Hamilton A. C. et Taylor D. (1991) : History of climate forest in tropical africa during the last 8 millions years. In Climatic Change, pp 65-78.

148 Hare K. (1984) : Climat et désertification. OMM, Bull. vol. 33, pp 313-319.

149 Hastenrath S. (1978) : On modes of tropical circulations and climate anomalies. J Atmos. Sci. 35, pp 2222-2231.

150 Hastenrath S. (1988) : Climate and circulation of the tropics. Atmospheric Sciences Library, D. Reidel piblishing company, Dordrecht, 455p.

151 Hennou F. G et Djanan N. (2002) : L'agriculture péri-urbaine dans la Commune d'Abomey-Calavi. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FLASH/DGAT, 105p.

152 Hitz W. E., Ladyman J. A. R., Hanson A. D. (1982) : Betaine synthesis and accumulation in barley during field water stress. Crop Sci, 22, pp 47-54.

153 Hoddinott J. (2003) : Food aid in the 21st century: Food aid as insurance. Defining the role of food aid in contributing to sustainable food security, Berlin, September. International Food Policy Research Institute. Washington, DC. 86p.

154 Houéssou A. et Lang J. (1978) : Contribution à l'étude du continental terminal dans le Bénin méridional, Sce-Géol. Bull. Strasbourg. 3,4. pp 134-149.

155 Houéssou A. et Lang J. (1979) : La terre de barre dans le Bénin méridional (Afrique de l'ouest). Ass . Sénégal Et. Quatern. Afr. Bull. Liaison. Sénégal, n° 56-57, pp 49-60.

156 Hougton J. T. et Jen Kins G. T. (1990) : Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, 365p.

157 Houndagba C.J. (1984) : Analyse typologique des paysages d'Abomey-Zagnanado en R.P. du Bénin. Thèse 3ème cycle Université Louis Pasteur Strasbourg, 286p.

158 Houndagba C.J. (1996) : Les héritages morphoclimatiques des plateaux sédimentaires du sud béninois. In Archéologie et sauvetage du patrimoine. AOAA/WAAA, pp 39-46.

159 Houndénou C. (1988) : Contribution à l'étude géomorphologique de la partie occidentale du littoral Béninois. Mémoire de Maîtrise de Géographie Physique, UAC/FLASH/DGAT, 144p.

160 Houndénou C. (1992) : Variabilité pluviométrique et conséquences socio-écologiques dans les plateaux du bas-Bénin (Afrique de l'Ouest). Mémoire de DEA «climats et contraintes climatiques », URA 909, CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 2 tomes, tome 1, texte (90p.), tome 2, figures et tableaux.

161 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 «climatologie de l'Espace Tropical », Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon, 341p.

162 Houndénou C., Hernandez K. (1998) : Modification de la saison pluvieuse dans l'Atakora (1961-1990). Un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique occidentale). Cahiers Sécheresse, Volume 9, Numéro 1, pp 23-34.

163 Hounkannounon J. (1979) : Les précipitations en République Populaire du Bénin (d'après la normale 1961-1970). Mémoire de Maîtrise de Géographie. UAC/FLASH/DGAT, 51p + annexes.

164 Houssou C. S. (1991) : Rythmes climatiques, rythmes pathologiques dans le nord-ouest du Bénin. Mémoire de DEA ''Climats et contraintes Climatiques'', Centre de Recherches de Climatologie, URA 909 CNRS-Climatologie Tropicale, Université de Bourgogne, Dijon, 100p.

165 Houssou C. S. (1998) : Les bioclimats humains de l'Atacora et leurs implications socio-économiques dans le Nord-Ouest du Bénin. Thèse de Doctorat de géographie. UMR 5080, CNRS «climatologie de l'Espace Tropical », Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon, 336p.

166 Houssou C. S. (2000) : Impacts potentiels des changements climatiques sur la santé des populations. Communication personnelle présentée lors d'un séminaire entrant dans le cadre de la préparation de la première communication initiale du Bénin sur les changements climatiques. Cotonou, 10p.

167 Hubert H. (1926) : Nouvelles études sur la météorologie de l'Afrique Occidentale Française. Publication du Gouvernement Général de l'A.O.F. Librairie E. Larose, Paris.

168 Hubert H. (1920) : Le dessèchement progressif en Afrique Occidentale. Bull. Com. Etudes. Hist. Et Scient. de l'Afrique occ. fr. n°4, Larose, Paris, pp 401-467.

169 Hulme M. (1995) : Recent climatic change in the world's drylands. Geophysical research Letters, vol. 23, n°1, pp 61-64.

170 Hulme M. (1996) : Climate change and Southern Africa : An exploration of some impacts and implications in SADC region. Climatic Research Unit. University of East Angelia, Norwich, UK and WWF International, Gland, Switzerland, 104p.

171 Hulme M., Wigley T. M. L., Barrow E.M., Raper S. C. B., Centella A., Smith S. et Chipanshi A. C. (2000) : Using climate Scenario Generator for vulnerability and adaptation assessments : MAGICC and SCENGEN version 2.4 Workbook. Climatic Unit. Norwich, UK, 52p.

172 Hunt L. A., Kuchar L. et Swanton C. J. (1998) : Estimation of solar radiation for use in crop modelling. Agricultural and Forest Meteorology, 145p.

173 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, 66p.

174 IFPRI [International Food Policy Reserach Institute] (1995) : 2020 Vision for food, agriculture and the environment. Washington, 45p.

175 Igué J. (1999) : Le Bénin et la mondialisation de l'économie, les limites de l'intégrisme du marché, Paris Editions Khartala, 310p.

176 Igué J. O. (ed) (2001) : Carte de la Sécurité Alimentaire. LARES, nouvelle édition, Cotonou. 28 planches.

177 Igué J. O. (1988) : Echanges Régionaux, Commerce Frontalier et Sécurité Alimentaire en Afrique de l'Ouest. Cotonou, 45p.

178 Imbrie J. et Kipp N. G. (1971) : New micropaleontological methode for quantitative paleoclimatology : application to a Late Pleistocene Carebbaen core. In Late Cenozoic Glacial Ages, Yale University Press, New York, pp 71-181.

179 INRAB [Institut National de Recherches Agricoles du Bénin] (1997) : Recherche et développement agricole au Bénin. INRAB, Cotonou, 856p.

180 INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique] (1996) : Déclaration de politique de population de la République du Bénin. Cotonou, 44p.

181 INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique] (1998) : Tableau de bord social. Cotonou, 245p.

182 INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique] (2002) : Recensement général de la population et de l'habitation. Cotonou, 47p.

183 INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique] (1999) : Tableau de bord social. Cotonou, 163p.

184 INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique] (1995) : Tableau de bord social. INSAE, Cotonou.

185 INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique] (1997) : Tableau de bord social. INSAE, Cotonou.

186 IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (1991) : Climate change : The IPCC Response Strategies. Island Press, Washington, DC, 44p.

187 IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (1994) : Guide méthodologique pour l'étude de la vulnérabilité et adaptation. Island Press. Caveli, California, 300p.

188 IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (1996) : Climate change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working group I to the second assessment Report of the IPCC. Press. Caveli, California, 572p.

189 IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2000) : Elaboration des scénarios socio-économiques. Island Press, Washington. Rapport d'activité. 52p.

190 IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2001) : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington, 53p.

191 Issa M. S. (1995) : Impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement du CO_2 atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin. Mémoire de DESS. Université Senghor d'Alexandrie, 113p.

192 Issa M. S. (2001) : Vulnérabilité/adaptation de l'agriculture béninoise aux changements climatiques. Communication personnelle présentée lors d'un séminaire entrant dans le cadre de la préparation de la première communication initiale du Bénin sur les changements climatiques. Cotonou, 22p.

193 Izsrael Y. (1991) : Climate change impacts studies. The IPCC working group II report. In Jäger J., Ferguson H. L. (eds), Climate change, science, impact and policy. Cambridge University Press, Great Britain, pp 83-86.

194 Janicot S. (1990) : 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, 600p.

195 Jones P. D. (1990) : Le climat des mille dernières années. La Recherche, 21, n° 219, pp 304-312.

196 Kendall S. M. et Stuart A. (1943) : The advanced theory of statistics. Charles Griffin Londres, 3ème volume, 585p.

197 Kotz S., Johnson N. L. et Read C. B. (1981) : Encyclopedia of statistical sciences. New York, John Wiley. Vol. 9, pp 244-255.

198 Kukla G. (1975) : Loess stratigraphy of central Europe. In After the Australipotheines, K. W. Mouton Publ, pp 99-108.

199 Kukla G. (1977) : Pleistocene land sea correlations. Earth Science Reviews, 13, pp 307-374.

200 Laberrie J. (1985) : L'homme et le climat, Denoël, Paris, 245p.

201 Labonne M. (1984a) : Sur la question Alimentaire en Afrique. INRA, Paris, 87p.

202 Labonne M. (1984b) : Origines et perspectives de la crise alimentaire dans les pays du Sahel. INRA, série Etudes et Recherches n°88, Montpellier, 35p.

203 Lamb P. (1983) : Subsaharan rainfall update for 1982 : continued drought. Journal of Climatology, n°3, pp 419-422.

204 Lang J. et Paradis G. (1984) : Le quaternaire margino-littoral béninois (Afrique de l'ouest). Synthèse des datations au carbone 14. Palaecology of Africa. Ed J. A. Coetze et E. M. Yan Zinderen Baker. A. A. Balkema publ, pp 65-67.

205 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. Points de vue et perspectives de recherches. Université Cheich Anta Diop, pp 17-36.

206 Le Bourdiec P. (1958) : Contribution à l'étude géomorphologique du bassin sédimentaire et des régions littorales de Côte-d'Ivoire. Etudes éburéennes, 96p.

207 LECREDE [Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes] (2003) : Base de données climatologiques. Laboratoire de climatologie/ DGAT/FLASH/UAC. Version numérique.

208 Leroux M. (1970) : La dynamique des précipitations en Afrique Occidentale. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université de Dakar, 582p.

209 Leroux M. (1980) : Le climat de l'Afrique tropicale. Thèse d'Etat, Université de Dijon. 3 tomes, 1427p.

210 Leroux M, 1994 : Interprétation météorologique des changements climatiques observés en Afrique depuis 18 000 ans. Géo-Eco-Trop. 16 (1-4) : pp 207-258.

211 Levitt J. (1980) : Responses of plants to environmental stresses. Volume II, Water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, 606p.

212 Levitt J., Sullivan C. Y., Krull E. (1960) : Some problems in drought resistance. Bull. Res Coun Israel, 80, pp 73-80.

213 Louguet P. (1984) : Interrelations entre les mouvements des stomates et la résistance à la sécheresse chez les végétaux cultivés : cas du mil. In la sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée. Dakar, CIRAD/ISRA, 591p.

214 Macri A. (1986) : Rapport final de l'étude «habitudes alimentaires en République populaire du Bénin ». ONC, Cotonou, 85p.

215 MAEP [Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche] (1998, 1999, 2000, 2001, 2002 et 2003) : Compendiums des statistiques agricoles de plusieurs campagnes. Cotonou.

216 Maley J. (1981) : Etudes palynologiques dans le bassin du Tchad et paléoclimatologie de l'Afrique nord-tropicale de 30 000 ans à l'époque actuelle. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 129 : Chapitre 5 : Les conditions de la pluviométrie sur la zone nord-tropicale africaine : leurs importances dans les interprétations paléoclimatiques.

217 Maley J. (1991) : The african rain forest vegetation and paleoenvironments during the late Quaternary. In climatic changes, 19, pp 79-98.

218 Mc Gree K. J. (1974) : Equations for the rate of dark respiration of white clover and grain sorghum, as functions of dry weight, photosynthetic rate and temperature. Crop Science 14, pp 509-514.

219 MCCAG [Ministère Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale] (2001) : Rapport sur l'état et le devenir de la population du Bénin. Cotonou, 255p.

220 MCCAG [Ministère Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale] (2004) : Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (DSRP) 2003-2005. Cotonou, 77p + annexes.

221 MCCAG [Ministère Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale] (2004) : Rapport du Bénin sur les OMD. Cotonou, version finale, 33p.

222 MCCAG [Ministère Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale] (2000) : Bénin 2025 : Alafia (stratégies de développement du Bénin à long terme). NLTPS-BEN/96/001. Cotonou, 259p.

223 McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D. J. et White K. S. (eds) (2001) : Climate Change 2001 : Impacts, Adaptations, and Vulnerability. Contributing of Working Group II to the Third Assessment Report of IPCC. IPCC, Cambridge University Press, 1032p.

224 McKenney M.S., Easterling W.E. et Rosenberg N.J. (1992) : Simulation of crop productivity and responses to climate change in the year 2030 : The role of future technologies, adjustments and adaptations. Agricultural and Forest Meteorology 59, pp 103-127.

225 MDR [Ministère du Développement Rural] (1990) : Séminaire sur la stratégie de développement du secteur rural. Synthèse des travaux, Cotonou, 59p.

226 MDR [Ministère du Développement Rural] (1991) : Etude sur la sécurité alimentaire au Bénin : démographie et sécurité alimentaire. Cotonou, 34p.

227 MDR [Ministère du Développement Rural] (1993) : Compendium des statistiques agricoles et alimentaires sur la période (1970-1992). Cotonou, 77p.

228 MDR [Ministère du Développement Rural] (1994) : Table des valeurs nutritives de quelques aliments. Porto-Novo, 13p.

229 MDR [Ministère du Développement Rural] (1995) : Etudes des filières maïs, niébé, anacarde et piment au Bénin. Tome 6 : environnement des exploitations agricoles, Cotonou, 23p.

230 MDR [Ministère du Développement Rural] (1995) : Etudes des filières maïs, niébé, anacarde et piment au Bénin. Tome 1 : conclusion et actions recommandées. Cotonou, 10p.

231 MDR [Ministère du Développement Rural] (1995) : Etudes des filières maïs, niébé, anacarde et piment au Bénin. Tome 3 : filière maïs. Cotonou, 30p.

232 MDR [Ministère du Développement Rural] (1995) : Etudes des filières maïs, niébé, anacarde et piment au Bénin. Tome 4 : filière niébé. Cotonou, 17p.

233 MDR [Ministère du Développement Rural] (1995) : Etudes des filières maïs, niébé, anacarde et piment au Bénin. Tome 5 : filière piment. Cotonou, 16p.

234 MDR [Ministère du Développement Rural] (1999) : Déclaration de politique de développement rural. Cotonou, 32p.

235 MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme] (1999) : Stratégies d'atténuation des gaz à effet de serre : secteur déchets. Cotonou, 47p.

236 MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme] (2001) : Communication Nationale Initiale du Bénin sur les Changements Climatiques. Cotonou, 75p+ annexes.

237 MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme] (2001) : Plan d'Action Environnemental du Bénin. Cotonou, 170p.

238 MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme] (2000) : Stratégie nationale de lutte contre la pollution atmosphérique en République du Bénin. Cotonou, 70p

239 MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme] (2002) : Stratégie Nationale et Plan d'Action pour la Conservation de la Biodiversité du Bénin. Cotonou, 72p+ annexes.

240 MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme] (1998) : Evaluation des émissions de gaz à effet de serre dues aux déchets. Cotonou, 29p.

241 Mémento de l'agronome (2002) : Version numérique

242 Meyer A. M. (1983) : Les illusions de l'autosuffisance alimentaire : exemple du Bénin, du Ghana du Nigeria et du Togo. In Monde en développement, tome 11, n°42, pp 51-79.

243 Michael Becker (1993) : Réponses des arbres aux variations du climat dans l'Est de la France. In Sécheresse, n° 4, Vol 4, pp 241-244.

244 Michel P. (1977) : Recherches sur le quaternaire en Afrique occidentale. Bull EFEQ n° 50, pp 114-153.

245 Milankovitch (1941) : Canon of Insolation and Ice age Problem. Publish for the US department of Commerce and the National Science Foundation, 122p.

246 Ministère de la Coopération Française (1994) : Le Bénin : situation des organisations paysannes et rurales/groupements, associations, organisations paysannes. Cotonou, 62p.

247 MISD [Ministère de l'Intérieur; de la Sécurité et de la Décentralisation] (2001) : Monographie des circonscriptions administratives du Bénin.

248 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, 15p.

249 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, 219p + atlas.

250 MSP [Ministère de la Santé Publique] (2004) : Compendium des statistiques épidémiologiques. Cotonou.

251 Muchena P. (1995) : “Vulnerability of Maize yields to Climate Change in different Farming Sector in Zimbabwe”. In climate Change and Agriculture : Analysis of potential international Impacts. ASA N°59, pp 229-240.

252 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, 599p.

253 Nicholson S. E. (1983) : Sub-Saharan rainfall in the years 1976-1980 : Evidence of continued drought. In Monthly Weather Review, pp 1646-1654.

254 Nicholson S. E. (1989) : Long-term changes in African rainfall, weather 44, pp 47-56.

255 Nicholson S. E. (1994) : Recent rainfall fluctuations in Africa and their relationship to past conditions over the continent. The Holocene 4, 2, pp 121-131.

256 Nicholson S. E. (1998) : Interannual and interdecadal climate variability of rainfall over African continent during the last two centuries. In Water Resources Variability in Africa during the XXth century (ed. by E. Servat, D. Hughes, J. M. Fritsch et M. Hulme) (Proc. Abidjan’98 Conf., Abidjan, Côte d’Ivoire, pp 107-116.

257 Nicholson S. E. et Entekhabi D. (1986) : The quasi-periodic behaviour of rainfall variability in Africa and relationship to the southern Oscillation. Arch. Met. Geop. And Bio. Ser. 34, pp 311-348.

258 Nicholson S. E., Palao I. M. (1993) : A re-evaluation of variability in the sahel. Part I. Characteristics of rainfall fluctuations. International Journal of Climatology, vol.13, pp. 371-389.

259 NLTPS-Bénin [National Long Term Prospective Studies] (1998) : Le baobab, Stratégies de développement du Bénin à l’horizon 2025, rapport de synthèse, étape expérimentale, Cotonou, 121p.

260 Odjo S. (1997) : Rythmes climatiques et contraintes alimentaires dans l’Atacora. Mémoire de maîtrise de Géographie, UNB/FLASH, 97p + tableaux + planches.

261 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, 112p.

262 Ogouwalé E. (2001) : Vulnérabilité/Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans le Département des Collines. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC/FLASH.DGAT, 119p.

263 Ogouwalé E. (2002) : Stratégies endogènes de financement et de gestion du développement local dans l'Arrondissement de Kilibo". Mémoire de Maîtrise professionnelle de Géographie "option Développement local" à l’Université d’Abomey-Calavi, 87p.

264 Ogouwalé E. (2002) : Vulnérabilité des techniques endogènes d’utilisation des terres aux mutations climatiques en pays Nagot (département des collines) et stratégies paysannes de parade. Communication personnelle lors des journées de la recherche agricole à l’Université, Cotonou, FSA, 14p.

265 Ogouwalé E. (2004) : Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. Mémoire de DEA, UAC/EDP/FLASH, 119p.

266 Ogouwalé E., Yabi I. et Boko M. (2003) : Mise en évidence d'un changement dans la variabilité pluviométrique au Bénin. In Publication de l'AIC, pp 205-208.

267 Ogouwalé E. et Boko M. (2005) : Inondation dans la ville de Togoudo sur le plateau d'Abomey-Calavi : manifestations, incidences et adaptations humaines. In Actes de coloque de l'AIC, pp 125-128.

268 Ogouwalé E., Boko M. et Adjahossou F. (2005) : Impacts potentiels d'un changement climatique sur la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. In Revue (à paraître) du Laboratoire de climatologie de l'Université d'Abomey-Calavi, pp 32-42.

269 Ogouwalé E., Boko M. et Houssou C. S. (2005) : Point sur les gaz à effet de serre au Bénin et sur la pollution atmosphérique dans les villes béninoises du sud et du centre. In actes des journées scientifiques nationales organisées par le CBRST en décembre 2005 à Cotonou, 12p (à paraître).

270 Ogouwalé E., Bokonon-Ganta B. E. et Fakorédé N. (2003) : Vulnérabilité de l'agriculture aux changements climatiques dans la région (centre du Bénin) : Quelles stratégies d'adaptation. In Actes de l'atelier scientifique 1, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), pp 188-204.

271 Ogouwalé E., Totin H. S. V., Séyigona Z., Yabi I. et Boko M. (2003) : Singularité pluviométrique entre les 9 et 10ème parallèles au Bénin (Afrique de l'Ouest). In actes des Journées Scientifiques des Universités Nationales du Bénin, pp .

272 Ogouwalé E., Totin H.S.V. et Boko M. (2004) : Tendances pluviométriques et mise en valeur des bas-fonds dans le centre-Bénin. In Publications de l'Université de Lomé, pp 125-136.

273 Okio C.L. (1972) : Contribution à l'étude morphologique des reliefs résiduels de la région de Dassa-Zoumé, Fita et Savalou (Dahomey). Thèse de 3ème cycle de géographie. Paris VII, 170p.

274 Olaniran O. J. (1991) : Evidence of climatic change in Nigeria based on annual series of rainfall of different daily amounts, 1919-1985. Climatic change, vol. 19, pp 319-341.

275 Olivry J. C. (1983) : Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégambie et aux îles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XX, n°1, pp 47-69.

276 OMM et PNUE [Organisation Mondiale de la Météorologie et Programme des Nations Unies pour l'Environnement] (2002) : Bilan des changements climatiques 2001. Rapport de synthèse, 204p.

277 ONASA [Office National pour la Sécurité Alimentaire] (1991) : Etude sur la sécurité alimentaire au Bénin : système et prix de transport en République du Bénin, Cotonou, 123p.

278 ONASA [Office National pour la Sécurité Alimentaire] (1995) : Alimentation et sécurité alimentaire au Bénin : Bilan et perspectives. Cotonou, 30p.

279 ONASA [Office National pour la Sécurité Alimentaire] (2002) : Rapports d'évaluation des campagnes agricoles 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002 et perspectives alimentaires au Bénin : Situation par Département. Cotonou, 58p.

280 ONC [Office National des Céréales] (1989) : L'activité de suivi de la production agricole par le système d'alerte rapide sur la sécurité alimentaire. Cotonou, 167p + annexes.

281 Oyédé L. M. (1983) : Un exemple de sédimentation biodétritique quaternaire dans le domaine margino-littoral (Bénin, Afrique de l'ouest). Thèse 3ème cycle, Sci. de la terre, Univ. Nat. Bénin et Univ. de Dijon, 171p.

282 Oyédé L. M. (1991) : Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogène du domaine margino-littoral du Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse Doctorat nouveau régime, Université de Bourgogne et Université Nationale du Bénin, 302p.

283 Oyédé L. M., J. Lang et G. Tsawlassou., (1988) : Un exemple de sédimentation biodétritique, holocène en climat tropical humide : le "lac" Ahémé (Bénin, Afrique de l'Ouest). Journal of Africa Earth Sciences, 7, 5/6, pp 835-855.

284 Ozer P. et Eepicum M. (1995) : Méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905. Sécheresse, vol. 6, n°1, Mars 1995, pp 103-108.

285 Pagney P. (1976) : Les climats de la terre. Collection Initiation aux études de géographie. Masson, Paris, 148 p.

286 Pagney P. (1973) : La Climatologie. QSJ ?. PUF, Paris, 190p.

287 Paradis G. (1975) : Observation sur les forêts marécageuses dans le bas Dahomey : localisation, principaux groupes, évolution au cours du quaternaire récent. Annales Université d'Abidjan, série E (sciences). T. VIII. pp 281-315.

288 Paradis G. (1976) : Recherche sur le quaternaire récent du sud de la R P du Bénin (ex-Dahomey) : étude de thanatocénoses de mollusques. Thèse 3ème cycle, Orsay, Notes Contrib. Cerbab, n° 12 France, 173p.

289 Paradis G. (1977) : Observations sur l'Holocène récent du sud Bénin (ex dahomey). Add. Sénégal Et. Quatern. Afr. Bull. Liaison. Sénégal, n° 51, pp 49-73.

290 Paradis G. (1978) : Interprétation paléoécologique et paléogéographique des thanatocénoses de l'holocène récent de sud Bénin à partir de la répartition actuelle des mollusques littoraux et lagunaires d'Afrique occidentale. Géobios, Lyon, n° 11, fasc 6, pp 867-891.

291 Paradis G. (1986) : Rôle de l'homme dans les changements du paysage tropical : les mangroves Ouest-Africaines. Dakar, Symposium INQUA/ASSEQUA "Changements globaux en Afrique" pp 357-362.

292 Parry M. (1990) : Climate Change and World Agriculture. Earth scan publ. Ltd, London. England, 151p.

293 Parry M. (ed) (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 scenarios. United Nations University, University of East Anglia, UK, 99p.

294 Parry M.L., Carter T.R. et Konijn N.T. (eds.) (1988) : The Impact of Climate Variations on Agriculture : Volume 1: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions. Kluwer Academic, Dordrecht, 876p.

295 Paturel J. E., Servat E., Kouamé B., Boyer J. F., Lubès H. et Masson J. M. (1995a) : Manifestations de la sécheresse en Afrique de l'ouest non sahélienne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. In Sécheresse, vol. 6, n°1, pp 95-102.

296 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, pp 16-36.

297 Pedelaborde P. (1970) : Introduction à l'étude scientifique du climat. SEDES, Paris, 246p.

298 Perard J. (1992) : Orages au Bénin : Modèle scientifique, modèle traditionnel. In Cahiers du Centre de Recherche de Climatologie, N°14, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, pp 33-40.

299 Perard J., Boko M. et Bokonon-Ganta B. E. (1991) : Contraintes climatiques et croyances en Afrique Tropicale : Essai d'ethnoclimatologie. In Actes du 3ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lannion, pp 163-171.

300 Pettitt A. N. (1979) : A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 28, n°2, pp 126-135.

301 Pfeiffer V. (1988) : L'agriculture au sud-Bénin : passé et perspectives. Ed l'Harmattan, 172p.

302 Pham Thi A. T. et Vieira da Silva J. B. (1976) : Action des déficits hydriques sur la photosynthèse et la respiration des feuilles du cotonnier. In Les processus de la productivité végétale primaire. Moyse A. (ed), Gauthier-Villars, pp 183-202.

303 Pieri P. (1989) : Etude expérimentale et modélisation des écoulements aérodynamiques au voisinage de cultures en rangs, Université de Bordeaux I, 143p.

304 Pieri, C. (1992) : Fertility of Soils : The Future for Farmers in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, 112p.

305 Pitte J. R., Benizeau J. C., Toupet C., Mellina B., Claval P. (1987) : Géographie seconde. Nouveau programme, éditions Nathan, 311p.

306 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement] (1996) : Etude sur les conditions de vie en milieu urbain, Volume 2. profil de la pauvreté urbaine et caractéristiques socio-économiques des ménages urbains. Document de synthèse. Cotonou, 64p.

307 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement] (1996) : Profil de pauvreté et caractéristiques socio-économiques des ménages (villes d'Abomey, Bohicon). Cotonou, 49p.

308 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement] (1996) : Etude des Conditions de Vie des ménages Ruraux au Bénin (ECVR). Profil de la pauvreté rurale et caractéristiques socio-économiques des ménages ruraux. Cotonou, 324p.

309 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement] (1997) : Rapport sur le développement humain au Bénin. Cotonou, 132p.

310 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement] (2000) : Le développement humain durable au Bénin. Cotonou. 140p.

311 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement] (2001) : Etudes sur les conditions de vie des ménages ruraux (ECVR2). 170p.

312 PNUD [Programme des Nations Unies pour le Développement (1998) : Rapport sur le développement humain au Bénin. Cotonou, 247p.

313 Présidence de la République du Bénin, Cellule Macro-Economique (1997) : Rapport sur l'état de l'économie nationale, développement récent et perspectives à moyen terme. Cotonou, 362p.

314 Présidence de la République du Bénin, Cellule Macro-Economique (2002) : Rapport sur l'état de l'économie nationale, développement récent et perspectives à moyen terme. Cotonou, 256p.

315 Ramanathan V., Barkstrom B. R. et Harrison E.F. (1989) : Climate and Earth's radiation budget. Physics Today, 42 (5), pp 22-33.

316 Ramanathan V., Cicerone R. J., Singh H. B. et Kiehl J. T. (1985) : Trace gas trends and their potential role in climate change. J. Geophysical Research, 90 (D3), pp 5547-5556.

317 Ramusson E. M. (1987) : Global climatic change and variability : effects of drought and desertification in Africa. In Drought and Hunger in Africa : Denying famine a future. Cambridge University Press. New-York, USA, pp 3-22.

318 Raymonde B. (1993) : Les changements climatiques naturels en Afrique : paléoclimats et déforestation. In Sécheresse, n° 4, Vol 4, pp 221-231.

319 Reilly J., Hohmann N. et Kane S. (1994) : Climate change and agricultural trade: who benefits, who loses ? Global Envir. Change 4, pp 24-36.

320 Reyniers F. N. et Forest F. (1988) : Améliorer l'alimentation hydrique et son efficience en agriculture pluviale en Afrique au sud du Sahara : In actes du séminaire sur l'agriculture irriguée en Afrique. CTA et Institut International pour la mise en valeur et l'amélioration des terres. Tome 1. Harare, 174p.

321 Reyniers F. N., Baron C., Corrado S. (1997) : SARRA, logiciel opérationnel pour l'évaluation agricole des ressources pluviométriques au Sahel. In actes Atelier harmonisation des outils méthodologiques de collecte, de suivi et d'analyse des données agro-socio-économiques en gestion des ressources naturelles, Dakar, pp 27-37.

322 Rognon P. (1994) : La sécheresse édaphique. In sécheresse N°3 Vol. 5, pp 141-142.

323 Rosenzweig C. et Parry M.L. (1994) : Potential impacts of climate change on world food supply. Nature 367, pp 133-138.

324 Ruddiman W. F. et McIntyre A. (1981) : The mode and mechanisms of the last deglaciation : oceanic evidence. Quaternary Research, 16, n°2, pp 125-134.

325 Savin S. M. (1980) : Pre-Pleistocene climates. Nature, 286, n°5773, pp 553-554.

326 Schove (1967) : Chronology of pluvials with special reference to Africa. Bull. Ass. Ed Quatern, Ouest Afr, Dakar n°13, pp 9-11.

327 Schwarzbach M. (1963) : Climate of the Past, an Introduction to paloclimatology. Londres, Van Nostrand, 328p.

328 Séguin G. (1970) : Les sols du Haut-Médoc. Influence sur l'alimentation en eau de la vigne et sur la maturation du raisin. Université de Bordeaux, 141p.

329 Shackleton N. J. Imbrie J. (1990) : The isotope ^{18}O spectrum of oceanic deep water over a five decade band. Climatic change, 16, pp 217-230.

330 Singh (1992) : Prospectives d'un changement climatique dû à un doublement de CO_2 atmosphérique sur les ressources naturelles du Québec. Environnement Canada, Montréal, 291p.

331 Sinha S. K. (1991) : Impact of climate change on Agriculture. An critical Assessment. In Jager J., Ferguson H. L. (eds). Climate Change. Science, Impacts and policy. Cambridge University Press, Great Britain, pp 99-108.

332 Sircoulon J. (1974) : Les données climatiques et hydrologiques de la sécheresse en Afrique de l'ouest sahélienne. SIES rapport n°2, 44p.

333 Sircoulon J. (1976) : Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses ''1913'' et ''1940''. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIII, n°2, pp. 75-174.

334 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, 87p.

335 Sivakumar M. V. K. (1991) : Drought Spells and Drought Frequencies in West Africa : Durée et fréquence des périodes sèches en Afrique de l'Ouest. ICRISAT, Reseach Bulletin N°13, India, 180p.

336 Sivakumar M. V. K. (1992) : Climate change and implications for agriculture in Niger. Climatic change N°20, pp 297-312.

337 Slansky M. (1959). - Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Thèse Univ. Nancy, série 59, n° 165 (1962). - Mém. BRGM n° 11, 170p.

338 Sombroek W. G. et Gommes R. (1997) : L'énigme : changement de climat-agriculture. In Changement du climat et production agricole, FAO. pp 3-17.

339 Stewart R. B. (1983) : Modelling Methodology for assessing crop production potential in Canada. Agriculture Canada. 28p.

340 Sutherland R. A. et Bryan R. B., Oostwoud Wijendes D. (1991) : Analysis of monthly and annual rainfall climate in a semi-arid environment, Kenya. Journal of Arid Environments, vol. 20, pp 257-275.

341 Tastet J. P. (1977) : Les formations sédimentaires quaternaires à actuelles du littoral du Togo et de la République populaire du Bénin. Recherche française sur le quaternaire. In supplément au bulletin Afeq, 1977-1, n° 50, pp 155-167.

342 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, pp 1-18.

343 Thom A. S. and Oliver H. R. (1977) : On Penman's equation for estimation regional evapotranspiration. Q.J.R. Meterol. Soc. 193, pp 345-357.

344 Timmer P. (1983) : Food polycy analysis. Johns Hopkins University Press, Washington, 78p.

345 Tossou G. M. (2002) : Recherche palynologique sur la végétation Holocène du sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat Unique. Laboratoire de Botanique et de Biologie végétale, Université de Lomé, 137p.

346 Totin V. S. H. (2002) : Risques écologique et sanitaire de l'intrusion des eaux marines dans les eaux superficielles et souterraines de la zone côtière béninoise. In Actes de conférence Envirowater 2002, pp 225-233.

347 Totin V. S. H. (2003) : Changements climatiques et vulnérabilité des ressources en eau sur le plateau d'Allada. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC/FLASH/DGAT, 106p.

348 Totin V. S. H., Ogouwale E. et Boko M. (2003) : Vulnerability of rainfall Resources and Low land Use in the Central Benin. Proceedings of Envirowater Conférence 2003, Albacete, Espagne, pp.

349 Totin V.S.H. (2005) : Tendances hydroclimatiques et scénarios de gestion des ressources en eau sur les plateaux du Sud Bénin. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, LECREDE/EDP/FLASH/UAC, 85p.

350 Toupé S. S. et Towanou A. J. (1995) : La culture des fruitiers dans le secteur sud de la vallée du Zou. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC/FLASH, 110p.

351 Tovo M. (1995) : Réduire la pauvreté au Bénin, Ceda, Cotonou. 338p.

352 Trine F. (1992) : Détermination des zones à risques. Rapport de mission. ONC, Cotonou. 80p.

353 Turner N. C. (1986) : Adaptation to water deficits : A changing perspective. Aust J. Plant Physiol; 13, pp75-90.

354 Vissin E. W., Boko M., Pérard J., Houndénou C. (2002) : Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest), In Publications de l'AIC, vol 15.

355 Vissin W. E. (2001) : Contribution à l'étude de la variabilité des précipitations et des écoulements dans le bassin béninois du fleuve Niger. Mémoire de DEA, CRC/Université de Bourgogne, Dijon, 53p.

356 Volkoff B. (1961 et 1963) : Etude des sols de la région littorale du Dahomey. Notice explicative de la carte pédologique au 1/20000 des secteurs de Ahozon-Pahou et de Djeregbé. ORSTOM, Cotonou, 21p.

357 Wigley T. M. L. (1981) : Climate and paleoclimate : what we can learn about solar luminosity variations. Solar Phys., 74, pp 435-471.

358 Wigley T. M. L. (1987) : Relative contribution of different trace gazes to the greenhouse gaze effect. Climate monitor, 16 n°1, pp 14-28.

359 Wigley T. M. L., Hulme M., Barrow E., Raper S. et Cantella A. (2000) The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator. Version 2.4, technical manual. Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK, 50p.

360 WMO [World Meteorogical Organization] (1966) : Climatic change, by a working group of the Commission for Climatology. World Meteorological Organization, WMO 195, TP 100, Tec. Note n°79, 78p.

361 Wolgin J. M. (2001) : A strategy for cutting hunger in Africa. Commissioned paper by Technical Committee of Partnership to Cut Hunger in Africa. www.aec.msu.edu/agecon/fs2/africanhunger/wolgin_eng5.htm

362 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, 95p.

363 Yabi I. (2004) : Quelques particularités de la variabilité pluviométrique dans un climat de transition : cas du Département du Zou au Bénin (Afrique de l'ouest). In actes du Colloque de l'AIC à Caen (France) en Septembre 2004, pp 237-240.

364 Yabi I. (2005) : Rôle de l'agroforesterie à base de l'anacardier dans la dynamique de l'occupation du sol dans la région des Monts Kouffè (Secteur Agbassa-Idadjo). Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies, LECREDE/EDP/FLASH/UAC, 96p.

365 http://www. manicore.com

366 http://www.aec.msu.edu/agecon/fs2/africanhunger/wolgin_eng5.htm

367 http://www.africanfuturs.net

368 http://www.fao.org/ag/agl/swlwpnr/reports/y_sf/benin/nouv-pol.htm

369 http://jfa04.chez.tiscali.fr/gensyst.html

370 http://www.ipcc.ch

371 http://www.ipcc.ch/pub/un/giecgt2.pdf

372 http://www.ipcc.ch/pub/un/giecgt3.pdf

373 http://www.undp.org

374 http://www.unfcc.de

375 http://www.usd.edu/esci/e103/exam/Chap- 14.html

Liste des figures

			Page
Figure	**1 :**	Situation géographique du Bénin méridional et central	27
Figure	**2 :**	Incidences de la pauvreté dans le Bénin méridional et central	31
Figure	**3 :**	Réseau des stations retenues	40
Figure	**4 :**	Synthèse de l'approche méthodologique	60
Figure	**5**	Position extrême du FIT sur l'Afrique Occidentale	65
Figure	**6 :**	Statuts et contraintes pluviométriques dans le Bénin méridional et central	67
Figure	**7 :**	Couvert végétal dans le Bénin méridional et central	69
Figure	**8 :**	Evolution des composantes environnementales	69
Figure	**9 :**	Composantes pédologiques dans le Bénin méridional et central	70
Figure	**10 :**	Réseau hydrographique dans le Bénin méridional et central	72
Figure	**11 :**	Unités hydrogéologiques dans le Bénin méridional et central	73
Figure	**12 :**	Population du Bénin méridional et central en 2050 à partir des données de INSAE (1992 et 2002)	74
Figure	**13 :**	Poids démographiques (1) et répartition des terres entre les deux régions (2)	75
Figure	**14 :**	Indice d'agressivité climatique (1961-1990) dans le Bénin méridional et central	80
Figure	**15 :**	Facteurs et processus de dégradation et de saturation de l'espace dans le Bénin méridional	81
Figure	**16 :**	Situation épidémiologique dans le Bénin méridional et central	83
Figure	**17 :**	Secteurs agroécologiques dans le Bénin méridional et central	89
Figure	**18 :**	Evolution des rendements dans le Bénin méridional et central (1983-2002)	91
Figure	**19 :**	Evolution des productions dans le Bénin méridional et central (1983-2002)	93
Figure	**20 :**	Evolution des emblavures dans le Bénin méridional et central (1983-2002)	95
Figure	**21 :**	Bilans alimentaires (2000, 2001, 2002 et 2003) pour le Bénin méridional et central en millier de tonnes	98
Figure	**22 :**	Procédure de radiochronologie au carbone 14	105
Figure	**23 :**	Variation du niveau marin au Quaternaire	108
Figure	**24 :**	Indicateurs de l'humidité dans le Sahara entre 10 000 et 5 000 BP	114
Figure	**25 :**	Changements climatiques au Quaternaire en Afrique	117
Figure	**26 :**	Evolution du paysage végétal ouest-africain entre l'Holocène Moyen (7500-2500 BP) et Supérieur (2500 BP à nos jours)	118
Figure	**27 :**	Répartition des dépôts récents et anciens dans le littoral béninois	122
Figure	**28 :**	Répartition des lacs et dépressions dans le Bénin méridional	123

Figure 29 : Isohyètes mensuelles (1961-1990) dans le Bénin méridional et central 128

Figure 30 : Températures mensuelles moyennes dans le Bénin méridional et central sur la normale 1961-1990 132

Figure 31 : Tendances thermométriques dans le Bénin méridional et central (1961-1990) 134

Figure 32 : Tendances pluviométriques dans le Bénin méridional (1) et dans le Bénin central (2) 135

Figure 33 : Bilans hydriques en année moyenne (1981-2000) et d'extrêmes pluviométriques (1968 et 1977) dans le Bénin méridional et central 138

Figure 34 : Ecart mensuel des températures maximales entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 150

Figure 35 : Ecart mensuel des températures minimales entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 154

Figure 36 : Ecart des températures maximales (1) et minimales (2) entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 155

Figure 37 : Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes mensuelles de précipitations entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 159

Figure 38 : Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes trimestrielles de précipitations entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 161

Figure 39 : Ecart en pourcentage (%) des hauteurs moyennes annuelles de précipitations entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 162

Figure 40 : Ecart en pourcentage (%) du nombre de jours annuels de pluies entre les normales 1971-2000 et 1941-1970 163

Figure 41 : Mécanisme de flux et de reflux d'énergie entre le soleil et la terre 168

Figure 42 : Emissions humaines de gaz à effet de serre dans le monde en 2000 169

Figure 43 : Indicateurs de l'influence de l'homme sur l'atmosphère depuis l'ère industrielle 170

Figure 44 : Contribution de chaque secteur (1) et de chaque gaz (2) aux émissions totales de GES au Bénin 172

Figure 45 : Contribution de chaque secteur d'activité aux émissions de CO_2 (1) et de CH_4 (2) au Bénin 172

Figure 46 : Contribution de chaque secteur d'activités aux émissions de N_2O (1) et de CO (2) au Bénin 173

Figure 47 : Part des trois principaux moyens de transport dans l'émission des GES à Cotonou 176

Figure 48 : Evolution des émissions et concentrations mondiales de CO_2 sous SRESB2 178

Figure 49 : Evolution des émissions et concentrations mondiales de CH_4 sous SRESB2 179

Figure 50 : Evolution des températures mondiales et du niveau marin sous SRESB2 179

Figure 51 : Evolution comparée des régimes pluviométriques de 2050 et de 1961-1990 181

Figure 52 : Evolution (%) des précipitations en 2050 par rapport à celles de la normale 1961-1990 182

Figure 53 : Ecart en pourcentage (%) des rendements futurs et des rendements moyens actuels (1983-2002) dans le Bénin méridional 189

Figure 54 : Ecart en pourcentage (%) des rendements futurs et des rendements moyens actuels (1983-2002) dans le Bénin central 191

Figure 55 : Saisons de croissance en climat actuel (1961-1990) et en climat futur (2050) 194

Figure 56 : Evolution comparée des revenus en pourcentage par hectare et par culture à l'horizon 2050 dans le Bénin méridional 203

Figure 57 : Evolution comparée des revenus en pourcentage par hectare et par culture à l'horizon 2050 dans le Bénin central 204

Figure 58 : Schéma du système de mobilisation des eaux de ruissellement 227

Figure 59 : Configuration du VSSA et composantes du SARSAR 238

Figure 60 : Schéma conceptuel de la vulnérabilité (1) et de la non vulnérabilité (2) du système agroalimentaire aux changements climatiques (inspiré de CILSS, 1989) 240

Listes des photos

		Page
Photo 1 :	Vue partielle des collines à Savè	62
Photo 2 :	Déchargement (1) de l'igname et exposition-vente (2) des produits agricoles (maïs) au marché de Dantokpa	76
Photo 3 :	Plaine d'inondation dans le secteur de confluence entre le fleuve Couffo et le lac Ahémé à Couffonou dans le Bénin méridional	78
Photo 4 :	Barrage réalisé à partir d'un bras de l'Ouémé à Savè pour l'irrigation des plantations de canne à sucre	79
Photo 5 :	Terres érodées à Lanta	81
Photo 6 :	Système traditionnel de conservation des produits agricoles à Lanta (1) et à Gougouta (2)	83
Photo 7 :	Paysages après le passage de feux de végétation à Savè	84
Photo 8 :	Association des cultures à Abomey-Calavi dans le Bénin méridional (1) et à Kilibo dans le Bénin central (2)	86
Photo 9 :	Vue parielle des dalles cuirassées à Abomey dans le Bénin méridional	120
Photo 10 :	Vue partielle des périmètres de sable jaune à Djrègbé	121
Photo 11 :	Circulation et pollution à Cotonou	174
Photo 12 :	Parc de stockage et stations informelles de vente d'essence aux abords des voies à Abomey-Calavi (1) et Kilibo (2)	175
Photo 13 :	Vue partielle des parcelles billonnées sur le périmètre rizicole de Dévé (Bénin méridional)	210
Photo 14 :	Potentialités naturelles favorables au développement du périmètre rizicole de Dévé	211
Photo 15 :	Facteurs techniques favorables au développement du périmètre rizicole de Dévé (Bénin méridional)	211
Photo 16 :	Mise en valeur des bas-fonds à Glazoué (1) et à Kilibo (2)	216
Photo 17 :	Mise en valeur des berges du Couffo à Lon Agamè	217
Photo 18 :	Semis échelonnés de l'arachide à Ouèssè dans le Bénin central	218
Photo 19 :	Productions maraîchères à Cotonou	226

Liste des tableaux

		Page
Tableau I :	Format de détermination du bilan alimentaire	43
Tableau II :	Préférendums thermiques et pluviométriques des cultures	43
Tableau III :	Consommation (kg/an/habitant) et pertes (%) des productions	44
Tableau IV :	Hypothèses de base des scénarios SRES	51
Tableau V :	Séquences et caractéristiques de la période de croissance des cultures	53
Tableau VI :	Articulations du modèle PEIR	58
Tableau VII :	Synthèse des situations socio-économiques observées par département	77
Tableau VIII :	Calendrier agricole traditionnel (1995-2004)	85
Tableau IX :	Secteurs agroécologiques et utilisation des terres cultivables	87
Tableau X :	Taux d'accroissement moyen annuel des rendements dans le Bénin méridional et central entre 1983 et 2002	92
Tableau XI :	Taux d'accroissement moyen annuel des productions dans le Bénin méridional et central entre 1983 et 2002	94
Tableau XII :	Taux d'accroissement moyen annuel des emblavures entre 1983 et 2002 dans le Bénin méridional et central	96
Tableau XIII :	Archives naturelles pour la reconstruction des paléoclimats	103
Tableau XIV :	Synthèse sur les variations climatiques anciennes	111
Tableau XV :	Synthèse sur les perceptions paysannes de l'évolution des climats	142
Tableau XVI :	Synthèse des adages et chansons gardés dans la mémoire collective, témoins des perceptions de l'évolution du climat	144
Tableau XVII :	Données thermométriques futures sous SRESB2/HadCM2	183
Tableau XVIII :	Rendements (kg/ha) des cultures en 2050 par scénario climatique dans le Bénin méridional	188
Tableau XIX :	Rendements (kg/ha) des cultures en 2050 par scénario climatique dans le Bénin central	190
Tableau XX :	Indice d'humidité 2050 par comparaison à l'indice d'humidité 1961-1990	192
Tableau XXI :	IAC en climat (1961-1990) et IAC en climat futur à Bohicon	195
Tableau XXII :	IAC en climat (1961-1990) et IAC en climat futur à Pobè	196
Tableau XXIII :	IAC en climat (1961-1990) et IAC en climat futur à Savè	196
Tableau XXIV :	Nombre de ménages (en millier) ne pouvant pas satisfaire à leurs besoins alimentaires par culture et par scénario en 2050	199
Tableau XXV :	Pourcentage de populations ne pouvant pas satisfaire leurs besoins alimentaires par culture et par scénario en 2050	200
Tableau XXVI :	Contraintes et évaluation de coûts des stratégies endogènes	221
Tableau XXVII :	Contraintes et évaluation de coûts des stratégies proposées	230

ANNEXES

Annexe 1 : Evolution de la conception des modèles climatiques (IPCC, 2001)



Annexe 2 (caractéristiques des cultures choisies)

	Manioc	Niébé	Patate douce	Tomate	Maïs	Riz	Gombo	Arachide	Igname	Piment
GSLmax	330	120	270	120	120	150	120	140	270	120
GSLmin	180	90	170	90	90	120	60	90	180	90
LAImax	4	4	5	4	4	4	5	4	5	*
HI	0.55	0.3	0.55	0.35	0.45	0.30	0.50	0.35	0.58	0.33
kc	*	0.3-1.2	*	0.4-1.2	0.3-1.2	1.1-1.3	0.4-1.2	0.4-1.1	*	*
Phot	C_3	C_3	C_3	C_3	C_4	C_3	C_3	C_3	C_3	C_3
Groupe	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2
ky	1.1	1.15	1.1	1.05	1.25	1.5	1.05	0.7	1.1	1.05
DMMP	0.35	0.85	0.30	0.32	0.85	0.85	0.32	0.85	0.38	*
Préf.ther	25-29	15-20	20-30	18-25	24-30	22-30	32	22-28	22-30	18-28
ETM	*	300-500	*	400-600	500-800	450-700	*	500-700	*	*
Photoper	*	neutre	*	neutre	neutre	neutre	*	neutre	*	*
famille	NL	L	NL	NL	NL	NL	NL	L	NL	NL

Source : Synthèse bibliographique

* données non disponibles
GSLmax = durée maximale du cycle végétal
GSLmin = durée minimale du cycle végétal
HI = indice de récolte
kc = coefficient cultural
Phot. = indice photosynthétique
Groupe = groupe d'adaptabilité selon le chemin photosynthétique
ky = indice de réponse au déficit hydrique
DMMP = pourcentage de matière sèche par rapport au poids total
Préf.ther.= optimum thermique
ETM = besoin total en eau durant le cycle végétatif
Photoper = photopériodisme
L = légumineuse et NL = non légumineuse

Annexe 3 (indices des sols par culture)

	Manioc	Niébé	Patate douce	Tomate	Maïs	Riz	Gombo	Arachide	Igname	Piment
S1	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00
S6	0.75	0.00	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
S8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S11	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
S12	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
S13	0.00	0.75	0.00	0.75	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.75
S14	0.00	0.75	0.00	0.75	0.75	1.00	0.75	0.00	0.00	0.75
S15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S17	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.00	0.75	0.75
S19	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
S20	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00	0.75	1.00	0.75	0.75
S24	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
S12S16	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
S12S19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Source : Issa (1995)

Annexe 4 (matrice dévaluation 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, etc.)
	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 récoltes, réduction de la durée des saisons culturales, aridité et diminution de la fertilité des terres, 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 de terres.
Accès aux ressources	Disponibilité des ressources financières au niveau local	Possibilité des 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 de programmes sociaux développés par les structures privées, étatiques, etc.	Accès aux programmes d'assistance sociale ou de secours ; Services sociaux.

Sources : Adapté de Centella (1999), CAST [Council for Agricultural Science and Technology] (1992), www.ipcc.ch/pub/un/giecgt2.pdf

Annexe 5 (Notice explicative des caractéristiques générales des 27 unités hydrogéologiques)

Unités	Caractéristiques des unités
1	Socle granito-gneissique. Aquifère discontinue de fissure. Forage de 45 à 60 m placés sur les fractures. Débits : 0 à 6 m^3/h. N.S. Profond à l'approche du crétacé. Ailleurs, eau entre 5 et 15 m de profondeur. Puits déconseillés car la couche altérée est peut épaisse.
	Le crétacé continental est quasi stérile car N.S. profonds au-delà de la base du crétacé. Rechercher les points bas dans les vallons et à la périphérie de la zone des forages, dans les fractures du socle, foncé à travers les sédiments du crétacé. Problèmes de l'exhaure. Puits fortement déconseillé.
2	Mono : NS plus profonds que 50 m forage de 50 à 100 m de profondeur. Débits de 0 à 7 m^3/ h.
3	Zou : NS entre 40 et 70 m de profondeur. Forage de 50 à 100m de profondeur. Débits de 0 à 5 m^3/h.
4	Ouémé : NS entre 50 et plus de 80 m de profondeur. Forage de 60 à 100m de profondeur.
5	Eau profonde (40 à plus de 70m) mais Crétacé relativement épais (60 à 80m) pouvant être saturé à la base. Rechercher les fonds des vallons. Forage de 60 à 100m atteignant ou pénétrant le socle (dans ce cas, recherche les fractures). La productivité croît du nord au sud. Puits déconseillés. Débits : 0 à 8 m^3/h
6	MONO. Le crétacé continental est productif dans la zone ouest, avec de bons débits. Forage de 40 à 70m. NS= 25 à 40m. s'il est stérile, rechercher les sables du Crétacé avec des forages de 50 à 120 m de profondeur. NS de 25 à 60 m. débits : 3 à 11 m^3/h.
7	ZOU : Crétacé continental peu productif. Exploiter les sables du Crétacé avec des forages de 50 à 130 m NS de 20 à 50 m. Débits de 1 à plus de 10 m^3/h (jusqu'à 50 m^3/h).
8	OUEME : Le crétacé continental est vide car NS à plus de 50 m de profondeur. Rechercher l'eau dans le crétacé marin sableux avec des forages de 60 à 130 m.
9	Aquifère des sables du crétacé. Dans la partie ouest, implanter des forages de 50 à 70 m (vers le sud). NS de 15 à 20 m, parfois artésien. Bons dédits (50 m^3/h). dans la partie est, l'eau est profonde (problème de l'exhaure) ; chercher des sites dans les bas-fonds. Forage de 80 à 150 m de profondeur. Débits élevés (50 m^3/h). puits déconseillés
10	Forage dans les sables du crétacé si les calcaires du paléocène sont sec (limite N) ou si les faciès sont marneux. Forage de 90 à 190 m. NS artésien à l'ouest et profond sous les « CT » (60m). débits de 0 à plus 20 m^3/h.
11	Forage de 80 à 120 m (au S). dans le paléocène. Les calcaires peuvent être argileux ou absent ; rechercher dans ce cas, les sables du crétacé situés à 80 m de profondeur au N et vers 160 m au S : les pénétrer de 10 à 30 m. le crétacé argileux affleure au NE de la zone. NS aérien à 25m . débits de 15 à 50 m^3/h.
12	Le paléocène est peu ou pas productif. Sables du crétacé avec des forages de 50m (ouest) à plus de 150 m (est). Puits à l'ouest seulement. NS de 30 à 50 m à l'est et peu profonds à l'ouest. Bons débits (20à 50 m^3/h)
13	Forages de 60 à 120 m du nord au sud, dans les calcaires du paléocène NS à moins de 25 m de profondeur parfois artésien (point bas). Sables du crétacé vers 200 m au nord et plus profonds vers le sud (400m). puits possible seulement en limite nord mais profonds (60 m) ou en bordure de l'Ouémé.

14	CT stérile. Forage de 120 à 190 m de profondeur exploitant les calcaires du paléocène épais de 5 à 15 m. faciès parfois marneux. NS artésien sur les bordures à très profonds sous le CT. Débits de 0 à 90 m^3/h. Le toit du crétacé aquifère se trouve entre 120 m (N) et 250 m (S)
15	CT quasi stérile car NS souvent à plus de 50 m de profondeur. Les puits sont déconseillés. Paléocène argileux ou profond : 150 m au N et 325 m au sud. Le Crétacé aquifère est profond : 180 m au N et 590 m au sud. Pour l'hydraulique villageoise, forage de 30 à 50 m dans les bas-fonds, en bordure de la zone sinon forage de 150 à 500 m, avec des débits parfois importants (30 m^3/h).
16	CT productif malgré un NS profond : la base du CT se trouve vers 65 à 75 m de profondeur. L'éocène sous-jacent est stérile. Les calcaires du paléocène sont entre 150 et 200m de profondeur au nord et 300m au sud. Le toit des sables du crétacé sont à 400 m au N à près de 600m au centre avec de bons débits (jusqu'à 50 m^3/h.) Pour l'hydraulique villageoise, créer des forages de 30 à 50m dans les bas-fonds (trois à 10 m^3/h). puits possibles seulement sur les bordures quand le NS est à moins de 30m de profondeur.
17	CT complètement dénoyé et stérile ; débits faibles à la limite sud de l'affleurement du CT (0,2 m^3/h) et dans les bas-fonds. Le paléocène aquifère se trouve vers 240m au N et 350m au sud et le crétacé entre 300m (N) et 600m (S). Tenter des forages de 40 à 60m dans le CT ; N.S. de 30 à 40m (bordure, bas-fonds).
18	Zone male connue N.S. profond en générale sauf sur les bordures ce qui réduit les ressources du CT. Forage dans le CT, de 50 à 70m de profondeur. La productivité croit du N au S. Paléocène entre 250m au N et de 400m au sud. Crétacé de 400 à 1000m environ.
19	C.T. aquifère dans l'ensemble. Eviter les interfluves ou le NS peut être à plus de 50m de profondeur. Forage de 50 à 80m. débits de 1 à 10 m^3/h. puits profonds dans les vallons. Le paléocène est à plus de 450m de profondeur et le crétacé entre 650 et 700m.
20	Le quaternaire et le C.T. s'épaississent vers le S, de 50m à plus de 100m. N.S. de 25 m de profondeur au N à artésien au sud. Débits parfois élevés (20 à 40 m^3/h). forage de 25 à 150m selon le débit rechercher. Puits possibles. Attention au front salé.
21	Le quaternaire et le C.T. s'épaississent de 70m au N à 150m au S. N.S. de 25 m de profondeur au N à artésien au sud. Débits localement très élevés, supérieurs à 100 m^3/h. forage de 25 à 150m. Puits possibles. front salé sur la bordure sud.
22	Forage de 40 à 60m dans le quaternaire et le C.T. dédits de 5 à 100 m^3/h. N.S. de 10 à 25 m de profondeur. Fronts salé sur la limite sud. Paléocène à plus de 500m et crétacé vers 1000m.
23	Quaternaire et CT de la dépression du Mono. Débits de 5 à 12 m^3/h avec des forages de 40 à 50m. NS peu profond parfois artésien. Accès parfois difficile. Paléocène productif à 120m de profondeur. Crétacé à 250m (Athiémé).
24	Dépression de l'Ouémé sources nombreuses sur les berges, mais inondables 3 à 6 mois par an. Puits dans les terres émergées. Protection de l'eau difficile. Accès difficile. Les argiles de l'éocène affleurent sur les berges. Pas de données sur le CT en profondeur mais certainement absents pour les forage voir 15 16.

25	Dépression de l'Ouémé. Bons aquifères dans le quaternaire (0 à 60m) et dans le CT (60 à 150m). eau douce. NS peu profond ou artésien. Débits de 6 à 20 m^3/h. faciès argileux sur les bordures. Accès difficile. Puits possibles.
26	Dépression de l'Ouémé, mêmes caractéristiques que 25, mais artésianisme généralisé. Front salé sur la limite sud. Le CT peut contenir de l'eau douce sous la zone salée mais grande difficulté pour capter l'eau douce sans induire l'eau salée du dessus.
27	Cordon littoral sableux assez large à l'est de Cotonou et à l'ouest de Grand-Popo et filiforme entre ces deux zones. Lentilles d'eau douce flottant sur l'eau salée. NS peu profond se raccordant avec l'océan et la lagune. Protection de l'eau difficile car sable très perméable. Bons débits (1 à 15 m^3/h). Ecrêter la nappe avec des puits peu profonds ou des batteries de points filtrantes. Forage déconseillé malgré le CT aquifère entre 80 et 150m, échec à Grand-Popo avec de l'eau salée ou saumâtre dans les forages.

CT : Crétacé Faciès

Annexe 6 (caractéristiques des sols par secteur agro-écologique)

	Caractéristiques générales	Potentialités agronomiques	Départements concernés
S6	Vertisol à pédoclimat très humide et horizon de surface finement structuré pH = 6,7	Bon pour le riz et le maraîcher	Plateau
S8	Brun eutrophe à humus évolué ; neutre	Bon sol	Zou, Couffo
S11	Sol ferrugineux lessivé à concrétion, sur roche granitoïde	Acceptable pour les cultures vivrières. Bon pour arachide	Zou, Collines
S17	Sol faiblement ferralitique sur sédiments sablo-argileux, bon drainage interne, pH = 6,7	Bon pour arachide, et moyen pour toute autre culture vivrière annuelle	Plateau, Ouémé, Zou Bohicon
S20	Sol ferralitique à concrétions sur sédiments argilo-sableux	Bon pour arachide, nul pour riz et coton, pas de culture pérenne	Plateau, Zou, Mono, Atlantique
S24	Sol hydrophorphe peu humifère, à pseudogley à taches, sur alluvions	Très fertile, bon pour toute culture	Plateau, Ouémé, Atlantique
S12S16	S12 superposé à sol à pseudogley, granulométrie grossière	Idem à S11	Zou

Source : Issa (1995) et CENAP (1982)

Annexe 7 : Valeurs considérées pour les calculs des bilans hydriques

Stations	**Valeurs et caractéristiques**
Cotonou	114 mm (sol sableux ou argilo-sableux de cordon littoral)
Niaouli	132 mm (sol ferrallitique plus ou moins induré)
Bohicon	132 mm (sol ferrallitique plus ou moins induré)
Savé	118 mm (sol ferrugineux tropical plus ou moins concrétionné)

Annexe 8 : Résultats du test de Student (comparaison des moyennes pluviométriques sur les normales 1941-1970 et 1971-2000)

Mois/ Stations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Bénin méridional												
Aplahoué	0,08	0,13	0,433	0,354	0,06	0,453	0,285	0,373	0,275	0,048	0,033	0,448
Bohicon	0,008	0,391	0,01	0,013	0,225	0,231	0,106	0,073	0,307	0,098	0,011	0,209
Grand-Popo	0,137	0,448	0,218	0,356	0,213	0,268	0,156	0,45	0,106	0,095	0,075	0,252
Niaouli	0,432	0,336	0,105	0,211	0,254	0,079	0,27	0,339	0,079	0,000	0,019	0,074
Pobè	0,024	0,172	0,29	0,331	0,097	0,271	0,281	0,325	0,175	0,017	0,021	0,41
Sakété	0,005	0,099	0,18	0,416	0,011	0,017	0,37	0,455	0,085	0,000	0,007	0,063
Zagnanado	0,011	0,163	0,2	0,441	0,006	0,025	0,326	0,053	0,104	0,006	0,009	0,298
Bénin central												
Bantè	0,137	0,168	0,03	0,413	0,145	0,017	0,489	0,424	0,011	0,407	0,016	0,436
Dassa	0,121	0,278	0,39	0,451	0,156	0,32	0,114	0,183	0,105	0,097	0,003	0,29
Savalou	0,023	0,035	0,024	0,284	0,065	0,025	0,192	0,286	0,062	0,032	0,000	0,078
Savè	0,018	0,000	0,459	0,159	0,047	0,404	0,481	0,227	0,282	0,014	0,011	0,408
Tchetti	0,025	0,054	0,052	0,426	0,139	0,013	0,07	0,424	0,028	0,000	0,001	0,293
Toui	0,272	0,141	0,144	0,234	0,144	0,47	0,466	0,123	0,346	0,037	0,003	0,161

Annexe 9 : Résultats du test de Student (comparaison des moyennes thermométrique sur les normales 1941-1970 et 1971-2000)

Mois/ Stations	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
CotonouTMI	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
CotonouTMA	0,273	0,334	0,345	0,034	0,083	0,02	0,384	0,18	0,024	0,496	0,234	0,048
BohiconTMI	0,43	0,000	0,01	0,002	0,000	0,002	0,026	0,000	0,006	0,000	0,011	0,286
BohiconTMA	0,000	0,000	0,006	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005
SavèTMI	0,461	0,004	0,002	0,003	0,000	0,001	0,108	0,004	0,017	0,004	0,179	0,486
SavèTMA	0,000	0,000	0,004	0,007	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,029	0,000	0,159

	= Valeur de t non significative
	= Valeur de t significative

Annexe 10 (Sources et émissions de gaz à effet de serre au Bénin)

SECTEURS ET SOUS-SECTEURS	Séquestration de GES (Giga grammes)	Emissions de GES (Giga grammes)						
	CO_2	CO_2	CH_4	N_2O	CO	NO_X	COV NM	SO_2
SECTEUR 1 : ENERGIE								
Approche Référence	-	703,02						
Approche sectorielle								
Industries productrices d'énergie	-	25,66	0,001	0,00021	0,01	0,07	0,002	-
Industries manufacturières/ construction	-	70,21	0,002	0,00058	0,01	0,19	0,005	-
Transport	-	397,07	0,08	0,0034	29,07	3,88	5,48	-
Commerce/institution	-	0,16	1,99	0,03	35,65	0,69	3,76	-
Résidence	-	201,79	9,93	0,13	178,48	3,71	18,82	-
Sous total secteur 1	-	694,89	12,003	0,1642	243,25	8,54	28,067	-
SECTEUR 2 : PROCEDES INDUSTRIELS								
Production aliments/boissons	-	-	-	-	-	-	0,16	-
Production ciments	-	96,43	-	-	-	-	-	0,17
Sous-total secteur 2	-	96,43	-	-	-	-	0,16	0,17
SECTEUR 4 : AGRICULTURE								
Fermentation entérique chez le bétail et gestion du fumier	-	-	50,87	0,004	-	-	-	-
Brûlage dirigé des savanes	-	-	102,96	1,02	2162,12	36,84	-	-
Brûlage sur place de déchets agricoles	-	-	5,17	0,14	108,54	5,17	-	-
Riziculture	-	-	1630,14	-	-	-	-	-
Sols cultivés	-	-	-	0,8	-	-	-	-
Sous-total secteur 4	-	-	1789,14	1,964	2270,66	42,01	-	-
SECTEUR 5 : AFFECTATION DES TERRES & FORESTERIE								
Variations de stocks de biomasse : forêts et autres systèmes boisés	62108,16	23,72	-	-	-	-	-	-
Conversion de forêts et prairies	-	14219,03	-	-	-	-	-	-
Mise à feu sur site de forêts	-	-	14,81	0,10	129,61	3,68	-	-
Sous-total secteur 5	62108,16	14242,75	14,81	0,10	129,61	3,68	-	-

SECTEURS ET SOUS-SECTEURS	Séquestration de GES (Giga grammes)	Emissions de GES (Giga grammes)						
	CO_2	CO_2	CH_4	N_2O	CO	NO_X	COVNM	SO_2
SECTEUR 6 : DECHETS								
Décharges de déchets solides : décomposition anaérobie de la matière organique	-	-	7,95	-	-	-	-	-
Eaux usées domestiques et commerciales	-	-	0,99	0,30	-	-	-	-
Eaux usées industrielles	-	-	0	-	-	-	-	-
Mises à feu de déchets solides	-	11,014	0,163	0,002	1,630	0,029	-	-
Incinération	-	0,0098	-	-	-	0,00003	-	0,000002
Sous-total secteur 6	-	11,0238	9,103	0,302	1,630	0,02903	-	0,000002
TOTAL	62108,16	15045,09	1825,06	2,53	2645,15	54,26	28,227	0,17
Potentiel de Réchauffement Global, 100 ans d'intégration (source IPCC)		1	21	310				
Equivalent CO_2		15045,09	38326,26	784,3				
%		27,78	70,77	1,45				

Source : MEHU/Projet Changements climatiques (2001)
COVNM = Composés organo–volatiles non CH4
SO2 = Dioxyde de soufre
CO_2 = Dioxyde de carbone
CH_4 = Méthane
N_2O = Oxyde nitreux
CO = Monoxyde de carbone
NO_X = Oxydes d'azote

Annexe 11 (outils de collecte de données)

Propos liminaire - *Le présent questionnaire a pour but d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les habitudes et régimes alimentaires, 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 ou des changements dans les habitudes alimentaires des populations du Bénin méridional et central depuis les trois dernières décennies du vingtième siècle. La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique à l'EDP/FLASH.*

Groupes cibles : Ménages, paysans, commerçants, experts communautaires, etc.

J0 – Sources de revenus

Avez-vous une source de revenu autre que l'agriculture ?	Oui	Non

Si oui, laquelle ?

K0 – Superficie de terres emblavée par habitant dans la localité

- 1 ha	1 – 1.5 ha	2– 3.5 ha	4–5.5 ha	6– 7.5 ha	8 – 10 ha	10 ha et +

K1 - Qualité des terres

Médiocre	Peu fertile	Fertile	Très fertile

K2 - Cultures pratiquées

Arachide	Gombo	Igname	Maïs	Manioc	Niébé	Patate	Piment	Riz	Tomate

K3 - Quelles sont parmi les cultures pratiquées celles qui sont récemment introduites dans cette région ?

K4 - Comment peut-on expliquer leur introduction ?

N°	Motifs	Oui	Non
1	Brassages ethniques intervenus avec d'autres groupes sociaux		
2	Changements dans les habitudes alimentaires consécutifs aux changements climatiques		
3	Adaptation facile aux conditions climatiques actuelles du milieu		

K5 – Quelles sont les cultures que vous ne pratiquez plus ?

N°	Motifs	Oui	Non
1	Bouleversement des saisons		
2	Péjorations pluviométriques de ces dernières années		
3	Baisse de la fertilité des sols		

L0 - Quels sont les produits alimentaires consommés dans votre localité ?

Produits	Arachide	Gombo	Igname	Maïs	Manioc	Niébé	Patate	Piment	Riz	Tomate
Oui/Non										
Rang *										

*** = Préciser le rang d'un produit dans le bol alimentaire.**

L1 - Autres produits alimentaires et leur importance dans le bol alimentaire (à citer)

L2 – Instruments agricoles utilisés

Outils	Houe	Machette	Charrue	Motoculteur

Autres instruments agricoles			

L3 – Techniques utilisées

Semis échelonné	Rotation	Culture sur brûlis	Jachère

Si la pratique de rotation est développée, quel est alors le cycle de succession des cultures sur les parcelles au fil des ans ?

Années	Année n (n = 2005)	Année n-1	Année n-2	Année n-3	Année n-4
Parcelle 1					
Parcelle 2					

L4 - Autres techniques utilisées par culture

Cultures	Système d'irrigation	Type de fertilisation	Autres
Arachide			
Gombo			
Igname			
Maïs			
Manioc			
Niébé			
Patate			
Piment			
Riz			
Tomate			

L4.1 - Si irrigation, quelle est la provenance de l'eau d'irrigation ?

Public	Privée	Disponibilité : Toujours ☐	Moyennement ☐	Rarement ☐

L5 - Evolution des rendements au cours des dix dernières années

Baisse	Stagnation	Augmentation

L6 - Causes des variations des rendements

cultures	Climat	Choix des variétés	Changement des systèmes de culture	Autres (à préciser)
Arachide				
Gombo				
Igname				
Maïs				
Manioc				
Niébé				
Patate				
Piment				
Riz				
Tomate				

L7 - Causes des variations de la production globale

cultures	Climat	Variation des superficies emblavées	Faiblesse des prix des produits agricoles	Autres (à préciser)
Arachide				
Gombo				
Igname				
Maïs				
Manioc				
Niébé				
Patate				
Piment				
Riz				
Tomate				

L8 - Disponibilité en produits alimentaires (en mois)

1	Quelle est la durée de disponibilité en maïs ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
2	Quelle est la durée de disponibilité en manioc ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
3	Quelle est la durée de disponibilité en arachide ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
4	Quelle est la durée de disponibilité en niébé ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
5	Quelle est la durée de disponibilité en riz ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
6	Quelle est la durée de disponibilité en patate ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
7	Quelle est la durée de disponibilité en gombo ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐
8	Quelle est la durée de disponibilité en tomate ?	3 ☐ 5 ☐ + de 5 ☐

M0 - Le climat, par son effet sur la production, a-t-il un effet sur le revenu ?

Oui ☐ Non ☐

M1 - Commercialisation des produits alimentaires

Vendez-vous les produits vivriers ?	Oui ☐ Non ☐
Si oui, pourquoi ?	
A quel (s) moment (s) de l'année ?	

M2 - Stockage et conservation des produits alimentaires

Séchage	Grenier	Mini-Silos de stockage	Entrepôt

M3 - Les difficultés relatives à la conservation de vos produits vivriers

M4 - Technologies endogènes et modernes de lutte contre les ravageurs

Endogènes

Modernes

Utilisation d'insecticides spécifiques	Utilisation d'insecticides non appropriés	Autres

N1 - Quel est d'après vous le facteur qui a le plus d'effets sur la production et dont vous aimeriez être plus informé ?

Pluviométrie	Température	Sol	Autres facteurs

N2 - Les saisons agricoles se déroulent-elles de la même façon qu'auparavant ?

1	Oui	
2	Comment ?	
3	Pourquoi ?	
4	Non	
5	Comment ?	
6	Pourquoi ?	

I.1

N3 - Les problèmes sociaux auxquels les populations sont confrontées

1	Pénurie alimentaire	
2	Malnutrition	
3	Maladie (si oui, en citer)	
4	Diminution des revenus	
5	Pauvreté	

N4 - Les autres problèmes sociaux auxquels les populations sont confrontées

P - Evénements climatiques extrêmes et crises alimentaires

P0 - Les sécheresses

1	Terminologies	
2	Manifestations	
3	Années ou repères	

P1 - La mémoire des sécheresses et de leurs impacts sur la sécurité alimentaire

1	Dictons	
2	Proverbes	
5	Autres (préciser)	

P2 - Les excès pluviométriques et inondations

1	Terminologies	
2	Manifestations	
3	Années ou repères	

P3 - La mémoire des excès pluviométriques et de leurs impacts sur la sécurité alimentaire

1	Dictons	
2	Proverbes	
5	Autres (préciser)	

P4 - Quelles sont les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des sécheresses connues ?

Mesures prises	Contraintes liées à la mesure

P5 - Quelles sont les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des excès pluviométriques connus ?

Mesures prises	Contraintes liées à la mesure

Q - Indicateurs et état des connaissances des agriculteurs sur le changement climatique

Q0 - Nom et signification de chaque mois de l'année

Nom en français	**Nom en langue locale**	**Signification et activités agricoles ou non caractéristiques**
Janvier		
Février		
Mars		
Avril		
Mai		
Juin		
Juillet		
Août		
Septembre		
Octobre		
Novembre		
Décembre		

Q1 - Evoluons-nous vers des années de plus en plus sèches ?	Oui ☐ Non ☐

Q1- Evoluons-nous vers des années de plus en plus pluvieuse ?	Oui ☐ Non ☐

Q3 - Avez-vous remarqué un changement climatique au cours des dernières années ?	Oui ☐ Non ☐

Q4 - Si oui, comment ?		
Température élevée	Faiblesse des précipitations	Autres

Q5 - Ce changement a-t-il eu un effet sur la production ?		Oui	Non
Dans votre exploitation	Les rendements		
	Leur qualité		

Q6 - Ce changement a-t-il eu un effet sur le niveau de vie du ménage ?	oui ☐ Non ☐

Q7 - Si oui, comment ?

Q8 - Etes-vous informé des changements climatiques prévus ?	Oui ☐ Non ☐

Q9 - Si oui, par qui ?	
Membres de la famille	
Voisins agriculteurs	
Voisins non agriculteurs	
Vulgarisateurs agricoles	
Brochures de vulgarisation	
Journées d'information	
Autres moyens	

Q10 - Quels sont indicateurs écologiques de l'évolution du climat dans votre localité ?

R - Mesures d'adaptation

R1 - Prenez-vous des mesures d'adaptation au changement climatique ?	Oui ☐ Non ☐

R2 - Si oui, lesquelles ?
- - - - - - - -

R3 - Essayez-vous de vous adapter à la variabilité actuelle du climat ?	Oui ☐ Non ☐
R4 - Si oui, comment ?	

R5 - Prenez-vous des décisions, qui soient en rapport avec l 'évolution du climat, pour la préparation et le suivi de la campagne agricole ?		
Oui chaque année	Oui parfois	Non jamais

R6 - Si oui, quelles sont ces décisions ?

R7 - 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

S0 - Commentaire libre sur les conséquences de l'évolution du climat sur l'agriculture et sur la sécurité alimentaire).

I.1.1.1

I.1.1.2 T - Identification

Nom et prénom :
Niveau de formation :
Situation matrimoniale :
Groupe socioculturel :
Localité :
Ancienneté dans la localité :
Age :

Propos liminaire *- Le présent questionnaire a pour but d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les habitudes et régimes alimentaires, 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 ou des changements dans les habitudes alimentaires des populations du Bénin méridional et central depuis les trois dernières décennies du vingtième siècle. La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique à l'EDP/FLASH.*

Groupes cibles : Institutions intervenant dans le secteur agricole, la commercialisation et la sécurité alimentaire

H1 - Quelles sont selon vous les causes des crises alimentaires au Bénin ?

H2 - Quelles sont les mesures qui ont permis de venir à bout des crises alimentaires des années 1976 et 1977 - 1983 et 1984 au Bénin ?

H3 – Disposez-vous d'outils de gestion des crises alimentaires ?

H4 - Quelles sont les stratégies institutionnelles élaborées pour anticiper ou parer aux incidences des crises alimentaires (listing des projets) ?

H5 – Comment arrivez-vous à prévoir les crises alimentaires

H6 - Quels sont les projets exécutés, en cours d'exécution ou à exécuter et dont l'objectif est d'assurer et maîtriser la sécurité alimentaire au Bénin ?

I0- Indicateurs et état des connaissances des personnes ressources sur les changements climatiques

1	Avez-vous une idée du phénomène de changements climatiques ?	Oui ☐ Non ☐
2	Avez-vous participé à des séminaires/colloques dans le cadre de l'information sur les changements climatiques ?	Oui ☐ Non ☐
3	Avez-vous participé à des séminaires/colloques dans le cadre de l'information sur risques en agriculture ?	Oui ☐ Non ☐

I1 - Si oui, qu'en pensez-vous ?

Evoluons-nous vers des années de plus en plus sèches ?	Oui Non
Si oui, quels en sont les indicateurs	

Evoluons-nous vers des années de plus en plus pluvieuses ?	Oui Non
Si oui, quels en sont les indicateurs	

Avez-vous remarqué un changement climatique au cours des dernières années ?	Oui ☐ Non ☐

Si oui, comment ?

I2 - Etes-vous informé des changements climatiques prévus ?	Oui ☐ Non ☐

Si oui, par qui ?

I3 - Mesures d'adaptation

Développez-vous des mesures d'adaptation de l'agriculture au changement climatique ?	Oui ☐ Non ☐

Si oui lesquelles ?
-
-

I4 – Prenez- vous des décisions, qui soient en rapport avec le climat, pour la préparation et le suivi de la campagne agricole ?		
Oui chaque année ☐	Oui parfois ☐	Non jamais ☐
Si oui, quelles sont ces décisions		

I5 - Quels sont leurs impacts potentiels sur la sécurité alimentaire des populations ?

I6 - Quelles sont les recherches déjà faites ou qui sont en cours pour lutter contre les impacts négatifs (vulnérabilité des rendements agricoles, crises alimentaires etc.) des changements climatiques ?

I7 - Quelles sont les stratégies envisagées et que vous conseillez déjà aux populations pour parer aux effets négatifs potentiels des changements climatiques sur la sécurité alimentaire ?

J1 - Stockage et conservation des produits alimentaires

Techniques	Séchage	Grenier	Utilisation de produits chimiques (donner le nom)	Silos de stockage	Autres techniques
Arachide					
Gombo					
Igname					
Maïs					
Manioc					
Niébé					
Patate					
Piment					
Riz					
Tomate					

J2 - Les difficultés relatives à la conservation des produits alimentaires

J3 - Techniques de lutte contre les ravageurs

Technologies	Utilisation d'insecticide approprié	Utilisation d'insecticide non approprié	Autres

J4 - Quelles sont les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des sécheresses connues ?

Mesures prises	Contraintes liées à la mesure

J5 - Quelles mesures peut-on prendre pour garantir la sécurité alimentaire si les sécheresses venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes ?

Mesures envisageables	Contraintes liées à la mesure

J6 - Commentaire libre sur les conséquences de l'évolution du climat sur la sécurité alimentaire.

Institution :
Adresse :
Date :

Propos liminaire - *Le présent guide a pour but d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les habitudes et régimes alimentaires, 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 ou des changements dans les habitudes alimentaires des populations du Bénin méridional et central depuis les trois dernières décennies du vingtième siècle. La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique à l'EDP/FLASH.*

Groupes cibles : Groupements agricoles, Associations de transformateurs, Experts communautaires, Cadres des ministères, Chefs de projets, Institutions internationales ou nationales intervenant dans le secteur agricole, la commercialisation et la sécurité alimentaire

H0 - Pour identifier les indicateurs de crise alimentaire.

H1 - Pour connaître les causes des crises alimentaires dans le Bénin méridional et central.

H2 - Pour savoir les mesures qui ont permis de juguler les crises alimentaires des années 1976 et 1977 - 1983 et 1984 au Bénin.

H3 - Pour appréhender les stratégies institutionnelles élaborées en vue d'anticiper ou parer aux incidences des crises alimentaires.

H4 - Pour connaître les mécanismes de gestion et de prévision des crises alimentaires.

H5 - Pour répertorier les projets exécutés, en cours d'exécution ou à exécuter pour garantir la sécurité alimentaire dans le Bénin méridional et central.

I0 - Pour savoir et évaluer les connaissances endogènes des populations sur les changements climatiques et ses impacts potentiels sur la sécurité alimentaire.

I2 - Pour identifier les recherches déjà faites ou en cours et à faire pour lutter contre les impacts négatifs (vulnérabilité des rendements agricoles, crises alimentaires, etc.) des changements climatiques.

I1 - Pour savoir les stratégies envisagées et que vous conseillez déjà aux populations pour parer aux effets négatifs potentiels des changements climatiques sur la sécurité alimentaire.

J1 - Pour connaître les techniques de stockage et de conservation des produits alimentaires.

J2 - Pour savoir les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des sécheresses connues.

J3 - Pour savoir les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des excès pluviométriques connus.

J4 - Pour savoir les mesures à prendre pour garantir la sécurité alimentaire si les sécheresses venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes.

J5 – Pour savoir les mesures à prendre pour garantir la sécurité alimentaire si les excès pluviométriques venaient à se répéter et quelles en sont les contraintes.

N0 – Pour connaître la perception des populations sur l'évolution du climat. (commentaire libre sur le phénomène et ses conséquences sur l'agriculture et la sécurité alimentaire).

Propos liminaire - *Le présent guide a pour but d'appréhender les indicateurs, les perceptions et les stratégies d'adaptation des populations à l'évolution du climat, les habitudes et régimes alimentaires, 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 ou des changements dans les habitudes alimentaires des populations du Bénin méridional et central depuis les trois dernières décennies du vingtième siècle. La présente recherche s'inscrit dans le cadre des travaux d'une thèse de Doctorat Unique à l'EDP/FLASH.*

Groupes cibles : ménages, paysans, commerçants, experts communautaires, etc.

K0 -Pour une meilleure connaissance des terres cultivables et de leur utilisation : disponibilité, qualité et cultures pratiquées dans votre localité.

L0 - Pour appréhender les habitudes alimentaires héritées par les populations.

L1 - Pour connaître les mutations récentes intervenues dans les habitudes alimentaires

L5 - Pour avoir une idée de la disponibilité en produits alimentaires et connaître les moyens techniques de stockage et de conservation, les circuits de commercialisation des produits alimentaires (évoquer les difficultés relatives à la conservation de vos produits vivriers).

L13 - Pour identifier les problèmes sociaux auxquels les populations sont confrontées.

L15 - Pour répertorier les cultures récemment introduites dans la région et les raisons de leur introduction.

L17 - Pour savoir les produits qui ont disparu du bol alimentaire quotidien des populations.

M0 - Pour appréhender la perception populaire de la dynamique des saisons agricoles (les saisons se déroulent-elles de la même façon qu'auparavant ? Pourquoi ?).

M3 - Pour collecter des indicateurs (proverbes, contes, légendes, etc.) sur les sécheresses, les excès pluviométriques et leurs impacts sur la sécurité alimentaire.

M7 - Pour connaître les impacts agricoles des changements climatiques et les stratégies paysannes d'adaptation.

M9 - Pour savoir les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des sécheresses connues.

M10 - Pour savoir les mesures que vous aviez prises pour faire face aux crises alimentaires lors des excès pluviométriques connus.

M11 - Pour identifier les mesures préconisées pour garantir la sécurité alimentaire si les sécheresses venaient à se répéter et les contraintes y afférentes.

N0 - Pour connaître la perception populaire de l'évolution du climat. (commentaire libre sur le phénomène et ses conséquences sur l'agriculture et la sécurité alimentaire).

Table des matières

	Page
Dédicace	4
Sommaire	5
Liste des abréviations et des sigles	7
Avant propos	9
Résumé	15
Summary	16
INTRODUCTION	17
Première partie : problématique, démarche méthodologique, bases et situations agroalimentaires dans le Bénin méridional et central	**20**
CHAPITRE PREMIER : REVUE DE LA LITTERATURE, JUSTIFICATION DU SUJET ET CLARIFICATION CONCEPTUELLE	21
1.1 - Etat des connaissances et justification du sujet	21
1.2 - Justification du choix des régions d'étude	25
1.3 - Hypothèses de travail	27
1.4 - Objectifs de l'étude	28
1.5 - Clarification des concepts	28
1.5.1 – Sécurité alimentaire : une préoccupation permanente	29
1.5.2 – Changements climatiques, évaluation des impacts et stratégies d'adaptation	32
CHAPITRE DEUXIEME : DEMARCHE D'IDENTIFICATION DES INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE	38
2.1 - Typologie des données et des stations météorologiques retenues	38
2.1.1 - Nature et sources des données	38
2.1.2 - Stations météorologiques retenues, critique et reconstitution des données manquantes	39
2.2 - Travaux de terrain et méthode de détermination du bilan alimentaire	41
2.2.1 – Investigations socio-anthropologiques	41
2.2.2 – Vivriers choisis et méthode de calcul des bilans alimentaires	42
2.3 - Analyse des paramètres climatiques et identification des indicateurs des changements climatiques actuels	44
2.3.1 – Analyse des tendances climatiques et du bilan hydrique	45
2.3.2 – Identification des indicateurs des changements climatiques	46
2.4 - Simulation du climat futur	48
2.4.1 – Justification du choix de l'horizon temporel et des scénarios climatiques	48
2.4.2 – Description du SRES	50
2.4.3 – Projections globales des températures et d'élévation du niveau marin	51
2.4.4 – Modèles de changements climatiques pour le Bénin méridional et central	52
2.5 - Modélisation des cultures et simulation des rendements	52
2.5.1 – Détermination de la saison de croissance	53
2.5.2 – Protocole de calcul de la biomasse et du rendement par culture utilisé dans le DSSAT V.4	54
2.6 - Détermination des indicateurs de vulnérabilité des rendements	56
2.7 - Disponibilités et évaluation des besoins alimentaires en 2050	57
2.8 - Analyse des situations alimentaires et formulation de stratégies	58

alimentaires intégrées et durables
CHAPITRE TROISIEME : FONDEMENTS DE LA PRODUCTION AGROALIMENTAIRE DANS LES DEUX REGIONS D'ETUDE 61
3.1 - Fondements naturels de la production alimentaire 61
3.1.1 – Aspects géologiques et géomorphologiques 61
3.1.2 – Climats dans le Bénin méridional et central 63
3.1.2.1 – Mécanismes de la pluviogenèse, générateurs des trames climatiques 63
3.1.2.2 – Articulations saisonnières dans le Bénin méridional et central 66
3.1.3 –Couvert végétal et armature pédologique dans les deux régions 68
3.1.4 – Réseau hydrographique et aspects hydrogéologiques 71
3.2 - Déterminants socio-économiques de la production alimentaire 73
3.2.1 – Caractéristiques démographiques 73
3.2.2 – Secteurs économiques dans le Bénin méridional et central 75
3.2.3 – Indicateurs socio-économiques 76
3.2.4 – Faits porteurs et tendances lourdes dans les deux régions 78
CHAPITRE QUATRIEME : SECTEURS AGROECOLOGIQUES, DYNAMIQUE DES PRODUCTIONS AGRICOLES ET SITUATIONS ALIMENTAIRES DE BASE 84
4.1 - Secteurs agroécologiques et systèmes culturaux 84
4.2 - Evolution des paramètres agricoles et évaluation des situations alimentaires récentes dans le Bénin méridional et central 90
Conclusion de la première partie 99
Deuxième partie : paléoclimats, climats actuels et scénarios climatiques pour le Bénin méridional et central 101
CHAPITRE CINQUIEME : VARIATIONS CLIMATIQUES PASSEES EN AFRIQUE ET DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL 102
5.1 – Sources et méthodes d'étude des paléoclimats 102
5.1.1 – Sources des données paléoclimatiques 102
5.1.2 – Méthodes et techniques pour la reconstruction des paléoclimats 103
5.2 – Synthèse sur les paléoclimats dans le monde 107
5.3 – Variations climatiques anciennes en Afrique 114
5.4 - Indicateurs des changements climatiques anciens dans le Bénin méridional et central 118
CHAPITRE SIXIEME : DIAGNOSTIC, TENDANCES CLIMATIQUES ET PERCEPTION PAYSANNE DE L'EVOLUTION DES CLIMATS DANS LES DEUX REGIONS D'ETUDE 125
6.1 - Précipitations et températures mensuelles dans le Bénin méridional et central sur la normale (1961-1990) 125
6.2 - Tendances pluviométriques et thermométriques 133
6.3 – Analyse des bilans hydriques dans les deux régions d'étude 137
6.4 - Perceptions socio-anthropologiques de l'évolution des climats actuels dans le Bénin méridional et central 141
CHAPITRE SEPTIEME : INDICATEURS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ACTUELS DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL 147
7.1 - Indicateurs thermométriques des changements climatiques dans les deux régions 147
7.2 - Indicateurs pluviométriques de l'évolution des climats dans le Bénin méridional et central 156

CHAPITRE HUITIEME : EMISSIONS ET CONCENTRATIONS DES GAZ A EFFET DE SERRE ET SIMULATION DES CLIMATS FUTURS DANS LE BENIN MERIDIONAL ET CENTRAL 166
8.1 – Notion d'effet de serre naturel et d'effet de serre additionnel 166
8.2 – Contribution de chaque GES à l'augmentation de l'effet de serre au niveau mondial 169
8.3 – Point sur les émissions de gaz a effet de serre au Bénin 171
8.4 – Pollution atmosphérique dans les principales villes du Bénin méridional et central 173
8.5 - Climats futurs dans le Bénin méridional et central 177
8.5.1 – Evolution des émissions et concentrations du CO_2 atmosphériques sous SRESB2 dans le monde 178
8.5.2 – Evolution des températures mondiales et du niveau marin sous SRESB2 179
8.5.3 – Pluviométrie et températures futures dans le Bénin méridional et central 180
Conclusion de la deuxième partie 183
Troisième partie : Impacts potentiels des changements climatiques sur la sécurité alimentaire, réponses adaptatives et mitigation 186
CHAPITRE NEUVIEME : RISQUES AGROALIMENTAIRES ET VULNERABILITE DES POPULATIONS A UN CLIMAT FUTUR 187
9.1 - Rendements agricoles par scénario climatique en 2050 187
9.2 – Vulnérabilité des populations 198
9.3 – Autres impacts socio-économiques et réponses sociales 201
9.3.1 – Modification des habitudes alimentaires et réponses sociales 201
9.3.2 – Augmentation des prix des produits agricoles et risques économiques 202
9.3.3 – Appauvrissement continu des populations 203
CHAPITRE DIXIEME : STRATEGIES REACTIVES PUBLIQUES ET AJUSTEMENTS AUTONOMES PAYSANS D'ADAPTATION AUX RISQUES AGROCLIMATIQUES ET ALIMENTAIRES 206
10.1 - Stratégies réactives des pouvoirs publics 206
10.1.1 – Politiques et projets mis en œuvre pour la sécurité alimentaire 206
10.1.2 – Couplage des cultures et projet de modernisation de l'agriculture 208
10.1.3 – Développement et promotion des cultures irriguées 209
10.1.4 – Intensification de l'utilisation d'intrants 213
10.2- Ajustements autonomes des cultures et stratégies d'adaptation paysannes 213
10.2.1 – Capacités d'adaptation des plantes 213
10.2.2 – Mise en valeur des bas-fonds et des berges des cours d'eau 215
10.2.3 – Augmentation des emblavures et semis échelonnés et/ou semis répétés 217
10.2.4 – Abandon progressif du calendrier agricole empirique 218
10.2.5 – Adoption de nouvelles variétés de cultures et principe d'utilisation du post-effet de l'engrais 219
CHAPITRE ONZIEME : OPTIONS ET STRATEGIES DE MITIGATION POUR UNE PLANIFICATION DE LA SECURITE ALIMENTAIRE 224
11.1 - Scénario ''zéro'' importation des produits alimentaires 224
11.2 – Options de mitigation et planification agroalimentaire 224
11.2.1 – Renforcement des structures de recherche 225
11.2.2 – Promotion de l'agriculture maraîchère et implication des femmes dans le processus de la sécurité alimentaire 225

11.2.3 – Mobilisation des eaux de ruissellement, création de micro barrages et intensification des aménagements hydro-agricoles 226
11.2.4 – Amélioration de la fertilité du sol et des techniques d'utilisation des terres 228
11.2.5 – Promotion de la culture attelée 229
11.2.6 – Promotion de l'arboriculture 231
11.2.7 – Information sur les changements climatiques et sensibilisation des paysans 231
11.3 - Amélioration des systèmes de conservation et de techniques de transformation des produits agricoles 232
11.3.1 – Promotion des technologiques de la transformation agroalimentaire 233
11.3.2 – Renforcement du dispositif de stockage et de commercialisation 233
11.4 - Vigie Stratégie pour la Sécurité Alimentaire (VSSA) 234
Conclusion de la troisième partie 241
DISCUSSION ET LIMITES METHODOLOGIQUES DE L'ETUDE 243
CONCLUSION 247
Références bibliographiques 250
Liste des figures 270
Liste des photos 273
Liste des tableaux 274
Annexes 276
Table des matières 299