

**bŷ Un outil d'aide à la décision au service de l'agroécologie
conservation et de fertilisation du sol appliquées au village de Kotopounga
dans la commune de Natitingou au Bénin.**

Auteur : Danus, Pandora

Promoteur(s) : 5802

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée pays en développement

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10038>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**Faculté des Sciences
Département des Sciences et Gestion de
l'Environnement**

**Centre universitaire de formation en
environnement et développement
durable (CUFE)**



**Un Outil d'Aide à la Décision au service de l'agroécologie : les pratiques de conservation et de fertilisation du sol appliquées au village de Kotopounga
dans la commune de Natitingou au Bénin.**

Pandora DANUS

Mémoire rédigé en vue de l'obtention des diplômes de
**Master en Sciences et Gestion de l'Environnement – finalité Pays en Développement
(ULiège)**
**Maîtrise en Environnement – Gestion de l'Environnement dans les Pays en
Développement (USherbrooke)**

Année Académique 2019-2020

Co-Promoteurs :

Professeure, Marie-Paule Kestemont
Professeur, Bernard Tychon

Copyright © :

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège et de l'Université de Sherbrooke.*

** L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULiège et de l'USherbrooke.*

Le présent document n'engage que son auteur.

DANUS Pandora

pandoradanus@gmail.com

Table des matières

Remerciements	vi
Résumé	vii
Abstract	vii
Listes des figures	viii
Listes des tableaux	ix
Sigles et Abréviations.....	x
Introduction	1
Contexte.....	3
Objectifs.....	5
Méthodologie générale	6
Résultats attendus	8
Partie 1.....	9
1.1. L’agroécologie.....	9
1.1.1. Historique et évolution	9
1.1.2. Fonctions de l’agroécologie	12
1.1.3. Principes et caractéristiques de l’agroécologie	14
1.2. La transition agroécologique	18
1.2.1. Changement de paradigme	18
1.2.2. Les obstacles à la transition.....	22
1.2.3. Cas d’application.....	25
1.3. L’aide à la décision.....	26
1.3.1. Les OAD dans l’agriculture	27
1.3.2. Quelques exemples d’OAD	30
1.3.3. Un OAD appliqué au contexte béninois.....	32
Partie 2.....	35

2.1. Méthodologie.....	35
2.1.1. Définir le contexte	35
2.1.2. La construction de l'outil	37
2.1.3. Fonctionnement et validation de l'outil.....	38
2.2. Région de l'Atacora.....	39
2.2.1. Milieu humain	40
2.2.2. Milieu physique.....	45
2.3. Variables de la zone d'étude.....	46
2.2.3. Contexte	46
2.2.4. Pratiques humaines.....	47
2.2.5. Milieu physique.....	53
2.4. Pratiques de conservation et de fertilisation des sols	57
2.4.1. Méthodes agronomiques	58
2.4.2. Méthodes végétales	64
2.4.3. Méthodes physiques	66
2.4.4. Mode de gestion des terres	68
2.5. Résumé des variables de l'étude.....	70
Partie 3.....	72
3.1. Choix des paramètres et fonctionnement de l'OAD	72
3.1.1. Identification de la décision à prendre	72
3.1.2. Les choix	79
3.1.3. Les solutions.....	79
3.2. Schéma décisionnel	91
3.2.1. Matrice décisionnelle	91
3.2.2. Arbres de décision	95
3.3. Évaluation du modèle	100
3.4. Discussion et perspectives	102

Conclusion.....	106
Références	107
Annexes	a

Remerciements

Je souhaite avant toute chose, remercier la professeure Marie-Paule Kestemont sans qui je n'aurai pas pu participer à ce projet et réaliser le stage qui m'a fait découvrir l'agroécologie. Je remercie également le professeur Bernard Tychon qui m'a laissé travailler sur ce sujet et qui m'a ainsi fait confiance. Le suivi qu'il a réalisé auprès de mon travail a été grandement apprécié. Ensuite, je souhaite remercier le professeur Achigan-Dako qui m'a réservé un très bel accueil dans les locaux du laboratoire GBioS et qui a su m'orienter et m'accompagner durant mon séjour au Bénin. Finalement, je remercie chaleureusement la doctorante Victorine Djago, d'abord pour m'avoir permis de l'assister dans ses recherches et ensuite pour sa gentillesse et les bons moments passés ensemble à découvrir son beau pays de traditions. Je remercie aussi Thomas qui m'a épaulé durant toute la rédaction de ce travail de fin d'études et qui m'a permis de découvrir et d'apprendre à utiliser le logiciel FreePlane en très peu de temps.

Résumé

Le monde agricole est principalement régi par la volonté de maximiser les rendements en réponse à une pression démographique de plus en plus élevée, comme c'est le cas au Bénin. Cependant, maximiser les rendements n'est pas forcément synonyme de production intensive, des alternatives plus durables et plus respectueuses de l'environnement existent. Pourtant, ces alternatives ne représentent qu'une part marginale et sont parfois méconnues des producteurs. L'une d'entre elles est l'agroécologie, c'est un concept se basant sur les dynamiques naturelles d'un écosystème pour une production agricole pérenne, tout en améliorant les conditions de vie des populations qui en profitent. Pour faciliter le passage de l'agriculture intensive à l'agroécologie, il est important d'accompagner les agriculteurs et de les aider dans leur choix. Pour cela, un outil d'aide à la décision a été conçu dans le but de trier les nombreuses pratiques agroécologiques de conservation et de fertilisation des sols en fonction des attentes de l'agriculteur, des conditions de sa parcelle et du contexte économique, social et environnemental du village de Kotopounga qui se situe dans le département de l'Atacora au Bénin. Plusieurs arbres décisionnels ont ainsi été créés selon sept problèmes que sont susceptibles de rencontrer les agriculteurs de la région. Les arbres proposent des pratiques de conservation et de fertilisation des sols qui respectent les principes fondateurs de l'agroécologie.

Abstract

The agricultural world is mainly governed by the desire to maximise yields in response to increasing demographic pressure, as is the case in Benin. However, maximising yields does not necessarily mean intensive production, more sustainable and environmentally friendly alternatives exist. However, these alternatives represent only a marginal part and are sometimes unknown to producers. One of them is agroecology, a concept based on the natural dynamics of an ecosystem for sustainable agricultural production, while improving the living conditions of the people who benefit from it. To this end, a decision support tool has been designed with the aim of sorting out the many agro-ecological practices according to the expectations of the farmer, the conditions of his plot and the economic, social and environmental context of the village of Kotopounga which is located in the department of Atacora in Benin. Several decision trees were created based on seven problems that farmers in the region are likely to encounter. Trees propose soil conservation and fertilisation practises that respect the founding principles of agroecology.

Listes des figures

Figure 1. Premiers principes de l'agroécologie. (Stassart et al., 2012)	15
Figure 2. Principes évolués. (CIDSE, 2018)	16
Figure 3. Carte du département de l'Atacora et de ses communes.....	39
Figure 4. Département de l'Atacora (INSAE, 2004).....	39
Figure 5. Activités des ménages atacoriens (à partir des données de l'INSAE 2016).....	41
Figure 6. Zones agro climatiques du Bénin (MEPN, 2008).....	42
Figure 7. Décalage dans le calendrier des dates de semis (début de saison). (Données de terrain Vodounou et al., 2016)	45
Figure 8. Arrondissement de la commune de Natitingou (INSAE, 2016)	46
Figure 9. Zone de maraîchage à l'Est du village (image satellite)	47
Figure 10. Camps Peulhs et champs à l'Est du village (image satellite)	48
Figure 11. Culture de rente d'anacardier (noix de cajou) au Nord du village (image satellite).....	49
Figure 12. Méthode de brûlis sur les parcelles au Nord du village de Kotopounga (Image satellite)	53
Figure 13. Températures moyennes mensuelles à Natitingou en 2019. (Source : Infoclimat, station météo de Natitingou)	54
Figure 14. Accumulation mensuelle moyenne des précipitations à Natitingou. (Source : Weatherspark, données issues de MERRA-2, NASA)	55
Figure 15. Réseau hydrographique du secteur Naitigou-Boukombé (Agbanou, 2018) et traversée du cours d'eau Irikouakou à Kotopounga (Image satellite).	56
Figure 16. Carte pédologique du secteur Natitingou-Boukombé (Agbanou, 2018)	56
Figure 17. Technique de paillage au village de Kotopounga. (Photographie Pandora Danus)	60
Figure 18. Résidus de graines de mil après battage à Kotopounga. (Photographie Pandora Danus)	60
Figure 19. Cultures associées au village de Kotopounga. (Photographies Pandora Danus) ...	62
Figure 20. Couverture du sol par les herbes sèches sur une culture de manioc à Kotopounga. (Photographie Pandora Danus).....	62
Figure 21. Bouses de vaches réparties sur une parcelle à Kotopounga. (Photographie Pandora Danus)	63
Figure 22. Culture sur butte de l'igname avec des arbres fruitiers (anacardiers et manguiers). (Photographies Pandora Danus)	66
Figure 23. Arbre de décision pour la lutte contre les ravageurs.....	95

Figure 24. Arbre de décision pour la lutte contre les adventices	95
Figure 25. Arbre de décision pour les sols peu fertiles.....	96
Figure 26. Arbre de décision pour les sols érodés.....	97
Figure 27. Arbre de décision pour les épisodes de sécheresse.....	98
Figure 28. Arbre de décision pour réduire l'effet de pente.....	99
Figure 29. Arbre de décision pour les mauvaises structures de sol.....	100

Listes des tableaux

Tableau 1. Température moyenne mensuelle relevée à Natitingou en 2019 (en °C)	54
Tableau 2. Cumul des précipitations mensuelles à Natitingou en 2019 (en mm).....	54
Tableau 3. Résumé des conditions physiques	70
Tableau 4. Résumé des conditions humaines influentes	70
Tableau 5. Résumé des pratiques agroécologiques proposées	71
Tableau 6. Problèmes abordés et leurs résolutions	78
Tableau 7. Présentation de la solution "Labour"	79
Tableau 8. Présentation de la solution "Billons perpendiculaires"	80
Tableau 9. Présentation de la solution "Semis direct".....	80
Tableau 10. Présentation de la solution "Travail minimal du sol"	81
Tableau 11. Présentation de la solution "Enfouissement"	82
Tableau 12. Présentation de la solution "Culture sous paillis".....	82
Tableau 13. Présentation de la solution "Rotation culturale"	83
Tableau 14. Présentation de la solution "Cultures associées"	83
Tableau 15. Présentation de la solution "Couverture du sol"	84
Tableau 16. Présentation de la solution "Bandes enherbées"	84
Tableau 17. Présentation de la solution "Brise-vents"	85
Tableau 18. Présentation de la solution "Haies vives"	85
Tableau 19. Présentation de la solution "Agroforesterie"	86
Tableau 20. Présentation de la solution "Cordon pierreux"	87
Tableau 21. Présentation de la solution "Diguette en pierres"	87
Tableau 22. Présentation de la solution "Diguette en terre".....	88
Tableau 23. Présentation de la solution "Zai"	88
Tableau 24. Présentation de la solution "Demi-lune"	89
Tableau 25. Présentation de la solution "Pâturage rotatif"	90

Tableau 26. Présentation de la solution "Mise en défens"	90
Tableau 27. Présentation de la solution "Jachère"	91
Tableau 28. Variables impactant la mise en place d'une pratique agroécologique.	93
Tableau 29. Effet des pratiques sur les problèmes agricoles.....	94

Sigles et Abréviations

- ARES: Académie de recherche et d'enseignement supérieur
 ARFA: Association pour la recherche et la formation en agroécologie
 CIDSE: Coopération Internationale pour le Développement et la Solidarité
 FAO: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
 FCFA: Franc de la communauté financière africaine
 GPS: Système de géolocalisation par satellite
 IFDD: Institut de la Francophonie pour le développement durable
 INRA: Institut national de la recherche agronomique
 INSAE: Institut national de la statistique et de l'analyse économique
 JGRC: Japan Green Resources Corporation
 MAPAQ: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
 MDGL: Ministère de la décentralisation et de la gouvernance locale
 MEPN: Ministère de l'Environnement et de la Protection de la nature
 MO: Matière organique
 NDVI: Indice de végétation par différence normalisé
 NPK: azote, phosphore et potassium
 OAD: Outil d'aide à la décision
 OCDE: Organisation de coopération et de développement économiques
 OGM: Organisme génétiquement modifié
 ONG: Organisation non gouvernementale
 ONU: Organisation des Nations unies,
 PDM: Partenariat pour le développement municipal
 RGPH: Recensement général de la population et de l'habitation
 SIG: Sciences de l'information géographique
 TFE: Travail de fin d'études
 UIPP: Union des industries de la protection des plantes
 VFF: Ver fil-de-fer
 ZADA: Zonage à dire d'acteurs

Introduction

La sécurité alimentaire repose sur quatre piliers fondamentaux : l'accessibilité, la disponibilité, la stabilité et l'utilisation alimentaires. Dans le nord du Bénin et plus précisément dans la région de l'Atacora, la production alimentaire est principalement issue de la pratique d'une agriculture familiale. Cette production est donc primordiale pour assurer les quatre points du concept de sécurité alimentaire. On y retrouve des cultures maraîchères et céréalières, en plus des cultures subventionnées comme celle du coton. La production est d'abord destinée à une consommation personnelle puis à la vente sur les marchés locaux et régionaux. Très peu de cultures atteignent le marché international, on y recense le coton, l'ananas, l'anacarde (production des noix de cajou) et l'huile de palme. C'est le domaine de l'agriculture qui constitue la première source de richesse du pays. (MAEP, 2011) Ce domaine offre presque 40% des emplois à la population béninoise en 2019 (OIT, 2019). La forte répartition de l'agriculture sur tout le territoire, à différentes échelles, assure un minimum de confort alimentaire à la majorité de la population. Cependant, ce minimum ne suffit pas à protéger la stabilité de la sécurité alimentaire du pays pour l'ensemble de ses citoyens. C'est pour cela qu'il est nécessaire de travailler sur la productivité agricole, afin d'accroître les stocks en ressources alimentaires et de contribuer au développement économique du pays. À cela s'ajoute l'aspect environnemental qui influence grandement les pratiques agricoles de cette région. En effet, le climat, la nature du sol ou encore l'hydrologie du milieu sont des facteurs importants auxquels les producteurs doivent s'adapter. De plus, la stabilité de la production sur le long terme implique la mise en place d'une agriculture pérenne dont les pratiques seront soucieuses de l'environnement, notamment de la conservation des sols. C'est dans cette optique que s'inscrivent les objectifs du projet AGRO-ECO se déroulant dans la région de l'Atacora au Bénin et du Houet au Burkina Faso. Le projet a pour but d'évaluer le potentiel de transition agroécologique des régions d'études et de contribuer ainsi au développement de ces régions rurales.

L'agroécologie apparaît ici comme une solution pour assurer la durabilité de la production agricole et contribuer ainsi à la sécurité alimentaire de la région. En effet, l'agroécologie met en avant les interactions naturelles entre les écosystèmes. Elle permet à l'agriculteur de servir des fonctions écosystémiques pour garantir une production agricole rentable et durable. En mettant à profit ces fonctions, l'agriculteur replace au centre l'intérêt environnemental puisqu'un environnement sain devient synonyme de production performante. Dans une exploitation agricole, les sols constituent la première ressource nécessaire à cette activité. Il

est important de les préserver sur le long terme étant donné qu'il s'agit d'une ressource non renouvelable. De plus, l'augmentation de la population mondiale apporte une pression supplémentaire sur ces sols qui sont cultivés de manière intensive. L'agroécologie est un concept intéressant puisqu'elle permet aux sols de se régénérer tout en continuant à produire. L'agroécologie est un concept vaste appliqué à différentes échelles dans le monde. Un concept agricole est défini par les pratiques mises en place avant, pendant et après une production. Les pratiques visées par l'agroécologie sont celles qui s'inspirent de la nature. Les intrants chimiques sont ainsi exclus des pratiques agroécologiques. L'agroécologie se pratique sur le terrain agricole, mais a des répercussions sur le mode de vie des personnes qui en bénéficient. L'agroécologie se définit alors comme un mouvement social qui englobe beaucoup plus que l'environnement et la production agricole. La culture, les conditions de vie, l'équité et l'égalité sont des exemples auxquels l'agroécologie touche. Mais, alors, comment appliquer les principes de l'agroécologie à l'échelle des producteurs béninois dans le but de préserver les sols?

Pour amener les agriculteurs à revoir leur mode de production et à opter pour des pratiques agroécologiques, il est indispensable de leur fournir les outils qui permettront de les accompagner dans cette transition. Un guide universel sur les pratiques agroécologiques et sur la réalisation d'une transition agroécologique n'existe pas. En effet, chaque pratique s'applique selon les conditions du milieu, il faut que l'agriculteur soit capable d'évaluer sa parcelle pour savoir ce qu'il peut faire et ce qu'il ne peut pas faire. L'objectif principal de ce travail de recherche est donc de réaliser un outil d'aide à la décision qui indiquera à l'agriculteur quelles pratiques agroécologiques de conservation et de fertilisation des sols devraient être appliquées. Ces pratiques auront pour but d'aider l'agriculteur à résoudre les problèmes habituellement rencontrés durant la production agricole. Les pratiques seront ainsi proposées en fonction des conditions physiques et humaines de l'exploitation agricole. Elles seront aussi choisies selon le contexte béninois et seront appliquées spécifiquement au village de Kotopounga situé dans la région de l'Atacora. Pour proposer ces pratiques de manière pertinente, un outil d'aide à la décision sera conçu et se présentera sous forme d'arbres décisionnels. Cet outil constituera un premier essai, basé sur des données issues de la littérature. Il s'inscrit donc dans un cadre théorique et non expérimental.

Ce travail de fin d'études se présente comme suit :

La première partie fait état du concept de l'agroécologie et de son évolution à travers le temps et le monde. Elle abordera ensuite ce qui a amené cette volonté de changement du système agricole conventionnel et étudiera les différentes alternatives qui se sont proposées au cours

des années. Enfin, elle présentera l'utilité des outils d'aide à la décision dans le milieu agricole et comment ils peuvent être employés au Bénin.

La seconde partie commencera avec une présentation plus complète de la méthodologie en décrivant les différentes étapes qui ont conduit à la création de l'outil. La région de l'Atacora et le village de Kotopounga seront étudiés dans le détail et sous plusieurs aspects pour mieux comprendre les différentes variables qui pourraient avoir un impact lors de la conception de l'outil. Ensuite, les pratiques agroécologiques de conservation et de fertilisation des sols seront décrites afin d'établir les conditions nécessaires à leur application.

La dernière partie s'intéressera à la création des arbres de décision à partir des données obtenues dans la deuxième partie. Le départ, le corps et les feuilles de l'arbre seront expliqués. Finalement, les arbres seront étudiés grâce à des exemples afin de faciliter la compréhension avant de finir par une discussion et par les perspectives liées à ce travail.

Contexte

Le projet AGRO-ECO est né d'une collaboration Nord-Sud et est soutenu par l'ARES. Il a pour but d'évaluer le potentiel de transition de l'agriculture familiale actuelle à une agriculture s'inspirant davantage des pratiques agroécologiques. Le projet est réalisé à l'échelle de deux territoires sur deux pays d'Afrique de l'Ouest : le Bénin et le Burkina-Faso. Les territoires visés sont ceux de l'Atacora dans le Nord-Ouest du Bénin et celui du Houet à l'Est du Burkina-Faso. Trois grandes étapes façonnent le projet, la première consiste à l'étude de performance des pratiques agroécologiques dans la réhabilitation des sols et dans l'augmentation de la résilience des sols face aux changements climatiques. La seconde étape du projet a pour but d'identifier les freins et les leviers de la transition et de son amplification à l'échelle du territoire. Finalement, la dernière étape est celle de proposer un outil permettant le suivi et l'évaluation de la transition agroécologique sur l'ensemble du territoire. Ces trois objectifs se font toujours dans le but de se rapprocher d'une vision durable, satisfaisant les trois sphères de développement : l'économie, le social et l'environnement.

Dans cette étude, le thème principal autour duquel s'axera la recherche est celui de l'application de l'agroécologie pour la conservation des sols. Le TFE portera sur la transition agroécologique dans la région de l'Atacora au Bénin et se concentrera principalement sur les pratiques de conservation et de fertilisation des sols. Pour une transition agroécologique réussite, il est important de comprendre le contexte de la zone d'étude.

Le Bénin fait partie de ces pays du continent africain qui connaissent une forte croissance démographique depuis quelques années. En effet, on y relève un taux de croissance démographique de 2,7 % en 2018 (ONU, 2019) comparativement aux pays de l'Union européenne dont le taux de croissance démographique est plutôt faible, autour de 0,2 % en 2019 (Eurostat, 2020). Au niveau économique, le Bénin connaît un taux de croissance économique élevé, de 6,7 % en 2018 (Banque Mondiale, 2020). Il reste cependant un pays considéré comme pauvre au vu du pourcentage de population se trouvant sous le seuil de pauvreté, soit 46,4 % en 2018 (Banque Mondiale, 2020). De plus, c'est un pays dont la population est encore très rurale puisque plus de la moitié de la population, 53% en 2018, vit en zone rurale (Banque Mondiale, 2019). L'agriculture est un pilier de l'économie béninoise et est pratiquée par un grand ensemble de la population qui dépend fortement de leur production, environ 70% de la population (FAO et Comission de la CEDEAO, 2018). La plupart de ces cultures sont pluviales, leurs rendements sont donc fortement influencés par les saisons et les changements climatiques que connaît le pays. Afin de devenir plus résilient face à ces changements et pour prévenir les possibles crises alimentaires, il convient de favoriser une agriculture résiliente et pérenne. Or, la plupart des systèmes agricoles actuels suivent le concept de l'agriculture conventionnelle qui nécessite un apport important d'intrants chimiques pour une maximisation des rendements sans tenir compte des effets à long terme. Ces effets négatifs ont pour conséquences une déstructuration des sols aussi physique que chimique. On observe donc une perte de la fertilité des sols et une érosion des sols conséquentes. De plus, la toxicité de certains de ces intrants agit directement sur la biodiversité des zones traitées et peut, par la suite, contaminer un plus vaste territoire, notamment par la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques. En plus de l'aspect environnemental, l'agriculture conventionnelle a un impact économique également très important. Les intrants utilisés par les producteurs sont de plus en plus coûteux et deviennent indispensables pour assurer des rendements suffisants. Les agriculteurs développent ainsi une forme de dépendance vis-à-vis des firmes privées de distribution de ces intrants. Quant à l'aspect social de ce système de production, les intrants sont également nocifs pour la santé des utilisateurs, donc des employés, mais aussi pour les habitants se trouvant proches des parcelles traitées et des consommateurs. (Murua et Laajimi, 1995)

Il convient donc de remettre en question ce système de production et d'opter pour une approche plus durable sous tous les aspects. C'est ici que l'agroécologie fait son entrée, sa pratique aspire à une agriculture dont l'apport d'intrants chimiques est fortement diminué,

voire inexistant, grâce à la valorisation des interactions qui composent un écosystème. (Trabelsi, 2017)

Les agriculteurs sont souvent confrontés à de nombreuses pratiques agroécologiques différentes dans leur application, dans leurs coûts ou encore dans leurs résultats. En effet, certaines pratiques sont à effet immédiat alors que d'autres nécessitent plusieurs années avant d'obtenir un résultat quantifiable. De plus, elles peuvent être coûteuses à mettre en place que ce soit en termes d'argent, de main d'œuvre ou de temps. Toutes ces différences peuvent être accentuées par les conditions physiques de la production agricole. On parle ici de la topographie du terrain, plat ou en pente, de la qualité des sols et de leur composition, des conditions climatiques de la zone, de l'hydrologie du milieu, etc. Ainsi, chaque parcelle est unique et doit être considérée comme telle lors de la prise de décision par le producteur. Dans ce TFE, il s'agit de déterminer ces différences et les impacts qu'elles ont, afin de pouvoir définir quels choix seront les plus bénéfiques pour les producteurs tout en restant dans une vision agroécologique des pratiques. Cette étude permettra ainsi de fournir une aide à la décision personnalisée au contexte béninois et qui apportera une solution rapide et efficace au producteur. L'outil se concentrera principalement sur la conservation des sols. Cette aide permettra aux producteurs de s'assurer une certaine autonomie et de se lancer ainsi pleinement dans l'agroécologie. Or, ce concept est d'autant plus fort lorsqu'il est déployé à grande échelle.

Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de faciliter l'implantation de pratiques agroécologiques de conservation des sols dans la région de l'Atacora au Bénin. Ceci permettra la réalisation d'une transition agroécologique à l'échelle du territoire. Pour y parvenir, l'étude se focalisera sur la construction d'une aide à la décision théorique pour les producteurs. C'est dans ce but qu'ont été fixés les sous objectifs suivants :

* Dans ce TFE, les choix constituent les différentes étapes (branches de l'arbre) menant à la prise de décision (feuilles de l'arbre).

- Répertorier les pratiques agricoles de conservation et de fertilisation du sol de la région,
- Définir les différents choix et décisions auxquels un agriculteur fait face durant la production,
- Établir un cheminement logique pour atteindre l'objectif du producteur dans le respect du concept de l'agroécologie.

Méthodologie générale

1. Recensement des variables et analyse de la demande

État initial et composition de l'outil

Avant de concevoir un outil d'aide à la décision, il est nécessaire de rassembler un maximum d'informations pour composer de manière optimale cet outil. Dans le contexte de ce TFE, ces informations se porteront principalement sur les pratiques agroécologiques qui ont déjà été observées au Bénin. Pour établir l'état initial de l'outil, des recherches bibliographiques seront réalisées et concerneront les conditions physiques de la zone d'étude, ce sont les conditions climatiques, pédologiques, hydrologiques, le relief et la superficie. Ce sont ces données qui influenceront principalement la prise de décision des pratiques à appliquer. Le dernier type de donnée qui complètera l'arbre décisionnel donnera des informations sur les pratiques humaines déjà mises en place par l'agriculteur afin de mieux comprendre le fonctionnement de sa parcelle et de pouvoir proposer des pratiques innovantes et pertinentes.

Pour faciliter la création et la lecture de l'outil décisionnel, ce dernier sera divisé en fonction des problèmes les plus fréquents que rencontre un agriculteur au cours de sa production. Ce sont ces problèmes qui constitueront les objectifs à atteindre. Par exemple, si le problème que souhaite résoudre un agriculteur concerne les ravageurs alors l'objectif à atteindre est celui de la lutte ou de la prévention contre les ravageurs au moyen de pratiques agroécologiques. Ainsi, chaque problème présentera son arbre décisionnel. Ceci permet au lecteur de pouvoir directement se référencer au problème qui le concerne sans devoir lire et comprendre l'entièreté de l'outil. L'accessibilité sera ainsi simplifiée.

La création de cet outil se fait dans une optique d'accessibilité pour tous, à l'inverse de la plupart des outils qui sont directement créés sous forme de logiciel, celui-ci aura un accès papier et un accès numérique disponibles. L'accès numérique ne nécessitera aucune installation de logiciel de traitement, mais seulement d'un outil de lecture tel qu'Adobe Acrobat Reader puisque l'outil d'aide à la décision comportera de simples liens internes. L'accessibilité papier permet l'utilisation de l'outil sans plateforme numérique, il se présentera donc plus sous forme de guide pour l'agriculteur.

2. Élaboration de référentiels

Développement de l'outil

Pour développer cet outil, plusieurs OAD déjà existantes seront étudiées afin de mieux comprendre leur forme et leur fonctionnement. L'outil créé dans le cadre de ce TFE sera développé au moyen d'un arbre décisionnel. Le traitement, lui, se fera avec de simples réponses « oui – non » ou avec des réponses plus précises sur la condition, cette forme permet de réduire la taille de l'arbre et permet également un élagage des chemins répétitifs. Cependant, la lecture d'un arbre sous cette forme peut paraître assez floue et imprécise, mais cela reste le moyen le plus simple de réduire la complexité d'un arbre sans traitement informatique.

Comme expliqué précédemment, l'OAD sera divisé en plusieurs problématiques. Ces problématiques seront résolues individuellement grâce à un arbre décisionnel. La première étape de l'utilisation de l'outil est celle du contexte initial dans lequel l'agriculteur se trouve. Ce sont les données physiques qui seront déterminées lors des premiers nœuds de l'arbre et qui porteront sur le climat, le relief, la pédologie, l'hydrologie et la superficie moyenne des parcelles détenues en fonction des conditions nécessaires à l'application des pratiques agroécologiques. Ensuite, la seconde partie de l'arbre permettra de déterminer quelles sont les pratiques que l'agriculteur a déjà mises en place et quelles sont les ressources qu'il possède et qui pourraient être utiles. En fonction des réponses, l'arbre mènera à une proposition d'une ou de plusieurs pratiques à mettre en place sur sa ou ses parcelles.

3. Test et validation de l'outil.

Simulation cohérente et atteinte des objectifs.

Finalement, la dernière étape de cette expérimentation est de créer plusieurs simulations dans la peau d'un agriculteur lambda pour permettre la validation des cheminements des arbres décisionnels. La réflexion sera faite pour plusieurs situations différentes afin de vérifier si les arbres mènent bien à une proposition en accord avec les données selon les réponses faites aux nœuds de l'arbre par l'agriculteur et en tenant compte de la situation initiale dans laquelle se trouve sa production agricole. Si les résultats sont concluants et que les objectifs du producteur sont atteints alors l'outil est validé. Pour rappel, les objectifs à atteindre sont la résolution du problème de production auquel fait face l'agriculteur.

Résultats attendus

Les résultats attendus avec la réalisation de ce travail de fin d'études sont les suivants :

- 1) Une liste pertinente des pratiques de conservation et fertilisation agricole de la région,
- 2) Une liste des variables relatives aux conditions agricoles du village de Kotopounga,
- 3) Un outil d'aide à la décision pour l'application de pratiques agroécologiques par les producteurs pour la conservation des sols.

Partie 1

1.1. L’agroécologie

Cette première sous-partie abordera le concept de l’agroécologie. Son évolution depuis la création du concept à son avancée actuelle sera abordée. Pour mieux comprendre l’importance de l’agroécologie, ses fonctions environnementales, sociales, culturelles et économiques seront décrites et des exemples seront donnés. Finalement, nous verrons en quoi se distingue l’agroécologie et ce par quoi elle est représentée.

1.1.1. Historique et évolution

Apparition du terme

Le terme agroécologie est composé de deux mots désignant deux disciplines différentes : l’agronomie et l’écologie. Alors que le premier terme s’applique à un domaine plutôt ancien et traditionnel, l’écologie est une science assez récente. Le terme apparaît pour la première fois dans les écrits de l’agronome américain Basil Bensin en 1928. (Calame et Darrot, 2016) Initialement, ces deux domaines étaient étudiés séparément et individuellement, mais peu à peu l’écologie s’est retrouvée de plus en plus intégrée dans les recherches scientifiques. Ceci est en partie dû à la meilleure compréhension des rôles prépondérants qu’ont les fonctions environnementales sur les besoins de la société.

Avancée du concept

Entre les deux guerres mondiales, le déclin économique et la pauvreté envahissent l’Occident et l’Amérique du Nord. Pour répondre à la forte demande, la production agricole suit un modèle de maximisation des rendements. C’est aussi pendant l’entre-deux-guerres, vers 1930, qu’une première science mettant en relation l’agronomie et l’écologie commence à faire le sujet de quelques études. (Soussana, 2013) Depuis les crises pétrolières, les mouvements écologiques se sont multipliés et l’environnement récupère peu à peu une place dans les décisions. La première prise de conscience a été effective peu après la crise pétrolière de 1973 (Griffon, 2014). De là sont apparus les deux premiers courant de l’agroécologie : la réduction du labour pour un travail superficiel des sols et la diminution des pesticides chimiques pour une utilisation plus raisonnée et portée sur les biopesticides. Opposée à l’agriculture intensive, l’agriculture biologique propose une autre alternative, radicale face aux pratiques intensives. Cependant, à l’époque, la performance de l’agriculture biologique est souvent contestée et ses pratiques sollicitent trop de ressources pour entraîner un changement total des agriculteurs et

de leurs pratiques. Alors, certains vont réaliser un entre-deux et proposer plusieurs alternatives face aux deux systèmes. C'est durant cette période que plusieurs concepts agricoles vont connaître le jour : l'agriculture raisonnée, agriculture à haute valeur environnementale, agriculture de conservation, etc. En plus de ces systèmes agricoles, des visions agricoles vont également apparaître sous forme de mode de vie, avec une visée davantage intellectuelle et plus seulement technique. Ces visions systémiques ont la particularité de considérer un système dans son entièreté et de préserver les dynamiques et les liens qui le compose comme pour la permaculture ou pour la biodynamie. (Griffon, 2014). Le mouvement agroécologique émerge d'abord en Amérique latine sous forme de mouvement social à partir des années 1960 (Soussana, 2013). Le concept devient de plus en plus appliqué dans le monde et étudié puisque le nombre de publications sur le sujet va passer de 2500 vers 1975 à 33 000 depuis 2001 (Soussana, 2013).

Définition du concept

L'agroécologie est définie comme étant un ensemble de pratiques agricoles répondant aux principes du concept. De nombreuses définitions du concept existent, ceci s'explique par le fait qu'il s'agit d'un courant et qu'il amène ses adhérents à la réflexion. Ainsi, chacun est libre de le définir comme il le pense et de l'appliquer à sa manière tant que les principes fondateurs sont respectés. Les principaux axes autour desquels s'articule l'agroécologie sont la place de l'homme et ses responsabilités envers la nature, l'aspect durable des pratiques puis le respect des dynamiques régissant l'écosystème. C'est un domaine en perpétuelle évolution, car il ne s'agit pas seulement d'une discipline scientifique, mais aussi d'un mouvement social et éthique. Tout le monde peut ainsi se l'approprier. (Griffon, 2014). L'apparition de ce concept répond tout simplement aux problématiques que soulève l'agriculture conventionnelle. Elle remet ainsi en question le modèle agronomique actuel vis-à-vis de l'utilisation excessive d'intrants étrangers à l'écosystème de base. De plus, elle ne permet pas seulement la critique du modèle agricole, mais aussi celle de la vision écologique qui dissocie l'environnement de toutes pratiques humaines. (Stassart et al., 2012). Plus récemment, l'agroécologie n'est plus seulement un concept lié exclusivement à l'environnement et à l'agriculture, mais intègre désormais un aspect plus global puisqu'il tient compte du développement social, du développement économique et de l'éthique (Aide au Développement Gembloux, 2016). C'est le chercheur Miguel Altieri, par la publication du livre « Agroecology, the Scientific Basis of Alternative Agriculture » en 1983, qui définira plus clairement le concept et les principes de l'agroécologie comme mouvement social, il en deviendra d'ailleurs le chef de file de ce

courant scientifique. Il s'agit de la référence la plus citée dans les travaux traitant de l'agroécologie. Les principaux chercheurs en agroécologie se focalisent sur les territoires de l'Amérique latine, qui est alors en pleine Révolution verte. Ils s'intéressent aux conséquences de l'agriculture industrielle latifundiaire d'exportation, largement pratiquée sur ces territoires. (Stassart et al., 2012).

Places des ONG, des institutions et des gouvernements

L'agroécologie est davantage pratiquée dans les pays du Sud où il reste encore un fort savoir-faire. Les agriculteurs associent ainsi leurs connaissances traditionnelles et ancestrales avec des pratiques innovantes. Ils sont souvent accompagnés dans ces démarches par des ONGs et par les communautés scientifiques et universitaires. Dans ces projets, la coordination se fait donc souvent de bas en haut, c'est une association gagnante permettant le gain de connaissance pour les parties prenantes.

Les politiques alimentaires ont toujours régi les productions agricoles dans le but d'éviter les famines destructrices et ainsi assurer la sécurité alimentaire des populations. La priorité de ces politiques était de fournir aux villes et aux centres urbains des denrées alimentaires provenant des milieux ruraux plus pauvres (Calame et al., 2016). Ces politiques ont le pouvoir sur les trois étapes de la production agricole : avant, pendant et après. Ce sont donc elles qui vont orienter les producteurs et qui vont privilégier telle ou telle organisation. Dans les pays industrialisés, les productions agricoles sont largement subventionnées alors que dans les pays en développement, ce sont plus souvent des investissements privés (Calame et al., 2016). Les investissements privés limitent les libertés du producteur et privilégiennent les monocultures spéculatives. Ils ne sont donc que très rarement acteurs de la transition agroécologique. Le sujet de la durabilité n'a jamais été aussi abordé que maintenant, les politiques publiques tentent de l'intégrer dans la majorité des décisions et des réformes. Ceci permet aux acteurs privés de cibler leur investissement dans le but d'atteindre un intérêt général. Cependant, la transition n'est pas effective et reste peu sollicitée par les États. Cela peut s'expliquer par l'absence de cadre commun international qui pourrait soumettre une politique agricole à grande échelle. La diversité des politiques nationales et les différents contextes économiques des pays ne facilitent pas l'adoption d'une politique globale. Entre les grands pays exportateurs s'appropriant les marchés (Brésil, Nouvelle-Zélande, Argentine, Thaïlande), les pays industrialisés subventionnant massivement les productions (Europe, États-Unis et Japon), les pays densément peuplés (Chine et Inde) et finalement les pays en développement avec une forte population rurale comme en Afrique subsaharienne, l'harmonisation semble

impossible, l'agroécologie n'est donc pratiquée qu'à petite échelle et souvent avec très peu de soutien. C'est donc ici que la force des ONGs et des associations est utile, elle permet de réaliser ce que les gouvernements ne peuvent pas toujours faire. C'est la société civile qui décide de s'investir et qui permet la transition agroécologique dans beaucoup de territoire. (Calame et al., 2016). C'est d'ailleurs en Amérique latine que la force de la société civile pour l'agroécologie s'est vérifiée. En pleine Révolution verte, c'est grâce aux liens entre les universitaires et les acteurs locaux que l'agroécologie a pris autant d'ampleur.

1.1.2. Fonctions de l'agroécologie

L'agroécologie est un modèle de plus en plus répandu, car il dispose de multiples avantages sur plusieurs aspects. Le fait que ce soit un modèle systémique le rend multifonctionnel et répond à de nombreux problèmes rencontrés par les agriculteurs tout en participant au développement sociétal et en étant respectueux de l'environnement.

Fonctions environnementales

Sur le plan environnemental, l'agroécologie permet la réduction des effets négatifs communément rencontrés sur une exploitation agricole intensive en prônant une activité moins polluante. Dans ce système, l'exploitation des ressources naturelles est permise puisqu'en contrepartie, leur renouvellement est durablement assuré par les pratiques agroécologiques. On assiste donc à une forme de conservation des ressources naturelles, mais aussi à une restauration des écosystèmes dégradés (Trabelsi, 2017). L'agroécologie associe la culture et l'élevage pour améliorer la fertilité des sols avec un intrant naturel et disponible. La présence de l'élevage permet également aux populations vivant dans les zones arides ou semi-arides de devenir plus résilientes face aux changements climatiques. Dans beaucoup de pays, les cheptels sont un bien matériel et une épargne familiale en cas de coups durs. De plus, les excréments sont facilement exploitables par les agriculteurs et sont une source de nutriment considérable. Ils permettent aussi de préserver les sols de l'érosion en constituant une barrière physique et de maintenir l'humidité d'un sol. Les pratiques agroécologiques ont pour fonction d'assurer un niveau de fertilité élevé des sols, et ce de manière naturelle, pour cela différentes pratiques sont utilisées : les cultures associées, la valorisation des résidus de récolte, l'épandage de fumier et de compost, etc. Certaines pratiques comme les couvertures végétales permettent une meilleure fixation de l'azote et un contrôle des adventices. L'un des principaux objectifs de l'agroécologie est l'augmentation de la biodiversité. Une biodiversité élevée est souvent synonyme d'une terre saine et productive. Elle permet de dynamiser les

sols et de rendre la production plus résiliente face aux nombreux problèmes qu'un agriculteur peut rencontrer. Par exemple, une monoculture engendrera la prolifération des ravageurs friands de cette culture. (Claveirole, 2016). L'agroécologie agit également sur le paysage et l'espace, l'espace est utilisé de manière optimale pour assurer les interactions écologiques et les processus naturels au sein du système. Pour ce qui est du paysage, l'agroécologie tient compte de l'harmonie de l'organisation de l'exploitation agricole et donc du contexte géographique et climatique du territoire. (Trabelsi, 2017). Les fonctions environnementales de l'agroécologie concernent aussi la lutte contre les changements climatiques puisque les pratiques agroécologiques permettent le stockage du carbone dans les espèces végétales et dans les sols. (Claveirole, 2016).

Fonctions sociales et culturelles

Les conditions de production d'une exploitation agricole respectant les principes de l'agroécologie apportent une réelle plus-value aux produits. Ceci renforce les liens entre le producteur et les consommateurs, la confiance en la qualité des produits y est plus grande (Trabelsi, 2017). Les relations entre les producteurs sont aussi améliorées grâce aux échanges et aux ententes entre eux. L'agroécologie comme mouvement social correspond aussi à la mise en place d'un système participatif qui implique le partage ou le prêt de matériel, de services et de connaissances (Trabelsi, 2017). Il s'agit d'un échange de bons procédés qui est utile aux agriculteurs ruraux puisque ces derniers n'ont pas toujours accès aux fournitures nécessaires pour faute de moyen ou de disponibilité. Les pratiques agroécologiques sont souvent issues d'un savoir-faire local et traditionnel, remettre ces pratiques au centre du système agroalimentaire permet un retour aux sources et une mise en avant des traditions ancestrales. Sur le plan social, l'agroécologie améliore la sécurité alimentaire et la nutrition d'une population grâce à la diversité des produits tout en respectant les préférences culturelles d'alimentation de la région. (FAO, 2018). Le métier d'agriculteur est valorisé et les conditions de vie sont améliorées. En effet, avec un système comme celui-ci, les agriculteurs deviennent autonomes sur le plan technique et économique. De plus, la place de l'agriculteur dans son exploitation agricole est reconSIDérée, il n'exploite plus les ressources naturelles, mais exploite les services écosystémiques mis à disposition par la nature. Cette nouvelle place est plus saine pour les agriculteurs qui acquièrent une nouvelle vision et une nouvelle manière de faire plus en accord avec leur environnement, ils n'agissent plus selon des normes et des mesures imposées, mais selon les dynamiques de cet environnement (Claveirole, 2016). Dans une exploitation agroécologique, les conditions sanitaires sont meilleures pour les paysans

étant donné la suppression des produits phytosanitaires, les récoltes sont également considérées comme plus saines pour les consommateurs (Trabelsi, 2017). Le développement des femmes est aussi l'une des conséquences de l'agroécologie, elles sont souvent actrices du changement, car elles représentent près de la moitié de la main d'œuvre agricole mondiale (FAO, 2018). Ce sont aussi elles qui réalisent la vente de la production et qui assurent l'entretien du foyer. L'agroécologie aide les femmes à gagner en autonomie par le biais de l'acquisition de connaissances et de compétences valorisables à l'échelle de la communauté (FAO, 2018).

Fonctions économiques

L'optimisation de l'exploitation agricole par des pratiques agroécologiques aboutit à une réduction globale des charges et des coûts d'entretien. En effet, la fluctuation des prix des intrants chimiques ne dicte plus la conduite économique des agriculteurs (Claveirole, 2016). Les agriculteurs voient leurs dettes réduites et s'indépendantisent des firmes privées. L'utilisation des parcelles comme pâturage pour les troupeaux réduit la quantité de fourrage à fournir aux bêtes et en échange le fumier obtenu remplace l'utilisation des engrains chimiques. L'agroécologie crée un système d'économie circulaire agricole soutenu par les relations entre les producteurs et par le lien de confiance avec les consommateurs (FAO, 2018). Elle contribue ainsi au développement de l'économie locale grâce à la mise en place de circuit court garantissant qualité et prix raisonnables aux consommateurs. De plus, l'agroécologie permet de maintenir l'emploi agricole dans le milieu rural, notamment pour les jeunes issus de ces milieux. Le domaine de l'agroécologie demande une main-d'œuvre qualifiée et énergique, il peut donc répondre aux besoins des jeunes en recherche d'emploi et leur apporter un gain considérable de connaissances et de compétences dans le respect de l'environnement. (FAO, 2018). L'agroécologie est vue comme une filière créatrice de richesse puisque l'augmentation des rendements à l'hectare suite à l'application de pratiques agroécologiques élève le niveau de revenus des agriculteurs (Claveirole, 2016).

1.1.3. Principes et caractéristiques de l'agroécologie

L'objectif principal de l'agroécologie reste la maximisation des rendements, mais sous la réalisation de certaines conditions fondamentales. Ces conditions correspondent aux différents principes qui peuvent être classés selon leur domaine d'intervention : l'environnement, le développement social et culturel, l'économie et la gouvernance.

Étant donné l'absence d'une définition unique et stricte de l'agroécologie, elle est souvent définie en fonction des principes qui la délimitent. Les principes agissent ainsi comme les lignes directrices d'un mouvement ce qui permet l'application de l'agroécologie à divers systèmes et à différentes échelles. Les premiers principes de l'agroécologie ont été définis par Altieri qui s'inspira des travaux de Reijntjes, Haverkort et de Walter-Bayer (Stassart et al., 2012). Ces principes s'appuient sur un modèle déjà existant, celui de l'autosuffisance, ils sont présentés dans la figure 1. Ce sont des principes favorisant les agricultures à plus petites échelles, considérées comme plus durables. Ils ont pour but « optimiser et équilibrer les flux de nutriments, minimiser l'usage des ressources externes non renouvelables (engrais, pesticides, carburant), maximiser celui des ressources renouvelables (solaire, organique, hydrique), favoriser la diversité génétique et enfin promouvoir les processus et les services écologiques » (Stassart et al., 2012).

Altieri (1995), citant Reijntjes, Haverkot et Water-Bayer (1992)	<p>A. Principes « historiques » de l'agroécologie</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Permettre le recyclage de la biomasse, optimiser la disponibilité de nutriments et équilibrer le flux de nutriments. 2. Garantir les conditions de sol favorables à la croissance des plantes, en gérant en particulier la matière organique et en améliorant l'activité biotique du sol. Ceci suppose, au regard de la rareté des ressources pétrolières, une réduction drastique de l'usage d'intrants externes produits de la chimie de synthèse (engrais, pesticides et pétrole). 3. Minimiser les pertes de ressources liées aux flux des radiations solaires, de l'air et du sol par le biais de la gestion microclimatique, la collecte d'eau, la gestion du sol à travers l'accroissement de la couverture du sol et le jeu des complémentarités territoriales entre différentes orientations technico-économiques (notamment élevage-culture). 4. Favoriser la diversification génétique et d'espèces de l'agroécosystème dans l'espace et le temps. 5. Permettre les interactions et les synergies biologiques bénéfiques entre les composantes de l'agrobiodiversité de manière à promouvoir les processus et services écologiques clefs.
--	---

Figure 1. Premiers principes de l'agroécologie. (Stassart et al., 2012)

Au fur et à mesure, ces cinq premiers principes vont être complétés par les recherches de plusieurs instituts comme celui de l'INRA, de la FAO ou encore du CIDSE. Là encore, de nombreux nouveaux principes apparaissent sans pour autant devenir les principes directeurs du concept. Globalement, les principes se portent principalement sur quatre dimensions de l'agroécologie : la dimension environnementale, la dimension sociale et culturelle, la dimension économique et la dimension politique. Les recherches du CIDSE sur le sujet sont le résultat d'une collaboration européenne entre la Belgique, l'Angleterre, le Pays de Galles, la France, l'Italie, l'Autriche, l'Allemagne, l'Écosse et l'Irlande. Ils ont réalisé une méta-analyse des différents principes qui ont vu le jour depuis la parution des cinq premiers principes

d'Altieri en 1995 dans le but de développer une vision commune du concept (CIDSE, 2018). Leur travail a été réalisé à partir de 20 sources parues entre 1995 et 2016. Ces sources proviennent d'auteurs scientifiques, mais aussi d'organisations comme la FAO ou Green Peace, d'instituts ou sont encore issues de conférences internationales. Les principes sont présentés sous forme condensée et de manière plus explicite dans la figure suivante.



Figure 2. Principes évolués. (CIDSE, 2018)

Dynamiques et échelles

L'agroécologie nécessite une visualisation globale d'un système de production, ce n'est plus la parcelle qui est étudiée, mais l'écosystème dont elle fait partie. L'application de l'agroécologie peut donc devenir aussi complexe que simple selon la démarche qui est faite.

Cette complexité entraîne une transition sur le long terme qui oblige les producteurs à reconstruire leurs parcelles et leurs fonctions. Les services écosystémiques devenant les principales ressources des producteurs, ces derniers doivent donc élargir leur champ d'analyse et d'intervention. Ce n'est plus la parcelle et le troupeau qui sont étudiés par le producteur, mais l'ensemble de l'exploitation agricole, voire même à l'échelle régionale. Le passage à une échelle supérieure implique de nouveaux acteurs et la création de nouvelles dynamiques. Les quatre dimensions qui composent l'agroécologie ne concernent plus seulement le cadre de la production, mais aussi celui de la consommation et de la commercialisation. L'agroécologie est basée sur une dynamique participative sollicitant une équité entre les différents acteurs ainsi qu'une coordination à différents niveaux. (Trabelsi, 2017).

Place et rôle des agriculteurs

Pour atteindre cette forme participative de l'agroécologie, il convient d'attribuer une place importante aux agriculteurs et aux acteurs du milieu dans le but de défendre les intérêts des paysans. La place qui est attribuée à ces acteurs dépend du contexte du pays dans lequel a lieu la transition. En fonction des facteurs économiques, sociaux et politiques, le poids de cette place ne sera pas la même. L'agroécologie est un concept pluridisciplinaire s'appuyant sur les fonctions écologiques de l'environnement, il convient donc de comprendre ces fonctions et de comprendre l'écosystème qui englobe la production agricole. La transition implique donc une acquisition de connaissances et de nouvelles pratiques, l'apprentissage des agriculteurs doit être considéré. Ce processus d'apprentissage se fait souvent par le biais des associations, des communautés universitaires et scientifiques qui accompagnent, qui conseillent, qui informent et qui suivent le changement. Contrairement à l'agriculture intensive, les intrants ne sont pas appliqués selon des normes ou des mesures, mais en fonction des besoins réels de l'écosystème. L'agriculteur doit alors être capable d'observer et de réagir grâce aux nouvelles techniques et compétences acquises pour prendre des décisions. (Trabelsi, 2017). Dans les pays du Sud où le savoir-faire traditionnel est ancré dans les pratiques agricoles, le savoir des agriculteurs reste souvent peu valorisé et peu étudié par les chercheurs et les associations. Les agriculteurs sont conscients de l'actuelle dégradation des terres et de la baisse des rendements. Cependant, ils ne sont pas toujours en mesure de comprendre les processus biophysiques qui s'y déroulent. Pour limiter les dégradations et pour compenser la perte de rendements, les agriculteurs des pays en développement possèdent une forte capacité d'adaptation qui leur vient des connaissances transmises de génération en génération. Ces savoirs ont tendance à se perdre avec le temps et en partie à cause des politiques publiques qui encouragent la

maximisation des rendements. L'arrivée des intrants chimiques et de la mécanisation ont également causé la perte de l'usage de certaines pratiques, comme les cultures associées, qui sont maintenant considérées comme des innovations agroécologiques. (Patrick Dugué et al., 2012).

1.2. La transition agroécologique

L'agriculture conventionnelle fait de plus en plus réfléchir et de nouvelles alternatives tentent de remplacer ce système obsolète. Ce sont ces nouvelles alternatives et le système conventionnel qui seront présentés dans cette première partie afin de comprendre les enjeux relatifs aux diverses exploitations agricoles. La présentation de ces concepts mettra en avant les particularités de chacun par rapport aux modèles intensifs. Les obstacles liés à transition agroécologique seront étudiés afin de mettre en lumière ce qui pourrait freiner ou ralentir ce changement au Bénin.

1.2.1. Changement de paradigme

Les autres types d'agriculture

Les types d'agriculture qui sont les plus répandus sont l'agriculture conventionnelle et l'agriculture biologique. Au fur et à mesure, d'autres types d'agriculture se sont développés : l'agriculture raisonnée, l'agriculture intégrée ou encore l'agriculture de conservation. Il existe aussi des niveaux de certification environnementale attribués aux exploitations répondant aux principes de l'agriculture à haute valeur environnementale ou de l'agriculture biologique. Les différents types d'agricultures seront présentés dans les paragraphes suivant :

- Agriculture conventionnelle

L'agriculture qui s'est développée ce dernier siècle dans les pays industrialisés est l'agriculture conventionnelle, dite aussi moderne, elle allie technologie, sciences et pratiques. Elle est le résultat du contexte historique de l'époque : après la Première Guerre mondiale, la pauvreté et le manque de main d'œuvre réorientent les exploitations agricoles. Les pays industrialisés sont en pleine urbanisation ce qui accroît fortement la demande en denrée alimentaire dans les centres urbains. Pour y répondre, les exploitations adoptent un nouveau modèle, celui de la productivité intensive à l'unité de terre. C'est le passage de l'agriculture traditionnelle à l'agriculture conventionnelle. L'intensification se fait au moyen de l'augmentation des intrants (croisement de variété sélectionnée, pesticides, fertilisants, etc.) grâce aux nouvelles découvertes dans le milieu de la chimie, de la biotechnologie et de la

mécanisation. (Murua et al., 1995). Ce type d'agriculture va connaître son essor après la Seconde Guerre mondiale et va se propager dans le monde tout comme la Révolution verte en Amérique latine. Beaucoup des intrants sont inspirés de découvertes ayant initialement été développées pour la guerre. Par exemple, le gaz moutarde est le précurseur de plusieurs insecticides, le glyphosate a largement été utilisé par les Américains au Vietnam, les bombes à azote qui ont permis de découvrir les effets de l'azote sur la végétation et qui sert maintenant comme engrais ou encore le pétrole et le carburant d'abord utilisés pour les engins de guerre et qui ont ensuite permis le développement des engins agricoles (Camille Prudhomme, s.d.) La mécanisation des exploitations agricoles a conduit à la diminution massive du besoin de main d'œuvre et à l'augmentation de la superficie des parcelles agricoles. L'agriculture conventionnelle est également caractérisée par une homogénéisation des cultures ce qui a mené à la diminution de la diversité génétique des plants. Avec la pratique intensive, les limites de ce modèle ont très vite fait surface, on assiste à un effet de dégradation des sols et à une mauvaise gestion des ressources naturelles (Murua et al., 1995). Certains effets sont même considérés comme étant irréversibles : désertification, salinisation et érosion. Pour augmenter la productivité, les parcelles sont irriguées de manière excessive ce qui entraîne une salinisation des sols et une perte considérable de la ressource. De plus, l'usage non contrôlé des intrants chimiques contamine les sols puis finit par contaminer les eaux de surface. La dégradation des sols crée un effet inverse du modèle, les rendements par unité de terre ne sont plus satisfaisants, la quantité en intrant est alors augmentée tout comme les coûts qui y sont relatifs. L'usage intensif des produits phytosanitaires a pour résultat une baisse de l'efficacité en raison de l'adaptation et de l'accoutumance des espèces envers les produits. Le tri des espèces à éliminer n'a pas lieu et les pollinisateurs ainsi que les insectes à effet bénéfique se retrouvent directement menacés. (Murua et al., 1995)

- Agriculture biologique

L'agriculture biologique est une pratique assez ancienne dont les principes sont en totale opposition avec ceux de l'agriculture conventionnelle. C'est un modèle développé au 20^e siècle qui propose « une critique radicale des modèles scientifiques, économiques et sociaux qui fondent l'agronomie scientifique et l'entrée dans la modernité de l'agriculture occidentale » (Tertrais, s.d.). Les pratiques agricoles sont respectueuses de l'environnement, mais aussi de la santé humaine et du bien-être animal. Cependant, c'est un modèle qui a été très critiqué, notamment pour l'investissement qu'il demande et les rendements inférieurs qui en résultent. L'agriculture biologique est l'un des rares modèles disposant d'une certification

donnée par un organisme tiers et qui possède ainsi un cahier des charges très restrictif. (Tertrais, s.d.) Cette agriculture exclut radicalement les intrants chimiques de toute sorte y compris les OGM (Trabelsi, 2017). Pour rester compétitive avec l'agriculture conventionnelle, l'agriculture biologique a dû revoir à la baisse les critères érigés par les pionniers comme Albert Howard (Servigne, 2012). À la différence de l'agroécologie, l'aspect humain et social est peu ou pas considéré dans les cahiers des charges de l'agriculture biologique (Servigne, 2012). Ainsi, on ne retrouve pas la volonté du respect de l'équité et de la valorisation du paysan dans les critères du label biologique. De plus, seul l'aspect biologique et sans intrants est prôné par les distributeurs puisque les produits possèdent parfois une empreinte écologique assez élevée en ayant traversé des océans avant d'arriver sur les marchés. Ce décalage entre le concept de base et le biologique plébiscité de maintenant ne permet plus d'assurer la pérennité de ce système.

- L'agriculture raisonnée

L'agriculture raisonnée est une alternative à l'agriculture moderne qui est plus respectueuse de l'environnement. C'est un modèle qui a été créé en France en 1993 en réponse au mouvement social qui souhaitait que l'aspect environnemental soit davantage intégré dans les pratiques agricoles. Les agriculteurs ayant de plus en plus une mauvaise image auprès de l'opinion publique, qualifiée même de pollueur par l'ancien ministre de l'Environnement, Brice Lalonde en 1990, de nouvelles mesures se sont naturellement imposées. (Féret, 2001). L'agriculture raisonnée a pour but de réduire l'usage des intrants chimiques comme les engrains et les pesticides qui sont alors jugés comme trop coûteux et polluants. Pour remplacer ces produits, l'agriculture raisonnée privilégie la lutte biologique face aux nuisibles en utilisant des insectes, des bactéries ou des plantes comme répulsifs ou comme prédateurs. (Tertrais, s.d.). Cependant, l'agriculture raisonnée n'interdit pas l'usage de pesticides, l'application est permise à condition que la dose soit adaptée. Il s'agit d'une initiative volontaire de la part des producteurs qui peuvent ensuite obtenir une certification en agriculture raisonnée après une évaluation réussite de leur exploitation (Trabelsi, 2017). Cette certification est depuis 2013 devenue une certification environnementale dans le but de simplifier les démarches publiques (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2013).

- Agriculture intégrée

L'agriculture raisonnée constitue la première étape vers l'agriculture intégrée. Cette dernière utilise des mesures similaires à celles de l'agriculture raisonnée en termes de lutte biologique,

mais emploie également des moyens physiques et techniques. Les pratiques agricoles que l'on retrouve, entre autres, sur les exploitations pratiquant l'agriculture intégrée sont la rotation des cultures, la réduction des apports azotés ou encore le choix de variétés plus résistantes. Ce modèle agricole s'est développé lorsque les ravageurs résistants aux pesticides ont commencé à proliférer et que la prise de conscience sur les impacts environnementaux causés par l'utilisation intensive des pesticides a été de plus en plus forte. (Bonny, 1997) Contrairement à l'agriculture raisonnée, l'agriculture intégrée n'utilise pas de pesticides, mais va chercher des alternatives respectant l'environnement.

- Agriculture de conservation

L'agriculture de conservation se caractérise par trois principes : le travail minimal du sol, la couverture permanente du sol et la diversification des espèces cultivées. Elle permet d'accroître la productivité des terres tout en préservant les ressources naturelles. (FAO, 2020b). L'agriculture de conservation est promue par la FAO depuis les années 2000, elle est de plus en plus pratiquée en Amérique latine, notamment au Brésil, et en Europe, mais demeurent marginalisée en Afrique (Trabelsi, 2017). Ce modèle agricole agit directement comme protection contre l'érosion des sols. De plus, il permet le maintien de l'activité des micro-organismes à la surface du sol ainsi que le maintien du taux de matière organique. Le système obtenu s'apparente donc plus à un écosystème naturel, telle une prairie, plutôt qu'à un champ travaillé. (Chabert et Sarthou, 2017). L'utilisation d'intrants chimiques n'est pas interdite, mais fortement diminuée, tout comme l'agriculture raisonnée, l'utilisation est permise, mais à condition que la dose soit adaptée (Trabelsi, 2017).

La présentation de ces différents types d'agriculture a démontré que chaque système possède ses limites et son champ d'expertise. L'agroécologie se distingue, car c'est une science qui prend en compte les différentes dynamiques entre l'agriculteur, le consommateur, la nature et le contexte économique et pas seulement le mode de production employé. C'est un concept beaucoup plus global et qui présente de plus grandes perspectives de réussite étant donné son ouverture à la société.

L'apparition et l'évolution de ces nouveaux modes de productions agricoles sont bien la preuve d'une volonté commune d'aller plus loin, à la recherche d'alternatives à l'agriculture conventionnelle. Les limites de l'agriculture conventionnelle sont reconnues et les institutions internationales tentent de réorienter la production agricole. Au niveau des pays du Sud, les paysans souffrent de la dépendance occasionnée par l'agriculture conventionnelle. Les firmes

privées ayant le monopole de la production d'intrants chimiques fixent les prix et influencent grandement les marchés internationaux et les politiques gouvernementales. Les petits paysans n'ont parfois pas le choix de se tourner vers ces firmes qui leur assurent de bons rendements en retour. On observe ainsi, une forme de dépendance des agriculteurs vis-à-vis de ces firmes ce qui les rend encore plus vulnérables. Ce type de production comporte pourtant de nombreux effets négatifs impactant l'environnement, mais aussi le bien-être humain. C'est cette accumulation d'effets qui pousse la société à revoir son mode de production et de consommation alimentaire. Les alternatives proposées comme l'agroécologie sont fondées selon un cycle vertueux d'exploitation et de régénération des ressources tout en respectant un certain équilibre entre les acteurs. Alors que le modèle conventionnel suit une équation linéaire de production ne cherchant que l'augmentation du rendement sans préoccupations pour les autres sphères de développement.

1.2.2. Les obstacles à la transition

L'agroécologie semble être une solution parfaite, mais elle présente également de nombreuses difficultés la rendant moins attrayante pour les agriculteurs. En effet, comme décrit dans les prochains paragraphes, l'agroécologie n'est pas une solution facile à appliquer, elle demande beaucoup d'efforts et une réelle volonté de changement.

Raisons économiques

Pour assurer une transition agroécologique, les agriculteurs doivent posséder suffisamment de ressources financières pour engendrer ce changement. L'agroécologie demande beaucoup plus de travail que l'agriculture conventionnelle. Beaucoup des pratiques se font à la main et sans processus de mécanisation. De plus certaines pratiques sont longues à mettre en place ou respectent des cycles de production. Lors d'une transition, il y a un long travail de recherche et d'analyse qui est demandé, l'agriculteur doit trouver une source de fumier organique, des espèces qui pourront agir comme biopesticides, un agencement et une organisation lui assurant une productivité optimale ou encore des cultures complémentaires qui pourront être associées. Le travail manuel y est aussi important puisqu'en absence de produit chimique, le temps passé au champ triple, par exemple le désherbage, l'épandage de fumier, la récolte, le semis et le travail physique des sols sont des pratiques souvent automatisées dans l'agriculture conventionnelle. (Beauval et al., 2014) Contrairement à l'idée reçue sur l'agroécologie en termes de création d'emploi, ce modèle n'est pas vu comme une solution au chômage. En effet, le chômage se concentre davantage dans les centres urbains et est souvent accentué par

l'exode rural. Ces personnes qui ont quitté la campagne ne souhaitent pas forcément y retourner pour réaliser du travail agricole intensif (Beauval et al., 2014). Comme l'agroécologie demande beaucoup de main d'œuvre, il faut que les producteurs puissent engager des employés en leur assurant une rémunération intéressante et des conditions de travail favorables ou qu'ils puissent investir dans du matériel agricole mécanisé. Pour rééquilibrer ces dépenses, le prix de vente d'un produit issu de l'agroécologie devra être plus élevé qu'un produit issu de l'agriculture chimique. Ceci constitue un obstacle pour les consommateurs, car dans les pays en voie de développement le prix est d'abord regardé avant la qualité du produit. Cependant, la question de l'alimentation est de plus en plus abordée par la population qui prend conscience des effets sur la santé provoquée par les résidus chimiques. (Beauval et al., 2014)

Les traditions et les habitudes

L'agriculture intensive a tellement été associée au progrès et à une agriculture moderne et réfléchie que passer à l'agroécologie revient à faire marche arrière. Quand pendant des années il a été répété qu'il n'y avait pas mieux et que c'était l'avenir, il est normal d'observer quelques réticences au changement. C'est le biais de *statu quo*, une personne sera toujours plus réticente au changement puisque celui-ci comporte plus de risques que d'avantages.

Raisons politiques

Malgré les limites et l'aspect non durable de l'agriculture conventionnelle, les politiques publiques privilégièrent encore ce mode de production d'une part parce qu'il assure un certain niveau de rendements et répond donc à la demande des consommateurs et d'autre part à cause de la place importante et décisive qu'occupent les géants de la production et de la distribution alimentaire et qui n'hésitent pas à faire pression sur les gouvernements à travers le *lobbying* (Beauval et al., 2014). De plus, la propagande autour de la Révolution Verte et encore très forte et beaucoup de modèles s'appuient sur celui-ci. La Révolution Verte reste encore une référence dans la production agricole et auprès des décideurs politiques. Étant donné que la plupart des pays industrialisés sont passés par ce type de production, alors ce passage devient une sorte d'étape à atteindre pour les politiques des pays en voie de développement (Beauval et al., 2014). Au Bénin, le Plan stratégique de Relance du secteur Agricole (PSRSA) encourage les filières spécifiques comme le coton et l'anacarde. Ces cultures vont à l'encontre des principes agroécologiques sur plusieurs points. Ces dernières années, la culture de coton a démontré de nombreuses failles d'un point de vue économique, social et environnemental.

L'utilisation massive de produits phytosanitaires, la tendance à la baisse du marché coton, la dégradation et la perte de fertilité des sols ont entraîné des effets irréversibles et une diminution conséquente de la production. En ce qui concerne les noix d'anacarde, la monoculture n'est pas une solution durable, l'agroécologie promeut une diversité des espèces de manière à créer une symbiose naturelle. Un champ d'anacardier ne sera pas bénéfique sur le long terme malgré les gains économiques importants, car la culture engendrera une baisse de la qualité des sols. (MAEP, 2011)

L'apprentissage

Les formations en agronomie dans les écoles et les universités sont encore axées sur l'agriculture productiviste. Les formations classiques enseignent des techniques de production culture par culture de manière spécifique alors que l'agroécologie privilégie une approche systémique et définit l'exploitation agricole comme un ensemble. Cette domination de l'agriculture classique ne contribue pas au changement que pourraient apporter les nouveaux agriculteurs de demain. En plus du type de formation qui est donné, l'un des obstacles à la transition est aussi la quantité et la qualité des connaissances qui découlent de l'agroécologie. En effet, l'agroécologie implique une compréhension des dynamiques et des interactions qui composent l'écosystème. Ce travail d'analyse doit être fait de manière personnalisée, car chaque situation est unique, il n'y a pas de « recettes universelles ». (Beauval et al., 2014). Cela demande ainsi du temps d'apprentissage de la part de l'agriculteur, c'est au fur et à mesure qu'il atteint la pleine capacité de son exploitation. C'est le temps de comprendre et de réaliser des essais de telles ou telles pratiques.

Le temps

Pour ce qui est du rendement agricole, il a été observé que durant le passage d'une agriculture conventionnelle à une agriculture agroécologique, les rendements avaient tendance à diminuer. C'est seulement après plusieurs années d'implantation des pratiques agroécologiques que les rendements deviennent supérieurs à ceux obtenus en agriculture conventionnelle. Ce passage correspond à la régénération des sols et des processus biologiques, on assiste en quelque sorte à une désintoxication des sols. (Trabelsi, 2017). Certaines pratiques demandent du temps de réalisation, par exemple, les pratiques modifiant le relief sont des pratiques qui demandent énormément d'investissement sur le long terme.

Les échelles

L'agroécologie est plus qu'un simple modèle de production, il s'agit d'un mouvement social. Elle est donc d'autant plus puissante que son nombre de partisans augmente. Une transition agroécologique ne se fait pas seule, il faut une volonté collective pour initier le changement et assurer des rendements compatibles aux besoins des producteurs. Les pratiques isolées de l'agroécologie seront très peu valorisables par le producteur. De plus, il aura beaucoup plus de difficulté de mise en œuvre n'en ayant pas ou peu accès à du matériel, à du fumier organique ou encore à des semences organiques.

Raisons foncières

Le système coutumier des droits fonciers est encore très répandu dans les pays en voie de développement. Bien qu'il permette la location de parcelles à un agriculteur ayant de faibles revenus, il ne permet pas l'investissement à long terme de ce même agriculteur sur la parcelle. Un agriculteur louant une parcelle sera moins enclin à y consacrer son temps et son énergie pour l'application de pratiques agroécologiques si cette parcelle peut lui être reprise l'année suivante. L'une des solutions reste la signature d'un bail avec le propriétaire qui lui assure ainsi une certaine durée d'exploitation. (Beauval et al., 2014)

1.2.3. Cas d'application

L'agroécologie est une pratique plus répandue dans les pays en développement que dans les pays industrialisés en raison du faible taux de mécanisation dans les champs, de la plus faible superficie des parcelles et du plus faible recours à l'utilisation d'intrants chimiques. Ces alternatives s'implantent plus facilement dans ces pays, car les pratiques conventionnelles sont souvent très coûteuses et nécessitent parfois des aides financières extérieures auxquels n'ont pas accès les petits producteurs. Voici quelques exemples du développement des pratiques agroécologiques dans les pays en développement.

- Au Niger, un projet mené par AgriSud International, avait pour but d'améliorer la sécurité alimentaire et le développement économique du pays au moyen du développement de pratiques agroécologiques. L'agriculture pratiquée dans ce pays était principalement céréalière et pluviale. Les irrégularités des précipitations, la désertification des terres arables, la baisse des rendements, l'arrêt des aides alimentaires en 1983 et les récoltes de plus en plus mauvaises ont conduit à des crises alimentaires récurrentes sur l'ensemble du pays. Pour lutter contre, entre 2007 et 2010, 1399 ménages jugés comme plus vulnérables ont été accompagnés dans la

diversification des cultures maraîchères et fruitières. Sur le plan écologique, ce sont presque 55 000 arbres forestiers et fruitiers qui ont été replantés dans les zones dégradées, des aménagements hydro-agricoles économies en eau ont été installés sur 29 sites maraîchers et les 1399 ménages ont été formés sur les pratiques agroécologiques de gestion des ressources, du sol et sur la préservation de la biodiversité. En termes de chiffres, les familles qui ont participé au projet ont vu leur revenu augmenter de 330 euros et leur récolte de légumes grimper de près de 1 120 tonnes par an. (Berton et al., 2013)

- L'Association pour la recherche et la formation en agroécologie (ARFA) travaille dans beaucoup de villages du Burkina Faso et plus spécifiquement dans l'Est du pays. L'agriculture est très pratiquée dans cette région, mais est souvent confrontée à plusieurs difficultés comme la pauvreté du sol, les aléas climatiques et le manque de matériel agricole (Berton et al., 2013). Ces difficultés ne permettent pas à la population d'atteindre un seuil convenable d'auto-suffisance alimentaire. Avec la participation des collectivités villageoises, l'ARFA a établi trois principaux objectifs : la promotion des pratiques agroécologiques, l'amélioration des conditions de vie des populations par l'approche agroécologique et par l'éducation environnementale, le renforcement des capacités d'adaptations des populations rurales face aux changements climatiques. L'ARFA a ainsi mis à disposition une ferme agroécologique à Natioloani en 1996, a participé à la restauration des sols grâce à des travaux antiérosifs et a, entre autres, créé des pépinières agroforestières pour le reboisement. Grâce aux actions menées par l'ARFA, les 700 familles ayant mis en place des pratiques agroécologiques ont enregistré une augmentation des rendements compris entre 40% et 60% en moyenne. (Berton et al., 2013)

1.3. L'aide à la décision

Les outils d'aide à la décision sont employés dans de nombreux domaines à travers le monde. Ainsi dans la politique, dans la finance, dans la santé ou encore dans l'agriculture, des OAD sont développés pour faciliter la décision, mais surtout pour la rendre efficace et juste. Ce sont des outils qui sont de plus en plus répandus, car ils sont utilisables par tous sans avoir forcément besoin de compétences en statistiques. Dans cette partie, les outils d'aide à décision du monde agricole seront étudiés et certains OAD développés pour aider les agriculteurs seront présentés.

1.3.1. Les OAD dans l'agriculture

Historique et apparition des OAD

Les OAD sont apparus avec l'agriculture de précision dans les années 1980 aux États-Unis. La modernisation de l'agriculture et le passage à une agriculture intensive ont engendré plusieurs problématiques, dont celle de l'utilisation massive d'intrants chimiques. Pour diminuer l'utilisation de ces intrants et ainsi réduire les effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement, il a fallu déterminer quelle dose appliquer, et ce de manière optimale. Les avancées technologiques ont permis la représentation des parcelles agricoles sous forme de modèle mathématique, composé de plusieurs indicateurs avec lesquels les simulations sont possibles. Ces indicateurs sont parfois observables directement sur le terrain ou peuvent être mesurés à l'aide de capteurs. Les résultats obtenus permettent la réalisation d'un diagnostic de l'exploitation agricole et assistent ainsi les décisions prises par l'agriculteur. C'est ainsi qu'une OAD se construit et améliore le processus décisionnel de l'agriculteur. Les premiers indicateurs utilisés ont été ceux obtenus par l'imagerie satellite. Ces images étaient d'abord utilisées pour les études de sols et pour les cartographies de l'usage des sols au moyen de l'indice NDVI créé en 1973. Plus tard, grâce aux systèmes d'information géographique (SIG), les données de géoréférencement (GPS) et les données collectées sur le terrain manuellement ou par capteur peuvent être superposées en plusieurs couches de données. Dans l'agriculture de précision, ces dispositifs sont de plus en plus utilisés puis améliorés. Ainsi, les capteurs qui étaient vendus à un coût élevé deviennent plus abordables pour les producteurs qui s'en servent pour suivre leurs rendements. (Zwaenepoel et Bars, 1997)

Au cours du temps les OAD deviennent de plus en plus fiables et faciles à utiliser. En effet, les données s'accumulent et réduisent ainsi les marges d'erreur. De plus, l'avancée de la technologie moderne permet d'accroître l'efficacité des systèmes, par exemple avec les capteurs connectés qui envoient des données en temps réel et très fréquemment. Les drones sont également de plus en plus utilisés, ils apportent des données précises sur l'état des parcelles malgré la grande superficie de certains champs. Ils permettent ainsi de cibler les interventions à l'intérieur même d'une parcelle.

Fonctions et avantages

Les outils d'aide à la décision répondent à plusieurs enjeux de la production agricole. Au niveau agronomique, ils permettent d'optimiser les besoins et ainsi utiliser moins d'intrants. La parcelle agricole devient plus efficiente et les dynamiques qui la régissent sont mieux comprises grâce aux capteurs et aux indicateurs. Une fois que ces dynamiques sont prises en

compte et que le fonctionnement de la plante cultivée est bien compris alors des outils de prévision peuvent être mis au point. Grâce à ces prévisions, les risques peuvent être anticipés ce qui renforce les systèmes d'alertes précoce pour la sécurité alimentaire.

Sur le plan économique, les OAD permettent d'augmenter les rendements et de réduire les coûts liés aux intrants. En effet, la quantité de produits phytosanitaires et d'engrais est réduite, mais aussi les ressources comme l'eau d'irrigation. Pour aller plus loin, certains OAD permettent l'inclusion des coûts liés à la consommation de carburant et l'optimisation des trajets des engins agricoles.

Enfin, pour les enjeux environnementaux et sociaux, les OAD atténuent les effets néfastes de la production agricole sur l'environnement tout en répondant aux besoins alimentaires croissants de la société. La connaissance des indicateurs météorologiques comme les précipitations, la vitesse du vent, l'ensoleillement et l'évapotranspiration permet d'adapter les pratiques agricoles aux conditions environnementales du milieu cultivé. De plus, les OAD optimisent aussi les pratiques agricoles ce qui a pour effet de réduire la charge de travail. La gestion des risques étant améliorée par l'utilisation des OAD, la résilience des agriculteurs face aux aléas climatiques se voit renforcée. Le bien-être des agriculteurs est ainsi amélioré puisqu'ils subissent moins de charges, moins de stress et obtiennent plus de temps libre.

Utilisation des OAD dans l'agroécologie

Les OAD sont un levier pour l'essor de l'agroécologie. Les prévisions que les OAD offrent permettent à l'agriculteur de réagir un amont du problème et de manière posée et réfléchie. Un agriculteur qui agit dans la difficulté a plus de risque d'utiliser des méthodes radicales comme l'utilisation massive de produits phytosanitaires. L'agriculteur en connaissance de cause a le loisir de mieux comprendre les enjeux et d'agir en conséquence. Comme les OAD utilisent l'historique de la parcelle, lorsque celui-ci est disponible, l'analyse et les décisions qu'ils proposent sont de plus en plus justes. De nos jours les OAD sont fréquemment utilisés dans les pays industrialisés. Ils sont utilisés dans les relations conseiller-agriculteur et sont proposés par des sociétés en conseil, des instituts techniques ou encore par les sociétés distributrices de produits phytosanitaires. Dans le domaine de la protection des plantes, les OAD se divisent en trois catégories : les ravageurs, les maladies et les autres qui abordent des sujets tels que les mauvaises herbes, la gestion, le stockage ou le respect des bonnes pratiques et de la réglementation. (UIPP, 2016)

Bien que l'agriculture de précision et l'agroécologie soient deux systèmes différents, ils ont un commun le fait de considérer un milieu comme hétérogène et non comme un ensemble

isolé. Les OAD sont donc d'une aide précieuse en agroécologie puisqu'ils apportent des conseils selon le milieu étudié et non selon les pratiques normalisées et homogènes qui sont dictées. La révolution numérique qui débarque dans l'agriculture permet d'apporter une certaine transparence sur la production et qui renforce ainsi le lien de confiance entre le producteur et le consommateur. Cette transparence sur le mode de production, la traçabilité ou encore la transition vers l'agroécologie sont des demandes faites par les consommateurs, l'offre s'adapte donc à la demande. (Séronie, 2020) La digitalisation doit être vue comme une manière de faciliter la transition agroécologique, elle ne doit pas être crainte. L'agroécologie correspond à l'utilisation intensive des processus biologiques et naturels, la révolution numérique dont les OAD permettent de les optimiser. Des données de toutes sortes collectées directement et instantanément sur le terrain permettent de cibler les interventions, mais aussi, par le traitement des données, de prévoir et d'anticiper, de simuler et de sécuriser. (Séronie, 2020) Une contrainte souvent citée de l'agroécologie est son travail manuel de grande ampleur, dans un avenir proche, cette difficulté pourrait être minimisée grâce à la robotisation. Les instituts technologiques investissent de plus en plus dans la robotique et dans l'intelligence artificielle qui petit à petit se retrouvent sur le marché agricole. Ainsi, de multiples sortes de robots désherbeurs sont maintenant sur le marché, dont certains spécialisés dans le maraîchage et capables d'enjamber les planches (Séverac, s.d.). Le tout combiné aux capteurs et à l'intelligence artificielle résout une autre contrainte de l'agroécologie : le manque de main d'œuvre en milieu rural. Ce soutien technologique permet de mécaniser certaines tâches avec précision et permet ainsi le développement des pratiques non chimiques (Séronie, 2020). C'est pourquoi la révolution numérique qui accompagne la transition agroécologique est un levier important pour l'essor de ce mode de production. Elle permet non seulement la réduction de l'impact environnemental, mais également la diminution de la charge mentale de l'agriculteur. De nos jours, et en particulier pour l'agroécologie, un agriculteur doit être multicomptent, doit exercer de manière pluridisciplinaire et doit ainsi porter plusieurs casquettes. L'arrivée du numérique permet de réduire toutes ces charges et entraîne un nouveau mode de raisonnement axé davantage sur la gestion et la stratégie.

Besoins pour la mise en place d'un OAD

Cette approche technologique de l'agroécologie grâce aux OAD nécessite souvent du matériel et des logiciels plutôt onéreux dans l'ensemble. De plus, le fonctionnement n'est pas toujours optimal lorsque les systèmes connectés se trouvent dans des zones reculées, loin des réseaux. (Bricout et al., s. d.). Lorsqu'un OAD est développé, il est ensuite destiné à deux types

d'acteurs, soit les pouvoirs publics, soit aux acteurs de développement et de terrain (coopérative, association, ONG, agriculteur, etc.) (Dubrulle et al., 2014). Le premier type concerne les décisions qui doivent être prises sur le long terme à l'échelle d'un territoire, ce sont des décisions stratégiques qui nécessitent une expertise et une étude scientifique poussée (Dubrulle et al., 2014). Pour le second type, les décisions qui aboutissent des modèles sont toutes destinées aux agriculteurs. Certains outils passent d'abord par des acteurs de développement qui s'appuient sur l'outil pour aider et conseiller les agriculteurs. En fonction des résultats obtenus et de leur interprétation, ils peuvent orienter les pratiques agricoles. D'autres outils sont utilisés directement par l'agriculteur et ne passent pas par les acteurs de développement. (Dubrulle et al., 2014) Pour construire un outil, il faut donc comprendre qui en est le destinataire final et par qui est ce qu'il va être utilisé. Si l'outil se destine directement à l'agriculteur, alors son caractère « clé en main » est indispensable. En effet, la compréhension de l'outil doit être simplifiée et son utilisation doit être intuitive si l'on veut que l'outil soit correctement utilisé par l'agriculteur. La complexité de l'outil doit donc être étudiée selon le destinataire : un outil complexe suffit à la communauté scientifique des pouvoirs publics, les acteurs de développement ou les fournisseurs de services ont certaines limites quant à la complexité, et finalement les agriculteurs ne doivent bénéficier que d'une complexité minimale de l'outil. (Dubrulle et al., 2014). Pour mettre en place un OAD, il faut délimiter les échelles définissant le projet. Il faut ainsi connaître l'échelle d'espace (parcelle, exploitation, bassin versant, etc.), l'échelle d'objets d'étude (culture céréalière, élevage, maraîchage, etc.), l'échelle de décision (décision stratégique, décision tactique, impact, etc.) et l'échelle de temps (court terme, long terme, annuel, saisonnier, etc.) (Dubrulle et al., 2014).

1.3.2. Quelques exemples d'OAD

- VFF QC

VFF QC est une application destinée aux producteurs de grandes cultures et plus spécifiquement celle du maïs. Elle permet de lutter contre un ravageur endémique du Québec : le ver fil-de-fer. Le dépistage de cette espèce dans les sols est long et ne permet donc pas d'être réalisée tous les ans sur l'ensemble des parcelles agricoles. Cet outil permet de cibler les champs les plus à risque d'abriter des populations importantes de VFF et de permettre ainsi aux producteurs et aux intervenants de choisir la méthode de lutte appropriée si nécessaire. (Labrie, 2017) VFF QC a été développé en parallèle avec le changement réglementaire du Code de gestion des pesticides. Les lois se faisant plus strictes sur l'utilisation des produits phytosanitaires, il fallait aider les producteurs dans la lutte contre les

ravageurs. Ce projet a nécessité des dépistages sur près de 800 champs de 2011 à 2015 en partie financés par le MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation). (Goudreau et Samson, 2017) L'outil se sert des données sur la région où se situe le champ, la texture du sol, le pourcentage de matière organique, la culture de l'année et des trois années précédentes, l'élévation au-dessus du niveau de la mer, le travail de sol et l'historique de piégeage pour établir une prédition (Labrie, 2017).

- CAPFLOR

Capflor est un outil développé par l'INRA disponible sur internet depuis un ordinateur, une tablette ou un smartphone. C'est un outil d'aide à la conception de prairies fourragères diversifiée qui prend compte des conditions pédoclimatiques de la parcelle à semer et de la valeur d'usage souhaitée par l'utilisateur (fauche, pâturage, mixte) (Mauguin et Hazard, s.d.). Cet outil a été développé dans le but de proposer une alternative agroécologique aux monocultures fourragères consommatrices d'intrants chimiques. Pour que cet outil soit accessible et facilement utilisé par les agriculteurs, il a été conçu de manière participative avec des collectifs d'éleveurs (Goutiers, 2016). En fonction des données pédoclimatiques de la parcelle, le logiciel propose à l'utilisateur un ensemble de 6 à 14 espèces végétales pour constituer la flore diversifiée de la prairie. Ce mélange d'espèces est intéressant pour l'agriculteur, car il est plus productif que la végétation spontanée, n'a pas besoin d'intrants chimiques, est plus pérenne et possède une meilleure valeur alimentaire que les monocultures fourragères. (Goutiers, 2016)

- Rice Advice

Rice Advice est un OAD développé pour les systèmes de production de riz en Afrique. C'est un OAD intéressant puisqu'il est disponible sur les plateformes Android et donc sur les smartphones. L'utilisateur a accès à des directives et à des conseils pour la gestion des parcelles durant la pré-saison de la production rizicole. Ces directives comprennent le rendement cible, la gestion des éléments nutritifs, le calendrier des cultures ainsi que les bonnes pratiques agricoles. Jusqu'en 2017, ce sont plus de 20 000 directives qui ont été générées par l'application Rice Advice, au Nigeria, au Mali et au Sénégal. Les agriculteurs utilisant Riceadvice déclarent des gains de rendement entre 0,6 à 1,8 tonne par hectare, et des gains de revenu compris entre 100 \$ et 200 \$ par hectare. D'ailleurs, ce sont plus de 95% des agriculteurs qui veulent continuer à utiliser Rice Advice. Les directives proposées par l'outil

sont établies en fonction des réponses des agriculteurs aux questions à choix multiples sur les conditions de la ferme, sur les pratiques de gestion des cultures et sur le marché. C'est un outil qui peut être utilisé sans connexion internet sur le terrain, par contre il nécessite une connexion régulière lors de la synchronisation des données avec le serveur de la base de données. Actuellement RiceAdvice est disponible pour le Bénin, le Burkina Faso, le Cameroun, le Tchad, la Côte d'Ivoire, République démocratique du Congo, Égypte, Éthiopie, Ghana, Guinée, Madagascar, Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria, Rwanda, Sénégal, Sierra Leone, Tanzanie, La Gambie, Togo et Ouganda. (Africa Rice, 2020)

1.3.3. Un OAD appliqué au contexte béninois

Obstacles à la mise en place d'un OAD

Les obstacles qui font face à la mise en place d'une OAD ont lieu à plusieurs étapes du processus. Certains obstacles apparaissent pendant la phase d'élaboration de l'outil, comme lors de la récole de données et d'informations. Dans le cas du Bénin, le territoire est naturellement hétérogène aussi bien sur l'ensemble du pays que sur la région à l'étude. Ces différences définissent généralement les limites de l'outil qui doit soit les prendre en compte soit s'intéresser seulement à un type de milieu précis. Ces différences concernent aussi bien les aspects typologiques du milieu, que les conditions climatiques, hydrologiques ou encore le type de sol. Plus le nombre de données entrantes est élevé plus l'outil devient complexe. Cependant, avec un nombre important de données, l'outil devient aussi plus performant et élargit son champ d'action. Cette complexité peut être contrôlée grâce au type de plateforme sur lequel d'appuie l'outil. Un logiciel permet un traitement rapide et efficace des données puis offre directement les résultats à l'utilisateur. Mais, un logiciel nécessite une plateforme numérique et parfois un accès au réseau qui est souvent indisponible sur le terrain. Tous les agriculteurs ne possèdent pas un ordinateur ou une tablette leur permettant l'accès à un logiciel. C'est pourquoi ce sont souvent des acteurs de développement ou des conseillers qui se rendent directement sur le terrain pour accompagner les agriculteurs et pour leur présenter l'outil. Or, un agriculteur devrait avoir accès à ce genre d'outil en tout temps, pour rappel, le concept de l'agroécologie met en avant une forme d'indépendance et d'autonomie de l'agriculteur. Ce dernier doit donc pouvoir disposer d'une aide déjà en sa possession et non en provenance de l'extérieur. Les acteurs de développement sont intéressants pour l'initiation et le suivi d'un projet, mais les agriculteurs ne devraient pas dépendre de leurs interventions pour mener à bien leur production. Un des obstacles à la mise en place d'un OAD en

agroécologie est le changement d'habitudes de l'agriculteur par rapport à sa production. En plus d'intégrer l'utilisation de l'OAD dans sa démarche, l'agriculteur doit aussi tenir compte des résultats de l'OAD pour ensuite appliquer les décisions conseillées. On a donc ici deux formes de changement assez important. Un agriculteur qui ne voit pas l'intérêt d'un OAD ne l'utilisera pas. De plus, s'il n'est pas d'accord avec les résultats et les décisions conseillées ou s'il ne les comprend pas, alors l'OAD ne lui servira pas. Comme chaque partie a sa propre vision, ses propres priorités et ses propres réticences, ses propres ambitions face à l'exploitation d'une parcelle agricole il faut trouver un équilibre sans favoriser ou défavoriser trop l'une des parties (Béranger et al., 2006). Un agriculteur peut avoir plusieurs activités alors que d'autres se consacrent seulement à un type de production précis. Un OAD doit donc être utilisable par tous, quelles que soient leurs activités. La plupart des OAD sont construits à partir de données de terrain obtenues grâce à des capteurs ou à des stations scientifiques. Ces données ne sont donc pas toujours disponibles gratuitement, il faut en avoir les accès ou il faut posséder des capteurs sur l'exploitation agricole. Dans les pays pratiquant une agriculture extensive, couvrant des milliers d'hectares, les capteurs et/ou les drones sont des outils quasiment indispensables pour le producteur. D'ailleurs, au moyen de subventions ou tout simplement grâce à ses revenus, le producteur de ce type d'exploitation a les moyens de se procurer de tels outils, ce qui n'est pas forcément le cas dans les pays en développement. Sans capteurs, il faut que l'OAD soit capable de couvrir une exploitation par modélisation ou par extrapolation à partir de données déjà existantes. Un agriculteur ayant une exploitation de type familiale n'a pas les moyens d'installer des capteurs coûteux pour le peu de surface exploitée. Toujours dans les pays industrialisés, les OAD et les capteurs sont de plus en plus connectés entre eux, ceci offre une couverture à temps plein des exploitations et ainsi une efficacité élevée des OAD. Dans les pays en développement, la couverture réseau n'est pas répartie sur tout le territoire ce qui empêche l'utilisation des objets connectés. Beaucoup d'OAD fonctionnent via internet, soit en étant disponibles uniquement sur page Web soit en utilisant principalement des bases de données stockées sur le net. Finalement, l'un des obstacles le plus récurrents à la mise en place d'un OAD est les incertitudes qui y sont liées. En effet, la nature est imparfaite et complexe ce qui la rend parfois imprévisible, les décisions et les modèles sont donc issus à partir d'hypothèses et d'analyses qui comportent eux-mêmes des incertitudes. L'incertitude peut être définie par un manque d'information sur un paramètre, mais aussi par le phénomène de variabilité. (Béranger et al., 2006) En ce qui concerne les OAD, l'incertitude peut être liée à des paramètres physiques ou économiques

quantifiables ou à la subjectivité des individus, ces dernières ne sont, elles, pas quantifiables puisqu’aléatoires (Béranger et al., 2006).

Critères de réussite d'un OAD au Bénin

Pour qu'un OAD soit utilisé fréquemment et efficacement sur le territoire béninois, il faut prendre en compte les obstacles précédemment définis et les transformer en critères de réussite. Lors de la conception de l'outil, il faut penser à la manière dont il sera utilisé par les agriculteurs, et surtout dans quelles conditions. Au Bénin, les agriculteurs n'ont pas tout accès à une plateforme numérique, il faut donc trouver un support disponible et accessible à tous. De plus, l'OAD doit pouvoir fonctionner sans réseau internet et sans capteurs de terrains. Les données utilisées doivent être préalablement prises en compte dans l'élaboration de l'outil. Ces données doivent être étudiées et utilisées de manière à ce qu'elles puissent être applicables à la plupart des exploitations agricoles du territoire. La plupart des éventualités doivent donc être intégrées dès la conception de l'outil. Ceci rend la conception plus complexe, mais est indispensable pour un fonctionnement hors réseau et non numérique. Dans le cas des pays en développement, dont le Bénin, les agriculteurs ne peuvent pas se permettre d'installer des capteurs sur le terrain ou d'acheter des drones de reconnaissance. Les données doivent provenir d'indicateurs visibles et observables par l'agriculteur. Les données proviennent ainsi directement de l'agriculteur sous forme de perception ou de témoignage. Un OAD doit pouvoir être renouvelable et adaptable. L'outil doit ainsi être assez malléable et modifiable pour être sans cesse amélioré puis utilisé par les producteurs. La mise en place de l'OAD ne doit pas devenir une charge pour le producteur. L'OAD doit être gratuite et son utilisation doit nécessiter un investissement modique en termes de temps et d'argent.

Lors de l'utilisation de l'OAD, la compréhension du fonctionnement de l'outil par l'agriculteur est primordiale. Il faut que l'agriculteur comprenne à quoi sert l'outil pour pouvoir l'utiliser à bon escient. En plus de la compréhension de l'outil, il faut que ce dernier soit cohérent dans ses résultats pour qu'une forme de confiance s'installe entre l'outil et son utilisateur. C'est sur la base de cette confiance que l'agriculteur réutilisera l'outil et le conseillera même à d'autres agriculteurs.

Partie 2

2.1. Méthodologie

L'agroécologie est un domaine vaste qui n'est pas normalisé par des règles à suivre ou par des méthodes et des doses strictes à appliquer. Le but d'un projet comme AGRO-ECO est de mener les populations vers une transition de l'agriculture familiale à une agriculture pérenne et respectueuse de l'environnement. Pour aider ces agriculteurs à mettre en place une transition agroécologique, il serait intéressant de leur fournir quelques guides ou lignes directrices sur les pratiques de l'agroécologie. Ces pratiques sont extrêmement diverses, ne nécessitent pas forcément les mêmes conditions environnementales, économiques ou sociales et n'ont pas les mêmes effets sur une exploitation agricole. De plus, les pratiques agroécologiques sont souvent issues d'une combinaison de plusieurs courants agricoles dont les principes se retranchent. Un outil d'aide à la décision pourrait réaliser en amont un premier tri de ces pratiques selon le contexte global béninois puis un second tri plus adapté aux conditions locales. Pour réaliser ce tri, il faut d'abord établir les conditions contextuelles béninoises puis celles plus appliquées à la région d'étude. Il convient également de déterminer les grands axes sur lesquels va s'appuyer l'outil d'aide à la décision. Ces grands axes correspondent aux problèmes que l'agriculteur cherche à résoudre dans son exploitation. Ces différents points seront abordés dans les paragraphes suivants.

2.1.1. Définir le contexte

Le contexte

La première étape d'élaboration de l'outil d'aide à la décision consiste à délimiter la recherche et donc les variables en s'attardant sur le contexte économique, environnemental et social de la région et du village étudiés. Ce contexte va permettre de centrer les solutions qui seront proposées à l'agriculteur. En effet, certaines pratiques agroécologiques ne seront par exemple pas adaptées au contexte économique de la zone étudiée, en termes de main d'œuvre ou de ressources financières. Il en va de même pour les variables qui seront choisies selon leur pertinence et l'influence qu'elles peuvent avoir sur une décision.

Les variables

Avant de construire tout outil, il convient de comprendre le contexte dans lequel s'inscrit l'expérimentation. Pour cela, les différentes données disponibles seront étudiées en entonnoir. Un contexte global sera d'abord établi à l'échelle régionale puis une seconde recherche sera

réalisée à une échelle beaucoup plus locale. Ce sera, dans l'ordre de disponibilité et de proximité de l'information, à une échelle communale (Natitingou), à l'échelle de l'arrondissement (Kotopounga) ou au mieux à l'échelle du village (Kotopounga). Les différentes variables qui vont façonner les arbres décisionnels vont concerner les conditions physiques du milieu et s'appuieront sur des données scientifiques. Ces premières variables sont :

- Le climat,
- La topologie,
- La superficie agricole,
- L'hydrologie
- La pédologie.

Ensuite viennent les variables dépendantes du travail de l'agriculteur, c'est-à-dire la manière dont il réalise certaines actions. Ces variables humaines sont :

- Le type de culture,
- La gestion des adventices et des ravageurs,
- Le travail du sol,
- Les intrants utilisés,
- Le type de semences,
- L'élevage,
- La valorisation des résidus,
- L'irrigation,
- Le système cultural mis en place.

Certaines variables, aussi bien physiques qu'humaines, vont se révéler être uniformes sur l'ensemble de la région ou du village étudié. Ces variables ne seront donc pas prises en compte dans le cheminement décisionnel puisqu'elles ne présenteront pas un choix en tant que tel. D'autres variables seront, au contraire, trop complexes ou aléatoires et présenteront ainsi un biais trop important si elles sont intégrées à la matrice de décision. Ces variables, uniformes ou trop complexes, seront écartées des différents choix qui définiront l'arbre décisionnel ou seront simplifiées.

Les décisions

Les décisions constituent le point de départ du cheminement. Dans ce travail, les décisions sont identifiées par des problèmes récurrents lors de l'exploitation agricole d'une parcelle

dans le milieu d'étude concerné. Ces décisions sont également déterminées selon les problèmes de qualité des sols. C'est un problème très important en agriculture puisque le sol constitue le support de cette activité. Les problèmes qui ont été choisis sont les suivants :

- La perte de fertilité des sols,
- L'érosion des sols,
- Les épisodes de sécheresse,
- La mauvaise structure des sols,
- L'effet de pentes,
- La gestion des adventices,
- La gestion des ravageurs.

Ces problèmes ne concernent pas seulement la qualité des sols, mais aussi des problèmes plus caractéristiques de la région tels que les aléas climatiques et en particulier les épisodes de sécheresse ou encore l'invasion de ravageurs. Cependant, les solutions proposées seront majoritairement tournées vers une vision de conservation des sols.

Les solutions

En fonction du problème, le cheminement décisionnel mènera à une ou plusieurs solutions sous forme de pratiques de conservation et de fertilisation des sols respectant les principes agroécologiques. Les solutions, dans cet outil, sont les pratiques agroécologiques. Une liste, la plus complète possible sera élaborée. Comme indiqué plus tôt, la liste de pratiques respectera le contexte humain et physique de la zone étudiée. Pour lister ces pratiques, la recherche s'appuiera sur la liste déjà établie et disponible dans les questionnaires conçus par les doctorants du projet pour les enquêtes de terrain (voir Annexe 1). Cette liste regroupe plusieurs pratiques qui ont déjà pu être observées sur le terrain dans la région de l'Atacora au Bénin et du Houet au Burkina Faso. Les pratiques proposées en fin de cheminement seront accompagnées d'un léger descriptif ainsi que de quelques conseils d'application ou de combinaison avec d'autres pratiques pour en améliorer les résultats.

2.1.2. La construction de l'outil

Le cheminement

Les trois principaux éléments constituant l'arbre décisionnel ont été présentés, il s'agit donc des décisions, des choix et des solutions. Les décisions sont représentées par les problèmes d'exploitation agricole, les choix définissent les différentes variables de la parcelle agricole

puis les solutions présentent les pratiques agroécologiques adaptées aux choix et au problème précédemment définis. Une fois que chaque élément a été défini de manière indépendante, il faut ensuite les lier entre eux. Pour cela, on détermine pour chaque décision, pour chaque choix et pour chaque solution les éléments qui sont interreliés. Le mieux est de réaliser ce premier travail sous forme de tableau pour ensuite pouvoir construire les premiers arbres.

Le corps de l'arbre est composé par les différents choix qui mèneront aux solutions. Ces choix peuvent être répondus par oui, par non ou par des caractéristiques propres à l'exploitation de l'agriculteur, par exemple : petit, moyen ou grand. Ces caractéristiques seront préalablement définies, il n'y aura donc pas d'entre-deux, le choix strict est nécessaire.

Construction de l'arbre

Il faut d'abord partir du problème, pour chaque problème une liste de pratiques qui pourraient aider à sa résolution est élaborée. Il s'agit ensuite de construire l'arbre selon les différentes variables qui rentrent en jeu. Cela est possible grâce au tableau précédemment réalisé. Pour chaque variable, il faut ensuite définir quelle condition est strictement applicable pour mettre en place la solution. Ces conditions sont déterminées grâce au travail de recherche réalisé pour chaque pratique agroécologique. Par exemple, si l'une des solutions n'est possible que lorsque la superficie agricole est petite ou moyenne alors cette solution sera exclue du chemin dont la condition est une grande superficie agricole. Le chemin se construit de cette manière, de condition en condition.

Pour réaliser ces arbres, le logiciel FreePlane a été utilisé. Il s'agit d'un logiciel gratuit permettant de créer des cartes mentales. Sa simplicité d'utilisation et son accessibilité font de lui un outil efficace pour la création d'arbres de décision.

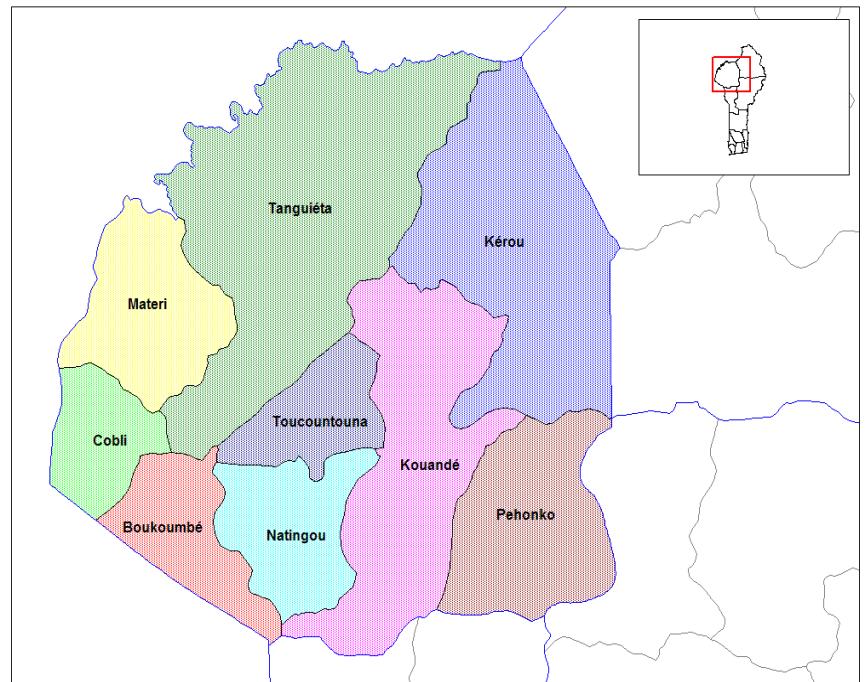
2.1.3. Fonctionnement et validation de l'outil

Une fois que les différents cheminements pour chaque arbre ont été construits, il faut s'assurer de la validité du raisonnement. Pour cela, il suffit de refaire le chemin menant à une solution et vérifier si les conditions sont remplies pour que la solution puisse être efficace si l'agriculteur décide de l'appliquer. Ainsi, il serait intéressant pour chaque solution de présenter à l'agriculteur les points-clés qui lui permettront d'appliquer la pratique agroécologique en question sur son terrain. Par rapport aux différents arbres construits, certaines pratiques risquent de revenir très souvent dans la proposition de solution. Ces pratiques seront répertoriées et expliquées plus en détail pour l'agriculteur, car il s'agit de pratiques fondamentales. En effet, ces pratiques apportent plusieurs actions bénéfiques pour

une exploitation et ce à différentes échelles et pour divers problèmes. De plus, leur récurrence indique qu'elles sont plus tolérantes face aux conditions d'application et qu'elles sont adaptables à différents contextes agricoles. À l'inverse, d'autres pratiques seront plus exigeantes en termes d'application et seront peu fréquentes sur les différents arbres. Ces pratiques peuvent être appliquées par l'agriculteur même si toutes les conditions ne sont pas rassemblées. Elles risquent juste d'être moins efficaces ou de demander plus d'investissement de la part de l'agriculteur.

2.2. Région de l'Atacora

L'Atacora est un département situé au nord-ouest du Bénin (voir figure 3). Il est composé de neuf communes : Natitingou (Chef-lieu du Département), Kérrou, Kouandé, Péhunco, Cobly, Boukoumbé, Matéri, Toucountouna, Tanguiéta et regroupe 384 villages. Le département est limitrophe du Burkina Faso au nord et du Togo à l'ouest. Il est également bordé par le département de la



Donga au sud et par les départements de l'Alibori et du

Borgou à l'est. Depuis 1955, Natitingou est officiellement devenu le chef-lieu de ce département. C'est le troisième département le plus grand après l'Alibori

et le Borgou avec une superficie totale de 20 499 km². (MDGL, 2019) Selon les données obtenues en 2013 lors du quatrième volet du Recensement Général de la Population et de l'Habitat, l'Atacora dénombre une population de 772 262 habitants contre 549 417 en 2002. On observe donc un taux de croissance du département d'environ 40,5% entre 2002 et 2013, ce qui correspond à un taux d'accroissement moyen annuel d'environ 3,14% (calculé selon la formule suivante).

$$Taux\ de\ croissance\ annuel\ moyen = \left(\left(\frac{valeur\ finale}{valeur\ initiale} \right)^{\frac{1}{nombre\ d'années}} - 1 \right) * 100$$

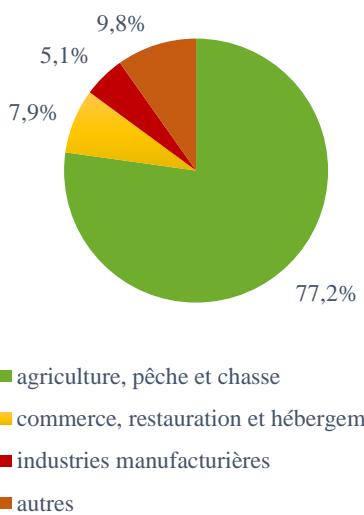
L'Atacora est l'un des départements les moins peuplés du pays, avec sa grande superficie la densité est assez faible avec un chiffre moyen autour de 38 habitants au km². L'agriculture est l'une des principales activités de la population de l'Atacora puisque 584 145 habitants sur les 772 262 soit 75,6% de la population pratiquent cette activité. (INSAE, 2016)

2.2.1. Milieu humain

Contexte économique agricole

Sur le département de l'Atacora plusieurs branches économiques se distinguent : en première position « agriculture, pêche et chasses » avec 77,2% de la population active, ensuite « commerce, restauration et hébergement » avec 7,9%. Les industries manufacturières, quant à elles, rassemblent 5,1% de la population active. La branche « agriculture, pêche et chasse » est celle qui est la plus pratiquée dans l'ensemble des communes du département. En ce qui concerne l'agriculture, on répertorie 71 644 ménages qui se consacrent à l'agriculture comme principale activité économique. Ces ménages agricoles sont davantage spécialisés dans l'agriculture végétale, 96,4% des ménages, par rapport à l'agriculture dans le domaine animal qui recense 3,3% des ménages. La part dans le domaine halieutique est très faible dans ce département, 0 à 0,1% des ménages. (INSAE, 2016) Ceci est en partie dû au réseau hydrographique peu fourni sur le département. La pêche se pratique d'ailleurs principalement dans les communes jouxtant les parcs comme la commune de Matéri, qui profitent de la rivière Pendjari et de ses affluents, riches en ressources halieutiques (CT, 2005). Ces activités sont présentées dans la figure 4.

Activités économiques de l'Atacora



Production des ménages atacoriens



Figure 5. Activités des ménages atacoriens (à partir des données de l'INSAE 2016)

L'agriculture qui est pratiquée dans l'Atacora est une agriculture utilisant un équipement traditionnel parfois accompagné d'un attelage. Les équipements mécaniques sont très peu utilisés sur le territoire : le pourcentage de ménage utilisant ces équipements est de 1,4% et de 2,6% lorsqu'ils sont utilisés en accompagnement de l'équipement traditionnel (INSAE, 2016). Les exploitations agricoles du département sont entretenues par une main d'œuvre essentiellement familiale dont les pratiques ne sont pas mécanisées. C'est une agriculture souvent réalisée en parallèle d'un élevage de petits ruminants ou de volaille avec très peu d'intrants utilisés. Les exploitations du département ne se concentrent pas sur une seule espèce végétale, mais sont plutôt caractérisées par une diversification élevée des cultures. (Y. J. P. Tohinlo, 2016) « Les principales cultures vivrières produites dans le département sont : des céréales comme le maïs, le sorgho, le mil, le fonio, le riz (zones agroécologiques pluviales et de bas-fonds); des tubercules et racines à savoir l'igname, le manioc; des légumineuses, arachides, niébés, sojas, et voandzou; des cultures maraîchères (dans les plaines inondables) comme la tomate, le gombo, oignon, pomme de terre, le piment, les légumes feuilles, etc. auxquelles s'ajoutent des cultures spéciales comme le sésame et le tabac. » (Y. J. P. Tohinlo, 2016) . Les cultures de rentes sont aussi pratiquées dans le département, on y retrouve le coton et la noix d'anacarde. À cela s'ajoutent les produits de récolte comme les fruits du baobab, les noix de karité et les mangues. (Y. J. P. Tohinlo, 2016) Sur le département de l'Atacora, trois zones agroclimatiques ont été identifiées (figure 6) : la zone cotonnière du Nord-Bénin (II), la zone vivrière du Sud-Borgou (III) et la zone Ouest-Atacora (IV). Dans la

zone (II), on y cultive principalement le sorgho, le maïs, l'igname et le coton. Dans la zone (III), ce sont des cultures d'igname, de coton, de maïs et d'anacarde. Finalement dans la zone (IV), les plantes les plus cultivées sont les céréales au nord de la zone, complétées par l'igname dans la partie sud. (MEPN, 2008)

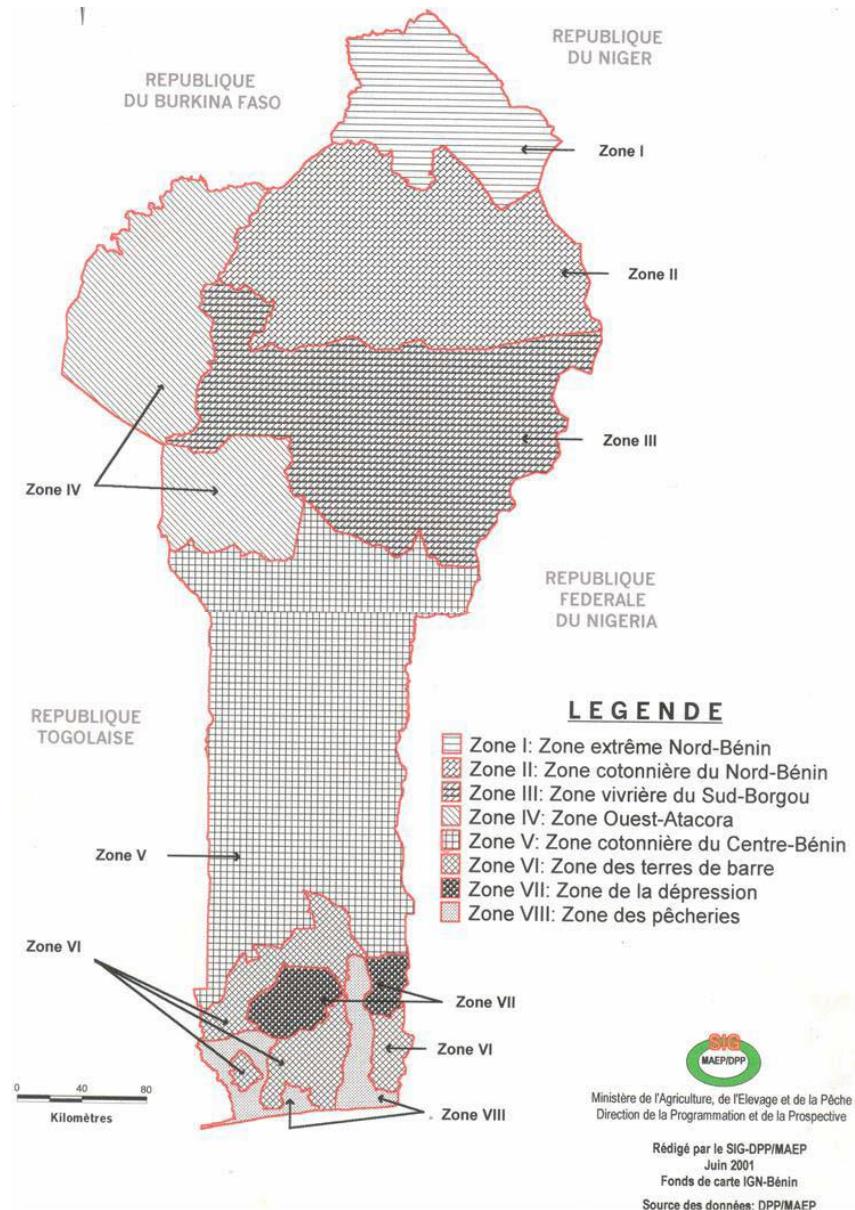


Figure 6. Zones agro climatiques du Bénin (MEPN, 2008).

Contexte social agricole

Les neuf communes de l'Atacora sont subdivisées en 47 arrondissements dirigés par des chefs d'arrondissement, eux-mêmes désignés par le conseil municipal de la commune et qui est ensuite soutenu dans ses fonctions par un conseil d'arrondissement. Ces arrondissements comprennent les différents villages et quartiers du territoire en question. (PDM, 2009)

L'Atacora est considéré comme l'un des départements le plus pauvre, souvent touché par la famine et les sécheresses. La gravité de la pauvreté et l'insécurité alimentaire dans les années 1980 ont poussé les organisations à lutter contre la pauvreté dans ce département. Ainsi, de nombreuses organisations internationales se sont installées dans la région et ont mis en place une centaine de projets depuis les années 1990. (Y. J. P. Tohinlo, 2016) Le gouvernement s'est aussi impliqué dans le département grâce à des investissements et à des interventions dans les communes. C'est ainsi que sur trois décennies (1980 à 2010), ce sont plusieurs milliards de FCFA qui ont été engagés dans le département. Malgré ces investissements, les conditions de vie des habitants ne se sont pas drastiquement améliorées et le niveau de pauvreté a augmenté au fil des années, restant toujours supérieur au niveau de pauvreté nationale. (Y. J. P. Tohinlo, 2016) Le taux de pauvreté multidimensionnel issu des données de l'INSAE et calculé par le RGPH illustre bien ce propos, ce taux est de 64,9% dans l'Atacora en 2013 (INSAE, 2016). Ce taux se calcule sur la base de neuf privations faites par un ménage dans le domaine de la santé, de l'éducation et des conditions de vie (décès des enfants de moins de 5 ans dans le ménage; personne du ménage n'ayant pas dépassé le primaire, au moins un enfant en âge scolaire ne fréquente pas l'école; pas d'électricité, aucun accès à l'eau potable ou eau améliorée, aucun accès à des moyens d'assainissement adéquats, l'habitation a des sols sales (matériaux non définitifs), le ménage utilise des combustibles de cuisson "sales" (bois de chauffage, charbon de bois, etc.), le ménage ne possède ni de voiture ni de motocyclette et possède tout au plus l'un des biens suivants : bicyclette, radio, réfrigérateur, téléphone ou téléviseur). (INSAE, 2016) Les catégories sociales qui sont les plus touchées par la pauvreté dans le département de l'Atacora sont les femmes artisanes du monde rural, les agriculteurs sans terres et les habitants des zones enclavées. Viennent après les enfants orphelins, déscolarisés ou encore les jeunes sans emploi et les personnes handicapées sans soutien (Ahoyo Adjovi et Madjri, 2016). Dans le bulletin de recherche sur la pauvreté dans l'Atacora rédigé par le Docteur Nestor Ahoyo Adjovi, l'un des facteurs de pauvreté dans ce département serait le type d'agriculture pratiquée et le matériel agricole utilisé. « Les ménages utilisant un ou plusieurs méthodes modernes de cultures ont plus de chance de sortir de la pauvreté que les autres qui restent traditionnels ou marginalisés » (Ahoyo Adjovi et al., 2016). À cela s'ajoute la superficie des terres cultivées : un ménage utilisant seulement les pratiques traditionnelles ne peut pas se développer sur de trop grandes superficies, bien que cela aurait pu augmenter ses revenus. Les ménages cultivant donc des petites superficies font face à plus de risques liés à la pauvreté contrairement aux ménages qui ont étendu leurs champs.

Pour ce qui est de la sécurité alimentaire, l'Atacora observe une période de soudure assez longue allant de 4 à 6 mois par an avec une famine cyclique tous les 10 ans. (Tohinlo et al., 2016) . Selon les données de l'INSAE, 64% des ménages sont en insécurité alimentaire et 24% sont à risque d'insécurité alimentaire ; soit un total de 88% des ménages en situation de précarité alimentaire (P. Tohinlo et al., 2016).

Contexte environnemental agricole

Au Bénin, l'environnement est encadré juridiquement depuis 1999 par la loi-cadre sur l'environnement et a été modifié en 2017 par décret. La nouvelle définition de l'environnement apportée par le décret intègre explicitement la santé humaine et les dimensions sociales, économiques et culturelles. (IFDD et al., 2019) . Une étude portant sur la perception des services écosystémiques de la chaîne montagneuse de l'Atacora par les habitants des communes de Boukoumbé, Natitingou et Tanguiéta a démontré que les personnes interrogées sont pleinement conscientes de l'importance des services écosystémiques (Moutouama et al., 2019). En effet, ils ont pu citer trois des quatre principes écosystémiques qui sont : l'approvisionnement, le soutien et l'aspect culturel. Le quatrième principe, celui du service de régulation, n'a jamais été abordé par les répondants. Le service d'approvisionnement est celui perçu comme le plus important par la population puisqu'il répond à un grand nombre de besoins et met à disposition des ressources essentielles comme : le fourrage pour l'élevage, le bois de chauffe, les matériaux de construction, la nourriture ou encore les plantes médicinales (Moutouama et al., 2019). La catégorie qui suit dans l'ordre d'importance est le service socio-culturel avec l'apport du tourisme et l'attachement spirituel. Finalement, les services de support sont classés troisièmes par les habitants des communes qui citent comme bienfait la qualité des sols. Le fait que les services de régulation n'aient pas été cités est expliqué par l'absence d'observations directes de ces services par la population. Ce sont des services qui ne sont pas concrets pour la population. Cependant, ces services étant extrêmement importants, notamment pour les activités agricoles, il est nécessaire de favoriser leur compréhension auprès des habitants. Si rien n'est fait, il se peut que les populations y prêtent moins d'attention ce qui influencera les actions futures de conservation. (Moutouama et al., 2019). Les besoins grandissant en terres cultivables poussent les populations à exploiter des terres difficiles. Ainsi, les collines pierreuses sont maintenant exploitées. Les éleveurs présents dans cette région sont de plus en plus nombreux à la recherche de fourrage et de point d'eau pendant la saison sèche. Toutes ces activités se concentrent sur la chaîne de l'Atakora et participent à la dégradation de la flore et des écosystèmes. (Wala, 2010)

2.2.2. Milieu physique

Le département de l'Atacora est traversé par une chaîne de montagnes nommée Atakora, elle s'élève à une altitude moyenne de 700 m avec un sommet à 835m d'altitude situé à Boukoumbé. Ce département possède donc un relief assez marqué avec peu de terres cultivables qui sont dégradées par le fort taux d'érosion du milieu. (INSAE, 2016) Cette chaîne de montagnes permet d'accroître la pluviométrie annuelle du département grâce à ses reliefs (1200 à 1350 mm par an) (Wala, 2010). En dehors de cette chaîne de montagnes, on retrouve principalement des plaines et des plateaux. (MDGL, 2019)

Le réseau hydrographique du département est constitué principalement de deux grands fleuves : la Pendjari (135 km) et le Mékrou (410 km). La plupart des communes profitent de leurs affluents et ont construit un total de 36 retenues d'eau pour la gestion de l'eau et pour l'irrigation des cultures. (INSAE, 2016) Les départements de l'Atacora et de la Donga connaissent de fortes précipitations, mais l'écoulement des eaux est très rapide à cause du relief, ce qui limite l'infiltration des eaux pour l'alimentation des nappes phréatiques. (MDGL, 2019)

Le climat de l'Atacora se décline sous deux saisons, l'une sèche et l'autre pluvieuse. La saison pluvieuse a lieu de juin à octobre et la saison sèche de novembre à mai. Étant donné la grande étendue du département, notamment d'est en ouest, un décalage saisonnier assez important est observé entre les communes distantes. (INSAE, 2004) Concernant les changements climatiques, de manière générale, il a été observé une diminution des quantités de pluies depuis 1961. Plusieurs sécheresses ont ainsi été ressenties dans les communes du département. (Vodounou et Doubogon, 2016) Les pluies commencent plus tôt dans les communes de l'est, la végétation est ainsi différente, plus dense à l'est et plus clairsemée, de type savane, à l'ouest.



Figure 7. Décalage dans le calendrier des dates de semis (début de saison). (Données de terrain Vodounou et al., 2016)

La période de semis favorable s'est étendu sur 4 mois en 50 ans ce qui provoque des perturbations dans les semis des cultures (voir figure 7). Les cultures ne se sèment plus comme avant et les agriculteurs de la région optent pour des cultures à croissance lente et

continue telles que les tubercules (manioc, igname) qui sont ainsi préférés aux cultures à stade critique telles que le maïs afin de limiter le risque de récolte nulle.(Vodounou et al., 2016)

On rencontre trois types de sols dans le département de l'Atacora :

« - des sols ferrugineux du type tropical par endroit avec une couche arable assez suffisante pour les cultures annuelles ;

- des sols de type ferrallitique surtout dans les régions montagneuses de Matéri et Tanguiéta ;

- des sols hydromorphes légers, localisés surtout dans les pénéplaines ou dans les bas-fonds.

Cette variation des sols permet de l'est vers l'ouest, la culture des tubercules et des plantes à racine (igname, manioc et patate douce), des céréales (mil, maïs, fonio, sorgho) et des légumineuses (haricot et voandzou) ». (INSAE, 2016)

2.3. Variables de la zone d'étude

Dans cette partie, l'étude se portera plus précisément sur le village de Kotopounga afin d'en établir le contexte aux données provenant principalement de la commune de Natitingou. Cette mise en contexte permet d'établir une forme de liste des pratiques humaines relatives à l'exploitation agricole. Les données sur les particularités physiques de la zone seront également présentées. Ce sont ces pratiques et ces particularités physiques qui constitueront les variables interférent dans la prise de décision.

Carte de la commune de Natitingou

2.2.3. Contexte

Au Bénin le projet AGRO-ECO se concentre sur le département de l'Atacora et plus particulièrement sur trois communes. Ces trois communes sont : Natitingou, Pehunco et Tanguiéta. Au sein de chaque commune ont été choisis des villages pertinents pour l'étude du projet, c'est-à-dire des villages pratiquant l'agriculture, la présence d'élevage, la présence de personne-reessource, etc. Dans la commune de Natitingou, le village de

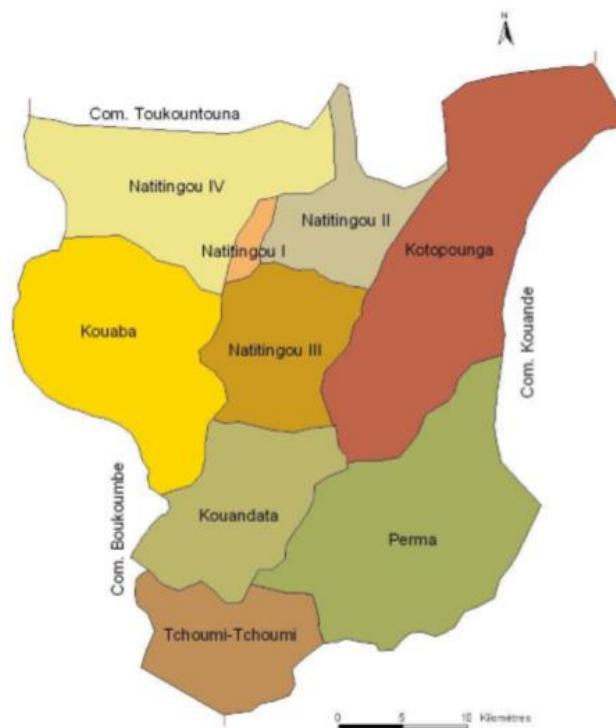


Figure 8. Arrondissement de la commune de Natitingou (INSAE, 2016)

Kotopounga a été choisi. Dans le cadre du projet AGRO-ECO, une consultation a été réalisée pour la création d'un Zonage à dire d'acteurs (ZADA). Kotopounga est un arrondissement de la commune de Natitingou qui rassemble 9 villages, dont celui étudié ici qui porte le même nom que l'arrondissement. En 2013, le village de Kotopounga abrite 480 ménages pour une population totale de 3 585 personnes. Ces ménages sont composés en moyenne de 7,5 personnes, c'est une population jeune avec beaucoup d'enfants (1 738 enfants de 0-14 an contre 1 675 personnes de 15-59 ans). On recense 291 ménages agricoles dans ce village, ce qui correspond à 2 580 personnes vivant de l'agriculture, cela représente 72% des habitants de Kotopounga. (INSAE, 2016) C'est un arrondissement avec peu de points d'eau disponibles pour la population, on compte ainsi 14 pompes et trois puits, dont deux effondrés. Au village de Kotopounga, seulement 16,5% des ménages ont accès à de l'eau potable. (INSAE, 2016) Concernant le développement social et l'éducation des enfants, 10 écoles primaires publiques sont installées sur le territoire (Biaou, 2006). Pour le village de Kotopounga, ce sont 2 écoles primaires et un collège de 1^{er} et 2^e cycle qui sont disponibles (INSAE, 2016). Le village dispose aussi d'un Centre de Santé. Au niveau économique, le village de Kotopounga profite du marché qui rassemble beaucoup de vendeurs de l'arrondissement. C'est sur ce marché que sont revendus les produits agricoles et où se déroulent les échanges entre les différents villages. (Biaou, 2006) Les habitants de Kotopounga participent aussi au grand marché de Natitingou, mais s'y rendent soit à pied soit à moto, or il y a quasiment 20 km qui séparent les deux points. Ce sont les femmes et les enfants qui réalisent ce trajet le matin et le soir.

2.2.4. Pratiques humaines

Type de culture

On répertorie trois types de culture sur la zone d'étude : la culture maraîchère, la culture céréalière et la culture de rente. L'agriculteur peut se consacrer à un seul type de culture comme il peut diversifier ses activités en réalisant plusieurs cultures.

La présence de bas-fonds dans cette région permet une pratique quasi continue du maraîchage sur une année. La ville de Natitingou est ainsi approvisionnée en légumes frais tout au long de



Figure 9. Zone de maraîchage à l'Est du village (image satellite)

l'année. Les principales cultures maraîchères de la commune sont (en pourcentage de la superficie totale cultivée de la commune de Natitingou) : l'igname (14%), le manioc (9%), la tomate (3%), le gombo (3%), le piment (3%), le haricot (3%) et d'autres cultures comme la patate douce. (Biaou, 2006). À Kotopounga, les sites maraîchers se situent dans les bas-fonds, proches des points d'eau. Sur la figure 9, à la sortie Est du village de Kotopounga, les cultures maraîchères ont lieu sur le bord du cours d'eau Irikouakou.

Toujours en termes de superficie (comprenant les cultures maraîchères), sur la commune de Natitingou, les céréales les plus cultivées sont : le petit mil (21%), le sorgho (13%), le voandzou (11%) et le maïs (10%). (Biaou, 2006) Le fonio y est aussi cultivé. La communauté des peulhs sédentaires du village de Kotopounga réalise beaucoup de culture céréalier comme celle du mil autour de leur campement comme sur la figure 10.



Figure 10. Camps Peulhs et champs à l'Est du village (image satellite)

En plus du maraîchage et de la culture céréalier, la culture de rente est également pratiquée, notamment celle de l'anacarde à Kotopounga. En effet, de nombreux anacardiers sont plantés parmi les champs sous forme de culture associée et d'agroforesterie. Des champs sont aussi essentiellement consacrés à la culture des noix de cet arbre comme sur la figure 11.



Figure 11. Culture de rente d'anacardier (noix de cajou) au Nord du village (image satellite)

Adventices

Le traitement des adventices dans les cultures se fait essentiellement par fauchage. Certains agriculteurs commencent à utiliser les herbicides ou décident d'investir dans la petite mécanisation avec l'achat de débroussailleuses. La demande des agriculteurs pour lutter contre les adventices se fait de plus en plus grande, pour y répondre des herbicides sont proposés dans le commerce ainsi que des bioherbicides. Des méthodes culturales comme les plantes de couverture et les feux de brousse peuvent aussi être appliquées. (Floquet et al., 2005) Les bovins et les animaux d'élevage sont aussi utilisés dans la lutte contre les adventices (Lawrence et al., 1993). Comme mauvaises herbes on répertorie principalement les familles suivantes : les poacées (graminées), les cypéracées puis les mauvaises herbes à feuilles larges. (Rachidatou et al., 2018) En agriculture, on retrouve une mauvaise herbe parasite assez nuisible pour les céréales, surtout pour le maïs, c'est la Striga. À Natitingou, les mauvaises herbes les plus répertoriées ont été étudiées par Keller et al. en 2014. On retrouve ainsi *Imperata cylindrica* (chiendent), *Stachytarpheta jamaicensis* (épi bleu, verveine bleu) (Keller et al., 2014), *Mitracerpus villosus* (genou du cabri (Bello et al., 2013)) et *Cyperus rotundus* (souchet rond à fleur rouge (Rachidatou et al., 2018)).

Travail du sol

La production de rente du coton a apporté de nouvelles techniques aux agriculteurs qui les utilisent dans les cultures vivrières. Il s'agit du labour, de la rotation culturelle ou encore l'apport d'engrais. (Biaou, 2006) Le billonnage est utilisé pour les céréales et les légumes, le labour à plat est aussi utilisé pour la culture des légumes (Conseil Communal, 2004). Le labour à plat remue en profondeur la terre contrairement au billonnage qui ne fait que recouvrir les herbes de terre. Le labour à plat permet un meilleur enracinement, mais est plus demandant en énergie et en temps que le simple billonnage pour l'agriculture traditionnelle qui est pratiquée à Kotopounga. (de Haan, 1997) Au Bénin, les légumes racines comme l'igname sont essentiellement cultivés sur butte. Il arrive que le manioc, le maïs ou encore l'ananas soient également cultivés de cette manière. Ces buttes sont assez grosses, et peuvent atteindre 80 cm de hauteur, le sol est ainsi remué en profondeur. Le buttage permet un très bon drainage du sol et concentre de la bonne terre fertile pour le développement des tubercules. Après deux ans de culture sur butte, ces dernières sont transformées en billons et recouvrent les résidus de culture, les mauvaises herbes et le compost disposés au sol entre les buttes. (E. Roose, 1999)

Intrants

Les insecticides et les engrais sont vendus aux agriculteurs sous forme de crédits en nature remboursés au cours de la commercialisation (Biaou, 2006). Selon une étude réalisée dans plusieurs communes de l'Atacora, face à la perte de fertilité des sols, les producteurs préfèrent utiliser, dans l'ordre, les engrais minéraux (45,9%), la jachère naturelle (31%), les précédents culturaux de la rotation (12,4%) et le pâturage des bovins (7%) (Floquet et al., 2005). Les engrais sont principalement utilisés pour la culture du maïs et du riz. Les engrais utilisés dans le maraîchage sont principalement des mélanges NPK ainsi que de l'urée en plus petite quantité. Toujours selon l'étude de Floquet et al., il a été démontré que l'utilisation d'engrais dépend de manière assez évidente de la prospérité de l'exploitant, mais que même les plus démunis utilisent en moyenne 150 kg d'engrais par an et par hectare. Ils sont importants pour rectifier les carences du sol, en revanche ils doivent être bien dosés, appliqués au bon moment et de la bonne manière, car ils peuvent devenir une source non négligeable de pollution et peuvent fatiguer les sols sur le long terme. (E. Roose, 1999)

Peu de produits phytosanitaires sont utilisés massivement dans les cultures vivrières. Les cultures bénéficiant le plus de ces produits sont le coton et le maïs dans une moindre mesure. D'ailleurs, les agriculteurs utilisent souvent des produits initialement destinés au traitement phytosanitaire du coton dans le traitement de leur production vivrière. (Floquet et al., 2005)

Les intrants sont vendus dans les coopératives, mais les agriculteurs sont nombreux à se fournir sur le marché noir. Le marché noir ne permet pas de réaliser un suivi de l'utilisation des produits phytosanitaires, ainsi la quantité exacte est méconnue, mais également la composition des produits.(Allagbé et al., 2014) À Natitingou, les coopératives ont recensé une augmentation de la demande en intrants, mais le nombre de visiteurs des boutiques a diminué (Hountondji et al., 2015). La présence d'un marché noir peut être la cause de cette divergence.

Semences

Certaines semences, comme celle du coton, sont distribuées gratuitement aux exploitants (Biaou, 2006). Les semences maraîchères sont disponibles auprès de certains commerces comme Bénin Semences qui se spécialise dans les semences en zones tropicales. Les variétés sont développées chaque saison avec des essais sur le terrain. Les semences sont donc locales et adaptées. (Benin Semence, 2018). Les semences peuvent aussi être produites directement par les agriculteurs qui les revendent dans leur village ou dans les villages voisins. Par exemple, dans la commune de Natitingou, le sorgho *Soumalembo* et le *Gouana* sont vendus par les producteurs locaux, ce sont des semences résilientes aux changements climatiques. (Kayodé, 2018) Concernant les racines et les tubercules, on peut retrouver un paysan multiplicateur formé par le biais de projets (comme celui du Projet de Développement des Racines et Tubercules) et qui est capable de produire des boutures pour les producteurs de son village (Floquet et al., 2005).

Élevage

La commune de Natitingou possède de vastes aires de pâturage notamment sur les versants et les plateaux de ses collines. Ce sont les peulhs, un peuple sédentaire, qui possèdent la plupart des cheptels de gros bétail. Ce sont des petits cheptels dont les effectifs sont réduits, principalement à cause du manque d'eau de surface. Cependant, les ménages de la commune de Natitingou pratiquent quasiment tous le petit élevage d'ovins ou de caprins. L'élevage de la volaille est réalisé par tous les ménages de la commune. Les élevages sont traditionnels, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'enclos, les bêtes sont libres. Cette absence de parage occasionne des conflits entre la communauté peulhs et les agriculteurs de la commune. Ce sont des races locales, adaptées au milieu qui sont élevées. Il n'y a, cependant, pas de commercialisation officielle (boucheries, abattoir, etc.) de la viande produite localement, ce sont des viandes provenant des autres communes qui sont utilisées dans les boucheries de Natitingou. (Biaou, 2006)

Compost

Le compost utilisé dans les champs est créé à partir de résidus de récolte tels que les tiges de maïs, les tiges de coton ou encore les feuilles de légumineuses. Les déchets ménagers peuvent aussi être ajoutés au compost tout comme les déjections animales. Les éléments qui composent le compost peuvent provenir de l'exploitation de l'agriculteur ou d'exploitations voisines, par exemple pour les déjections animales dans le cas où le producteur ne réalise pas d'élevage ou ne laisse pas paître sur ses parcelles. (voir Annexe 1)

Ravageurs

En plus des pesticides chimiques, d'autres alternatives plus naturelles sont parfois utilisées par les agriculteurs de la région. Ces alternatives sont : l'extrait de Neem, la solution d'ail, la solution de piment rouge, l'extrait de feuille de papaye, l'extrait de Jatropha ou encore le biopesticide à tabac. (voir Annexe 1) Les principaux ravageurs qui affectent les cultures maraîchères sont *Plutella xylostella* (Arvanitakis et Bordat, 2001), les espèces de coléoptères défoliateurs, les mouches des fruits, les punaises et les différentes chenilles et larves pondues par les insectes. (Bordat, 1991) Pour les céréales on retrouve comme ravageurs les criquets et les différentes sauterelles friandes du sorgho, du mil ou du riz ainsi que plusieurs espèces de pucerons. On répertorie également la larve de Cécidomyie qui s'attaque au mil et la chenille de *Chilo partellus* qui se loge dans la tige du sorgho. (Afrique Verte, s.d.)

Valorisation des résidus

Les résidus de récoltes peuvent être compostés, brûlés ou laissés dans le champ sur pied. Ces résidus peuvent aussi servir à l'alimentation du bétail ou peuvent être utilisés pour diverses pratiques culturales comme le paillis ou l'enfouissement. (voir Annexe 1)

Irrigation

L'irrigation est très peu pratiquée au Bénin, on retrouve plutôt des cultures pluviales dépendantes des aléas climatiques. Cependant, dans les zones de bas-fonds certains aménagements ont été réalisés, comme les puits ou des diguettes. Les céréales, à part le riz, ne nécessitent pas d'irrigation, seuls les légumes et certains tubercules sont irrigués traditionnellement dans la commune de Natitingou. (FAO, 2016)

Système cultural

Le système de production dans cette commune est la culture itinérante (Biaou, 2006). Ce type de culture utilise de manière intensive une parcelle agricole jusqu'à ce que la baisse de fertilité du sol soit observée. La parcelle est ensuite mise à l'abandon pendant plusieurs années, voire des décennies. C'est un type de culture qui se pratique le plus souvent sur abattis-brûlis (figure 12). Dans l'arrondissement de Kotopounга, c'est l'igname qui est le plus cultivé de cette manière. Il est cultivé sur butte, sous les arbres ou en bas de pente. (Biaou, 2006) La rotation des cultures et la jachère sont des techniques de régénérescence des sols connues et pratiquées par les populations (Conseil Communal, 2004). Les cultures en courbes de niveau sont aussi pratiquées par ceux ayant mis en place certaines pratiques de lutte antiérosives comme les diguettes ou les cordons pierreux.



Figure 12. Méthode de brûlis sur les parcelles au Nord du village de Kotopounга (Image satellite)

2.2.5. Milieu physique

Climat

Natitingou se trouve dans une zone climatique de type soudano-guinéenne, selon la classification de Koppen, le climat de Natitingou est un climat de savane avec hiver sec (noté Aw). Les données représentant le climat de la ville de Natitingou sont présentées dans le tableau suivant. La durée des saisons et la pluviométrie annuelle moyenne ont été déterminées par analyse statistique de rapports météorologiques horaires historiques et de reconstructions modélisées du 1er janvier 1980 au 31 décembre 2016 (MERRA-2, s. d.).

Climat de Natitingou en 2019

Les températures relevées par la station météo de Natitingou en 2019 sont présentées dans le tableau 1. La figure 13 présente les données de température sous forme de graphique pour l'année 2019. (Infoclimat, 2019)

Tableau 1. Température moyenne mensuelle relevée à Natitingou en 2019 (en °C)

Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
25,7	27,4	30,7	30,9	29,5	27,3	25,8	25,6	26,4	26,5	27,2	24,7

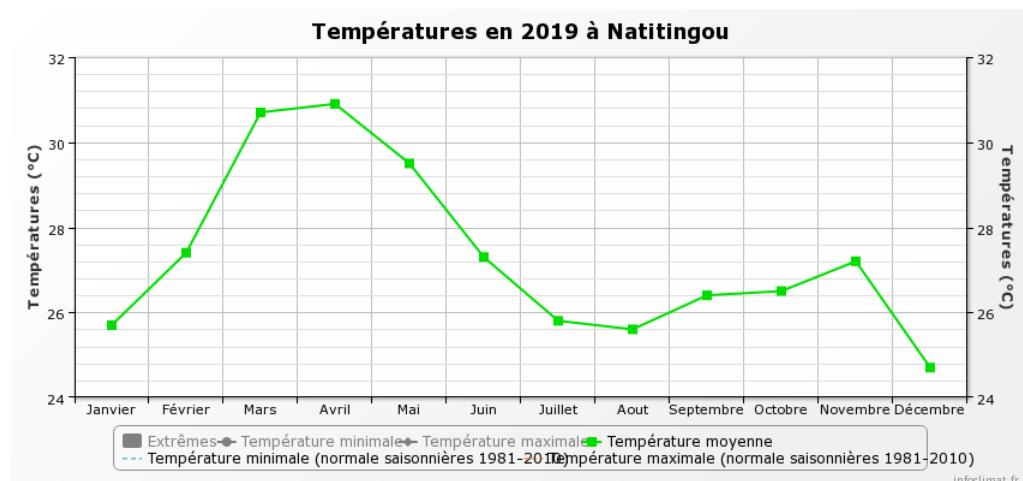


Figure 13. Températures moyennes mensuelles à Natitingou en 2019. (Source : Infoclimat, station météo de Natitingou)

En ce qui concerne les saisons, il y en a deux : une saison pluvieuse qui a lieu du 25 avril au 10 octobre (5,5 mois) et une saison sèche qui a lieu du 10 octobre au 25 avril (6,5 mois) (MERRA-2, s. d.)

Les précipitations relevées par la station météo de Natitingou en 2019 sont présentées dans le tableau 2 (Infoclimat, 2019). La figure 14 représente la pluviométrie moyenne selon la modélisation sur la période du 1er janvier 1980 au 31 décembre 2016, obtenue par MERRA-2 de la NASA.

Tableau 2. Cumul des précipitations mensuelles à Natitingou en 2019 (en mm).

Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
0	0	54	22	127	99	248	298	207	141	2	0

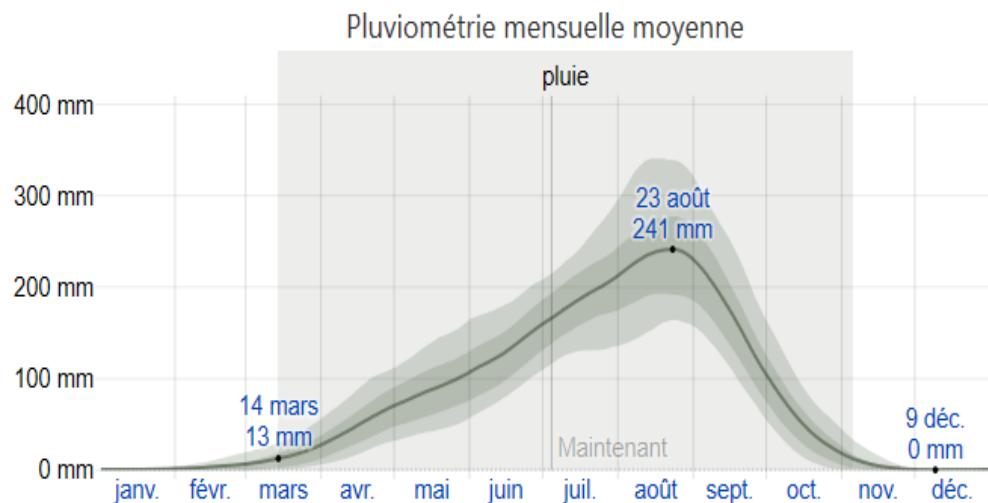


Figure 14. Accumulation mensuelle moyenne des précipitations à Natitingou.
(Source : Weatherspark, données issues de MERRA-2, NASA)

Lorsque les précipitations sont fortes, le taux de ruissellement dans cette région est très élevé. Toute cette eau n'est pas forcément récupérée alors que les cultures agricoles en dépendent fortement. (E. J. Roose, 1976)

Relief

Le relief de la commune de Natitingou est plutôt varié. On y retrouve des zones montagneuses et des collines dont les vallées sont caractérisées par une forte pente. Les villages aux environs de la ville de Natitingou sont le plus souvent placés sur des plateaux ou des pénéplaines dont les pentes sont assez douces, voire inexistantes. Kotopounga se situe sur l'un de ces hauts plateaux qui culminent à 661 m. L'altitude du village de Kotopounga varie entre 661 m aux abords des premières habitations à l'Ouest et 600 m dans la petite vallée où passe le cours d'eau qui traverse le village. (Topographic-Map, s. d.) Les pentes sont donc douces, généralement comprises entre 0 et 5%.

Superficie agricole

En 2016, Kotopounga est l'un des arrondissements disposant le plus de surfaces cultivées, entre 140 ha et 160 ha. Cette tendance à l'augmentation de la surface des champs depuis 1996 est corrélée avec l'augmentation de la densité de population. La taille des champs a elle aussi augmenté, passant de 1 ha et moins à entre 3 et 10 ha. La superficie moyenne agricole à Kotopounga se situe donc principalement entre 3 et 10 ha. (Agbanou, 2018)

Hydrologie

Les cours d'eau proches de Kotopounга sont des cours d'eau saisonniers. Le réseau hydrographique est essentiellement composé de marigots, rivières et ruisseaux. Les cours d'eau les plus importants sont : le Yarpao, Koumagou, et Winmou. Le réseau hydrographique peu fourni est tributaire du climat et du relief. (Conseil Communal, 2004) Le cours d'eau de Kotopounга est nommé Irikouakou, il traverse le village en deux points comme présenté sur la figure 15 (Satellites Pro, s. d.).

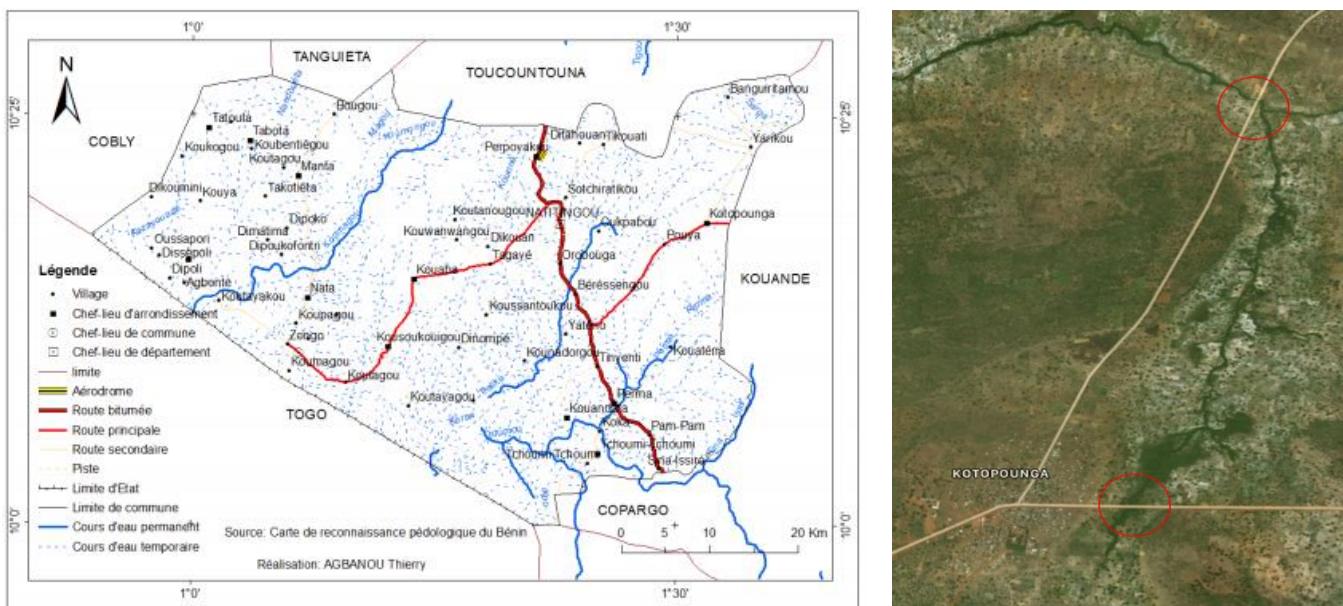


Figure 15. Réseau hydrographique du secteur Naitigou-Boukombé (Agbanou, 2018) et traversée du cours d'eau Irikouakou à Kotopounga (Image satellite).

Sol

À Kotopounга, les sols sont ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et ferrugineux tropicaux peu lessivés en argile (Agbanou, 2018).

Les sols sont généralement latéritiques, gravillonnaires, caillouteux, sablonneux et argileux peu faciles à travailler. Ils ont une faible capacité d'infiltration des eaux qui les

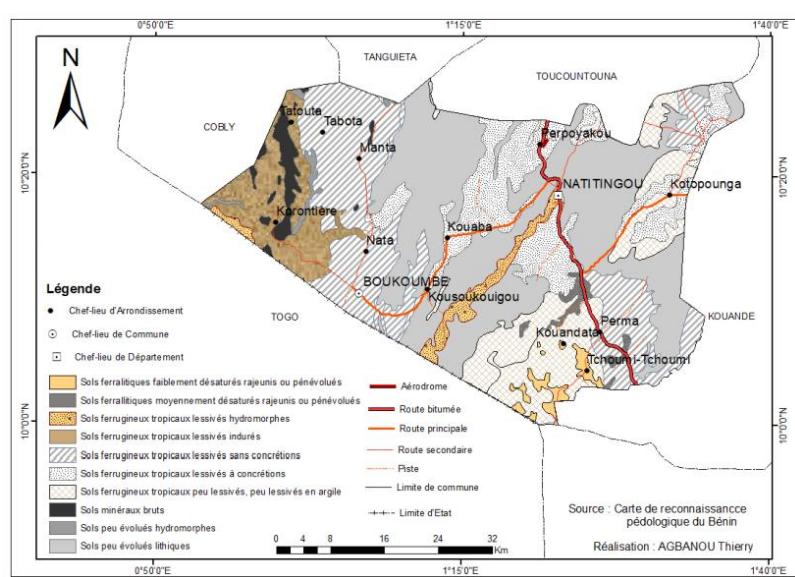


Figure 16. Carte pédologique du secteur Natitingou-Boukombé (Agbanou, 2018)

rend vulnérables face à l'érosion (Ramane, 2020). De plus, les activités culturales mal adaptées accentuent la dégradation de ces terres. (Agbanou, 2018) Pendant longtemps, le travail du sol en billon et en butte a été fait parallèlement aux pentes, ces pratiques ont très vite dégradé les sols de la région déjà peu fertiles (Biaou, 2006). Ces sols sont favorables à la culture du maïs, sorgho, arachide, manioc, igname. Ils sont pauvres en matière organique (0,5 % à 1,5 %), avec un pH légèrement acide (5,5 à 6,5), trop sableux, parfois graveleux et retiennent peu d'eau et de nutriments. (Sinsin, 2010)

- Les sols ferrugineux tropicaux, peu lessivés en argile, présentent un contraste textural marqué à faible profondeur, au passage des horizons A aux horizons (B), qui crée un obstacle à la pénétration de certains systèmes racinaires. L'augmentation rapide des teneurs en éléments grossiers provoque une discontinuité supplémentaire gênant les plantes à enracinement profond et limitant le drainage vertical en profondeur. Ces sols sont plus foncés à la surface et peu colorés, de couleur brune, brun/rouge ou gris.
- Les sols ferrugineux tropicaux, lessivés que l'on retrouve à Kotopouna sont des sols vivement colorés et rouges. Ces sols présentent un contraste de texture marqué entre l'horizon A et l'horizon B qui ne permet pas l'implantation profonde des systèmes racinaires fragiles qui se contente alors des horizons appauvris en minéraux. (Faure, 1977)

Le taux de matière organique de ces sols est considéré comme moyen et le taux en éléments minéraux (NPK) est faible (Faure, 1977) (Youssouf et Lawani, 2000). La structure superficielle de ces sols est peu stable et présente donc une érodibilité élevée (Faure, 1977). Les sols de la région comportent une certaine forme de résistance à l'érosion hydrique. Ceci est en partie dû à la couche superficielle du sol composée de gravier de quartz qui disperse l'énergie cinétique des pluies (E. J. Roose, 1976). Cependant, cela ne veut pas dire que l'érosion est sans importance. En effet, les éléments érodés sont les plus importants pour les activités agricoles, ce sont les éléments nutritifs du sol et la matière organique qui se détachent du sol puis qui sont transportés par le ruissellement. (E. J. Roose, 1976) Ces sols conviennent aux cultures suivantes : arachide, maïs, sorgho, mil, igname, manioc, ricin, tabac (Youssouf et al., 2000).

2.4. Pratiques de conservation et de fertilisation des sols

L'agroécologie et ses principes présentés en Partie 1 peuvent être appliqués au problème d'érosion et de perte de fertilité des sols de la commune de Natitingou et du village de

Kotopounga. En effet, l'agroécologie promeut les pratiques qui ont pour vocation d'entretenir un sol sain : richesse de la biodiversité du sol, une bonne gestion de la matière organique, la diminution de l'érosion et la limitation de l'évaporation du sol. Plusieurs pratiques ayant pour but la conservation des sols, c'est-à-dire la limitation de l'érosion, mais aussi l'élimination de facteurs susceptibles de conduire à l'érosion des sols seront présentées dans les parties suivantes. Les pratiques permettant le maintien ou l'accroissement du taux de fertilité des sols seront aussi étudiées. Les pratiques présentées correspondent aux pratiques applicables au contexte béninois. En effet, compte tenu des caractéristiques présentées dans les précédentes parties, certaines pratiques s'avèrent non rentables, peu efficaces et coûteuses et ainsi pas adaptées au contexte socio-économique et aux conditions climatiques de la région.

2.4.1. Méthodes agronomiques

Les méthodes agronomiques sont les méthodes les plus utilisées, car elles sont plus faciles à mettre en place. En effet, elles sont peu onéreuses et s'intègrent facilement au système de production initial. (Tychon, 2019)

Préparation du sol

- **Labour** = Le labour consiste à un retourne du sol en profondeur. Cette pratique permet d'augmenter la porosité et la perméabilité du sol ce qui facilite l'infiltration de l'eau. Cependant, cette pratique fragilise grandement la structure du sol, ce qui conduit à l'érosion des particules de sol. Dans les sols ferrugineux tropicaux que l'on retrouve dans la commune de Natitingou, le labour dans la partie superficielle du sol est conseillé pour améliorer l'enracinement. (E. J. Roose, 1976)
- **Billons perpendiculaires** = Le travail du sol en billons perpendiculaires à la pente et aux eaux de ruissellement permet de retenir les éléments fins du sol ainsi que l'eau de ruissellement. Cependant, si la pente est trop forte il y a un risque de rupture des billons provoqué par la puissance de l'eau de ruissellement. Dans le contexte d'une agriculture traditionnelle, le billonnage est plus approprié, car plus facile à appliquer sans la mécanisation. (de Haan, 1997) Une étude menée à Boukoumbé dans le Nord-Bénin, a montré que le billonnage était plus efficace que le labour profond dans la diminution du taux de ruissellement. Les billons ont pratiquement arrêté le ruissellement lors des fortes précipitations pendant la saison pluvieuse. L'eau a ainsi été retenue et son effet sur les plantations s'est fait ressentir jusqu'à la seconde année. (E. J. Roose, 1976)

- **Semis direct** = Le semis direct implique une couverture du sol par les résidus de culture comprise entre 50 et 100 % (Tychon, 2019). Il n'y a pas de travail du sol qui est réalisé dans cette pratique, le contrôle des adventices se fait donc souvent par les herbicides. Sur le long terme, le semis direct réduit l'érosion hydrique (sols moins friables à la surface et protégés par les résidus de culture) malgré la possibilité d'augmentation du ruissellement (sol moins perméable). (Guillou, 2015)
- **Travail minimal du sol** = Le travail minimal du sol est caractérisé par une couverture du sol par les résidus de culture d'au moins 30% (Tychon, 2019). À l'inverse du labour, le sol n'est pas retourné, mais brisé puis soulevé, cette pratique est ainsi moins agressive. Il s'agit d'un bon compromis entre le labour et le non-labour puisqu'il permet de réduire l'érosion hydrique et éolienne tout en garantissant une bonne infiltration de l'eau et de l'air dans le sol (Massicotte et Denis, 2000). Le sol est ainsi moins compacté et reste résistant à l'érosion grâce à la couverture de résidus de récolte dont il bénéficie. Le travail du sol superficiel permet de briser la pellicule de battance imperméable qui est un facteur d'érosion hydrique puisque cette pellicule empêche l'infiltration de l'eau et contribue ainsi au ruissellement. Au Bénin, le travail du sol minimum est celui qui est fait avec le grattage superficiel de sol ou le sarclo-binage. (E. J. Roose, 1976)

Gestion des résidus de culture

- **Enfouissement** = L'enfouissement des résidus de culture ou de la jachère permet une décomposition lente de la biomasse qui conduit à la production de MO dans le sol (E. J. Roose, 1976). Cependant, l'enfouissement peut participer à la prolifération de ravageurs ou de pathologies, c'est pourquoi il est important d'effectuer des rotations culturales. Dans le nord Bénin, l'enfouissement des résidus de culture est fait par billonnage direct ou par labour à plat. Les tiges sont disposées en andain entre les billons de la culture précédente, elles sont ensuite recouvertes de terre pour former les nouveaux billons. (Djenontin et al., 2003)
- **Culture sous paillis** = Les résidus de récolte sont très utiles lors que le travail du sol minimal est appliqué. Certaines espèces et en particulier les espèces céréaliers possèdent un ratio élevé en résidus de culture. Dans le village de Kotopouniga, ces espèces sont le sorgho, le mil, le fonio et le maïs. Par rapport au taux de couverture, pour les résidus de culture céréalière, il faut 680 kg/ha pour obtenir un taux de

couverture de 30%. (Massicotte, 2000). Le paillage diminue la température à la surface du sol et réduit ainsi l'évaporation. Le paillage a donc des effets sur la rétention d'eau dans les sols, sur l'activité biologique (nurserie) bénéfique pour la structure des sols et sur l'érosion hydrique en réduisant la force d'impact des gouttes de pluie sur le sol. Le paillis peut aussi être réparti avant le semis et avant les premières pluies, car il emmagasine l'eau dans les sols. Ces derniers seront alors favorables aux premières plantations et faciles à travailler. (E. J. Roose, 1976) Cette pratique a pu être observée au village de Kotopounга lors d'une sortie terrain (figure 17).



Figure 17. Technique de paillage au village de Kotopounга. (Photographie Pandora Danus)

Le paillis peut aussi être appliqué avec des résidus végétaux autres que les tiges. Par



exemple sur la figure 18 le recouvrement est réalisé par les résidus de graines de mil après le battage. Sur cette figure on peut apercevoir la trace d'humidité laissée après un grattage de la couche superficielle.

Figure 18. Résidus de graines de mil après battage à Kotopounга. (Photographie Pandora Danus)

Occupation du sol

- **Rotation culturelle** = La rotation des cultures est une pratique essentielle pour maintenir la productivité du sol ainsi que pour la lutte contre les ravageurs et les adventices. Les rotations efficaces sont faites de 3 à 4 cultures de familles différentes. (Massicotte et al., 2000) La rotation culturelle présente plusieurs avantages dont celui de réduire l'érosion en minimisant les périodes de sols nus entre deux cultures et en améliorant la structure du sol. De plus, elle participe au maintien de la fertilité du sol en améliorant ou en stabilisant la teneur en MO et garantit un renouvellement des nutriments comme l'azote laissé dans les sols par certaines cultures. (Massicotte et al., 2000) Dans le nord du Bénin, les rotations culturelles sont souvent organisées comme cela : 1 an d'igname, 2 ans de coton, 1 an de maïs (ou de sorgho) et 3 ans de jachères. Cependant, ce type de rotation restitue très peu de résidus de culture qui seraient bénéfiques pour la teneur en MO dans les sols. En effet, l'igname et le coton produisent peu de résidus, les fanes d'arachides sont commercialisées, les tiges de sorgho sont utilisées dans l'artisanat local ou à des fins domestiques et la jachère brûle chaque année. Seuls les résidus de maïs pourraient être entièrement destinés à la restitution organique dans les sols. (E. J. Roose, 1976) Les légumineuses sont de plus en plus intégrées dans les systèmes de rotation culturelle pour la fertilisation des sols. Au nord du Bénin, les femmes ont déjà acquis cette technique parce que ce sont elles qui héritent le plus souvent des terres appauvries par les cultures de rentes réalisées par les hommes (Stiem-Bhatia et al., 2017).
- **Cultures associées** = Les cultures associées sont des semis quasi simultanés de deux ou plusieurs cultures. La culture intercalaire est semée lorsque la première culture a atteint un stade de développement lui évitant l'entrée en compétition des deux cultures (Ex. Mil -Niébé, Maïs - Herbes). (Tychon, 2019) Dans le nord du Bénin, l'association culturelle entre les céréales et les légumineuses est beaucoup pratiquée par les femmes dans un objectif économique et pour l'auto-consommation (valeur nutritive importante des légumineuses). Cette association permet une fertilisation des terres grâce aux légumineuses. Comme espèces de légumineuses, on retrouve : les haricots, les pois d'angole, la mucuna et le soja. (Stiem-Bhatia et al., 2017) L'association avec le pois d'angole a pu être observée sur le terrain (figure 19). Les cultures maraîchères sont également cultivées en association.



Figure 19. Cultures associées au village de Kotopounga. (Photographies Pandora Danus)

Couverture du sol

Les cultures de couverture sont semées après ou pendant la croissance de la culture principale. Elles permettent de couvrir les sols et ainsi d'éviter qu'ils soient à nu et sensible à l'érosion.



Figure 20. Couverture du sol par les herbes sèches sur une culture de manioc à Kotopounga. (Photographie Pandora Danus)

Ces cultures de couverture ne sont pas récoltées, mais sont enfouies dans le sol pour maintenir le taux en éléments nutritifs. Ces plantes développent un système racinaire maintenant la structure du sol et limitent ainsi l'érosion hydrique et éolienne. À leur mort, elles forment naturellement un paillis végétal et empêchent la prolifération des adventices. Le sol ainsi couvert par la biomasse végétale, est plus propice à accueillir une diversité de micro-organismes essentiels à la génération de MO. Les cultures de couverture qui sont laissées sur les parcelles permettent de contrebalancer la biomasse récoltée de la culture principale qui ne retournera pas dans le sol. Il faut veiller à bien

associer la culture de couverture et la culture principale pour ne pas créer des carences en éléments nutritifs. (Martin et al., s.d.) Les légumineuses sont souvent associées avec les cultures de céréales, chaque espèce a ses propriétés qui la rendent plus intéressante qu'une autre. Les légumineuses sont intéressantes, car elles recyclent le calcium et les minéraux du

sol et sont une source d'azote importante lors de leur dégradation. Les graminées sont souvent utilisées pour améliorer la structure des sols grâce à leur système racinaire développé. De plus, ils offrent un bon paillis et peuvent servir de fourrage pour l'alimentation du bétail. Cependant, si les plants ne sont pas suffisamment contrôlés, les graminées peuvent vite devenir une mauvaise herbe envahissante. (Martin et al., s.d.) Au Bénin, c'est la mucuna qui est souvent utilisée comme plante de couverture (Djenontin et al., 2002), la mucuna est une espèce qui prolifère rapidement et qui est résistante face aux aléas climatiques et aux saisons sèches. Elle est utilisée comme fourrage pour les animaux, mais attire également ces derniers sur les parcelles cultivées. (Stiem-Bhatia et al., 2017) Sur la figure 20, il s'agit d'une culture de manioc avec un sol recouvert de graminées.

Intrants organiques

L'amendement des sols nécessite de grandes quantités de matière organique. Les agriculteurs trouvent cette matière organique dans les résidus de récolte, dans les refus de fourrage, dans les déjections animales et dans les déchets ménagers. À partir de ces sources de matière organique, les paysans produisent du fumier ou du compost qu'ils répartissent sur les champs



Figure 21. Bouses de vaches réparties sur une parcelle à Kotopounga. (Photographie Pandora Danus)

avant le travail du sol. (Djenontin et al., 2002) Le gros bétail, comme les bœufs, n'est pas très répandu sur le territoire béninois. Comme vu dans la précédente sous-partie sur l'élevage, ce sont les peulhs qui exercent cette activité traditionnelle. (E. J. Roose, 1976) La figure 21 représente la technique d'épandage de fumier sur les parcelles à Kotopounga. Malgré le conflit constant entre les éleveurs et les agriculteurs, le fumier reste une ressource essentielle recherchée par les paysans. Le fumier le plus riche est celui provenant des fientes de volaille (environ 6 fois plus riche que le fumier bovin), les volailles sont aussi plus faciles à entretenir d'un point de

vue économique. (Weill et Duval, 2009) Le compostage est un autre moyen de valoriser les résidus organiques, mais sa production est plus longue que celle du fumier. Cependant, il permet de dépanner les paysans qui n'ont pas d'élevage ou qui sont plus pauvres. Le compostage est principalement utilisé dans les systèmes maraîchers alors que le fumier approvisionne davantage les productions céréaliers. (E. Roose, 1999)

2.4.2. Méthodes végétales

Les méthodes végétales correspondent à l'utilisation d'espèces végétales qui ne font pas partie du cycle de culture de l'exploitation. Les structures végétales mises en place peuvent être constituées d'herbacées lorsqu'il s'agit de lutter contre l'érosion hydrique et de ligneux pour l'érosion éolienne. Les espèces choisies doivent être pérennes et donc posséder les caractéristiques suivantes : un enracinement profond et dense, une croissance rapide, et une résistance à la sécheresse. Les espèces peuvent aussi participer à la lutte contre les ravageurs et contre la prolifération des adventices. Ces pratiques sont faciles à mettre en œuvre, mais occupent une certaine superficie de la parcelle exploitée. Pour optimiser cette occupation, il peut être intéressant de choisir des espèces dont les produits seront valorisables (Neem, anacardier, arbre fruitier, fourrage, etc.).

Bandes enherbées

Les bandes enherbées sont utilisées comme moyen de stockage de l'eau superficielle. Elles permettent de contrôler le ruissellement en diminuant la vitesse d'écoulement de l'eau. De plus, elles participent à la réhabilitation des sols en filtrant les éléments fins de sol et les éléments nutritifs contenus dans l'eau de ruissellement. Une étude réalisée au Burkina Faso, démontre que les bandes enherbées permettent une réduction d'environ 45% du taux de ruissellement (Zougmoré et al., 2004). Les bandes enherbées doivent être suffisamment denses pour ralentir l'écoulement de l'eau. Les plants choisis doivent être adaptés au climat et résistants aux périodes de sécheresse. Les premières années d'implantation de ces bandes ne seront pas aussi efficaces qu'une méthode physique puisque les plants ne seront pas encore matures. Ces bandes enherbées peuvent être intéressantes pour les cultures en pentes que l'on retrouve fréquemment dans la commune de Natitingou et qui sont dues à la chaîne Atacorienne. La bande antiérosive peut être composée de graminées ou de légumineuses qui améliorent la capacité d'infiltration de l'eau grâce à l'enracinement profond, contrairement à la jachère naturelle. Sur le long terme, cette technique permet d'adoucir les pentes naturellement, sans travail trop lourd comme le terrassement, grâce au dépôt de sédiment qui se forme petit à petit (E. J. Roose, 1976). La largeur des bandes dépend de l'agressivité du climat, de la pente, du taux de couverture du sol et de l'érodibilité du sol. Il est ainsi conseillé, au début de l'implantation de cette technique, de réaliser des bandes d'une largeur moyenne de 5 m. (E. Roose, 1999)

Brise-vents

Les brise-vent sont des protections végétales inertes sous forme de palissade ou de mur construit avec des débris végétaux. Ils permettent principalement la réduction de la vitesse du vent en servant d'obstacles à celui-ci. C'est un moyen de lutte efficace contre l'érosion éolienne. Bien que les parcelles des villages de Kotopounga ne soient pas de grande dimension, elles se situent dans un milieu dégagé dont la végétation est de type savane arbustive. La topographie du milieu et la composition de la végétation ne permettent pas de ralentir les vents dominants, les haies brise-vent sont donc une solution. De plus, en période sèche lorsque l'Harmatan souffle, les haies brise-vent peuvent participer à la diminution du taux de poussière en suspension. (Chouinard et Massicotte, 2000)

Haies vives

Cette pratique est très utile dans les régions nord du Bénin, puisque le bétail n'est pas parqué. Les haies vives permettent de protéger les parcelles contre les brouteurs, elles sont constituées d'arbres, d'arbrisseaux et d'arbustes épineux plantés en quinconce sur trois lignes. Cependant, beaucoup de cultivateurs, en particulier les femmes, sont justes locataires de la parcelle, l'accord du propriétaire est souvent nécessaire pour la mise en place de telles barrières végétales. (Stiem-Bhatia et al., 2017) La biomasse produite par les haies vives peut être utilisée comme fourrage ou comme paillis végétal. Les haies vives sont également mises en place contre l'érosion des sols, elles réduisent le ruissellement et freinent les vents dominants. Les haies vives forment un système similaire à l'agroforesterie : en implantant diverses espèces d'arbres, un écosystème se forme naturellement, l'ombre et l'humidité procurées par l'arbre permettent aux herbes et à d'autres végétaux de se développer. (E. Roose, 1999) Les terres marginales de petite superficie situées sur des zones en pentes peuvent être réhabilitées puis exploitées grâce à l'application de telles pratiques.

Agroforesterie

L'agroforesterie consiste à recréer un écosystème basé sur les interactions entre les arbres, les cultures, les pâturages et l'élevage. Il y a de nombreuses fonctions environnementales qui sont remplies par les systèmes agroforestiers :

- « 1) Maintien de la fertilité des sols/réduction de l'érosion par apports de matière organique au sol, fixation de l'azote et restitution des éléments nutritifs au sol;
- 2) Conservation de l'eau (quantité et qualité) par une plus grande infiltration et une réduction des ruissellements de surface qui pourraient contaminer les cours d'eau;
- 3) Capture du carbone, soulignant le potentiel des systèmes sylvo-pastoraux; et

4) Conservation de la biodiversité dans les paysages fragmentés. » (Beer et al., 2003)

Comme pour les haies vives, l'agroforesterie peut être appliquée sans soucis de pente ou de superficie à condition de respecter les besoins de chaque plant et de comprendre la dynamique entre la culture et le système forestier. En effet, il faut prendre en compte le taux de densité des arbres sur la parcelle pour laisser un accès suffisant aux rayons du soleil et à la pluie. (Groupe GDT, s.d) L'agroforesterie est pratiquée sur certaines parcelles à Kotopounga avec des arbres fruitiers qui permettent de commercialiser les sous-produits (figure 22).



Figure 22. Culture sur butte de l'igname avec des arbres fruitiers (anacardiers et manguiers). (Photographies Pandora Danus)

2.4.3. Méthodes physiques

Les méthodes physiques consistent à modifier la topographie d'un terrain ou à établir une gestion de l'écoulement des eaux. Dans les endroits secs et arides, ces modifications permettent de capturer les eaux de ruissellement. Elles permettent également de réduire l'érosion hydraulique en diminuant la vitesse d'écoulement. D'une certaine manière, elle contribue à la conservation et à la fertilisation des terres en filtrant et en capturant les éléments fins du sol érodés par les eaux de ruissellement.

Cordons pierreux

Les cordons de pierres sont construits en suivant les courbes de niveau de la parcelle. Ils sont édifiés sur trois niveaux de pierres de tailles différentes. Ces cordons ralentissent l'écoulement de l'eau et permettent ainsi une plus grande infiltration de l'eau retenue dans les sols. En arrêtant l'eau de cette manière, les sédiments qu'elle transportait sont filtrés et forment une

croûte de sédimentation à la surface. L'excédent d'eau peut passer au-dessus du premier niveau de pierre, le second et le troisième niveau sont perméables contrairement au premier niveau. Les agriculteurs qui utilisent cette technique considèrent que son rôle le plus intéressant est celui de retenir tous les éléments flottants (déjections animales, paille, feuilles, etc.) et participer ainsi au maintien de la fertilité du sol. (E. Roose, 1999)

Diguettes en pierres

La construction des diguettes en pierre repose sur le même principe que la construction des cordons pierreux, mais nécessite plus de pierres. Les pierres sont empilées selon les courbes de niveau sur une hauteur de 30 cm et dans les zones subissant de forts ruissellements (pentes sur les plateaux et versants). La quantité de pierre nécessaire à la construction des diguettes restreint l'application de cette technique. Comme ces diguettes sont placées dans des zones avec un ruissellement considérable, l'accumulation des sédiments se fait rapidement. Des petites terrasses avec un sol riche se forment et deviennent cultivables au bout de quelques années. (JGRC, 2001)

Diguettes en terre

Les diguettes en terres se distinguent des diguettes en pierre notamment par le fait que leur construction ne nécessite pas un transport de matériaux. Le travail est effectué sur place avec la terre excavée. Les diguettes suivent les courbes de niveau et sont construites avec un creux en amont du ruissellement et une élévation en aval. Elles empêchent ainsi le ruissellement de l'eau, mais peuvent être facilement détruites si le ruissellement les franchit. (JGRC, 2001) La mise en place de cette technique demande des connaissances approfondies sur les courbes de niveau pour éviter la destruction des diguettes dès les premières pluies. De plus, elle demande plus d'heures de travail que pour la construction des cordons pierreux. La forme finale de la diguette est réalisée avec le compactage de la terre, cette étape est assez pénible pour les paysans. (Rabdo, 2006)

Zaï

Le Zaï est une technique pratiquée principalement au Mali, au Niger et au nord du Burkina Faso. Elle est utilisée par les populations dans les zones semi-arides qui souffrent de grandes sécheresses. Il s'agit d'une culture en poquet profond de 10 à 15 cm de profondeur (horizon pédologique propice à la culture) dans lequel de la fumure est déposé avant la saison des pluies. La terre retirée du trou est disposée sur la moitié du pourtour du poquet de manière à

concentrer l'eau de ruissellement et les poussières mises en suspension par le vent. Le sol autour de ces poquets n'est pas travaillé afin d'obtenir une surface lisse presque imperméable, l'eau s'infiltra donc par les poquets environnants. La matière organique placée au fond du poquet attire des termites qui creusent des galeries. Ces termites oxygènent le sol par la formation de macropores et enrichissent en minéraux le sol. Les nombreuses galeries construites par les termites servent de réservoir utile pour l'eau de pluie qui se retrouve ainsi à l'abri de l'évaporation. Cette technique est parfois utilisée au Bénin, mais dans les zones moins arrosées. En effet, les précipitations supérieures à 1000 mm par an peuvent créer un engorgement du sol. Il faut des précipitations comprises entre 400 et 800 mm par an pour que cette technique soit efficace. (E. Roose et al., 1995) En cas de sécheresse ou dans le contexte actuel qu'est la diminution des précipitations dans cette région, cette technique pourrait être une solution.

Demi-lunes

La technique des demi-lunes ressemble à celle du Zaï, mais est différente dans sa réalisation. Sur une pente douce, un bassin d'environ 4 m de diamètre et 15 à 25 cm de profondeur est creusé. La terre excavée sert de diguette placée en demi-lune autour du bassin. Comme pour les Zaï, les bassins permettent de récolter les eaux de ruissellement et les sédiments qu'elle transporte. Cette pratique est mise en place dans les zones arides et semi-arides où il y a peu de précipitations. (OCDE, 2009) Au niveau du paysan béninois, la mise en place de demi-lune demande beaucoup de temps et d'énergie par rapport à la technique du Zaï (Avakoudjo et al., 2013).

2.4.4. Mode de gestion des terres

Les mesures liées à la gestion des terres rassemblent les pratiques liées au mode d'exploitation des terres et qui nécessitent une planification. La pratique se fait à l'échelle d'une parcelle ou d'un ensemble de parcelles. C'est la parcelle entière qui est réquisitionnée pour ce type de pratique.

Pâturage rotatif

La gestion du pâturage est importante pour obtenir des effets bénéfiques sur une parcelle et non l'inverse. En effet, l'intensité du pâturage ainsi que la rotation des prairies doivent être prises en compte. L'intensité se traduit par la densité du cheptel sur une superficie donnée. Le pâturage rotatif consiste à mettre au repos la parcelle après un pâturage. Le pâturage rotatif

permet à la végétation de se régénérer, les cheptels sont déplacés avant qu'ils puissent manger les repousses. Ce système de pâturage nécessite plusieurs enclos et donc une grande superficie dédiée à l'alimentation des bêtes. Le pâturage peut aussi être utilisé pour nettoyer une parcelle, notamment quand celle-ci est envahie par les mauvaises herbes ou par les ravageurs. (Kyle, 2015) Au Bénin, pendant la saison sèche ce sont les savanes et les jachères qui sont utilisées pour le pâturage (Sinsin et al., 1989). Les résidus de cultures sont aussi utilisés pour l'alimentation du bétail. Le pâturage peut être bénéfique, notamment par les déjections laissées par les animaux sur les parcelles. Le fumier produit par les animaux est une source non négligeable de matière organique.

Mise en défens

Lorsque les pratiques culturelles comme celles présentées dans les précédentes parties ne suffisent pas à réduire l'érosion hydrique des sols. Alors une mise en défens de la parcelle peut être réalisée. Cette technique est utilisée lorsque l'on observe un ruissellement important et une érosion intense dans les parcelles cultivées. La mise en défens requiert plusieurs types d'aménagement pour mettre au repos la parcelle et pour laisser la nature régénérer le sol dégradé et la couverture végétale. Dans cette technique, c'est le rôle important de la végétation qui est utilisée pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. (Diatta, 1994) La zone dégradée est protégée de cette façon pendant 4 à 8 ans pour que les fonctions écosystémiques soient restaurées (Diatta et al., 2000). Lorsque les sols sont modérément dégradés (pourcentage de couverture végétale pérenne supérieur à 20 %), la zone est mise en défens, des barrières végétales sont instaurées et la régénération se fait naturellement. Quand les sols sont davantage dégradés (pourcentage de couverture végétale pérenne inférieur à 20 %), la zone est mise en défens, mais la régénération va être aidée grâce à la plantation de végétaux obtenus sous serre ou déjà développés. (Amghar et al., 2016)

Jachère

Le système traditionnel agricole est caractérisé par une culture de courte durée (saison des pluies) suivie par une longue jachère. La faible densité des milieux ruraux, comme à Kotopouna, permet également une mise en jachère efficace, car réalisée sur une bonne partie du territoire (E. Roose, 1999). La jachère présente trois avantages importants pour l'agriculture. Tout d'abord, elle permet une régénération des sols autant physiquement que chimiquement (structure des sols, fertilité chimique, matière organique, biodiversité, etc.). Ensuite, elle est efficace dans la lutte contre les ravageurs et contre les adventices.

Finalement, les résidus obtenus à la fin d'une jachère peuvent être valorisés de différentes manières (fourrage, paillis, compost, etc.).

2.5. Résumé des variables de l'étude

Conditions physiques

Les différentes conditions physiques retrouvées à Kotopounga sont présentées dans le tableau suivant. Ces conditions représentent les variables susceptibles d'influencer le cheminement des arbres décisionnels.

Tableau 3. Résumé des conditions physiques

Climat Précipitations	0-80 mm/mois		>80 mm/mois
	Saison Sèche		Saison Pluvieuse
Relief Pente	0%	0-5%	5-17%
	Plates	Douce	Modérée
Superficie Taille exploitation	<3 ha	3-10 ha	>10 ha
	Petite	Moyenne	Grande
Hydrologie Disponibilité en eau	Culture irriguée		Culture pluviale
	Saison Sèche		Saison Pluvieuse
Pédologie Couleur	Ferrugineux tropicaux, peu lessivés en argile		Ferrugineux tropicaux, lessivés
	Foncé (brun, brun/rouge, gris)		Très coloré (rouge, orange)

Conditions humaines

Le tableau suivant met en avant les variables humaines et les différents choix qui y sont rattachés. Ce sont ces variables qui seront prises en compte lors de l'élaboration des arbres de décision.

Tableau 4. Résumé des conditions humaines influentes

	Choix			
Culture	Maraîchère	Céréalière		
Travail du sol	Labour	Travail min du sol	Semis direct	Billons perpendiculaires
Intrants	Oui	Non		
Élevage	Oui	Non		
Valorisation des résidus	Fourrage	Enfouissement	Paillis	

Pratiques agroécologiques de conservation et de fertilisation des sols

Le prochain tableau liste toutes les pratiques agroécologiques de conservation et de fertilisation des sols qui ont été choisies et étudiées dans ce travail. Ces différentes pratiques sont listées selon le type de méthode.

Tableau 5. Résumé des pratiques agroécologiques proposées

Types	Pratiques agricoles
Méthodes agronomiques	Labour
	Billons perpendiculaires
	Semis direct
	Travail minimal du sol
	Enfouissement
	Culture sous paillis
	Rotation culturale
	Culture associée
	Couverture du sol
	Intrants organiques
Méthodes végétales	Bandes enherbées
	Brise-vents
	Haies vives
	Agroforesterie
Méthodes physiques	Cordons pierreux
	Diguette en pierres
	Diguette en terre
	Zaï
	Demi-lune
Gestion des terres	Pâturage rotatif
	Mise en défens
	Jachère

Partie 3

3.1. Choix des paramètres et fonctionnement de l'OAD

Dans la Partie 2, il a été démontré que beaucoup de pratiques agricoles différentes existaient et que plusieurs variables pouvaient rentrer en compte dans leur mise en place. Dans les prochaines sous parties l'organisation de tous ces éléments sera présentée afin de mieux comprendre comment les arbres ont été construits et comment cela va aider les agriculteurs pour une transition agroécologique.

3.1.1. Identification de la décision à prendre

Pour faciliter l'application de certaines pratiques agroécologique, il convient d'aider l'exploitant dans ses décisions. Tout d'abord, un premier travail de tri a été réalisé parmi les pratiques en fonction des variables sur les conditions physiques et sur les conditions humaines de la zone d'étude. Même après ce simple traitement, il reste tout de même 22 pratiques. Ces pratiques n'ont pas forcément les mêmes fonctions ou ne nécessitent pas toujours les mêmes conditions d'installation. Pour proposer ces pratiques à un agriculteur, il faut qu'il en ait besoin et qu'il puisse les mettre en place. C'est ainsi que plusieurs points de départ vont être établis. Ces points de départ constitueront les problèmes auxquels fait face un agriculteur sur sa parcelle. Les problèmes qui ont été choisis sont ceux qui ont le plus de risque d'apparaître dans cette région. Ils concernent principalement l'état du sol et les conséquences de sa dégradation : la perte de fertilité des sols, l'érosion des sols, la sécheresse, la mauvaise structure des sols et l'effet des pentes. Deux autres problèmes très fréquents dans la plupart des exploitations agricoles ont été ajoutés à la première liste, il s'agit des ravageurs et des adventices. À partir d'un problème, et une fois que certaines variables seront établies, alors une ou plusieurs solutions (sous forme de pratiques agroécologiques) seront proposées. Dans les prochains paragraphes, les problèmes et leurs effets sur l'exploitation agricole seront présentés pour mieux comprendre ce qu'ils impliquent et pourquoi est-ce qu'ils sont importants à résoudre.

Perte de fertilité des sols

La fertilité d'un sol peut être caractérisée de différentes manières, selon sa composition chimique, sa composante physique ou encore sur sa diversité biologique. Ainsi, dans l'aspect chimique on retrouve tout ce qui est nutriments, minéraux et matière organique, pour la composante physique, il s'agit de la texture, de la structure et de la profondeur sur sol. Enfin,

la diversité biologique concerne toute l'activité microbiologique du sol et donc la capacité des micro-organismes à transformer la biomasse en éléments nutritifs.

Dans la région où se situe l'étude, le niveau de fertilité des sols est considéré comme plutôt faible. Cette pauvreté en éléments nutritifs est encore plus importante sur les plateaux de la région comme celui de Kotopounga. De plus, au fil du temps ce niveau de fertilité tend à baisser, notamment à cause des pratiques agricoles qui ne permettent pas la régénération des sols. Le type de sol de la région a aussi un rôle dans le niveau de fertilité, car les sols ferrugineux tropicaux que l'on retrouve à Kotopounga sont des sols présentant des taux initialement faibles en matière organique. (Kombienou et al., 2015) Le niveau de fertilité d'un sol est important en agriculture, car c'est un élément limitatif tout comme la pluviométrie. Les Hommes ont toujours été à la recherche de sols fertiles pour assurer le besoin primitif qu'est l'alimentation, avoir des terres fertiles c'est une manière d'assurer un certain niveau de sécurité alimentaire. Il existe une fertilité naturelle des sols qui suit une forme de cycle : la biomasse végétale se développe grâce aux composés du sol et à sa mort retourne dans le sol où elle va lentement se dégrader sous forme de matière organique pour alimenter la croissance d'autres espèces. Cependant, l'agriculture ne permet pas ce retour de la biomasse dans les sols étant donné qu'elle est consommée. Pour pallier ce manque, ce sont des intrants organiques et/ou minéraux qui sont ajoutés pendant le travail du sol. La perte de fertilité des sols est une conséquence dramatique pour la production agricole surtout pour les pays de l'Afrique subsaharienne qui voient leur démographie exploser. (Bationo, 1994) La densité de population augmentant, les terres autrefois délaissées pour leurs inconvénients sont maintenant exploitées et la durée de la jachère a fortement diminué depuis.

Érosion des sols

L'érosion est un phénomène naturel, mais qui est accentué par les activités anthropiques. Il consiste en un détachement puis un transport des particules de sols. Ces dernières peuvent être déplacées par l'eau ou par le vent. Ceci occasionne d'immenses pertes en terre chaque année, ces terres se retrouvent dans les rivières, dans les zones de bas-fond où peuvent aussi directement impacter les infrastructures humaines. La texture du sol définit l'érodibilité d'un sol, les limons et les sables sont plus sujets à l'érosion, car leurs agrégats sont moins cohésifs que ceux de l'argile. La topographie de la zone érodée est aussi un facteur important, une parcelle agricole en pente et de grandes longueurs sont plus sensibles qu'une parcelle sur une faible pente avec une longueur raisonnable limitant l'accélération du vent ou du ruissellement. La perte des sols par érosion est un phénomène récurrent et grave dans les exploitations

agricoles. En effet, ce sont les particules fines du sol qui subissent l'érosion; or ce sont ces particules qui contiennent tous les éléments importants constituant la fertilité chimique des sols. Les sols gravillonnaires de la zone d'étude ne perdent pas beaucoup de matière en termes de tonnes par an, mais sur le long terme il ne restera plus qu'un squelette d'éléments grossiers du sol et stérile. En installant certaines pratiques agricoles, il est possible de récupérer un maximum de ces précieuses particules. Ce sont souvent des pratiques coûteuses en énergie et en temps, mais qui sont essentielles pour le maintien de la qualité du sol. Le village de Kotopounga se situe sur un plateau dans les hauteurs de la chaîne de l'Atacora, or cette chaîne de montagnes est caractérisée par un fort taux d'érosion. En partie à cause du relief escarpé, mais aussi à cause de l'agressivité des pluies dans la région. Il pleut en moyenne 1300 mm en l'espace de sept mois (Agbanou, 2018).

Épisodes de sécheresse

Le climat de la zone d'étude est caractérisé par une saison sèche et une saison pluvieuse. Les populations connaissent donc ce qu'on appelle une période de soudure. C'est la période qui a lieu avant les premières récoltes de l'année en cours et qui connaît une pénurie des stocks de grains de l'année agricole passée. Au nord du Bénin, la pluviométrie annuelle diminue depuis les années 1960. Les agriculteurs doivent s'adapter petit à petit à ces changements et doivent optimiser leurs pratiques agricoles de manière à maintenir un niveau d'humidité optimal dans les sols. En effet, pour garantir un bon développement des cultures ainsi qu'un bon rendement, les plantes doivent toujours avoir accès à une certaine quantité d'eau dans les sols. Au Bénin, ce sont les précipitations qui alimentent les réserves en eau utile dans les sols. Cependant, quelques périodes de sécheresse peuvent avoir lieu et pour ne pas perdre leurs cultures, les agriculteurs doivent montrer une certaine forme de résilience face à ces aléas climatiques. Ces aléas climatiques sont caractérisés par une diminution de la pluviométrie annuelle, une descente vers le Sud des lignes isohyètes qui entraîne une aridification du climat et un décalage de plus en plus grand entre les saisons pluvieuses (RCPA, 2015). Les conséquences de la sécheresse sur les sols peuvent avoir des répercussions sur le long terme avec des effets pendant la saison des pluies. Les sols s'assèchent et la production de matière organique est quasiment nulle, or les propriétés physiques d'un sol dépendent principalement de la matière organique. La structure, la capacité de rétention d'eau, l'aération, le pouvoir tampon du sol et le pH sont donc des propriétés qui sont indirectement impactées par le manque d'eau et les épisodes de sécheresse. La détérioration de ces propriétés physiques du sol accentue les phénomènes d'érosion hydraulique et éolienne, mais les effets de la

sécheresse ne s'arrêtent pas là. En effet, une fois que les précipitations recommencent, la détérioration du sol empêche l'infiltration de l'eau, on assiste alors à des inondations. (OMN, 2005)

Structure du sol

La structure du sol dépend de l'organisation des différentes particules du sol, c'est-à-dire les particules de sable, de limon et d'argile. Le limon et l'argile se lient autour des grains de sable pour former des grumeaux, les différents grumeaux s'organisent en agrégats. L'agencement des particules peut se faire de différentes manières et ainsi donner diverses structures du sol qui influencent par exemple la circulation de l'eau et de l'air. Le passage d'engins ou les passages répétés sur un sol ont pour effet un écrasement du sol. Les pores du sol sont fortement réduits, car les agrégats sont compactés entre eux. Une trop forte compaction peut même mener jusqu'à une explosion des agrégats du sol. Le tassement du sol a pour conséquences une baisse de l'infiltration en eau dans le sol : l'eau ne peut plus percoler à travers le sol étant donné que les pores sont devenus trop petits ou bien qu'ils aient disparu. Une autre des conséquences a lieu directement sur la croissance des plantes, les pores ne servent pas uniquement pour le passage et le stockage de l'eau, mais aussi pour l'air. En effet, l'espacement entre les agrégats crée un passage pour les racines des plantes qui y trouveront des éléments nutritifs, de l'eau et de l'air. À cause de la compaction, les plantes ont du mal à s'enraciner profondément dans le sol et n'arrivent plus à absorber suffisamment d'éléments nutritifs, leur croissance est fortement réduite. À Kotopouna, les sols ferrugineux tropicaux sont caractérisés par une structure en surface peu stable et donc facilement érodable (Faure, 1977). La composition sableuse de ces sols offre un bon drainage, mais la couche argileuse se trouve trop profondément dans les sols (130 à 180 cm) et ne permet pas la retenue de l'eau pour les cultures (Youssouf et al., 2000).

Effet de pentes

Les pentes peuvent être problématiques en agriculture, car elles présentent souvent des sols peu profonds très sensibles à l'érosion et aux glissements de terrain. Cependant, c'est souvent sur ces pentes que sont installés les paysans pratiquant l'agriculture familiale et qui dépendent économiquement de cette activité. (FAO, 2020a) Les terrains en pente subissent principalement l'érosion hydrique lorsque les terres ne sont pas correctement aménagées. En effet, suite aux précipitations, l'eau n'a pas le temps de s'infiltrer profondément dans les sols en pentes contrairement aux sols plats. L'excédent d'eau forme alors un ruissellement dont la

puissance s'intensifie si la pente est forte. Ce ruissellement entraîne les particules nutritives du sol et la matière organique qui sont alors perdues. Si le ruissellement est fort, il peut transporter des éléments plus gros et même détruire certains aménagements. En n'aménageant pas une parcelle agricole en pente, des rigoles puis des ravines peuvent se former. Une faible pente doit aussi être surveillée, car l'érosion en nappe peut passer inaperçue au début alors qu'elle est responsable de la perte de la couche arable. Les éléments érodés s'accumulent dans le bas des pentes et peuvent conduire à un envasement des petits cours d'eau essentiels pour l'irrigation maraîchère. (Ritter, 2012)

Ravageurs

Les ravageurs sont des espèces d'insectes considérés comme nuisibles pour les végétaux en général et pour les denrées alimentaires stockées. Les insectes, comme tout être vivant, ont besoin de s'alimenter. Pour cela, ils vont prélever une portion plus ou moins grande sur une espèce végétale. Ce prélèvement devient nuisible pour un agriculteur lorsqu'il entraîne des pertes de rendements ou des pertes de récoltes à différentes échelles. En effet, les ravageurs peuvent provoquer la perte d'une partie de la récolte, mais peuvent aussi détruire entièrement une récolte lorsqu'ils sont en grand nombre, comme les criquets pèlerins en Afrique. Au fil du temps, la propagation des ravageurs a augmenté et c'est en partie dû au système agricole. En effet, le modèle conventionnel intensif a supprimé la résilience naturelle des écosystèmes agricoles et la concentration des cultures vivrières, dont la monoculture, a contribué à la prolifération des insectes ravageurs (Cochereau, 1989). À ces causes s'ajoute la mondialisation qui a permis l'introduction de nouvelles espèces sur des territoires non préparés à leur arrivée. Les ravageurs sont un problème important à traiter, car ils sont l'une des menaces de la sécurité alimentaire. Les pertes qu'ils peuvent engendrer impactent les moyens d'existences des agriculteurs et peuvent affecter les ressources alimentaires de tout un pays. (FAO, 2020c)

Adventices

Les mauvaises herbes sont problématiques pour l'agriculture, car elles impactent le développement des espèces végétales sous forme de concurrence. En effet, la concurrence se fait au niveau de l'espace, de la lumière, des éléments nutritifs et de l'eau. Il s'agit d'une sorte de concurrence déloyale puisque les mauvaises herbes absorbent plus vite les éléments nutritifs que les cultures en développement et sont des espèces à croissance plus rapide. Elles se renforcent ainsi et finissent par envahir les cultures d'intérêts. Certaines espèces peuvent

être redoutables pour les cultures, ce sont les espèces qui possèdent un moyen de défense naturelle, comme l'allélopathie, en libérant des éléments toxiques, elles inhibent la croissance des autres espèces végétales. (Bada, 2007) L'allélopathie peut toucher une espèce végétale à différents stades de développement : à la germination, pendant la croissance et pendant la reproduction (les fruits, graines, etc.). Les adventices affectent également le travail de l'agriculteur. En effet, elles compliquent le travail du sol, les activités de désherbage deviennent longues et pénibles et les récoltes sont plus compliquées. La concurrence de l'espace faite par les adventices implique une baisse de rendement de la culture sur le long terme et donc une baisse de revenus. Sur le continent africain, il est estimé que les pertes de production liées aux adventices sont comprises entre 10% et 56%. (Toure et al., 2009) Les mauvaises herbes ont la particularité de s'installer dans les terrains façonnés par l'Homme. C'est en partie à cause du déséquilibre entre les différentes dynamiques de l'écosystème qui est provoqué par l'artificialisation des terrains. Les adventices sont en fait une réponse naturelle à ce déséquilibre, elle constitue la première étape de restauration d'un habitat dégradé. (Johnson, 1997) C'est pourquoi il est important de comprendre les dynamiques de l'écosystème pour lutter efficacement contre les mauvaises herbes. Une parcelle saine, bien entretenue et respectant l'équilibre naturel ne devrait logiquement pas avoir de problèmes insurmontables et récurrents.

Une fois que le problème a été identifié par l'agriculteur et que ce dernier souhaite connaître les propositions qui s'offrent à lui, il devra établir les différentes variables qui mèneront à des solutions adaptées. Les solutions sont présentées sous forme de pratiques de conservation et de fertilisation des sols. Ce sont les pratiques présentées dans la partie 2. Les effets bénéfiques de ces pratiques sur le système agricole ont été associés aux différents problèmes dans le tableau suivant.

Tableau 6. Problèmes abordés et leurs résolutions

Problèmes	Résolution
Ravageurs	Rotation culturelle – Cultures associées – Agroforesterie – Pâturage rotatif – Jachères
Adventices	Labour – Culture sous paillis – Rotation culturelle – Cultures associées – Couverture du sol – Agroforesterie – Pâturage rotatif – Jachère
Fertilité des sols	Billons perpendiculaires – Semis direct – Travail minimal du sol – Enfouissement – Rotation culturelle – Cultures associées – Couverture du sol – Intrants organiques – Bandes enherbées – Haies vives – Agroforesterie – Cordon pierreux – Diguette en pierre – Diguette en terre – Zaï – Demi-lune – Pâturage rotatif – Mise en défens – Jachère
Érosion des sols	Billons perpendiculaires – Semis direct – Travail minimal du sol – Enfouissement – Culture sous paillis – Rotation culturelle – Couverture du sol – Bandes enherbées – Brise-vents – Haies vives – Agroforesterie – Cordon pierreux – Diguette en pierre – Diguette en terre – Zaï – Demi-lune – Mise en défens – Jachère
Sécheresse	Billons perpendiculaires – Travail minimal du sol – Culture sous paillis – Cultures associées – Couverture du sol – Bandes enherbées – Haies vives – Agroforesterie – Cordon pierreux – Diguette en pierre – Diguette en terre – Zaï – Demi-lune
Structure du sol	Labour – Billons perpendiculaires – Semis direct – Travail minimal du sol – Enfouissement – Culture sous paillis – Rotation culturelle – Couverture du sol – Bandes enherbées – Haies vives – Agroforesterie – Mise en défens – Jachère
Effet de pente	Billons perpendiculaires – Bandes enherbées – Cordons pierreux – Diguette en pierre – Diguette en terre

Un problème peut avoir plusieurs solutions, il s'agit d'une réponse exhaustive, mais non personnalisée au cas de l'agriculteur. C'est seulement une fois que les variables, donc les choix présentés dans la prochaine sous-partie, seront définies que les solutions seront considérées comme adaptées.

3.1.2. Les choix

Les choix vont dessiner les différentes branches de l'arbre décisionnel. C'est en répondant à ces choix que la décision sera guidée et mènera à une ou plusieurs solutions adaptées aux conditions physiques et humaines de l'exploitation agricole. Les choix correspondent aux différentes variables présentées dans la partie 2.3, ce sont les pratiques déjà exercées par l'agriculteur dans son exploitation ainsi que les conditions physiques du milieu. Seules les variables ayant un impact sur la décision sont sélectionnées. Ceci évite les questions répétitives qui alourdissent l'arbre et qui peuvent compliquer la compréhension du destinataire de l'outil. Cependant, une certaine logique de construction est respectée : les conditions physiques du milieu, qui sont des variables plus globales et qui ont plus d'incidences seront posées avant. Ensuite, les variables plus relatives à l'agriculteur et à son travail seront posées. Les différentes variables ainsi que leurs réponses possibles sont présentées dans le tableau 4.

3.1.3. Les solutions

Les différentes pratiques de conservation et de fertilisation du sol qui correspondent aux solutions seront présentées sous forme de tableau (Tableau 7 à Tableau 27). Chaque tableau indiquera pour quelles problématiques cette solution est efficace ainsi que les avantages et les inconvénients liés à la mise en place de la pratique. Un apport d'information relatif à la mise en place de la pratique sur une exploitation agricole sera également présenté.

3.1.3.1. *Méthodes agronomiques*

Tableau 7. Présentation de la solution "Labour"

Labour		
Effets	Avantages	Inconvénients
Améliore la structure du sol	Limite l'encroûtement du sol	Charge de travail conséquente
Lutte contre les adventices	Détruit les gros agrégats compacts	Besoin de main d'œuvre pour les grandes superficies
	Améliore l'enracinement	Augmente l'érodibilité du sol
		Perturbe la microfaune

Recommandations :

Quand? Méthode à appliquer en cas de problème majeur sur la structure du sol et sur l'invasion des adventices. Permet une infiltration instantanée des précipitations, mais favorise l'évaporation en cas

de forte chaleur.

Où? Sur des petites superficies pour limiter la charge de travail et sur des parcelles sans pentes pour réduire l'érosion.

Commentaires : Mauvais sur le long terme pour la qualité et la conservation des sols. À appliquer en complément d'une autre technique agronomique.

Tableau 8. Présentation de la solution "Billons perpendiculaires"

Billons perpendiculaires		
Effets	Avantages	Inconvénients
Améliore la structure du sol	Charge de travail réduite par rapport au labour	Efficacité faible dans les pentes supérieures à 8%
Réduit l'érosion	Gestion des adventices plus simple	Rupture possible des billons pendant les averses
Favorise l'infiltration de l'eau	Stockage de l'eau, des sédiments et des nutriments lors des précipitations	
Réduit l'effet de pente		
Augmente la fertilité		

Recommandations :

Quand? Méthode généralement appliquée en début de saison pluvieuse. Elle est aussi efficace en saison sèche, car elle retient l'eau. Faire attention en saison pluvieuse à la force des précipitations qui peut détruire les billons.

Où? Sur des petites et moyennes superficies pour limiter la charge de travail, mais également réalisable sur de grandes superficies. Peut être appliquée perpendiculairement sur des pentes douces pour freiner le ruissellement.

Comment? Plus la pente est forte plus les billons doivent être épais et rapprochés pour éviter la rupture, en pente douce les billons doivent être mince. Il en va de même pour la quantité de précipitations, les billons minces vont absorber le peu de pluies et vont permettre un accès rapide aux racines. Les gros billons évitent l'inondation des racines et réduisent le risque de rupture lors des fortes pluies.

Commentaires : Travail plus superficiel que le labour. Les vents dominants n'ayant pas le même sens que l'écoulement de l'eau, il faut surveiller l'érosion éolienne par rapport à l'érosion hydrique.

Tableau 9. Présentation de la solution "Semis direct"

Semis direct		
Effets	Avantages	Inconvénients
Améliore la structure du sol	Augmente l'activité biologique	Gestion des adventices
Réduit l'érosion	Charge de travail réduite	Nécessite un sol fertile pour de bons résultats

Augmente la fertilité	Pas besoin de main d'œuvre	Mise en place sur plusieurs années
		Infiltration de l'eau plus longue
		Nécessite une couverture du sol

Recommandations :

Quand? Au début de la saison pluvieuse, en respectant les dates de semis habituelles.

Où? Sur tout type de pentes à condition d'avoir une bonne couverture du sol. Les sols bénéficiant de semis direct doivent être des sols fertiles et présentant de nombreux macropores, d'où l'important de réaliser une lente transition.

Comment? Doit être appliqué progressivement si le labour est pratiqué de base. Sur un sol sablonneux, la transition dure environ 2 ans et 5 ans sur un sol argileux. La couverture du sol est très importante, voire indispensable, pour réaliser un semis direct.

Commentaires : Cet unique travail du sol permet de lutter contre les aléas climatiques de la saison pluvieuse. Le semis direct protège les plants d'une forte pluie et de la battance occasionnée et également des sécheresses en gardant l'humidité du sol.

Tableau 10. Présentation de la solution "Travail minimal du sol"

Travail minimal du sol		
Effets	Avantages	Inconvénients
Améliore la structure du sol	Charge de travail réduite	Gestion des adventices
Réduit l'érosion	Augmente l'activité biologique	Nécessite une couverture du sol
Favorise l'infiltration de l'eau	Brise la couche superficielle du sol	
Augmente la fertilité		

Recommandations :

Où? Sur tout type de terrain. Il est particulièrement efficace pour les sols dégradés qui sont devenus compacts en surface.

Comment? Le travail minimal du sol doit consister en un soulèvement de la terre superficielle ou en un grattage de la surface qui ne détruit pas la structure du sol. Le taux de pourcentage de couverture du sol doit être d'au moins 30%.

Commentaires : Ce travail minimal est l'une des étapes vers le semis direct, il laisse le temps au sol de se régénérer tout en restant productif.

Tableau 11. Présentation de la solution "Enfouissement"

Enfouissement		
Effets	Avantages	Inconvénients
Augmente la fertilité	Augmentation de l'activité biologique	Risque de prolifération des maladies et des ravageurs
Améliore la structure du sol	Pratique simple à mettre en place	Utilisation de la biomasse fourragère ou celle destinée à la vente et à l'artisanat
Réduit l'érosion		

Recommandations :

Où? Sur tout type de terrain. Conviens aux sols peu fertiles. Se réalise en complément du labour ou du billonnage.

Comment? Après la récolte d'une culture, enfouir les tiges, les feuilles et les fanes pour améliorer le taux de matière organique dans le sol. Les résidus peuvent être coupés en plus petits bouts pour augmenter l'efficacité de la technique.

Commentaires : L'enfouissement est important pour maintenir le taux de matière organique du sol. Cependant, il n'est pas compatible avec le semis direct. En effet, pour le semis direct ou pour le travail minimal du sol, le paillage est recommandé. Les rotations culturales permettent de lutter contre les maladies et les ravageurs. Il permet, à son niveau, de réduire l'érosion par l'augmentation de la rugosité de surface.

Tableau 12. Présentation de la solution "Culture sous paillis"

Culture sous paillis		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Augmentation de l'activité biologique	Nécessite beaucoup de paille pour couvrir 30% de la surface
Améliore la structure du sol	Pratique simple à mettre en place	Utilisation de la paille fourragère ou destinée à l'artisanat
Favorise l'infiltration de l'eau	Réduction de l'évaporation	
Lutte contre les adventices		

Recommandations :

Quand? En tout temps, protège du ruissellement et de la battance en saison pluvieuse et retiens l'humidité pendant la saison sèche.

Où? Sur tout type de terrain, en fonction de la quantité disponible de paillis.

Comment? Le paillis peut être disposé avant les plantations, mais doit être tassé lors de la pose de semis de manière à laisser les plants sortir. Il peut aussi être disposé après la germination des plants en veillant à arracher les mauvaises herbes avant.

Commentaires : Un paillis compact permet de lutter contre les mauvaises herbes, car il empêche la germination des graines. Si de la biomasse verte est utilisée, elle doit être séchée avant.

Tableau 13. Présentation de la solution "Rotation culturelle"

Rotation culturelle		
Effets	Avantages	Inconvénients
Lutte contre les ravageurs	Couverture du sol	Nécessite un calendrier de plantation
Améliore la structure du sol	Régénération de la fertilité chimique des sols	Comprendre les besoins des cultures secondaires pour la qualité des sols
Augmente la fertilité	Simple à mettre en place	
Lutte contre les adventices		

Recommendations :

Quand? Un calendrier cultural peut être élaboré notamment lorsque des rotations se font sur une même année.

Comment? Il faut alterner entre les cultures céréaliers, qui sont souvent sensibles aux mêmes types de ravageurs et de maladies, les légumineuses qui vont servir de source d'azote et les autres cultures comme les tubercules. La jachère est aussi incluse dans la rotation.

Commentaires : Le choix des cultures pour la rotation culturelle se fait en fonction de la qualité du sol laissé après la précédente culture. Il faut également prendre en compte les mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs susceptibles d'impacter le développement de la culture suivante.

Tableau 14. Présentation de la solution "Cultures associées"

Cultures associées		
Effets	Avantages	Inconvénients
Lutte contre les ravageurs	Couverture du sol	Gestion de la concurrence
Augmente la fertilité	Gain économique	Gestion des besoins pour les différentes espèces
Favorise l'infiltration de l'eau	Diversité des cultures	
Lutte contre les adventices		

Recommendations :

Quand? Selon le calendrier cultural mis en place. Une culture peut être plantée à cheval avec une autre culture, par exemple après le développement de la culture principale pour éviter toute concurrence.

Comment? La concurrence entre les plants est l'un des premiers facteurs à prendre en compte dans le choix des associations. Cette concurrence peut être limitée selon le choix des espèces, le choix des variétés, le choix des dates de plantation, le choix de l'organisation spatiale et le choix de la densité de plantation.

Commentaires : L'association d'espèces est intéressante, car une espèce végétale peut apporter ce qu'il manque à une autre tout en valorisant l'espace agricole disponible.

Tableau 15. Présentation de la solution "Couverture du sol"

Couverture du sol		
Effets	Avantages	Inconvénients
Favorise l'infiltration de l'eau	Augmentation de l'activité biologique	Gestion de la concurrence
Améliore la structure du sol	Augmentation de la rugosité de surface du sol	Gestion de l'expansion de la couverture
Augmente la fertilité	Simple à mettre en place	
Lutte contre les adventices	Valorisation des résidus	
Réduit l'érosion	Isolation du sol	

Recommandations :

Quand? En tout temps, protège du ruissellement et de la battance en saison pluvieuse et retiens l'humidité pendant la saison sèche. La couverture du sol est généralement installée en début de saison pluvieuse lorsque l'eau est suffisamment disponible pour la croissance des plants.

Comment? La couverture du sol se fait principalement en complément des cultures céréalières. Elle est plantée après ou pendant la croissance de la culture principale.

Commentaires : La couverture du sol est très efficace pour lutter contre l'érosion et est facilement valorisable après la récolte de la culture principale. En effet, elle peut être enfouie, séchée et utilisée comme paillis ou encore servir de fourrage.

3.1.3.2. Méthodes végétales

Tableau 16. Présentation de la solution "Bandes enherbées"

Bandes enherbées		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Facile à mettre en place	Plants adaptés et résistants aux sécheresses
Augmente la fertilité	Charge de travail réduite	Moins efficaces que les méthodes physiques les premières années
Favorise l'infiltration de l'eau	Peu d'entretien	Risque d'invasion
Réduit les pentes	Valorisation des résidus possible	
Améliore la structure du sol		

Recommandations :

Quand? Les premières bandes enherbées doivent être installées en saison pluvieuse pour faciliter et accélérer leur croissance afin de les rendre résistantes pour la saison sèche.

Où? Sur les terrains en pentes et sur les petites et moyennes superficies pour réduire la charge de

travail et d'entretien.

Comment? Les espèces constituant les bandes enherbées doivent être choisies en fonction de leur résistance à la sécheresse et à leur capacité à créer une bande dense rapidement. Plus la pente est raide plus la bande doit être large. Il en va de même pour la superficie cultivée en amont, plus elle est grande plus la bande doit être large.

Commentaires : La connaissance de l'écoulement de l'eau est importante pour bien placer ses bandes enherbées, le mieux est de connaître les courbes de niveau du terrain. Si les courbes de niveau ne sont pas connues, cette méthode peut quand même être appliquée à condition d'installer une bande plus large que nécessaire pour réduire la marge d'erreur.

Tableau 17. Présentation de la solution "Brise-vents"

Brise-vents		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Pas d'expertise	Niches pour les oiseaux granivores
	Délimite les parcelles	Travail long selon la superficie
	Protège les cultures du bétail	
	Évite le dessèchement du sol par les vents	

Recommandations :

Quand? En tout temps, protège des vents érosifs et des brouteurs.

Où? C'est une méthode très efficace pour les moyennes et grandes superficies cultivées qui sont plus sensibles à l'érosion éolienne.

Comment? Les brise-vents peuvent être constitués de résidus de végétaux pour former des palissades. Ils doivent être placés autour des zones cultivées pour former une protection. Plus la superficie est grande plus les brise-vents doivent être réparties sur la surface exploitée.

Commentaires : C'est un travail qui peut être long à réaliser pour les agriculteurs qui doivent d'abord se fournir en éléments végétaux et en branches, puis qui doivent les assembler et les installer sur la parcelle. Cependant, elle est efficace plus rapidement qu'une haie vive puisqu'elle est composée de matériaux inertes.

Tableau 18. Présentation de la solution "Haies vives"

Haies vives		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Pas d'expertise	Niches pour les oiseaux granivores
Augmente la fertilité	Délimite les parcelles	Concurrence racinaire avec certaines espèces
Favorise l'infiltration de l'eau	Protège les cultures du bétail	Long à mettre en place (maturité)

Améliore la structure du sol	Valorisation des résidus possible	Nécessite parfois l'accord du propriétaire
Recommandations :		
Où? Sur tout type de terrain		
<p>Comment? Les haies vives sont constituées de trois types de végétaux : les arbres, les arbrisseaux et les arbustes à épines qui sont placés en quinconce de manière à former une haie impénétrable.</p> <p>Commentaires : Les haies vives présentent de nombreux avantages. Seul le temps de maturation des espèces rend cette technique moins attrayante. En attendant que les arbres atteignent leur maturité, des haies inertes peuvent être installées. Une fois matures, les haies vives sont assez imposantes et nécessitent parfois un accord du propriétaire si l'exploitant est locataire.</p>		

Tableau 19. Présentation de la solution "Agroforesterie"

Agroforesterie		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Maintien de la biodiversité locale	Niches pour les oiseaux granivores
Augmente la fertilité	Création d'un microclimat	Concurrence racinaire avec certaines espèces
Favorise l'infiltration de l'eau	Valorisation des résidus possible	Long à mettre en place (maturité)
Lutte contre les adventices	Stockage du carbone	
Lutte contre les ravageurs		
Améliore la structure du sol		

Recommandations :

Où? Cette technique peut être appliquée sur tout type de terrain et notamment sur ceux qui présentent des indices de dégradation élevée.

Comment? L'agroforesterie est la reconstitution d'un écosystème à partir de la plantation d'arbres et d'arbustes. Il faut choisir les espèces en fonction de l'utilisation du sol qui sera faite.

Commentaires : Le facteur de densité de plantation des arbres sur une parcelle est important, car trop d'ombre pourrait empêcher la croissance des cultures. La concurrence racinaire est aussi à prendre en compte, les racines de certains arbres peuvent devenir très envahissantes.

3.1.3.3. Méthodes physiques

Tableau 20. Présentation de la solution "Cordon pierreux"

Cordon pierreux		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Nécessite moins de pierre que les diguettes	Besoin en pierre
Augmente la fertilité	Évite les concentrations d'eau en amont	Charge de travail conséquente
Favorise l'infiltration de l'eau	Technique simple	Besoin en main d'œuvre
Réduit les pentes		

Recommandations :

Quand? Les cordons pierreux peuvent être installés avant la saison pluvieuse pour prévenir l'érosion hydrique.

Où? Sur tout type de pente. La superficie des terrains aménagés dépend de la quantité de pierres disponibles et du moyen de locomotion de ce matériau.

Comment? Les courbes de niveau et l'écoulement de l'eau doivent être préalablement repérés. Un sillon d'environ 15 cm de profondeur et 20 cm de large doit être creusé le long des courbes de niveau. De grosses pierres doivent être placées dans le creux de ce sillon et des plus petites dans les espacements en aval de l'écoulement de l'eau et par-dessus les grosses pierres. La terre excavée peut ensuite être tassée en amont du cordon.

Commentaires : C'est un travail qui peut être long et pénible à réaliser à cause du transport des pierres vers la parcelle agricole. Les cordons pierreux peuvent être végétalisés pour solidifier et améliorer l'efficacité de la structure.

Tableau 21. Présentation de la solution "Diguette en pierres"

Diguette en pierres		
Effet	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Résistant au ruissellement	Nécessite beaucoup de pierre
Augmente la fertilité	Formation de terrasses naturelles	Charge de travail conséquente
Favorise l'infiltration de l'eau		Besoin en main d'œuvre
Réduit les pentes		

Recommandations :

Quand? Les diguettes en pierres peuvent être installées avant la saison pluvieuse pour prévenir l'érosion hydrique.

Où? C'est une méthode très efficace pour les terrains en pente subissant un fort ruissellement. La superficie des terrains aménagés dépend de la quantité de pierres disponibles et du moyen de locomotion de ce matériau.

Comment? Les diguettes sont placées selon les courbes de niveau et perpendiculairement à l'écoulement de l'eau. Les diguettes sont construites en forme de larges demi-lunes avec une hauteur

de pierre d'environ 30 cm. Plus la pente est forte plus les diguettes doivent être rapprochées verticalement par rapport à la pente. Sur le plan horizontal, les diguettes doivent aussi être séparées pour laisser passer le surplus d'eau.

Commentaires : C'est un travail qui peut être long et pénible à réaliser à cause du transport des pierres vers la parcelle agricole d'autant plus que la construction de ces diguettes nécessite beaucoup plus de pierre que les autres méthodes. Cependant, les diguettes en pierres sont très solides et conviennent aux zones qui connaissent de fortes précipitations. Grâce à cette technique, des sols fertiles se reforment en surface et les pentes sont réduites par la création de terrasses.

Tableau 22. Présentation de la solution "Diguette en terre"

Diguette en terre		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Valorisation des résidus possible (herbes sur les diguettes)	Entretien de la hauteur de la diguette
Augmente la fertilité	Pas besoin de pierre	Charge de travail conséquente
Favorise l'infiltration de l'eau		Moins résistant que les cordons pierreux
Réduit les pentes		

Recommandations :

Quand? Les diguettes en terre peuvent être installées en début de saison pluvieuse. La terre doit être humidifiée pour compacter les diguettes.

Où? Cette méthode ne convient pas aux fortes pentes. Une grande superficie à aménager demande de la main d'œuvre et beaucoup de temps.

Comment? Les diguettes en terre doivent suivre les courbes de niveau. Un large bourrelet de terre est édifié à plus de 30 cm de hauteur et en amont de l'écoulement un fossé est creusé. La diguette peut ensuite être stabilisée avec des végétaux et des déversoirs peuvent être aménagés le long de la diguette.

Commentaires : Cette méthode est utile lorsque l'agriculteur manque de pierres. Elle permet ainsi d'éliminer la phase pénible du transport de pierres. Cependant, c'est une technique demandant beaucoup de travail puisqu'il faut édifier la diguette, creuser un large fossé puis façonner la diguette par compactage. La diguette en terre ne résiste pas aux forts ruissellements et avec le temps elle se déforme, d'où un entretien régulier nécessaire.

Tableau 23. Présentation de la solution "Zaï"

Zaï		
Effet	Avantages	Inconvénients
Augmente la fertilité	Réhabilitation des sols encroûtés	Charge de travail conséquente

Favorise l'infiltration de l'eau	Récupère l'eau de ruissellement et les poussières en suspension	Risque d'inondation des plantules
Réduit l'érosion		Besoin en fumure organique
		Installation de diguette en association

Recommandations :

Quand? Les zaï sont intéressants pour la culture en saison sèche dans une commune comme Natitingou ou en saison pluvieuse pour les zones arides. De trop fortes précipitations rendraient la technique inefficace.

Où? Cette méthode convient aux terrains en pentes douces. Une grande superficie à aménager demande de la main d'œuvre et beaucoup de temps.

Comment? Des trous appelés poquet doivent être creusés en quinconce. Leur diamètre doit être compris entre 20 et 40 cm et la profondeur doit être d'environ 15 cm. Un petit bourrelet en aval de l'écoulement de l'eau doit être installé au bord du trou avec la terre excavée. Un mélange de fumier et de terre doit ensuite être placé dans le fond du trou. La terre autour des poquets doit être très peu travaillée pour laisser l'eau s'écouler et s'infiltrer dans les poquets.

Commentaires : La difficulté de cette technique est la réalisation des poquets. De plus, selon les régions, le zaï est souvent jumelé avec une autre méthode physique comme les cordons pierreux ou les diguettes ce qui demande encore plus de travail. Il faut aussi pouvoir disposer de fumier pour des résultats concluants. Cependant, c'est une technique intéressante pour les zones qui souffrent du manque d'eau et qui présentent des sols peu fertiles et dégradés.

Tableau 24. Présentation de la solution "Demi-lune"

Demi-lune		
Effet	Avantages	Inconvénients
Augmente la fertilité	Association de plants sur le bourrelet	Travail d'entretien
Favorise l'infiltration de l'eau	Récupère une grande quantité d'eau de ruissellement	Charge de travail conséquente
Réduit l'érosion	Participe à la revégétalisation	Besoin en main d'œuvre

Recommandations :

Quand? Les demi-lunes sont intéressantes pour la culture en début de saison pluvieuse dans une commune comme Natitingou ou tout le long de la saison pluvieuse pour les zones arides. De trop fortes précipitations rendraient la technique inefficace.

Où? Cette méthode convient aux terrains en pentes douces ou sans pentes. Une grande superficie à aménager demande de la main d'œuvre et beaucoup de temps.

Comment? Ces cuvettes de 15 à 25 cm de profondeur présentent un diamètre d'environ 3m et sont construites en quinconce. À l'intérieur de ces cuvettes, du fumier doit être mélangé à la terre et des poquets doivent être creusés pour recevoir les semis. La terre excavée forme un bourrelet assez haut sur le bord en aval de l'écoulement.

Commentaires : Les demi-lunes permettent d'accroître les rendements dans les zones qui ne reçoivent pas beaucoup de précipitations. Les bourrelets peuvent être végétalisés par des espèces comme l'arachide ou le gombo. C'est une construction assez exigeante qui demande de la main d'œuvre et de l'entretien.

3.1.3.4. Mode de gestion des terres

Tableau 25. Présentation de la solution "Pâturage rotatif"

Pâturage rotatif		
Effets	Avantages	Inconvénients
Lutte contre les adventices	Augmentation de l'activité biologique	Nécessite du bétail
Augmente la fertilité	Charge de travail réduite	Nécessite un parage
Lutte contre les ravageurs	Régénération de la végétation	

Recommendations :

Quand? En tout temps. En saison pluvieuse la rotation se fait avec la repousse de l'herbe et en saison sèche elle dépend de la disponibilité du fourrage.

Où? Sur les moyennes ou grandes superficies pour réduire la densité de brouteurs sur la parcelle.

Comment? Le bétail doit être déplacé de parcelle en parcelle pour éviter une dégradation des terres. Un pâturage trop intense conduira à une compaction des sols et à la disparition de la végétation. Ainsi, les troupeaux devraient être déplacés sur une autre parcelle avant la nouvelle repousse de l'herbe pour laisser le temps à celle-ci de croître.

Commentaires : Les petits animaux comme la volaille peuvent être intéressants dans la lutte contre les ravageurs. En effet, ils peuvent se nourrir des insectes nuisibles lorsqu'ils sont laissés sur la parcelle exploitée et lorsqu'ils sont surveillés.

Tableau 26. Présentation de la solution "Mise en défens"

Mise en défens		
Effets	Avantages	Inconvénients
Réduit l'érosion	Nécessaire pour les sols fortement érodés	Protection longue (4 à 8 ans)
Augmente la fertilité	Régénération du sol	
Améliore la structure du sol	Régénération de la couverture végétale	

Recommendations :

Quand? En tout temps, dès que le sol présente des signes de dégradation avancée, quasiment irréversible.

Où? Tout type de terrains.

Comment? On met en isolation une parcelle dégradée. Elle est alors protégée de toutes activités pour

laisser l'écosystème se reconstruire naturellement. Lorsque cette parcelle est trop dégradée, il faut initier la régénération en plantant des végétaux déjà élevés en pépinière.

Commentaires : Il s'agit d'une technique de dernier recours lorsque les sols sont trop dégradés. C'est une méthode qui est nécessairement longue.

Tableau 27. Présentation de la solution "Jachère"

Jachère		
Effets	Avantages	Inconvénients
Lutte contre les adventices	Augmentation de l'activité biologique	Temps de jachères long
Augmente la fertilité	Valorisation des résidus	Entretien de la parcelle après jachère
Réduit l'érosion	Régénération de la végétation	
Lutte contre les ravageurs	Régénération des sols	
Améliore la structure du sol		

Recommandations :

Quand? Selon le calendrier cultural.

Où? Sur tout type de terrains.

Comment? La parcelle n'est plus cultivée pendant un certain temps. Le temps de mise en repos doit varier entre 5 et 10 ans.

Commentaires : Le temps de repos a fortement diminué, notamment à cause du manque de disponibilité des terres agricoles et de la pression démographique. Ce temps ne correspond parfois qu'à la saison sèche, c'est-à-dire entre 7 et 9 mois. Cette technique n'est plus durable si elle n'est pas pratiquée assez longtemps.

3.2. Schéma décisionnel

C'est dans cette partie que se trouve le cœur de l'OAD développé pour ce travail de fin d'études. Pour comprendre comment les arbres ont été construits, la matrice servant de référentiel sera présentée. Les différents arbres pour chaque problème cité plus haut seront ensuite affichés.

3.2.1. Matrice décisionnelle

Avant de construire les arbres décisionnels, il est intéressant de mettre les données sous forme de tableau pour obtenir une sorte de matrice décisionnelle. Ce tableau permet de réaliser un récapitulatif de toutes les variables qui ont un impact et qui doivent être intégrées à l'arbre

pour solutionner un problème. Les variables sont inscrites dans la première ligne du tableau et les différentes pratiques agricoles ayant un intérêt dans la conservation des sols sont répertoriées dans la première colonne. Dans un second tableau se trouvent les problèmes, ils sont présentés dans la première ligne et les pratiques sont listées dans la première colonne. Le premier tableau se remplit soit par « oui » ou « non » ou avec une réponse plus précise sur la variable. Par exemple; Variables : Élevage (l'élevage a-t-il un impact sur la mise en place de la pratique?), Réponse : oui/non. Si la réponse est oui, la variable doit être introduite dans l'arbre. Certaines variables ont un second niveau de réponse, par exemple le type de culture : le type de culture a-t-il un impact sur la mise en place de la pratique? Réponse : oui, quel est le type de culture concerné par la pratique? Réponse : Céréalière/Maraîchère. Pour savoir quelles réponses une variable peut prendre, il suffit de se servir du tableau 28.

Le second tableau (tableau 29) met en avant les effets de chaque pratique par rapport aux problèmes. Si une pratique a un effet bénéfique pour solutionner un problème alors un « oui » sera inscrit. La pratique sera ainsi ajoutée aux solutions de l'arbre.

Tableau 28. Variables impactant la mise en place d'une pratique agroécologique.

Pratiques	Pente	Superficie	Type cultures	Travail du sol	Intrant	Élevage	Valorisation des résidus	Système cultural
Labour	Plate	Petite		Semis direct Travail minimal				
Billons perpendiculaires	Plate Douce			Labour Semis direct Travail minimal				
Semis direct				Labour Billons perpendiculaires Travail minimal			Paillis	
Travail minimal du sol				Labour Semis direct Billons perpendiculaires			Paillis	
Enfouissement				Labour Billons perpendiculaires			Enfouissement	
Culture sous paillis		Petite Moyenne	Maraîchère	Travail minimal Semis direct			Paillis	
Rotation culturelle								
Culture associée								
Couverture du sol			Céréalière					
Intrants organiques		Petite Moyenne				oui		
Bandes enherbées		Petite Moyenne		Labour Billons perpendiculaires				Écoulement de l'eau
Brise-vents		Moyenne Grande						
Haies vives								
Agroforesterie								
Cordon pierreux								Courbe de niveau
Diguette en pierre	Douce Modérée	Petite Moyenne						Courbe de niveau
Diguette en terre	Douce Modérée	Petite Moyenne						Courbe de niveau
Zaï	Douce	Petite Moyenne		Semis direct	oui			Écoulement de l'eau
Demi-Lune	Plate Douce	Petite Moyenne		Semis direct				Courbe de niveau
Pâturage rotatif		Moyenne Grande	Céréalière			oui	Fourrage	
Mise en défens								
Jachères								

Tableau 29. Effet des pratiques sur les problèmes agricoles

Pratiques	Ravageurs	Adventices	Fertilité des sols	Érosion des sols	Infiltration de l'eau	Structure du sol	Réduction des pentes	Nombre total d'effets
Labour		oui				oui		2
Billons perpendiculaires			oui	oui	oui	oui	oui	5
Semis direct			oui	oui		oui		3
Travail minimal du sol			oui	oui	oui	oui		4
Enfouissement			oui	oui		oui		3
Culture sous paillis		oui		oui	oui	oui		4
Rotation culturale	oui	oui	oui	oui		oui		5
Culture associée	oui	oui	oui		oui			4
Couverture du sol		oui	oui	oui	oui	oui		5
Intrants organiques			oui					1
Bandes enherbées			oui	oui	oui	oui	oui	5
Brise-vents				oui				1
Haies vives			oui	oui	oui	oui		4
Agroforesterie	oui	oui	oui	oui	oui	oui		6
Cordon pierreux			oui	oui	oui		oui	4
Diguette en pierre			oui	oui	oui		oui	4
Diguette en terre			oui	oui	oui		oui	4
Zaï			oui	oui	oui			3
Demi-Lune			oui	oui	oui			3
Pâturage rotatif	oui	oui	oui					3
Mise en défens			oui	oui		oui		3
Jachères	oui	oui	oui	oui		oui		5

3.2.2. Arbres de décision

Dans cette partie, les différents arbres de décision seront présentés en fonction du problème rencontré par l'utilisateur (figure 23 à 29). Les arbres se lisent de la gauche vers la droite. Les conditions pour les différents choix sont inscrites en lettre majuscule sous la variable en question.

3.2.2.1. *Ravageurs*

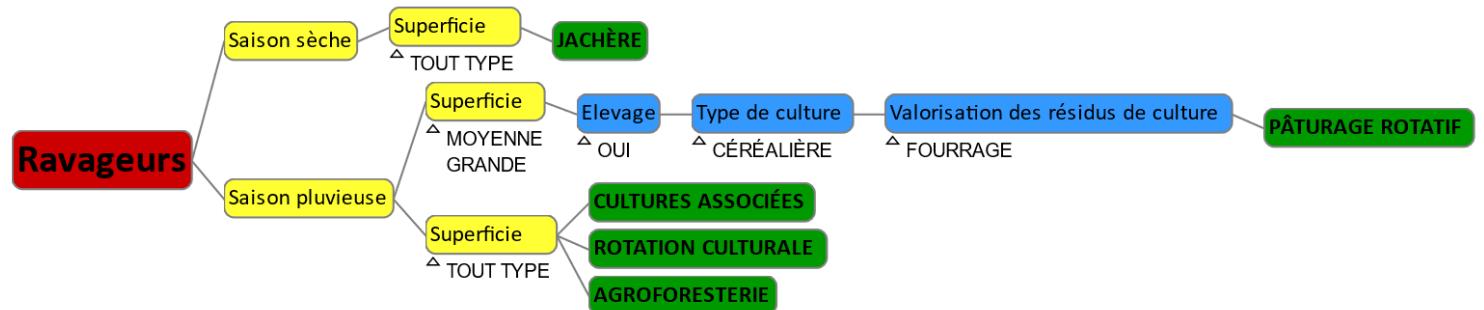


Figure 23. Arbre de décision pour la lutte contre les ravageurs.

3.2.2.2. Adventices



Figure 24. Arbre de décision pour la lutte contre les adventices.

3.2.2.3. Sol peu fertile

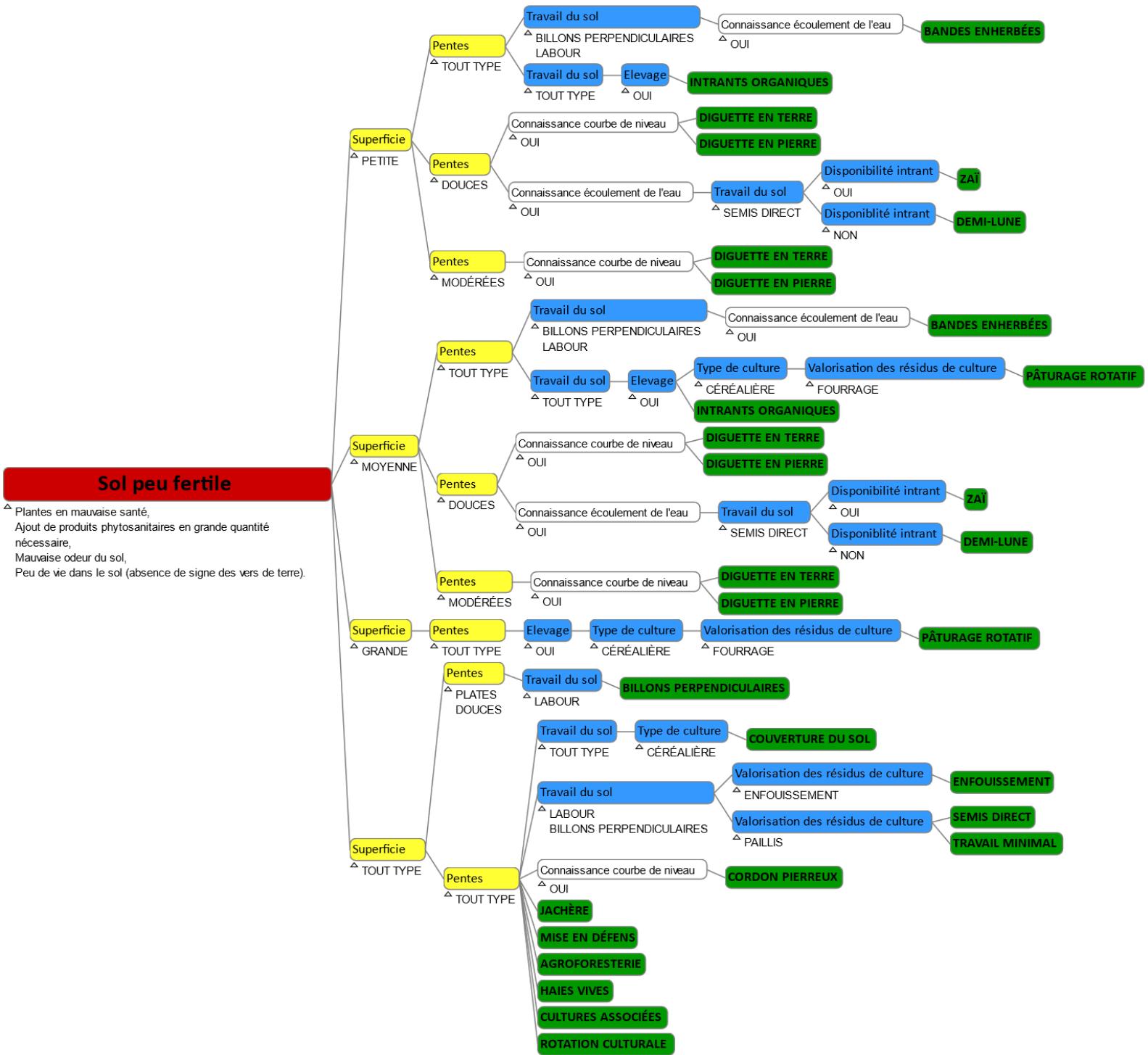


Figure 25. Arbre de décision pour les sols peu fertiles.

3.2.2.4. Érosion

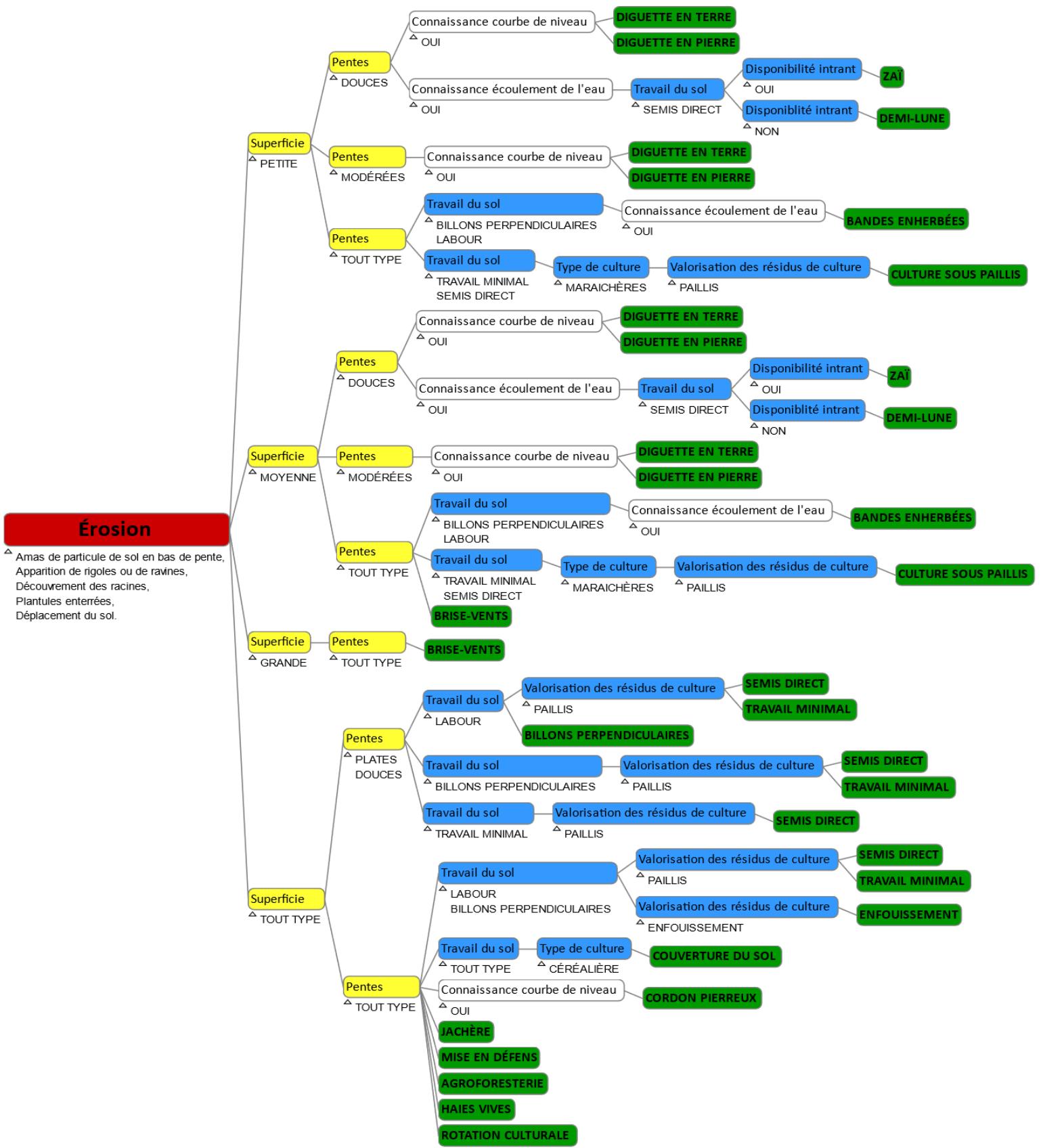


Figure 26. Arbre de décision pour les sols érodés.

3.2.2.5. Sécheresse

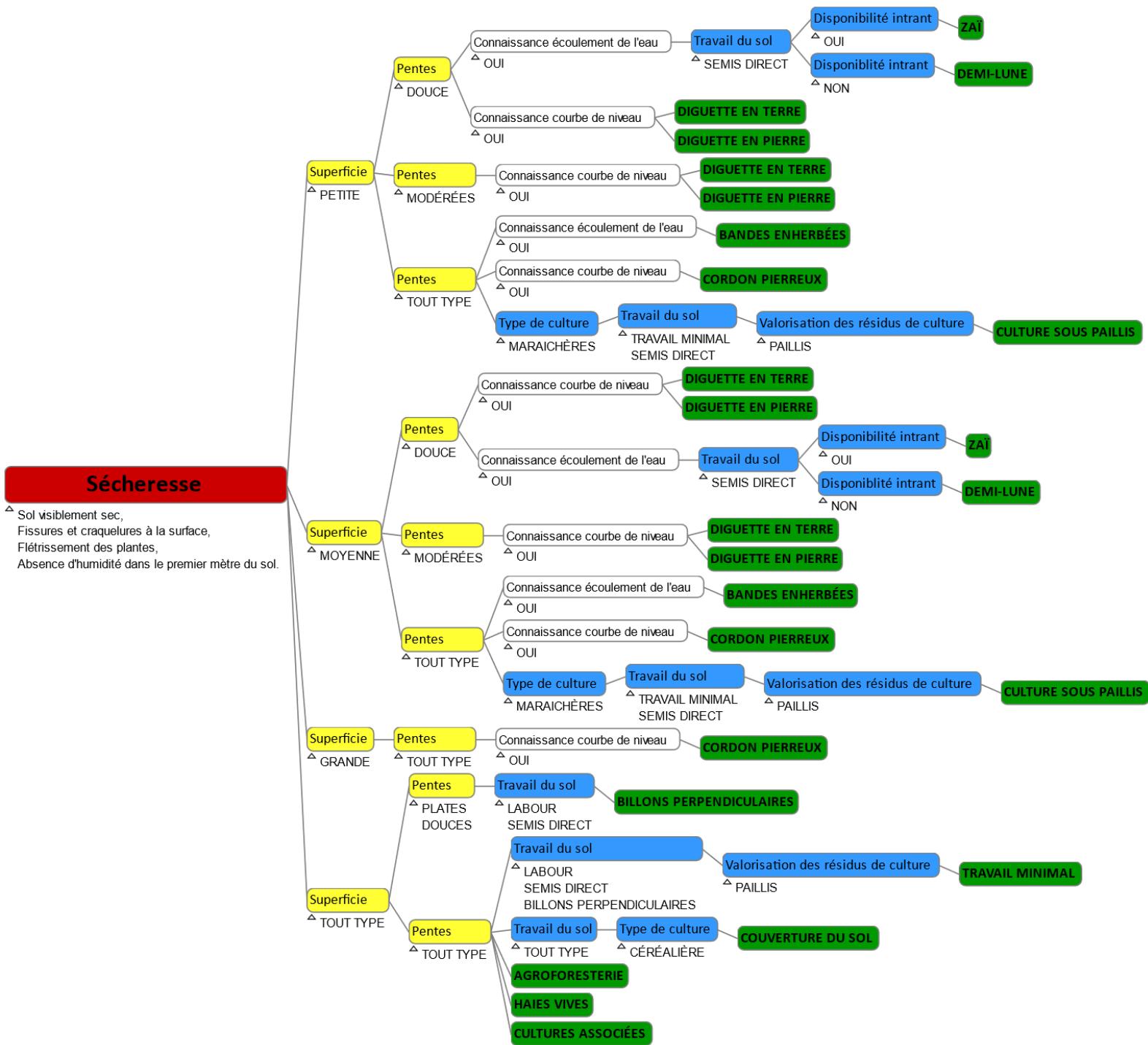


Figure 27. Arbre de décision pour les épisodes de sécheresse.

3.2.2.6. Réduction effet de pente

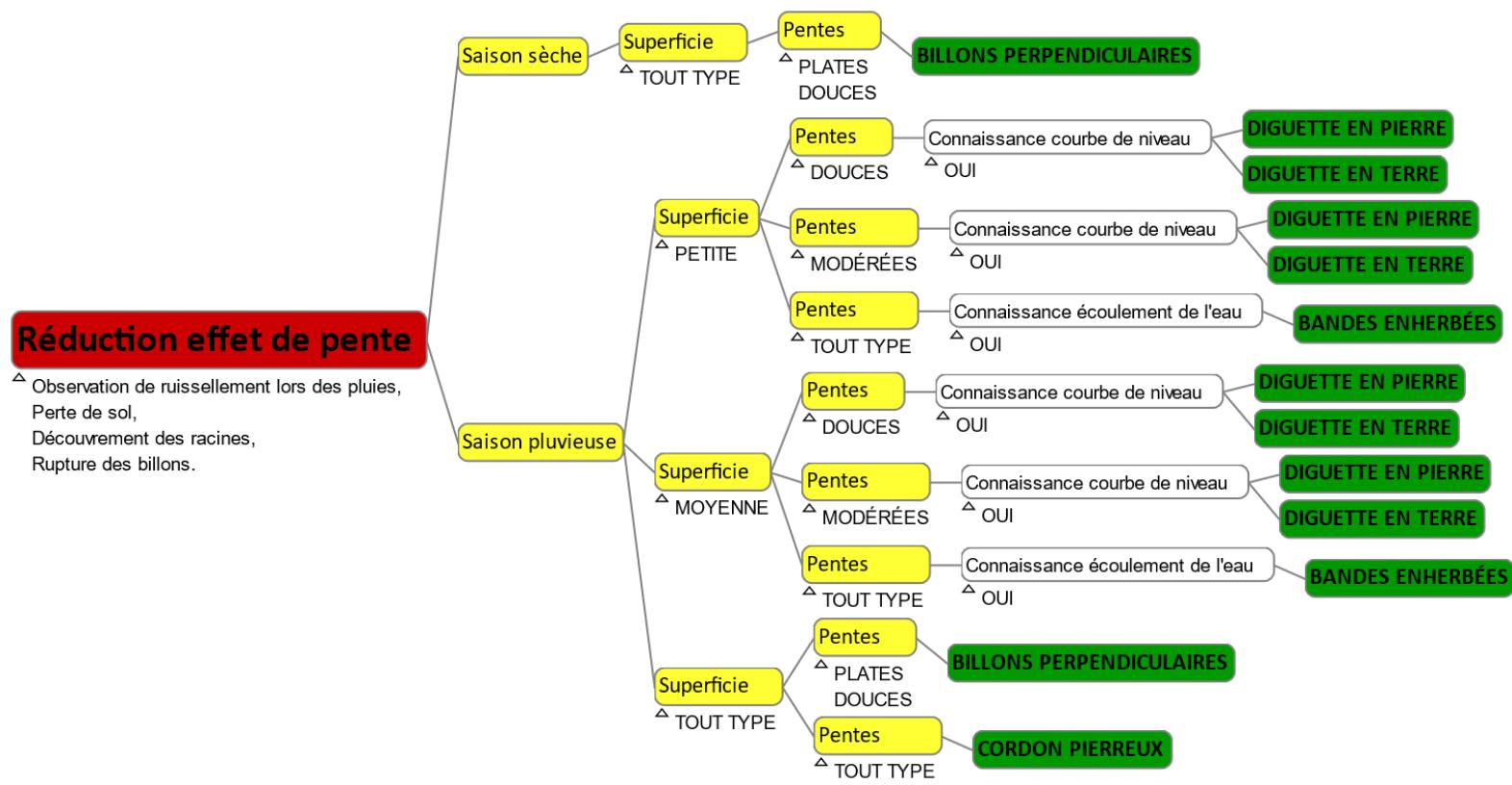


Figure 28. Arbre de décision pour réduire l'effet de pente.

3.2.2.7. Structure du sol

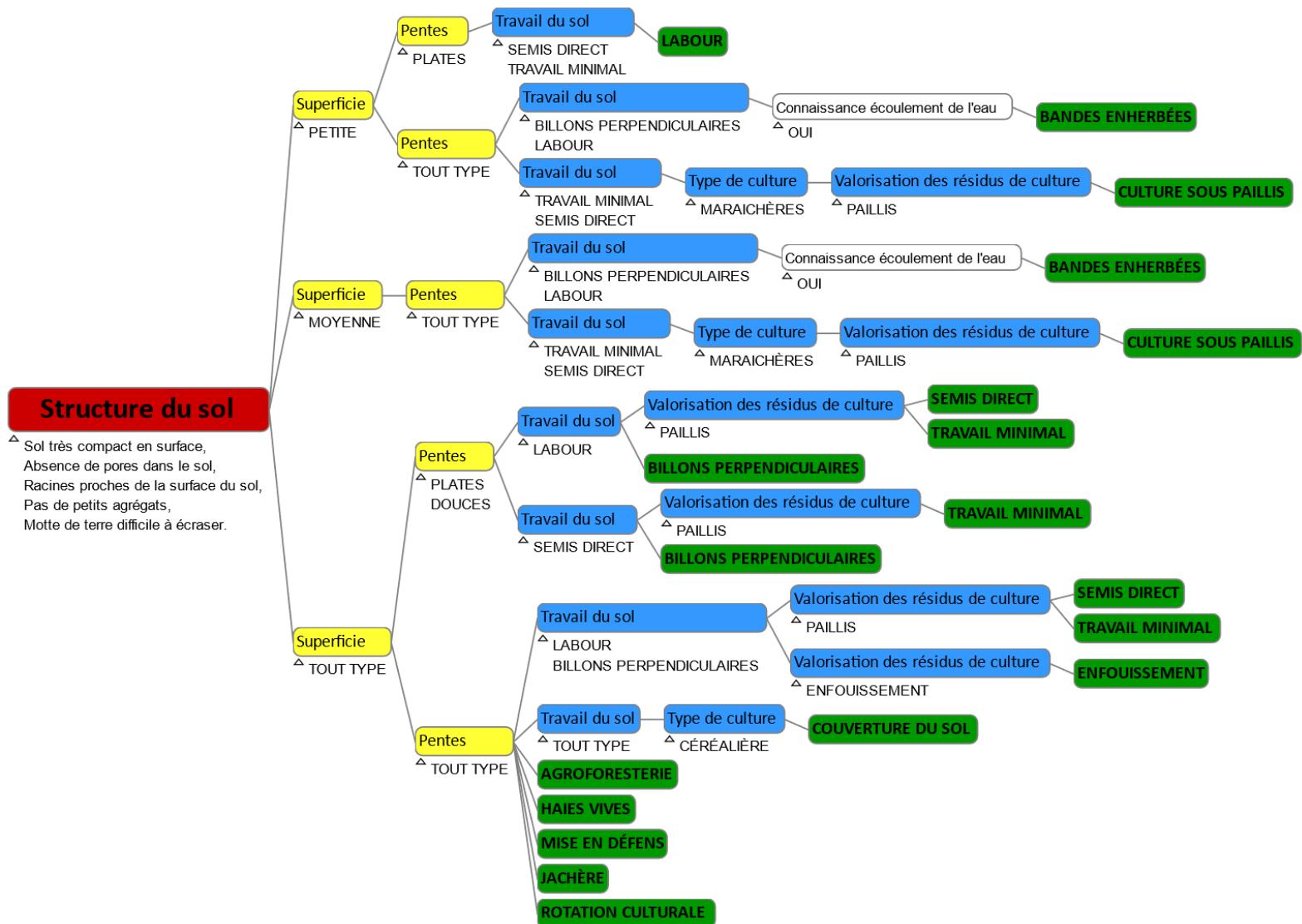


Figure 29. Arbre de décision pour les mauvaises structures de sol.

3.3. Évaluation du modèle

Pour évaluer le modèle, plusieurs cheminement seront empruntés et expliqués de manière à valider la logique de l'arbre et en même temps à servir d'exemple de lecture de l'arbre.

Exemple 1. J'ai un problème d'adventice (Arbre figure 24)

« Si je suis actuellement en saison sèche, que je possède une superficie comprise entre 3 et 10 ha (soit une superficie considérée comme moyenne, voir tableau 3), que je pratique du maraîchage, que le travail du sol que je réalise est minimal ou absent (travail minimal du sol

ou semis direct) et que je dispose de résidus de culture pouvant servir de paillis, alors je peux appliquer la méthode de culture sous paillis pour lutter contre les adventices. »

L'explication de ce choix de cheminement est le suivant : si l'agriculteur se trouve en saison sèche, il ne réalisera pas de culture céréalière, or le paillage n'est généralement pas destiné aux cultures céréalières, mais aux autres types de culture, comme le maraîchage. Ensuite, la culture sous paillis n'est majoritairement pas compatible avec les grandes superficies à cause du manque de matière pour réaliser le paillage. La condition ici est donc d'appliquer la pratique sur une petite ou une moyenne superficie. Après vient la condition du travail du sol. Pour mettre en place une culture sous paillis, il ne faut pas travailler le sol en profondeur, le paillis l'en empêche. Seuls le semis direct ou le travail minimal du sol sont donc compatibles avec cette technique. Finalement, si l'entièreté des résidus de culture n'est pas destinée à une autre utilisation comme l'enfouissement, le fourrage ou l'artisanat alors on part du principe qu'il peut être utilisé pour le paillage des cultures. En rassemblant ces conditions, la culture sous paillis peut être envisagée par l'agriculteur.

Exemple 2. J'ai un problème d'érosion (Arbre figure 26)

« Si j'ai une superficie cultivée moyenne (entre 3 et 10 ha), que mon terrain présente une pente douce (entre 0 et 5%, voire tableau 3), que je laboure mon champ, que mes résidus de culture sont valorisés pour en faire du paillis, alors je peux changer ma technique de travail du sol en optant soit pour un travail minimal du sol ou soit par un semis direct à la place du labour. Si j'utilise mes résidus de culture pour autre chose, comme pour l'alimentation de mon troupeau alors je peux opter pour une culture en billons perpendiculaires. J'ai aussi les solutions de construire des diguettes en pierres ou des diguettes en terre si j'ai quelques notions dans les courbes de niveau. »

L'explication de ce choix de cheminement est le suivant : comme le champ de l'agriculteur a une superficie moyenne et une pente douce, des petites diguettes en pierre ou en terre conviendraient à son problème d'érosion. Le fait qu'il laboure son champ peut aussi être changé avec des techniques applicables à tout type de superficie. En effet, certaines techniques de travail du sol restent efficaces malgré la superficie à couvrir et le type de pente du terrain, il s'agit du semis direct et du travail minimal du sol. La couverture du sol pour ces techniques est primordiale, or l'agriculteur a la possibilité de valoriser ses résidus de culture sous forme de paillis, ces techniques sont donc réalisables. Comme la pente est douce et non modérée, l'agriculteur a également le choix de réaliser des billons perpendiculaires à la pente pour freiner le ruissellement et réduire l'érosion de son champ.

L'emploi de ces exemples démontre que les arbres sont cohérents malgré la simplification qu'ils ont subie.

3.4. Discussion et perspectives

Le but de cette étude était d'établir un outil d'aide à la décision pour le choix des pratiques de conservation et de fertilisation des sols à appliquer sur une parcelle agricole du village de Kotopounga. Ceci dans l'optique de participer à la simplification de la transition agroécologique sur le territoire pour le projet AGRO-ECO.

La construction de ces arbres a permis de mettre en avant la nécessité d'une aide à la décision pour le choix d'application de pratiques agroécologiques. Malgré le fait que le nombre de pratiques ait été limité à 22 et que les variables aient été simplifiées et également réduites, la complexité de la tâche demeure. La complexité d'un arbre est principalement définie par le nombre de nœuds terminaux qu'il présente. En effet, en observant les arbres les plus grands, on se rend bien compte de la nécessité de simplifier pour éviter de nombreuses répétitions et une accumulation de variables inutiles. Cette étape constitue l'élagage de l'arbre. Bien que ces arbres soient simplifiés et que l'attribution des variables ne suit pas une logique rigoureusement scientifique, on peut tout de même comprendre quelles sont les conditions fondamentales nécessaires à l'application d'une pratique. La disparition des variables dans la construction des arbres, comme celle concernant le type de sol, s'explique par le fait que ces sols ne soient pas radicalement différents sur la zone étudiée. Même s'ils présentent quelques différences, ils possèdent des qualités similaires. Par exemple, dans le cas de cette étude, il se peut que les sols humides proches du cours d'eau dans les bas-fonds présentent une fertilité beaucoup plus élevée que les terres plus hautes sur les plateaux. Ces zones concernées ne sont pas assez représentatives pour que l'on se base dessus avec ce type de construction d'arbres. C'est pour cela que certaines variables ont été éliminées de l'élaboration des arbres au cours de la réflexion. Malgré le manque de variables intervenantes, les arbres de décisions restent fonctionnels pour apporter des indications sur la manière de faire. Ils peuvent aider à faire un choix entre plusieurs pratiques selon les dispositions de la parcelle agricole. Cette fonctionnalité est assez intéressante puisqu'elle permet de réaliser un certain tri parmi les pratiques. Or ce tri est essentiel pour aider un agriculteur dans ses choix.

Si l'on s'intéresse davantage aux résultats obtenus grâce aux arbres, on peut constater que certaines pratiques se distinguent par rapport aux autres. En effet, ces pratiques peuvent être considérées comme complètes, car elles entraînent des effets bénéfiques sur plusieurs

problèmes. Ces pratiques sont intéressantes pour l'agriculteur, car en se consacrant à son application, il peut agir sur plusieurs problèmes à la fois. Il économise ainsi du temps, de l'argent et réduit sa charge de travail. Dans cette étude, la pratique qui rassemble le plus d'effets bénéfiques est l'agroforesterie (voir tableau 29). Ceci n'est pas surprenant, car c'est une pratique respectant les principes fondateurs de l'agroécologie. Elle met en avant toutes les fonctions écosystémiques et les dynamiques de développement de l'écosystème. C'est sur ce type de système agricole que les agriculteurs devraient s'aligner pour obtenir des résultats variés et à différentes échelles. À l'inverse, d'autres pratiques ne présentent que très peu d'effets directs. Il s'agit des brise-vents inertes et de l'ajout d'intrants qui ne présentent qu'un seul effet bénéfique (voir tableau 29). Cela s'explique par le fait que ces pratiques sont des solutions d'appoint qui ne permettent de régler un problème que temporairement. Ce sont des pratiques qui doivent être améliorées ou jumelées avec d'autres pratiques pour obtenir de meilleurs résultats. C'est aussi le cas de la pratique du labour, elle présente deux effets bénéfiques (voir tableau 29). Le labour permet d'apporter des solutions rapides et efficaces à court terme, mais pas sur le long terme. Dans cette étude, le labour a de l'effet sur la structure du sol et sur la gestion des adventices. La résolution du problème lié à la structure du sol par le labour n'est que temporaire, le problème restera sur le long terme, voire s'empirera, s'il n'est pas travaillé d'une autre façon. Il en est de même pour la gestion des adventices qui repousseront rapidement après le labour. Par exemple, un paillis, une couverture du sol ou un système agroforestier seront plus efficaces sur le long terme pour lutter contre les mauvaises herbes.

Si on examine les variables qui impactent les pratiques, on observe que la pente et le travail du sol d'une parcelle agricole sont les deux variables qui influencent le plus la prise de décision (voir tableau 28). Ce sont deux variables qui sont donc importantes à prendre en compte dans la mise en place de pratiques agroécologiques. Ceci s'explique par le fait que ces variables parmi les autres sont majoritairement responsables de la perte des sols et de leur dégradation. Elles sont donc davantage concernées par les pratiques de conservation et de fertilisation des sols. Certaines pratiques n'impliquent aucune variable, il s'agit de la rotation culturale, de la culture associée, des haies vives, de l'agroforesterie, de la mise en défens et de la jachère (voir tableau 28). Pour ce qui est de la rotation culturale et de la jachère, c'est parce que ce sont des pratiques déjà ancrées dans les habitudes agricoles et qui ne nécessitent pas de conditions particulières pour les mettre en place. Ce sont des pratiques à la portée de tous. Les haies vives, l'agroforesterie et la mise en défens sont des pratiques faciles à mettre en place dont le développement ne dépend pas directement de l'homme. Ce sont toutes des pratiques

mettant en jeu les relations écosystémiques, elles sont applicables à n'importe quel environnement à condition de choisir des espèces adaptées aux besoins et aux conditions locales. La culture associée peut aussi être appliquée par tous, car elle est installée sous forme de complément aux cultures déjà présentes. Comme pour les systèmes agroforestiers, la difficulté réside dans le choix des espèces.

En observant la forme des arbres obtenus, on remarque une différence nette entre les arbres traitant des adventices et des ravageurs et les autres. Ces arbres sont beaucoup plus petits et moins fournis. Cette différence peut être due à l'utilisation de méthodes de lutte non répertoriées dans ce travail, qui ne concerne pas les pratiques de conservation et de fertilisation des sols. Ces autres méthodes sont par exemple, l'utilisation de bioherbicides et de biopesticides largement utilisés sur le territoire. Comme relevé dans l'enquête (voir Annexe 1), ces pratiques peuvent être l'extrait de Neem, la solution d'ail, la solution de piment rouge, l'extrait de feuille de papaye, l'extrait de Jatropha ou encore le biopesticide à tabac.

Il se peut que certaines solutions soient déjà appliquées par les agriculteurs, mais cela n'empêche pas l'utilisation des arbres puisque ceux-ci peuvent proposer d'autres pratiques alternatives qui peuvent également être jumelées à celles déjà mises en place. Même si un agriculteur connaît déjà l'ensemble de ces pratiques, cet outil peut toujours lui être utile, car il rassemble les conditions initiales nécessaires à leur mise en place. Ceci peut donc faciliter le travail de recherche et d'analyse préalablement requis. À l'inverse, certaines pratiques ne sont pas utilisées ou sont inconnues pour certains agriculteurs, ces arbres peuvent leur permettre de mieux comprendre comment les appliquer et dans quel but.

À l'avenir, il serait intéressant de retravailler cet outil d'aide à la décision en y incorporant davantage de variables et en y rajoutant des précisions. Plus le nombre de variables sera élevé plus l'outil sera précis à condition que ces variables soient bien définies et délimitées. Un outil de construction comme FreePlane ne permet pas de réaliser ce genre de travail. Il ne s'agit plus là de simple construction à la main, mais bien d'un algorithme capable de trier les pratiques en fonction des variables et de réaliser les arbres en second plan, seuls les résultats pourront apparaître au premier plan. Un logiciel comme celui-ci demande des compétences en informatique, d'où la nécessité d'aller plus loin.

Cette étude constituait une première tentative de construction d'un outil d'aide à la décision, elle était basée uniquement sur des données bibliographiques. Il serait donc intéressant de

poursuivre l'étude en réalisant des essais terrain pouvant compléter les arbres décisionnels et les rendre ainsi plus en adéquation aux conditions réelles.

Une étude pourrait également se porter sur des pratiques en particulier, notamment sur celles comportant un choix d'espèces. Un outil comme Capflor pourrait être développé à ce sujet (voir partie 1.3.2). En fonction des conditions du milieu et de la parcelle, l'outil pourrait proposer des espèces compatibles et qui répondraient à certains résultats escomptés.

Il existe de nombreuses autres pratiques agricoles respectant les principes agroécologiques, elles pourraient être intégrées lors d'une nouvelle étude. En effet, ce TFE ne portait que sur les pratiques agroécologiques en lien avec la préservation des sols et appliquées à l'échelle régionale de l'Atacora. Certaines des pratiques étudiées pourraient être appliquées dans un autre contexte ou dans une autre région du monde et inversement, des pratiques d'Amérique latine pourraient également être appliquées dans la zone soudanienne.

Finalement, l'étude ne s'est portée que sur les conditions relatives à la zone de Kotopounga. Les variables étaient exclusivement relatives aux conditions réelles de terrain retrouvées à Kotopounga. Par exemple, la pente était classée selon trois niveaux : plat, doux et modéré, car le village se trouve sur un plateau où les pentes fortes sont quasiment inexistantes. Les pratiques ont donc été étudiées selon ces variables alors qu'elles peuvent être appliquées avec des conditions différentes de celles de Kotopounga. L'étude pourrait être ainsi élargie de manière à y intégrer davantage de variables et de rendre l'outil efficace sur un plus grand territoire.

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était de faciliter la transition agroécologique dans le département de l'Atacora au Bénin et plus spécifiquement pour le village de Kotopounga situé dans la commune de Natitingou. Pour atteindre cet objectif, un outil d'aide à la décision a été conçu à partir d'arbres de décision élaborés en fonction des variables du milieu étudié. Pour réaliser cet outil, plusieurs étapes ont été nécessaires. Premièrement, une étude approfondie sur le milieu d'étude a été réalisée. Le contexte autour du département de l'Atacora a ainsi été établi et une étude sur les conditions agricoles du village de Kotopounga a été réalisée. Ces études ont permis de créer une liste exhaustive de différentes variables qui pourraient influencer la prise de décision et qui pourraient entraîner des résultats différents de ceux attendus. Une fois que ces études ont été réalisées, il a été plus simple de choisir des pratiques agricoles en accord avec les conditions économiques, sociales et environnementales liées au milieu. Ces pratiques sont également des pratiques respectant les principes de l'agroécologie et qui concernent particulièrement la conservation et la fertilisation des sols. Les pratiques ont pu être divisées en plusieurs catégories selon les caractéristiques qu'elles présentent. Les différents arbres ont été construits dans le but de répondre à plusieurs problèmes rencontrés par les agriculteurs, il s'agissait : des ravageurs, des adventices, de l'érosion, de la perte de fertilité, de la mauvaise structure du sol, de l'effet de pente et des épisodes de sécheresse. Les arbres ont permis de proposer différentes solutions par problème selon les conditions physiques de la parcelle agricole et en fonction de certaines variables relatives aux pratiques de l'agriculteur. Les arbres ont mis en lumière certaines pratiques qui se sont révélées être très avantageuses sur le long terme pour les agriculteurs. En effet, l'agroforesterie, la rotation culturale ou encore la jachère sont des pratiques qui permettent de résoudre de nombreux problèmes, et ce de manière durable. À l'inverse, d'autres pratiques ont démontré que leur application n'était pas bénéfique sur le long terme pour les agriculteurs. Il s'agit du labour qui, par exemple, n'est utile que pour traiter rapidement et localement un problème, mais qui risque plutôt d'aggraver le problème si rien n'est fait pour corriger la situation.

Pour terminer cette conclusion, il est intéressant de constater le travail fourni pour concevoir un OAD adapté aux conditions du village de Kotopounga et d'imaginer ainsi le potentiel de ce genre d'outil pour un plus vaste territoire.

Références

- Africa Rice. (2020). *RiceAdvice*. RiceAdvice. <https://www.riceadvice.info/en/>
- Afrique Verte. (s.d.). Quelques maladies et ravageurs du mil, sorgho et riz, Fiche 3. http://www.afriqueverte.org/r2_public/media/fck/File/Documentation/Semences/f3-maladies-ravageurs-du-riz-mil-sorgho.pdf
- Agbanou, B. T. (2018). *Dynamique de l'occupation du sol dans le secteur Natitingou-Boukombé (nord-ouest bénin): de l'analyse diachronique à une modélisation prospective*. Université de Toulouse, Université d'Abomey-Calavi.
- Ahoyo Adjovi, N. et Madjri, E. (2016). Causes et déterminants de la pauvreté dans le Département de l'Atacora au nord-ouest du Bénin, *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*(Numéro spécial Economie et Sociologie Rurales), 24-28.
- Aide au Développement Gembloux. (2016). L'agroécologie : reconnecter l'homme à son écosystème. Patrick Wautelet.
- Allagbé, H., AITCHEDJI, M. et YADOULETON, A. (2014). Genèse et développement du maraîchage urbain en République du Bénin [Genesis and development of urban vegetable farming in Republic of Benin]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7(1), 123-133.
- Amghar, F., Langlois, E., Forey, E. et Margerie, P. (2016). La mise en défens et la plantation fourragère : deux modes de restauration pour améliorer la végétation, la fertilité et l'état de la surface du sol dans les parcours arides algériens. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 20(3), 386-396.
- Arvanitakis, L. et Bordat, D. (2001). *Importance des ravageurs des cultures maraîchères. Etude du complexe Plutella/Parasitoïdes* (p. 7-18). CIRAD. <https://catalogue-bibliotheques.cirad.fr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=169137>

- Avakoudjo, J., Kindomihou, V., Akponikpe, P., Thiombiano, A. et Sinsin, B. (2013). Essences végétales et techniques de restauration des zones d'érosion (dongas) du Parc W et de sa périphérie à Karimama (Nord-Bénin). *Journal of Applied Biosciences*, 69(0), 5496-5509. 10.4314/jab.v69i0.95075
- Bada, L. (2007). *Variabilité génotypique du blé dur (*Triticum durum Desf.*) vis à vis de la nuisibilité directe du brome (*Bromus rubens L.*) en conditions semi - arides* [mémoire]. Colonel el Hadj Lakhder - Batna.
- Banque Mondiale. (2019). *Population rural (% de la population totale)*. La banque mondiale. <https://donnees.banquemondiale.org/indicator/SP.RUR.TOTL.ZS>
- Banque Mondiale. (2020). *La Banque mondiale au Bénin*. Banque mondiale. <https://www.banquemondiale.org/fr/country/benin/overview>
- Bationo, A. (1994). Gestion de la fertilité des sols. Dans *Le Travail du Sol pour une Agriculture Durable*.
- Beauval, V., Coulibaly, I., Dufumier, M., Legay, C., Legile, A. et Samb, B. (2014). Regards croisés : quels obstacles à l'agroécologie ? [Grain de sel]. http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/gds63_34-36.pdf
- Beer, J., Harvey, C. A., Ibrahim, M., Harmand, J. M., Somarriba, E. et Jiménez, F. (2003). *Fonctions de service des systèmes agroforestiers*. XIIe Congrès forestier mondial, Québec.
- Bello, S., Ahanchédé, A., Gbèhounou, G., Amadji, G. et Aho, N. (2013). Diversité floristique, ethnobotanique et taxonomie locale des mauvaises herbes de l'oignon au Nord-est du Bénin. *Tropicultura*, 31(2), 143-152.
- Benin Semence. (2018). *La vente de semences potagères adaptées aux zones tropicales*. Benin Semence. <https://www.beninsemences.com/>

- Béranger, S., Blanchard, F., Archambault, A. et Allier, D. (2006). *Utilisation des Outils d'Aide à la décision dans la Gestion des Mégasites* (p. 116). BRGM.
- Berton, S., International, A., Billaz, R., Burger, P. et Lebreton, A. (2013). Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables Paroles d'acteurs Photo de couverture : Agrisud International Auteurs par ordre alphabétique : Édition Cari.
- Biaou, C. F. (2006). Monographie de la commune de Natitingou. Afrique Conseil.
- Bonny, S. (1997). L'agriculture raisonnée, l'agriculture intégrée et Farre – Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement. *Natures Sciences Sociétés*, 5(1), 64-71. 10.1051/nss/19970501064
- Bordat, D. (1991). Catalogue des principaux ravageurs des cultures maraîchères au Bénin. CIRAD.
- Bricout, M., Roussel, R. et Monteil, C. (s. d.). Agriculture de précision. Dans *Dictionnaire d'agroécologie*.
- Calame, M. et Darrot, C. (2016). *Comprendre l'agroécologie: origines, principes et politiques* (Charles Léopold Mayer).
- Camille Prudhomme. (s.d.). *L'agriculture conventionnelle – les modèles de production agricole, part.1.* Ognon Agroecology Lab. <https://www.ognon.org/methode-agriculture-conventionnelle/>
- Chabert, A. et Sarthou, J.-P. (2017). Agriculture de conservation des sols et services écosystémiques. *Droit et Ville*, 84(2), 135-169.
- Chouinard, P. et Massicotte, D. (2000). Guides des pratiques de conservation en grandes cultures - Aménagements et techniques pour le contrôle de l'érosion du sol. Conseil des productions végétales du Québec.
- CIDSE. (2018). Les principes de l'agroécologie vers des systèmes alimentaires socialement équitables, résilients et durables.

- Claveirole, C. (2016). *La transition agroécologique : défis et enjeux* ([Les avis du CESE]) (p. 114). Conseil économique, social et environnemental.
- Cochereau, P. (1989). L'insecte et le risque agricole. Dans *Le risque en agriculture* (IRD Éditions, p. 619).
- Conseil Communal. (2004). *Plan de développement communal : Commune de Natitingou* (p. 108).
- CT. (2005). PLAN DE DEVELOPPEMENT COMMUNAL: plan économique et social de Matéri.
- de Haan, L. (1997). *Agriculteurs et éleveurs au Nord-Bénin: écologie et genres de vie* (KARTHALA Editions).
- Diatta, M. (1994). *Mise en défens et techniques agroforestières au Sine Saloum (Sénégal) : effets sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire* [géographie physique]. Université Scientifique L. Pasteur.
- Diatta, M., Albergel, J., Pérez, P., Faye, E., Séne, M. et Grouzis, M. (2000). Efficacité de la mise en défens testée dans l'aménagement d'un petit bassin versant de Thysse Kaymor (Sénégal), 232-244.
- Djenontin, J. A., Amidou, M., Baco, N. M. et Wennink, B. (2003). *Valorisation des résidus de récolte dans l'exploitation agricole au nord du Bénin. Production de fumier et enfouissement des résidus de récolte pour la gestion de la fertilité des sols.* Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux, Montpellier (p. 11). 10.13140/2.1.1683.8407
- Djenontin, J. A., Wennink, B., Dagbenongbakin, G. et Ouinkoun, G. (2002). *Pratiques de gestion de fertilité. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis.*, Garoua, Cameroun (p. 10).

- Dubrulle, P., Dupont, A., Publicol, M., Rousse, N., Baratte, C., Charron-Moirez, M.-H. et Sohbi, Y. (2014). *Rapport Outils d'Aide à la Décision* (p. 34). Pôle RECORD.
- Eurostat. (2020). *Evolution de la population - Bilan démographique et taux bruts au niveau national.* European statistics. https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_gind&lang=fr
- FAO. (2016). *Bénin : Irrigation et drainage* [organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture]. AQUASTAT.
- FAO. (2018). Les 10 éléments de l'agroécologie guider la transition vers des systèmes alimentaires et agricoles durables.
- FAO. (2020a). *Gestion des terres en pente.* Portail d'information sur les sols. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/gestion-des-sols-a-problemes/gestion-des-terres-en-pente/fr/>
- FAO. (2020b). *Les principes de l'agriculture de conservation.* Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. <http://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/principles-of-ca/fr/>
- FAO. (2020c). *Ravageurs et maladies des plantes.* FAO Urgences. <http://www.fao.org/emergencies/urgences/ravageurs-et-maladies-des-plantes/fr/>
- FAO et Comission de la CEDEAO. (2018). *Profil national genre des secteurs de l'agriculture et du développement rural - Bénin.* (p. 148).
- Faure, P. (1977). *République Populaire du Bénin, carte pédologique de reconnaissance à 1:200,000* [note explicative]. ORSTOM.
- Féret, S. (2001). Agriculture durable et agriculture raisonnée Quels principes et quelles pratiques pour la soutenabilité du développement en agriculture ? *Nature Sciences Sociétés*, 9(1), 58-64. 10.1016/S1240-1307(01)90012-3

Floquet, A., Mongbo, R. et Gaston, Y. (2005). *Propositions pour un système durable d'approvisionnement en intrants agricoles des producteurs de filières agricoles autres que le coton*. Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche.

Goudreau, A. et Samson, V. (2017). *Un nouvel outil d'aide à la décision dans Info-Sols pour les producteurs de grandes cultures*. Agriculture, Pêches et Alimentation Québec.
<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/decembre2017/Pages/Outil-daide-a-la-decision.aspx>

Goutiers, V. (2016). Capflor® : un outil pour concevoir des mélanges de prairies à flore variée, *Fourrages*(228,), 243-252.

Griffon, M. (2014). L'agroécologie, un nouvel horizon pour l'agriculture. *Études, décembre*(12), 31-39. <https://doi.org/10.3917/etu.4211.0031>

Groupe GDT. (s.d). Agroforesterie. *La pratique de la gestion durable des terres*, 132-147.

Guillou, M. (2015). *Pratiques de conservation des sols : mesure des impacts sur la structure du sol*. Communication présentée au INPACQ Grandes Cultures.

Hountondji, T., Soulemana, M. A. et Baas, W. (2015). Achat groupé d'intrants pour le maraîchage.

IFDD, Réveret, J.-P. et Sorgho, D. (2019). *Cartographie de l'évaluation environnementale et sociale dans la Francophonie* (Institut de la Francophonie pour le développement durable).

Infoclimat. (2019). *Climatologie de l'année 2019 à Natitingou (Bénin)* [station météorologique de natitingou]. Infoclimat.
<https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2019/natitingou/valeurs/65319.html>

INSAE. (2004). *Cahier des villages et quartiers de ville Département de l'ATACORA* (p. 24). Ministere du Plan et du Développement.

- INSAE. (2016). *Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atacora (RGPH-4, 2013)* (p. 38). Ministere du Plan et du Développement.
- JGRC. (2001). *Guide technique de la conservation des terres agricoles* (nº Vol. 5). Société Japonaise des Ressources Vertes.
- Johnson, D. E. (1997). *Les adventices en riziculture en Afrique de l'Ouest =: Weeds of rice in West Africa*. Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest ; Centre technique de coopération agricole et rurale ; Dép. pour le développement international.
- Kayodé, A. P. P. (2018). *Adoption de variétés de sorgho résilientes aux changements climatiques au Bénin* (p. 36). Centre technique de coopération agricole et rurale.
- Keller, M., Gantoli, G., Möhring, J., Gutjahr, C., Gerhards, R. et Rueda-Ayala, V. (2014). Integrating Economics in the Critical Period for Weed Control Concept in Corn. *Weed Science*, 62(4), 608-618. 10.1614/WS-D-13-00184.1
- Kombienou, P. D., Arouna, O., Azontondé, A. H., Mensah, G. A. et Sinsin, B. A. (2015). Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(2), 3836-3856.
- Kyle, J. (2015). La culture des pâturages. MInistère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales.
- Labrie, G. (2017). *Vers fil-de-fer: Un nouvel outil d'aide à la décision pour les producteurs de grandes cultures*. La Terre de chez nous.
<https://www.laterre.ca/actualites/cultures/vff-qc-nouvel-outil-d'aide-a-decision-producteurs-de-grandes-cultures>
- Lawrence, P. R., Lawrence, K., Dijkman, J. T. et Starkey, P. H. (1993). *Research for development of animal traction in West Africa: proceedings of the Fourth Workshop of the West Africa*. International Livestock Centre for Africa.

MAEP. (2011). *Plan Stratégiques de Relance du Secteur Agricole (PSRSA)*. Ministère de l’Agriculture, de l’Elevage et de la Pêche.

Martin, S., Malenfant, N., Hoorman, J. et Ménard, O. (s.d.). Cultures de couverture Les pratiques agricoles de conservation. Action Semis Direct.

Massicotte, D. (2000). Guide des pratiques de conservation en grandes cultures - Impacts sur la couverture de résidus. Conseil des productions végétales du Québec.

Massicotte, D. et Denis, J. (2000). Guide des pratiques de conservation en grandes cultures - Le travail réduit. Conseil des productions végétales du Québec.

Mauguin, P. et Hazard, L. (s.d.). *Capflor*. Capflor® - conception assistée de prairie à flore variée. <http://capflor.inra.fr/index.php>

MDGL. (2019). *Département de l'Atacora*. Ministère de la décentralisation et de la gouvernance locale. <https://decentralisation.gouv.bj/departement-de-latacora/>

MEPN. (2008). Programme d’action national d’adaptation aux changements climatiques du Bénin (PANA-Bénin).

MERRA-2. (s. d.). *Météo habituelle à Natitingou, Bénin*. Weatherspark. <https://fr.weatherspark.com/y/45810/M%C3%A9t%C3%A9o-habituelle-%C3%A0-Natitingou-B%C3%A9nin#Sections-Sources>

Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation. (2013). *La commission nationale de la certification environnementale (CNCE) : De l’agriculture raisonnée à la certification environnementale*. <https://agriculture.gouv.fr/la-commission-nationale-de-la-certification-environnementale-cnce-de-lagriculture-raisonnee-la>

Moutouama, F. T., Biaou, S. S. H., Kyereh, B., Asante, W. A. et Natta, A. K. (2019). Factors shaping local people’s perception of ecosystem services in the Atacora Chain of Mountains, a biodiversity hotspot in northern Benin. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 15(1), 38. 10.1186/s13002-019-0317-0

Murua, J. R. et Laajimi, A. (1995). Transition de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture durable : quelques réflexions, *Cahiers Options Méditerranéennes*(9), 75-86.

OCDE. (2009). Climate Change in West Africa. SWAC Briefing Note, Organisation de coopération et de développement économiques.

OIT. (2019). *Emplois dans l'agriculture (% du total des emplois) - Benin* [organisation internationale du travail, indicateurs clés du marché du travail]. La banque mondiale. <https://donnees.banquemonde.org/indicateur/SL.AGR.EMPL.ZS?locations=BJ>

OMN. (2005). Le climat et la dégradation des sols. *Organisation météorologique mondiale*, (989).

ONU. (2019). *Population growth (annual %) - Benin* [united nations population division. world population prospects: 2019 revision]. The Data World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW?locations=BJ&view=map>

Patrick Dugué, Patrice Autfray, Mélanie Blanchard et Patrice Djamen. (2012). *L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre*. Colloque René Dumont, Paris (p. 23).

PDM. (2009). *État de la décentralisation en Afrique* (Karthala Éditions).

Rabdo, A. (2006). *Inventaire des techniques de lutte anti érosive dans le degré carré de Ouahigouya au Burkina Faso* [maîtrise en géographie]. Université de Ouagadougou.

Rachidatou, S., Serge, N. et Jean, A. (2018). Reconnaissance des mauvaises herbes en culture du maïs au Bénin et méthodes de lutte – Fiche technique. FAO.

Ramane, A. A. (2020). IMPACTS DE L'EROSION PLUVIALE SUR L'ENVIRONNEMENT DANS LA VILLE DE NATITINGOU AU BENIN.

International Journal of Humanities and Social Sciences, 9(3), 17-30.

RCPA. (2015). Climat, changements climatiques et résilience. Cartes et faits. Secrétariat du Club du sahel et de l'afrique de l'Ouest.

Ritter, J. (2012). L'érosion du sol — Causes et effets. *Fiche Technique*, 12(54), 8.

Roose, E. (1999). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)* (n° 70) (p. 442). FAO.

Roose, E. J. (1976). *Le problème de la conservation de l'eau et du sol - en République populaire du Bénin - Mise au point en 1976.* (p. 46). Programme des Nations Unies pour le développement.

Roose, E., Kabore, V. et Guenat, C. (1995). Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina-Faso). *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?,* 249-265.

Satellites Pro. (s. d.). *Map of the World.* Satellites Pro. <https://satellites.pro/>

Séronie, J.-M. (2020). Révolution numérique, agriculture de précision et agroécologie. *WillAgri.* [https://www.willagri.com/2020/01/20/revolution-numerique-agriculture-de-](https://www.willagri.com/2020/01/20/revolution-numerique-agriculture-de-précision-et-agroécologie/)

Servigne, P. (2012). Quel sens donner à ces mots ? *Barricade, Quel sens donner à ces mots ?,* 8.

Séverac, G. (s.d.). *Robot de désherbage Oz.* Naïo technologies.

Sinsin, B. (2010). *Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest - Bénin* (Kampmann, vol. 1-3, vol. Tome 1).

Sinsin, B., Oloulotan, S. et Oumorou, M. (1989). Les pâturages de saison sèche de la zone soudanienne du Nord-Est du Bénin. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.,* 42(2), 283-288.

Soussana, J.-F. (2013). « L'agroécologie' est d'abord une science ». *Revue Projet,* 332(1), 58-62. 10.3917/pro.332.0058

Stassart, P. M., Ph, B., J-Cl, G. et Th, H. (2012). L'agroécologie : trajectoire et potentiel Pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. Dans *Agroécologie entre pratiques et sciences sociales* (Educagri, p. 21).

Stiem-Bhatia, L., Doubogan, Y. O. et Savi, A. B. (2017). Les pratiques de la gestion durable des terres au Bénin : une analyse sous l'angle du genre. Institute for Advanced Sustainability Studie.

Tertrais, A. (s.d.). Aperçu des différents types d'Agriculture développés actuellement.
<http://www.ird2.org/wp-content/uploads/2015/11/de-quoi-parle-t-on-agricultures.pdf>

Tohinlo, P., Lebailly, P. et Floquet, A. (2016). *Thème : Une soudure alimentaire persistance après deux décennies d'intervention pour la sécurité alimentaire dans l'Atacora (Nord- Ouest du Bénin)*. Table ronde, ISSP-Université de Ouagadougou (p. 2).

Tohinlo, Y. J. P. (2016). *Évaluation des impacts des projets de développement sur les exploitations agricoles familiales et les ménages de l'Atacora (nord-ouest du Bénin)*. Université de Liège.

Topographic-Map. (s. d.). *Cartes topographiques de Naitingou, altitude, relief*. Topographic-Map. <https://fr-lu.topographic-map.com/maps/ne1t/Natitingou/>

Toure, A., Ipou Ipou, J., Adou-Yao, C., Bouraud, M. et N'Guessen, E. (2009). Diversité floristique et degré d'infestation par les mauvaises herbes des agroécosystèmes environnant la forêt classée de sanaimbo, dans le Centre-Est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20(1), 13-22. 10.4314/aga.v20i1.1732

Trabelsi, M. (2017). *Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition?* Université Paul Valéry.

Tychon, B. (2019). *Méthodes de conservation des sols*. [cours magistral]. Cours magistral communication présentée au Cours de conservations des sols.

- UIPP. (2016). Les outils d'aide à la décision au service de l'agriculture durable. *Union des Industries de la Protection des Plantes*. <https://urlz.fr/cWfH>
- Vodounou, J. B. et Doubogan, Y. (2016). Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin. *Cybergeo : European Journal of Geography, Environment, Nature, Landscape*(794).
- Wala, K. (2010). La végétation de la chaîne de l'Atakora au Bénin: diversité floristique, phytosociologie et impact humain. *Acta Botanica Gallica*, 157(4), 793-796. 10.1080/12538078.2010.10516248
- Weill, A. et Duval, J. (2009). Chapitre 12 : Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Dans *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Équiterre.
- Youssouf, I. et Lawani, M. (2000). *Les sols béninois: classification dans la Base de référence mondiale*. Quatorzième Réunion du Sous-Comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres., Bénin, Abomey.
- Zougmoré, R., Ouattara, K., Mando, A. et Ouattara, B. (2004). Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. *Sécheresse*, 15(1), 41-48.
- Zwaenepoel, P. et Bars, J. M. L. (1997). L'agriculture de précision. *Ingénieries, eau agriculture territoires*(12), 67-79.

Annexes

Annexe 1. Fiche d'enquête réalisée par la doctorante Victorine Djago dans le cadre du projet AGRO-ÉCO (13 pages).

Fiche d'enquête sur la caractérisation des pratiques agricoles de fertilisation et de conservation des sols

Nom de l'enquêteur :

Date de l'enquête : . . . / 20..

Département :

Commune..... Arrondissement..... Village/Quartier.....
.....

1. IDENTIFICATION DU PRODUCTEUR

1.1. Identification

Identification	Nom et prénoms	Contacts
Chef du ménage		
Personne interviewée		

1.2. Sexe : 1=Masculin 2=Féminin _____

1.3. Age _____

1.4. Ethnie 1=Gua 2=Otamari 3=Wama 4=Bariba 5=Peulh 6=Autres / _____ /

1.5. Situation matrimoniale : 1=Célibataire 2=Marié (e) 3=Veuf(ve) 4=Divorcé(e) / _____ /

1.6. Niveau d'instruction : 1=Aucun 2= Alphabétisé 3= Primaire 4= Secondaire 5= Supérieur
/ _____ /

1.7. Statut social : 1= Migrant 2=Autochtone / _____ /

1.8. Depuis quand exploitez-vous ces terres ? / _____ /

1.9. Biens et matériels appartenant à l'exploitation agricole

Types d'outils	Matériels
Matériels de travail du sol	
Matériels de transport	
Autres matériels	
Code Matériels de travail du sol : 1=Manuel 2=Traction animale 3= Tracteur	
Code Matériels de transport : 1= Vélo 2=Tricycle 3=Brouette 4=Charette	
Code Autres matériels : 1=Pulvériseur 2= Magasins de stockage 3=Autres à préciser	

1.10. Combien de parcelles aviez-vous ? / _____ /

1.11. Superficie de chaque parcelle

Parcelle	Superficie

1.12. Pratiquez-vous du maraîchage ? 1=oui ; 2=non / _____ /

1.13. Si oui, veuillez préciser sur quelle parcelle sur laquelle se fait du maraîchage. Parcelle / _____ /

1.14. Activités menées

Activité	Saison agricole	Qui vous occupe le plus de temps	Qui vous procure le plus de revenu
Principale	Saison pluvieuse		
	Saison sèche		
Secondaire	Saison pluvieuse		
	Saison sèche		
Code Activité : 1=Céréaliculture 2= Maraîchage 3=Autres productions agricoles 4=Elevage 5=Commerce 6=Artisanat 7=Pêche 8=Transformation de produits agro-alimentaires ; 9=Buvette-Restauration 10=Fonctionnaire (public ou privé) 11=Conducteur (Moto, Auto) 12=Autres à préciser _____			

CULTURES PLUVIALES (*Si maraîchage aller à la page 11*)

2. CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DE L'EXPLOITATION AGRICOLE

2.1. Utilisation des terres de l'exploitation, activités culturelles et rendements (Pour les 3 plus importantes parcelles)

Parcelles	Parcelle1 (Principale)			Parcelle2			Parcelle3		
Coordonnées GPS									
Surface	Superficie	%	Qtité récoltée	Unité	Spéculation	%	Qtité récoltée	Unité	Spéculations
	Unité								
Mode d'acquisition									
<i>Précisez la ou les culture (s), le pourcentage (%) d'occupation de la culture sur la parcelle les 3 dernières années et les rendements 2019 uniquement</i>									
Année 2019									
	Spéculation	%	Qtité récoltée	Unité	Spéculation	%	Qtité récoltée	Unité	Spéculations
Culture associée 1									
Culture associée 2									
Culture associée 3									
Année 2018									
Culture associée 1									
Culture associée 2									
Culture associée 3									
Année 2017									
Culture associée 1									
Culture associée 2									
Culture associée 3									
Types de sol (Nom local)									
Niveau de fertilité du sol									
Code cultures : 1=Mais, 2=fonio, 3=sorgho rouge, 4=sorgho blanc 5=petit mil =, 6=riz, 7=igname, 8=manioc, 9=Taro, 10=coton, 11=sésame 12=arachide, 13=Anacarde, 14=mébè, 15=soja, 16=lentille, 17=voandzou, 18=pois d'angole, 19=Jachère, 20=autres (à préciser) Code Mode d'acquisition : 1=Achat ; 2=Héritage ; 3=Location ; 4=Propriété communautaire ; 5=Prêt/cession temporaire 6=Autres Code Niveau de fertilité : 1=Faible, 2=Moyen, 3=Elevé									

2.2. Pratiques agronomiques

2.2.1. Opérations culturales (*Pour chaque culture précédemment citée*)

Année	Parcelles	Opérations de travail du sol (Désherbage, Buttage, ...)	
		Opérations	Equipements utilisés
2019	P1		
	P2		
	P3		
2018	P1		
	P2		
	P3		
Code équipements : 1=manuel ; 2=utilisation d'herbicide ; 3=mécanique ; 4=outils de traction animale ; 5=autres			

2.2.2. Intrants utilisés et gestion des flux au sein de l'exploitation

2.2.2.1. Quels sont les types de semences que vous utilisez ?

Spéculations	Types de semences (1 = semence locale 2 = semence améliorée, 3 = autres (à préciser))	Lieu d'approvisionnement (1=autoproduction ; 2=Achat dans les boutiques d'intrants ; 3=Achat dans les structures étatiques ; 4= Marché informel)

2.2.2.2. Fertilisants organiques utilisés (au cours de l'année 2019)

Amendements organiques	Utilisés (1=oui ; 2=non)	Qtité	Unité	Superficie (%)	Période	Origine (1=autoproduction ; 2=Achat)
Parcelle 1						
Compost						
Fumier porcin						
Fumier bovin						
Fumier ovins/caprins						

Fientes de volailles						
Parcage						1 : Parcage avec ses propres animaux ; 2 : Parcage avec animaux ne lui appartenant pas Précisez de quel animal il s'agit (ovin, bovin ou caprin) :
<i>Parcelle 2</i>						
Compost						
Fumier porcin						
Fumier bovin						
Fumier ovins/caprins						
Fientes de volailles						
Parcage						1 : Parcage avec ses propres animaux ; 2 : Parcage avec animaux ne lui appartenant pas Précisez de quel animal il s'agit (ovin, bovin ou caprin) :
<i>Parcelle 3</i>						
Compost						
Fumier porcin						
Fumier bovin						
Fumier ovins/caprins						
Fientes de volailles						
Parcage						1 : Parcage avec ses propres animaux ;

						2 : Parcage avec animaux ne lui appartenant pas Précisez de quel animal il s'agit (ovin, bovin ou caprin) :
--	--	--	--	--	--	--

2.2.2.3. Composition du Compost

Types d'engrais organiques	Matériaux utilisés dans la composition (Code1)	Lieu d'approvisionnement (Code2)
Compost		
Code 1 : 1= Tiges de coton, 2= Feuilles de légumineuses (Niébé, Arachide, pois d'Angole,...), 3= déchets ménagers, 4= tiges de coton, 5= tiges de maïs, 6= déjections animales (précisez le type d'animaux), 7=autres (à préciser)		
Code 2 : 1=stabulation (déjections issues des animaux qui stagnent à la maison, 2=dans mon champ, 3=dans les exploitations voisines, 4=autres		

2.2.2.4. Engrais minéraux

Engrais utilisés (Code 1)	Spéculation : Reprendre toutes les cultures listées (Code2)	Qtit é	Unit é	Est ce sur l'ensemble de la parcelle ? 1= Oui, 2 Non	Si non, Superfic ie (%)	Stade phénologique/ Période d'applicatio n	Lieu d'approvisionnement (Code3)	Mode d'application (Code 4)
Parcelle 1								
Parcelle 2								

2.2.2.5. Aviez-vous utilisé des biopesticides pour prévenir l'attaque des ravageurs ? _____

1=Oui, 2=Non

2.2.2.6. Si oui, quels sont les biopesticides que vous utilisez ? _____

1= Aucun, 2=Extrait de neem, 3= Solution d'ail, 4= Solution de Piment rouge, 5= Extrait de feuilles papaye, 6= Extrait de Jatropha, 7= Biopesticide à Tabac, 8=Autres à préciser _____

2.2.2.7. Aviez-vous utilisé des pesticides chimiques dans la lutte contre les ravageurs ?

1=Oui, 2=Non

2.2.2.8. Si oui, précisez les modalités d'application des pesticides chimiques et biopesticides

Code1 : 1= Extrait de neem, 2= Solution d'ail, 3= Solution de Piment rouge, 4= Extrait de feuilles papaye, 5= Extrait de Jatropha, 6= Biopesticide à Tabac, 7=Autres à préciser							

2.2.3. Autres pratiques agricoles de fertilisation et de conservation des sols

2.2.3.1. Adoptez-vous les autres pratiques agricoles suivantes pour améliorer ou conserver la fertilité de vos sols ?

Pratiques adoptées	Sur quelle parcelle ? (1=Aucune, 2=P1 ; 3=P2, 4=P3)
Culture sous paillis	
Jachère améliorante avec légumineuses	
Association légumineuse + cultures	
Utilisation de la biomasse verte de <i>Tithonia diversifolia</i> pour la production maraîchère	
Utilisation du biochar	
Labour perpendiculaire à la pente	
Cordons pierreux	
Diguette en terres	
Diguelettes filtrantes, les fascines et les enrochements	
Ados végétalisé	
Technique de demi-lune	
Technique de Zaï	
Drains d'évacuation des eaux d'inondation	
Installation des parcelles fourragères pour l'élevage (<i>Panicum</i> , <i>Sorgho</i> , <i>Mucuna</i> , etc.)	
Pâturage rotatif	
Agroforesterie à base de <i>Moringa</i> , <i>Gliricidia</i> , <i>Enterolobium</i> , <i>Acacia</i> , etc	
Clôture des champs avec des haies vives (<i>Ziziphus</i> , <i>Jatropha</i> , <i>Gliricidia</i> , <i>Campêcher</i> , <i>Cactus</i> , <i>Dichrostachys</i> , etc.)	
Installation des brise-vents	
Régénération naturelle assistée (RNA)	
Autres à préciser	
Autres à préciser	
Autres à préciser	

2.3. Valorisation des produits issus de l'Agriculture

2.3.1. Comment valorisez-vous votre récolte ainsi que les résidus de récolte

Spéculations		Mode de gestion (1=Alimentation		Quantité (%)

2.4. Gestion du bétail

2.4.1. Veuillez remplir les informations suivantes :

Stabulation/ Sédentarisation	Bovins	Ovins/Caprins	Volailles	Porcins	Ânes
Nombre					
Alimentation (1=plantes fourragères ; 2=tiges de maïs ; 3=autres à préciser)					

Traction (1=oui, 2=non)		Ne pas remplir	Ne pas remplir	Ne pas remplir	
Si traction, combien d'animaux utilisés ?		Ne pas remplir	Ne pas remplir	Ne pas remplir	

Divagation/Transhumance	Bovins
Nombre	
Période de transhumance	

2.4.2. Pour les bovins, précisez le nombre de tête en gestion propre : _____ et le nombre de tête confié à une autre personne pour gestion _____

2.5. Déchets ménagers : Que faites-vous de vos déchets ménagers ?

Déchets ménagers	%
Composté	
Alimentation des animaux	
Déversé à l'intérieur du champ	
Jeté hors du champ	

3. MARAÎCHAGE

3.1. Quelle est la superficie de la parcelle ? _____ /

3.2. Qui gère la parcelle ? _____ /

3.3. Aviez-vous un potager ? 1=Oui ; 2=Non

3.4. Si oui, sur quelle superficie ?

3.5. Est-ce que vous y appliquer des amendements organiques ? 1=Oui ; 2=Non

3.6. Si amendements organiques, précisez lesquels et les quantités appliquées _____

3.7. Si engrains minéraux, précisez lesquels et les quantités appliquées _____

3.8. Quelles sont les principales spéculations que vous produisez sur votre parcelle? Pour chaque spéculation produite, précisez la part autoconsommée et celle vendue ?

Spéculations produites	Part autoconsommée (%)	Part vendue (%)

Code 1 : 1=oignon, 2=tomate, 3=choux, 4=laitue, 5=haricot vert, 6=aubergine, 7=piment, 8=laitue, 9=pastèque ;
 10=poivron, 11=concombre, 12=gombo ; 13=courgettes ; 14=carotte ; 15= Vernonia, 16=Amarante,
 17=autres / /

3.9. A quelle saison faites-vous le maraîchage ? 1=saison sèche ; 2=saison pluvieuse 3= Toute l'année

/ _____ /

3.10. Irrigation et source d'eau

Matériels (1=Motopompe, 2=Pompe manuelle, 3=Arrosoir, 4=Puisette, 5= Autres (à préciser))	Infrastructure (1=Oui ; 2= Non)	Source(s) d'eau utilisée pour les activités de maraîchage (1=Puits, 2=Barrage, 3=Cours d'eau naturel, 4=Forage, 5=Canal d'assainissement, 6=Autre (si autres, préciser))	Distance (Km) entre la parcelle et la source d'eau

3.11. Systèmes de culture

Systèmes de culture	Adoptez-vous ce système ? 1=oui ; 2= non
Association culturelle	
Rotation de culture	
Jachère	

3.12. Estimation globale des quantités de fertilisants organiques utilisés sur les parcelles (Année 2019)

Amendements organiques	Utilisés (1=oui ; 2=non)	Qtité	Unité	Origine (Code 1)
Compost				
Fumier porcin				
Fumier bovin				
Fumier ovins/caprins				
Fientes de volailles				
Autres à préciser				
Code 1 : 1=autoproduction ; 2=Achat dans les boutiques d'intrants ; 3=Achat dans les structures étatiques ; 4= Marché informel 5= Autres (à préciser) préciser				

3.13. Aviez-vous utilisé des engrains minéraux ? 1=oui ; 2= non _____

3.14. Si oui, estimation globale des quantités d'engrais minéraux appliqués (Année 2019)

Type d'engrais utilisés	Qtité	Unité	Superficie (%) ou Nombre de planches	Stade phénologique/ Période d'application	Lieu d'approvisionnement (Code1)
Urée					
NPK 14-23-14					
NPK 15-15-15					
Autres					
Code1 : 1=autoproduction ; 2=Achat dans les boutiques d'intrants ; 3=Achat dans les structures étatiques ; 4=Marché informel 5= Autres (à préciser) préciser _____					

3.15. Aviez-vous utilisé des pesticides chimiques ou biopesticides dans la prévention et/ou la lutte contre des ravageurs ? 1=oui ; 2= non_____

3.16. Si oui, quels sont les pesticides chimiques et biopesticides utilisés sur votre parcelle ?

Pesticides chimiques et biopesticides	Types (Nom)	Qtité	Unité	Superficie (%)	Période d'application
Pesticides chimiques					
Biopesticides (Code1)					

Code1 : 1= Extrait de neem, 2= Solution d'ail, 3= Solution de Piment rouge, 4= Extrait de feuilles papaye, 5= Extrait de Jatropha, 6= Biopesticide à Tabac, 7=Autres à préciser

3.17. Valorisation globale des déchets issus de la production maraîchère

Déchets (Produits maraîchers pourris, infectés, ...)	%
Composté	
Alimentation des animaux	
Déversé à l'intérieur du champ	
Jeté hors du champ	

3.18. Avez-vous des latrines ? 1=oui ; 2= non