

**Institut für Gartenbauwissenschaft
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn**

Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 01.06.2005

von Valens MULINDABIGWI

aus Rutobwe - Gitarama - Rwanda

Referent: Prof. Dr. M.J.J. Janssens

Korreferenten: Prof. Dr. H. Goldbach
Prof. Dr. G. Menz

Tag der mündlichen Prüfung: 15.07.2005

Gedruckt bei:

Erscheinungsjahr: 2006

Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin

Dans le présent travail, les systèmes de production agricoles sont décrits et leur impact sur l'utilisation du terroir, la sécurité alimentaire et la séquestration du carbone est également évalué. Les systèmes de production agricole sont principalement de type itinérant. Les cultures sont semées ou plantées en pure et en associations entre mai et juillet. L'intensification¹ agricole reste principalement réservée à la culture du coton. Avec la raréfaction des terres, les agriculteurs ont tendance à intensifier également le maïs. La forte croissance démographique et la chute rapide de la fertilité des terres cultivées constituent les principaux facteurs de la déforestation (2-3% par an).

Les formations naturelles restent les meilleurs écosystèmes de stockage du carbone (forêt dense semi décidue : 138,5 t ha⁻¹; forêt claire: 71,7 t ha⁻¹ contre 33,8 à 35,3 t ha⁻¹ pour les superficies agricoles). Contrairement aux études antérieures (NYE & GREENLAND, 1960), le carbone stocké dans les 20 premiers cm des sols cultivés ne diffère pas de celui des sols sous les formations naturelles ni de celui des jachères longues. Cela est justifié par les passages réguliers des feux de brousses.

L'évolution de l'extension des superficies agricoles et celle de la dégradation des ressources naturelles ont été subdivisées en cinq principales phases: (i) *Equilibre écologique*; (ii) *Rupture de l'équilibre écologique*; (iii) *Dégradation écologique*; (iv) *Insécurité alimentaire structurelle*; (v) *Misère et dégradation hydrologique irréversible*. L'axe « Wari Maro – Doguè » se situe présentement dans la phase de rupture de l'équilibre écologique. Quant au village de Sérrou, il se situe dans la phase de la dégradation écologique. D'ici 2020, en cas de raccourcissement de la saison des pluies, les superficies agricoles s'étendraient sur 79,7% de l'ensemble des superficies agricoles utilisables et permettraient de couvrir seulement 116% (contre 132% en 2000) des besoins caloriques. Par contre, une diminution de la croissance démographique de 4,9% à 3,0% et une intensification partielle de l'agriculture permettraient à la population, même en cas de variabilité saisonnière des précipitations, d'atteindre 147% de la couverture des besoins en calories en 2020 en utilisant uniquement 62% de la superficie agricole utilisable.

L'intensification agricole passe nécessairement par l'adoption des technologies plus productives. Ces technologies ont été déjà développées par différentes institutions de recherches agricoles nationales ou régionales mais ne sont pas encore disponibles aux agriculteurs. L'urgence réside dans leur transfert jusqu'aux agriculteurs. Toutefois, l'intensification agricole ne constitue aucunement pas la seule stratégie pour garantir une utilisation durable des ressources naturelles. Elle fait plutôt partie d'un ensemble de stratégies de développement rural intégré qui restent objectivement à définir et à concrétiser.

¹ Intensification agricole exprime l'utilisation de nouvelles technologies agricoles (fertilisation minérale, fertilisation organique, semences améliorées, traitement phytosanitaire, lutte anti-érosive etc.) plus performantes

Einfluss von Anbausystemen auf die Landnutzung, Kohlenstoffspeicherung und Ernährungssicherung im oberen Ouémé-Einzugsgebiet in Benin

In der vorliegenden Arbeit werden die Anbausysteme im oberen Ouémé-Einzugsgebiet in Benin beschrieben sowie deren Auswirkungen auf die Landnutzung, die Ernährungssicherung und die Kohlenstoff-Sequestration bewertet. Bei den Anbausystemen handelt es sich hauptsächlich um Wanderfeldbau, wo die Aussaaten generell von Mai bis Juli stattfinden. Die Intensivierung der Landwirtschaft ist auf den Baumwollanbau begrenzt. Mit der zunehmenden Bodenknappheit beginnen die Landwirte auch den Maisanbau zu intensivieren. Das Bevölkerungswachstum und die Degradation der Bodenfruchtbarkeit sind die Hauptfaktoren der Entwaldung (2-3% jährlich).

Die naturnahen Vegetationen bleiben die wichtigsten Kohlenstoff-Senken („Forêt dense semi décidue“: $138,5 \text{ t ha}^{-1}$; „Forêt claire“: $71,7 \text{ t ha}^{-1}$ gegenüber 33,8 bis $35,3 \text{ t ha}^{-1}$ für die kultivierten Flächen). Im Gegensatz zu vorangegangenen Studien (NYE & GREENLAND, 1960; ROBERT, 2001) wurde kein signifikanter Unterschied in den ersten 20 cm der Bodenhorizonte unter gestörten und naturnahen Ökosystemen hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehaltes im Boden festgestellt. Dieses Ergebnis lässt sich durch die jährlichen Buschfeuer erklären.

Die Entwicklung der landwirtschaftlichen Flächenerweiterung und die Degradierung der Naturressourcen werden in fünf Phasen aufgeteilt: (i) *ökologisches Gleichgewicht*, (ii) *Zusammenbruch des ökologischen Gleichgewichts*, (iii) *ökologische Degradation*, (iv) *strukturelle Ernährungsunsicherheit*, (v) *Elend und hydrologische Degradation*. Die Landnutzung entlang der Piste „Wari Maro – Doguè“ befindet sich zurzeit in der Phase des Zusammenbruchs des ökologischen Gleichgewichtes, während die Landnutzung in Sérou schon die Phase der ökologischen Degradation erreicht hat. Unter der Annahme, dass es zu einer Verkürzung der Regenzeit von zwei Wochen im Untersuchungsgebiet kommt, könnte sich bis zum Jahr 2020 die landwirtschaftlich genutzte Fläche² auf 79,7% (von 36,2% im Jahr 2000) der gesamten nutzbaren Flächen erweitern. Unter Berücksichtigung der Agrarproduktion und des Bevölkerungswachstums können damit 116% (gegenüber 132% im Jahre 2000) des Kalorienbedarfes gedeckt werden. Eine Senkung des Bevölkerungswachstums von 4,9 % auf 3,0 % und eine progressive Intensivierung der Landwirtschaft würden hingegen mit nur 62 % der nutzbaren Flächen die Deckung des Kalorienbedarfs auf 147 % verbessern.

Die Intensivierung der Landwirtschaft setzt die Anwendung verbesserter Technologien voraus. Diese Technologien wurden schon von verschiedenen nationalen und regionalen Forschungsinstitutionen entwickelt. Das Ziel sollte jedoch sein, all diese Technologien zusammenzutragen und sie den Landwirten zur Verfügung zu stellen. Allerdings ist die Intensivierung der Landwirtschaft nicht die einzige Strategie, um eine nachhaltige Landnutzung garantieren zu können. Sie gehört eher zu einer Gesamtheit von Strategien der integrierten Entwicklung des ländlichen Raumes, welche noch weiterhin objektiv zu definieren und zu konkretisieren sind.

² Landwirtschaftlich genutzte Fläche = kultivierte Fläche + Brache

Influence of farming systems on the land use, carbon sequestration and food security in the upper Ouémé catchment in Benin

In this work, the farming systems were described and their impact on the land use, food security and carbon sequestration was also evaluated.

The farming systems are dominated by shifting cultivation. The crops are sown or planted in pure or associations between May and July. The agricultural intensification is limited to the cotton production system. With the increasing shortage of arable land, the farmers tend also to intensify the maize production. The rapid demographic growth and the decline of soil fertility of the cultivated areas constitute the principal factors of deforestation (2-3% per annum) in upper Ouémé catchment.

The natural formations remain the best ecosystems for the storage of carbon (forêt dense semi-décidue : 138,5 t ha⁻¹; forêt claire: 71,7 t ha⁻¹ against 33,8 to 35,3 t ha⁻¹ for the agricultural surfaces). Contrary to former studies (NYE & GREENLAND, 1960; ROBERT, 2001), the carbon, stored in the first 20 cm of the cultivated areas, does not differ significantly from that of the soils under natural formations or of soils under fallow. This may be explainable by regular bush fires.

The evolution of the agricultural areas and the associated degradation of natural resources can be subdivided in five principal phases: (i) *Ecological Equilibrium*; (ii) *Collapse of ecological equilibrium*; (iii) *Ecological degradation*; (iv) *Structural food insecurity*; (v) *Misery and irreversible hydrological degradation*. The land use around the road « Wari Maro – Doguè » represents the phase 2: Collapse of ecological equilibrium, while the land use in Sérrou is in the phase 3 of the ecological degradation. Until 2020, in the case of rain season shortening, the agricultural area will extend to 79,7% of the total arable area and provide 116% (against 132% in 2000) of the needed calories. On the other hand, a demographic growth reduction from 4,9% to 3,0% and partial intensification of agriculture will allow to reach 147% of the needed calories in 2020 by using only 62% of the arable area.

The agricultural intensification depends on the adoption of more productive technologies. These technologies were already developed by various national and regional agricultural research institutions but are not available for the farmers. The objective must be the transfer of these technologies to the farmers. However, the agricultural intensification is not the only strategy to guarantee a durable use of the natural resources. It rather forms part of integrated strategies for rural development which have to be objectively further defined and concretized.

Préface

Le présent travail a été réalisé de Juin 2000 à juin 2005 au sein de l'institut d'Horticulture, Département d'agriculture tropicale, de la Faculté d'agronomie de l'université de Bonn. Il fait partie d'un grand ensemble de travaux de recherches conduits dans le cadre du projet de recherche interdisciplinaire IMPETUS (Approche Intégrée pour la Gestion Efficace des Ressources Hydriques Limitées en Afrique de l'Ouest). Ce projet est conjointement financé par le Ministère fédéral de la formation et de la recherche (BMBF) (code du financement : 01 LW 0301A), le Ministère de la science et de la recherche du land de la Rhénanie-du-Nord-Westphalie (MWF) (code du financement : 223-21200200) ainsi que par l'université de Bonn et l'université de Cologne. Le projet IMPETUS fait à son tour partie des projets de recherches de GLOWA (Global Change in the Hydrological Cycle) sur les cycles hydrologiques dont l'objectif est de développer des stratégies pour une utilisation durable des eaux et des rivières. IMPETUS mène des recherches interdisciplinaires sur le bassin versant de l'Ouémé au Bénin et sur celui de Wadi Drâa au Maroc situés respectivement au sud et au nord du Sahara. Les systèmes de production agricole constituent une des principales activités anthropiques qui influent sur la gestion des terroirs et sur les cycles hydrologiques. La description de ces systèmes ainsi que l'analyse de leur impact sur la gestion du terroir sont indispensables pour le développement des stratégies interdisciplinaires de gestion durable des ressources en eau douce.

Remerciements

La réalisation de ce travail n'aurait sans doute pas été possible sans l'aide et le soutien de nombreuses personnes et institutions. Je tiens à remercier plus particulièrement :

Le Ministère fédéral allemand de la formation et de la recherche et le Ministère de la science et de la recherche du Land de la Rhénanie-du-Nord-Westphalie pour le financement de ce travail.

Professeur Dr. M.J.J. JANSSENS pour la supervision, les conseils et les critiques scientifiques toujours dans une atmosphère de travail conviviale.

Professeur Dr. H. GOLDBACH et Professeur Dr. G. MENZ pour la co-supervision et la collaboration au sein du projet IMPETUS.

Professeur J. POHLAN, Juniorprofesseur H. BORMANN, Dr. M. DOEVENSPECK, C. BEHLE et Dr. M. SCHOPP pour la lecture et la correction des textes rédigés en allemand.

Dr. P. LUCAS MUKAMURANGWA et P. LUCAS pour la lecture et les corrections

P. LUCAS pour avoir soutenu la première mon idée de pouvoir réaliser une thèse de doctorat

La coordination du projet IMPETUS en Allemagne et au Bénin, plus particulièrement Professeur Dr. P. SPETH, Dr. M. CHRISTOPH et Dr. E. van den AKKER pour avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires pour réaliser cette recherche.

B. ORTHMANN, Dr. M. DOEVENSPECK, M. SCHOPP, U. SINGER, C. BEHLE, Dr. S. GIERTZ, Dr. B. JUNGE, M. JUDEX, Dr. H.P. THAMM, G. DAGBENONBAKIN, Dr. H. BORMANN, PD Dr. J. BURKHARDT, T. KLEIN, K. HADJER, Dr. E. van den AKKER et L. SINTONDJI pour une collaboration étroite et collegiale au Bénin ou en Allemagne.

Professeur Dr. B. A. SINSIN et Dr. N. SOKPON pour leurs conseils scientifiques, G. HOUNGUE pour son appui technique. Les employés du CARDER N'Dali, Djougou, Ouessé, Savalou, Parakou, Tchaourou ainsi que ceux de l'INRAB pour m'avoir facilité l'accès à la documentation.

François, Lamidi, Adamou et Dramane qui m'ont beaucoup aidé lors de la phase de collecte des données.

La population des villages Doguè, Sérrou, Bodi, Sonomoun, Sérarou, Tchaourou, Wéwé, Bariki/Bassila, Diho, Wédémé, Yaoui, Wodora/INA, Adjanté/Bantè qui m'ont toujours réservé une hospitalité fraternelle.

Mon épouse S. MURAGIJEMARIYA, mes enfants A. KWIZERA, B. RUGIRA et C.A. HABURAYO qui malgré mes absences répétées m'ont toujours apporté un important soutien moral.

Bonn, le 31.05.2005

Valens Mulindabigwi

TABLE DES MATIERES

0. INTRODUCTION GENERALE	1
0.1. PROBLEMATIQUE	1
0.2. OBJECTIFS ET APPROCHE METHODOLOGIQUE	2
0.3. CADRE DE LA RECHERCHE	5
0.4. STRUCTURE DU TRAVAIL	5
1. REVUE DE LA LITTERATURE ET CARACTERISTIQUES DU MILIEU	7
1.1. REVUE DE LA LITTERATURE	7
1.1.1. Systèmes de production agricoles	7
1.1.1.1. Définition	7
1.1.1.2. Typologies et évolution des systèmes de production agricole	7
1.1.1.3. Croissance démographique et systèmes de production agricoles	10
1.1.1.4. Coexistence des systèmes de production agricoles	11
1.1.1.5. Productivités et durabilité des systèmes de production agricoles	11
1.1.1.6. Variabilité des précipitations et systèmes de production agricoles	12
1.1.2. Utilisation durable des terres	14
1.1.3. Matière organique et utilisation durable des terres	15
1.1.3.1. Production et importance de la biomasse	15
1.1.3.2. Production et importance de la litière	16
1.1.3.3. Importance et dynamique de la matière organique du sol	18
1.1.4. Séquestration et émission du carbone par les écosystèmes terrestres	19
1.1.5. Sécurité alimentaire et besoins alimentaires	25
1.2. CARACTERISTIQUES DU MILIEU	27
1.2.1. Localisation géographique	27
1.2.2. Climat	29
1.2.3. VEGETATION	30
1.2.4. SOLS	30
1.2.5. Démographie, utilisation du terroir et sécurité alimentaire	31
2. METHODOLOGIE GENERALE	34
2.1. ENQUETE EXPLORATOIRE	34
2.2. COLLECTE DES DONNEES	36
2.2.1. Dispositif expérimental	36
2.2.2. Estimation du biovolume et de l'écovolume	37
2.2.3. Quantification de la phytomasse	39
2.2.3.1. Superficies cultivées	39
2.2.3.2. Plantations d'anacardiens	40
2.2.3.3. Jachères et formations naturelles	41
2.2.4. Estimation de la production primaire nette des ligneux	42
2.2.5. Détermination de l'indice foliaire	43
2.3. IDENTIFICATION DES SCENARIOS ET DU MODELE	43
2.3.1. Formulation des scénarios	43
2.3.2. Développement du Modèle de l'Impact de la Population et des précipitations	45
3. DESCRIPTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE	50
3.0. INTRODUCTION	50
3.1. OBJECTIF	50

Table des matières

3.2. HYPOTHESE.....	50
3.3. DESCRIPTION DES SYSTEMES DE PRODUCTIONS AGRICOLES	51
3.3.1. Importance des cultures et de leurs associations.....	51
3.3.2. Principaux systèmes de cultures	52
3.3.2.1. Systèmes de cultures à base d'igname.....	54
3.3.2.2. Systèmes de cultures à base de manioc.....	59
3.3.2.3. Systèmes de cultures à base de sorgho	62
3.3.2.4. Systèmes de cultures à base de maïs.....	63
3.3.2.5. Systèmes de cultures à base d'association sorgho + maïs.....	66
3.3.2.6. Systèmes de cultures à base de riz.....	66
3.3.2.7. Systèmes de cultures à base de coton.....	68
3.3.2.8. Systèmes de cultures à base de légumineuses	69
3.3.2.9. Systèmes de cultures à base d'anacardier ou système taungya	69
3.3.3. Distribution des systèmes cultureux dans l'Ouémé supérieur	73
3.3.4. Calendriers cultureux.....	75
3.3.5. Systèmes de labour	76
3.3.6. Assolements et rotation des cultures.....	79
3.3.6.1. Assolements.....	79
3.3.6.2. Rotations	80
3.3.6.3. Classification des jachères	82
3.3.7. Classification des systèmes de production selon la méthode de Ruthenberg.....	85
3.3.8. Coefficient R de RUTHENBERG, outil d'estimation des superficies agricoles	87
3.3.9. Evolution de la surface foliaire ou LAI	90
3.3.10. Agroforesterie	93
3.3.8. Gestion et utilisation des eaux de pluies	98
3.3.11. Fertilité et Fertilisation des sols	101
3.3.12. Couplage de l'agriculture et de l'élevage.....	104
3.3.12.1. Typologie1: Transhumance	104
3.3.12.2. Typologie 2: Elevage bovin extensif et sédentarisé	105
3.3.12.3. Typologie 3: Elevage bovin pour la traction bovine	105
3.3.12.4. Typologie 4: Elevage du petit bétail et des animaux de la basse-cour.....	106
3.3.13. Droits et conflits fonciers.....	106
3.3.13.1. Droit de propriété.....	106
3.3.13.2. Droit d'accès à la terre et aux ressources naturelles.....	107
3.3.13.3. Droit de possession des récoltes.....	108
3.3.13.4. Conflits fonciers	109
3.3.14. Problèmes et contraintes de la production agricole dans l'Ouémé supérieur....	111
3.4. CONCLUSION	117
4. EVALUATION DES ECOSYSTEMES : DYNAMIQUE ET DEGRADATION.....	118
4.0. INTRODUCTION.....	118
4.1. OBJECTIF	118
4.2. HYPOTHESE.....	118
4.3. INDICE FOLIAIRE	118
4.4. PHYTOMASSE.....	120
4.4.1. Production primaire nette.....	120
4.4.2. Phytomasse totale	121
4.5. PRODUCTION ET DYNAMIQUE DE LA LITIERE	122
4.5.1. Production de la litière	122
4.5.2. Partition de la litière et estimation de la production de la biomasse	124
4.5.3. Estimation de la production primaire nette sur base de la chute de la litière.....	126
4.5.4. Chute de la litière et classification des formations ligneuses.....	129
4.5.5. Estimation de l'indice foliaire de la litière	130

Table des matières

4.5.6. Dynamique de la litière	131
4.6. BIOVOLUME ET ECOVOLUME.....	133
4.7. MATIERE ORGANIQUE DANS LE SOL	136
4.8. CONCLUSION	137
5. PREDICTION DE L'EXTENSION DES SUPERFICIES AGRICOLES	138
5.0. INTRODUCTION.....	138
5.3. HYPOTHESE.....	138
5.4. METHODOLOGIE	138
5.5. EVOLUTION DE LA SUPERFICIE DES ECOSYSTEMES DE L'OUEME SUPERIEUR	140
5.5.1. Extension des superficies agricoles et dégradation des ressources naturelles...	140
5.5.1.1. Phase I : Equilibre écologique	141
5.5.1.2. Phase II : Rupture de l'équilibre écologique	142
5.5.1.3. Phase III : Dégradation écologique	143
5.5.1.4. Phase IV : Insécurité alimentaire structurelle	143
5.5.1.5. Phase V : Misère et dégradation hydrologique irréversible	144
5.5.2. Evolution de l'extension des superficies agricoles.....	146
5.5.3. Evolution de la superficie d'autres écosystèmes	147
5.5.6. Essai de classification de l'utilisation des terres de l'Ouémé supérieur	148
5.6. CONCLUSION	151
6. SYSTEMES AGRICOLES ET VARIABILITE SAISONNIERE DES PLUIES	152
6.0. INTRODUCTION.....	152
6.1. OBJECTIFS.....	152
6.3. HYPOTHESES	152
6.4. MATERIEL ET METHODE.....	153
6.4.1. Variabilité saisonnière des pluies et extension de la superficie agricole	153
6.4.2. Estimation de l'évolution de la production de la biomasse et de la litière	153
6.4.3. Estimation de la séquestration et des émissions du carbone	154
6.4.3.1. Respiration du sol ou émissions du CO ₂ par le sol.....	154
6.4.3.2. Estimation des émissions du carbone par le brûlage de la biomasse	155
6.4.3.3. Estimation de la séquestration annuelle du carbone	155
6.4.3.4. Emissions brutes et nettes annuelles du carbone	156
6.4.3.6. Bilan inter-annuel du carbone.....	157
6.5. VARIABILITE SAISONNIERE DES PLUIES ET SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE ..	158
6.5.1. Changements des calendriers culturaux	158
6.5.2. Renforcement de l'extension des superficies agricoles	158
6.5.3. Détérioration de la biomasse totale	159
6.5.4. Evolution de la chute de la litière	162
6.6. SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE ET SEQUESTRATION DU CARBONE	163
6.6.1. Séquestration du carbone.....	163
6.6.1.1. Carbone dans le sol.....	163
6.6.1.2. Carbone dans la biomasse	166
6.6.1.3. Carbone dans la litière.....	167
6.6.2. Emissions du carbone	167
6.6.2.1. Combustion de la phytomasse	167
6.6.2.2. Respiration du sol.....	172
6.6.3. Bilan du carbone	177
6.6.3.1. Bilan intra-annuel du carbone.....	177
6.6.3.2. Bilan interannuel du carbone	179
6.7. CONCLUSION	181

7. SITUATION ALIMENTAIRE ET PERSPECTIVES D'AVENIR.....	182
7.0. INTRODUCTION.....	182
7.1. OBJECTIFS.....	182
7.2. HYPOTHESE.....	182
7.3. MATERIEL ET METHODE.....	183
7.4. ANALYSE DE LA SITUATION ALIMENTAIRE ET DES PERSPECTIVES D'AVENIR	184
7.4.1. Dimensions des exploitations agricoles familiales.....	184
7.4.2. Productions des systèmes de cultures vivriers.....	185
7.4.4. Couverture des besoins alimentaires	187
7.4.5. Pression démographique et sécurité alimentaire.....	190
7.4.6. Intensification agricole et capacité de charge humaine des terres	196
7.5. CONCLUSION	201
8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS GENERALES.....	202
8.1. CONCLUSIONS GENERALES	202
8.1.1. Systèmes de production agricole et utilisation du terroir (objectif 1).....	202
8.1.2. Dynamique et dégradation des écosystèmes (objectif 5)	205
8.1.3. Séquestration et émissions du carbone (objectifs 2 et 3)	206
8.1.4. Situation alimentaire et perspectives d'avenir (objectif 4).....	208
8.2. RECOMMANDATIONS GENERALES.....	209
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	212
ANNEXES	228

LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1: Facteurs déterminants des systèmes de production agricoles	7
Tab. 2: Systèmes de productions agricoles (OKIGBO BEDE & GREENLAND, 1977) 9	9
Tab. 3: Systèmes de production agricoles de Ruthenberg et Greenland	10
Tab. 4: Rendement des systèmes de production agricoles (en équivalent grains)...	12
Tab. 5: Critères d'un développement durable.....	14
Tab. 6: Stratégies, pratiques et politiques pour une utilisation durable des terres....	15
Tab. 7: Facteurs de dégradation de la biomasse selon la densité de la population..	16
Tab. 8: Effet de la déforestation sur le ruissellement et l'érosion.....	20
Tab. 9: Différents types d'émission de gaz par type de combustion.....	23
Tab. 10: contribution du brûlage de la biomasse aux émissions globales du carbone	23
Tab. 11: Emissions de gaz issues de la combustion de la biomasse	25
Tab. 12: Population de bovins, ovins et caprins au Bénin en 2000	33
Tab. 13: Utilisation des terres dans les anciens départements au Bénin	33
Tab. 14: Transects de l'enquête exploratoire.....	34
Tab. 15: Répartition des parcelles d'observation et de collecte des données	37
Tab. 16: Description des scénarios	44
Tab. 17: Systèmes d'utilisation du terroir dans l'Ouémé supérieur.....	47
Tab. 18: Superficie (%) par systèmes de cultures de l'Ouémé supérieur	52
Tab. 19: Superficie (%) cultivée par principaux systèmes de cultures.....	53
Tab. 20: Quelques paramètres des systèmes de cultures de l'Ouémé supérieur.....	54
Tab. 21: Variétés d'igname par village dans l'Atacora et le Borgou.....	55
Tab. 22: Production de la biomasse et efficacité d'utilisation de la pluie des différents systèmes de cultures à Doguè et à Sérou	71
Tab. 23: Production calorique et efficacité d'utilisation de la pluie des différents systèmes de cultures à Doguè et à Sérou	72
Tab. 24: Production protéique, lipidique et efficacité d'utilisation de la pluie des différents systèmes de cultures à Doguè et à Sérou	73
Tab. 25: Distribution des superficies (%) par système de cultures et par transect ...	75
Tab. 26: Principales cultures venant en tête de rotations selon la disponibilité des terres et la provenance des terres défrichées.....	81
Tab. 27: Principaux systèmes de rotation du bassin versant de l'Ouémé supérieur.	82
Tab. 28: Estimation de la superficie des cultures et des jachères dans le Borgou et Donga	90
Tab. 29: Poids spécifiques foliaires des différentes cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur	93
Tab. 30: LAI cumulé des ligneux dans les différents écosystèmes.....	93
Tab. 31: Nombre d'arbres par hectare à Doguè et à Sérou.....	95
Tab. 32: Aptitudes d'association des cultures vivrières à l'agroforesterie à Sérou ...	97
Tab. 33: Valeurs du pH, C et N dans les premiers 20 cm du sol des différents écosystèmes à Doguè et à Sérou.....	102
Tab. 34: Texture des sols dans les différents écosystèmes à Sérou et à Doguè ...	103
Tab. 35: Principaux paramètres écologiques dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur	119
Tab. 36: Importance du poids foliaire spécifique dans l'estimation du stock de carbone et de la consommation en eau.....	120
Tab. 37: Biomasse totale des différents écosystèmes à Doguè et à Sérou.....	122

Liste des tableaux

Tab. 38: Production et partition de la litière dans les différents écosystèmes à Doguè et à Sérrou entre Août 2001 et Juillet 2002.....	125
Tab. 39: Estimation de la production primaire nette (NPP) et de l'accroissement annuel de la biomasse (ΔB).....	128
Tab. 40: Conversion de la litière foliaire au sol en LAI.....	131
Tab. 41: Décomposition de la litière dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	133
Tab. 42: Ecovolume des différents systèmes de cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	134
Tab. 43: Biovolume et Ecovolume des différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	135
Tab. 44: Phases et caractéristiques de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres.....	145
Tab. 45: Evolution de la superficie agricole dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur selon différents scénarios.....	146
Tab. 46: Evolution de la superficie des formations naturelles dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur selon différents scénarios.....	147
Tab. 47: Estimation du surpâturage dans les anciens départements du Borgou et de l'Atacora.....	150
Tab. 48: Estimation de la biomasse aérienne par la méthode BROWN & GASTON (1996) dans le département de la Donga pour 2002.....	159
Tab. 49: Prédiction de la phytomasse aérienne par écosystème de l'Ouémé supérieur.....	159
Tab. 50: Evolution de la biomasse totale et de la production primaire nette (NPP) dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	161
Tab. 51: Evolution de la chute de la litière dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	163
Tab. 52: Stock de carbone dans les différents écosystèmes des villages Doguè et Sérrou.....	164
Tab. 53: Evolution du stock de carbone dans l'Ouémé supérieur.....	166
Tab. 54: Emissions du CO_2 ($g\ m^{-2}\ h^{-1}$) à travers la respiration du sol dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	173
Tab. 55: Coefficient m d'émission du carbone du sol dans l'Ouémé supérieur.....	177
Tab. 56: Evolution des émissions du carbone dans l'Ouémé supérieur.....	178
Tab. 57: Emissions cumulées du carbone dues aux changements d'utilisation des terres dans l'Ouémé supérieur.....	179
Tab. 58: Besoins caloriques, protéiques et lipidiques par habitant.....	184
Tab. 59: Dimensions d'une exploitation agricole familiale.....	185
Tab. 60: Actuelles productions caloriques, protéiques et lipidiques.....	186
Tab. 61: Taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques.....	187
Tab. 62: Prédiction de l'évolution des taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques dans l'Ouémé supérieur.....	188
Tab. 63: Capacité de charge humaine et charge humaine réelle des terres.....	192
Tab. 64: Productions potentielles des principaux systèmes de cultures intensifiés dans l'Ouémé supérieur.....	198
Tab. 65: Seuils limites de la superficie des cultures vivrières par habitant et de la capacité de charge humaine des terres en cas d'intensification agricole.....	200

LISTE DES FIGURES

Fig. 1: Modèle d'impact de la croissance démographique, des systèmes de production agricole et de la variabilité saisonnière des pluies sur l'utilisation du terroir, la sécurité alimentaire et la séquestration du carbone	4
Fig. 2: Position de l'étude dans l'interdisciplinarité du projet IMPETUS.....	5
Fig. 3: Structure du travail.....	6
Fig. 4: Localisation géographique de la zone d'étude.....	28
Fig. 5: Schéma représentant les parcelles de collecte des données	36
Fig. 6: Occupation des terres (%) et apports des calories (%) par système de cultures dans l'Ouémé supérieur.....	53
Fig. 7: Disposition des semenceaux d'igname dans les buttes.....	57
Fig. 8: Différents systèmes de disposition des buttes de la variété d'igname « Kebgè » à Doguè.....	59
Fig. 9: Calendriers culturels dans l'Ouémé supérieur et l'Ouémé moyen.....	76
Fig. 10: Disposition des tubercules d'igname et de manioc dans les buttes à la récolte.....	78
Fig. 11: Disposition des champs selon la disponibilité des terres dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	80
Fig. 12: Alternance des jachères longues et courtes	86
Fig. 13: Schématisation de l'estimation de la superficie en jachère et de la superficie agricole totale sur base de l'indice R de Ruthenberg	88
Fig. 14: Evolution de l'indice foliaire dans un champ d'igname à Doguè	90
Fig. 15: Indice de la surface foliaire dans une association : maïs + niébé	91
Fig. 16: Evolution de l'indice foliaire dans une association: igname + niébé + mil à Sérrou	92
Fig. 17: Surface terrière des ligneux dans l'Ouémé supérieur	95
Fig. 18: Humidité du sol entre et à l'intérieur des buttes d'igname	99
Fig. 19: Systèmes d'association à base d'igname tenant compte de la disponibilité en eau	100
Fig. 20: Fertilité des sols à Doguè et à Sérrou selon l'échelle de la fertilité en fonction du pH et de l'azote totale (Ministère de la coopération, 1993).....	102
Fig. 21: Biomasse totale des différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé	122
Fig. 22: Evolution de la chute de la litière dans différents écosystèmes de Sérrou .	124
Fig. 23: Evolution de la chute de la litière dans différents écosystèmes de Doguè	124
Fig. 24: Production et partition de la litière dans les différents écosystèmes à Doguè et à Sérrou entre Août 2001 et juillet 2002.....	125
Fig. 25: Classification des formations végétales sur base de la chute de la litière .	130
Fig. 26: Ecovolume des différents systèmes de cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur	134
Fig. 27: Biovolume et écovolume des différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur	135
Fig. 28: Prédiction du biovolume et de l'écovolume en 2020.....	136
Fig. 29: Phases d'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres	141
Fig. 30: Prédiction de l'évolution de la superficie agricole dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur	147
Fig. 31: Classification par scénario de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres dans l'Ouémé supérieur	149

Fig. 32: Différence entre la capacité de charge et la charge réelle des pâturages en 2000 sur l'ensemble du terroir des anciens départements Borgou et Atacora..	151
Fig. 33: Phytomasse aérienne de l'Ouémé supérieur en 2020	160
Fig. 34: Phytomasse totale dans l'Ouémé supérieur	162
Fig. 35: Prédiction de la chute de la litière pondérée sur la superficie totale du bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	163
Fig. 36: Stock de carbone dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur	165
Fig. 37: Prédiction du stock de carbone dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur	166
Fig. 38: Evolution de l'importance des feux de brousse par rapport à la densité démographique.....	169
Fig. 39: Evolution intra-annuelle de la chute de la litière et de la respiration dans la forêt dense sèche semi-décidue de Sérou	173
Fig. 40: Moyenne annuelle de la respiration du sol dans les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur	174
Fig. 41: Evolution intra-annuelle des émissions du CO ₂ (t ha ⁻¹ an ⁻¹) à travers la respiration du sol dans les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur	174
Fig. 42: Respiration du sol en fonction de l'humidité dans une plantation d'anacardiens à Doguè.....	175
Fig. 43: Emissions (à travers le brûlage de la biomasse et la respiration du sol) et la séquestration (à travers la production de la biomasse) du carbone dans l'Ouémé supérieur.....	179
Fig. 44: Prédiction des émissions cumulées du carbone dans l'Ouémé supérieur .	180
Fig. 45: Taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques à Doguè et à Sérou	188
Fig. 46: Prédiction des taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.....	189
Fig. 47: Comparaison de la capacité de charge des terres	194
Fig. 48: Productions caloriques des différents systèmes de cultures de Doguè et Sérou	195
Fig. 49: Productions protéiques des différents systèmes de cultures de Doguè et Sérou	195
Fig. 50: Productions lipidiques des différents systèmes de cultures de Doguè et Sérou	195
Fig. 51: Possibilités d'ajustement de la productivité agricole sous la contrainte d'une superficie agricole constante et de l'accroissement démographique.....	201

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Participation des paysans dans l'estimation de l'utilisation des terres.....	35
Photo 2: Formations naturelles et collecte de la litière à l'aide des trappes à litière .	42
Photo 3: Plants d'ignames enroulés (a) et couvrant complètement les buttes (b)	57
Photo 4: Champ de manioc comme pseudo-jachère à Sérou	60
Photo 5: Champs de sorgho dévasté par la striga à Sérou	66
Photo 6: Association riz- maïs à Doguè.....	67
Photo 7: Champs de coton modérément bien entretenus	69
Photo 8: Typologies des jachères des jachères à Sérou.....	83
Photo 9: Plants de sorgho plus verdoyants sous un arbre de Karité à Sérou.....	96
Photo 10: Destruction de la biomasse par écobuage	98

Liste des figures et des photos

Photo 11: Plants de sorgho entre les buttes d'igname à Sérrou	100
Photo 12: Champs de maïs décimé par la sécheresse en octobre 2001 à Sérrou ..	112
Photo 13: Mesure de la respiration du sol et de la chute de la litière dans une plantation d'anacardiens à Doguè	155
Photo 14: Efficacité des feux de brousse estimée par les paysans et mesurée	170
Photo 15: Collines du Rwanda avec des structures contre l'érosion	193

LISTE DES SIGLES

ADRAO: Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest
(Centre du Riz pour l'Afrique)

BMBF : Bundesministerium für Bildung und Forschung (Ministère Fédéral de la
Formation et de la Recherche)

C/N: rapport carbone/azote

C: Carbone

CARDER : Centre d'Action Régional pour le Développement Rural (Bénin)

CENATEL: Centre National de Télédétection (Bénin)

FAO : Food and Agriculture Organisation of the United Nations (Organisation des
Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

g cm^{-3} : gramme par centimètre cube

$\text{g ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$: gramme par hectare et par an

g kg^{-1} : gramme par kilogramme

$\text{g m}^{-2} \text{ an}^{-1}$: gramme par mètre carré et par an

$\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$: gramme par mètre carré et par heure

$\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$: gramme par mètre carré et par millimètre (de pluie)

g m^{-3} : gramme par mètre cube

g: gramme

GLOWA : Global Change in the Hydrological Cycle

GPS: Global Positioning Systems

$\text{ha actif agr.}^{-1}$: hectare par actif agricole

ha pers.^{-1} : hectare par personne

ICRAF: International Center for Research in Agroforestry

IMPETUS : Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen
Umgang mit Süßwasser in Westafrika

INRAB: Institut National des Recherches Agricoles du Bénin

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

IPGRI: International Plant Genetic Resources Institute

ISRIC: International Soil and Reference Information Centre

$\text{kcal ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$: kilocalorie par hectare et par an

kcal kg^{-1} : kilocalorie par kilogramme

kcal m^{-3} : kilocalorie par mètre cube (d'eau)

kg ha⁻¹ mm⁻¹: kilogramme par hectare et par millimètre (d'eau)

kg m⁻²: kilogramme par mètre carré

kg m⁻³: kilogramme par mètre cube

LAI: Leaf Area Index

m³ ha⁻¹: mètre cube par hectare

m³ pers.⁻¹ an⁻¹ : mètre cube par personne et par an

mg cm⁻²: milligramme par centimètre carré

mm: millimètre

MO: Matière organique

MWF : Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen

N: Azote

Na: Sodium

NPK: Azote, phosphore et potassium

NPP: Net Primary Production

pers. ha⁻¹ : personnes par hectare

pH: Potentiel hydrogène

SMIAR: Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide

t ha⁻¹ an⁻¹: tonne par hectare et par an

t ha⁻¹: tonne par hectare

TDR: Time Domain Reflectometry

UBT: Unité Bovine Tropicale

UGB: Unité Gros Bétail

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

WARDA: West Africa Rice Development Association (depuis 2002: Africa Rice Center)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Quelques parcelles de collectes des données et leur utilisation.....	228
Annexe 2: Dominance (%) des différentes espèces dans les parcelles de Sérrou ..	229
Annexe 3: Dominance (%) des différentes espèces dans les parcelles de Doguè .	230
Annexe 4: Chute de la litière dans les écosystèmes de Doguè et Sérrou (en t ha ⁻¹)	231
Annexe 5: Prédiction de l'utilisation du terroir dans l'Ouémé supérieur.....	232

0. Introduction générale

0.1. Problématique

Plusieurs travaux scientifiques indiquent que le monde est de plus en plus confronté aux changements climatiques (IPCC, 2001; BONKOUNGOU, 1996). Des études météorologiques réalisées en Afrique de l'Ouest montrent que depuis les années 1970 les précipitations sont sujettes à des fluctuations aussi bien temporelles, spatiales que quantitatives (JANICOT, 2003; IPCC, 2001).

Ces perturbations climatiques sont attribuées au réchauffement de la terre causé par les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (IPCC, 2000a) dont celles du CO₂ (60%) sont les plus importantes (IPCC, 1997). Alors que dans les pays industrialisés les émissions du carbone proviennent principalement de l'utilisation massive d'énergies fossiles, dans les pays tropicaux elles sont particulièrement dues à la déforestation, combustion de la biomasse et à la mise en exploitation agricole des formations naturelles (LAL, 1996 ; THENKABAIL *et al.* 2002). En Afrique où les forêts représentent 17 % des surfaces forestières mondiales, le taux de déforestation annuel moyen entre 1980 et 1990 y était de 0.8% alors qu'au niveau mondial il n'était que de 0.2% (FAO, 2001). Entre 1990 et 2000, le taux annuel de déforestation a légèrement diminué (0,7%) mais reste le plus élevé (FAO/FOP, 2005). Ces moyennes ne reflètent cependant pas des disparités qui existent, d'une part entre les pays et d'autre part à l'intérieur d'un même pays. C'est ainsi que le taux annuel de déforestation au Bénin se situe autour de 1,2% (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1999) alors qu'il est d'environ 2% dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur (vers le Nord du Bénin).

NYE & GREENLAND (1960) ont démontré que la conversion des formations naturelles en superficies agricoles occasionne une perte de carbone organique de 37.6 t ha⁻¹ dans les 25 premiers cm du sol endéans une période de 10 ans. Les feux de brousse ainsi que le brûlage des résidus de récolte constituent également une des principales sources d'émission du carbone dans les régions tropicales (MAKUNDI, 1998; MULINDABIGWI & JANSSENS, 2002). BROWN & GASTON (2001) ont également démontré que la diminution de la phytomasse totale est

fonction de la densité démographique. En 1980, la biomasse totale de l'Ouémé supérieur était déjà estimée entre 50 et 100 t ha⁻¹ alors que la biomasse potentielle oscille entre 100 et 200 t ha⁻¹. Cette diminution correspondait déjà en 1980 à une émission de carbone d'environ 45-90 t ha⁻¹ dans l'Ouémé supérieur.

Selon le directeur général de la FAO, la croissance démographique, l'absence de stratégies de développement économique régionale et nationale ainsi que le manque de législation foncière effective sont à la base de cette déforestation toujours croissante. Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin, le taux d'accroissement de la population atteint dans certaines communes 4,9% dont environ 1,9% serait dû à la migration des personnes. La politique d'intensification agricole qui contribue positivement à la séquestration du carbone (LAL, 2002), directement par l'accroissement de la productivité en biomasse et indirectement par la réduction de l'extension des superficies agricoles (LAL, 2002 ; CANADELL, 2002) n'a jamais atteint ses objectifs. Les systèmes de production agricoles y restent traditionnels et surtout dominés par l'agriculture itinérante.

0.2. Objectifs et approche méthodologique

Pour garantir la sécurité alimentaire de la population toujours croissante, les agriculteurs du bassin versant de l'Ouémé supérieur recourent à l'extension des superficies agricoles. Cette extension se fait au détriment des ressources naturelles limitées et de la séquestration du carbone dans les écosystèmes terrestres. Il en résulte une forte dégradation environnementale et des émissions importantes du carbone. La présente recherche avait cinq principaux objectifs:

1. Description des systèmes de production agricole et de leur impact sur l'utilisation des terroirs;
2. Quantification de la séquestration et des émissions du carbone dans les différents systèmes d'utilisation du terroir;
3. Evaluation quantitative de la contribution des systèmes de production agricole actuels sur les changements climatiques ;
4. Analyse de la situation alimentaire dans un contexte de pression démographique et de variabilité saisonnière des pluies;
5. Etude des paramètres écologiques eu égard leur importance dans l'analyse de la dégradation des écosystèmes

De ces objectifs découlent les principales hypothèses suivantes:

1. Les systèmes de productions agricoles actuels au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur ne sont pas dotés de technologies susceptibles d'induire de meilleures productivités agricoles durables et sont par conséquent la principale cause à la détérioration des ressources naturelles.
2. Suite aux feux de brousses devenus très fréquents, la différence entre les différents écosystèmes eu égard leur séquestration totale³ du carbone est plutôt déterminée par le carbone stocké dans la phytomasse que par celui stocké dans le sol.
3. L'agriculture sur brûlis et les feux de brousse dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur entraînent de fortes émissions du carbone et contribuent ainsi au réchauffement global de la terre.
4. Même en cas de variabilité saisonnière des précipitations, l'intensification agricole soutenue par un développement rural intégré serait à mesure de garantir la sécurité alimentaire de la population toujours croissante.
5. La dégradation des écosystèmes ne peut pas être clairement analysée sur base de la surface de l'indice foliaire ni sur celle de la production primaire nette mais en utilisant plutôt la surface terrière, la biomasse totale ou l'éco-volume.

Afin d'atteindre ces objectifs, une enquête exploratoire a été conduite (septembre - novembre 2000 et avril 2001) dans treize villages répartis dans l'Ouémé supérieur et l'Ouémé moyen (Fig. 4). Les objectifs de cette enquête étaient particulièrement la collecte des informations sur les cultures, les différentes associations et rotations des cultures, les calendriers culturaux, la répartition des superficies, les systèmes de labour, la régularité des précipitations etc.. A l'issue du même enquête, deux villages ont été retenus pour la collecte ultérieure des données (de juillet 2001 à décembre 2002) :

Le village de Dogué représentant les villages ayant encore les possibilités d'extension des superficies agricoles en défrichant les formations naturelles et celui de Sérrou qui représente ceux ayant épuisé ces possibilités.

³ Séquestration totale du carbone d'un écosystème terrestre est la quantité totale de carbone stocké dans la biomasse, la litière et le sol

Les systèmes d'utilisation du terroir ont été regroupés en quatre classes :

Formations naturelles (Forêt dense semi-décidue; Forêt claire, Savanes), Jachères ; Plantations d'anacardiens ; Superficies emblavées sous autres cultures

Les plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale*) ont constitué une classe à part à cause surtout de leur importance croissante en terme de superficies et d'alternative au reboisement. Au niveau de chaque système d'utilisation du terroir, des données concernant la séquestration (biomasse, litière, carbone du sol) et l'émission (feux, respiration du sol) du carbone, la sécurité alimentaire (production agricole par système de culture, superficie agricole par exploitation agricole, nombre de personnes par exploitation agricole) ont été collectées. Les données ont été analysées grâce au logiciel STATGRAPHICS Plus 5.1 et utilisées dans un modèle d'impact (Fig. 1) de la croissance démographique, des systèmes de production et des précipitations sur la durabilité des écosystèmes.

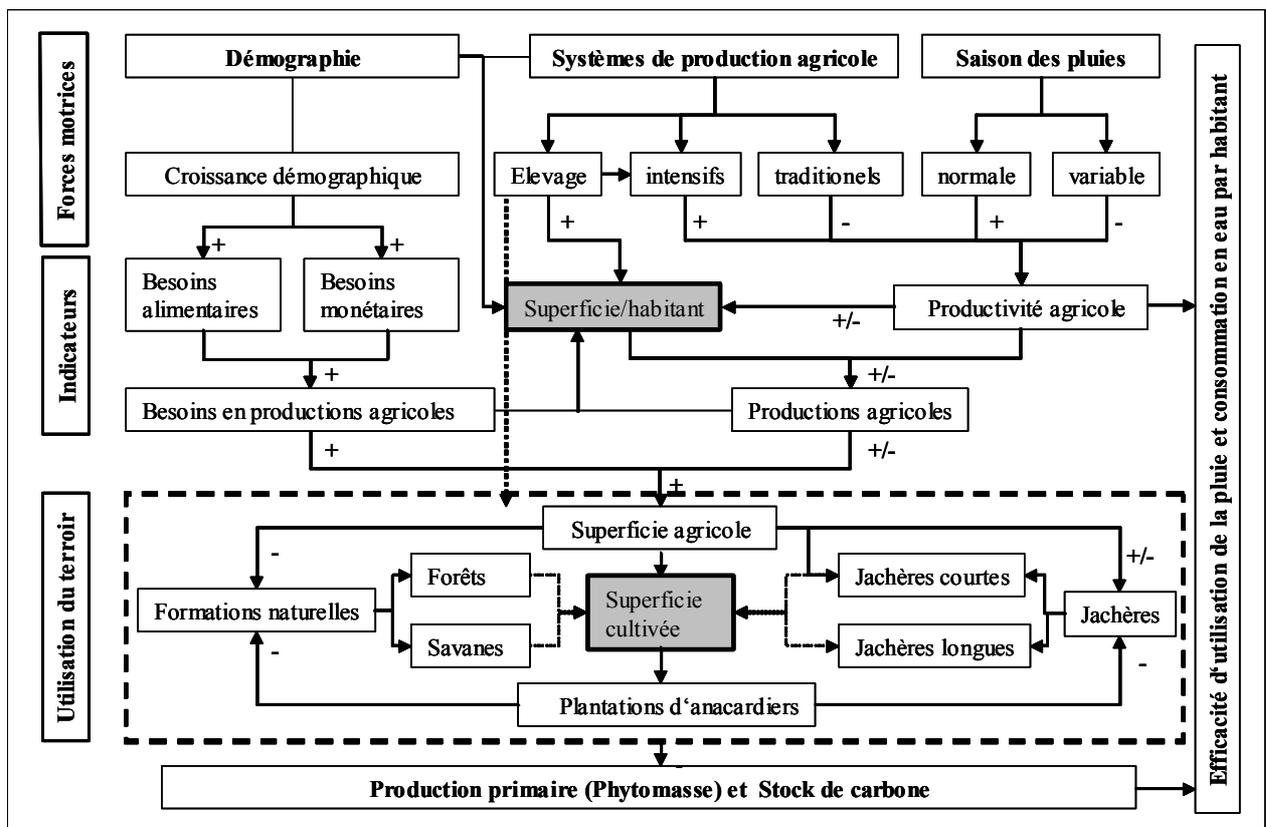


Fig. 1: Modèle d'impact de la croissance démographique, des systèmes de production agricole et de la variabilité saisonnière des pluies sur l'utilisation du terroir, la sécurité alimentaire et la séquestration du carbone

0.3. Cadre de la recherche

Le présent travail fait partie d'un ensemble de travaux de recherches réalisés au sein du projet de recherche interdisciplinaire IMPETUS où l'eau constitue l'axe pivot de tous ces travaux (Fig. 2). La contribution du présent travail est de faciliter la compréhension des systèmes de production agricoles qui jouent un rôle moteur dans les changements des systèmes d'utilisation de l'ensemble du terroir de l'Ouémé supérieur. Ces changements contribuent à leur tour aux fluctuations climatiques. Ce travail apporte des indications qualitatives et quantitatives de la dégradation des écosystèmes et de la sécurité alimentaire accompagnant les changements d'utilisation du terroir.

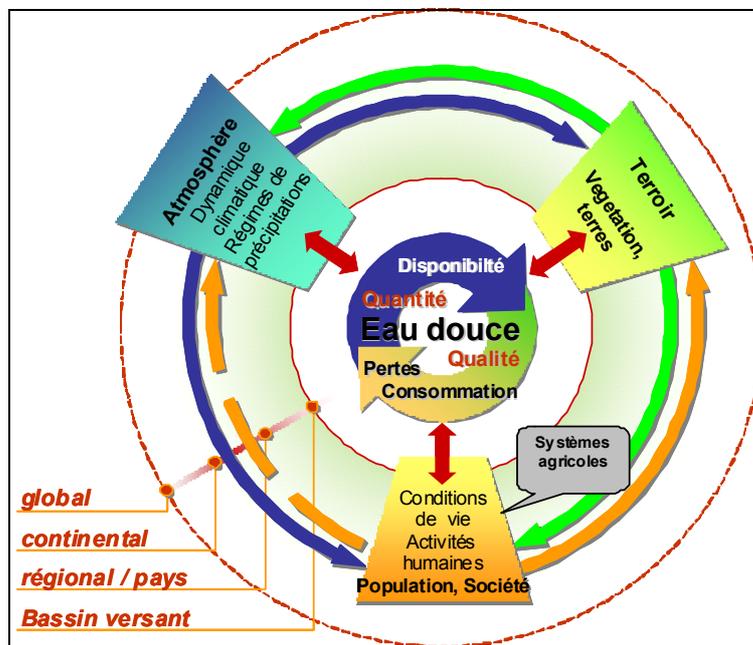


Fig. 2: Position de l'étude dans l'interdisciplinarité du projet IMPETUS (modifié et traduit en Français à partir du diagramme d'interdisciplinarité du projet IMPETUS)

0.4. Structure du travail

Le présent travail comprend huit chapitres : (1) Revue de la littérature et caractéristiques du milieu; (2) Méthodologie générale; (3) Description des systèmes de production agricole; (4) Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation; (5) Prédiction de l'extension des superficies agricoles; (6) Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies; (7) Situation alimentaire et perspectives d'avenir;

(8) Conclusions et recommandations générales. La succession et l'interdépendance de ces chapitres sont présentées dans la Fig. 3.

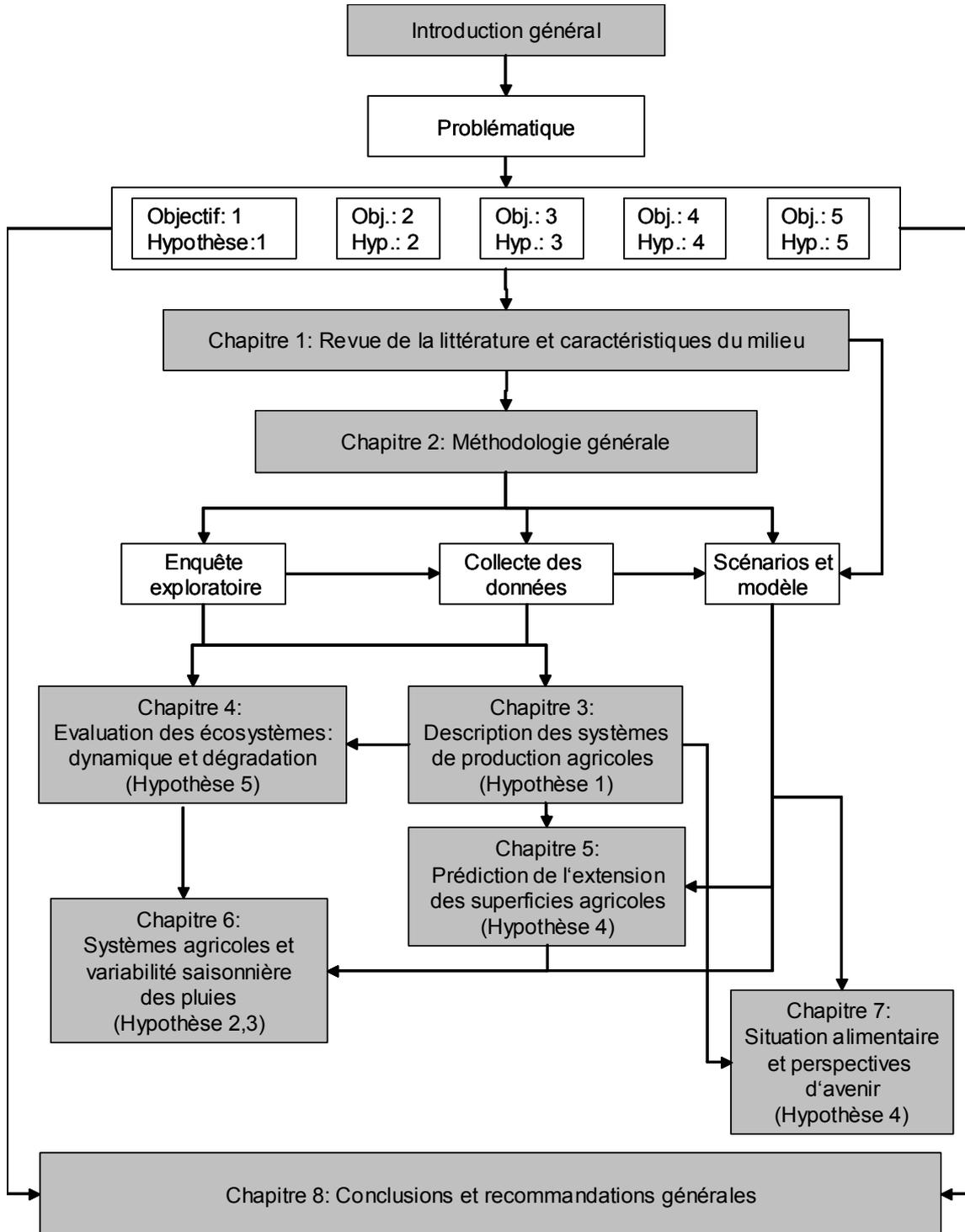


Fig. 3: Structure du présent travail

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

1.1. Revue de la littérature

1.1.1. Systèmes de production agricoles

1.1.1.1. Définition

CHOMBART DE LAUWE (1963) définit un système de production agricole comme étant une combinaison des productions et des facteurs de production dans une exploitation agricole. Il définit cette dernière comme une unité économique dans laquelle l'agriculteur pratique un système de production en vue d'augmenter son profit. Pour RUTHENBERG (1980), l'exploitation agricole est à la fois un écosystème et une unité indépendante d'activités économiques, les deux constituant à la fois un important système du monde rural. FRESCO (1985) cité par BEETS (1990) rapporte que les systèmes de production agricole sont principalement déterminés par les facteurs naturels et socio-économiques (Tab. 1).

Tab. 1: Facteurs déterminants des systèmes de production agricoles

Naturels		Socio-économiques	
Physiques	Biologiques	Endogènes	Exogènes
Climat	Plante	Composition familiale	Population
Topographie	Elevage	Santé et nutrition	Droit foncier
Sols	Ravageurs	Education	Opportunités en dehors de l'exploitation
Structure physique	Maladies	Préférences alimentaires	Infrastructures sociales
		Risques	Crédit
		Attitudes/objectifs	Marché
		Genre	Prix
			Technologie
			Approvisionnement en intrants
			Vulgarisation
			Epargnes

Source : FRESCO (1985) cité par BEETS (1990)

1.1.1.2. Typologies et évolution des systèmes de production agricole

Avec la croissance démographique et la pression démographique sur les terres, les agriculteurs adoptent différents systèmes de production agricoles (NETTING, 1968). RUTHENBERG (1980) spécifie que les systèmes de production agricole évoluent

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

des systèmes de cultures itinérants aux systèmes de cultures permanents en passant par les systèmes de production à jachères. Pour GREENLAND (1974) cette évolution des systèmes de production agricoles comprend plutôt quatre principales phases à savoir : Culture itinérante simple, Cultures récurrentes, Cultures récurrentes avec parcelles cultivées en continu, Cultures en continu (Tab. 2). FAO (1991) cité par OKIGBO BEDE, (1997) donne sept systèmes de production agricoles (Culture itinérante, Peu traditionnel, Modérément traditionnel, Traditionnel amélioré, Technologie modérée, Haute technologie, Technologie spécialisée) dont le classement est essentiellement basé sur le niveau technologique (Tab. 3).

En se basant sur le nombre d'années qu'une parcelle est sous cultures et le nombre d'années qu'elle reste en jachère, RUTHENBERG (1980) a défini l'indice d'intensité

agricole qui se calcule de la manière suivante :
$$R = 100 * \frac{N_c}{N_c + N_b}$$

N_c : nombre d'années qu'une parcelle est sous cultures

N_b : nombre d'années qu'une parcelle est en jachère

Pour GREENLAND (1974), l'agriculture itinérante a connu deux principaux stades d'évolution: le stade où les maisons et champs étaient abandonnés après un ou deux ans d'exploitation, et le stade où l'exploitation agricole pouvait durer parfois dix ans ou plus. OKIGBO BEDE & GREENLAND (1977) cités par FAO (1985) en utilisant le facteur d'utilisation des terres (Land Use Factor) de ALLAN (1965) ont introduit une autre classification des systèmes de productions agricoles.

Tab. 2: Systèmes de productions agricoles (OKIGBO BEDE & GREENLAND, 1977)

Systèmes traditionnels et transitionnels	L	Systèmes modernes et leur adaptation locale
1. a) Nomadisme b) Agriculture itinérante	10	1. Associations de l'agriculture 2. Elevage dans des ranches
2. Jachères préforestières	5-10	3. Intensification des productions animales
3. Agriculture sédentaire rudimentaire	2-4	4. Grandes exploitations et plantations
4. Agriculture de subsistance intensive sur des exploitations délimitées	2	a) grande partie des superficies vivrières utilise uniquement l'eau des pluies naturelles
5. a) Agriculture sur terrasses b) Agriculture inondée	1-2 1	b) Projets d'irrigation dans la production agricole c) Plantations arboricoles importantes
L = (C+F)/C où C: nombre d'années de cultures et F, nombre d'années de jachère		5. Spécialisation de l'horticulture a) Jardins pour le marché b) Plantations fruitières c) Commercialisation des fruits et légumes pour la transformation

Source: FAO (1985)

Même si le système de classification de Ruthenberg reste toujours largement utilisé, il présente des lacunes notamment le manque de distinction entre les systèmes de production à régime de pluies unimodale et bimodale ou le manque de considération de l'élevage dans la dégradation vs. l'amélioration de la fertilité des sols.

Une autre classification de DIXON *et al.* (2001) basée plutôt sur les principales activités agricoles et pastorales donne plusieurs typologies de systèmes de production agricole en Afrique subsaharienne (Irrigué, Axé sur la forêt, Riz-arboriculture, Cultures pérennes des hauts plateaux, Mixte tempéré des hauts plateaux, Mixte axé sur les céréales et les tubercules, Mixte axé sur le maïs, Associations de grandes exploitations commerciales et petits exploitants, Agropastoral axé sur le mil/sorgho, Pastoral, Dispersé (aride), Pêche côtière artisanale, Urbain). Cette classification livre des informations pertinentes sur les aptitudes de viabilité et d'adaptabilité économiques et environnementales de chaque système.

Tab. 3: Systèmes de production agricoles de Ruthenberg et Greenland

Systèmes de RUTHENBERG (1980)		Systèmes de GREENLAND (1974)	
R	Systèmes de production	L	Systèmes de production
<33	Systèmes itinérants	10	Culture itinérante
33<R<66	Systèmes à jachères	3-10	Cultures récurrentes
		2,5-3	Cultures récurrentes avec parcelles cultivées en continu
>66	Systèmes permanents	2	Cultures en continu

L : est l'intensité de cultures de ALLAN (1965). $L = \frac{C + F}{C}$ où C est le nombre d'années de cultures et F, le nombre d'années de jachère.

Source : RUTHENBERG (1980) & GREENLAND (1974)

1.1.1.3. Croissance démographique et systèmes de production agricoles

Selon BAHUCHET (1994), une augmentation de la population provoque soit une augmentation de la surface cultivée, soit une diminution de la surface disponible par tête, soit une diminution de la durée des jachères. Les systèmes de production agricoles itinérants qui sont les plus dominants dans les tropiques (OKIGBO BEDE. & LAL, 1979) sont à longs termes durables (PONCE-HERNANDEZ, 1999) à condition que la densité de la population ne dépasse pas 10 personnes au km² (BISHOP, 1984). GREENLAND (1996) le confirme en précisant que ces systèmes ne peuvent être durables que si les terres disponibles sont suffisantes pour que les champs restent en jachères suffisamment longues (dix an ou plus) pour régénérer la fertilité du sol. La croissance démographique et l'amélioration de l'espérance de vie entraînent cependant une pression démographique sur les terres qui vient rompre l'équilibre de ces systèmes de production agricoles (BISHOP, 1984). La réduction de la durée des jachères, la dégradation des sols, l'infestation des adventices et des maladies ainsi que la diminution de la productivité agricole sont autant de caractéristiques de cette rupture. Cette dégradation des sols entraîne une forte extension des superficies agricoles. Alors que la superficie agricole moyenne par habitant se situe entre 0.41 et 0.45 ha en Afrique, elle varie entre 0.68 et 0.73 ha sur

des sols à faible productivité (ALLAN, 1965). Toutefois, BOSERUP (1965) affirme que la croissance démographique constitue un facteur déterminant de changement des technologies agricoles.

1.1.1.4. Coexistence des systèmes de production agricoles

GREENLAND (1996) affirme que « le système de culture itinérante pratiqué sur les sols moins fertiles - qui sont les plus répandus - dans lequel des champs éloignés sont cultivés pendant quelques années avant d'être mis en jachère et les jardins potagers sont cultivés de manière continue avec l'apport de fumier, reste largement pratiqué aujourd'hui ». Dans une étude conduite au Sénégal, PELISSIER (1966) a constaté également que dans les villages où la pression démographique sur les terres est faible, toutes les étapes de l'évolution des systèmes de production agricoles se retrouvent simultanément ensemble sur un même terroir. Tout autour des habitations se trouvent en permanence les jardins de cultures annuelles parsemés de cultures permanentes. Quant aux terres plus reculées des villages, elles sont plutôt occupées par des systèmes de production itinérants. Entre les deux ceintures dominant les systèmes de production à jachères.

1.1.1.5. Productivités et durabilité des systèmes de production agricoles

Plus on avance dans l'évolution des systèmes de production agricoles plus le travail requis sera plus élevé (BOSERUP, 1965; BAHUCHET, 1994) et la consommation en énergie augmente également (BEETS, 1990; VLEK *et al.* 2004). En terme d'utilisation d'énergie, EVANS (1975) rapporte que l'efficacité d'utilisation de l'énergie est plus importante dans l'agriculture traditionnelle que dans l'agriculture moderne intensifiée. GREENLAND & HERRERA (1977) cités par JACKSON (1984) mentionnent qu'une calorie investie en agriculture produit 16 calories dans les systèmes de production itinérants contre seulement 3 calories aux Etats-Unis. Toutefois, OKIGBO BEDE (1997) reprenant FAO (1991) précise qu'en terme de rendements absolus, les systèmes de production agricoles techniquement spécialisés sont beaucoup plus productifs que ceux itinérants (7.0 contre 0.1 t ha⁻¹ équivalent grains) (Tab. 4). Subséquemment, le défi que doit relever les systèmes de production agricole est de pouvoir garantir des rendements agricoles à la hauteur de la croissance démographique sans pour autant compromettre l'environnement (GREENLAND, 1996 ; DIXON *et al.* 2001).

Tab. 4: Rendement des systèmes de production agricoles (en équivalent grains)

Systèmes de production	Rendement	Superficie	Terres arables
	(t ha ⁻¹)	(%)	(ha/personne)
Culture itinérante	< 0,1	2	2,60
Traditionnel	0,8	28	1,20
Modérément traditionnel	1,2	35	0,60
Traditionnel amélioré	2,0	10	0,17
Technologie modérée	3,0	10	0,11
Haute technologie	5,0	10	0,08
Technologie spécialisée	7,0	5	0,05

Source : FAO (1991) cité par GYASI & UITTO (1997)

1.1.1.6. Variabilité des précipitations et systèmes de production agricoles

En cas de variabilité des précipitations, la population émigre ou adopte les techniques de gestion d'eau (NARAYAN PANDEY *et al.* 2003) mais les risques de réduction des rendements ou d'abandon des cultures sont également énormes (KER, 1995). Les agriculteurs adoptent différentes stratégies (IPCC, 2001) dont un grand nombre d'entre elles sont incertaines (COLLINSON, 1989). Plus la variabilité des précipitations devient importante, plus l'élevage et la production des céréales occupent une place importante (KER, 1995; DIXON *et al.* 2001). Au Bénin, les deux ex-départements du nord (Atacora et Borgou) qui connaissent des précipitations aléatoires⁴ (IFAD, 1991), cumulent plus de la moitié de l'ensemble du cheptel bovin (768 399 sur 1 487 157) et maîtrise la culture attelée plus que le reste du Bénin (CENATEL, 2002). Sur 43217 attelages opérationnels que comptait le Bénin en 1992, le Borgou seul totalisait 37180 soit 86% (CENATEL, 2002). La Direction de l'Elevage estimait en 2000 le bétail de trait dans le Borgou et l'Alibori à 91 518 têtes soit 12% du nombre total de bovins dans ces deux anciens départements (ONIBON, 2004). La classification des systèmes de production agricole réalisée par DIXON *et al.* (2001) au niveau de l'Afrique montre également une prédominance du système agropastoral avec millet/sorgho dans la zone du Sahel caractérisée particulièrement par de fortes variabilités des précipitations.

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

Exception faite des sécheresses prolongées conduisant à l'exode des populations (EDJA, 1999; KER, 1995), l'extension des superficies agricoles constitue une des stratégies paysannes de lutte contre les variabilités des précipitations (BEETS, 1990; VIGLIZZO *et al.* 1995 cité par IPCC, 2001). DIXON *et al.* (2001) ont constaté que même en cas de sécheresse, les exploitations agricoles familiales des zones à faibles densités démographiques parviennent à produire assez de maïs pour leur consommation alors que celles disposant de moins de 0.5 ha connaissent des déficits alimentaires. Alors que la superficie agricole par habitant oscille entre 0.17 et 0.27 ha dans les régions du Kenya et de l'Ouganda à régime de pluies bimodal (ALLAN, 1965), elle devient 0.37 ha dans la région de Teso en Ouganda où les pluies de la deuxième saison sont incertaines (KER, 1995). En Afrique de l'Ouest, cette superficie est autour de 0.18 ha dans les conditions normales de précipitations et varie de 0.27 à 0.72 ha au nord du Ghana (ALLAN, 1965), qui est une zone semi-aride (FAO, 1985). Au Bénin, cette superficie variait également en 1995 de 0,16 ha par habitant dans le Mono au sud (régime bimodal) à 0,37 et 0,39 ha par habitant au nord (régime unimodale) respectivement dans les ex-départements Atacora et Borgou (FAO/SMIAR, 2001).

La diversification agricole, l'abondance des terres, l'accès à leur exploitation ainsi que la disponibilité de la culture attelée bovine sont autant de conditions permettant à l'agriculteur de faire face aux mauvaises précipitations (DIXON *et al.* 2001). Pour GREENLAND (1974), les systèmes de production agricoles ayant beaucoup plus de chances à surmonter les difficultés causées par les variabilités des précipitations sont surtout l'élevage et les céréales (surtout millet et sorgho). Les pâturages ou l'alternance de l'agriculture et de l'élevage sur les parcelles permettraient une accumulation de la matière organique dans le sol plus élevée que sur les autres parcelles cultivées (FELDPAUSCH *et al.* 2004).

PIERI (1989) en étudiant les rendements des cultures pluviales sur une période de 30 ans en Afrique de l'Ouest a conclu que leur variabilité interannuelle est largement expliquée par les fluctuations d'alimentation hydrique. RABOT (1984) et TOURTE *et al.* (1966) cités par PIERI (1989) ont respectivement montré que les rendements du maïs étaient en corrélation étroite avec le niveau de satisfaction des besoins en eau

⁴ http://www.ifad.org/evaluation/public_html/eksyst/doc/prj/r101bebf.html

et que la levée et la maturation constituaient des périodes critiques pour l'arachide. Compte tenu de l'inefficacité de certaines stratégies paysannes face à la variabilité des précipitations (KER, 1995 ; MBAREK *et al.* 2003), des mécanismes de prévision des précipitations s'avèrent indispensables pour informer les agriculteurs. En analysant les données des précipitations du Niger et du Kenya, STEWART (1989) a constaté que si la saison des pluies commence plus tôt, les principales cultures ont plus de chance de recevoir assez de pluies alors que si elle commence tardivement la quantité des pluies ainsi que la durée de la saison seront réduites.

1.1.2. Utilisation durable des terres

L'utilisation durable des terres s'intègre dans un cadre global de développement durable. Selon MURAI (1996), le développement devient déjà critique si le taux de déforestation se situe entre 0,5 et 1,0%, la superficie des forêts est de 15 à 20% et la superficie agricole par personne oscille entre 0,15 et 0,20 ha.

Tab. 5: Critères d'un développement durable

Activités humaines	Durable	Critique	destructive
Accroissement de la population (% p.a.)	<0,5	1,0-1,5	>2
Développement économique	3% < PNB<5%	8%<PNB<10	GNP>10%, PNB <0%
Taux de déforestation (% p.a.)	<0,1	0,5-1,0	>1
Couverture forestière (%)	>30	15-20	<10
Développement agricole (ha pers. ⁻¹)	>0,3	0,15-0,20	0,1
Autosuffisance (%)	>91	60-70	<50
Urbanisation			
Densité démographique (pers. ha ⁻¹)	<50	100-150	>200
Population d'une ville (million)	<0,5	>1	>10

Source : Traduit à partir de MURAI (1996) in : UITTO & ONO (1996)

La diminution des rendements agricoles due à la réduction de la durée des jachères entraîne l'extension des superficies agricoles au détriment des formations naturelles (BISHOP, 1978). L'extension annuelle des superficies agricoles en Afrique subsaharienne est estimée à 0.73 % (FAO, 2000 cité par DIXON *et al.* 2001). Les stratégies, les pratiques et les politiques d'utilisation durable des terres (Tab. 6) telles qu'elles sont énumérées par LAL (1994) concernent directement ou indirectement la matière organique du sol. Certaines pratiques agricoles peuvent stimuler une accumulation additionnelle de la matière organique dans le sol et en même temps accroître la productivité du sol (SCHLESINGER, 2000; ROBERT, 2001).

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

L'agroforesterie peut constituer également une solution à la déforestation et aux émissions du carbone (WASSMANN & VLEK 2004) ainsi qu'à l'agriculture itinérante (SANCHEZ *et al.* 1999 ; SANCHEZ, 1995) si les difficultés sociales et culturelles comme la gestion du terroir sont bien maîtrisées (ROBERT, 2001).

Tab. 6: Stratégies, pratiques et politiques pour une utilisation durable des terres

Stratégies et processus	Pratiques et gestion	Politiques et incitations
Accroître la teneur en matière organique du sol	Labour conservationniste,	Respect des principes de conservation, Prix incitatifs et facilités de commercialisation, Participation des agriculteurs à la recherche et au développement, Appui logistique et formation, Infrastructures
Améliorer la structure du sol	Cultures en paillis,	
Accroître la biodiversité du sol	Cultures couvrantes et jachères améliorées,	
Minimiser les pertes dues à l'érosion et à la dégradation	Agroforesterie, Assolement avec prairies temporaires,	
Augmenter les réserves et le recyclage en éléments nutritifs	Apport équilibré d'engrais, Cultures et cultivars améliorés et nouvelles cultures	

Source : LAL (1994)

1.1.2. Matière organique et utilisation durable des terres

1.1.3.1. Production et importance de la biomasse

La biomasse constitue un des facteurs importants de l'implémentation du protocole de Kyoto sur la convention des changements climatique (THENKABAIL *et al.* 2002 ; IPCC, 2003). Sous une couverture végétale dense d'une forêt ou d'une jachère, la matière organique du sol augmente (NYE & GREENLAND, 1960). La biomasse ne contribue pas uniquement à enrichir le sol en matière organique, mais également à le protéger contre l'érosion et l'évaporation de l'eau du sol (ROOSE, 1994; WALLACE, 2000). OKIGBO BEDE (1997) citant LAL & OKIGBO (1990) rapporte que la destruction de la biomasse par les feux constitue un important facteur de dégradation des terres au Nigeria. KER (1995) ajoute que sous une végétation naturelle non perturbée (ni par l'action humaine, ni par celle des animaux domestiques) la surface

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

du sol est protégée par la litière et le feuillage. L'érosion y est par conséquent négligeable. Dans des systèmes de production agricole itinérants, SANCHEZ (1976) est arrivé à conclure que les dégâts de l'érosion y sont également limités. Certains systèmes de cultures dont ceux d'arachide à faible production en biomasse exposent le sol à de forte érosion pluviale (FLOQUET & MONGBO, 1998 cités par van den AKKER, 2000; ROOSE, 1994). Selon LAL (1975), la biomasse au dessus du sol évite également les températures excessives du sol, maintient la capacité d'échange cationique et l'activité des organismes du sol.

Plus la végétation naturelle cède place aux surfaces agricoles, plus il y a une diminution de la production en biomasse (BROWN, 1996 ; ROBERT, 2001) et de la matière organique du sol (NYE & GREENLAND, 1960; ROBERT, 2001). MOSANGO (1991) rapporte également que la biomasse aérienne d'une forêt primaire se situe autour de 474 t ha⁻¹ alors que celle d'une jachère préforestière n'atteint que 103 t ha⁻¹. BROWN & GASTON (2001) sont parvenus à construire un modèle où la détérioration de la production de la biomasse est fonction de la densité démographique (Tab. 7).

Tab. 7: Facteurs de dégradation de la biomasse selon la densité de la population

Ecosystème	Densité de la population	Ratio de dégradation	n	R ²
Forêt dense	> 12	DR = 0,847-0,091*ln(PD)	25	0,72
	≤ 12	DR = 1-0,032*PD		
Forêt claire	> 7	DR = 0,866-0,118*ln(PD)	10	0,54
	≤ 7	DR = 1-0,050*PD		

DR : Ratio de dégradation, PD : densité de la population (habitants km⁻²), n : effectif

Source : BROWN & GASTON (1996)

1.1.3.2. Production et importance de la litière

DUVIGNEAUD *et al.* (1969) définissent la litière comme « une masse organique très complexe, formée par tous les débris organiques déversés à la surface du sol par la végétation et la faune forestière ». Alors que ROBERT (2001), citant différents auteurs, estime la chute de la litière annuelle à 8 – 9 kg m⁻² pour les régions

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

tempérées (DUPOUEY *et al.* 1999) et à 5 - 6 kg m⁻² pour la forêt tropicale sur ferralisol (ANDREUX & CHONÉ, 1993), MOSANGO (1991) rapporte que cette production varie de 8,0 à 15.3 t ha⁻¹an⁻¹ en Afrique (avec des maximums à l'équateur) et de 4,8 à 21,9 t ha⁻¹an⁻¹ en Amérique. Dans les Alpes bavaroises MONSANDL (1991) cité par BURSCHEL *et al.* (1993) a trouvé une production de la litière oscillant entre 2,9 et 4,0 t ha⁻¹an⁻¹. La production annuelle de la litière diminue à mesure que l'on passe des basses vers les hautes latitudes (MOSANGO, 1991). Dans une forêt dense semi-décidue de Pobès (6° 57' N) au Bénin, SOKPON (1995) a obtenu une production de 7,5 - 9,4 t ha⁻¹an⁻¹ (dont 6,4 – 7,1 t ha⁻¹an⁻¹ de feuilles). Au niveau de l'Europe, DUVIGNEAUD (1969) a trouvé une production de 5,2 - 7,6 t ha⁻¹an⁻¹ (dont 3,2 t ha⁻¹an⁻¹ de feuilles). SANKARAN *et al.* (1993) ajoutent que la production et l'accumulation de la litière dépendent également de la densité, la surface basale et la structure de la végétation, de l'altitude et de la saison. Au moment où la chute de la litière foliaire suit une certaine évolution saisonnière (MOSANGO, 1991; SOKPON, N., 1995), celle des rameaux ne présente aucune périodicité saisonnière (MOSANGO, 1991).

La fraction des feuilles dans la chute totale de la litière constitue un paramètre important dans l'estimation de la production primaire nette (WEBB *et al.* 1983). CLARK *et al.* (2001) définissent la production primaire nette (NPP) comme étant la matière organique totale produite pendant un intervalle de temps précis. Quant à l'accroissement de la biomasse, c'est la différence entre la NPP et les pertes en biomasse constituées principalement de la litière (CLARK *et al.* 2001 ; ZHONG LI *et al.* 2002). La chute de la litière constitue la plus importante partie de la NPP et est le plus souvent mesurée dans les différents écosystèmes forestiers (CLARK *et al.* 2001).

La quantité de litière au sol dépend particulièrement de la chute des débris végétaux et de leur vitesse de décomposition (MOSANGO, 1991; JENNY *et al.* 1949 ; OLSON, 1963).

JENNY *et al.* (1949) ont défini le coefficient k de décomposition de la litière dit de

Jenny : $k = \frac{L}{(L + X)}$ où L est l'apport annuel de litière et X le litière au sol à un

moment donné.

OLSON (1963) a également défini un autre coefficient k de décomposition de la litière dit d'Olson : $k = \frac{L}{X}$.

La vitesse de décomposition de la litière est fonction de la température, de l'humidité (ZHAO XUEYONG, 1992; WILLIAM *et al.* (1989) et de la faune du sol ainsi que de la composition de la litière (WILLIAM *et al.* 1989). Cette vitesse de décomposition est plus importante dans les régions tropicales que dans les régions tempérées (JENNY *et al.* 1949 ; OLSON, 1963 ; STOHLGREN, 1988). Cette décomposition est rapide pour les températures et l'humidité du sol élevées (WILLIAM *et al.* (1989). Les termites très abondantes dans les sols sableux constituent un facteur déterminant de la décomposition de la litière (SOKPON, 1995). Elles peuvent consommer 27 % de la production annuelle de la litière (LEPAGE, 1982 cité par DEVINEAU, 1984).

La litière a toujours été et continue d'être un produit d'intérêt économique, exploité par l'homme comme engrais organique (DUVIGNEAUD *et al.* 1969 ; GREENLAND, 1996). Elle permet de protéger le sol contre l'érosion (KER, 1995) grâce à son rôle de premier plan dans la protection du sol contre les effets des pluies et contre la désintégration du sol (FALKENMARK, 1989). KER (1995) et LAL (1975) affirment qu'en limitant l'évaporation et les températures excessives du sol, le paillage améliore les réserves en eau du sol. Dans une étude conduite en République Démocratique du Congo de 1948 à 1957, sans aucun apport d'engrais, le paillage a permis d'améliorer les rendements du coton du simple (386 kg ha⁻¹) au triple (1174 kg ha⁻¹) (JURION & HENRY, 1969 cités par KER, 1995). Les mêmes résultats ont été également obtenus par l'Institut de Recherche Agronomique Tropicale (IRAT) sur la culture du sorgho au Burkina Faso. Pendant une période allant de 1962 à 1981, une faible dose d'engrais combiné au paillage a permis de passer de 208 kg ha⁻¹ (témoin) à 1180 kg ha⁻¹ de grains de sorgho (FAO, 1995).

1.1.3.3. Importance et dynamique de la matière organique du sol

La matière organique du sol est fonction des apports et du taux de décomposition de la litière (NYE & GREENLAND, 1960; ROBERT, 2001; WILLIAM *et al.* 1989). Selon GREENLAND (1996), elle atteint des valeurs plus élevées sous les formations végétales naturelles. GREENLAND & NYE (1959) cités par WILLIAM *et al.* (1989)

rapportent que généralement sous les tropiques, la forte décomposition de la matière organique du sol, causée par des températures élevées et l'humidité suffisante, est compensée par une production de litière plus élevée qu'en zone tempérée (SANCHEZ, 1976 cité par WILLIAM *et al.* 1989 ; MOSANGO, 1991). Ceci explique en partie pourquoi il n'existe pas de grande différence entre la matière organique des sols des régions tropicales et celle des régions tempérées (WILLIAM *et al.* 1989). Une fois qu'un sol tropical est cultivé, la matière organique diminue rapidement (BIRCH & FRIEND, 1956; NYE & GREENLAND, 1960). NYE & GREENLAND (1960) dans une étude conduite en Afrique de l'Ouest, ont constaté qu'endéans seulement 10 ans de mise en exploitation agricole, après une déforestation, la matière organique avait diminué de 50%. Les résultats similaires (40 à 50% pendant quelques décades) sont observés par ROBERT (2001), précisant que la moitié de cette perte se situe au cours des cinq premières années d'exploitation.

Alors que WILLIAM *et al.* (1989) pensent qu'il n'existe pas de corrélation directe entre la matière organique et la fertilité du sol, GREENLAND (1996) montre l'importance de la matière organique dans la productivité des sols, plus particulièrement des sols tropicaux. Outre sa contribution à l'amélioration de la rétention de l'eau par le sol (EHLERS, 1996), la matière organique améliore la disponibilité du phosphore à la plante, stabilise des agrégats du sol et permet la survie de la faune (GREENLAND, 1996) et améliore la structure du sol (van WAMBEKE, 1974). KER (1995) affirme que cette matière organique constitue un facteur crucial des sols de savanes.

1.1.4. Séquestration et émission du carbone par les écosystèmes terrestres

La séquestration du carbone telle qu'elle est définie par BURRAS *et al.* (2001) se réfère au stock de carbone dans sa forme solide par la fixation du CO₂ atmosphérique. Par rapport au sol, la fixation directe se fait à travers les réactions chimiques inorganiques (carbonates de calcium ou de magnésium) alors que la fixation indirecte s'opère lors de la photosynthèse des plantes (BURRAS *et al.* 2001). Le bilan du carbone permet de distinguer les puits des sources de carbone. Par rapport à la plante, JANSSENS *et al.* (2000) définissent le puit comme étant une partie de la plante qui consomme des hydrates de carbone alors que la source constitue une partie de la plante produisant les hydrates de carbone.

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

Les écosystèmes forestiers peuvent contenir entre 20 et 50 fois beaucoup plus de carbone par unité de superficie que les terres agricoles (MELILLO *et al.* 1996). WOOMER *et al.* 1998 cités par FAO (2002a) estiment le stock de carbone de l'Amazonie à 305 t ha⁻¹ dont 28% au dessus du sol. Dans la zone humide du Cameroun, KOTTO (1997) cité par (GODEFROY *et al.* -) a trouvé une réserve en carbone à la surface du sol dans la forêt originale de 300 t ha⁻¹ dont environ 204 t ha⁻¹ contenue dans la biomasse des arbres en surface. Le sol contient en général plus de 40% du carbone terrestre et constitue un important réservoir du carbone en interaction avec l'atmosphère. La déforestation sous les tropiques qui est à 60% occasionnée par l'agriculture sur brûlis libère directement 40 à 50% du carbone total du système à travers le brûlage de la biomasse (FAO, 2002a).

L'agroforesterie qui intègre les arbres aux systèmes de production agricole et animale (IPCC, 1996) peut constituer une alternative à la déforestation et à l'agriculture itinérante (WINTERBOTTOM & HALZWOOD, 1987 ; SANCHEZ *et al.* 1999 ; SCHROEDER, 1994; SANCHEZ, 1995 cités par FAO, 2002a) et a un potentiel de séquestration du C dans les superficies cultivées (SANCHEZ *et al.* 1999 cité par FAO, 2002a). L'agroforesterie est importante dans la séquestration du carbone principalement pour trois raisons :

- les superficies concernées sont énormes et le gain de C considérable (0.2-3.1 t ha⁻¹an⁻¹) (IPCC, 2000a),
- elle peut compenser une partie importante du CO₂ émis à travers la déforestation (DIXON, 1995)
- elle pourrait constituer un système techniquement, écologiquement et économiquement durable (FAO, 2002a).

Tab. 8: Effet de la déforestation sur le ruissellement et l'érosion

Méthode de déforestation	Ruissellement (mm an ⁻¹)	Erosion (t ha ⁻¹ an ⁻¹)
Forêt (contrôle)	0.0	0.00
Traditionnelle	6.6	0.02
Manuelle	48.0	5.00
Défrichement complet	104.0	4.80
Mécanisée	250.0	20.00

Source : SARRAILH (1990) & LAL (1990) cités par ROBERT (2002)

Le carbone des écosystèmes terrestres est émis entre autre à travers la respiration du sol (MINKKINEN & LAINE, 1998, FAUBERT, 2004), les feux de brousses et autres types de brûlage de la phytomasse (LEVINE, 1994) ainsi que par la déforestation (FAO, 2002a).

Sur base des travaux de HOUGHTON (1991), IPCC (2000b) distingue cinq principaux types de changement d'utilisation des terroirs:

- Conversion des écosystèmes naturels en système de culture permanente,
- Conversion des écosystèmes naturels en système de culture itinérante,
- Conversion des écosystèmes naturels en pâturages,
- Abandon des superficies agricoles,
- Abandon des pâturages

Une fois que le sol est défriché et labouré, il est beaucoup plus exposé à l'oxygène et donc la libération du carbone résistant dans un milieu anaérobie devient possible (MINKKINEN & LAINE, 1998). Dans un système de culture itinérante ($R < 33\%$), NYE & GREENLAND, (1960) rapportent que la perte du carbone organique pendant 100 ans d'exploitation peut être estimée à 20 % lorsque le sol connaît des jachères de 12 ans et de 45 % lorsque les jachères sont de 4 ans. La culture itinérante libère moins de carbone (0.27 t ha^{-1}) que la culture permanente mais exige beaucoup plus d'étendues du fait de sa faible productivité agricole (GYASI & UITTO, 1997). L'émission du carbone pourrait être estimée à $1.13 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ dans les sols où les pratiques conservatoires et l'agroforesterie sont appliquées et à $5.60 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ dans les sols où le travail du sol est mécanisé (BENNEH *et al.*, 1996).

Le feu détruit une grande quantité de biomasse et de litière (dans les forêts et les savanes) ainsi que des résidus de récoltes (LEVINE, 1994). Bien qu'il n'entraîne aucune érosion significative dans les formations naturelles (KOWAL & KASSAM, 1978), il y constitue pourtant un facteur crucial de destruction de la matière organique et d'émission du carbone (LEVINE *et al.* 2002). Certains travaux confirment que suite à l'augmentation de la température du sol après le passage du feu, l'activité des microorganismes du sol devient intense et par conséquent l'émission du CO_2 par le sol s'accroît (MINKKINEN & LAINE, 1998). Sur les sols cultivés, le brûlage de la biomasse fournit des nutriments aux plantes (ROBERT,

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

2001, DE SCHLIPPÉ, 1958) à condition que les conditions topographiques et climatiques n'y occasionnent aucune érosion.

Bien que l'Afrique ne contribue qu'à 4% seulement aux émissions anthropiques nettes de gaz à effet de serre, elle dispose d'un grand potentiel d'émission du carbone si elle reste tributaire d'une agriculture de subsistance et de la biomasse comme principale source d'énergie (MAKUNDI, 1998). Les savanes d'Afrique qui s'étendent sur une superficie d'environ 10 millions de km² (CAHOON *et al.* 1992) connaissent constamment les feux de brousses occasionnant approximativement de 11% à un tiers des émissions globales totales provenant de la combustion de la biomasse (MTETWA, 1998 ; CAHOON *et al.* 1992). La pression démographique sur les terres augmente continuellement les superficies brûlées et la fréquence des feux (GOLDAMMER, 1991). L'agriculture itinérante sur brûlis qui détruit près de 60 % des forêts tropicales (ROBERT, 2001) est également un des principaux facteurs (culture sur brûlis, surpâturage, exploitation sélective) de déforestation en Afrique (ROPER & ROBERTS, 1999). Ces émissions en provenance d'Afrique sont transportées jusqu'au milieu de l'Atlantique, au Sud du Pacifique et à l'océan Indien (CAHOON *et al.* 1992).

Selon LEVINE (1994) l'émission du carbone par le brûlage de la biomasse se fait sous forme de gaz et de particules solides. La nature et la quantité de carbone émis dépendent des caractéristiques du feu et de celles de la biomasse brûlée. Sur base des expériences conduites au laboratoire, LOBERT *et al.* (1991) cité par LEVINE (1994) ont constaté que durant la phase de flammes (combustion complète), la proportion du CO₂ émise sera plus importante alors que pendant la phase de combustion lente (combustion incomplète) c'est plutôt l'émission du CO, CH₄ et NMHCs (Hydrocarbures non Méthane) qui prime (Tab. 9).

Tab. 9: Différents types d'émission de gaz par type de combustion

Gaz	Production de gaz (%)	
	Flammes	Combustion lente
CO ₂	63	37
CO	16	84
CH ₄	27	73
NMHCs	33	67
Nox	66	34
NH ₃	15	85
HCN	33	67
CH ₃ Cl	28	72

Source : LOBERT *et al.* (1991) cité par LEVINE (1994)

Alors que les feux de savanes détruisent trois fois plus de biomasse que les feux des forêts (LEVINE *et al.* 2002), LEVINE (1994) précise que l'émission du CO₂ due aux feux des savanes et au brûlage des résidus de récoltes est largement et rapidement compensée par sa réintégration dans la biomasse à travers la photosynthèse. Par conséquent, l'émission du CO₂ résultant de la destruction des forêts ainsi que l'émission du carbone sous d'autres formes autre que le CO₂ (CH₄, CO, NMHCs et les particules) constituent des flux nets d'émission du carbone dans l'atmosphère. Le tableau suivant montre bien l'impact du brûlage de la biomasse sur les émissions globales du carbone.

Tab. 10: Contribution du brûlage de la biomasse aux émissions globales du carbone

Forme de carbone	Combustion de la biomasse	Toutes les sources	Combustion de la biomasse
	(Tg an ⁻¹)	(Tg an ⁻¹)	(%)
CO ₂ (brut)	3500	8700	40
CO ₂ (net)	1800	7000	26
CO	350	1100	32
CH ₄	38	380	10
NMHCs	24	100	24
Particules	69	180	39

1Tg = 1 million de tonne

Source : LEVINE *et al.* (2002)

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

La quantité de carbone émise varie entre 40 et 50% de la matière sèche totale brûlée (LEVINE, 1994 ; LEVINE *et al.* 2002; BROWN & GASTON, 1996) et peut également s'écrire sous la forme:

$$M(C) = CO_2 + CO + CH_4 + NMHCs + \text{Particules de carbone}$$

Généralement pour les feux des forêts, la phase de flammes dure jusqu'à une heure alors que celle de combustion lente peut prendre plusieurs jours dépendamment de la qualité de la biomasse, de l'humidité, du vent, de la topographie, etc. (LEVINE, 1994). Pour déterminer la quantité émise de chaque gaz autre que le CO₂, la détermination du ratio d'émission de chaque gaz par rapport au CO₂ est indispensable.

$$ER = \frac{\Delta X}{\Delta CO_2}$$

Où:

ER : ration d'émission du gaz X

ΔX : la concentration du gaz X produit lors de la combustion de la biomasse,

$$\Delta X = [X^*] - [X]$$

[X*] : concentration du gaz X mesurée dans une colonne de fumée produite par combustion de la biomasse,

[X] : concentration du gaz X dans l'atmosphère (en dehors de la fumée),

ΔCO_2 : concentration du CO₂ produit par la combustion de la biomasse,

$$\Delta CO_2 = [CO_2^*] - [CO_2]$$

[CO₂*] : concentration du CO₂ dans une colonne de fumée produite par la combustion de la biomasse,

[CO₂] : concentration du CO₂ dans l'atmosphère (en dehors de la fumée)

BROWN & GASTON (1996) ont utilisé les proportions suivantes d'émission des différents gaz pour les forêts denses et les forêts claires sous les tropiques africaines :

Tab. 11: Emissions de gaz issues de la combustion de la biomasse

	Forêts denses	Forêts claires
Biomasse brûlée (kg ha ⁻¹)	86900	40500
Carbone total émis (kg ha ⁻¹)	43450	20250
Emissions des gaz (kg C ha ⁻¹)		
C[CO ₂]	34760 ± 5648	16200 ± 2633
C[CO]	2607 ± 869	1215 ± 405
C[CH ₄]	130 ± 52	61 ± 24
C[autres*]	5953	2774

* : surtout le charbon

Source : BROWN & GASTON, 1996

SEILER & CRUTZEN (1980) ont développé l'équation ci-dessous qui permet de calculer la quantité totale de biomasse brûlée pour un terroir donné:

$$M = A * B * \alpha * \beta$$

Où :

M : biomasse brûlée

A : superficie totale où la biomasse est brûlée (m² an⁻¹)

B : matière sèche de la biomasse totale par unité de superficie (g m⁻²)

α : fraction de la biomasse aérienne par rapport à la biomasse totale de chaque écosystème

β : fraction de la biomasse brûlée par rapport à la biomasse aérienne de chaque écosystème (efficacité de la combustion)

Cette formule peut être abrégée et s'écrire sous une autre forme :

$$M = A * \varepsilon * \beta$$

Où :

ε : biomasse totale aérienne par unité de superficie

$$\varepsilon = B * \alpha$$

1.1.5. Sécurité alimentaire et besoins alimentaires

Selon la BANQUE MONDIALE (1986), la sécurité alimentaire se définit comme étant l'accès, pour tout le monde et à tout moment, à suffisamment de nourriture pour mener une vie saine et active.

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

KER (1995) précise que même si le développement de l'agriculture peut contribuer à la sécurité alimentaire, il ne faut jamais le confondre avec celle-ci. Il recommande à la recherche et au politique de concentrer leurs activités à la fois sur la **disponibilité** et l'**accessibilité** des denrées alimentaires. Toujours selon KER (1995), la sécurité alimentaire implique les défis suivants : aliments et production agricole, accès aux aliments et nutrition, marché, infrastructures rurales et stocks, amélioration du revenu paysan par création de l'emploi en milieu rural, analyse de la politique nationale de sécurité alimentaire, analyse de la politique régionale de sécurité alimentaire.

La vulnérabilité, qui diffère de la pauvreté et de la famine, dénote l'exposition et la sensibilité aux chocs de vie (DUVEREUX, 2002 cité par ELLIS, 2002) et constitue un important aspect dans l'analyse de la sécurité alimentaire. La couverture des besoins caloriques (qui varient selon l'âge, le sexe, l'activité, le climat) est l'un des outils les plus couramment utilisés dans l'évaluation de la sécurité alimentaire (FAO, 2002b). Les besoins caloriques quotidiens par personne varient en moyenne entre 2300 et 3000 kcal pour les hommes et entre 1900 et 2300 kcal pour les femmes (WAGGONER, 1994). JAMES & SCHOFIELD (1990) citant les estimations de la FAO donnent des besoins énergétiques quotidiens variant de 2050 à 2157 kcal par personne au Burkina Faso. Quant au MINAGRI (1986), il a estimé les besoins caloriques à 2300 kcal par personne et par jour au Rwanda. Compte tenu du fait que ces estimations sont fonction entre autre du poids des individus et que le taux de sous-alimentation en Afrique est élevé (DIXON *et al.* 2001), la valeur de 2700 kcal par personne et par jour utilisée par FALKENMARK (1997) a été retenue dans le cadre du présent travail.

La sécurité alimentaire durable implique la connaissance de la capacité de charge des écosystèmes afin de déterminer à partir de quel moment une population ne peut plus s'accroître sans dégradation des sols (BAHUCHET, 1994; BEETS, 1990). BAHUCHET (1994) citant entre autre CONKLIN (1959) propose une formule suivante pour déterminer la taille de la population critique:

$P_s = D/CT = D/C(A+B)$, où P_s = taille critique de la population ; D = surface maximum de terre cultivable ; C = surface défrichée moyenne minimum nécessaire

par personne et par an ; $T = A+B$ = durée moyenne minimum d'un cycle agricole complet (durée de la culture A + durée de la jachère B)

1.2. Caractéristiques du milieu

1.2.1. Localisation géographique

Le Bénin est un pays côtier de 112.620 km² situé en Afrique de l'Ouest entre les parallèles 6°30' - 12°30' Nord (750 km) et entre les méridiens 1° - 3°40' Est. Il s'ouvre sur le Golfe de Guinée par une étroite façade de 125 km et a des frontières à l'Ouest avec le Togo, au nord avec le Niger et le Burkina Faso et à l'Est avec le Nigeria (FAO/SMIAR, 2001). La présente étude a été conduite dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur situé entre les parallèles 9° - 10° Nord et les méridiens 1,5° - 3° Est (10.000 km²). Cette zone encore moins peuplée se trouve particulièrement caractérisée par un afflux d'immigrants permanents ou saisonniers venant de différents coins du pays voir même des pays limitrophes (DOEVENSPECK, 2004).

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

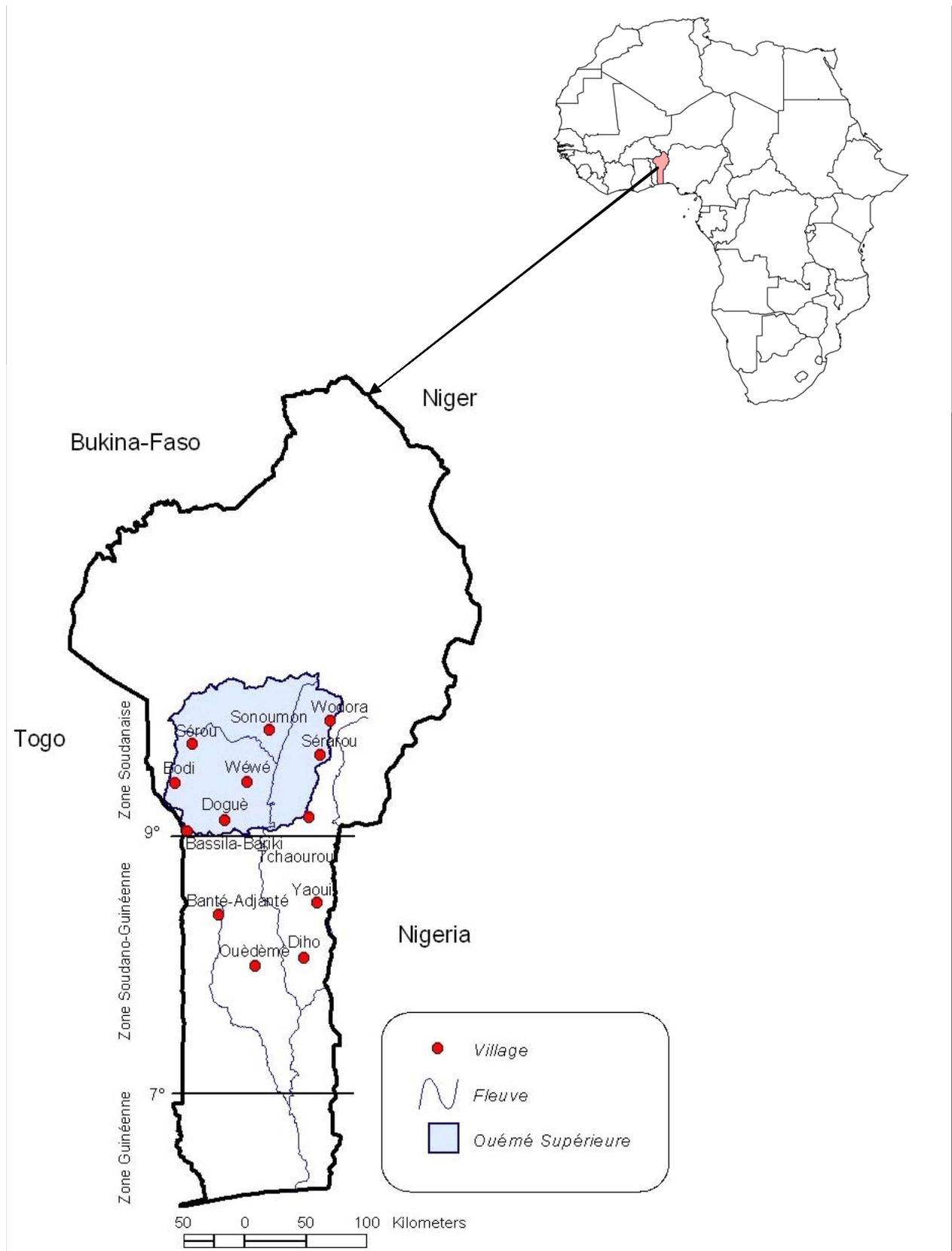


Fig. 4: Localisation géographique de la zone d'étude

1.2.2. Climat

Le Bénin s'étend du sud au nord sur trois principales zones climatiques correspondant aux principales zones agro-climatiques dont les limites géographiques diffèrent selon les auteurs (AUBRÉVILLE, 1949 ; KER, 1995 ; MAMA *et al.* 1998).

- La zone au climat subéquatorial a deux saisons de pluies (mars – fin juillet, septembre – mi-novembre) et deux saisons sèches intercalées. Cette zone s'étend de la côte au 7^e parallèle au Nord.
- La zone au climat soudano-guinéen ou zone de transition a une seule saison de pluies (avril – octobre). Elle est comprise entre les 7^e et 9^e parallèles nord.
- La zone au climat soudanien ou zone de savane soudanienne a une seule saison de pluies (mai – septembre). Elle s'étend du 9° nord au 12°30' nord.

Sur tout le territoire du Bénin, les bilans hydriques (P-ETP)⁵ sont plus favorables pour le développement agricole entre le 8^e et le 10^e parallèle (MAMA *et al.* 1998), zone qui inclue le bassin versant de l'Ouémé supérieur. La répartition intra-annuelle des précipitations montre cependant que le bilan hydrique est déficitaire entre fin novembre et avril (JUNGE, 2004). La pluviométrie annuelle moyenne obtenue à Doguè entre 1997 et 2002 atteint 1029,5mm (JUNGE, 2004). Alors qu'au sud du pays certaines régions sont passées en 1968, 1979 et 1988 du régime bimodal courant au régime unimodal (MAMA *et al.* 1998), le bassin versant de l'Ouémé supérieur connaît aussi des variabilités temporelles, spatiales et quantitatives des précipitations (JUNGE, 2004).

Sur base des données de la station de Parakou (1961-1990), cette zone présente un régime de températures isohyperthermique caractérisé par la température annuelle moyenne de 22°C au moins et dont la différence de températures entre les mois sec et humides est inférieure à 5°C (JUNGE, 2004 ; ANDRIESSE, 1988). La température annuelle moyenne y est de 26,8° C; le maximum des moyennes mensuelles obtenu en mars est de 29,6°C ; le minimum des moyennes mensuelles obtenu en Août est de 25,0°C (JUNGE, 2004).

⁵ (P-ETP) : Précipitations – Evapotranspiration potentielle

1.2.3. Végétation

La végétation est échelonnée et se dégrade lorsqu'on quitte le sud vers le nord (CODJIA, 2001). Selon le regroupement des écosystèmes du Bénin réalisé par MAMA *et al.* (1998), le Bénin s'étend du sud au nord sur trois principales typologies d'écosystèmes:

- Ecosystèmes du climat subéquatorial à quatre saisons qui s'étendent de 6°30 à 7° nord. Ces écosystèmes correspondent à la zone guinéenne définie par CHEVALIER (1990) ou à la zone congo-guinéenne de KNAPP (1973). La végétation rencontrée dans cette zone est multiple. Elle va des zones herbeuses secondaires (WEZEL *et al.* -) à la forêt dense humide semi décidue dont on trouve les vestiges Pobès.
- Ecosystèmes du climat soudano-guinéen ou zone de transition qui s'étend entre 7° et 9° nord. Cette zone correspondrait à la zone soudanienne de CHEVALIER (1990) ou à la zone de transition soudano-guinéenne de KNAPP (1973). C'est une zone caractérisée par des savanes arborées arbustives avec particulièrement *Vitellaria paradoxa*, *Parkia bigloboza*, *Isoberlinia doka* et *Isoberlinia tomentosa*, *Combretum hypopilinum*, *Combretum socodense*, *Combretum nigricans*. La fréquence des feux de brousse occasionne dans cette zone la dominance de *Andropogon spp.*, *Hyparhenia spp.*, *Aframomum spp.*
- Ecosystèmes du climat soudanien ou zone de savane soudanienne s'étendent entre 9° et 12°30 nord (elle inclue dans sa partie sud, la zone couverte par la présente étude). C'est la zone sahélienne de CHEVALIER (1990) ou la zone soudano-zambezienne de KNAPP (1973). Alors que la partie sud de cette zone dispose de la même végétation que la zone précédente, la taille des espèces ligneuses diminue dans la partie Nord. Dans cette zone se trouve également des îlots de forêts denses sèches notamment la petite forêt de Sérrou.

1.2.4. Sols

La classification des sols en Afrique de l'Ouest est basée sur différentes méthodes dont la plus répandue est celle de la FAO-UNESCO-ISRIC, 1998 (JUNGE, 2004). Le Bénin est couvert à 82% par les sols ferrugineux tropicaux constituant la zone à forte potentialité agricole. Cependant ces sols ont de faibles réserves en eau utile

(AGOUSSOU, 1983). On les trouve dans les ex-départements: le Zou-Nord, le Borgou-Sud et Centre, le sud de l'Atacora (MAMA *et al.* 1998). Le bassin versant de l'Ouémé supérieur est presque entièrement couvert par les sols ferrugineux tropicaux (JUNGE, 2004). Le Bénin dispose également d'autres types de sols: les sols faiblement ferrallitiques de la terre de barre dans la partie méridionale du Zou ; les sols faiblement ferrallitiques indurés localisés à Djougou et sur le long de la frontière togolaise de Kouandé à Bassila; les sols sableux des cordons littoraux; les sols minéraux bruts peu évolués sur le massif de l'Atacora; les sols hydromorphes dans le delta de l'Ouémé, en bordure du Niger, de la Pendjari et dans les vallées du Mono et du Couffo; les vertisols dans la dépression de la Lama; les sols à mul (sols bruns eutrophes) à humus évolué en bordure du Niger, de l'Alibori à Djougou et à Savalou (MAMA *et al.* 1998).

1.2.5. Démographie, utilisation du terroir et sécurité alimentaire

Le Bénin compte une population totale de 6752569 habitants (UNFPA, -) dont plus de la moitié vit au sud sur environ 11% du territoire nationale. La densité démographique rurale atteint 300 habitants au km² dans certaines communes du sud. Les deux départements Donga et Borgou (où se trouve le bassin versant de l'Ouémé supérieur) ont respectivement des densités démographiques de 46,3 et 63,1 au km². La commune de Bassila dans le Donga tout comme celle de Tchaourou dans le Borgou sont les moins densément peuplées avec respectivement 13 et 15 habitants au km². Cette faible densité démographique et la présence des espaces non cultivés (FAO, 2001a) associées à une forte potentialité agricole de la région (coton, igname, manioc, sorgho, maïs, riz, arachide, niébé, piment, gombo, anacardier) (FAO, 1980) attirent des immigrants venant de tous les horizons vers cette région.

Le Bénin dispose, y comprises les zones protégées, de 61850 km² (47570 km² sans zones protégées) de terres cultivables soit 54,9% de la superficie totale (FAO/SMIAR, 2001) (Tab. 13). La superficie cultivée totalise seulement 13450 km² soit 21,7% de la superficie totale cultivable ou 11,9% de la superficie totale du pays. Selon CENATEL (2002), seulement 17 à 19% des terres arables sont cultivées. Les cultures vivrières occupent 80% des terres cultivées. Les surfaces protégées

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

s'étendent sur 26640 km² dont 16320 km² se trouvent dans l'ancien département du Borgou.

Avec 1487157 bovins dont plus de la moitié se trouvent dans les anciens départements du Borgou et de l'Atacora (ONIBON, 2004) (Tab. 12), l'élevage extensif constitue également un important facteur d'utilisation et de dégradation du terroir (AGBAHUNGBA, *et al.* 2001). La Direction de l'Élevage estimait en 2000 l'accroissement du cheptel bovin à 3,5% par an (ONIBON, 2004). A ces effectifs s'ajoutent des troupeaux en transhumance transfrontalière qui aggravent le déséquilibre entre le taux de charge et la capacité de charge des pâturages (AGBAHUNGBA *et al.* 2001). Même si le dénombrement du bétail en transhumance transfrontalière rencontre beaucoup de difficultés, les estimations montrent que pendant la saison sèche l'effectif en transhumance transfrontalière est égal (WOTTO, 2003) ou beaucoup plus élevé (ONIBON, 2004) que le cheptel sédentaire. AGBAHUNGBA *et al.* (2001) rapportent que la zone soudanienne dont la capacité de charge des pâturages est de 5 ha par Unité Bovin Tropical (soit un animal de 250 kg) est la plus dégradée par l'élevage extensif.

En considérant à la fois le fourrage herbacé (entre 1167 et 1733 kg ha⁻¹) et le fourrage ligneux (67,6 kg ha⁻¹), le terroir de Doguè dispose d'une capacité de charge des pâturages de 4,7 ha par UBT. Par ailleurs, pendant la saison sèche et en considérant uniquement le cheptel bovin, le terroir de Doguè supporte (11 214 UBT) près de trois fois plus de charge que sa capacité (4085 UBT) ne permette (WOTTO 2003).

Cela étant, au moment où le sud du Bénin est soumis à une forte pression démographique humaine, le bassin versant de l'Ouémé supérieur et le nord du Bénin connaissent plutôt une forte pression croissante du cheptel bovin.

1. Revue de la littérature et caractéristiques du milieu

Tab. 12: Population de bovins, ovins et caprins au Bénin en 2000

Bétail	Borgou & Alibori	Bénin
Bovins	768 399	1 487 157
Ovins	305 775	672 099
Caprins	283 753	1 234 409

Source: ONIBON (2004)

Les pâturages ne constituent cependant pas un système d'utilisation du terroir à part. Ils s'étendent à la fois sur les superficies des formations naturelles, les jachères et souvent sur les superficies agricoles après les récoltes. La disponibilité calorique et protéique se situait en 1997 respectivement autour d'une moyenne de 2487 kcal et 60 g par jour et par personne (FAO/SMIAR, 2001). L'index de la production agricole par personne est passé de 70 à 102 respectivement de 1979-1981 à 2002 avec comme période de référence 1999-2001 (FAO, 2004).

Tab. 13: Utilisation des terres dans les anciens départements au Bénin

Département	Superficie par habitant rural (ha)		Population rurale (1)	Superficie totale (1000 ha)				
	Surface cultivée	Surface cultivable		Surface totale	Surface cultivée	Surface totale (2)	Surface protégée	Surface cultivable réelle (3)
Atacora	0,37	2,50	540541	3120	200	1341	835	928
Borgou	0,39	0,36	507692	5100	198	2750	1632	1869
Zou	0,36	0,76	1202778	1860	433	1230	138	1139
Atlantique	0,35	0,64	422857	324	148	235	14	225
Mono	0,16	0,52	893750	380	143	281	/	281
Ouémé	0,27	0,67	825926	470	223	348	45	315

(1): Calculée (superficie totale cultivée/superficie cultivée par habitant)

(2): Y compris les zones protégées

(3): Zones protégées exclues

Source: Modifié à partir de FAO/SMIAR, 2001. Bénin: Présentation générale

2. Méthodologie générale

Le présent travail a été réalisé en trois principales étapes à savoir : l'enquête exploratoire, la collecte intensive des données et l'analyse des scénarios. Les données ont été analysées grâce au logiciel « STATGRAPHICS Plus 5.1 »

2.1. Enquête exploratoire

Afin de mieux inventorier et analyser les différents systèmes de production agricole et d'utilisation du terroir, une enquête exploratoire a été réalisée, de septembre à novembre 2000 et en avril 2001, sur trois transects Est-ouest et trois transects Nord-sud dans l'Ouémé supérieur et sur deux transects Est-ouest au sud de l'Ouémé supérieur (Tab. 14, Fig. 4).

Dans chaque village où passent les différents transects, deux jours ont été consacrés à la visite des champs et à des entretiens avec les agriculteurs dans leurs propres champs. Ces entretiens ont abordé les thèmes concernant les calendriers culturaux, les cultures, les rotations et les associations des cultures, l'utilisation des semences améliorées, la fertilisation minérale et organique, le travail du sol, l'érosion et la gestion de l'eau, l'agroforesterie ainsi que la variabilité des précipitations.

Dénomination	Transect	Villages
TE1	Est-Ouest	Sérou - Sonomoun - Wodora
TE2	Est-Ouest	Bodi - Wéwé - Sirarou
TE3	Est-Ouest	Bariki - Doguè - Tchatchou
TE4	Est-Ouest	Adjantè - Yaoui
TE5	Est-Ouest	Wèdèmè - Diho
TN1	Nord-Sud	Sérou - Bodi - Bariki
TN2	Nord-Sud	Sonomoun - Wéwé - Doguè
TN3	Nord-Sud	Wodora - Sirarou - Tchatchou

Tab. 14: Transects de l'enquête exploratoire

Après la visite des champs et la prise de leurs coordonnées géographiques à l'aide d'un GPS Garmin 12, des séances de discussions avec les agriculteurs (dont le nombre variait entre 18 et 52) de chaque village ont été organisées. Au cours de ces discussions, les thèmes ci-dessus mentionnés ont été repris. De plus, l'importance

2. Méthodologie générale

de toutes les cultures et de toutes les associations a été établie en déterminant le pourcentage des superficies qu'elles occupent. Pour déterminer ce pourcentage, des cases correspondantes au nombre total de cultures pures et d'associations ont été tracées sur le sol où chaque case correspondait soit à une culture pure ou une association de cultures. Cent gousses d'arachides (ou 100 grains de maïs) ont été distribuées aux agriculteurs à qui il a été demandé de les répartir dans les différentes cases en tenant compte de l'importance (en terme de superficie) de chaque culture ou de chaque association (Photo 1). Après d'intenses et participatives discussions entre agriculteurs, un compromis était obtenu sur le nombre de gousses à mettre dans chaque case. La même méthode fut également utilisée pour estimer le taux de déforestation et la répartition de la superficie totale du village entre les différents systèmes d'utilisation des terres (jachères, plantations d'anacardiens, formations naturelles, superficies sous cultures). Il convient de mentionner que cette méthode requiert d'abord une atmosphère de confiance et de concentration pour la fiabilité des résultats.



Photo 1: Participation des paysans dans l'estimation de l'utilisation des terres

2.2. Collecte des données

2.2.1. Dispositif expérimental

Le présent travail s'intègre dans un cadre général d'analyse des systèmes agraires et d'utilisation du terroir du bassin versant de l'Ouémé sur quatre transsects est-ouest (Fig. 4, Tab. 14). La collecte des données a été conduite dans le village de Doguè (9°06'N, 1°56'E) et dans celui de Sérrou (9°41'N, 1°41'E). Sans compter les immigrants éparpillés dans de petits hameaux sur le territoire de Doguè, le village de Doguè disposait en 2002 de 802 habitants sur une superficie d'environ 320 km². Quant au village de Sérrou, il comptait en 2002, 612 habitants sur un territoire de 18 km² dont 2,8 km² occupé par la forêt classée de Sérrou. Les deux villages représentent respectivement les villages ayant encore les possibilités d'augmentation de la production agricole par l'extension des superficies et ceux qui ne peuvent accroître leurs superficies qu'en raccourcissant la durée des jachères. Sur base des résultats de l'enquête exploratoire, dans chaque village, le terroir a été subdivisé en quatre systèmes d'utilisation du terroir: formations naturelles, jachères, plantations d'anacardières et superficies des cultures autres que l'anacardier. Dans chaque système d'utilisation du terroir, la collecte des données a été conduite à l'intérieur des parcelles géoreférencées de 30 m sur 30 m (Fig. 5).

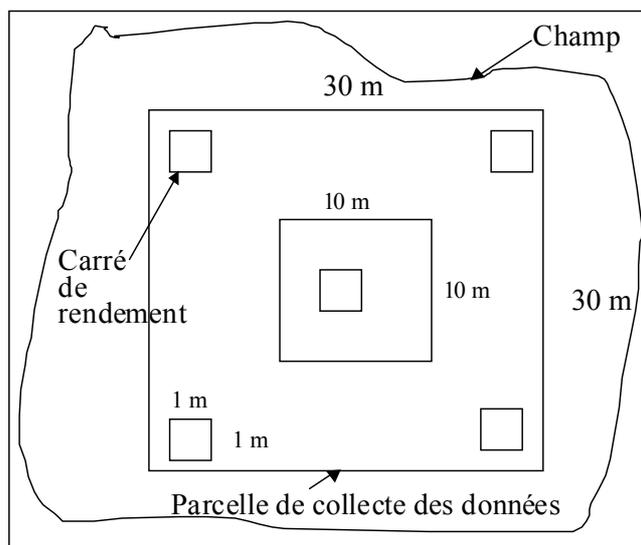


Fig. 5: Schéma représentant les parcelles de collecte des données

2. Méthodologie générale

Les données collectées étaient principalement : surface foliaire, hauteur des plantes, dates de semis et de récolté, types de labour, densité des plantes, fertilisation minérale et ou organique, répartition spatiale et temporelle des cultures, techniques de gestion d'eau, production agricole et production en biomasse, litière au sol et chute de la litière, feux de brousse et leurs dégâts en biomasse. Des mesures systématiques de la superficie de tous les champs ont été également réalisées grâce au GPS dans chacune des quinze exploitations agricoles familiales respectivement à Doguè et à Sérrou. Une enquête auprès de ces quinze exploitations agricoles familiales de chaque village a permis de connaître la taille des exploitations, le nombre de personnes à charge, le nombre de personnes actives et l'évolution des systèmes de production.

Tab. 15: Répartition des parcelles d'observation et de collecte des données

SUT Village	Plantations d'anacardiens	Jachères	Forêts	Superficies sous cultures	Total
Doguè	3	3	3	25	34
Sérrou	3	3	3	30	39
Total	6	6	6	55	73

SUT: Systèmes d'Utilisation du Terroir

2.2.2. Estimation du biovolume et de l'écovolume

Le **biovolume** est défini comme le produit de la surface terrière et de la hauteur des arbres (WARRAN & PATWARDHAN, 2004; ROBERT, 2003). Il correspond, dans sa forme simple, au quotient de la biomasse sur le poids spécifique moyen de la formation végétale (BROWN, 1997; Janssens et al. 2004a; WARRAN & PATWARDHAN, 2004). Pour SINSIN (1993), LEJOLY & SINSIN (1991), le biovolume d'une formation végétale est le produit de la hauteur et de l'indice de recouvrement. Il est donné par la somme des biovolumes des différentes strates de la végétation. De cette dernière définition que nous avons appliquée, nous considérons le biovolume comme tout **espace colonisé par une végétation donnée** et le notons: $Bv = \sum r_i h_i$ où r_i et h_i sont respectivement le recouvrement et la

2. Méthodologie générale

hauteur de la strate i d'une formation végétale. Le recouvrement a été déterminé grâce à la méthode de BRAUN-BLANQUET (1928).

Quant à **l'écovolume**, « il s'agit de la surface d'une phytocénose donnée ou d'un système de culture quelconque que l'on multiplie par l'éco-hauteur (d) : $V_{\text{éco}} = S \cdot d$. Cette dernière est la hauteur moyenne dans le temps t , d'une formation végétale dont les composantes sont considérées selon une abondance f et une hauteur h , soit $d = \sum (f \cdot t \cdot h)$. L'éco-volume s'exprime normalement sur une base ha » (Janssens et al. 2004a). Il est exprimé (tout comme le biovolume) en $m^3 ha^{-1}$. En se basant sur cette définition de JANSSENS *et al.* (2004), nous avons défini l'approche ci-dessous pour estimer l'écovolume (Ev).

$$Ev = S \cdot \sum h_i$$

où h_i est la hauteur de chaque arbre i des premiers arbres les plus hauts sur une superficie S . La somme de la surface plane des houppiers (surface des houppiers projetés verticalement au sol) de ces premiers arbres les plus hauts correspond à environ S . Si la somme de cette surface n'atteint pas S (cas surtout des savanes boisées et des jachères de longue durée), l'écovolume est dans ce cas donnée par l'égalité:

$$Ev = S \cdot h_m \cdot t$$

où $t = \sum S_{hi} / S$ avec S_{hi} : la surface du houppier de chaque arbre i présent sur la surface S . La relation de l'écovolume peut dans ce cas se noter:

$$Ev = \sum h_i S_{hi}$$

Pour le cas des cultures annuelles, deux relations suivantes pour l'estimation de l'écovolume sont possibles:

$$\text{si } LAI < 1, Ev = S \cdot h_m \cdot LAI \cdot z$$

$$\text{si } LAI > 1, Ev = S \cdot h_m \cdot z$$

où

LAI est l'indice de la surface foliaire ($m^2 m^{-2}$)

h_m est ici la hauteur moyenne des plantes les plus hautes représentant 25 % de la densité des plants (appartenant ou pas à la même culture) et se trouvant sur une superficie S ;

z est le facteur de correction qui tient compte de la variation temporelle de l'écovolume. Il est égal au quotient du nombre de mois qui s'écoulent entre le stade de la montaison ou de la tubérisation et la récolte sur 12 (mois d'une année). Dans la

présente étude, les valeurs de l'écovolume des cultures annuelles sont des valeurs maximales qui ne tiennent pas compte de cette variation temporelle.

2.2.3. Quantification de la phytomasse

2.2.3.1. Superficies cultivées

La densité des plants (nombre de plants par hectare) a été déterminée en comptant le nombre de plants de chaque culture à l'intérieur de 10 m x 10 m délimité au milieu d'un champs donné (Fig. 5). Concernant l'arachide et le riz, elle a été déterminée en comptant les plants de chaque culture à l'intérieur de chacun des cinq carrés de rendement de 1 m x 1 m (fig.). La densité de plants par hectare est donnée par la relation:

$$D_p = 100 \times N_p$$

où

D_p : densité de plants par hectare

N_p : nombre de plants sur les 10 m x 10 m

Pour le cas de l'arachide et du riz : $D_p = 2000 \times N_p$

où

N_p : nombre de plants sur les cinq carrés de rendement de 1 m² chacun

Tout au long de la saison culturale, la litière a été ramassée à l'intérieur de ces cinq carrés de rendement à une fréquence d'une fois toutes les deux semaines. Elle a été d'abord triée en différentes parties de la plante (feuilles, branches, fruits,..), ensuite séchée à l'étuve à 70°C pendant 72 heures et enfin repesée. La production agricole et les résidus de récolté de chaque culture dans chaque carré de rendement ont été également pesés et un échantillon d'environ 300 g a été prélevé, séché à l'étuve à 70°C pendant 72 heures et pesé. La biomasse de chaque partie de la plante (B_p en t ha⁻¹) a été donnée par la relation :

$$B_p = 10^{-6} * D_p * \frac{E_s * B_f}{E_f * N_p}$$

E_s : poids sec de l'échantillon (g)

B_f : poids frais de la biomasse totale (g)

E_f : poids frais de l'échantillon (g)

2. Méthodologie générale

Sur base du nombre d'arbres se trouvant sur la parcelle de 30 m * 30 m, la phytomasse des arbres a été déterminée selon la relation :

$$B_a = \frac{\sum Y_i}{90}$$

où

B_a : phytomasse des arbres ($t\ ha^{-1}$)

Y_i : phytomasse de chaque arbre ($kg\ arbre^{-1}$). La biomasse des arbres est généralement estimée sur base du diamètre à 1,30m (BROWN, 1997; LATIFF *et al.* 1998). Pour les régions tropicales sèches ($< 1500mm$) dont les précipitations annuelles dépassent 900mm, BROWN (1997) recommande d'utiliser l'égalité suivante :

$$Y_i = e^{\{-1.996+2.32*\ln(D)\}}$$

D : diamètre de chaque arbre à 1,30 m (cm)

2.2.3.2. Plantations d'anacardiens

La densité des arbres d'anacardiens a été déterminée en comptant tous les arbres à l'intérieur de chaque parcelle de 30 m sur 30 m. Cinq trappes à litière de 1m x 1m chacune y ont été installées selon le dispositif de la fig. (Fig. 5). Afin d'éviter la décomposition des cadres en bois, ces trappes à litière ont été installées à 10 cm du raz du sol. A une fréquence d'une fois par mois pendant la saison sèche et de deux fois par mois pendant la saison des pluies (CLARK *et al.* 2001), elles ont été vidées et la litière triée entre les feuilles, les branches, les fruits et autres. La production mensuelle de chaque composante de la litière (feuilles, branches, fruits,...) est donnée par la relation :

$$P_l = \frac{E_s * L_f}{500 * E_f}$$

P_l : production en litière ($t\ ha^{-1}$)

E_s : poids de l'échantillon sec (g)

L_f : poids de la litière fraîche ramassée dans les cinq trappes à litière (g)

E_f : poids de l'échantillon frais (g)

2. Méthodologie générale

Suite aux difficultés d'estimation de la biomasse des arbres d'anacardiens par des méthodes non destructives, un arbre représentant visuellement la moyenne de tous les arbres à l'intérieur de ces 30m x 30m a été abattu. Après avoir séparé les feuilles, les branches et les tiges, le pesage, l'échantillonnage et le séchage ont été réalisés de la même manière que précédemment. L'estimation de la biomasse totale des arbres d'anacardiens est donnée par la relation :

$$B_c = \frac{P_c * d_c}{1000}$$

B_c : biomasse des arbres d'anacardiens ($t \text{ ha}^{-1}$)

P_c : poids sec par arbre moyen d'anacardier (kg)

d_c : densité de plantation d'anacardiens (nombre d'arbres d'anacardiens par hectare)

$$d_c = 10000 \times (\text{nombre d'arbres d'anacardiens sur } 30 \text{ m} \times 30 \text{ m}) / 900 \text{ m}^2$$

2.2.3.3. Jachères et formations naturelles

Des trappes à litière ont été également installés (Photo 2) et vidées de la même manière que dans le cas des plantations d'anacardiens. La biomasse des arbres a été déterminée de la même manière que dans le cas des superficies cultivées. Pour le cas particulier de la forêt claire de Doguè, nous avons utilisé les données dendrométriques prises par ORTHMANN (thèse en préparation). Afin d'estimer la biomasse de la strate herbacée, des coupes d'herbes ont été conduites en novembre (avant les feux de brousse) dans cinq carrés de rendement préalablement délimités. La phytomasse a été pesée, séchée à l'étuve et enfin repesée.

2. Méthodologie générale



(a): Forêt claire de Doguè

(b): Forêt dense sèche semi-décidue de Sérôu

Photo 2: Formations naturelles et collecte de la litière à l'aide des trappes à litière

2.2.4. Estimation de la production primaire nette des ligneux

Quelque soit l'écosystème, l'estimation de la production primaire nette aérienne (NPP) des ligneux a été réalisée grâce à la relation de WEBB *et al.* (1983):

$$\ln(\text{NPP}) = 0.76 + 0.93 * \ln(\text{biomasse foliaire})$$

$\ln(\text{ANPP})$: logarithme naturel de la production primaire nette (NPP en $\text{g m}^{-2} \text{an}^{-1}$),

$\ln(\text{biomasse foliaire})$: logarithme naturel de la production en biomasse foliaire (biomasse foliaire en $\text{g m}^{-2} \text{an}^{-1}$).

$$\text{NPP} = e^{(0.76+0.93*\ln(\text{biomasse foliaire}))}$$

Quant à l'accroissement annuel de la biomasse, il a été obtenu à partir de la relation de ZHONG LI *et al.* (2002) :

$$\text{NPP} = \Delta\text{B} + \text{L}_t$$

où

ΔB : accroissement annuel de la biomasse ($\text{tha}^{-1}\text{an}^{-1}$)

L_t : chute annuelle totale de la litière ($\text{tha}^{-1}\text{an}^{-1}$)

2.2.5. Détermination de l'indice foliaire

Pour chaque culture et au niveau de chaque carré de rendement, la plus grande largeur et la plus grande longueur de chacune des trois feuilles représentant visuellement la moyenne de toutes les feuilles ont été mesurées. La détermination de la surface foliaire réelle a été réalisée de la manière suivante:

- déterminer la surface (S_p) du papier A4,
- déterminer le poids (P_p) du papier A4,
- photocopier une feuille d'une plante sur le papier A4,
- découper la partie de la feuille photocopiée et déterminer son poids (p_f)

La surface réelle de la feuille (s_f) est donnée par la relation :

$$s_f = \frac{S_p * p_f}{P_p}$$

Sur base de plusieurs valeurs de la surface réelle des feuilles de différentes dimensions, des équations de régression de la surface foliaire réelle en fonction de celle obtenue sur base du simple produit de la largeur et de la longueur ont été établies (Tab. 29).

L'indice foliaire ($m^2 m^{-2}$) est donné par la relation:

$$LAI = 10^{-8} * n * S_{L*1} * N_f * D_p$$

n : coefficient de transformation de la surface estimée (S_{L*1}) en surface réelle (S_f)

S_{L*1} : Surface foliaire moyenne estimée, produit de la longueur et de la largeur (cm^2 feuille⁻¹),

N_f : nombre de feuilles par plant (feuilles plant⁻¹),

D_p : densité des plants (plants ha⁻¹)

Dans le cas des cultures associées, l'indice foliaire de la parcelle est la somme des indices foliaires des différentes cultures intervenant dans l'association.

2.3. Identification des scénarios et du modèle

2.3.1. Formulation des scénarios

Pour étudier les perspectives d'avenir des systèmes agraires et leur impact sur l'utilisation du terroir, la sécurité alimentaire et sur les émissions du carbone dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur, huit scénarios ont été formulés (Tab. 15). Ces

2. Méthodologie générale

scénarios reposent principalement sur trois forces motrices: la démographie, les systèmes de production agricole et la saisonnalité des pluies.

Tab. 16: Description des scénarios

Scénarios	Description des scénarios
1 <i>(Statu quo)</i>	Le taux d'accroissement démographique est de 4,9% Les systèmes de production agricoles restent traditionnels⁶ Il n'y a pas de raccourcissement de la saison des pluies
2 <i>(Pessimiste)</i>	Le taux d'accroissement démographique est de 4,9% Les systèmes de production agricole restent traditionnels La saison des pluies se raccourcit de deux semaines à la fin
3	Le taux d'accroissement démographique est de 4,9% Les systèmes de production agricole partiellement intensifiés ⁷ Il n'y a pas de raccourcissement de la saison des pluies
4	Le taux d'accroissement démographique est de 4,9% Les systèmes de production agricole partiellement intensifiés La saison des pluies se raccourcit de deux semaines à la fin
5	Le taux d'accroissement démographique est de 3,0% Les systèmes de production agricoles restent traditionnels Il n'y a pas de raccourcissement de la saison des pluies
6	Le taux d'accroissement démographique est de 3,0% Les systèmes de production agricole restent traditionnels La saison des pluies se raccourcit de deux semaines à la fin
7 <i>(Optimiste)</i>	Le taux d'accroissement démographique est de 3,0% Les systèmes de production agricole partiellement intensifiés Il n'y a pas de raccourcissement de la saison des pluies
8	Le taux d'accroissement démographique est de 3,0% Les systèmes de production agricole partiellement intensifiés La saison des pluies se raccourcit de deux semaines à la fin

De ces huit scénarios, le modèle est principalement basé sur les scénarios *statu quo* (1), *pessimiste* (2) et *optimiste* (7) formulés sur base des tendances actuelles comme le conseille LAMBIN *et al.* (2000).

Scénario 1 : Statu Quo

- La quantité annuelle et la distribution temporelle des *pluies* restent inchangées et les calendriers cultureux demeurent par conséquent les mêmes;

⁶ Les systèmes de production agricoles traditionnels du bassin versant de l'Ouémé supérieur sont principalement caractérisés par le manque de fertilisation minérale et organique, l'utilisation des semences non améliorées et le manque de techniques efficaces de lutte contre l'érosion et de gestion d'eau sur les parcelles.

⁷ L'intensification partielle des systèmes de production agricole correspond à l'adoption de la fertilisation minérale et organique ainsi qu'à l'utilisation des semences améliorées. Les rendements agricoles s'améliorent et atteignent 60% des rendements obtenus par la recherche dans les essais multiloaux.

2. Méthodologie générale

- Les *systèmes de production* agricoles restent exclusivement traditionnels et l'augmentation de la production agricole imposée par la croissance démographique ne se réalise que par la voie de l'extension des superficies agricoles ;
- La *croissance démographique* reste autour de 4.9% et est déterminée par la reproduction naturelle et les migrations.

Scénario 2 : Pessimiste

- La quantité annuelle de *pluies* reste invariable mais la saison pluvieuse finit avec le mois de septembre plutôt qu'en mi octobre si bien que les semis de certaines cultures au delà du 15 juillet ne sont plus possibles.
- Les *systèmes de production* agricoles restent toujours traditionnels où l'extension des superficies agricoles est accélérée à la fois la croissance démographique et le raccourcissement de la saison des pluies ;
- La *croissance démographique* reste toujours autour de 4.9% et est déterminée par la reproduction naturelle et les migrations.

Scénario 7 : Optimiste

- La quantité annuelle et la distribution temporelle des *pluies* restent inchangées et les calendriers culturels demeurent par conséquent les mêmes;
- Les *systèmes de production* agricoles sont améliorés. L'augmentation de la production se fait à la fois par la voie de l'extension des superficies et par celle de l'intensification agricole. La limite supérieure de la productivité du sol correspond à 60% des rendements obtenus par la recherche agricole dans la région;
- Grâce à l'amélioration des systèmes de production agricole et à la régularité de la saison des pluies, les mouvements migratoires des personnes n'existent plus et seul le taux de reproduction naturel de 3% détermine la croissance démographique.

2.3.2. Développement du Modèle de l'Impact de la Population et des précipitations (MIPP)

L'analyse de l'évolution de l'impact de la croissance démographique, des systèmes de production agricole et de la variabilité saisonnière des précipitations sur

2. Méthodologie générale

l'utilisation du terroir, la sécurité alimentaire et la production primaire (phytomasse) a été réalisée grâce au modèle schématisé dans la Fig. 1. Les signes + et – indiquent respectivement une influence positive (augmentation) et négative (diminution). L'élaboration de ce modèle est basée sur les données de l'enquête exploratoire, de la télédétection, des statistiques agricoles du CARDER et sur les résultats de la collecte des données à Doguè et à Sérrou.

La superficie agricole constitue le système d'utilisation du terroir le plus déterminant dans ce modèle. Son extension est déterminée par les besoins en production agricole de la population et par la productivité agricole. En cas de systèmes de production agricole traditionnels tout comme en cas de variabilité saisonnière des précipitations, la production agricole à l'hectare est faible ce qui exige une augmentation de la superficie agricole par habitant et par conséquent une extension de la superficie agricole totale. Par contre, en cas d'intensification agricole tout comme dans les conditions normales de précipitations, l'extension de la superficie agricole est lente ou constante. Toutefois, quelque soit le système de production agricole ou le régime de la saison des pluies, la superficie agricole croît toujours au détriment des formations naturelles et des jachères longues. La superficie agricole comprend à la fois la superficie cultivée et les jachères de courte durée. La superficie cultivée est obtenue en défrichant les forêts, les savanes, les jachères de longue et de courte durée. C'est cette même superficie cultivée qui, après un certain temps est laissée en jachère ou sous les plantations d'anacardiens. Les systèmes d'utilisation du terroir peuvent être regroupés en différents écosystèmes. Dans ce modèle MIPP, quatre principaux écosystèmes (superficies agricoles, plantations d'anacardiens, jachères, formations naturelles) ont été retenus (Tab. 16).

2. Méthodologie générale

Tab. 17: Systèmes d'utilisation du terroir dans l'Ouémé supérieur

THAMM & BRAUN (2002)	MIPPE (notre modèle)	MULINDABIGWI <i>et al.</i> (2003)
Forêt	Forêt d.s.décidue	Végétation naturelle
	Forêt claire	
Savane	Savane + jachères longues	Jachères longues
Champs + jachères	Plantations d'anacardiers	Plantations d'anacardiers
	Terres cultivées + jachères courtes	Superficies agricoles

Pour déterminer l'évolution de chaque système, la démarche suivante a été suivie :

$$Y = a + bX$$

où

Y : la proportion de la superficie de chaque système d'utilisation des terres par rapport à la superficie totale cultivable⁸;

a : la proportion de la superficie de chaque système d'utilisation des terres en 2000

b : une constante tenant compte de l'utilisation du terroir;

X : une fonction de l'accroissement de la population

Le modèle fait intervenir comme inputs des informations ci-dessous :

r : taux d'accroissement annuel de la population (en %)

N : superficie défrichée annuellement par rapport à la superficie naturelle (en %),

A : superficie agricole (en %),

J : superficie des jachères (%),

C : superficie des plantations d'anacardiers (%),

u : superficie agricole convertie annuellement en jachère (%),

v : superficie des jachères convertie annuellement en superficie agricole (en %).

A un temps $t = n$;

$$\text{la superficie agricole } A_n = A_0 + N_n + uJ_{n-1} - vA_n$$

$$\text{la superficie en jachère } J_n = J_0 + z(vA_n)$$

⁸ La superficie totale cultivable est l'ensemble des superficies cultivées, des jachères et des formations ou réserves naturelles protégées et non protégées

2. Méthodologie générale

la superficie des plantations d'anacardiens $C_n = C_0 + y(vA_n)$

La superficie non utilisée $U_n = U_0 - N_n$

A_n : superficie agricole totale au temps $t=n$,

A_0 : superficie agricole totale au temps $t=0$,

uJ_{n-1} : superficie totale des jachères convertie en superficies agricoles pendant un temps $t = n-1$,

vA_n : somme de la superficie agricole mise en jachère et de celle convertie en plantations d'anacardiens à un temps $t=n$

z : fraction de la superficie vA_n occupée par les jachères à un temps $t = n$,

Selon les informations recueillies auprès des agriculteurs, la superficie totale mise en jachère correspondrait à 40% de la superficie totale nouvellement exploitées, d'où

$$vA_n = 0.4 * N_n$$

Superficies agricoles

La superficie agricole (36,2%) est ici constituée de superficies occupées par des cultures autres (environ 12%) que l'anacardier, des jachères courtes ainsi que des jachères saisonnières (environ 24,2%). Ces deux derniers types de jachères sont souvent confondus par la télédétection aux superficies occupées par les cultures et du point de vue de la production en phytomasse et du stockage du carbone dans le sol, elles ne diffèrent pas significativement des superficies des cultures.

Pour un temps $t = n$, les superficies agricoles correspondent à:

$$A_n = A_0 + 0.6N_{n-1} + uJ_{n-1}$$

avec: $N_{n-1} = N_0 ((1+r)^1 + (1+r)^2 + \dots + (1+r)^{n-1})$ ou $N_{n-1} = N_0 X$

$$J_{n-1} = J_0 ((1+r)^1 + (1+r)^2 + \dots + (1+r)^{n-1})$$
 ou $J_{n-1} = J_0 X$

D'où :

$$A_n = A_0 + X(0.6N_0 + uJ_0)$$

2. Méthodologie générale

Selon toujours l'enquête réalisée auprès des villageois, en 2000 ($t = 0$), la superficie totale annuellement défrichée correspond à environ 2% de la superficie naturelle soit 0,6 % de la superficie agricole totale cultivable⁹, la superficie en jachère à 27.4% et la superficie agricole à 36.2%. L'équation de la superficie agricole peut s'écrire alors sous la forme :

$$A_n = 36.2 + 1.185X_n$$

De la même manière, les équations d'autres systèmes d'utilisation du terroir (plantations d'anacardiens, jachères, formation naturelles) ont été élaborées.

Superficie des plantations d'anacardiens : $C_n = 5.3 + 0.192X_n$

Superficie des jachères : $J_n = 27.4 - 0.777X_n$

Superficie des formations naturelles: $U_n = 31.0 - 0.6X_n$

A chaque accroissement de la population correspond un accroissement de la superficie agricole. L'augmentation des superficies agricoles peut être accélérée s'il y a raccourcissement de la saison des pluies, ou être ralentie s'il y a intensification agricole. La fonction A_n pour un temps n pourrait alors s'écrire sous la forme:

$$A_n = \Omega_n (36.1 + 1.185X_n)$$

où le facteur Ω varie d'un scénario à un autre et d'une année à une autre. Le facteur Ω pour une année donnée est le rapport de la productivité agricole (kcal ha^{-1}) en 2000 sur la productivité agricole (kcal ha^{-1}) au cours de l'année considérée.

⁹ La superficie agricole totale cultivable est la somme des superficies cultivées, des jachères, des plantations d'anacardiens et des formations naturelles

3. Description des systèmes de production agricole

3.0. Introduction

L'agriculture du bassin versant de l'Ouémé supérieur est une agriculture de subsistance où l'augmentation de la production se fait exclusivement par la voie de l'extension des superficies agricoles. L'intensification agricole qui ne se traduit que par la fertilisation minérale, l'application des pesticides et l'utilisation des semences améliorées se limite uniquement à la culture du coton. La durée des jachères y est encore assez longue, ce qui permet aux sols la régénération de leur fertilité. Toutefois, suite à une augmentation de la pression démographique sur les terres, certains villages accusent de plus en plus un problème de raréfaction des terres et réduisent ainsi la durée des jachères pour répondre à la demande croissante des produits agricoles. Cet accroissement de la superficie agricole entraîne une dégradation des ressources naturelles. Le chapitre trois présente et analyse les systèmes de production agricoles actuels et leur impact sur les systèmes d'utilisation des terroirs.

3.1. Objectif

Le principal objectif poursuivi dans ce chapitre est la compréhension et la description des systèmes de production agricole lesquels influencent l'utilisation du terroir du bassin versant de l'Ouémé supérieur.

3.2. Hypothèse

Les systèmes de production agricoles actuels au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur ne sont pas dotés de technologies susceptibles d'induire de meilleures productivités agricoles et sont par conséquent la principale cause de la dégradation des ressources naturelles (Hypothèse 1).

3.3. Description des systèmes de productions agricoles

3.3.1. Importance des cultures et de leurs associations

L'importance d'une culture ou d'une association de cultures est ici déterminée par la superficie qu'elle occupe. Cette superficie dépend du rôle joué par la production agricole dans la sécurité alimentaire des ménages et ou dans la génération des revenus agricoles. Les résultats de l'enquête exploratoire (**Tab. 17**) montrent que les systèmes des cultures sont plutôt complexes et constitués d'amalgame de cultures et de différentes associations de cultures. A part l'igname, rarement associé à d'autres cultures, les autres cultures sont semées ou plantées en diverses associations. Les semis des cultures intervenant dans une même association sont réalisés en même ou en dérobé. Le nombre de cultures associées ainsi que celui des types d'associations augmente avec la rareté des terres. La compréhension de l'ingéniosité dans la gestion de ces systèmes par l'agriculteur constitue un atout important à l'introduction des changements technologiques pour une amélioration de la productivité agricole.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 18: Superficie (%) par systèmes de cultures de l'Ouémé supérieur

Communes	Bassila			Djougou	Bembèrèkè	N'Dali		Tchaourou		Moyenne
	Dogué	Bariki	Bodi	Sérou	Wodora	Sonoumon	Sirarou	Wéwé	Tchatchou	
Systèmes de cultures	64	42	79	50	86	64	86	72	75	68,5
1. Cultures pures	17	12	16	9	18	14	17	17	24	15,8
<i>Plantes à tubercules</i>	9	5	7	0	11	9	11	10	13	8,4
Igname	8	6	9	9	5	3	6	7	11	7,2
Manioc	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0,2
Patate douce	17	6	12	7	29	21	24	25	17	17,6
<i>Céréales</i>	7	2	1	3	11	4	2	9	5	5,0
Sorgho/mil	2	1	2	4	1	1	1	4	1	2,0
Riz	8	3	9	0	16	16	21	11	11	10,6
Maïs	6	3	2	15	8	5	8	8	5	6,7
<i>Légumineuses</i>	3	0	1	6	3	1	2	4	3	2,8
Arachide	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0,5
Voandzou	2	0	1	6	2	2	5	3	2	2,7
Haricot	0	3	0	0	1	1	1	0	0	0,7
Soja	18	9	29	9	21	23	32	8	5	17,0
<i>Coton</i>	7	12	19	11	11	1	4	15	23	11,4
<i>Autres cultures</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1
Bananier	3	0	0	0	0	0	0	6	0	1,0
sésame (courges)	0	1	1	6	3	1	1	3	2	2,2
Légumes	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0,4
Tabac	3	11	18	4	4	0	2	6	16	7,2
Anacardier	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0,5
Manguier	36	54	16	50	13	35	15	28	21	29,9
2. Associations	16	8	3	3	0	10	1	0	8	5,5
<i>Céréale + céréale</i>	10	8	3	3	0	10	1	0	8	4,9
Maïs + sorgho	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
Maïs + riz	0	8	4	23	1	3	2	0	3	5,0
<i>Céréales + légumineuses</i>	0	0	1	11	0	0	0	0	0	1,3
Maïs + niébé/haricot	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1
Maïs + soja	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,4
Maïs + arachide	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Maïs + sorgho + niébé/haricot	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,2
Sorgho + arachide	0	0	2	13	0	3	1	0	0	2,1
Sorgho + niébé/haricot	8	8	6	18	4	0	6	13	7	7,8
<i>Plantes à tubercules + céréales</i>	8	0	0	2	0	0	0	0	0	1,1
Igname + riz	0	0	0	16	0	0	1	0	0	1,9
Igname + sorgho	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2
Manioc + sorgho	0	8	2	0	4	0	2	0	7	2,5
Manioc + maïs	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0,2
Igname + maïs	0	0	0	0	0	0	3	13	0	1,8
Manioc + maïs + sorgho	0	0	0	1	0	2	2	0	3	0,9
<i>Plantes à tubercules + légumineuses</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,1
Manioc + voandzou	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0,3
Manioc + haricot	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0,5
Igname + niébé/haricot	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0,5
<i>Légumineuses + légumineuses</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,1
Voandzou + arachide	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Arachide + niébé/haricot	0	0	3	3	0	15	0	0	0	2,3
<i>Plantes à tubercules + plantes à tubercules</i>	0	0	3	3	0	15	0	0	0	2,3
Igname + manioc	9	31	0	0	8	5	3	15	0	7,9
<i>Autres associations</i>	0	0	0	0	0	0	0	9	0	1,0
Igname + sorgho + gombo + niébé/haricot + riz	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0,4
Igname + manioc + gombo	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0,6
Igname + niébé/haricot + sésame (courges)	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Igname + manioc + maïs + niébé/haricot	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0,7
Igname + arachide + voandzou	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0,6
Igname + maïs + sésame (courges) + niébé/haricot	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,1
Manioc + gombo	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0,7
Sorgho + arachide + légumes	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6
Sorgho + sésame	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0,8
Sorgho + manioc + sésame (courges)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
Maïs + sésame (courges)	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0,7
Maïs + sorgho + manioc + arachide	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0,2
Bananier + légumes	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0,2
Bananier + tabac	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1
3. Boisements	0	4	5	0	1	1	0	0	3	1,6
Teak (<i>Tectonia grandis</i>)	0	4	5	0	1	1	0	0	3	1,6
Total	100									
4. Arbres fruitiers + cultures	11	7	2	6	9	4	5	11	8	7,0
Anacardier + autres cultures	11	5	0	0	0	2	2	6	5	3,4
Manguier + autres cultures	0	1	1	4	1	1	1	3	3	1,7
karité + autres cultures	0	0	0	1	4	0	1	2	0	0,9
Néré + autres cultures	0	0	0	1	3	0	1	0	0	0,6
Agrumes + autres cultures	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0,4

3.3.2. Principaux systèmes de cultures

Afin de raccourcir la liste des différents systèmes de cultures (Tab. 17), une nouvelle classification des systèmes de cultures basée uniquement sur la culture principale a

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

été utilisée. Ainsi par exemple, le système de cultures *igname + maïs + niébé* devient tout simplement le système de culture à base d'igname. Les principaux systèmes culturaux retenus sont présentés dans le **Tab. 18**.

Tab. 19: Superficie (%) cultivée par principaux systèmes de cultures

Communes	Bassila			Djougou	Bembèrèkè	N'Dali		Tchaourou		Moyenne
	Doguè	Bariki	Bodi	Sérou	Wodora	Sonomoun	Sirarou	Wéwé	Tchatchou	
Plantes à tubercules	25,0	36,6	26,0	31,0	27,0	35,2	26,4	39,4	33,8	31
Igname	17,0	22,6	11,0	20,0	16,0	21,6	12,7	19,2	16,4	17
Manioc	8,0	14,0	15,0	11,0	10,0	12,6	13,7	20,2	17,4	14
Patate douce	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0
Céréales	41,7	35,6	19,0	34,1	30,3	34,7	28,4	30,1	29,1	31
Sorgho	12,3	10,4	4,0	16,0	11,0	6,5	5,3	14,6	5,4	10
Maïs	14,0	9,5	10,0	10,7	18,0	16,4	21,0	11,0	14,4	14
Sorgho + Maïs	10,0	14,5	3,0	3,2	0,0	10,4	1,0	0,0	8,0	6
Riz	5,4	1,2	2,0	4,3	1,3	1,4	1,1	4,5	1,3	2
Légumineuses	9,0	3,2	2,0	16,0	7,7	5,2	8,4	7,9	5,4	7
Coton	18,0	8,6	28,6	8,5	20,9	22,9	32,0	7,9	5,4	17
Autres	6,7	12,0	19,0	10,6	13,0	1,0	5,0	14,6	23,0	12
Boisement	0,0	4,0	5,0	0,0	1,1	1,0	0,0	0,0	3,0	2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

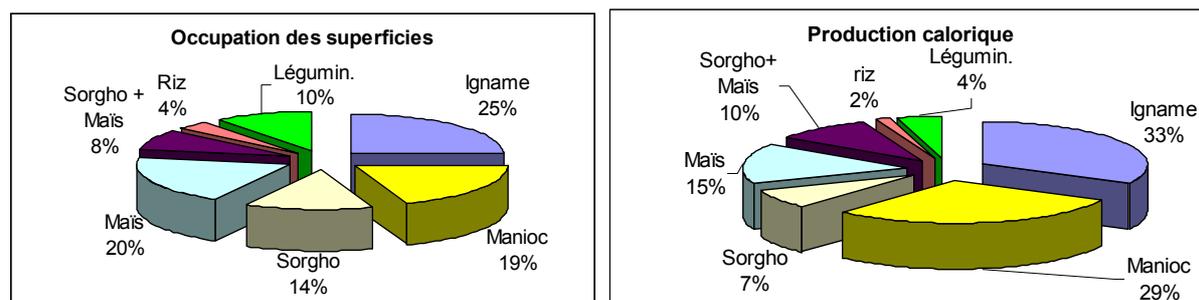


Fig. 6: Occupation des terres (%) et apports des calories (%) par système de cultures dans l'Ouémé supérieur

Les plantes à tubercules (igname et manioc) occupent 44% de la superficie des cultures vivrières et apportent 62% de la production calorique des cultures vivrières. Les céréales (sorgho, maïs, riz) qui ailleurs dans le monde entier constituent la principale source d'énergie (BIENVENIDO, 1994) occupent 46% de la superficie cultivée mais n'apportent que 34% des calories produites. Quant aux légumineuses (arachide, niébé, voandzou), elles occupent uniquement 10% de la superficie des principales cultures vivrières et ne contribuent qu'à 4% à la production calorique (**Fig. 6**). Les légumineuses constituent cependant la principale source de lipides (**Fig. 50**). Quelques caractéristiques (densités de plants, indice cumulé de la surface foliaire, biomasse et indice de récolte) des différents systèmes de cultures de l'Ouémé supérieur sont récapitulées dans le **Tab. 20**

Tab. 20: Quelques paramètres des systèmes de cultures de l'Ouémé supérieur

Systèmes de cultures	n	Densité	LAI _{pr.cult.}	LAI _{Syst.cult.}	Biomasse	Indice de récolte
		(Plants ha ⁻¹)		(m ² m ⁻²)	(t ha ⁻¹)	
Igname	12	5025 ^a	3,8 ^{ab}	4,2 ^{bc}	12,8 ^c	0,69 ^d
Manioc	11	5700 ^{ab}	2,5 ^a	2,5 ^a	20,2 ^d	0,51 ^c
Sorgho	4	21700 ^{abc}	2,8 ^{ab}	3,0 ^{abc}	6,7 ^{ab}	0,15 ^a
Maïs	9	30501 ^{abc}	4,4 ^b	5,0 ^c	6,7 ^{ab}	0,22 ^{ab}
Sorgho - Maïs	8	35035 ^{bcd}	3,3 ^{ab}	4,7 ^{bc}	9,3 ^{bc}	0,23 ^{ab}
Riz	5	185600 ^e	3,6 ^{ab}	3,6 ^{abc}	7,3 ^{ab}	0,25 ^b
Légumineuses	11	59818 ^d	2,7 ^a	3,3 ^{ab}	4,5 ^a	0,22 ^{ab}
Coton	9	37756 ^{cd}	3,6 ^{ab}	3,6 ^{abc}	5,0 ^{ab}	0,25 ^b

LAI_{pr.cult.} : Indice de la surface foliaire de la principale culture, laquelle culture définit le système de culture

3.3.2.1. Systèmes de cultures à base d'igname

Le Bénin vient en quatrième rang mondial des pays producteurs d'igname (VERNIER & DOSSOU, 2002). Avec 17% de la superficie totale cultivée de l'Ouémé supérieur, les systèmes culturaux à base d'igname sont les plus importants de tous les systèmes culturaux vivriers. Ils englobent les systèmes culturaux d'igname pure ainsi que les systèmes culturaux où l'igname est associée à d'autres cultures notamment le manioc, le mil, le haricot, le voandzou etc... (Tab. 18). La culture de l'igname au niveau de l'Ouémé supérieur regroupe deux principales espèces à savoir *Dioscorea cayenensis* et *Dioscorea rotundata* (DANSI *et al.* 2003). *Dioscorea cayenensis* est principalement caractérisée par des tiges rondes et épineuses, des feuilles larges cordées, une seule récolte tardive, des tubercules courts assez nombreux et jaunâtres. Quant à *Dioscorea rotundata*, elle diffère du *Dioscorea cayenensis* par le fait qu'elle a deux récoltes, des tubercules longs peu nombreux et blancs (MINISTÈRE DE LA COOPERATION, 1993). La diversité variétale au sein de ces espèces est énorme et atteint environ 313 variétés pour les anciens départements de Zou, Atacora et Borgou avec une moyenne de 19,3 et 36,8 variétés par village respectivement dans l'Atacora et dans le Borgou (DANSI *et al.* 2003). Le rôle de l'igname dans la sécurité alimentaire est fortement lié aux variétés cultivées. Une étude conduite en Nouvelle Guinée (MUELLER *et al.* 2000) montre que la croissance des enfants est en corrélation avec la culture du manioc mais que pour le cas de

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

l'igname, elle dépend surtout des variétés cultivées. Dans les régions où *Dioscorea esculenta* domine (>30 % de la superficie cultivée), la croissance des enfants ne diffère pas significativement de celle des autres régions. Par contre, dans les régions où l'igname ne constitue aucun aliment de base, la croissance des enfants est réduite. Particulièrement les enfants issus des systèmes de production d'igname dominés par *Dioscorea alata* sont petits et en sous poids alors que ceux des systèmes dominés par *Dioscorea esculenta* sont uniquement petits.

Les différentes variétés du bassin versant de l'Ouémé supérieur sont à leur tour regroupées en variétés hâtives et variétés tardives.

Tab. 21: Variétés d'igname par village dans l'Atacora et le Borgou

Anciens départements	Communes	Nombre de variétés hâtives	Nombre de variétés tardives	Nombre total de variétés
Atacora	Bassila	9,0	11,5	20,5
	Kobli	8,0	1,7	9,7
	Kopargo	8,3	11,7	20,0
	Kouandé	24,5	20,3	44,8
	Matéri	8,0	1,3	9,3
	Ouaké	7,7	6,7	16,7
	Toukountouna	9,3	7,3	16,7
	Moyenne	10,7	8,6	19,7
Borgou	Bembèrèkè	21,3	18,0	39,3
	Nikki	22,3	18,5	40,8
	Pèrèrè	22,3	18,3	40,5
	Tchaourou	14,3	12,3	26,5
	Moyenne	20,1	16,8	36,8

Source: DANSI *et al.* (2003)

En général, l'igname (rarement le manioc) vient en tête de rotation. Après les travaux de défrichage accompagné du brûlage de la biomasse, suivent les travaux de buttage en novembre et décembre. Entre décembre et mars, un seul semenceau d'igname est planté latéralement du côté occidental de la butte (5025 buttes ha⁻¹) ou au sommet de celle-ci. Les buttes sont alors couvertes de débris végétaux ou de mottes de terres (surtout au Nord de l'Ouémé supérieur où il y a peu de biomasse par hectare) afin de protéger les semenceaux contre l'ensoleillement mais aussi de protéger les buttes contre l'érosion. L'émergence des plantes a eu lieu en avril et mai. Dans la région sud-ouest de l'Ouémé supérieur (Bassila) où la pression démographique sur les formations naturelles est encore faible, les plants d'igname grimpent sur les arbres (délibérément laissés sur la parcelle pour servir de tuteurs).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Les hauteurs atteintes par ces plants varient avec la hauteur de ces arbres et atteignent facilement 7 m de haut. Dans les régions du nord de l'Ouémé supérieur où la végétation est plutôt une savane herbeuse, une fois que le plant d'igname atteint approximativement 1.5m, les agriculteurs l'enroulent tout autour du sommet de la butte (Photo 3). La tige enroulée émet quelques semaines après plusieurs rejets dans tous les sens de la butte et forment ainsi une touffe (d'environ 45 cm de haut) couvrant complètement la butte. Cette méthode permet dans une région à faible couverture végétale, de protéger les buttes contre l'érosion, d'améliorer l'infiltration des eaux de pluies et de réduire les pertes d'eau par l'évaporation du sol.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

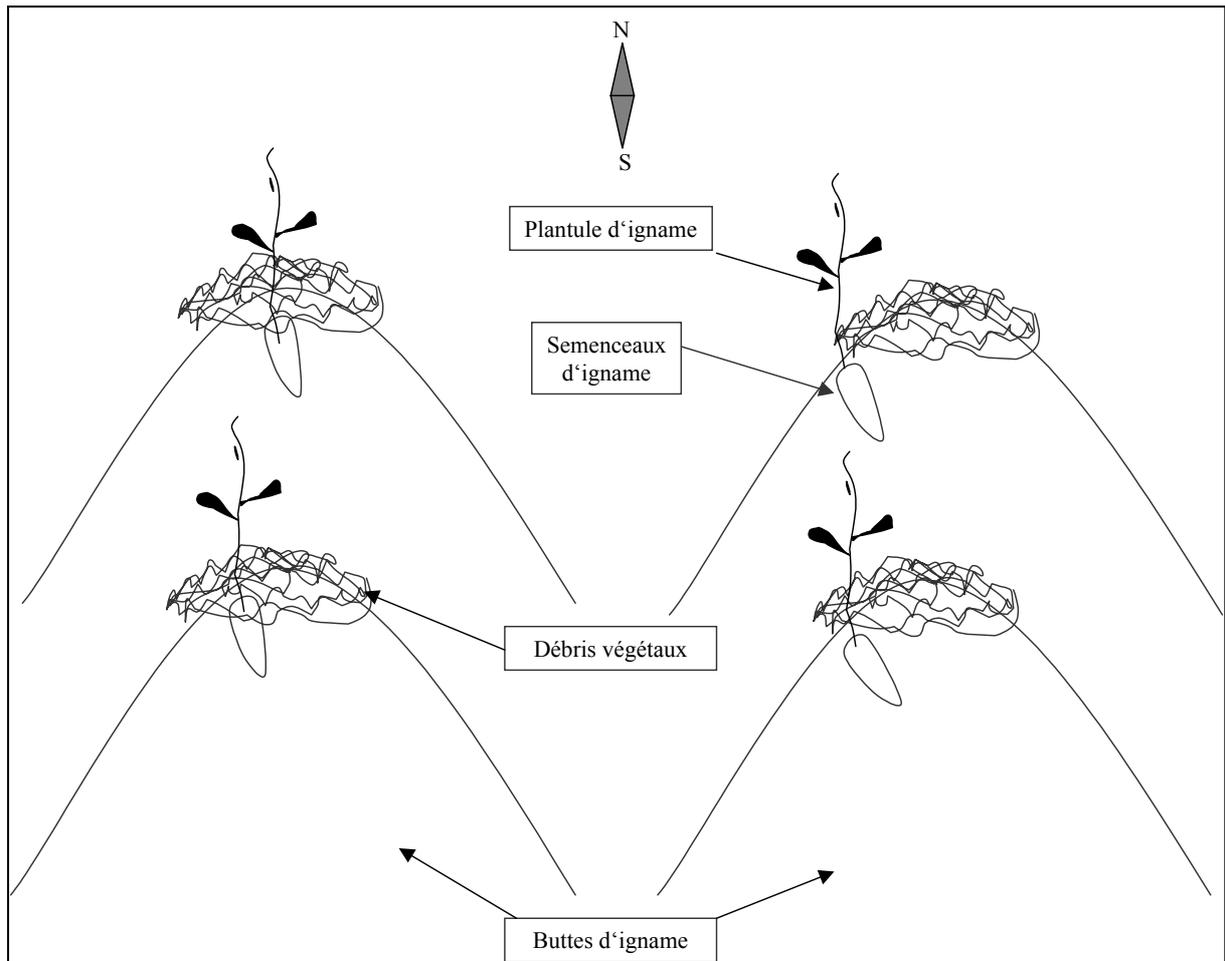
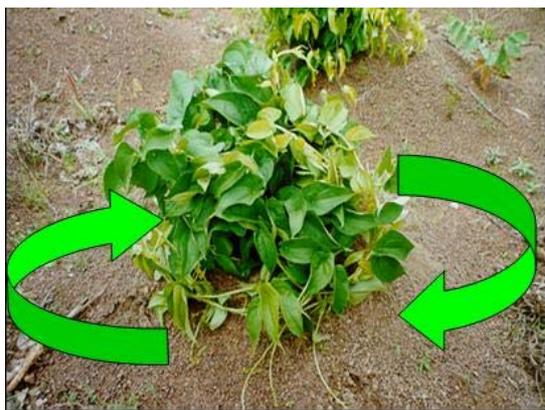


Fig. 7: Disposition des semenceaux d'igname dans les buttes



(a)



(b)

Photo 3: Plants d'ignames enroulés (a) et couvrant complètement les buttes (b)

Les variétés hâtives sont récoltées pendant la saison des pluies à partir de fin juillet alors que les variétés tardives sont récoltées pendant la saison sèche à partir de novembre. Les variétés hâtives ont l'avantage d'offrir une deuxième récolte puisque après la première récolte elles ont encore l'aptitude de tubérisation. Les agriculteurs

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

réservent particulièrement cette deuxième récolte pour les semenceaux de la saison suivante. Comme l'igname est une culture très exigeante en fertilité des sols (DANSI *et al.* 2003 ; MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993), les rendements agricoles des différents systèmes culturaux à base d'igname sont nettement moins élevés dans le village de Sérrou (6,2 t ha⁻¹ de matière sèche) à forte pression démographique sur les terres que dans celui de Doguè (11,1 t ha⁻¹ de matière sèche) moins habité (Tab. 23). L'igname est une culture très exigeante en eau surtout après la germination (DANSI *et al.* 2003) mais aussi entre les quatorzième et vingtième semaines de végétation (Ministère de la Coopération, 1993). Cela étant, une saison des pluies débutant avec retard constitue un important facteur préjudiciable au rendement de l'igname (DANSI *et al.* 2003). Concernant la biomasse totale et l'efficacité d'utilisation de la pluie, les systèmes culturaux à base d'igname produisent 15,3 t ha⁻¹ et 2,5 g m⁻² mm⁻¹ à Doguè contre 10,2 t ha⁻¹ et 1,5 g m⁻² mm⁻¹ à Sérrou (Tab. 23). Quant à l'efficacité d'utilisation de la pluie en terme de production calorique, ces systèmes donnent 1721 et 705 kcal m⁻³ d'eau respectivement à Doguè et à Sérrou (Tab. 23). De façon générale, sur un total de 4,4 millions kcal produites par un hectare cultivé du bassin versant de l'Ouémé supérieur, la part des systèmes de cultures à base d'igname est de 33% (Tab. 60). La production de l'igname est à 83,6% autoconsommée, 10,8% directement vendue et à 5,6% transformée en cossettes (DANSI *et al.* 2003). Bien que l'igname soit moins riche en calories (921,13 kcal kg⁻¹, MINAGRI, 1986) par rapport à d'autres principales cultures (Tab. 23), les rendements caloriques des systèmes à base d'igname (10,6 * 10⁶ et 6,3 * 10⁶ kcal ha⁻¹ à Doguè et à Sérrou) sont comparables à ceux des systèmes à base du manioc (11,2 * 10⁶ et 6,5 * 10⁶ kcal ha⁻¹ à Doguè et à Sérrou) et dépassent ceux des autres principaux systèmes de cultures.

Dans son choix de variétés à cultiver, l'agriculteur n'est pas seulement guidé par la performance quantitative des tubercules mais également par leur qualité. La variété d'igname localement appelée Kebgè atteint par exemple des rendements hautement plus élevés que ceux de toute autre variété cultivée à Doguè et à Sérrou. Cependant, elle n'y représente qu'un sixième de la densité des plants d'igname dans les champs. En effet, malgré de hauts rendements de la variété Kebgè, ses tubercules ne sont pas appropriés pour la préparation de l'igname pilé (pâte d'igname) qui constitue pourtant l'aliment de base. Les buttes de la variété de Kebgè sont différemment

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

réparties sur la parcelle selon le système de chaque agriculteur mais le rapport reste dans tous les cas de 1:6 (1 Kebgè: 6 Moco et ou Agatou). L'importance dominante de la qualité sur la quantité des tubercules d'igname a été également observée à Ouaké où les agriculteurs n'adoptent pas la fertilisation minérale malgré l'augmentation des rendements. La raison est que les parcelles fertilisées produisent des tubercules dont le goût par rapport à celui des tubercules produits traditionnellement n'est pas apprécié par les agriculteurs (INRAB, 2000).

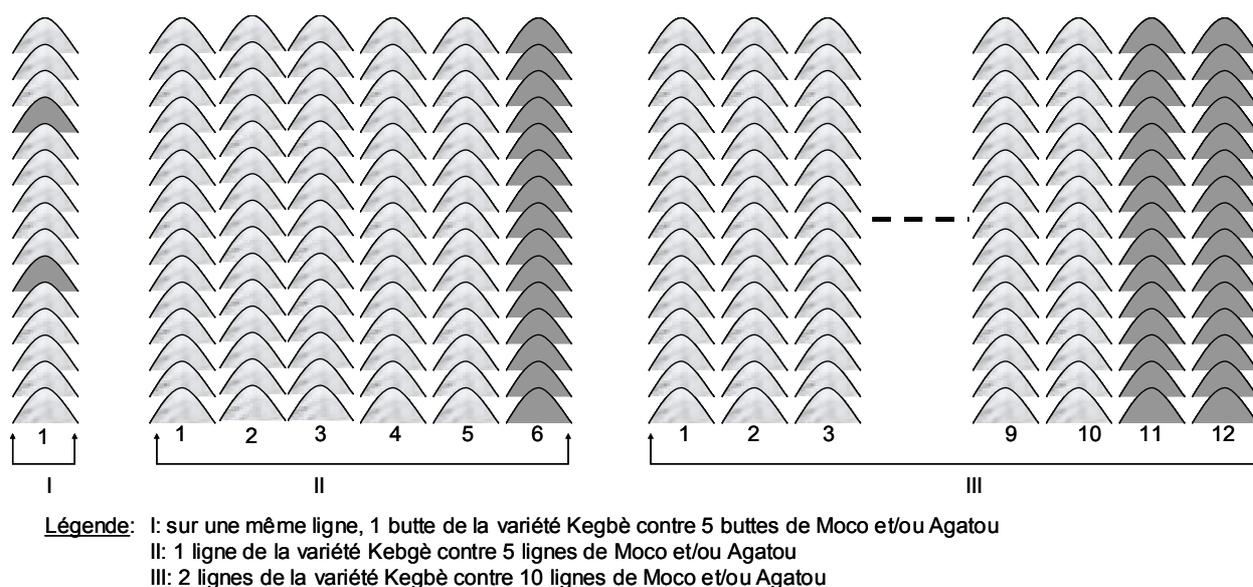


Fig. 8: Différents systèmes de disposition des buttes de la variété d'igname « Kebgè » à Doguè

3.3.2.2. Systèmes de cultures à base de manioc

Le manioc (*Manihot esculenta* CRANTZ) a été introduit au Bénin pour la première fois sous le roi Guézo après une grande sécheresse survenue entre 1847 et 1850 (MAROYA, N., 1999)¹⁰. Le Bénin est subdivisé en trois zones de culture du manioc : le sud de l'Atacora et du Borgou (qui correspond à l'Ouémé supérieur) constitue une zone à conditions acceptables, au-delà de Kandi c'est la zone très peu favorable et la partie restante constitue la zone favorable (MAROYA, 1999). Tout comme l'igname, le manioc se multiplie par voie végétative avec la seule différence que ce dernier se multiplie par boutures. Les boutures sont plantées dans des buttes (5700 buttes ha⁻¹) de dimensions réduites par rapport à celles de l'igname. La période de plantation s'étend de mars à octobre mais l'idéale se situe entre avril et juillet (Fig. 9).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Contrairement à l'assertion du MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION (1993) que la plantation sur labour à plat est de règle dans les sols normalement drainés, la plantation du manioc dans l'Ouémé supérieur se fait toujours sur buttes. Alors que l'igname ouvre les cycles de rotation, le manioc est une plante principalement de fin d'assolement placée juste avant la jachère (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993) où elle constitue en réalité une pseudo-jachère (van den AKKER, 2000) du fait qu'il n'est pas entretenu à l'âge avancé (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993).



Photo 4: Champ de manioc comme pseudo-jachère à Sérrou

La durée de culture varie en générale entre 12 et 24 mois dépendamment du calendrier de récolte de l'agriculteur. Cependant, la période optimale de récolte se situe à 18 mois de la plantation sinon une récolte effectuée à 12 mois peut entraîner une perte de 45,5% de la production (MAROYA, 1999 ; MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993). Bien que l'igname ait toujours constitué un aliment de base de la population au sud-ouest¹¹ de l'Ouémé supérieur, la culture du manioc introduite pendant la période coloniale (DENIS, 2002) gagne de plus en plus du terrain même si son expansion est faible par rapport au sud du Bénin (van den AKKER, 2003).

L'importance des systèmes cultureux à base de manioc est fondée sur cinq principales raisons :

1. Depuis l'époque coloniale, le manioc a été largement diffusé comme une culture capable de faire face à des famines. Du fait de ses rendements en tubercules et en calories comparables à ceux de l'igname, le manioc se

¹⁰ <http://www.globalcassavastrategy.net/Africa/benin/benin1/introd.htm> [25.05.04]

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

substitue facilement à l'igname dans les rations alimentaires (pâte de manioc au lieu de la pâte d'igname).

2. Le manioc se commercialise et se conserve plus facilement grâce surtout à sa transformation en gari et tapioca. Grâce à sa transformation, il occupe une place importante dans les habitudes alimentaires des couches de la population à faible revenu (BECK, 1995 cité par van den AKKER, 2000). La transformation du manioc est devenu une activité lucrative qui occasionne de plus en plus dans la partie sud-ouest de l'Ouémé supérieur des migrations saisonnières des familles en provenance du sud. Ces immigrants achètent des champs de manioc, s'installent pour une période de deux mois en moyenne, récoltent et transforment le manioc et rentrent chez eux à partir d'où ils vendent les produits transformés (gari, tapioca).
3. Le manioc se conserve plus facilement dans le sol, ce qui contrairement à l'igname l'expose moins aux fluctuations des prix et le rend un aliment de sécurité alimentaire plus sûr.
4. Malgré une croissance régulière et continue de la production du manioc au Bénin, la demande globale demeure insatisfaite et cela à cause d'une croissance démographique galopante et des exportations vers les pays de la région (MAROYA, 1999).
5. Une cinquième raison non moins la moindre est son aptitude à pouvoir venir au milieu ou à la fin des systèmes de rotation et sur divers types de sols (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993) même sur les sols épuisés (van den AKKER, 2003) alors que l'igname vient presque exclusivement en tête de rotation.

Alors que la productivité agricole du manioc ne diffère pas de celle de l'igname, sa productivité en biomasse dépasse celle de l'igname (23,6 t ha⁻¹an⁻¹ de manioc contre 15,3 t ha⁻¹an⁻¹ d'igname) (Tab. 22). Le fait que les productivités en biomasse des deux cultures soient similaires à Sérou s'explique par les récoltés du manioc situés à moins de 18 mois de la plantation. L'indice de récolté du manioc est de 0,53 à Sérou et de 0,47 à Doguè. Les deux indices se situent entre 0,41 et 0,65 obtenus respectivement pour les variétés TMS 30572 et BEN 86052 récoltées à 12 mois de la plantation (MAROYA, 1999). Par contre l'indice de récolte de l'igname à Doguè

¹¹ Au nord de l'Ouémé supérieur, les céréales (mil et sorgho) constituaient l'aliment de base

(0,72) est différent de celui de l'igname à Sérrou (0,63) (Tab. 23). Cette différence peut s'expliquer par les différentes variétés utilisées ainsi que les façons de les associer mais surtout par la dégradation de la fertilité des sols (JUNGE, 2004) à Sérrou qu'à Doguè.

3.3.2.3. Systèmes de cultures à base de sorgho

Les anciens départements du Borgou et de l'Atacora constituent le grenier du sorgho (*Sorghum bicolor*) et du mil (*Pennisetum glaucum*), principales céréales cultivées au nord du Bénin (UNB, 1994 ; van den AKKER, 2000). Alors que le sorgho est très présent dans tout le bassin versant de l'Ouémé supérieur, la culture du mil commence plutôt dans la partie nord de ce bassin versant et devient progressivement très importante dans la zone extrême nord du Bénin. Le sorgho est semé à partir de mai jusqu'en juillet et récolté à partir de fin novembre (six mois après le semis) (Fig. 9). La densité de plants du sorgho est en moyenne de 21700 plants par hectare (Tab. 20) varie entre 24400 et 51200 plants par hectare selon qu'il est associé à d'autres cultures ou pas. Les semis sur les petits billons en culture pure se font sur les écartements de 60 cm entre les lignes et 40 cm sur les lignes. Sans compter 6% de la superficie des systèmes cultureux basés sur l'association du sorgho et du maïs, les systèmes cultureux à base de sorgho occupent 10% de la superficie totale cultivée au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Toutefois, par rapport au maïs, le sorgho et le mil perdent de plus en plus leur importance. Entre 1961 et 1993 la superficie totale du sorgho et du mil au Bénin a augmenté de 1,7% passant de 146025 à 148550 ha et celle du maïs de 4,3% passant de 375650 à 391840 ha (UNB, 1994). Entre 1987 et 1997 la superficie du sorgho et du mil a augmenté de 23% passant de 149918 à 184400ha alors que celle du maïs a augmenté de 44,9% passant de 402307 à 582862 ha (van den AKKER, 2000). Cette tendance trouve ses explications dans les changements des habitudes alimentaires (van den AKKER, 2000) et dans le fait que, contrairement au sorgho, le maïs constitue de plus en plus une culture de rente.

Les systèmes cultureux à base de sorgho sont principalement constitués de superficies emblavées sous la culture du sorgho pure (5% de la superficie totale cultivée) et sous diverses associations dont les plus importantes sont sorgho + niébé/haricot (2,1%), sorgho + arachide +/- légumes (0,9%) et sorgho + sésame

(0,6%) (Tab. 18). Dans l'ensemble, les systèmes de cultures à base de sorgho atteignent à Sérrou un rendement en phytomasse de $6,3 \text{ t ha}^{-1}$ de matière sèche avec un indice de récolte de 0,17 et une efficacité d'utilisation de l'eau de $0,85 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ (phytomasse) et 429 kcal m^{-3} (Tab. 22, Tab. 23). **Concernant l'efficacité d'utilisation de l'eau, le sorgho semble également profiter de la rosée qui pourtant n'est jamais prise en compte dans les précipitations.** En effet, au cours de cette étude, il a été constaté que les plants de sorgho au stade de remplissage en octobre parviennent à produire alors que la saison des pluies cesse avec le début du mois d'octobre. En tenant compte de la productivité calorifique et de la superficie des différents systèmes culturaux, la production calorifique des systèmes culturaux à base de sorgho atteint 7% (soit 0,3 million kcal) de la production totale calorifique (4,4 millions kcal) d'un hectare cultivée dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur (Tab. 60). Comme TRISTRAM (2000) l'a également constaté, les systèmes associés pourraient en outre constituer des puits de carbone.

3.3.2.4. Systèmes de cultures à base de maïs

Alors que le maïs était, contrairement au sorgho, beaucoup plus cultivé dans le sud du Bénin (UNB, 1994 ; van den AKKER, 2000), il occupe de plus en plus une place importante dans les systèmes de production agricole du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Sans compter la superficie des systèmes culturaux basés sur l'association du maïs et du sorgho (6%), les systèmes culturaux à base de maïs occupaient en 2000-2001 dans l'Ouémé supérieur 14% de la superficie totale cultivée (Tab. 17). Cette importance n'est pas uniquement motivée par le rôle du maïs dans les ratios alimentaires (particulièrement pendant la période de soudure¹²) mais également par sa demande toujours croissante sur le marché béninois. Endéans une période de cinq à six mois, le prix du maïs peut fluctuer de 1 à 1,6 fois (le prix d'un sac de grains de maïs de 80 à 100 kg qui était d'environ 8000 FCFA¹³ en octobre 2001 avait facilement atteint 13000 FCFA en mars 2002 à Doguè).

Les systèmes culturaux à base de maïs sont principalement constitués de systèmes culturaux où le maïs est cultivé en pur ainsi que des systèmes où le maïs est associé

¹² La période de soudure la plus difficile s'étend particulièrement d'avril en juillet

¹³ FCFA: monnaie commune utilisée dans la zone de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). 1€ = 655,96 FCFA

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

à d'autres cultures (Tab. 17). La densité des plants de maïs se situe autour de 30501 plants par hectare (Tab. 20) et varie en général de 11700 à 40207 plants par hectare. L'association du maïs avec le niébé ou le haricot reste la plus dominante (1,3% de la superficie totale cultivée). Cependant, dans ce genre d'association, l'indice de récolte du niébé/haricot reste très faible (0,0 à 0,2) (Tab. 22) surtout quand les deux cultures (maïs et niébé/haricot) ont été semées en même temps. Cet indice est nettement inférieur à 0,28 et 0,38 obtenus respectivement à Doguè et à Sérrou dans le cas du niébé/haricot associé cette fois-ci à l'igname, le niébé/haricot était semé un peu avant la récolte de l'igname hâtif. Le faible indice de récolte dans l'association avec le maïs est vraisemblablement dû à l'insuffisance de la lumière que reçoivent les feuilles de niébé/haricot situées au raz du sol sous l'ombre des feuilles de maïs. En terme de production calorique, les systèmes de production à base de maïs atteignent 5,4 et 4,4 millions de calories par hectare et par an respectivement à Sérrou et à Doguè (Tab. 23). Sur un total de 4,4 millions kcal produites sur un hectare cultivé du bassin versant de l'Ouémé supérieur, 15% proviennent des systèmes de cultures à base de maïs (Tab. 60). L'efficacité d'utilisation de la pluie est de 838 kcal m⁻³ à Doguè et 736 kcal m⁻³ à Sérrou. Quant à l'indice de récolte des systèmes culturels à base de maïs, il est de 0,20 à Doguè et de 0,25 à Sérrou. Cette différence de productivité entre le village de Sérrou et celui de Doguè confirme à la fois la tendance de l'intensification agricole dans les villages sans assez de terres et l'intensification du maïs en particulier. Alors que le village de Sérrou utilise de plus en plus des semences améliorées et les engrais minéraux, celui de Doguè utilise toujours les semences traditionnelles tardives et n'applique que rarement les engrais minéraux.

La période de semis du maïs s'étend généralement d'avril à août pour des variétés de 3 à 4 mois. Au cours de cette étude en 2002, il a été constaté que si la saison des pluies restait régulière, les agriculteurs pourraient faire deux récoltes de maïs sur une même parcelle pendant une même saison culturale (pluvieuse). En effet, dans un champs d'observation située dans le village de Doguè, un agriculteur ayant semé le premier maïs début mai a pu le récolter fin juillet et directement semer le deuxième maïs qui a également reçu assez de pluies jusqu'à sa phase de remplissage.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Le maïs devient de plus en plus une culture d'intensification autour de laquelle les agriculteurs utilisent les semences améliorées et appliquent les engrais minéraux. Cependant, cette ébauche d'intensification se heurte à l'ignorance des agriculteurs et au manque de moyens financiers pour acheter des intrants agricoles nécessaires. En effet, les semences améliorées qui devraient être renouvelées à chaque saison culturale sont utilisées pendant plus de trois saisons culturales. Même en appliquant la quantité d'engrais minéraux recommandée, l'agriculteur n'arrive pas à obtenir les rendements escomptés si les semences ont dégénéré. Comme les engrais minéraux sont octroyés à crédit et uniquement aux producteurs du coton, les paysans accèdent difficilement à la fertilisation minérale du maïs. Pour surmonter ce problème, ils réduisent la dose d'engrais minéraux normalement recommandée pour le coton au profit du maïs. Il en résulte que la quantité d'engrais utilisée pour chaque culture (en moyenne 150kg NPK/ha pour le coton et 50kg NPK/ha pour le maïs) n'atteint pas les doses optimales requises (200 kg ha⁻¹ NPK pour le coton, 200 NPK kg ha⁻¹ pour le maïs) et que par conséquent, la réponse à la fertilisation minérale reste toujours inférieure au rendement escompté.

Même si les dégâts ne sont pas encore aussi importants que dans le cas du sorgho (Photo 5), sur les sols dégradés notamment à Sérrou (la striga n'est pas encore présent dans les champs de Doguè), la culture du maïs est également menacée par la striga (*Striga hermonthea*). Les agriculteurs constatent les dégâts (allant jusqu'à plus de 50% de la production du sorgho) occasionnés par cette plante parasite mais ne sont pas jusqu'à présent informés ni sur la striga elle-même ni sur les techniques de lutte qu'ils doivent adopter (arrachage des plants de la striga avant la floraison, fertilisation minérale et organique, variétés plus résistantes, inoculation des semences avec du *Fusarium oxysporum*). Les observations réalisées au cours de cette étude, particulièrement dans le village de Sérrou, assurent que le Bénin n'est pas à l'abri de la striga comme le laisserait croire WATSON, (-). Avec la croissance de la pression démographique (qui s'accompagne la dégradation des terres), la striga risque de devenir un grand handicap à la production céréalière dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.



Photo 5: Champs de sorgho dévasté par la striga à Sérrou

3.3.2.5. Systèmes de cultures à base d'association sorgho + maïs

Les systèmes de cultures basés sur l'association du maïs et du sorgho occupent 6% de la superficie totale cultivée et constituent de ce fait la principale association des cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur. La production en phytomasse est de 13,2 et 8,9 t ha⁻¹ avec l'indice de récolte de 0,23 et 0,24 (correspondant à 9,4 et 6,7 millions kcal ha⁻¹) respectivement à Doguè et à Sérrou (Tab. 22, Tab. 23). L'efficacité d'utilisation de l'eau est de 2,22 g m⁻² mm⁻¹ à Doguè et de 1,30 g m⁻² mm⁻¹ à Sérrou. Concernant la biomasse, ces systèmes viennent en deuxième position après les systèmes de cultures basés sur les plantes à tubercules. Quant à la production calorique, sur 4,4 millions kcal produites par différents systèmes de cultures sur un hectare cultivé, les systèmes basés sur l'association du maïs et du sorgho y contribuent à 10% soit 0,5 million kcal (Tab. 60). L'efficacité d'utilisation de la pluie est de 1564 et 1036 kcal m⁻³ respectivement à Doguè et à Sérrou.

3.3.2.6. Systèmes de cultures à base de riz

Sauf dans de cas rares où le riz (*Oryza glaberrima* et *Oryza sativa*) est associé à d'autres cultures notamment le maïs et l'igname, les systèmes cultureux à base de riz sont constitués de riz pure.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation



Photo 6: Association riz- maïs à Doguè

La densité de plants dans la culture pure est d'environ 185600 plants par hectare (Tab. 20) et varie de 84000 à 370000 plants par hectare selon surtout le mode de semis (en ligne ou à la volée). Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, le riz est principalement cultivé par les immigrants dans les bas fonds inondés. Les systèmes culturaux à base de riz occupent 2% de la superficie totale cultivée (Tab. 18). La production en phytomasse de ces systèmes atteint 8,7 et 3,9 t ha⁻¹ avec l'indice de récolte de 0,23 et 0,30 respectivement à Doguè et à Sérrou (Tab. 22). L'indice de récolte moins élevé à Doguè qu'à Sérrou s'explique par un taux d'infertilité des épillets qui était apparemment plus important à Doguè qu'à Sérrou. De plus, la variété cultivée à Sérrou était plus courte que celle cultivée à Doguè. Compte tenu de l'objectif de la recherche internationale sur le riz d'atteindre un indice de récolte de 0,60 (BIENVENIDO, 1994), les valeurs d'indice de récolte obtenues à Doguè et à Sérrou sont faibles et se situent dans la fourchette des valeurs d'indice de récolte (0,30 - 0,40) qui caractérisent les variétés traditionnelles à haute tige (BIENVENIDO, 1994). L'efficacité d'utilisation de la pluie en terme biomasse est de 1,14 g m⁻² mm⁻¹

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

à Doguè et $0,48 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ à Sérrou (Tab. 22). Quant à la production agricole annuelle, elle est de 4,2 et 2,5 millions kcal par hectare avec des valeurs de l'efficacité d'utilisation de la pluie de 545 et 300 kcal m^{-3} respectivement à Doguè et à Sérrou (Tab. 23). Sur un total de 4,4 millions kcal produites par différents systèmes culturaux sur un hectare cultivé du bassin versant de l'Ouémé supérieur, la culture du riz y contribue uniquement à 2% soit 0,1 million kcal (Tab. 60). Compte tenu de la pression croissante des immigrants dans cette zone et de la présence des bas fonds qui jusqu'alors sont inexploités, les superficies emblavées sous la culture du riz pourraient accroître dans l'avenir. La culture du riz inondé constitue par conséquent un des systèmes de production agricoles qui dans l'avenir va jouer un important rôle dans la sécurité alimentaire au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Par rapport à l'utilisation de l'eau, les systèmes actuels de production du riz y sont principalement caractérisés par de fortes pertes d'eau au niveau de la parcelle et par les variétés tardives (six mois). Afin de permettre une utilisation optimale de l'eau, les bas-fonds devraient être bien aménagés. Ces aménagements devraient comprendre par exemple un lotissement des champs en de petites parcelles faciles à niveler, la construction de petites digues tout autour de ces parcelles afin de maintenir longtemps l'eau sur la parcelle. De plus, des variétés de riz hâtives (4 mois), qui existent déjà, devraient être mises à la disposition des agriculteurs. Ces variétés constituent un grand atout dans l'assurance de la sécurité alimentaire particulièrement en cas de variabilité saisonnière des précipitations.

3.3.2.7. Systèmes de cultures à base de coton

Selon les agriculteurs, la superficie occupée par le coton (*Gossypium hirsutum*) dépend du prix qui leur a été offert au cours de la campagne précédente ou du prix proposé pour la campagne suivante. Indépendamment de la région, cette superficie semble dépendre également de la disponibilité des terres. Dans les conditions de prix satisfaisant, la proportion des superficies occupées par le coton tend à diminuer avec la raréfaction des terres. C'est le cas des villages Sérrou et Wéwé en 2000 ou de l'Ouémé moyen par rapport à l'Ouémé supérieur (Tab. 18). La densité des plants oscille autour de 37756 plants par hectare (Tab. 20) et varie entre 18800 et 52900 plants par hectare. La production en fibres+graines varie de 0,4 à 2,2 tonnes par hectare.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation



(a) Plants de coton avec des capsules



(a) Plants de coton à la récolte

Photo 7: Champs de coton modérément bien entretenus

3.3.2.8. Systèmes de cultures à base de légumineuses

Les systèmes culturaux à base de légumineuses représentent 7% de la superficie totale cultivée. Elles sont constituées à 2,9% par l'arachide, 2,7% par le niébé/haricot, 0,7% par le soja et à 0,6% par le voandzou (Tab. 18). Selon qu'une légumineuse est associée à d'autres cultures ou pas, la densité des plants par hectare varie de 28000 à 114000 pour l'arachide, de 8200 à 30400 pour le niébé (toujours en association) et est d'environ 54000 pour le « voandzou ». L'arachide produite au nord du Bénin est particulièrement utilisée pour la production de l'huile d'arachide (YEBE, 1996 cité par van den AKKER, 2000), ce qui par conséquent la rend également une culture de rente. Dans les villages où la raréfaction des terres existe, les agriculteurs font intervenir les légumineuses dans leurs systèmes d'assolement et de rotation afin de restaurer la fertilité des parcelles (Tab. 27). Alors que les légumineuses contribuent uniquement à 4% (0,7 million kcal) de la production calorifique d'un hectare cultivé, leur part à la production lipidique est de 43% (12,2 kg ha⁻¹) et sont par conséquent la principale source de lipides végétales (Tab. 45).

3.3.2.9. Systèmes de cultures à base d'anacardier ou système taungya

Le système taungya (MacDONALD, 1982) à anacardier présente deux phases. La première phase s'étendant sur une période de 4 à 5 ans est la phase où l'anacardier

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

est associé à d'autres cultures (igname, manioc, maïs, sorgho, arachide). La deuxième phase commence à partir de la 5^e ou 6^e année de la culture d'anacardier, l'anacardier n'est plus associé à aucune autre culture. La densité des plants d'anacardier varie de 200 à 378 arbres par hectare. Compte tenu de l'importance économique des noix d'anacardier, l'extension des plantations d'anacardiens est en forte croissance.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 22: Production de la biomasse et efficacité d'utilisation de la pluie des différents systèmes de cultures à Doguè et à Sérôu

Systèmes de cultures	Cultures ou associations des cultures	Doguè				Sérôu			
		Pluie	Biomasse	Indice de récolte	Efficacité d'utilisation de la pluie	Pluie	Biomasse	Indice de récolte	Efficacité d'utilisation de la pluie
		(mm)	(t ha ⁻¹)		(g m ⁻² mm ⁻¹)	(mm)	(t ha ⁻¹)		(g m ⁻² mm ⁻¹)
1. Igname			15,3	0,72	2,5		10,2	0,63	1,5
	<u>Igname + niébé</u>		14,2	0,70	2,4		8,5	0,66	1,0
	<u>Igname</u>	640	13,2	0,73	2,1	950	8,2	0,67	0,9
	<u>Niébé</u>	303	1,0	0,28	0,3	250	0,3	0,38	0,1
	<u>Igname</u>	640	16,5	0,75	2,6				
	<u>Igname</u>	640	16,5	0,75	2,6				
	<u>Igname + mil</u>						8,1	0,73	0,8
	<u>Igname</u>					1155	7,0	0,82	0,6
	<u>Mil</u>					639	1,2	0,12	0,2
	<u>Igname + niébé + mil</u>						14,0	0,51	2,6
<u>Igname</u>					1063	9,5	0,71	0,9	
<u>Niébé</u>					401	6,1	0,05	1,5	
<u>Mil</u>					531	0,8	0,21	0,2	
2. Manioc			23,6	0,47	1,4		12,0	0,53	0,9
	<u>Manioc*</u>		23,6	0,47	1,4	1386	12,0	0,53	0,9
	<u>Manioc</u>	1670	23,6	0,47	1,4	1386	12,0	0,53	0,9
3. Sorgho							6,3	0,17	0,9
	<u>Sorgho</u>					863	5,5	0,21	0,6
	<u>Sorgho + niébé</u>						7,2	0,13	1,1
	<u>Sorgho</u>					863	6,5	0,13	0,8
<u>Niébé</u>					267	0,8	0,17	0,3	
4. Maïs			8,0	0,20	1,4		6,7	0,25	0,9
	<u>Maïs</u>	654	3,4	0,20	0,5	784	6,2	0,22	0,8
	<u>Maïs + niébé</u>		13,2	0,14	1,9		7,2	0,27	1,0
	<u>Maïs</u>	682	11,9	0,16	1,7	701	6,7	0,28	1,0
	<u>Niébé</u>	682	1,3	0,00	0,2	577	0,5	0,25	0,1
	<u>Maïs + arachide</u>	823	7,4	0,20	2,0				
<u>Maïs</u>	381	6,0	0,22	1,6					
<u>Arachide</u>	336	1,5	0,12	0,4					
5. Sorgho + Maïs			13,2	0,23	2,2		8,9	0,24	1,3
	<u>Sorgho + maïs</u>		13,2	0,23	2,2		8,9	0,24	1,3
	<u>Sorgho</u>	963	12,7	0,16	1,3	852	5,9	0,12	0,7
	<u>Maïs</u>	359	3,3	0,32	0,9	573	3,5	0,40	0,6
6. Riz			8,7	0,23	1,1	838	3,9	0,30	0,5
	<u>Riz</u>	770	8,7	0,23	1,1	838	4,0	0,30	0,5
7. Légumineuses			346	3,3	0,21	0,9		5,9	0,24
	<u>Arachide</u>	346	3,3	0,21	0,9	695	2,8	0,18	0,4
	<u>Arachide + mil</u>						6,8	0,20	1,1
	<u>Arachide</u>					714	4,3	0,28	0,6
	<u>Mil</u>					480	2,4	0,07	0,5
	<u>Arachide + sorgho</u>						7,2	0,23	0,9
	<u>Arachide</u>					679	4,0	0,29	0,6
	<u>Sorgho</u>					957	2,6	0,17	0,3
	<u>Voandzou</u>					805	6,9	0,35	0,9
<u>Voandzou + sorgho</u>						6,0	0,24	0,8	
<u>Voandzou</u>					722	4,1	0,31	0,6	
<u>Sorgho</u>					722	1,9	0,10	0,3	
8. Coton			5,9	0,21	0,4		5,9	0,27	0,7
	<u>Coton</u>	460	1,9	0,21	0,4	839	5,9	0,27	0,7

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 23: Production calorique et efficacité d'utilisation de la pluie des différents systèmes de cultures à Doguè et à Sérrou

Systèmes de cultures	Cultures ou associations des cultures	Coefficient de conversion en calories (kcal kg ⁻¹)	Doguè					Sérrou						
			Pluie (mm)	Productivité agricole (t ha ⁻¹)	Productivité agricole (kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	Indice de récolte	Efficacité d'utilisation de la pluie (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Efficacité d'utilisation de la pluie (kcal m ⁻³)	Pluie (mm)	Productivité agricole (t ha ⁻¹)	Productivité agricole (kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	Indice de récolte	Efficacité d'utilisation de la pluie (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Efficacité d'utilisation de la pluie (kcal m ⁻³)
1. Igname				11,1	10554258	0,72	17,6	1721		6,2	6255447	0,63	6,3	705
	Igname + niébé			10,0	9780863	0,70	16,1	1672		5,6	5455498	0,66	6,3	686
	Igname	921,13	640	9,7	8953384	0,73	15,2	1398	950	5,5	5073584	0,67	5,8	534
	Niébé	3031,06	303	0,3	827479	0,28	0,9	274	250	0,1	381914	0,38	0,5	153
	Igname		640	12,3	11327654	0,75	19,2	1770						
	Igname	921,13	640	12,3	11327654	0,75	19,2	1770						
	Igname + mil									5,9	5733483	0,73	5,2	528
	Igname	921,13							1155	5,7	5285193	0,82	5,0	458
	Mil	3037,74							639	0,1	448289	0,12	0,2	70
	Igname + niébé + mil									7,2	7577361	0,51	7,3	901
	Igname	921,13							1063	6,7	6161052	0,71	6,3	579
	Niébé	3031,06							401	0,3	894537	0,05	0,7	223
Mil	3037,74							531	0,2	521772	0,21	0,3	98	
2. Manioc				11,0	11205583	0,47	6,6	671		6,4	6525761	0,53	4,6	471
	Manioc			11,0	11205583	0,47	6,6	671	1386	6,4	6525761	0,53	4,6	471
	Manioc	1023,07	1670	11,0	11205583	0,47	6,6	671	1386	6,4	6525761	0,53	4,6	471
3. Sorgho										1,1	3232222	0,17	1,4	429
	Sorgho	3037,74							863	1,2	3564392	0,21	1,4	413
	Sorgho + niébé									1,0	2900051	0,13	1,5	445
Sorgho	3037,74							863	0,8	2477117	0,13	0,9	287	
Niébé	3031,06							267	0,1	422934	0,17	0,5	158	
4. Maïs				1,4	4380635	0,20	2,6	838		1,7	5357088	0,25	2,3	736
	Maïs	3225,32	654	0,7	2211492	0,20	1,0	338	784	1,4	4395099	0,22	1,7	561
	Maïs + niébé			1,9	6143590	0,14	2,8	901		2,0	6319077	0,27	2,8	912
	Maïs	3225,32	682	1,9	6143590	0,16	2,8	901	701	1,9	5981431	0,28	2,6	854
	Niébé	3031,06	682	0,0	0	0,00	0,0	0	577	0,1	337646	0,25	0,2	59
	Maïs + arachide		823	1,5	4786825	0,20	4,0	1276						
	Maïs	3225,32	381	1,3	4286450	0,22	3,5	1127						
Arachide	2779,86	336	0,2	500375	0,12	0,5	149							
5. Sorgho + Maïs				3,0	9368289	0,23	5,0	1564		2,1	6650968	0,24	3,3	1036
	Sorgho + maïs			3,0	9368289	0,23	5,0	1564		2,1	6650968	0,24	3,3	1036
	Sorgho	3037,74	963	2,0	5980371	0,16	2,0	621	852	0,7	2166875	0,12	0,8	254
Maïs	3225,32	359	1,1	3387918	0,32	2,9	943	573	1,4	4484093	0,40	2,4	782	
6. Riz				2,0	4192001	0,23	2,6	545	838	1,2	2518139	0,30	1,5	300
	Riz	2070,41	770	2,0	4192001	0,23	2,6	545	838	1,2	2518139	0,30	1,5	300
7. Légumineuses				3,46	1929779	0,21	2,0	558		1,5	4362722	0,24	2,0	496
	Arachide	2779,86	346	0,7	1929779	0,21	2,0	558	695	0,5	1393177	0,18	0,7	201
	Arachide + mil									1,4	3854064	0,20	2,0	575
	Arachide	2779,86							714	1,2	3347941	0,28	1,7	469
	Mil	3037,74							480	0,2	506122	0,07	0,3	105
	Arachide + sorgho									1,6	4625671	0,23	2,2	622
	Arachide	2779,86							679	1,2	3244203	0,29	1,7	478
	Sorgho	3037,74							957	0,5	1381468	0,17	0,5	144
	Voandzou	3121,17							805	2,4	7440722	0,35	3,0	462
	Voandzou + sorgho									1,4	4499975	0,24	2,0	623
Voandzou	3121,17							722	1,3	3907081	0,31	1,7	541	
Sorgho	3037,74							722	0,2	592895	0,10	0,3	82	
8. Coton				0,4		0,21	0,8			1,6		0,27	1,9	
	Coton		460	0,4		0,21	0,8		839	1,6		0,27	1,9	

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 24: Production protéique, lipidique et efficacité d'utilisation de la pluie des différents systèmes de cultures à Doguè et à Sérôu

Systèmes de cultures	Cultures ou associations des cultures	Coefficient de conversion		Doguè						Sérôu					
		Protéines	Lipides	Pluies	Production	Protéines		Lipides		Pluies	Production	Protéines		Lipides	
		(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mm)	(t ha ⁻¹)	(g ha ⁻¹ an ⁻¹)	(g m ⁻³)	(g ha ⁻¹ an ⁻¹)	(g m ⁻³)	(mm)	(t ha ⁻¹)	(g ha ⁻¹ an ⁻¹)	(g m ⁻³)	(g ha ⁻¹ an ⁻¹)	(g m ⁻³)
1. Igname					11,1	188660	34	18910	3,3		6,2	123033	18	11619	1,5
	Igname + niébé				10,0	196424	40	18760	3,6		5,6	105688	18	10242	1,6
	Igname	14,71	1,55	640	9,7	142981	22	15066	2,4	950	5,5	81023	9	8537	0,9
	Niébé	195,76	13,53	303	0,3	53442	18	3694	1,2	250	0,1	24666	10	1705	0,7
	Igname			640	12,3	180897	28	19061	3,0						
	Igname	14,71	1,55	640	12,3	180897	28	19061	3,0						
	Igname + mil										5,9	94959	9	9522	0,9
	Igname	14,71	1,55							1155	5,7	84402	7	8893	0,8
	Mil	71,54	4,26							639	0,1	10557	2	629	0,1
	Igname + niébé + mil										7,2	168450	26	15092	2,1
Igname	14,71	1,55							1063	6,7	98389	9	10367	1,0	
Niébé	195,76	13,53							401	0,3	57773	14	3993	1,0	
Mil	71,54	4,26							531	0,2	12288	2	732	0,1	
2. Manioc					11,0	130449	8	7667	0,5		6,4	75969	5	4465	0,3
	Manioc				11,0	130449	8	7667	0,5	1386	6,4	75969	5	4465	0,3
	Manioc	11,91	0,7	1670	11,0	130449	8	7667	0,5	1386	6,4	75969	5	4465	0,3
3. Sorgho											1,1	84798	13	5180	0,8
	Sorgho	71,54	4,26							863	1,2	83943	10	4999	0,6
	Sorgho + niébé										1,0	85652	17	5362	1,1
	Sorgho	71,54	4,26							863	0,8	58337	7	3474	0,4
Niébé	195,76	13,53							267	0,1	27315	10	1888	0,7	
4. Maïs					1,4	129590	26	58250	11,9		1,7	147506	21	61784	8,4
	Maïs	84,92	37,94	654	0,7	58227	9	26014	4,0	784	1,4	115719	15	51700	6,6
	Maïs + niébé				1,9	161756	24	72268	10,6		2,0	179293	26	71868	10,3
	Maïs	84,92	37,94	682	1,9	161756	24	72268	10,6	701	1,9	157486	22	70361	10,0
	Niébé	195,76	13,53	682	0,0	0	0	0	0,0	577	0,1	21807	4	1507	0,3
	Maïs + arachide			823	1,5	168786	46	76468	21,0						
Maïs	84,92	37,94	381	1,3	112859	30	50422	13,3							
Arachide	310,71	144,7	336	0,2	55928	17	26046	7,8							
5. Sorgho + Maïs					3,0	230041	39	48239	12,0		2,1	169093	27	55786	9,6
	Sorgho + maïs				3,0	230041	39	48239	12,0		2,1	169093	27	55786	9,6
	Sorgho	71,54	4,26	963	2,0	140840	15	8387	0,9	852	0,7	51031	6	3039	0,4
	Maïs	84,92	37,94	359	1,1	89201	25	39853	11,1	573	1,4	118062	21	52747	9,2
6. Riz					2,0	106703	14	26686	3,5	838	1,2	64096	8	16030	1,9
	Riz	52,7	13,18	770	2,0	106703	14	26686	3,5	838	1,2	64096	8	16030	1,9
7. Légumineuses					0,7	215695	62	100451	29,0		1,5	275608	38	248774	33,3
	Arachide	310,71	144,7	346	0,7	215695	62	100451	29,0	695	0,5	155718	22	72519	10,4
	Arachide + mil										1,4	386125	55	174980	24,6
	Arachide	310,71	144,7							714	1,2	374205	52	174270	24,4
	Mil	71,54	4,26							480	0,2	11919	2	710	0,1
	Arachide + sorgho										1,6	395145	57	170808	25,1
	Arachide	310,71	144,7							679	1,2	362610	53	168870	24,9
	Sorgho	71,54	4,26							957	0,5	32534	3	1937	0,2
	Voandzou	117,47	226,84							805	2,4	280043	35	540776	67,2
	Voandzou + sorgho										1,4	161012	22	284790	39,4
Voandzou	117,47	226,84							722	1,3	147049	20	283958	39,3	
Sorgho	71,54	4,26							722	0,2	13963	2	831	0,1	
8. Coton					0,4		0,21	0,8			1,6		0,27	1,9	
	Coton			460	0,4		0,21	0,8		839	1,6		0,27	1,9	

3.3.3. Distribution des systèmes cultureux dans l'Ouémé supérieur

De façon générale, les systèmes cultureux à base de tubercules et ceux à base de céréales ont une même importance dans l'occupation des terres (31%) (Tab. 25). En deuxième position viennent les systèmes cultureux à base de coton qui occupent 17 % des superficies cultivées. Quant aux légumineuses, elles occupent uniquement

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

7% de la superficie des cultures annuelles dont 2,9% revient à l'arachide (*Arachis hypogea*), 2,7% au niébé/haricot, 0,7% au soja et 0,6% au « voandzou » ou haricot de terre (*Vigna subterranea* (L) Verdc.¹⁴). Le voandzou étant une légumineuse très tolérante à la sécheresse (STICKSEL, 1999; SCHUSTER *et al.* 1998) son importance dans l'Ouémé supérieur tend à augmenter avec la variabilité saisonnière des précipitations. D'autres systèmes cultureux sont ceux à base de bananier (0,1%), de courges localement appelés « sésame » (1,0%) dont les graines moulues servent à préparer les sauces, de légumes (2,2%), tabac (0,4%), manguier (0,5%) (Tab. 18). Sur les trois transects Est-ouest ainsi que sur les trois transects Nord-Sud, il n'existe aucune grande différence quant à la distribution des superficies des cultures à tubercules. Toutefois, les systèmes cultureux à base d'igname tendent à dominer sur les transects TE1, TE3, TN1 et TN2. Les points de rencontre de ces transects définis par Sérou, Sonomoun, Doguè et Bariki délimitent la zone où les systèmes de cultures à base d'igname sont importants. Sur le transect TE2 les systèmes cultureux à base de manioc tendent à occuper une place plus importante. Sur le transect TN3 (Wodora, Sirarou, Tchatchou), la patate douce est partout cultivée mais encore dans de moindres proportions. Au niveau des céréales, le maïs occupe de plus en plus une place dominante par rapport au sorgho, riz et mil. C'est d'ailleurs la seule culture de subsistance autour de laquelle les paysans commencent à appliquer le paquet technologique d'intensification agricole (engrais minéraux, semences améliorées, ...). Les légumineuses sont importantes dans la partie Nord-Est mais aussi dans les villages de l'Ouest qui ne disposent pas assez de terres tels que Sérou et Wéwé. Plus la terre devient rare ou dégradée, plus les agriculteurs ont tendance à faire beaucoup plus de légumineuses.

¹⁴ Le nom change constamment: 1648: „Mandubi d'Angola“; 1763: *Glycine subterranea*; 1806: "Voandzou", *Voandzeia subterranea*; 1980: *Vigna subterranea* (L.) Verdc. Entre-temps *Arachis africana* Burm. et *Cryptolobus subterraneus* Spreng sont également utilisés (SCHUSTER *et al.*, 1998).

Tab. 25: Distribution des superficies (%) par système de cultures et par transect

Systèmes culturaux	TE1	TE2	TE3	TN1	TN2	TN3	Moyenne
Plantes à tubercules	31,1	30,4	31,8	31,2	33,2	29,1	31
Igname	19,2	14,2	18,7	17,9	19,3	15,0	17
Manioc	11,2	16,2	13,1	13,3	13,6	13,7	14
Patate douce	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0
Céréales	33,1	25,8	35,5	29,6	35,5	29,3	31
Sorgho	11,2	8,0	9,4	10,1	11,1	7,2	10
Maïs	15,0	14,0	12,6	10,1	13,8	17,8	14
Sorgho + Maïs	4,5	1,3	10,8	6,9	6,8	3,0	6
Riz	2,3	2,5	2,6	2,5	3,8	1,2	2
Légumineuses	9,6	6,1	5,9	7,1	7,4	7,2	7
Coton	17,4	22,8	10,7	15,2	16,3	19,4	17
Autres	8,2	12,9	13,9	13,9	7,5	13,7	12
Boisement	0,7	1,7	2,3	3,0	0,3	1,4	2
Total	100	100	100	100	100	100	100

3.3.4. Calendriers culturaux

Les calendriers culturaux qui s'étendent de la date de semis à la date de récolte varient d'une culture et d'une variété à une autre (Fig. 9). Ils sont en outre déterminés par le régime des pluies. Si la saison des pluies tarde à commencer, les dates de semis seront également retardées, ce qui repousse les dates de récoltes.

La disponibilité en main d'œuvre est également un facteur important dans le respect des calendriers culturaux. Avant et pendant le début de la saison des pluies, les travaux champêtres à réaliser sont énormes, laborieux et onéreux. Certaines exploitations agricoles familiales n'arrivent pas à finir les labours au moment opportun. Pour les cultures à cycles végétatifs courts comme le haricot, l'arachide, le maïs, les dates de semis sont généralement échelonnées sur plus de deux mois.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Calendrier culturel: période de semis/plantation et période de récolte													
Zone	Dec.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	
Ouémé supérieur	Feux de brousse							Saison des pluies					
	Igname												
							Igname						
				Manioc									
					Maïs								
								Maïs					
					Arachide				Arachide				
						Sorgho						Sorgho	
						Riz				Riz			
					Anacardier								
						Coton						Baumwolle	
	Ouémé moyen	Feux de brousse							Saison des pluies				
Igname													
							Igname						
				Manioc									
					Maïs								
								Maïs					
					Arachide								
								Erdnüsse					
						Sorgho						Sorgho	
								Soja			Soja		
								Riz			Riz		
								Voandzou				Voandzou	
				Niébé/haricot									
							Niébé/haricot						
									Niébé/haricot		Haricot		
							Coton				Coton		
				Le manioc se récolte à partir de 18 mois de la période de plantation									
				Période de semis/plantation									
				Période de récolte									

Fig. 9: Calendriers culturels dans l’Ouémé supérieur et l’Ouémé moyen

3.3.5. Systèmes de labour

Les systèmes de labour dépendent principalement de la culture, de la profondeur et de la fertilité des sols ainsi que des moyens techniques à la disposition de l’agriculteur.

L’igname qui est une culture venant en tête de rotation est planté dans des buttes dont la hauteur varie de 50 cm à 120 cm. Deux principales raisons sont à la base de ce système de labour à grandes buttes: les tubercules de l’igname atteignent facilement 70 cm de long alors que la profondeur de la terre arable dépasse rarement 30 cm. Le buttage permet donc d’augmenter non seulement l’épaisseur de la terre arable mais également l’ameublissement du sol. Une deuxième raison est la facilité des travaux de récolte des tubercules d’igname qui se font en dégageant la terre tout autour du tubercule. La grandeur tout comme la densité des buttes (nombre de buttes par hectare) sont surtout fonction de la variété et de la fertilité des sols. Les variétés à gros tubercules (environ 70 cm et 8 Kg de matière fraîche dont

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

27% de matière sèche) notamment des variétés pour les bas-fonds ont des buttes plus grandes par rapport aux variétés de petits ou moyens tubercules. La densité de buttes pour les variétés à gros tubercules est en moyenne de 3300 buttes à l'hectare alors que pour les autres variétés, elle est de 4300 buttes ha⁻¹. Ces densités de plantation sont pratiquement les mêmes que celles relevées par DEGRAS (1986) dans les régions de savane du Nigéria (3000 à 4960 plants ha⁻¹ pour les terres hautes et 2680 à 3777 plants ha⁻¹ pour les terres basses). Sur les sols moins fertiles et surtout moins profonds, les buttes sont plus petites et leur densité moins élevée que sur les sols fertiles et profonds. Les travaux de buttage réalisés en octobre - décembre sont précédés par un défrichage consistant à éliminer (par abattage et feux) une grande partie des arbres (sauf le néré ou *Parkia biglobosa*, le karité ou *Vitellaria paradoxa* ou *Butyrospermum parkii* et autres arbres à usage médicinal), arbustes et des herbes. Certains arbres éliminés physiologiquement en brûlant la partie basale sont maintenus sur la parcelle afin de servir plus tard de tuteurs aux plants d'igname. Grâce à la traction bovine (charrues tirées par des bœufs), certains agriculteurs au nord du bassin versant de l'Ouémé remuent d'abord le sol en de grandes mottes avant le buttage. Les buttes sont exclusivement réalisées par les hommes à l'aide de houes fabriquées localement. Ces buttes sont généralement disposées parallèlement à la pente et rarement en quinconce. Or c'est cette dernière disposition qui pourrait bien servir de structure anti-érosive. Le manioc est aussi planté dans des buttes mais plus petites que celles de l'igname alors que la longueur de ses tubercules est similaire à celle des tubercules d'igname. Cela peut s'expliquer par une croissance latéralement inclinée des tubercules de manioc différente de celle des tubercules d'igname qui est verticale (Fig. 10).

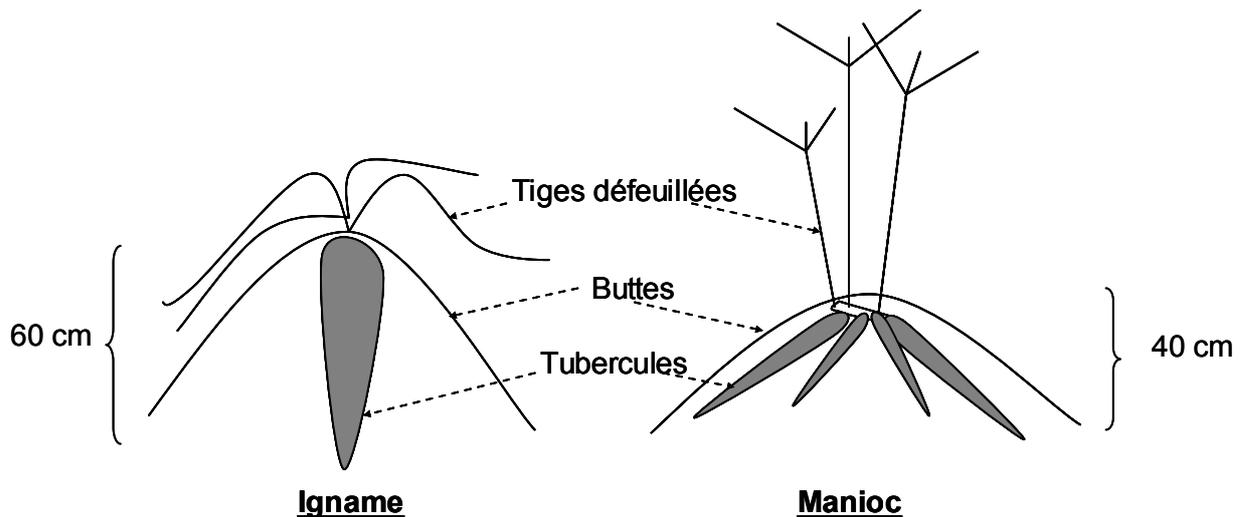


Fig. 10: Disposition des tubercules d'igname et de manioc dans les buttes à la récolte

Au Bénin, les systèmes de labour pour le manioc semblent suivre un certain gradient nord-sud. Au sud le manioc est planté à plat, au centre sur billons et petites buttes et au nord sur de moyennes ou grosses buttes (MAROYA, 1999). Dans l'Ouémé supérieur, quelque soit la fertilité du sol, les plantes à tubercules sont toujours plantées dans des buttes (petites, moyennes ou grosses).

Les céréales et les légumineuses sont semées en lignes sur de petits billons de 15-25 cm de hauteur tracés également à l'aide des houes locales et rarement à l'aide de la traction bovine. Elles sont disposées parallèlement ou perpendiculairement à la pente. La disposition de ces billons par rapport à la pente est principalement guidée par deux facteurs: le drainage de la parcelle et la lutte contre l'éboulement des billons. La plupart des sols reposent sur des croûtes terrestres dures difficilement perméable d'où la nécessité de disposer les billons parallèlement à la pente afin d'éviter la stagnation de l'eau entre les billons. La stagnation d'eau sur la parcelle entraîne la diminution de la production de certaines cultures notamment l'arachide. Ce dispositif permet également que les ruissellements des eaux de pluies n'emportent pas les billons et leurs cultures. Les agriculteurs préfèrent donc une érosion qui se fait tout le long des billons plutôt que celle qui les coupe de travers. Une fois associés aux plantes à tubercules, les céréales et plus particulièrement le maïs et le mil sont également semés sur des buttes. De telles associations s'observent beaucoup plus dans les villages n'ayant suffisamment pas de terres ou

dans les exploitations agricoles familiales ne disposant pas assez de main d'œuvre. Sur des sols encore fertiles, les semis des céréales et légumineuses (exception faite à l'arachide et au voandzou) se font à plat. Néanmoins, si l'agriculteur utilise la culture attelée, les semis se trouvent toujours sur billons.

3.3.6. Assolements et rotation des cultures

Par assolement, on entend la disposition spatiale des cultures, c'est à dire leur répartition sur une superficie déterminée alors que la rotation concerne leur disposition temporelle ou tout simplement leur succession sur une superficie donnée (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993).

3.3.6.1. Assolements des cultures

Les assolements diffèrent selon le mode de faire-valoir en place. Dans les villages ayant suffisamment de terres (cas de Doguè), les cultures de chaque exploitation agricole familiale peuvent être localisées dans les différentes directions et différents endroits du village (Fig. 11). L'agriculteur peut abandonner son site et aller défricher d'autres sites selon sa convenance. Toutefois, il existe des restrictions pour les allochtones (voir la section 3.3.12.2). Quant aux villages où la pression démographique sur les terres devient importante (cas de Sérrou), les champs de chaque exploitation agricole familiale se trouvent dans une direction et dans un endroit bien définis et ce pour toujours.

Tout autour du village (entre les habitations et les champs) se trouve un espace tampon qui abrite généralement un petit îlot de forêt sacrée. Cette zone est différemment utilisée selon la disponibilité en terres de chaque village. Dans les villages ayant encore assez de terres, cet espace sert à la fois de latrines du village, de pâturage et de lieu de parcours pour les petits ruminants et autres animaux de la basse-cour. C'est un espace qui, indirectement empêche les animaux domestiques d'aller abîmer les cultures se trouvant au delà de cette zone tampon. Par contre, dans les villages n'ayant pas suffisamment de terres, la partie non occupée par la forêt sacrée est occupée par les cultures de la case (légumes, maïs, tabac, arbres fruitiers, etc...). Ces jardins bénéficient d'une importante fertilisation organique issue des déchets des ménages et des déjections des animaux d'élevage. Les cultures

atteignent par conséquent des productivités très élevées mais requièrent beaucoup plus de travail notamment pour les protéger contre les animaux d'élevage.

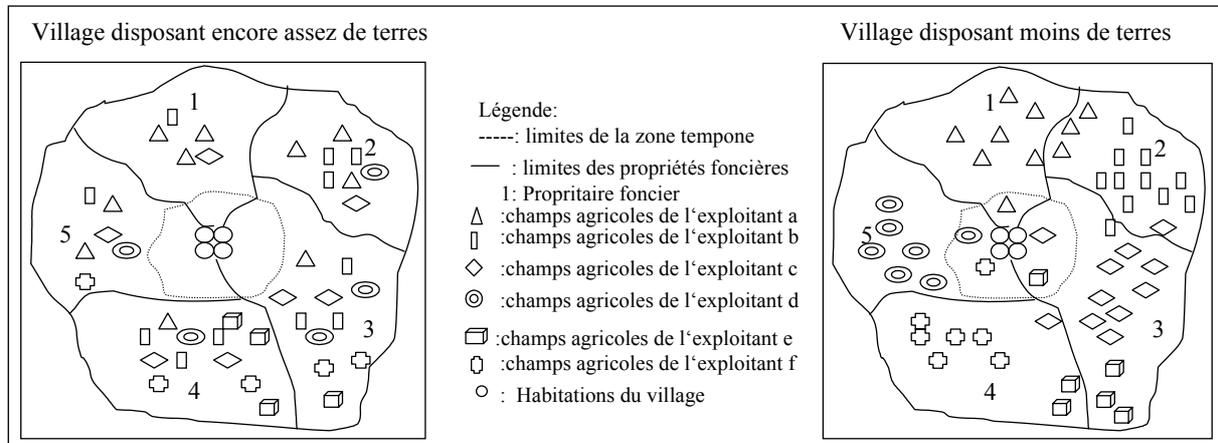


Fig. 11: Disposition des champs selon la disponibilité des terres dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

3.3.6.2. Rotations des cultures

Les rotations des cultures diffèrent d'une exploitation agricole à une autre. Quelque soit le niveau de disponibilité en terres, la culture qui vient en tête de rotation est généralement une plante à tubercule et quelques fois le coton. Le choix de la culture semble être guidé par la fertilité du sol. Ainsi par exemple, dans les villages qui disposent suffisamment de terres, l'igname ouvre le cycle de rotation des cultures dans les champs issus du défrichement des formations naturelles (forêt, savanes) et des jachères de longue durée alors que le coton ou le manioc ouvre la rotation des cultures sur les parcelles issues des jachères de longue ou de courte durée (Tab. 26). Quant aux villages où il y a raréfaction des terres, l'igname est planté dans les parcelles issues des jachères de longue durée alors que le manioc ou le coton ouvre les rotations des parcelles issues des jachères de moyenne durée. Toutefois, dans la partie nord-est du bassin versant de l'Ouémé supérieur, et plus particulièrement chez les Baribas (groupe ethnique dans le Borgou), l'igname peut succéder le sorgho. Le buttage est dans ce cas réalisé avant la récolte du sorgho. Dans les bas-fonds inondés, les rotations des cultures sont rares. Le riz y constitue une monoculture suivie d'une jachère de 2 à 3 ans après 4 à 5 saisons d'exploitation.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 26: Principales cultures venant en tête de rotations selon la disponibilité des terres et la provenance des terres défrichées

Provenance Disponibilité	Forêt/Savane	Jachères de longue durée	Jachères de moyenne durée	Bas-fonds inondés
Terres rares	-	Igname	Manioc/coton	Riz
Terres abondantes	Igname	Manioc/igname	Manioc	Riz

Généralement après la culture d'ouverture d'une rotation, vient en deuxième position une céréale ou une association de céréales ou une association de céréales et de légumineuses. De manière générale, les systèmes de rotation sont ouverts par une plante à tubercule et se terminent par un céréale ou le coton (Tab. 27). Plus particulièrement dans les villages à forte dégradation des terres, le manioc vient également en fin de rotation des cultures. Les légumineuses sont beaucoup plus semées pendant l'avant dernière saison d'exploitation de la parcelle. Ce système, qui selon les paysans permet la régénération de la fertilité des sols, est surtout rencontré dans les villages à haute pression démographique. La jachère survient après 4-6 ans d'exploitation et peut durer jusqu'à plus de 7 ans. Comme DE SCHLIPPÉ (1958) et JARVIS *et al.* (2000) l'ont également constaté, la mise en jachère des parcelles constitue, pour certains agriculteurs, non seulement une technique de régénération de la fertilité des sols mais également celle de lutte contre les adventices tels sont *Imperata cylindrica* et *Striga hermontheca*.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 27: Principaux systèmes de rotation du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Village	1 ^{ère} Saison	2 ^e Saison	3 ^e Saison	4 ^e Saison	5 ^e Saison	6 ^e Saison
Ouémé supérieur						
Sérou	Plantes à tubercules (Ignose/manioc)	Céréales (sorgho/maïs)	Coton ou céréale	Arachide ou coton	Coton ou arachide	Maïs ou coton
Sonoumon	Ignose	Sorgho ou maïs	Coton	Coton	Maïs	Haricot
Wodora	Ignose	Sorgho ou maïs	Coton	Maïs ou coton	Jachère ou anacardier	
Bodi	Ignose	Maïs ou sorgho	Coton	Coton	Coton	Jachère ou anacardier
Wéwé	Ignose	Maïs ou sorgho	Manioc + maïs ou sorgho	Arachide	Ignose	Maïs + sorgho
Sirarou	Ignose	Maïs + sorgho	Coton	Manioc	Jachère ou anacardier	
	Coton	Coton	Maïs	Maïs	Jachère ou anacardier	
Bassila	Ignose	Maïs ou sorgho	Manioc	Arachide	Voandzou	Jachère ou anacardier
Dogué	Plantes à tubercules (Ignose/manioc)	Manioc ou céréale + courges (sésame)	Coton ou céréale (maïs ou sorgho)	Arachide ou céréale (Maïs ou sorgho)	Maïs	Jachère
Tchatchou	Ignose	Maïs ou sorgho	Ignose	Maïs ou sorgho	Jachère ou anacardier	
Ouémé moyen						
Adjante	Ignose	Maïs + manioc	Coton	Haricot ou arachide	Jachère ou anacardier	
Yaoui	Ignose	Maïs	Manioc + arachide	Haricot ou soja	Maïs	Haricot ou soja
	Coton	Courges	Coton ou arachide	Manioc	Jachère ou anacardier	
Ouédémè	Ignose	Maïs + sorgho	Ignose	Arachide ou coton	Haricot	Jachère ou anacardier
Diho	Ignose	Maïs	Manioc	Arachide	Jachère ou anacardier	

3.3.6.3. Classification des jachères

Les agriculteurs distinguent quatre types de jachères :

- *Jachères saisonnières (6-12 mois)* : Ce sont des jachères de quelques mois, particulièrement rencontrées dans les régions à pluviosité unimodale. Après la récolte, la parcelle reste au repos pendant quelques mois en attendant la nouvelle saison culturale. La production de la biomasse de ces jachères dépend surtout de la date de récolte des cultures. Si la récolte a eu lieu en juillet - août, les herbes reçoivent encore assez de pluies pour produire une quantité de biomasse relativement importante (2-3 t ha⁻¹). Les plantes les plus dominantes dans ces jachères sont des légumineuses telles que *Tephrosia ssp.*
- *Jachères de courte durée (1-2 ans)* : Ce sont des jachères conjoncturelles dues surtout au manque de main-d'œuvre. En général, toutes les cultures, excepté l'igname, peuvent venir en tête de rotation sur ces parcelles.
- *Jachères de moyenne durée (3-6 ans)* : Elles sont planifiées et dominées par des graminées et de petits arbustes. La terre est dure et peu sombre et les racines sont plutôt profondes et difficiles à arracher. La culture d'ouverture de ces jachères est généralement l'igname mais aussi le coton.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

- *Jachères de longue durée (7 ans et plus)* : Ce sont des jachères qui dans la classification de la FAO (1991) sont considérées comme des terres abandonnées et ne sont donc pas inventoriées dans les terres agricoles. Elles sont surtout spécifiques aux villages possédant assez de terres et sont dans certains cas comparables aux savanes arborées quant à la production de la litière. La terre devient plus sombre, légère et les racines sont faciles à arracher. Comme précédemment, la culture d'ouverture de ces jachères est généralement l'igname.



(i): Jachère de 6-12 mois



(ii): Jachère de 1-2 ans



(iii): Jachère de 3-6 ans



(iv): Jachère de 7ans et plus

Photo 8: Typologies des jachères des jachères à Sérrou

Cette description édaphique (couleur, densité..) donnée par les paysans est en conformité avec les résultats des études scientifiques. En effet, sur des parcelles en jachères, l'accumulation de la matière organique et des éléments minéraux ainsi que le développement des racines améliorent la disponibilité en élément minéraux et la structure du sol (BEETS; 1990; van WAMBEKE, A. 1974). La matière organique en

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

améliorant la porosité du sol (FAO, 2002a) facilite également la croissance des racines (HOOGMOED & KLAIJI, 1994).

Avec l'augmentation croissante de l'importance économique du noix de cajou (anacardier), les agriculteurs autochtones des villages disposant encore assez de terres laissent de moins en moins leurs champs en jachère. Dès la plantation de l'igname, l'anacardier est semé en direct et reste en association avec d'autres cultures jusqu'à l'âge de 4 ou 5 (système taungya). Au delà de 4 ou 5 ans, période à laquelle la parcelle devrait être mise en jachère, l'anacardier y reste en culture pure. Dans les villages avec une forte pression démographique sur les terres, l'anacardier est généralement associé à d'autres cultures même au delà de 5 ans. Néanmoins, de telles plantations sont encore rares et occupent uniquement 3% de la superficie totale des anacardiers au Bénin (INRAB, 2000).

Alors que les jachères peuvent à tout moment être reconverties en champs de cultures annuelles, les plantations d'anacardier ne peuvent le redevenir qu'au delà de 30 ans. Cela étant, le système cultural à base d'anacardier constitue actuellement un facteur important de déforestation au même titre que le système cultural à base d'igname dans la mesure où les nouvelles terres sont continuellement défrichées pour les cultures annuelles. Dans les années 60, une politique d'associer l'anacardier à d'autres cultures a été pour la première fois envisagée. La densité de plantation de 121 arbres par hectare (écartement de 10 m x 10 m) au début de la plantation devrait décroître au fur des années pour atteindre 30-40 arbres par hectare. Cette densité devrait permettre l'association d'autres cultures (entretien avec un ancien maire de Parakou). Or, les densités de plantation actuelles arrivent même à 300 arbres par hectare ce qui ne permet aucune association avec d'autres cultures.

Une des contraintes à l'introduction de systèmes agroforestiers à base d'anacardier avec association des cultures annuelles est le droit foncier actuellement en place. Ce droit autorise aux autochtones de planter les anacardiers sans aucune restriction (sauf dans les villages où les terres deviennent insuffisantes). Les immigrants ne peuvent planter l'anacardier que dans des cas très rares et sous une stricte autorisation du propriétaire foncier et du chef de village. En accordant le droit d'investissement notamment en plantant des cultures pérennes telles que les

anacardiens, cela risque de procurer à l'exploitant des avantages de propriétaire foncier (KIRK *et al.* 1997). Certains autochtones, bien informés des conséquences de la pression démographique sur la disponibilité des terres et sur le changement du droit foncier collectif en droit individuel, utilisent les plantations d'anacardier comme moyen d'occuper les terres et de devenir ultérieurement les propriétaires des terres. Dans une telle situation foncière, il est difficile de prêcher l'agroforesterie à base d'anacardier.

3.3.7. Classification des systèmes de production selon la méthode de Ruthenberg

La classification des systèmes de production agricole d'un terroir quelconque selon la méthode de RUTHENBERG (1980) est plus compliquée que cela ne ressemble. Tout d'abord, sur un même terroir existent simultanément au moins deux des trois systèmes de production agricoles de RUTHENBERG (1980). En plus, il est rare qu'un agriculteur, après uniquement trois ou quatre ans d'exploitation, laisse son champ en jachère de longue durée. La parcelle passe d'abord par plusieurs cycles de systèmes de production à jachères. En tenant compte du nombre de systèmes de production simultanément présents dans un même village, il existe au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur trois principales catégories de coexistence des systèmes de production agricole :

- Systèmes itinérants + systèmes à jachères

Cette catégorie existe dans les villages qui disposent encore assez de terres comme le village de Doguè. Pendant un temps variant de 10 à 20 ans, des champs sont exploités sous des systèmes de production à jachères. Après cette période, ces champs sont laissés en jachères allant jusqu'à 20 ans avant de reprendre le cycle des systèmes de production à jachères. Pour un champ donné, il existe donc une alternance temporelle des deux systèmes de production agricole.

- Systèmes itinérants + systèmes à jachères + systèmes continus

Dans cette catégorie, la pression démographique devient de plus en plus importante. Tout autour des habitations, des agriculteurs produisent en continu des cultures de la case. Tout comme dans le cas précédant, il existe une alternance temporelle des systèmes de production itinérants et de ceux à jachères. Toutefois, les systèmes à jachères tendent à remplacer complètement ceux itinérants.

- Systèmes à jachères + systèmes continus

Cette catégorie existe là où la pression démographique sur les terres est forte. Les systèmes de production agricole continus qui étaient uniquement localisés autour des habitations s'étendent plus loin. Les systèmes itinérants disparaissent. Les systèmes à jachères et les systèmes continus alternent temporellement sur un même champs.

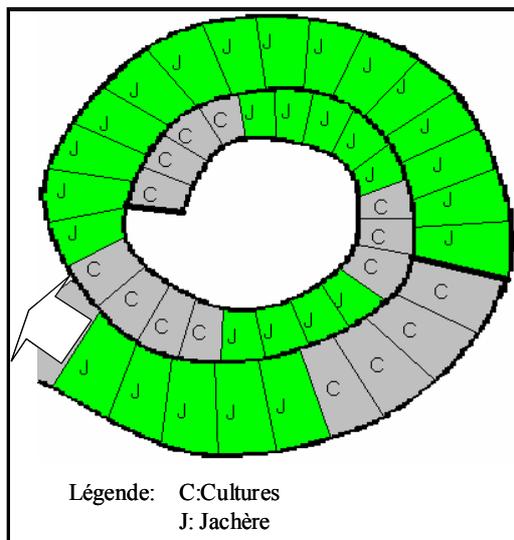


Fig. 12: Alternance des jachères longues et courtes

Devant cette situation complexe de cohabitation des systèmes de production, nous proposons une amélioration dans les calculs du coefficient R de RUTHENBERG :

$$R = R_x X + R_y Y + R_z Z$$

où

R_x : coefficient R pour les superficies sous systèmes de cultures itinérants

X : pourcentage des superficies sous systèmes de cultures itinérants

R_y : coefficient R pour les superficies sous systèmes de cultures à jachères

Y : pourcentage des superficies sous systèmes de cultures à jachères

R_z : coefficient R pour les superficies sous systèmes de cultures continus

Z : pourcentage des superficies sous systèmes de cultures continus (négligeable dans le cas du bassin versant de l'Ouémé supérieur)

3.3.8. Coefficient R de RUTHENBERG et l'estimation des superficies agricoles

La superficie agricole comprend l'ensemble de toutes les terres cultivées et de celles en jachères. Les terres cultivées se subdivisent en terres des cultures annuelles et terres occupées par les cultures pérennes. Les terres des cultures pérennes n'interviennent pas dans les cycles de rotation des cultures. Les jachères de longue durée, c'est-à-dire de plus de 6 ans, ne sont pas comptabilisées dans la catégorie des terres agricoles (FAO, 1991). L'une des difficultés que rencontre, la télédétection dans l'analyse des images satellites sur les systèmes d'utilisation des terroirs réside dans la séparation, d'une part des superficies cultivées de celles en jachères, et d'autre part des superficies en jachère de longue durée de celles des savanes. La détermination des superficies des champs des exploitations agricoles qui est laborieuse et onéreuse peut être effectuée dans certains cas sur base des estimations paysannes. Ces estimations au niveau du village de Sérrou diffèrent uniquement de 4% des dimensions réelles des champs mesurées grâce au GPS Garmin 12 (DENIS, 2002). En effet, les agriculteurs du bassin versant de l'Ouémé supérieur sont habitués à la culture du coton qui se fait généralement sur les dimensions d'un quart, deux quarts, trois quarts ou un hectare. Ces termes fractionnels se rapportent toujours à la dimension d'un hectare. Les agriculteurs estiment facilement en ces unités les superficies emblavées sous cultures qui sont par après converties en hectares. Par contre, le fait que les jachères ne soient pas subdivisées en de petites parcelles, comme c'est le cas pour la superficie des cultures, rend difficile l'estimation de leurs superficies. Sur base de l'indice R d'intensité des cultures de RUTHENBERG (1980) et de la superficie cultivée par personne, cette sous-section apporte une contribution à la détermination rapide de la superficie des jachères (Fig. 13).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

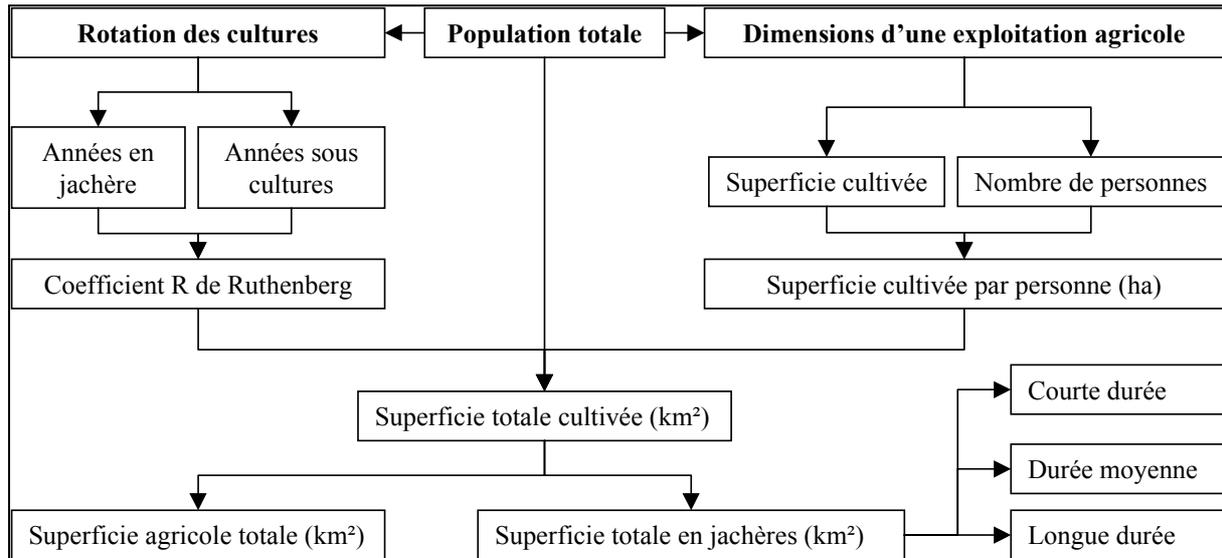


Fig. 13: Schématisation de l'estimation de la superficie en jachère et de la superficie agricole totale sur base de l'indice R de Ruthenberg

Soit

p : nombre de personnes par exploitation agricole familiale

S_c : superficie cultivée par exploitation agricole familiale (ha)

S_j : superficie en jachère par exploitation agricole familiale (ha)

R : indice R de RUTHENBERG

S_{EAF} : superficie agricole par exploitation agricole familiale (ha/exploitation)

P : population totale d'un terroir donné

$$S_{EAF} = S_c + S_j$$

$$S_{EAF} = S_c * (S_c + S_j) / S_c$$

où $(S_c + S_j) / S_c$ correspond à $100/R$

$$S_{EAF} = (100 * S_c) / R$$

$$S_{EAF}/p = (100 / R) * (S_c / p)$$

où S_c/p est la superficie cultivée (cultures annuelles) en hectare par personne et peut se noter S_{Cp} ;

S_{EAF}/p , la superficie agricole par personne en hectare et peut se noter S_{Ap}

Pour un terroir donné :

La superficie agricole S_A en km^2 est donnée par:

$$S_A = \frac{S_{Cp} * P}{R}$$

La superficie cultivée en km^2 est donnée par:

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

$$S_C = \frac{S_{Cp} * P}{100}$$

La superficie des jachères en km² correspond à $S_j = S_A - S_C$

$$S_j = \frac{(S_{Cp} * P)}{R} - \frac{(S_{Cp} * P)}{100}$$

$$S_j = (S_{Cp} * P) * \frac{(1 - \frac{R}{100})}{R}$$

$$S_j = S_{Cp} * P * M$$

où $M = \frac{(1 - \frac{R}{100})}{R}$ est le coefficient d'importance des jachères permettant d'estimer la superficie des jachères sur base de la population totale et de la superficie cultivée par habitant.

En appliquant ces formules pour les départements du Borgou et de Donga, la superficie agricole totale (sans cultures pérennes) se situe respectivement autour de 20,8 et 22,9 % de la superficie totale (**Tab. 28**). Ces valeurs se rapprochent des estimations paysannes réalisées au cours de l'enquête exploratoire où la superficie agricole (cultures + jachères de courte durée) totale dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur avait été estimée à 36,2% de la superficie totale cultivable. En analysant les images satellites, JUDEX (2003) a estimé la superficie occupée par les cultures dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur à environ 12%. La superficie des jachères est alors estimée à 24,2% de la superficie cultivable. Il convient de préciser que pour les ex-départements du Borgou et de l'Atacora, la superficie totale cultivable représente respectivement 54 et 43% de la superficie totale. La valeur de 245,3% de la superficie agricole totale par rapport à l'ensemble du terroir de Parakou, troisième grande ville du Bénin et métropole administrative et économique du Nord-Bénin, indique la pression que cette ville exerce indirectement sur les autres terroirs pour pouvoir subvenir à ses besoins alimentaires.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 28: Estimation de la superficie des cultures et des jachères dans le Borgou et Donga

Commune	Superficie totale	Population totale	Densité de la population	Coefficient R	Superficie cultivée par personne	Superficie totale cultivée		Superficie totale en jachère		Superficie agricole totale (sans cultures pérennes)	
	(km ²)		(pers./km ²)		(ha/pers.)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Donga	11166	351913	32	47	0,34	1197	10,7	1358	12,2	2554	22,9
Bassila	5661	74664	13	43	0,34	254	4,5	337	5,9	590	10,4
Copargo	876	50364	57	48	0,34	171	19,5	186	21,2	357	40,7
Djougou	3966	181175	46	48	0,34	616	15,5	667	16,8	1283	32,4
Ouake	663	45710	69	48	0,34	155	23,4	168	25,4	324	48,8
Borgou	25856	720287	28	46	0,34	2449	9,5	2928	11,3	5377	20,8
Bembereke	3348	94216	28	47	0,34	320	9,6	366	10,9	686	20,5
Kalale	3586	99563	28	47	0,34	339	9,4	387	10,8	725	20,2
N'Dali	3748	66367	18	47	0,34	226	6,0	258	6,9	484	12,9
Nikki	3171	99067	31	47	0,34	337	10,6	385	12,1	722	22,8
Parakou	441	148451	337	47	0,34	505	114,5	577	130,8	1082	245,3
Perere	2017	42793	21	47	0,34	145	7,2	166	8,2	312	15,5
Sinende	2289	63169	28	47	0,34	215	9,4	245	10,7	460	20,1
Tchaourou	7256	106661	15	40	0,34	363	5,0	544	7,5	907	12,5

3.3.9. Evolution de la surface foliaire ou LAI

Généralement, l'évolution de l'indice de la surface foliaire pour un champ donné passe par une phase de croissance lente qui se situe entre juin et mi-juillet, celle-ci est suivie par une croissance rapide entre mi-juillet et mi-août. Le maximum de l'indice foliaire se situe vers fin août. De mi-août à mi-septembre, c'est la phase de stagnation qui est à son tour suivie par la phase de décroissance de l'indice foliaire.

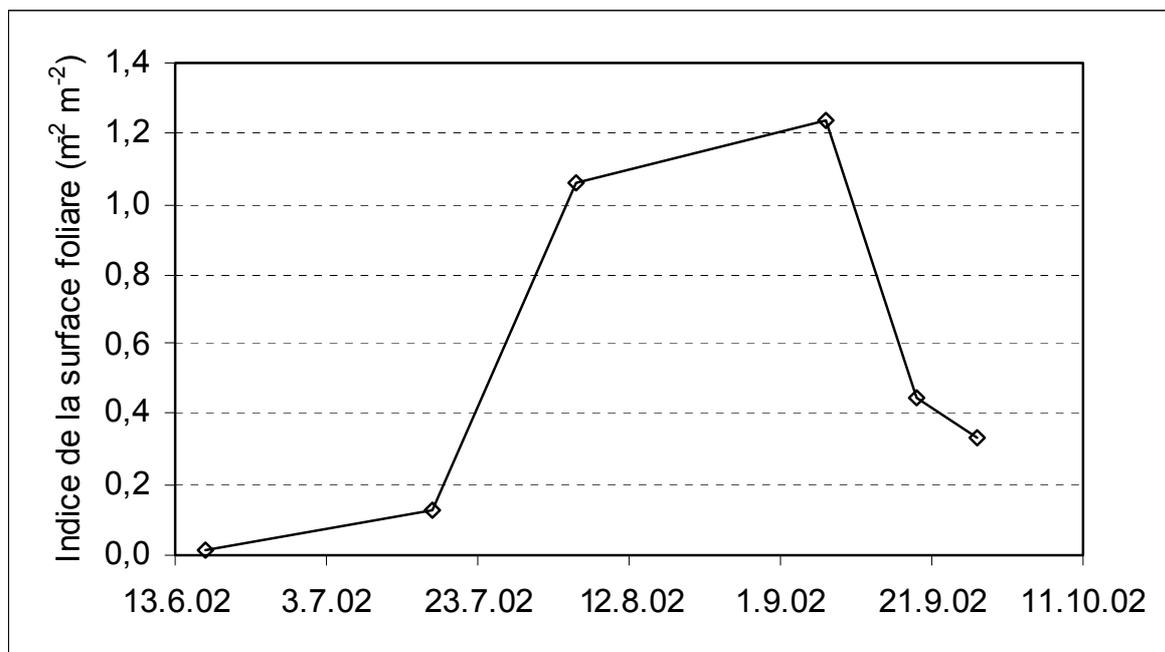


Fig. 14: Evolution de l'indice foliaire dans un champ d'igname à Doguè

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Dans le cas des cultures associées, deux situations de l'évolution de l'indice foliaire sont possibles :

Cas où les cultures évoluent presque en même temps sur une même parcelle. L'indice foliaire de la parcelle est alors la somme des indices des différentes cultures intervenant dans l'association. Ces associations permettent d'obtenir un indice foliaire élevé (Fig. 15).

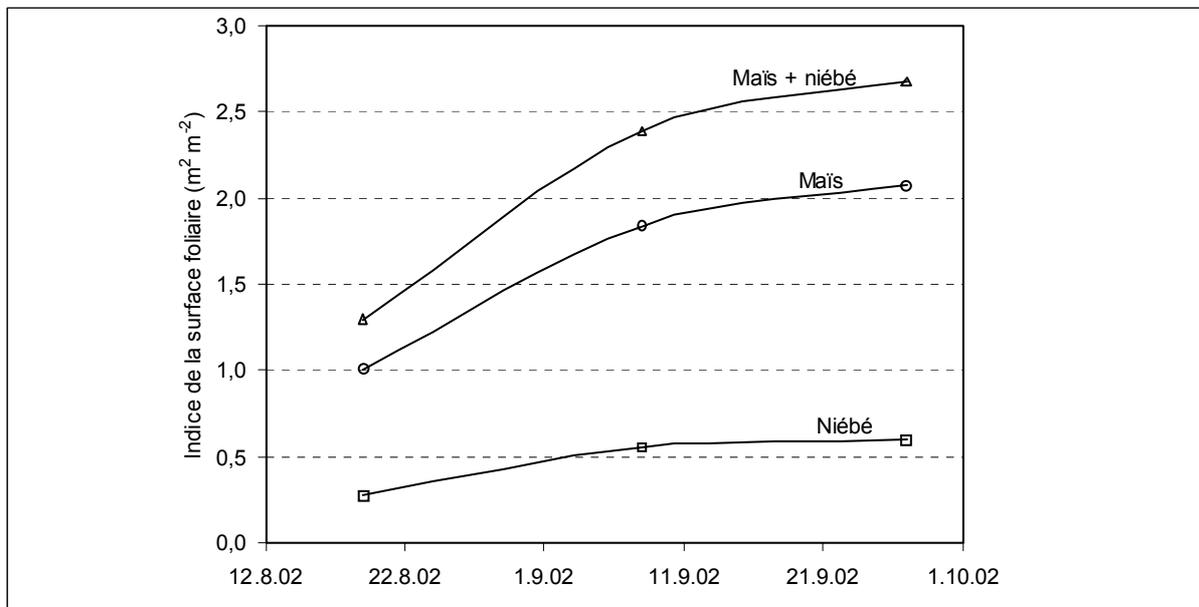


Fig. 15: Indice de la surface foliaire dans une association : maïs + niébé

Cas des associations intercalaires où une culture est semée et récoltée un peu avant une autre. Ces associations permettent de couvrir le sol pendant plus longtemps (Fig. 16). Quand l'évolution de l'indice foliaire de la première culture atteint sa phase de stagnation ou de décroissance, elle est relayée par celle de l'indice foliaire de la deuxième culture associée qui est à ce moment dans la phase de croissance rapide. Dans l'exemple illustré par la Fig. 16 ci-dessous, le niébé a été récolté le 17.06.2002 au moment où l'indice foliaire de l'igname était dans une phase de croissance rapide. Avant que l'igname (principale culture dans cette association) ne développe un système foliaire important, l'indice foliaire de la parcelle a été amélioré par celui du niébé. A la récolte de l'igname, le 13.10.2002, le mil, semé à une faible densité de 1800 plants à l'hectare deux mois auparavant, relayait l'amélioration de l'indice foliaire de la parcelle. Dans le cas où la densité de semis du mil est de 4500 plants à l'hectare (densité

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

couramment observée dans ce genre d'association), l'indice de la surface foliaire du mil à Sérrou peut atteindre en octobre une valeur de 0,9.

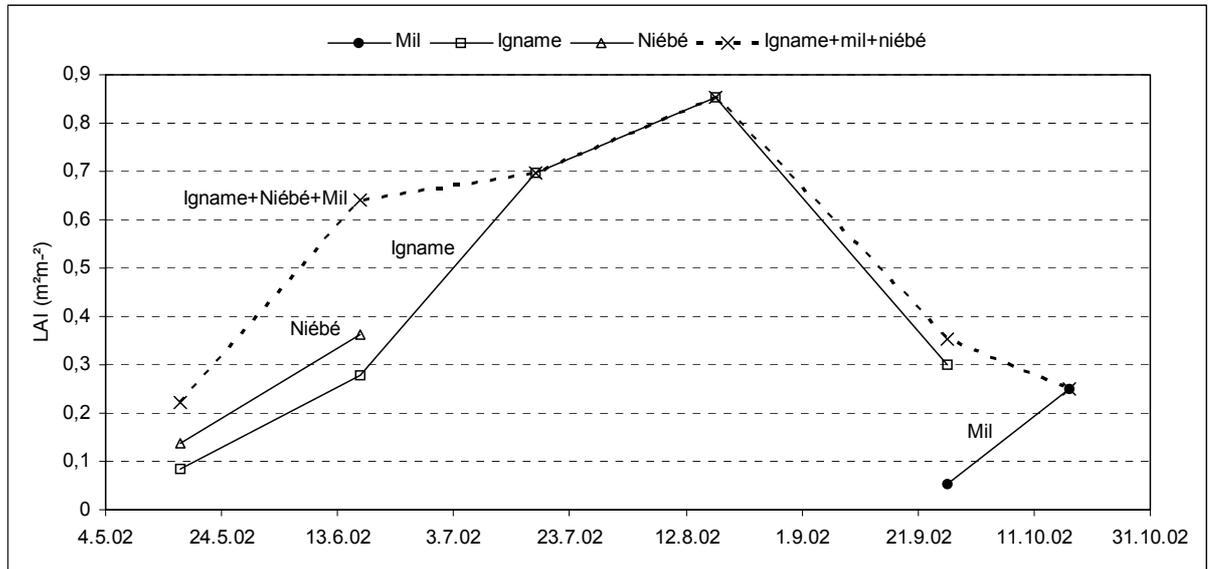


Fig. 16: Evolution de l'indice foliaire dans une association: igname + niébé + mil à Sérrou

Ces exemples prouvent l'importance de l'analyse des systèmes de production agricole tropicaux et l'attention qu'on doit apporter à ces systèmes quand il s'agit notamment d'utiliser leurs paramètres dans les différentes modélisations.

La mesure manuelle de la surface foliaire et la détermination du poids foliaire spécifique ont permis d'exprimer la chute de la litière foliaire en indice de la surface

foliaire: $LAI = 10 * \frac{L_f}{P_{fs}}$ (Tab. 29).

avec :

L_f : rendement en biomasse foliaire ($t\ ha^{-1}$)

P_{fs} : poids foliaire spécifique ($mg\ cm^{-2}$)

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 29: Poids spécifiques foliaires des différentes cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Cultures	SF = n(L*I)		MS = m(L*I)		MS = f(SF)	Pfs	Lf	LAI
	(cm ²)	R ²	(g cm ⁻²)	R ²	(g cm ⁻²)	(mg cm ⁻²)	(t ha ⁻¹)	(m ² m ⁻²)
Sorgho	0,6103 x (L x l)	0,96	0,0037 x (L x l)	0,94	0,0060 x SF	6,0	Lf = (Pfs * LAI)/10	LAI = 10 * Lf/Pfs
Maïs	0,7079 x (L x l)	0,95	0,0031 x (L x l)	0,95	0,0043 x SF	4,3		
Niébé	0,6856 x (L x l)	0,99	0,0016 x (L x l)	0,96	0,0024 x SF	2,4		
Voandzou	0,7976 x (L x l)	0,95	0,0034 x (L x l)	0,78	0,0043 x SF	4,3		
Arachide	0,8264 x (L x l)	0,99	0,0036 x (L x l)	0,93	0,0043 x SF	4,3		
Manioc	0,5095 x (L x l)	0,83	0,0033 x (L x l)	0,90	0,0063 x SF	6,3		
Igname 1	0,7442 x (L x l)	0,99	0,0037 x (L x l)	0,90	0,0049 x SF	4,9		
Igname 2	0,7422 x (L x l)	0,98	0,0034 x (L x l)	0,87	0,0046 x SF	4,6		
Coton	0,6396 x (L x l)	0,97	0,0022 x (L x l)	0,87	0,0034 x SF	3,4		
Karité	0,8522 x (L x l)	0,99	0,0127 x (L x l)	0,94	0,0149 x SF	14,9		
Anacardier	0,7714 x (L x l)	0,99	0,0081 x (L x l)	0,94	0,0105 x SF	10,5		

Igname 1 à petites feuilles, igname 2 à grandes feuilles MS: matière sèche foliaire (g cm⁻²)
 L: la plus grande longueur de la feuille (cm) Pfs: Poids foliaire spécifique (mg cm⁻²)
 l: la plus grande largeur de la feuille (cm) Lf: rendement en biomasse foliaire (t ha⁻¹)
 n: facteur dépendant de la forme de la feuille LAI: indice de la surface foliaire
 m: facteur dépendant de la consistance de la feuille SF: surface foliaire (cm²)

En supposant que la quantité de feuilles qui tombent équivaut à celle des feuilles formées, cette formule permet non seulement d'exprimer la litière foliaire au sol en terme de LAI mais aussi d'estimer le LAI cumulé pour une période de végétation donnée. Toutefois, cette formule n'est pas à mesure de donner des valeurs partielles du LAI tout au long de cette période végétative.

Tab. 30: LAI cumulé des ligneux dans les différents écosystèmes

Village	Ecosystème	P _f	P _{fs}	LAI
		(t ha ⁻¹)	(g cm ⁻²)	(m ² m ⁻²)
Sérou	Forêt d.s. décidue	6,3	4,8	13,2
	Jachères	1,6	10,5	1,5
	Anacardiens	3,9	10,5	3,7
Doguè	Forêt claire	3,2	6,3	5,1
	Jachères	2,5	10,5	2,4
	Anacardiens	1,9	10,5	1,8
	Orangers	3,4	10,5	3,3
	Pois cajan	5,4	3,4	15,9

P_f: chute de la litière foliaire

P_{fs}: poids foliaire spécifique

3.3.10. Agroforesterie

L'agroforesterie « désigne un système d'exploitation du sol dans lequel sont conjugués la culture des arbres et/ou des arbustes et celle des plantes vivrières ou

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

encore l'élevage » (COGITERRA & RecyCONSULT). Contrairement à la définition du Mémento de l'agronome (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993) qui désigne l'agroforesterie comme un système d'aménagement des terres où les ligneux pérennes sont cultivés délibérément, les ligneux tels que le néré et le karité poussent naturellement dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur. Au cours du défrichage, les agriculteurs les gardent sur leurs parcelles pour de multiples utilités (section 3.3.4.). D'autres essences agroforestières tels que le manguier, les agrumes, le cocotier et le palmier à l'huile sont également associées aux cultures vivrières. Le cocotier et le palmier à l'huile se rencontrent particulièrement à partir de sud du bassin versant de l'Ouémé supérieur et leur importance augmente en passant de cette zone vers le sud du pays.

L'agroforesterie présente également d'autres intérêts écologiques (MISIKA & MWENYA, 1998) notamment l'utilisation rationnelle de l'eau du sol, l'amélioration de la fertilité des sols, la réduction de l'évaporation et de l'érosion des sols à travers l'amélioration de l'indice foliaire. Concernant l'amélioration de la fertilité des sols, les paysans apprécient beaucoup plus le karité que le néré à cause vraisemblablement de sa production de litière plus importante. Dans cette zone où les températures sont souvent excessives, les arbres sont également maintenus sur les parcelles pour servir d'abris contre le soleil où les agriculteurs se reposent au cours de leurs activités champêtres.

L'importance de l'agroforesterie à base de karité, néré et anacardier semble diminuer avec l'augmentation de la pression démographique (Tab. 31). Le village de Doguè moins habité que celui de Sérou dispose encore de beaucoup d'arbres par hectare cultivé. Il est également à constater que le karité à Doguè (30,7 arbres ha⁻¹) est plus important qu'à Sérou (11,1 arbres ha⁻¹) alors que le néré devient à Sérou (5,2 arbres ha⁻¹) plus important qu'à Doguè (1,6 arbres ha⁻¹). En effet, au moment où à Doguè les deux espèces ne jouent pratiquement aucun rôle foncier, le néré à Sérou constituait dans le passé (partiellement encore) la propriété du chef des terres. L'exploitant foncier avait l'obligation de récolter les grains de néré et de les remettre au chef des terres qui en décidait l'utilisation. Cela peut partiellement justifier pourquoi le rapport entre le nombre d'arbres de karité sur celui de néré est plus important à Doguè (19) qu'à Sérou (2).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 31: Nombre d'arbres par hectare à Doguè et à Sérrou

Village	n	Karité	Néré	Anacardier
Sérrou	32	11,1 ^a	5,2 ^b	3,5 ^a
Doguè	23	30,7 ^b	1,6 ^a	49,7 ^b

En comparant les différents écosystèmes de l'Ouémé, on constate que la conversion des écosystèmes naturels en superficies agricoles diminue fortement la surface terrière des ligneux par unité de superficie (Fig. 17). Par ordre d'importance décroissante, la surface terrière se présente :

Surface terrière ($m^2 ha^{-1}$) : Forêt dense semi-décidue (29,1) > Forêt claire (18,4) > Jachères (4,8) > Superficies agricoles (1,2)

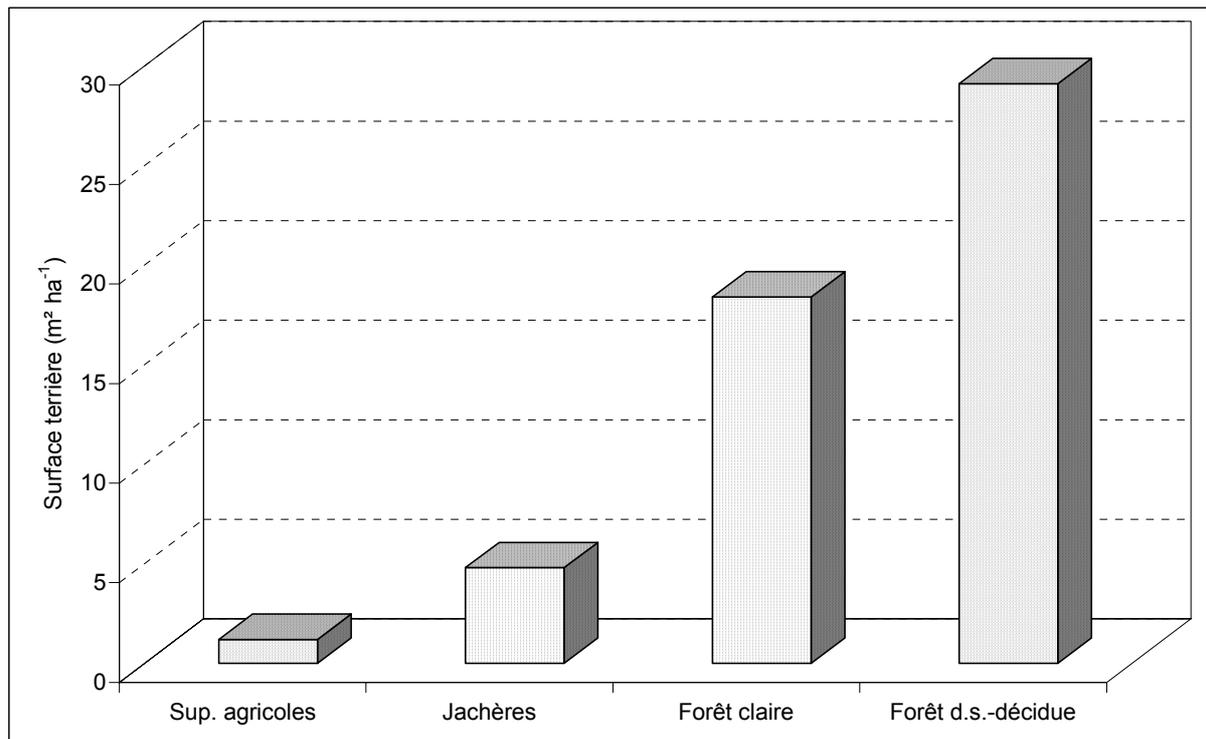


Fig. 17: Surface terrière des ligneux dans l'Ouémé supérieur

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Bien que l'agroforesterie présente des avantages ci hauts cités, elle diminue, selon les agriculteurs de Sérrou, les rendements agricoles du manioc, maïs, arachide et coton sous les arbres de karité et de néré (Tab. 32). Quant à l'igname, le sorgho, le gombo, le niébé et le piment, leurs productions restent inchangés ou peuvent même s'améliorer. Pour le cas particulier du sorgho, une étude conduite au Burkina Faso (KESSLER, 1992) a pourtant montré que la production en grains baisse de 10 à 25% également sous les arbres de Néré et de Karité.



Photo 9: Plants de sorgho plus verdoyants sous un arbre de Karité à Sérrou

Photo 9 laisse cependant observer que les plants de sorgho sous le karité sont plus verdoyants qu'ailleurs. Sous les arbres de karité ou de néré, la production de la biomasse végétative est beaucoup plus favorisée au détriment de celle des grains d'où un faible indice de récolte (entre 0,19 et 0,23 au lieu de 0,23 et 0,40) (KESSLER, 1992). Le principal facteur limitant sous ces arbres, comme KESSLER (1992) l'a constaté, reste la lumière solaire. Afin d'améliorer l'accessibilité de la lumière solaire aux plantes sous le néré et le karité, les agriculteurs de l'Ouémé supérieur procèdent à l'élagage en éliminant les branches les plus basses. Cet élagage est beaucoup plus important chez le karité que chez le néré. Cela est

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

vraisemblablement expliqué par le fait que le néré (15m) plus haut que le karité (10m), disposant moins de branches et dont les feuilles sont fortement composées concurrence moins les cultures au niveau de la lumière solaire.

Tab. 32: Aptitudes d'association des cultures vivrières à l'agroforesterie à Sérrou

Production ne change pas sous les arbres de karité ou de néré	Production diminue sous les arbres de karité ou de néré
Ignames sous karité Sorgho/mil sous karité et néré Gombo sous karité ou néré Niébé sous karité ou néré Piment sous karité ou néré	Manioc Maïs Arachide Coton

L'objectif général de l'agroforesterie de contribuer à la sécurité alimentaire tout en garantissant la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols, est loin des préoccupations paysannes de l'Ouémé supérieur. Le pois cajan ou *Cajanus cajan* (L) MILLSPAUGH, qui est beaucoup plus rencontré en Afrique de l'Est (BAUDOIN, 2001), s'observe également dans les champs du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Cet arbuste bisannuel est très utilisé dans l'amélioration de la fertilité des sols à cause de son aptitude de fixer l'azote atmosphérique (BAUDOIN, 2001; WARDA/ADRAO, 1999). Mais l'objectif de l'agriculteur du bassin versant de l'Ouémé supérieur ne vise pas l'amélioration et la conservation de la fertilité des sols puisque la grande partie de la biomasse produite est brûlée au cours du défrichage (Photo 10). Une grande quantité d'azote fixé par les plantes est encore recyclée dans l'atmosphère sans pouvoir contribuer à la fertilisation des sols. Il est vrai que l'écobuage constitue un processus brutal de libération des éléments minéraux contenus dans les plantes (DE SCHLIPPÉ, 1958) mais c'est une technique qui à long terme contribue également à la dégradation de la fertilité des terres. Avec l'intensification de la culture du coton, la densité d'arbres de néré et de karité décroît continuellement. Cette décroissance est également observée dans les villages avec une forte densité démographique. Cette diminution de la densité d'arbres réduit les avantages écologiques que peut offrir l'agroforesterie pour une utilisation rationnelle et durable des ressources naturelles telles que la terre et l'eau.



(a): avant brûlage (biomasse du pois cajan)



(b): après le brûlage de la biomasse

Photo 10: Destruction de la biomasse par écobuage

3.3.8. Gestion et utilisation des eaux de pluies

Excepté des cas isolés, les techniques durables de gestion d'eau au niveau des champs dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur sont toujours ignorées par les agriculteurs. Ces techniques qui sont particulièrement les fossés anti-érosives, les haies vives, le paillage, les terrasses progressives ou radicales (FAO, 2001b ; FAO, 2003a ; EHLERS, 1996) ne sont pas encore utilisées. Les seules structures de gestion d'eau qu'on rencontre sont de petites rigoles ou canaux d'évacuation des eaux de ruissellement. Ces structures se trouvent généralement en amont de la parcelle et servent à dévier le courant d'eaux provenant d'autres parcelles vers un autre endroit où généralement il cause une forte érosion. Tel qu'il a été déjà mentionné, les systèmes de labour ne favorisent non plus aucune bonne gestion d'eau au niveau des champs. Ce qui se remarque est que l'agriculteur ne réalise les dégâts de l'érosion sur sa parcelle que lorsqu'il y a eu destruction des billons/buttes ou lorsque les cultures ont été emportées par les ruissellements d'eau. En disposant les billons parallèlement à la pente et en aménageant les rigoles d'évacuation d'eau, l'agriculteur veut éviter la stagnation d'eau et l'éboulement des billons sur sa parcelle. Il ignore cependant que l'érosion sur et en dehors de sa parcelle reste importante et également dangereuse.

Toutefois, même si en général les agriculteurs ne font aucun effort pour améliorer l'infiltration ou réduire l'évaporation, ceux des villages à forte pression démographique ont quelques innovations permettant d'utiliser rationnellement l'eau

des pluies. Concernant la culture de l'igname, ces agriculteurs possèdent une technique consistant, dès les premières semaines de la germination de l'igname, à enrouler la tige de l'igname tout autour de la butte (Photo 3). Ceci permet à la tige de donner plusieurs rejets dans tous les sens de la butte. Après quelques semaines la butte est complètement couverte de feuilles (Photo 3). Cette technique permet de protéger la butte contre l'érosion, d'améliorer l'infiltration des eaux de pluie et de protéger le sol contre l'évaporation de l'eau du sol.

Les mesures de l'humidité du sol entre et à l'intérieur des buttes (d'igname ou de manioc) (Fig. 18) pendant la saison des pluies de 2001 ont donné des valeurs plus élevées entre les buttes qu'à l'intérieur des buttes.

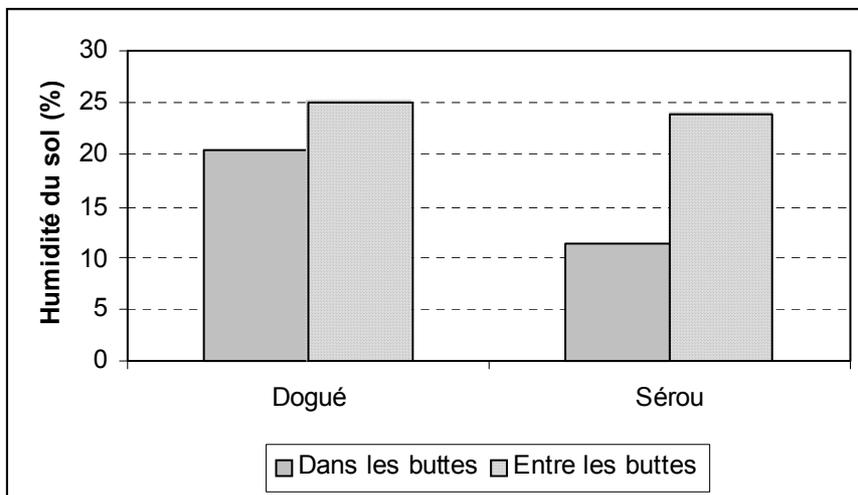


Fig. 18: Humidité du sol entre et à l'intérieur des buttes d'igname

Les agriculteurs des villages densément peuplés (cas de Sérou) utilisent cette opportunité pour associer l'igname ou le manioc à d'autres cultures notamment le gombo (*Hibiscus esculentus*) et le sorgho. Selon les exigences hydriques, ces cultures associées sont différemment semées à proximité du point ayant le taux d'humidité le plus élevé : le gombo et le riz sont semés juste au point où l'humidité est la plus élevée alors que le sorgho est semé autour de ce point (Photo 11, Fig. 19). La dépression se trouvant entre les quatre buttes dispose d'une très faible couche de terre arable mais constitue une zone où s'accumule, suite à l'érosion des buttes, de la terre fine chargée d'éléments nutritifs pour les plantes.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation



Photo 11: Plants de sorgho entre les buttes d'igname à Sérrou

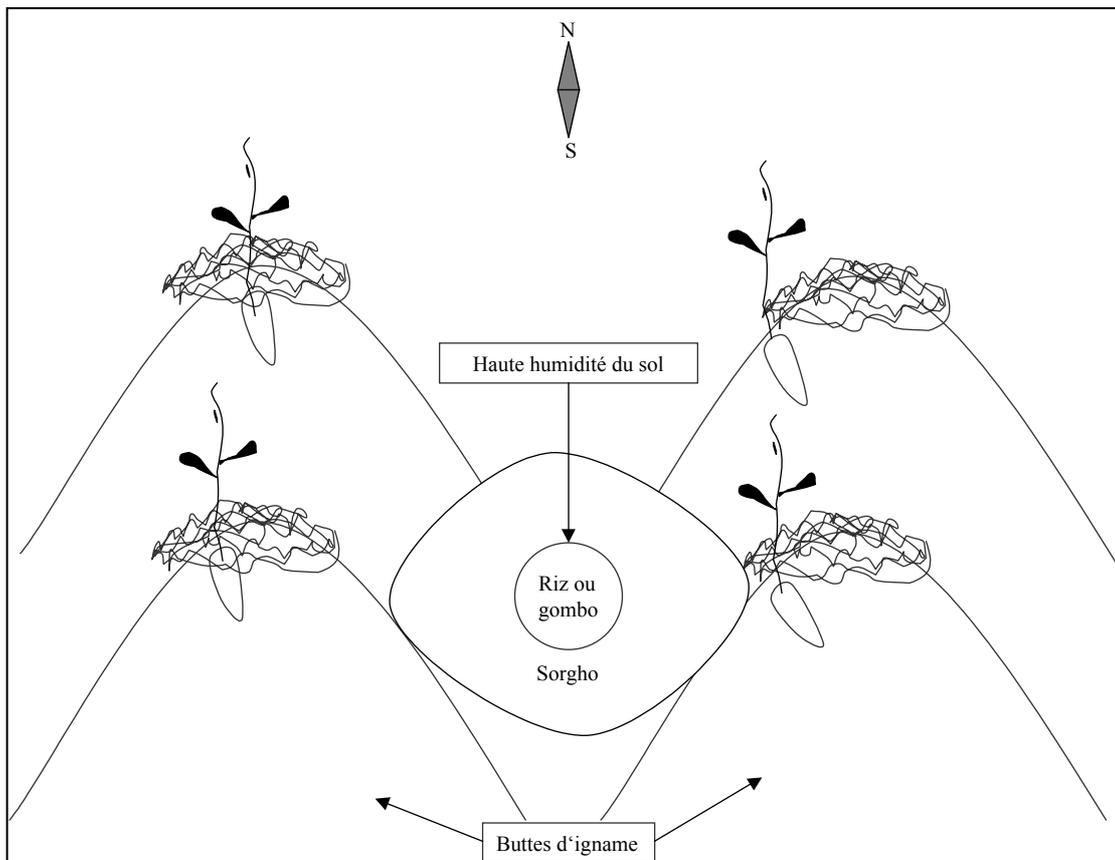


Fig. 19: Systèmes d'association à base d'igname tenant compte de la disponibilité en eau

Concernant l'irrigation, le bassin versant de l'Ouémé supérieur ne dispose d'aucune infrastructure d'irrigation. Contrairement aux agriculteurs du sud qui pratiquent l'irrigation (particulièrement par aspersion) pour la production maraîchère, ceux de l'Ouémé supérieur ne font aucune irrigation malgré la présence des bas-fonds dont l'accessibilité des nappes phréatiques permettrait une irrigation des cultures maraîchères et ou du riz.

3.3.11. Fertilité et Fertilisation des sols

Une classification simple de la fertilité des sols est basée d'abord sur le rapport C/N. La fertilité des sols croit généralement avec le taux de matière organique et d'azote totale pour les valeurs du rapport C/N variant entre 7 et 13 (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993). Pour les sols avec les teneurs en limon et en argile totalisant 15 à 50%, la fertilité des sols sera d'autant plus grande que le pH, à l'intérieur d'un même intervalle de richesse en azote et en matière organique, sera plus élevé (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993). La teneur totale en limon et en argile se situe dans les deux villages et dans tous les écosystèmes entre 15 et 50% (Tab. 34). Le rapport C/N dans les différents écosystèmes de Doguè oscille autour de 13 sauf dans les plantations d'anacardiens où il est de 14,1 (Tab. 33). Cette valeur exceptionnelle dans les plantations d'anacardiens à Doguè pourrait être due à la présence dominante d'*Imperata cylindrica* riche en lignine et inhibant le développement d'autres herbes. Quant à Sérrou, ce rapport dépasse 13 sauf dans la forêt de Sérrou où il est de 9,7. Cette forêt constitue également un écosystème exceptionnel dans ce village à cause d'abord de sa grande production en litière et ensuite parce qu'elle est bien protégée contre les feux de brousse. En utilisant l'échelle de la fertilité des sols en fonction du pH et de l'azote total (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1993), **la fertilité des terres est globalement bonne à Doguè et moyenne à Sérrou** (Fig. 20).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

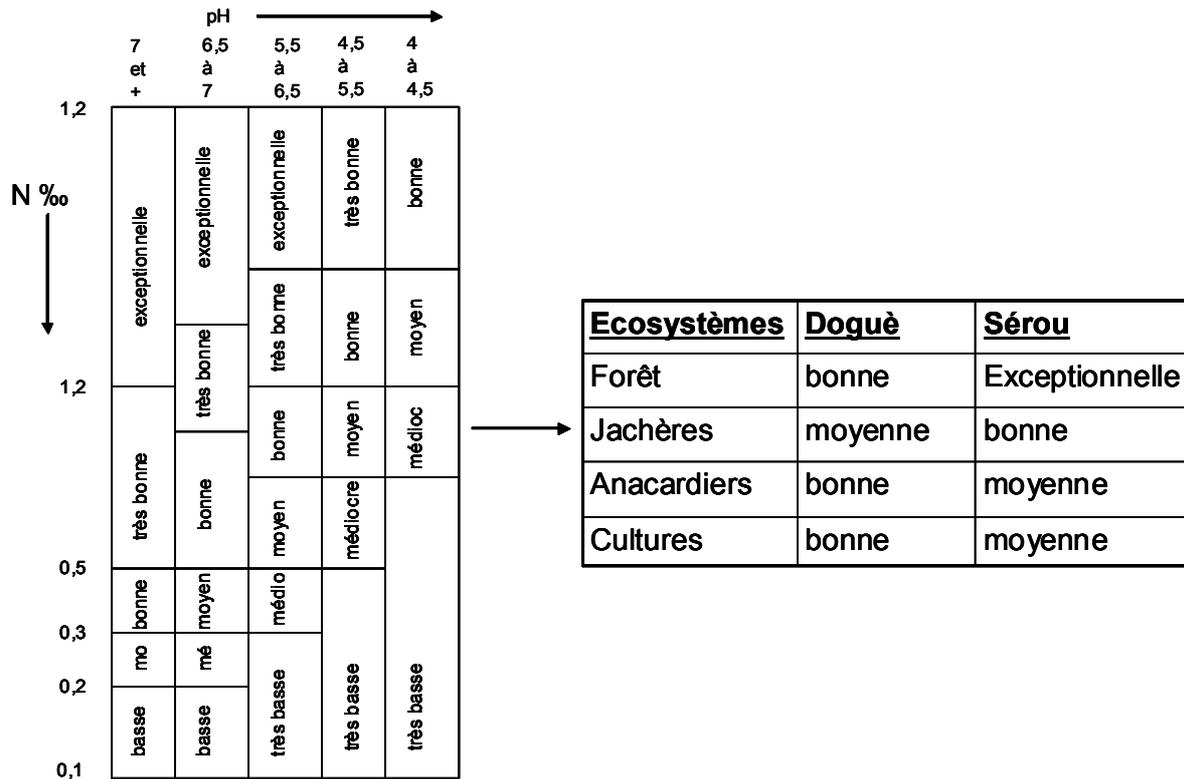


Fig. 20: Estimation de la Fertilité des sols à Doguè et à Sérou selon l'échelle de la fertilité en fonction du pH et de l'azote totale (Ministère de la coopération, 1993)

Tab. 33: Valeurs du pH, C et N dans les premiers 20 cm du sol des différents écosystèmes à Doguè et à Sérou

Systèmes d'utilisation du terroir	Doguè							Sérou						
	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Densité (g cm ⁻³)	C (%)	MO (%)	N (%)	C/N	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Densité (g cm ⁻³)	C (%)	MO (%)	N (%)	C/N
2001														
Forêt	6,7	5,9	1,464	0,740	1,27	0,059	12,5	7,0	6,6	1,312	1,740	2,99	0,180	9,7
Jachères	6,2	5,3	1,443	0,807	1,39	0,059	13,7	6,0	5,1	1,346	1,280	2,20	0,080	16,0
Anacardiens	6,6	5,8	1,395	0,927	1,59	0,065	14,3	6,1	5,3	1,470	0,790	1,36	0,050	15,8
Cultures	6,4	5,6	1,417	0,900	1,55	0,070	12,9	6,1	5,2	1,497	0,860	1,48	0,060	14,3
2002														
Forêt	6,6	5,8	1,498	0,728	1,25	0,051	14,3	6,9	6,7	1,159	1,740	2,99	0,180	9,7
Jachères	6,4	5,2	1,533	0,645	1,11	0,049	13,2	6,0	4,9	1,372	1,160	2,00	0,080	14,5
Anacardiens	6,5	5,6	1,474	0,850	1,46	0,061	13,9	6,0	5,0	1,401	0,940	1,62	0,060	15,7
Cultures	6,6	5,8	1,399	0,884	1,52	0,067	13,2	6,1	5,1	1,497	0,860	1,48	0,060	14,3
Moyenne														
Forêt	6,7	5,9	1,481	0,734	1,26	0,055	13,4	7,0	6,7	1,236	1,740	2,99	0,180	9,7
Jachères	6,3	5,3	1,488	0,726	1,25	0,054	13,4	6,0	5,0	1,359	1,220	2,10	0,080	15,3
Anacardiens	6,6	5,7	1,435	0,889	1,53	0,063	14,1	6,1	5,2	1,436	0,865	1,49	0,055	15,7
Cultures	6,5	5,7	1,408	0,892	1,53	0,069	13,0	6,1	5,2	1,497	0,860	1,48	0,060	14,3

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 34: Texture des sols dans les différents écosystèmes à Sérrou et à Doguè

Systèmes d'utilisation du terroir	Sable grossier (%)	Sable moyen (%)	Sable fin (%)	Sous-total sable (%)	Limon grossier (%)	Limon moyen (%)	Limon fin (%)	Sous-total limon (%)	Argile (%)	Total (%)
Sérrou										
Forêt d.s. décidue	16,8	26,5	19,6	62,9	10,4	5,1	2,4	17,9	19,3	100
Jachères	17,5	23,2	26,8	67,5	16,1	4,7	2,3	23,1	9,4	100
Anacardiens	19,2	31,2	25,4	75,8	10,0	4,1	3,5	17,6	6,5	100
Sup. Agricoles	16,4	30,1	25,3	71,8	12,5	5,6	2,5	20,6	7,5	100
Doguè										
Forêt claire	22,4	29,7	22,9	75,0	10,4	3,9	2,3	16,6	8,4	100
Jachères	15,3	27,5	29,0	71,8	13,8	4,0	1,7	19,5	8,7	100
Anacardiens	12,0	26,3	26,5	64,8	9,0	6,2	3,0	18,2	17,0	100
Sup. Agricoles	14,6	24,6	27,9	67,1	9,0	6,0	3,6	18,6	14,2	100

La capacité d'échange cationique dans les différents sites (selon la toposéquence) des villages Doguè et Sérrou varie en général de très basse à basse (JUNGE, 2004). Ceci serait le résultat non seulement de la roche-mère comme le rapporte JUNGE (2004) mais également d'une faible teneur en matière organique due au brûlage de la biomasse dans les différents écosystèmes et au prélèvement des résidus de récolte pour différents usages dans les ménages. A cause de l'abondance et de l'intensité des pluies, le lessivage des éléments minéraux est également intense (De SCHLIPPÉ, 1958).

La fertilisation minérale se fait particulièrement autour de la culture du coton avec des applications de 150-200 kg ha⁻¹ NKP. Partiellement le maïs bénéficie aussi de la fertilisation minérale (50 kg ha⁻¹) qui se fait au détriment de celle du coton. En effet, comme les engrais minéraux sont octroyés à crédit et uniquement aux agriculteurs qui cultivent le coton, les paysans réduisent la dose recommandée pour le coton et le reste est utilisé pour le maïs. Il en résulte que la quantité d'engrais utilisée pour chaque culture n'atteint pas les doses optimales requises (200 kg ha⁻¹) et que par conséquent la réponse à la fertilisation minérale reste inférieure au rendement escompté.

Quant à la fertilisation organique, elle est presque inexistante sauf dans les exploitations des peuls où l'élevage est associé à l'agriculture. Là aussi les techniques de production et d'utilisation du fumier ne permettent pas l'optimisation de cette potentialité pourtant bien présente. Les techniques de compostage sont quasi inexistantes. Les déjections des animaux sont entassées à ciel ouvert c'est à dire en

contact direct avec les rayons solaires. Cela y provoque une forte perte d'humidité et une réduction de l'activité des micro-organismes responsables de la décomposition de la matière organique. De plus, l'azote contenu dans ces déjections se perd dans l'atmosphère. Certains agriculteurs progressistes comprennent déjà l'utilité du fumier mais épandent directement les déjections des animaux au dessus des buttes ou des billons au lieu de les enfouir dans le sol. Là également les cultures n'en bénéficient pas correctement à cause de la perte d'azote et de la réduction de l'activité des microorganismes. Or, même en appliquant les doses d'engrais minéraux requises, le sol doit être toujours bien fourni en matière organique (JANSSENS, 1998) d'où l'importance de la fertilisation organique.

3.3.12. Couplage de l'agriculture et de l'élevage

L'élevage dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur peut être subdivisé en quatre grandes typologies ci-dessous présentées :

3.3.12.1. Typologie1: Transhumance

Elle est exercée par des Peuls qui ne vivent que de l'élevage. Les éleveurs avec plusieurs têtes d'animaux se déplacent toujours à partir de octobre (décembre - janvier selon BIERSCHEK & FORSTER, 2004) du Sahel vers le sud à la recherche de nouveaux pâturages et de points d'eau. Ces éleveurs en transhumance ignorent à la fois les frontières entre les Etats, les frontières administratives à l'intérieur des Etats, les propriétés foncières et pire encore les superficies emblavées sous cultures. Cette ignorance est cependant le résultat d'un manque d'une politique régionale et nationale d'aménagement du territoire qui définirait entre autres les couloirs de transhumance et sensibiliserait tous les intervenants. De cette ignorance et manque d'aménagement du territoire résultent des conflits souvent meurtriers entre les agriculteurs et les éleveurs. La contribution de l'élevage à l'agriculture est dans ce cas plutôt négative. Par contre si ces animaux passent sur des parcelles à cultiver juste avant les labours, ils y laissent leurs déjections qui contribuent à l'amélioration de la fertilité des sols.

3.3.12.2. Typologie 2: Elevage bovin extensif et sédentarisé

D'autres peuls éleveurs se sont sédentarisés et ont associé l'agriculture à l'élevage. Ils atteignent des rendements agricoles meilleurs par rapport à ceux obtenus par des exploitants autochtones. En effet, par le système de parcase, les éleveurs pâturent les animaux, avant les labours ou après la récolte, sur les parcelles à cultiver. Ce système permet de récupérer toutes les déjections des animaux qui sont riches en éléments nutritifs (mais pas suffisants pour compenser ce qui disparaît avec la récolte) pour les plantes. Si le piétinement n'est pas excessif, le parcase facilite également le travail du sol. Certains agriculteurs sans bétail mais qui comprennent déjà l'intérêt de l'élevage dans l'amélioration de la production agricole font de plus en plus des contrats de parcase avec les éleveurs dont les animaux pâturent pendant un certains temps sur leurs parcelles.

3.3.12.3. Typologie 3: Elevage bovin pour la traction bovine

Cette typologie se rencontre surtout dans la partie nord du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Quelques exploitants agricoles disposent d'une ou de deux paires de bœufs utilisés particulièrement pour les labours ou le billonnage. Ils sont également utilisés pour le transport notamment des récoltes. Ces animaux ne produisent pas assez de fumier pour la fertilisation des parcelles. En effet, ils n'ont pas d'étables et ne sont que très rarement alimentés à la maison. Leurs déjections, et plus particulièrement les urines, ne sont pas correctement collectées ou mélangées avec de la litière. Or, la production moyenne du fumier par UGB¹⁵ (1 taureau et jeune mâle = 0,7 UGB) est estimée à 15 tonnes par an (Le VILLIO *et al.* 2001). Avec une paire de bœufs, cette production serait humblement suffisante pour fertiliser un hectare de cultures si on considère que l'épandage du fumier est renouvelé une fois tous les deux ans à une dose de 10 à 40 tonnes à l'hectare (FAO, 1995). Même si la production et l'utilisation du fumier ne sont pas correctement appliquées, cet élevage contribue tout de même à l'amélioration de la fertilité des sols et plus particulièrement, à l'augmentation des rendements des jardins potagers installés tout autour des habitations.

¹⁵ UGB: Unité Gros Bétail

3.3.12.4. Typologie 4: Elevage du petit bétail et des animaux de la basse-cour

Quant à l'élevage du petit bétail (ovins, caprins, porcins) et des animaux de la basse cour (volailles), il est omniprésent dans toutes les exploitations agricoles. Les animaux restent en général près des habitations. C'est pour cette raison que dans les villages disposant encore assez de terres, entre la zone des cultures et les habitations se trouvent une zone tampon empêchant les animaux d'aller abîmer les cultures. Concernant les villages ne disposant pas assez de terres, cette zone tampon est plutôt occupée par des jardins potagers. Les agriculteurs les protègent contre le petit bétail et les animaux de la basse-cour par différentes méthodes notamment en couvrant les tiges et la face inférieure des feuilles d'une mince couche de déjections des animaux. Cette technique de couvrir uniquement la partie inférieure de la feuille permet à la plante de maintenir son activité photosynthétique. Ces animaux ne bénéficient d'aucune attention particulière.

3.3.13. Droits et conflits fonciers

Le droit foncier au niveau du bassin versant de l'Ouémé comme dans la plupart des pays au sud du Sahara est caractérisé par une pluralité juridique. Le régime foncier coutumier coexiste avec le droit moderne lui même dérivant du droit colonial (RWABAHUNGU, 2002). Suite à des évolutions sociales et économiques, le droit coutumier devient plus ou moins fragile et remis en question (DELVILLE, 2003). Dans le cas concret du bassin versant de l'Ouémé supérieur, trois aspects du droit foncier sont ci-dessous abordés : Le droit de propriété, le droit d'accès à la terre et aux ressources naturelles, le droit de possession des récoltes.

3.3.13.1. Droit de propriété

En général le village constitue l'entité territoriale et sociopolitique où les terres sont soumises à un régime foncier coutumier homogène. Dans un même village, il peut y avoir un ou plusieurs propriétaires fonciers mais le propriétaire foncier suprême reste le chef du village qui dans la plupart des cas est le roi du village. Les propriétaires fonciers sont issus des familles, qui depuis longtemps disposent de ce droit qu'elles ont acquis sous différentes formes :

- soit en occupant le premier un espace donné: dans la plupart des villages, les premiers occupants étaient des chasseurs. Ceux-ci ont délimité leur terroir à l'intérieur duquel aucune autre personne n'avait pas droit de faire la chasse. Au

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

fur et à mesure que les populations se sédentarisèrent et abandonnaient la chasse au profit de l'agriculture, ce terroir est devenu leur propriété foncière.

- soit par des pactes de protection ou de réconciliation: dans certains cas, les chefs de villages octroyaient à des personnes tierces un droit de propriété foncier dans le but d'agrandir le village ou de se protéger contre des invasions extérieures. Dans d'autres situations, afin d'éviter des frustrations et une éternelle haine, après une guerre victorieuse, le vainqueur offrait au vaincu, en signe de réconciliation, une fille à épouser et ou une propriété foncière.

Le rôle du propriétaire foncier est de régler la distribution et l'utilisation des terres ainsi que de trancher d'éventuels litiges entre les différents exploitants. Le propriétaire a droit d'octroyer un droit d'exploitation à quelqu'un n'appartenant ni à sa famille ni à son village. Toutefois, il doit en informer le chef suprême des terres du village qui rarement s'y oppose. De la même façon, le chef suprême des terres au niveau du village ne peut octroyer le droit d'exploitation à une personne tierce sur un terroir donné sans que le chef de terre concerné ne l'accepte. Si le propriétaire foncier meurt ou n'est plus à mesure d'assumer ses responsabilités, son successeur est choisi par les notables de sa famille élargie.

3.3.13.2. Droit d'accès à la terre et aux ressources naturelles

Le droit d'exploitation foncière est principalement déterminé par la disponibilité des terres et le statut d'appartenance au village.

Disponibilité des terres

L'évolution de la disponibilité des terres et de leur exploitation peut être classée en trois phases. La première phase est caractérisée par des terres abondantes pour tout le monde. Chacun peut défricher et installer ses cultures n'importe où il veut dans les différentes directions du terroir sans aucune restriction. Même les jachères, qui en principe appartiennent au premier occupant, peuvent être mises en culture par quelqu'un d'autre sans que cela provoque des conflits (cas du village de Doguè). La deuxième phase peut être considérée comme le début de l'individualisation de la propriété foncière. L'agriculteur n'a plus la possibilité de faire ses cultures dans toutes les directions du terroir mais uniquement dans un terrain où sa famille a défriché la première et depuis lors exploité (cas du village de Sérou). Toutefois, à l'intérieur de

ce terrain, il n'existe aucune restriction d'exploitation pour les membres de la même famille sauf si l'agriculteur veut faire des cultures pérennes. La troisième phase qui apparemment n'existe pas encore au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur est celle où chaque personne dispose de ses propres champs qu'elle exploite selon sa convenance.

Statut d'appartenance au village

Pour un autochtone d'un village disposant encore assez de terre, il n'existe aucune restriction quant à l'utilisation des terres. Il peut même planter, sans aucune limitation spatiale, des cultures pérennes tels que les anacardiens. Cependant, l'exploitation forestière telle que celle du bois de scierie reste le droit exclusif du propriétaire foncier. Dans d'autres villages comme Sérrou, les récoltes de néré (espèce qui pousse naturellement) devraient, dans le temps, être remises au propriétaire des terres qui en décidait la part revenant à l'agriculteur. Contrairement aux autochtones du village, les allochtones (particulièrement les immigrants) sont soumis à des règlements restrictifs auxquels ils doivent se conformer. L'immigrant doit d'abord faire une demande d'exploitation des terres soit auprès du propriétaire foncier, soit auprès du chef du village. L'exploitation reste limitée aux cultures annuelles, les cultures pérennes lui étant interdites. Dans certains villages comme celui de Yaoui, l'immigrant est même obligé de faire des assolements et l'agroforesterie pour préserver la fertilité des terres. Ainsi par exemple, si un immigrant reçoit un terrain, il n'a droit que d'en exploiter au plus la moitié et l'autre partie doit toujours rester en jachère. Si l'immigrant quitte le village, les arbres agroforestiers, les bâtiments et autres infrastructures qu'il aura réalisées deviennent la propriété du village. Dans les villages disposant moins de terres, certaines restrictions telle que la plantation cultures pérennes concernent également les autochtones.

3.3.13.3. Droit de possession des récoltes

Contrairement à ce qu'on rencontre dans d'autres systèmes fonciers où les exploitants sans droit de propriété de terres doivent payer aux chefs des terres entre autre une partie de leur production (KIRK *et al.* 1997), les chefs de terres du bassin versant de l'Ouémé supérieur sont restés jusqu'à présent de simples agriculteurs vivant principalement de leur propre travail comme tous les autres agriculteurs. Cependant, certains propriétaires fonciers exigent de plus en plus aux allochtones

des redevances en nature (sac de manioc, sac de sorgho..). En général, quelle que soit le statut d'appartenance au village (autochtone ou allochtone), chaque exploitation agricole familiale jouit pleinement de sa production. Par contre au sein de l'exploitation agricole familiale, une partie ou l'entièreté de la production agricole reste la propriété de la famille et non de l'individu. C'est le chef de famille qui en décide l'utilisation. Cela entraîne chez certains individus un manque de motivation pour développer leur agriculture. Bien que l'accès à la terre pour les autochtones soit illimité, le droit d'exploitation forestière est uniquement réservé au propriétaire foncier.

3.3.13.4. Conflits fonciers

Les conflits fonciers observés sont ceux entre les éleveurs et les agriculteurs, entre les villages et rarement entre les exploitations agricoles familiales. Quant aux conflits entre individus, ils sont quasi inexistantes puisque la propriété foncière reste toujours collective. Toutefois, des conflits autour de l'exploitation forestière existent entre les propriétaires fonciers.

Conflits entre éleveurs et agriculteurs

A partir du mois d'octobre des éleveurs du gros bétail (bovins) quittent le nord du Bénin vers le sud à la recherche de nouveaux pâturages et de points d'eau. Au cours de leur transhumance, les animaux passent souvent dans les champs des agriculteurs où ils ravagent les cultures. Cela dégénère parfois en conflits, souvent meurtriers, entre éleveurs et agriculteurs.

Conflits entre villages

Très souvent les agriculteurs ou les exploitants forestiers d'un village dépassent les limites de leur terroir, lesquelles limites ne sont d'ailleurs pas, ni marquées, ni bien connues. De tels conflits dégénèrent quelquefois en conflits armés s'ils ne sont pas réglés à l'amiable ou par les autorités administratives ou judiciaires.

Conflits entre propriétaires fonciers ou entre familles

Ces conflits sont ceux où les exploitants forestiers dépassent les concessions qui leur ont été octroyées (cas des villages disposant encore assez de terres) ou ceux

où les familles veulent exploiter les champs au delà des limites du terrain leur appartenant (cas des villages sans beaucoup de terres).

Règlement des conflits

Le règlement des litiges se fait selon la séquence ci-dessous:

- les propriétés des terres en conflits se rendent sur les lieux de litiges et essayent de trouver un compromis,
- s'ils ne parviennent pas à s'entendre, ils font appel à quelques sages du village (ou des villages) qui les aident à régler le problème,
- si les sages ne parviennent pas à faire entendre les deux propriétaires, celui qui se sent lésé s'adresse soit au délégué¹⁶ soit au roi¹⁷ pour qu'il intervienne. Celui-ci réunit tous les sages des villages et tranche avec eux (si le litige est entre les propriétaires de terre de son village). Dans le cas où le litige fait intervenir un propriétaire foncier d'un autre village, cette réunion des sages nomme une délégation de sages qui iront rencontrer le responsable de l'autre village et lui expliquer la situation du problème. En général, chaque village constitue une commission et les deux commissions constituées de sages se rencontrent sur les lieux et tranchent.
- si l'un des propriétaires se sent toujours lésé, l'affaire est portée aux autorités administratives ou au tribunal.

Conflits latents entre les jeunes et les propriétaires fonciers

A côté de ces conflits réels, il existe aussi des conflits en latence et qui pourraient occasionner des conflits entre des individus ou entre des groupes sociaux. « La raréfaction des ressources [...] est source de conflits latents dans nos Etats jeunes et fragiles à cause notamment de l'accroissement d'une population nombreuse et hétérogène [...] » (HAMANI, 2003). L'extension des plantations d'anacardier avec le but stratégique d'occuper définitivement le terrain, les associations des jeunes qui s'opposent partiellement (cas de Doguè) ou complètement (cas de Sérrou) à l'exploitation forestière sont autant d'exemples qui indiquent la tendance de l'évolution des conflits fonciers. En général l'engagement de ces jeunes n'est pas

¹⁶ Délégué: responsable administratif du village

¹⁷ Roi: chef traditionnel du village

motivé particulièrement par la protection de l'environnement mais plutôt par le fait que seuls les propriétaires fonciers bénéficient financièrement de la vente du bois.

Entre les jeunes générations et les propriétaires fonciers s'érigent de plus en plus des conflits latents autour de l'exploitation forestière. Alors que seuls les propriétaires fonciers ont droit d'autoriser l'exploitation forestière sur leur terroir, dans certains villages, les jeunes se sont organisés et exigent aux exploitants forestiers (ayant déjà l'autorisation des chefs de terres) des redevances supplémentaires qui sont versées dans la caisse commune des jeunes du village. Cette attitude des jeunes reflète d'abord une mise en question indirecte de l'autorité foncière ainsi qu'un engagement des jeunes motivé non seulement par des intérêts environnementaux mais également par des intérêts monétaires.

En accordant un droit d'exploitation forestière (qui permet l'acquéreur de réaliser des gains énormes) les chefs de terres ne reçoivent en contrepartie qu'une somme d'argent dérisoire et/ou une bouteille de Sodabi¹⁸. Les jeunes qui connaissent bien le profit monétaire que tirent les exploitants forestiers (généralement non ressortissants des villages) de ces contrats partiels n'osent pas encore s'opposer directement aux décisions des chefs de terres, qui souvent sont des sages du village à qui on doit beaucoup plus de respect. Dans le village de Sérou où les jeunes ont clairement exposé au comité des sages du village les conséquences de ces contrats d'exploitation forestière, les chefs de terres, le roi ainsi que le chef administratif du village ont choisi le comité des jeunes comme leur conseiller en matière d'exploitation forestière. Dans ce village, l'exploitation forestière dans la petite forêt de Sérou reste interdite. Quant au village de Doguè, les jeunes qui au départ exigeaient uniquement le versement d'une certaine somme d'argent selon la quantité de bois exploitée, exigent de plus en plus que pour chaque arbre abattu, un autre soit planté.

3.3.14. Problèmes et contraintes de la production agricole dans l'Ouémé supérieur

Les problèmes et contraintes pour une agriculture durable dans l'Ouémé supérieur sont divers. Ils sont soit bien connus, non connus ou tout simplement ignorés par les

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

agriculteurs. Dans tous les cas, des solutions au niveau national ou régional existent et peuvent être facilement adaptées aux particularités locales de l'Ouémé supérieur. Le grand défi nécessitant un engagement de tout intervenant reste plutôt le transfert de ces solutions à l'agriculteur.

Variabilité des précipitations

La variabilité saisonnière des précipitations constitue le premier grand problème des agriculteurs du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Tantôt la saison des pluies commence tardivement, tantôt elle commence précipitamment ou elle prend fin plus tôt que d'habitude. Dans les deux cas, la production agricole est négativement affectée (Photo 12).



Photo 12: Champs de maïs décimé par la sécheresse en octobre 2001 à Sérrou

Les technologies agricoles de lutte contre la variabilité saisonnière des précipitations telles que les variétés hâtives et tolérantes à la sécheresse ainsi que les techniques de réduction des pertes d'eau au niveau de la parcelle ne sont pas encore connues des paysans.

Insuffisance de la main d'œuvre

En moyenne, un actif agricole produit pour 6 personnes. Excepté les exploitations agricoles qui disposent de la culture attelée bovine, la majorité des agriculteurs se heurtent à l'insuffisance de la main-d'œuvre. Ce problème est particulièrement plus important pendant la période des labours, semis et des sarclages (Avril - Août). L'insuffisance de la main d'œuvre devient encore plus pertinente en cas de saison de

¹⁸ Sodabi est un liqueur local très alcoolisée obtenu généralement par distillation à partir de la sève de palmiers

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

pluies tardive puisque différents travaux champêtres doivent être réalisés en même temps et pendant un temps court.

Insuffisance de moyens financiers

Il a été déjà mentionné que les agriculteurs accèdent difficilement aux intrants agricoles et plus particulièrement aux engrais minéraux faute de moyen financiers. Le capital financier constitue également un grand handicap à l'acquisition de la culture attelée qui pourtant constituerait une solution à l'insuffisance de la main d'œuvre.

Cérémonies rituelles

Les cérémonies rituelles sont des fêtes organisées pendant la saison sèche en vue d'honorer les ancêtres. Au cours de ces cérémonies, des familles concernées achètent des bœufs, les abattent et distribuent de la viande gratuitement. Ce sont des fêtes qui entraînent de grosses dépenses et laissent même les familles en dettes. Ces cérémonies sont en partie la cause du manque d'épargne et d'investissement en agriculture.

Maladies

Les maladies amplifient non seulement le problème d'insuffisance de la main d'œuvre mais également celui du manque de moyens financiers.

Jalousie et charges sociales

Dans les villages, les gens ont peur d'être empoisonnés ou envoûtés s'ils atteignent un statut socio-économique plus haut par rapport au reste du village. De plus, celui qui parvient à améliorer son statut socio-économique devient une vache à traire non seulement des membres de sa propre famille mais également de tout le village. Ceci bloque des initiatives des agriculteurs progressistes plus particulièrement les jeunes qui préfèrent souvent quitter le village.

Insuffisance de l'entretien des champs

Suite à l'insuffisance de la main d'œuvre et des moyens financiers, les sarclages (et le démariage) des cultures sont tardifs ou insuffisants. Il en résulte une forte concurrence au niveau de l'eau et des éléments nutritifs du sol entre les cultures et

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

les mauvaises herbes. Ce problème est particulièrement très observé chez les producteurs de coton et les agriculteurs utilisant la culture attelée. Dans le premier cas, les producteurs de coton optent pour la production de rente mais n'abandonnent pas leur stratégie d'autosuffisance alimentaire. La répartition de la main d'œuvre disponible entre les deux systèmes de production est toujours délicat et finit par pénaliser l'un ou l'autre des deux systèmes. Quant au deuxième cas, grâce à la culture attelée, les agriculteurs labourent et sèment de grandes étendues (souvent comme prestige) alors que les sarclages sont souvent faits à la houe.

Variétés des cultures

Les variétés des différentes cultures de l'Ouémé supérieur sont en général des variétés tardives et à faible indice de récolte. A cause de leur cycle végétatif très long, elles sont très sensibles à la variabilité saisonnière des précipitations. Et pourtant, des variétés hâtives et plus productives existent mais ne sont pas à la portée des agriculteurs.

Semences

Bien qu'au cours de ce travail aucune étude n'ait été réalisée pour déterminer le pouvoir germinatif des semences des différentes cultures, certaines pratiques paysannes laissent présager un faible taux de germination leurs semences. Plus particulièrement pour les céréales, les agriculteurs sèment plusieurs grains dans un même poquet quitte à démarier les plants ultérieurement. Quelques jours après la germination, les paysans procèdent souvent au démarriage - repiquage ou à de nouveaux semis pour compléter les poquets vides. La cause principale à ces pratiques évoquée par les agriculteurs est que les ravageurs (plus particulièrement les perdrix) déterrent les grains. La dégénérescence des semences du maïs amélioré constitue également un handicap à la valorisation effective des engrais minéraux. Le tri et le traitement des semences pourraient non seulement améliorer le pouvoir germinatif mais également lever la dormance. La lavée de la dormance des semences s'avère importante particulièrement en cas de variabilité saisonnière des précipitations.

Respect du calendrier cultural

La variabilité saisonnière des précipitations, l'insuffisance de la main d'œuvre, l'insuffisance de moyens financiers sont autant de facteurs qui contraignent l'agriculteur à ne pas respecter souvent le calendrier cultural.

Maladies, parasites et ravageurs des plantes

Les maladies observées (cercosporiose, helmentosporiose, pyriculariose..) dans les champs restent ignorées par les paysans. Par contre, les dégâts occasionnés par les parasites des plantes telle que la striga à Sérrou sont connus des paysans mais ces derniers ne disposent d'aucune technologie de lutte. D'autres parasites telles que les nématodes de l'igname apparaissent dans certains villages comme celui de Sérrou où les paysans le constatent sans pour autant connaître si c'est un cas dangereux ou pas. Quant aux ravageurs qui sont surtout les oiseaux (perdrix), les rongeurs et les primates, les dégâts sont également assez importants (plus particulièrement pour le maïs) si les agriculteurs n'assurent pas un gardiennage des champs.

Destruction de la matière organique par les feux

A cause des feux de brousse et du brûlage de la phytomasse sur les superficies cultivées, les sols de l'Ouémé supérieur sont pauvres en matière organique. Cela réduit la capacité de rétention d'eau des sols (FAO, 2003a; EHLERS, 1996 ;ROBERT, 2001), favorise l'érosion pluviale qui charrie les éléments minéraux libérés lors de la combustion de la phytomasse, diminue la capacité des plantes à pouvoir lutter contre leurs parasites (cas du striga). De plus, ces feux libèrent dans l'atmosphère de grande quantité de carbone qui contribue au réchauffement global de la terre et par conséquent à la variabilité des précipitations.

Nutrition des plantes

Comme dans la plupart des systèmes de production agricole tropicaux basés sur le défriche - brûlis, la nutrition des plantes est une technique peu connue au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur. En effet, la présence des terres incultes permet aux agriculteurs de laisser en jachère des parcelles dégradées et de maintenir leur niveau de production agricole sans pour autant apporter d'éléments fertilisants. Cependant, avec la pression démographique sur les terres, celles-ci se dégradent dans certains villages et nécessitent par conséquent des apports en

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

fertilisants. La fertilisation minérale toute seule sans apport de matière organique ne constitue aucune solution durable à la conservation de la fertilité des sols. Et pourtant, la production de la biomasse des superficies cultivées atteint en moyenne $8,5 \text{ t ha}^{-1}\text{-an}^{-1}$ et pourrait contribuer à conserver la fertilité des sols si elle était bien gérée. Des techniques de production et d'utilisation de la fumure organique qui ont fait preuves de réussite dans d'autres pays ou régions pourraient être également introduites dans la région de l'Ouémé supérieur.

Erosion des sols

L'érosion du sol transporte jusqu'à $123,8 \text{ t ha}^{-1}\text{-an}^{-1}$ sur certains sites du bassin versant de l'Ouémé supérieur (JUNGE, 2004). Ce transport est accompagné de pertes en éléments nutritifs du sol. Et pourtant, les pentes des terrains étant généralement faibles, les techniques les plus simples de lutte contre l'érosion (haies vives, le paillage, enrichissement du sol en matière organique, dispositions des billons perpendiculairement à la pente, disposition des buttes en quinconce, subdivision des champs en parcelles séparées par des fossés anti-érosifs etc...) pourraient réduire les effets de l'érosion. La conservation des sols est un volet du "paquet technologique" permettant l'intensification agricole indispensable pour l'adaptation de la production agricole au rythme de la croissance démographique (ROOSE, 1994).

Gestion et utilisation des eaux

Les ruissellements sur les sols cultivés sont plus élevés que dans n'importe quel autre système d'utilisation du terroir (GIERTZ, 2004). Cela est particulièrement dû à l'absence des structures anti-érosives sur les parcelles, à la faible couverture végétale, à l'obturation des pores du sol, à la diminution de la population des vers de terres et autres organismes dont les galeries facilitent l'infiltration des eaux de pluies. L'évaporation du sol occasionne également de fortes pertes d'eau du sol si celui-ci n'est pas protégé par une couche de litière (paillis) et par un feuillage. L'amélioration de la couverture végétale du sol par le paillage et l'association des cultures, la mise en place des structures anti-érosives et l'enrichissement de la matière organique dans le sol sont autant de mesures qui pourraient contribuer à réduire les pertes d'eau des parcelles par érosion et par évaporation. De plus, l'aménagement et l'exploitation des bas-fonds pourraient également contribuer à l'amélioration de la

productivité agricole et de ce fait à la réduction de l'extension drastique des superficies agricoles.

Droit d'accès à la terre

Le droit d'accès à la terre illimité (particulièrement pour les autochtones) dans la majeure partie du bassin versant de l'Ouémé supérieur ne peut en aucun cas favoriser l'intensification agricole. Il n'y a en effet aucune nécessité d'intensification agricole (qui d'ailleurs occasionne des coûts supplémentaires et plus de travail) si l'agriculteur peut toujours subvenir aux besoins alimentaires de sa famille grâce uniquement à l'extension des superficies agricoles.

3.4. Conclusion

Les systèmes de production agricole dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur consistent en un amalgame de cultures et de systèmes de cultures. Les principales cultures sont l'igname, le manioc, le sorgho, le maïs, l'arachide et le niébé. Ces cultures sont généralement semées en associations ou en dérobé. La période des semis selon les cultures s'étend de mai à août. Les variétés utilisées sont des variétés tardives qui en cas de variabilité de la saison des pluies ne permettraient pas aux agriculteurs de subvenir à leurs besoins alimentaires. La production et l'utilisation du fumier sont des techniques qui ne constituent aucune préoccupation des agriculteurs (sauf pour les Peuls). La gestion de la biomasse est caractérisée particulièrement par le brûlage de la biomasse. Ceci appauvrit en matière organique non seulement les sols cultivés mais également ceux des formations naturelles. Les systèmes de production sont des systèmes à jachères. En moyenne la durée d'exploitation d'une parcelle est de 4-5 ans et la jachère peut durer plus de 7 ans. L'extension des plantations d'anacardiens et l'absence d'intensification agricole constituent les principaux facteurs d'extension des superficies agricoles et par conséquent de la déforestation. La fertilisation minérale, l'utilisation des variétés plus performantes, la production et l'utilisation du fumier, la gestion de la biomasse et de l'eau sur la parcelle sont autant de technologies dont l'absence ne permet pas durablement de hauts rendements agricoles.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

4.0. Introduction

La dégradation d'un écosystème se définit comme une détérioration qualitative et quantitative d'une formation végétale. La dégradation des ressources naturelles est particulièrement étudiée à travers la dégradation végétale (BROWN & GASTON, 1996) qui précède normalement la dégradation biologique (FAO, 1995) et chimique des sols (NYE & GREENLAND, 1960). Le présent chapitre analyse les principaux paramètres végétaux (indice foliaire, biomasse, litière, écovolume) par lesquels la dégradation végétale des écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur est également évaluée. Pour ce qui est de la dégradation biologique et chimique des sols, elle a été bien analysée par JUNGE (2004). Quant à la dynamique des écosystèmes, elle est particulièrement étudiée à travers la production primaire nette et la litière.

4.1. Objectif

Le principal objectif de ce chapitre est de montrer l'importance particulière de l'utilisation combinée de l'indice foliaire, de la phytomasse totale et de l'écovolume dans l'évaluation de la dégradation des différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur.

4.2. Hypothèse

La dégradation des écosystèmes ne peut pas être clairement analysée sur base de la surface de l'indice foliaire ni de la production primaire nette mais en utilisant plutôt la surface terrière, la biomasse totale ou l'éco-volume (Hypothèse 5).

4.3. Indice foliaire

Sans tenir compte de la strate herbacée, les valeurs de ***l'indice foliaire*** obtenues dans les différents systèmes d'utilisation du terroir de l'Ouémé supérieur (à Doguè et à Sérou) se rangent de la manière suivante:

<p><i>Forêt d. semi décidue ; Pois cajan > Forêt claire, Cultures annuelles > anacardiens, orangers et les jachères (Tab. 35)</i></p>

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Ces valeurs n'indiquent aucune différence significative d'une part entre les cultures annuelles et la forêt claire et d'autre part entre les cultures pérennes (anacardiens, orangers) et les jachères de longue durée. Par contre la **phytomasse ligneuse totale aérienne** se range dans l'ordre suivant:

Phytomasse ligneuse aérienne: Forêt dense semi-décidue de Sérrou > Forêt claire de Doguè, Cultures pérennes > Jachères > Cultures annuelles

Tab. 35: Principaux paramètres écologiques dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Ecosystèmes	Hauteur	LAI	NPP	Biomasse ligneuse	Biovolume
	(cm)	(m ² m ⁻²)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)
Cultures annuelles	194,6 ^a	3,7 ^b	9,4 ^b	6,2 ^a	3091,3 ^a
Pois cajan	270 ^a	14,8 ^c	7 ^{ab}	-	10766,3 ^b
Orangers	700 ^{bc}	3,3 ^{ab}	4,9 ^{ab}	-	8847 ^b
Anacardiens	633,3 ^c	2,8 ^{ab}	4,3 ^{ab}	23,7 ^b	12046,8 ^b
Jachères	513,5 ^b	1,9 ^a	3 ^a	20,6 ^b	10395,1 ^b
Forêt claire	670,2 ^c	4,9 ^b	4,4 ^{ab}	90,9 ^c	-
Forêt d. s.-décidue	1244,9 ^d	12,7 ^c	8,3 ^{ab}	177 ^d	26689,3 ^c

LAI: Indice de la surface foliaire NPP: Production primaire nette
 Les chiffres d'une même colonne disposant d'un même exposant ne présentent aucune différence significative pour p = 0,05

L'indice foliaire qui reste pourtant un important paramètre végétal des différents modèles écologiques (WEBB *et al.* 1983 ; WOOMER, 1993) ne donne pas de renseignements suffisants (CLARK *et al.* 2001) qui permettraient l'évaluation du couvert végétal. Pour un indice de la surface foliaire par exemple de 2, la biomasse foliaire correspondante est différente selon le poids foliaire spécifique de chaque culture. L'accumulation de la biomasse foliaire n'est pas uniquement fonction du nombre de feuilles produites mais elle est également influencée par le poids foliaire spécifique (REDDY *et al.* 1995). Cette biomasse passe de 0,5 t ha⁻¹ pour le niébé/haricot à 3,0 t ha⁻¹ pour le karité. Bien que différentes cultures ayant un même indice foliaire puissent jouer un même rôle notamment dans la protection des sols contre l'érosion, leur rôle dans le recyclage de l'eau et du carbone dépendra beaucoup plus du poids spécifique foliaire de chaque culture. Sans tenir compte des

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

différences d'efficacité d'utilisation de l'eau¹⁹ entre les plantes C3 et C4 mais en considérant simplement une moyenne de 1 mmole de CO₂ fixée pour 1 mole d'eau et un rapport carbone/phytomasse sèche de 0,45, la quantité d'eau intervenant dans la réalisation de l'indice foliaire de 2 m² m⁻² pour différentes cultures varie de 324 à 2012 m³ ha⁻¹ (soit 32,4 et 201,2mm) respectivement pour le niébé/haricot et le karité (Tab. 36).

Tab. 36: Importance du poids foliaire spécifique dans l'estimation du stock de carbone et de la consommation en eau

Cultures	LAI	Pfs	Lf	Stock de carbone	Besoins en eau	
	(m ² m ⁻²)	(mg cm ⁻²)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(m ³)	(mm)
Sorgho	2,0	6,0	1,2	0,54	810	81
Maïs	2,0	4,3	0,9	0,39	581	58
Niébé	2,0	2,4	0,5	0,22	324	32
Voandzou	2,0	4,3	0,9	0,39	581	58
Arachide	2,0	4,3	0,9	0,39	581	58
Manioc	2,0	6,3	1,3	0,57	851	85
Igname 1	2,0	4,9	1,0	0,44	662	66
Igname 2	2,0	4,6	0,9	0,41	621	62
Coton	2,0	3,4	0,7	0,31	459	46
Karité	2,0	14,9	3,0	1,34	2012	201
Anacardier	2,0	10,5	2,1	0,95	1418	142

LAI: indice de la surface foliaire

Pfs: Poids foliaire spécifique

Lf: rendement en biomasse foliaire

4.4. Phytomasse

La phytomasse comprend à la fois la *biomasse* constituée de matière végétale vivante et la *nécromasse* constituée de matière végétale morte dominée par la litière. L'analyse de la phytomasse se décompose en analyse de la production primaire nette et en celle de la phytomasse totale.

4.4.1. Production primaire nette

La production primaire nette (NPP) des différents systèmes d'utilisation du terroir est significativement plus élevée pour le cas des superficies cultivées (Tab. 35). Toutefois, il faut retenir qu'une partie de la NPP des cultures est toujours exportée de

¹⁹ L'efficacité d'utilisation de l'eau varie normalement de 0.86 à 1.50 mmol de CO₂ fixé par 1mol de H₂O

la parcelle sous forme de production agricole ou de résidus de récolte. Sans tenir compte de la strate herbacée, les formations naturelles et les jachères (écosystèmes conservationistes) produisent annuellement une biomasse qui ne diffère pas significativement de celle des superficies cultivées et des anacardières (Tab. 35). Tout comme dans le cas de l'indice foliaire, la NPP ne permet pas de catégoriser les différents écosystèmes en tenant compte de leur aptitude à pouvoir conserver les ressources naturelles. Cependant, la capacité des systèmes à pouvoir accumuler cette NPP sous forme de biomasse (accroissement de la biomasse) ou de néchromasse (chute de la litière et litière au sol) apporte une différence entre les différents systèmes. De plus, les différentes méthodes (coupes ou sans coupes, feux ou sans feux, labours ou sans labours, enfouissement ou sans enfouissement de la biomasse) de gestion de la NPP constituent un facteur pertinent d'intégration de la NPP dans l'évaluation de la durabilité des écosystèmes.

4.4.2. Phytomasse totale

La biomasse totale constituée à la fois de la biomasse des ligneux, des herbes et de celle des cultures est faible dans les écosystèmes ayant subi une forte influence humaine (superficies cultivées, les jachères, les plantations d'anacardières) que dans les formations naturelles (Tab. 37). La forêt dense semi décidue de Sérrou vient en tête avec une biomasse totale de 207 t ha⁻¹ suivie de la forêt claire de Doguè avec 110 t ha⁻¹. La biomasse aérienne des ligneux de 90,9 et 182,6 t ha⁻¹ respectivement pour la forêt claire et la forêt dense semi-décidue est comparable à 96 et 175 t ha⁻¹ obtenue pour les mêmes formations au Bénin par MARSCH (1976) cité par BROWN (1997). Les basses valeurs de la biomasse totale dans les systèmes perturbés sont obtenues à Sérrou et sont 17, 16, 28 t ha⁻¹ respectivement pour les superficies cultivées, les jachères et les plantations d'anacardières. Alors qu'à Doguè, les jachères dépassent les superficies cultivées en terme de biomasse totale, les jachères de Sérrou possèdent une biomasse totale équivalente voire même inférieure à celle des superficies cultivées. Ceci est expliqué par la régénération de la végétation encore possible (à Doguè plutôt qu'à Sérrou) grâce aux jachères de longue durée. Contrairement à l'indice de la surface foliaire et à la production primaire nette, la biomasse totale est un important paramètre dans l'évaluation de la dégradation des ressources naturelles.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 37: Biomasse totale des différents écosystèmes à Doguè et à Sérôu

Ecosystèmes	Biomasse aérienne des ligneux (t ha ⁻¹)	Rapport Bs/Ba	Biomasse souterraine des ligneux (t ha ⁻¹)	Biomasse des herbes (t ha ⁻¹)	Biomasse des cultures (t ha ⁻¹)	Biomasse totale (t ha ⁻¹)
Doguè						
Sup. agricoles	7,6	0,25	1,9	3,3	9,7	22,5
Jachères	32,8	0,25	8,2	4,7	0,0	45,7
Anacardiens	27,3	0,27	7,4	3,9	0,0	38,5
Forêt claire	90,9	0,20	18,2	0,8	0,0	109,9
Sérôu						
Sup. agricoles	6,2	0,25	1,6	2,8	6,8	17,4
Jachères	8,3	0,25	2,1	5,8	0,0	16,2
Anacardiens	20,1	0,27	5,4	2,8	0,0	28,3
Forêt d.s. décidue	182,6	0,13	23,7	0,2	0,0	206,5

Bs: biomasse souterraine des arbres; Ba: biomasse aérienne des arbres

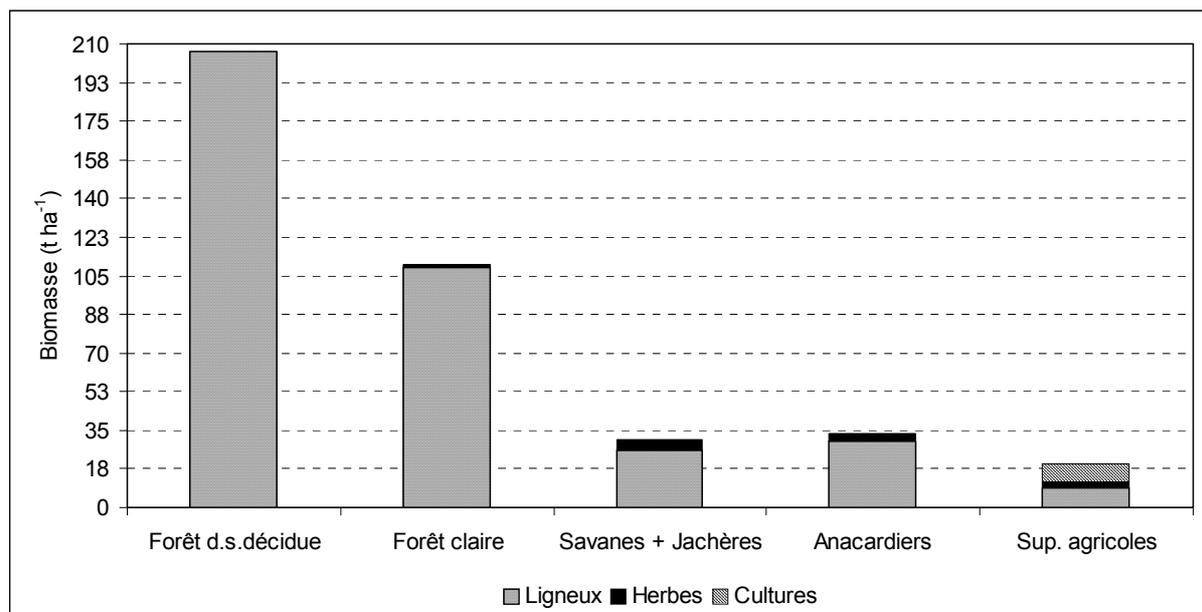


Fig. 21: Biomasse totale des différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé

4.5. Production et dynamique de la litière

4.5.1. Production de la litière

Les résultats sur la production de la litière concernent exclusivement la litière des écosystèmes des ligneux c'est-à-dire les forêts, jachères et les plantations d'anacardiens.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

La production de la litière est déterminée par l'alternance de la saison pluvieuse et de la saison sèche (Fig. 22, Fig. 23). Pendant la saison des pluies, la plante accumule la biomasse qu'elle perd totalement ou partiellement sous forme de litière pendant la saison sèche. De façon générale, la courbe de la chute de la litière peut être subdivisée en quatre différentes phases :

- *Janvier – mars* : phase où la courbe montre une décroissance de la production en litière. La production de la litière reste toutefois en janvier et février relativement élevée. Au cours de ces deux mois, le déficit hydrique dans le sol est également élevé (JUNGE, 2004).
- *Mars – juin* : phase caractérisée par une légère augmentation de la chute de la litière. Suite aux pluies de quelques jours qui tombent généralement en mars, la disponibilité de l'eau dans le sol occasionne une reprise de la photosynthèse et par conséquent de la croissance en biomasse et surtout de la biomasse foliaire. Ces feuilles ne durent cependant pas longtemps puisque la saison sèche se poursuit.
- *Juin – septembre* : phase où la production de la litière atteint des valeurs minimales. C'est également la phase où la production primaire nette doit être abondante puisque l'eau dans le sol ne constitue plus un facteur limitant pour la photosynthèse;
- *Septembre – janvier* : phase caractérisée par une forte production totalisant entre 50 et 75% de toute la litière produite annuellement. La production de la biomasse est au ralenti à cause surtout d'une faible disponibilité en eau dans le sol ainsi que des températures excessives limitant la photosynthèse. La litière qui tombe au cours de cette période est souvent détruite par les feux de brousse dont le calendrier s'étend de décembre en février et d'avril à mai.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

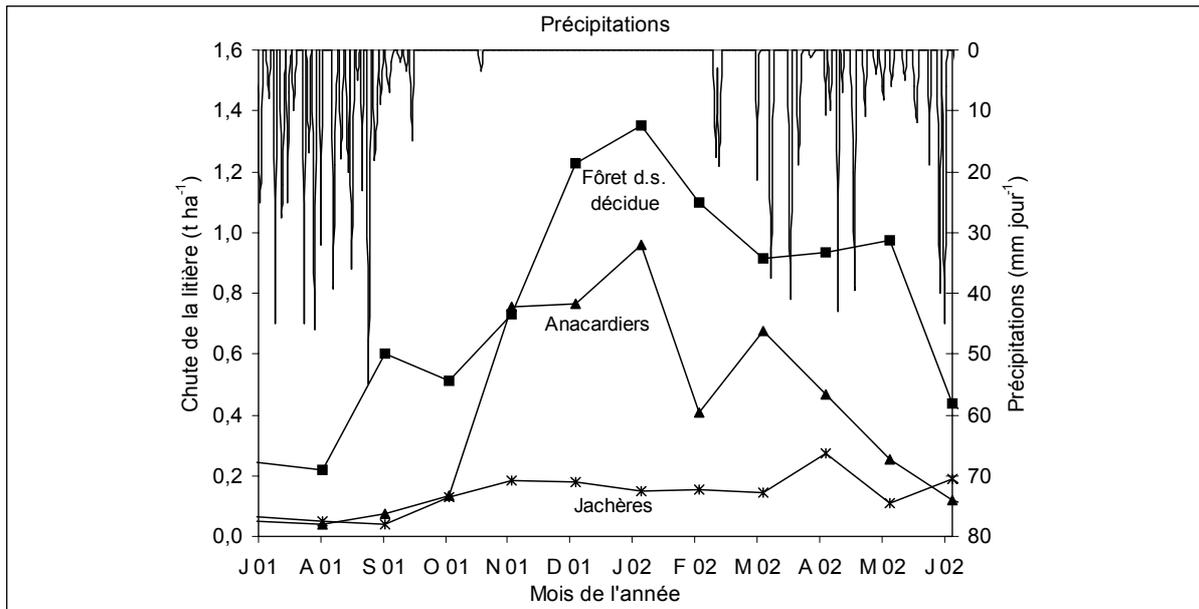


Fig. 22: Evolution de la chute de la litière dans différents écosystèmes de Sérrou

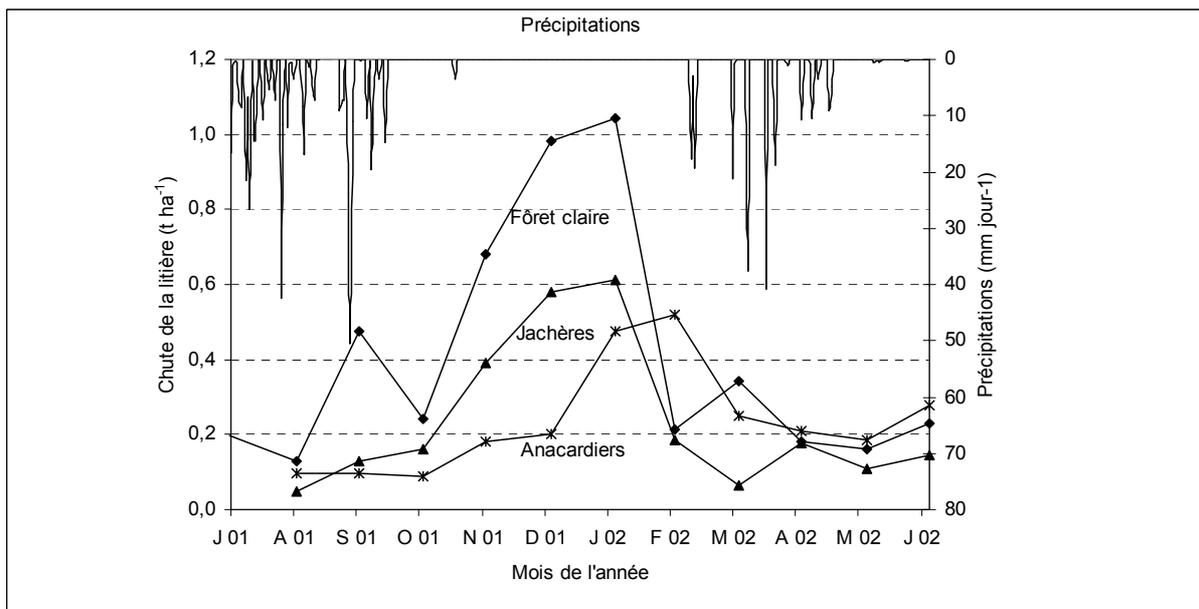


Fig. 23: Evolution de la chute de la litière dans différents écosystèmes de Doguè

4.5.2. Partition de la litière et estimation de la production de la biomasse

La partition de la litière entre les feuilles et les rameaux donne des informations importantes sur la production primaire nette et l'accroissement annuel de la biomasse (WEBB *et al.* 1983 ; ZHONG *et al.* 2002 ; CLARK *et al.* 2001). Cependant, la détermination exacte de la chute des rameaux est souvent biaisée car une partie de leur matière sèche se décompose avant la chute (CLARK *et al.* 2001). Bien que la chute des rameaux soit influencée par plusieurs facteurs externes notamment le

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

vent (MOSANGO, 1991; CLARK *et al.* 2001), elle fournit des renseignements importants sur la dynamique des formations ligneuses. Plus la fraction des rameaux dans la litière totale est importante, moins la formation végétale est jeune. De ces systèmes d'utilisation du terroir ci-dessous présentés (Tab. 38; Fig. 24), la forêt dense semi-décidue de Sérrou dispose d'un haut pourcentage de rameaux dans la litière. C'est une forêt en **phase de dégénération - régénération** caractérisée surtout par un nombre croissant d'arbres morts ou qui tombent laissant des clairières où de nouvelles plantules s'installent.

Tab. 38: Production et partition de la litière dans les différents écosystèmes à Doguè et à Sérrou entre Août 2001 et Juillet 2002

Village	Systèmes d'utilisation du terroir	Litière totale		Feuilles		Rameaux		Fleurs/fruits		Autres	
		(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	(t ha ⁻¹)	(%)	
Sérrou	Forêt d.s. décidue	9,0	6,3	70	1,8	20	0,4	4	0,5	6	
	Jachères	1,7	1,6	94	0,1	6	0,0	0	0,0	0	
	Anacardiens	4,5	3,9	85	0,2	4	0,5	11	0,0	0	
Doguè	Forêt claire	4,1	3,2	78	0,7	16	0,2	6	0,0	0	
	Jachères	3,0	2,5	83	0,3	10	0,2	7	0,0	0	
	Anacardiens	2,6	1,9	73	0,4	16	0,3	11	0,0	0	
	Orangers	3,8	3,4	91	0,3	7	0,1	2	0,0	0	
	Pois cajan	6,3	5,4	86	0,4	6	0,5	8	0,0	0	

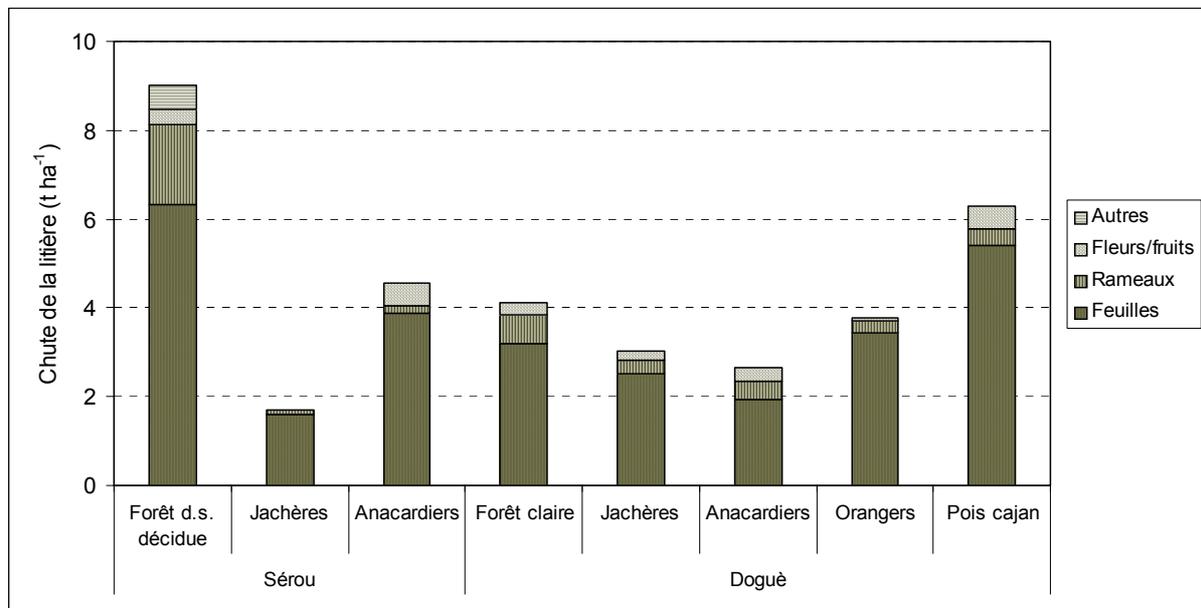


Fig. 24: Production et partition de la litière dans les différents écosystèmes à Doguè et à Sérrou entre Août 2001 et juillet 2002

4.5.3. Estimation de la production primaire nette sur base de la chute de la litière

Les différentes valeurs de la production primaire nette (NPP) calculées sur base des relations de WEBB *et al.* (1983) et de ZHONG *et al.* (2002) sont présentées dans le Tab. 39. Les valeurs les plus élevées de la NPP sont obtenues dans la forêt de Sérrou (860 g m⁻² an⁻¹) et dans les plantations d'anacardiens de Sérrou (545 g m⁻² an⁻¹). Le rapport de la NPP sur la biomasse totale aérienne ligneuse correspondant à 0,05 pour la forêt claire de Doguè et la forêt dense semi décidue de Sérrou se rapproche de la valeur de 6% obtenue dans une forêt secondaire en République Démocratique du Congo (MOSANGO, 1991). Cependant, en retranchant de la NPP la chute de la litière (perte), la forêt de Sérrou affiche un bilan déficitaire de - 42 g m⁻² an⁻¹. Cette forêt peut être située dans la phase de vieillissement caractérisée notamment par une proportion importante de branches dans la litière et par la disparition de certains arbres. Les plantations d'anacardiens de Sérrou sont plutôt mieux entretenues (sarclages, élagage,...) que celles de Doguè. La NPP des anacardiens (286 g m⁻² an⁻¹ à Doguè et 545 g m⁻² an⁻¹ à Sérrou) est en grande partie constituée de la production des fruits estimée à 100-200 g m⁻² an⁻¹ (vrai fruit abritant le noix de cajou: 10-20 g m⁻² an⁻¹²⁰ ; faux fruit allongé en forme de pomme: 80-90 g m⁻² an⁻¹²¹). Les jachères de longue durée à Doguè ont une biomasse ligneuse aérienne totale de 3280 g m⁻² alors qu'à Sérrou elles n'atteignent que 830 g m⁻² d'où la NPP plus importante dans les jachères de Doguè que dans celles de Sérrou.

L'accroissement annuel de la biomasse qui est la différence entre la NPP et la chute de la litière (ZHONG *et al.* 2002) est très important dans les plantations d'anacardiens de Sérrou (90 g m⁻² an⁻¹) dont une partie est constituée de production agricole prélevées lors de la récolte. La densité de plantation des anacardiens à Doguè étant très serrée (jusqu'à 348 arbres ha⁻¹), il existe une grande concurrence au niveau de la lumière entraînant la mort d'une partie des branches. Ceci pourrait être à l'origine d'une quantité plus importante de branches dans la litière à Doguè (16%) qu'à Sérrou (4%). De plus, dans ces plantations en pleine phase de production, l'accumulation de la matière organique semble être beaucoup plus

²⁰ Le rendement en noix de cajou d'après les paysans de Sérrou et de Doguè

²¹ Le fruit de cajou est constitué à environ 90% de la pomme de cajou et 10 du noix de cajou

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

importante dans la production des fruits que dans l'accroissement de la biomasse ligneuse.

En considérant également la biomasse de la strate herbacée et des cultures, les écosystèmes des superficies cultivées atteignent une production primaire nette plus élevée (1409 et 1050 g m⁻² an⁻¹ respectivement à Doguè et à Sérrou) que dans tout autre écosystème (Tab. 39). Cependant, la NPP des superficies cultivées est en grande partie constituée de la biomasse des plantes annuelles (herbes, cultures) qui est prélevée de la parcelle sous forme de production agricole, de résidus de récolte utilisés dans les ménages pour différents usages. De plus, une partie de cette biomasse est également brûlée par les feux de brousse ou pendant le défrichage.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 39: Estimation de la production primaire nette (NPP) et de l'accroissement annuel de la biomasse (ΔB)

Ecosystèmes	Phytomasse ligneuse aérienne					L_T/B_T	NPP/ B_T	NPP/ L_t	Herbes	Cultures	NPP $_T$
	B_T	L_t	L_f	NPP	ΔB						
	(g m ⁻²)	(g m ⁻² an ⁻¹)	(g m ⁻² an ⁻¹)	(g m ⁻² an ⁻¹)	(g m ⁻² an ⁻¹)						
Sérou											
Forêt d. semi décidue	18260	902	631	860	-42	0,05	0,05	0,95	20	0	880
Jachères	830	172	161	242	70	0,21	0,29	1,41	582	0	824
Anacardiens	2010	455	387	545	90	0,23	0,27	1,20	276	0	821
Sup. Agricoles	620	62	56	90	28	0,10	0,15	1,45	280	680	1050
Doguè											
Forêt claire	9090	410	320	457	47	0,05	0,05	1,11	80	0	537
Jachères	3280	302	251	364	62	0,09	0,11	1,21	470	0	834
Anacardiens	2730	265	193	286	21	0,10	0,10	1,08	385	0	671
Sup. Agricoles	760	76	68	109	33	0,10	0,14	1,43	330	970	1409

B_T : Biomasse totale aérienne
 L_T : chute de la litière totale
 L_f : chute de la litière foliaire
 $\ln(NPP) = 0,76 + 0,93 * \ln(\text{biomasse foliaire})$ (WEBB *et al.* 1983)
 $NPP = \Delta B + L_t$ (ZHONG *et al.* 2002)
NPP: production primaire nette aérienne des ligneux
 ΔB : accroissement annuel de la biomasse aérienne (sans cultures ni herbes)
 $NPP_T = NPP + \text{cultures} + \text{herbes}$

4.5.4. Chute de la litière et classification des formations ligneuses

L'évaluation des écosystèmes sur base de leur aptitude de stockage du carbone se limite généralement à la quantification du carbone stocké dans la biomasse totale, litière et dans le sol. Certaines études intègrent la NPP dans ce genre d'évaluation mais mentionnent aussi des difficultés pratiques d'obtenir les estimations du NPP (CLARK *et al.* 2001). La litière pourrait constituer un outil d'estimation rapide et moins onéreuse non seulement de la production primaire nette mais également de la dynamique des écosystèmes forestiers (JANSSENS *et al.* 2004b). Sur base de la chute de la litière totale (L_t), de la litière foliaire (L_f), de la production primaire nette (NPP) et de l'accroissement annuel de la biomasse (ΔB), trois principales phases d'évolution des formations ligneuses peuvent être décrites de la manière suivante :

Phase de croissance

C'est une phase caractérisée par une chute totale de la litière (L_t) significativement inférieure à la production primaire nette (NPP). La chute des rameaux occupe des proportions faibles dans la litière totale. L'accroissement annuel de la biomasse (ΔB) est positif.

Phase d'équilibre ou de climax

C'est une phase qui dans les conditions naturelles correspondrait au climax. Elle se caractérise par une chute annuelle de la litière (L_t) qui ne diffère pas significativement de la production primaire nette (NPP). La proportion des rameaux dans la litière totale devient significativement plus importante que dans la phase de croissance. L'accroissement annuel de la biomasse (ΔB) ne diffère significativement pas de zéro.

Phase de vieillissement

Au cours de la phase de vieillissement, la chute annuelle de la litière (L_t) devient significativement plus importante que la production primaire nette (NPP). La proportion des rameaux dans la litière totale est plus importante que dans la phase d'équilibre. L'accroissement annuel de la biomasse (ΔB) est négatif. Dans les conditions naturelles, cette phase se caractérise à la fois par une dégénération et une régénération de la forêt. En effet, la disparition de vieux arbres donnent lieu à de clairières où s'installent de nouvelles plantules.

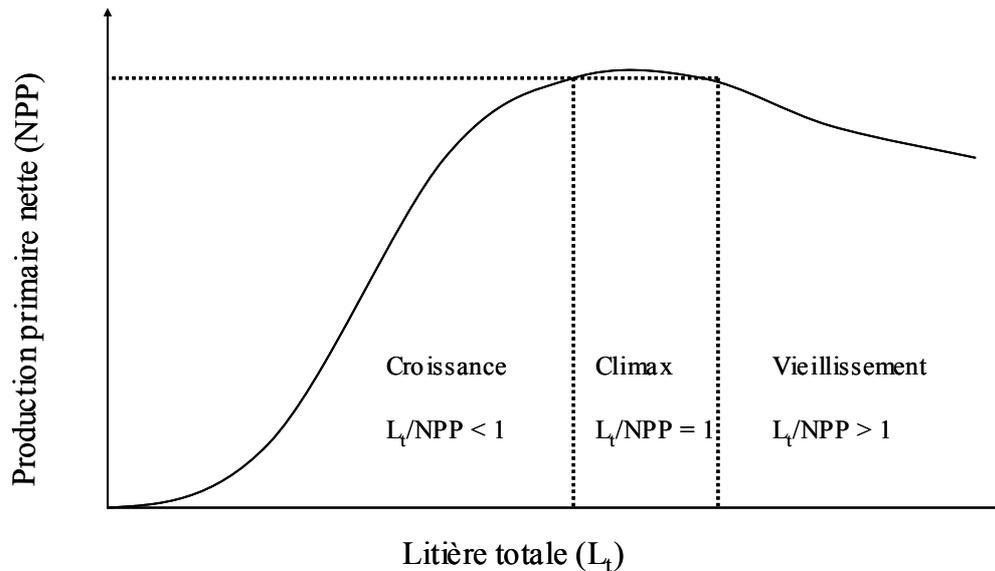


Fig. 25: Classification des formations végétales sur base de la chute de la litière

4.5.5. Estimation de l'indice foliaire de la litière

Afin de rendre la litière foliaire au sol plus facilement utilisable dans les différents modèles écologiques, sa masse pondérale a été convertie en indice de la surface foliaire grâce à la relation :

$$LAI_L = 10 * \frac{L_{sf}}{P_{fs}}$$

où

LAI_L représente l'indice de la surface foliaire de la litière au sol ($m^2 m^{-2}$),

L_{sf} , la litière foliaire au sol ($t ha^{-1}$)

P_{fs} , le poids spécifique foliaire ($mg cm^{-2}$)

Les valeurs les plus élevées de l'indice de la surface foliaire de la litière au sol ont été obtenues dans la forêt dense semi décidue de Sérrou (9,6), les plantations d'anacardiers (2,6 – 3,8) et dans la parcelle du pois cajan (2,9). Ces valeurs du LAI_L expliquent partiellement l'humidité du sol plus élevée mesurée par FAß, (2004) dans les plantations d'anacardiers à Doguè que dans les superficies cultivées. En effet, la litière au sol associée au feuillage amortissent les gouttes de pluies et protègent par conséquent le sol contre l'érosion (FALKENMARK, 1997), permettent une amélioration de l'infiltration des eaux de pluies et une réduction de l'évaporation de l'eau du sol (EHLERS, 1996).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 40: Conversion de la litière foliaire au sol en LAI

Ecosystèmes	L_{sf}	P_{fs}	LAI
	(t ha ⁻¹)	(mg cm ⁻²)	(m ² m ⁻²)
Sérou			
Forêt d.s. décidue	4,6	4,8	9,6
Jachères	0,3	10,5	0,3
Anacardiers	4,0	10,5	3,8
Doguè			
Forêt claire	0,5	6,3	0,8
Jachères	0,8	10,5	0,8
Anacardiers	2,7	10,5	2,6
Orangers	0,7	10,5	0,7
Pois cajan	1,0	3,4	2,9

L_{sf} : litière foliaire au sol (t ha⁻¹)
 P_{fs} : Poids foliaire spécifique (mg cm⁻²)

4.5.6. Dynamique de la litière

Après analyse de la production de la litière et son rôle dans l'estimation de certains paramètres écologiques, il convient d'étudier également sa dynamique. L'analyse de la dynamique de la litière est rendue possible par les relations de JENNY *et al.* (1949) $k_{Jenny} = L_t / (L_t + L_s)$ et d'Olson (1963) $k_{Olson} = L_t / L_s$.

où

k représente le coefficient de décomposition de la litière,

L_t : chute de la litière (t ha⁻¹an⁻¹),

L_s : litière au sol (t ha⁻¹an⁻¹)

La tendance de la vitesse de décomposition de la litière par ordre d'importance décroissante est la suivante :

Décomposition de la litière : Forêt claire de Doguè > superficies cultivées > Pois cajan > Jachères > Orangers > Forêt semi décidue de Sérou > Plantations d'anacardiers

En se référant sur les résultats de MOSANGO (1991), le coefficient K d'OLSON semble diminuer avec l'évolution d'un écosystème vers son climax (jachère préforestière: 5,8 et forêt primaire: 3,2). La forêt dense semi-décidue de Sérou pourrait être alors considérée comme l'écosystème le plus évolué des écosystèmes

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

étudiés. La faible décomposition de la litière dans la forêt de Sérrou s'explique d'une part par la proportion importante des branches dans la litière, lesquelles branches se décomposent lentement (JUNGE, 2004), et d'autre part par une chute de litière très importante constituant une couche importante de litière au sol où la partie supérieure de cette couche n'entrant pas en contact direct avec le sol, se décompose également lentement (SANKARAN *et al.* 1993). La décomposition lente dans les plantations d'anacardiers illustrée par les valeurs de K faibles est due à la faible teneur en azote et à un haut rapport C/N des différentes parties de la litière (SANKARAN *et al.* 1993). Elle est en outre le résultat de la présence d'*Imperata cylindrica* dans les plantations d'anacardiers. En effet, l'*Imperata cylindrica* accapare l'eau de la couche supérieure du sol et s'interpose souvent entre le sol et la litière qui tombe. Les feuilles de l'*Imperata cylindrica* étant riches en lignine (HARTEMINK & O'SUULLIVAN, 2001), leur décomposition est également lente (PRESCOTT *et al.* 2004), ce qui ralentit aussi la décomposition de toute la litière. De plus, la fraction des fruits dans la litière des anacardiers est relativement plus importante que dans les autres systèmes (Tab. 38) alors que leur décomposition apparaît plus lente que celle des feuilles.

Le coefficient k d'OLSON obtenu pour la forêt dense semi-décidue de Sérrou (1,4) est comparable à celui obtenu par SOKPON (1995) au sud du Bénin (1,4) dans un même type de forêt et par SONWA (2004) au Cameroun (1,7) mais inférieur à 2,2 et 4,5 respectivement obtenu par MADGE (1965) cité par MOSANGO (1991) dans une forêt dense humide au Nigeria et par MOSANGO (1991) dans une forêt secondaire en République Démocratique du Congo (RDC). La différence particulière avec les résultats de MOSANGO (1991) s'explique par des précipitations abondantes de 1800 mm avec deux périodes de fléchissement sur les sites de MOSANGO (1991) contre seulement 1000 mm à Doguè et à Sérrou avec une seule période de fléchissement. Les résultats de la respiration du sol (qui reflète l'intensité de l'activité biologique intervenant dans la décomposition de la matière organique du sol), corroborent également avec cette explication. En effet, la respiration du sol est plus intense pendant la saison des pluies que pendant tout le reste de l'année (Fig. 41). De plus, les termites qui sont également responsables de la décomposition de la litière (SOKPON, 1995) sont moins actifs pendant la saison sèche que pendant la saison des pluies (KORB & LINSENMAIR, 2001).

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 41: Décomposition de la litière dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Ecosystèmes	L_s	L_t	$k_{Olson} =$	$K_{Jenny} =$	$P_{Jenny} =$
	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	L_t/L_s	$L_t/(L_t+L_s)$	$k \times L_t$
Sérou					
Forêt d.s. décidue	6,229	9,020	1,4	0,59	5,335
Jachères	0,957	1,716	1,8	0,64	1,102
Anacardiés	4,890	4,549	0,9	0,48	2,192
Doguè					
Forêt claire	1,095	4,099	3,7	0,79	3,235
Jachères	1,244	3,019	2,4	0,71	2,138
Anacardiés	3,500	2,649	0,8	0,43	1,141
Orangers	1,717	3,782	2,2	0,69	2,601
Pois cajan	3,263	6,299	1,9	0,66	4,149

L_s : Litière au sol en 2001 L_t : apport total annuel en litière
 k: coefficient de décomposition de la litière
 P: perte annuelle en litière due à la décomposition

4.6. Biovolume et Ecovolume

Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, l'écovolume des principaux systèmes de cultures oscillent entre 3400 m³ ha⁻¹ (légumineuses: arachide, haricot, voandzou) et 32000 m³ ha⁻¹ (sorgho) (Tab. 42, Fig. 26). En tenant compte de la superficie occupée par chaque système de cultures, l'écovolume moyen des cultures se situait autour de 17601 m³ ha⁻¹ en 2000. Dans le cas du scénario statu quo, cette valeur tend à croître légèrement d'ici l'an 2020 pour atteindre une valeur de 18520 m³ ha⁻¹ (Tab. 42). Cette augmentation de 5,2% de l'écovolume des cultures est particulièrement due à l'extension de la superficie du maïs en croissance continue.

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

Tab. 42: Ecovolume des différents systèmes de cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Systèmes culturaux	Superficie		Ecovolume		Ecovolume pondéré (réf. superficie)	
	Unité	(%)	(%)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹)
	Année	2000	2020	2000	2000	2020
Igname		17	8	4500	765	360
Manioc		14	14	23000	3220	3220
Sorgho		10	9	32000	3200	2880
Mais		14	28	21000	2940	5880
Sorgho + Mais		6	7	32000	1920	2240
Riz		2	2	13500	270	270
Légumineuses		7	7	3400	238	238
Coton		17	21	12000	2040	2520
Orangers		0	0	70000	0	0
Pois cajan		0	0	27000	0	0
Autres		13	4	23840	3099	954
Total		100	100		17692	18562

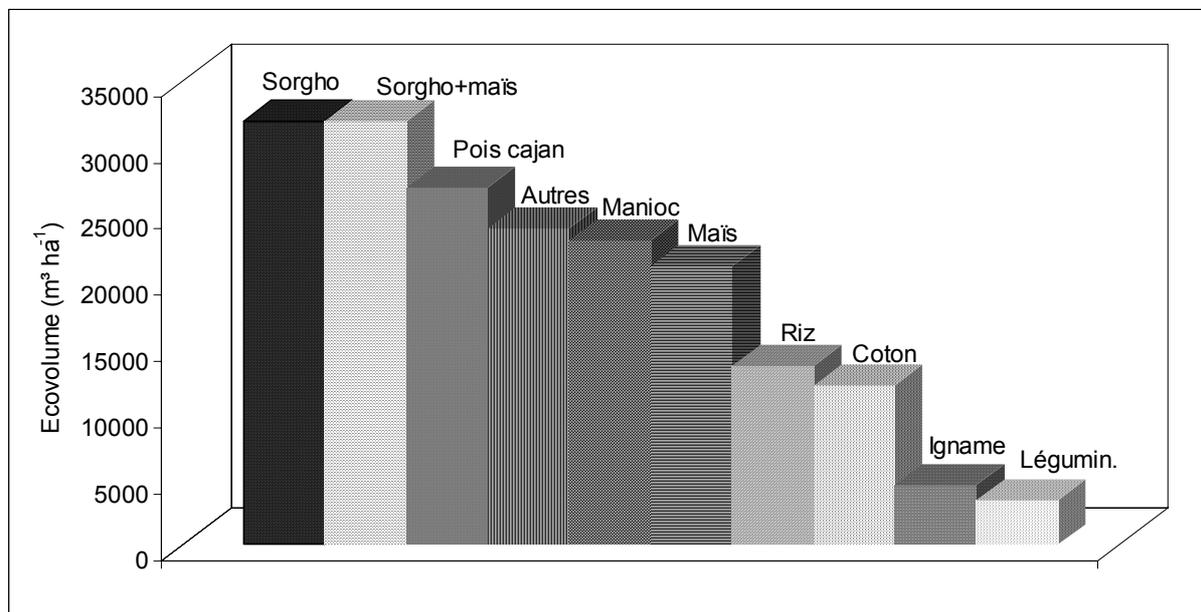


Fig. 26: Ecovolume des différents systèmes de cultures du bassin versant de l'Ouémé supérieur

En considérant tous les écosystèmes, le biovolume et l'écovolume sont très importants dans les formations naturelles que dans n'importe quel autre système

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

d'utilisation du terroir (Tab. 43, Fig. 27). Par ordre d'importance décroissante, le biovolume et l'écovolume se rangent de la manière suivante:

Biovolume: Forêts denses sèches > Forêts claires > Anacardiens > Jachères+Savanes > Cultures

Ecovolume: Forêts denses sèches > Forêts claires > Jachères+Savanes > Cultures

Tab. 43: Biovolume et Ecovolume des différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Ecosystèmes	Superficie		Biovolume	Ecovolume	Biovolume pondéré		Ecovolume pondéré		
	Unité	(%)	(%)	(m ³ ha ⁻¹)					
	Année	2000	2020	2000	2000	2000	2020	2000	2020
Forêts denses		8	3	26689	292308	2135	721	23385	7892
Forêts claires		23	8	18542	248385	4265	1446	57128	19374
Jachères + savanes		27	1	10395	91769	2848	104	25145	918
Anacardiens		5	12	12047	63333	638	1422	3357	7473
Cultures		36	77	3091	17601	1119	2371	6371	14205
Total		100	100			11006	6063	115386	49862

Forêts denses: Forêts denses semi décidues + Forêts de galerie

Jachères + savanes: Jachères de longue durée + savanes arborées

Cultures: Superficies cultivées + Jachères de courte et moyenne durée

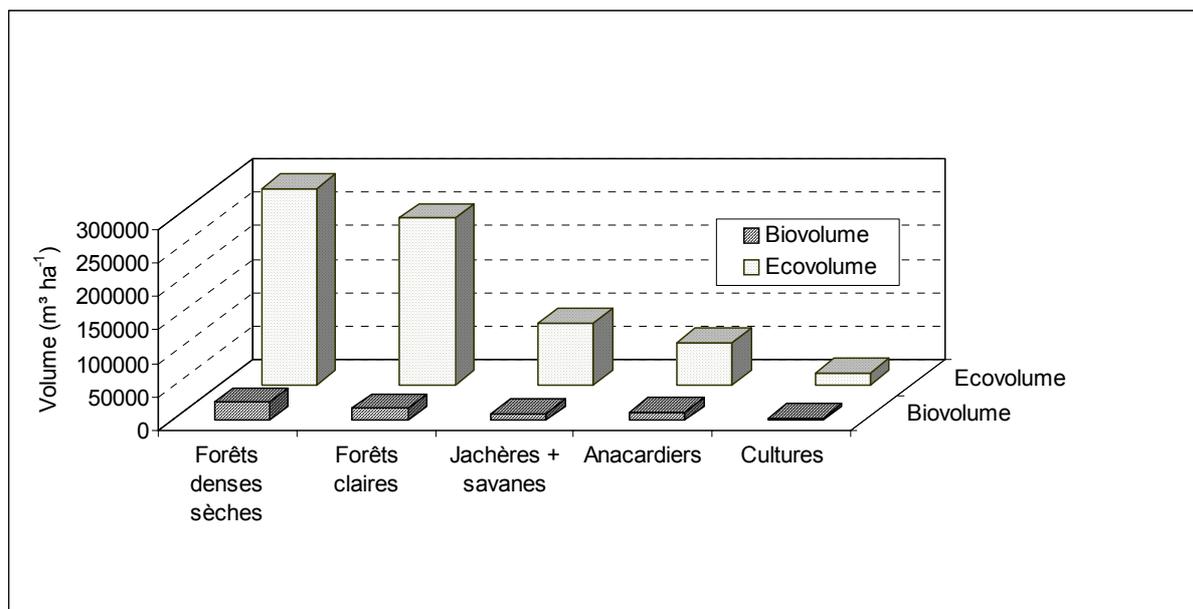


Fig. 27: Biovolume et écovolume des différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur

4. Evaluation des écosystèmes : dynamique et dégradation

La biomasse totale, le biovolume et l'écovolume sont des paramètres qui illustrent mieux que tout autre paramètre végétal le gradient de dégradation des écosystèmes. Il convient toutefois de préciser que l'un ou l'autre de ces paramètres peut jouer un important rôle plus que l'autre selon la spécificité de l'étude. Par exemple la biomasse totale serait beaucoup plus importante pour l'évaluation de la séquestration du carbone, le biovolume dans les études sur la conservation des sols et l'écovolume dans les études sur la biodiversité (niche écologique, microclimat,...).

En tenant compte de la superficie qu'occupe chaque écosystème du bassin versant de l'Ouémé supérieur, **le biovolume et l'écovolume moyens ont été respectivement estimés à 11006 et 115386 m³ ha⁻¹ pour 2000. Dans le cas du scénario statu quo, en 2020, le biovolume ne sera que de 6063 m³ ha⁻¹ (diminution de 45%) et l'écovolume de 49862 m³ ha⁻¹ (diminution de 57%)** (Tab. 43, Fig. 28).

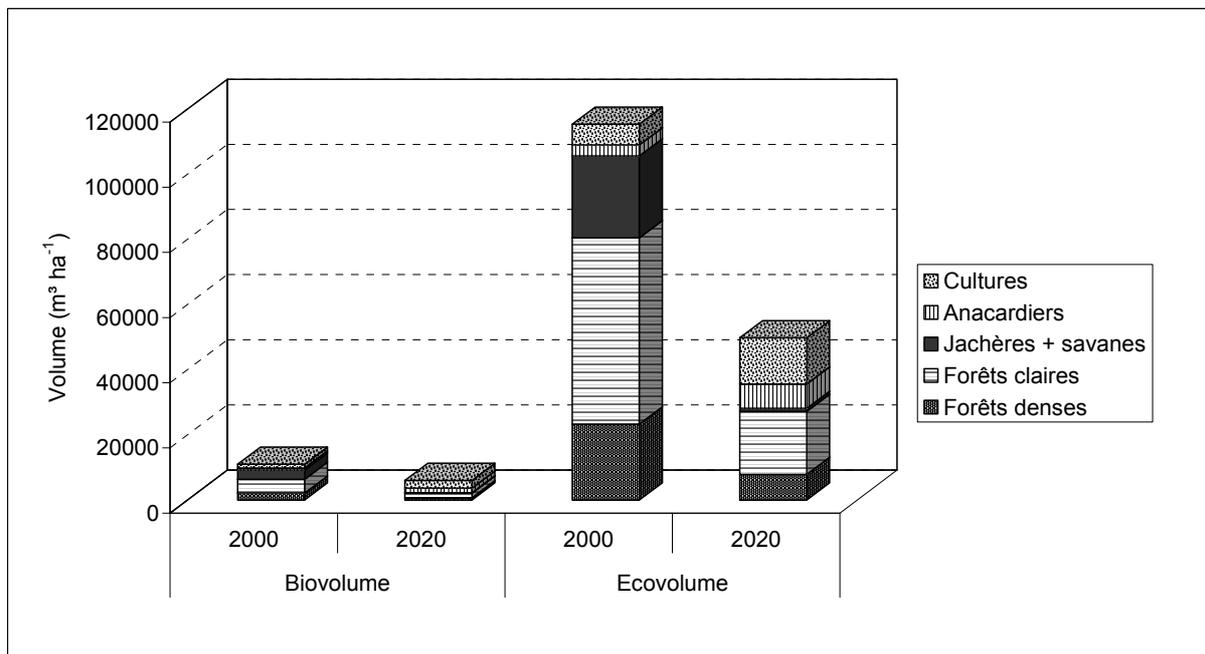


Fig. 28: Prédiction du biovolume et de l'écovolume en 2020

4.7. Matière organique dans le sol

A part la forêt de Sérrou disposant d'une teneur en matière organique du sol supérieure à 2% (faible), les autres écosystèmes ont moins de 2% (très faible) (Tab. 33). JUNGE (2004) a également constaté que la teneur en matière organique des

superficies cultivées et celles des savanes n'accuse aucune différence significative. Quant aux éléments minéraux (Ca, Mg, K, P₂O₅) de ces sols, aucune différence significative n'a été observée sauf pour le cas du Na où les valeurs sont plus élevées dans les sols des savanes de Doguè que dans ceux des superficies cultivées.

Concernant la matière organique, ces résultats sont bien expliqués par la destruction de la phytomasse par les feux. Les feux de brousses annuels (particulièrement entre décembre et février), qui sont plus fréquents sur les superficies non cultivées, détruisent la matière organique et libèrent le carbone dans l'atmosphère sous forme de gaz ou de particules. De plus, après le passage des feux, la température du sol augmente et rend l'activité biologique du sol très accrue et donc la décomposition de la matière organique très accélérée (BIRD *et al.* 2000) et entraînent également la libération rapide du carbone. Sur les sols cultivés, les feux sont moins importants mais le travail du sol y favorise également l'activité biologique du sol et par conséquent la décomposition rapide de la matière organique. Dans les villages de Doguè et Sérou, la matière organique du sol ne constitue aucun critère exclusif d'évaluation de la dégradation des différents écosystèmes. A cause des feux de brousse, la matière organique du sol ne reflète pas l'importance de la végétation au dessus du sol.

4.8. Conclusion

L'indice de la surface foliaire (LAI) et la production primaire nette (NPP) sont des paramètres végétaux qui, seuls ne permettent pas d'évaluer la dégradation des écosystèmes. Par contre la phytomasse totale, le biovolume et l'écovolume sont des paramètres qui illustrent clairement le gradient de dégradation des différents écosystèmes. Grâce au poids foliaire spécifique, il est possible d'estimer la litière foliaire au sol en LAI qui peut être utilisé dans les différents modèles écologiques.

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

5.0. Introduction

Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, les systèmes d'utilisation du terroir sont principalement déterminés par la pression démographique sur les terres. En effet, l'extension des superficies cultivées, qui s'opère au détriment des formations naturelles, est fonction de la croissance démographique et influe directement sur l'utilisation de l'ensemble des superficies du terroir. En cas de persistance de la variabilité saisonnière des pluies actuellement observée, cette extension risque de s'agrandir davantage tel que cela s'observe dans d'autres régions à régimes de précipitations irréguliers. Cependant, l'intensification agricole constitue, même en cas de variabilité saisonnière des pluies, une des principales stratégies à la réduction de l'extension des superficies agricoles.

5.1. Objectif

L'objectif principal du présent chapitre est l'analyse de l'évolution de la superficie agricole et de l'influence de la croissance démographique, des systèmes de production agricole et de la variabilité saisonnière des précipitations sur cette évolution.

5.3. Hypothèse

L'intensification agricole soutenue par un développement socio-économique ainsi que par une législation foncière effective constitue même en cas de variabilité saisonnière des précipitations, le principal facteur d'utilisation durable des ressources naturelles (Hypothèse 4).

5. 4. Méthodologie

En se basant sur l'évolution de la superficie agricole (BOSERUP, 1965; MALASSIS, 1975) et de la dégradation des ressources naturelles au Rwanda (MULINDABIGWI, 1997; BÉZY, 1990) en fonction de la croissance démographique et en se basant sur la classification des systèmes de production agricole (RUTHENBERG, 1980 ; GREENLAND, 1974; OKIGBO BEDE, 1997); ainsi que sur les systèmes actuels de production agricole du bassin versant de l'Ouémé supérieur (IMPETUS Westafrikaprojekt, 2001), cinq principales phases d'évolution de la superficie agricole

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

et de la dégradation des ressources naturelles ont été identifiées et définies (Tab. 44, Fig. 29). Les principaux critères qui ont contribué à leur définition sont :

- extension des superficies agricoles
- origines des terres défrichées
- systèmes de production agricole
- dégradation des ressources naturelles
- feux de brousse
- exploitation foncière
- conflits fonciers
- exode rural et émigration
- importance des activités champêtres réalisées par l'homme par rapport à celles réalisées par la femme
- production agricole (sécurité alimentaire)

L'identification et la définition de ces phases permettent non seulement de classer l'extension de la superficie agricole de n'importe quel terroir mais également de se rendre compte des conséquences écologiques et socio-économiques associées à l'utilisation non durable des ressources naturelles.

Connaissant la fraction de la superficie cultivée, superficie des jachères convertie en superficie cultivée, superficie cultivée convertie en jachères, superficie cultivée convertie en plantation d'anacardiens et la fraction de la superficie naturelle nouvellement défrichée, une fonction de la superficie agricole tenant compte du taux d'accroissement démographique a été établie (Fig. 1, section 6.4.1., section 2.3.2.). La moyenne de la production agricole calorique des années 2001 et 2002 (4,4 millions kcal ha⁻¹an⁻¹) constitue le niveau de production agricole de référence. En cas de raccourcissement de la saison des pluies, la production agricole devient inférieure à celle de référence. Par contre, en cas d'intensification partielle de l'agriculture, le niveau de la production agricole dépasse celui de référence.

Afin d'estimer la superficie agricole nécessaire pour maintenir le même niveau de production de référence, un facteur oméga (Ω) a été déterminé. Ce facteur est donné par le rapport de la production de référence sur la production en cas de

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

raccourcissement de la saison des pluies ou en cas d'intensification agricole. Etant donné que l'importance des systèmes de cultures varie d'une année à une autre, la production agricole varie également d'une année à une autre d'où les valeurs du facteur oméga variant aussi d'une année à une autre. Pour chaque année, la superficie agricole est donnée par le produit du facteur oméga et de la superficie agricole en fonction du taux d'accroissement démographique.

5.5. Evolution de la superficie des écosystèmes de l'Ouémé supérieur

5.5.1. Extension des superficies agricoles et dégradation des ressources naturelles

Les cinq différentes phases décrivant l'itinéraire de l'évolution de l'utilisation des terres et de la dégradation des ressources naturelles sont (Tab. 44, Fig. 28): *Equilibre écologique, Rupture de l'équilibre écologique, Dégradation écologique, Insécurité alimentaire structurelle, Misère et dégradation hydrologique irréversible*. Les densités démographiques limites (d_1, \dots, d_5) de ces phases diffèrent d'une région à une autre. Plus la superficie cultivée par habitant est élevée (cas des zones unimodales), plus les phases débuteront plus tôt que dans le cas où cette superficie est moins élevée (cas des zones bimodales).

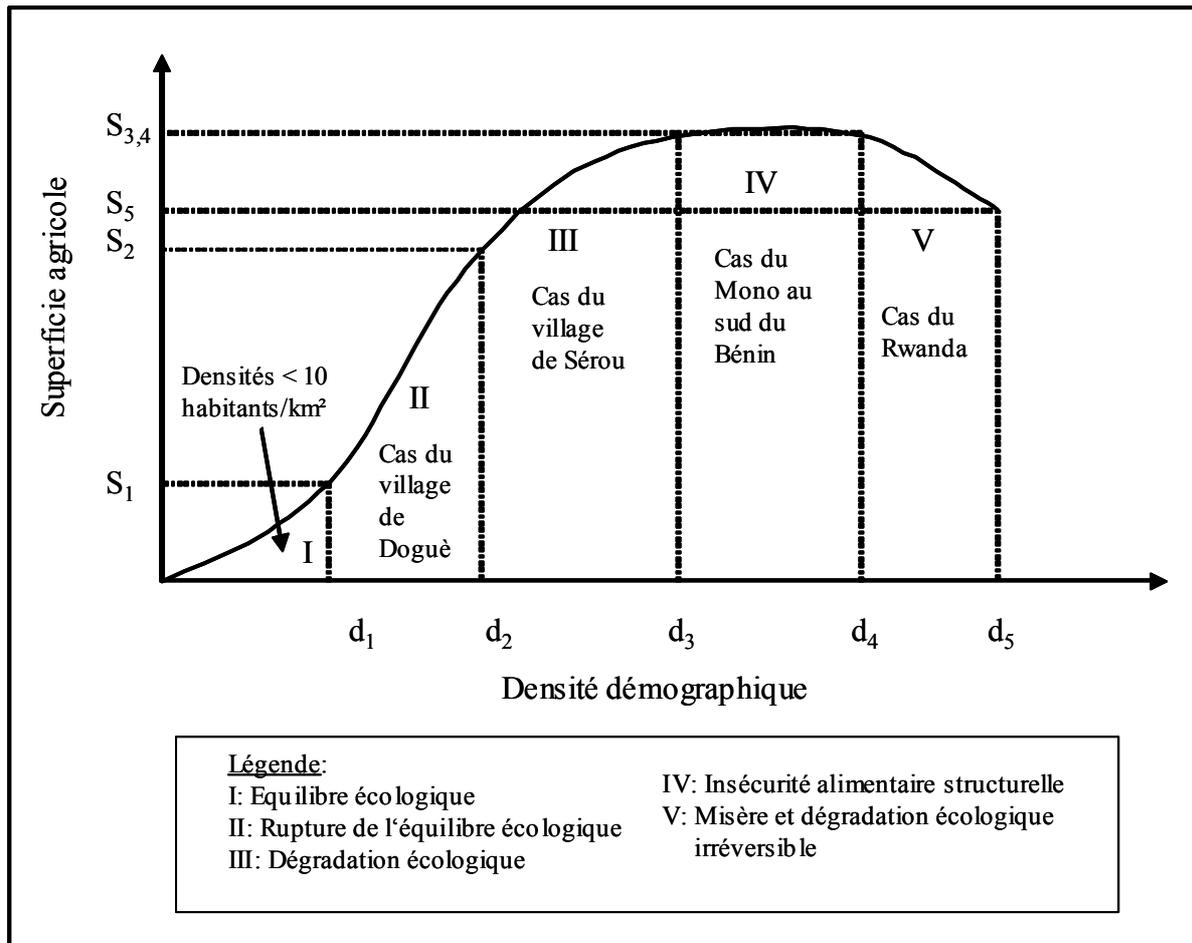


Fig. 29: Phases d'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres

5.5.1.1. Phase I : Equilibre écologique

La phase d'Equilibre écologique est ici définie comme un état optimal écologique stable en présence de l'intervention humaine. Elle est donc à distinguer du climax qui est également un état optimal d'équilibre écologique mais en l'absence de toute intervention humaine (LE ROBERT, 1993). C'est une phase où la densité de la population est encore très faible. Cette densité ne devrait pas dépasser 0,3; 0,3; 7,0; 15,0; 22,0 et 35,0 personnes au km² respectivement pour le Sahara, Sahelo-saharien, Sahel, Sahelo-soudanien, Soudanien et Soudano-guinéen (WORLD BANK, 1984 cité par BEETS; 1990). Les systèmes de production agricole sont itinérants. L'extension des superficies agricoles est lente et se fait en défrichant principalement les formations naturelles. La dégradation des ressources naturelles est faible puisque la longue durée des jachères permet aux sols de régénérer leur fertilité et à la végétation de se reconstituer partiellement (DE SCHLIPPÉ, 1958). Les feux de brousse sont peu importants puisqu'ils ne s'étendent que sur une partie du

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

terroir. La propriété foncière est collective et l'accès à la terre illimité, d'où la rareté des conflits fonciers et l'inexistence de l'exode rural et de l'émigration. Les travaux champêtres sont principalement réalisés par l'homme et les champs se trouvent loin des habitations. La production agricole est à la fois suffisante pour les consommations directes et les stocks de sécurité. Dans tout l'Ouémé supérieur, seule la commune de Bassila avec sa densité démographique de 13 personnes au km² pourrait être classée dans cette phase. Cette commune étant à la limite entre la zone soudanienne et la zone soudano-guinéenne, la densité de la population peut atteindre 35 personnes au km² sans porter atteinte à l'utilisation durable des terres (BEETS, 1990).

5.5.1.2. Phase II : Rupture de l'équilibre écologique

Au cours de cette phase, l'extension de la superficie agricole totale est rapide et se fait grâce au défrichage des formations naturelles et des jachères de longue durée. Les systèmes de production agricole ne sont plus exclusivement itinérants mais plutôt dominés par ceux à jachères. La dégradation des ressources naturelles devient cette fois-ci significative au niveau du couvert végétal et se caractérise entre autre par une diminution de la phytomasse totale. Quant à la dégradation du sol, elle est encore empêchée par la durée suffisante des jachères. Toutefois, les feux de brousse très fréquents au cours de cette phase réduisent dans certains cas l'accumulation de la matière organique dans le sol. La propriété foncière vaguement délimitée est collective et l'accès à son exploitation est déjà soumis à certaines règles et restrictions. Les conflits fonciers concernant particulièrement les limites des terroirs apparaissent entre collectivités. Le rôle de l'homme dans l'exécution des travaux champêtres demeure toujours très important. Les champs se situent de plus en plus proches des habitations. En dehors de forts aléas climatiques, la production agricole reste toujours suffisante pour les consommations directes et les stocks de sécurité. Les disettes sont rares et conjoncturelles. L'exode rural et les mouvements d'émigration sont insignifiants. Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, l'évolution actuelle de la superficie agricole sur l'axe Wari Maro - Doguè représente cette phase de rupture de l'équilibre écologique.

5.5.1.3. Phase III : Dégradation écologique

C'est une phase au cours de laquelle disparaissent les formations naturelles qui ne sont pas rigoureusement protégées. L'extension des superficies agricoles redevient lente et se fait en défrichant principalement les pâturages, les jachères de longue durée ainsi que les derniers îlots des formations naturelles. Les systèmes de production agricole jusqu'alors caractérisés par des jachères de longue durée cèdent de plus en plus place aux systèmes de cultures permanents. La dégradation des ressources naturelles ne se limite uniquement plus au couvert végétal mais se situe également au niveau de la fertilité du sol. La dégradation biologique du sol est déjà très avancée, la dégradation chimique est principalement caractérisée par la diminution de la matière organique et la dégradation physique est particulièrement caractérisée par le début d'une érosion pluviale importante. Les feux de brousse deviennent moins importants que dans la phase II et se limitent particulièrement aux jachères de longue durée. C'est une phase où commence le morcellement des terres. Même si dans certains cas, la propriété foncière reste collective, le terroir de chaque collectivité est déjà subdivisé, si bien que chaque famille dispose de ses propres blocs²² à l'intérieur desquels ses membres ont généralement droit d'exploitation illimité. Les conflits fonciers entre les collectivités persistent mais apparaissent également ceux entre familles d'une même collectivité. Le rôle de la femme dans l'exécution des travaux champêtres devient aussi important que celui de l'homme. La production agricole reste suffisante pour les consommations directes mais devient insuffisante pour les stocks de sécurité. Les disettes deviennent de plus en plus fréquentes mais restent toujours conjoncturelles. Cette phase correspond au début des mouvements d'émigration qui restent principalement saisonniers. Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, elle est représentée par le village de Sérrou.

5.5.1.4. Phase IV : Insécurité alimentaire structurelle

La quatrième phase est caractérisée non seulement par l'épuisement des formations naturelles mais également par celui des jachères de longue durée et des pâturages. L'extension des superficies agricoles n'est plus possible. Si elle se réalise, c'est surtout grâce à la mise en exploitation des terres marginales jusqu'alors considérées

²² Le bloc est un ensemble de terres contiguës et cultivées par un même exploitant agricole. Un bloc peut porter un ou plusieurs champs (Enquête Nationale Agricole au Rwanda, 1984 cité par Bézy, F. 1990)

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

comme improductives ou tout simplement grâce à la suppression des jachères et des pâturages. Les systèmes de cultures sont exclusivement permanents. La dégradation du couvert végétal et celle du sol deviennent très importantes et se caractérisent respectivement par des rendements en phytomasse très faibles et une forte érosion pluviale amplifiant la dégradation biologique, chimique et physique du sol. Les feux de brousse deviennent insignifiants puisqu'une grande partie du terroir est occupée par les cultures et les jachères de courte durée. Le morcellement des terres atteint un niveau plus avancé de l'individualisation des exploitations agricoles. Au sein de chaque famille élargie, chaque ménage possède ses propres champs. Les conflits fonciers entre les collectivités tendent à disparaître, ceux entre les familles persistent et ceux entre les individus (aussi bien entre les voisins qu'entre les parentés) deviennent plus importants. L'homme et les jeunes se désintéressent de plus en plus des travaux champêtres. Le rôle de la femme dans l'exécution de ces travaux devient plus important. La production agricole n'est plus suffisante ni pour les stocks de sécurité, ni pour les consommations directes. Les disettes qui jusqu'alors étaient conjoncturelles deviennent plutôt structurelles. L'exode rural et l'émigration deviennent importants. Cette phase n'est pas encore représentée au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur mais on la retrouve dans le Mono au sud du Bénin.

5.5.1.5. Phase V : Misère et dégradation hydrologique irréversible

Au cours de cette phase, l'extension des superficies agricoles reste impossible. Au contraire, la superficie agricole totale tend à décroître. En effet, suite à une forte dégradation de la fertilité des sols (surtout les terres marginales), les agriculteurs abandonnent des parcelles devenues improductives sans pouvoir les remplacer par d'autres. Les systèmes de cultures restent exclusivement permanents. La dégradation du couvert végétal et celle du sol deviennent difficilement réparables. Au cours de cette phase, la dégradation hydrologique se manifeste par une forte diminution des débits des sources et cours d'eau. En effet, à cause d'une forte érosion pluviale, les nappes souterraines tarissent ou ne sont plus suffisamment rechargées. Les feux de brousse sont inexistant d'une part parce la grande partie du terroir est occupée par des cultures et d'autre part parce que les agriculteurs sont plus conscients de l'importance de la biomasse dans la constitution de la matière organique du sol. L'individualisation du patrimoine foncier domine et le morcellement

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

des terres atteint des dimensions techniquement et économiquement non viables (0,13 - 0,16 ha par habitant au Rwanda). Les conflits fonciers entre individus sont les plus fréquents. La production agricole devient très insuffisante par rapport aux besoins de la population. Les disettes dégénèrent en famines structurelles. Les maladies chroniques caractérisent également cette phase de misère et de dégradation hydrologique irréversible. C'est une phase qui n'est pas encore représentée au Bénin mais qu'on rencontre plutôt dans plusieurs régions du Rwanda.

Tab. 44: Phases et caractéristiques de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres

Caractéristiques	Phase I	Phase II (Doguè)	Phase III (Sérou)	Phase IV (Mono)	Phase V (Rwanda)
	<i>Equilibre écologique</i>	<i>Rupture de l'équilibre écologique</i>	<i>Dégradation écologique</i>	<i>Insécurité alimentaire structurelle</i>	<i>Misère et dégradation écologique irréversible</i>
1. <i>Extension des superficies agricoles</i>	peu importante	très importante	importante	insignifiante ou stagnante	stagnante (ou décroissante)
2. <i>Origine des terres défrichées</i>	formations naturelles	formations naturelles, jachères de longue durée	jachères de longue durée, pâturages, dernières formations naturelles	terres marginales, pâturages, jachères de courte durée	jachères de courte durée, (abandon des terres devenues improductives)
3. <i>Systèmes de production agricole</i>	itinérants	principalement à jachères	principalement permanents	exclusivement permanents	exclusivement permanents
4. <i>Dégradation des ressources naturelles</i>	faible dégradation végétale	forte dégradation végétale	forte dégradation végétale et édaphique	très forte dégradation végétale et édaphique	Dégradation irréversible végétale, édaphique et hydrologique
5. <i>Feux de brousses</i>	peu importants	très importants	importants	insignifiants	inexistants
6. <i>Exploitation foncière</i>	illimitée et collective	illimitée et collective	limitée et collective	limitée et individuelle	limitée et individuelle
7. <i>Conflits fonciers</i>	rares	principalement entre collectivités	entre collectivités et entre familles	entre familles et entre individus	principalement entre individus
8. <i>Exode rural et émigration</i>	inexistants	insignifiants	faibles et saisonniers	importants et permanents	très importants et permanents
9. <i>Activités champêtres de l'homme</i>	très importantes	très importantes	importantes	peu importantes	peu importantes
10. <i>Bilan de charge humaine des terres</i>	charge humaine écologique	charge humaine écologique	charge humaine supportable	surcharge humaine	surcharge humaine
11. <i>Production agricole</i>	suffisante	suffisante: disettes rares et conjoncturelles	partiellement suffisante: disettes fréquentes et conjoncturelles	insuffisante: disettes structurelles	très insuffisante: famines structurelles

N.B. : pour la définition du **bilan de charge humaine des terres** voir section 7.4.5

Dans la classification de MURAI (1996) in : UITTO & ONO (1996), la phase I correspondrait à l'utilisation durable des ressources naturelles, II et III à l'utilisation critique et les phases IV et V à l'utilisation destructive.

5.5.2. Evolution de l'extension des superficies agricoles

Les résultats montrent que si rien n'est entrepris pour intensifier l'agriculture et réduire les immigrations dans la zone de l'Ouémé supérieur, les superficies agricoles risquent d'atteindre 79,7% (scénario 2) de la superficie totale cultivable en 2020 en cas de persistance de la variabilité saisonnière des précipitations (Tab. 45, Fig. 30). Par contre, en limitant l'immigration et en intensifiant les systèmes de production agricole, la superficie agricole n'occuperait en 2020 que 61,8% (scénario 8) de la superficie totale cultivable en cas de raccourcissement de la saison des pluies.

Tab. 45: Evolution de la superficie agricole dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur selon différents scénarios

Scénarios	Superficie agricole (% de la superficie totale cultivable)				
	2000	2005	2010	2015	2020
Scé. 1	36,2	43,7	53,0	64,0	76,3
Scé. 2	36,2	44,2	54,2	66,2	79,7
Scé. 3	36,2	35,7	42,2	49,8	57,8
Scé. 4	36,2	40,9	49,0	58,5	68,7
Scé. 5	36,2	43,4	51,4	60,0	68,6
Scé. 6	36,2	43,9	52,6	62,0	71,7
Scé. 7	36,2	35,4	41,0	46,6	52,0
Scé. 8	36,2	40,7	47,6	54,7	61,8

Il est à constater que seule l'intensification agricole ne peut pas arrêter durablement l'extension des superficies agricoles. En effet, même en intensifiant l'agriculture et en limitant la croissance démographique (scénario 7 ou optimiste), il y aura toujours l'extension des superficies agricoles si la population reste exclusivement dépendante de l'agriculture. Il est donc important de mentionner que ce n'est pas uniquement la croissance démographique qui constitue le principal facteur d'extension des superficies agricoles mais plutôt une croissance démographique non accompagnée par un développement économique et social capable de permettre les hauts rendements agricoles et la création d'emplois autres qu'agricoles.

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

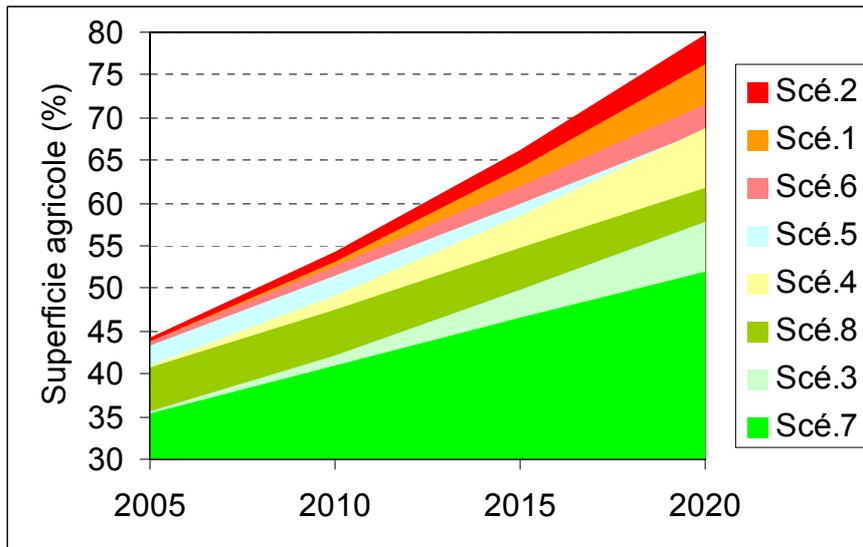


Fig. 30: Prédiction de l'évolution de la superficie agricole dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

5.5.3. Evolution de la superficie d'autres écosystèmes

Tel qu'il a été déjà mentionné, la croissance démographique non accompagnée par une intensification agricole est à la base de l'extension des superficies agricoles au détriment des formations naturelles et des jachères de longue durée. **Les systèmes culturaux à base d'igname, les plantations d'anacardiens et souvent la culture du coton constituent les principaux systèmes de cultures qui accélèrent l'extension des superficies agricoles dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.**

Tab. 46: Evolution de la superficie des formations naturelles dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur selon différents scénarios

Scénarios	Superficie des formations naturelles (%)				
	2000	2005	2010	2015	2020
Scé. 1	31,0	26,7	21,7	16,1	10,5
Scé. 2	31,0	21,9	15,2	7,4	0,0
Scé. 3	31,0	34,6	32,3	30,2	28,8
Scé. 4	31,0	29,5	25,7	21,7	18,2
Scé. 5	31,0	26,9	22,5	18,2	14,4
Scé. 6	31,0	22,1	16,2	10,1	4,2
Scé. 7	31,0	34,7	32,8	31,4	30,9
Scé. 8	31,0	29,7	26,4	23,5	21,3

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

Dans le cas pessimiste (scénario 2), en 2020 la superficie des formations naturelles (forêts, savanes) ne représenterait que 7,5% de la superficie totale. Avec le scénario statu quo (scénario 1), cette superficie représenterait 10,9% en 2020 alors que dans le cas du scénario optimiste (scénario 7) les formations naturelles occuperaient encore 31,4% de la superficie totale (Tab. 46). Ceci montre encore l'urgence et l'importance de l'intensification agricole pour ralentir l'extension des superficies agricoles.

Parallèlement à la diminution de la superficie des formations naturelles, la superficie des jachères passerait de 27,4% en 2000 à 1% et 6% en 2020 respectivement pour les scénarios pessimiste (2) et optimiste (7). Pour la même période, les plantations d'anacardiens passeraient d'une superficie de 5,3% en 2000 à 11,8% et 10,6% de la superficie totale cultivable en 2020. Toutefois, pour le cas de l'extension des plantations d'anacardiens, des changements importants pourraient survenir au delà de 2015 et ralentir cette extension. En effet, avec la rareté de nouvelles terres à défricher, certains villages pourraient imposer aussi des restrictions quant à la plantation d'anacardiens. Il est même possible (surtout en cas du scénario 2) que vers 2020 les agriculteurs commenceraient à éliminer certaines plantations d'anacardiens et les remplacer par les cultures annuelles.

5.5.6. Essai de classification de l'utilisation des terres de l'Ouémé supérieur

Contrairement à ce qui a été décrit sur les différentes phases d'évolution de la superficie agricole, les jachères de longue durée ont tendance à disparaître avant les formations naturelles au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Cela est particulièrement dû à l'extension des plantations d'anacardiens qui se fait au détriment des jachères. Une des conséquences qui pourrait en résulter est le risque de passer directement (avec peu d'années pour la phase III) de la phase de rupture de l'équilibre écologique (phase II) à la phase d'insécurité alimentaire structurelle (phase IV). Donc la fin de la phase de dégradation écologique et le début de la phase d'insécurité alimentaire risquent de se produire prématurément.

Supposons que des mesures de protection des formations naturelles soient efficaces et que 15% du terroir cultivable soit protégé et constitué de formations naturelles (forêts et savanes). A partir de ce seuil, l'extension des superficies agricoles grâce

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

au défrichage des formations naturelles ne serait plus possible. Sans considération des disparités de la disponibilité et de la fertilité des terres qui existent déjà entre les villages, jusqu'en 2020 l'évolution de la superficie agricole et de la dégradation des ressources naturelles se situerait toujours dans la phase de rupture de l'équilibre écologique (Phase II) pour le cas des scénarios 3, 7 (optimiste) et 8. Par contre, cette phase prendrait fin pour le scénario 1 (statu quo) en 2016, scénario 2 (pessimiste) en 2015, scénario 4 en 2020, scénario 5 en 2019 et pour le scénario 6 en 2016 pour céder place à la phase de dégradation écologique (phase III). Cette dernière (phase III) se terminerait en 2020 dans le cas des scénarios 1 et 4 et en 2019 pour le scénario 2 pour céder place à la phase d'insécurité alimentaire (phase IV). Jusqu'en 2015 et quelque soit le scénario, le contexte écologique et socio-économique de l'utilisation des terres du bassin versant de l'Ouémé supérieur serait toujours celui décrit dans la phase de rupture de l'équilibre écologique. Approximativement, 2015 constituerait l'année du déclenchement des difficultés écologiques et socio-économiques liées à l'utilisation des terres si aucune impulsion n'est apportée pour réduire la pression démographique sur les terres et ou améliorer la productivité des sols (Fig. 31).

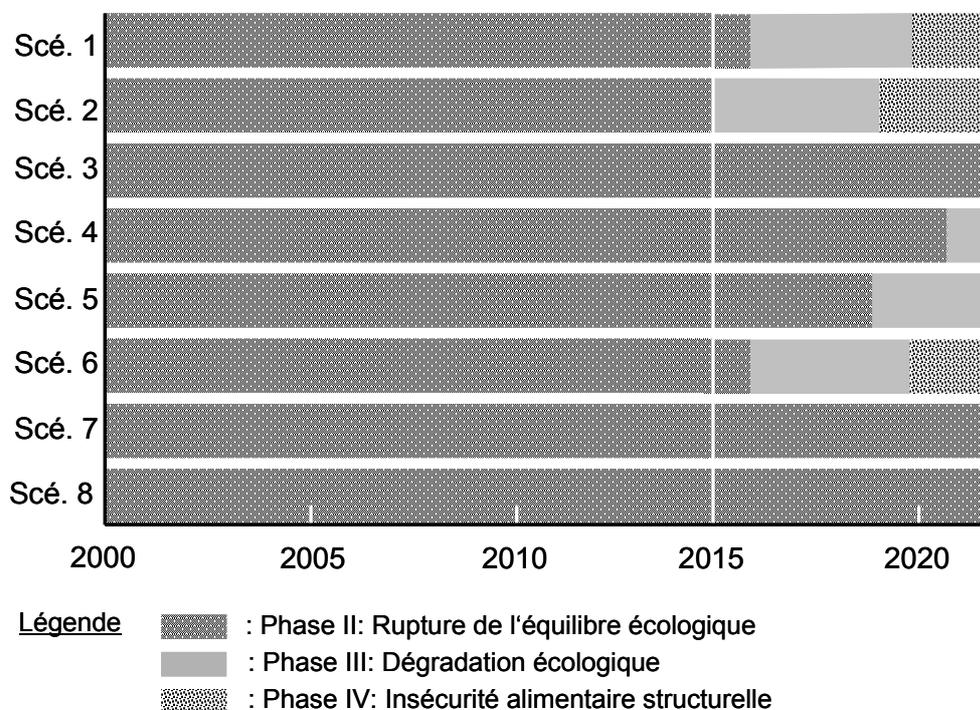


Fig. 31: Classification par scénario de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres dans l'Ouémé supérieur

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

Toutefois, la présente analyse de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur n'a pas tenu compte de l'élevage extensif actuel qui dégrade particulièrement le couvert végétal. Sur base de l'utilisation des terres (FAO/SMIAR, 2001) et du nombre de cheptel bovins et ovins recensés dans le Borgou et l'Atacora (ONIBON, 2004), les estimations de la pression du bétail sur les terres montrent que l'élevage (sans transhumance transfrontalière et sans considération des disparités de répartition spatiale du bétail) ne constitue pas encore une charge néfaste du terroir (Tab. 47, Fig. 32). Même en interdisant les pâturages dans les surfaces protégées, la capacité de charge des pâturages de l'ensemble du terroir des deux anciens départements (Borgou et Atacora) ne serait pas dépassée. Par contre, en considérant les animaux en transhumance (estimés plus importants que les animaux recensés), il y a un surpâturage (94708 Unités Bovin Tropical en surplus) même en utilisant les pâturages dans les surfaces protégées. Cela étant, la dégradation des écosystèmes, et plus particulièrement celle du couvert végétal, par le surpâturage dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur est aussi plus important que celle occasionnée par l'extension des superficies agricoles.

Tab. 47: Estimation du surpâturage dans les anciens départements du Borgou et de l'Atacora

Elevage	Surface totale	Surface cultivée	Surface protégée	Pâturages potentiels (sans surfaces protégées)				Pâturages potentiels (avec surfaces protégées)			
				Superficie	Capacité de charge	Charge réelle	Différence	Superficie	Capacité de charge	Charge réelle	Différence
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(UBT)	(UBT)	(UBT)	(ha)	(UBT)	(UBT)	(UBT)
Sans transhumance régionale	8220000	398000	2467000	5355000	1071000	829554	241446	7822000	1564400	829554	734846
Avec transhumance régionale	8220000	398000	2467000	5355000	1071000	1659108	-588108	7822000	1564400	1659108	-94708

UBT: Unité Bovin Tropical (soit un animal de 250 kg)
 Le signe négatif (-) de la différence indique le surpâturage
 Pour les estimations:
 1) 1 bovin = 1 UBT et 1 ovin = 0,20 UBT
 2) Le nombre des animaux (bovins, ovins) en transhumance régionale égale celui des animaux recensés

5. Prédiction de l'extension des superficies agricoles

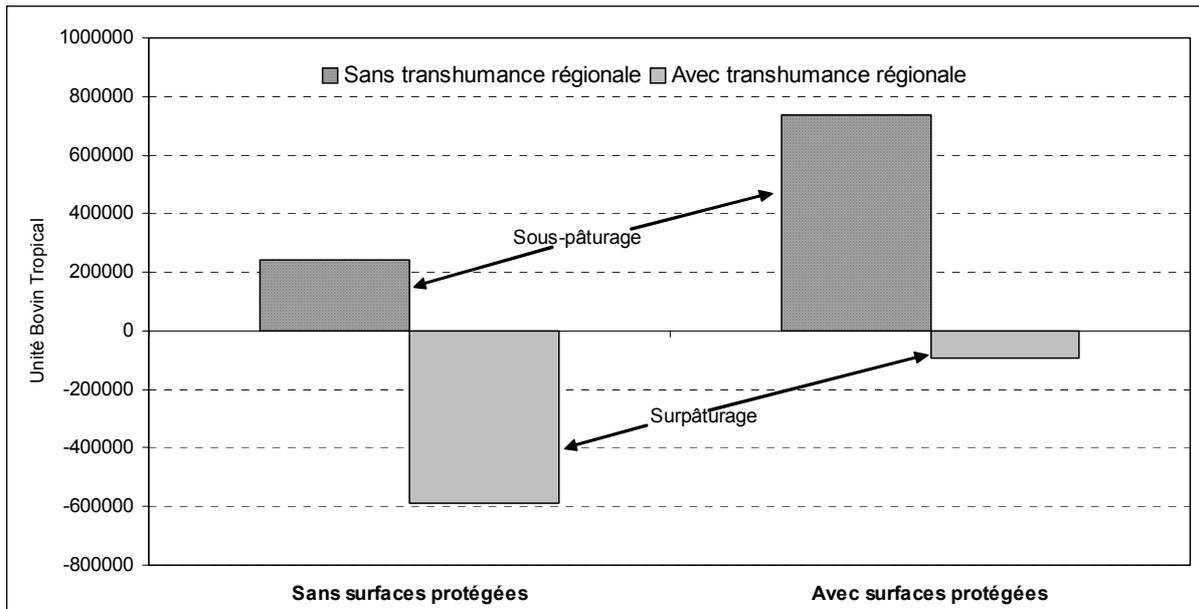


Fig. 32: Différence entre la capacité de charge et la charge réelle des pâturages en 2000 sur l'ensemble du terroir des anciens départements Borgou et Atacora

5.6. Conclusion

L'analyse de l'évolution de l'utilisation des terres dans l'Ouémé supérieur a été réalisée sur base d'une définition préalable de cinq principales phases écologiques et socio-économiques: Equilibre Ecologique, Rupture de l'Equilibre Ecologique, Dégradation Ecologique, Insécurité Alimentaire Structurale, Misère et Dégradation Hydrologique Irréversible. Jusqu'en 2015, même en cas de raccourcissement de deux semaines de la saison des pluies, malgré la croissance démographique galopante, l'utilisation du terroir serait toujours dans la phase de rupture de l'équilibre écologique. Cependant, cette année correspondrait au début de difficultés aussi bien écologiques que socio-économiques. L'élevage extensif, et plus particulièrement les animaux en transhumance transfrontalière, pourrait même précipiter ces changements.

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

6.0. Introduction

Les systèmes de production agricole et la variabilité des précipitations ont des influences réciproques. Alors que l'extension des superficies agricoles favorise les émissions du carbone qui contribuent aux changements climatiques, ces derniers peuvent à leur tour occasionner des changements de systèmes de production agricole (IPCC, 2001; KER, 1995; DIXON *et al.* 2001). Dans ce chapitre, l'extension des superficies agricoles et la détérioration des paramètres écologiques (phytomasse, litière, biovolume) sont les principales conséquences de la variabilité saisonnière des précipitations sur les systèmes de production agricole étudiés. L'analyse de l'impact de l'évolution des systèmes de production agricole sur la variabilité saisonnière des précipitations se limite uniquement aux émissions du carbone.

6.1. Objectifs

Le présent chapitre poursuit principalement deux objectifs :

- Estimation quantitative de la détérioration de la production de la phytomasse et de la litière occasionnée par la pression démographique et le raccourcissement de la saison des pluies.
- Evaluation quantitative de l'impact des changements des systèmes de production agricole sur les émissions du carbone

6.3. Hypothèses

De ces deux objectifs découlent les hypothèses suivantes :

- Le renforcement de l'extension des superficies agricole par le raccourcissement de la saison des pluies entraîne autant de diminution de la biomasse totale et de la litière que celle occasionnée par la croissance démographique (Hypothèse 2).
- Au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, l'intensification agricole réduirait significativement l'extension des superficies agricoles mais pas nécessairement les émissions du carbone (Hypothèse 3).

6.4. Matériel et méthode

6.4.1. Variabilité saisonnière des pluies et extension de la superficie agricole

La variabilité des précipitations peut être temporelle et/ou quantitative. La première se manifeste notamment par des retards ou des arrêts précoces de la saison des pluies alors que la seconde se caractérise par une diminution ou une augmentation de la quantité de pluie tout au long d'une saison pluvieuse ou d'une année. Dans la présente étude, le raccourcissement de la saison des pluies signifie que la saison des pluies s'arrête vers la fin de septembre plutôt qu'en mi-octobre. Comme il a été déjà mentionné, ce raccourcissement de la saison des pluies provoque un abandon de certains semis, et partant, une diminution de la production agricole.

soit :

P : production agricole totale (des différentes cultures) dans les conditions normales de précipitations (kcal ha^{-1}),

I : production agricole totale (des différentes cultures) dans les conditions de raccourcissement de la saison des pluies (kcal ha^{-1}) avec $I < P$

La superficie agricole nécessaire pour garantir le même niveau de production agricole en cas de raccourcissement de la saison des pluies est donnée par la relation : $S_v = \Omega * S$

où

S_v : superficie agricole en cas de raccourcissement de la saison des pluies (%)

$\Omega = P/I$: facteur oméga

S : superficie agricole dans les conditions normales de précipitations (%)

6.4.2. Estimation de l'évolution de la production de la biomasse et de la litière

soit

x_i : superficie de chaque système d'utilisation du terroir (forêt, savane, jachères de longue durée, anacardiens, cultures+jachères de courte durée) (%)

y_i : production de la biomasse de chaque système d'utilisation du terroir (t ha^{-1})

z_i : production de la litière de chaque système d'utilisation du terroir (t ha^{-1})

$$B = 0,01 * \sum_i^n x_i * y_i$$

$$L = 0,01 * \sum_i^n x_i * z_i \quad \text{où}$$

n : nombre de systèmes d'utilisation du terroir,

B et L sont respectivement la production de la biomasse et la chute de la litière sur un hectare du terroir de l'Ouémé supérieur. y_i et z_i étant supposés constantes dans le temps, B et L varient avec x_i .

6.4.3. Estimation de la séquestration et des émissions du carbone

6.4.3.1. Respiration du sol ou émissions du CO₂ par le sol

La mesure de l'émission du CO₂ par le sol (respiration du sol) a été réalisée grâce à l'appareil EGM-2 (Photo 13). Les mesures de la respiration du sol ont été conduites dans les formations naturelles (forêts), les jachères, les plantations d'anacardiens et dans les champs sous autres cultures. Au milieu de chacun des cinq carrés de rendement préalablement délimités au niveau de chaque parcelle (**Fig. 5**), un anneau en plastique y a été enfoncé afin de conduire chaque fois les mesures sur un même endroit et d'assurer une fermeture hermétique entre l'appareil et le sol. Les mesures ont été réalisées à une fréquence de deux fois par mois. Au niveau de chaque anneau, la valeur du dégagement du CO₂ retenue était la moyenne de trois mesures. La quantité de carbone émise à travers la respiration du sol est donnée par la relation suivante

$$C_r = q * \sum R_{ij} * m_j * x_i$$

$q = 65,454 * 10^{-5}$, coefficient obtenu en transformant $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ en $t\ ha^{-1}\ jour^{-1}$ et en calculant la quantité de carbone contenu dans celle du CO₂ émise par chaque écosystème

C_r : émission du CO₂ par hectare du terroir à travers la respiration du sol ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

R_{ij} : émission du CO₂ mesurée dans un système d'utilisation du terroir i au cours du mois j ($g\ m^{-2}\ h^{-1}$)

m_j : nombre de jour du mois j

x_i : superficie en pourcentage du système d'utilisation du terroir i

Parallèlement aux mesures de la respiration du sol, l'humidité du sol (en %) dans les 20 premiers cm a été également mesurée grâce à la sonde TDR (Time Domain Reflectometry).



(a): appareil EGM-2 et anneau enfoncé dans le sol

(b): Mesure de la respiration du sol et de la litière

Photo 13: Mesure de la respiration du sol et de la chute de la litière dans une plantation d'anacardiers à Doguè

6.4.3.2. Estimation des émissions du carbone par le brûlage de la biomasse

Une enquête conduite auprès des villageois de Sérrou et de Doguè a permis de connaître le calendrier des feux, les superficies brûlées, les dégâts occasionnés par les feux ainsi que les différentes raisons de ces feux. Dans les jachères et les savanes, des coupes d'herbes avant et après les feux ont été réalisées sur 16 parcelles. Au niveau de chaque parcelle, cinq carrés ont été délimités (Fig. 5). Après avoir pesé la biomasse fraîche des cinq carrés, un échantillon d'environ 300 g a été prélevé et séché à l'étuve à 70°C pendant 72 heures. La relation suivante permet d'estimer les émissions du carbone occasionnées par les feux:

$$C_f = 0,0045 * \sum (B_{vi} - B_{pi}) * x_i$$

C_f : carbone émis par hectare du terroir suite aux feux ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

B_{vi} : biomasse sèche avant le passage des feux dans un système d'utilisation du terroir i ($t\ ha^{-1}$)

B_{pi} : biomasse sèche après le passage des feux dans un système d'utilisation du terroir i ($t\ ha^{-1}$)

x_i : superficie en pourcentage du système d'utilisation du terroir i

0,0045: coefficient de transformation de la biomasse sèche d'un écosystème i en carbone

6.4.3.3. Estimation de la séquestration annuelle du carbone

La séquestration annuelle du carbone pour un hectare du terroir est calculée à partir de la production primaire nette et est donnée par la relation :

$$C_{NPP} = 0,0045 * \sum x_i * (H_i + A_i + P_i)$$

où

C_{NPP} : séquestration annuelle du carbone par un hectare d'un terroir ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$),

x_i : superficie (en pourcentage) de l'écosystème i

H_i : productivité en biomasse herbeuse de l'écosystème i ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

A_i : productivité en biomasse ligneuse de l'écosystème i ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

P_i : productivité en biomasse des cultures de l'écosystème i ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

6.4.3.4. Emissions brutes et nettes annuelles du carbone

Les émissions brutes du carbone par un hectare du terroir de l'Ouémé supérieur sont données par la relation suivante :

$$C_{eb} = C_f + C_r$$

C_{eb} : émissions brutes annuelles du carbone ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

C_f : émissions du carbone par la combustion de la biomasse ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

C_r : émission du carbone par la respiration du sol ($t\ ha^{-1}\ an^{-1}$)

Quant aux émissions nettes (C_{en}) du carbone, elles sont données par la différence entre les émissions brutes et la séquestration : $C_{en} = C_{eb} - C_{NPP}$

6.4.3.5. Estimation du stock de carbone dans l'Ouémé supérieur

La quantité de carbone stockée sur un hectare du terroir de l'Ouémé supérieur est donnée par la relation ci-dessous:

$$C_T = 0,01 * \sum x_i * (C_{si} + C_{pi} + C_{li})$$

C_T : stock total de carbone sur un hectare du terroir ($t\ ha^{-1}$)

C_{si} : stock de carbone dans les premiers 20 cm du sol ($t\ ha^{-1}$). Des échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière au niveau de cinq carrés, puis mélangés, homogénéisés et tamisés. La teneur en carbone organique (tout comme celle de l'azote) a été déterminée par l'analyse élémentaire au laboratoire grâce au C/N-analyseur. Pour la détermination de la densité apparente du sol, des échantillons de sol ont été prélevés à l'aide des cylindres de $100\ cm^3$ puis séchés à l'étuve à $105^\circ C$ pendant 72 heures.

Stock de carbone dans le sol

$$C_{si} = 0,01 * P_{si} * V_s * C$$

P_{si} : poids spécifique du sol ($t\ m^{-3}$)

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

V_s : volume du sol par hectare pour les 20 premiers cm ($0,20\text{m} \times 10000\text{m}^2 = 2000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)

C : teneur en carbone organique dans le sol (%)

Stock de carbone dans les plantes

$$C_{pi} = 0,01 * \sum B_{jki} * C_{jki}$$

C_{pi} : stock de carbone dans la phytomasse (t ha^{-1})

B_{jki} : biomasse de chaque partie j (feuilles, tiges, branches, racines) de la plante k (herbes, cultures, arbres) dans un système d'utilisation du terroir i (t ha^{-1})

C_{jki} : teneur en carbone de chaque partie de la plante j dans un système d'utilisation du terroir i (%).

Sur base de nos propres observations à Sérrou (après qu'un vent violent ait déraciné plusieurs arbres en septembre 2001), des résultats de MOSANGO (1991) ainsi que de ceux de BROWN (1997), la proportion de la biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne a été estimée à 0,13 pour la forêt dense semi décidue de Sérrou; 0,20 pour la forêt claire de Doguè; 0,25 pour les superficies agricoles (karité, néré) et les jachères et 0,27 pour les anacardiens. Ces estimations coïncident ou s'approchent de celles obtenues en utilisant l'équation nouvellement présentée par BROWN (2004):

$RBD = e^{[-1,085 + 0,926 \ln(ABD)]}$ où RBD est la biomasse souterraine (t ha^{-1}) et ABD la biomasse aérienne (t ha^{-1}).

Stock de carbone dans la litière au sol

$$C_{li} = 0,01 * \sum L_{ji} * C_{ji}$$

C_{li} : carbone contenu dans la litière au sol (t ha^{-1}),

L_{ji} : poids de chaque partie j (feuilles, branches, fruits, autres) de la litière du système d'utilisation du terroir i (t ha^{-1}),

C_{ji} : teneur en carbone de chaque partie j de la litière de l'écosystème i (%)

6.4.3.6. Bilan interannuel du carbone

Le bilan interannuel du carbone (E_c) est la différence du stock de carbone due au changement d'utilisation du terroir entre deux années successives. Il est donné par la relation: $E_c = C_{Td} - C_{Tf}$

E_c : Emissions ou séquestration du carbone dues aux changements d'utilisation des terroirs ($t\ ha^{-1}$)

C_{Td} : stock de carbone sur un hectare d'un terroir en 2000 ($t\ ha^{-1}$)

C_{Tf} : stock de carbone sur un hectare d'un terroir à un temps donné entre 2000 et 2020 ($t\ ha^{-1}$)

6.5. Variabilité saisonnière des pluies et systèmes de production agricole

6.5.1. Changements des calendriers culturaux

En cas d'arrêt précoce des précipitations, la période de semis du maïs, de l'arachide, du haricot et du voandzou (Fig. 9) ne s'étendrait que jusqu'au 15 juillet plutôt qu'en août. En effet, vers la fin de septembre les cultures semées au-delà du 15 juillet se trouvent dans une phase critique de remplissage nécessitant suffisamment d'eau. Or, au-delà du 15 juillet, les semis sont généralement en dérobé et n'exigent donc pas à l'agriculteur de défricher de nouvelles parcelles. Pour maintenir sa sécurité alimentaire, l'agriculteur doit, soit étendre ses superficies, soit intensifier son agriculture.

6.5.2. Renforcement de l'extension des superficies agricoles

En cas de disponibilité en terres et en main-d'œuvre, l'une des stratégies des agriculteurs face à la variabilité saisonnière des pluies est l'extension des superficies agricoles (VIGLIZZO *et al.* 1995 cités par IPCC, 2001; DIXON *et al.* 2001). Dans le cas particulier de l'Ouémé supérieur, un raccourcissement de la saison des pluies, dans les conditions actuelles de systèmes de production agricole, pourrait entraîner, d'ici 2020 une hausse de 3,4% de la superficie agricole par rapport à la situation (statu quo) sans variabilité saisonnière des précipitations (Tab. 45). Par contre, une intensification de la production agricole (plus particulièrement celle des céréales et légumineuses) basée sur la fertilisation minérale et organique ainsi que sur l'utilisation des semences améliorées pourrait réduire significativement, non seulement l'impact de la variabilité saisonnière des précipitations mais également celui de la croissance démographique sur l'extension des superficies agricoles scénario 4 versus scénario 2 et 1 ou scénario 8 versus scénario 6 et 5).

6.5.3. Diminution de la biomasse totale

L'extension des superficies agricoles se fait au détriment des formations naturelles et des jachères de longue durée dont la biomasse totale est plus élevée que celle des superficies cultivées (Fig. 21). Elle cause de ce fait la détérioration de la production en biomasse aérienne du terroir évaluée à 50,0 t ha⁻¹ en 2000 (Tab. 49). Pour l'année 1980, la biomasse épigée de l'Ouémé supérieur était déjà estimée entre 50 et 100 t ha⁻¹ alors que la biomasse potentielle oscille entre 100 et 200 t ha⁻¹ (BROWN & GASTON, 1996). En utilisant leur formule, cette biomasse se situait entre 43 et 87 t ha⁻¹ en 2002 dans le département de Donga (Tab. 48).

Tab. 48: Estimation de la biomasse aérienne par la méthode BROWN & GASTON (1996) dans le département de la Donga pour 2002

Commune	Superficie (km ²)	Population	Densité (pers. km ⁻²)	Degré de dégradation	Biomasse (t ha ⁻¹)
Bassila	5661	74664	13	0,56	56-112
Corpago	876	50364	57	0,39	39-78
Djougou	3966	181175	46	0,42	42-83
Ouake	663	45710	69	0,37	37-73
Donga	11166	351913	46	0,43	43-87

Tab. 49: Prédiction de la phytomasse aérienne par écosystème de l'Ouémé supérieur

Scénarios	Ecosystèmes	Unité	2000	2005	2010	2015	2020
Statu quo	Forêt d. s.-décidue	(t ha ⁻¹)	15,1	13,1	10,6	8,0	5,3
	Forêt claire	(t ha ⁻¹)	21,4	18,5	15,0	11,3	7,5
	Jachères	(t ha ⁻¹)	7,4	6,2	4,7	2,7	0,3
	Anacardiens	(t ha ⁻¹)	1,7	2,0	2,4	3,0	3,7
	Sup. agricoles	(t ha ⁻¹)	4,4	5,3	6,5	7,9	9,5
	Total	(t ha⁻¹)	50,0	45,1	39,3	32,8	26,2
Pessimiste	Forêt d. s.-décidue	(t ha ⁻¹)	15,1	12,8	10,1	6,9	3,6
	Forêt claire	(t ha ⁻¹)	21,4	18,1	14,2	9,8	5,1
	Jachères	(t ha ⁻¹)	7,4	6,2	4,7	2,7	0,3
	Anacardiens	(t ha ⁻¹)	1,7	2,0	2,4	3,0	3,7
	Sup. agricoles	(t ha ⁻¹)	4,4	5,3	6,5	8,0	9,6
	Total	(t ha⁻¹)	50,0	44,5	37,9	30,4	22,4
Optimiste	Forêt d. s.-décidue	(t ha ⁻¹)	15,1	17,0	16,1	15,5	15,3
	Forêt claire	(t ha ⁻¹)	21,4	24,1	22,8	21,9	21,6
	Jachères	(t ha ⁻¹)	7,4	6,3	4,9	3,4	1,6
	Anacardiens	(t ha ⁻¹)	1,7	2,0	2,4	2,8	3,3
	Sup. agricoles	(t ha ⁻¹)	4,4	4,5	5,2	6,0	6,8
	Total	(t ha⁻¹)	50,0	53,8	51,5	49,6	48,6

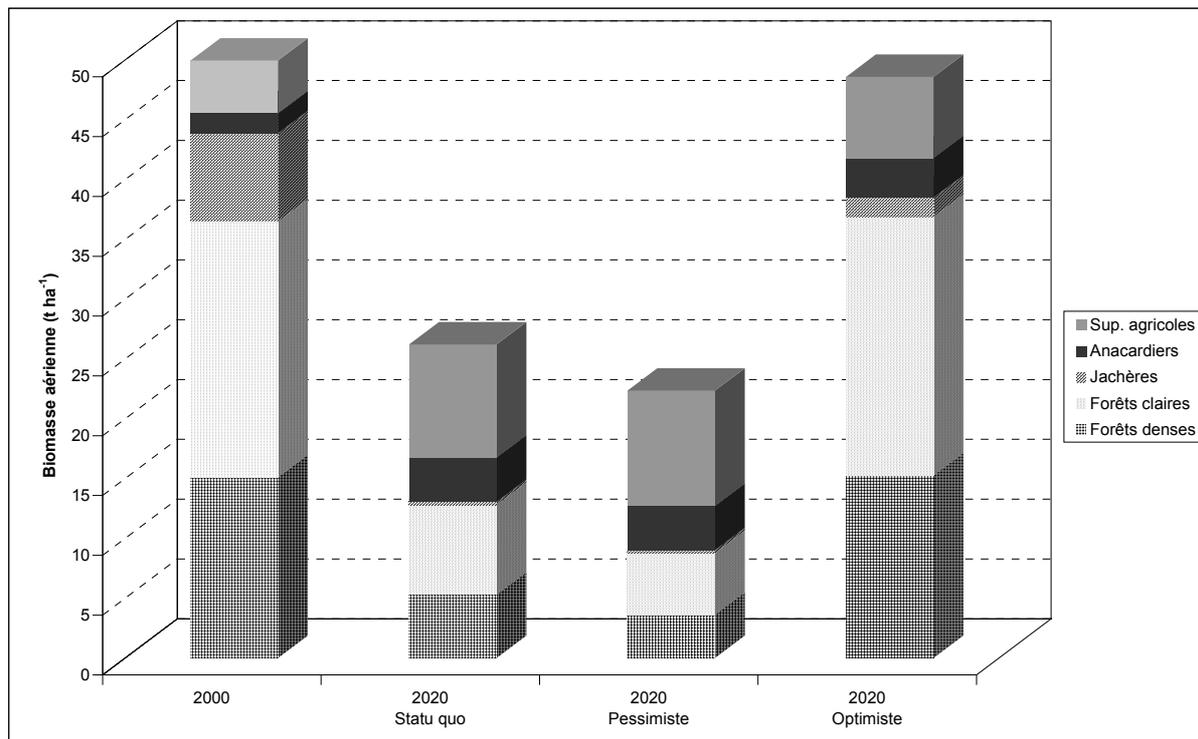


Fig. 33: Phytomasse aérienne de l'Ouémé supérieur en 2020

Alors que la biomasse totale des formations naturelles (forêt dense semi décidue, forêt claire) et des jachères de longue durée diminue avec l'extension des superficies agricoles, celle des plantations et des superficies agricoles augmente. Cependant, cette augmentation ne parvient pas à maintenir le niveau de la phytomasse totale aérienne de 2000 (Tab. 48). Ainsi, la phytomasse totale aérienne de $50,0 \text{ t ha}^{-1}$ ne serait que de $25,8$ et $13,6 \text{ t ha}^{-1}$ en 2020 respectivement pour les scénarios statu quo et pessimiste. Par contre, l'intensification agricole permettrait de maintenir la phytomasse totale aérienne à $48,6 \text{ t ha}^{-1}$ en 2020 (Tab. 49).

Dans le contexte du statu quo, l'ensemble de la phytomasse aérienne et souterraine de l'Ouémé supérieur passerait de $59,13 \text{ t ha}^{-1}$ en 2000 à $30,95 \text{ t ha}^{-1}$ en 2020 (Tab. 50). Comparé au statu quo, en cas de raccourcissement (scénario pessimiste) de la saison des pluies, l'extension des superficies agricoles renforcerait la dégradation de la biomasse totale si bien qu'elle ne serait que de $14,11 \text{ t ha}^{-1}$ en 2020. Concernant la production primaire nette (productivité annuelle de la biomasse), elle passe de $7,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ en 2000 à $7,3$ et $6,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ en 2020 respectivement pour les scénarios

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

statu quo et pessimiste (Tab. 50). Il est particulièrement important de constater la diminution de la productivité en biomasse des ligneux au profit de celle des cultures. Alors qu'en 2000 la productivité en biomasse des ligneux représente 57,3% de la productivité totale en biomasse, elle ne représenterait que 33 et 21% en 2020 respectivement pour les scénarios statu quo et pessimiste.

Tab. 50: Evolution de la biomasse totale et de la production primaire nette (NPP) dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

Scénarios	Phytomasse	Biomasse totale (t ha ⁻¹)					NPP (t ha ⁻¹ an ⁻¹)				
		2000	2005	2010	2015	2020	2000	2005	2010	2015	2020
Statu quo	Ligneux	54,7	48,8	41,7	33,9	25,8	2,9	2,6	2,2	1,8	1,3
	Herbes	3,4	3,5	3,5	3,6	3,5	3,4	3,5	3,5	3,6	3,5
	Cultures	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1
	Aérienne	50,0	45,1	39,3	32,8	26,2	6,6	6,5	6,3	6,2	6,0
	Souterraine	9,2	8,4	7,4	6,3	5,2	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
	Total	59,1	53,4	46,7	39,2	31,5	7,4	7,3	7,2	7,1	7,0
Pessimiste	Ligneux	54,7	48,1	40,2	31,1	21,4	2,9	2,6	2,2	1,7	1,1
	Herbes	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7
	Cultures	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9
	Aérienne	50,0	44,5	37,9	30,4	22,4	6,6	6,4	6,2	5,9	5,7
	Souterraine	9,2	8,3	7,2	6,0	4,6	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
	Total	59,1	52,7	45,1	36,3	27,0	7,4	7,2	7,0	6,9	6,7
Optimiste	Ligneux	54,7	59,2	56,3	53,9	52,6	2,9	3,1	2,9	2,7	2,5
	Herbes	3,4	3,2	3,2	3,1	3,0	3,4	3,2	3,2	3,1	3,0
	Cultures	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
	Aérienne	50,0	53,8	51,5	49,6	48,6	6,6	6,7	6,6	6,6	6,5
	Souterraine	9,2	9,7	9,3	9,0	8,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8
	Total	59,1	63,6	60,8	58,6	57,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,3

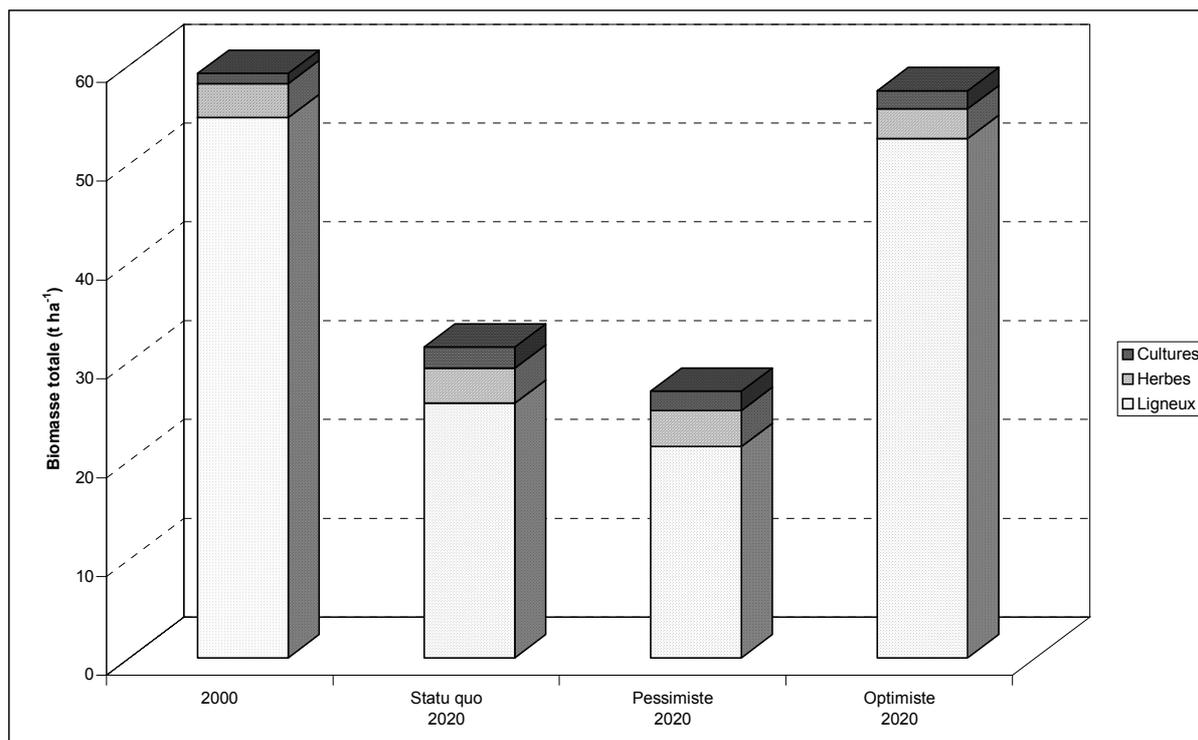


Fig. 34: Phytomasse totale dans l’Ouémé supérieur

6.5.4. Evolution de la chute de la litière

Sur base des données de la chute de la litière (Tab. 38) et de la superficie des différents écosystèmes, il a été possible de prédire (Tab. 51, Fig. 35) la chute de la litière dans le bassin versant de l’Ouémé supérieur. Dans le cas du scénario statu quo, la chute de la litière de $2,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ en 2000 ne serait que $1,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ en 2020. L’extension des superficies agricoles occasionnée par le raccourcissement de la saison des pluies entraînerait à son tour une diminution de la végétation naturelle et par conséquent une diminution de la chute de la litière jusqu’à $0,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ en 2020. La diminution de la production de la litière aurait diverses répercussions notamment sur le stockage du carbone dans les écosystèmes terrestres et sur la protection des sols contre leur dégradation. En effet, les pertes de carbone par le sol sont normalement compensées par la chute de la litière. En plus de ce rôle plutôt chimique, le rôle physique joué par la litière en protégeant notamment le sol contre l’érosion ainsi que son rôle biologique en fournissant aux organismes du sol la matière première serait réduit.

Tab. 51: Evolution de la chute de la litière dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

Scénarios	Unité	2000	2005	2010	2015	2020
Statu quo	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	2,5	2,3	1,9	1,5	1,1
Pessimiste	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	2,5	2,2	1,9	1,4	0,9
Optimiste	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	2,5	2,7	2,5	2,4	2,3

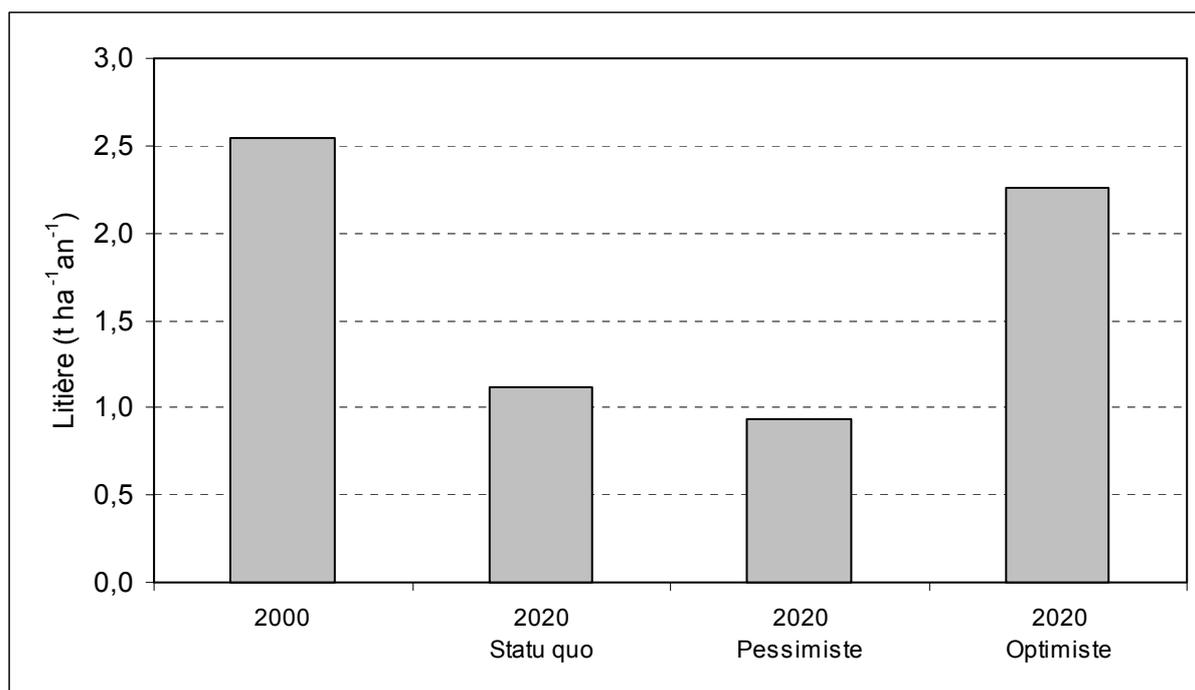


Fig. 35: Prédiction de la chute de la litière pondérée sur la superficie totale du bassin versant de l'Ouémé supérieur

6.6. Systèmes de production agricole et séquestration du carbone

6.6.1. Séquestration du carbone

6.6.1.1. Carbone dans le sol

Contrairement aux travaux antérieurs (NYE & GREENLAND, 1960; ROBERT, 2001), la teneur en matière organique est très faible (< 2%) dans tous les écosystèmes de l'Ouémé supérieur (superficies agricoles, jachères, formations naturelles, plantations d'anacardiens) sauf dans la forêt de Sérrou où elle est faible (2 – 4%) (Tab. 33). Cette dernière est bien protégée par les villageois contre les feux de brousse. La teneur en carbone organique dans les 20 premiers centimètres du sol y est de 1,7%. Excepté

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

quelques branches qui sont ramassées et utilisées comme bois de feux dans les ménages, les autres parties de la litière y restent et se décomposent sur place ce qui explique une teneur en carbone organique relativement plus élevée que dans les autres écosystèmes. Dans les autres écosystèmes, les feux et les labours constituent les principaux facteurs de destruction et de décomposition rapide de la matière organique et par conséquent d'appauvrissement du sol en carbone organique. Dans les jachères et formations naturelles, les feux de brousse de décembre à février détruisent environ 70 à 74 % de la strate herbacée et de la litière alors que ceux d'avril à mai (limités sur une superficie moins importante) en détruisent entre 90 et 92 % (Photo 14). Or c'est cette litière et ces herbes qui, après décomposition devraient recycler le carbone dans le sol.

Tab. 52: Stock de carbone dans les différents écosystèmes des villages Doguè et Sérou

Ecosystèmes	Biomasse ligneuse aérienne (t ha ⁻¹)	Rapport Bs/Ba	Biomasse ligneuse souterraine (t ha ⁻¹)	Biomasse des herbes (t ha ⁻¹)	Biomasse des cultures (t ha ⁻¹)	Litière au sol (t ha ⁻¹)	Sol (20 cm) (t ha ⁻¹)	Carbone total (t ha ⁻¹)
Doguè								
Cultures	3,4	0,25	0,9	1,6	4,1	0,1	25,1	35,3
Jachères	14,8	0,25	3,7	2,1	0,0	0,6	21,6	42,7
Anacardiens	12,3	0,27	3,3	1,7	0,0	1,7	25,5	44,5
Forêt claire	40,9	0,20	8,2	0,4	0,0	0,5	21,7	71,7
Sérou								
Cultures	2,8	0,25	0,7	1,3	3,2	0,1	25,7	33,8
Jachères	3,7	0,25	0,9	2,6	0,0	0,4	24,9	32,6
Anacardiens	9,0	0,27	2,4	1,2	0,0	2,3	24,8	39,9
Forêt d.s. décidue	82,2	0,13	10,7	0,1	0,0	2,6	43,0	138,5

Bs: biomasse ligneuse souterraine; Ba: biomasse ligneuse aérienne

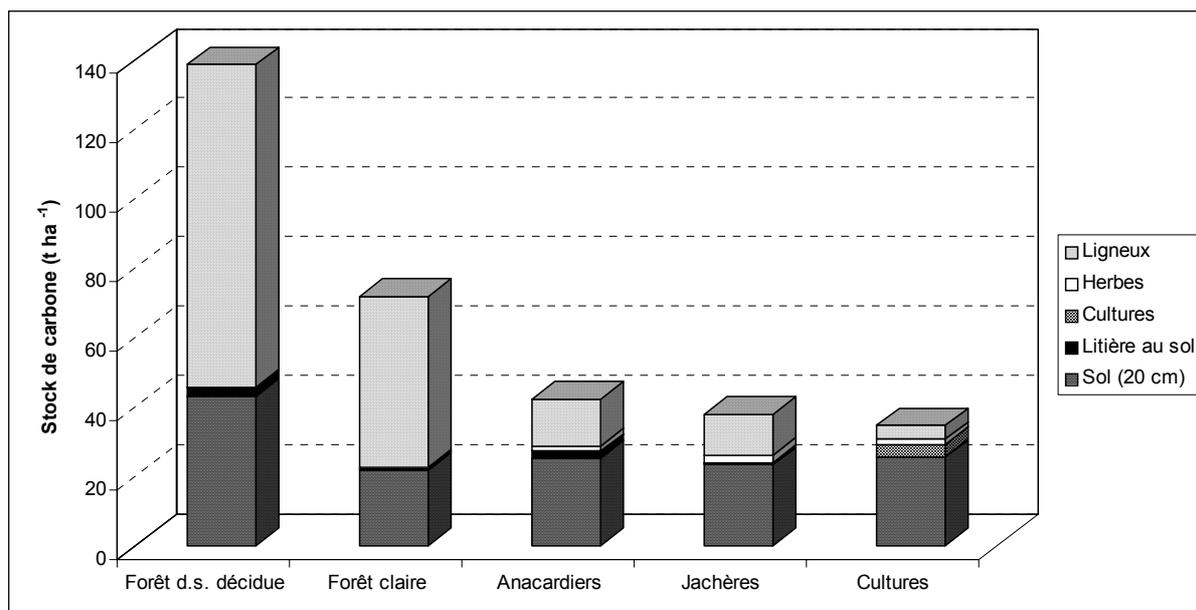


Fig. 36: Stock de carbone dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Concernant les plantations d'anacardiens, bien que les feux de brousse n'y existent pas et que le travail du sol y soit rare, la présence dominante de « *Imperata cylindrica* » inhibe par une action allelopathique de ses racines (EUSEN *et al.* 1978 cité par VERSTEEG *et al.* -) le développement et la croissance d'autres plantes dont la matière organique se décompose plus facilement. Cette plante qui rend les terres inutilisables (BEETS, 1990) a déjà occasionné au sud du Bénin les migrations des agricultures vers le plateau Adja dans le Mono (EUSEN *et al.* 1978 cité par VERSTEEG *et al.* -). A cause de leur haute teneur en lignine (HARTEMINK & O'SUULLIVAN, 2001), les feuilles de « *Imperata cylindrica* » se décomposent très lentement (The CENTURY Soil Organic Matter Model)²³. Quant aux superficies agricoles, d'abord l'utilisation des feux détruit une grande quantité de la biomasse et ensuite le travail du sol accélère la décomposition de la matière organique.

²³ <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century5/reference/html/Century/overview.htm> [26.02.2001]

Tab. 53: Evolution du stock de carbone dans l'Ouémé supérieur

Scénarios	Localisation	Unité	2000	2005	2010	2015	2020
Statu quo	C-biomasse	(t ha ⁻¹)	25,7	23,1	20,1	16,7	13,2
	C-litière	(t ha ⁻¹)	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3
	C-sol	(t ha ⁻¹)	25,4	25,4	25,4	25,5	25,6
	Total	(t ha ⁻¹)	51,6	49,0	45,9	42,5	39,0
Pessimiste	C-biomasse	(t ha ⁻¹)	25,7	22,6	19,1	15,2	10,9
	C-litière	(t ha ⁻¹)	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3
	C-sol	(t ha ⁻¹)	25,4	25,4	25,4	25,4	25,5
	Total	(t ha ⁻¹)	51,6	48,5	45,0	41,0	36,7
Optimiste	C-biomasse	(t ha ⁻¹)	25,7	27,5	26,2	25,2	24,6
	C-litière	(t ha ⁻¹)	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
	C-sol	(t ha ⁻¹)	25,4	25,5	25,6	25,7	25,8
	Total	(t ha ⁻¹)	51,6	53,6	52,4	51,4	51,0

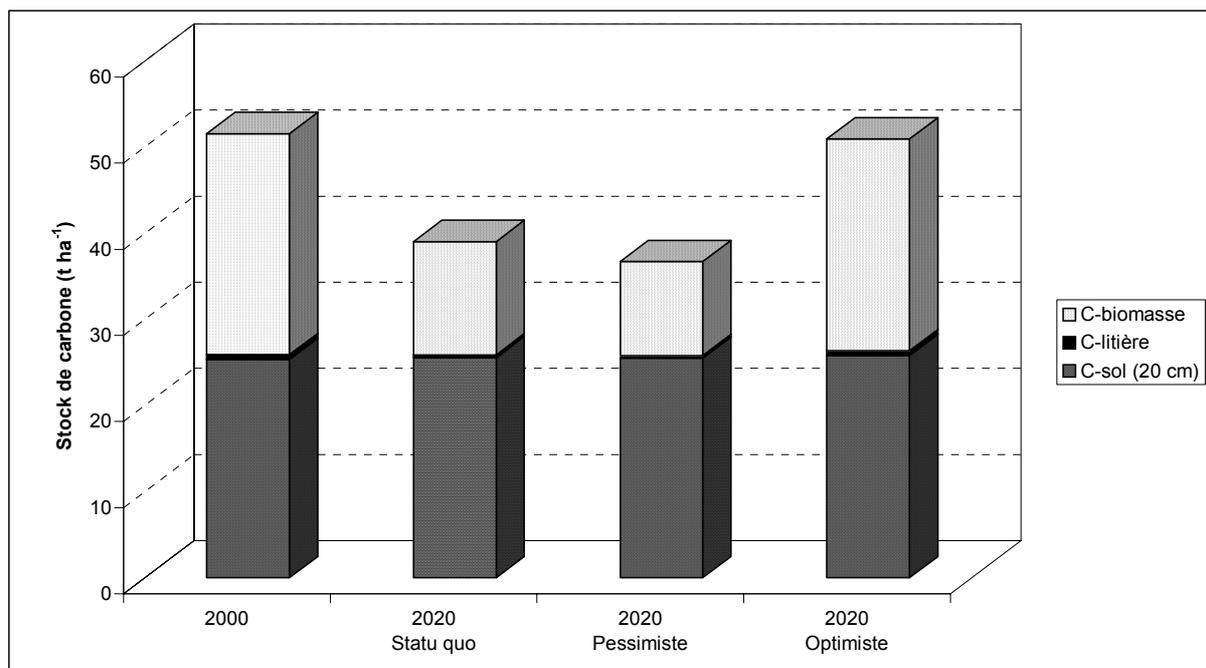


Fig. 37: Prédiction du stock de carbone dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

6.6.1.2. Carbone dans la biomasse

Le carbone contenu dans la phytomasse totale (biomasse + litière) diminue dès qu'on change les écosystèmes naturels en superficies agricoles (Fig. 36). La forêt dense semi-décidue et la forêt claire atteignent respectivement un stock de carbone dans la biomasse de 93,0 et 49,5 t ha⁻¹ alors que les superficies agricoles n'ont que 8,0 t ha⁻¹ à Sérrou et 10,0 t ha⁻¹ à Doguè. Pour l'ensemble de l'Ouémé supérieur, le

rapport du stock de carbone dans la phytomasse ($26,3 \text{ t ha}^{-1}$) sur le stock de carbone dans les 20 premiers cm ($25,4 \text{ t ha}^{-1}$) est d'environ 1 :1. Cependant, avec l'évolution de l'extension des superficies agricoles, ce rapport passerait de 1:1 en 2000 à 1:2, 1:3 et 1:1 en 2020 respectivement pour les scénarios statu quo, pessimiste et optimiste (Tab. 53).

6.6.1.3. Carbone dans la litière

Le carbone contenu dans la litière au sol est important dans les écosystèmes protégées contre les feux de brousse (la forêt dense semi décidue de Sérou : $2,6 \text{ t ha}^{-1}$ et les plantations d'anacardiers : $1,7-2,3 \text{ t ha}^{-1}$) (Tab. 52). L'extension des superficies agricoles se traduirait également par une diminution de la chute de la litière et de la litière au sol pour tout l'ensemble de l'Ouémé supérieur. Le carbone contenu dans la litière au sol passerait de $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ en 2000 à $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ pour les scénarios statu quo et pessimiste et à $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ en 2020 pour le scénario optimiste (Tab. 53).

Dans l'Ouémé supérieur, la différence entre les différents écosystèmes au niveau du stock de carbone est en général déterminée par le carbone contenu dans la biomasse (Tab. 52, Fig. 37). Par ordre d'importance décroissante, le stock total de carbone (t ha^{-1}) se présente de la manière suivante dans les différents écosystèmes:

Stock de carbone : Forêt dense semi-décidue (138,5) > Forêt claire (71,7) > Anacardiers (42,2) > Jachères (37,7) > Sup. agricoles (34,5)

6.6.2. Emissions du carbone

6.6.2.1. Combustion de la phytomasse

Les feux de brousse qui constituent le principal facteur d'émission du carbone dans les savanes d'Afrique (MTETWA, 1998; BROWN & GASTON, 1996; CAHOON *et al.* 1992) sont également fréquents dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur (MULINDABIGWI *et al.* 2003). Alors que dans le passé (il y a de cela 20 ans environ) les feux de brousse étaient plutôt limités à certaines superficies et avaient une certaine rotation spatiale, on les trouve actuellement sur presque toutes les superficies non cultivées (MULINDABIGWI *et al.* 2003). En combinant les

informations recueillies auprès des paysans de l'Ouémé supérieur avec l'expérience d'autres pays d'Afrique à forte densité démographique notamment le Rwanda, l'évolution de l'importance des feux de brousses peut comprendre trois principales phases :

Feux de brousse itinérants

La phase de feux itinérants est une phase caractérisée par des feux naturels (SCHMITZ & FALL, 1996) et anthropiques suivant une certaine rotation spatiale. Cette phase correspond aux systèmes de production itinérants de RUTHENBERG (1980) et n'est possible qu'en cas d'une très faible densité démographique ($< d_1$ ou environ < 10 habitants km^{-2}) (Fig. 38). Du point de vue écologique, la rotation des feux de brousse donne assez de temps au sol pour qu'il régénère sa fertilité et plus particulièrement en accumulant la matière organique et autres éléments biogènes après la décomposition de la litière.

Feux de brousse permanents

Cette phase représentée par d_1d_2 sur la Fig. 38 est par contre caractérisée par les feux anthropiques sur la presque totalité des superficies non cultivées. Elle est à cheval entre les systèmes de production à jachères et les systèmes de cultures permanents de RUTHENBERG (1980). Les superficies cultivées y représentent des proportions importantes par rapport à la superficie totale cultivable. Du fait de l'absence de rotation spatiale des feux et de l'importance des superficies cultivées, les feux constituent un principal facteur d'appauvrissement des sols non seulement en matière organique mais également en éléments minéraux si les sols sont surtout exposés à l'érosion pluviale ou éolienne. Au cours de cette phase, certaines espèces végétales disparaissent au profit des graminées dont notamment « *Imperata cylindrica* ». L'Ouémé supérieur se situe vraisemblablement au début de cette phase.

Feux de brousse inexistant

Cette phase se rencontre dans les régions à forte pression démographique sur les terres où les superficies agricoles (superficies cultivées et superficies en jachères de courte durée) occupent presque la totalité des superficies cultivables. La superficie brûlée accidentellement concerne une partie des réserves naturelles protégées et représente des proportions insignifiantes par rapport à la superficie totale du terroir.

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

C'est une phase où les agriculteurs maîtrisent la gestion de la matière organique et l'utilisent pour améliorer ou maintenir la fertilité de leurs champs. Plutôt que de brûler la biomasse lors du défrichage ou des labours, les paysans l'enfouissent dans le sol ou l'entassent dans des compostières. Cette phase correspond aux systèmes de production permanents de RUTHENBERG (1980). Les feux ne constituent plus un important facteur de dégradation de la fertilité des sols.

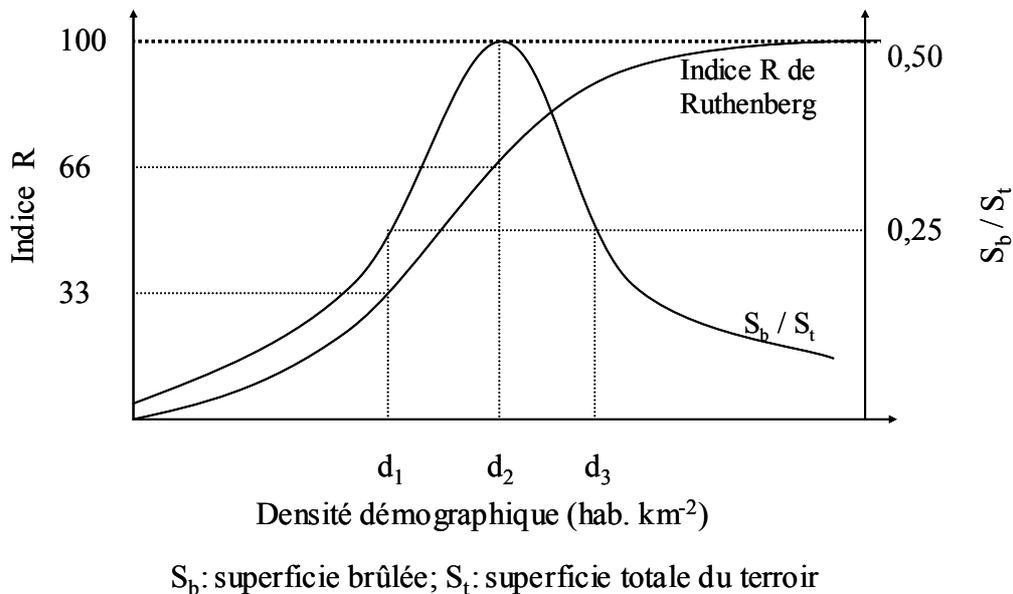


Fig. 38: Evolution de l'importance des feux de brousse par rapport à la densité démographique

Dans les formations naturelles et les jachères de longue durée de l'Ouémé supérieur, les feux de brousse sont très fréquents. Dans les jachères de courte durée et dans les champs, les feux sont plutôt rares et contrôlés. Sauf accidentellement, la phytomasse dans les plantations d'anacardiers (tout comme celle de la forêt dense semi-décidue de Sérour) n'est jamais brûlée. Au niveau de l'Ouémé supérieur deux périodes de feux sont importantes : décembre - février et avril - mai.

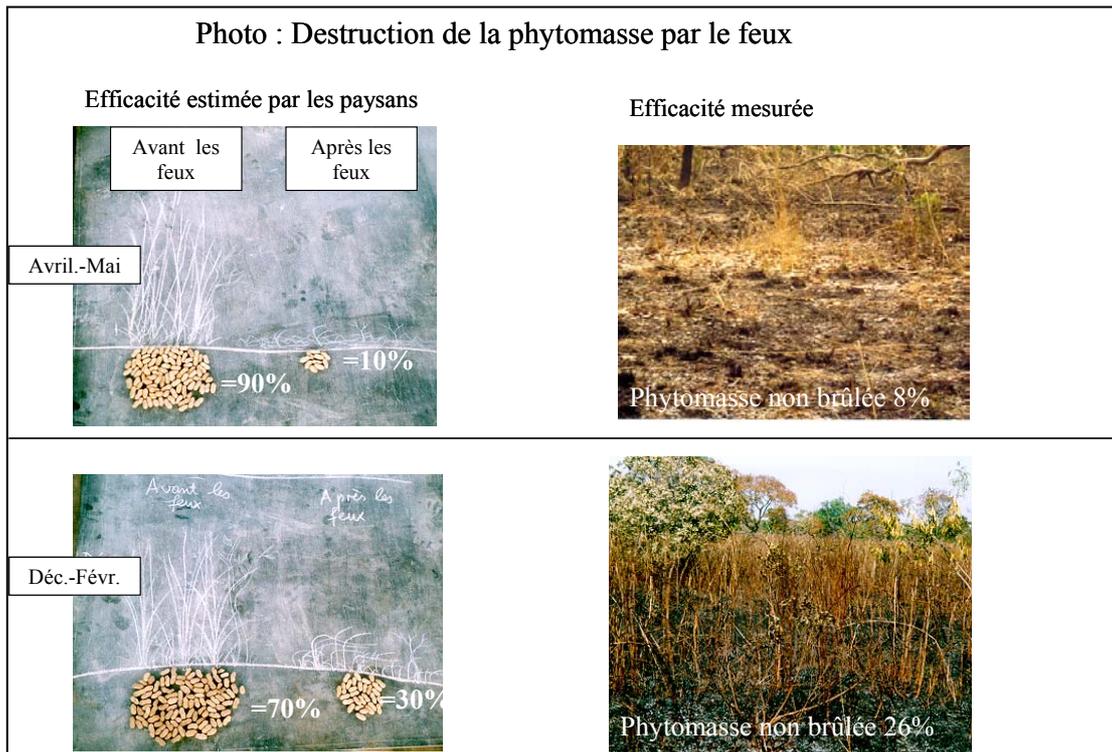


Photo 14: Efficacité des feux de brousse estimée par les paysans et mesurée

L'efficacité des feux (la quantité de la biomasse brûlée par rapport à la phytomasse totale) dans la savane et les jachères est de 70 à 74% ($3,9 - 4,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) entre décembre et février alors qu'entre avril et mai elle est de 90 à 92% ($5,0 - 5,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) (Photo 10). L'état de la biomasse ainsi que les vents sont les principales causes de la différence d'efficacité des feux entre les deux périodes. Au cours de la première période, les herbes sont moins sèches et les vents faibles (FAO, 1994) qu'en deuxième période. Cependant les feux se situant entre décembre et février sont les plus importants compte tenu des superficies qu'ils couvrent. Entre décembre 1999 et février 2000, sur une superficie de 389943 ha de la partie sud de l'Ouémé supérieur, seul 33% de cette superficie n'a pas été brûlée (THAMM & BRAUN, 2002 ; MULINDABIGWI *et al.* 2003). Cette portion correspondrait vraisemblablement à l'ensemble des superficies cultivées et des terres en jachère. Par ordre d'importance décroissante, les principales raisons au brûlage de la biomasse telles qu'elles ont été données par les agriculteurs de l'Ouémé supérieur sont les suivantes :

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

- Les pâturages

Les éleveurs brûlent de grandes étendues du territoire et permettent par là de nouvelles repousses végétales à haute valeur pastorale.

- La chasse

En détruisant la strate herbacée, les feux de brousse permettent aux chasseurs d'avoir non seulement une longue visibilité mais également de localiser les trous dans lesquels se cachent certains animaux et plus particulièrement les rongeurs.

- La facilité des travaux champêtres

Après avoir défriché, une grande partie de la phytomasse est brûlée ce qui rend par après les travaux de labour plus faciles.

- Les pare-feux

Les agriculteurs brûlent la biomasse se trouvant sur une bande d'une dizaine de mètres tout au tour de leurs champs et plus particulièrement autour des plantations d'anacardiens afin de les protéger contre les feux de brousse. Ces feux sont généralement réalisés en novembre où les herbes ne sont pas encore très sèches. La combustion n'étant pas complète, ces feux émettent beaucoup de carbone sous d'autres formes que le CO₂.

- La lutte contre les serpents et les scorpions

Après le défrichage, la biomasse est également brûlée afin d'éliminer les serpents et les scorpions de la parcelle. C'est également pour le même but que les villageois brûlent les alentours de leurs champs ou de leurs habitations.

- La chute des pluies

Entre mai et juillet et souvent en mars, si les pluies tardent à tomber, des cérémonies rituelles sont organisées dans la matinée par les initiés des villages. Au cours d'une offrande, une étendue du terroir toujours réservée à cet effet est brûlée vers à midi. Curieusement ces cérémonies sont souvent suivies de chutes de pluies dans l'après-midi. Cela peut être scientifiquement expliqué dans la mesure où les particules

solides contenues dans la fumée une fois en contact avec les vapeurs d'eau permettraient leur condensation et donc la chute des pluies.

- La protection des productions agricoles contre le bétail

La production des céréales et plus particulièrement celle du sorgho et du maïs est directement séchée à l'air libre sur les parcelles récoltées. Les agriculteurs brûlent tous les résidus de récolte afin d'éviter qu'ils n'attirent le bétail qui abîmerait également la production agricole en séchage.

- La production de la « potasse » :

Les résidus de récolte de sorgho sont brûlés et les cendres récupérées servent à fabriquer les savons ou à préparer les sauces alimentaires.

- La fertilité des sols

Le brûlage de la biomasse n'est autre qu'une libération brutale des éléments fertilisants stockés dans les plantes (DE SCHLIPPÉ, 1958). Les éléments minéraux sont directement mis à la disposition de la plante ce qui par conséquent est considéré par les paysans comme un facteur d'amélioration de la productivité du sol. Pourtant, ces minéraux sont sujets d'érosion si la pluie est érosive et s'il n'y a pas de structures anti-érosives. De plus, les éléments minéraux (aspect chimique) ne suffisent pas pour améliorer la fertilité des sols si la matière organique qui influe à la fois sur la structure (aspect physique) et l'activité des organismes du sol (aspect biologique) n'est pas associée.

6.6.2.2. Respiration du sol

Par ordre d'importance décroissante, les résultats des mesures de la respiration du sol ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) permettent de ranger, les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur de la manière suivante (Tab. 54, Fig. 40) :

Respiration du sol: Forêt d.s. décidue (1,35) > Forêt claire (0,81) > Anacardiens (0,74) > Jachères (0,65) > Sup. agricoles (0,43)

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

L'évolution intra-annuelle de la respiration du sol dans les différents écosystèmes montre que l'émission du CO₂ par le sol est plus intense pendant la saison des pluies (juin - octobre) que pendant tout le reste de l'année (Fig. 41) et est opposée à celle de la chute de la litière (Fig. 39). Il convient de mentionner que la respiration du sol connaît une grande variabilité intra-parcellaire due entre autres à la position topographique, l'humidité du sol, au taux de carbone du sol et à la productivité primaire locale (BOSC & MARCON, 2002; BOSC & MARCON, 2002)

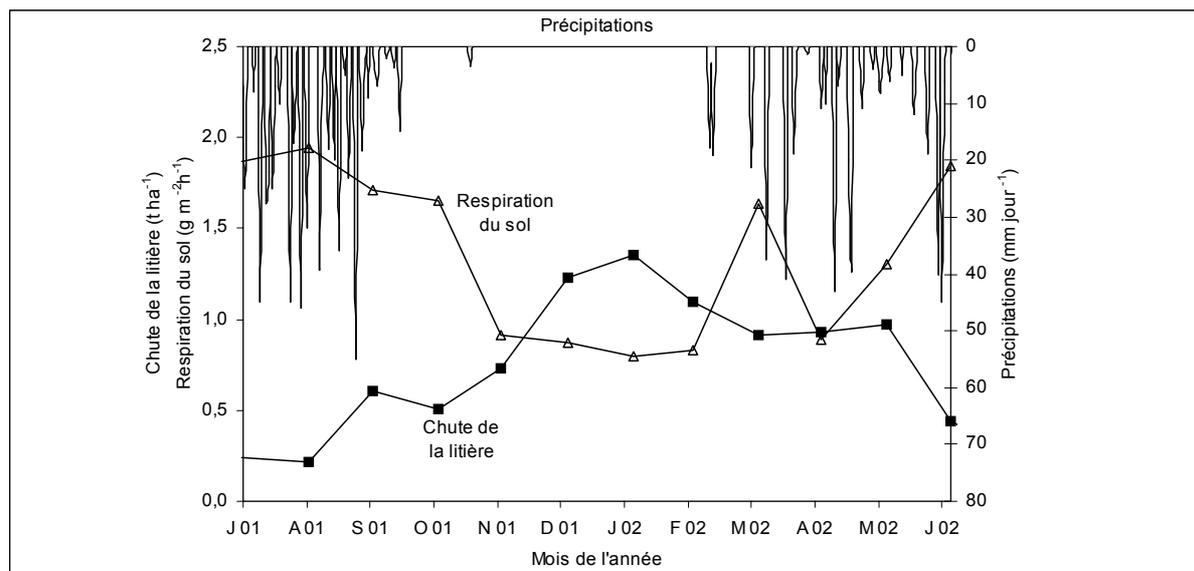


Fig. 39: Evolution intra-annuelle de la chute de la litière et de la respiration dans la forêt dense sèche semi-décidue de Sérrou

Les pluies qui tombent pendant 4 à 8 jours en mars déclenchent également une brève émission importante du CO₂ par le sol. En moyenne, les émissions annuelles du CO₂ par le sol se situent autour de 37,4 ; 57,1 ; 65,5 ; 71,2 et 119,0 t ha⁻¹an⁻¹ (soit 12,2 ; 15,6 ; 17,9 ; 19,4 et 32,5 t ha⁻¹an⁻¹ de carbone) respectivement pour les superficies agricoles, les jachères de longue durée, les plantations d'anacardiens, la forêt claire et la forêt dense semi-décidue.

Tab. 54: Emissions du CO₂ (g m⁻² h⁻¹) à travers la respiration du sol dans les différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur

Ecosystèmes	Août 01	Sep 01	Oct. 01	Nov 01	Déc. 01	Jan 02	Feb 02	Mar.02	Apr 02	Mai 02	Jun 02	Jul 02	Moyenne
Sup. agricoles	0,89	0,87	0,78	0,23	0,21	0,23	0,22	0,35	0,22	0,20	0,20	0,70	0,43
Jachères	1,22	1,20	1,03	0,46	0,42	0,40	0,40	0,43	0,41	0,42	0,40	1,00	0,65
Anacardiens	1,66	1,10	0,88	0,59	0,56	0,53	0,50	0,75	0,51	0,53	0,50	0,83	0,74
Forêt claire	1,23	1,20	1,11	0,62	0,62	0,64	0,56	0,91	0,56	0,55	0,50	1,22	0,81
Forêt d.s.-décidue	1,94	1,71	1,65	0,91	0,87	0,80	0,83	1,64	0,89	1,30	1,84	1,87	1,35

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

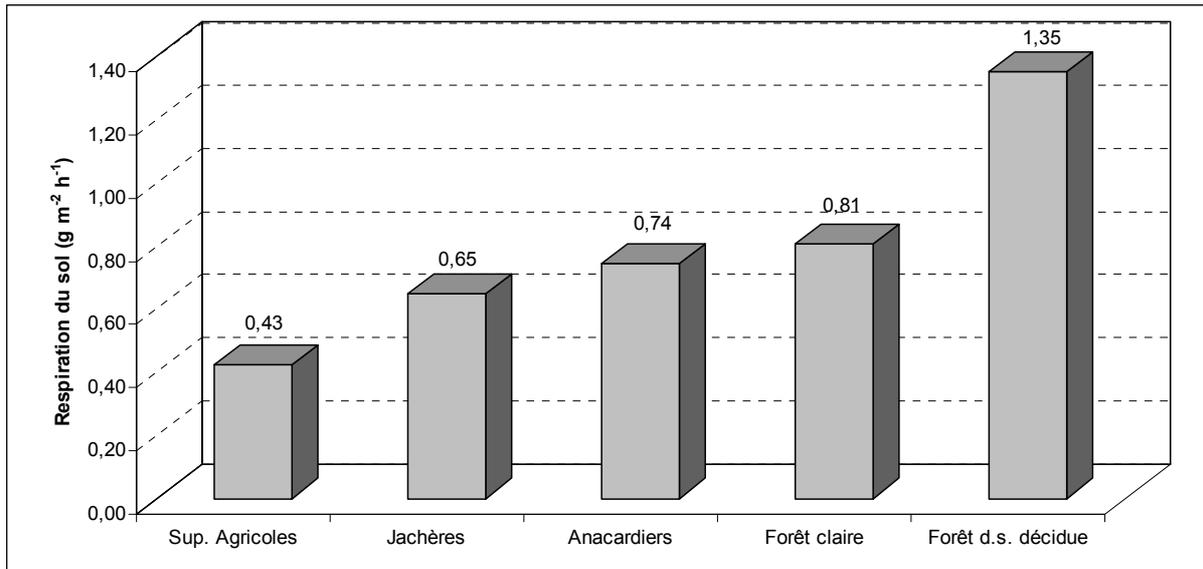


Fig. 40: Moyenne annuelle de la respiration du sol dans les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur

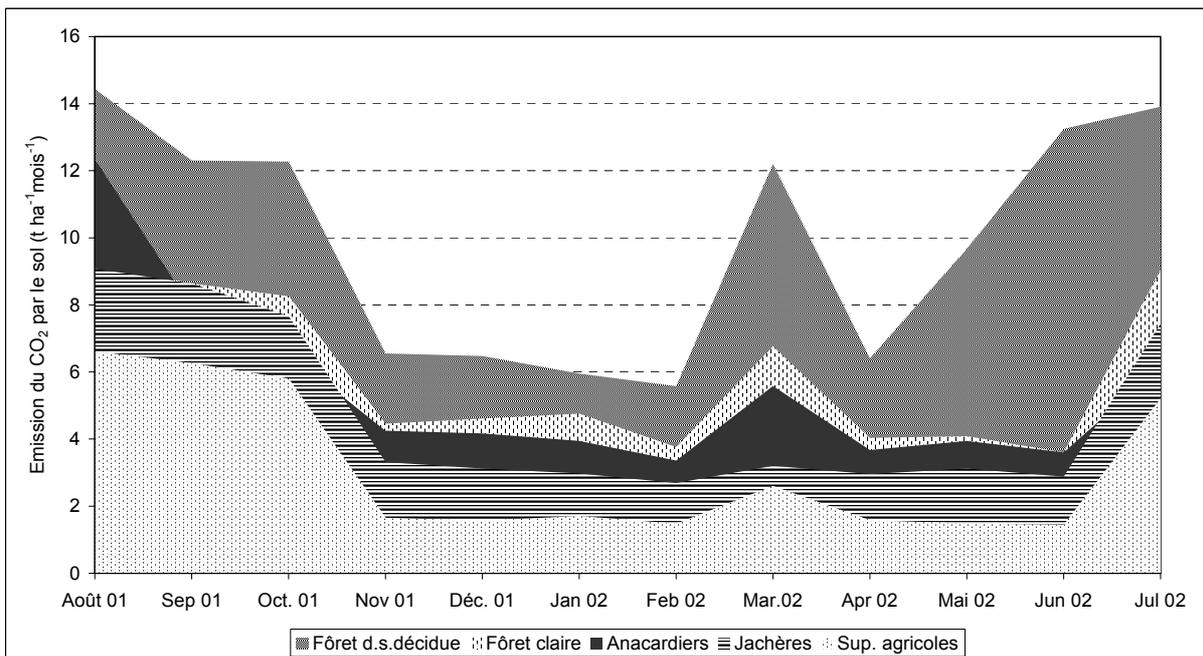


Fig. 41: Evolution intra-annuelle des émissions du CO₂ (t ha⁻¹an⁻¹) à travers la respiration du sol dans les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur

Le sol sous la forêt semi décidue de Sérrou, qui d'ailleurs possède beaucoup plus de matière organique dans les 20 premiers cm du sol que dans les autres écosystèmes dispose également d'une importante activité biologique (BEETS, 1990; JUNGE,

2004). Ceci explique les hautes valeurs de la respiration du sol mesurées dans cette forêt. Alors que la température du sol est toujours considérée comme principal facteur limitant la respiration du sol, dans la zone de l'Ouémé supérieur c'est plutôt l'humidité du sol qui la détermine si celui-ci est bien fourni en matière organique (BROSE, 1998). Contrairement aux régions tempérées où la température est un facteur de variabilité de la respiration du sol (BLANKE, 1996; FANG (1998) cité par BOSC & MARCON, 2002), les variations de la température du sol sont nettement plus tamponnées dans les régions tropicales (BOSC & MARCON, 2002). La température minimale dans l'Ouémé supérieur est d'environ 20,1°C et est atteinte vers 7 h du matin (JUNGE, 2004). Par contre l'humidité du sol dans les vingt premiers centimètres du sol passe par exemple pour une plantation d'anacardier de 33% (pendant la saison des pluies) à 10 % (au début de la saison sèche). L'humidité du sol en dessous de 10% tout comme celle au dessus de 30% entraîne une diminution de l'émission du CO₂ par le sol (Fig. 42). D'après DECKER (1981) cité par MÜLLER (2004), à une température de 20°C, la respiration du sol est intense si le sol est bien humide. McKINLEY (1931) cité par MÜLLER (2004) a également constaté qu'après une période sèche, une légère augmentation de l'humidité du sol entraîne significativement une augmentation de la respiration du sol. L'importance de l'humidité du sol a été également confirmée par MA (2003).

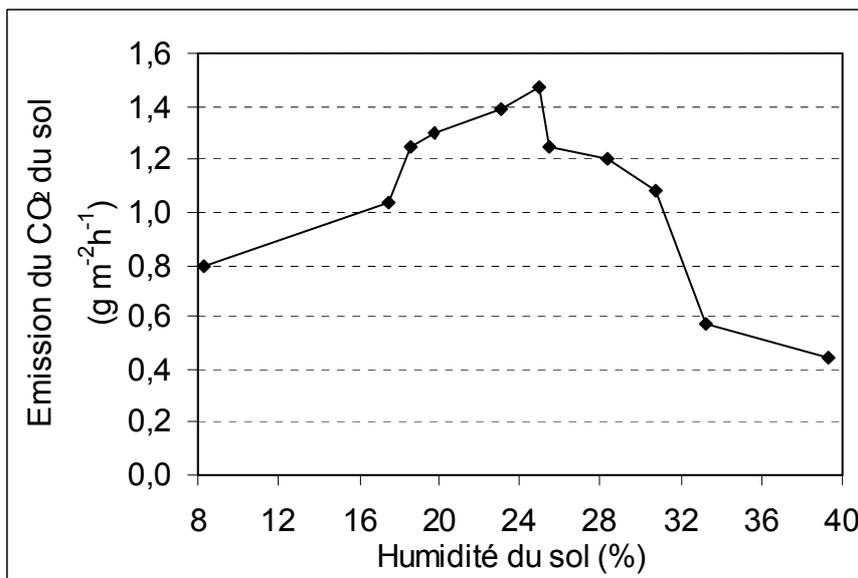


Fig. 42: Respiration du sol en fonction de l'humidité dans une plantation d'anacardiens à Doguè

Il est à noter que de faibles valeurs d'émission du CO₂ mesurées dans les superficies agricoles ne signifient nécessairement pas que ces écosystèmes sont préférables à la forêt dense semi-décidue dont les émissions du CO₂ sont plus élevées. En effet, des valeurs élevées d'émission du CO₂ par le sol reflètent non seulement l'activité biologique intense mais également l'importance de la matière organique du sol. En tenant uniquement compte de la respiration du sol, l'idéale pour la classification des différents écosystèmes, entre les puits ou les sources de carbone, serait d'établir un coefficient d'émission du carbone du sol (m) intégrant à la fois, la respiration du sol (R), la teneur actuelle (A_c) et potentielle maximale (P_c) en carbone organique du sol. Le coefficient m pourrait être utilisé pour intégrer la respiration du sol dans les modèles d'évaluation de la séquestration du carbone des écosystèmes. Nous proposons la relation suivante pour le calcul de ce coefficient, soit :

P_c : Teneur théorique en carbone du sol (%)

A_c : Teneur actuelle en carbone du sol (%)

P_c-A_c : représente le carbone jusqu'alors émis par le sol (%)

R : carbone émis par le sol au cours d'une année (%). R est donné par la relation :

$$R = 2 * Q / 3$$

Q = (100 * r * d_a) : p_s où Q est la respiration du sol (%); r : émission du CO₂ par le sol pendant une année (kg m⁻³ an⁻¹ en supposant que l'émission du CO₂ vient des 30 premiers cm du sol); p_s : le poids du sol contenu sur 1 m² et 30 cm de profondeur (kg m⁻³). Nous considérons que 1/3 de cette respiration vient de la respiration des racines et donc est à déduire de Q. La quantité de carbone émise:

C_e = P_c-A_c-R en divisant les deux membres par R, on obtient :

$$(C_e/R) = (P_c/R) - (A_c/R) - 1$$

$$m = \frac{P_c - A_c}{R} - 1$$

Si m > 1, l'écosystème est considéré comme un puits de carbone;

Si m < 1, l'écosystème constitue une source de carbone

En considérant 2,5% comme la teneur potentielle en carbone du sol dans les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur, le coefficient m devient supérieur à 1 uniquement dans la forêt dense semi-décidue de Sérrou. Le sol y constitue par conséquent un puits de carbone.

Tab. 55: Coefficient m d'émission du carbone du sol dans l'Ouémé supérieur

Ecosystèmes	R	Ac	Q	d _a	p _s	R	m
	(g m ⁻² h ⁻¹)	(%)	(kg m ⁻³ an ⁻¹)	(kg m ⁻³)	(kg m ⁻³)	(%)	
Sup. agricoles	0,43	0,88	3,8	1408	422	0,6	0,5
Jachères	0,65	0,97	5,7	1488	446	0,9	0,6
Anacardiens	0,74	0,88	6,5	1435	430	1,0	0,6
Forêt claire	0,81	0,73	7,1	1481	444	1,1	0,5
Forêt d.s. décidue	1,35	1,74	11,8	1236	371	2,1	4,7

d_a : densité apparente du sol (kg m⁻³)

6.6.3. Bilan du carbone

6.6.3.1. Bilan intra-annuel du carbone

Les émissions nettes du carbone sont plus élevées en 2000 (13,9 t ha⁻¹ an⁻¹) qu'en 2020 pour les scénarios statu quo (9,9 t ha⁻¹ an⁻¹), pessimiste (9,5 t ha⁻¹ an⁻¹) et optimiste (12,7 t ha⁻¹ an⁻¹) (Tab. 56). Cela n'explique aucunement pas que la gestion du terroir aura permis jusqu'en 2020 de réduire les émissions du carbone. Cette diminution est par contre expliquée par la réduction de la superficie des formations naturelles dans lesquelles la respiration du sol est plus importante (Fig. 41). La respiration du sol représente la principale source de carbone des écosystèmes (GRANIER, 2003, BLANKE, 1996). Sur une émission de carbone de 17,2 t ha⁻¹an⁻¹ en 2000, 93% (soit 16,0 t ha⁻¹an⁻¹) provenait de la respiration du sol. Le terroir de l'Ouémé supérieur constitue à priori une source de carbone. Une question peut se poser de savoir comment se maintient un tel système qui fonctionne à perte. Le carbone contenu dans le matériel végétal se subdivise en trois grands groupes : carbone labile, carbone passif et le carbone récalcitrant (The CENTURY Soil Organic Matter Model). Ce dernier localisé surtout dans le matériel très riche en lignine n'est libéré qu'après plusieurs années allant jusqu'à 1000 ans. En plus du carbone organique, le sol contient également le carbone inorganique dont le carbone contenu dans les carbonates. LAL (2002) citant NORDT *et al.* (2000) et MERMUT *et al.* (2000) rapporte qu'il existe une grande corrélation entre la production primaire nette et la formation secondaire des carbonates. La libération du carbone des carbonates minéraux du sol, une autre source de carbone, est plus lente (10²-10⁶ années) que celle du carbone organique (10-10³ années) (BRAISSANT *et al.* 2004). Ceci présage la présence dans le sol d'un stock de carbone récalcitrant ou passif qui permet

6. Systèmes agricoles et variabilité saisonnière des pluies

encore aux écosystèmes d'émettre plus de carbone qu'ils n'en fixent. L'intégration de la respiration du sol dans les calculs du bilan du carbone conduit à des bilans négatifs qui ne se traduisent pas toujours par une source de carbone. Il est donc important de considérer plutôt le coefficient (m) d'émission du carbone du sol. Par contre, en ne considérant que les émissions du carbone à travers le brûlage de la phytomasse ($1,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$), l'Ouémé supérieur constituait en 2000 un puits de carbone ($2,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) (Tab. 56).

Tab. 56: Evolution des émissions du carbone dans l'Ouémé supérieur

Scénarios	Emissions/séquestration	Unité	2000	2005	2010	2015	2020
Statu quo	Brûlage de la biomasse	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	1,2	1,0	0,9	0,7	0,5
	Respiration du sol	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	16,0	15,3	14,5	13,5	12,5
	Emissions brutes	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	17,2	16,3	15,3	14,2	13,0
	Séquestration	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	3,3	3,3	3,2	3,2	3,1
	Emissions nettes	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	13,9	13,0	12,1	11,0	9,9
Pessimiste	Brûlage de la biomasse	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	1,2	1,0	0,8	0,7	0,5
	Respiration du sol	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	16,0	15,2	14,3	13,3	12,1
	Emissions brutes	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	17,2	16,2	15,2	13,9	12,6
	Séquestration	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	3,3	3,2	3,2	3,1	3,0
	Emissions nettes	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	13,9	13,0	12,0	10,8	9,5
Optimiste	Brûlage de la biomasse	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
	Respiration du sol	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	16,0	16,3	15,9	15,6	15,3
	Emissions brutes	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	17,2	17,4	16,9	16,4	16,0
	Séquestration	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	3,3	3,4	3,3	3,3	3,3
	Emissions nettes	($\text{t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$)	13,9	14,0	13,5	13,1	12,7

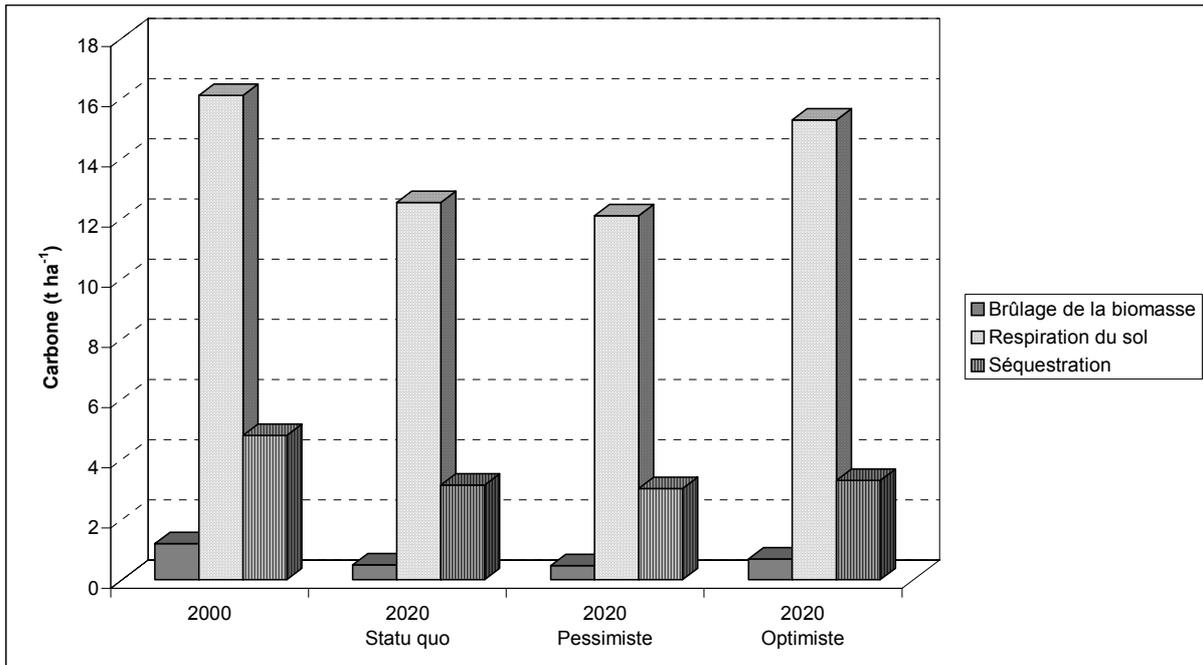


Fig. 43: Emissions (à travers le brûlage de la biomasse et la respiration du sol) et la séquestration (à travers la production de la biomasse) du carbone dans l'Ouémé supérieur

6.6.3.2. Bilan interannuel du carbone

Tel qu'il a été déjà signalé au chapitre trois, la différence au niveau du stock de carbone entre les différents écosystèmes de l'Ouémé supérieur est plutôt déterminée par le carbone stocké dans la phytomasse que par celui se trouvant dans le sol. Avec l'accroissement des superficies agricoles, la phytomasse totale par unité de superficie décroît, ce qui par conséquent diminue la quantité de carbone stocké dans le terroir. Alors que dans le cas du scénario optimiste, chaque hectare du bassin versant de l'Ouémé supérieur aurait émis 0,6 t de carbone d'ici 2020, cette émission serait de 12,5 et 14,9 t ha⁻¹ respectivement pour les scénarios statu quo et pessimiste (Tab. 57).

Tab. 57: Emissions cumulées du carbone dues aux changements d'utilisation des terres dans l'Ouémé supérieur

Scénarios	Unité	2001	2005	2010	2015	2020
Statu quo	(t ha ⁻¹)	0,5	2,6	5,6	9,1	12,5
Pessimiste	(t ha ⁻¹)	0,8	3,1	6,6	10,6	14,9
Optimiste	(t ha ⁻¹)	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6

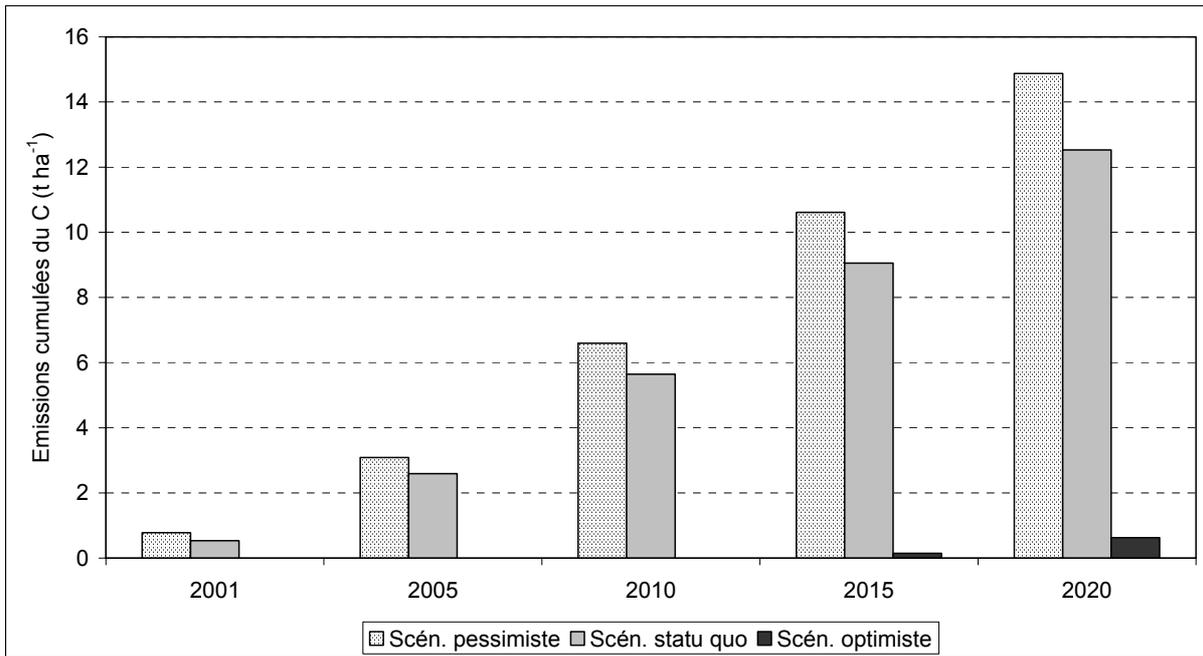


Fig. 44: Prédiction des émissions cumulées du carbone dans l'Ouémé supérieur

Sur une période de 20 ans (2000-2020) les émissions annuelles du carbone dues aux changements d'utilisation des terres correspondraient à 0,63; 0,75 et 0,03 t respectivement pour les scénarios statu quo, pessimiste et optimiste (Tab. 57, Fig. 44). Le scénario optimiste permettrait alors de réduire les émissions du carbone de 0,60 t ha⁻¹ an⁻¹ par rapport au scénario statu quo et de 0,72 t ha⁻¹ an⁻¹ par rapport au scénario pessimiste. VLEK *et al.* (2004) citant WATSON *et al.* (1996) considèrent que la séquestration du carbone varie entre 1,1 et 2,6 t ha⁻¹ an⁻¹ dans un écosystème forestier en régénération. Bien que l'approche que nous avons utilisée (réduction des émissions) diffère de celle utilisée par VLEK *et al.* (2004) (amélioration de la séquestration), la finalité des deux approches reste l'amélioration du stock de carbone contenu sur un hectare. Les résultats des deux approches sont comparables d'autant plus que dans le présent travail 0,60 et 0,72 t ha⁻¹ an⁻¹ constituent les moyennes de différents écosystèmes (forestiers et non forestiers). De plus, dans la présente étude, la quantification du stock de carbone au niveau du sol se limite uniquement aux 20 premiers cm du sol.

6.7. Conclusion

La pression démographique sur les terres constitue un important facteur de diminution de la phytomasse. Dans les conditions actuelles d'utilisation des terres, de 2000 à 2020, la phytomasse totale passerait de 59,1 à 31,5 t ha⁻¹. En cas de raccourcissement de la saison des pluies, l'extension des superficies agricoles serait beaucoup plus importante. Dans ce cas, la phytomasse totale serait de 27,0 t ha⁻¹ en 2020. Par contre, en limitant la croissance démographique à 3,0% et en intensifiant progressivement l'agriculture, l'extension des superficies agricoles serait ralentie et la phytomasse totale ne diminuerait que très légèrement (59,1 t ha⁻¹ en 2000 et 57,4 t ha⁻¹ en 2020). La diminution des superficies des formations naturelles occasionnerait, jusqu'en 2020, une émission nette du carbone de 12,5; 14,9 et 0,6 t ha⁻¹ respectivement pour les scénarios statu quo, pessimiste et optimiste. Par rapport aux systèmes actuels d'utilisation des terres, un raccourcissement de deux semaines de la saison des pluies occasionnerait une légère augmentation des émissions du carbone. Une intensification de l'agriculture réduirait par contre significativement les émissions du carbone. Il faut toutefois préciser que les émissions du carbone dues aux feux de brousse seraient toujours importantes même dans le cas du scénario optimiste s'il n'y a aucune réglementation interdisant les feux de brousse.

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

7.0. Introduction

L'analyse des données météorologiques de l'Afrique de l'Ouest et en l'occurrence du Bénin montre une grande variabilité des précipitations depuis le milieu des années 1970 (JANICOT, 2003). Cette variabilité est caractérisée par des changements dans la distribution temporelle et quantitative des précipitations. Au cours de ce travail, l'enquête exploratoire réalisée au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur a révélé que la saison des pluies tardives ou l'arrêt précoce des précipitations occasionnent (plus particulièrement dans les villages à haute densité démographique) des pénuries de nourriture qui se situent généralement entre avril et juillet. Ces pénuries risquent de devenir structurelles si la pression démographique continue à croître et si la variabilité des précipitations persiste sans qu'il y ait un changement notable dans les systèmes de production agricole. Sur base de différents scénarios d'évolution de la croissance de la population, le présent chapitre évalue l'impact des systèmes de production agricole et du raccourcissement de la saison des pluies sur la couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques de la population du bassin versant de l'Ouémé supérieur.

7.1. Objectifs

Deux principaux objectifs sont poursuivis dans ce chapitre :

- Evaluation quantitative de la contribution de la production agricole à la sécurité alimentaire de la population de l'Ouémé supérieur.
- Evaluation quantitative de l'impact de la croissance démographique et du raccourcissement de la saison des pluies sur la sécurité alimentaire

7.2. Hypothèse

De ces objectifs découle une seule hypothèse :

L'intensification des systèmes de cultures actuels permettrait même en cas de raccourcissement de la saison des pluies, de subvenir aux besoins alimentaires de la population de l'Ouémé supérieur (Hypothèse 4).

7.3. Matériel et méthode

L'évaluation quantitative de la contribution de la production agricole à la sécurité alimentaire a été réalisée, pour différents scénarios, grâce à la détermination des taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques. Ces taux sont donnés par la relation suivante : $d = 100 \cdot Y/b$

où

d: taux de couverture des besoins caloriques, protéiques ou lipidiques (%)

Y: production agricole annuelle par habitant ($\text{kcal habitant}^{-1}$ ou g de protéines habitant⁻¹ ou g de lipides habitant⁻¹)

b: besoins caloriques, protéiques ou lipidiques par habitant et par an ($\text{kcal habitant}^{-1} \text{an}^{-1}$ ou g habitant⁻¹ an⁻¹)

$$Y = S_{Pn} \sum (y_i \cdot c_i \cdot s_i)$$

où

S_{Pn} : superficie des cultures vivrières exploitée par habitant (ha habitant^{-1}). Cette superficie a été déterminée grâce aux résultats de l'enquête réalisée à Doguè et à Sérrou sur les dimensions des exploitations agricoles familiales.

y_i : productivité du système cultural i ($\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$),

c_i : coefficient de transformation de la production agricole du système i en calories, protéines ou lipides (kcal kg^{-1} ou g kg^{-1}),

s_i : coefficient de pondération de la superficie du système cultural i (sur un hectare cultivé).

$$b = b_d + b_s$$

b_d : besoins caloriques, protéiques ou lipidiques par habitant devant être couverts au cours d'une année ($\text{kcal habitant}^{-1}$ ou g habitant⁻¹),

b_s : besoins alimentaires par habitant devant servir de stock de sécurité pour deux mois en cas de pénuries alimentaires ($\text{kcal habitant}^{-1}$ ou g habitant⁻¹).

En supposant que 75% de besoins alimentaires de l'Ouémé supérieur proviennent des principales cultures (igname, manioc, sorgho, maïs, riz, arachide, haricot, voandzou), chaque personne doit disposer annuellement de 860.625 kcal, 15.938 g de protéines et 12.750 g de lipides (Tab. 58).

Tab. 58: Besoins caloriques, protéiques et lipidiques par habitant

Catégories des besoins	Unité	Beoins quotidiens	Besoins annuels		
			b_d	b_s	b
Calories	(Kcal)	2700*	739125	121500	860625
Protéines	(g)	50**	13688	2250	15938
Lipides	(g)	40**	10950	1800	12750

* : FALKENMARK (1997)
 ** : MINAGRI (1986)
 b_d : besoins alimentaires pour la consommation directe
 b_s : besoins alimentaires de secours
 $b = b_d + b_s$

7.4. Analyse de la situation alimentaire et des perspectives d'avenir

7.4.1. Dimensions des exploitations agricoles familiales

Dans son mémoire réalisé dans le cadre de la présente thèse, DENIS (2002) a constaté que chaque exploitation agricole familiale²⁴ dispose en moyenne de 3,98 ha et 2,49 ha de cultures vivrières respectivement à Doguè et à Sérrou. Le nombre de personnes actives²⁵ par exploitation est de 2,4 et 1,9 contre une population à nourrir de 14 et 11 personnes respectivement à Doguè et à Sérrou. Par actif agricole, ceci correspond à 5,8 personnes à nourrir dans les deux villages et à 1,66 ha de cultures vivrières à Doguè et 1,31 ha à Sérrou. Par exploitation agricole familiale, le coton occupe 1,10 ha à Doguè contre 1,01 ha à Sérrou et l'anacardier 1,74 ha à Doguè contre 0,09 ha Sérrou. Toutefois, la superficie occupée par la culture du coton à Doguè varie énormément si bien qu'il y a des saisons culturales où personne ne cultive le coton. Pour les deux villages Doguè et Sérrou, la superficie moyenne des cultures vivrières est de 0,26 ha par habitant. Si on considère également la superficie des cultures d'exportation, la superficie totale cultivée par habitant devient de 0,41 ha soit 2,36 ha par actif agricole (Tab. 59).

²⁴ Une exploitation agricole familiale correspond à l'unité de base de production agricole et de consommation. Elle peut comprendre un ou plusieurs ménages dont chacun correspond à l'unité de base familiale constituée du père, de la mère et des enfants.

²⁵ Est considérée dans ce travail comme population agricole active toute personne âgée de 16 ans à 60 ans et qui n'exerce aucune autre activité que l'agriculture.

Tab. 59: Dimensions d'une exploitation agricole familiale

Paramètres	Unité	Doguè	Sérou	Moyenne
Dimension d'une exploitation agricole familiale	(ha)	6,8	3,6	5,2
Persones/exploitation agricole familiale		14	11	13
Personnes actives/exploitation		2,4	1,9	2,2
Superficie des cultures vivrières/personne	(ha pers. ⁻¹)	0,28	0,23	0,26
Superficie des cultures d'exportation/personne	(ha pers. ⁻¹)	0,20	0,10	0,15
Coton	(ha pers. ⁻¹)	0,08	0,09	0,09
Anacardier	(ha pers. ⁻¹)	0,12	0,01	0,07
Superficie totale cultivée/personne	(ha pers. ⁻¹)	0,49	0,33	0,41
Superficie totale cultivée/actif agricole	(ha actif agr. ⁻¹)	2,84	1,89	2,36
Personnes à nourrir/actif agricole		5,8	5,8	5,8

7.4.2. Productions des systèmes de cultures vivriers

Alors que l'igname et le manioc disposent moins de calories par kilogramme de tubercules (Tab. 23), ils atteignent des rendements (par hectare) hautement supérieurs à ceux des autres systèmes de cultures. Par contre, les légumineuses et les céréales atteignent des rendements en lipides plus élevés que ceux de l'igname et du manioc. Les systèmes de cultures à base d'igname et de manioc occupent seuls environ 31% de l'ensemble des superficies des cultures vivrières. Il semble par conséquent que l'agriculteur soit intuitivement guidé dans son choix de répartition des superficies (entre les différents systèmes de cultures) par l'objectif de maximisation de la production calorique. En tenant compte de l'importance d'occupation des superficies des six principaux systèmes de cultures vivrières, la production actuelle annuelle atteint 4,49 millions de calories par hectare contre uniquement 27,7 kg de lipides (Tab. 60).

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

Tab. 60: Actuelles productions caloriques, protéiques et lipidiques

Paramètres	Unité	Igname	Manioc	Sorgho	Maïs	Sorgho+Maïs	riz	Légumin.	Moyenne
Doguè									
Productivité agricole	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	11,1	11,0	1,1	1,4	3,0	2,0	0,7	4,3
Production calorique	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	10,6	11,2	3,2	4,4	9,4	4,2	1,9	6,4
Production protéique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	188,7	130,4	84,8	129,6	230,0	106,7	215,7	155,1
Production lipidique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	18,9	7,7	5,2	58,3	48,2	26,7	100,5	37,9
Superficie par hectare cultivé	(ha)	0,17	0,08	0,12	0,14	0,10	0,05	0,09	0,75
Production agricole pondérée	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,9	0,9	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	3,6
Production calorique pondérée	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,8	0,9	0,40	0,6	0,9	0,2	0,2	5,0
Production protéique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	32,1	10,4	10,4	18,1	23,0	5,3	19,4	118,8
Production lipidique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	3,2	0,6	0,6	8,2	4,8	1,3	9,0	27,8
Sérou									
Productivité agricole	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	6,2	6,4	1,1	1,7	2,1	1,2	1,5	2,9
Production calorique	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	6,3	6,5	3,2	5,4	6,7	2,5	4,4	5,0
Production protéique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	123,0	76,0	84,8	147,5	169,1	64,1	275,6	134,3
Production lipidique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	11,6	4,5	5,2	61,8	55,8	16,0	248,8	57,7
Superficie par hectare cultivé	(ha)	0,20	0,11	0,16	0,11	0,03	0,04	0,16	0,81
Production agricole pondérée	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,2	0,7	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	2,6
Production calorique pondérée	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,3	0,7	0,5	0,6	0,2	0,1	0,7	4,1
Production protéique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	24,6	8,4	13,6	16,2	5,1	2,6	44,1	114,5
Production lipidique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	2,3	0,5	0,8	6,8	1,7	0,6	39,8	52,6
Moyenne pondérée pour l'Ouémé supérieur									
Superficie par hectare cultivé	(ha)	0,17	0,14	0,10	0,14	0,06	0,02	0,07	0,70
Production agricole pondérée	(t ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,5	1,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	3,3
Production calorique pondérée	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,4	1,2	0,3	0,7	0,5	0,1	0,2	4,4
Production protéique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	26,5	14,4	8,5	19,4	12,0	1,7	17,2	99,7
Production lipidique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	2,6	0,8	0,5	8,4	3,1	0,4	12,2	28,1

7.4.4. Couverture des besoins alimentaires

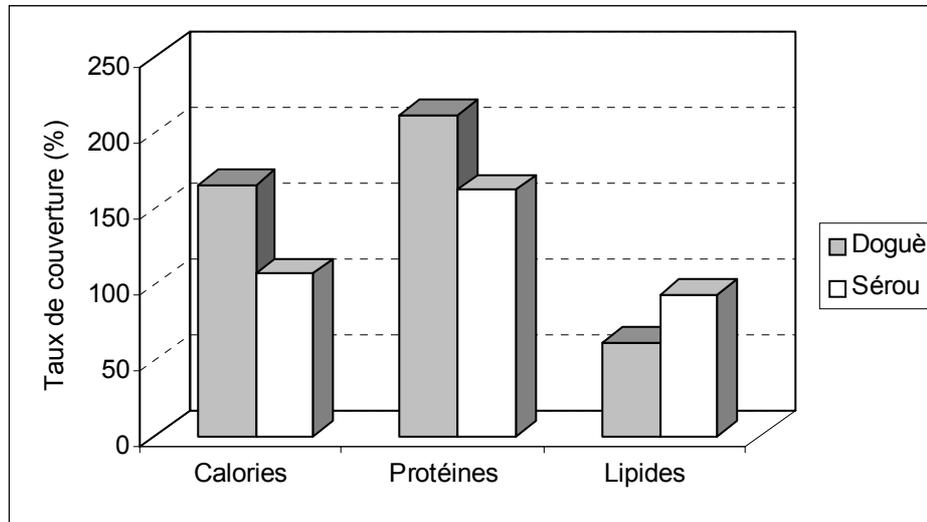
Les besoins caloriques à Doguè et à Sérrou sont couverts respectivement à 166 et 107%, ceux protéiques à 212 et 162%. La couverture des besoins lipidiques restent déficitaire dans les deux villages avec des valeurs de 62% à Doguè et 93% à Sérrou (Tab. 61, Fig. 45). Le village de Sérrou se trouve juste à la limite de la satisfaction des besoins caloriques. Il ne dispose pas assez de calories en cas de mauvaises récoltes dues notamment aux aléas climatiques. Cela explique la pénurie des denrées alimentaires pendant une période de 3 mois (avril - juillet) observée en 2002 plus particulièrement à Sérrou qu'à Doguè et qui selon les agriculteurs était due à la mauvaise récolte en 2001 (suite à un arrêt précoce de la saison des pluies). En réalité, à cause de la dégradation de la fertilité des terres, les rendements des plantes à tubercules, qui constituent jusqu'à présent la principale source de calories, sont faibles (Tab. 23) et les stocks de sécurité alimentaire sont par conséquent insuffisants ou inexistantes. Pour maintenir l'équilibre calorique sous contrainte de faibles rendements des tubercules, les agriculteurs de Sérrou semblent avoir privilégié d'abord l'augmentation du pourcentage de la superficie occupée par l'igname et le manioc (31% contre 25% à Doguè) (Tab. 60). Cependant cette stratégie semble avoir atteint ses limites d'où l'importance croissante de l'intensification du maïs dans ce village. De plus, les légumineuses qui apportent beaucoup plus de calories, de protéines et de lipides par unité de production agricole y occupent une place importante des les systèmes de production agricoles que dans le village de Doguè. En dehors de mauvaise production agricole, l'ingéniosité des agriculteurs de Sérrou leur permet encore de maintenir un équilibre alimentaire précaire. Quant au village de Doguè, la faible importance des légumineuses dans les systèmes de production agricole entraîne un déficit lipidique plus important qu'à Sérrou (Fig. 45).

Tab. 61: Taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques

Couverture des besoins alimentaires (%)		
	Doguè	Sérrou
Calories	166	107
Protéines	212	162
Lipides	62	93

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

Fig. 45: Taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques à Doguè et à Sérrou



Sans considération des disparités de répartition de la production agricole entre les villages, entre les exploitations agricoles familiales ou entre les individus, les taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur étaient respectivement de 133, 172 et 72% en 2000 (Tab. 62). Seul la couverture des besoins en lipides est déficitaire.

Tab. 62: Prédiction de l'évolution des taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques dans l'Ouémé supérieur

Paramètres	Unité	2000	2010			2020		
			Scénario statu quo	Scénario pessimiste	Scénario optimiste	Scénario statu quo	Scénario pessimiste	Scénario optimiste
S_{Pn}	(ha pers. ⁻¹)	0,26	0,26	0,27	0,21	0,25	0,27	0,19
Calories	(%)	132	128	115	161	132	116	174
Protéines	(%)	160	167	144	173	175	150	180
Lipides	(%)	56	66	53	71	76	62	80

S_{Pn} : Superficie des cultures vivrières par personne

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

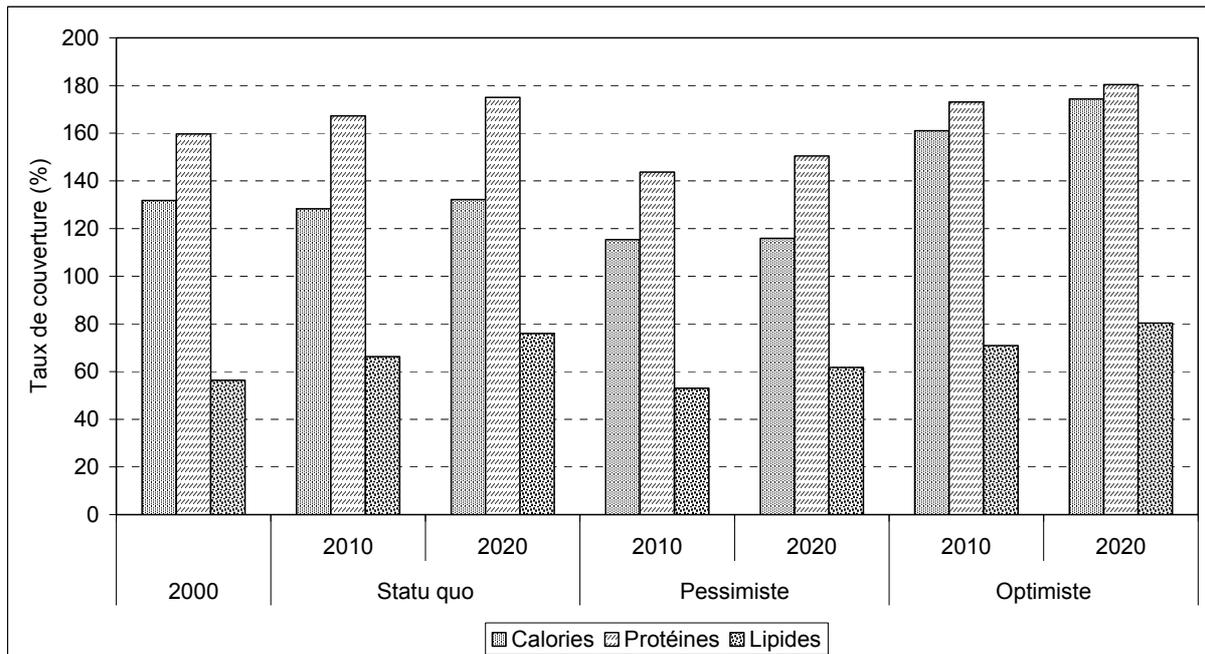


Fig. 46: Prédiction des taux de couverture des besoins caloriques, protéiques et lipidiques dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur

Par contre, la tendance actuelle de répartition des superficies, entre les cultures vivrières, en faveur du maïs et des légumineuses pourrait remonter le taux de couverture lipidique jusqu'à 105 d'ici 2020 (Tab. 62.). D'une façon générale, même en cas de raccourcissement de deux semaines de la saison des pluies, l'agriculteur pourrait toujours subvenir à ses besoins alimentaires tant que l'extension des superficies agricoles serait encore possible. Cependant, la disponibilité en main d'œuvre agricole étant déjà un facteur limitant dans l'extension des superficies agricoles, le raccourcissement de la saison des pluies pourrait conduire aux déficits caloriques et lipidiques importants. La prise d'importance actuelle de l'adoption de la culture attelée au nord du bassin versant de l'Ouémé supérieur serait sans nul doute une solution de rechange à cette carence en main d'œuvre.

Cette stratégie de faire face à la demande croissante des denrées alimentaires par l'extension des superficies agricoles occasionnerait une augmentation de 0,03 ha (de 0,26 ha à 0,29 ha) de cultures vivrières par habitant en cas de raccourcissement de la saison des pluies soit une augmentation de 11,5%. Par contre, en intensifiant la production agricole et particulièrement celle des céréales, avec seulement une superficie de 0,19 ha par personne (diminution de 26,9%) en 2020, le taux de

couverture des besoins alimentaires serait de 175% et 120% respectivement pour les calories et les lipides (Tab. 62). **Par rapport au scénario statu quo, le scénario optimiste permettrait de conserver, par habitant, environ 0,07 ha de formations naturelles ou de jachères de longue durée.** L'intensification agricole constitue par conséquent une des stratégies indispensables à la préservation et à l'utilisation durable des ressources naturelles.

7.4.5. Pression démographique et sécurité alimentaire

La superficie des cultures (y compris les plantations d'anacardiens) à Doguè et à Sérrou est respectivement de l'ordre de 6,8 et 3,6 ha par exploitation familiale soit 0,49 et 0,33 ha par habitant. Les cultures vivrières occupent respectivement 0,28 et 0,23 ha par personne à Doguè et à Sérrou. En supposant que les besoins caloriques sont à 75% couverts par la production des principales cultures vivrières, la production d'un hectare couvre les besoins en énergies de 5,4 et 4,7 personnes respectivement à Doguè et à Sérrou. La moyenne pour le bassin versant de l'Ouémé supérieur est de 5,2 personnes par hectare. En terme de consommation en eau à travers la production agricole, chaque personne consomme quotidiennement, à travers les produits agricoles, 2,9 m³ à Doguè, 4,4 m³ à Sérrou et 3,6 m³ pour tout le bassin versant de l'Ouémé supérieur soit respectivement 1060, 1590 et 1314 m³ par personne et par an (Tab. 63). Ces valeurs dépassent 840 m³ estimée par FALKENMARK (1997) en supposant une efficacité d'utilisation de l'eau des cultures vivrières de 1000 kcal m⁻³. Elles dépassent également la valeur de 530 m³ obtenue par BILTONEN & DALTON (-) en fixant les besoins caloriques quotidiens à 2100 kcal par personne et une efficacité d'utilisation de l'eau pour le riz à 0,4 kg m⁻³ (avec 361 kcal par 100 g de grains). Ces différences ne s'expliquent uniquement pas par les différentes méthodes de calculs utilisées mais aussi par les faibles productivités des cultures, et plus particulièrement des céréales, au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur. Dans l'exemple de BILTONEN & DALTON (-) le riz atteint une productivité et une efficacité d'utilisation de l'eau respectivement de l'ordre de 15,9 * 10⁶ kcal ha⁻¹ et 1444 kcal m⁻³ contre une moyenne pondérée (toutes les cultures confondues et en tenant compte de la superficie occupée par chaque culture) de 4,4 * 10⁶ kcal ha⁻¹ et 563 kcal m⁻³ dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur (Tab. 60).

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

Au moment où la pression démographique sur les terres augmente dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur, la capacité de celles-ci à pouvoir produire suffisamment pour satisfaire les besoins alimentaires de la population ainsi que l'efficacité d'utilisation de la pluie commence à diminuer dans certains villages. La capacité de charge humaine d'un hectare de cultures vivrières diminue avec la pression démographique sur les terres. Nous considérons la **capacité de charge humaine des terres (CCHT)** comme étant le nombre de personnes qu'un hectare de cultures vivrières est à mesure de garantir la couverture des besoins caloriques. Elle est donnée par la relation:

CCHT = c_n/b où c_n et b sont respectivement la productivité du sol ($\text{kcal ha}^{-1} \text{an}^{-1}$) et les besoins annuels caloriques par personne ($\text{kcal pers.}^{-1} \text{an}^{-1}$).

Quant à la **charge humaine réelle des terres (CHRT)**, c'est le nombre de personnes vivant actuellement d'un hectare de cultures vivrières. Elle est donnée par la relation **CHRT = $1/S_{Pn}$** où S_{Pn} est la superficie cultivée par personne (ha pers.^{-1}). En tenant compte du cycle des cultures et des jachères dans le cas d'une utilisation durable des terroirs (c'est à dire quand l'indice R de RUTHENBERG (1980) est inférieur à 33), il est possible d'établir, à partir du CCHT, la **capacité de charge durable des terres (CCDT)**. Dans ce cas, la CCDT (nombre de personnes par ha de terres cultivables) est donnée par la relation : $\text{CCDT}=(R*\text{CHRT})/100$.

Les besoins caloriques étant constants, la capacité de charge humaine des terres est donc fonction de la productivité des sols. La différence entre les deux ($\text{CCHT} - \text{CHRT} = \text{BCHT}$) donne le **bilan de charge humaine des terres (BCHT)**. Si le $\text{BCHT} < 0$ ou $(c_n * S_{Pn} / b) < 1$, cela signifie que la pression démographique sur les terres constitue une **surcharge humaine** que les terres ne peuvent plus supporter. Dans une agriculture de subsistance, cette situation caractérise la 3^e (Insécurité alimentaire structurelle) et la 4^e (Misère et de dégradation hydrologique) phase de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres. Si $\text{BCHT} > 0$ ou $(c_n * S_{Pn} / b) > 1$, alors il y a une **charge humaine écologique** qui caractérise, toujours dans une agriculture de subsistance, la 1^{ère} et la 2^e phase (Equilibre écologique et Rupture de l'équilibre écologique). Si $\text{BCHT} = 0$ ou $(c_n * S_{Pn} / b) = 0$, il y a une **charge humaine supportable** qui caractérise la phase de dégradation écologique (3^e phase).

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

Les changements technologiques accompagnant la croissance de la pression démographique sur les terres (BOSERUP, 1965) tels qu'ils ont été également observés à Sérrou n'ont pas encore atteint un niveau important pour induire l'augmentation de la production agricole par l'amélioration de la productivité agricole. En comparant la capacité de charge humaine des terres et la charge humaine réelle des terres (Tab. 63), il ressort que, dans les conditions de production agricole actuelles, le village de Doguè peut encore nourrir 1,8 personnes supplémentaires par hectare de cultures vivrières alors que celui de Sérrou ne peut supporter que 0,4 personnes de plus. La moyenne au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur se situe autour de 1,2 personnes supplémentaires par hectare de cultures vivrières. Cette possibilité de couverture des besoins caloriques sans aucun effort d'intensification agricole serait sans nul doute une des raisons au manque de demande ou d'adoption de nouvelles technologies agricoles plus performantes observé particulièrement dans le village de Doguè. Cela constitue un grand défi à l'utilisation durable des terres qui ne peut être levé que par une volonté politique très engagée, sinon on assistera impuissant à une évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terres jusqu'à sa phase ultime de misère et de dégradation hydrologique. L'agriculteur prendrait difficilement l'initiative pour l'intensification agricole qui lui demande beaucoup plus de travail alors que celui-ci constitue déjà le principal facteur limitant dans son exploitation agricole.

Tab. 63: Capacité de charge humaine et charge humaine réelle des terres

Terroir	Superficie vivrière	Charge humaine réelle	Production vivrière	Efficacité d'utilisation de la pluie	Capacité de charge humaine	Consommation en eau (pluie)
	(ha pers. ⁻¹)	(pers. ha ⁻¹)	(10 ⁶ Kcal ha ⁻¹)	(Kcal m ⁻³)	(pers. ha ⁻¹)	(m ³ pers. ⁻¹ an ⁻¹)
Doguè	0,28	3,6	4,6	697	5,4	1060
Sérrou	0,23	4,3	4,1	465	4,7	1590
Ouémé supérieur	0,26	3,9	4,4	563	5,2	1314

L'exemple de l'impasse agricole et de la dégradation des terres au Rwanda, malgré l'engagement des agriculteurs pour une conservation et une amélioration de la fertilité des terres, montre bien l'importance du rôle du politique. Les changements technologiques introduits par les agriculteurs ne sont pas parvenus à stopper la dégradation des terres ni à maintenir la couverture des besoins caloriques de la population puisqu'il y a une surcharge humaine (Fig. 47). Il a manqué (et manque

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

toujours) une politique nationale et régionale de développement socio-économique pour dégorger le secteur agricole de sa surpopulation et ainsi alléger la pression sur les terres.



Source: www.minorisa.es/inshuti [31.10.04]

Photo 15: Collines du Rwanda avec des structures contre l'érosion

En effet, en se référant sur les statistiques agricoles de 2000 au Rwanda, nous avons obtenu une capacité de charge des terres d'environ 4,4 personnes par hectare. Or la charge réelle des terres au Rwanda atteignait déjà 6,1 personnes par hectare soit un surplus de 1,7 personnes par hectare. Ceci occasionne une importante dégradation des sols où l'érosion charriait déjà dans les années 80 en moyenne 10,1 t ha an de terres (BÉZY, 1990). Cette dégradation est à la base non seulement d'un déficit alimentaire structurel mais également d'une importante crise en électricité due à la diminution drastique des débits des cours d'eau devant alimenter les centrales hydroélectriques. En considérant uniquement la densité de la population, certaines régions du sud du Bénin pourraient également constituer un exemple illustrant l'impact de la pression démographique sur les terres et la sécurité alimentaire. Cependant, dans ces régions, le relief moins abrupt, les possibilités de mobilité interne (exode rural, entre campagnes) et régionale des personnes y atténuent l'impact de la pression démographique sur les terres.

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

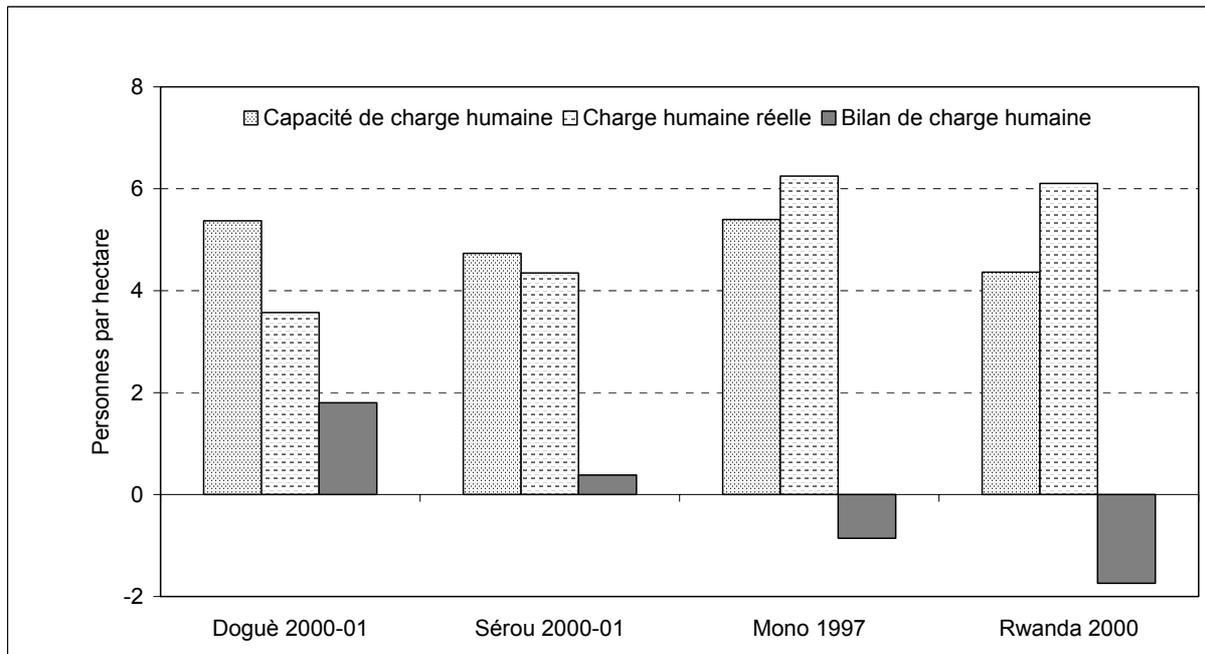


Fig. 47: Comparaison de la capacité de charge des terres

Alors que l'agriculteur de Doguè semble viser (intuitivement) la maximisation de la production calorique, celui de Sérrou cible (intuitivement) non seulement l'équilibre calorique mais également l'équilibre lipidique. L'importance accordée aux systèmes de cultures à base de légumineuses ainsi que le début d'intensification du maïs sont autant de stratégies adoptées par l'agriculteur de Sérrou pour garantir sa sécurité alimentaire face à la raréfaction des terres. Mais avant d'arriver à ces stratégies, l'agriculteur de Sérrou a vraisemblablement réagi à la diminution de la productivité de l'igname en augmentant la proportion de la superficie occupée par l'igname. Cette stratégie n'a cependant pas tenu longtemps puisque cette augmentation de la superficie n'a pas permis de compenser la diminution de la production agricole due à la diminution de la productivité. Il est donc intéressant de constater que la raréfaction des terres (à condition de ne pas dépasser le seuil de viabilité des exploitations) peut être un facteur important non seulement pour l'utilisation durable des terres (quelques exemples de Sérrou déjà mentionnés) mais également pour atteindre la sécurité alimentaire.

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

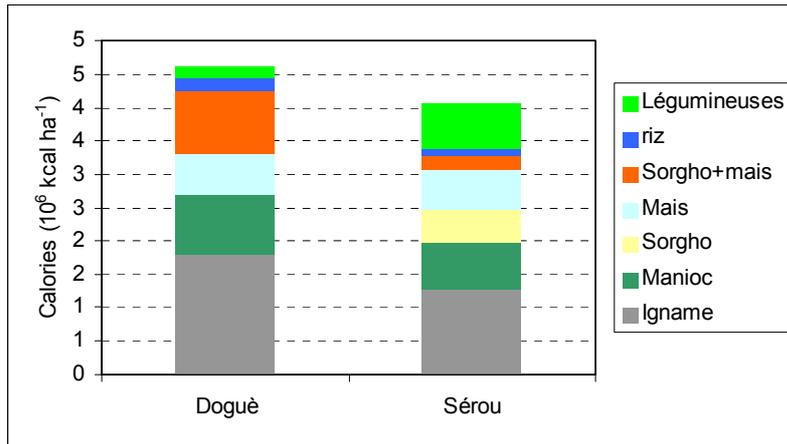


Fig. 48: Productions caloriques des différents systèmes de cultures de Doguè et Sérou

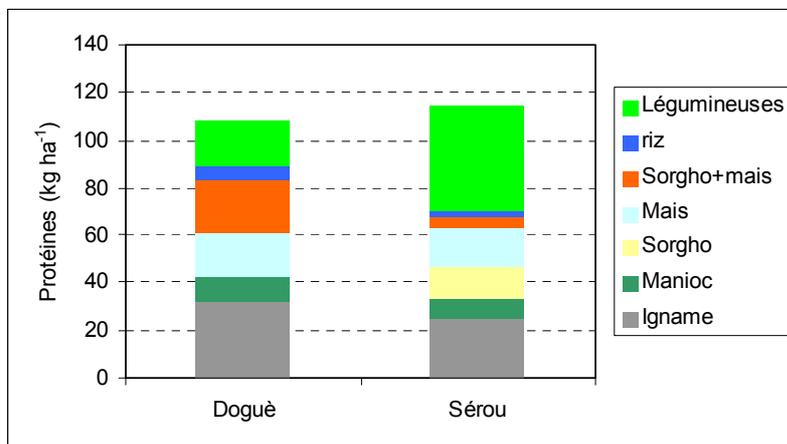


Fig. 49: Productions protéiques des différents systèmes de cultures de Doguè et Sérou

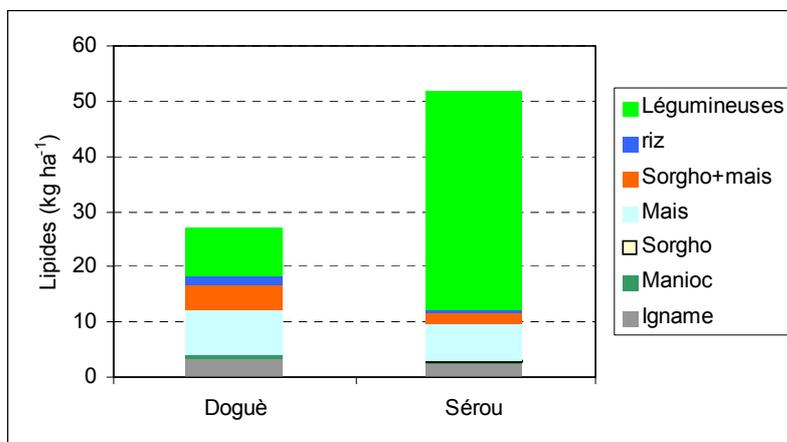


Fig. 50: Productions lipidiques des différents systèmes de cultures de Doguè et Sérou

7.4.6. Intensification agricole et capacité de charge humaine des terres

Le début de l'intensification du maïs dans le village de Sérrou montre bien la nécessité de changement des systèmes de production agricole actuels que ressentent les agriculteurs. La démarche suivante permet d'estimer après combien d'années, l'intensification (progressive) des systèmes de production agricoles ne serait plus à mesure de soutenir la croissance démographique sur une superficie agricole constante. Pour ce faire, nous exprimons la sécurité alimentaire par l'égalité : $c_n S = b P_n$

où

c_n : productivité du sol en kilo calories par hectare et par an ($\text{kcal ha}^{-1} \text{an}^{-1}$) ;

S : superficie des cultures vivrières exploitée par une population P_n (ha) ;

b : somme des besoins annuels en denrées alimentaires pour la consommation directe et de secours.

P_n : nombre de la population

En divisant chaque membre par P_n , l'équation devient : $c_n (S/P_n) = b$

(S/P_n) représente la superficie des cultures vivrières par habitant et peut se noter S_{P_n} . Elle est en moyenne de $0,26 \text{ ha habitant}^{-1}$ dans l'Ouémé supérieur.

En considérant constante la superficie agricole totale exploitée par une population en croissance, la superficie agricole par habitant diminue dans le temps et est donnée par l'équation : $S_{P_n} = S_{P_n=0} / (1+s)^n$

où

$1+s$: le multiplicateur du décroissement annuel de la superficie agricole par habitant

s : taux de diminution de la superficie des cultures vivrières par habitant

n : nombre d'années à partir 2000

d'où la productivité agricole C_n est donnée par: $c_n = (b/S_{P_n=0}) * (1+s)^n$

Si le taux (s) de diminution de la superficie agricole par habitant suit celui de l'accroissement de la population (r), alors $s = r$ et la productivité agricole nécessaire pour garantir la sécurité alimentaire sans recours à l'extension des superficies agricoles correspondrait à: $c_n = (b/S_{P_n=0}) * (1+r)^n$

En supposant que la répartition spatiale des cultures respecte les mêmes proportions actuelles (Tab. 64) et que les paysans adoptent au taux t les nouvelles technologies

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

agricoles issues de la recherche, la productivité agricole maximale T (en calories) que peut atteindre chaque hectare cultivé est donnée par la relation,

$$T = t \sum (y_{fi} \cdot s_i)$$

où

t correspond à 60% (FAO, 2003b)

y_{fi} représente la productivité agricole (kcal ha^{-1}) obtenue par la recherche pour un système de cultures i. Elle a été obtenue grâce à l'égalité : $y_{fi} = g_i \cdot y_{pi}$ où g_i est le rapport entre la productivité en station sur la productivité en milieu paysan. Ce rapport est de $3,0 \pm 2,2$ pour le maïs, $2,3 \pm 1,7$ pour le sorgho, $1,3 \pm 0,2$ pour le coton, $1,0 \pm 0,3$ pour l'arachide et de $1,2 \pm 0,2$ pour l'igname (IMPETUS West Africa, 2003)

s_i : facteur de pondération tenant compte de la superficie occupée par le système de culture i

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

Tab. 64: Productions potentielles des principaux systèmes de cultures intensifiés dans l'Ouémé supérieur

Productions	Unité	Igname	Manioc	Sorgho	Maïs	Sorgho+Maïs	riz	Légumin.	Moyenne
Doguè									
Production calorique	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	10,55	11,21		7,89	12,93	4,19	1,93	8,12
Production protéique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	188,66	130,21		233,26	317,46	106,70	215,69	198,70
Production lipidique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	18,91	7,67		104,85	66,57	26,69	100,45	54,19
Superficie par hectare cultivé	(ha)	0,17	0,08		0,14	0,10	0,05	0,09	0,63
Production calorique pondérée	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,79	0,90		1,10	1,29	0,21	0,17	5,47
Production protéique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	32,07	10,44		32,66	31,75	5,34	19,41	131,66
Production lipidique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	3,21	0,61		14,68	6,66	1,33	9,04	35,54
Sérou									
Production calorique	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	6,26	6,53	4,46	9,64	9,18	2,52	4,36	6,13
Production protéique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,23	75,97	117,02	265,51	233,35	64,10	275,61	147,54
Production lipidique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,16	4,47	7,15	111,21	76,98	16,03	248,77	66,54
Superficie par hectare cultivé	(ha)	0,20	0,11	0,16	0,11	0,03	0,04	0,16	0,81
Production calorique pondérée	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,25	0,72	0,71	1,06	0,28	0,10	0,70	4,82
Production protéique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	0,25	8,36	18,72	29,21	7,00	2,56	44,10	110,19
Production lipidique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	0,23	0,49	1,14	12,23	2,31	0,64	39,80	56,86
Moyenne pondérée pour l'Ouémé supérieur									
Superficie par hectare cultivé	(ha)	0,10	0,14	0,12	0,17	0,08	0,02	0,07	0,70
Production calorique	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	8,40	8,87	4,46	8,76	11,05	3,36	3,15	6,86
Production calorique pondérée	(10 ⁶ kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)	0,84	1,24	0,54	1,49	0,88	0,07	0,22	5,28
Production protéique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	94,95	103,21	117,02	249,39	275,40	85,40	245,65	167,29
Production protéique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	9,49	14,45	14,04	42,40	22,03	1,71	17,20	121,32
Production lipidique	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	10,04	6,07	7,15	108,03	71,78	21,36	174,61	57,00
Production lipidique pondérée	(10 ³ g ha ⁻¹ an ⁻¹)	1,00	0,85	0,86	18,37	5,74	0,43	12,22	39,47

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

A partir du moment (après n années) où la productivité agricole c_n atteint la valeur de T soit 6,9 millions kcal ha⁻¹ (**Tab. 65**), cela signifie que la technologie agricole seule sans l'extension des superficies cultivées ne serait plus à mesure de supporter la sécurité alimentaire de la population. L'égalité $c_n=T$ ci-dessous permet maintenant de calculer à partir de quel moment d'autres stratégies de développement rural sont indispensables afin de maintenir le même niveau de sécurité alimentaire si on décide de maintenir la superficie agricole totale constante.

$$c_n = (b/S_{Pn=0})^*(1+r)^n = T$$

d'où

$$(1+r)^n = T^*(S_{Pn=0}/b)$$

$$n = \frac{\ln(T) + \ln(S_{Pn=0}) - \ln(b)}{\ln(1+r)}$$

En maintenant constante la superficie totale actuellement cultivée au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, l'intensification progressive de l'agriculture pourrait maintenir le même niveau de disponibilité des denrées alimentaires pour couvrir les besoins énergétiques jusqu'en 2015 et 2024 respectivement pour des taux d'accroissement démographique de 4,9 et 3,0% (Tab. 65, Fig. 51). La productivité maximale que peut atteindre l'agriculteur en adoptant à 60% les technologies de la recherche agricole correspond à 6.864.221 kcal ha⁻¹ an⁻¹. La superficie agricole exploitée par habitant aurait atteint son seuil minimal de 0.13 ha habitant (soit une charge de 8 personnes par hectare) le seuil qui correspond à la superficie cultivée par habitant dans le cas des systèmes de production à technologie modérée (FAO, 1991 cité par GYASI & UITTO, 1997).

7. Situation alimentaire et perspectives d'avenir

Tab. 65: Seuils limites de la superficie des cultures vivrières par habitant et de la capacité de charge humaine des terres en cas d'intensification agricole

Année	c_n (10^6 kcal ha ⁻¹ an ⁻¹)		S_{pn} (ha pers. ⁻¹)		CCHT (pers. ha ⁻¹)	
	r = 4,9%	r = 3,0%	r = 4,9%	r = 3,0%	r = 4,9%	r = 3,0%
2000	3,4	3,4	0,26	0,26	3,9	3,9
2001	3,5	3,5	0,24	0,25	4,1	4,0
2002	3,7	3,6	0,23	0,24	4,3	4,2
2003	3,9	3,7	0,22	0,23	4,5	4,3
2004	4,1	3,8	0,21	0,23	4,7	4,4
2005	4,3	3,9	0,20	0,22	5,0	4,5
2006	4,5	4,0	0,19	0,21	5,2	4,7
2007	4,7	4,1	0,18	0,21	5,5	4,8
2008	4,9	4,3	0,17	0,20	5,7	5,0
2009	5,2	4,4	0,17	0,20	6,0	5,1
2010	5,4	4,5	0,16	0,19	6,3	5,3
2011	5,7	4,7	0,15	0,18	6,6	5,4
2012	6,0	4,8	0,14	0,18	7,0	5,6
2013	6,3	5,0	0,14	0,17	7,3	5,8
2014	6,6	5,1	0,13	0,17	7,7	5,9
2015	6,9	5,3	0,12	0,16	8,0	6,1
2016	6,9	5,4	0,12	0,16	8,4	6,3
2017	6,9	5,6	0,11	0,15	8,8	6,5
2018	6,9	5,7	0,11	0,15	9,3	6,7
2019	6,9	5,9	0,10	0,15	9,7	6,9
2020	6,9	6,1	0,10	0,14	10,2	7,1
2021	6,9	6,3	0,09	0,14	10,7	7,3
2022	6,9	6,5	0,09	0,13	11,2	7,5
2023	6,9	6,7	0,08	0,13	11,8	7,7
2024	6,9	6,9	0,08	0,13	12,4	8,0
2025	6,9	6,9	0,08	0,12	13,0	8,2

En réduisant le taux d'accroissement de la population jusqu'à 3% et en adoptant une politique d'intensification de l'agriculture, la superficie agricole actuellement exploitée pourrait encore nourrir, sans faire recours à l'extension des superficies, la population de l'Ouémé supérieur jusqu'en 2024 (Tab. 65, Fig. 51).

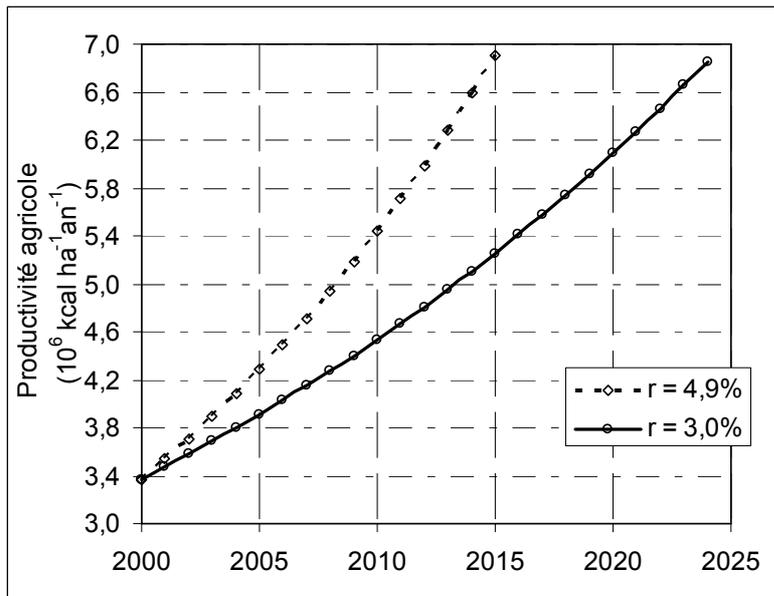


Fig. 51: Possibilités d'ajustement de la productivité agricole sous la contrainte d'une superficie agricole constante et de l'accroissement démographique

7.5. Conclusion

Sans considération des disparités de besoins alimentaires et des productions agricoles qui existent entre les individus, les exploitations agricoles familiales et les villages, les besoins caloriques et protéiques étaient respectivement couverts à 120 et 160% en 2000 dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur. Cependant, la couverture des besoins lipidiques (56%) affiche un important déficit alimentaire. Jusqu'en 2020, à cause particulièrement de la prise d'importance de la culture du maïs, même dans le cas du scénario pessimiste, les besoins caloriques et protéiques seraient toujours couverts à plus de 100% et la couverture des besoins lipidiques (62%) connaîtrait une amélioration. L'importance des cultures dans la sécurité alimentaire change avec la disponibilité des terres. Au moment où les tubercules constituent une importante source alimentaire dans les villages moins peuplés, l'importance des céréales et légumineuses augmente avec la raréfaction des terres. Autres innovations dans les systèmes de production permettent aux agriculteurs de l'Ouémé supérieur d'adapter la capacité de charge humaine des terres à la charge humaine réelle. Cependant, à long terme, les changements technologiques seuls ne pourront pas supporter la demande des denrées alimentaires croissante.

8. Conclusions et recommandations générales

8.1. Conclusions générales

8.1.1. Systèmes de production agricole et utilisation du terroir (objectif 1)

Les systèmes de production agricole actuels du bassin versant de l'Ouémé supérieur sont dominés par des systèmes itinérants avec tendance vers des systèmes à jachères dans les villages où la pression démographique se fait de plus en plus sentir. La durée d'exploitation des parcelles se situe en moyenne autour de 4-5 ans et celle des jachères varie différemment de 5 à 20 ans. L'igname reste la principale culture venant en tête de rotation des cultures.

Du fait de la durée des jachères qui est encore assez longue, ces systèmes sont caractérisés par des rendements agricoles relativement élevés. Toutefois, cette évaluation tient compte de la faible performance variétale (par ex. faible indice de récolte) et de l'absence d'utilisation de technologies d'intensification agricole (par ex. fertilisation minérale et ou organique).

En conformité avec l'hypothèse 1, l'absence de techniques de conservation (techniques de lutte contre l'érosion) et d'amélioration de la fertilité des sols (notamment par la fertilisation minérale et ou organique) conduit à une baisse rapide de la productivité agricole à partir de la quatrième année d'exploitation. Les parcelles sont alors laissées sous jachère et d'autres sont nouvellement défrichées au détriment généralement des formations naturelles qui diminuent environ de 2 à 3% par an. A part les systèmes de cultures à base de coton et ceux à base d'igname qui sont particulièrement responsables de la conquête de nouvelles terres, la prise d'importance des plantations d'anacardier renforce également la déforestation dans les villages où le droit foncier autorise encore aux autochtones l'extension illimitée de ces plantations.

L'intensification agricole qui se limite à l'utilisation des semences améliorées, au respect du calendrier cultural, à la fertilisation minérale et à l'utilisation des pesticides se fait exclusivement autour de la culture du coton et partiellement autour du maïs. Bien que la culture du coton constitue une des principales sources de revenus

8. Conclusions et recommandations générales

monétaires des agriculteurs, elle est également à la base de la déforestation et de la rupture des systèmes de rotation des cultures. Les autres cultures (igname, manioc, sorgho, arachide, haricot, voandzou) ne bénéficient d'aucune technologie d'intensification agricole. Toutes ces cultures (sauf le coton) sont généralement cultivées en différentes associations.

Les plantations d'anacardiens connaissent une augmentation importante dans les villages disposant encore assez de terres. Cette augmentation s'explique d'une part par l'importance économique de l'anacardier et d'autre part partiellement par une stratégie paysanne d'occuper durablement les terres. Comme culture d'exportation, l'anacardier est plus préféré au coton par les agriculteurs. En effet, c'est une culture dont les besoins en main d'oeuvre sont échelonnés tout au long de l'année alors que les besoins en main d'oeuvre pour le coton sont concentrés en une courte période. De plus, l'anacardier ne bénéficie pas encore d'aucune technologie d'intensification qui, dans le cas du coton, exige un capital pour l'achat des intrants agricoles. Bien que les plantations d'anacardiens constituent des systèmes d'utilisation durables des parcelles, l'extension de leurs superficies est cependant réalisée au détriment des jachères et par conséquent des formations naturelles.

Les systèmes de production agricole du bassin versant de l'Ouémé supérieur sont en outre caractérisés par la présence de pieds d'arbres naturels et plus particulièrement ceux de karité et de néré. Ce genre d'agroforesterie naturelle est cependant en difficulté. En effet, avec la pression démographique sur la terre et l'intensification de la culture du coton, le nombre d'arbres par unité de superficie est en diminution continue.

A part les systèmes de cultures à base de légumineuses caractérisés par de faibles productions en biomasse, les autres systèmes notamment les systèmes à base de céréales et de tubercules atteignent des rendements en biomasse assez importants. Toutefois, les techniques conservacionistes de gestion de la biomasse n'existent quasiment pas. Cela conduit à un appauvrissement rapide des sols en matière organique et aux émissions de carbone. Non seulement les résidus des récoltes mais également de grandes quantités de biomasse sont brûlés au cours des défrichements. Cependant, des signes précurseurs d'une bonne gestion de la

8. Conclusions et recommandations générales

biomasse s'observent timidement dans les villages (Sérou, Anwala) où la dégradation des sols devient de plus en plus importante. Certains agriculteurs de ces villages enfouissent par exemple les herbes dans le sol notamment dans les buttes d'igname plutôt que de les brûler.

Excepté de rares cas de techniques de labour, tels que les billons disposés perpendiculairement à la pente ou des buttes d'igname disposées en quinconce, les autres techniques de gestion d'eau (paillage, haies vives, fossés anti-érosifs...) sur la parcelle sont quasi inexistantes. Cela occasionne l'érosion pluviale des parcelles qui est responsable de la dégradation des sols.

Toujours dans les villages où la dégradation des sols se remarque, les agriculteurs développent des innovations qui à la fois leur permettent de garder l'eau plus longtemps sur la parcelle mais également de l'utiliser rationnellement. Ainsi par exemple la plupart des agriculteurs de Sérou disposent les buttes d'igname en quinconce. Cette disposition crée entre quatre buttes d'igname une dépression à l'intérieur de laquelle s'accumule non seulement l'eau mais également de la terre fine chargée en éléments nutritifs. A l'intérieur ou autour de cette dépression, les agriculteurs y sèment différentes cultures compte tenu de leurs exigences hydriques respectives. Ces innovations s'observent également autour de la culture d'igname où quatre à cinq semaines après la germination de l'igname, la tige est enroulée autour de la butte. Cette technique permet à la plante de donner beaucoup plus de rejets dans tous les sens et de couvrir rapidement la butte. Non seulement la butte est ainsi protégée contre l'érosion mais également l'infiltration d'eau de pluie est améliorée et les pertes d'eau par évaporation sont réduites.

Dans les bas-fonds (un grand potentiel pour la production du riz et des légumes dans l'avenir) où l'on produit particulièrement du riz inondé, les techniques actuelles de gestion d'eau au niveau de la parcelle n'y permettent pas non plus de garder longtemps l'eau sur la parcelle. Un des grands handicaps est l'absence d'aménagements adéquats notamment le nivellement des parcelles. Dans des rizières où il n'existe pas de digues et où l'eau ruisselle sans aucun obstacle, il est irrationnel d'y introduire la fertilisation minérale.

8. Conclusions et recommandations générales

Dans une agriculture de subsistance comme celle du bassin versant de l'Ouémé supérieur, l'extension des superficies agricoles évolue particulièrement en fonction des besoins alimentaires de la population. Les besoins en superficie agricole sont déterminés par la croissance démographique et par la productivité agricole. Cette dernière est influencée non seulement par les technologies de production agricole mais également par la variabilité saisonnière des précipitations.

L'extension des superficies agricoles s'accompagne d'une dégradation des ressources naturelles. Cinq phases d'évolution de l'extension des superficies agricoles et de la dégradation des ressources naturelles ont été définies (Equilibre écologique, Rupture de l'équilibre écologique, Dégradation écologique, Insécurité alimentaire, Misère et dégradation hydrologique irréversible). Actuellement le Village de Doguè et celui de Sérrou représentent respectivement la phase de Rupture de l'équilibre écologique et celle de la Dégradation écologique au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur.

En 2020 l'extension des superficies agricoles et la dégradation des ressources naturelles dans l'ensemble du bassin versant de l'Ouémé supérieur pourraient se situer dans la phase d'insécurité alimentaire structurelle si aucune mesure n'est entreprise pour intensifier l'agriculture et réduire la croissance de la pression démographique sur les terres. Même en cas de persistance de la variabilité saisonnière des précipitations, l'intensification agricole reste la principale stratégie de réduction de l'extension des superficies agricoles et de limitation de la dégradation des ressources naturelles. Toutefois, pour le long terme, cette intensification doit être soutenue par un développement économique et social effectif afin de diminuer la population rurale vivant exclusivement de l'agriculture.

8.1.2. Dynamique et dégradation des écosystèmes (objectif 5)

L'indice foliaire reste un important paramètre utilisé dans les différents modèles écologiques. Cependant, il ne donne pas de renseignements suffisants sur la dégradation des écosystèmes. En lui associant le poids spécifique foliaire, il est possible d'améliorer son importance dans l'analyse des différents écosystèmes notamment dans l'estimation de la production primaire nette. La production primaire nette facilement estimable sur base notamment de la production foliaire ne permet

8. Conclusions et recommandations générales

non plus d'évaluer les différents écosystèmes compte tenu de leur degré de dégradation. Confirmant l'hypothèse 5, ce sont plutôt la phytomasse totale, le biovolume et l'écovolume qui montrent bien le gradient de dégradation des écosystèmes naturelles aux superficies cultivées. Les équations de BROWN & GASTON (2001) sont appropriées pour l'estimation de la phytomasse en fonction de la démographie.

La litière constitue également un facteur écologique non moins important dans l'analyse des écosystèmes. La chute de la litière est beaucoup plus importante entre octobre et février. Quant à la décomposition de la litière au sol, elle est plus importante pendant la saison pluvieuse, plus particulièrement en juillet et en août pendant laquelle les valeurs de la respiration du sol sont également les plus élevées. Sans considération des résidus de récoltes, la chute de la litière peut également constituer un facteur écologique d'évaluation de la dynamique des écosystèmes.

Le Biovolume et l'Ecovolume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) définis dans ce travail comme étant respectivement l'espace colonisé par une végétation et l'espace couvert par cette végétation sont des paramètres écologiques qui renseignent sur la dégradation des écosystèmes. Les valeurs de ces paramètres et plus particulièrement celles de l'écovolume montrent une diminution drastique lorsqu'on passe d'un écosystème naturel à un écosystème perturbé. L'utilisation actuelle du terroir du bassin versant de l'Ouémé supérieur pourrait conduire d'ici 2020 à une diminution de 57% de l'écovolume passant de $115.386 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ en 2000 à $49.862 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ en 2020.

8.1.3. Séquestration et émissions du carbone (objectifs 2 et 3)

Les systèmes de production agricole actuels se caractérisent par l'extension continue des superficies agricoles. En accord avec l'hypothèse 3, cette extension s'accompagne d'émissions de carbone dues principalement à la destruction de la phytomasse par les feux et à l'accélération de la décomposition de la matière organique dans le sol. Ces émissions de carbone contribuent au réchauffement global de la terre qui est vraisemblablement à la base des changements climatiques caractérisés entre autre par la variabilité saisonnière des précipitations. Cette dernière

8. Conclusions et recommandations générales

renforce à son tour l'extension des superficies agricoles et le cycle de l'impact réciproque est ainsi fermé.

Parmi les caractéristiques des systèmes de production agricole actuels figurent également les feux de brousse. Sans considération de l'appauvrissement des sols en matière organique qu'occasionnent ces feux, leur impact (en détruisant principalement la strate herbacée) sur les émissions globales du carbone est plutôt négligeable. En effet, la quantité de carbone fixée annuellement par les plantes dépasse celle émise au cours de la combustion. Toutefois, les feux de brousse précoces qui sont réalisés au moment où la biomasse n'est pas suffisamment sèche se caractérisent par une combustion incomplète. Les émissions de carbone sont dans ce cas-ci constituées d'autres formes de carbone que le CO₂ qui ne seront jamais fixées par les plantes au cours de la photosynthèse. Une prohibition des feux de brousse constitue cependant une potentialité importante pour améliorer la séquestration du carbone dans les écosystèmes.

Les émissions du carbone par la respiration du sol représentent la majeure partie de toutes les émissions du carbone par différents écosystèmes du bassin versant de l'Ouémé supérieur. La respiration est particulièrement plus intense dans les écosystèmes bien protégés contre les feux de brousses où il n'y a aucune destruction de la litière au sol par les feux. Les valeurs élevées de la respiration ont été obtenues pendant la saison des pluies alors que pendant la saison sèche où l'humidité du sol est faible, ces valeurs sont les plus basses. Compte tenu de la faible variation des températures au cours de toute l'année, l'humidité et la matière organique du sol semblent être les principaux facteurs régissant l'émission du CO₂ par le sol dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur.

Confirmant l'hypothèse 2, du fait de l'importance des feux de brousse sur toutes les superficies non cultivées, les différents écosystèmes ne présentent aucune différence significative quant à leur stock de carbone dans le sol. Seul le carbone stocké dans la phytomasse détermine la différence entre les différents écosystèmes. La phytomasse totale est particulièrement très élevée dans les écosystèmes disposant encore assez d'arbres d'où l'importance de leur conservation.

8. Conclusions et recommandations générales

Jusqu'en 2020 et en l'absence de toute intensification agricole, les émissions du carbone par les écosystèmes seront beaucoup influencées par l'extension des superficies agricoles qui s'accompagne particulièrement d'une destruction de la phytomasse des arbres. Par contre, les émissions du carbone dues aux feux de brousse pourraient être réduites suite à l'importance des superficies sous cultures et à la prise de conscience par les agriculteurs de l'importance de la gestion de la matière organique pour la conservation et l'amélioration de la fertilité des sols.

8.1.4. Situation alimentaire et perspectives d'avenir (objectif 4)

En accord avec l'hypothèse 4, les valeurs des taux de couverture des besoins caloriques et protéiques de la population du bassin de l'Ouémé supérieur jusqu'en 2020 montrent l'assurance d'une sécurité alimentaire dans cette zone du Bénin. Par contre, les besoins en lipides ne sont couverts qu'à 72%. Il semble que les agriculteurs dans leurs systèmes de production agricoles visent intuitivement la maximisation de la production des calories ce qui explique en partie l'importance de l'igname. Cependant, avec la réduction de la superficie cultivée par habitant, les légumineuses qui sont plus riches en lipides et protéines deviennent de plus en plus importantes dans les systèmes de production agricoles.

En considérant à la fois la couverture des besoins en calories, en protéines et en lipides, l'alimentation des villages à faible superficie cultivée par habitant est relativement bien équilibrée que dans les villages où la pression démographique sur les terres est encore très faible. Les agriculteurs qui ne disposent plus d'assez de terres cherchent (intuitivement) non seulement à garantir la couverture des besoins caloriques mais également à améliorer celle des besoins lipidiques. Par contre ceux qui disposent encore d'assez de terres se contentent (intuitivement) uniquement de garantir la couverture des besoins caloriques. Toutefois, les agriculteurs des villages où la pression démographique se fait de plus en plus sentir sont beaucoup plus exposés aux disettes en cas de variabilité saisonnière des précipitations. En effet, non seulement ces agriculteurs n'ont pas la possibilité de faire l'extension des superficies agricoles mais également ils ne disposent pas d'assez de stocks alimentaires en cas d'aléas climatiques.

8. Conclusions et recommandations générales

D'ici 2020, l'insuffisance sporadique des denrées alimentaires occasionnées particulièrement par la variabilité saisonnière des précipitations jusqu'alors localisée dans quelques villages, pourrait s'étendre sur une grande partie du bassin versant de l'Ouémé supérieur si les systèmes de production agricoles restaient tels qu'ils sont actuellement. La stratégie d'extension des superficies agricoles utilisée ailleurs pour faire face à la variabilité des précipitations pourrait être confrontée à l'insuffisance de la main-d'œuvre actuellement observée dans plusieurs exploitations agricoles familiales.

8.2. Recommandations générales

1. Afin de faire face à l'extension continue des superficies agricoles, les technologies d'intensification agricoles devraient être portées à la connaissance des agriculteurs. Ces technologies concernent particulièrement la lutte contre l'érosion et l'aménagement des bas-fonds, la production et la gestion de la biomasse, la fertilisation minérale et organique ainsi que l'utilisation des semences plus performantes. Toutefois, ces technologies seraient difficilement adoptées par les agriculteurs si le régime foncier actuel n'était pas modifié afin de contraindre les agriculteurs à utiliser durablement et rationnellement leurs parcelles. De plus, les possibilités de commercialisation des produits agricoles constituent également une condition indispensable de motivation des agriculteurs pour l'adoption de ces technologies d'intensification agricole.
2. Même si peu de recherches agricoles sur les technologies d'intensification agricole ont été jusqu'à présent réalisées au niveau du bassin versant de l'Ouémé supérieur, il n'est toujours pas indispensable de refaire les mêmes recherches qui pourtant ont été conduites dans d'autres régions dont les conditions sont similaires à celles du bassin versant de l'Ouémé supérieur. L'urgence est la capitalisation de toutes ces technologies et leur mise à la disposition des agriculteurs. La recherche devrait par conséquent être celle de l'adaptabilité où l'implication de la vulgarisation devrait également jouer un grand rôle.

8. Conclusions et recommandations générales

3. Les structures d'encadrement agricole qui en principe devraient assurer la vulgarisation et l'appui à la production agricole s'occupent presque exclusivement de la culture du coton et ne sont même pas présentes dans plusieurs villages. Pour pallier à cette situation, ces structures devraient être dotées de moyens suffisants afin d'atteindre tous les villages dont les agriculteurs devraient à leur tour s'organiser afin de constituer de partenaires actifs.
4. Afin de garantir la sécurité alimentaire de la population même en cas de persistance de la variabilité saisonnière des précipitations, les bas-fonds du bassin versant de l'Ouémé supérieur qui constituent particulièrement un grand potentiel pour la production des légumes et du riz devraient être correctement aménagés et exploités.
5. La production et la gestion de la biomasse reste l'axe pivot de toute stratégie de séquestration du carbone dans les différents écosystèmes. Les différents utilisateurs des terroirs devraient apprendre et utiliser les techniques de production et de gestion de la biomasse.
6. La surface terrière, la biomasse totale, le biovolume et l'écovolume constituent les principaux paramètres écologiques d'évaluation de la dégradation des écosystèmes. Sur base des résultats de l'évolution de ces paramètres obtenus dans le cadre de la présente étude, une étude sur la prédiction des précipitations serait très importante pour mieux comprendre le rôle de la gestion des terroirs dans les changements climatiques.
7. L'introduction d'une agroforesterie « moderne » doit prendre en compte les essences traditionnelles tels sont le karité et le néré habituellement associées aux cultures. Une attention particulière devrait être particulièrement apportée au karité qui joue un important et multiple rôle (économique, écologique, social) mais confronté à une forte déforestation. La promotion et la commercialisation du beurre de karité pourrait constituer une stratégie pour la conservation de cette essence forestière importante dans la zone du bassin versant de l'Ouémé supérieur.

8. Conclusions et recommandations générales

8. Plutôt que d'adapter les données aux modèles agricoles qui ne tiennent généralement pas compte de la diversité des systèmes de cultures, les chercheurs devraient s'atteler à développer ou adapter les modèles se rapprochant de la réalité paysanne.

Références bibliographiques

AGBAHUNGBA, G.; SOKPON, N. & GANDE GAOUE, O. (2001). Situation des ressources génétiques forestières du Bénin. Atelier sous-régional

FAO/IPGRI/ICRAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne (Ouagadougou, 22-24 sept. 1998).

http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/004/AB395F/ab395f03.htm [15.02.2005]

AGOSSOU, V. (1983). Les sols béninois et leurs potentialités agricoles. – CENAP, Etude N° 260, Cotonou, 11 p.

ALLAN, W. (1965). The African husbandman. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK. 503 p.

ANDRIESSE, J.P.(1988). Nature and Management of Tropical Peat Soils; FAO soils Bulletin 59, Rome, 178 p.

ATEGBO, E.A.D. (1993). Food and nutrition insecurity in northern Benin. Impact on growth performance of children and on year to year nutritional status of adults. Wageningen

BAHUCHET, S. (1994). Situation des populations indigènes des forêts denses et humides. Bruxelles, Commission européenne, document, 512 p.
http://lucy.ukc.ac.uk/Sonja/RF/Frpr/prfr_t.htm [11.10.2004]

BAKO-ARIFARI, N.; DOEVENSPECK, D. & SINGER, U. (2004). Politique locale et stratégies de mobilisation de ressources financières à l'échelle communale au Bénin. Série :Décentralisation et gouvernance locale. Bulletin 357.

BAUDOIN, J.P. (2001). Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2001 5 (4), p. 221-230

BEETS, W. C. (1990). Raising and sustaining productivity of smallholder farming systems in the Tropics. A handbook of sustainable agricultural development. Alkmaar/Holland; 738 p.

BENNEH, G. ; MORGAN, W.B. & UITTO, J.I. (1996). Sustaining the future: Eocomic, social, and Environment change in Sub-Sahara Africa. United Nations University Press; Tokyo/Japan; 380 p.

BERSCHEL, P.; KÜNSTEN, E. & LARSON, B. C. (1993). Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. Forstliche Forschungsberichte München, Nr 126

BEZY, F. (1990). Rwanda 1962 – 1989: Bilan socio-économique d'un régime. Institut d'Etudes du Développement, Université Catholique de Louvain, 52 p.

BIENVENIDO O. J. (1994). Le riz dans la nutrition humaine, Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26; 184 p.

BIERSCHENK, T. & FORSTER, R. (2004). L'organisation sociale des Peuls dans l'est de l'Atacora (République du Bénin, communes de Kouandé, Pehonco et Kérou); Arbeitspapiere/Working papers Nr. 46; Mainz, 94 p.

BILTONEN, E. AND DALTON, J. A. (2003) . Water-Poverty Accounting Framework: Analyzing the Water-Poverty Link. In: Water International, Vol.28 , No.4, December 2003

BIRCH, H.F. & FRIEND, M.T. (1956). The organic matter and nitrogen status of East African soils. Journal of the Soil Science Society of America, 7, p. 156–167

BIRD, M.I., VEENENDAAL, E.M., MOYO, C., LLOYD, J. & FROST, P. (2000). Effect of fire and soil texture on soil carbon in sub-humid savanna (Matopos, Zimbabwe). Geoderma 94: p. 71-90

BISHOP, J. (1984): The dynamics of the shifting cultivation, rural poor, cattle complex on marginal lands in the humid tropics. In: JACKSON, J.K.: Social, Economic, and Institutional Aspects of Agro-forestry; United Nations University Press; Tokyo-Japan; 105 p.

BLANKE, M. (1996). Soil respiration in apple orchard. Environmental and Experimental Botany 36, p. 338-348

BONKOUNGOU, E.G. (1996). Drought, desertification, and water management in Sub-Saharan Africa. Sustaining the future. Economic, social, and environmental change in Sub-Saharan Africa. United Nations University; Tokyo

BOSC, A. & MARCON, E. (2002). Etude des liens entre la respiration du sol et la productivité primaire.

<http://kourou.cirad.fr/umr/enseignement/fth2002/projets/respiration/presentation.pdf> [12.01.2005]

BOSC, A. & MARCON, E. (2002). Respiration du sol. Recherche de facteurs explicatifs de la respiration du sol dans la forêt de Paracou; CIRAD-Module Forêt Tropicale Humides 2002 ; Guyane Française; 23 p.

BOSERUP, E. (1965): The Conditions of Agricultural Growth. The economics of agrarian change under population pressure; London; 124 p.

BRAISSANT, O.; CAILLEAU, G.; ARAGNO, M. & VERRECCHIA, E.P. (2004). Biologically induced mineralization in the tree *Milicia excelsa* (Moraceae) : its causes and consequences to the environment. Geobiology (2004), 2, p.59-66

BRAUN-BLANQUET, J. (1928). Pflanzensoziologie, Edit. 1, Julius Springer, Berlin, 330 p

Références bibliographiques

- BROSE, A. (1998). Messungen der Bodenatmung – konzeptionelle Überlegungen und Beispiele zu den Methoden und Auswertungsmöglichkeiten. Heft 27, Dissertation, Technische Universität Berlin, 105 p.
- BROWN, S. & GASTON, G. (1996 revised for the web: 2001). Tropical Africa: Land Use, Biomass, and Carbon Estimates for 1980; Urban, Illinois, USA.
<http://cdiac.esd.ornl.gov/epubs/ndp/ndp055/ndp055.html> [11.08.2003]
- BROWN, S. (2004). Carbon sequestration by forests. Winrock International; Curitiba, Brazil, August 25, 2004
http://www.ambiente.sp.gov.br/mata_ciliar/workshop/1_Brazil_SaoPaulo_2_8_27_04.pdf [03.02.2005]
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1999). Schutz und Bewirtschaftung der Tropenwälder. Tropenwaldbericht der Bundesregierung; 6. Bericht; Bonn
- BURRAS, L.; CHENG, H.H.; KIMBLE, J.M.; LAL, R.; MAUSBACH, J. M.; UEHARA, G.; KISSEL, D. E.; LUXMOORE, R. J.; RICE, C.W. & WILDING, L.P. (2001). Carbon sequestration: Position of the Soil Science Society of America (SSSA)
http://www.soils.org/pdf/pos_paper_carb_seq.pdf [18.08.2004]
- CAHOON, D.R.; STOCKS, Jr. B.; LEVINE, J.S.; COFER III, W.R. & O'NEILL, K.P. (1992). Seasonal distribution of African savanna fires; Reprinted from Nature. Vol 359. 29 October 1992 [http://asd-www.larc.nasa.gov/biomass_burn/season.html] 15.12.2004]
- CANADELL, J.G. (2002). Land use effects on terrestrial carbon sources and sinks. Science in China (Series C) Vol. 45 Supp. October 2002; 9 p.
- CENATEL (2002). Rapport final; Base de données géoréférencées sur l'utilisation agricole des terres au Bénin, Cotonou
- CHEVALIER, A. (1990). Les zones et les provinces botaniques de l'Afrique occidentale française. – C.R. Acad. Sci. p. 1205-1208
- CHOMBART de LAUWE, J.; POITEVIN, J. et TIREZ, J.C. (1963). Nouvelle gestion des exploitations agricoles. Dunod, Paris, 509 p.
- CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.Q.; THOMLINSON, J.R. & NI, J. (2000). Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. Ecological Applications, 11(2), 2001, p. 356-370
- CODJIA, V. (2001). Contribution à l'analyse coût/bénéfice des scénarios de lutte contre les mouches Tsé-Tsé et les Trypanosomoses en Afrique de l'Ouest (Données sur la zone d'étude du Bénin). Rapport de consultation. Agence Internationale de l'Energie Atomique; Vienne/Autriche
<http://www.iaea.org/programmes/nafa/d3/public/annex3-tsetse.pdf> [15.01.2005]

- COGITERRA ET RECYCONSULT (-). Dictionnaire-environnement. Le dictionnaire encyclopédique et multilingue de l'environnement et du développement durable. <http://www.dictionnaire-environnement.com> [31.01.2005]
- COLLINSON, M.P. (1989). Small farmers and technology in Eastern and Southern Africa. *Journal for International Development*, 1 (special issue, The Green Revolution in Africa), p. 66–83
- DANSI, A.; VERNIER, P. & MARCHAND, J.L. (2003). Les variétés d'igname cultivées: Savoir-faire paysan au Bénin. FAO, 50 p.
- DE SCHLIPPÉ, P. (1958). Hackbau in primitiver Waldbrandwirtschaft, ein grundlegendes Problem vieler entwicklungsfähiger Völker in: *Arbeitsgemeinschaft für Rationalisierung des Landes Nordrhein-Westfalen, 1957-59*; p. 30-38
- DECKER, P. (1981). Respiratorische Kohlenstoffverluste und Kohlenstoffbilanz einer alpine Grasheide (*CaricetumCurvulae*). Dissertation, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. 197 p.
- DEEP NARAYAN, P.; GUPTA, A.K., ET ANDERSON, D.M. (2003). Rainwater Harvesting as an Adaptation to Climate Change. <http://dlc.dlib.indiana.edu/archive/00001226/> [20.01.2005]
- DEGRAS L. (1986). L'igname, plante à tubercule tropicale. Collection Techniques agricoles et productions tropicales; Paris
- DELVILLE, P.L (2003). Options de sécurisation foncière en milieu rural, Forum régional sur le développement durable et le foncier rural au Sahel et en Afrique de l'Ouest, Bamako, 17-21 Novembre 2003
- DENIS, M. (2002). Etude de l'évolution de l'utilisation du terroir dans le bassin versant du Haut-Ouémé supérieur au Bénin. Mémoire. Institut supérieur industriel Huy-Gembloux. 98 p.
- DEVINEAU, J. L. (1984). Structure et dynamique de quelques forêts tropicales de l'ouest africain (Côte d'Ivoire)
- DIXON, J.; GULLIVER, A. & GIBBON, D. (2001). Farming systems and poverty: Improving farmers' livelihoods in a changing world. World Bank/FAO, Rome, Italy.
- DOEVENSPECK, M. (2004). Migration im ländlichen Benin. Sozialgeographische Untersuchungen an einer afrikanischen Frontier. Dissertation, Universität Bayreuth; 274 p.
- DUVIGNEAUD, P., DENAEYER-DE SMET. S. & MARBAISE, J.L. (1969). Litière totale annuelle et restitution au sol des polyéléments biogènes in *Bulletin de la société royale de Botanique de Belgique*, Tome 102, p. 339-354.
- EHLERS, W. (1996). Wasser in Boden und Pflanze. Dynamik des Wasserhaushaltes als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag; Ulmer; 272 p.

Références bibliographiques

EVANS, L.T. (1975). Crop physiology: some case histories. Cambridge University Press, London; 374 p.

FALKENMARK, M. (1989). Comparative hydrology an ecological approach to land and water resources. Unisco, Paris. 479 p.

FALKENMARK, M. (1997). Meeting water requirements of an expanding world population. Phil. Trans. R. Soc. London B. 352, p. 929-936.

FAO (1980). Cartes d'aptitude des sols pour la culture du mil, manioc, maïs, arachide, igname et du coton. Feuille Centre et feuille Nord. Projet agro-pédologique (FAO – PNUD)

FAO (1985): Integrating crops and livestock in West Africa. FAO animal production and health paper 41, Rome-Italy

FAO (1991). Production Vol. 45. Collection FAO: Statistiques N° 104. Rome

FAO (1994). Le travail du sol pour une agriculture durable. Cours de formation, 4-13 juillet 1994 Niamey, Niger

FAO (1995). Land and water integration and river basin management. Proceedings of an FAO informal workshop; Rome; 31 January – 2 February 1993

FAO (2001a). Soil fertility management in support of food security in sub-Saharan Africa; Rome

FAO (2001b). Deforestation continues at a high rate in tropical areas; FAO calls upon countries to fight forest crime and corruption. Press Release 01/61

FAO (2002b). Agriculture mondiale: horizon 2015/2030; Rapport abrégé; Rome

FAO (2002a). La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleur. Rapport sur les ressources en sols du monde; 96; 71 p.

FAO (2002). Quatorzième Réunion du Sous-Comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. Abomey, Bénin, 9-13 octobre 2000 <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y3948F/y3948f00.htm#toc> [17.05.04]

FAO (2003b). Economie de l'agriculture de conservation ; Rome/Italie ; 71 p.

FAO (2003a). Optimizing soil moisture for plant production. The significance of soil porosity.

FAO soils Bulletin 79; Rome, 125 p.

FAO (2004). Compendium of food and agriculture indicators. Country: Benin; http://www.fao.org/es/ess/compendium_2004/pdf/ESS_BEN.pdf [12.02.2005]

Références bibliographiques

- FAO, (-). La gestion des éléments nutritifs du sol.
<http://www.fao.org/ag/fr/magazine/spot3.htm> [12.01.2005]
- FAO/FOP (2005). State of the World's Forests (SOFO), Rome/Italie, 166 p.
- FAO/SMIAR (2001). Benin: Présentation générale.
<http://www.fao.org/giews/french/basedocs/ben/bengen1f.stm#15> [16.11.2004]
- FAß, T. (2004). Hydrologie im Aguima-Einzugsgebiet in Benin / Westafrika.
Universität Bonn
- FAUBERT, P. (2004). The effect of long-term water level drawdown on the vegetation composition and CO₂ fluxes of a boreal peatland in central Finland;
Université Laval
- FELDPAUSCH, T.R.; RONDON, M.A.; FERNANDES, E.C.M.; RIHA, S.J. & WANDELLI, E. (2004). Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in Central Amazonia in: Ecological Applications, 14(4) Supplement, 2004, p.164-176
- GIERTZ, S. (2004). Analyse der hydrologischen Prozesse in den sub-humiden Tropen Westafrikas unter besonderer Berücksichtigung der Landnutzung am Beispiel des Aguima-Einzugsgebietes in Benin. Dissertation, Universität Bonn.
http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2004/giertz_simone/ [25.03.05]
- GODEFROY, N.; HAASER, F.; HENNIAUX, S.; MOSSER, N.; STERN, O. & VOGEL, N. (-). Changement climatique et hydrologie;
http://www.enpc.fr/fr/formations/ecole_virt/trav-eleves/cc/cc0102/impacts/impacts.htm [12.02.2005]
- GOLDAMMER, J.G. (1991). Tropical wildland fires and global changes: Prehistoric evidence, present fire regimes, and future trends. In: Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications (J.S. Levine, ed.), 83-91. MIT Press, Cambridge, MA.
- GRANIER, A. (2003). Le site-atelier de Hesse (Moselle) Hêtre. ORE Fonctionnement des Ecosystèmes Forestiers – Rapport 2003; 12 p.
- GREENLAND, D. J. (1996): Choyez la terre: Aménagement des sols pour une agriculture durable et la protection de l'environnement sous les tropiques, FAO, Rome 1996
- GREENLAND, D.J. (1974). Evolution and Development of Different Types of Shifting Cultivation, FAO (1974) L'agriculture itinérante et la conservation des sols en Afrique, Bulletin pédologique no. 24.
- HAMANI, M.A. (2003). Discours d'ouverture du Forum Praia+9: Foncier rural et développement durable au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Bamako, 17-21 novembre 2003; AFP, 18.11.2003

Références bibliographiques

- HARTEMINK, A.E. & O'SULLIVAN, J.N. (2001). Leaf litter decomposition of *Piper aduncum*, *Gliricidia sepium* and *Imperata cylindrica* in the humid lowlands of Papua New Guinea in *Plant and soil* 230: p. 115-124.
- HOOGMOED, W.B. & KLAIJ (1994). Le travail du sol pour une agriculture durable. FAO, Rome/Italie <http://www.fao.org/docrep/W7304F/W7304F00.htm> [08.12.2004]
- IFAD (1991). Projet de développement rural de l'Atacora (101 BE). Résumé du rapport d'évaluation intermédiaire. http://www.ifad.org/evaluation/public_html/eksyst/doc/prj/r101bebf.html [26.05.04]
- IMPETUS WEST AFRICA (2003). Case studies for selected river catchments in different climatic zones. Final Report; Period: 1.5.2000 – 30.4.2003, Cologne/Germany; 156 p.
- IMPETUS WESTAFRIKAPROJEKT (2001). Erster Zwischenbericht ; Zeitraum : 1.5.2000 – 31.12.2000
- INRAB (2000). Rapport annuel, Cotonou/Bénin
- IPCC (1996). Climate change impacts on forests. In: *Climate change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T., M.C. Zinyowera, and R.H. Moss (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 879 p.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reference Manual (Volume 3)
- IPCC (2000a). Special Report on Emissions Scenarios; released for the 6th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change in The Hague, The Netherlands, 13-24 November 2000
- IPCC (2000b). Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. 570 p.
- IPCC (2001). *Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability; Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*; Cambridge University Press, UK. 1000 p.
- IPCC (2003). Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human induced degradation of forests and degradation of other vegetation types; Hayama, Kanagawa, Japan
- JACKSON, J.K. (1984). *Social, Economic, and Institutional Aspects of Agro-forestry*. The United Nations University; Tokyo/Japan; 105 p.

Références bibliographiques

JAMES, W.P.T. & SCHOFIELD, E.C. (1990). Human energy requirements: A manual for Planners and Nutritionists; Oxford, 182 p.

JANICOT, S. (-). Impacts régionaux de El Niño : Afrique de l'Ouest.
http://medias.obs-mip.fr/www/Reseau/Lettre/12/fr/el_nino/impacts_afr_ouest.html
[24.01.2005]

JANSSENS, I. A.; MOUSSEAU, M. ET CEULEMANS, R. (2000). Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Tree Crops in Climate Change and Global Crop Productivity; Mississippi; 488 p.

JANSSENS, M.J.J. (1998). Synthèse agronomique des essais de fertilisation dans la République Démocratique du Congo. Rapport Technique n° 98/1 + CD-ROM, FAO, Rome

JANSSENS, M. J.J. ; DENG, Z. & MULINDABIGWI, V. (2004). Contribution agronomique à la validation des scénarios hydrologiques de l'Ouémé. In: Actes de la Conférence: "La gestion intégrée des ressources hydriques des bassins versants tropicaux », Cotonou 4-6 octobre, 2004, IMPETUS, Direction Générale de l'Hydraulique, Bénin

JANSSENS, M.J.J., ZHIXIN DENG, SONWA, D., TORRICO, J.C., MULINDABIGWI, V. & POHLAN, J. (2004b). Relating agro-climax of orchards to eco-climax of natural vegetation. In: Proc. 7th International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 20-24 June 2004. Copenhagen/Denmark

JARVIS, D.; STHAPIT, B. & SEARS, L. (2000). Conserving agricultural biodiversity in situ: A scientific basis for sustainable agriculture. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

JUDEX, M. (2003). Analyse und Erklärung der Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen im Upper Oueme Catchment (Benin, Westafrika) durch die Verknüpfung von LANDSAT-Daten mit sozioökonomischen Daten. Diplomarbeit; Bonn. 114 p.

JUNGE, B. (2004). Die Böden des oberen Ouémé-Einzugsgebietes in Benin/Westafrika – Pedologie, Klassifizierung, Nutzung und Degradierung. Dissertation, Universität Bonn.

KER, A. (1995). Farming systems of the African savanna. A continent in crisis; Ontario; 176 p.

KESSLER, J.J. (1992). The Influence of Karité (*Vitellaria paradoxa*) and Néré (*Parkia biglobosa*) Trees on Sorghum Production in Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 17, p. 97-118

KIRK, M.; LÖFFLER, U.; ZIMMERMANN, W.; MEYER-RÜHEN & GRÄFEN, C. (1997). Bodenrecht und Bodenordnung. Ein Orientierungsrahmen. GTZ, Eschborn

Références bibliographiques

KNAPP, R. (1973). Die Vegetation von Afrika unter Berücksichtigung von Umwelt, Entwicklung, Wirtschaft, Agrar- und Forstgeographie. – In Walter, H. (Hrsg.): Vegetationsmonographien der einzelnen Großräume, 3, Fischer-Verlag, Stuttgart

KORB, J. & LINSENMAYER, K.E. (2001). Resource availability and distribution patterns, indicators of competition between *Macrotermes bellicosus* and other macro-detritivores in the Comoé National Park, Côte d'Ivoire in: African Journal of Ecology; Vol. 39 Issue 3 Page 257 September 2001

KOWAL, J.M.; KASSAM, A.H. (1978). Agricultural ecology of savanna: a study of West Africa. Clarendon Press, Oxford, UK.

LAL, R. & OKIGBO BEDE, N. (1990). Assessment of soil degradation in the southern states of Nigeria. Environment Working Paper, No. 39, World Bank Sector Policy and Research Staff. Washington, DC: The World Bank.

LAL, R. (1975). Role of mulching techniques in tropical soil and water management; IITA; Ibadan, Nigeria; 38 p.

LAL, R. (1994). Sustainable Land Use Systems and Soil Resilience, dans Greenland, D.J. et Szabolcs, I. (édit), Soil Resilience and Sustainable Land Use, pp. 41-67. CAB-International, Wallingford, RU.

LAL, R. (1996). Tropical deforestation and its impact on soil, environment, and agricultural productivity in: BENNEH, G.; MORGAN, W.B. & UITTO, J.I. (1996). Sustaining the future. Economic, Social, and Environmental Change in Sub-Saharan Africa. United National University Press, Tokyo/Japan; 380 p.

LAL, R. (2002). Soil carbon sequestration in China through agricultural intensification, and restoration of degraded and desertified ecosystems in: Land Degradation & Development 13: 469-478 (2002) <http://www.environmental-expert.com/magazine/wiley/1085-3278/pdf3.pdf> [15.01.2005]

LAMBIN, E.F.; ROUNSEVELL, M.D.A. & GEIST, H.J. (2000). Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? Agriculture, Ecosystems and Environment 82 (2000) 321-331

LATIFF, A; FARIDAH-HANUM, I.; ZAINUDIN IBRAHIM, A. & RAZALI JAMAN (1998). Biomass and Floristics of Sayap-Kinabalu Park, Sabah. ASEAN Review of biodiversity and environmental conservation (ARBEC). 14 p. <http://www.arbec.com.my/pdf/july-1.pdf> [12.10.2004]

Le ROBERT (1993). Le Nouveau Petit Robert. Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue Française; Paris

Le VILLIO, M.; ARROUAYS, D.; DESLAIS, W.; DASOUSSIN, J.; Le BISSONNAIS, Y. & CLERGEOT, D. (2001). Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné in: Étude et Gestion des Sols, Volume 8, 1, 2001 – 47 – 63

Références bibliographiques

- LEJOLY, J. & SINSIN, B. (1991). Structure et valeur pastorale des pâturages soudaniens de bas-fonds dans le nord-Bénin. Actes de la IV^e Conférence Internationale des Terres de Parcours. Montpellier, France, p. 554-557.
- LEVINE, J.S. (1994). Biomass burning and the production of greenhouse gases. In: Zepp, R.G. (ed) 1994. Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change. John Wiley and Sons.
- MA, S. (2003). Interactions between Microclimate, Soil Respiration, and Disturbances in a Forest Ecosystem: Lessons from the Teak Experimental Forest in California's Sierra Nevada. Dissertation. The University of Toledo
- MACDONALD, L.H. (1982). Agro-forestry in the African Humid Tropics. The United Nations University, Tokyo, 1982. 171p.
- MAKUNDI, W.R.L. (1998). Mitigation options in forestry, Land-use change and biomass burning in Africa. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory; 12p.
- MAKUNDI, W.R.L. (1998). Mitigation Options in Forestry, Land-Use Change and Biomass Burning in Africa. Environmental Energy Technologies Division; Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
[http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SHSU5BULGV/\\$File/forestry_africa.pdf](http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SHSU5BULGV/$File/forestry_africa.pdf) [20.01.2005]
- MALASSIS, L. (1975). Agriculture and development process. Tentative guidelines for teaching. The UNESCO Press, Paris
- MAMA, V.J., OREKAN, O.A.V.; HOUNDAGBA, C.J.; AZONTONDE, A.; TONI, E.; AKPASSOUNOU P.; ADAMBIOKOU-AKAKPO, J. & HOUNMENO, A. (1998). La gestion de l'information sur les sols et les eaux pour la sécurité alimentaire au Bénin. Rapport du Bénin. Atelier sous-régional sur la gestion de l'information des sols et des eaux pour la sécurité alimentaire. FAO/CENATEL ; Cotonou, du 07 au 12 décembre 1998
- MBAREK, R.; BEHLE, C.; MULINDABIGWI, V.; SCHOPP, M.; SINGER, U. (2003): Sustainable resource management in Benin embedded in the process of decentralisation. In: Physics and Chemistry of the Earth.
- MAROYA, N; HOUNGNIBO, G.; LAGBADOHOSSOU, A.; DJOGBENOU, S.F.; SOUDE, B. & MONHOUANOU, J. (1999). Projet d'organisation de la filière manioc au Bénin. République du Bénin, Ministère du Développement Rural, Cotonou
- MELILLO, J. M.; HOUGHTON, R. A.; KICKLIGHTER, D. W. & MCGUIRE, A. D. (1996). Tropical deforestation and the global carbon budget. Annual Review of Energy and the Environment, November 1996, Vol. 21: p. 293-310
- MINAGRI (1986). Production agricole en 1987. Bilan d'autosuffisance alimentaire par commune et par habitant ; Kigali/Rwanda , 143 p.

Références bibliographiques

- MINKKINEN, K. & LAINE, J. (1998). Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28 p. 1267-1275
- MISIKA, P. & MWENYA, E. (1998). Conservation tillage with animal traction for soil-water management and environmental sustainability in Namibia. National workshop on conservation tillage with the animal traction for soil-water management and environmental sustainability; Okashama/Namibia <http://www.atnesa.org/contil/contil-misika-management-NA.pdf> [28.11.2004] 5p.
- MOSANGO, M. (1991); Contribution à l'étude botanique et biogéochimique de l'écosystème forêt en région équatoriale (Île Kongolo, Zaïre). *Belgium Journal of Botany* 124 (2) p. 167-194
- MTETWA, L. (1998). Africa as a regional and global source of atmospheric gases and particulates. Ph.D. Thesis; College of William & Mary, Department of Applied Science
- MUELLER, I.; VOUNATSOU, P.; SMITH, T., ALLEN, B.J. (2000). Subsistence agriculture systems and their relations to child growth and nutrition in Papua New Guinea – an application of Bayesian spatial latent models for normal data. In: MUELLER, I: Application and validation of new approaches in spatial analysis as tools in communicable diseases control, health systems and environmental epidemiology in tropical countries. PhD-thesis, Basel, Switzerland. p. 34-54
- MULINDABIGWI, V. (1997). Contribution à l'identification des stratégies de développement agricole au Rwanda, Göttingen
- MULINDABIGWI, V. & JANSSENS, M.J.J. (2002). Influence of Land Use Systems on the organic matter dynamics in the upper Ouémé catchment in Benin, University Kassel, Tropentag, Kassel/Germany
- MULINDABIGWI, V.; THAMM, H.P. & JANSSENS, M.J.J. (2003). Landnutzungssysteme und Emission vom Kohlenstoff im Ouémé-Einzugsgebiet in Benin/Westafrika; Jahrestagung der Afrikagruppe Deutscher Geowissenschaftler, 20. - 21.06.2003, Bonn/Germany
- MÜLLER, E. (2004). Bodenatmung auf der Seebodenalp während der Vegetationsperiode 2003. Diplomarbeit; Universität Bern
- MURAI, S. (1996). Global environment and population carrying capacity in: UITTO, J.I. & ONO, A. (1996). Population, land management, and environmental change. The UNU global environmental Forum IV. The United Nations University; Tokyo/Japan, 90 p.
- NETTING, R.M. (1993): Smallholders, Householders. Farm Families and the Ecology of Intensive, Sustainable Agriculture. Stanford University Press, California. p. 261-319

Références bibliographiques

- NYE, P.H. & GREENLAND, D. J. (1960). The soil under shifting cultivation; Farnham Royal, 156 p.
- OKIGBO BEDE, .N. (1997). Criteria for designing sustainable farming systems in tropical Africa. In: Gyasi, E.A. & Uitto, J. I. (1997): Environment, Biodiversity and Agricultural Change in West Africa. Perspectives from Ghana; United Nations University Press; Tokyo-Japan; chapter 4
- ONIBON, P. (2004). Capitalisation et évaluation des marchés à bétail autogérés au nord du Bénin. Atelier de Ouagadougou « Stratégies et dispositifs d'appui institutionnel aux OP » 8-11 juin 2004, Burkina Faso; 58p
- ORTHMANN, B. (en préparation). Vegetation ecology of a woodland-savanna mosaic in central Benin (West Africa): Ecosystem analysis with a focus on the impact of selective logging; Thèse de doctorat, Université de Rostock
- PARTON, W. J., SANFORD, R. L.; SANCHEZ, P. A. & STEWART, J. W. B. (1989). Modeling soil organic matter dynamics in tropical soils. Pages 153-171, in B. Bohloul, D. Coleman and G. Uehara (eds.). Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. University of Hawaii Press, Honolulu.
- PELISSIER, R.P. (1966). Les paysans du Sénégal. Imprimerie Fabregue, Saint-Yrieix, France.
- PIERI, C. (1989). Fertilité des terres en savanes : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara; Paris, 444p
- PONCE-HERNANDEZ, R. (1999). Assessing the carbon stock and carbon sequestration potential of current and potential land use systems and the economic rationality of land use conversions. pp 77–92 in: Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. World Soil Resources Report 86. FAO, Rome.
- PRESCOTT, C.E.; BLEVINS, L.L. & STALEY, C. (2004). Litter decomposition in British Columbia forests: Controlling factors and influences of forestry activities. BC Journal of Ecosystems and Management 5 (2): 44-57. URL: www.forrex.org/jem/2004/vol5/no2/art6.pdf [15.01.2005]
- REDDY, K. R.; HODGES, H. F. & MCKINION, J. M. (1995). Cotton crop responses to a changing environment in Climate change and agriculture: Analysis of potential international impacts. ASA special publication number 59:3-30; Wisconsin, USA.
- REPUBLIQUE FRANÇAISE, MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION (1993). Memento de l'Agronome. Collection « Techniques rurales en Afrique » Paris, 1635 p.
- ROBERT, A. (2003). Simulation of the effect of topography and tree falls on stand dynamics and stand structure of tropical forest in Ecologically Modelling (2003) 287 – 303

Références bibliographiques

ROBERT, M. (2001). Soil carbon sequestration for improved land management. World Soil Resources Reports 96; FAO

ROBERT, M. (2002). La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. FAO; Rapports sur les ressources en sols du monde – 96 ; 71p.

ROOSE, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES); Bulletin Pédologique de la FAO 70

ROPER, J. & ROBERTS, R.W. (1999). Déforestation: Le déclin des forêts tropicales. Agence Canadienne de Développement International; Hull (Québec)/Canada <http://www.rcfa-cfan.org/french/f.issues.12.html> [15.01.2005]

RUTHENBERG, H. (1980): Farming Systems in the Tropics. Third edition. Clarendon Press, Oxford. p. 1-18, 30-109

RWABAHUNGU, M (2002). Législation, sécurisation, et conflits fonciers en Afrique. Texte présenté à l'occasion du Forum Mondial de la Société civile du 16 au 18 Août 2002

SANKARAN, K.V.; BALASUNDARAN, M.; THOMAS, P. T. & SUJATHA, M.P. (1993). Litter dynamics, microbial associations and studies in acacia auriculiformis plantation in Kerala, Kerala

SANKARAN, K.V.; BALASUNDARAN, M.; THOMAS, T.P. & SUJATHA, M.P. (1993). Litter dynamics, microbial associations and soil studies in Acacia auriculiformis plantations in Kerala. KFRI Research Report N° 91. 55 p.

SCHLESINGER W. H. (2000). Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. Agriculture, Ecosystems and Environment 82 (2000) 121-127

SCHMITZ, A. & FALL, A.O. (1996). Contrôle et utilisation du feu en zones arides et subhumides africaines ; FAO ; Rome/Italie ; 211p

SCHUSTER, W.H.; ALKÄMPER, J.; MARQUARD, R.; STÄHLIN, A.; STÄHLIN, L. (1998). Leguminosen zur Kornnutzung: Kornleguminosen der Welt; Gießen

SEILER, W. AND P. J. CRUTZEN (1980). Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. Climatic Change 2, p.207-247.

SINSIN, B. (1993). Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles

SOKPON, N. (1995). Recherches écologiques sur la forêt dense semi-décidue de au Sud-Est du Bénin : Groupements végétaux, structure, régénération naturelle et chute de litière, Université Libre de Bruxelles

Références bibliographiques

- STEWART, J.I. (1989). Potential for response farming in sub-Saharan Africa In Soil, crop and water management for rainfed agriculture in the Sudano–Sahelian zone: proceedings of an international workshop, 11–16 January 1987, ICRISAT Sahelian Centre, Niamey, Niger. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, AP, India. p. 255–264
- STICKSEL, E. (1999). Bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verdc. <http://www.weihenstephan.de/pbpz/pbau/bambara/bamba.htm> [15.09.2004]
- STOHLGREN, T.J. (1988). Litter dynamic in two sierran mixed conifer forests: Litterfall and decomposition rates. *Can. J. For. Res.* 18 p. 1127-1135
- THAMM, H.-P. & BRAUN, M. (2002). Evaluation of JERS GRFM imagery for small-scale land cover / land use classification in West Africa: A case study from Benin. In: Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries, 18. - 20. September 2002, Bonn.
- THENKABAIL, P. S.; STUCKY, N.; GRISCOM, B.W.; ASHTON, M. S.; DIELS, J.; VAN DER MEER, B. & ENCLONA, E. (2002). Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of Africa derived savannas using IKONOS data; Yale University
- TRISTRAM O. WEST (2000). Net carbon sequestration in agriculture: A national assessment. Las Vegas, Nevada. http://csite.esd.ornl.gov/pubs/ENERGEX_03.pdf [15.04.2003]
- UNFPA, (-). Troisième recensement général de la population et de l'habitation de février 2002. Résultats provisoires. <http://benin.unfpa.org/PDF/RGPH3.pdf> [08.12.2004]
- UNIVERSITE NATIONALE DU BENIN, FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES (1994). Le Bénin en chiffres; Cotonou
- VAN DEN AKKER, E. (2000). Makroökonomische Bewertung der Auswirkung von technischen und institutionellen Innovationen in der Landwirtschaft in Benin, Stuttgart, 322 p.
- VAN WAMBEKE, A. (1974). Management Properties of Ferralsols. *FAO Soils Bulletin* 23; Rome
- VERNIER, P. & DOSSOU, R.A. (2001). Un exemple de sédentarisation de la culture des ignames: Le cas des Kokoro (*D. Rotundata*) au Bénin. Atelier national sur le développement durable de la production et de la consommation de l'igname en Côte d'Ivoire; Abidjan, 23-26 octobre 2001
- VERSTEEG, M.N. & KOUDOKPON, V. (-). The GMCC Workshop Series. Note de Recherche. Contribution de Mucuna à la lutte contre Imperata au sud du Bénin http://ppathw3.cals.cornell.edu/mba_project/gmcc/imperata_fr.html [17.05.04]

Références bibliographiques

VLEK, P.L.G.; RODRIGUEZ-KUHL, G. & SOMMER, R. (2004). Energy use and CO₂ production in Tropical agriculture and means and strategies for reduction or mitigation. Tropical agriculture in transition – opportunities for mitigation Greenhouse gas emissions? Reprinted from Environment, Development and Sustainability, Vol. 6, Nos. 1-2, 2004; AA Dordrecht/The Netherlands; p. 212-233

WAGGONER, P.E. (1994). How much land can ten billion people spare for nature? New York, <http://www-formal.stanford.edu/jmc/nature/nature.html> [12.01.2005]

WALLACE, J.S. (2000). Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture, Ecosystems and Environment 82 (2000), p.105-119

WARDA/ADRAO (1999). L'utilisation de légumineuses comme culture de couverture augmente la productivité du riz pluvial dans les systèmes de culture intensifs à jachère courte. Synthèse de la recherche rizicole en Afrique de l'Ouest n° 2

WARRAN, A. & RANWA, A. P. (-). Carbon sequestration potential of trees in and around Pune city. Pune/Indian; <http://www.ranwa.org/carbonpune.pdf> [18.02.2005]

WASSMANN, R. & VLEK, P.L.G. (2004). Mitigating greenhouse gas emissions from Tropical Agriculture: Scope and Research Priorities. Environment, Development and Sustainability 6 (1-2) p. 1-9

WATSON, A.K. (-). Lutte contre la striga. Université Mc Gill; Québec, Canada http://web.idrc.ca/fr/ev-8534-201-1DO_TOPIC.html [22.07.04]

WEBB, W.L.; LAUENROTH, W.K.; SZAREK, S.R. & KINERSON, R.S. (1983). Primary production and abiotic controls in forests, grasslands, and desert ecosystems in the united states. Ecology, 64(1), 1983, p. 134-151

WEZEL, A.; BOHLINGER, B. & FLOQUET, A. (-). Changements du système d'exploitation des sols et de la végétation près du village de Houêto (1981-1995) - Evolution de l'exploitation des terres aux abords d'un centre urbain du Sud du Bénin - http://www.uni-hohenheim.de/~atlas308/c_benin/projects/c2_1_4/html/french/btext_fr_c2_1_4.htm [15.12.2004]

WOOMER, P.L. (1993). Modelling soil organic matter dynamics in tropical ecosystems: Model adoption, uses and limitations. Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture; IITA/K.U.Leuven; p. 279-294

WORLD BANK (1986). Poverty and Hunger: Issues and options for food security in Developing countries, Washington DC: World Bank

WOTTO, J. (2003). Pratique de l'élevage des bovins au Bénin : son intégration dans le gestion des écosystèmes du terroir de Doguè ; Université d'Abomey-Calavi/Bénin ; 76 p.

ZHAO XUEYONG (1992). Litter decomposition in Naiman, Inner Mongolia, China in relation to climate and litter properties; Uppsala 1992

Références bibliographiques

ZHONG LI; APPS, M.J.; BANFIELD, E. & KURZ , W.K.(2002). Estimating net primary production of forests in the Canadian Prairie Provinces using an inventory-based carbon budget model in: Canadian Journal of Forest Research 32(1): 161-169 (2002)

Annexes

Annexe 1: Quelques parcelles de collectes des données et leur utilisation

	Parcelle	Coordon. géographiques		Biomasse (t/ha)	Utilisation (en Septembre 2002)
		X	Y		
Doguè	A23	383288,1025	1007078,567	27,9	Anacardier
	A22	383420,983	1006755,487	24,4	Anacardier
	A24	386693,0714	1006370,552	29,6	Anacardier
	B26	383505,148	1007512,139	50,3	Longue jachère (> 5 ans)
	B25	384545,970	1005781,172	29,5	Longue jachère (> 5 ans)
	B27	381777,308	1007351,743	18,3	Longue jachère (> 5 ans)
	N02	383685,3997	1007464,75	23,6	Manioc de 18 mois
	M1M	386402,0087	1006432,479	19,3	Manioc de 18 mois
	N01	383688,9913	1007480,162	21,0	Jachère (10 mois)
	N20	384540,3723	1005883,809	9,0	Jachère (10 mois)
	N030	384502,6732	1005895,188	10,6	Jachère (10 mois)
	N080	384430,1818	1006512,898	11,2	Igname + Manioc
	N150	383442,4498	1007240,646		Igname
	N08	384413,4278	1006630,989	4,1	Mais + Manioc
	N180	388321,9204	1006970,983	5,7	Mais + sorgho
	N06	387564,2945	1006531,204		Arachide
	Adjima	381636,5589	1010368,505	12,5	Sorgho + Mais
	N05	383460,9469	1005504,352	7,0	Riz
N0Caja	384065,6581	1006451,675		Pois d'angor de 3 ans	
N07Or	383248,152	1006925,051		Orangiers de plus de 8 ans	
N16	383271,860	1007168,779	14,3	Mais	
Sérou	W58	357550,430	1068844,07	133,9	Fôret
	W59	357274,623	1068607,227	232,2	Fôret
	W60	357164,228	1068524,593	190,4	Fôret
	A52	359995,5092	1067375,461	22,2	Anacardier
	A53	361519,1092	1067087,418	26,0	Anacardier
	A54	356452,932	1070009,259	25,8	Anacardier
	B55	359924,746	1067815,320	7,5	Longue jachère (> 5 ans)
	B56	359821,445	1068525,821	12,5	Longue jachère (> 5 ans)
	B57	357816,940	1068029,118	10,8	Longue jachère (> 5 ans)
	N31	358220,8459	1068982,718	6,8	Arachide + Sorgho
	N031	358181,8649	1068948,457	8,5	Igname + petit mil + niébé
	N34	358563,1052	1069205,077	4,3	Coton
	N35	358223,0959	1067866,808	8,8	Jachère (10 mois)
	N036	358124,2662	1068506,111	6,4	Coton
	N37	357908,7939	1068965,51	5,6	Coton
	N038	359069,2877	1068252,192	27,5	Igname + niébé
	N039	358332,0122	1068959,16	17,6	Sorgho + niébé
	N40	358834,8068	1068825,559	8,5	Arachide + Sorgho
	N44	358687,9871	1068604,831	5,8	Jachère (10 mois)
	N45	358167,128	1067855,154	8,6	Sorgho + niébé
	N045	358114,0234	1068599,29	20,8	Igname + niébé
	N048	358860,2822	1068712,746	16,7	Sorgho + Mais
	N50	358356,2262	1068668,97	2,7	Arachide
	YA	358255,9473	1068303,314	25,6	Manioc + Mais
	TD	358480,816	1067212,074	11,2	Manioc

Annexes

Annexe 2: Dominance (%) des différentes espèces dans les parcelles de Sérrou

STRATE HERBACEE																										
Faciès	JN37	N35	N44	N31	N50	N40	N37	N34	N031	N038	N045	N039	N048	N45	N036	B55	B56	B57	YA	TD	A53	A52	A54	W59	W60	W58
Anchomanes difformis																								37,5	37,5	15
Andropogon gayanus																	15						37,5			
Arachis hypogea				62,5	37,5	62,5																				
Brachiaria deflexa													3		0,5											
Brachiaria xantholeuca																15										
Daniellia oliveri			15		0,5																					
Digitaria horizontalis	15						3					0,5	15									15				
Dioscorea rotundata									37,5	62,5	62,5										15					
Eriosema griseum																										
Gossypium barbadense							62,5	62,5							62,5											
Hyparrhenia involucreta																15		37,5								
Hyperthelia dissoluta																							3			
Imperata cylindrica																					62,5					
Indigofera polysphaera	3																									
Isoberlinia tomentosa																	15									
Lonchocarpus cyanescens																								15		
Malacantha alnifolia																									15	
Manihot esculenta																			63	38						
Psychotria psychotrioides																										15
Rhynchelytrum repens								3	0,5																	
Schizachyrium sanguineum																						15				
Sorghum bicolor				37,5		15				15	3	37,5		37,5												
Sporobolus pyramidalis		37,5	37,5																							
Tephrosia bracteolata		15																37,5	3	15						
Zea mays													87,5													

STRATE ARBORESCENTE																										
Faciès	JN37	N35	N44	N31	N50	N40	N37	N34	N031	N038	N045	N039	N048	N45	N036	B55	B56	B57	YA	TD	A53	A52	A54	W59	W60	W58
Acacia nilotica																									37,5	37,5
Anacardium occidentale																					62,5	62,5	62,5			
Anogeisus leiocarpus																								15		
Delonix regia																								37,5		
Ficus natalensis																									37,5	
Isoberlinia tomentosa																	15									
Lannea acida																3										
Lonchocarpus sericeus																										37,5
Mangifera indica																						3				
Naucllea latifolia																										
Parkia biglobosa				3	3			0,5	0,5	3	15	0,5	15					15	3	0,5			15			
Terminalia avicennioides																										
Vitellaria paradoxa	3	3				3	0,5	0,5		3		0,5	0,5	3	3	3	15	15	3	3						

Annexes

Annexe 3: Dominance (%) des différentes espèces dans les parcelles de Doguè

STRATE HERBACEE																					
Faciès	A23	A22	A24	B26	B25	B27	N02	M1M	N01	N20	N030	N080	N150	N08	N180	N06	Adjima	N05	N0Caja	N07Or	N16
Aframomum albobviolaceum				15		15															
Ageratum conyzoides																					15
Albizia zygia	3																				
Andropogon tectorum				15		15		3			15										
Arachis hypogea																37,5					
Brachiaria xantholeuca										37,5	62,5										
Cajanus cajan																				37,5	
Chasmopodium caudatum		37,5	15				15													62,5	37,5
Daniellia oliveri						3															
Digitaria argillacea																			3		
Dioscorea rotundata												62,5	62,5								
Ficus asperifolia																					3
Hibiscus esculentus												3									
Hyparrhenia involucrata	3					62,5															
Imperata cylindrica			62,5											3							
Indigofera polysphaera									15						5						
Manihot esculenta							37,5	87,5										3			
Musa acuminata		3																			
Oryza sativa																		62,5	87,5		
Sorghum bicolor																37,5					
Sporobolus pyramidalis																			15		
Tephrosia bracteolata									15												
Tephrosia elegans										37,5											
Zea mays															62,5	62,5					37,5
STRATE ARBORESCENTE																					
Faciès	A23	A22	A24	B26	B25	B27	N02	M1M	N01	N20	N030	N080	N150	N08	N180	N06	Adjima	N05	N0Caja	N07Or	N16
Anacardium occidentale	37,5	62,5	62,5													3					
Bombax costatum					15																
Citrus sinensis																					62,5
Combretum molle																			0,5		
Detarium microcarpum						3															
Diospyros mespiliformis							3														
Elaeis guineensis	3																				
Ficus sùr		3																			
Lannea acida											0,5										
Mangifera indica																					15
Parkia biglobosa																					
Phyllanthus muellerianus			3																		
Pterocarpus erinaceus				15	37,5																
Tamarindus indica							3														
Uapaca togoensis				62,5								15									
Vitellaria paradoxa						15			15	15	3	0,5	3	3	3	15			15		3

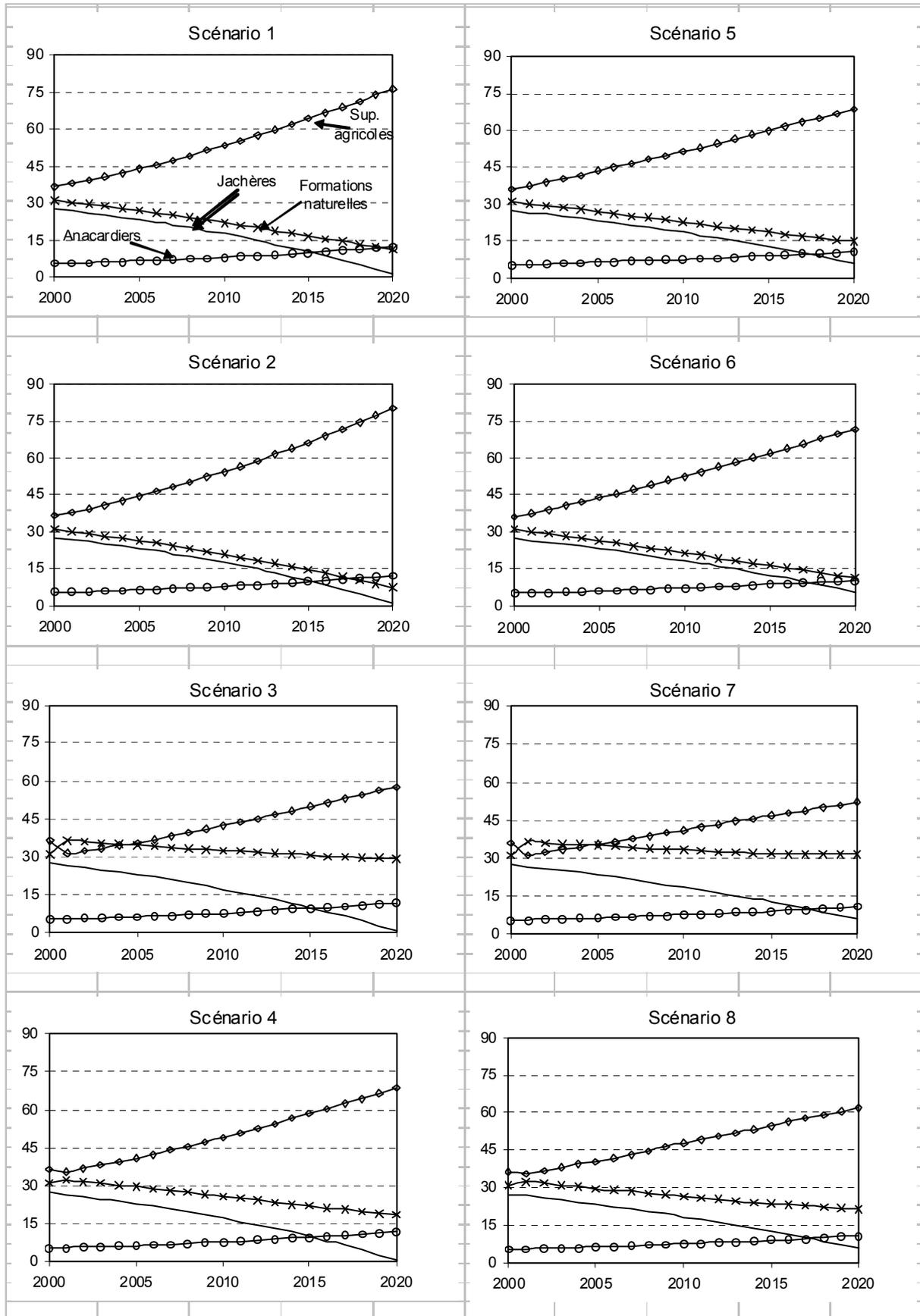
Annexes

Annexe 4: Chute de la litière dans les écosystèmes de Dogué et Sérrou (en t ha⁻¹)

Village	SUT	Juil. 01	Août 01	Sep 01	Octob. 01	Nov 01	Déc. 01	Jan 02	Fév. 02	Mars 02	Avril 02	Mai 02	Juin 02	Juil. 02	Août 02	Sep 02
Sérrou	Fôret	0,242	0,217	0,602	0,510	0,729	1,227	1,351	1,096	0,915	0,934	0,973	0,436	0,257	0,302	0,480
	Jachères	0,065	0,048	0,038	0,128	0,183	0,177	0,150	0,156	0,145	0,274	0,107	0,188	0,045	0,129	0,061
	Anacardiérs	0,050	0,039	0,072	0,137	0,756	0,763	0,959	0,406	0,675	0,469	0,252	0,119	0,052	0,137	0,053
Dogué	Fôret	0,196	0,129	0,475	0,242	0,679	0,983	1,043	0,212	0,344	0,180	0,162	0,229	0,127	0,125	0,203
	Jachères		0,049	0,127	0,159	0,391	0,580	0,611	0,185	0,063	0,178	0,110	0,143	0,134	0,120	0,290
	Anacardiérs		0,097	0,097	0,090	0,179	0,201	0,477	0,518	0,250	0,210	0,186	0,278	0,156	0,096	0,421

SUT: Système d'utilisation du terroir ou écosystème

Annexe 5: Prédiction de l'utilisation du terroir dans l'Ouémé supérieur



Références bibliographiques

Curriculum vitae

Etat-civil

Nom: Valens MULINDABIGWI
Date de naissance: 15.09.1962
Lieu de naissance : Rutobwe-Gitarama-Rwanda
Nationalité : Rwandaise
Etat civil : marié ; 3 enfants

Formation primaire et secondaire

Sept. 1970 – juin 1977 : Ecole primaire à Gatovu et Bishike – Rutobwe – Rwanda
Sept. 1977 – juin 1980 : Tronc commun à Kabgayi – Gitarama – Rwanda
Sept. 1980 – juin 1983 : Ecole secondaire au collège des humanités modernes de Nyanza - Rwanda

Formation académique

Oct. 1983 – juin 1987 : Formation en agronomie à l'université nationale du Rwanda. Diplôme : Bachelier en sciences agronomiques.
Oct. 1987 – oct. 1990 : Formation en agronomie à l'université nationale du Rwanda. Diplôme : Ingénieur Agronome.
Oct. 1994 - juin 1997: Formation en agronomie tropicale à l'université de Göttingen. Diplôme: Maîtrise en Agronomie tropicale.

Expérience professionnelle

Janv. - avril 1989: Stage de formation au projet de développement agricole de Gikongoro - Rwanda.
Fevr. - juin 1991: Assistant de recherche à la Faculté d'Agronomie de l'université nationale du Rwanda; Butare - Rwanda.
Juil. - août 1991: Consultant auprès du service canadien à la coopération. Kigali - Rwanda
Sept. - nov. 1991: Chercheur - Formateur au Centre des services aux coopératives de Gitarama (CSC) - Rwanda
Nov. 1991 - avr. 1994: Chercheur et Directeur (Déc. 1992 - avr. 1994) du centre de recherche régional du Mutara de l'institut des sciences agronomiques du Rwanda.
Nov.1999 – mai 2000: Assistant de recherche à l'Institut d'horticulture de la faculté d'Agronomie de l'université de Bonn
Juin 2000 – jul. 2004: Collaborateur scientifique à l'institut d'horticulture de la faculté d'agronomie de l'université de Bonn
Depuis août 2004: Achèvement de la thèse de doctorat

Lebenslauf

Zur Person

Name: Valens MULINDABIGWI
Geburtsdatum: 15.09.1962
Geburtsort : Rutobwe-Gitarama-Rwanda
Nationalität : Rwandisch
Familienstand : verheiratet ; 3 Kinder

Schulbildung

Sept. 1970 – Juni 1977 : Grundschule in Gatovu und Bishike – Rutobwe – Rwanda
Sept. 1977 – Juni 1980 : Orientierungsschule in Kabgayi – Gitarama – Rwanda
Sept. 1980 – Juni 1983 : Gymnasium in "Collège des humanités modernes de Nyanza" - Rwanda

Akademische Bildung

Okt. 1983 – Juni 1987 : Studium der Landwirtschaft an der "université nationale du Rwanda". Abschluss :Bechelier en Agronomie
Okt. 1987 – Okt. 1990 : Studium der Landwirtschaft an der "université nationale du Rwanda". Abschluss : Ingénieur Agronome.
Okt. 1994 - Juni 1997: Studium der tropischen und subtropischen Landwirtschaft an der Universität Göttingen: Abschluss: MSc. agr.

Berufserfahrungen

Jan. - April 1989: Praktikum beim landwirtschaftlichen Entwicklungsprojekt in Gikongoro - Rwanda.
Feb. - Juni 1991: Forschungsassistent an der landwirtschaftlichen Fakultät der "université nationale du Rwanda" Butare - Rwanda.
Juil. - août 1991: Gutachter bei der kanadischen Entwicklungszusammenarbeit. Kigali - Rwanda
Sept. - Nov. 1991: Forscher und Ausbilder bei einer Nichtregierungsorganisation (CSC) - Rwanda
Nov. 1991 - Apr. 1994: Forscher und Direktor (Dez. 1992 - Apr. 1994) des Zentrums für Agrarforschung in Mutara-Rwanda.
Nov.1999 – Mai 2000: Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Gartenbauwissenschaft, Universität Bonn.
Juin 2000 – Juli. 2004: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Gartenbauwissenschaft; Universität Bonn.
Seit August 2004: Fertigungstellung der Dissertation

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe. Die Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Bonn, den 31.05.2005