

République du Burundi



Ministère de l'Eau, de l'Environnement,
de l'Aménagement du Territoire et de
l'Urbanisme

Ministère de l'Agriculture
et de l'Elevage

DIRECTIVES ET BONNES PRATIQUES DE GESTION DURABLE DES TERRES AU BURUNDI



Applications sur le terrain



Bujumbura, Mars 2016

République du Burundi



Ministère de l'Eau, de l'Environnement,
de l'Aménagement du Territoire et de
l'Urbanisme

Ministère de l'Agriculture
et de l'Elevage

DIRECTIVES ET BONNES PRATIQUES DE GESTION DURABLE DES TERRES AU BURUNDI



Bujumbura, Mars 2016

Equipe de rédaction :

- **M. Cyrille HICINTUKA**

Chercheur en Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols à l'ISABU ;

- **M. Astère BARARWANDIKA**, Conseiller à la Direction Générale de l'OBPE
Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme,

Consultants indépendants.

Lecteurs principaux :

Mme Assumpta Marie KANYANGE, Conseillère au Cabinet MEEATU

M. Déo BABONWANAYO, Conseiller au Cabinet MEEATU

Dr. Ir. Anaclet NIBASUMBA (PhD), Chef de Programme Aménagement et Ecologie
Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

Dr.Ir. Salvator KABONEKA (PhD), Chargé de Cours, Faculté d'Agronomie
et de Bio- Ingénierie, Université du Burundi

Coordination :

M. Ferdinand NDERAGAKURA, Coordonnateur du Programme National de Lutte
Anti-Erosive et Gestion Durable des Terres au Burundi;
Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de
l'Urbanisme.

TABLE DES MATIERES

PREFACE	xix
RESUME EXECUTIF	xxi
0. INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1: TECHNIQUES DE LUTTE ANTI-EROSIVE	7
1.1. Lutte contre l`érosion hydrique	9
1.1.1. Facteurs de l`érosion hydrique	9
1.1.2. Risques d`érosion hydrique au Burundi	10
1.1.4. La lutte contre l`érosion hydrique, un outil de gestion durable des terres	13
1.1.4.1. Les dispositifs biologiques	14
1.1.4.2. Les façons culturelles	29
1.1.4.3. Les procédés mécaniques	32
1.1.5. Système d`évacuation des eaux excédentaires	39
1.1.6. Correction des ravins et ravines	39
1.1.7. Aménagement des sentiers	44
1.1.8. Lutte contre l`érosion des berges et des lits des rivières	44
1.2. Lutte contre l`érosion en masse/glissement de terrain	47
1.2.1. Les causes et les processus des mouvements de masse.....	47
1.2.2. Les facteurs de risque de glissement de terrain	48
1.2.3. La lutte contre les mouvements de masse	48
1.3. Lutte contre l`érosion éolienne.....	50
1.4. Lutte contre l`érosion mécanique sèche ou érosion aratoire	52

1.4.1. Les facteurs influençant l`érosion mécanique sèche	52
1.4.2. Méthodes de lutte antiérosive.....	52
1.5. Restauration des zones exploitées pour des carrières et mines	53
1.6. Aménagements des bassins versants	55
1.7. Gestion et aménagement des marais	57
1.8. Gestion protectrice des eaux et des sols	58
1.8.1. Gestion protectrice de l`eau.....	58
1.8.2. Périmètres de protection des sources d`eau.....	58
1.8.2.1. Types des périmètres de protection	58
1.8.2.2. Détermination des périmètres de protection.....	59
1.8.2.3. Prescriptions particulières à l`intérieur des périmètres de protection	63
1.8.3. Gestion des zones humides de protection.....	65
1.8.3. 1. Fonctions, services et bénéfices des zones humides	66
1.8.3. 2. Les principales causes de la régression des zones humides	67
1.8.3. 3. Principes directeurs de gestion des zones humides	67
1.8.4. Protection des zones tampons.....	68
1.8.5. Assainissement et gestion des déchets	69
1.8.5.1. Performances par sous-secteur de l'assainissement.....	70
1.8.5.2. Gestion des déchets solides	72
1.8.5.3. Gestion des polluants organiques persistants	74
CHAPITRE 2 : PRATIQUES AGROFORESTIERES DE GESTION DURABLE DES TERRES.....	81

2.1. Les spécificités éco-géographiques des systèmes agroforestiers	82
2.2. Les principaux systèmes d'utilisation du sol au Burundi.....	82
2.3. Les différentes pratiques agroforestières utilisables au Burundi.....	83
2.3.1. Les jachères améliorées	83
2.3.2. Les banques fourragères	84
2.3.3. Les haies-barrières.....	84
2.3.4. Les arbres de bordure	85
2.3.5. Les jardins de case.....	86
2.3.6. Les cultures en couloirs (Alley cropping)	87
2.3.7. Le Taungya.....	88
2.3.8. Parcs arborés (arbres dispersés)	89
2.3.9. Les microboisements familiaux.....	89
2.4. L'entretien des arbres et arbustes agroforestiers	90
CHAPITRE 3: PRATIQUES ZOOTECHNIQUES DE GESTION DURABLE.....	94
DES TERRES.....	94
3.1. Les cultures fourragères	95
3.2. La stabulation	96
3.3. Intégration agro-sylvo-zootechnique.....	96
3.4. La fauche et la conservation du fourrage	97
3.5. Pratique d'ensilage des fourrages verts	98
3.6. Le fanage	101
3.7. Régénération des pâturages	103

CHAPITRE 4 : EFFICIENCE DE L'UTILISATION DE L'EAU	105
4.1. Techniques de gestion des eaux dans l'agriculture pluviale	106
4.2. Techniques de collecte des eaux pluviales	107
4.3. Efficience de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture irriguée	107
4.4. Techniques d'irrigation	109
4.4.1. Irrigation à petite échelle	109
4.4.2. Irrigation à grande échelle	111
4.4.2.1. Irrigation par submersion	111
4.4.2.2. Irrigation par sillons	113
4.4.2.3. Irrigation par aspersion.....	115
4.5. Techniques de drainage	116
4.5.1. Principes d'assainissement des marais inondés.....	116
4.5.2. Principales méthodes de drainage	117
4.5.3. Dimensionnement d'un réseau de drainage.....	118
4.6. Lutte contre la salinité des sols arables	119
4.7. Techniques de pompage de l'eau	120
4.7.1. Les pompes à double pédale.....	121
4.7.2. Les pompes solaires.....	121
4.7.3. Les pompes à énergie éolienne.....	122
4.7.4. Pompes motorisées	124
CHAPITRE 5 : GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS	126
5.1. Le chaulage des sols acides	127

5.2. Production et utilisation du compost	129
5.3. Fertilisation des sols et des cultures	132
5.4. Placement Profond des Engrais	135
5.5. Pratiques biologiques et agricoles	136
5.6. Gestion intégrée de la fertilité des sols.....	138
CHAPITRE 6: TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT ET CONDUITE DES PEPINIERES....	142
6.1. Aménagement et conduite d'une pépinière	143
6.1.1. Récolte des semences, transport et conditionnement	143
6.1.1.1. Les observations phénologiques.....	143
6.1.1.2. Les lieux de récolte.....	143
6.1.1.3. Les semences à récolter et quand les récolter.....	143
6.1.1.4. Les techniques de récolte	144
6.1.1.5. La manipulation des semences entre la récolte et le conditionnement.....	145
6.1.1.6. Le conditionnement des semences	146
6.1.2. Traitement des semences avant le semis	146
6.1.3. Choix du site d'implantation d'une pépinière	147
6.2. Implantation proprement dite d'une pépinière	147
6.2.1. Aménagement et semis en germoirs.....	147
6.2.2. Semis direct	148
6.2.3. Aménagement des plate-bandes et confection d'ombrières	148
6.2.4. Remplissage et rangement des sachets	149
6.2.5. Repiquage.....	149

6.2.6. Gardiennage et entretien de la pépinière	149
CHAPITRE 7: AMÉNAGEMENT ET GESTION DURABLE DES FORETS.....	152
7.1. Mise en place des plants	153
7.2. Soins culturaux	153
7.3. Aménagement forestier	155
7.3.1. Inventaire.....	155
7.3.2. Plan d'aménagement	156
7.3.3. Régimes et traitements	156
7.3.3.1. La futaie.....	156
7.3.3.2. Le taillis simple	158
7.3.3.3. Le taillis sous futaie.....	159
7.3.4. Exploitation forestière	161
7.4. Gestion des aires protégées	164
7.4.1. Objectifs de gestion des aires protégées.....	164
7.4.2. Pratiques dégradantes dans les aires protégées	165
7.4.3. Stratégies de gérer de manière durable les aires protégées	165
7.5. Les techniques d'amélioration des écosystèmes forestiers	166
7.5.1. Ecosystèmes existants au Burundi	166
7.5.2. Biens et services des écosystèmes.....	166
7.5.3. Bonnes pratiques pour l'amélioration des écosystèmes	167
7.6. Gouvernance forestière.....	168
7.6.1. Gestion communautaire des boisements publics.....	168

7.6.2. Les problèmes liés à la bonne gestion des boisements.....	169
7.7. Les techniques de lutte contre la déforestation et la dégradation des forêts	169
7.7.1. La déforestation : un des problèmes environnementaux majeurs au Burundi	169
7.7.2. Les causes de la déforestation	170
7.7.3. Les conséquences de la déforestation.....	170
7.7.4. Les bonnes pratiques de lutte contre la déforestation et la dégradation des forêts	171
7.7.4. 1. La reforestation.....	171
7.7.4.2. La coupe sélective	172
7.7.4.3. La lutte contre les feux de brousse incontrôlés	173
7.7.4.4. Le feu précoce	175
7.7.4.5. Les fours de carbonisation améliorés	176
7.7.4.6. La promotion et la valorisation des énergies renouvelables.....	178
7.7.4.6.1. Le séchage et la cuisson solaire des aliments	178
7.7.4.6.2. Le chauffe-eau solaire	179
7.7.4.7. Usage des foyers à économie d`énergie : le foyer amélioré	179
7.7.4.8. L`écocertification	180
CHAPITRE 8: ADAPTATION AUX EFFETS NEFASTES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	182
8.1. Etats de lieux sur le changement climatique	183
8.2. Impacts du changement climatique	185
8.3. Bonnes pratiques d'adaptation de l'agriculture au changement du climat.....	186
8.3.1. Options d'atténuation et d'adaptation au changement climatique	186

8.3.2. Contribution prévue déterminée au niveau National, CPDN	187
CONCLUSION	190
ADOPTION ET SOUTIEN DECISIONNEL	191
ANNEXES	192
Annexe 1 : Les définitions des phénomènes de mouvement de masse	192
Annexe 2. Construction supplémentaire dans le PPI d'un forage selon le type de moteur utilisé	192
Annexe 3. Formule utilisée pour le calcul du rayon de PPR et PPE	193
Annexe 4. Impacts des décharges et mesures d`atténuation	194
Annexe 5. Contraintes et rôle potentiel de l'arbre selon le système d'utilisation du sol au Burundi	196
Annexe 6. Techniques de multiplication des arbres et arbustes agro-forestiers	197
Annexe 7. Les conditions d'exigences édapho-climatiques de chaque espèce agroforestière....	199
Annexe 8. Mise en place des graminées et légumineuses fourragères herbacées	200
Annexe 9. Les détails sur les exigences édapho-climatiques des plantes fourragères herbacées	201
Annexe 10. Calcul des quantités de chaux à appliquer	202
Annexe 11. Quelques engrais usuels	203
Annexe 12. Quelques importantes sources d`oligo-éléments	204
Annexe 13. Notions d'inventaire et d'aménagement forestier	204

Liste des Figures

Figure 1 : Campagnes du Burundi, vue aérienne	1
Figure 2 : Zones agro-écologiques du Burundi	2
Figure 3 : La rivière Gasenyi, qui a débordé en emportant de gros cailloux sur son passage	9
Figure 4 : Carte de vulnérabilité à l`érosion au Burundi	11
Figure 5 : Impact de la goutte de pluie sur le sol	12
Figure 6 : Erosion en nappe.....	12
Figure 7 : Erosion linéaire	12
Figure 9 : Dépôt des particules transportées par l`eau	13
Figure 8 : Erosion par ravinement	13
Figure 10 : Paillage en bandes du cafier à Kayanza	14
Figure 11 : Paillage de la bananeraie avec des branchages d`arbres	15
Figure 12 : Paillage du bananier associé au prunier du japon	15
Figure 13 : Mucuna pruensis utilisé comme plante de couverture	16
Figure 14 : Association du bananier et du haricot.....	17
Figure 15 : Le Calliandra calothyrsus dans un champ de cafiers à Kayanza	17
Figure 16 : Cultures en bandes du maïs et du fourrage	18
Figure 17 : Cultures intercalaires maïs /lablab	18
Figure 18 : Vue d`ensemble d`une parcelle push-pull (taille maximum : 50 m x 50 m).	19
Figure 19 : Culture du bananier sur couvert végétal	20
Figure 20 : Culture de poireaux sur couvert végétal	20
Figure 21 : les principes fondamentaux de l`AC.....	22
Figure 22 : Culture de poireaux sur couvert végétal	22
Figure 23 : champs avec des haies vives de tripsacum à Magamba/Mwaro.....	24
Figure 24 : Haie mixte de graminées et de Calliandra	24

Figure 25 : Embocagement des exploitations pour la conservation des eaux et des sols.....	25
Figure 26 : Bananeraie paillée.....	26
Figure 27 : Bande enherbée à <i>Andropogon gayanus</i> dans la région du Centre Ouest du Burkina	27
Figure 28 : Labour pour les cultures vivrières dans les aux arbres de <i>Grevillea</i>	28
Figure 29 : Plantation d` <i>Eucalyptus</i> (Muramvya).....	28
Figure 30 : Labour à plat en courbe de niveau	29
Figure 31 : Billonnage sur la culture de pomme de terre	30
Figure 32 : Billons simples et billons cloisonnés	31
Figure 33 : Plantation et sarclage en courbe de niveau	32
Figure 34 : Cordons pierreux recueillant l'eau de ruissellement et les sédiments fertiles du sol, au Niger	34
Figure 35 : Des fermiers du Burkina Faso fabriquent un cordon de pierres	34
Figure 36 : Tracé de fossés sur un flanc de colline	35
Figure 37 : Fossés enherbés et avec arbres agroforestiers.....	36
Figure 38 : Terrasses Fanya juu, avec de l'herbe à éléphant,.....	36
Figure 39 : Des terrasses Fanya juu stabilisées par des graminées, au Kenya	36
Figure 40 : Aménagement des terrasses radicales	37
Figure 41 : Travaux de construction des terrasses radicales	38
Figure 42 : culture du blé sur des terrasses de Cyungo	38
Figure 43 : Canal d'évacuation	39
Figure 44 : Ravins de Banga (Matongo)	39
Figure 45 : Fascines.....	40
Figure 46 : Aménagement avec seuils en pierres sèches.....	41
Figure 47 : Ouvrage en gabions posé dans le ravin.....	42
Figure 48 : Série de seuils en maçonnerie	43

Figure 49 : Fixation des sentiers.....	44
Figure 50 : Fixation des sentiers avec Setaria et	44
Figure 51 : Image des berges en effondrement sur la rivière	46
Figure 52 : Protection des rivières par la plantation des roseaux	46
Figure 53 : Protection des rivières par des roseaux en commune GIHOGAZI/KARUSI.....	46
Figure 54 : Rives redimensionnées et des ouvrages de dissipation sur la rivière Gihosha	46
Figure 55 : Glissement de terrain	49
Figure 56 : Mur de soutènement construit sur la route Bujumbura-Bugarama.....	49
Figure 57 : Brise-vent avec deux ou trois lignes d'arbres plantées à 5 m d'écart.....	51
Figure 58 : Extraction des carrières tout près de Kinyana (Ngozi)	53
Figure 59 : Extraction de l'argile pour la fabrication des briques (Kayanza)	53
Figure 60 : Exploitation en gradins du Coltan à Kabarore	54
Figure 61 : Croquis d'aménagement du bassin versant de Magamba (Mwaro).....	56
Figure 62 : Aménagements du bassin versant de Magamba	56
Figure 63 : Bassin versant aménagement en province Mwaro (source : FAO)	56
Figure 64 : Les marais relevant de la «propriété privée»	57
Figure 65 : Périmètre de protection immédiat	60
Figure 66 : Exemple de protection du lieu de puisage avec une dalle en béton.....	60
Figure 67 : Périmètre de protection rapproché pour une source en cas de manque total de connaissances hydrogéologiques.....	60
Figure 68 : Délimitation du PPE dans le cas de manque absolu de connaissances hydrogéologiques	61
Figure 69 : Délimitation du PPI pour les forages	61
Figure 70 : Délimitation du périmètre de PPI dans le cas d'une fracture directement drainée par le forage	62
Figure 71 : Contamination des sols et des eaux	68

Figure 72 : Les pluies torrentielles et glissements de terrain	68
Figure 73 : Creusement d'un canal de démarcation de la limite entre la zone tampon et les champs des riverains du lac	69
Figure 74 : Jachère améliorée avec <i>Desmodium intortum</i>	83
Figure 75 : Banques fourragères de <i>Penisetum cameroon</i>	84
Figure 76 : Haies d'espèces fourragères associées sur courbes de niveau	84
Figure 77 : Plantation de <i>Grevillea</i> entre des parcelles de petits exploitants utilisés pour la culture de maïs et haricots (Kenya)	85
Figure 78 : Délimitation des parcelles dans la station ISABU de Gisozi.....	85
Figure 79 : Image d'un jardin de case	86
Figure 80 : Culture de maïs en couloirs avec une légumineuse	87
Figure 81 : Cernage des racines	91
Figure 82 : Elagage.....	91
Figure 83 : Hauteur d'élagage	91
Figure 84 : Etêtage	92
Figure 85 : Emondage	92
Figure 86 : Taille sanitaire.....	92
Figure 87 : Culture fourragère de <i>Panicum maximum</i>	95
Figure 88 : Vaches laitières en stabulation permanente	96
Figure 89 : Alimentation du bétail à l'étable avec du fourrage issu des banques fourragères, compostage	97
Figure 90 : Creusement d'un silo-fosse.....	100
Figure 91 : Remplissage du silo-fosse.....	100
Figure 92 : Tassement du silo-fosse	100
Figure 93 : Formation sur la fabrication et la conservation du foin	101
Figure 94 : Bottes confectionnées	101

Figure 95 : Pâturages dégradés par surpâturages et feux de brousse/Bututsi.....	103
Figure 96 : Herbe Desho et arbres à usages multiples mis en place pour augmenter la productivité des pâturages	103
Figure 97 : Collecte des eaux pluviales pour la consommation familiale (Gasorwe, Muyinga..	107
Figure 98 : collecte et stockage de l'eau dans un petit bassin, au Rwanda	107
Figure 99 : Fossés d'infiltration permettant de conserver l'eau dans le sol	107
Figure 100 : Vue d'un fossé de rétention d'eau avec murs renforcés avec l'argile	107
Figure 101 : Vue générale de barrage de diversion sur la rivière Mpanda (zone Rukaramu)...	109
Figure 102 : Vue en amont du barrage d'irrigation sur la rivière Muyogo (zone Rukoziri à Makamba).....	109
Figure 103 : Vue du canal principal (zone irriguée de Rukaramu)	109
Figure 104 : Canal principal dans le périmètre de Rukoziri (non-revêtement et pauvrement entretenu)	109
Figure 105 : Orientation de l'eau dans un champ	110
Figure 106 : Arrosage des oignons.....	110
Figure 107 : Système d'irrigation avec bouteille, à fond découpé, retournée et enfoncee dans le sol	111
Figure 108 : Système d'irrigation au goutte-à-goutte	111
Figure 109 : Création des bassins d'irrigation.....	112
Figure 110 : Bassins d'irrigation remplis d'eau	112
Figure 111 : Vue générale des sillons	114
Figure 112 : Alimentation par tuyau	114
Figure 113 : Système d'irrigation par sillons utilisant des tubes en siphon.....	114
Figure 114 : Arrosage par aspersion.....	115
Figure 115 : Schéma d'un réseau de drainage.....	117
Figure 116 : Mode de fonctionnement d'une pompe à deux pédales.....	121
Figure 117 : Vue d'une pompe solaire	122

Figure 118 : Installations des plaques solaires	122
Figure 119 : Système de pompes à piston	123
Figure 120 : Gestion d'une composter à 3 fosses.....	130
Figure 121 : Compostage en tas des débris végétaux.....	130
Figure 122 : Compostage en tas du fumier.....	131
Figure 123 : Compostage en crib	132
Figure 124 : Fabrication des briquettes d'urée à la coopérative GIRUMWETE DUKORE	135
Figure 125 : Briquettes fabriquées	135
Figures 126 : Deux modèles d` applicateurs poussés	135
Figure 127 : Double rangées d`applicateur d'urée en granulés	136
Figure 128 : Double rangée d` applicateur de briquettes	136
Figure 129 : Pépinières d`Eucalyptus et de Grevillea couvertes d'ombrières	148
Figure 130 : Sachets remplis de terre avant leur rangement sur les plates-bandes	149
Figure 131 : Sarclage dans une pépinière.....	149
Figure 132 : une burundaise transportant du bois de chauffage	169
Figure 133 : Vente du bois de chauffage à Rukoko	170
Figure 134 : Défrichement dans une prairie	170
Figure 135 : L'extinction d'une incendie dans une plantation de pins	175
Figure 136 : Cultures frappées par la sécheresse prolongée à Kirundo	184
Figure 137 : Inondations dues au changement climatique à Gatunguru	184

Liste des tableaux

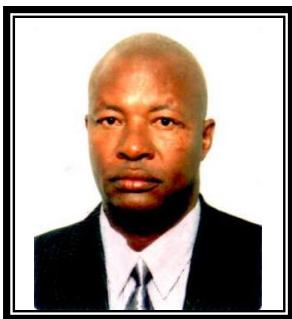
Tableau 1 : Situation de départ des ressources naturelles par zone agro-écologique au Burundi ...	5
Tableau 2 : Indices d`érosion par zone agro-écologique.....	10
Tableau 3 : Techniques de protection des sols adaptées à chaque type de terrain	13
Tableau 4 : Distance entre les haies vives.....	23
Tableau 5 : Activités interdites dans les périmètres de protection rapproché et éloigné	63
Tableau 6 : Activités à accomplir pendant la délimitation des périmètres de protection rapproché et éloigné	65
Tableau 7 : Fonctions, services et bénéfices des zones humides	66
Tableau 8 : Les performances par sous-secteur de l'assainissement	70
Tableau 9 : Information sommaire sur les technologies de remplacement des POP.....	75
Tableau 10 : Normes sur la profondeur de drainage	118
Tableau 11 : Normes de qualité de l`eau d`irrigation.....	120
Tableau 12 : Détermination des besoins en chaux	129
Tableau 13 : Recommandations actuelles de fertilisation minérale et formules en expérimentation	134
Tableau 14 : Calendrier annuel de planning des activités	151
Tableau 15 : Quelques-uns des principaux régimes de récolte et de régénération.....	160
Tableau 16 : Biens et services de l'écosystème forestier	166
Tableau 17 : Les besoins, les objectifs présentés dans la CPDN par le Burundi	188

Liste des abréviations

°C	: degré Celcius
AC	: Agriculture de Conservation
FBu	: Franc burundais
CAPAD	: Confédération des Associations des Producteurs Agricoles pour le Développement
CC	: Changement Climatique
CCNUCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CGRF	: Comités de Gestion des Ressources Forestières
COP21	: 21 ^{ème} Conférence des Parties
CPDN	: Contribution Prévue Déterminée au niveau National
DAP	: Diammonium Phosphate
DDT	: dichlorodiphenyltrichloroethane
DGHER	: Direction Générale de l'Hydraulique et des Energies Rurales
DSRP	: Documents de stratégie pour la réduction de la pauvreté
€	: Euro
EGAE	: Etats Généraux de l'Agriculture et de l'Elevage
FAO	: Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation
GDF	: Gestion Durable des Forêts
GDT	: Gestion Durable des Terres
GES	: Gaz à Effet de Serre
GGF	: Groupements de Gestion Forestière
GIFS	: Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols
GIPE	: Gestion durable de l'irrigation à petite échelle
HAP	: Hydrocarbures aromatiques polycycliques
IBN	: Initiative du Bassin du Nil
ICRAF	: International Council for Research in Agroforestry
IEC	: Information, Education, Communication
INCEN	: Institut National pour la Conservation de l'Environnement et de la Nature
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISA	: Institut Supérieur d'Agriculture
ISABU	: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
IUCN	: Union internationale pour la conservation de la nature
K	: Potassium
LVEMP	: Lac Victoria Environment Management Project
MEEATU	: Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme
MINAGRIE	: Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
MINATTE	: Ministère de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de l'Environnement
N	: Azote

OBPE	: Office Burundais pour la Protection de l`Environnement
OIBT	: Organisation internationale des bois tropicaux
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
P	: Phosphore
PCB	: Polychlorobiphénile
PCDC	: Plan Communal de Développement Communautaire
PNA	: Politique Nationale de l`Assainissement
PNM	: Plan National de la Mise en œuvre de la Convention de Stockholm
POP	: Polluants Organiques Persistants
PPI	: Périmètre de protection immédiat
PPE	: Placement Profond des Engrais
PPE	: Périmètre de protection éloigné
PPR	: Périmètre de protection rapproché
PSE	: paiements pour les services environnementaux
PVC	: Polyvinyl chloride
REGIDESO	: Régie de production et de distribution de l`eau et de l`électricité au Burundi
SAU	: Surface agricole utile
SBSTA	: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice
SCV	: Systèmes de cultures sur couverture végétale
SIG	: Systèmes d`Informations Géographiques
SPANB	: Stratégies et plans d`action nationaux pour la diversité biologique
SRDI	: Société Régionale de Développement de l`Imbo
TEQ	: Thermoform Engineered quality
USD	: Dollar américain
USLE	: Universal Soil Loss Equation
WOCAT	: World Overview of Conservation Approaches and Technologies
ZAE	: Zone agro-écologique

PREFACE



Le Burundi est un des pays les plus densément peuplés d'Afrique avec un taux de croissance démographique sans cesse croissant. Son économie est dominée en grande partie par le secteur primaire où l'activité prédominante est l'agriculture associée à l'élevage qui occupe plus de 90 % de la population et est pratiquée sur plus de 50 % de la superficie totale des terres du Burundi. Cette forte croissance démographique exerce une forte pression sur les terres et les ressources naturelles, entraînant par conséquent la surexploitation des terres agricoles, la dégradation des sols et des ressources naturelles. La dégradation des terres constituent un frein sérieux au développement économique et social du Burundi. Le pays est sujet à la dégradation imputable à des pratiques de gestion des terres non durables, à la déforestation, à la mauvaise utilisation des terres, à l'érosion, au surpâturage, aux feu de brousse répétitifs, aux perturbations climatiques, ainsi qu'à une pression démographique toujours plus galopante, etc. Les conséquences sont lourdes : pertes de notre capital « sol » par ravinement, érosion, augmentation des risques d'inondations, dégradation de la qualité des eaux de nos rivières et de nos lacs.

La région de MUMIRWA constitue la zone écologique la plus menacée. En effet, les terres sont très exploitées au maximum avec de mauvaises pratiques culturales sur des pentes assez fortes et une forte densité de la population entraîne un morcellement poussé des exploitations agricoles. *Les pertes de terres agricoles dues à l'érosion et aux ravinements liés à des pratiques agricoles inadaptées sont énormes et les charges solides des cours d'eau sont très élevées.* Les experts estiment qu'environ 150 tonnes de terres à l'hectare sont perdues chaque année, soit un décapage du sol arable d'un cm/an. Dans ces conditions, tout le sol dans certaines zones de cette région pourrait être dégradé et perdu d'ici une vingtaine d'années si de fortes mesures ne sont pas prises. Les plaines de l'Imbo et du Kumoso sont les moins érodées ; mais elles subissent le plus des contrecoups de l'érosion des autres régions sous forme notamment d'inondations et de destruction d'ouvrages d'art pour l'irrigation ou l'hydroélectricité. Les bas fonds des marais sont souvent inondés et les rivières subissent de l'envasement, ce qui diminue sensiblement le débit et favorise le développement des espèces envahissantes comme la jacente d'eau, etc.

Pour faire face à l'équation posée par la dégradation des terres, une série de techniques qui permettront de remédier à cet état de choses sont développées dans ce document notamment des techniques de lutte antiérosives, des pratiques culturales et agro forestières convenables répondant aux défis de chaque zone écologiques, des techniques d'aménagement des bassins versants et des marais sans oublier aussi la gestion efficiente des ressources en eau.

Le présent document essaie de dégager les causes profondes de la dégradation des ressources naturelles, d'identifier et de décrire les meilleures pratiques à utiliser pour faire face à cette dégradation. Néanmoins, les pratiques contenues dans ce document ne prétendent pas être exhaustives en termes de données et de collectes d'informations, ni couvrir tous les aspects de la gestion durable des terres. Elles servent de prototype pour des recueils de pratiques nationales et des autres pays. Nous insistons sur le fait que ces pratiques ne sont pas des approches descendantes ou directives, elles peuvent être améliorées ou remodelées selon les situations. Les utilisateurs sont donc encouragés à les adapter et les modifier selon les conditions, en y intégrant l'ingéniosité et leurs savoirs locaux. Ce riche et important document devra être diffusé en vue de sensibiliser toutes les parties prenantes pour renforcer la prise de conscience sur les enjeux vitaux de la gestion durable des ressources naturelles et ainsi partager les expériences sur les bonnes pratiques et en faire un bon usage pour garantir la bonne coexistence des personnes avec la nature et sauvegarder les services éco-systémiques .

Certaines techniques nécessitent des moyens constants et nous profitons de cette opportunité pour lancer un appel vibrant à tous nos Partenaires Techniques et Financiers pour accompagner notre engagement à la lutte contre la dégradation des terres et à la préservation de l'environnement qui sont les piliers du développement durable.

Je saisir également cette occasion pour réitérer les remerciements du Gouvernement à l'ensemble des acteurs, en particulier les Partenaires Techniques et Financiers au nombre desquels le Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM), le Programme des Nations Unies pour le Développement (PUND), la Banque Mondiale et le NEPAD / TerrAfrica pour la qualité de leurs contributions et de leur engagement à la mise en œuvre de notre politique de lutte contre la dégradation des terres.



RESUME EXECUTIF

Le Burundi fait face de façon très préoccupante à une dégradation continue des ressources naturelles à cause de plusieurs facteurs dont les plus importants sont : la surexploitation des terres agricoles consécutive à une pression démographique très forte, l'érosion, les feux de brousses, la déforestation, les pratiques culturales inappropriées, la mauvaise utilisation de ressources en eaux et en sols et la mauvaise affectation des terres. La dégradation continue et accélérée de l'environnement en général et des ressources foncières en particulier débouche sur la détérioration des conditions de vie des populations et la baisse des capacités de production, particulièrement au niveau du secteur agricole. En plus s'ajoute une sensibilité énorme au changement climatique.

La dégradation des terres apparaît sous différentes formes, selon le type d'utilisation des terres. Les terres sous cultures souffrent de : l'érosion hydrique et éolienne, de la dégradation physique et chimique due aux mauvaises pratiques agricoles et à l'exportation ou la perte des nutriments par différents phénomènes, de la salinisation, de la perte de la diversité biologique suite à la baisse de la matière organique du sol.

Les pâturages se trouvent dans un état fortement dégradé par la perte de la diversité de la flore, du couvert végétal et des espèces importantes pour l'alimentation du bétail. Le piétinement et la pratique du brûlis sont venus agraver la situation avec comme conséquences l'accélération des phénomènes de ruissellement et d'érosion éolienne. Certaines régions souffrent déjà de la perte de l'humidité du sol comme les régions de l'Imbo et des dépressions de l'Est.

La pression sur les ressources forestières est forte. Des réserves naturelles et des aires protégées sont en défrichement cultural continu ou subissent des feux de brousse avec de lourdes conséquences sur la conservation de la biodiversité.

L'aggravation des problèmes d'érosion sur les collines influe énormément sur la qualité de l'eau des sources et des rivières, la stabilité des berges de ces dernières, la pollution des eaux des lacs et la détérioration des caractéristiques des zones humides.

Pour faire face à cette situation, la présente étude propose aux décideurs politiques, aux scientifiques et aux utilisateurs, une série de techniques qui permettraient de remédier à cet état de choses. Des techniques de lutte anti-érosive combinant les dispositifs biologiques, structurelles ou mécaniques, des pratiques culturales et agroforestières sont développées avec une possibilité de flexibilité en fonction des situations socio-économiques des populations. L'aménagement des bassins versants grâce à la participation active des communautés permettrait une meilleure intégration agro-sylvo-zootechnique avec des impacts certes sur des pratiques

zootechniques et l'amélioration des conditions de vie des populations rurales. La gestion des marais vient combler l'insuffisance des terres sur colline.

La gestion efficiente de l'eau est au centre d'une volonté d'améliorer la productivité des terres de collines, des marais et des périmètres irrigués avec des techniques simples mais valorisant mieux la ressource eau par la méthode adéquate de transport, de distribution et de gestion au niveau de la parcelle.

Face au problème de dégradation de la fertilité des sols, la gestion intégrée de la fertilité des sols trouve une place de choix pour résoudre les questions de productivité et de production agricole en combinant les engrains minéraux et organiques, le chaulage, l'utilisation des semences de qualité, l'utilisation raisonnée des pesticides et la lutte anti-érosive. Une nouvelle technologie de Placement Profond des Engrais est proposée aux agriculteurs pour des meilleures économies agricoles.

La restauration et le développement de la ressource forestière par des meilleures pratiques de pépinière, d'aménagement et de gestion durable des forêts, la lutte contre les feux de brousse et la déforestation assurent sans nulle doute l'amélioration de la productivité des écosystèmes.

A la fin, des techniques sont proposées pour une meilleure adaptation aux effets néfastes du changement climatique.

En conclusion, la mise au point des techniques de gestion durable des terres relativement simples et réalisables par les agriculteurs et qui procurent un avantage à court terme (immédiat) est un préalable à toute action de vulgarisation. Toute technique n'est facilement vulgarisable que si elle apporte un surcroît de production et une amélioration des conditions de vie des populations bénéficiaires. Elle doit être simple à réaliser et ne doit pas être coûteuse pour sa mise en œuvre.

Pour la réussite de la mise en œuvre de ces techniques, une **adoption et un soutien décisionnel pour une transposition à grande échelle sont des conditions de réussite**. Le succès de l'adoption de la gestion durable des terres dépend d'un certain nombre de facteurs: d'abord de la disponibilité de bonnes pratiques de gestion durable des terres qui augmentent les rendements et en même temps diminuent la dégradation des terres, ensuite du fait que ces pratiques soient adaptées aux situations agro-écologiques et aux conditions socio-économiques des populations.

0. INTRODUCTION GENERALE

La forte dépendance de la population burundaise vis-à-vis des ressources naturelles entraîne une surexploitation de celles-ci provoquant ainsi leur dégradation. En fait, la dégradation des terres est généralement un phénomène complexe, dans lequel peuvent intervenir plusieurs éléments qui contribuent à la perte du potentiel agricole : l'enlèvement du sol par l'eau ou le vent, la perte de la fertilité résultant des modifications chimiques, physiques et biologiques, la perte de la biodiversité, et en particulier la biodiversité agricole à cause de la fragmentation et de la perte des habitats, de la disparition d'espèces végétales et animales et de la diversité intra spécifique (variétés et races).



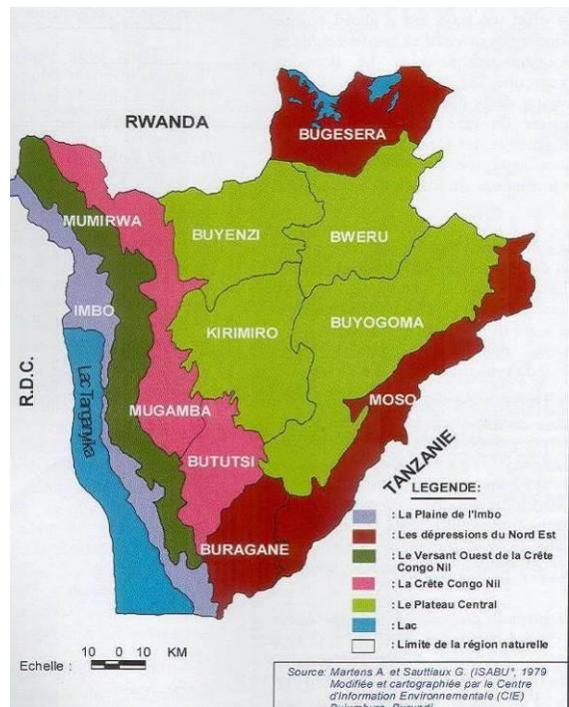
Figure 1 : Campagnes du Burundi, vue aérienne
(Photographie H.Cochet)

Cette dégradation des sols est encore accélérée par des facteurs anthropiques, notamment la déforestation (suite à l'épuisement des ressources en bois, au déboisement à des fins agricoles, à la mauvaise gestion des ressources forestières et à la mauvaise utilisation de la terre), les mauvaises pratiques culturales, la mauvaise utilisation de l'eau, la mauvaise affectation des terres, la rareté des terres, le surpâturage et le changement climatique qui exerce aussi des effets défavorables sur les moyens d'existence des populations agricoles en raison du déficit pluviométrique (sécheresse) ou de l'excès des pluies (inondation, glissement de terrain, etc.) qui compromettent la productivité et la viabilité des systèmes agricoles et d'élevage.

Le sol du Burundi perd progressivement sa fertilité suite à une dégradation grandissante due à plusieurs facteurs. Approximativement 1 million d'ha des 3 millions d'ha de sols cultivés au Burundi sont acides (pH < 5,0) ; ces sols acides requièrent un traitement particulier pour augmenter les rendements des cultures (Ntiburumusi, 1989). Selon les études récentes, la majorité des sols régulièrement en culture sont aussi déficients en phosphore (85%), en bore (90%), en soufre (71%) et en zinc (62%). La moitié des sols présentent des carences en magnésium. Les sols carencés en potassium représentent 30%. La carence en cuivre s'observe dans 13% des échantillons. La carence en calcium représente 68% des terres cultivées (ISABU et al., 2013).

L'inaction contre la dégradation des sols ouvre ainsi la spirale de pauvreté pour la population, estimée à plus de 8 millions d'habitants en 2008, déjà en situation socio-économique précaire. En outre, des variabilités climatiques liées au changement climatique, les famines récurrentes, le mouvement migratoire des populations, les inondations, l'envasement et la pollution des lacs et des cours d'eau... sont autant des conséquences liées à cette dégradation des sols.

Ces problèmes se manifestent différemment en fonction des zones agro-écologiques raison pour laquelle il est important de décrire leurs caractéristiques physiques respectives¹ :



Cinq principaux paysages burundais correspondent aux principales régions agricoles. A l'ouest du pays, la plaine de l'Imbo. Il s'agit d'un paysage constitué de petites plaines alternant avec de larges escarpements longeant le lac. La région de Mumirwa présente des crêtes étroites et des vallées engorgées où prennent naissance les rivières qui se jettent dans le lac Tanganyika en traversant la plaine. Les terres de la crête Congo-Nil situées à une altitude qui varie de 1.900 à 2.500 m, de là prennent naissance plusieurs rivières. Les plateaux centraux d'une topographie faite de sommets successifs à des vallées et des crêtes. A l'Est et au Nord-Est du pays, les dépressions orientales du Moso, du Buragane et du Bugesera. Le climat du Burundi est tropical humide influencé par l'altitude qui varie entre 773 m et 2670 m. Bref, le Burundi est subdivisé en cinq (5) régions éco-climatiques. De l'Ouest vers l'Est, on distingue :

- (1) *les terres basses de l'Imbo,*
- (2) *la région escarpée du Mumirwa,*
- (3) *la zone montagneuse (la Crête Congo-Nil),*
- (4) *les plateaux centraux,*
- (5) *les dépressions du Moso et du Nord-Est.*

La région de l'Imbo. Elle a des sols dominés par des vertisols et des fluosols. Les sols sont alluvionnaires et fertiles, riches en éléments minéraux mais pauvres en matières organiques. La végétation naturelle est composée des Hyphaenae (dans la plaine de la Rusizi), des formations forestières relictuelles (association à *Hyphaene benguillensis* var. *ventricosa*, forêt mésophile périguénne) et des formations secondaires (forêt claire à *Brachystegia*, savane arbustive à *Acacia sieberiana*, savane arbustive sous *Hyphaene*, savane herbeuse à *Brachiaria ruziziensis*, *Hyperthelia dissoluta*, *Chrysochloa hubardiana*, *Bulbine abyssinica*).

Son altitude s'inscrit entre 770 et 1000 m et s'apparente à une topographie plane ou ondulée, formé de plaines et des plateaux. Cette région regroupe la plaine de la Rusizi et les plaines riveraines du lac Tanganyika. Pour ce qui est du climat, la température moyenne est supérieure à 18°C, les précipitations moyennes annuelles sont inférieures à 900 mm, la durée de la grande saison sèche est de 4 à 5 mois. Les régimes hydrique et thermique y sont durs.

Les problèmes majeurs identifiés sont : la salinisation des terres irriguées ou irriguables, la dégradation de la réserve de la Rusizi, la dégradation des terres riveraines du lac Tanganyika, la sédimentation, l'érosion en nappe, la charge solide des cours d'eau très élevée et les vents violents.

¹ Source: Note explicative de la carte pédologique du Burundi 1/250 000^{eme}

La région du Mumirwa a des sols argileux (hygroxeroferrisol sans horozon B ferrallitique, hygroferrisol sans horizon B ferrallitique, hygroferralsol, hygroxeroferrialsol, ici et là des lithosols) dérivés des schistes micacés, fragiles, ayant une forte tendance à s'éroder en rigoles et ravines. Certains sols sont humifères et jeunes, fertiles mais sont soumis à une érosion très sévère qui cause des ravinements (filets, rigoles et ravines) et des glissements de terrains, provoquant ainsi des crues des cours d'eau, une modification des berges et des inondations dans la plaine occidentale.

Dans cette région, les terres sont très exploitées au maximum avec de mauvaises pratiques culturales sur des pentes fortes (paysage accidenté de manière générale) et une forte densité de la population qui entraîne un morcellement poussé des exploitations agricoles. Les terres sont fertiles malgré l'agressivité de l'érosion.

La végétation est constituée de formations naturelles relictuelles (bambousaie à *Arundinaria*, forêt ombrophile de montagne) et des formations secondaires (forêt claire à *Brachstegia*, ...). La température moyenne est de 18°C et l'altitude varie de 1000 à 1250 m.

Les problèmes majeurs identifiés sont: les pertes de terres agricoles dues à l'érosion et au ravinement suite à de mauvaises pratiques agricoles sur fortes pentes, la charge solide des cours d'eau très élevée, le sol devenu progressivement acide suite à l'érosion. La végétation naturelle est en continuelle dégradation.

La région de la crête Congo-Nil (Mugamba et Bututsi) possède des sols dominés par des ferralsols humifères et des kaolisols humifères à horizon sombre. On y observe une disparition de la forêt ombrophile de montagne conquise pour des causes de l'agriculture ; avec pour conséquence la disparition de l'horizon humifère. Les sols se dégradent rapidement et s'appauvrisent et souffrent de l'acidité et de la toxicité aluminique. Les terres agricoles sont exigües, peu fertiles et des phénomènes d'érosion sur des terres non couvertes par la végétation s'y observent. Le relief est légèrement à faiblement accidenté quelquefois vallonné.

La végétation naturelle est constituée de formations relictuelles (forêt ombrophile de montagne, Bambousaie à *Arundinaria alpina*) ; et de formations secondaires (savane arbustive à *Hyparrhenia diplandra* et *Pteridium aquilinum* et une savane à *Exotheca abyssinica*, évoluant vers une pâture à *Eragrostis* et *Loudetia simplex*). La température moyenne est inférieure à 18°C et l'altitude est comprise entre 1750 à 2600 m.

Les problèmes majeurs identifiés sont : la perte majeure de pâturages due à l'érosion et au surpâturage, la chute de la fertilité des sols due à l'acidité et à la toxicité aluminique, la dégradation de ressources forestières de la Kibira. Les cours d'eau emportent peu de charge solide.

La région des plateaux centraux connaît des sols à majorité constitués de ferralsols. Les sols des collines ont une fertilité variable, en baisse constante à cause de la surexploitation, de l'érosion et

des mauvaises pratiques agricoles. Les sols des collines s'acidifient progressivement suite à un usage excessif d'engrais chimiques non combinés à la matière organique et la structure du sol est complètement détruite. La densité de la population y est très élevée.

La région possède des grands marais souvent mal drainés et leurs bassins versant ne sont pas aménagés. Les sols alluvionnaires de fonds de vallées qui étaient au départ riches sont actuellement pauvres : l'érosion venue des collines ayant amené des alluvions acides, les marais deviennent aussi acides à leur tour. Les cultures anciennes des marais sont remplacées par des cultures de collines notamment la patate douce.

La végétation naturelle a presque disparu, sauf quelques formations secondaires ici et là (la savane boisée à Acacia, la forêt claire à Brachystegia, une savane secondaire à Andropogonées dans le Buyogoma et une savane boisée à Acacia dans le Bweru).

L'altitude s'abaisse progressivement de l'ouest vers l'est et du sud vers le nord. La température moyenne oscille autour de 18°C. La partie occidentale est caractérisée par un ensemble de sommets culminant aux environ de 2000 m et un second niveau situé vers 1800 m. Elle est parcourue par un grand réseau hydrographique provoquant une dissection importante du paysage et donnant naissance à des collines de formes allongées, parcourues par des vallées en auge qui s'élargissent pour former des grands marais. La partie orientale est constituée de longs plateaux, situés entre 1700 et 1800 m et séparés de larges vallées marécageuses. Des plis de roches dures sont mis à nu par une érosion différentielle. Sur des plateaux, des filons quartzitiques, des couches dures latéritiques ont l'aspect d'une véritable cuirasse où des nappes de gravillons latéritiques affleurent. Au nord, une zone d'altitude inférieure à 1500 m qui est occupée par des vallées larges et marécageuses.

Les problèmes majeurs identifiés sont : la diminution de la fertilité des sols et des rendements, les pertes modérées de terres agricoles due à l'érosion et l'assèchement des marais, la perte de la matière organique et des nutriments dans le sol due à la surexploitation, l'acidification progressive des terres due aux mauvaises applications des engrais. La charge solide des cours d'eau est très élevée.

La région du Moso et les dépressions du Nord-Est. Cette région connaît des sécheresses répétitives, prolongées et souffre beaucoup de la famine plus que les autres régions.

La région du Moso possède des sols ferralitiques rouges, des concrétions ferrugineuses et une faible épaisseur des sols sur lesquels se développe une végétation de savanes et de forêts claires. Elle connaît une forte migration entraînant des coupes rases et une surexploitation des terres. Le bilan hydrique est en diminution alors qu'il n'y a pas d'apport de compensation de la nappe phréatique. Le labour répétitif accompagné de feux de brousse entraîne l'assèchement de la région. Ainsi le drainage agricole systématique dans les marais de la Malagarazi et ses affluents peut être

à l'origine des pertes énormes et irréversibles des terres recherchées et finalement de la sécheresse prolongée.

La végétation est constituée de formations secondaires (forêt claire à *Brachystegia* avec peuplement de bambous à *Oxytenanthera abyssinica*, savane arbustive à *Hyparrhenia diplandra* et *Pteridium aquilinum*, savane arbustive à *Acacia sieberiana* à strate herbacée dominée par *Pennisetum purpureum* et *Panicum maximum*, savane à *Exotheca abyssinica* évoluant vers une pâture à *Eragrostis racemosa*, *Hyparrhenia bracteata* et *Loudetia simplex*. L'altitude 1100 à 1400 m et la température moyenne supérieure à 18°C.

Les dépressions du Nord-Est. La disparition de la végétation naturelle xérophile adaptée aux conditions d'aridité et de sécheresse a abouti à des pelouses nues ou à des sols impropre à l'agriculture. Le recours aux terres des marais risque aussi de provoquer l'assèchement. Les dépressions sont occupées par des lacs et des vallées marécageuses.

La végétation est constituée de formations secondaires : la savane boisée à *Acacia sieberiana* et *Polyacantha* et la forêt claire à *Brachystegia*. L'altitude varie de 1300 à 1700 m et la température moyenne annuelle est supérieure à 18°C.

Les problèmes majeurs identifiés sont : la diminution de l'humidité du sol dû à l'allongement de la saison sèche et la dégradation des zones protégées.

La situation de départ des ressources naturelles par zone agro-écologique au Burundi est présentée dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Situation de départ des ressources naturelles par zone agro-écologique au Burundi

Zones agro-écologiques	Principal problème	Priorité pour la gestion
Plaines occidentales	Salinité et vents violents	Amélioration de la gestion de l'eau d'irrigation et installation des brise-vents
Escarpe-ment occidental	Pertes en terres dues à l'érosion	Lutte anti-érosive et amélioration des pratiques culturales
Crête Congo-Nil	Surpâturage, érosion, infertilité et acidité des sols	Amélioration des pâturages, lutte anti-érosive, reboisement, correction de l'acidité et de la toxicité aluminique
Plateaux centraux	Baisse de la fertilité des sols, acidité et surpâturage	Intégration agro-sylvo-zootechnique, correction de l'acidité, fertilisation des sols, réhabilitation des zones des bas-fonds cultivés et amélioration des pâturages
Dépressions orientales et du Nord-Est	Manque d'humidité et vents violents	Amélioration du couvert végétal (coupe-vent), introduction des techniques de gestion et de récupération de l'eau

Par conséquent, la sensibilisation de la population doit s'attaquer aux causes profondes de la dégradation des ressources naturelles. Il faudra identifier et décrire les bonnes pratiques à utiliser

pour lutter contre cette dégradation, diffuser l'information et sensibiliser toutes les parties prenantes pour renforcer la prise de conscience sur les enjeux vitaux de la gestion durable des ressources naturelles, partager les expériences sur les bonnes pratiques et en faire un bon usage.

La gestion durable des terres représente le soin que les gens prennent de leurs terres pour le moment et l'avenir de leur progéniture. L'objectif est d'harmoniser à long terme le coexistence des personnes avec la nature, afin que les services écosystémiques soient assurés. La gestion durable des terres se focalisera sur l'amélioration de la productivité tout en s'adaptant au contexte socio-économique et au changement climatique et en prévenant la dégradation des ressources naturelles. Pour avoir une productivité durable, quelques principes sont à respecter dont notamment: la conservation et la protection des ressources en eaux et en sols, la conservation des ressources génétiques et de la biodiversité, l'aménagement durable des espaces ruraux et la lutte contre la déforestation. Les techniques pour arriver à gagner ce pari sont décrites dans les chapitres qui viennent.



CHAPITRE 1: TECHNIQUES DE LUTTE ANTI-EROSIVE



Ce chapitre traite de la lutte antiérosive comme outil de l'agriculture durable. Il revient sur les bonnes pratiques de lutte contre l'érosion hydrique (les dispositifs biologiques, les pratiques agricoles de conservation des sols, les ouvrages mécaniques, les aménagements des pentes fortes etc.), la correction des ravines, la lutte contre l'érosion des berges, l'érosion en masse et l'érosion mécanique. Seront aussi traités : l'érosion éolienne, la restauration des zones exploitées pour des carrières et mines, l'aménagement des bassins versants et des marais ainsi que certains aspects de gestion protectrice des eaux et des sols.

Définition. Erosion du sol = détachement, transport du sol par : (i) l'eau, (ii) le vent, (iii) la gravité et dépôt des particules transportées. L'érosion est l'ensemble des phénomènes qui concourent à la destruction des roches superficielles et au transport des produits de dégradation qui en résultent. L'érosion peut être : **physique** (comme par exemple la dégradation mécanique par les eaux, le vent, le travail de l'homme...) ou **chimique** (qui correspond à une altération des constituants chimiques des roches par les eaux et les substances qui y sont dissoutes).

L'érosion des sols est peut être classée en : érosion hydrique, érosion en masse, érosion éolienne et érosion mécanique.

(i) L'érosion hydrique comprend d'une part l'érosion pluviale de surface en nappe, en rigole ou en ravine, et d'autre part l'érosion des berges qui est causée par les rivières et les cours d'eau suite à l'augmentation du ruissellement dans un bassin versant et à la hausse des débits instantanés des émissaires. L'érosion hydrique est un facteur de transport à plus ou moins longue distance des polluants des sols et des eaux (dont les pesticides agricoles et autres déchets).

(ii) L'érosion en masse (une autre forme d'érosion hydrique). Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement aux lignes de drainage du versant, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. On attribue à l'érosion en masse tout déplacement de terre selon des formes non définies, comme les mouvements de masse, les coulées de boue, les glissements de terrain...

(iii) L'érosion éolienne est le phénomène de dégradation du sol sous l'action du vent qui arrache, transporte et dépose des quantités importantes de terre en fonction de la vitesse du vent. Au Burundi, elle entraîne la dessiccation des horizons superficiels et la verse des cultures.

(iv) L'érosion mécanique sèche est un processus (arrachement + transport + dépôt) sans intervention de l'eau, très peu quantifié, qui par gravité et par simple poussée des instruments aratoires, décape les horizons superficiels des hauts de pente et des ruptures de pente, pousse ces masses de terre vers le bas de la toposéquence où elles s'accumulent soit en talus, en bordure de parcelles, soit en colluvions concaves de texture peu différente des horizons d'origine.

1.1. Lutte contre l'érosion hydrique



Figure 3 : La rivière Gasenyi, qui a débordé en emportant de gros cailloux sur son passage
(source : journal IWACU)

L'érosion hydrique est définie comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. La pluie (hauteur, intensité, fréquence) et le ruissellement superficiel sont à l'origine du splash, du transport et du dépôt de la terre enlevée. L'arrachage est dû à la fois aux gouttes d'eau par rejaillissement et aux eaux de ruissellement et le transport est assuré par ces eaux. D'une manière globale, la vitesse de l'eau est le paramètre prépondérant de l'action du ruissellement superficiel. La figure 1.1 montre la rivière Gasenyi qui a débordé en emportant de gros cailloux sur son passage.

1.1.1. Facteurs de l'érosion hydrique²

Quatre facteurs principaux influencent l'érosion : le sol, la topographie, le couvert végétal et les techniques culturales. L'état structural de la surface du sol au moment de la pluie, va, par l'intermédiaire de la vitesse de filtration, commander la quantité d'eau infiltrée, donc la proportion du ruissellement. La porosité du profil et plus spécialement celle des niveaux les moins perméables, commande la perméabilité et la possibilité de stockage d'eau du sol. La perte en terre annuelle augmente avec le ruissellement, mais aussi avec l'indice d'instabilité de la structure et les produits entraînés sont de plus en plus fins quand la stabilité se dégrade. Le ruissellement et l'infiltration entraînent avec eux les particules du sol et les éléments chimiques en solution, utiles pour la nutrition végétale.

Le ruissellement s'accroît avec l'augmentation de la pente. Le couvert végétal a un effet direct (l'écran des feuilles atténue ou annule l'énergie cinétique des gouttes de pluie) et un effet indirect (la liaison entre végétation et taux de matière organique du sol, facteur de la stabilité structurale, de la capacité de rétention et de la capacité d'échange). Le travail du sol brise la pellicule superficielle du sol, résultat du **glaçage** et tend donc à diminuer le ruissellement. Mais aussi le travail du sol accroît la **détachabilité** des particules et rend leur entraînement plus facile.

L'étude des facteurs de l'érosion hydrique a abouti à l'élaboration de l'équation universelle des pertes en terres (USLE) par WISCHMEIER et SMITH (1958). Elle a la forme suivante :

A = R*K *LS* C* P (avec A: Perte en terres; R: agressivité ou érosivité des pluies; K: érodibilité du sol;

L : Indice de longueur de la pente; S: Indice de déclivité de pente; C : indice cultural, facteur agronomique ou de couvert végétal; P : indice des pratiques antiérosives).

² Précis de pédologie par P. DUCHAUFOUR avec la collaboration de M.BONNEAU, F.JACQUIN, B. SOUCHER

1.1.2. Risques d'érosion hydrique au Burundi

Plusieurs études ont été menées au Burundi pour évaluer les facteurs R (érosivité) et K (érodibilité) de l'équation de Wischmeier. Ces études ont permis d'établir une carte d'érosivité qui montre que, dans le cas du Burundi, ce facteur varie de 300 à 550 selon le type de climat.

Ces mêmes études ont montré que les sols burundais résistent bien à l'érosion avec des indices K généralement inférieurs ou égaux à 0,15. Le facteur d'érosion qui détermine le plus les pertes en terre est la pente. En effet, celle-ci peut atteindre des valeurs de 20% ou plus sur des pentes de 60 m de déclivité \geq à 50%.

L'autre phénomène responsable de l'augmentation du processus d'érosion est la disparition de la végétation naturelle dont $C \leq 0,01$ et son remplacement par des cultures ayant des indices compris entre 0,1 et 0,7.

L'estimation des différents indices par région naturelle est présentée dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Indices d'érosion par zone agro-écologique

Région naturelle	R	K	LS	C/végétation naturelle	C/culture	A végétation Naturelle (T/ha)	A culture (T/ha)
Imbo	350	0,070-0,14	0,6-1	0,01	0,1-0,7	0,15-0,5	1,5-34,3
Mirwa	475	0,070-0,14	1,1-21	0,001	0,1-0,7	0,04-1,4	3,7-977,6
Crête Congo-Nil	550	0,070-0,14	1,1-21	0,001	0,1-0,7	0,04-1,6	4,2-1131,9
Plateau central	475	0,070-0,14	1,1-8,3	0,01	0,1-0,7	0,4-5,5	3,7-386,4
Dépressions du Nord	350	0,070-0,14	0,6-2,5	0,01	0,1-0,7	0,15-1,93	1,5-85,8
Dépression de l'Est	550	0,070-0,14	0,6-2,5	0,01	0,1-0,7	0,24-1,93	2,3-134,8

Source : RISHIRUMIRWA, T., 1997

Le tableau 2 et la carte ci-dessous montrent que le Burundi est soumis à une érosion hydrique liée essentiellement au climat pluvieux et à l'importance des pentes (déclivité et longueur). Les régions les plus exposées sont celles qui accusent le facteur pente le plus élevé.

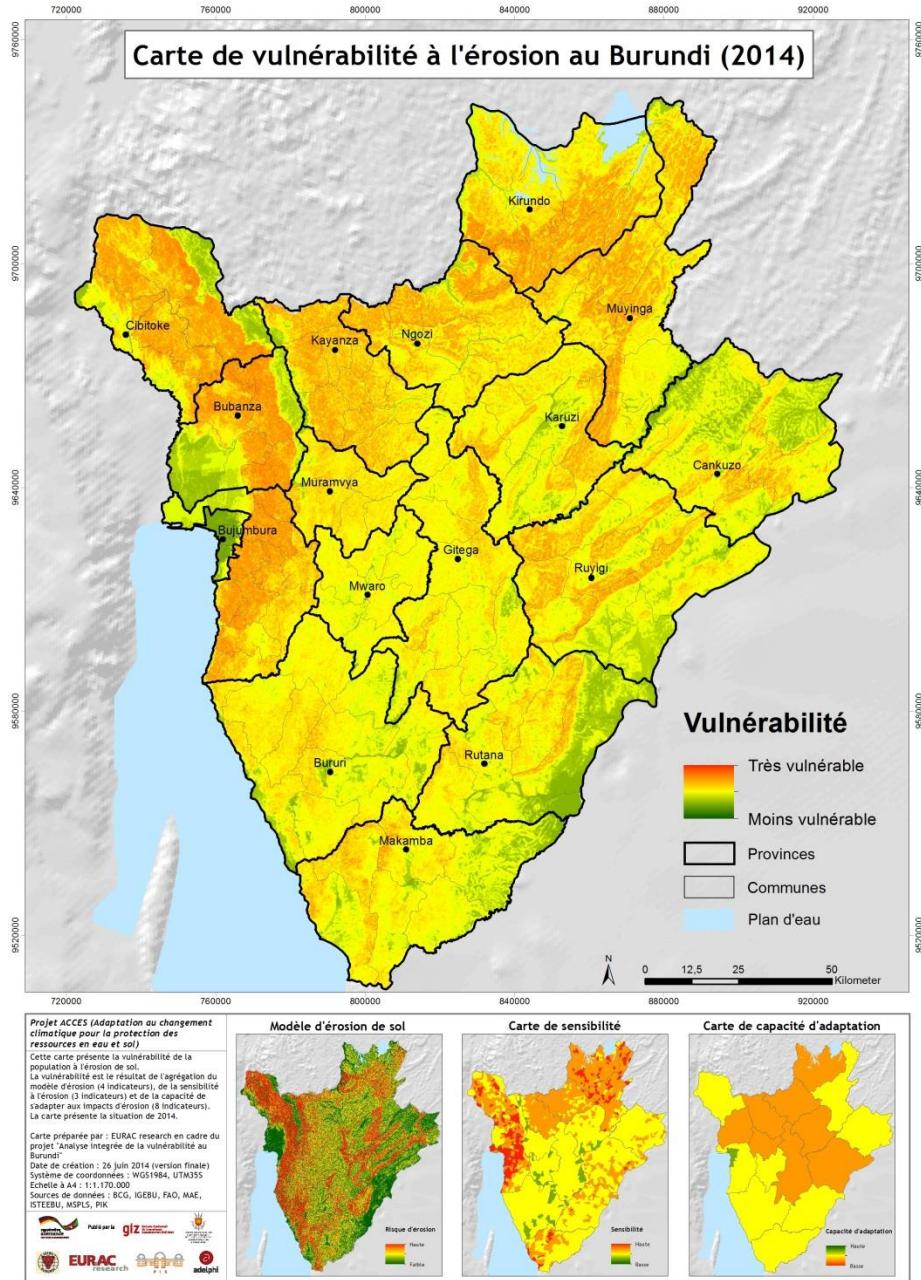


Figure 4 : Carte de vulnérabilité à l'érosion au Burundi
(source : projet ACCESS –GIZ)

1.1.3. Types d'érosion hydrique³

Nous avons déjà évoqué les pertes dues à l'entraînement par infiltration ou ruissellement des éléments chimiques en solution. En ce qui concerne les effets mécaniques de l'érosion hydrique. On peut distinguer :

³ Précis de pédologie par P. DUCHAUFOUR avec la collaboration de M.BONNEAU, F.JACQUIN, B. SOUCHER

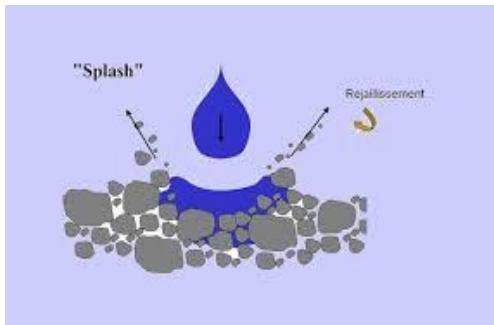


Figure 5 : Impact de la goutte de pluie sur le sol
(source: ma.auf.org)



Figure 6 : Erosion en nappe
(source : **Salvator KABONEKA**)



Figure 7 : Erosion linéaire
(source : **Salvator KABONEKA**)

Le splash (fig.5). Les sols subissent un martèlement causé par les gouttes de pluie. Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément qu'il est meuble et que sa porosité est élevée. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassemement du sol. Lorsque la couche superficielle s'humidifie, trois processus se développent simultanément : la dégradation de la structure, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par splash ou érosion par rejaillissement toujours plus fort vers l'aval. Pour le limiter, il faut un écran entre la pluie et le sol : une couverture végétale, un cailloutis, un paillis.

2. L'érosion en nappe et érosion en feuillets ou « sheet erosion » (fig.6). L'érosion en nappe est liée à 2 mécanismes : le détachement des particules de terre causé par le choc des gouttes de pluies; le ruissellement lorsque l'intensité de la pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltation. Un mélange d'eau et de terre coule comme une nappe le long de la pente. Elle se crée par un enlèvement progressif de la couche superficielle de la terre d'un terrain en pente. Elle est uniforme sur une surface donnée, sans apparition de rigoles. Cette forme d'érosion est caractéristique des sommets des bassins versants. En bas des bassins versants, il y a accumulation.

3. L'érosion linéaire (micro-channel ou Rill erosion) (fig.7). Aussi nommée érosion en griffes. L'eau emprunte des petites rigoles, qui prennent de l'importance et se creusent, le versant se marque de griffes. Ces rigoles, en V ou en U, se creusent vers la base du versant. Elles peuvent dépasser 20 cm de profondeur. La correction de ces petits canaux est possible par des pratiques culturelles.



Figure 8 : Erosion par ravinement
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)



Figure 9 : Dépôt des particules transportées par l'eau
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)

4. L'érosion par ravinement (Gully erosion). Il y a apparition de canaux ne pouvant pas être réhabilitées par des opérations culturales classiques. C'est la forme la plus visible de l'érosion. L'érosion en ravines se manifeste au-delà de l'érosion en rigoles par un creusement profond des terres allant jusqu'à la roche-mère (fig.8). L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente : « érosion régressive ». Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en « badlands » et causer également la sape d'ouvrages (ponts, radiers, digues filtrantes,...) lorsque l'aménagement des ravines n'est pas prolongé suffisamment en aval.

5. La sédimentation. Les particules arrachées aux terres se disposent entre le lieu d'origine et les rivières en fonction : de leur dimension, de leur densité, de la capacité de transport du ruissellement ou de la rivière. Les particules se déposent dans l'ordre suivant : sable grossier, sable fin, limon. Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où ils se déposent soit après évaporation de l'eau soit après floculation. La figure 9 montre le dépôt des particules transportées par l'eau.

1.1.4. La lutte contre l'érosion hydrique, un outil de gestion durable des terres

L'amélioration de la disponibilité de l'eau pour la croissance des plantes en vue d'augmenter leurs rendements agricoles passent notamment par l'optimisation de l'infiltration de l'eau de pluie tout en réduisant l'érosion de surface.

La conservation des sols repose d'une part sur l'utilisation rationnelle des terres en fonction de leur aptitude et d'autre part sur l'application de procédés de lutte contre l'érosion. Le Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage a défini, en fonction de la pente du terrain, des techniques de protection des sols adaptées à chaque type de terrain comme c'est indiqué dans le tableau 3.

Tableau 3 : Techniques de protection des sols adaptées à chaque type de terrain

Pentes	Techniques de protection
0 – 2%	Haies vives et billons
2 – 6%	Haies vives + fossés anti érosifs
6 – 25%	Terrasses radicales
25 – 55%	Terrasses radicales avec des moyens consistants
Supérieures à 55%	Reboisement

Source: Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, 2010

L'application du principe de conservation des sols doit se baser sur les fonctions suivantes: (i) la fonction '**filtre**', (ii) la fonction '**rétention en eau**', (iii) la fonction '**source de nutriments**', (iv) la fonction **paysagère** (modification progressive du paysage) et (v) la fonction '**tampon pour les crues**' (forcer l'eau ruisselante à déposer sa charge).

Le choix des techniques antiérosives se base sur les principes généraux suivants : (i) choisir des aménagements à faibles coûts et rentables (suivant l'étendue du problème, on privilégie les actions légères ou les investissements lourds) ; (ii) progressivité des aménagements (il est préférable d'aménager un secteur progressivement pour pouvoir corriger des erreurs éventuelles par la suite); (iii) traiter en priorité les parcelles agricoles (seuls ces secteurs présentent un intérêt économique immédiat pour le monde rural et peuvent les motiver à entretenir les investissements). Le traitement des parcelles agricoles une fois achevés, rend plus aisée la lutte contre l'érosion à l'aval en diminuant considérablement les volumes d'eau ruisselés.

Les techniques de lutte contre l'érosion hydrique peuvent être de plusieurs types : biologiques, culturales ou mécaniques.

1.1.4.1. Les dispositifs biologiques

Le paillage (mulching). Les objectifs du paillage sont de protéger la surface du sol contre l'impact destructeur des agrégats du sol par les gouttes d'eau de pluie (effet splash) et de conserver l'humidité du sol par réduction de l'évaporation. Il permet également de récupérer des terres dégradées à des fins d'usage agronomique par apport de la matière organique au sol.



*Figure 10 : Paillage en bandes du caféier à Kayanza
(source : ISABU)*

Il consiste à recouvrir les interlignes d'une couche de 10 à 20 cm de matière végétale mortes provenant de la culture principale ou d'autres végétaux comme d'herbes de savanes. Nous pouvons également couvrir toute la surface si le problème de paillis ne se pose pas. Il est particulièrement efficace pour créer un environnement favorable au développement des cultures. La source doit être proche des parcelles traitées. Les conditions de mise en œuvre sont les suivantes: disposer de végétaux ou de résidus de végétaux ; pailler (25.000 à 30.000 kg/ha de sol à couvrir de 5 à 10 cm d'épaisseur) avec des feuilles d'arbres, glumes et glumelles de riz, herbes sèches sauvages ou cultivées (Brachiaria, Stylosanthes...), tiges de sorgho, palmes, etc. ; disposer du petit équipement (brouette, fourche...).

Le paillage peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs. Auparavant seules les parcelles de cafériers étaient paillées de façon obligatoire (fig.1.8). La principale source de paillis était la bananeraie et dans une moindre mesure les jachères d'*Hyparrhenia* sp. Actuellement, certaines cultures telles que les bananiers, les ananas, les pruniers du japon et les légumes... sont également paillées de temps à autre (fig.11

et 12). Les travaux de recherche⁴ réalisés à Kanyosha et à Rushubi dans la région du Mumirwa ont montré que d'autres cultures peuvent être paillées (manioc, maïs, haricot....). Pour ces cultures annuelles sarclées l'important est d'utiliser une faible couche de paillis et du matériel bien sec pour éviter la reprise et la pullulation de mauvaises herbes. Techniquement on laissera les déchets (secs) végétaux et / ou de labour sur la parcelle en les étalant sur toute la surface si possible et on sème dedans. Mais lorsqu'on en dispose qu'en petite quantité, on se contentera de les rassembler sur bandes peu espacées, perpendiculairement à la pente.



Figure 11 : Paillage de la bananeraie avec des branchages d'arbres
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)



Figure 12 : Paillage du bananier associé au pruner du japon
(photo réalisée par Angelo KAMANA)

Avantages et impacts. Le paillage est favorable à la conservation du sol par ses actions: (i) mécaniques : diminution de l'énergie des gouttes d'eau et de la vitesse de ruissellement, protection du sol lors des fortes pluies et limitation des éclaboussures de terre sur les plants ; (ii) biologiques, physiques et chimiques : apport au sol de la matière organique, création d'un environnement favorable au développement de la vie biologique du sol, protection contre les radiations solaires et l'excès d'insolation altérant la microflore et accélérant l'oxydation de la matière organique et la libération des éléments nutritifs ; (iii) le paillage apporte aussi, sous épaisseur suffisante, une réduction de la pénibilité du travail par la limitation des opérations de sarclage et de binage par son obstacle au développement de mauvaises herbes ; (iv) dans les dépressions de l'Est et du Nord-Est, le paillage stimulerait l'activité des termites. Ces derniers vont casser la croûte superficielle du sol en creusant des galeries sous le paillis. Il en résulte un ameublement du sol et une augmentation de sa porosité qui permettent une meilleure infiltration de l'eau.

Contraintes: (i) la fauche et la collecte de la paille exigent une main-d'œuvre importante ; (ii) il se crée une compétition entre les autres utilisations de la paille; (iii) il existe une faible disponibilité de la paille dans certaines zones ; (iv) si on apporte des plantes ayant fructifié, les mauvaises herbes risquent de pousser.

⁴ Séminaire National sur l'érosion au Burundi. ISABU, 1992

b. Couverture vivante. L'objectif est de réduire la susceptibilité du sol à l'érosion. Elle comporte un maximum d'occupation du sol par la végétation dans le temps et dans l'espace (intérêt lors des fortes pluies) et représente une technique d'amélioration du stock d'humus.



Figure 13 : Mucuna pruensis utilisé comme plante de couverture
(source : ISABU)

Cette approche de lutte contre l'érosion consiste à la mise en place des cultures de couverture vivante par semis direct dans le champ (fig.13) ou installation dans les interlignes d'une plante de densité variable. La couverture est complète ou seulement partielle et facilite les travaux. Le recouvrement de végétation naturelle peut être suffisant.

En général ce sont des plantes améliorantes : légumineuses fixatrices d'azote, graminées ou les deux associées. Ces plantes peuvent être permanentes ou temporaires.

La pratique de couverture vivante peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs. Elle est fortement conseillée dans les plantations pérennes (palmeraies, les cafétiers,...) et même les plantations saisonnières comme le maïs.

Avantages et impacts. La plante de couverture est favorable à la conservation du sol par ses actions:

(i) mécaniques : fixation du sol par les racines, protection des agrégats contre l'impact des gouttes de pluie et obstacle au ruissellement ; (ii) biologiques et chimiques : apport au sol de la matière organique par la décomposition des feuilles qui tombent, création d'un environnement favorable au développement de la vie biologique du sol, libération des éléments nutritifs et fixation de l'azote atmosphérique; (iii) les plantes de couverture constituent une source d'aliments pour le bétail et le paillage.

Contraintes. Il y a risque de concurrence pour l'eau avec les autres plantes. Il existe une faible disponibilité des semences des plantes de couverture.

c. Associations des cultures. Les objectifs poursuivis sont: (i) optimiser l'utilisation de l'espace de culture ; (ii) améliorer la production en qualité et quantité; (iii) diversifier les productions et sécuriser le revenu. Les figures 14 et 15 illustrent ces associations.

La pratique d'associations culturales peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Avantages. Cette pratique permet la valorisation optimale des surfaces agricoles et favorise les complémentarités entre les plantes cultivées. Les associations des cultures assurent une meilleure protection de la surface, mais aussi les cultures ont des cycles végétatifs parfois différents, d'où une protection plus longue.

Inconvénients. Il y a risque de concurrence entre les cultures. Les associations les plus intéressantes sur le plan agronomique sont celles qui, au niveau de l'espace aérien et de l'espace souterrain, valorisent des complémentarités et limitent les concurrences entre les espèces cultivées pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs.



Figure 14 : Association du bananier et du haricot
(source : ISABU)



Figure 15 : Le Calliandra calothrysus dans un champ de caféiers à Kayanza
(source : ISABU)

Il existe différents types d'associations culturales selon les caractéristiques des plantes et leurs complémentarités dans la mobilisation des nutriments du sol et de l'eau, leur développement dans l'espace (aérien et souterrain) et leur capacité à interagir fig.14 et 15).

c₁. Cultures en lignes ou en bandes alternées: mélange de plusieurs cultures qui se développent en même temps avec un arrangement spécifique en lignes ou bandes alternées. La figure 16 montre une culture en bandes du maïs et du fourrage.



Figure 16 : Cultures en bandes du maïs et du fourrage

(source : agrinarchiv)

c₂. Cultures intercalaires et les cultures couvre-sol: plantation d'une culture à cycle court sous couvert ou entre la culture principale (fig.17: cultures intercalaires maïs /lablab). La culture intercalaire et les cultures couvre-sol sont des pratiques qui augmentent la diversité du système cultural et améliorent l'utilisation des ressources comme la lumière, la chaleur et l'eau. Ces pratiques peuvent également contribuer à éliminer les mauvaises herbes et multiplier les chances de pouvoir réduire l'application d'herbicides dans le système cultural. A défaut de quoi, dans les systèmes biologiques ou autres sans herbicides, la culture intercalaire et les cultures couvre-sol peuvent atténuer les risques de pertes de rendement et assurer la stabilité du système.



Figure 17 : Cultures intercalaires maïs /lablab

(source : ISABU)

c₃. Association avec des plantes satellites : présence de quelques pieds d'une ou plusieurs cultures particulières au milieu d'une culture principale ou à sa périphérie. Cette configuration est adaptée pour insérer des plantes pièges. Par exemple : association du maïs et du desmodium avec du napier à la périphérie pour piéger les papillons (fig.18).

Les avantages de cultures en bandes alternées sur des pentes sont les suivants:

- Tout l'espace est occupé de plus en plus;
- Il y a moins de besoin d'améliorations foncières (fossés et les bandes anti-érosives ...) et donc prennent moins de terres;
- L'agriculteur est prêt à cultiver certaines bandes avec peu de besoin de contrôle de l'érosion en raison des bandes adjacentes qui sont bien protégées;
- Tout sol déplacé par l'eau de ruissellement est toujours retourné sur des bandes.

On peut aborder la culture intercalaire sous deux angles :

- Deux ou plusieurs espèces cultivées ensemble afin de maximiser le rendement total de tous les éléments intercalaires.
- Une culture principale avec une ou plusieurs cultures secondaires semées sous couvert pour éliminer les mauvaises herbes, maîtriser l'érosion, fixer l'azote, etc., afin de maximiser le rendement de la culture principale.

Mise en place : la plante au cycle le plus court est semée entre les rangs de la plante au cycle plus long, espacée normalement. Les semis doivent avoir lieu en même temps.



Figure 18 : Vue d'ensemble d'une parcelle push-pull (taille maximum : 50 m x 50 m).
(source : ICIPE)

Le système push-pull améliore la productivité du maïs par l'élimination du striga suite à l'association avec le desmodium et permet de produire toute l'année un fourrage de qualité. Le Desmodium émet un produit qui chasse les papillons (mères des chenilles foreuses) du champ de maïs. Ceux-ci quittent le champ et sont piégés sur les feuilles du napier où ils pondent des œufs qui sont à leur tour collés par une matière gluante. Il améliore aussi la fertilité du sol, protège les sols fragiles de l'érosion et permet de réduire au minimum les travaux du sol.

Mise en place : respecter les écartements de la culture principale.

d. La rotation des cultures. Lorsque plusieurs espèces cultivées se succèdent sur un même champ, chacune exploite la fertilité du sol à sa façon. Les unes exploitent les sols plus profondément que les autres et les nourritures puisées sont différentes. Les céréales (enracinement fasciculé) explorent les couches les plus supérieures et les légumineuses (à enracinement pivotant) utilisent un volume situé un peu plus bas et les ligneuses pérennes explorent les couches profondes du sol.

Le choix des cultures se fait en fonction des besoins et des objectifs de l'agriculteur, mais aussi en tenant compte des pratiques culturales, telles que le travail du sol et le contrôle des mauvaises herbes par sarclage ou herbicides. Il est possible de faire alterner des familles différentes, telles que céréales, légumineuses, oléagineux... On peut également alterner des espèces semées en saison A et saison B. Le choix est souvent fait en fonction des risques de transmission des maladies et de la pression des insectes ravageurs. Ainsi, il est déconseillé de faire suivre du maïs par du blé en raison des risques de fusariose. Le choix peut aussi tenir compte de l'effet du précédent cultural comme source d'azote symbiotique, comme c'est le cas avec les légumineuses. Par exemple, le soja est souvent un bon précédent pour le blé.

La pratique de rotation culturale peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

La rotation a plusieurs avantages : (i) elle contribue à rompre le cycle vital des organismes nuisibles aux cultures, notamment des bactéries et des champignons qui sont souvent très spécifiques; (ii) certaines plantes ont même un effet répressif direct sur les ravageurs et les adventices (effet d'allélopathie); (iii) grâce aux systèmes racinaires différents, le profil du sol est mieux exploré, ce qui se traduit par une amélioration des caractéristiques physiques du sol et notamment de sa structure; (iv) l'emploi de légumineuses permet l'ajout d'azote symbiotique dans le sol.

Inconvénients : (i) les cultures secondaires sont souvent moins rémunératrices; (ii) les rotations demandent une plus grande connaissance technique.

e. Systèmes de cultures sur couverture végétale⁵ (SCV). Les SCV regroupent l'ensemble des systèmes de culture basés sur le principe fondamental de couverture permanente du sol. La pratique a un double objectif de protection et de fertilisation. La pratique du SCV est différente selon les systèmes de culture et en fonction de la provenance et de la période de production de la couverture végétale.



Figure 19 : Culture du bananier sur couvert végétal
(source : fao.org)



Figure 20 : Culture de poireaux sur couvert végétal
(source : fao.org)

La couverture végétale peut être un mulch mort (paillage apporté ou paillage issu de la destruction *in situ* d'une plante de couverture) ou une plante vivante (plante de couverture) associée à la culture principale. Exemples de plantes productrices de biomasse : Brachiaria, Mucuna, Stylosanthes, Pueraria et autres légumineuses (fig.19 et 20).

Dans tous les cas, le sol doit toujours être couvert, le sol ne doit pas être travaillé, ni labouré, ou alors au minimum. Le semis, le repiquage ou les plantations s'effectuent directement dans la couverture végétale, morte ou vivante.

Les plantes de couverture sont choisies en fonction de leur complémentarité avec la culture principale, de leurs possibles utilisations (alimentation humaine ou animale), mais surtout de leur rôle positif sur la fertilité du sol. Elles sont en effet soigneusement sélectionnées pour mimer le fonctionnement de l'écosystème forestier : elles doivent permettre la production rapide de biomasse et posséder un système racinaire pouvant atteindre les réserves en eau profondes du sol. Elles opèrent alors comme de véritables « *pompes biologiques* ».

Les plantes de couverture sont choisies en fonction de leurs aptitudes à assurer leurs fonctions agronomiques même dans des conditions de culture difficiles (faible pluviométrie, sols très acides,...). De plus, ces plantes permettent le développement d'une forte activité biologique soutenue toute l'année, ce qui renforce progressivement les qualités physiques, biologiques et chimiques des sols. Certaines de ces plantes peuvent posséder un pouvoir désintoxiquant des sols (par exemple le genre *Brachiaria* permet de lutter contre la toxicité aluminique).

⁵ Des initiatives diverses. Le système de culture sur couverture végétale (SCV) : un système de culture durable. par Jean-François Richard. Grain de sel n° 48, septembre-décembre, 2009.

La pratique de culture sur couverture peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Les semis directs sous couvert végétal présentent des avantages importants dans les domaines agronomiques, environnementaux et socio-économiques. Au-dessus du sol, ils assurent : la protection contre l'érosion hydrique et éolienne, l'alimentation des cultures par minéralisation, le contrôle des adventices, la réduction de l'évaporation et la régulation thermique. En restaurant le couvert végétal, ils relancent l'activité biologique des sols, limitent les besoins en eau et séquestrent du carbone dans les sols (1 à 2 t/ha de carbone par an suivant les écosystèmes), contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique. Dans le sol, ils assurent le maintien de la structure du sol, le développement de la vie biologique, le recyclage des éléments minéraux et l'amélioration de la fertilité du sol par la production d'humus. Ils diminuent fortement les travaux de désherbage et de travail du sol ainsi que les coûts de main-d'œuvre et d'équipements qui y sont liés.

Les inconvénients du semis direct sont : (i) la haute technicité demandée; (ii) les risques accrus liés aux limaces; donc utilisation et recherche de l'équilibre naturel et (iii) l'implantation délicate sans outils adéquats.

Les systèmes précédents de couverture vivante, de la rotation des cultures, des associations de cultures et de cultures sur couverture végétale sont à la base de l'agriculture de conservation.

f. Agriculture de conservation⁶. L'agriculture de conservation est une méthode de gestion des agro-écosystèmes qui a pour but l'amélioration soutenue de la productivité et de la sécurité alimentaire tout en préservant les ressources naturelles et l'environnement.

Cette approche est proche de l'agriculture durable basée sur le fonctionnement des écosystèmes. Le fonctionnement naturel des écosystèmes est basé sur un cycle équilibré entre 3 fonctions complémentaires : (i) la plus grande production de biomasse végétale possible dans chaque situation pédoclimatique particulière ; (ii) sa consommation par la société, les animaux et la vie du sol et (iii) le recyclage par les communautés vivantes du sol en éléments minéraux assimilables.

L'agriculture de conservation se caractérise par trois principes liés, à savoir: (i) un travail minimal du sol (allant jusqu'à son absence totale) ; (ii) la couverture permanente du sol par un mulch végétal vivant ou mort (paille) et (iii) la diversification des espèces cultivées, en association et/ou en la rotation (fig.21).

⁶ Tiré de 'Agriculture de Conservation' on https://fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_de_conservation

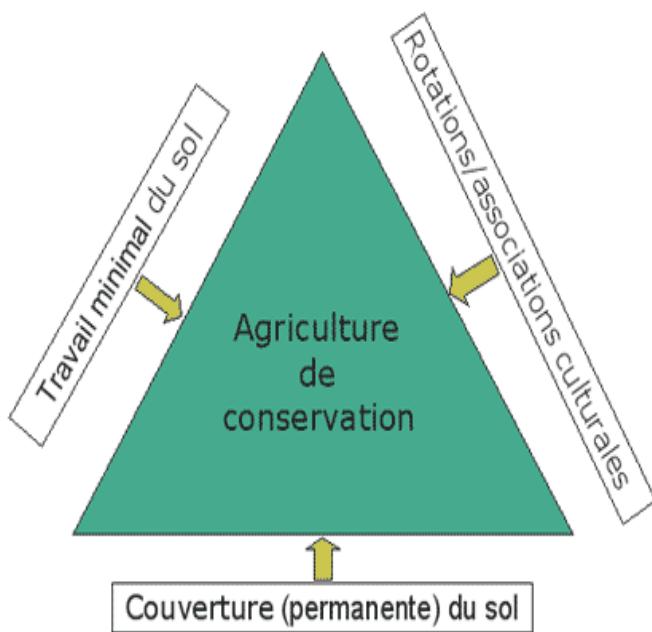


Figure 21 : les principes fondamentaux de l'AC

La manière dont les trois principes sont combinés à l'échelle de la parcelle peut varier selon les caractéristiques de l'environnement agro-écologique, les moyens et les objectifs de l'agriculteur. Etant donné qu'il n'existe pas de solutions universelles, l'Agriculture de Conservation vise à valoriser la diversité des agro-écosystèmes pour proposer des solutions adaptées aux situations locales.

Les résultats montrent que ces pratiques regroupées sous le terme générique d'Agriculture de Conservation vont au-delà de la simple réduction du labour mécanique.



Une couverture permanente du sol et le semis sur paillis protègent le sol et offrent un environnement favorable pour le développement de la plante. La figure ci-contre montre le semis du soja sur la paille de blé (une bonne rotation culturelle), avec un semoir pour semis direct (travail minimum du sol), sans enlever les résidus de la culture précédente (couverture permanente du sol). Avec l'Agriculture de Conservation les labours traditionnels utilisant la charrue sont remplacés par les "labours biologiques" réalisés par la faune du sol (vers, punaises etc.).

Figure 22 : Culture de poireaux sur couvert végétal

Le brûlage des résidus et le labour sont généralement considérés comme nécessaires pour la protection des plantes : lutte contre les pestes, maladies et mauvaises herbes. Avec l'Agriculture de Conservation, ces techniques sont remplacées par des méthodes de lutte intégrée. La gestion des pestes qui sous-tend souvent la pratique du brûlis et du labour peut être mieux assurée au travers des rotations culturelles et de lutte intégrée contre les ravageurs ((*Source : FAO*)

L'Agriculture de Conservation est adaptée à tous les climats bien que les avantages deviendraient plus prononcés sous les climats à faible pluviosité. Elle convient aux sols légers et lourds à tendance argileuse à l'exception des sols ferrugineux ou ferralitiques indurés peu profonds ou superficiels et les sols hydromorphes (risques d'engorgement d'eau) ou mal drainés. Elle peut être pratiquée par les agriculteurs en système de production pluviale.

Avantages et impacts. L'Agriculture de Conservation permet une agriculture intensive durable et fiable, qui augmente la production agricole et réduit les besoins en main-d'œuvre. Elle permet de

réduire l'utilisation des combustibles fossiles par la réduction de l'utilisation des machines agricoles, réduit la contamination de l'environnement par les produits agrochimiques. L'Agriculture de Conservation permet de réduire les émissions des gaz à effet de serre grâce à une meilleure séquestration du carbone du sol, minimise les risques d'érosion et de dégradation des sols et favorise le rechargeement des nappes phréatiques. L'Agriculture de Conservation permet ainsi d'accroître la sécurité alimentaire, de réduire les impacts sur l'environnement, de diminuer les dépenses sur les produits agrochimiques.

Contraintes. La nécessité d'un investissement initial important principalement lié à l'acquisition des équipements et intrants, la concurrence dans l'utilisation des résidus de récoltes comme paillage et l'investissement important en main-d'œuvre pendant les premières années en constituent les principales contraintes.

g. Haies vives et haies mixtes

Les haies vives anti-érosives sont des alignements d'herbes, d'arbustes et d'arbres d'une ou de plusieurs rangées, d'une seule ou de plusieurs espèces, implantés à travers une pente dans le but de protéger et de restaurer le sol. Elles sont souvent utilisées en agroforesterie de protection. Elles ont pour objectifs d'améliorer la conservation des eaux et la gestion intégrée de la fertilité des sols dans les exploitations agricoles, de réduire l'érosion et la diversité de la couverture végétale. La haie vive freine le ruissellement et permet l'accumulation de la terre. Les haies mixtes présentent les avantages d'être plus efficaces que les seules bandes graminéennes et fixent mieux le sol. Sur pente modérée, la pratique des haies conduit à une formation des terrasses progressives, limitant ainsi davantage l'érosion.

Tableau 4 : Distance entre les haies vives

Pente (%)	distance inclinée en m
2	30.5
4	19.0
6	15.0
8	13.5
10	12.5
12	10.5

L'espacement entre deux plantations de haie mixte, installées selon les courbes de niveau, est variable ; il diminue avec l'augmentation de la pente et en fonction de la nature du sol. En général, l'écartement varie entre 10 et 20 m, et n'excède jamais le chiffre égal à 100 divisé par le pourcentage de la pente. Les distances doivent être plus réduites pour des sols plus érodables : sablonneux ou limoneux. (cfr tableau 4)



Figure 23 : champs avec des haies vives de *tripssacum* à Magamba/Mwaro
(source : FAO)



Figure 24 : Haie mixte de graminées et de *Calliandra*
(source : ISABU)

Mise en place des haies : pour le : *Pennisetum* (2 rangées à 30 cm*30cm), *Tripsacum* (1 ou 2 rangées à 40 cm*40 cm), *Setaria* (2 ou 3 rangées à 20 cm*20 cm). Il faut l'entretenir : en comblant les griffes et les trous, en regarnissant les plants manquants, en évitant la circulation des animaux et des hommes sur la haie, en évitant de racler les talus lors du labour, en coupant régulièrement la haie entre 20 et 30 cm et en empêchant le bétail de brouter sur les haies et de les piétiner.

Le dispositif vulgarisé consiste en deux rangées de graminées en haies vives le long de la courbe de niveau, en quinconce à 20 cm pour le *Setaria* et 30 cm pour le *Penissetum* ou *Tripsacum* en tout sens. En amont de ce dispositif, on plante une légumineuse arbustive, tel que *Calliandra calothrysus* (à 50 cm en arrière des herbes fixatrices et à 50 cm d'écartement entre arbustes) (fig.24) en mélangeant avec un ligneux tel que *Grevillea robusta* ou *Cedrela serrulata* (à un écartement de 6 m). Parfois, on ajoute en aval un fossé où l'on plante des bananiers à 6 m d'écartement en quinconce par rapport aux ligneux.

La pratique de haies vives peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Avantages et impacts. Les haies mixtes fournissent des produits sollicités par les populations rurales : bois de feu, matériaux de construction, tuteurs pour haricot grimpant, fourrage, fruits et produits comestibles, paillis. Les graminées freinent et réduisent la vitesse de ruissellement, les arbustes fourragers fixent le sol et le futur talus.

Les essais de comportement et de gestion des haies vives mixtes⁷ menés en station on fait ressortir des avantages sur les propriétés anti-érosives qui sont significatives : formation d'une terrasse progressive, la réduction du ruissellement et limite le charriage des matériaux en étalant les produites de coupe, les capacités de diversification et d'intensification de l'exploitation. (Pour plus de détails visiter l'ouvrage indiqué).

⁷ Séminaire sur l'érosion des sols au Burundi, 30 ans de recherche agronomique. ISABU, 1992.

Les haies vives anti-érosives permettent de: (i) amoindrir le travail d'entretien des diguettes en terre ;

(ii) améliorer la durabilité des ouvrages anti-érosifs; (iii) accroître la durabilité des ouvrages anti-érosifs par la végétalisation ; (iv) réduire l'érosion hydrique ; (v) améliorer les propriétés physico-chimiques par l'activité racinaire (remontée biologique, cycle biogéochimique).

Les contraintes sont les suivantes : (i) la disponibilité des semences forestières en quantités suffisantes ;

(ii) la nécessité d'une protection les deux premières années contre le broutage ; (iii) la possibilité de constituer un habitat pour les prédateurs des cultures ; (iv) la disponibilité des éclats de souche des espèces à repiquer ; (v) le respect de la densité de plantation pour obtenir une bande suffisamment dense, apte à réduire la vitesse du ruissellement. Il faut néanmoins noter la concurrence sur les cultures voisines au niveau des racines (en eau et nutriments) et de la lumière.

h. Embocagement. L'objectif est d'enclore une parcelle avec des arbres ou arbustes, y réaliser des dispositifs anti-érosifs préconisés (lignes végétales à base de graminées et d'arbustes fourragers), puis conduire à l'intérieur un système de culture intensifié.



*Figure 25 : Embocagement des exploitations pour la conservation des eaux et des sols
(source : FAO)*

Des lignes d'arbres ou d'arbustes sont implantées autour des champs pour créer un micro-climat favorable aux cultures. Cette implantation permet de créer un bocage (fig.25) favorable au développement des cultures. Les espèces suivantes peuvent être utilisées : *Crotalaria grahamiana*, *Cajanus cajan*, *Acacia dealbata*, *Dodonaea madagascariensis*, *Glyricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Sesbania rostrata*, *Tephrosia candida*, *Flemingia congesta*, *Acacia*. Ces espèces peuvent être plantées autour de l'enclos.

L'embocagement peut être appliqué à toutes les échelles d'exploitation agricole. Il est adapté à tous les climats bien que les avantages deviendraient plus prononcés sous les climats à vents secs comme la plaine de l'Imbo et les dépressions de l'Est et du Nord-Est.

Avantages et impacts. Les haies vives et les arbres ont un effet à la fois :

(i) protecteur : ils protègent les cultures des dégâts causés par le vent et/ou par les animaux en divagation. Les haies vives d'arbustes plantés à forte densité constituent des barrières filtrantes qui ralentissent efficacement le ruissellement ;

(ii) régulateur : par leur ombrage et leur effet brise-vent, ils participent au maintien de l'humidité des sols et d'une meilleure hygrométrie en saison sèche et en saison des pluies ; leur système racinaire profond permet une remontée des eaux souterraines ;

(iii) améliorant : en produisant de la biomasse, les arbres - plus particulièrement les légumineuses (apport d'azote)- participent au cycle de la matière organique directement (décomposition de la litière) ou indirectement (compostage). Par ailleurs, leur système racinaire permet l'aération du sol (propriétés structurantes des arbres tels que les acacias) et le recyclage des éléments minéraux lessivés dans les couches profondes du sol ;

(iv) économique : qu'ils soient forestiers ou fruitiers, les produits et sous-produits des arbres sont valorisables en autoconsommation ou sur le marché (fruits, bois de chauffe ou de construction...).

Inconvénients. L'installation est relativement chère et prend du temps (ouverture des tranchées, transport des boutures, etc.). Les haies vives nécessitent une protection intégrale pendant les premières années, ce qui augmente son coût d'installation ou le temps de travail. Elles demandent des entretiens réguliers (les tailles en début et à la fin de la saison des pluies). Il y a concurrence avec les cultures.

i. Les bananeraies bien aménagées. Les bananeraies produisent d'importantes quantités des déchets (stipes et feuilles mortes) et jouent un rôle indéniable dans la protection du sol car elle lui procure une couverture importante par leur feuillage abondant.



Figure 26 : Bananeraie paillée
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)

En pure, on préconise un écartement de 2,5 m *2,5 m dans les zones à pluviométrie suffisante et 3 m*2,5 m dans les zones à pluviométrie moyenne; alors qu'en association avec les autres cultures, des écartements de 6 m* 3 m sont conseillés. Actuellement on trouve que de jeunes bananeraies sont paillées et sont souvent en pure (fig.26). Cette pratique peut être appliquée dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols sauf les sols latéritiques et sols sableux et par tous les agriculteurs. Le bananier est un grand consommateur d'eau et se comporte bien sur des sols qui ne sont pas fortement drainés.

Avantages. La croissance du bananier est rapide (il peut ne s'écouler que 9 mois entre la plantation et la première récolte). La plante est pérenne, ce qui n'oblige pas à semer chaque année. La bananeraie produit beaucoup de biomasse recyclable rapidement et protège le sol contre l'impact des gouttes de pluies.

Inconvénients. Actuellement, le bananier est victime de beaucoup de maladies et de vastes étendues sont dévastées laissant nus de vastes terrains.

j. Culture en bandes en courbe de niveau, isolées par des bandes d'arrêt enherbées (fig.27). La réalisation des bandes enherbées a pour objectif de mettre en place des barrières antiérosives qui puissent stopper l'érosion hydrique là où les espaces le permettent et que la pente commence à

être grande. Elles permettent également d'accroître la disponibilité de biomasse herbacée pour les besoins d'alimentation du bétail et de fertilité du sol.



Figure 27 : Bande enherbée à *Andropogon gayanus* dans la région du Centre Ouest du Burkina
(Photo : Robert Zougmore)

La technique consiste à installer ou laisser sur place une bande végétative (naturelle ou installée) d'espèces pérennes de largeur assez importante sur les courbes de niveau de manière à pouvoir réduire le ruissellement et favoriser l'infiltration de l'eau. Elle fonctionne comme un filtre qui ralentit la vitesse des écoulements, provoque donc le dépôt des particules grossières et des matières organiques et permet une infiltration croissante du ruissellement. Mais l'efficacité des bandes d'arrêt varie en fonction de la largeur des bandes, du mélange d'herbes qui constituent la bande d'arrêt et de l'importance du ruissellement qui traverse la bande sous forme concentrée

Ce filtre est très efficace lorsque l'on a un mélange de légumineuses et de graminées et qu'il y a un grand nombre de tiges ou de racines à la surface du sol par mètre carré (Roose, Bertrand en Côte d'Ivoire en 1971, et Delwaulle au Niger en 1973).

En milieu tropical comme au Burundi, on peut utiliser *Andropogon gayanus*, *Pennisetum purpureum*, *Paspalum notatum*, *Tripsacum laxum* et divers *Stylosanthes* en mélange, *Vetiver ssp*, diverses plantes fourragères. *Setaria sphacelata* donne de bons résultats les deux premières années, mais s'épuise rapidement sur les sols pauvres acides.

Les bandes d'arrêt enherbées peuvent se pratiquer sous tous les climats, sous tous les types de sols à l'exception des sols superficiels qui ne favorisent pas l'enracinement.

Avantages et impacts. Les bandes enherbées permettraient de réduire le ruissellement et l'érosion des sols. Les bandes enherbées constituent des sources de production de fourrage pour les animaux. La diversité des usages de cette végétation herbacée peut conférer à cette pratique un rôle important en milieu paysan (renouvellement des toitures, confection de greniers, de hangars, de nattes, etc.).

Contraintes. Les contraintes principales liées à l'utilisation des bandes enherbées sont surtout la compétition pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs entre la bande et les cultures à proximité. Une coupe périodique des bandes permet d'atténuer l'effet de la compétition pour l'utilisation de la lumière entre les bandes et les plantes situées à la proximité immédiate de ces bandes. Elles exigent des exploitations relativement grandes.

k. Rôle de l'arboriculture dans la protection des sols. L'objectif de l'introduction des arbres dans les champs est de protéger le sol contre l'impact des gouttes de pluie grâce à leur houppier et en le fixant par leurs racines (fig.28).



Figure 28 : Labour pour les cultures vivrières dans les aux arbres de Grevillea (photo réalisée par Salvator NDABIRORE)

Avantages. Les arbres dans les champs participent directement à la lutte antiérosive en protégeant le sol contre l'impact des gouttes de pluie grâce à leur houppier et en le fixant par leurs racines. Certaines espèces produisent une litière abondante qui couvre le sol et restitue une partie de la fertilité en se décomposant. En saison chaude, ils fournissent de la fraîcheur aux cultures et à la mésafaune du sol et régularisent l'évapotranspiration.

Inconvénients. Il existe une concurrence entre les arbres et les cultures vivrières pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs.

I. Les boisements



Figure 29 : Plantation d'Eucalyptus (Muramvya) (photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)

Applicabilité des dispositifs biologiques. Ils sont applicables dans toutes les exploitations agricoles (riches ou pauvres) sur des pentes relativement faibles. Ces mesures végétales nécessitent un minimum d'apports externes comme les éclats de souche et les plants.

Bénéfices économiques. Les dispositifs biologiques permettent d'augmenter la production agricole et le rendement des cultures et partant l'amélioration de la sécurité alimentaire et du

L` association de l`arbre avec cultures doit être intensifiée. Il faudra le sélectionner et le gérer de façon à ce qu'il contribue activement au fonctionnement de l'exploitation et à l'augmentation des productions agricoles. Beaucoup d'espèces à usages multiples et pouvant cohabiter avec les cultures ont été identifiées par la recherche et les techniques de leur gestion se perfectionnent.

Cette pratique peut être appliquée dans toutes les zones agro-écologiques du Burundi, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Le reboisement des sols dégradés en forte pente protège le sol contre l'érosion, permet l'établissement d'un sous bois dense (fig.29) et produit une litière abondante. Suite à l'exiguité des terrains dans certaines régions du pays, il n'est plus possible de créer des boisements purs, mais il est intéressant d'inclure des cordons boisés dans l'aménagement de la propriété. Ces bandes boisées participeraient à la protection des sols et fourniraient également du matériel ligneux pour divers usages

revenu des ménages. Ils permettent aussi d`augmenter la production du fourrage, du bois de chauffe et d`œuvre...

Bénéfices écologiques. Les dispositifs biologiques permettent d`augmenter le taux d'humidité et de la matière organique du sol, la diminution des pertes des eaux et des sols, l`augmentation de la fertilité des sols à long terme ainsi que la couverture du sol.

Résilience à la variabilité du changement climatique. Les dispositifs biologiques permettent de réduire l'émission du CO₂ en réduisant l'érosion (l'érosion favorise le dégagement du CO₂ par oxydation des matières organiques du sol) et en séquestrant le carbone. L'agriculture de conservation est un véritable puit du carbone.

Adoption et transposition à grande échelle. Comme c'est une option « *bon marché* », elle est facilement transposable à grande échelle à condition que les services de vulgarisation soient convaincus de leur efficacité.

1.1.4.2. Les façons culturelles

a. Labour à plat en courbe de niveau. En versant constamment la terre vers l'aval, la pente moyenne diminuera d'année en année, de telle sorte que la bande évoluera peu à peu vers la forme de terrasses approximativement horizontales avec atténuation du ruissellement. Ce labour permet une meilleure économie de l'eau à la parcelle.



Figure 30 : Labour à plat en courbe de niveau
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)

Il s'agit simplement d'orienter les techniques culturelles selon les courbes de niveau. En ce faisant, on oriente la rugosité du sol due aux mottes. Le labour est orienté perpendiculairement à la pente de telle sorte que l'on ralentit au maximum la nappe d'eau qui pourrait ruisseler (fig.30). L'efficacité de cette méthode est limitée aux pentes faibles: le facteur P atteint 0,5 entre 1 et 8 % de pente, P = 0,6 entre 8 et 12 % de pente, 0,8 entre 17-20 % et tend vers 1 au cas où les pentes sont supérieures à 25 % (Wischmeier et Smith, 1978). En effet, plus la pente est raide, moins la rugosité peut stocker d'eau. Une variante consiste à alterner des cultures en bandes isohypes, de façon à cumuler l'effet précédent avec des rotations de cultures plus ou moins sensibles à l'érosion.

Le labour à plat peut se pratiquer sous tous les climats si la pente le permet (pente douce), sur tous les types de sols à l'exception des lithosols. Il peut être pratiqué par tous les agriculteurs.

Avantages. Il permet de briser la croûte du sol, ce qui améliore l'infiltration et diminue le ruissellement. Ainsi, l'amélioration de la structure du sol à cause de la porosité augmentée par

l'action du labour permet un enracinement meilleur et profond. Cela garantit une meilleure croissance végétale et donc une couverture améliorée du sol.

Contraintes. Il exige un travail physique énorme et à forte consommation de temps.

b. Le billonnage. Les objectifs d'installer des billons sont d'augmenter l'infiltration de l'eau et diminuer la vitesse du ruissellement grâce à la rugosité apportée par ces éléments (et donc une diminution de la quantité de sol arrachée). Ces bourrelets successifs constituent des barrières au ruissellement et réduisent sensiblement l'érosion.



*Figure 31 : Billonnage sur la culture de pomme de terre
(photo réalisée par Ernest VYIZIGIRO)*

Les billons se caractérisent par : (i) la distance entre les crêtes des billons (1 à 1.5 m) et (ii) la hauteur des billons, du fond de l'inter billon à la crête des billons (0.25 à 0.40 m) en moyenne. La hauteur doit être telle que la capacité des inter billons soit suffisante pour éviter le débordement par-dessus les billons lors des fortes pluies. Si on oriente les billons perpendiculairement à la plus grande pente, ceux-ci peuvent stocker dans le sillon une quantité non négligeable d'eau et de matériaux sableux ou limoneux en suspension. Certaines cultures en particulier celles à tubercules tels que le manioc, la pomme de terre (fig. 31), la patate douce supportent très bien la pratique du billonnage. Les rendements semblent même augmenter lorsque cette technique est appliquée.

Le billonnage en courbe de niveau est deux fois plus efficace que le simple labour en courbe de niveau, il réduit l'érosion à environ 30 % du témoin travaillé à plat pour des pentes de 1 à 8 %⁸. Mais l'efficacité du billonnage diminue lorsque la pente augmente: en particulier sur de très fortes pentes, lors des averses exceptionnelles, on risque la rupture des billons provoquant de graves ravinements ou encore des glissements de terrain. C'est le cas en particulier si l'horizon de surface est sableux et très perméable alors que les horizons de profondeur le sont beaucoup moins. Il peut occasionner des dégâts graves lorsqu'il est pratiqué sur des sols fragiles ou sur forte pente car un ravinement prononcé peut en résulter suite au débordement des sillons entre les buttes⁹.

Pour pallier au problème de rupture de billons, une première solution consiste à incliner légèrement le billonnage de telle sorte que les excédents d'eau peuvent rejoindre un exutoire aménagé en circulant à faible vitesse et en transportant très peu de matériaux terreux. Une autre solution consiste à cloisonner les billons (fig.32). Pour éviter que l'ensemble des eaux stockées derrière les billons ne se précipite dans une brèche de l'un d'eux et provoque la formation d'une ravine, on peut créer après le billonnage une série de cuvettes et de cloisons perpendiculaires aux billons. Derrière celles-ci seront piégés 30 à 60 millimètres d'eau et les éléments terreux les plus lourds tandis que les excès

⁸ ROOSE, E., 1977 : Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest. Travaux et documents de l'ORSTOM 78.

⁹ ROOSE, E., 1977 : Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest. Travaux et documents de l'ORSTOM 78.

d'eau pourront circuler derrière les billons pour atteindre les exutoires aménagés. Ces méthodes ne sont valables que sur des sols très perméables jusqu'en profondeur. Pour être efficaces, les cloisons doivent être situées à une distance comprise entre 1 et 5 m.



Figure 32 : Billons simples et billons cloisonnés
(source : <http://www.ma.auf.org/erosion>)

Il est donc délicat de conseiller l'orientation des billons au cas où l'on souhaite réduire l'érosion et ceci en fonction des interactions qui existent entre la pente, les systèmes culturaux et les types de sol. Seule l'expérimentation locale permet de décider l'orientation la plus avantageuse et la moins risquée dans chaque système de culture.

Avantages : (i) augmentation et stabilisation des rendements par unité de surface cultivée ; (ii) concentration de l'eau dans des cuvettes longitudinales, rectangulaires, losangiques,... ce qui favorise l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol ; (iii) ralentissement du ruissellement par une augmentation de rugosité du sol due aux billons ; (iv) double culture possible dans le fond des cuvettes et sur les billons suivant l'exigence des plantes en eau.

Inconvénients : (i) possibilité de favoriser le ravinement si les billons ne sont pas réalisés rigoureusement selon les courbes de niveau ; (ii) sensibilité forte aux excès d'eau dus aux orages ou aux crues ; (iii) difficulté de réalisation sur des pentes supérieures à 12 %.

c. Utilisation d'intrants. Toute pratique qui favorise le développement végétatif rapide des plantes contribue à les rendre vigoureuses, donc plus recouvrantes. L'utilisation de la fumure est une pratique qui permet directement d'augmenter les productions agricoles mais qui en définitive participe dans la protection des terres soit en améliorant les caractéristiques physico- chimiques du sol, soit en réduisant le ruissellement et les pertes en terre.

C'est essentiellement l'usage des engrais organiques et minéraux, des semences sélectionnées et des produits phytosanitaires. Les fumures organiques peuvent faire l'objet de fumures de fond ou de fumures d'entretien, l'intérêt est de les associer avec la fumure minérale (rétenzione des éléments, et lutte contre les effets dépressifs).

d. Plantation et sarclage en courbe de niveau



*Figure 33 : Plantation et sarclage en courbe de niveau
(photo réalisée par Salvator NDABIRORE)*

Il faut toujours semer et planter selon la courbe de niveau (fig.33). Cela consiste à effectuer les plantations en courbes de niveau, c'est à dire perpendiculairement à la pente, ou parallèlement aux lignes de niveau et non dans le sens de la pente. Ces plantations en rangs isohypes (en suivant les courbes de niveau) favorisent l'infiltration de l'eau mais contribuent surtout à réduire les problèmes dus au ruissellement, évitant ainsi la formation de ravinement. Lors du sarclage, on doit ramener la terre vers la ligne de semis ou vers le billon.

1.1.4.3. Les procédés mécaniques

a. Les andains de déchets végétaux. La mise en andains des déchets de labour lorsqu'on ne peut pas les utiliser comme paillis est aussi une pratique agricole qui contribue à protéger le terrain. Ces tas de déchets arrêtent tous les matériaux solides entraînés par l'érosion et freinent significativement le ruissellement. Leur emplacement sera cultivé lorsque ces déchets seront décomposés et aura bénéficié d'un apport de matière organique.

L'effet de rangement des déchets de bananeraie sur les bandes isohypes¹⁰ a été étudié à Rushubi sur les bandes de 2 m de large et distantes de 5 m. Les pertes en terre ont été réduites de 66 % par rapport à une bananeraie traditionnelle (c'est-à-dire une perte de 35 T/ha/2 ans contre une perte de 103 T/ha/2 ans sur une bananeraie traditionnelle).

b. Les diguettes. Le rôle des diguettes est de ralentir les eaux de ruissellement. La diguette est construite suivant la courbe de niveau, généralement en début de saisons des pluies lorsque le sol est ameubli. Il est réalisé manuellement à l'aide de pelles, de pioches et si possible d'une dame pour tasser la terre.

La lame d'accumulation de l'eau contre la diguette fait en amont un plan horizontal. Voilà pourquoi les diguettes doivent être disposées le long des courbes de niveau. Sinon, l'eau va couler vers les points les plus bas, entraînant le débordement et la rupture des digues.

¹⁰ Synthèse des acquis de la recherche en Sylviculture, Agro-foresterie et Erosion.ISABU, 2012

En règle générale, la terre pour les diguettes est prise du côté bas de la pente et un fossé se dessine donc le long de la diguette de ce côté. Les dépôts de la charge d'eau de ruissellement en amont forment progressivement une sorte de terrasse sur laquelle l'eau circule. Des précautions doivent être prises lors de la construction des diguettes en terre. Comme elles ne peuvent jamais être submergées, elles doivent être suffisamment élevées pour que l'eau n'arrive jamais au niveau des crêtes.

Les diguettes sont souvent renforcées par un dispositif végétal afin de stabiliser la construction. Ces diguettes sont construites progressivement grâce à un entretien annuel et en rajoutant de la terre sur la diguette.

Les diguettes en terre peuvent être vulgarisées dans les régions où les pierres ne sont pas disponibles. Elles peuvent être réalisées sur des pentes faibles et sur des sols non sableux.

Avantages. Avec les diguettes, l'eau de pluie reste dans les champs et s'infiltre progressivement au lieu de ruisseler. Le dispositif végétal de renfort présente d'autres avantages comme la protection contre le vent, la fourniture du bois de chauffe, du fourrage, des fruits,...

Inconvénients. Les diguettes en terre constituent un obstacle imperméable, ce qui entraîne fréquemment des concentrations d'eau en amont. Deux solutions permettent d'éviter cet inconvénient : (i) des déversoirs en pierres ou des fascines de branches disposés régulièrement le long de la diguette rendent perméable le dispositif, ce qui permet de mieux gérer le ruissellement en cas de forte pluie ; (ii) les diguettes peuvent être construites non pas selon la courbe de niveau mais suivant une faible pente de l'ordre de 0,1% à 0,3% ce qui permet l'écoulement des eaux excédentaires.

c. Les lignes de pierres ou cordons de pierres¹¹. Les diguettes en cordons pierreux ont pour objectifs l'augmentation de l'infiltration de l'eau dans la parcelle et la réduction de l'érosion hydrique sans pour autant bloquer le passage de l'eau. C'est un ouvrage semi-perméable. Leur structure semi-perméable leur permet d'évacuer les excédents d'eau des grosses pluies.

Cette technique consiste à épierrer la parcelle et à regrouper les pierres de façon à obtenir une petite rangée (2 à 3 niveaux) alignée suivant les courbes de niveau. Les dimensions sont les suivantes: la base varie entre 0,4 et 0,8 m, la hauteur est de 0,3 à 1 m, pour la longueur, les plus longs peuvent dépasser 40 m. L'espacement entre deux cordons diminue lorsque la pente de la parcelle augmente.

Néanmoins les espaces entre les pierres doivent être bouchés/colmatés avec des déchets de labour si non le ruissellement se concentre en amont de ces trous et commence à ravinier dès la sortie du tas. Dans les essais de Rushubi, les lignes isohypes de pierres avec vides ont occasionné des

¹¹ <http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/VILutte.html>. Erosion hydrique

pertes en terres allant de 190 à 330 tonnes/ha/an, sur des cultures vivrières (haricot et maïs)¹². Un réseau de rigoles était formé juste en aval des lignes de pierres après chaque pluie importante.

Pour une viabilité du caractère filtrant on peut végétaliser le cordon en plantant des espèces herbacées ou arbustives (*Andropogon sp.*, *Vetiver sp.*, *Acacia sp.*, ...). Ces rangées de pierres sont utilisées pour créer des diguettes soit en tant que pratique de conservation des sols (sur les pentes) ou en tant que système de collecte des eaux de pluie (dans les plaines des régions semi-arides). (fig. 34 et 35), cas du Niger.



Figure 34 : Cordons pierreux recueillant l'eau de ruissellement et les sédiments fertiles du sol, au Niger
(Hanspeter Liniger)



Figure 35 : Des fermiers du Burkina Faso fabriquent un cordon de pierres
(source : un.org)

Cette technique est favorisée par les versants pierreux, où la disponibilité et la proximité en matière première rendent son transport facile. Ils sont applicables sur des pentes assez moyennes et faibles, où les effets modérés de l'érosion garantissent la pérennité du système.

Avantages. Les cordons pierreux ont les avantages suivants : (i) une valorisation des produits de l'épierrage ; (ii) un maintien de la surface agricole utile et une préservation de la productivité ; (iii) leur facilité de mise en place ; (iv) une diminution du ruissellement et une amélioration de l'infiltration ; (v) une construction souple et progressive et (vi) une consolidation biologique naturelle.

Leurs inconvénients sont: (i) ils nécessitent des pierres à proximité ; (ii) une infiltration insuffisante lorsqu'une pente est maintenue ; (iii) ils doivent suivre les courbes de niveau ; (iv) ils doivent couvrir la totalité de la pente ; (v) un besoin de beaucoup de pierres à proximité pour étendre l'aménagement ; (vi) leur construction est sensible dans les zones orageuses.

¹² Séminaire sur l'érosion des sols au Burundi.ISABU, 1992

Sur des pentes fortes ; les procédés biologiques, les façons culturelles, les rangements de déchets ou de pierres ne suffisent plus pour la protection anti-érosive. Il est alors nécessaire de favoriser l'infiltration totale par les fossés d'infiltration ou de modifier la pente par terrassement. Ces techniques permettent de lutter (ou prévenir) contre l'érosion en feuillets et en griffes. Ces techniques sont interdites sur des sols glissants.

d. Les fossés : structures d'infiltration totale. L'objectif est de favoriser l'infiltration totale de l'eau de ruissellement et l'approvisionnement de la nappe phréatique. C'est une technique qui a été largement pratiquée au Burundi à partir des années 1935 (fig.36).



Figure 36 : Tracé de fossés sur un flanc de colline (photo réalisée par Salvator NDABIORERERE)

Leurs caractéristiques sont les suivantes : profondeur (30 cm) ; largeur (30cm) et pente du talus (0,75 :1). Les fossés demandent à être rigoureusement installés suivant les courbes de niveau avec un fond régulier et présentent une charge élevée dans leur mise en place. Pour éviter que les eaux de ruissellement captées par les fossés ne se rassemblent en un point bas par erreur de réalisation ou fragilité locale et ne creusent des ravines profondes, des cloisons de 50 cm d'épaisseur séparent les segments des fossés de 3 m de long.

Au Rwanda et au Burundi, les Belges ont proposés jadis, vers les années 1935 de creuser des fossés isohypes sur des pentes de moins de 20% où la couverture pédologique ferralitique était profonde et très perméable et où les risques de glissement de terrains étaient assez réduits.

Avantages. Cette pratique peut être recommandée dans des pâturages et des boisements pour favoriser l'infiltration des eaux pluviales et l'approvisionnement de la nappe phréatique. Cela contribuerait à limiter l'érosion dans les champs cultivés en aval.

Inconvénients. En plus des contraintes relatives à cette technique (charge élevée en main-d'œuvre dans leur mise en place, leur entretien régulier, risque de glissement sur certains sols), les essais ont montré que les fossés ne sont pas plus efficaces que les bandes bien enherbées de 50 cm de large. Lorsqu'on creuse ces fossés sur un sol fragile, les talus peuvent s'écrouler au moment des crues et occasionner des dégâts très importants. Au Burundi, la terre devenant de plus en plus rare, les fossés y sont considérés comme des espaces non productifs, donc un gaspillage de terrain.



Figure 37 : Fossés enherbés et avec arbres agroforestiers
(photo réalisée par le projet LVEMP II)

Il convient de ne plus systématiser la pratique des fossés, de ne les proposer qu'aux endroits sans risque de glissement de terrain et dans des conditions où ils seront soigneusement implantés et régulièrement entretenus.

Il est conseillé de mettre la terre creusée en haut du fossé et de l'enherber avec des graminées (*Pennisetum purpureum*, *Setaria splendida* ou *sphacelata*, *Tripsacum laxum* ou *Vetiver*) pour leur renforcement (fig.37). A ce moment, ils peuvent être bénéfiquement exploités lorsqu'ils sont bien calibrés. En ce cas, ils demandent moins d'entretien car les matériaux solides sont arrêtés par la bande d'herbes. Ces fossés peuvent devenir des « compostières » où divers déchets végétaux sont régulièrement jetés et semblent jouer un excellent rôle antiérosif lorsqu'ils sont inclus dans un aménagement intégré.

Expériences du Kenya



Figure 38 : Terrasses Fanya juu, avec de l'herbe à éléphant, au Kenya.
(Hanspeter Liniger)

Les terrasses *Fanya juu* du Kenya (fig.38) sont faites en creusant des fossés et des tranchées le long de courbes de niveaux et en déplaçant le sol vers le haut pour former une digue.

Dans un système *Fanya chini*, la terre est amoncelée sous une tranchée en courbe de niveau. Ce système est utilisé pour la conservation des sols et le détournement de l'eau et peut être employé jusqu'à une pente de 35%.

Le système *Fanya chini* implique moins de main-d'œuvre, comparé au système *Fanya juu* mais il ne conduit pas aussi rapidement à la formation d'une terrasse en banquette au fil du temps.



Figure 39 : Des terrasses Fanya juu stabilisées par des graminées, au Kenya
(Hanspeter Liniger)

Un exemple de terrasses *Fanya juu* renforcé avec des graminées est donné par la fig.39 ci-contre. Dans les zones semi-arides, celles-ci sont normalement construites pour récolter et conserver les eaux de pluie, alors que dans les zones subhumides, elles peuvent être nivelées latéralement pour déverser en toute sécurité l'eau de ruissellement en excès. Les remblais (contremarches) sont souvent stabilisés avec des herbes fourragères

f. Les terrasses radicales



Figure 40 : Aménagement des terrasses radicales
(source : Rwanda)

Les gradins sont formés d'un talus subvertical renforcé par des pierres ou par des herbes et d'une terrasse en pente douce inversée avec possibilité d'irrigation et de drainage de la pente en long (fig.40). Les terrasses sont formées par construction directe ou par de construction progressive.

La largeur des terrasses est fonction de la pente et du danger d'érosion initiaux et de la hauteur du talus en fin de formation. Les obstacles ou lignes d'arrêt peuvent être des filtres (lignes de pierres en tas colmatées par des déchets de labour, rangs d'arbres fruitiers ou fourragers, haies isohypsées...) ou absolues (tout le ruissellement est dès la mise en place forcée de s'infilttrer).

Leur mise en place au Burundi nécessiterait préalablement une minutieuse étude morphopédologique de la région considérée, une bonne compréhension du fonctionnement hydrodynamique du sol, un calcul des coûts d'installation et de la rentabilité attendue et une solution au problème foncier (morflement intense et éloignement des parcelles d'une même exploitation). Pour assurer la réussite du terrassement radical, les terrasses doivent être continues au niveau du bassin versant.

Avantages : (i) les gradins créent des zones planes et suppriment l'érosion en nappe; (ii) elles permettent d'investir et d'améliorer la productivité des terres sur pente forte ; (iii) elles augmentent l'eau disponible pour les plantes; (iv) et permettent d'irriguer en captant les eaux de montagnes et le ruissellement sur les talus.

Inconvénients : (i) c'est un aménagement extrêmement coûteux lors de la formation, qui exige beaucoup de main-d'œuvre et exige ensuite l'entretien des talus. Le travail est estimé entre 700 et 1200 hommes-jours/ha, selon la déclivité de la pente ; (ii) elles augmentent les risques de glissement de terrain car elles favorisent l'infiltration près de la roche. Il n'est donc pas possible de les installer ni sur des schistes, ni sur des gneiss, ni sur des sols peu épais, ni dans les zones à forte fréquence de secousses sismiques. Dans le Mumirwa par exemple où les pentes sont généralement fortes et les sols fragiles (schistes, micaschistes, gneiss), les terrasses seraient très dangereuses. Dans les régions montagneuses à forte pente, les terrasses peuvent s'effondrer et provoquer des catastrophes graves lorsqu'elles sont aménagées sur des sols instables ou qui reposent sur une couche imperméable à plan incliné. (iii) On augmente les risques de lixiviation des nutriments solubles en réduisant le ruissellement de surface. (iv) Il faut donc restaurer la fertilité des sols avant d'en tirer profit, moyennant un apport de fumier (20 tonnes/ha), de phosphates, et de chaux (2,5 tonnes/ha).

En plus, leur mise en place s'accompagne d'une perturbation du sol, entraînant l'ensevelissement de la couche arable. Les micro-organismes aérobies se retrouvent en conditions anaérobies tandis que les anaérobies se retrouvent en conditions aérobies.

Expérience du Rwanda (fig.41 et 42)



Figure 41 : Travaux de construction des terrasses radicales (Rwanda)



Figure 42 : culture du blé sur des terrasses de Cyungo (Rwanda)

Limite d`applicabilité des dispositifs mécaniques. Ils sont applicables dans les exploitations agricoles avec des pentes légères à fortes, qui ont une facilité de main-d`œuvre et l`existence des matériaux (déchets, pierres,...), une main-d`œuvre qualifiée et des équipements appropriés (outils agricoles et de construction...). Ces mesures structurelles nécessitent d`importants efforts d`investissements. Il ne sera fait recours à elles que lorsque les options « *bon marché* » s'avéreront inadaptées. De plus, les mesures structurelles ne seront possibles que si elles sont combinées avec des mesures végétales ou agronomiques permettant de protéger les structures et les rendant ainsi directement productives.

Bénéfices économiques. Une fois réalisés, les dispositifs structurels combinés aux mesures végétales ou agronomiques permettraient d`augmenter le rendement des cultures et donc l`augmentation de la production agricole et partant la sécurité alimentaire et du revenu.

Bénéfices écologiques. Les dispositifs structurels permettraient d`augmenter l`infiltration de l`eau dans le sol, la diminution des pertes des eaux et des sols, l`augmentation de la fertilité des sols à long terme.

Résilience à la variabilité du changement climatique. Les dispositifs structurels permettraient de réduire l`émission du CO₂ en réduisant l`érosion (l`érosion favorise l`oxydation matière organique accompagné de dégagement de CO₂).

Adoption et transposition à grande échelle. Comme c`est une option qui coûte cher, elle ne serait transposable que là où les moyens le permettent. Toutefois, les diguettes, - le rangement des déchets de cultures, le rangement des pierres- dans les régions de l`Imbo, du Mumirwa et les dépressions de l`Est et du Nord-Est et partout ailleurs là où les matières de construction et la

pente les permettent. Les fossés enherbés sont facilement vulgarisables dans les régions de la crête Congo-Nil et des plateaux centraux.

1.1.5. Système d'évacuation des eaux excédentaires

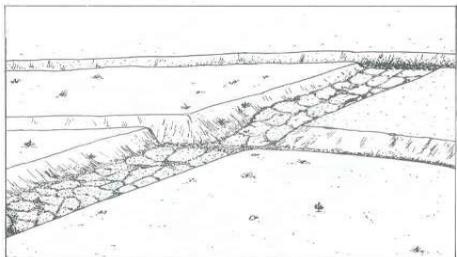


Figure 43 : Canal d'évacuation

Les eaux excédentaires, qui circulent dans la zone aménagée, peuvent être canalisées par des fossés à faible pente creusés le long de diguettes ou des banquettes (fig.43). Elles peuvent ainsi être évacuées vers des exutoires naturels bien aménagés pour ne pas créer des ravines.

Les caractéristiques du canal d'évacuation sont : profondeur (33-50 cm), largeur (50-100 cm) et protection du canal (si la pente < 20%, on plante de l'herbe et si la pente est > 20%, pavement avec des pierres).

Avantages. Les eaux de ruissellement provenant de l'amont, peuvent être canalisées par un fossé de diversion creusé juste au-dessus de la zone à aménager. Ces fossés permettent d'évacuer les excès d'eau hors des parcelles cultivées.

Inconvénients. Ces fossés constituent une perte de surface cultivable de 5 à 15 %. L'érosion en nappe entre les structures peut rester vive. Dans ce cas, la terre sédimente dans les fossés (pente plus faible) et provoque des débordements et des ravines ruinant l'aménagement. Ces structures exigent un très bon levé topographique pour créer une pente de fossés croissant de 0,2 à 0,4. Ces structures sont chères à la réalisation ainsi qu'à l'entretien : elles nécessitent des moyens rapides d'entretien et de curage des fossés.

1.1.6. Correction des ravins et ravines



Figure 44 : Ravins de Banga (Matongo)
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)

Une ravine est un passage d'eau torrentiel profondément creusé dans le sol. Le lit d'une ravine (ou ravin) est le plus souvent encaissé et ses berges sont grossièrement taillées par le passage des eaux de ruissellement. Le flux torrentiel des ravins est intermittent. Il dépend exclusivement des pluies qui tombent sur sa surface de déversement qui l'approvisionne en eau de ruissellement comme les déversoirs des routes (cas de la ravine de Banga, fig. 44).

Sur des terres en pente même légère, l'érosion en ravine provoque des dégâts gigantesques. Elle entraîne le prolongement des ravines vers des crêtes et leur élargissement.

Diverses structures pour diminuer les ravinements et permettre le recouvrement des terrains ravinés sont décrites ci-dessous. Selon la taille de la ravine, ces ouvrages sont plus ou moins coûteux et complexes à installer.

a. Quand le ravin n'est pas grand.

a₁. Pour le traitement de petites et étroites ravines, des rangées de pierres et des alignements de sacs remplis de sable ou de terre peuvent être utilisés à travers le lit. Ils sont régulièrement espacés.

a₂. Pour des ravinements larges et peu profonds, à faible débit, on établit une série de barrages constitués chacune d'une bande d'herbes fixatrices (Setaria, Vetiver...). Une fois que la terre s'est accumulée au-dessus de la bande fixatrice, on peut y planter une ligne d'arbustes (Calliandra, Leucaena, Bambous,...) afin de fixer le sol. La végétation (herbes annuelles ou pérennes, arbustes et arbres) est plantée ou laissée pousser naturellement au fond et sur les berges des ravins. Elle constitue un vrai pansement biologique des plaies qu'avait ouvert l'érosion du sol.

b. Quand le ravin est relativement grand

b₁. Usage des fascines. Les ravines peuvent atteindre une grande profondeur et plusieurs mètres de largeur et s'étendre sur plusieurs centaines de mètres.



Figure 45 : Fascines
(source : randopitin.re)

Si le débit est plus important et la pente plus forte, on établit une série de barrages constitués chacun de deux rangs de fascines, avec des branchages intercalés (fig.45). Les cuvettes qui réceptionnent les chutes d'eau sont tapissées de pierres. On maintient le gravier et les cailloux dans le lit du fossé. Il est important de déborder latéralement les banques de la ravine afin de protéger les eaux contre la divagation. Il est d'abord nécessaire de diffuser l'écoulement et empêcher l'eau de contourner l'obstacle en creusant les parois latérales. Les zones d'atterrissement de terre peuvent être plantées avec des herbes de fixation (Paspalum, Setaria, Vetiver ...) et on peut fixer le sol avec des arbres et des arbustes.

b₂. Correction par des diguettes en pierres sèches¹³. L'utilisation des petits seuils en pierres sèches (fig.46) peut jouer un rôle provisoire dans la correction de ravinement avant la mise en place des seuils biologiques par de la végétation. Ces seuils peuvent créer par leur atterrissement un milieu favorable à l'installation des plants.

¹³ <http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/VI.Lutte> contre l'erosion hydrique

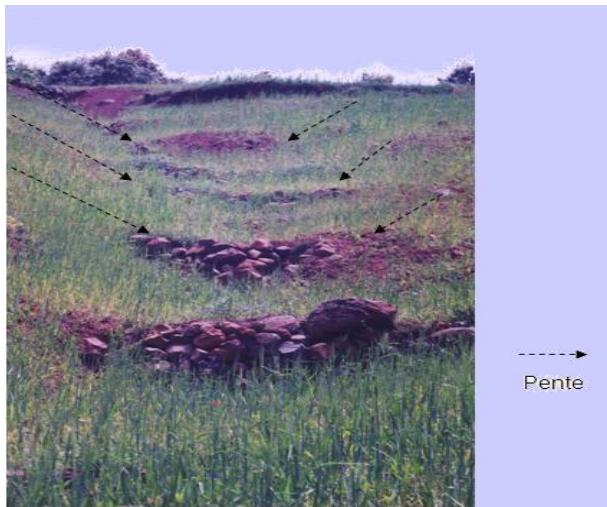


Figure 46 : Aménagement avec seuils en pierres sèches
(source : <http://www.ma.auf.org/erosion>)

Les seuils permettent d'éviter le creusement du sol et l'agrandissement des ravines et rigoles de petites dimensions aboutissant à des ravins et rigoles de grandes dimensions (50 cm de large et 20 à 30 cm de profondeur) que le ruissellement non contrôlé avait entaillé, endommageant les parcelles et réduisant la surface agricole utile.

Les pierres sont collectées et transportées sur la parcelle à traiter. Les emplacements sont localisés en fonction de l'ouverture de la ravine. Les pierres sont déposées sur le sol sans architecture spéciale et on continue à construire la diguette jusqu'à une hauteur qui dépasse de 10 à 15 cm du niveau initial du sol avant l'incision par l'érosion. Les espacements varient de 2 à plus de 20 m selon l'importance de la ravine, la disponibilité en pierres et la pente du versant. Le volume du travail est fonction de l'état de ravinement du champ et de la disponibilité des pierres.

c. Cas des grosses ravines. Souvent on a recours au traitement par génie mécanique. Ce type d'aménagement peut avoir deux objectifs: (i) stabiliser le profil en long de la ravine dans les secteurs où la tendance générale est au surcreusement et (ii) retenir les sédiments dans les sections en transit où l'incision est faible.

Les principes généraux de l'aménagement des grosses ravines sont les suivants: (i) les barrages doivent avoir une grande durée de vie puisque la végétation ne pourra pas venir prendre immédiatement le relais. Ce seront des ouvrages en dur: en gabions mais surtout en maçonnerie de grosses pierres au mortier de ciment. (ii) La végétation joue un rôle important même si les barrages sont ici la partie centrale de l'aménagement. Les deux principes sont complémentaires.

c₁. Les micro-barrages en gabions. Le traitement de grosses ravines peut nécessiter l'utilisation des gabions en fil de fer remplis de pierres (fig.1.46). Ce type d'ouvrage appelé « **digue filtrante** » ou « **barrage-seuil** » permet de stabiliser la ravine et de favoriser la sédimentation des particules de terre provenant de l'amont.

Les digues filtrantes sont des mesures mécaniques qui en tant que barrières physiques ont pour objectifs d'arrêter le ravinement ou de ralentir le ruissellement de flux d'eau important qui dépasse les capacités de rétention des cordons pierreux. Il est utilisé dans des ravines encaissées des bas-fonds à relief peu accidenté (fig.47).



Figure 47 : Ouvrage en gabions posé dans le ravin
(source : unt.unice.fr)

La digue filtrante est un dispositif en pierres libres (non maçonneries donc sans liants) applicable essentiellement aux bas-fonds et aux ravins dont l'objectif est de freiner les ondes de crue et arrêter l'érosion par ravinement aux abords immédiats de la digue. Ce sont des ouvrages anti - érosifs positionnés perpendiculairement aux axes de ravinement plus ou moins ancrés dans le sol et munis ou non de déversoirs. Elles sont généralement disposées «en cascade» et espacées de manière à favoriser la sédimentation progressive dans la ravine et le lissage de son profil en long. Les digues sont construites en pierres sèches avec, selon les cas, présence partielle ou totale de cages de gabions (de dimensions : 1m de largeur, 1m de hauteur et 1 à 4 m de longueur disposés en fondation). Les digues s'utilisent sur tous les types de sols. Le critère essentiel étant la présence de ravinement.

Avantages et impacts. La digue filtrante est efficace pour la récupération des sols ravinés. Elle occasionne une meilleure humectation de l'impluvium amont par son effet de ralentissement de l'écoulement des eaux. La digue filtrante permet de provoquer à l'amont une augmentation de l'infiltration de l'eau et une sédimentation de sables, argiles et débris organiques. Les sédiments apportés sont en général plus argileux, ont une densité apparente moins élevée et une capacité de rétention d'eau (réserve utile) plus élevée que le sol d'origine. De plus il contient plus de matières organiques.

Contraintes. Elle exige une main-d'oeuvre importante pour le transport et la réalisation (120 hommes jour/ha). La réalisation des digues filtrantes nécessite des moyens de transport appropriés (camions, charrettes, brouettes) pour la mobilisation des moellons. Son coût de réalisation est relativement élevé.

c2. Série de seuils en maçonnerie. Les seuils en maçonnerie sont des mesures mécaniques qui en tant que barrières physiques ont pour objectifs d'arrêter le ravinement ou de ralentir le ruissellement de flux d'eau important dans des ravins très larges. Les seuils en maçonnerie forment des barrages implantés transversalement dans les lits des ravins.



Figure 48 : Série de seuils en maçonnerie
(source : physio-geo.revues.org)

Avantage: ils limitent le ravinement et ralentissent le ruissellement de flux d'eau important dans des ravins très larges. Comme **inconvénient:** des coûts de réalisation élevés et exigent un travail d'ingénierie.

Encadré 1.1 : Dix règles pour l'aménagement des ravines (Roose, 1994)

1. Tant qu'on n'a pas amélioré l'infiltration sur le bassin versant, il ne faut pas tenter de reboucher la ravine (sinon elle trouvera un autre lit), mais prévoir un canal stable capable d'évacuer les débits de pointe de la crue décennale (au minimum).
2. L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement en 1 à 6 ans, mais il doit concerter tout le bassin dès la première année. La fixation biologique d'une ravine vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisé par différents types de seuils; si on inverse l'ordre, les plantes sont emportées avec les terres lors des crues.
3. L'emplacement des seuils doit être choisi avec soin selon l'objectif visé. Si on cherche seulement à rehausser le fond de la ravine pour que les versants atteignent la pente d'équilibre naturel, il faut choisir un verrou, une gorge étroite où de nombreux seuils légers pourront s'appuyer sur des versants solides. Si on cherche à fixer le maximum de sédiments ou à récupérer des espaces cultivables, il faut choisir les zones à faible pente, les confluents de ravines secondaires, les versants évasés et construire de gros ouvrages-poids qui seront rehaussés progressivement.
4. L'écartement entre les seuils est fonction de la pente du terrain. Le déversoir aval doit être à la même altitude que la base du seuil amont, à la pente de compensation près (1 à 10 % selon la nature du fond de ravine) qui peut s'observer sur place (zone stable sans creusement ni sédimentation). Dans un premier temps on peut doubler cet écartement et construire les seuils intermédiaires dès que la première génération de seuil est comblée de sédiments: stabiliser immédiatement les sédiments piégés avec des plantes basses dans l'axe d'écoulement et des arbres sur les versants.
5. Pour éviter la pression hydrostatique des coulées, il vaut mieux drainer les seuils (grillage, chicanes ou pierres libres).
6. Les seuils doivent être ancrés dans le fond et les flancs de ravine (tranchée de fondation) pour éviter les renards et contournements. Au contact entre le sol limono-argileux et les pierres des seuils, il faut prévoir une couche filtrante de sable et de gravier pour éviter que les sous-pressions n'entraînent les particules fines et la formation de renards.
7. Le courant d'eau doit être bien centré dans l'axe de la ravine par les ailes du seuil, plus élevées que le déversoir central. Ce déversoir doit être renforcé par de grosses pierres plates plus cimentées ou par des ferrailles pour résister à la force d'arrachement des sables, galets et roches qui dévalent à vive allure au fond des ravines.
8. L'énergie de chute de l'eau qui saute du déversoir doit être amortie par une bavette (enrochement, petit gabion, grillage + touffes d'herbes) ou par un contre-barrage (cuvette d'eau) pour éviter les renards sous le seuil ou le basculement du seuil.
9. Tenir le bétail à l'écart de l'aménagement: il aurait vite fait de détruire les seuils et de dégrader la végétation. En compensation, on peut permettre des prélèvements de fruits, de fourrages et plus tard de bois, en échange de l'entretien

de l'aménagement.

10. L'aménagement mécanique n'est terminé que quand on a éteint les sources de sédiments, stabilisé les têtes de ravine et les versants. La végétalisation doit alors se faire naturellement si on a atteint la pente d'équilibre, mais on peut aider la nature en couvrant rapidement les sédiments (herbe) et en les fixant à l'aide d'arbres choisis pour leurs aptitudes écologiques et leur production. Il faut passer de la simple gestion des sédiments à la valorisation des aménagements.

Comme les ravins sont surtout dus aux eaux de pluies qui ruissellent le long des caniveaux des routes, on peut collecter des eaux en bas des routes dans de bassins de sédimentation, de base longue et horizontale pour dissiper leur force. Les eaux sortent du bassin de façon diffuse sans entraîner de l'érosion et peuvent servir comme eaux d'irrigation. Un autre choix est d'orienter les eaux vers un exutoire naturel.

1.1.7. Aménagement des sentiers

Pour éviter un trop fort ruissellement sur leurs parcelles, les paysans détournent les eaux des toitures ou des champs à l'aide de petits drains vers les sentiers. Cette technique provoque une concentration de l'écoulement et favorise l'érosion le long d'un axe précis et peut engendrer une ravine. D'où nécessité de leur aménagement. On fixe dans le sol deux rondins de bois dans la largeur du sentier tous les 50 cm, 1 m ou 2 m suivant l'importance de la pente (fig.49 et 50). La terre s'accumule en amont des rondins et forme ainsi un escalier, capable d'amortir les chutes d'eau de ruissellement et de fixer les bordures des sentiers avec des herbes fixatrices (Setaria, Vetiver...).



Figure 49 : Fixation des sentiers
(source : <https://www.google.com>)



Figure 50 : Fixation des sentiers avec Setaria et par des rondins de bois en escalier

1.1.8. Lutte contre l'érosion des berges et des lits des rivières

Par sa force, l'eau attaque les rives des cours d'eau et des rivières et provoque une érosion verticale. Il s'en suit la chute d'une masse de terre et le recul des rives. Le objectif est de protéger les berges des cours d'eau et des rivières et leurs lits contre l'érosion.

L'étape préliminaire consiste à sensibiliser les populations et à les faire prendre conscience du phénomène d'érosion des cours d'eau et des rivières. L'étape suivante est l'organisation des populations en groupements et/ou associations pour entreprendre des actions de protection des berges des cours d'eau et des rivières.

Les actions de protection sont: (i) la délimitation de la zone à protéger par la matérialisation avec de la peinture sur les arbres ou par pose de bornes; (ii) le posage de panneaux de signalisation indiquant les activités interdites (activités agro-pastorales, coupe d'arbres, feux de brousse...) ; (iii) la transformation de la pente des berges verticales en une forme trapézoïdale ; (iv) la facilitation de l'installation d'une végétation fixatrice (brise-vent et enherbement/végétalisation, plantation de ligneux) aux bords des cours d'eau et des rivières. Les espèces préconisées sont: *Acacia sp.*, *Andropogon gayanus*, *Bambous*, ... Les « bandes enherbées » protègent l'eau et jouent éventuellement un rôle important de corridor biologique. (v) Eviter le piétinement du bétail aux bords des rivières et cours d'eau ; (vi) l'association des ouvrages mécaniques (gabions) aux actions de lutte contre l'érosion.



*Figure 51 : Image des berges en effondrement sur la rivière
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)*



*Figure 52 : Protection des rivières par la plantation des roseaux
(source : LVEMPII)*



*Figure 53 : Protection des rivières par des roseaux en commune GIHOGAZI/KARUSI
(source : LVEMPII)*



*Figure 54 : Rives redimensionnées et des ouvrages de dissipation sur la rivière Gihosha
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)*

Lorsque la rivière connaît une érosion dans son lit ; on fait recours aux micro-barrages filtrants (gabions et obstacles) pour l’obliger l’eau à ralentir et la forcer à déposer sa charge. Les illustrations sont données par les figures 51 à 54.

Les avantages et les impacts sont les suivants: (i) l’amélioration de la couverture naturelle des berges (végétation et sol); (ii) la réduction de l’érosion; (iii) la réduction de l’envasement des cours d’eau et amélioration du régime des plans d’eau; (iv) la contribution à la conservation des ressources en eau, du peuplement halieutique, de la faune inféodée à ce genre de milieu et des essences rupicoles très utiles ; (v) les activités rémunératrices de revenus (pêche).

Contraintes : (i) nécessité d’une main-d’œuvre qualifiée ; (ii) nécessité de protection des jeunes plantations contre le bétail et les feux de brousse ; (iii) disponibilité de plants de ligneux et d’herbacés; (iv) disponibilité de moellons et de grillage pour réaliser les ouvrages mécaniques.

1.2. Lutte contre l'érosion en masse/glissement de terrain¹⁴

Les phénomènes de mouvement de masse sont très nombreux mais on peut les regrouper en six catégories principales : (i) les glissements lents (creep), (ii) les glissements rapides, (iii) les versants moutonnés, (iv) les coulées boueuses (lave torrentielle), (v) les glissements rotationnels en coups de cuillère et (vi) les formes locales. Les détails sur leurs définitions sont donnés en annexe1.

1.2.1. Les causes et les processus des mouvements de masse

La cause des mouvements de masse (lents ou rapides) est à rechercher dans le déséquilibre entre d'une part, la masse de la couverture pédologique, de l'eau qui s'y trouve stockée et des végétaux qui la couvrent et d'autre part, les forces de frottement de ces matériaux sur le socle de roche altérée en pente sur lequel ils reposent (pente limite de 30 à 40 degrés = 65 %). Ce déséquilibre peut se manifester progressivement sur un ou plusieurs plans de glissement suite à l'humectation de ce(s) plan(s) ou par dépassement dans la couverture pédologique du point d'élasticité (creeping avec déformations sans rupture) ou de liquidité (coulées boueuses).

Le déséquilibre est le plus souvent brutal et associé aux averses orageuses abondantes et intenses (plus de 75 mm en 2-3 heures) (Temple et Rapp, 1972). La circulation rapide de l'eau dans les fissures ou des mégapores (tunnelling) jusqu'aux points de rencontre des filets d'eau dans le sol, une pression hydrostatique capable de repousser la masse réorganisée des sols, de décoller celui-ci par rapport à un niveau de fragilité de la roche pourrie: d'où la fréquence élevée des glissements en planche sur les schistes, les gneiss et les matériaux volcaniques poreux déposés sur les roches imperméables (ex. les cendres volcaniques sur dômes granitiques au Rwanda).

Les facteurs qui favorisent ce déséquilibre sont l'altération de la roche, l'humectation jusqu'à saturation de la couverture pédologique, l'humectation du plan de glissement qui devient savonneux (présence de limons issus de l'altération des micas), des roches présentant des plans de clivage ou de fracture préférentiels (argillites, marnes, schistes, roches micassées, gneiss). L'homme peut accélérer la fréquence de ces mouvements de masse en modifiant la géométrie externe du versant (par terrassement, creusement d'un talus pour installer une route ou des habitations, surcharge d'un versant par des remblais, modification des écoulements naturels, érosion au pied d'un versant par une rivière dont le cours est modifié, etc).

La végétation intervient également. Temple et Rapp (1972) ont montré dans leur étude sur un milieu de glissements de terrain (debris-slide et mudflow) que 47 % des entailles sont situées sur des champs cultivés (maïs + mil + haricots), 47 % sur des jachères et des pâturages et moins de 1 % dans les zones forestières les plus humides. Même les arbres isolés semblent avoir un effet

¹⁴ Amélioration foncière. Cours de 2^{ème} ingénieur. Faculté d'Agronomie

puisque sur les pistes non plantées d'arbres montrant des traces de glissement de terrain, une rangée d'arbres suffirait pour éviter ces processus.

1.2.2. Les facteurs de risque de glissement de terrain

D'après Ferry (1987), les facteurs de résistance au glissement d'une couverture pédologique, apparaissent dans l'équation de Coulomb:

$S = C + (P - U) \operatorname{tg}F$ où (S : représente la résistance au cisaillement ; C : la cohésion du sol ; P : la pression normale à la surface du mouvement due à la gravité ; U : la pression d'eau intersticielle dans le sol, F : l'angle de frottement interne ; tangente de F ou $\operatorname{tg}F$: le coefficient de frottement).

Les glissements se produisent lorsque la contrainte de cisaillement dépasse la résistance du sol ou lorsque la limite de plasticité ou de liquidité est atteinte. Le creep est souvent observé lorsque la couverture pédologique est épaisse, la pente forte et le climat très humide. Les glissements de terrain en planche sont favorisés par la présence de gneiss, de schistes ou de cendres volcaniques projetées sur les pentes convexes de schiste ou de granit en cas de pendage dans le sens de la pente, lorsque la couverture pédologique n'est pas très profonde, sur des fortes pentes ($> 60\%$) ou encore lorsqu'il existe un niveau imperméable ou un plan de contact en forte pente excessivement lubrifié.

Les sapements de berges et ceux de têtes ou de flancs de ravines sont généralement liés à la présence d'écoulements qui creusent sous la couverture pédologique jusqu'à l'éboulement du matériau. Les sapements de berges sont fréquents dans les courbures des rivières et lors de la formation de méandres.

1.2.3. La lutte contre les mouvements de masse

Les méthodes de lutte contre les mouvements de masse sont généralement coûteuses et délicates. Contrairement à la lutte contre l'érosion en nappe ou l'érosion linéaire, il s'agit bien souvent d'éviter que les eaux de pluie ne s'infiltrent dans le sol, n'alourdissent la couverture pédologique et n'atteignent rapidement le plan de glissement. Pour ce faire, on draine le sol en surface pour évacuer le ruissellement vers des zones non dangereuses, généralement les zones convexes d'un versant. On peut drainer en profondeur la zone située au niveau du plan de glissement pour éviter que la pression intersticielle ne décolle la couverture pédologique de la zone stable située en-dessous du plan de glissement.

Une autre méthode consiste à assécher le terrain en augmentant l'évapotranspiration des plantes; par exemple, en plantant des eucalyptus ou d'autres plantes qui ont un pouvoir évaporant important. Il faut cependant éviter que ce végétal n'atteigne des poids trop considérables. Il faut donc maintenir à la fois des arbustes sur le bord des champs et d'autre part, si l'on a introduit des plantations arborées, il faut les gérer en taillis, c'est-à-dire garder le matériel végétal très jeune

dans un état où il évapotranspire beaucoup et produit le maximum de biomasse. Il ne faut pas conserver des arbres de très haute taille sur des versants où les risques de glissement sont élevés.

Lorsque le plan de glissement est situé proche de la surface du sol, on peut admettre que les racines des arbres exercent une forte résistance mécanique au cisaillement de la couverture pédologique. Par contre, si la surface de glissement potentiel est trop profonde et hors de portée des racines, cette résistance des racines ne joue plus et on peut même penser que la surcharge des versants par la masse boisée risque de faciliter le glissement.

Les méthodes préventives sont les plus importantes. Il faut donc éviter d'installer des infrastructures sur les versants instables, mais si on ne peut faire autrement, il convient de limiter les déblais et remblais qui déséquilibrent les versants. Si l'on est obligé de creuser le versant pour un passage routier par exemple, il faut conforter le talus en augmentant la butée par un masque en enrochemen ou un mur de soutènement (fig.56) qui s'oppose au couple de rotation du glissement et améliore le drainage du versant. Lorsqu'on crée une route sur un versant pentu, il est utile tout d'abord de stabiliser l'assiette de la route par la plantation d'eucalyptus que l'on maintient en taillis sur les talus amont et aval ou d'y installer de l'herbe qu'il ne faut surtout pas arracher. Il faut éviter les coupes à blanc qui détruisent toute l'armature de racines dans la couverture pédologique au même moment. On peut aussi installer en amont un mur drainé dont les fondations sont bien ancrées dans la roche. Enfin, en montagne, s'il existe un versant rocheux très pentu, il est possible de jeter un filet en grillage de fil de fer pour amortir la chute des pierres.

Les zones dangereuses doivent être cartographiées et les plans d'occupation des sols interdisant toute construction et modification du versant établies. Cependant, il n'est pas toujours possible d'éviter les cultures sur ces zones fragiles montagneuses souvent plus peuplées que les plaines environnantes car le climat y est plus sain (pas de paludisme) et les terres mieux arrosées.



*Figure 55 : Glissement de terrain
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)*



*Figure 56 : Mur de soutènement construit sur la route Bujumbura-Bugarama
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)*

En conclusion, la lutte contre les glissements de terrain est une affaire de spécialistes qui réclame de gros moyens pour drainer les plans de glissement hors de portée des paysans. Ces investissements de l'Etat ne se justifient que pour protéger des aménagements vitaux: réseaux

routiers, villages, barrages, etc... Mais il existe quelques recettes que les paysans implantés depuis longtemps dans la région connaissent bien: il s'agit d'utiliser des arbres - en particulier l'eucalyptus et les bambous - pour dessécher l'assiette des talus et stabiliser les mouvements lents de la couverture pédologique sur les versants pentus et le long des berges. En jouant sur le choix des espèces, on devrait pouvoir transformer ces paysages habités en un bocage stable.

1.3. Lutte contre l'érosion éolienne¹⁵

L'érosion éolienne prend de l'importance dans les zones sèches, là où la pluviosité annuelle est inférieure à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur une longue période et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé. Elle peut aussi se développer dans des conditions de préparation du sol qui amènent une pulvérisation importante des matériaux superficiels secs. La lutte contre l'érosion éolienne s'organise à deux niveaux; d'une part réduire la vitesse du vent à la surface du sol, et d'autre part, augmenter la cohésion du matériau face à cette agression.

a. Les brise-vents et haies. Un brise-vent se définit en général comme une rangée d'arbres ou d'arbustes de grande taille plantés perpendiculairement à la direction du vent dominant. Un brise-vent comporte deux (2) parties : un côté au vent (exposé aux vents dominants) et un côté sous le vent. Les brise - vents contribuent à réduire les effets négatifs des vents violents sur la production agricole et même sur l'habitat. Ils protègent les sols contre l'érosion éolienne atténuant ainsi la dégradation des sols.

La construction de brise-vent constitue une technique assez délicate dans la mesure où doivent être pris en compte à la fois l'orientation, la structure, la composition des espèces et son aménagement dans le temps. L'orientation n'est pas toujours facile à choisir car les vents dominants changent au cours de l'année. Aussi, il est conseillé de mettre en place un réseau de brise-vents car un seul brise-vent sera de peu d'effet. C'est une succession ou un quadrillage qu'il faut prévoir.

L'écartement entre les plants sera de 1,5 à 4 m sur les lignes. L'association de plusieurs espèces feuillues est recommandée à un triple point de vue : (i) elle assure un meilleur effet brise-vent, (ii) elle est biologiquement plus riche, (iii) elle est peu vulnérable aux attaques parasitaires.

La plantation s'effectue dans les conditions habituelles et les plants sont disposés en quinconce d'une ligne à l'autre (fig.57). Des arbres de hauteurs différentes constituant plusieurs strates forment souvent des brise-vents plus efficaces. Un brise-vent possède une hauteur (H) qui définit son champ d'action selon sa perméabilité. La zone à protéger par le brise-vent est une fonction de sa densité et de sa hauteur.

¹⁵ Ways of water. Run-off, Irrigation and Drainage. Hugues Dupriez. Philippe De Leener. Brussels, 2002

Si l'on prend comme critère une réduction de 20% de la vitesse du vent, à 1 m au-dessus du sol, on peut considérer que la zone protégée s'étend sur une distance égale une à cinq fois la hauteur du brise-vent du côté au vent et 10 à 15 fois de cette hauteur du côté sous le vent.



*Figure 57 : Brise-vent avec deux ou trois lignes d'arbres plantées à 5 m d'écart
(Idrissou Bouraima)*

Le choix des espèces est capital. Les qualités requises pour les espèces choisies sont : avoir un feuillage persistant mais pas trop dense ; supporter les tailles sévères ou rejeter vigoureusement après recepage ou étêtage ; avoir une croissance rapide et une hauteur suffisante ; avoir un enracinement pivotant et profond. Les arbres et arbustes comme Acacia, Albizia, Leucaena sont des végétaux les mieux indiqués.

La pratique des brise-vents devront concerner surtout les grands domaines d'exploitation publique ou privé. La pratique des brise-vents par les petits producteurs risque de ne pas être adoptée vu l'exigüité des terres. Elle est praticable dans toutes les zones agro-écologiques et sur tous les types de sols par les agri-éleveurs.

Avantages et impacts. Un brise-vent bien conçu et correctement orienté permet de réduire la vitesse du vent des deux (2) côtés (au vent et sous le vent) sans en augmenter la turbulence et protège les cultures contre les effets mécaniques du vent (verse des céréales, troubles de pollinisation, chute des fruits). Le brise-vent permet de produire du bois, des fruits, des médicaments et autres spéculations économiques qui rendent attrayants de tels dispositifs auprès des populations rurales. Il diminue l'évapo-transpiration.

Contraintes. Le brise-vent est en compétition vis-à-vis de la lumière pour une partie de l'exploitation agricole. Un minimum de technicité est requis pour le choix des espèces et leur plantation.

b. La couverture du sol par le paillage ou la couverture vivante durant la saison sèche. On peut également réduire la vitesse du vent en augmentant la densité du couvert végétal. Ceci est évidemment difficile en milieu aride, aussi est-il particulièrement important de veiller à une saine gestion des résidus de culture qu'il faut tenter de maintenir à la surface du sol de façon à augmenter la rugosité du terrain, à protéger la surface du sol plus qu'à être enfouis où ils ne pourront améliorer que légèrement la structure et la résistance à l'agression du vent.

c. Le travail du sol. Il faut créer une surface rugueuse, d'où l'intérêt de grosses mottes et des cultures en billons perpendiculaires au vent, avec mottes au sommet. Eviter l'affinement du sol

par des travaux trop nombreux surtout sur un sol sec. En culture mécanisée, éviter si possible le retournement du sol et préférer les instruments à dents. Il convient de combiner la couverture végétale du sol, le mode de labour avec l'implantation des haies vives.

1.4. Lutte contre l'érosion mécanique sèche ou érosion aratoire

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau. C'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus. Chaque labour entraîne une tranche de terre (environ 10 t/ha si la parcelle fait 100 m de large x 100 m de haut) et chaque sarclage déplace quelques mottes de terre vers le bas (environ 1 t/ha). Au bout du compte, on arrive (Equateur-De Noni et Viennot, 1991) à devoir monter une murette de 1,30 mètre en 24 mois (soit environ 40 t/ha/an) et on construit des talus de 1 m en 4 à 5 ans, soit un rehaussement de 20 cm par an (Côte d'Ivoire, au Rwanda et au Burundi-Roose et Bertrand, 1971 et Roose *et al.*, 1990).

1.4.1. Les facteurs influençant l'érosion mécanique sèche

L'intensité du déplacement de terre dépend:

(i) du type d'outil: la charrue à soc déplace plus de terre plus que les charrues à disques, que la houe et que la herse.

(ii) de la fréquence des passages: en zone humide, à deux saisons des pluies, il y a deux labours plus quatre sarclages. En zone tropicale humide à une saison, il y a un labour plus deux sarclages.

(iii) de l'orientation du travail: le travail du sol peut être effectué en courbes de niveau et le versoir orienté vers l'aval ou bien vers l'amont. Le travail peut s'effectuer du bas vers le haut de la parcelle: c'est le cas général des travaux manuels dans les pays en développement. Il est très rare que la terre soit remontée par les outils.

(iv) de la pente : plus la pente est forte et plus les mottes détachées par la houe roulent vers le bas. En zone de montagne, les hauts de pente et sommets des collines sont souvent décapés, ce qui dénote une érosion en nappe qui n'est pas compensée et surtout une érosion mécanique sèche importante.

1.4.2. Méthodes de lutte antiérosive

On a souvent confondu la lutte contre l'érosion en nappe avec la lutte contre l'érosion mécanique sèche, car les facteurs et les méthodes de lutte se recoupent.

(i) Réduire le nombre de passages des outils et l'importance du travail du sol. On tend vers le travail réduit au minimum (minimum tillage) lorsque les résidus de culture sont abandonnés à la surface du sol.

(ii) Il faut **réduire l'énergie dépensée pour le travail du sol**. Il n'est pas toujours nécessaire de retourner le sol avec une charrue. Un simple éclatement par les dents en profondeur augmente la macroporosité, la capacité de stockage de l'eau, l'enracinement et maintient en surface la matière organique et les résidus de culture. A la limite, le travail minimum du sol se réduit à une simple ligne alors que le reste du sol est couvert par un paillis de résidus: ce mode de préparation du sol divise par dix les risques d'érosion mécanique sèche par les outils.

(iii) **L'orientation du travail**. Si la pente est inférieure à 14 %, il est possible de travailler mécaniquement le sol, alternativement dans un sens et dans l'autre, d'où des compensations ou ralentissement des transports solides (Revel, 1989). Si par contre la pente est supérieure à 14 %, les tracteurs risquent de verser: il faut donc : cloisonner le paysage en bandes cultivées entre des talus et réduire suffisamment la pente, ou développer des cultures pérennes sans travail du sol avec des plantes de couverture ou avec paillage, ou labourer et sarcler dans le sens de la plus grande pente mais semer perpendiculairement à la pente et prévoir des barrages, des petites diguettes, tous les 10 m ou des cultures manuelles localisées espacées le plus possible dans la saison.

(iv) Il s'agit de **former des talus** de manière à créer à chaque niveau de versant des horizons d'accumulation de l'eau, de la fertilité et du sol qui vont évoluer en terrasses progressives.

1.5. Restauration des zones exploitées pour des carrières et mines

Chaque carrière doit présenter dès avant son ouverture un projet de réaménagement. La nécessité de prendre en compte les données du terrain, les conditions d'exploitation du gisement et les réglementations en vigueur guident les choix. Beaucoup de carrières sont exploitées de façon anarchique (fig.58 et 59).



Figure 58 : Extraction des carrières tout près de Kinyana (Ngozi)
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)



Figure 59 : Extraction de l'argile pour la fabrication des briques (Kayanza)
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)

Conformément à la **Politique de réaménagement des carrières**, l'exploitant élabore un plan de réaménagement qui prend en compte les études d'impact qui ont été réalisées sur les contextes géologique, hydrologique, paysager, sur le patrimoine, sur la faune et la flore, sans oublier les infrastructures existantes.

Orientation à privilégier pour le réaménagement des carrières¹⁶. Diverses stratégies de réaménagement après exploitation, qui peuvent d'ailleurs être combinées, sont:

a. pour les carrières exploitées "en eau ", il faut : (i) un réaménagement paysager et écologique des plans d'eau ; (ii) un réaménagement avec fonction de bassin écrêteurs de crue ; (iii) une constitution de réserves en eau potable ou un aménagement pour la réalimentation de la nappe ; (iv) un réaménagement pour aquaculture ; (v) un remblaiement.

b. pour les carrières exploitées "hors d'eau" et les carrières "en eau" remblayées, il faut : (i) une mise en valeur agricole, forestière, industrielle ; (ii) un réaménagement paysager ; (iii) autres aménagements: réaménagement en terrains de sport ou de loisirs, réaménagement pédagogique pour les sites présentant un intérêt particulier.

c. pour les carrières en roche massive.



*Figure 60 : Exploitation en gradins du Coltan à Kabarore
(photo réalisée par Marcien SENDEGEYA)*

L'exploitation de carrières en roche massive peut créer des fronts de taille de grande hauteur, d'aspect artificiel, parfois visibles de très loin. Il est nécessaire de : (i) assurer la stabilité des fronts sur le long terme (fig.60); (ii) limiter la hauteur des fronts en créant éventuellement des gradins intermédiaires ; (iii) casser la monotonie des gradins horizontaux qui soulignent le front de la carrière, par une alternance d'éboulis ; (iv) revégétaliser les banquettes et fronts de taille par la plantation d'espèces locales et adaptées.

Chaque fois que cela sera possible, le maintien d'un écran naturel est recherché. Le réaménagement de ces carrières devra permettre de concilier la sécurité et l'intégration paysagère, ceci sans attendre la fin de l'exploitation.

Exploitation minière. L'exploitation minière d'un site s'accompagne généralement d'un défrichage total du sol, d'une modification radicale du paysage et d'un dérèglement complet de l'écosystème. Lorsqu'elles sont mal gérées, les activités minières peuvent aussi avoir des effets notables au-delà du site, par le fait notamment du déversement d'un drainage contaminé par des sédiments, des produits chimiques et des métaux, ou de la modification de l'acidité. Les opérations minières peuvent également favoriser l'introduction de ravageurs, de prédateurs et de maladies dans les écosystèmes naturels et exposer des zones isolées à des perturbations d'origine anthropique nouvelles. Trop souvent, les mines sont abandonnées dans un état fortement perturbé, après avoir fait l'objet d'une restauration limitée, voire nulle.

Fermeture et restauration d'une zone d'exploitation minière. Une fois les activités minières terminées, la restauration consiste à remettre les terres perturbées à l'état le plus rapproché

¹⁶ http://www.ain.gouv.fr/IMG/pdf/orientation_a_privilegier.pdf

possible de leur état initial. Cette tâche est entreprise soit pendant l'exploitation de la mine (restauration progressive) ou après sa fermeture. Tout site minier doit être restauré conformément à la réglementation pertinente, ce qui nécessite généralement un certain nombre de travaux, y compris le réaménagement paysager, la remise en place de la terre végétale et la plantation d'herbes, d'arbres ou de couvertures végétales indigènes.

Le plan de restauration doit être élaboré en tenant compte de toute information pertinente sur la conformation du terrain avant et après l'exploitation, les sols, les caractéristiques des déchets, l'hydrologie, l'utilisation du sol et autres aspects concernant la biodiversité qui sont pertinents à la restauration ; de toutes les limitations posées par les éléments précédents et des enquêtes sur la faune et la flore avant exploitation faites dans des sites de référence à des fins de surveillance.

1.6. Aménagements des bassins versants

L'approche par « **bassin versant**» soutient les systèmes de gestion durable des terres par la conservation de zones définies appelées « **microenvironnements**», grâce à la participation active des communautés qui y vivent. Elle est initiée pour obtenir des impacts techniques et sociaux plus rapides que les mesures qui ciblent les paysans à titre individuel. C'est une approche à l'échelle du paysage.



Figure 61 : Croquis d'aménagement du bassin versant de Magamba (Mwaro)

Le processus est le suivant :

- 1°. Critères de sélection d'un bassin versant et du marais y afférant: degré de dégradation des terres, visibilité, accessibilité, priorités des communautés, participation des bénéficiaires, politiques, plans et stratégies de mise en place, activités transfrontalières, interventions d'autres acteurs.
- 2°. Participation communautaire dans le processus: communautés, administration locale, services techniques, etc.
- 3°. Etudes de caractérisation biophysique et socio-économique.
- 4°. Elaboration d'un plan d'action pluriannuel assorti des plans d'action annuels



Figure 62 : Aménagements du bassin versant de Magamba
(photos réalisées par salvator NDABIRORERE)



Figure 63 : Bassin versant aménagement en province Mwaro
(source : FAO)

L'accent est mis sur les différentes mesures de lutte anti-érosive adaptées à chaque zone (fig.62 et 63). Les activités à développer sont: le reboisement des sommets de montagne, l'agroforesterie, la gestion et l'amélioration des parcours, la mise en place des dispositifs anti-érosives, la protection des marais par des canaux de ceinture, l'aménagement des marais, la protection des sources et des cours d'eau. La gestion du bassin versant est généralement basée sur : la gestion communautaire des boisements, le creusement et l'entretien des fossés d'infiltration dans les parcours, la coupe régulière des haies et des arbres agroforestiers et la production du fourrage, du paillis, du bois, des tuteurs...

1.7. Gestion et aménagement des marais

On distingue les marais domaniaux et les marais relevant de la propriété privée. Parmi les marais domaniaux, on distingue deux sous-catégories: les marais qui relèvent du domaine public de l'Etat ou de la commune et ceux qui relèvent du domaine privé de l'une de ces deux personnes publiques.



Figure 64 : Les marais relevant de la «propriété privée» (photos fournies par J.P. TWAGIRAYEZU)

Les marais relevant de la propriété privée (fig.64) sont considérés comme tels après avoir fait l'objet de procédures de délimitation organisées en concertation avec les populations intéressées.

Orientations de la loi quant à la gestion des marais. A ce titre, la loi traite, successivement, de l'aménagement, de la protection et de l'exploitation des marais.

Au regard de l'aménagement, les options fondamentales visant à assurer une gestion équilibrée et durable des marais sont définies par le schéma directeur d'aménagement et de mise en valeur des marais. Quant aux opérations d'aménagement ou de réaménagement proprement dites, elles doivent être précédées par des consultations des populations concernées et, s'il y a lieu, par des études d'impact sur l'environnement.

S'agissant de la protection des marais, une gestion équilibrée et rationnelle n'est certes pas exclusive de leur préservation. Néanmoins, certains marais particulièrement riches ou fragiles requièrent une protection renforcée, moyennant leur classement en zone protégée.

Quant à l'exploitation des marais, elle doit se faire, pour les marais «appropriés», sous l'encadrement et avec l'appui des services techniques compétents, avec la possibilité pour les intéressés de s'entraider en constituant des associations d'exploitants de marais.

1.8. Gestion protectrice des eaux et des sols¹⁷

1.8.1. Gestion protectrice de l'eau

Le Gouvernement veut que les actions à entreprendre dans le cadre du développement du secteur de l'eau soient guidées par des principes directeurs. Les 10 principes définis pour le secteur eau orientent les acteurs du secteur de l'eau dans la gestion, la protection, la conservation et l'utilisation des ressources en eau. Ils sont classés en trois catégories de concepts: (i) les concepts de la gestion des ressources, (ii) les concepts de la bonne gouvernance et (iii) les concepts environnementaux. (Voir article 2 du Code de l'eau, 2012).

1.8.2. Périmètres de protection des sources d'eau¹⁸

L'eau potable au Burundi est principalement obtenue à travers l'eau souterraine. Malheureusement, la protection de cette ressource est encore très peu répandue au Burundi, on pourrait même dire quasi-inexistante. Pour garantir un approvisionnement en eau potable de bonne qualité à la population, il est indispensable d'établir des périmètres de protection, comme le prévoit le Code de l'Eau.

1.8.2.1. Types des périmètres de protection

Le périmètre de protection est une zone particulière autour d'un captage d'eau potable où des prescriptions sont établies pour limiter les risques de pollution de l'eau captée (voir article 43 du Code de l'Eau). Généralement, quand il s'agit de la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, trois périmètres différents sont définis: (i) le périmètre de protection immédiat, (ii) le périmètre de protection rapproché et (iii) le périmètre de protection éloigné. Les périmètres de protection immédiat et rapproché sont obligatoires pour tous les captages. En revanche, le périmètre de protection éloigné est nécessaire seulement dans des cas spécifiques et sur demande du Ministère ayant l'eau dans ses attributions.

a. Périmètre de Protection Immédiat (PPI). Le périmètre de protection immédiat (PPI) a pour but la protection de l'ouvrage et son entourage le plus proche. En effet, il vise à garantir la sécurité des installations de prélèvement contre toutes formes de détérioration et à empêcher des déversements ou des infiltrations de substances polluantes à l'intérieur ou à proximité du point de captage de l'eau.

b. Périmètre de Protection Rapproché (PPR). Le Périmètre de Protection Rapproché (PPR) a comme fonction la protection de la qualité de la ressource en eau souterraine. Il vise à la

¹⁷ Politique Nationale de l'Eau, 2009

¹⁸ Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destiné à la Consommation Humaine. IGEBU, Août 2014

protection de la ressource contre les microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites, etc.) ou toute sorte de pollution pouvant compromettre la qualité de l'eau souterraine.

c. Périmètre de Protection Eloigné (PPE). Le Périmètre de Protection Éloigné (PPE), appelé aussi zone de vigilance, correspondrait théoriquement à l'ensemble du bassin d'alimentation du captage mais, pour des raisons économiques et pratiques, elle est généralement limité à une zone plus réduite. Il protège la ressource de toute pollution ponctuelle ou diffuse qui pourrait affecter la qualité de l'eau sur des longues distances comme les substances chimiques ou peu dégradables ainsi que les substances radioactives.

1.8.2.2. Détermination des périmètres de protection

Pour plus de détails lire le Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la Consommation Humaine. Août 2014. Les données figurant dans ce sous-titre sont tirées du guide.

a. Sources. Les sources du Burundi sont essentiellement alimentées par de l'eau provenant d'aquifères fissurés (granites, schistes et quartzites), lesquels occupent la plupart de la surface du pays. La délimitation des périmètres de protection est impérative pour des sources avec un débit moyen annuel supérieur à 0,5 l/s. Les sources avec un débit inférieur à 0,5 l/s seront protégées seulement par un périmètre de protection immédiat. Pour délimiter les périmètres de protection d'une source, il est indispensable de connaître le débit moyen annuel de la source.

PPI. Le PPI pour toutes les sources aura un minimum de 30 m vers l'amont topographique, 5 m vers l'aval et 5 m à droite et à gauche de la source (fig.65). Cette surface doit être limitée par bornage, haie vive, arbustes à enracinement peu profond, etc. Si le point de puisage est situé à moins de 5 m à l'aval de la source, il doit aussi être protégé par une dalle en béton dont les dimensions sont données dans la figure 66.

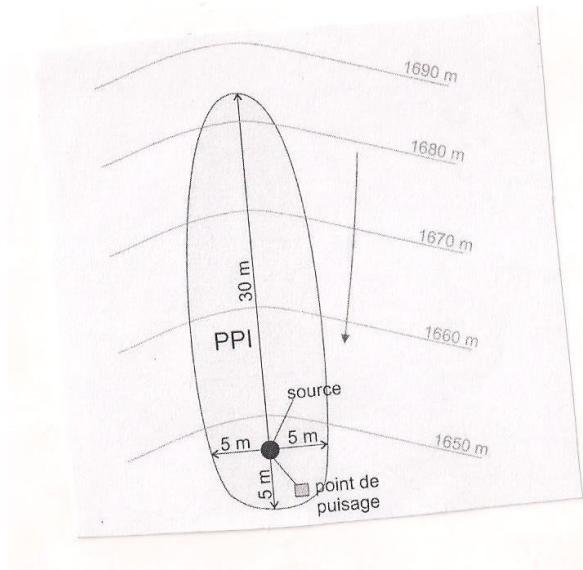


Figure 65 : Périmètre de protection immédiat

PPR

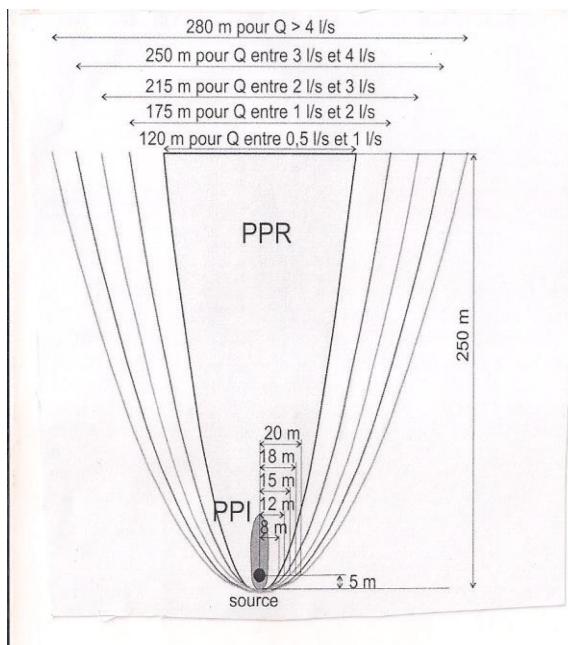


Figure 67 : Périmètre de protection rapproché pour une source en cas de manque total de connaissances hydrogéologiques

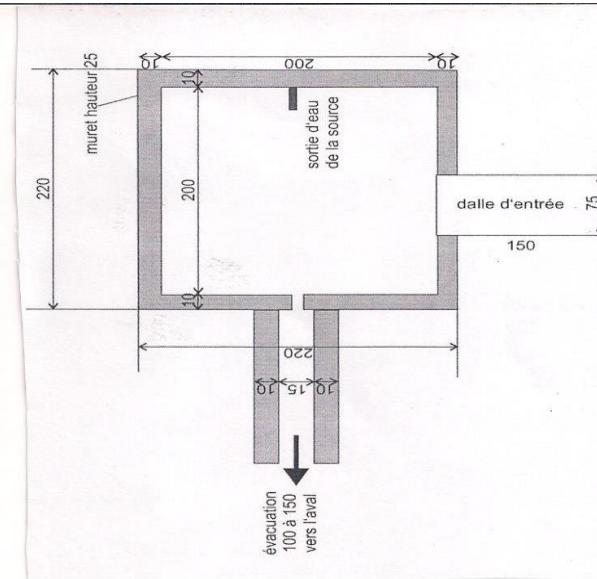


Figure 66 : Exemple de protection du lieu de puisage avec une dalle en béton

(i) Sans données hydrogéologiques. En cas de manque absolu de connaissances hydrogéologiques (fig.67), le PPR s'étendra jusqu'à au maximum 250 mètres à l'amont géographique, 5 m vers l'aval et aura la forme d'une parabole autour de la source en fonction du débit annuel moyen. La longueur de 250 m en amont est basée sur une vitesse d'écoulement de l'eau souterraine mesurée au Burundi et considérée typique pour le pays. La surface de la parabole a été déterminée afin qu'au moins la moitié du débit de la source soit rechargeée dans cette zone. Si cette surface s'étend au-delà de la crête, elle sera réduite jusqu'à son sommet. La plus grande parabole (280 m pour $Q > 4$ l/s) peut être utilisée pour toutes les grosses sources du Burundi qui, en général, ne dépassent pas les 5 l/s.

(ii) Avec données hydrogéologiques. Une détermination plus précise du PPR requiert la connaissance de paramètres hydrogéologiques additionnels de l'aquifère qui nécessite la collecte et l'analyse de données supplémentaires et généralement l'intervention d'experts en hydrogéologie. Cela implique l'étude des points suivants : suivi de débit(Q), température (T) et conductivité électrique (CE) lors d'événements de crue.

PPE

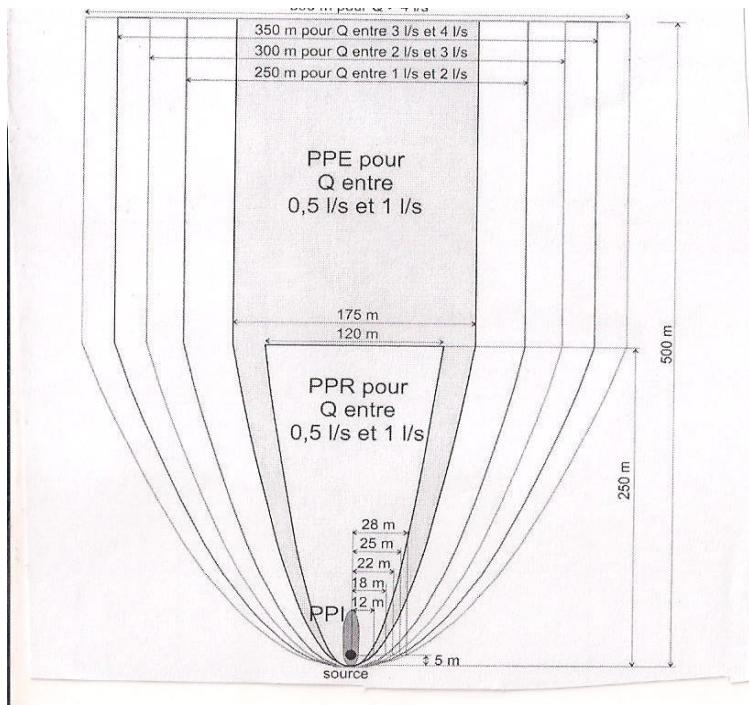
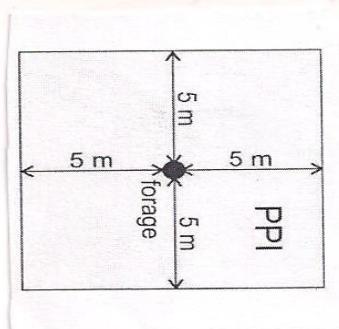


Figure 68 : Délimitation du PPE dans le cas de manque absolu de connaissances hydrogéologiques

b. Forages. La construction des forages n'est pas encore très répandue au Burundi, même si apparemment les ressources en eau souterraine sont suffisantes pour l'appliquer. Pour délimiter les périmètres de protection des forages, il est indispensable de connaître au moins le débit d'exploitation du forage.

PPI. Pour la détermination du PPI on distingue deux cas de figure, selon que l'aquifères est poreux ou fissurés.

b₁. Aquifères poreux.



Au Burundi, ce type d'aquifère se trouve surtout dans la plaine de l'Imbo tout le long de la rivière Rusizi, dans la plaine du Moso, dans les fonds des vallées et au bord du lac Tanganyika.

Le PPI aura un minimum de 5 m autour du forage (fig.69) qui doit être clôturé avec un grillage muni d'une porte d'accès à maintenir fermée pour éviter l'entrée des animaux.

Selon le type de pompe utilisée (à motricité humaine, solaire ou électrique actionnée par un groupe électrogène), une protection supplémentaire est nécessaire (cfr.annexe 2).

Figure 69 : Délimitation du PPI pour les forages

- (i) Sans données hydrogéologiques. En cas de manque absolu de données hydrogéologiques, le PPE s'étendra jusqu'à une limite située à 500 mètres vers l'amont géographique (la distance PPE-PPR sera la même que la distance PPR-source) et de 5 m vers l'aval et aura la forme d'une parabole autour de la source en fonction du débit annuel moyen (fig.68). Si ce périmètre s'étend au-delà de la crête, il sera réduit jusqu'à sa cime.
- (ii) Avec données hydrogéologiques. Avec des données hydrogéologiques disponibles et indépendamment de la vulnérabilité de la source, le PPE sera défini de façon à ce que la distance entre le PPE et le PPR soit la même que la distance entre le PPR et la source dans la direction générale des écoulements, vers l'amont.

b2.Aquifères fissurés. Si le forage est situé dans un milieu fissuré, avec des discontinuités drainant les eaux vers le captage, le PPI sera agrandi pour inclure au moins 50 m le long de la fracture (fig.70).

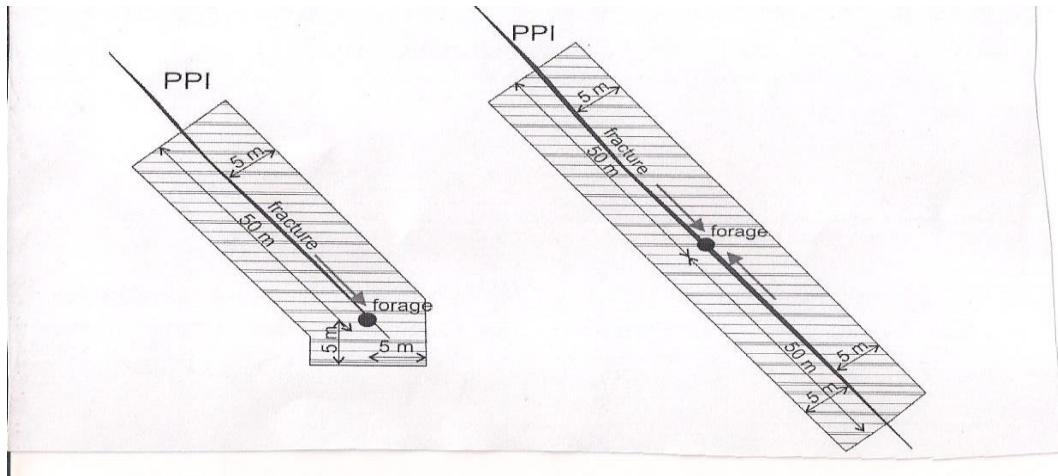


Figure 70 : Délimitation du périmètre de PPI dans le cas d'une fracture directement drainée par le forage

PPR. (i) Sans données hydrogéologiques. Pour déterminer le PPR d'un forage pour lequel on ne dispose pas de données hydrogéologiques, la surface sera définie comme un cercle autour du forage dont le rayon R sera fonction du débit d'exploitation Q . Le cercle aura un rayon minimum de 50 mètres. Pour la détermination du rayon R , les débits d'exploitation habituels au Burundi seront pris en compte, comme suit: (i) $Q < 15 \text{ m}^3/\text{h}$: 50 m; (ii) $15 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 25 \text{ m}^3/\text{h}$: 60 m; (iii) $25 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$: 90 m; (iv) $50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 75 \text{ m}^3/\text{h}$: 110 m; (v) $75 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 125 m ; et (vi) $Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 150 m.

(ii) Avec données hydrogéologiques. Dans le cas où des études hydrogéologiques ont été effectuées et que des données hydrogéologiques spécifiques locales sont disponibles, le PPR doit être délimité de façon à permettre une durée d'écoulement des eaux dans l'aquifère, de la limite de la zone jusqu'au captage, de 10 jours minimum (isochrone de 10 jours). A cet effet, la méthode de Wyssling peut être appliquée (cfr. Annexe 3). La distance minimum entre le forage et la limite du PPR sera de 50 mètres vers l'amont dans la direction d'écoulement de la nappe). Pour appliquer la formule de Wyssling, il faut connaître :

- H : épaisseur de l'aquifère (m) ;
- k : conductivité hydraulique de l'aquifère (m/s);
- I_0 : gradient hydraulique initial (avant de commencer à pomper) ;
- n_e : porosité efficace ; et
- Q : débit d'exploitation ($\text{m}^3/\text{s} = \text{m}^3/\text{h} * 0,000278$).

Si l'aquifère est protégé par une couche d'argile continue d'une épaisseur minimum de 2 m, la taille du PPR se réduit à l'isochrone de 5 jours en appliquant la méthode de Wyssling. Il faudra

cependant s'assurer de la continuité de cette couche d'argile dans tout le PPR par la réalisation des forages supplémentaires à la tarière. La limite de 50 mètres ne sera pas appliquée.

PPE. (i) Sans données hydrogéologiques. Si les données hydrogéologiques ne sont pas disponibles, le PPE sera déterminé afin que la distance PPE-PPR soit la même que PPR-forage, c'est-à-dire : (i) $Q < 15 \text{ m}^3/\text{h}$: 100 m; (ii) $15 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 25 \text{ m}^3/\text{h}$: 120 m; (iii) $25 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$: 180 m; (iv) $50 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 75 \text{ m}^3/\text{h}$: 220 m; (v) $75 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 250 m; et (vi) $Q > 100 \text{ m}^3/\text{h}$: 300 m.

(ii) Avec données hydrogéologiques. Avec des données hydrogéologiques disponibles et indépendamment de la vulnérabilité de l'aquifère, le PPE sera déterminé afin que la distance entre le PPE et le PPR soit la même que la distance entre le PPR et le forage dans la direction générale des écoulements, vers l'amont.

Dans le cas de captages de grande importance pour l'approvisionnement en eau potable il pourrait être nécessaire d'étendre le PPE à l'ensemble du bassin d'alimentation du captage. L'identification des zones de recharge et l'étendue du PPE dans ces cas particuliers demandent l'intervention des experts en hydrogéologie à travers l'élaboration d'une étude hydrogéologique spécifique.

1.8.2.3. Prescriptions particulières à l'intérieur des périmètres de protection

PPI. Dans le PPI, toutes les activités sont interdites, à l'exception de celles liées au bon fonctionnement et à l'exploitation du captage, ainsi qu'à l'entretien des terrains inclus dans le PPI. L'utilisation de pesticides, herbicides et engrains est explicitement interdite dans le PPI et l'entretien doit être réalisé manuellement ou mécaniquement.

PPR et PPE. Dans le tableau 5 ci-dessous toutes les activités interdites dans les périmètres de protection rapproché et éloigné sont présentés.

Tableau 5 : Activités interdites dans les périmètres de protection rapproché et éloigné

PPR	PPE
Recyclage et dépôt d'ordures, immondices et détritus	
Dépôt d'hydrocarbures liquides ou gazeux, produits chimiques, engrains et pesticides	Dépôt d'hydrocarbures liquides ou gazeux (stations de service)
Stockage de toute substance industrielle polluante	Stockage de substances industrielles polluantes (sauf huile pour usage résidentiel ou diesel pour opérations fermières)
Installation de transformateurs et lignes d'électricité avec fluides refroidissants ou isolants contaminants	
Infiltration des eaux usées (rendre les fosses septiques étanches ou les déplacer à l'extérieur du	Infiltration des eaux usées si la nappe est à moins de 5 m de profondeur

PPR)	
	Décharge des eaux usées dans les rivières qui s'écoulent vers le PPR
Usage du terrain en tant que « lieu d'aisance »	
Dépôt de boues de vidange des fosses septiques	
Installation de systèmes de traitement d'eaux usées	
Aquaculture	
Développement de nouvelles zones d'habitat	
Construction de bâtiments qui s'interposent dans la nappe	
Construction d'aéroports	
Dépôt de matériel de construction contaminant	
Transport de produits polluants pour l'eau en cas d'axe de communication traversant le périmètre de protection	
Épandage de fumier, fertilisant et pesticide	Épandage de fertilisant et pesticide
Abreuvement, parage et élevage d'animaux	
Excavations (y compris la fabrication de briques) et installation des cimetières	Excavations et installation des cimetières, selon le niveau statique de l'eau souterraine : - peu profond (< 15 m) - profond (> 15 m), si la zone non saturée a une forte perméabilité (sables)
Activités minières, production de pétrole ou gaz, production d'énergie géothermale	
Exploitation de mines et carrières à ciel ouvert	Exploitation de mines et carrières à ciel ouvert, si elles réduisent la protection naturelle de la nappe de plus de 50%
Camps militaires	
Création de nouveaux puits et tout autre ouvrage qui facilite l'infiltration	Création de nouveaux puits si la nappe se trouve à moins de 5 m de profondeur

Le tableau 6 ci-dessous, présente les activités qu'il faut accomplir pendant la délimitation des périmètres de protection rapproché et éloigné pour assurer une réussite de la protection.

Tableau 6 : Activités à accomplir pendant la délimitation des périmètres de protection rapproché et éloigné

PPR	PPE
Captages abandonnés: les reboucher, impératif de respecter les règles de bon remblayage (voir le Guide de Bonnes Pratiques pour la Réalisation des Forages d'Eau au Burundi)	
Puits ouverts et puisards existants : les reboucher en respectant les règles	
Création de nouveaux forages: demande d'autorisation obligatoire, impératif de respecter les règles de bonne foration (voir le Guide de Bonnes Pratiques pour la Réalisation des Forages d'Eau au Burundi)	
Forages existants: déclaration obligatoire (comme proposé pour le changement de l'Art.19 de l'Ordonnance Ministérielle N°770/1590 fixant les modalités et prescriptions techniques pour la délivrance de l'autorisation d'exercices de forage, de creusement de puits et de sondage en vue de la recherche, du captage ou de l'exploitation des eaux souterraines)	
Zones imperméabilisées: elles doivent être limitées. La totalité de la zone imperméabilisée ne peut pas couvrir plus de 10% de la surface du PPR et plus de 30% de la surface du PPE	

1.8.3. Gestion des zones humides de protection

Définition. Les zones humides sont généralement définies comme des espaces de transition entre terre et eau, elles constituent en effet une « catégorie particulière de systèmes écologiques ou écosystèmes qui se différencient par leurs caractéristiques et leurs propriétés des deux autres grandes catégories représentés par les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques. » (Barnaud G., 2007).

Cette situation d'interface entre la terre et l'eau se rencontre dans de nombreuses situations : bords de lacs, d'étangs, de ruisseaux, rivières, fleuves, deltas ou baies, etc. Le terme générique « zones humides » désigne donc un ensemble de milieux naturels extrêmement différents mais possédant tous le point commun d'avoir un fonctionnement intimement lié à l'eau. En fonction du référentiel considéré (Ramsar, loi sur l'eau, ...), le terme « zones humides » ne désigne pas exactement les mêmes milieux naturels, certaines définitions étant plus larges que d'autres.

L'utilisation rationnelle des zones humides. La Convention Ramsar définit l'utilisation rationnelle des zones humides comme « le maintien de leurs caractéristiques écologiques obtenu par la mise en œuvre d'approches par écosystème dans le contexte du développement durable ».

Sites Ramsar au Burundi. En 2002, le secteur «Delta» (1066 ha) du Parc National de la Rusizi, autour de l'embouchure de la Rusizi est classé “site Ramsar n° 1180” par la convention des zones humides. En mars 2013, désignation de trois nouveaux sites Ramsar d'importance internationale pour la Burundi à savoir : “Parc National de la Ruvubu d'une superficie de 50800 ha (site Ramsar n°2148); Paysage aquatique protégé du Nord d'une superficie de 16242 ha (site Ramsar n°2149); Réserve naturelle de la Malagarazi d'une superficie de 800 ha (site Ramsar n°2150) ”.

1.8.3. 1. Fonctions, services et bénéfices des zones humides

Les zones humides sont le lieu de nombreuses activités récréatives, culturelles et éducatives. Elles ont aussi une valeur patrimoniale et une valeur fonctionnelle. En effet, les zones humides sont des réservoirs de biodiversité et sont souvent présentées comme des infrastructures naturelles remplissant de nombreuses fonctions bénéficiant directement à l'homme. Les fonctions, services et bénéfices des zones humides sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Fonctions, services et bénéfices des zones humides

Fonctions	Services et bénéfices
Eléments de subsistance et sécurité alimentaire	Maintien des moyens de subsistance et d'approvisionnement en nourriture pour la population rurale; Production d'eau, de nourriture, de bois de chauffage, des ressources médicinales et des matières premières pour la construction; Maintien de l'agriculture des zones humides, y compris pour la production agricole et la pêche, à la fois pour la production de la nourriture et pour des activités lucratives; Support d'élevage (pâturage); Base d'autres activités économiques comme le tourisme et les loisirs.
Qualité et quantité d'eau	Production et stockage d'eau utilisée pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau domestique; Base des capacités pour la production d'énergie hydroélectrique; Purification de l'eau par la capacité de filtrage.
Biodiversité	Habitat et réservoir pour les espèces endémiques; Tremplin écologique au sein d'un réseau des écosystèmes dans le bassin nécessaire pour la capacité d'adaptation des espèces à l'époque du changement climatique et les événements météorologiques inhabituels; Maintien de la diversité biologique et génétique; Aires de reproduction et d'habitat pendant les changements climatiques annuels et les changements saisonniers; Pourvoit le refuge écologique pour les animaux; Point d'arrêt et d'hivernage pour les oiseaux de conservation internationale.
Changement climatique	Les terres humides sont d'importants puits de carbone, particulièrement les zones humides tropicales; Stabilisation climatique; L'effet stabilisateur des zones humides sur le débit d'eau augmente la résistance des paysages et des gens aux sécheresses et aux inondations.
Stabilisation environnementale	Stabilisation naturelle des inondations et de la régulation des flux; Contrôle de l'érosion et de la salinité; Maintien de la stabilité de l'écosystème et de l'intégrité des autres sous-écosystèmes; Protection de tempête et de stabilisation des rives; Transport et rétention des sédiments et des nutriments.
Autre	Importance socio-culturelle; Fonctions d'information dans l'éducation, la science et la recherche.

Source : La stratégie de gestion des zones humides de l'IBN, Juin 2013

1.8.3. 2. Les principales causes de la régression des zones humides

Les causes de régression des surfaces de zones humides sont multiples : (i) l'intensification des pratiques agricoles a fortement participé à la disparition de ces milieux que ce soit par drainage ou encore par le labour des prairies humides; (ii) les prélèvements excessifs d'eau pour l'irrigation peuvent également participer à l'assèchement et donc à la dégradation des zones humides; (iii) le boisement des zones humides engendre aussi des dégradations par modification du fonctionnement hydrologique et fermeture du milieu qui perd alors sa biodiversité; (iv) l'aménagement et la rectification des cours d'eau ainsi que l'utilisation des ressources naturelles sont également identifiées comme sources de dégradation des zones humides.

Actuellement, les causes les plus préoccupantes semblent être liées à la fois à l'urbanisation et au développement des infrastructures qui au-delà de la destruction directe des milieux naturels, provoquent une fragmentation des habitats, un mitage de l'espace, une rupture des continuités écologiques incompatible avec le maintien de la faune, de la flore et de la fonctionnalité des zones humides. De plus, ces aménagements ou les perturbations qu'ils engendrent sont souvent des facteurs favorables pour l'installation et la dissémination d'espèces exotiques envahissantes.

1.8.3. 3. Principes directeurs de gestion des zones humides

1. Zones humides comme écotones. Les zones humides sont des écosystèmes transitoires entre les systèmes terrestres et aquatiques. Leur biodiversité est particulièrement élevée, car elles contiennent des espèces des zones adjacentes, mais également des espèces uniques. Beaucoup de ces espèces sont très adaptées aux conditions spécifiques des zones humides et ne survivent pas en dehors de cet environnement. Les interventions pour la gestion des zones humides doivent tenir compte de la nature transitoire des zones humides, dont beaucoup sont particulièrement dynamiques, afin de maintenir leurs fonctions et avantages pour le développement durable.

2. Principe d'utilisation rationnelle. L'utilisation rationnelle des zones humides consiste au maintien de leur caractère écologique, réalisée par le biais de la mise en œuvre des approches écosystémiques, dans le contexte du développement durable. L'utilisation rationnelle des zones humides maintient ses avantages pour l'écosystème et les services dans une perspective de long terme pour conserver la biodiversité et assurer le bien-être humain.

3. Utilisation équitable des ressources des zones humides. Les intérêts des utilisateurs de différentes ressources doivent être équilibrés pour atteindre des avantages optimaux et durables. L'utilisateur des ressources des zones humides doit tenir compte des impacts potentiels sur d'autres utilisateurs et la préservation de l'écosystème. Des plans de gestion peuvent assurer une utilisation équitable et la conservation en définissant des règles et règlements.

Pour plus de détails sur la gestion des zones humides lire : (i) La réserve gérée du lac Rwihindza; Benoît NZIGIDAHERA et Alphonse FOFO, I.N.E.C.N. Mars 2005; (ii) Etude de base pour la réhabilitation de la réserve naturelle de la Rusizi; Benoît NZIGIDAHERA, I.N.E.C.N. Janvier 2008; (iii) Plan de gestion et d'aménagement de la réserve naturelle de la Malagarazi; I.N.E.C.N. Septembre 2009; (iv) Plan de gestion et d'aménagement du Paysage Aquatique Protégé de Bugesera; I.N.E.C.N. Septembre 2009.

1.8.4. Protection des zones tampons

La loi prévoit de respecter les zones tampons pour protéger les eaux contre la pollution : 150 m pour le lac Tanganyika, 50 m pour les lacs du Nord, 25 m sur chacune des rivières affluents du lac Tanganyika à partir du niveau le plus élevé qu'atteignent les eaux dans leurs crues périodiques. Pour les autres rivières du pays une zone de protection sur une largeur de 5 m est indiquée (article 2 du Code de l'eau).



Figure 71 : Contamination des sols et des eaux
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)

Suite à la pression démographique, la majorité de la population n'ont pas assez de terres pour cultiver. Ainsi, pour subvenir à leurs besoins, la population conduit des activités aux bords des lacs, dans les marais et bas-fonds sans se soucier des mesures de protection de leur biodiversité. Suite à ces mauvaises pratiques agricoles, la population détruit la zone de frayage des poissons. La qualité de l'eau est aussi affectée suite à l'érosion par la sédimentation conduisant ainsi vers l'eutrophisation des lacs. Les effluents industriels et les eaux usées ménagères polluent les rivières et les lacs. Les huileries déversent les déchets dans le lac Tanganyika et les cours d'eau (fig.71).



Figure 72 : Les pluies torrentielles et glissements de terrain
(photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)

Eboulements dans une zone tampon du lac Tanganyika. La véritable cause des glissements serait à rechercher plutôt dans la morphologie du paysage de la région, caractérisée par des montagnes abruptes et fragiles à l'érosion. Ces montagnes sont perméables aux eaux de ruissellement, causant quelques fois des éboulements de terrain, même en cas de faibles précipitations.

L'autre raison qui a aggravé l'ampleur des dégâts est le non-respect des normes et règles environnementales. Alors que le Code de l'Eau en cours stipule que la zone tampon autour du lac Tanganyika doit être de 150 mètres, certaines des maisons détruites dans la localité étaient construites à moins de 10 mètres du bord du lac (fig.72).

Dans le souci de concilier les intérêts de conservation des zones tampon et le développement des populations riveraines des lacs et rivières, la méthodologie consiste à la plantation des arbres

agroforestiers et à usages multiples dans cette zone. La protection de cette zone tampon permet de limiter la pollution de l'eau des lacs par l'érosion et la création d'une zone de ponte des poissons.

L'objectif de cette technologie est de contribuer à la protection de la biodiversité des lacs et rivières contre la pollution due à la sédimentation, à l'augmentation du taux de séquestration du carbone ainsi qu'à l'amélioration des conditions de vie des communautés.



Figure 73 : Creusement d'un canal de démarcation de la limite entre la zone tampon et les champs des riverains du lac
(source : LVEMPII)

Pour restaurer et réhabiliter la zone tampon du lac Rweru, la première activité du projet LVEMP fut celle de fixer, en collaboration avec les riverains, l'administration à la base et conformément aux dispositions du code de l'eau en vigueur au Burundi, les limites de toute la zone tampon autour du lac Rweru. Par après, le projet a réhabilité la zone tampon sur une longueur de quarante six kilomètres autour de ce lac par le creusement d'un canal de démarcation de la limite entre la zone tampon et les champs des riverains du lac (fig.73), l'installation sur ce canal, des euphorbiacées et des herbes fourragères pour sa sécurisation et la plantation dans la zone tampon des arbres autochtones et des herbes fixatrices. Toutes les activités ont été conduites en collaboration avec l'administration et la population riveraine.

Pour les routes, la loi prévoit une zone tampon de 6 m sur les routes nationales et de 3 m sur les autres routes. Cette zone doit être reboisée avec des arbres d'alignement à racines non traçantes.

1.8.5. Assainissement et gestion des déchets

Les déchets sont à l'origine de la contamination des sols, lacs, rivières, cours d'eau et nappes phréatiques par ruissellement et infiltration. Le MEEATU dispose d'une Politique Nationale d'Assainissement (PNA) et une Stratégie Opérationnelle depuis mars 2013. La PNA est organisée autour de 8 axes stratégiques qui concourent tous à l'atteinte de l'objectif spécifique qui est : «*L'accès de tous les habitants du Burundi à un service public de l'assainissement géré de manière durable, efficace et respectueux de l'environnement, de la santé humaine et des droits humains fondamentaux est amélioré*».

Dans cette Politique Nationale d'Assainissement, on y trouve la situation des performances par sous-secteur de l'assainissement telles que présentées dans le tableau 1.7 ci-dessous.

1.8.5.1. Performances par sous-secteur de l'assainissement

Les performances par sous-secteur de l'assainissement sont résumées dans le tableau 8 ci-dessous :

Tableau 8 : Les performances par sous-secteur de l'assainissement

Secteur	Analyse synthétique des performances
Eaux usées domestiques et excréta	En milieu rural , le service est exclusivement autonome et se base beaucoup sur l'auto-investissement des ménages malgré quelques projets de construction des latrines. En milieu urbain , le système autonome coexiste dans certains cas avec un réseau d'égouts géré par les services techniques municipaux, qui ne dessert qu'une toute petite partie de la population urbaine.
Eaux usées industrielles	Les données disponibles sont insuffisantes (les dernières études datent de 1993 ¹⁹ et 2000 ²⁰). L'étude de 2000 conclut que: «La quasi-totalité des eaux usées industrielles de la ville de Bujumbura est aujourd'hui déversée dans le lac Tanganyika soit directement, soit par infiltration». Dernièrement, la situation s'est améliorée avec quelques grandes entreprises qui ont été reliées au réseau d'égouts des services techniques. On estime qu'une quarantaine d'usagers non-domestiques sont raccordés au réseau d'égouts à Bujumbura, mais cela reste largement insuffisant.
Eaux usées agricoles	La problématique des eaux usées agricoles relève de l'emploi des pesticides et d'autres produits chimiques qui sont lessivés par les eaux de pluie et les eaux d'irrigation et sont ainsi acheminés vers les cours d'eau ou infiltrés dans les réserves d'eau souterraines. Très peu de données sont disponibles sur les volumes d'utilisation de pesticides au Burundi et sur leur nature. D'après un inventaire préliminaire fait en 2004, «le secteur de l'Agriculture et de l'Elevage a importé et utilisé des pesticides POP jusqu'en 1986.» L'utilisation du mercure et de ses composés comme pesticides est également interdite depuis 2001. Malheureusement, il n'existe aucune étude détaillée qui puisse montrer l'ampleur du problème et également sa distribution géographique.
Déchets solides normaux	Mis à part pour les rares entreprises qui disposent d'un système indépendant de gestion de leurs propres déchets solides, les décharges existantes accueillent simultanément des déchets d'origine domestique et d'origine industrielle. A Bujumbura, les SETEMU gèrent la seule décharge autorisée. Il est estimé que seulement 1% de la totalité des déchets solides produits dans la ville arrivent à cette décharge. Les SETEMU gèrent une activité de collecte sur la base de contrats spécifiques avec certains opérateurs ou institutions (par exemple les marchés). En complément des SETEMU, une quinzaine d'autres opérateurs privés sous contrat effectuent la collecte des déchets sur Bujumbura, auprès des ménages, des institutions et des opérateurs économiques. Les données pour les autres centres urbains sont parcellaires ou ne sont pas disponibles.
Déchets solides spéciaux	Les déchets spéciaux sont ceux qui sont dangereux pour la santé de l'homme et pour l'environnement. Dans le cas spécifique du Burundi, il s'agit: des déchets organiques (biomédicaux, ménagers), des déchets chimiques (plastiques, huiles usagées, pesticides obsolètes, piles, déchets électroniques, électriques, et électroménagers) et des déchets radioactifs (principalement d'origine médicale). Très peu de données sont disponibles sur les

¹⁹ Beller Consult GMBH pour le SETEMU, Ville de Bujumbura : Etude des eaux usées industrielles. Phase I : évaluation / Bilan / Impact. Rapport de synthèse, Mai 1993

²⁰ Etude Spécialisée de (ESP), PNUD/FEM, Inventaire de Pollution, Lutte contre la pollution et autres mesures visant à protéger la biodiversité du Lac Tanganyika, 2000

	taux de production de ce type de déchets au Burundi, qui sont souvent collectés conjointement aux déchets normaux sans distinction. Il n'existe pas de politique adéquate en matière de gestion des déchets spéciaux. Concernant les déchets biomédicaux, ils sont jetés dans une fosse creusée à l'intérieur de la parcelle de l'hôpital, sauf dans quelques hôpitaux comme l'Hôpital Roi Khaled.
Eaux pluviales	La problématique de la gestion des eaux pluviales au Burundi est aggravée par une pluviométrie élevée des fortes variations d'altitude et des pentes abruptes facilitant le ruissellement et l'érosion. En milieu rural, les pluies facilitent l'érosion des terres qui résulte du défrichement incontrôlé, des feux de brousse, de l'absence de jachères, des aménagements mal conduits des marais et du surpâturage. Dans les zones urbaines, l'occupation des zones inondables par les bâtiments est particulièrement dangereuse. Les crues rapides des bassins versants périurbains et l'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings,...) limitent l'infiltration des pluies et engendrent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales, avec comme conséquence des inondations qui ont été fréquentes dans l'histoire récente du pays. Très peu de données sont disponibles sur la problématique des eaux pluviales dans les autres centres urbains et dans les zones rurales.
Pollution atmosphérique	Les principales sources de pollution atmosphérique au Burundi sont d'origine domestique, automobile, industrielle et agricole. La pollution d'origine domestique (combustibles de biomasse –bois, bouse de vache et résidus agricoles– et charbon employés pour la cuisson et le chauffage) est la plus importante au Burundi et la plus dangereuse pour la santé. D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le Burundi fait partie des 21 pays dans le monde les plus touchés par la pollution de l'air à l'intérieur des habitations, qui est à l'origine de près de 5 % de la mortalité et de la morbidité. La pollution automobile concerne les polluants provenant des gaz d'échappement des moteurs. Le parc automobile au Burundi est vaste et en constante expansion. Il se compose en grande partie de véhicules d'occasion importés qui circulent depuis plusieurs années et sont, de ce fait, plus polluants; toutefois, aucune donnée statistique officielle n'est disponible à ce niveau. De même, quasiment aucune donnée n'est actuellement disponible sur la pollution atmosphérique d'origine industrielle et agricole, exception faite pour les émissions de gaz-à-effet de serre (GES).
Hygiène et comportements	Au Burundi, l'espérance de vie faible (48 ans) et la mortalité infantile élevée (180 pour 1000 décès d'enfants de moins de 5 ans) sont des reflets des conditions d'hygiène précaires qui prévalent. Les diarrhées emportent 22,1% des enfants de moins de 5 ans. Des cas de choléra et de tétonas néonataux, sont déclarés. Une part importante des problèmes observés relève d'une carence en connaissances au niveau de la population, tant sur l'origine des problèmes de santé que sur leur lien avec des mesures d'hygiène. Les politiques sanitaires des dernières décennies sont restées largement focalisées sur le volet des soins curatifs, et celui de l'hygiène n'a pas bénéficié d'une attention à la hauteur de son poids dans la prévention de la morbidité. Des campagnes de promotion existent (campagne de lavage des mains avec du savon; campagne nationale de mobilisation à l'occasion de la journée mondiale de l'eau); les initiatives sont toutefois insuffisantes pour faire face aux besoins.

Source : Politique Nationale d'Assainissement du Burundi et Stratégie opérationnelle, horizon 2025. Septembre 2013

Les actions à mener pour un meilleur assainissement sont bien détaillées dans le Plan d'action de la mise en œuvre de la PNA de mars 2013.

1.8.5.2. Gestion des déchets solides²¹

La gestion des déchets solides concerne la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La mise en œuvre du plan de gestion devra tenir compte de cinq aspects suivants : aspects techniques, aspects sociaux, aspects économiques, aspects politiques et institutionnels et aspects environnementaux.

La hiérarchie des stratégies (règle des trois R): (i) Réduire, (ii) Réutiliser et (iii) Recycler. La hiérarchie des stratégies a plusieurs fois changé d'aspect mais le concept sous-jacent est demeuré la pierre angulaire de la plupart des stratégies de gestion des déchets : utiliser au maximum les matériaux et générer le minimum de rebuts.

a. Organisation du système de collecte. Une phase de pré-collecte qui peut être en charge par des associations de quartiers et la collecte proprement dite qui serait prise en charge par les services spécialisés et équipés.

Aménagement des dépôts de transit. Pour un aménagement optimal, il faudrait prendre en compte les paramètres suivants dans la définition des caractéristiques techniques de ces sites (Bertolini G., 1996) : (i) la dynamique de production des déchets (variation saisonnière, climat, démographie des quartiers, etc.); (ii) l'évolution de la trame urbaine; (iii) les équipements utilisés pour la collecte; (iv) le transport et les facteurs socio-économiques. Les dépôts de transit doivent présenter une certaine flexibilité du point de vue de sa conception (matériaux constitutifs et technique de construction) car les infrastructures peuvent être amenées à être déplacées ou supprimées.

Organisation de la pré-collecte. La pré-collecte permet de toucher les zones inaccessibles à la collecte motorisée et de remonter les déchets vers les points de collecte. Les principes constructifs et les choix conceptuels des ouvrages à utiliser devront être guidés par un souci de simplicité et de fonctionnalité.

Collecte et transport. Le choix du système technique de collecte dépend du type d'habitat, de la distance par rapport aux points d'émission et d'élimination, de l'accessibilité des zones à couvrir et de la densité de population.

La collecte des ordures fait intervenir plusieurs éléments qui sont liés: (i) les horaires de collecte, (ii) la standardisation des récipients, (iii) les véhicules de collecte, les équipes de ramassage, l'organisation institutionnelle du service et son financement.

²¹ Les déchets ménagers de la ville de Bujumbura. Quelles perspectives pour gestion durable? Travail de fin d'étude par Lucien CTERETSE, Bruxelles, 2008.

Politique du tri des déchets. Le tri constitue une opération clé pour mettre en place et réussir la possibilité de valorisation des déchets comme le compostage, la production du biogaz et même pour le recyclage. Le tri à la source reste la solution la plus efficace pour promouvoir ces filières de valorisation.

Mais les expériences réalisées dans certains pays comme le Burkina-Faso et le Bénin ont adopté le tri manuel après la collecte. L'enseignement déduit de ces expériences montre que le tri s'opère à un rendement acceptable mais il est suivi d'un tamisage pour éliminer les débris de matières indésirables de dimensions très petites. La partie organique des ordures ménagères est séparée des éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, les plastiques et le verre).

b. Possibilités de valorisation. Le choix de filière d'élimination ou de traitement doit reposer sur une étude de faisabilité dans la localité considérée. Les composantes des filières technologiques à considérer sont les suivantes : (i) la mise en décharge contrôlée, (ii) la récupération, (iii) le recyclage et le compostage.

Les plastiques, le papier et le verre sont recyclables. Les métaux sont vendus dans les pays de la sous-région. Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires..., sont de plus en plus valorisés en compost et/ou en biogaz (compostage ou méthanisation). Ces déchets sont déposés dans un bac à compost ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et neutraliser les agents pathogènes. La partie organique est transformée aussi en briquettes pour l'utilisation ménagère à la place du charbon de bois.

c. Amélioration du système de décharge. La décharge de Buterere se trouve dans une zone sablonneuse non imperméabilisée, ce qui entraîne la contamination de la nappe phréatique par des lixiviats. Par ailleurs, cette décharge est régulièrement fouillée par les pauvres à la recherche des éléments encore utilisables et par des animaux. Ceci constitue un grand risque sanitaire pour la population de la ville de Bujumbura.

Afin de faire face à la problématique des dépotoirs sauvages, de l'unique décharge non contrôlée de Buterere et à leur caractère dominant dans la ville de Bujumbura et autres villes secondaires, la mise en décharge contrôlée demeure manifestement une bonne alternative. Toutefois, si le tri des déchets n'a pas bien réussi, cette option est loin d'être écologiquement justifiée. Quant à l'incinération, elle requiert des équipements spéciaux, une surveillance particulière et des investissements initiaux assez lourds. En outre, pour des raisons de santé publique, le contrôle des gaz, des fumées et des cendres doit être bien réglementé.

Aménagement d'une décharge. Pour l'identification d'un site, les critères suivants peuvent être considérés: (i) l'aspect géologique doit être approprié, c'est-à-dire qu'il faut un sol à faible perméabilité pour éviter l'infiltration d'eau polluée, la contamination des sols et des eaux

souterraines; (ii) l'hydrogéologie doit être adéquate quant à la nappe d'eaux souterraines et la direction de l'écoulement. En aval d'une décharge, il ne pourra y avoir de puits d'eau potable sans autre forme de traitement. Selon l'importance de la couche aquifère et la nature du sous sol, les puits ne doivent en général pas se trouver à moins de 1 à 2 km de la décharge. Aucune eau de surface ne doit toucher à la décharge. S'il existe une pente inclinée vers la décharge, l'eau recueillie à cet endroit devra être déviée à l'extérieur du site. Il ne doit pas y avoir de fontaines sur le lieu destiné à la décharge. Les eaux pluviales d'écoulement touchant la décharge doivent être drainées et traitées si elles sont contaminées.

Infrastructure de la décharge. Pour éviter les entrées non autorisées à la décharge, il serait recommandé de clôturer le terrain. Il s'agit d'empêcher, en particulier : (i) les dépôts d'ordures non autorisées, (ii) le passage incontrôlé sur les conduites de drainage et la zone d'étanchéité des sols, (iii) l'accès des personnes et des animaux. Une clôture en fils d'acier, de plus de 2 m de hauteur et fixée au moyen d'une fondation en béton serait installée.

d. Gestion de la décharge. On aura besoin du matériel spécifique pour bien assurer le fonctionnement de la décharge. On a par exemple les bennes pour le transport des déchets, un bulldozer pour le compactage et la compression des déchets. Le dépôt des ordures ménagères devrait s'effectuer de manière que la couche des déchets incorporés s'accroisse en hauteur de façon régulière.

e. Impacts de la décharge sur l'environnement et le processus climatique. Les déchets ménagers constituent une très grande menace écologique, comme d'ailleurs tous les autres déchets, lorsque leur mise en décharge ne correspond pas aux dispositions techniques adéquates. En règle générale, les risques de contamination de l'environnement aux environs d'une décharge sont fonction des principaux facteurs suivants: (i) le mode d'exploitation, (ii) le type et le tonnage des déchets mis en décharge, (iii) le type de l'installation, (iv) les caractéristiques du lieu d'implantation, (v) le mode de gestion. Les biogaz générés par une décharge renferment essentiellement le méthane, qui est un gaz à effet de serre. **L'annexe 4 donne le détail sur les impacts des décharges sur l'environnement et les mesures d'atténuation.**

1.8.5.3. Gestion des polluants organiques persistants

Les polluants organiques persistants (POP) sont des molécules définies par les propriétés suivantes :

- (i) **la toxicité** : elles présentent un ou plusieurs impacts nuisibles prouvés sur la santé humaine et l'environnement ;
- (ii) **la persistance dans l'environnement** : ce sont des molécules qui résistent aux dégradations biologiques naturelles ;

(iii) **la bioaccumulation** : inhalées ou ingérées, les molécules s'accumulent dans les tissus vivants (cerveau, foie, tissu adipeux). Leur quantité s'accroît tout au long de la chaîne alimentaire et peut se transmettre à la descendance par le lait et par les œufs ;

(iv) **le transport sur une longue distance** : de par leurs propriétés de persistance et de bioaccumulation, ces molécules ont tendance à se déplacer sur de très longues distances et se déposer loin des lieux d'émission, typiquement des milieux chauds (à forte activité humaine) vers les milieux froids.

Sources principales de production de POP. Ces polluants ont deux origines principales: (i) la production de produits chimiques, en particulier, celle des pesticides, des PCB (Polychlorobiphényle) et de l'hexachlorocyclohexane ; (ii) la production non-intentionnelle, en particulier par combustion, notamment la combustion du bois et dans les incinérateurs d'ordures ménagères. Cette deuxième origine concerne principalement les dioxines, les furanes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

La convention de Stockholm (2001) prévoit l'arrêt de la production, de l'utilisation, de l'importation et de l'exportation des POP interdits. Les parties à la convention sont tenues d'élaborer des plans d'action et d'encourager l'utilisation de matériels, produits et procédés de substitution. Il existe divers produits chimiques et non chimiques de remplacement des POP. Les pesticides et les technologies de remplacement qui ont été suggérés dans les pays développés sont énumérés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Information sommaire sur les technologies de remplacement des POP

Polluant Organique	Technologies de remplacement
Persistant	
DDT	Lutte intégrée, azinphos-éthyl, diazinon, carbaryl, fenthion, malathion, méthidathion, méthomyl, monocrotophos, phosmet, chlorpyrifos, diméthoate, trichlorfon, roténone, endosulfan, dichlorvos, méthamidophos, perméthrine, deltaméthrine, fluvalinate, pyréthroïdes, thiodicarbe, pyréthroïdes synthétiques, chlorpyrifos, malathion, diazinon esfenvalérate, méthomyl, dicofol, phorate, perméthrine, soufre, acéphate.
Aldrine	Lutte biologique, lutte intégrée, chlorpyrifos, méthomyl, diazinon, phorate, perméthrine, chlorpyrifos, pyréthroïdes, acéphate, isofenphos, pyréthroïdes synthétiques.
Dieldrine	Lutte biologique, lutte intégrée, diazinon, pirimiphos-éthyl, prothiofos, acéphate, méthomyl, perméthrine, endosulfan, azinphos-éthyl, deltaméthrine, monocrotophos, sulprofos, carbaryl, bendiocarbe, cyfluthrine, dichlorvos, fenthion, propoxur, pyréthrines et chlorpyrifos, fénitrothion 1000 UVB, diazinon, malathion, cyperméthrine, isazofos.
Endrine	Lutte biologique, lutte intégrée.
Chlordane	Lutte biologique, lutte intégrée, bendiocarbe, carbaryl, chlorpyrifos, cyfluthrine, cyromazine, deltaméthrine, diazinon, dichlorvos, fenthion, malathion, perméthrine, propoxur, pyréthrine, alphaméthrine, créosote, phoxime, fénitrothion, diazinon,

	bendiocarbe, trichlorfon, acéphate, isazofos, fonofos, pyréthroïdes synthétiques.
Heptachlore	Lutte biologique, lutte intégrée, chlorpyrifos, azinphos-éthyl, terbufos, diazinon, carbaryl, cyfluthrine, bendiocarbe, fénamiphos, éthoprophos, pirimiphos-éthyl, prothiofos, granules de carbofurane, acéphate, isazophos, fonofos, pyréthroïdes synthétiques, propoxur, malathion, dichlorvos, propetamphos
Hexachlorobenzène	Aucune solution pour combattre les sous-produits.
Mirex	Données non disponibles.
Toxaphène	Lutte biologique.
BPC	Huiles de silicone.
Dioxines et furanes	Sans objet - sous-produits indésirables.

Source : Les polluants organiques persistants. Rapport d'évaluation par : L. Ritter, K.R. Solomon, J. Forget. Réseau canadien des centres de toxicologie. 620, rue Gordon, Guelph (Ont.), Canada et M. Stemmeroff et C. O'Leary Deloitte and Touche Consulting Group. 98, rue Macdonell, Guelph (Ont.), Canada.

Entrave à l'adoption des technologies de remplacement. Il est important de déterminer pourquoi les technologies de remplacement ne sont pas utilisées. Il y a plusieurs obstacles à l'adaptation à ces technologies de remplacement et aux nouvelles technologies en général, particulièrement dans les pays en développement. Certaines technologies de remplacement sont tout simplement plus coûteuses et exigent également plus de ressources pour les appliquer comparativement aux composés plus anciens et plus dangereux. Certains produits de remplacement, qui pourraient être plus toxiques que les POP à court terme pour l'applicateur, représentent donc un risque pour les personnes et se traduisent par des coûts de santé supplémentaires.

Cas du Burundi. Le Burundi est engagé depuis plus d'une décennie dans un processus de développement durable solidairement avec les autres pays du monde. C'est dans ce cadre qu'il a adhéré formellement à certains instruments comme le Code International de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides et le Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrisent la couche d'ozone, et a initié des actions pour leur mise en œuvre. Il a également signé la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persisterants le 02 avril 2002, et l'a ratifié par la loi n° 1 / 06 du 03 février 2005. Le Burundi est Partie à la Convention de Stockholm depuis le 02 août 2005.

Selon le **Plan national de mise en œuvre de la Convention de Stockholm sur les POP au Burundi de mars 2006**, le Burundi ne fabrique pas de POP à part les dioxines et furannes produits involontairement. Ainsi, les pesticides et les PCBs sont tous importés par le secteur public et privé. Les inventaires montraient que les pesticides contenant des POP étaient interdits et ne sont plus importés mais que certains ont été identifiés sous forme de stocks périmés à détruire. Il s'agissait essentiellement des pesticides suivants : Aldrine, DDT, Dieldrine, Chlordane,

Heptachlore, Toxaphène et Hexachlorobenzène. (Ces produits chimiques sont visés à la première partie de l'Annexe A de la Convention de Stockholm).

Selon la même source, les huiles à PCB et les équipements électriques fonctionnant avec ces huiles étaient tous importés depuis un peu plus de cinquante ans et étaient utilisés par la REGIDESO, la DGHER et quelques entreprises privées. L'inventaire préliminaire révélait que l'ensemble des transformateurs présumés à PCB de la REGIDESO totalisait une masse d'huile de 97,832 tonnes, tandis que leur poids total (cuve + bobines+huile) était de 353,928 tonnes. Quant à la DGHER, ses transformateurs présumés contenir des PCB totalisaient une masse d'huile de 570 kg, et le poids total était de 2 550 kg. Chez les privés, la masse d'huile présumée contenir des PCB était de 13 202 kg, tandis que le poids total (cuves+bobines+huiles) était de 53 701 kg. (Ces produits chimiques sont visés dans la deuxième partie de l'Annexe A de la Convention de Stockholm). Actuellement, l'importation et l'utilisation du DDT sont interdites (les produits DDT sont visés à l'annexe B).

Au Burundi, les sources d'émission des substances chimiques inscrites à l'Annexe C (les dioxines et furanes) sont : l'incinération des déchets hospitaliers ; l'artisanat (production de briques, tuiles, chaux) ; les transports (utilisation de l'essence au plomb dans les véhicules) ; l'industrie textile ; les feux de brousse ; la combustion de déchets ménagers ; la combustion du bois et du charbon de bois ; les feux de brousse et de forêts ; etc. D'après l'inventaire préliminaire des dioxines et furanes, les quantités des émissions étaient estimées à 195,356gTEQ / an, en 2004.

L'objectif de cette Convention étant la protection de la santé humaine et l'environnement contre les dangers et les menaces des POP, le Burundi s'est engagé à s'acquitter de ses obligations vis-à-vis de la Convention, à travers ses programmes de développement axés sur la réduction de la pauvreté et les Objectifs du Millénaire pour le Développement, en plus de l'exécution du Plan National de Mise en œuvre de la Convention de Stockholm sur les POP au Burundi, le PNM / Burundi. Ainsi, dès 2006, huit (8) plans d'actions sous-tendaient le PNM. Il s'agissait des plans d'action suivants : (i) sensibilisation, information et formation du grand public sur les POP; (ii) renforcement des institutions et de la réglementation; (iii) gestion écologiquement rationnelle des rejets résultant d'une production non intentionnelle des POP; (iv) surveillance et recherche-développement; (v) système d'échange d'informations et de participation à la Coopération Internationale; (vi) gestion écologiquement rationnelle des sites contaminés par les POP; (vii) gestion des PCB et des équipements en contenant; (viii) gestion des stocks et déchets de pesticides contenant des POP.

Les stratégies qui étaient adoptées portaient sur : (i) la recension des stocks, articles utilisés et déchets ; (ii) l'échanges d'informations et ; (iii) la recherche-développement.

Encadré 1.2 : Synthèse de bonnes pratiques de lutte anti-érosive par zone agro-écologique

1°. Pour toutes les régions du pays, il faut préconiser :

- **Les méthodes biologiques de lutte anti-érosive** comme le paillage même partiel ou en bandes, la pratique de couverture vivante dans les plantations annuelles et pérennes, les associations des cultures (cultures en bandes alternées, cultures intercalaires et push and pull...), la rotation des cultures, les systèmes de cultures sur couverture végétale, les semis directs sous couvert végétal, l'agriculture de conservation, les haies vives et les haies mixtes, l'embocagement, les bananeraies aménagées et paillées, bien organisées, l'arboriculture, l'utilisation d'intrants améliorés, les boisements en cordons pour les petites exploitations et en plein pour les grandes exploitations ;
- **Les pratiques culturales** : le labour à plat en courbe de niveau si la pente le permet, les billonnages avec toutes les précautions décrites plus haut et sur des sols solides, la plantation et le sarclage en courbe de niveau, les cultures en bandes et en courbes de niveau, isolées par des bandes d'arrêt enherbées pour des exploitations plus vastes, l'organisation des pâturages naturels en paddocks notamment dans le Bututsi et le Mugamba ;
- **La correction des ravines avec l'appui des bailleurs et l'aménagement des sentiers par les communautés locales ;**
- **L'aménagement des bassins versants et marais par les communautés avec l'appui des bailleurs ;**
- **La lutte contre l'érosion des berges et l'érosion dans les lits des rivières par le posage des gabions, l'implantation des « bandes enherbées ou boisées » qui protègent les cours d'eau, les rivières et les lacs, faire respecter les zones tampons et les reboiser ;**
- **La lutte contre l'érosion mécanique sèche par des méthodes de labour appropriées ;**
- **L'exploitation et la réhabilitation des carrières conformément aux lois en vigueur ;**
- **Le respect des code de l'eau et de l'environnement en matière de gestion de l'eau.**

2°. Pour la région de l'Imbo

- Lutte contre l'érosion en nappe par la construction d'un canal de ceinture en bas des contre-forts du Mumirwa ;
- Lutte contre l'érosion éolienne par la mise en place des brise-vents et haies avec couverture du sol par le paillage ou la couverture vivante et le travail du sol.

3°. Pour la région du Mumirwa

- Lutte contre l'érosion hydrique par les haies mixtes, le paillage en bandes, la culture des plantes qui couvrent le sol rapidement comme le manioc et le bananier, l'organisation de la bananeraie de façon spatiale, la constitution des andains de déchets végétaux, les lignes de pierres sèches ou cordons de pierres avec renforcement par une bande enherbée perpendiculairement à la pente, la correction des ravines ;
- L'aménagement et la protection de toutes les rivières, l'aménagement de tous les bassins versants surplombant la plaine de l'Imbo ;
- Le contrôle très fort de l'exploitation des carrières.

4°. Pour la Crête Congo-Nil

- Le reboisement de tous les sommets de montagnes de façon généralisée ;
- La lutte anti-érosive par des haies mixtes et fossés enherbés dans les champs cultivés, le billonnage, la culture en bandes en courbe de niveau isolées par des bandes d'arrêt enherbées, les lignes de pierres ou cordons de pierres là où il y en a, les fossés dans les pâturages, les terrasses Fanya juu stabilisées par des graminées, l'usage des terrasses radicales sur des sols solides ;
- L'aménagement de tous les bassins versants.

5°. Pour la région des plateaux centraux

- Le reboisement de tous les sommets de montagnes ;
- La lutte anti-érosive par des haies mixtes et fossés enherbés dans les champs cultivés, le billonnage, la culture en bandes en courbe de niveau, isolées par des bandes d'arrêt enherbées, les lignes de pierres ou cordons de pierres là où il y en a, les fossés dans les pâturages, les terrasses Fanya juu stabilisées par des graminées, la pratique des terrasses radicales ;

- L'aménagement intégral de tous les bassins versants.

6°. Pour les dépressions de l'Est et du Nord-Est

- Lutte contre l'érosion éolienne par la mise en place des brise-vents et haies avec couverture du sol par le paillage ou la couverture vivante et le travail du sol ;
- Intérêt des cultures en billons perpendiculaires au vent, avec mottes au sommet.

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

Delwaulle J.C., 1973 : Résultats de six années d'observation sur l'érosion au Niger. Bois et Forêts des tropiques.

Département des Forêts, 1990 : La lutte anti-érosive. Conseils pratiques. Bujumbura, Burundi.

FAO, 1983 : Directives pour la lutte contre la dégradation des sols. NAPOLI.

FACAGRO, 1988 : Amélioration foncière. Cours de 2^{ème} ingénieur. Bujumbura

HOSTE, H., 1996 : L'agroforesterie des régions d'altitude au Burundi. Bruxelles.

Hudson N.W., 1990 : Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. FAO, *Bulletin pédologique* n°57, Rome, 1982 p. Version française adaptée par ROOSE.

IBN, 2013 : La stratégie de gestion des zones humides de l'IBN

ICRAF, 2008: Green Water Management. Handbook. Nairobi.

IGEBU, 2014 : Guide National de Détermination des Périmètres de Protection des Captages d'Eau destinée à la consommation humaine

INECN, 2005 : La réserve gérée du lac Rwihindza. Bujumbura

INECN, 2008 : Etude de base pour la réhabilitation de la réserve naturelle de la Rusizi. Bujumbura

INECN, 2009 : Plan de gestion et d'aménagement de la réserve naturelle de la Malagarazi. Bujumbura

INCEN, 2009 : Plan de gestion et d'aménagement du Paysage Aquatique Protégé de Bugesera. Bujumbura.

ISABU, 1992 : Séminaire sur l'érosion des sols au Burundi ; Bujumbura.

KABURUNGU Salvator, 2006: Manuel de formation en gestion durable des terres, Module des techniques de conservation des eaux et des sols

Kuypers H., et al., 2004 : La protection des sols contre l'érosion dans les zones tropicales. Série Agrodoc. Wageningen. Pays-Bas.

MATTE, 2006 : Plan National de la Mise en œuvre de la Convention de Stockholm. Bujumbura.

MEEATU, 2011 : Etude de sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi. Bujumbura.

MEEATU, 2013 : Politique Nationale d'Assainissement du Burundi et Stratégie opérationnelle, horizon 2025. Bujumbura.

MINATET, 2003: Programme d'actions de lutte contre la dégradation des terres. Bujumbura.

MINATTE, 2006 : Plan National de la Mise en œuvre de la Convention de Stockholm. Bujumbura.

MINATTE, 2008 : Projet de renforcement des capacités pour une gestion durable des terres au Burundi. Document de projet. Bujumbura.

NZIGIDAHERA Benoît, 2010: Stratégie nationale et plan d'action pour la lutte contre la dégradation des sols 2011-2016. République du Burundi, 2012 : Code de l'eau au Burundi.

ROOSE, E., 1977 : Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest. Travaux et documents de l'ORSTOM 78. 108pp.

ROOSE E. et BERTRAND R., 1971 : Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain. Agron. Trop.26(11) : 1270-1283.

ROOSE E. et Rodriguez L., 1990 : Aménagement de terroirs au Yatenga. Quatre années de GCES : bilan et perspective. ORSTOM Montpellier, 40p.

ROOSE E., DUGUE P. et RODRIGUEZ L., 1992 : La GCES : une nouvelle stratégie pour l'intensification de la production et la restauration de l'environnement rural au Rwanda. Cah. ORSTOM Pédol. 26. Spécial érosion, sous presse.

ROOSE E., 1992 : Contraintes et espoirs de développement d'une agriculture durable en montagne tropicale. Bulletin Réseau Erosion n°12 : 57-70.

ROOSE E., Mars 1990 : Un programme national de Gestion Conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES) au Burundi. Rapport de mission. Eric Roose au Burundi. Montpellier.

TerrAfrica, 2011: La Pratique de gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne.



CHAPITRE 2 : PRATIQUES AGROFORESTIERES DE GESTION DURABLE DES TERRES



Selon Baumer (1987), "l'**agroforesterie** est un terme collectif pour des systèmes et des techniques d'utilisation des terres où des ligneux pérennes (arbres, arbustes,... et par assimilation palmiers et bambous) sont cultivés ou maintenus délibérément sur des terrains utilisés par ailleurs pour la culture et/ou l'élevage, dans un arrangement spatial ou temporel, et où sont exploitées les interactions à la fois écologiques et économiques, pas forcément stables dans le temps, entre les ligneux et les autres composantes du système".

En règle générale, en agroforesterie, il y a toujours un composant arbre ou arbuste planté ou gardé délibérément dans le paysage ou dans l'exploitation pour fournir une variété de produits et de services. En complément de l'arbre, il y a des cultures (ou pâturages) et/ou bétail, qui sont intentionnellement associés aux arbres simultanément ou de façon séquentielle.

Selon Nair (1989), une **pratique agroforestière** désigne un arrangement de cultures, d'arbres et de bétail dans l'espace et/ou dans le temps. **Les pratiques agroforestières** ont pour but l'atténuation de la déforestation, de la dégradation des sols. On distingue trois grands groupes de systèmes agroforestiers : **agrisylviculturaux, sylvopastoraux et agrosylvopastoraux**.

2.1. Les spécificités éco-géographiques des systèmes agroforestiers

Certaines pratiques agroforestières ne sont applicables que dans certaines zones agro-écologiques alors que d'autres le sont dans plusieurs. Par exemple, les cultures en couloirs sont applicables dans les régions à fortes précipitations tant que la fertilité du sol est aussi bonne. Les jardins de case et les cultures annuelles associées aux arbres sont des pratiques courantes dans les zones humides densément peuplées où le climat est favorable à une croissance rapide de plusieurs espèces. De même, les arbres dispersés dans les pâturages sont couramment rencontrés dans les régions de basse altitude à faibles densités de population.

Dans les zones semi-arides, les rideaux abris et les brise-vents sont très utiles pour limiter l'action des vents. Dans les régions densément peuplées et à altitudes élevées d'Afrique de l'Est, les systèmes agroforestiers intensifiant les productions agricoles et animales avec production de fourrage pour la stabulation permanente et le contrôle de l'érosion sur fortes pentes (10 à 60 %) sont les mieux indiqués (Hoekstra et Beniest, 1992). Dans ces régions à hautes altitudes, l'acidité des sols et les déficiences en phosphore sont fréquents. Une sélection d'arbres tolérant ces conditions est nécessaire.

2.2. Les principaux systèmes d'utilisation du sol au Burundi

En 1988, l'ICRAF a réalisé, en collaboration avec l'ISABU, une étude sur les systèmes d'utilisation du sol au Burundi (ISABU/ICRAF, 1988) en vue de mettre en évidence le rôle et la place de l'arbre dans chaque système. Les résultats de l'étude ISABU/ICRAF ont abouti à la délimitation de 5 systèmes d'utilisation du sol au Burundi: système de l'escarpement occidental à

bananier ; système crête Zaïre-Nil à élevage ; système crête Zaïre-Nil à thé et forêt ; système du plateau central à cafier et sous-système Est et Ouest ; système des plaines sèches orientales. Les contraintes relevées ainsi que le rôle potentiel de l'arbre dans le système concerné se trouvent en annexe 5.

2.3. Les différentes pratiques agroforestières utilisables au Burundi

2.3.1. Les jachères améliorées

La jachère améliorée est une technique qui consiste à intégrer les espèces ligneuses à croissance rapide à bas âge et fixatrices d'azote dans les systèmes de culture afin de reconstituer la fertilité des sols.

La jachère améliorée permet au sol de reconstituer rapidement sa fertilité et de la diversité biologique. Elle contribue à augmenter la capacité de séquestration du carbone et accroît les rendements permettant aux populations de réduire l'insécurité alimentaire pouvant être induit par la variabilité climatique.



Figure 74 : Jachère améliorée avec *Desmodium intortum*
(source : ISABU)

La jachère est dite améliorée lorsque des espèces ligneuses à croissance rapide à bas âge et fixatrices d'azote sont intégrer en vue de reconstituer la fertilité du sol. Sur une jachère longue, la composition floristique de la végétation naturelle se reconstitue. Ce processus participe à la restauration de la biodiversité de l'écosystème et de sa productivité en termes de produits ligneux et non ligneux, de fourrages, etc. La production de la biomasse et le système racinaire de la végétation modifient les propriétés du sol pendant la période de la jachère jusqu'à un équilibre. Les espèces pouvant être utilisées sont, entre autres : *Tithonia*, *Mucuna*, *Sesbania sesban*, *Desmodium intortum* (fig.74), *Brachiaria*, *Stylosanthes guianensis*....

La jachère améliorée peut être pratiquée dans toutes les zones agro-écologiques du pays, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Avantages et impacts. La végétation de la jachère permet de reconstituer le stock de nutriments exportés pendant la mise sous culture. Elle réduit l'érosion et la perte des nutriments par lessivage et maintient de meilleures conditions physiques et biologiques des sols. La jachère permet l'augmentation du taux de matière organique, de l'azote, de l'activité microbienne ainsi que l'activité enzymatique des sols.

Contraintes. La méconnaissance des techniques de jachères améliorées entraîne une surexploitation des sols et leur dégradation. La nécessité de disposer davantage d'espace et de plantes légumineuses pour enrichir le sol en est une contrainte majeure.

2.3.2. Les banques fourragères

Les banques fourragères sont des blocs de plantations fourragères pour alléger les pénuries de fourrage, spécialement en saisons sèches. Les plantes fourragères peuvent être des légumineuses arborées, arbustives ou herbacées, et peuvent être associées à d'autres herbes. Lorsqu'elles sont essentiellement constituées de légumineuses, les banques fourragères deviennent d'importantes sources de protéines. Les arbres sont régulièrement élagués pour nourrir le bétail en stabulation permanente. Au Burundi, la stabulation permanente et l'utilisation des banques fourragères deviennent de plus en plus importantes dans les zones densément peuplées et dans les régions d'altitude, spécialement sur les petites exploitations où les pâturages sont limités.



Figure 75 : Banques fourragères de *Pennisetum cameroon*
(source : ISABU)

Les arbres fourragers peuvent être établis comme haies autour des habitations, en bordure des champs ou comme des blocs. Dans les banques fourragères, les arbustes fourragers comme *Leucaena*, *Calliandra* et *Gliricidia sepium* peuvent être poussés séparément ou en association avec des herbes comme *Pennisetum purpureum* (fig.75) et *Panicum maximum*. De telles combinaison produisent plus de biomasse qu'une parcelle de chaque espèce (Franzel et al., 1998). Une ligne de *Calliandra* peut alterner avec 3 à 4 lignes de *Pennisetum* pour un maximum de production fourragère (Franzel et al., 1998). Pour cela, il est conseillé de disposer *Leucaena* et *Pennisetum* en 1 : 1 et *Calliandra* et *Pennisetum* en 1 : 4 pour avoir une production importante de biomasse. Le choix de l'espèce d'arbre à associer aux herbes est très important.

2.3.3. Les haies-barrières



Figure 76 : Haies d'espèces fourragères associées sur courbes de niveau
(source : ISABU)

Les espèces d'arbres/arbustes qui conviennent pour les barrières de haies (fig.76) sur sols acides sont notamment : *Calliandra*, *Inga edulis*, *Flemingia*, *Leucaena diversifolia*. Les autres sont *Senna* sp., *Gliricidia sepium*, *Grevillea robusta*, *Ficus natalensis* et *Sesbania sesban* (Oluka-Akileng et al., 2000).

Sur des terrains plus pentus, les arbres ou arbustes nécessitent un renforcement avec des herbes comme *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum*, *Chloris gayana*, *Cynodon dactylon* et des légumineuses comme *Desmodium* sp. du côté supérieur ou sur les deux côtés de la haie.

Lorsque des arbres ou arbustes sont plantés serrés sur des lignes (à environ 25-30 cm les uns des autres), ils forment une haie. (Pour plus de détails voir le point 1.1.4.1.g).

Avantages. Les banques fourragères ou jardins fourragers sont des cultures fourragères intégrées au système fourrager extensif. Elles apportent une complémentation aux animaux exploitant un pâturage naturel. L'éleveur fauche son champ et transporte l'herbe pour la mettre à la disposition de son bétail, le champ n'est pas abîmé par le piétinement. On limite le contact avec les ectoparasites. Certains fourrages peu adaptés à la pâture peuvent être consommés.

Inconvénients. L'affouragement à l'auge demande du temps pour la fauche, le transport, la distribution et des investissements (hacheuses). En plus, les cultures exigent une fumure et donc sont des concurrents pour les vivriers.

2.3.4. Les arbres de bordure

Certaines espèces d'arbres à usages multiples sont utilisées pour marquer les limites des exploitations. Dans cette pratique, il n'y a pas un besoin de planter les arbres serrés sauf si on veut en même temps lutter contre l'érosion. Par exemple, *Hagenia abyssinica* en simple rangées avec des arbres espacés de 4-5 m les uns des autres est utilisé pour délimiter les limites des champs dans le sud des hautes terres de la Tanzanie (East and Thurow, 1999). *Grevillea robusta*, *bambous*, *Markhamia lutea*, *Tithonia diversifolia*, *Sesbania sesban*, *Euphorbia tirucalli*, *Dracaena afromontana*, sont aussi utilisés pour le marquage des bordures et la sécurisation des propriétés. Ce système est utilisé au Kenya, Ouganda... (fig.77). Au Burundi, on retrouve, suivant les régions, des arbustes et des arbres comme *Euphorbia tirucalli*, *Dracaena afromontana*, *Markhamia lutea*, *Grevillea robusta* en limites de champs ou de propriétés (fig.78).



Figure 77 : Plantation de *Grevillea* entre des parcelles de petits exploitants utilisés pour la culture de maïs et haricots (Kenya)



Figure 78 : Délimitation des parcelles dans la station ISABU de Gisozi
(source : ISABU)

La plantation des arbres de bordures peut être pratiquée dans toutes les zones agro-écologiques, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Avantages des arbres de bordures: (i) la sécurité des limites est garantie puisque des arbres bien installés sont difficiles à arracher par des voisins sans scrupules ; (ii) il est possible d'en tirer du bois de chauffe si les arbres sont régulièrement élagués ou taillés. On peut aussi en tirer des perches ; (iii) des services secondaires sont également possibles notamment le contrôle de l'érosion si les arbres sont plantés rapprochés ; (iv) les arbres de limites nécessitent un peu d'entretien, et cela peut être programmé pour la saison sèche où il y a peu de travail dans les champs.

Limitations des arbres de bordures: (i) les arbres de bordures peuvent avoir des effets allélopathiques sur les cultures adjacentes ; (ii) si les arbres ne sont pas élagués comme il faut, l'ombrage et la compétition racinaire avec les cultures adjacentes sont possibles ; (iii) l'ombrage et les racines des arbres peuvent dépasser la bordure et affecter les champs des voisins. Cela peut être à l'origine des conflits entre voisins sauf s'il y a des arrangements pour partager les avantages résultant des arbres ; (iv) les arbres de bordures peuvent être délibérément endommagés si le partage des bénéfices n'est pas clair.

2.3.5. Les jardins de case



Figure 79 : Image d'un jardin de case
(source : ISABU)

Les jardins de case sont localisés près des habitations et sont caractérisés par une densité des plantes disposées dans une structure multi strates (fig.79). La structure multi strates et la litière au sol sont importantes dans la réduction de l'érosion du sol et l'amélioration de la fertilité. La diversité et le nombre d'espèces sont plus élevés dans les strates inférieures. Les arbres de l'étage supérieure sont *Ficus natalensis*, *Markhamia sp.*, *Grevillea robusta*, *Maesopsis eminii* et *Milicea excelsa*...

Les cultures des strates inférieures doivent être adaptées à une faible intensité et qualité de lumière puisque cette dernière est atténuée à mesure qu'elle pénètre à travers les différentes canopées. Les cultures tolérant l'ombre comme les ignames, le poivre, la tomate, le gingembre, la colocase, le manioc sont mises en valeur...

Autour de ces jardins de case, **des clôtures vives** constituées des plantes ligneuses comme l'*Erythrina spp.* qui régénèrent par boutures sont entrelacées avec des morceaux de bambous et de branches d'arbres servant à protéger l'habitation et les animaux.

Les jardins de case sont pratiqués dans toutes les zones agro-écologiques, sur tous les types de sols et par tous les agriculteurs.

Avantages. Le jardin de case est une unité spatiale de production agricole moyennement délimitée et attenante aux maisons individuelles ; très répandue dans les espaces burundais, pour son utilisation centrée d'abord sur l'autoconsommation. Ces jardins ont joué un rôle important dans l'alimentation des ménages et assurent plusieurs fonctions (sociale, économique, paysagère). Des cultures maraîchères sont produites en vue de compléter les aliments de base fournis par les cultures de plein champ.

Dans un bon jardin de case, des arbres et d'autres plantes pérennes sont cultivés pour assurer une production, même en saison sèche au moment où d'autres cultures maraîchères ne sont pas disponibles, pour rendre plus appétissants et nutritifs les repas.

Inconvénient. Concurrence pour la lumière si le choix des espèces à associer n'est pas bien soigné.

2.3.6. Les cultures en couloirs (Alley cropping)



Figure 80 : Culture de maïs en couloirs avec une légumineuse
(source : ISABU)

La culture en couloirs est une technologie agroforestière dans laquelle des haies d'arbres ou d'arbustes (souvent des légumineuses) sont plantées avec les cultures (fig.80) pour fournir des éléments nutritifs soit comme engrains vert et/ou paillis. Les cultures annuelles sont plantées dans les espaces entre les haies (couloirs = alley) et les arbres sont périodiquement élagués durant la saison culturelle pour éviter l'ombrage, fournir de l'engrais vert (fertilisant) ou du paillis (produire l'humidité) et de temps en temps du bois de chauffage et des tuteurs.

Les cultures en couloirs sont applicables dans les régions à fortes précipitations tant que la fertilité du sol est aussi bonne. La culture en couloirs est applicable dans des zones spécifiques. Ce sont notamment les terrains en pente, sur lesquels les haies peuvent réduire l'érosion du sol (Mecardo et al., 1996).

Avantages. Les haies assurent la réduction de la force de l'eau, une infiltration accrue près des bandes et un effet de barrière combiné à la protection du sol par le paillis. Dans un essai en Inde, l'effet barrière des haies de *Leucaena* et les micro-terrasses formées par le dépôt des sédiments ont réduit les pertes en terres de 48 % par comparaison à des parcelles de maïs en monoculture (Narain et al., 1998).

Les facteurs limitant l'adoption de la culture en couloirs:

(i) Les conditions semi-arides tout comme les précipitations annuelles de moins de 1000 mm limitent l'adoption de cette technologie suite à la compétition pour l'humidité du sol. Il y a alors diminution de la production ;

- (ii) Les effets allélopathiques pouvant provenir des feuilles en décomposition de certaines espèces comme *Leucaena*, *Acacia nilotica*, *Acacia polyacantha* et *Erythrina abyssinica* peuvent également diminuer la croissance des plantes ;
- (iii) Dans le court terme, les haies réduisent non seulement la performance des cultures (à travers la compétition) mais aussi la surface disponible pour les cultures ;
- (iv) Dans les zones semi-arides et sur sols acides, les arbres produisent peu de biomasse pour l'engrais vert et le paillis ;
- (v) L'accumulation de biomasse est également faible dans les régions d'altitude à cause des basses températures (Anthofer et al., 1998) ;
- (vi) Une déficience en phosphore limite la fixation de l'azote par les haies ;
- (vii) La culture en couloirs demande beaucoup de travail depuis la préparation des pépinières jusqu'à l'élagage des haies (Nelson et al., 1996) ;
- (viii) Etant donné que les arbres sont plantés rapprochés, cette technologie nécessite beaucoup de plants ;
- (ix) La culture en couloirs nécessite une sécurité pour la tenue de la terre et le droit à planter des arbres, ce qui n'est pas toujours le cas dans certaines circonstances.

2.3.7. Le Taungya

Dans cette pratique, la forêt et les cultures annuelles sont installées simultanément pendant les premières années de la mise en place de la plantation forestière. La production agricole est arrêtée quand les arbres commencent à ombrager les cultures. C'est un moyen bon marché d'établir des plantations forestières parce que ça réduit les coûts de mise en place d'une plantation.

La viabilité économique du système taungya dépend énormément de la rareté des terres. Ceux qui n'ont pas assez de terres bénéficient de parcelles dans les terres forestières pour y faire pousser des cultures et en même temps entretenir les arbres. Ils signent un accord avec le département des forêts dans lequel ils acceptent de ne pratiquer que certaines cultures et d'observer certaines règles. Par exemple, des cultures concurrentielles comme le manioc, le coton et les cultures pérennes ne sont pas autorisées dans le système taungya (Hoekstra, 1994).

Avantage. Le système taungya aide les instituts de gestion forestière à réduire les coûts d'établissement des plantations forestières en permettant aux gens ne possédant pas assez de terres de faire pousser certaines cultures entre les lignes d'arbres nouvellement plantés.

Inconvénients. Il arrive souvent que les locataires n'observent plus les règles établies dans l'accord avec le département des forêts et ainsi, les arbres peuvent délibérément être endommagés dans le but de continuer à pratiquer les cultures. Cette pratique est à introduire avec beaucoup de prudence au Burundi vu le problème foncier.

2.3.8. Parcs arborés (arbres dispersés)

Des parcs arborés se caractérisent par des arbres dispersés fort développés se trouvant sur du terrain cultivé ou récemment mis en jachère. Lorsque l'intensité de la culture augmente, il y a en général moins d'arbres (par exemple, dans les champs de coton). Les parcs arborés sont développés au mieux près des villages, du fait qu'ils sont mieux protégés et gérés là-bas. Les agriculteurs taillent aussi les arbres en vue de réduire l'ombrage sur les cultures et utilisent les émondages comme fourrage.

Cette pratique se rencontre dans les zones arides comme les plaines de l'Imbo et les dépressions de l'Est et du Nord-Est.

Avantages. Les arbres sont choisis en raison de leur utilité générale, fournissant des produits multiples tels que du fourrage, des fruits, du bois d'œuvre, du bois de chauffage, des produits médicinaux, etc. En plus, il s'agit de bénéfices écologiques à long terme : les arbres réduisent l'érosion, aident à maintenir la fertilité du sol et améliorent le microclimat en faveur des cultures, réduisant l'incidence du vent et fournissant de l'ombre. Les arbres sont très dispersés, si bien qu'ils ne font pas concurrence aux arbres voisins.

Inconvénients. Dans les zones semi-arides, des cultures dont les rendements ont diminué par suite de la concurrence pour l'eau, les nutriments du sol et la lumière. La clé d'une bonne gestion de parcs arborés est de renforcer les avantages qu'offrent les arbres tout en réduisant les inconvénients.

2.3.9. Les microboisements familiaux

Les plantations de microboisements ont pour objectifs la production du bois pour les besoins de la famille (énergie, bois de services,...), la protection du sol pour une plus grande couverture de celui-ci, l'amélioration du système d'élevage par l'apport des brise-vent et d'ombrage. L'introduction de ligneux dans les systèmes se fait à différents niveaux : par pieds isolés au milieu des pâturages, par alignement, par groupes en placeaux espacés, le long de sentiers de cheminement du bétail, la délimitation des parcours.

Avantages. Les boisements offrent une haute rentabilité économique, le microclimat est amélioré et les effets des brise-vent sont favorables aux champs voisins et au bétail.

Inconvénients. Concurrence avec des cultures sur les terres agricoles. Les arbres constituent aussi des niches des parasites animaux des plantes.

Les techniques de multiplication des arbres et arbustes agroforestiers et les conditions d'exigences édapho-climatiques de chaque espèce sont données en annexes 6 et 7.

2.4. L'entretien des arbres et arbustes agroforestiers

Une conduite correcte des arbres et arbustes à usages multiples utilisés en agroforesterie -donc associés à des cultures ou à l'élevage- est nécessaire afin d'obtenir une bonne productivité. Il est indispensable d'effectuer l'entretien régulièrement pour obtenir une biomasse homogène et pour éviter des concurrences avec les cultures. Un bon entretien accroît aussi la valeur du bois produit.

L'entretien consiste à :

a. Couper régulièrement les haies mixtes. La bande composée d'herbes fixatrices produit toute l'année du fourrage vert et peut être coupée 3 à 4 fois par an. La première coupe a généralement lieu 3 à 4 mois après l'installation, les coupes successives sont périodiques de 3 mois. On veille à ce que la coupe ait lieu avant la floraison pour ne pas perdre les qualités nutritionnelles. Pour les arbustes, la première coupe intervient au moins une année après la plantation. Ils sont coupés à la scie égoïne, deux fois par an. Ils rejettent abondamment de souche mais il est conseillé de garder trois rejets afin d'éviter la concurrence entre eux. La hauteur de la première coupe est à environ 30 cm du sol et les coupes successives se font à 40 à 50 cm du sol.

b. Sarcler. Il faut sarcler dès la mise en place des plants des arbres ou des arbustes. Il est recommandé de supprimer, à l'aide de la houe, non seulement toutes les mauvaises herbes mais aussi toutes les plantes cultivées, dans un rayon de 40 cm autour des jeunes pieds d'arbres et arbustes. Les deux premiers arrachages des mauvaises herbes chez le Calliandra se font à la main pour éviter de détruire les racines superficielles.

Une autre méthode plus efficace pour éviter la concurrence des mauvaises herbes est de mettre une couche de paillis autour des jeunes plants. L'ameublissement (ou binage) avec la houe favorise l'aération du sol, indispensable à une bonne croissance de la plante. On le pratique lorsque la terre est assez sèche et se brise facilement. Toutes fois, les effets du binage ne sont pas aussi durables que ceux d'un bon mulch.

c. Faire le regarnissage. Il est indispensable de remplacer les plantes mortes afin de lutter plus efficacement contre l'érosion et de garantir l'effet de stabilisation des plantes fixatrices sur les courbes de niveau. On remplace aussi les éclats de souche des herbes fixatrices qui sont desséchés. Les arbres et arbustes desséchés seront remplacés à la campagne suivante.

d. Protéger la haie vive ou l'arbuste contre la divagation du bétail et le piétinement par l'installation d'une haie protectrice autour des arbres et arbustes, à base d'espèces arbustives épineuses, comme le *Caesalpinia decapetala*. Les arbres isolés peuvent être protégés individuellement par de petits enclos construits avec des branches épineuses.

e. Faire le cernage. En taillant les racines des arbres (fig.81), on favorise le développement de leur système radiculaire dans les couches profondes du sol et non à la surface.



Figure 81 : Cernage des racines

f. Elaguer. L'élagage ou ébranchage est une taille qui consiste à éliminer les branches latérales qui poussent le long du tronc d'arbre au fur et à mesure que d'autres se développent à des niveaux plus élevés. (fig.82).

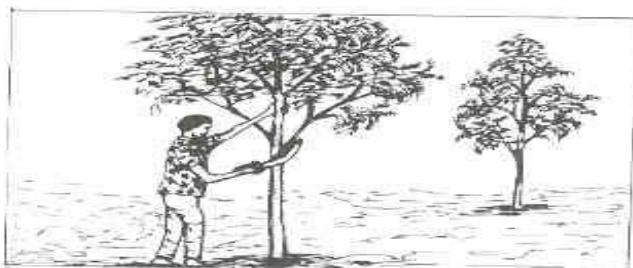


Figure 82 : Elagage

Chez les arbres à fût unique, tels que le Grevillea, les tailles de formation de la cime ne posent pas de difficultés. En effet on élague seulement les branches les plus basses jusqu'à 1/3 de la hauteur du tronc (fig.83). L'élagage doit être poursuivi pendant 10 à 12 ans, cela permet d'avoir un fût de 7 à 8 m. Chez les arbres formant plusieurs troncs ou se ramifiant à la base, et chez les arbres fourchus, on éliminera les pousses et les brins qui gênent les cultures ou les arbres voisins.

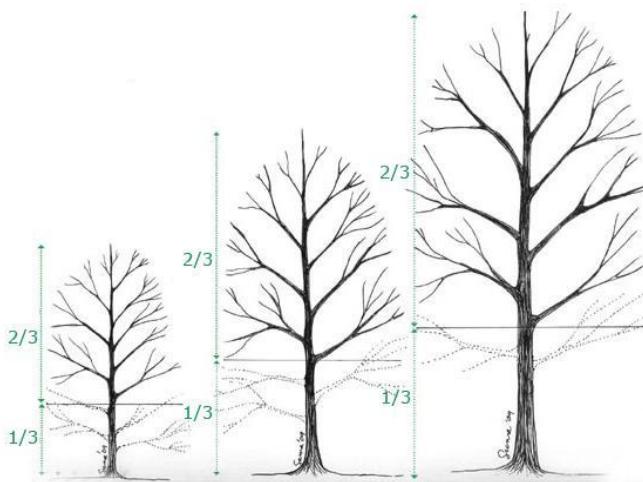


Figure 83 : Hauteur d'élagage

La profondeur de travail pour la taille des racines doit être à la profondeur d'un labour normal plus 10 cm.

Les tailles racinaires sont pratiquées de préférence en début de la saison pluvieuse. Elles sont déconseillées en saison sèche puisque les arbres ont besoin d'un maximum de racines pour pomper l'eau du sol et se préserver du dessèchement.

Pour cette opération d'ébranchage, on utilisera uniquement la **scie égoïne**, et non une machette, afin d'obtenir un trait de coupe bien lisse, qui stimulera une cicatrisation rapide et diminuera les risques de maladie. Pour assurer une meilleure solidité du tronc, il est recommandé d'enlever les branches qui poussent sur le premier tiers de l'arbre, mais jamais davantage.

Les branches doivent être sciées tout près du tronc (à 3 cm environ), afin d'améliorer la qualité du bois de la grume. Toutefois, lorsque la première spéculature n'est pas le bois mais la production de feuilles, on peut scier à une plus grande distance du tronc. Cette méthode est également appliquée sur Grevillea robusta par quelques agriculteurs afin d'augmenter la production foliaire le long du tronc. A maturité, les arbres à grand déploiement devraient être dénudés sur une hauteur minimale de 2 m.

Supprimez progressivement les branches basses de l'arbre. Les branches et rameaux fins situés sous les charpentières contribuent à la croissance en diamètre du tronc et protège ce dernier contre les insolations et les blessures mécaniques. Ces branches temporaires doivent être maintenues suffisamment courtes pour ne pas concurrencer les branches permanentes.

g. Faire la taille de formation. Le premier objectif est d'obtenir des conditions de lumière optimales dans le système de culture associée. La coupe d'exploitation doit être effectuée en considérant les trois aspects : (i) le moment de la coupe est déterminant car il conditionne la valeur des grumes et perches obtenues ; (ii) la coupe, en tant que technique de la régénération naturelle, exerce une influence déterminante sur la vitalité des rejets ; (iii) la coupe devrait contribuer, dans une large mesure, à façonner la forme des cimes et à produire les effets d'ombrage souhaités. On distingue 2 méthodes de taille de formation :



Figure 84 : Etènage
(source : jfk.paysage.com)



Figure 85 : Emondage
(source : arijardin.info)

g₁. Taille en têtard. Les troncs sont coupés à une hauteur comprise entre 1.5 et 3 m au-dessus du sol (fig.84). Les rejets sont ensuite exploités souvent après 1 à 3 ans. Le trait de scie doit être placé obliquement afin de faciliter l'écoulement de l'eau, une cicatrisation rapide et une diminution des risques de maladies. On obtient un bois de grume de petit diamètre. Exemple *Calliandra*, *Markhamia*, *Cassia*...peuvent fournir de tels types de grumes.

g₂. Emondage. Cette technique est employée pour produire des branches et des biomasses foliaires utilisées comme fourrage ou comme mulch (fig.85). On favorise donc un maximum de ramifications des arbres par des coupes fréquentes et des tailles charpentières successives visant à donner à la couronne la forme voulue. Les espèces comme *Calliandra*, *Cassia*, ... se prêtent bien à cette technique. Selon les associations à prévoir, la hauteur de coupe peut varier entre 50 et 100 cm. En augmentant la fréquence des émondages, on accroît la production de feuillage au détriment des branches et inversement. De cette façon, l'agriculteur peut favoriser tantôt la valeur fourragère ou la valeur combustible du matériel récolté.

h. taille sanitaire



Figure 86 : Taille sanitaire

Elle consiste à couper tous les rameaux et tiges parasités, piqués, desséchés, malades et à les brûler. On utilise un matériel propre et la partie malade est sectionnée au-delà de l'endroit attaqué.

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

- Chales Kambale., 2012 : Agroforesterie, un outil de l'agriculture durable.
- De Ligne A., 1990 : L'agroforesterie dans le sud Kirimiro. Département des Forêts. Bujumbura.
- De Ligne A. et al., 1987: Synthèse des recherches forestières effectuées au Burundi. Publications agricoles n.12
- Départements de Forêts, 1989 : Séminaire national sur l'agroforesterie. Bujumbura.
- HABONIMANA Bernadette, 2006 : Manuel de formation sur l'Agroforesterie
- Hendrick H., 1996 : L'agroforesterie des régions d'altitudes au Burundi
- HICINTUKA C., 2012: Concurrence entre la haie mixte antiérosive et les cultures vivrières adjacentes. Rapport de consultance. ADISCO/CRDI.
- HOSTE, H., 1996 : L'agroforesterie des régions d'altitude au Burundi. Bruxelles.
- ISABU, 1988: Programme agroforesterie ; sylviculture et érosion .Rapport annuel. Bujumbura.
- ISABU, 1991: Programme Agroforesterie ; Sylviculture ; Erosion : Rapport annuel. Bujumbura.
- König D., 1992: L'agriculture écologique agro forestière. Une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda. *Bulletin Réseau Erosion* 12 : 130-139.
- MINATTE, 1991 : Fichier technique de vulgarisation agro forestière. 3^{ème} édition. Bujumbura.
- NAHAYO J., 1992 : Contribution à l'étude des systèmes agroforestiers dans la zone encadrée par le projet d'aménagement forestier pilote du sud Kirimiro/Bututsi. Cas de la commune Buraza. Mémoire FACAGRO. Bujumbura.
- NDAYIZIGIYE F., 1992 : Valorisation des haies arbustives dans la lutte contre l'érosion en zone de montagnes Rwanda. *Bulletin Réseau Erosion* n°12 : 120-129.
- Roose E., 1992 : Capacité des Jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique Occidentale. *Compte Rendu Séminaire sur la Jachère*, ORSTOM, Montpellier.



CHAPITRE 3: PRATIQUES ZOOTECHNIQUES DE GESTION DURABLE DES TERRES



Les systèmes d'élevage semi-intensif et extensif constituent les modes dominants de conduite et d'alimentation du bétail. Mais, la complémentation est peu pratiquée alors qu'il se pose, en saison sèche, un problème crucial de fourrage en quantité et surtout en qualité. De ce fait, mêmes les besoins d'entretien des animaux ne sont pas couverts durant cette période. Cela se traduit par un manque à gagner considérable en productions (viande, lait,) et en revenus monétaires.

La solution à ce problème réside, entre autres, dans la production des fourrages et la constitution par les producteurs, d'un stock de fourrage de qualité. Plusieurs techniques peuvent être proposées dans ce sens.

3.1. Les cultures fourragères

La culture fourragère est une pratique qui permet de compenser cette perte biologique due aux effets du changement climatique et même de contribuer à accroître la production vivrières lorsqu'on intègre l'agriculture et l'élevage.

La culture fourragère regroupe toutes les cultures qui ont pour but de fournir du fourrage au bétail et dont les récoltes sont distribuées fraîches, après fanage ou ensilage. Il existe un nombre très varié d'espèces de cultures fourragères au Burundi. Quelques cultures comme le sorgho et le maïs peuvent avoir un double objectif, fourrager et production vivrière.



Figure 87 : Culture fourragère de *Panicum maximum*
(source : ISABU)

Chaque espèce exige des conditions climatiques, édaphiques et techniques précises pour bien extérioriser ses potentialités. Ainsi le choix des espèces devra porter sur des espèces ayant fait leurs preuves en matière de bonne productivité, facilité de mise en place, d'utilisation et d'entretien. La conduite des cultures fourragères exige la mise en œuvre d'un itinéraire technique complet comprenant plusieurs étapes : (i) le bon choix des espèces en fonction du climat, des conditions édaphiques, (ii) la préparation des sols (défrichement, protection, fertilisation), (iii) la préparation des semis, (iv) le mode de culture (culture pure ou associée), (v) l'entretien des cultures, (vi) une évaluation des productions en fin de campagne.

Les cultures fourragères sont partout pratiquées dans toutes les zones agro-écologiques, utilisent les mêmes types de sols que les spéculations vivrières. A chaque espèce correspond un type de sol donné. Les agri-éleveurs sont les populations les plus concernées par la pratique de la culture fourragère.

La mise en place des graminées et légumineuses fourragères et les détails sur les exigences édapho-climatiques sont données dans les annexes 8 et 9.

Avantages et impacts: (i) sécurisation de la disponibilité fourragère de saison sèche; (ii) amélioration des conditions techniques des producteurs; (iii) amélioration de la qualité fourragère; (v) intensification de la production animale.

Contraintes: (i) contraintes foncières; (ii) divagation des animaux; (iii) problème de disponibilité des semences fourragères; (iv) augmentation du temps de travail pour les producteurs.

3.2. La stabulation



*Figure 88 : Vaches laitières en stabulation permanente
(source : FIDA/PRODEFI)*

La stabulation permet de garder le bétail à l'étable pour un long moment (fig.88). Il est important que les animaux (des vaches dans ce cas) soient en stabulation. Le sol de l'étable doit être en béton, cela facilite la récupération des bouses. C'est l'intensification de la production animale associée à la collecte du fumier d'étable des animaux. Ce fumier peut être utilisé en l'état ou dans le procédé de compostage. Les animaux (vache, porc, volaille...) peuvent être mis en stabulation en permanence et toute l'alimentation est apportée et le fumier collecté et traité.

Toutes les zones agro-écologiques du pays peuvent être concernées par la pratique de stabulation permanente. La seule condition est de disposer des banques fourragères et des animaux.

Avantages et impacts : (i) optimisation des productions animales; (ii) amélioration et conservation de la fertilité des sols; (iii) optimisation des productions vivrières.

Contraintes : (i) disponibilité des ressources fourragères; (ii) difficulté de réalisation du compostage; (iii) temps de travail des producteurs; (iv) matériel de travail pour couper le fourrage, le transporter et le hacher; (v) maîtrise des techniques d'alimentation du bétail.

3.3. Intégration agro-sylvo-zootechnique

L'intégration agro-sylvo-zootechnique est la valorisation directe et profitable des aménagements biologiques (fig.89) des bassins versants pour les agri-éleveurs:

- Les herbes et les arbustes fourragers protègent les sols contre l'érosion et sont coupés pour nourrir le bétail à l'étable;
- Le bétail en stabulation permanente ou semi-permanente produit du lait, de la viande, et autres sous-produits de l'élevage ;
- Le fumier, produit en grande quantité, est mis sur les cultures vivrières à haute valeur marchande (maïs, pomme de terre, légumes...) et fourragères comme fertilisants ; la fertilité des sols et la production agricole s'améliorent;

d. Les productions végétales, animales et sylvicoles (lait, viande, produits agricoles...) améliorent la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages et sont mises sur le marché. Les revenus augmentent et la pauvreté des populations rurales est réduite. L'intégration agro-sylv zootechnique permet d'optimiser la production par unité de surface.

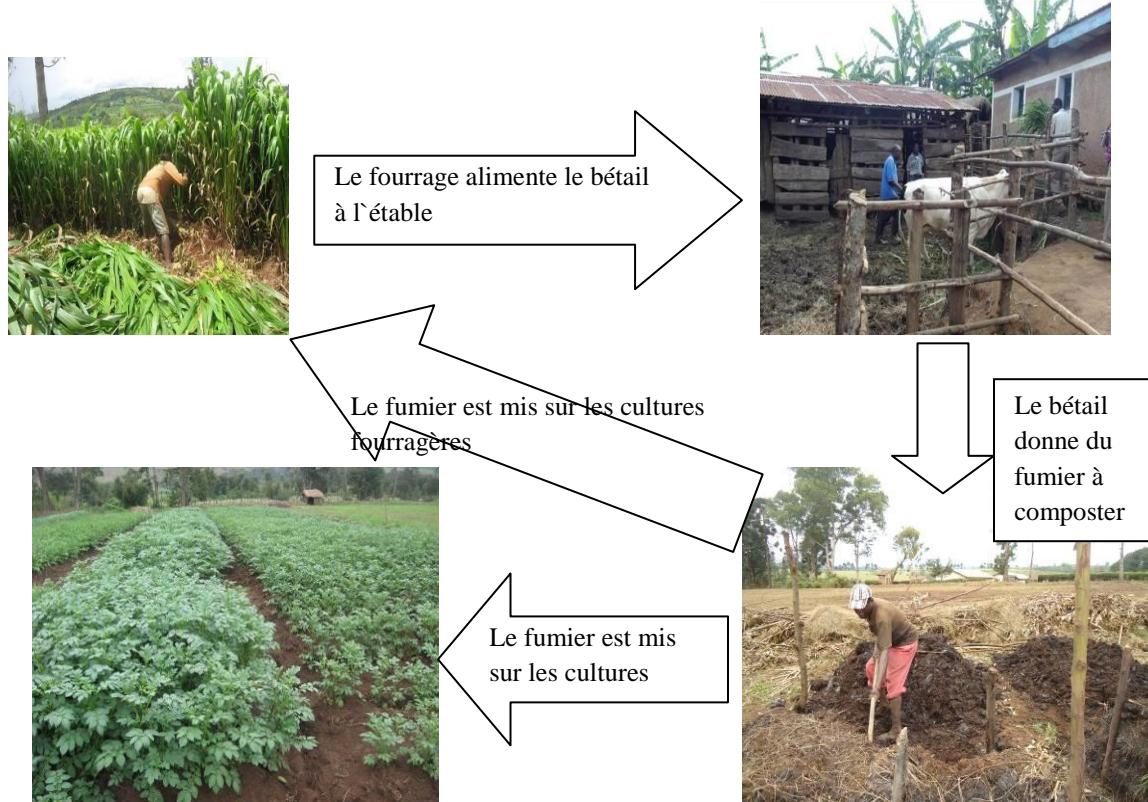


Figure 89 : *Alimentation du bétail à l'étable avec du fourrage issu des banques fourragères, compostage et utilisation du fumier sur la pomme de terre*
(source : ISABU)

Toutes les zones agro-écologiques du pays sont concernées par la pratique d'intégration agro-sylv zootechnique. La seule condition est de disposer des banques fourragères et des animaux.

Avantages et impacts : (i) optimisation des productions animales, végétales et sylvicoles; (ii) amélioration et conservation de la fertilité des sols; (iii) optimisation des productions vivrières.

Contraintes : (i) disponibilité des ressources fourragères, animales; (ii) difficulté de réalisation du compostage; (iii) temps de travail des producteurs; (iv) matériel de travail pour couper le fourrage, le transporter et le hacher; (v) matériel de travail pour le compostage; (vi) maîtrise des techniques d'alimentation du bétail, de compostage et de traitement des cultures.

3.4. La fauche et la conservation du fourrage

La fauche et la conservation du fourrage est une technique qui consiste à prélever le fourrage naturel au moment opportun, à le conditionner en vue de son utilisation en saison sèche. La

pratique de la fauche et conservation du fourrage comprend plusieurs étapes d'application technique qui sont basées sur le choix: (i) des espèces à faucher, (ii) des stades, hauteur et moment d'exploitation, (iii) du matériel à utiliser, (iv) des techniques de séchage ou fanage, (v) des techniques de conditionnement, (vi) des techniques de conservation ou de stockage.

Pour les graminées et les légumineuses, la fauche doit se faire de préférence le matin après l'évaporation de la rosée ou le soir avant la montée de la rosée. Une hauteur de 10 cm au-dessus du sol est convenable ; mais en fonction des espèces, cette hauteur peut varier de 5 à 20 cm (sorgho et fourrages naturels).

La pratique de fauche peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques, sur tous les types de sols par les agri-éleveurs.

Avantages et impacts: (i) disponibilité en quantité et en qualité de fourrage en saison sèche; (ii) meilleure gestion des pâturages; (iii) meilleure valorisation du fourrage; (iv) possibilité d'aménagement des pâturages naturels; (v) réduction des risques de feux de brousse; (vi) favorise la stabulation et l'intensification de la production animale.

Contraintes: (i) augmentation du temps de travail; (ii) coût élevé de l'activité (matériel d'exploitation, de conditionnement, de stockage de la production); (iii) problème foncier.

3.5. Pratique d'ensilage des fourrages verts

L'ensilage est une technique de conservation du fourrage vert en absence d'oxygène et en milieu acide. L'acidification est obtenue grâce aux bactéries lactiques présentes dans le fourrage. C'est un procédé de fermentation : l'absence d'oxygène empêche la putréfaction et favorise la fermentation. En pratique, l'ensilage consiste à placer l'herbe verte hachée (naturelle ou cultivée) dans un conditionnement sans air (sac, silo ou trou), ce qui déclenche le processus de fermentation anaérobiose. Lorsque la fermentation est achevée, l'herbe possède une valeur nutritive stable et favorable à la production laitière.

L'ensilage a pour objectif d'assurer aux animaux d'élevage (chèvres, vaches, porcs, moutons) des conditions alimentaires en quantité et en qualité pendant la saison sèche.

Les espèces végétales utilisées pour faire l'ensilage. Le bon ensilage demande le choix de la bonne végétation à un stade de maturité adéquat. Pour ce faire, l'éleveur peut utiliser : (i) les espèces céréaliers que nous cultivons normalement : maïs, sorgho,...; (ii) les graminées naturelles que l'on trouve en brousse : *Brachiaria sp.*, *Andropogon gayanus*, *Andropogon chinensis*,...; (iii) les graminées fourragères cultivées : *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*, *Tripsacum laxum*, *Bana grass*, *Setaria sp.*, ...; (iv) les légumineuses cultivées : dolique (*Lablab purpureus*), niébé (*Vigna unguiculata*),...; (v) l'association des légumineuses aux graminées citées ci-dessus. Ce mélange d'herbe améliore la qualité nutritive de l'ensilage.

Pour réaliser un bon ensilage, il est nécessaire de connaître le bon moment de la récolte :

(i) pour les graminées de brousse, la concentration optimale est au stade de floraison-épiaison. C'est à ce stade que doit se faire la récolte; (ii) pour les céréales (sorgho, maïs), la récolte se fait au stade grain blanc laiteux; (iii) quant aux légumineuses, la fauche doit être faite au stade de la floraison (avant que les tiges ne soient trop sèches ou fibreuses).

Techniques de réalisation. Il existe plusieurs modèles de silos dont la construction doit tenir compte des éléments suivants : (i) le sol du silo doit présenter une légère pente de 2 % à 5 % pour permettre l'écoulement du jus qui sort de l'herbe verte entassée ; (ii) le silo doit être couvert d'une couche de paille hachée ou d'un plastique. Il peut être cimenté ou même bétonné selon les moyens de l'éleveur ; (iii) les dimensions du silo dépendent de la quantité de l'herbe que l'éleveur souhaite ensiler pour son effectif d'animaux. Malgré l'existence de divers types de silos, nous allons montrer un seul modèle qui est accessible par n'importe quel agri-éleveur: le silo-fosse. Les photos de la page suivante illustrent la conduite de l'ensilage en milieu rural.

Durée de conservation. Le fourrage bien ensilé peut être conservé pendant au moins une année.

Caractéristiques d'un bon ensilage. L'ensilage bien réussi dégage une odeur d'acide et d'alcool typique à l'ouverture du silo. Il est humide et a généralement une couleur vert sombre ou jaunâtre. Il ne doit pas présenter de traces de moisissures ni d'odeur de pourriture. Un ensilage mal fait peut être à l'origine des maladies graves en production laitière notamment la listérose (maladie abortive) et peut entraîner, de ce fait, des toxi-infections mortelles chez le consommateur de lait. La pratique d'ensilage peut être vulgarisée dans toutes les zones agro-écologiques, sur les sols riches ayant de bonnes productions fourragères, aptes à fournir suffisamment du fourrage pour la réalisation de l'ensilage. Cette technique est utilisable par tous les agri-éleveurs.

Avantages et impacts: (i) constitution de réserves de fourrage de qualité; (ii) maintien d'une bonne production animale toute l'année.

Contrainte: exige un travail régulier et soigné.



Figure 90 : Creusement d'un silo-fosse



Figure 91 : Remplissage du silo-fosse



Figure 92 : Tassement du silo-fosse

Dimensionnement. On procède d'abord au piquetage pour marquer les dimensions de la fosse à l'aide des piquets, mètre ruban et une corde. C'est une fosse à section rectangulaire dont les dimensions peuvent être les suivantes : profondeur : 1,8 m à 2,5 m ; largeur : 2,5 m à 4 m ; longueur : 3-4 m.

Creusement. Le creusement se fait en suivant les dimensions à ciel ouvert avec une légère inclinaison des parois à l'intérieur de la fosse. Ceci permettra de mettre une couche d'*Eragrostis* protectrice du fourrage hachée à ensiler.

Pour avoir un tassemement uniforme du fourrage, les parois du mur doivent être lisses. Il faut prévoir une rigole ou un puisard au centre de la fosse pour recueillir le jus ou l'eau qui s'écoulerait de l'herbe hachée par gravitation.

Récolte et traitement du fourrage. Avant d'être ensilée, quelque soit le modèle retenu, l'herbe est réduite en de petits morceaux à l'aide d'une machette ou d'une serpette. L'endroit de hachage doit être propre pour éviter tout contact de l'herbe avec la terre. Le hachage facilite, d'une part, un bon tassemement pour que tout l'air soit expulsé, et d'autre part, la libération des sucres contenus dans ces herbes et entraîne une bonne fermentation lactique.

Remplissage et tassemement de l'herbe dans le silo-fosse. Avant de remplir le silo par de l'herbe hachée, s'assurer que la fosse est bien tapissée de l'*Eragrostis* sur ses parois et même le fond du silo (couche protectrice pour éviter les moisissures). Répartir le fourrage vert ou pré fané sur une épaisseur de 20 cm à 30 cm par couche. Bien tasser le fourrage en le piétinant ou, mieux, en roulant au dessus des fûts de 200 litres remplis d'eau. Recommencer cette dernière opération jusqu'au remplissage du silo. En cas de l'interruption de l'opération avant le remplissage du silo, recouvrir le silo avec de la paille ou un film plastique.

Quand le remplissage et le tassemement de l'herbe sont terminés, recouvrir complètement le fourrage haché avec de la paille d'*Eragrostis*. Au dessus de cette paille, mettre de la terre jusqu'à former un monticule sur le silo-fosse.

Précautions à prendre après l'ensilage. Veiller, quelques jours après l'ensilage, à l'apparition des fissures dues à l'affaissement du monticule. Dans ce cas, il est urgent d'ajouter de la terre sur ce monticule. Répéter cette opération jusqu'à ce que le niveau se stabilise et qu'il n'y a plus de fissures.

Ouverture du silo et distribution de l'ensilage. L'ensilage peut être utilisé au cours de l'année de sa préparation. Enfin, on peut commencer à l'exploiter trois semaines après son remplissage. Ouvrir progressivement le silo à l'une de ses extrémités pour enlever la quantité à utiliser. La terre est donc dégagée soigneusement à chaque distribution. Le produit ensilé doit toujours être prélevé verticalement au fur et à mesure jusqu'à la fin. A chaque prélèvement, recouvrir le silo.

3.6. Le fanage²²

Le fanage fait changer un fourrage vert, périssable, en un produit qui peut être facilement transporté sans danger d'altération, tout en maintenant les pertes en matière sèche et éléments nutritifs à un minimum. Cela implique la réduction de son taux d'humidité de 70 -90% à 15-20% ou moins.

Principes généraux. Toutes les activités de fanage doivent être faites à temps (fauchage, retournement, fanage et mise en balles ou en meule), sinon la récolte se détériorera. Le foin fauché ne doit être abandonné à aucun moment jusqu'à la fin.



Figure 93 : Formation sur la fabrication et la conservation du foin
(source : ISABU)



Figure 94 : Bottes confectionnées
(source: ISABU)

Période de récolte et stade végétatif. La période de l'année dépend de la disponibilité d'une quantité convenable d'herbe et du climat. Le reste du cycle agricole et la disponibilité de la main-d'œuvre et des machines ont certainement un rôle déterminant. Le but est d'avoir toujours simultanément une qualité élevée d'herbe et une probabilité élevée d'avoir un temps convenable pour le fanage.

Les opérations principales du fanage (fig.93). Les méthodes de fanage varient selon le type de plante et les circonstances, mais les principales opérations sont plus ou moins les mêmes dans tous les cas: (i) le fauchage qui peut être combiné avec le conditionnement; (ii) le conditionnement artificiel pour un séchage rapide (une innovation, mais effectué seulement quelquefois); (iii) le retournement et le fanage qui permettent un séchage régulier de l'herbe fauchée, aident à dissiper la chaleur et réduisent le danger de développement de moisissures et fermentations; (iv) la confection en bottes ou la mise en petites meules sont des étapes intermédiaires pour le séchage utilisées dans quelques systèmes manuels; et (v) le transport et le stockage, avec ou sans mise en balle.

Conservateurs de foin. Le foin à 40 - 50% d'humidité peut être stocké (fig.94). L'acide propionique est l'une des substances utilisées. L'ammoniac anhydre ou le traitement à l'urée, qui a été originellement développé pour améliorer la digestibilité de la paille, a donné de bons résultats pour l'amélioration de sa stabilité en conditions anaérobiques, ainsi que pour l'amélioration de sa valeur nutritive. L'ammoniac, en plus d'éliminer l'air, a un effet fongicide, et accroît aussi la teneur protéique dans le foin.

²² <http://www.fao.org/docrep/008/x7660f/x7660f06.htm>

Le procédé de séchage. La perte d'humidité est d'abord rapide, spécialement à partir des feuilles, car les stomates sont ouverts. Comme l'herbe se fane, les stomates se ferment et l'eau doit trouver des voies à travers l'épiderme cireux des feuilles et tiges. L'humidité à l'intérieur des tiges prend beaucoup de temps pour s'évacuer. Le taux de séchage dépend du climat: l'ensoleillement, le vent et le taux d'humidité de l'air en sont les facteurs principaux. Le séchage doit être fait aussi rapidement que possible pour minimiser les pertes. A la fauche, l'herbe contiendra entre 70 et 90% d'humidité, et cela doit être réduit jusqu'à 15 à 20% avant que le foin ne puisse être stocké sans dégât.

La pratique du fanage peut être vulgarisée dans toutes les zones agro-écologiques, sur les sols riches ayant de bonnes productions fourragères, aptes à fournir suffisamment du fourrage pour la réalisation du fanage. Les espèces qui se prêtent mieux au fanage sont : *Brachiaria sp.*, *Chloris gayana*, *Panicum maximum*, *Desmodium intortum*, *Stylosanthes guianensis*, *Mucuna sp.*

Avantages et impacts: (i) constitution de réserves de fourrage de qualité; (ii) (ii) maintien d'une bonne production animale toute l'année.

Les problèmes de fanage varient selon la culture, le climat et le temps prédominant durant la récolte:

- (i) Sous les conditions tempérées humides et subhumides, les principaux problèmes sont en rapport avec la lenteur du séchage, donc, pour éviter la perte par altération, le but est de sécher la plante aussi rapidement que les conditions le permettent.
- (ii) Sous les conditions chaudes et sèches, au contraire, les problèmes sont vraisemblablement l'effritement des parties plus fines de la plante, à travers un séchage trop rapide ou la décoloration, avec perte conséquente de carotène et de vitamines.

Les causes de perte sont les suivantes :

- (i) *La fermentation*, dont les pertes commencent dès que la plante est fauchée. L'oxydation enzymatique de la sève et les activités des bactéries et des moisissures sur la surface de la plante causent des pertes, avec génération de chaleur. Si la récolte n'est pas aérée suffisamment pour dissiper la chaleur, des dégâts graves peuvent se produire. Le retourne et le fanage doivent être par conséquent effectués promptement et de façon adéquate.
- (ii) *La perte mécanique des feuilles* se produit durant le fanage et les manutentions au champ.
- (iii) *Les pertes par lessivage* se produisent si la pluie tombe sur la récolte durant le processus de séchage. Le re-mouillage du foin partiellement séché est beaucoup plus grave que la pluie sur un foin fraîchement coupé, et peut simultanément causer la décoloration et l'augmentation des dégâts de moisissures.
- (iv) *Des pertes mécaniques supplémentaires* se produisent durant le ramassage, le transport et la mise en balles. Leur gravité dépend en partie de la compétence de l'opérateur.
- (v) *La détérioration dans la meule ou les balles* est particulièrement dangereuse, et peut conduire à la perte totale de la récolte. Ceci résulte généralement du stockage de l'herbe avec une teneur

élevée d'humidité dans de grandes unités ou des meules mal confectionnées qui laissent pénétrer la pluie ou ne permettent pas la ventilation.

(vi) *Le gaspillage pendant l'utilisation* inclut les pertes dans les meules ouvertes et celles dues à des mauvaises techniques d'alimentation.

3.7. Régénération des pâturages

Les pâturages sont surchargés par le nombre de bêtes qui y broutent et souffrent du piétinement. Ils sont totalement dégradés, d'où la nécessité de créer des aires pastorales améliorées et bien gérées. La régénération de pâturages dégradés comporte la mise en défens, la fumure, le travail du sol, le fauchage et l'enrichissement par introduction d'espèces nouvelles. Si la dégradation est très poussée, la reconstitution est artificielle. Les mesures de réglementation à prendre sont : le gardiennage des troupeaux et l'interdiction ou la réglementation des feux de brousse. Dans les cas plus avancés, il faut une détermination de la charge maximum et un aménagement des parcours pour une répartition homogène du bétail.

Pour la création et la gestion des aires pastorales améliorées, on peut s'inspirer de l'expérience éthiopienne (fig.96). L'amélioration des pâturages est fondée sur les clôtures et sur la plantation d'espèces améliorées de fourrages herbacés et ligneux afin d'améliorer la production fourragère tout en contrôlant simultanément la dégradation des terres.



Figure 95 : Pâturages dégradés par surpâturages et feux de brousse/Bututsi
(source : ISABU)



Figure 96 : Herbe Desho et arbres à usages multiples mis en place pour augmenter la productivité des pâturages
(Photo réalisée par Daniel Danano)

La technologie implique l'installation de clôtures pour interdire l'accès ouvert, l'application de compost pour améliorer la fertilité des sols, la plantation d'espèces fourragères améliorées locales et exotiques, y compris les légumineuses arbustives et arborées à usages multiples (incluant les espèces fixatrices d'azote) et l'herbe locale Desho (*Pennisetum pedicellatum*). D'autres graines de graminées et de légumineuses sont mélangées aux graines d'arbres fourragers et sont ainsi semées à la volée. Les légumineuses sont la luzerne (*Medicago sativa*) et les trèfles dans certains cas. Le fourrage est coupé et transporté pour une alimentation en stabulation (affouragement en vert) et

une fois par an, l'herbe est coupée pour le foin, qui est alors stocké pour nourrir les animaux pendant la saison sèche.

Zones à viser : Bugesera, Bututsi, Buyogoma, Imbo, Moso et Mugamba.

La sensibilisation des producteurs et leur formation sur les nouvelles techniques d'exploitation et de préservation des ressources pastorales (récolte et ramassage raisonnés des fourrages herbacés, ligneux et sous-produits agricoles), permettent leur renouvellement et leur utilisation durable.

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

- FAO, 2004: Conservation du foin et de la paille pour les petits paysans et les pasteurs. Rome.
- ISABU, 1990 : Fiche technique n° 11. L'ensilage du *Tripsacum laxum* en milieu rural. Bujumbura.
- ISABU, 1988: Programme agrostologie. Rapport annuel. Bujumbura.
- ISABU, 1988: Programme agrostologie. Rapport annuel. Bujumbura
- ISABU, 1991: Programme Agrostologie. Rapport annuel. Bujumbura
- MINATTE, 1991 : Fichier technique de vulgarisation agro forestière. 3^{ème} édition. Bujumbura.
- RUSHIGAJE Jaffar, 2010 : Mémoire sur la technique de conservation du fourrage vert par ensilage.



CHAPITRE 4 : EFFICIENCE DE L'UTILISATION DE L'EAU



L'efficience de l'utilisation de l'eau est définie par le rendement par unité d'eau. L'efficience optimale est obtenue en minimisant les pertes dues à l'évaporation, au ruissellement et à l'infiltration. Les deux ennemis de l'eau sont le gaspillage et la pollution. La faible efficience de l'utilisation de l'eau est étroitement liée à la couverture du sol faible ou dégradée, qui laisse les sols exposés au rayonnement solaire, au vent et aux pluies violentes, provoquant ainsi l'aridification et la dégradation des sols.

4.1. Techniques de gestion des eaux dans l'agriculture pluviale

L'agriculture pluviale dépend entièrement de l'eau de pluie stockée dans le sol. Dans ce type d'agriculture, la gestion des terres peut influer considérablement sur le rendement des cultures: une bonne préparation des terres qui amène le ruissellement de surface à s'infiltrer près des racines préserve davantage l'humidité du sol. Diverses formes de récupération de l'eau peuvent contribuer à retenir l'eau *in situ* par l'infiltration, l'amélioration de la capacité de rétention de l'eau par le sol, la réduction de l'érosion de surface et de l'évaporation.

Encadré 4.1. Stratégies pour améliorer la gestion des eaux dans l'agriculture pluviale

1°. Ralentir le ruissellement par les techniques antiérosives décrites au chapitre I et II. La stratégie consiste ici à ralentir l'écoulement afin de donner plus de temps à l'eau pour s'infiltrer et pour réduire l'impact dommageable de l'érosion par ruissellement. Elle est utilisable dans toutes les régions du pays. On pose des obstacles au ruissellement. Le maintien des haies, des prairies et des bandes enherbées est efficace. Les bandes filtrantes, les déchets de bananiers ou de récoltes alignés, les diguettes en terre ou de pierres, les terrasses progressives,... bref les barrières à travers la pente permettent d'atteindre cet objectif.

2°. Conserver les eaux de pluies dans le sol. Le stockage de l'eau est amélioré dans la zone d'enracinement des plantes et la nappe se recharge. Les technologies utilisables sont les diguettes en travers de la pente, le paillage, la couverture végétale, les méthodes culturales réduites. L'application de la matière organique permet d'augmenter la rétention de l'eau dans le sol.

3°. Capter les eaux de ruissellement. Il s'agit notamment de petites structures comme les trous, les fossés, les bassins et les digues construits pour collecter les eaux des environs.

4°. Réduire l'évaporation au sol par le paillage, le couvert végétal, les brise-vents, la plantation des arbres d'ombrage... Ces techniques, qui permettent de ralentir l'évaporation de l'eau et maintiendront l'humidité du sol, sont appropriées surtout dans les conditions sèches où les pertes par évaporation peuvent représenter plus de la moitié de la pluviométrie ; surtout dans les régions de l'Imbo et les dépressions de l'Est et du Nord-Est.

5°. Dévier les eaux de ruissellement. Les eaux de ruissellement provenant de l'amont, peuvent être canalisées par un fossé de déviation vers des zones qu'on veut irriguer. Elles contribuent à éviter les pertes en nutriments, l'érosion ou les glissements de terrain. Le tracé des fossés ouverts de dérivations permet d'atteindre ce but.

6°. Les micro-captages sont conçus pour fournir davantage d'eau aux cultures ou aux pâturages par le biais du détournement des inondations pluviales, à partir des ravines, des ruisseaux éphémères ou des routes, directement vers les terres agricoles.

4.2. Techniques de collecte des eaux pluviales

Les techniques de collecte des eaux pluviales sont illustrées par les photos ci-dessous (fig.97 à 100):



Figure 97 : Collecte des eaux pluviales pour la consommation familiale (Gasorwe, Muyinga) (source : FAO)



Figure 98 : collecte et stockage de l'eau dans un petit bassin, au Rwanda (Malesu Maimbo)



Figure 99 : Fossés d'infiltration permettant de conserver l'eau dans le sol (source : ISABU)



Figure 100 : Vue d'un fossé de rétention d'eau avec murs renforcés avec l'argile (source : ISABU)

1°. La Collecte des eaux de pluie à travers les gouttières pour la consommation domestique (fig.97), le stockage de l'eau dans le réservoir pendant une longue période pourrait dégrader sa qualité;

2°. Les eaux sont collectées dans un puits maçonné ou dans un trou couvert de bâches. Cette technique est utilisée pour des usages domestiques ou peut servir à arroser les jardins légumiers (fig.98).

3°. Aménagement d'un fossé pour la conservation de l'eau dans le sol (fig.99).

4°. Le fossé de rétention d'eau avec murs renforcés avec de l'argile joue comme réservoir pendant la saison pluvieuse et l'eau sera utilisée pour l'arrosage des champs pendant la saison sèche (fig.100)

4.3. Efficience de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture irriguée

L'agriculture sans apport d'eau autre que celui des précipitations, dite agriculture " sous pluie ", est très contraignante, car le plus souvent la répartition des précipitations, dans l'espace et dans le temps, n'est guère avantageuse. Pour pallier à ces inconvénients, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été d'humidifier artificiellement le sol, à l'aide de procédés divers : c'est ce que l'on appelle l'**irrigation**. L'irrigation fournit ainsi aux sols l'eau dont les cultures ont besoin.

En agriculture irriguée, l'eau utilisée par les cultures est partiellement ou totalement fournie par l'homme. L'eau d'irrigation est prélevée sur un point d'eau (rivière, lac, nappe aquifère, stock

d'eaux collectées...) et conduite jusqu'au champ grâce à une infrastructure de transport appropriée.

L'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages. Il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, d'améliorer les rendements et d'une façon générale d'intensifier et de stabiliser la production en se libérant des variations climatiques. Enfin, les techniques modernes d'irrigation permettent aussi dans le même temps de fertiliser les sols.

L'efficience physique de l'eau d'irrigation est donc la combinaison de : (i) l'efficience des réseaux de transport et de distribution de l'eau d'irrigation en amont des parcelles agricoles par (ii) l'efficience de l'irrigation à la parcelle.

Les critères d'évaluation des meilleures technologies en irrigation sont basés sur la qualité des ouvrages hydrauliques la proportion de canaux bien construits, le contrôle et la régulation de débit, l'entretien des ouvrages, les réserves d'eau, les autres équipements... Les figures ci-dessous montrent les ouvrages bien entretenus du périmètre de Rukaramu et ceux mal entretenus de celui de Rukoziri.

Les deux cas ci-dessus (fig.101 à 104), sont de bons exemples pour illustrer la différence de qualité des installations d'irrigation rencontrées au Burundi.

Les pertes par conduction E_c indique le pourcentage d'eau perdu le long de la conduite du transport d'eau de la source d'eau jusqu'à l'entrée de la parcelle.

L'efficience de l'irrigation à la parcelle E_a est définie par le rapport des volumes d'eau effectivement utilisés par les plantes aux volumes délivrés par le réseau d'irrigation (Mermoud et al., 2007). C'est la relation qui existe entre le volume ou la lame d'eau emmagasinée dans le profil du sol qu`explorent les racines des plantes et le volume d'eau appliqué à la parcelle. L'efficience est d'autant plus faible que les sols sont perméables, avec des valeurs indicatives se situant généralement entre 40% sols sableux, 60 à 70% sols argileux (Keller et Meculloch, 1962 in Agustin Merea, 1965).



Figure 101 : Vue générale de barrage de diversion sur la rivière Mpanda (zone Rukaramu)
(source : FAO)



Figure 102 : Vue en amont du barrage d'irrigation sur la rivière Muyogo (zone Rukoziri à Makamba)
(source : FAO)



Figure 103 : Vue du canal principal (zone irriguée de Rukaramu)
(source : FAO)



Figure 104 : Canal principal dans le périmètre de Rukoziri (non-revêtement et pauvrement entretenu)
(source : FAO)

4.4. Techniques d'irrigation

4.4.1. Irrigation à petite échelle

L'unité de gestion de l'irrigation à petite échelle est généralement une parcelle d'une superficie inférieure à 0,5 hectare. Les systèmes de l'irrigation à petite échelle peuvent être gérés soit par un exploitant agricole individuel soit par des groupes, des communautés. Le principe directeur d'une gestion durable de l'irrigation à petite échelle est l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Cela peut être réalisé à travers davantage d'efficacité dans : (i) la collecte et la dérivation; (ii) le stockage; (iii) la distribution et (iv) l'application de l'eau dans les champs. Les sources d'eau pour l'irrigation peuvent être des rivières, des lacs, des eaux souterraines ou de l'eau recueillie à travers des systèmes de collecte des eaux de pluie.

Principes

- (i) La gestion durable de l'irrigation à petite échelle nécessite de mettre l'accent sur le stockage, la dérivation et la distribution efficaces de l'eau dans les champs.
- (ii) Dans un système de l'irrigation à petite échelle, l'eau est utilisée efficacement en appliquant des quantités appropriées à des moments stratégiques, principalement en fournissant de l'eau d'irrigation d'appoint à des stades de croissance particuliers.

Méthode d'irrigation déficitaire. Dans la « *méthode d'irrigation déficitaire* », les récoltes sont exposées à différents niveaux de stress hydrique conduisant à une augmentation du développement racinaire ; d'importantes économies d'eau peuvent ainsi être réalisées avec dans le même temps des rendements maximum atteints.

Une utilisation plus efficace de l'eau peut accroître remarquablement les bénéfices de production. Toutefois, des pratiques supplémentaires, comprenant la gestion de la fertilité des sols, l'introduction de cultures à valeur élevée (pomme de terre, légumes...) (fig.105) et le contrôle approprié des ravageurs et des maladies sont nécessaires pour une augmentation substantielle de la production. Il existe des possibilités d'améliorer la gestion de l'irrigation en rendant plus efficace l'utilisation de l'eau, en particulier pour l'agriculture à petite échelle.

a. Arrosage. L'arrosage est l'exemple le plus simple de l'irrigation par aspersion, mais est seulement pratique lorsque l'approvisionnement en eau est très près du jardin, en réservoirs, puits, rivières ou canaux. Cependant, la méthode exige un travail intense et ne convient que pour de petites parcelles (fig.106). L'agriculteur imite la pluie en arrosant son champ.



Figure 105 : Orientation de l'eau dans un champ
(source : <http://www.fao.org/docrep>)



Figure 106 : Arrosage des oignons
(source : book.openedition.org)

b. Systèmes localisés. Les systèmes d'irrigation localisés ou irrigation au goutte-à-goutte sont parmi ceux qui provoquent une humidification partielle seulement du sol, localisée à la base ou autour du système radiculaire du plant. Ils se caractérisent par un apport lent et à petites doses d'eau à la zone radiculaire du plant par des tuyaux de distribution ou des orifices ou ajutages placés soit à la surface du sol soit au-dessus.

On peut aussi utiliser des méthodes simples : des bouteilles, dont le fond est découpé, sont retournées et enfoncées dans le sol par leur goulot. L'eau versée dans les bouteilles au moyen d'un arrosoir diffuse dans le sol à proximité des racines (fig.107).

Certains systèmes sont assez coûteux. Il est possible d'envisager des installations simplifiées, par exemple en utilisant du matériel disponible dans les commerces de jardinage : tuyaux souples en plastic, raccords en PVC, ...

Les éléments essentiels qui les composent sont une source d'eau sous pression, un dispositif de régulation, une conduite principale avec des branchements latéraux et des distributeurs. La figure 108 montre un système d'irrigation au goutte-à-goutte en utilisant un tuyau flexible avec des trous espacés régulièrement.



*Figure 107 : Système d'irrigation avec bouteille, à fond découpé, retournée et enfoncée dans le sol
(source: jardin. Fr)*



*Figure 108 : Système d'irrigation au goutte-à-goutte
(Source: sciences 2d.wordpress.com)*

4.4.2. Irrigation à grande échelle

Nous distinguons trois types d'irrigation à grande échelle : irrigation par submersion, irrigation par sillons, et irrigation par aspersion. Nous décrirons leur mise en place, les sols convenables et les plantes qu'on peut y développer.

4.4.2.1. Irrigation par submersion

Il s'agit d'un système dans lequel le champ ou le compartiment est divisé en petites sections de surface horizontale appelées **bassins ou casiers**. L'efficacité de l'irrigation par submersion dépend beaucoup de la façon dont sont réalisés les bassins ou casiers avec une attention particulière à la confection des diguettes et sur le planage (un vrai travail de topographe).

Planage. La mise à niveau consiste à aplatiser et faire horizontale la surface du bassin de sorte que la lame de l'eau d'irrigation est la même profondeur dans tout le bassin. Dans la pratique, la mise à niveau est effectuée en deux (2) étapes: (i) la détermination du niveau des terres ou le piquetage; (ii) le nivellation proprement dit. Sur de petites parcelles le nivellation se fait à l'aide d'un râteau ou un grattoir à commande manuelle. Les autres instruments sont le nivellation triangle, tube de niveau de l'eau ou les géomètres utilisent théodolite.

Entretien du planage. Les causes de la dégradation des planages peuvent être dues soit aux mouvements intempestifs de l'eau (ce danger peut être évité en couvrant le sol à l'endroit du jet, par exemple en utilisant des tôles ou quelques pierres) ; soit aux pratiques d'entretien qu'il faut conduire avec toute la prudence voulue.



Figure 109 : Crédit des bassins d'irrigation
(source : FAO)

Un bon planage n'est jamais obtenu au premier coup, il faut lâcher l'eau d'abord et observer comment il se répartit pour remblayer ensuite avec la terre prélevée dans les parties hautes. Les passages multiples en tous sens du racloir permettent d'ajuster progressivement la surface. Le piquetage se fait en plaçant d'abord un piquet repère à partir duquel le niveau sera établi. Les autres piquets sont alors enfouis à niveau, soit au dessus de la surface ou en dessous du sol, suivant le modèle du terrain. Tous les sommets se trouvant dans un plan horizontal, le planage peut se faire en prenant le plan établi comme référence (fig.109).



Figure 110 : Bassins d'irrigation remplis d'eau
(source : docplayer.fr)

Submersion des bassins. Les bassins sont inondés à un régime strict. Pour commencer, toutes les entrées sont fermées, sauf celle du dernier bassin. Lorsque celui-ci est inondé, l'entrée du bassin précédent est ouverte alors que l'écoulement vers le bassin dernier est coupé. Tous les bassins sont inondés à leur tour en changeant la position des prises de terre (fig.110). Les sols à faible perméabilité comme les sols argileux notamment les vertisols conviennent à ce type d'irrigation.

Les sols argileux sont les plus favorables aux rizières du fait de leur quasi-imperméabilité qui limite les pertes par percolation en profondeur. Le riz est aussi cultivé sur des sols sableux, mais alors la dose d'irrigation doit être forte pour compenser les pertes par percolation. Ces cas sont généralement rencontrés dans les bas-fonds. La méthode des bassins pourrait être utilisée pour l'irrigation de toutes sortes de cultures autres que le riz sur sols argileux, mais les sols limoneux sont préférables. En effet, pour les sols limoneux, les problèmes d'engorgement d'eau (saturation permanente du sol) sont inexistants.

Encadré 4.2 : Principales difficultés et avantage de l'irrigation en bassins

- **Le planage** est une lourde tâche; il coûte souvent beaucoup en termes de travail ou d'équipement mécanique.
- **Les taux de décharge** instantanés élevés doivent être planifiés et donc des canaux doivent être capables de transporter toute cette eau. Les réservoirs doivent être construits ou la superficie irriguée équipée de pompes à moteur. Celles-ci passent souvent par intermittence; elles sont utilisées intensivement à des moments d'irrigation, mais à d'autres moments elles peuvent se trouver ralenti.
- **La superficie des terres prises par les diguettes est souvent considérable.**
- **Les mouvements des personnes, des animaux et des machines** sont souvent difficiles et causent des problèmes au cours de la saison des semaines et au moment de la récolte. Les passages doivent être vérifiés pour assurer que les cours d'eau non désirés ne soient pas formés.
- **Le drainage** tend à être difficile, surtout lorsque le sol ou l'eau d'irrigation est une solution saline et les sols lourds dans le bassin.
- Les plans d'eau attirent les moustiques, la bilharziose, et autres parasites. Travailler dans l'eau ou dans les bassins de boue peut causer **des problèmes de santé**.
- Avec des parcelles plus grandes utilisées par de nombreux agriculteurs, des problèmes peuvent survenir avec des **horaires d'irrigation**.
- L'irrigation par submersion ne convient que pour les **espèces végétales qui peuvent tolérer l'inondation temporaire ou permanente**. Pour les autres espèces, l'irrigation de sillon est souvent préférable.
- Il peut y avoir une forte évaporation de la nappe d'eau d'irrigation; en particulier lorsque la couverture végétale dans le bassin est encore insuffisante et l'eau est directement exposée aux rayons solaires.
- Elle permet à l'eau de pénétrer par infiltration à la profondeur utile permettant ainsi au sol de mettre en réserve l'eau indispensable au développement des cultures qui y seront ensuite pratiquées

4.4.2.2. Irrigation par sillons

Des sillons sont tracés à partir du canal principal d'alimentation en lignes parallèles régulièrement espacées pour permettre l'humidification de la zone d'enracinement. Un canal de la ferme permet à l'eau d'entrer dans les sillons à une extrémité. Ceux-ci sont disposés à peu près perpendiculairement à la pente du terrain. Parfois, un léger gradient permet d'accélérer l'écoulement de l'eau dans les sillons.

Si le sol est poreux et à drainage libre, les sillons doivent être courts. Dans le cas contraire, l'eau infiltre rapidement à proximité de son entrée et pas assez à la fin. Les sillons peuvent être plus longs lorsque le sol est lourd, argileux.

L'efficacité des sillons dépend beaucoup de la manière dont le sol absorbe l'humidité et dont les plantes parviennent à exploiter celle-ci. Dans les sols sableux, l'eau s'infiltre vers le bas mais il y a peu de remontée capillaire dans les billons. Lorsque le sol est argileux, l'eau remonte par capillarité.

En règle générale, le fond des sillons est horizontal, même si une légère pente peut être nécessaire pour favoriser le mouvement de l'eau lors de l'irrigation (fig.111). Une pente est essentielle surtout lorsque le sol est très poreux et la décharge basse. Sinon, l'eau qui coule dans le sillon pourrait s'infiltrer à proximité de son entrée et ne pas atteindre l'extrémité du sillon.



Figure 111 : Vue générale des sillons
(source : fr.dreamstime.org)

Mise en eau des sillons. Plusieurs façons à utiliser :



Figure 112 : Alimentation par tuyau



Figure 113 : Système d'irrigation par sillons utilisant des tubes en siphon

La méthode d'irrigation par sillons peut être adoptée pour l'irrigation des cultures sur la plupart des sols. Cependant, cette technique, comme pour toutes les autres techniques d'irrigation de surface, n'est pas à utiliser sur des sols sableux où les pertes par percolation sont importantes. L'irrigation par sillons est particulièrement recommandée pour les sols à encroûtement rapide. En effet, l'eau

La hauteur des billons est influencée par plusieurs facteurs:

- les besoins des cultures: la plante ne préfère un sol bien drainé ou elle résiste à la saturation en eau?
- Les caractéristiques du sol: la terre forme les billons facilement ou difficilement? Est-il un sol poreux ou non? Y a-t-il un danger que les crêtes s'effondrent lors de l'irrigation?
- Le but de buttage: est-ce simplement une question d'humidifier le sol ou doit-il être lessivé?
- La profondeur de l'eau dans les sillons: à aucun moment les crêtes doivent être tout dominées.
- La disponibilité rare.

étant distribuée dans les sillons, les risques de formation de croûtes par dessèchement de la zone des plantations (billons) sont réduits et le sol reste ainsi friable.

Les cultures recommandées pour l'irrigation par sillons sont: les cultures en lignes, telles que le maïs, le tournesol, la canne à sucre et le soja; les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux comme les tomates, les pommes de terre et les haricots; les arbres fruitiers tels que les agrumes, les cultures semées à la volée (méthode par microsillons) telles que le blé.

Encadré 4.3 : Inconvénients et avantages de l'irrigation par sillons

L'irrigation par sillons est un **travail intense**, en particulier sur un terrain en pente. Les sillons et les bouches doivent être continuellement remodelés et la tâche est plus difficile dans les sols lourds et argileux.

Le réseau de distribution de l'eau est complexe : cette méthode exige une main-d'œuvre relativement importante et beaucoup de compétence et d'expérience pour diriger l'eau des canaux d'alimentation dans les sillons et en réguler le débit. Lorsque le sol n'est pas homogène, il peut se produire au bout d'un certain temps des différences de niveau de sillons et une inégalité de distribution de l'eau. Il est important d'assurer un entretien régulier des sillons.

Mais il présente des avantages liés à l'économie d'eaux et aux bilans hydriques. Si on n'est pas certain de confectionner les bassins, vaut mieux faire des billons et des sillons qui sont plus faciles à corriger. L'eau coule dans des fossés, rigoles ou raies et pénètre par *infiltration latérale* jusqu'aux racines des plantes.

En plus pour une densité de plantation égale, le volume d'eau est souvent moindre dans le présent système. On peut semer les tubercules et les céréales sur les billons et les légumes dans les sillons.

4.4.2.3. Irrigation par aspersion



Figure 114 : Arrosage par aspersion
(source : martineau-irrigation.fr)

Les asperseurs offrent une autre façon d'imiter les précipitations (fig.114). Un arroseur est une pièce d'équipement qui, en tournant sur un axe, disperse l'eau en gouttelettes à une certaine distance. Il y a certains types de gicleurs puissants, mais il y a d'autres modèles plus simples fonctionnant avec moins de pression. En tout cas, l'équipement se compose toujours d'un jet qui propulse l'eau à une certaine distance et une buse pour la diffusion du flux de l'eau de sorte que celle-ci soit uniformément appliquée sur un cercle à irriguer. L'efficience des asperseurs dépend de la qualité de son oscillation et le système de dispersion.

La technique d'irrigation par aspersion est la meilleure pour les sols sableux à taux d'infiltration assez fort, sans pour autant ignorer qu'elle s'adapte parfaitement à la plupart des types de sol. La pluviométrie moyenne des asperseurs (en mm/h) doit être inférieure au taux d'infiltration permanent du sol, pour éviter le ruissellement des eaux en surface.

Encadré 4.4 : Inconvénients et avantages de l'irrigation par aspersion

- La pression de l'eau entrant dans les arroseurs doit être uniforme, sinon les cercles irrigués varient en taille. La pression est variable d'une extrémité à l'autre de l'installation, un régulateur peut être installé à l'entrée de chaque colonne montante.
- Le matériel d'irrigation par aspersion est **toujours coûteux**, parce les gicleurs, pompes, tuyauterie étanche à l'eau et divers accessoires doivent être achetés.
- Le matériel doit être positionné avec précision **et être entretenu très régulièrement**. Les fuites dans les installations doivent être traquées systématiquement parce qu'elles provoquent des chutes de pression qui provoquent le gaspillage élevé d'eau ou une irrigation insuffisante.
- **Les travailleurs** doivent être bien formés et se concentrer sur ce qu'ils font en tout temps lors du positionnement de l'équipement et l'arrosage.
- **Les coûts d'entretien** sont élevés parce que les pièces soumises à la pression et le mouvement doivent être renouvelées, par exemple, des gicleurs, des oscillateurs et des joints de tuyauterie.
- L'arrosage est **grandement affecté par le vent**. La superficie des surfaces irriguées varie avec la direction et force du vent.
- En outre, les pertes d'eau par **évaporation** sont élevées.
- **Avantages de l'irrigation par aspersion** : Elle ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface à irriguer. Elle peut être employée quelle que soit la nature du sol arrosé. Elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie. Elle réalise une importante économie d'eau en comparaison avec les autres systèmes d'irrigation. Elle permet un dosage précis et régulier des quantités d'eau distribuées. Elle met à la disposition des exploitants des conditions d'arrosage très souples.

Cette technique est à écarter pour l'irrigation des cultures sur des sols à encroûtement rapide. Au cas où on ne peut pas recourir à d'autres techniques d'irrigation, les asperseurs doivent être choisis de sorte que la distribution de l'eau soit en pluie fine. On doit éviter l'emploi des asperseurs à fortes pressions délivrant une forte pluie (grosses gouttes).

L'irrigation par aspersion convient aux cultures en lignes, de plein champ et à l'arboriculture. La distribution de l'eau peut se faire sur ou sous frondaison. Cependant, les asperseurs géants sont à éviter dans le cas des cultures délicates telles que la salade, car les grosses gouttes d'eau risquent de provoquer le dépérissement des plantes.

4.5. Techniques de drainage

4.5.1. Principes d'assainissement des marais inondés

Les marais peuvent connaître des excès d'humidité et nécessitent des assainissements et du drainage. Les causes sont de 3 ordres :

a. Apports externes d'eau :

- (i) en provenance des eaux de ruissellement → il faut un collecteur de ceinture en amont du marais.
- (ii) en provenance d'un cours d'eau causant une alimentation excessive de la nappe → il faut un contre-canal.

(iii) en provenance d'un cours causant un débordement occasionnel → il faut un ouvrage de maîtrise des crues.

b. Présence prolongée d'une nappe peu profonde → il faut un drainage par tuyaux enterrés, par fossés ou par puits.

c. Stagnation temporaire des eaux de précipitation:

(i) défaut d'infiltrabilité → il faut améliorer la perméabilité de la couche superficielle du sol (drainage de surface).

(ii) défaut de drainage interne et s'il y a présence d'une semelle de labour → sous-solage.

(iii) défaut de drainage interne et si le sol est peu perméable ou si la nappe perchée est peu profonde → drainage de surface et/ou drainage souterrain.

4.5.2. Principales méthodes de drainage

a. Drainage de surface. Il est pratiqué dans les zones plates, à très faible pente ou à surface irrégulière, mais présentant des défauts d'infiltrabilité ou de drainage interne. Le but est de réduire les risques de submersion prolongée du sol sans provoquer l'érosion, par aplatissement pour éliminer les irrégularités du sol comme les dépressions locales ou nivellation.

b. Drainage de subsurface ou souterrain :

(i) par fossés à ciel ouvert. Envisageable dans des cas de : drainage de surface et souterrain simultanés, risque élevé de colmatage chimique, et sur les sols tourbeux.

Inconvénients : perte de surface cultivable, difficulté d'accès, entretien onéreux, maladies dues à la stagnation d'eau.

(ii) par drains enterrés.

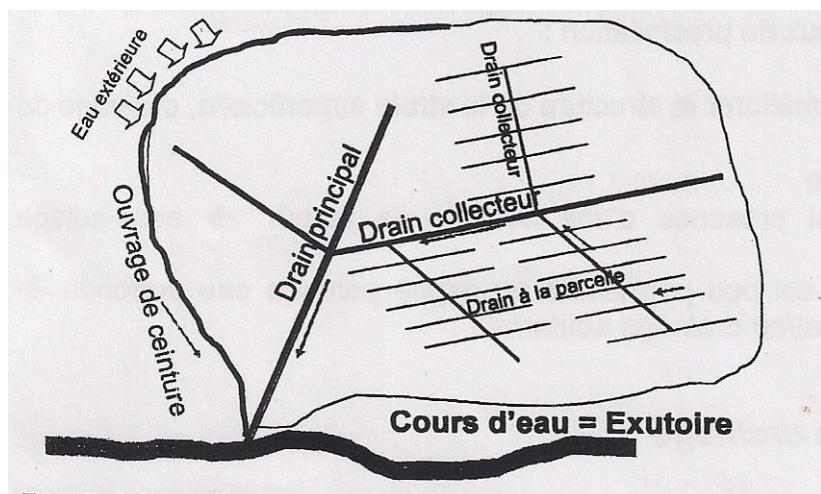


Figure 115 : Schéma d'un réseau de drainage

Quelques soit la méthode, un réseau de drainage comprend : le drainage à la parcelle, le système de collecte et d'acheminement et l'ouvrage de restitution à un exutoire (fig.115).

4.5.3. Dimensionnement d'un réseau de drainage

Il faut réaliser les activités suivantes : (i) relevé topographique, (ii) détermination des caractéristiques du sol, (iii) détermination de la profondeur optimale de la nappe et choix de la profondeur des drains, (iv) calcul des débits à drainer et détermination de la dimension des drains, (v) détermination de l'écartement des drains.

Les normes suivantes ont été proposées pour la profondeur du drainage (en m) dans le tableau 10

Tableau 10 : Normes sur la profondeur de drainage

Texture/structure du sol	Sol sous culture	Prairie
Argileuse compacte	0,7- 1,2	0,5 – 0,8
Argilo-limono-sableuse non massive	0,6 – 1,0	0,4 – 0,6
Sableuse	0,6 – 0,8	0,3 – 0,5
Tourbe	0,6 – 0,8	0,3 – 0,4

Source : Amélioration foncière. Cours de 2^{ème} ingénieur. Faculté d'Agronomie

Détermination de l'écartement entre les drains. Les écartements courants entre les drains sont :

Sols lourds ou compacts	10 - 15 m
Sols fins	15 - 20 m
Sols silto-sableux	15 - 25 m
Sols sableux	20 - 30 m

Réseaux de drains enterrés. Le drainage par tuyaux enterrés est sur le plan hydraulique identique au drainage par fossés ouverts mais sans ruissellement apparent. Il est constitué de tuyaux de petit diamètre (0,05 – 0,08m) pour le drainage des parcelles qui déversent les eaux dans des tuyaux de diamètre plus important appelé **collecteurs**. Les tuyaux peuvent être en simple lit de pierres ou en matière plastique type PVC. L'eau pénètre dans le tuyau soit au niveau des joints, soit par des perforations. Des filtres enrobant les drains peuvent être utilisés pour empêcher aux éléments fins de pénétrer dans les drains, ce qui causerait leur **colmatage**.

Dimensionnement. Soit S la surface drainée par un drain : $S = L$ (longueur)* E (écartement). Le débit dans le drain est : $Q = qc * S = qc * L * E$. Un drain a une longueur maximale Lm, car, sous une pente donnée i et pour un diamètre donné, il est capable d'évacuer un débit maximal Qm, ce qui donne cette relation :

$Qm = qc * Lm * E \rightarrow Lm = Qm / (qc * E)$. Comme Qm est donné dans les tables en fonction du diamètre du drain et de la pente, on calcule Lm connaissant qc et E. (qc : débit spécifique correspondant à l'eau de pluie à évacuer pour maintenir la nappe à une hc : charge hydraulique entre le toit de la nappe et le fonds des drains).

Pente et vitesse de l'eau dans les drains. Il faut une pente minimale pour favoriser l'écoulement et éviter les dépôts des matières solides qui risqueraient de colmater le drain.

Minimun absolu : 0,03m/100m

Maximum : 0,10m /100m

La vitesse de l'eau dans le drain est en réalité variable en fonction du débit, lui-même fonction du rythme de la pluie et de l'Evapo-Transpo-Respiration (ETR).

Vitesse minimum pour éviter les dépôts : > 0,20 m/s

Vitesse maximum pour éviter l'érosion : <1 à 1,5m/s

4.6. Lutte contre la salinité des sols arables

Trois grands groupes de sols affectés par les sels sont distingués : les sols salins, des sols sodiques et sols salso-sodiques.

Salinité: $C.E \geq 4 \text{ dS/m}$ (concentration élevée de sels dissous), Na^+ échangeable $\leq 15 \%$ $\text{pH} \leq 8,5$

Sodicité: $C.E \leq 4 \text{ dS/m}$ (sels dissous), Na^+ échangeable $\geq 15 \%$, $\text{pH} \geq 8,5$

Salso-sodicité: $C.E \geq 4 \text{ dS/m}$ (sels dissous), Na^+ échangeable $\geq 15 \%$, $\text{pH} \leq 8,5$

Le contrôle de la salinité du sol arable est un des aspects importants de l'intensification agricole par l'irrigation. Les différents aspects de ce contrôle sont les suivants : (i) trouver un équilibre entre les apports d'eau douce et l'évapo-transpiration, (ii) éviter tout ce qui encourage inutilement l'évaporation, (iii) maîtriser le lessivage de la couche arable en contrôlant le drainage, (iv) adapter, sélectionner et doser avec précision les apports d'engrais chimiques.

Plusieurs voies sont offertes pour la lutte contre la salinité des terres arables :

- (i) le lessivage artificiel de la couche arable consiste à faire percoler une masse d'eau douce à travers la couche arable. L'eau de lessivage est reprise par un système de drainage ;
- (ii) le contrôle de la qualité des eaux d'irrigation ;
- (iii) adaptation des pratiques agricoles et, en particulier, la mise en œuvre de pratiques visant à interrompre la remontée capillaire et l'évaporation à la surface du sol ;
- (iv) L'amélioration du milieu environnant en vue de diminuer l'importance des facteurs favorisant l'évaporation.

a. Le lessivage artificiel exige un bon système de drainage. Une lame d'eau douce est répandue sur la parcelle à lessiver à partir du canal d'amenée. Cette eau traverse la couche arable, y dissout une quantité de sels et s'écoule dans le drain (colature) situé en contrebas. L'eau du drain est évacuée. Le lessivage artificiel se fait souvent en **pré-irrigation**, c'est-à-dire que peu avant la mise en culture des parcelles, le temps qu'il faut pour abaisser suffisamment le niveau de salinité. Le lessivage peut cependant se poursuivre durant la culture.

Les conditions d'un bon lessivage artificiel sont les suivantes: un drainage efficace, une faible salinité de l'eau de lessivage, un temps de lessivage suffisant. En général, les sols filtrants peuvent être lessivés rapidement avec des quantités d'eau relativement faibles. Les sols argileux, lourds et peu perméables retiennent beaucoup de sels. Ils exigent des quantités d'eau et des temps de lessivage beaucoup plus longs.

De façon chimique, les aménagements suivent les schémas suivants :

1°. Réhabilitation des sols salins : (i) réhabilitation = lessivage avec une eau de bonne qualité ;
(ii) drainage = évacuation des eaux chargées en sels.

2°. Réhabilitation des sols salso-sodiques et sodiques ; réhabilitation en 2 étapes:

(i) application de l'eau d'irrigation contenant les ions Ca^{2+} pour faciliter l'échange et le déplacement du Na^+ des colloïdes du sol;
(ii) lessivage avec de l'eau de bonne qualité pour enlever les sels solubles en excès.

b. Contrôler la qualité des eaux d'irrigation. On peut se référer à la conductivité de l'eau présentée dans le tableau 11.

Tableau 11 : Normes de qualité de l'eau d'irrigation

Conductivité mmhos/cm	Salinité g/l	Appréciation
de 0 à 0,5	de 0 à 0,32	eau de bonne qualité
de 0,5 à 2,2	de 0,32 à 1,4	eau moyenne à médiocre
plus de 2,2	plus de 1,4	eau impropre à l'irrigation

Source : Amélioration foncière. Cours de 2^{ème} ingénieur. Faculté d'Agronomie

N.B. On n'utilise que de l'eau contenant moins de 0,5 g de sel. Au-delà, le risque est grand.

c. Eviter ou interrompre la remontée capillaire. Si la salinisation s'explique par la remontée capillaire, il faut éviter que le front d'infiltration n'atteigne la frange capillaire salée ou briser la remontée capillaire à proximité de la surface par binage ou par labours post-récolte qui sont réalisés en fin de saison culturelle avant que le sol ne se durcit.

d. L'amélioration du milieu environnant en vue de diminuer l'importance des facteurs favorisant l'évaporation par la mise en place des brise-vents.

4.7. Techniques de pompage de l'eau

Le pompage de l'eau peut se faire par : (i) les pompes spécifiques à double pédale; (ii) les pompes solaires ; (iii) les pompes à énergie éolienne et (iv) les pompes motorisées. Il sert à fournir de l'eau d'irrigation à partir d'une source d'eau, des cours d'eau ou des rivières ou la nappe phréatiques.

4.7.1. Les pompes à double pédale

Il s'agit de pompes hydrauliques très simples et peu coûteuses actionnées aux pieds (fig.116), utilisées à de faibles profondeurs (moins de 7 mètres) et le plus souvent pour l'irrigation de petites surfaces.

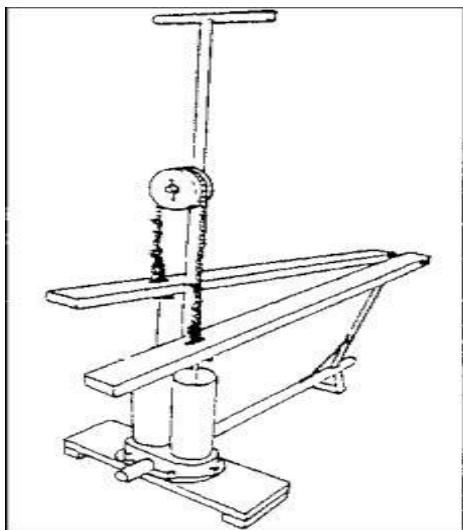


Figure 116 : Mode de fonctionnement d'une pompe à deux pédales

(source : <http://www.wikiwater.fr/e57>)

Mode de fonctionnement. Le corps de ces pompes est constitué de deux tuyaux d'environ 30 cm, posés sur une petite plateforme en bois ou métallique, dans lesquels coulissent deux pistons munis en bas de clapets.

Ces tuyaux sont reliés en bas à un tube plongeant dans la nappe phréatique et en haut à l'orifice ou au tuyau de refoulement.

Les 2 pistons sont reliés par une corde passant par une poulie fixée sur le bâti de la pompe. Ils sont mis en mouvement alternatif par des tringles actionnées par les pédales (en bambou, en bois ou en métal) elles-mêmes mises en mouvement alternativement par les pieds d'une personne.

Lorsque qu'on appuie sur les pédales, les pistons descendent, les clapets s'ouvrent et l'eau s'engouffre. Lorsque les pistons remontent, les clapets se ferment et l'eau est refoulée.

Encadré 4.5 : Principaux avantages et inconvénients des pompes à double pédale

a. Avantages:

- Prix peu élevé, l'un des plus faibles de toutes les pompes à eau, accessible pour de petits agriculteurs, y compris les pauvres (possibilités de micro crédit si nécessaire) ;
- Débit relativement important : environ 4,5 m³/heure ;
- Rentabilisation rapide de l'investissement, permettant une augmentation sensible de la production et partant des revenus. Certains modèles de pompes ont d'ailleurs le nom de « *Moneymakers* » ;
- Facilité de fonctionnement et de maintenance ;
- Système écologique évitant la formation de gaz à effet de serre comme pour les pompes diesel.

b. Inconvénients:

- Dépense d'énergie humaine non négligeable ;
- Impossibilité, sauf rares modèles plus coûteux, de puiser l'eau à plus de 7 m ou dans des roches dures ;
- Longévité moyenne ;
- Destinées à l'irrigation et très peu utilisables pour l'alimentation en eau ;
- Inutilisables dans des forages.

4.7.2. Les pompes solaires

Ce sont des pompes (fig.117) de l'eau fonctionnant grâce à l'énergie solaire. Les cellules photovoltaïques (fig.118) permettent de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette technologie ne nécessite que de faibles coûts de maintenance (généralement limités au nettoyage de

la pompe) et n'a besoin d'aucun apport en combustible extérieur (pétrole, électricité). La durée de vie du système photovoltaïque est aussi relativement longue (20 ans).

Fonctionnement d'une pompe solaire. Les pompes à eau solaires sont des pompes fonctionnant grâce à un moteur électrique dont l'énergie provient de cellules photovoltaïques disposées sur des panneaux solaires et captant l'énergie lumineuse du soleil.

Ces pompes sont souvent reliées directement à un réservoir alimentant un mini réseau d'eau ou des bornes fontaines. Il s'agit en général de pompes centrifuges refoulantes ou aspirantes-refoulantes. Cette technologie est particulièrement adaptée aux milieux ruraux où l'ensoleillement est abondant (plus de 5 heures d'ensoleillement maximal).

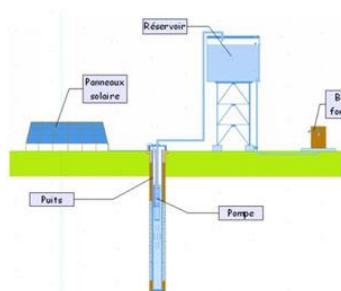


Figure 117 : Vue d'une pompe solaire
(source : <http://www.wikiwater.fr/e57>)

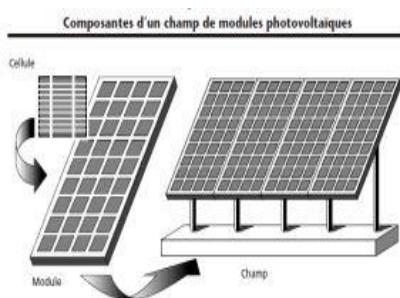


Figure 118 : Installations des plaques solaires
(source : <http://www.wikiwater.fr/e57>)



Il est possible d'adapter la tension et/ou le courant produit par un système photovoltaïque en effectuant des branchements en série et/ou en parallèle entre des cellules photovoltaïques pour former ce que l'on appelle des modules photovoltaïques, appelés plus communément panneaux solaires.

Encadré 4.6: Principaux avantages et inconvénients des pompes solaires

a. Avantages:

- Ces pompes fonctionnent grâce à une énergie renouvelable propre, abondante et gratuite.
- Les frais d'entretien des panneaux solaires, d'une durée de vie d'au moins vingt ans, sont quasi nuls.

b. Inconvénients:

- Le coût de l'investissement est élevé (mais il aura probablement tendance à diminuer dans l'avenir). L'installation nécessite des études préalables précises et des spécialistes, lesquels sont encore peu nombreux.
- Enfin, le rendement de ces pompes varie en fonction de l'importance de l'ensoleillement, de l'angle d'exposition des panneaux et de la température. Les risques de vol sont importants.

4.7.3. Les pompes à énergie éolienne

Ce sont des pompes qui utilisent l'énergie du vent pour pomper de l'eau, aussi bien en petite qu'en grande quantité et s'en servir le plus souvent pour irriguer des cultures et/ou abreuver du bétail. Ces pompes, qui fonctionnent certes de façon moins fiable que les pompes motorisées au diesel ou à électricité, permettent cependant de pomper, grâce à une énergie gratuite et avec très peu de frais de maintenance de grands volumes d'eau (entre 5 et 25 m³ par jour pour la plupart des modèles,

mais jusqu'à 100 m³/jour, leur débit dépendant essentiellement de la taille de l'éolienne, de la profondeur du forage et des caractéristiques locales du vent).

Les pompes éoliennes peuvent fonctionner à partir d'un vent soufflant à 10 km/h mais elles ne fonctionnent vraiment de façon satisfaisante qu'à partir d'une vitesse de 15 à 20 km/h et il est dangereux de les utiliser lorsque le vent souffle à plus de 40 km/h. La densité de l'air influence légèrement ces valeurs, qui doivent être revues à la hausse quand la densité de l'air baisse, donc quand l'altitude augmente significativement (de l'ordre de 1000 mètres).

Les éoliennes de pompage transforment l'énergie cinétique du vent en une énergie mécanique. Elles comprennent une roue à pales ou hélices (fig.119), montée sur un arbre et orientée dans le sens du vent par un gouvernail, une structure haute avec une tringle de transmission vers le forage, une pompe, le plus souvent immergée et un point de refoulement.

L'hélice devra donc comporter un assez grand nombre de pales. Celui-ci varie le plus souvent entre 15 et 18. La courbure et le nombre de pales assurent à l'éolienne un démarrage plus ou moins facile par vent assez faible et conditionnent pour une large part son rendement.



Figure 119 : Système de pompes à piston
(source : <http://www.wikiwater.fr/e57>)

C'est l'un des types de pompe les plus utilisés. La roue de l'éolienne sur laquelle sont fixées des pales tourne sous l'action du vent. Cette roue est fixée sur un arbre dont le mouvement de rotation est transformé en mouvement vertical alternatif par l'intermédiaire d'un plateau manivelle ou d'une bielle. Le va-et-vient ainsi créé entraîne en contrebas par l'intermédiaire d'une tringle d'acier un piston de la pompe à eau généralement immergée dans le forage. Le couple de fonctionnement nécessaire étant très élevé, il faut pouvoir utiliser le moindre souffle de vent.

Encadré 4.7 : Principaux avantages et inconvénients des pompes éoliennes

a. Avantages:

- Les éoliennes de pompage sont relativement résistantes et peuvent fonctionner pendant plusieurs dizaines d'années. Si elles sont correctement entretenues, elles sont économiques et respectueuses de l'environnement.
- Il est possible (dans le cas de petites ou de moyennes éoliennes) de les construire et de les installer soi-même.

b. Inconvénients:

- Elles sont encombrantes, peu esthétiques et peuvent être bruyantes. Les éoliennes de pompage doivent être placées près de la source de l'eau et sur un terrain comportant peu d'obstacles susceptibles de freiner le vent. Leur prix peut être important (mais leur maintenance est peu coûteuse).
- Elles ne fonctionnent que s'il y a assez de vent et il est déconseillé de les utiliser si le forage a plus de 30 m de profondeur.

La puissance d'une éolienne doit être bien adaptée à la nature et au débit attendu du forage. Si celui-ci est par exemple assez profond, il ne servirait à rien d'installer une éolienne de petite ou très moyenne gamme car elle fonctionnerait assez mal et ne le ferait bien que par grand vent tout en risquant alors de se casser.

4.7.4. Pompes motorisées

Les pompes motorisées permettent de pomper de l'eau à un débit choisi, plus ou moins grand, en continu ou non. Ces pompes fonctionnant grâce à de l'essence, du diesel ou de l'électricité, il est préférable que ces ressources soient disponibles facilement et rapidement pour ne pas avoir de problèmes de pannes de carburant. Elles sont plus coûteuses et affectent l'environnement donc ne sont pas recommandables en milieu rural burundais.

En conclusion, en matière d'irrigation, les techniques de base utilisées (arrosage à la main avec de petits récipients, joints ou tuyaux d'irrigation ; fossés de terre à haute absorption sur un cours d'eau existante...) ont une faible efficacité mécanique, mais elles assurent une utilisation plus économique de l'eau. L'utilisation de pompes qui est une nouvelle technique permet d'améliorer considérablement l'efficacité mécanique. Les technologies les plus avancées, notamment l'irrigation par submersion, par des sillons ou par aspersion sont plus rentables, mais leur efficacité dans l'économie d'eau est faible.

Encadré 4.8 : Synthèses sur les bonnes pratiques à adopter pour l'agriculture irriguée

1°. Augmentation de l'efficience de l'utilisation de l'eau : lors de l'acheminement, de la distribution et de l'application sur le champ. L'acheminement et la distribution peuvent être améliorés par un bon entretien, des canaux revêtus et des tuyaux - et avant tout- en évitant les fuites. Sur les champs, les pertes par évaporation diminuent en utilisant un arrosage à basse pression, la nuit et tôt le matin ainsi qu'en évitant les périodes de vent.

2°. Distribution d'une quantité limitée d'eau sur une plus grande surface, en ne satisfaisant pas les exigences de la culture, c-à-d. **une irrigation déficiente**. Ce système permet nettement d'augmenter les rendements et l'efficience, comparé à une irrigation complète sur une surface plus petite (Oweis and Hachum, 2001).

3°. Irrigation de supplémentation en complément de la pluie lors des périodes déficitaires, en période de stress hydrique de la croissance des plantes. C'est une stratégie clé, sous-utilisée, permettant de débloquer le potentiel des cultures pluviales et de la productivité / efficience de l'eau.

4°. Récupération de l'eau et son stockage amélioré en période de surplus, pour irriguer (en supplémentation) en période de stress hydrique.

5. La gestion intégrée de l'irrigation est un concept plus large, dépassant les aspects techniques, qui intègre toutes les dimensions de la durabilité. Elle comprend la gestion coordonnée de l'eau, l'assurance d'un accès équitable à l'eau et aux services de l'eau, sans compromettre la durabilité des écosystèmes (Studer, 2009).

6. Correction des sols salins de la plaine de l'Imbo par le lessivage artificiel combiné aux méthodes chimiques incluant l'usage de la matière organique et la qualité de l'eau.

Le drainage et l'irrigation sont deux aspects de l'activité agricole. L'homme fait appel conjointement et successivement à ces techniques. S'il faut drainer à un certain moment, il faut irriguer à un autre et inversément. « **Chaque goutte d'eau compte** ».

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

- Anschütz J., et al. Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol. Série Agrodok. Wageningen. Pays-Bas. 2004.
- Dugue P., 1986 : L'utilisation des ressources en eau à l'échelle d'un village. CIRAD-DSA, Montpellier, *collection Système Agraire* n°6.
- Dupriez H. et De Leener P., 1990 : Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage. Nivelles.
- ICRAF, 2007: Green Water Management Handbook. Rainwater harvesting for agricultural production and ecological sustainability. Technical Manual n.8. Nairobi.
- El Amani S., 1983 : Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. Centre de Recherche du Génie rural. Tunis.
- Ministère de la Coopération, 1978 : Mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux. France.
- Reij C., Mulder P. et Begeman L., 1988: Water harvesting for plan production. *World Bank Paper* n°91,123p.
- <http://www.wikiwater.fr/e57-les-differents-types-de-pompes.html>. E57 - Les différents types de pompes pour l'irrigation des champs ou des cultures maraîchères.



CHAPITRE 5 : GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS



La gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS). C'est le meilleur usage que possible des: (i) stocks de nutriments dans le sol, (ii) amendements du sol, (iii) engrains minéraux ; dans le but d'augmenter la productivité des terres tout en assurant l'amélioration et la durabilité de leur fertilité. La GIFS est le point d'entrée pour augmenter et améliorer de façon durable la productivité des terres.

Par la gestion intégrée de la fertilité des sols, la technologie de base est l'utilisation combinée des engrains minéraux et des amendements des sols. Il s'agit d'abord des amendements organiques (recyclage des sous-produits agricoles, le fumier, le compost) ainsi que le recours-en cas de besoin- à la chaux/calcaire. Les engrains minéraux nourrissent les cultures, les amendements maintiennent ou améliorent les qualités du sol tout en apportant aussi une certaine quantité d'éléments nutritifs.

Le chapitre traitera successivement de la correction de l'acidité des sols, de la production des composts, de la fertilisation minérale, de la technologie de placement profond des engrains et enfin de la gestion intégrée de la fertilité des sols.

5.1. Le chaulage des sols acides

Les sols acides peuvent être amenés à une moindre acidité ou à la neutralité par le chaulage. Les besoins en chaux d'un sol peuvent être estimés par détermination du pH. Le chaulage a un effet positif car il provoque la précipitation de l'aluminium et permet ainsi d'en contrôler la toxicité.

Pour corriger l'acidité du sol, le calcaire broyé (CaCO_3) est l'un des produits les plus efficaces et les moins chers qui puissent être appliqués. Le calcaire dolomitique ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) fournit aussi du magnésium en cas de besoin. On peut aussi utiliser d'autres produits comme la marne (CaCO_3), les cendres de bois et la farine d'os $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$. Dans les sols acides, les engrains azotés et phosphatés contenant des ions Ca^{2+} comme cations conviennent très bien et doivent être utilisés de préférence.

Calcul des quantités de chaux à appliquer. Les détails sur les calculs des quantités de chaux à appliquer sont donnés en annexe 10. Plusieurs formules sont proposées:

$$\text{BC} (\text{CaCO}_3 \text{ t/ha}) = 1.5 (\text{Al} - \text{DESA} (\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg})/100) \quad (1)$$

(BC : besoin en chaux exprimé en tonnes de CaCO_3 par hectare ; DESA : degré exigé de saturation en Al (ou désirée) (%) ; Al : Al extractible (Al échangeable + soluble) en mmol/100g sol ; $\text{Al}^+ \text{Ca}^+ \text{Mg}$ est une approximation pour la CECE).

Une approche plus facile et plus approximative calcule le besoin en chaux (CaCO_3 pur) en relation directe avec la quantité totale de l'Al toxique, avec ou sans les ions H^+ (selon la procédure utilisée au laboratoire) :

$$\text{BC (t/ha de CaCO}_3) = \text{facteur x mmol (Al}^+\text{H}^+/\text{100g sol}) \quad (2)$$

ou = facteur x mmol Al/100 g sol

Pour éviter de chauler excessivement, un facteur d'adaptation est proposé qui prend en compte la sensibilité en Al des cultures : (i) facteur < 1 pour les cultures tolérantes à Al ; (ii) facteur = 1,0 pour les cultures modérément tolérantes à Al ; (iii) facteur = 1,5 pour les cultures sensibles à Al.

Alternative au cas où seul le pH eau peut être mesuré. Le besoin en chaux pour corriger l'acidité du sol est estimé en utilisant les données d'ACID4 (Yamoah et al. 1990). L'équation a été développée en utilisant seulement les quantités de chaux nécessaires pour ramener le pH du sol entre 5,2-5,5.

$$\text{BC(t/ha de CaCO}_3) = 16,0 - 2,87 \text{pH (H}_2\text{O}) \quad (3)$$

Une autre formule proposée tient compte de l'Aluminium échangeable, de la densité apparente et de la profondeur du sol où la chaux doit être appliquée. Le calcul des besoins en chaux (Liming Requirement : LR) est donné par la relation suivante :

$$\text{L.R} = \text{A (méq-Al/100 g-sol)} \times \text{B (g-sol/cm}^3) \times (\text{100 cm/m})^3 \times \\ (10^4 \text{ m}^2 \times \text{D m-profondeur}) \times (50 \text{ mg-CaCO}_3/\text{méq-Al}) \times 10^{-9} \text{ t-CaCO}_3/\text{mg CaCO}_3$$

$$\text{L.R} = 5 \text{ A} \times \text{B} \times \text{D t-CaCO}_3/\text{ha} \quad (4)$$

avec A = Al échangeable ; B = Densité apparente, D = profondeur du sol où la chaux doit être appliquée (m).

Pour des raisons pratiques, les chercheurs de l'ISABU, de l'IFDC et du DFS ont proposé des recommandations des doses à appliquer ayant le pH au champ. Ces doses sont proposées dans le tableau 12. Le pH de chaque champ sera prélevé avant l'application de la dolomie. Il s'agit d'un pH obtenu en faisant une moyenne des pH mesurés au moins en 6 sites différents du champ : en amont, au milieu et en aval. On utilise un pH-mètre portatif.

Tableau 12 : Détermination des besoins en chaux

Niveau de pH	Dolomie à appliquer par saison en kg/ ha	Temps nécessaire pour corriger l'acidité	Observations
pH : 4-4,5	1 000	2,5 ans	Appliquer 1kg de dolomie/1 kg d'engrais appliqué. Après les 2,5 ans, continuer à appliquer la dose d'entretien de 3 kg de dolomie par are
pH : 4,6-5	750	2 ans	Appliquer 1kg de dolomie/1 kg d'engrais appliqué. Après les 2 ans, continuer à appliquer la dose d'entretien de 3 kg de dolomie par are
pH : 5,1-5,5	750	1 an	Appliquer 1kg de dolomie/1 kg d'engrais appliqué. Après une année, continuer à appliquer la dose d'entretien de 3 kg de dolomie par are
pH>5,5	300	Application régulière	Appliquer 1kg de dolomie pour 1kg d'engrais appliqué

L`application de 1 kg de dolomie par kg d`engrais appliqué sert à neutraliser les effets acidifiant des engrais.

Temps et profondeur d'application de la chaux/calcaire. La chaux/calcaire devrait être incorporée à une profondeur d'au moins 15 cm le plus longtemps possible avant la plantation pour éviter l'endommagement des semences. L'incorporation jusqu'à 15 cm se fait en utilisant le travail manuel. Pour les semis denses, on préconise que le calcaire soit enfoui avec le labour. Pour des plantations à faible densité, on préconise une application localisée 2 semaines avant la plantation.

5.2. Production et utilisation du compost

Les objectifs du compostage sont de mettre les matières organiques d'origine végétale et animale en fermentation pendant une certaine période afin de réduire leur rapport C/N avant l'apport au champ.

Le compostage est une accélération du processus naturel de décomposition des déchets organiques. Le compostage est favorisé par l'aération, la température et l'humidité. Une activité bactérienne intense est la principale responsable de la décomposition ; elle nécessite de l'oxygène et dégage de la chaleur.

Au Burundi, il existe essentiellement trois techniques de compostage : le compostage de surface, le compostage en fosse et le compostage en tas.

a. Le compostage de surface ou paillage. Le paillage est réalisé en déposant sur le sol, avec une épaisseur de quelques cm, des déchets surtout d'origine végétale : paille, herbes coupées, tiges de plants, fanes, feuilles de bananiers, feuilles d'arbres... (Voir le détail au point 1.1.4.1.a)

b. Le compostage en fosse. Le compostage en fosse se fait généralement dans des trous carrés ou rectangulaires, cylindriques ou rigole.



Figure 120 : Gestion d'une composter à 3 fosses (photo réalisée par Cyrille HICINTUKA)

Il faut éviter que les eaux de pluies inondent la compostière en creusant une rigole en amont des fosses, protéger les fosses avec une toiture et arroser en saison sèche pour maintenir l'humidité à un taux suffisant. Son avantage est que le chargement est progressif.

L'installation de 3 fosses (fig.120), de dimensions de 2m *1.25 m et une profondeur de 0.80 m, juxtaposées pour accélérer et améliorer la décomposition de la matière organique par retournement du compost après chaque 2 mois d'une fosse à l'autre est vivement recommandée. On obtient un compost mûr après 6 mois. Au début du compostage, on y met une petite quantité de matière organique bien décomposée pour ensemencement de bactéries. On peut mettre une couche de matière animale. Il faut arroser chaque fois que la température monte.

c. Le compostage en tas. Le compostage consiste en l'édification d'un tas de couches successives de matières végétales et/ou de déjections animales (fig.121) qui s'effectue au-dessus du sol (compostage en tas). Le tas a une forme généralement cubique ou conique. Le tas est construit dans un endroit ombragé, proche d'un point d'eau surtout en saison sèche sur un terrain plat pour qu'on puisse le retourner de temps en temps. Le compost est mûr en 3 mois.



Figure 121 : Compostage en tas des débris végétaux (photo réalisée par Anaclet NIBASUMBA)

Compostage de déchets organiques (fig.121). La construction du tas se fait sur un endroit labouré légèrement, on place un piquet de 1.5 m à chaque coin du carré de 2 m * 2m (ou de longueur plus grande). On dépose d'abord des branchages pour une meilleure aération et évacuation rapide d'excès d'eau et on dépose enfin les matières organiques fragmentées en commençant par les bords extérieurs du carré en progressant vers l'intérieur (chargement centripète). On alterne des couches de matières organiques de 20 à 30 cm avec de la terre riche en humus pour apport de bactéries. On ajoute aussi de l'urée pour accélérer la décomposition (adjacent). Après un mois on fait un retournement mais il faut d'abord enlever les couches superficielles qui étaient en contact avec l'air. L'ensemencement en bactéries/microorganismes se fait au début du compostage pour une meilleure décomposition.



Figure 122 : Compostage en tas du fumier
(photo réalisée par Glorioso HABONAYO)

Compostage du fumier (fig.122). Il faut : rassembler le fumier à l'ombre, par exemple sous un arbre; monter le fumier en petits tas (1 m de haut sur 1,5 m de diamètre) ou en andain (1 m de haut sur 1 m de large, la longueur dépend de la quantité de fumier disponible) et tasser légèrement ; protéger le fumier du soleil et du vent par un paillage (herbes de savane non montées en graines, palmes...) ; arroser en cas de dessèchement ; effectuer un retournement après refroidissement (2 semaines) ; remettre en tas, arroser et couvrir. Le fumier est utilisable après refroidissement total. Une fois recyclé, le fumier peut se conserver pour des utilisations ultérieures.

Comment améliorer la qualité du compost ? L'amélioration de la qualité et de la composition du compost se fait par : l'usage des matières variées (paille, déchets, écorces...) riches en carbone et des matières riches en azote (fumier, tiges, fanes de légumes, herbes...) mais aussi par l'ajout des petites doses d'engrais, des cendres/chaux et si possible du purin. L'addition d'engrais est indispensable lorsque la compostière ne comporte qu'un type de matériau (par exemple la paille de riz avec un rapport C/N élevé). Pour des compostières chargées de matériaux divers, les essais réalisés sur des compostières-fosses, ont mis en évidence que le compost présente une grande carence en phosphore et souvent un faible pourcentage en azote pour les composts mûrs.

Le compostage peut s'effectuer dans toutes les zones agro-écologiques et le compost est utilisé sur tous les types de sol par des agri-éleveurs. Il est très intéressant pour les producteurs maraîchers.

Avantages et impacts. L'application du compost permet de : (i) accroître la capacité d'échange cationique des sols; (ii) relever le pH des sols qui ont tendance à s'acidifier, (iii) augmenter les rendements des cultures. Les composts bien décomposés avec des rapports C/N bas (< 30) donnent de meilleurs résultats avec les cultures à cycle court (autour de 3 mois). Les composts moyennement décomposés réagissent bien avec les cultures à cycle plus ou moins long, supérieur à 3 mois.

Contraintes. Le compostage requiert une main-d'œuvre importante pour l'ouverture des fosses, la disponibilité et la collecte des matériaux ainsi que pour les opérations d'édification et de retournement du tas. D'autres contraintes sont le manque d'équipements pour l'ouverture des fosses et le transport de compost vers les sites d'utilisation.

Expériences des autres pays. Le compostage en crib (Cambodge et à Sri Lanka). La pratique consiste à décomposer les matières organiques et végétales par une fermentation aérobique. Ce processus est réalisé dans un crib (fig.123) de 1 m³ construit en stick de bois ou de bambou (sans fond). Le compostage en crib consiste à placer un mélange de matières premières dans une cellule

aux parois tressées. La méthode permet une décomposition homogène des matières à composter et une rapidité du processus de compostage.



Figure 123 : Compostage en crib
(source:
<http://www.actionagainsthunger.org>)

Suite des opérations : collecter du fumier d'élevage (ruminants, poules ou porcs) ; déposer en alternance une couche de matières sèches, une couche de matières fraîches et une couche de fumier (25 cm de matières sèches suivies d'un arrosage, 10 à 15 cm de matières humides avec un léger arrosage, 5 cm de fumier fragmenté ou humide, 0,5 cm de cendres) ; arroser abondamment sans lessiver le tas ; répéter les couches jusqu'à remplir le crib ; remuer et retirer le pieu en bois central afin de créer une cheminée d'aération (pour favoriser les conditions aérobies).

La conduite du compostage: (i) maintenir une humidité constante en arrosant régulièrement le crib avec de l'eau et tous les 10 jours ; (ii) effectuer un retournement (retourner la terre sur 1 m² à côté du crib), (iii) déplacer le crib et le positionner au-dessus du m² retourné, (iv) remplir le crib en retournant le compost couche par couche (la couche haute se retrouve en bas) et arroser.

5.3. Fertilisation des sols et des cultures²³

En considérant la limite inférieure acceptable pour les principaux paramètres, les analyses de sols réalisées en 2013 par ISABU, IFCD et DFS ont montré que 27% des sols cultivés au Burundi ont un pH inférieur à 5. Ces sols nécessitent un chaulage. Comme mentionné dans l'introduction, la majorité des sols sont aussi déficients en phosphore (85%), en bore (90%), en soufre (71%) et en zinc (62%). La moitié des sols présentent des carences en magnésium. Les sols carencés en potassium représentent 30% des échantillons. La carence en cuivre s'observe dans 13% des échantillons. La carence en calcium représente 68% des terres cultivées. Ces sols sont aussi carencés à 100 % en bore.

Il faudra alors corriger ces carences et restituer les éléments minéraux exportés par les récoltes et ceux perdus par lixiviation, érosion, volatilisation... En se basant sur l'exportation des éléments, leur quantité à apporter dépend du niveau des rendements escomptés et tient compte aussi des besoins spécifiques des cultures et des particularités pédo-climatiques. Pour se développer, la grande majorité des plantes ont besoin de 16 éléments nutritifs qui doivent provenir de l'air et du sol. Les principales sources des éléments nutritifs sont indiquées en annexe 11.

Les plantes ont besoin de quantités relativement importantes des éléments de base (macroéléments) : azote, phosphore et potasse.

Azote (N). Il est le moteur de la croissance végétale. La plupart des plantes annuelles ont un faible besoin en engrais azotés au début de leur période de croissance. Il devient surtout indispensable dans les périodes de taillage et de croissance rapide. Son apport doit être fractionné, une partie

²³ NTIBURUMUNSI F. et al. Synthèse des recherches en fertilisation des sols, ISABU. 1999

étant appliquée comme engrais de couverture pour éviter qu'il ne soit lessivé ou volatilisé. Les engrais ne doivent pas se trouver à moins de 5 cm des semences.

L'urée, est l'engrais azoté le plus utilisé au Burundi, cependant son application exige des pratiques agricoles exceptionnellement bonnes afin d'éviter surtout les pertes par volatilisation sous forme d'ammoniaque et par lessivage. L'urée devrait être épandue uniquement dans le cas où l'on peut, après épandage, l'enfouir ou l'incorporer immédiatement dans le sol.

Le sulfate d'ammonium est à utiliser de préférence sur les cultures irriguées et partout où le besoin en soufre se manifeste. Il en est de même du **nitrate de sulfate d'ammonium**.

L'ammonitrat de calcium (ANC) est à utiliser de préférence sur les cultures conduites en conditions semi-arides et subtropicales.

Les engrais phosphatés. Ils jouent un rôle important dans le développement des racines des jeunes plantes. Il faut donc que ces derniers puissent en disposer au début de la période de croissance. La plupart des sols cultivés et ceux non cultivés sont carencés en phosphore ou ont une fixation élevée vis-à-vis du phosphore, limitant ainsi sa disponibilité dans le sol. Pour éviter le risque d'être fixé par le sol, il faut les mélanger avec la matière organique avant de les appliquer. Il ne faut pas les appliquer à la volée, mais plutôt les appliquer en rangées parallèles à celles des plantes et les racines poussent vers les lignes d'engrais. Les superphosphates et les phosphates d'ammonium sont facilement solubles dans l'eau et c'est pourquoi il faut les appliquer juste avant ou pendant les semaines.

Les engrais potassiques. Ces engrais sont importants pour le développement du système radiculaire et pendant la période de croissance, il faut qu'ils soient disponibles pendant toute la période de croissance. Du fait qu'ils sont adsorbés par les particules du sol, ils ne courent aucun risque de lessivage comme l'azote. D'où on peut les appliquer en une fois, au début de la saison. Il faut éviter de les appliquer à moins de 4 cm de semences.

Le **chlorure de potassium** est l'engrais potassique simple le plus couramment utilisé. Le chlorure de potassium ne convient pas aux sols argileux ni aux sols qui ont un faible drainage. Le **sulfate de potassium**, est conseillé pour les cultures sensibles au chlore ou pour celles qui ont un besoin en soufre assez important.

Eléments secondaires : calcium (Ca), soufre (S), magnésium (Mg). Par le passé, les éléments nutritifs secondaires, notamment le soufre, n'étaient pas indiqués sur les sacs ou emballages d'engrais. Actuellement, ceci n'est plus le cas. Le magnésium est le constituant central de la chlorophylle, le soufre est un constituant essentiel des protéines tandis que le calcium est indispensable pour la croissance des racines et aussi comme constituant des matériaux de la membrane cellulaire. Ils se retrouvent dans différents types d'engrais décrits dans l'annexe 11.

Les oligo-éléments ou éléments traces sont le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le chlore (Cl) et le bore (B). Ils font partie des substances clés de la

croissance des plantes et sont comparables aux vitamines dans la nutrition humaine. Comme ils sont absorbés en quantités infimes, leur apport pour obtenir leur seuil optimal se situe à des niveaux très faibles. Leur disponibilité pour les plantes (biodisponibilité) dépend principalement de la réaction du sol et de son pH.

Certaines cultures peuvent tirer avantage d'autres éléments nutritifs utiles tels que le sodium (Na) pour la betterave, et la silice (Si) pour les céréales, qui renforce leurs tiges et, ainsi, leur résistance à la verse. Le Cobalt (Co) joue un rôle important dans le processus de fixation de l'azote par les légumineuses.

Ces éléments requièrent une attention et des soins particuliers dans leur utilisation pour satisfaire les besoins des plantes car la marge entre carence et consommation excessive est très étroite. Les besoins des plantes en oligo-éléments sont relativement faibles. Il est possible de préparer des engrains composés spécifiques dont les teneurs en oligo-éléments et en N, P et K tiennent compte des carences connues des sols et des plantes considérés. Les oligo-éléments sont enrobés sur les granulés de N-P-K par la méthode de **coating**.

L'application de doses plus exactes et une meilleure efficacité dans l'utilisation des oligo-éléments sont obtenues grâce à une application foliaire par pulvérisation ou grâce aux traitements des semences (en utilisant des formulations en poudre ou en liquide). Quelques exemples de sources d'oligo-éléments sont donnés en annexe 12.

Le tableau suivant donne les recommandations actuelles et des formules de fertilisation améliorées qui sont en expérimentation. Les recommandations pour quelques cultures sont données dans le tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Recommandations actuelles de fertilisation minérale et formules en expérimentation

Cultures	N-P-K	N-P-K-S-Zn-B-Cu
Haricot	18-46-30	39-40-20-7,8-1-0,25-0,25
Pomme de terre	60-90-60	67-80-60-8-3-1-0,25
Manioc	75-30-75	75-30-75-10-3-1-0,25
Blé	40-40-30	58-40-30-10-3-1,5-0,25
Mais	45-60-30	71-46-30-10-3-1-0,25
Riz irriguée	75-30-30	75-30-30-10-3-2-0,25

NB. Pour le riz de marais, la formule actuelle est de 60-30-30

5.4. Placement Profond des Engrais²⁴

Le placement profond des engrais sous forme de briquette (fig.124 et 125) permet une libération progressive de la matière fertilisante au cours de la croissance de la plante. Cette technologie consiste à l'application de l'engrais sous forme de briquette dans un champ de riz (ou autre culture) où le repiquage/la plantation a été fait (e) en lignes. Cette technique permet de limiter les pertes de l'azote par volatilisation ou lessivage. La briquette est placée entre quatre plants de riz.



Figure 124 : Fabrication des briquettes d'urée à la coopérative GIRUMWETE DUKORE
(source : CAPAD)



Figure 125 : Briquettes fabriquées
(Source: agritech.tnau.ac.in)

Application des briquettes. L`application des briquettes se fait de façon manuelle ou avec des outils fabriqués à cet effet.

- a. **Application manuelle.** On enfonce la briquette entre 7 à 10 cm avec l`index entre quatre pieds de riz. L`application des briquettes par des mains nécessite 28 personnes-heures par ha.
- b. **Applicateur poussé** (fig.126). Le besoin en main-d`œuvre est estimé à 0,2 ha/jour



Figures 126 : Deux modèles d`applicateurs poussés
(Source: archive.thedailystar.net)



(Source : davidcooknuffield 2013.blogspot)

²⁴ Les expérimentations sur l'urée ont déjà confirmé l'efficacité de la méthode, le DAP est encore en expérimentation.

c. Applicateurs rapides à petite échelle (fig.127 et 128)



Figure 127 : Double rangées d'applicateur d'urée en granulés
(Source : aapi-ifdc.org)



Figure 128 : Double rangée d' applicateur de briquettes
(Source : new.ag-info.org.)

Avantages et impacts: (i) les pertes dans les eaux d'irrigation sont minimisées ; (ii) l'urée est convertie en cation ammonium dans le sol inondé, donc moins lessivable que l'anion nitrate; (iii) les pertes par dénitrification vers l'atmosphère sont considérablement réduites ; (iv) il y a une meilleure distribution de l'engrais dans le champ. Au Bangladesh, sur 1,32 millions de ha, il y a 2,5 millions de fermiers utilisateurs avec 120. 000 Mt d'urée sauvés et 860. 000 Mt de rendement de riz additionnel.

Inconvénients. Beaucoup de travail plus que l'application à la volée de l'urée. Le volume du travail reste un obstacle à l'adoption.

En conclusion, l'adoption de l'utilisation des briquettes d'urée contribue à l'augmentation des revenus chez les riziculteurs. La technologie des briquettes d'urée est une technologie à promouvoir chez les riziculteurs même si un accent devrait être mis sur le fait de trouver une méthode rapide et facile de l'application des briquettes d'urée et autres engrains dans le champ pouvant réduire le coût de la main-d'œuvre et le temps d'application, ce qui maximisera les revenus.

5.5. Pratiques biologiques et agricoles

L'agriculture basée sur des principes biologiques²⁵ allie la tradition, l'innovation et la science au bénéfice de l'environnement commun. Les pratiques agricoles²⁶ ont évolué pendant des générations afin de s'adapter aux ressources et aux conditions locales (Scialabba et Hattam, 2002). Une partie des producteurs en agriculture traditionnelle font de l'agriculture biologique puisqu'ils n'utilisent pas d'intrants chimiques, favorisent les espèces locales, respectent les cycles naturels et

²⁵ Agriculture biologique, une approche scientifique, Christian de Carné-Carnavalet. Edition 2011

²⁶ La conversion à l'agriculture biologique dans les pays en développement : une voie de développement durable. Virginie Journeau. Sherbrooke. Québec, Canada, mai 2013

se basent sur les connaissances traditionnelles (Dufumier, 2012; Scialabba et Hattam, 2002; Twarog, 2006).

Il est évident que des mesures doivent être prises compte tenu de la préoccupation générale que suscitent les aspects biologiques, écologiques, économiques et sociaux de la durabilité des systèmes actuels de production agricole. Les bonnes pratiques agricoles consisteraient à :

Pour la gestion des ressources sol :

Gérer les exploitations compte tenu des propriétés, de la répartition et des utilisations potentielles des sols ;

Conserver ou améliorer les matières organiques par les techniques de compostage, le développement de l'agroforesterie et des pratiques appropriées de labour de conservation ;

Conserver le couvert du sol afin de réduire le plus possible les pertes dues à l'érosion éolienne et/ou hydrique ;

Appliquer des produits agrochimiques et des engrains organiques et minéraux en quantité et en temps voulu, selon des méthodes appropriées aux exigences agronomiques et environnementales.

Pour la gestion de l'eau :

Optimiser l'infiltration de l'eau et réduire le plus possible les écoulements improductifs des eaux de surface des bassins versants ;

Appliquer les intrants de production selon des pratiques qui évitent la contamination des ressources en eau ;

Adopter des techniques de l'utilisation efficiente de l'eau.

Pour la production végétale et fourragère :

Sélectionner les cultivars et les variétés en pleine connaissance de leurs caractéristiques ;

Appliquer des engrains organiques et minéraux, de manière équilibrée ;

Promouvoir l'intégration agro-sylvo-zootechnique dans les exploitations agricoles ;

Etablir une rotation du bétail sur les pâturages pour permettre la repousse de ceux-ci dans de bonnes conditions.

Pour la protection des cultures :

Utiliser des cultivars et des variétés résistantes, l'alternance des cultures, les associations et les façons culturales qui optimisent la prévention biologique des ravageurs et des maladies.

Adopter des pratiques de lutte biologique intégrée ;

Appliquer des techniques de prévision des ravageurs et des maladies, le cas échéant ;

Stocker et utiliser les produits agrochimiques conformément aux dispositions légales d'homologation pour les différentes cultures, les taux d'application, le calendrier et les intervalles avant récolte ;

S'assurer que le matériel utilisé pour la manipulation et l'application des produits agrochimiques est conforme aux normes de sécurité et d'entretien établies.

Pour la production animale :

Eviter les contaminations biologiques, chimiques et physiques des pâturegues, du fourrage, de l'eau et de l'atmosphère ;

Concevoir et construire des infrastructures d'élevage adéquates ;

Empêcher que les résidus de médicaments vétérinaires et autres substances chimiques données aux animaux entrent dans la chaîne alimentaire ;

Adhérer aux réglementations et suivre les normes de qualité requise dans le secteur d'élevage.

Pour la santé animale :

Assurer de bonnes normes d'hygiène dans les logements par les nettoyages et les désinfections nécessaires;

Traiter rapidement les animaux malades ou blessés en consultation avec un vétérinaire;

Acheter, stocker et utiliser uniquement des produits vétérinaires approuvés conformément aux réglementations et aux instructions, notamment les délais d'attente.

Pour la faune sauvage et paysage :

Identifier et conserver les habitats de la faune sauvage et les éléments du paysage;

Créer, dans la mesure du possible, un système de cultures différentes sur l'exploitation;

Réduire le plus possible l'impact des opérations de l'activité humaine sur la faune sauvage;

Gérer les cours d'eau et les terres humides afin de promouvoir la faune sauvage et d'éviter la pollution.

5.6. Gestion intégrée de la fertilité des sols

La gestion intégrée de la fertilité des sols a pour objectifs d'améliorer la productivité des terres cultivées et garantir la durabilité économique et environnementale des systèmes de production. Ses principes sont : la réduction des pertes de nutriments ; l'apport de nutriments et l'amélioration de l'efficacité des apports de nutriments. Celle-ci prend en compte toutes les ressources organiques et minérales ainsi que les conditions socioéconomiques des producteurs.

La gestion intégrée de la fertilité des sols prend en compte :

a. L'utilisation des amendements organiques. L'utilisation du compost, du fumier ou d'autres ressources organiques d'origine végétale ou animale est essentielle en matière de gestion intégrée de la fertilité des sols. Le recyclage des sous-produits agricoles et l'enfouissement des résidus de récolte augmentent la teneur du sol en matière organique.

b. L'utilisation des fertilisants minéraux. Les engrains permettent d'améliorer le niveau de disponibilité des éléments nutritifs et compenser les points faibles des amendements organiques. La technique actuelle de placement profond des engrains est une méthode qui permet aux cultures de mieux valoriser les engrains en évitant la pollution de l'environnement.

c. Le chaulage. Il permet de corriger la toxicité aluminique et l'acidité des sols par utilisation de la chaux ou du calcaire broyé. Le pays dispose d'un grand potentiel de production de ces amendements.

d. Le développement de l'agroforesterie. Les légumineuses fixatrices d'azote dans les jachères améliorées utilisées comme plantes de couverture, arbustes/arbres, parcs arborés... permettraient de fixer l'azote atmosphérique dans le sol et favorise la protection de la surface du sol contre les intempéries et la dégradation.

e. L'intégration des techniques de lutte contre l'érosion. Les mesures de lutte anti-érosive permettent de lutter contre la dégradation des eaux et des sols et limitent la perte des nutriments des terres cultivées. Les techniques de lutte contre l'érosion permet de protéger les ressources naturelles essentiellement le sol, l'eau, l'air contre la pollution.

f. L'utilisation efficiente de l'eau par des techniques d'irrigation et de drainage appropriées.

g. L'utilisation des variétés améliorées. L'utilisation des variétés améliorées qui permettent de valoriser les nutriments apportés est essentielle pour la réussite de la gestion intégrée de la fertilité des sols.

h. Les technologies complémentaires. Les pratiques culturales, la lutte intégrée contre les maladies et ravageurs, la lutte contre les mauvaises herbes, le respect des dates de labour, de semis, de sarclage et de récolte,... constituent des technologies complémentaires.

i. La prise en compte de l'environnement socio-économique des producteurs. L'approche gestion intégrée de la fertilité des sols doit se mener en prenant en compte l'environnement socio-économique des producteurs de manière à utiliser les technologies les plus adaptées à l'environnement, acceptées par les producteurs et tenant en compte les capacités financières ménages.

Avantages et impacts. La GIFS permet l'augmentation du réapprovisionnement en éléments nutritifs et le maintien de la fertilité des sols, accroît les rendements des récoltes, améliore la sécurité alimentaire et les revenus des ménages et permet de s'adapter aux effets néfastes du changement climatique.

Contraintes. L'accès aux équipements et aux moyens financiers pour l'acquisition des intrants et aux connaissances techniques constituent le grand handicap.

Encadré 5.1 : Pratiques de reconstitution des nutriments du sol et la réduction de leur perte

1°. Jachères améliorées : la plantation d'espèces à croissance rapide, généralement des légumineuses (fixation biologique de l'azote atmosphérique), pour une restauration rapide de la fertilité. Les jachères peuvent aussi bien être des graminées ou des légumineuses. L'étude sur le Tithonia diversifolia est prometteuse.

2°. Gestion des résidus : cette pratique permettrait que la surface du sol soit couverte par les résidus après la récolte. La ressource principale provient de la récolte précédente (le brûlis est découragé). Cette pratique contribue aussi à réduire l'érosion, à améliorer l'infiltration de l'eau et à conserver l'humidité. La structure du sol et la qualité des eaux de surface bénéficient aussi d'impacts positifs.

3°. Enfouissement du compost amélioré et du fumier : le compost (surtout des résidus de végétaux) et la fumier (du bétail) aident à reformer le cycle des nutriments en permettant à ceux-ci de ne pas être perdus par le système. En reconstituant la matière organique du sol, ils aident à maintenir la structure du sol ainsi que sa fertilité. De plus, ils sont à la portée de main des paysans, même les plus pauvres. Il est donc recommandé d'utiliser les fumiers et composts en les recyclant au préalable afin de : préserver leur qualité grâce à de meilleures conditions de stockage ; améliorer leur décomposition afin de les utiliser de manière efficace.

Le compostage en tas convient pour les exploitations qui disposent de beaucoup de quantités de matière organique tandis que **le compostage en fosse et en crib** convient pour les exploitations qui ont de petites quantités et le chargement se fait de façon progressif.

Pour une bonne conservation, le compost doit être stocké : à l'abri du soleil afin de limiter les fuites d'azote ; à l'abri de la pluie afin d'éviter le lessivage des éléments minéraux. Dans ces conditions, le compost peut être conservé plusieurs mois.

4°. Captage des nutriments : le captage/transfert vertical ascendant se fait par les racines des arbres et d'autres plantes vivaces lorsqu'elles sont associées aux cultures annuelles (voir les systèmes d'agroforesterie). Les arbres fonctionnent comme des pompes à nutriments : ils absorbent les nutriments dans les couches profondes du sol, sous la zone d'enracinement des cultures annuelles et les restituent sous forme de paillage et de litière. Ainsi, la disponibilité des nutriments pour les cultures annuelles augmente. La généralisation de l'agroforesterie est recommandée.

5°. Application des engrains minéraux : l'apport combiné de matière organique et d'engrais minéraux avec l'application des principes du GIFS permettraient d'atteindre de bonnes productions. L'application profonde des engrais limiterait les pertes par lessivage ou volatilisation.

Il est donc préférable de fractionner l'engrais azoté plutôt que de l'utiliser en une fois. Les engrains ne doivent pas se trouver à moins de 5 cm des semences. Le placement profond de l'urée sous forme de briquettes permet une libération progressive de la matière fertilisante au cours de la croissance de la plante.

Pour éviter le risque que **les engrains phosphatés** soient fixés par le sol, il faut les mélanger avec la matière organique avant de les appliquer. Il ne faut pas les appliquer à la volée, mais plutôt les appliquer en rangées parallèles à celles des plantes et les racines poussent vers les lignes d'engrais.

Le potassium adsorbé reste disponible pour les plantes d'où on peut appliquer les engrains potassiques en une fois, au début de la saison. Il faut éviter de les appliquer à moins de 4 cm de semences.

Le Ca et le Mg devraient être ajoutés en cas de carence surtout sur les sols désaturés par le chaulge et les engrains contenant ces éléments. **Les oligo-éléments** sont ajoutés sur les granulés NPK par *enrobage (coating) ou par application foliaire*.

6°. Perturbation minimale du sol : les systèmes de travail du sol occasionnant un minimum de perturbations du sol, tels que le labour réduit ou le « **zéro labour** », laissent davantage de résidus biologiques à la surface du sol, fournissant ainsi un milieu favorable à une meilleure activité biologique du sol, une meilleure interconnexion des pores et des agrégats dans le sol, qui est ainsi plus capable de résister à l'impact de la pluie (et de l'érosion par battance). L'infiltration de l'eau est facilitée et accélérée, avec moins de pratiques culturales, ce qui contribue aussi à protéger le sol de l'érosion. De plus, la matière organique se décompose moins vite dans ces systèmes, réduisant les émissions de carbone.

Les formules et les doses proposées doivent être accompagnées de toutes les technologies GIFS pour améliorer davantage l'efficacité agronomique et économiques et garantir leur durabilité. Il s'agit du recyclage des résidus de récolte, de la bonne gestion de la matière organique, du chaulage en cas de nécessité, de l'agroforesterie, de l'entretien des cultures, de la protection des cultures contre les maladies et ravageurs et de la lutte contre l'érosion. Avec la GIFS, les rendements augmentent fortement et ceci mène à une augmentation considérable des revenus des producteurs.

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

- Dupriez H. et De Leener P., 1987 : Jardins et vergers d'Afrique. Terre et vie. Nivelles.
- Dupriez H. et De Leener P., 1983 : Agriculture tropicale en milieu paysan africain. Nivelles.
- IFDC, 2010 : Comment déterminer les formules et doses d'engrais. Document de référence. Kigali.
- IFDC, 2010 : La gestion de l'acidité du sol. Fiche technique 7. Kigali.
- IFDC, 2010 : La rentabilité des engrains. Document de référence n°2. Kigali.
- IFDC, 2010 : Les éléments nutritifs des plantes. Fiche technique 3. Kigali.
- IFDC, 2010 : Les engrains minéraux : présentation, conditionnement et stockage. Kigali.
- IFDC, 2010 : Pourquoi utiliser les engrains dans l'intensification agricole. Fiche technique. Kigali.
- IFDC, 2012 : Proposition pour l'amélioration des recommandations pour la GIFS sur base des résultats des tests participatifs de fertilisation du projet CATALIST. Kigali.
- Pieri C., 1989 : Fertilité des terres de savane. Bilan de 30ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. Min. Coop. et Dév., CIRAD Paris, 444p
- Pieri Ch. et Moreau R., 1987: Soil fertility and fertilization of tropical crops. The experience of CIRAD and ORSTOM. Montpellier. World Bank-ORSTOM-CIRAD Seminar, pp. 67-92.
- Schöl L., 2004 : Gérer la fertilité du sol. Série Agrodok. Wageningen. Pays-Bas.



CHAPITRE 6: TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT ET CONDUITE DES PEPINIERES



La qualité des boisements dépend de la qualité des semences élevées en pépinière. La qualité des semences dépend elle-même de la qualité des arbres sur lesquels elles sont récoltées, des techniques utilisées et des précautions prises pour les récolter.

6.1. Aménagement et conduite d'une pépinière²⁷

L'aménagement d'une pépinière est précédé par la récolte et le conditionnement des semences. Dans la majorité des cas, la production des graines est concentrée sur quelques semaines, et l'objectif du récolteur consiste à recueillir le plus de semences possible pendant la courte période où les graines sont mûres sans que les fruits soient encore tombés ou se soient ouverts. Il est possible de ramasser les gros fruits indéhiscents ou charnus tombés sur le sol, mais là encore il faut faire vite pour limiter les pertes causées par les animaux, les champignons ou une germination prématuée. Il est donc essentiel de planifier la récolte de sorte que les opérations soient menées le plus rapidement et le plus efficacement possible dans le temps imparti.

6.1.1. Récolte des semences, transport et conditionnement

6.1.1.1. Les observations phénologiques

Pour pouvoir bien programmer la récolte, le récolteur doit bien connaître la phénologie des arbres sur lesquels il va récolter. Pour qu'elles soient bien fiables, les observations phénologiques doivent se faire mensuellement sur une période allant jusqu'à cinq ans. Les principales observations à relever portent sur la période de : la floraison, la fructification, la maturité des fruits, l'ouverture des fruits mûrs, la chute des fruits ou des feuilles et la survie des fruits tombés.

6.1.1.2. Les lieux de récolte

Pour s'assurer de leur qualité et de leur identité, les semences doivent être récoltées dans des peuplements ou vergers semenciers sélectionnés et aménagés pour la production exclusive des semences.

6.1.1.3. Les semences à récolter et quand les récolter

La récolte des semences est une activité délicate et difficile. C'est pour cela qu'il faut bien planifier la récolte, qui doit se faire dans les peuplements semenciers appropriés. Avant de récolter les semences, il faut s'assurer de leur maturité. Récoltées non mûres, les semences pourrissent en stock et ne germent pas quand on les sème. Récoltées tardivement, les fruits ou les cônes risquent

²⁷ Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière. Directives pratiques pour les pépinières communautaires. KEVYN ELIZABETH WIGHTMAN. WORLD AGROFORESTRY CENTRE (ICRAF). 2006

d'être vides. Ne jamais récolter les graines tombées par terre, détériorées par les insectes ou les champignons.

Les graines doivent donc être suffisamment mûres pour bien supporter le stockage et produire en pépinière de nombreuses et vigoureuses plantules. Pour connaître que les graines sont mûres, on observe que : (i) les fruits qui deviennent normalement secs sur l'arbre sont presque secs, de couleur brune et prêts à s'ouvrir ; (ii) pour les fruits charnus qui ne deviennent pas secs sur l'arbre, on récolte quand ils changent du vert à leur couleur normale de maturité (jaune, noir, mauve, etc ...).

Il est strictement interdit de récolter les semences déjà attaquées par les insectes ou par les champignons. Il n'est pas recommandé de récolter les semences tombées depuis un temps plus ou moins long. Il ne faut pas récolter sur les branches basses ou au sommet de l'arbre ; les bonnes semences sont récoltées sur les branches du milieu à partir du 1/3 de la tige.

6.1.1.4. Les techniques de récolte

Il existe plusieurs méthodes de récolte des semences. Ces méthodes varient avec les espèces d'arbres et le matériel de récolte disponible. Les méthodes ici décrites sont :

a. Le ramassage des fruits tombés sur le sol. Les fruits peuvent tomber sur le sol par chute naturelle ou par secouement de l'arbre.

a₁. La chute naturelle des fruits. Le ramassage des fruits tombés après maturité naturelle est une pratique courante dans le cas des genres à gros fruits. Elle est cependant délicate car elle comporte des inconvénients pouvant induire la qualité des semences récoltées. Entre autres inconvénients, on peut citer : le risque de ramasser des graines non encore mûres ; vides ou gâtées ; la possibilité d'une détérioration ou d'une germination prématuée des graines en cas de récolte tardive et l'identification incertaine des arbres mères.

Dans le cas de ramassage des fruits tombés naturellement, quelques mesures de sécurité doivent être prises : (i) retarder un peu la récolte pour éviter de ramasser les premiers fruits qui tombent, qui naturellement contiennent des graines de mauvaise qualité ; (ii) ramasser les fruits sains tombés le plus rapidement possible pour les mettre à l'abri de toute détérioration ; (iii) récolter les fruits qui sont sous les meilleurs ports ; (iv) ramasser les graines dans un petit rayon.

a₂. Le ramassage des fruits après secouement de l'arbre. Si les fruits se détachent facilement, mais que leur chute naturelle soit trop échelonnée dans le temps, on peut la provoquer par des moyens artificiels en secouant le tronc ou les branches de l'arbre. L'inconvénient de cette méthode est que les graines non encore mûres peuvent également tomber avec les fruits mûrs, ce qui peut affecter la qualité des semences et la productivité de l'arbre. Les précautions à prendre sont : (i) décaprer le sol sous l'arbre avant de le secouer ; (ii) étaler sur le sol de morceaux de toile en plastique qui facilitent la récupération des fruits ; (iii) procéder à un triage pour enlever immédiatement les graines immatures et gâtées.

b. La récolte sur les arbres abattus. Une façon de récolte de grandes quantités de semences consiste à synchroniser cette récolte avec l'abattage commercial normal entrepris pendant la période de maturation des graines et à cueillir les fruits sur les arbres abattus. En principe, cette méthode est un peu moins coûteuse que la récolte sur pied.

c. La récolte sur des arbres sur pied depuis le sol. Les fruits des arbustes et des arbres à branches basses peuvent être cueillis directement sur les branches par le récolteur au sol. Dans le cas des branches hors d'atteinte à la main, il existe des outils à longue manche (4 à 6 m) (râteaux, scies, sécateurs, ciseaux, crochets,...) qui permettent au récolteur d'atteindre les fruits depuis le sol. On peut couper, casser, scier ou non les branches.

d. La récolte sur pied par escalade. A une certaine hauteur, il n'est plus possible de récolter les fruits depuis le sol à l'aide des outils à manche. Au-delà de cette hauteur, l'escalade est souvent la seule méthode de récolte des semences produites par de grands arbres.

Une bonne formation des grimpeurs et un matériel adéquat peuvent faire de la récolte par escalade une opération efficace et sûre quoique fatigante et onéreuse: (i) l'escalade doit être mécaniquement assistée à l'aide d'un matériel simple et léger ; (ii) l'escalade peut être faite à l'aide d'une échelle verticale en bois ou en aluminium à plusieurs éléments légers et faciles à manier pour les hauteurs comprises entre 8 et 40 m ; (iii) l'escalade peut se faire aussi à l'aide de moyens simples, faciles à se procurer (corde à base d'écorce d'arbre) quoique l'opération est lente, risquant et fatigante.

Pour être efficace et pouvoir travailler en sécurité, le grimpeur doit être équipé de : (i) une paire de crampons ; (ii) une ceinture de sécurité ; (iii) une ou deux courroies et un câble de sécurité ; (iv) un casque protecteur et une paire de gants épais en cuir.

En résumé, pour s'assurer un peu de la bonne qualité et de l'identité des semences récoltées, nous pouvons retenir et recommander la méthode de récolte sur des arbres sur pied soit depuis le sol (pour les arbustes) soit par escalade (pour les grands arbres).

6.1.1.5. La manipulation des semences entre la récolte et le conditionnement

Immédiatement après la récolte et avant le conditionnement, les semences sont susceptibles de subir de dégâts sérieux de perte de leur identité et de leur viabilité. Si les semences ont déjà perdu une partie de leur viabilité à la récolte, même le meilleur traitement avant le stockage donnera des résultats médiocres. Ainsi des précautions sont à prendre en vue d'assurer le contrôle de l'identité et de la viabilité des semences entre la récolte et le conditionnement :

- (i) assurer la propreté des semences aussitôt après la récolte ;
- (ii) ne pas remplir les sacs d'emballage jusqu'au bord pour permettre une bonne aération des fruits ;

- (iii) identifier correctement les semences après emballage en incluant une étiquette à l'intérieur des sacs et en collant une étiquette identique sur le sac ;
- (iv) assurer un transport approprié tenant compte de la quantité et de la nature des semences ;
- (v) garder les semences dans un endroit bien aéré en vue de réduire l'humidité et la température ;
- (vi) garder les semences à l'abri de la pluie et du fort ensoleillement ;
- (vii) éviter le contact immédiat des sacs d'emballage avec le sol ;
- (viii) éviter d'emballer les fruits dans les sacs en plastiques ;
- (ix) remuer régulièrement les semences pour permettre une circulation équitable de l'air,
- (x) surveiller régulièrement l'attaque d'insectes ou de champignons ;
- (xi) expédier les semences le plus tôt possible au centre de conditionnement.

6.1.1.6. Le conditionnement des semences

Le conditionnement se fait au niveau de la centrale des graines. Il suit les étapes suivantes : (i) vérification si les semences sont sèches; (ii) les semences sont mises dans des sacs en polypropylène; (iii) une petite quantité est mise dans la casserole et on les chauffe doucement; (iv) on procède au test de germination et on détermine le taux de germination; (v) les sacs pour lesquels leurs échantillons ont eu le taux de germination supérieur à 80%, sont conservés dans la chambre froide.

6.1.2. Traitement des semences avant le semis

a. Traitement à l'eau chaude. Le traitement consiste à : (i) bouillir pendant 5 minutes un volume d'eau égal à dix fois le volume de graines à traiter ; (ii) retirer la casserole du feu et laisser reposer pendant cinq minutes sans couvrir ; (iii) plonger dans la casserole les graines en les remuant légèrement avec un bâton ; (iv) laisser reposer les graines dans cette eau pendant 24 heures après avoir couvert le récipient. Ceci est favorable aux semences des Mimosaceae: *Leucaena leucocephala*, *Albizia spp*, etc. Ce sont des graines dont le tégument est induré et presque imperméable à l'eau.

b. Traitement à l'eau froide. On plonge les semences durant toute la nuit sous eau. Le matin, on les sèche au soleil avant de les semer. Ceci concerne les semences de : *Calliandra callothyrsus*, *Grévillea robusta*, *Callitris calcarata*, *Moringa oléifera*...

c. Stratification des graines dans le sable ou la compostière. Cette technique est utilisée pour les graines dont l'embryon est englouti dans une grande couche d'huile. L'opération consiste à déposer les graines sur un compost chaud ou une couche de sable, puis recouvrir d'une légère couche de terre ou de sable. On arrose régulièrement pendant 15-20 jours avant de semer en germinoir. Aussi, on peut plonger les graines de *Maesopsis eminii* ou *Podocarpus usambarensis/millanjanus* dans l'eau pendant 15 jours avant le semis. Le trempage dans l'eau permet de ramollir la coque dure.

Avant de semer, étaler les graines sur un sac et les exposer au soleil avant de procéder au semis direct.

6.1.3. Choix du site d'implantation d'une pépinière

Le choix du site d'une pépinière doit suivre les critères techniques et économiques suivants:

- (i) Etre proche d'un point d'eau afin de faciliter les travaux d'arrosage ; situé non loin des terrains à planter ; l'on doit s'assurer que la source ne tarisse pas en saison sèche ;
- (ii) Etre aéré et moins ombragé, facilement accessible et d'une superficie suffisante par rapport aux plants à produire;
- (iii) Le terrain doit être riche avec un sol profond, un terrain plat pour ne pas demander beaucoup des moyens pour l'aménagement et le coffrage des plates -bandes;
- (iv) Le terrain doit être bien drainé; ne pas contenir trop d'eau, ce qui favorise les attaques des maladies fongiques ;
- (v) Le terrain doit être sécurisé afin d'éviter la destruction des plantules par les bêtes ; à l'abri des vents, dans un endroit bien exposé au soleil ;
- (vi) La pépinière doit être orientée dans le sens opposé au lever et coucher du soleil en vue d'éviter les tropismes des plantules.

6.2. Implantation proprement dite d'une pépinière

6.2.1. Aménagement et semis en germoirs

Le germoir constitue l'espace réduit par rapport à l'ensemble de la pépinière proprement dite, un emplacement où est assuré le développement optimal des semences semées pour donner de jeunes plants servant à la plantation. Cet emplacement est aménagé de manière à répondre aux conditions maximales d'aération, d'humidité et de richesse en nutriments afin d'assurer une bonne croissance des plantules. Le germoir est constitué d'une bande de terre plate légèrement surélevée, avec une largeur de 1,20 à 1,50 m et une longueur variable selon le besoin. Le nombre de germoirs varie en fonction des prévisions de la production en plantules.

Le pépiniériste devra procéder au mélange de bonne terre, de sable et d'humus dans le souci d'améliorer le substrat du germoir dans les proportions de 4 unités, 2 unités et une unité.

Le facteur le plus important pour une bonne germination est l'humidité constante autour de la graine. Pour les garder fraîches, les graines peuvent être couvertes avec du sol tamisé, du sable. Un matériel léger rend les racines tendres et permet aux pousses d'émerger sans être gênées. Le substrat doit être mouillé, mais pas trempé ; l'eau en excès doit être drainée.

Une bonne pratique de pépinière est de contrôler avec précaution la lumière, l'eau et les conditions d'ombrage pendant la croissance initiale des plants. L'ombrage aide à garder l'humidité et éviter la brûlure des nouvelles feuilles.

6.2.2. Semis direct

Le pépiniériste peut opter pour faire le semis direct dans les sachets, en ce moment le repiquage n'existe pas. Dans les sachets (semis direct) on sème 2 graines sans ajouter aucun fertilisant. On laisse les jeunes plants grandir jusqu'à 20 à 30 cm de hauteur et puis on les replante en champ.

Encadré 6.1 : Bonnes pratiques de pépinière pour le semis direct

Utiliser la graine fraîche et mûre ;
 Traiter au préalable la graine si nécessaire pour accélérer la germination ;
 Préparer les conteneurs et ombrager les à l'avance ;
 Mélanger la petite graine avec du sable ou des balles de riz ou utilisez une bouteille avec une fermeture percée de trous pour rendre sa dispersion plus facile ;
 Tester la viabilité de la graine avant de semer. Si moins de 70 % de graines germent, semer plus d'une graine par sac.
 Eliminer les plants en excès dans chaque pot.

6.2.3. Aménagement des plate-bandes et confection d'ombrières

Pour permettre de circuler en dessous des ombrières, leurs supports auront au moins 1,20 mètres de hauteur avec des traverses permettant d'étaler des feuilles ou autres herbes destinées à créer l'ombrage.



Figure 129 : Pépinières d'Eucalyptus et de Grevillea couvertes d'ombrières
 (photos réalisées par Astère BARARWANDIKA)

L'ombrière doit laisser passer un peu de lumière solaire nécessaire pour la photosynthèse (fig.129). Trop d'ombrage laisse les plantules filer par phototropisme. Les ombrières protègent les jeunes plantules contre le soleil (fig.129). Ce dernier provoque une grande évaporation de l'eau du sol et occasionne le flétrissement des plantules ou des plants en pépinière.

Encadré 6.2 : Bonnes et mauvaises pratiques de pépinière

Bonnes pratiques de pépinière :

- écimer les branches des arbres d'ombrage naturel ;
- réparer et remplacer le matériel d'ombrage à temps pour éviter des dommages aux plants;
- contrôler ensemble les quantités d'ombrage et d'eau ;
- ajouter de l'ombrage sur les côtés du lit ou laisser la toile d'ombrage pendre si le soleil atteint directement les plants la plupart du temps dans la journée ;
- enlever progressivement l'ombrage lorsque les plants grandissent ;
- observer comment les plants réagissent à l'enlèvement de l'ombre et ajuster votre traitement si nécessaire.

Mauvaises pratiques de pépinière, néanmoins courantes :

- garder les plants à l'ombre en pépinière pendant toute la production dans la pépinière ;
- mettre trop d'ombrage, les plants grandiront plus lentement et seront plus sensibles aux maladies ;
- alignement des plants contre le passage du soleil ;
- enlèvement très rapide de l'ombre et brûlage des plants.

6.2.4. Remplissage et rangement des sachets



*Figure 130 : Sachets remplis de terre avant leur rangement sur les plates-bandes
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)*

Le repiquage des plantules se fera dans des sachets préalablement remplis avec un bon mélange de terre et du compost (fig.130), un mélange compacté et bien arrosé avant le repiquage afin que la terre soit bien humide. Les plantules seront repiquées dans les sachets remplis de terre rangés sur des plates-bandes dont les dimensions varient de 1,20 m sur 6 à 12 m suivant les besoins. Les sachets remplis doivent être rangés en ordre, verticalement et en lignes sur des aires rectangulaires, sans s'appuyer les uns contre les autres.

6.2.5. Repiquage

A l'aide d'un bâton ou d'un doigt, on fait un trou de 5 cm de profondeur au centre du sachet. Le repiquage consiste à insérer les racines dans le trou ouvert dans le sachet et de placer la plantule bien droite et refermer en appuyant légèrement la terre à côté.

Quelques heures avant la sortie des plantules, le pépiniériste doit arroser abondamment le germoir. L'extraction des plantules à repiquer est délicate, elle se fait à l'aide d'une lame de couteau ou d'un autre outil adapté. Si les feuilles sont nombreuses, leur nombre sera réduit de bas vers le haut ainsi les pertes excessives en eau seront-elles réduites.

6.2.6. Gardiennage et entretien de la pépinière



*Figure 131 : Sarclage dans une pépinière
(photo réalisée par Salvator NDABIORORERE)*

La pépinière doit être gardée faute de quoi des pertes considérables peuvent être enregistrées jusqu'à la destruction complète de la pépinière. Les travaux d'entretien dans un germoir et dans une pépinière se limitent au sarclage, à l'entretien de l'ombrière, à l'arrosage et au traitement phytosanitaire en cas d'attaque des maladies ou d'insectes. Chaque matin et soir, il faudra arroser avec de l'eau douce. Le sarclage (fig.131) doit intervenir à temps car exécuté avec retard, il occasionne des pertes des plantules et de temps.

Encadré 6.3 : Bonnes et mauvaises pratiques de repiquage

Bonnes pratiques de repiquage :

- jeter toutes les plants qui paraissent malades ou déformés ;
- transplanter quand la racine pivotante surgit ou quand les plants sont encore petits (5cm), avant que les racines secondaires ne soient formées ;
- arroser bien les sachets, une nuit avant le repiquage, pour que l'eau puisse entrer au fond de la planche de semis ;
- s'assurer que l'endroit où les plantules seront plantées est bien ombragé avant de commencer le repiquage ;
- arroser les plants pendant 24 heures avant le repiquage et une heure après ;
- les jours trop ensoleillés, repiquer tôt le matin ou tard dans l'après-midi ;
- utiliser une pelle ou un bâton pour alléger légèrement le sol autour des plantules,
- enlever les plants en saisissant les cotylédons ou les feuilles inférieures – ne pas tirer la tige ;
- mettre les plants dans l'eau immédiatement après le retrait de la planche de germination ;
- préparer les trous de plantation avec un bâton et s'assurer qu'ils sont suffisamment larges et profonds ;
- couper les racines longues et très ramifiées pour s'assurer qu'elles se dirigent vers le bas ;
- tirer doucement et verticalement le plant après l'avoir mis dans le trou, pour rendre les racines droites ;
- tasser le sol contre les racines, en commençant par le fond du trou ;
- arroser les plants immédiatement après le repiquage et, de nouveau, quand ils fanent.

Mauvaises pratiques de repiquage, néanmoins courantes :

- attendre jusqu'à ce que les plants soient grands et avec de longues racines ;
- repiquer les plants dans un sol sec et alors les arroser ;
- faire un ombrage après repiquage ;
- repiquer sous un soleil direct et chaud ;
- transplanter les plants abîmés ;
- enlever les plants en les saisissant par leurs tiges, car ceci peut endommager de façon permanente l'écoulement d'eau ;
- porter les plants dans votre main ou sur un bac sans papier ;
- permettre aux racines de se courber vers le haut en les insérant dans le trou ;
- laisser des poches d'air autour des racines – les plants mourront.

Encadré 6.4 : Bonnes et mauvaises pratiques d'entretien

Bonnes pratiques de pépinière :

- arroser tôt le matin ou tard l'après midi ;
- arroser lentement et vérifier que l'eau pénètre au fond du conteneur ;
- bien arroser le jour précédent le transport et la plantation ;

Mauvaises pratiques de pépinière, néanmoins courantes :

- arrosage au milieu du jour.

Tous ces travaux doivent respecter un calendrier annuel tel que présenté sous forme de planning des activités dans le tableau 14.

Tableau 14 : Calendrier annuel de planning des activités

Activités	Mois											
	mai	juin	juillet	août	sept	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	ma	av
Aménagement de germoirs	---											
Construction de plates. bandes	---	---	---									
Confection des ombrières			---	---								
Semis en germoir		---										
Entretien germoir			---	---								
Remplissage des sachets			---	---								
Repiquage en sachets					---	---						
Gardiennage et entretien	---	---			---	---	---	---	---	---		

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

Agence Béninoise pour l'Environnement, 1998 : Guide pratique de conduite des pépinières villageoises au Bénin. Cotonou.

BALAGIZI Innocent et al. 2010: Module de formation des pépiniéristes sur la production des plants pour le reboisement du Kivu, RDC.

De Ligne A. et al., 1987: Synthèse des recherches forestières effectuées au Burundi. Publications agricoles n.12

DIALLO M. S., 2010 : Comment conduire des pépinières forestières?

KANYAGE Marie Assumpta : Notes de formation sur la récolte des semences forestières.

HOSTE, H., 1996 : L'agroforesterie des régions d'altitude au Burundi. Bruxelles.

ICRAF, 2006 : Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière. Directives pratiques pour les pépinières communautaires.



CHAPITRE 7: AMÉNAGEMENT ET GESTION DURABLE DES FORÊTS



Les ressources forestières du Burundi sont constituées des forêts naturelles et des plantations artificielles d'Eucalyptus sp. , de Pinus sp, de Callitris...qui sont des plantations domaniales destinées à une exploitation commerciale et d'autres à la protection des sommets de montagnes dénudés. Il existe aussi des parcelles boisées familiales qui fournissent de bois de feu, de bois d'œuvre et autres services.

7.1. Mise en place des plants

Les premières opérations consistent au traçage et à l'entretien des pistes d'accès de 5 à 6 m de largeur, à la délimitation du terrain à reboiser, au débroussaillement si besoin il y a et au traçage des pare-feux de 3 à 5 m de largeur. Les opérations de plantation commencent par : (i) le piquetage, suivant les courbes de niveau, du terrain pour baliser la superficie et les points de trouaison, (ii) la trouaison et (iii) du rebouchage des trous. Au cours du creusage, il faut séparer la terre de la partie supérieure avec celle d'en dessous. Le rebouchage se fait en mettant d'abord la terre de surface en bas et la terre des horizons profonds en haut 2 à 3 semaines avant la plantation. Cela permet aux racines de profiter rapidement de la terre de bonne qualité. Les trous sont de dimensions de 40*40*40 cm³.

Avant leur transport pour la plantation, les plants doivent être abondamment arrosés. Le transport se fait en évitant de superposer les plants. Les plants sont déposés au site de plantation et à l'ombre et arrosés régulièrement jusqu'à la mise en terre. Pendant le transport les soins suivants doivent être assurés : (i) éviter de briser les racines, (ii) éviter le transport sous le soleil, (iii) garder le terreau du sachet autour des racines de la plantule.

La plantation proprement dite se fait de novembre à mars, période pluvieuse. Il faut enlever d'abord le sachet en plastic, placer le plant au milieu du trou et reboucher correctement le trou en évitant de laisser les zones de stagnation des eaux pluviales.

7.2. Soins cultureaux

Du point de vue écologique, les soins cultureaux cherchent à accélérer et diriger les processus qui assurent l'existence, l'organisation et le fonctionnement du peuplement forestier dans son ensemble. L'application des soins cultureaux donne des modifications importantes dans le sol et l'atmosphère. Du point de vue économique, l'application des soins cultureaux génèrent les produits commercialisables qui auraient péri par élimination naturelle. Ils ont un double but : maintenir, améliorer et même rétablir le potentiel de production du sol et préparer son rajeunissement et le conduire à sa destination économique et ses utilités spéciales.

Les soins relatifs au sol concernent les mesures d'amélioration avant le boisement, les pratiques conservatoires de la fertilité, la fixation des terrains instables... Ceux relatifs au peuplement concernent les diverses opérations qui se succèdent logiquement dans le temps avec comme

objectif commun : **la sélection.** La sélection est d'abord massale par élimination des espèces indésirables. Elle devient ensuite individuelle et visera le traitement d'élite.

a. Les soins d'une plantation

a₁. Le regarnissage. C'est un travail nécessaire pour la constitution du massif sur toute la surface dans un bref délai sinon la végétation spontanée s'installe dans les espaces nus et cette partie du terrain sera improductif. L'opération consiste à remplacer les plants morts après la plantation. Si le taux de reprise est d'environ 75%, le regarnissage n'est pas nécessaire.

a₂. Le recépage. Il consiste à couper les tiges blessées à 1 ou 2 cm au-dessous du sol pour favoriser la croissance d'une nouvelle tige. Il s'applique généralement aux feuillés.

a₃. Le dépressage. Il consiste à enlever les sujets surabondants, malades, tarés ou malformés.

a₄. Le dégagement. Il consiste à favoriser le développement des jeunes plants au détriment de la végétation concurrentielle en leur donnant l'espace vital qu'ils réclament et l'accès à la lumière. Son intensité dépend du caractère héliophile ou non de l'essence.

a₅. Le nettoiement. Il est réservé au peuplement planté en massif. Il consiste à éliminer une ou plusieurs fois et sans rompre les non-valeurs de l'étage dominant (arbres déformés ou encombrant) et dans les autres étages les sujets morts, tarés ainsi que les sujets d'essences indésirables.

a₆. L'élagage. Il peut être naturel ou artificiel. L'élagage artificiel consiste à l'élimination des branches dans la cime d'un arbre dont le fût n'est pas formé de façon satisfaisante avec pour objectif d'allonger le fût et augmenter la proportion de bois d'œuvre et éviter la formation des nœuds. Chez les résineux, il permet en plus la circulation pour l'exécution des soins culturaux dans les peuplements. L'ablation de 25 à 30% de la proportion verte de la couronne est en général sans danger.

Chez les résineux, le 1^{er} élagage se fait sur une hauteur de 2 m sur toutes les tiges vivantes à ce moment. Chez le Cupressus lusitanica, il faut procéder à des élagages précoces, puis, à partir de 7 ans, à des éclaircies-élagages à courts intervalles et ce jusqu'à 20 ans. Chez les pins, pour éviter des nœuds, 2 élagages doivent être pratiqués entre 5 et 15 ans pour dégager 6 à 7 m de fût.

b. L'éclaircie. C'est une opération qui consiste à pratiquer une sélection individuelle dans les sujets de valeur de l'étage dominant au profit des élites. Cet étage est constitué pour la majeure partie de sujets de valeur et la concurrence entre eux continue. Trois opérations sont faites : continuer l'assainissement du peuplement en éliminant les non valeurs qui existeraient encore dans l'étage supérieure ; effectuer dans les étages subordonnés la récolte des individus dont l'élimination spontanée est prochaine tant qu'ils sont encore sains et économiquement utilisables et pratiquer la sélection individuelle dans les sujets de valeur de l'étage dominant au profit des élites. En fonction du gestionnaire, on peut opter pour **l'éclaircie par le haut, l'éclaircie par le bas et l'éclaircie mixte, l'éclaircie de mise en place et de mise en lumière.**

b₁. L'éclaircie par le haut. Elle travaille dans l'étage dominant et laisse intact les étages subordonnés où se fait néanmoins la récolte. On continue l'assainissement dans la strate inférieure

par l'enlèvement des tarés, des malades, les mal venants, des essences indésirables ou envahissantes. Elle se fait au bénéfice des tiges d'élites dont le triage avec le temps sera de plus en plus sévère. Elle aboutira à répartir la production sur un nombre de plus en plus réduit d'individus, de forme de plus en plus parfaite.

b₂. L'éclaircie par le bas. On fait la récolte de tous les sujets nettement dominés et des intermédiaires déficients sans attendre le dépérissement et la perte de valeur. Dans l'étage dominant, on pratique l'assainissement par l'enlèvement des malformés, des tarés, des malades et des porteurs d'insectes ou de champignons, des tiges dépérissantes ou mortes, des représentants des essences que l'on veut progressivement éliminer ou restreindre.

b₃. L'éclaircie mixte. A la fois une éclaircie par le haut qui sélectionne les élites et poursuit l'assainissement et par le bas où la récolte est plus intense et plus rapide que dans les interventions par le haut. On vise à ne laisser que les seules tiges utiles.

b₄. L'éclaircie de mise en place et de mise en lumière qui isole les élites en interrompant le massif pour accroître au maximum le diamètre et produire de gros bois économiquement intéressants et de raccourcir ainsi la révolution.

Chez les pins, les éclaircies se feront à un intervalle de 6 à 7 ans ; la première entre 5 et 10 ans peut enlever jusqu'à 50% du volume sur pied ; le peuplement final devra avoir 200 à 350 pieds par ha. Chez *Cupressus lusitanica*, elles conduisent à une densité de 250 pieds/ha.

Les autres travaux culturaux concernent l'émondage (enlèvement des gourmands) et la coupe d'hygiène.

7.3. Aménagement forestier

7.3.1. Inventaire

Pour répondre au souci de gestion des peuplements forestiers, les gestionnaires se voient obligés de mettre sur pied des plans d'aménagement comme outil technique préalable. Pour cela, un travail préliminaire s'impose à savoir l'inventaire forestier permettant de connaître la situation de ces forêts sous leurs différents aspects.

L'inventaire forestier permettra donc de : connaître les essences (la composition de la forêt), la superficie afin d'évaluer les potentialités de production en déterminant le volume réalisable en différents produits forestiers (les sciages, le bois de feu, les poteaux électriques, les perches, etc.) ; fournir les données actualisées aux aménagistes qui vont décider du rythme des interventions sylvicoles pour assurer une récolte soutenue des produits forestiers et d'assurer une régénération naturelle adéquate ; fournir des données de base pour la réalisation des plans d'aménagement.

La «démarche aménagement» comprend:

(i) des analyses préalables du milieu naturel et humain (les besoins en matière économique, sociale et environnementale des utilisateurs), analyse des peuplements, synthèse et choix d'aménagement, programmation des actions;

- (ii) une partie technique qui rassemble des renseignements généraux sur la forêt, une évaluation de la gestion passée, la présentation des objectifs de gestion durable ainsi que les moyens à mettre en œuvre pour les atteindre, la programmation des coupes et des travaux sylvicoles;
- (iii) une partie économique qui comprend notamment le bilan financier prévisionnel des programmes d'action envisagés.

La connaissance très précise des caractéristiques propres à chaque forêt permet d'orienter sa destination à moyen et à long terme, dans le respect de la politique forestière et des principes de la gestion durable. Le détail est donné en annexe 13.

7.3.2. Plan d'aménagement

La rédaction du plan d'aménagement constitue une phase décisionnelle à plusieurs étapes:

- (i) le choix des objectifs prioritaires d'aménagement ;
- (ii) le découpage géographique de la forêt en fonction des usages : production, mais aussi conservation ;
- (iii) la détermination des paramètres d'aménagement à partir de la connaissance du peuplement fournie par l'inventaire d'aménagement : rotation, diamètres minimaux d'exploitation, taux de reconstitution ;
- (iv) la planification opérationnelle (ordre de passage en coupe, mesures prévues pour garantir les droits des populations riveraines et la protection de l'environnement).

7.3.3. Régimes et traitements

7.3.3.1. La futaie

Le peuplement est une futaie et est soumis au régime de la futaie lorsqu'il est régénéré des graines de semences ou plants issus de graines. Le régime futaie a pour vocation la délivrance et la fabrication de bois d'œuvre de haute qualité technologique. Il en résulte une série de soins culturaux destinés à assurer la croissance des arbres depuis leur naissance jusqu'à leur exploitation et à leur conférer les dimensions et les qualités décidées par l'aménagement réglant la gestion de la plantation forestière ou de la forêt.

La régénération naturelle se produit, sous le couvert de porte-graines, par ensemencement latéral d'un espace plus ou moins voisin des semenciers sur un terrain nu mais protégé latéralement.

La régénération par voie artificielle se fait, dans un sous-étage d'un peuplement supérieur convenablement préparé, après exploitation dans des surfaces bénéficiant d'une protection latérale contiguës à des peuplements laissés sur pied, sur un terrain nu sans abri.

Méthodes de régénération en futaie équienne. La futaie équienne se régénère par la méthode de coupe unique ou par la méthode de coupe progressive.

a. Méthode de coupe unique. Elle consiste à l'abattage total des arbres en une fois au terme d'exploitabilité fixé. La coupe porte sur une étendue ou sur un volume déterminé. Le terrain dénudé est ensuite repeuplé généralement par la voie artificielle. La surface exploitée en une année (fixée à l'avance par l'aménagement) a une grandeur qui s'établit en fonction de la surface de l'unité de production et de la rotation.

La régénération des surfaces exploitées par coupe unique a lieu généralement par voie artificielle, le plus vite possible après les coupes. Cette régénération passe d'abord par une opération de choix des essences et puis du mode de peuplement. La plantation se fait à la fin de la saison sèche.

Avantages de la coupe unique : (i) exploitation d'un matériel en grande quantité sur des petites surfaces ; (ii) simplicité de l'opération.

Inconvénients de la coupe unique : (i) la dénudation entière du sol ; (ii) c'est une méthode qui nécessite la production préalable des plants en pépinière ; (iii) c'est un jeu de dégagement par le vent (parce qu'on coupe brusquement le peuplement voisin).

b. Méthodes de coupe sélective. Le peuplement étant arrivé au terme d'exploitabilité n'est plus éliminé en une fois mais par une succession de coupes à finalité différente. Le but est d'assurer la régénération naturelle sous le couvert de semenciers enlevé progressivement.

Les techniques de traitement. Les coupes sont appliquées dans le peuplement à l'âge de se régénérer avec un double rôle : récolter le bois et assurer l'installation du semis. Les coupes sont de trois (3) catégories : la coupe d'ensemencement, la coupe de mise en lumière et la coupe définitive.

b₁. La coupe d'ensemencement. Elle a pour but de provoquer ou stimuler une abondante production de graines, de permettre l'ensemencement immédiat et complet des parcelles à régénérer, de mettre le sol à l'état le plus propice au semis et au développement de jeunes plantules. C'est une coupe qui agit à la fois dans l'étage dominant, dans l'étage dominé et au niveau du sol.

b₂. La coupe de mise en lumière. La coupe d'ensemencement a permis la naissance des semis et a assuré leur existence pour un certain temps. Leurs besoins s'accroissent au fur du temps. Il est nécessaire d'intervenir pour faire face à leurs exigences accrues tout en diminuant la concurrence des semenciers, qui s'exerce par la cime et les racines, en enlevant les arbres dès qu'ils ne sont plus nécessaires comme abris. L'élagage des branches basses est parfois nécessaire pour permettre de maintenir certains sujets quelques temps encore tout en réduisant leur couvert. L'intensité, la rotation et le nombre de coupes sont fonction de la rapidité du développement de la régénération, du tempérament de l'espèce et du climat.

b₃. Coupe définitive. Elle exploite ce qui reste de l'ancienne futaie. Le matériel enlevé varie avec l'intensité des coupes précédentes.

Avantages de la méthode sélective: (i) le sol n'est jamais mis à nu si ce n'est qu'en cas d'échec de l'ensemencement ; (ii) il y a un nombre très élevé de semis à l'ha. Cela veut dire qu'il y a une possibilité de sélection. Ce système est mieux indiqué que la coupe rase sur des sols accidentés où la permanence d'arbre s'impose pour défendre le sol contre l'érosion; (iii) il y a possibilité de produire du bois de grosse dimension, très apprécié et de grande valeur car les sujets bien entretenus après la coupe d'ensemencement et la coupe secondaire croissent convenablement en hauteur et en diamètre.

Inconvénients de la méthode sélective : (i) les coupes progressives causent des dommages au semis lors de l'exploitation ; (ii) le succès de régénération dépend des précipitations ; (iii) elles ne conviennent pas pour les essences de lumière.

c. Méthode de coupe en lisière et en coulisse. Pour réduire l'inconvénient de la coupe rase sur une grande surface et pour utiliser la capacité de régénération par voie naturelle, on peut s'imaginer **la coupe rase par bande**. L'exploitation se fait non sur toute la parcelle entière mais par bande exploitée et régénérée progressivement pendant des exercices différents. Les coupes sont disposées en bandes ou rectangles allongés et étroits pour que l'abri latéral soit satisfaisant. On les fait progresser à l'encontre des vents dangereux dominants.

On distingue deux types d'exploitation : la coupe en lisière et la coupe en coulisse.

c₁. La coupe en lisière. Les surfaces exploitées sont disposées à partir d'un côté protégé des vents dangereux et progressent à l'encontre de ceux-ci par coupe exploitée successivement suivant une cotation.

c₂. La coupe en coulisse. Les exploitations entament le peuplement en plusieurs endroits et en plusieurs suites de bandes ou coulisses progressivement élargies, alternant avec des bandes intercalaires non exploitées.

On favorise la régénération naturelle puisque des semenciers sont présents de part et d'autre de la surface mise à blanc.

7.3.3.2. Le taillis simple

Dans le taillis simple, le peuplement formé de végétaux susceptibles de rejeter de souches ou de racines est exploitée à blanc étoc sans réserve d'aucune tige sur toute l'étendue continue. Spontanément il se forme après l'exploitation des rejets sur les souches ou des drageons sur les racines. Les feuilllis se régénèrent par voie végétative, de même que certains résineux. Les drageons sont l'apanage de quelques espèces. Pendant les premières années de leur vie, les rejets et les drageons s'accroissent plus vigoureusement que les pousses nées d'une semence.

Deux éléments sont à considérer pour déterminer la révolution : la régénération et la nature des produits finaux. Pour la régénération, elle est végétative et il faut considérer les limites d'âge d'exploitation en dehors desquelles le rajeunissement des rejets n'est plus satisfaisant avec le risque supplémentaire de nombreuses mortalités parmi les souches. Pour la nature des produits, on exploite le taillis à l'âge où il fournit le maximum des produits les plus avantageux. La révolution est courte pour le bois de feu.

Exploitation. L'exploitation des arbres est réalisée par une coupe rase. Les coupes avancent de proche en proche à l'encontre des vents dominants afin de réduire le dessèchement des sols dénudés. Les coupes se font en saison sèche dans le but de favoriser une cicatrisation des souches. Il faut éviter la déchirure et l'éclatement de la souche. La coupe est faite avec une hache très bien aiguisée entre 10-20 cm et la surface de la coupe doit être penchée sur un angle de 20 degrés pour permettre le ruissellement de l'eau et empêcher la pourriture.

La conduite des plantations d'Eucalyptus est surtout basée sur la production de quantité plutôt que de qualité de bois. Le taillis simple était et est le régime le plus communément adopté. Le régime du taillis convient le mieux pour la production de matière ligneuse car la rapidité de croissance des rejets permet des exploitations rapprochées. Il n'exige aucune connaissance technique, mais présente les inconvénients inhérents à la coupe à blanc etoc : perte de litière et d'éléments minéraux, destruction de l'humus, durcissement du sol, envahissement par les plantes herbacées. Après la coupe, les rejets se forment et la cépée s'éclaircit d'elle-même. Un dépressage peut avoir lieu au bout d'un an et demi et permet de conserver 3 brins (CRAF, 86).

Avantages du taillis simple. Par comparaison à la futaie, le taillis simple a les avantages suivants : (i) il est très simple pour l'exploitation ; (ii) une régénération plus sûre et moins coûteuse ; (iii) un accroissement rapide dans le jeune âge ; (iv) une révolution très courte et donc revenu plus rapide.

Inconvénients du taillis simple : (i) le régime épouse le sol surtout avec les rotations courtes ; (ii) il provoque la dénudation périodique du sol avec toutes les conséquences sur la production et la protection des sols.

Remarque : Le régime de taillis ne doit être utilisé que là où il y a un besoin d'une forte production de bois de petites dimensions.

7.3.3.3. Le taillis sous futaie

Le taillis sous futaie est le type de peuplement issu automatiquement de la première éclaircie. Il consiste en une mise à blanc avec maintien d'une réserve plus ou moins importante suivant l'objectif fixé. Il est d'une extrême souplesse d'application. La réserve comprend donc des arbres d'âge divers dont les cimes restent espacés jusqu'à la fin de la révolution pour permettre au taillis

de vivre et de se rajeunir. Il se conduit ainsi : (i) à la première éclaircie : coupe à blanc avec maintien d'une réserve déterminée à l'avance ; (ii) à la deuxième éclaircie : coupe rase du taillis et éclaircie dans la réserve si nécessaire ; (iii) ainsi de suite jusqu'à obtention d'une réserve d'une cinquantaine d'arbres par ha maintenus jusqu'à maturité.

Le taillis sous futaie est très intéressant pour l'Eucalyptus. Le taillis produit le bois de chauffage et le petit bois de construction, tandis que la futaie produit des poteaux électriques et du bois d'œuvre sciable.

Régénération. Le taillis est exploité périodiquement et se régénère comme en taillis simple. La futaie se rajeunit en principe par les semences que disséminent les arbres fertiles dans la réserve. A chaque coupe et avant l'exploitation du taillis, les graines des semences ou des rejets de jeunes souches sont réservés et passent à la futaie. Quelques-uns des principaux régimes de récolte et de régénération sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Quelques-uns des principaux régimes de récolte et de régénération

	Régénération naturelle	Régénération artificielle
Coupe à blanc	Coupe avec protection de la régénération et des sols ; Coupe avec protection des petites tiges marchandes ; Coupe à blanc de petites superficies et ensemencement naturel, notamment la coupe par bandes ; Coupe avec réserve de semenciers ou de groupes de semenciers (ne constitue pas à proprement parler un régime de coupe à blanc) ; Ensemencement à partir des cônes dans les rémanents ; Drageons ou rejets.	Plantation ; Regarnissage.
Coupe partielle	Une ou plusieurs éclaircies commerciales : éclaircie par le bas ; éclaircie par le haut ; futaie à deux étages ; Coupe progressive Coupe de régénération	Plantation sous couverture ; Ensemencement sous couverture ; Éclaircie-enrichissement.

Avantages du taillis sous futaie: (i) son application est simple ; (ii) il y a une production élevée en bois de grande et petite dimensions ; (iii) il assure une bonne protection du sol.

Inconvénients du taillis sous futaie: (i) c'est un régime qui épuise rapidement le sol ; (ii) il donne un pourcentage peu élevé de bois d'œuvre ; (iii) l'exploitation est plus difficile qu'en taillis simple.

Chez les Eucalyptus, le taillis simple est facile à appliquer, il répond aux exigences immédiates des populations rurales et petits propriétaires, mais ne tient pas compte du marché futur en bois d'œuvre car il ne produit que les rondins et du bois de chauffage. Le taillis sous futaie à densité de réserve faible (100 à 200 tiges par ha) permet d'atteindre des dimensions d'exploitabilité durant la

révolution tout en maintenant un accroissement élevé de la réserve ; de plus le taillis facilite l'élagage naturel. Le taillis sous futaie à forte densité de réserve est la forme forestière la plus complète avec un étage dominant, co-dominant et dominé. La production du taillis est secondaire, la réserve produit des poteaux, du bois de mine, du gros bois pour cuisson de briques.

7.3.4. Exploitation forestière

a. L'abattage.

a₁. L'âge d'abattage est considéré comme très important dans la production du bois d'œuvre et est variable suivant les types d'essences et de sol. D'une manière générale, l'abattage s'effectue au moment où l'arbre a atteint son volume maximum.

Les feuillus. Les besoins en bois appellent à un régime généralisé du taillis simple pour l'Eucalyptus. La première rotation est située entre 7 et 10 ans. Le taillis est ensuite exploité tous les 5 à 10 ans. Pour la production du bois de construction, l'âge d'exploitation est situé entre 15 à 20 ans et le bois d'œuvre est exploité entre 25 à 30 ans. Pour le Grevillea robusta, l'âge d'exploitation maximale est 30 ans. Pour Acacia mearnsii, les boisements sont exploités vers 6 ans sans éclaircie pour la production de bois de feu ou du charbon de bois. Pour la production de bois de mine ou poteaux (s'il n'y a pas présence de meilleure espèce), l'exploitation se fera vers 10 ans.

Les résineux. L'exploitation se fera entre 18 et 25 ans pour les pins. Le Callitris est d'une longévité de 100 ans, mais il n'atteint pourtant jamais de grandes dimensions (de 12 à 20 m de hauteur dans de bonnes conditions). Son système racinaire pivotant étant très développé, il est utilisé pour la protection des sols dégradés, des crêtes et versants à sols squelettiques ou fortement caillouteux. L'âge d'exploitation pour le Cupressus lusitanica se situe entre 18-22 ans.

a₂. La période. Elle correspond au moment où l'arbre est moins saturé parce qu'il conserve l'avantage de ne pas sécher rapidement (si non il y a risque de retrait). Toutefois cette condition n'est pas impérative car on doit tenir compte de la situation géographique, des autres besoins économiques et de la disponibilité de la main-d'œuvre.

a₃. Techniques d'abattage. C'est l'un des travaux dangereux du forestier. C'est pourquoi il faut prendre les précautions de protection : casques, bottes, etc. Après avoir identifié l'arbre à abattre, il est conseillé de nettoyer ses alentours. Ensuite désigner la direction dans laquelle il faut le faire tomber. Il est préconisé l'abattage directionnel en diagonale par rapport au chemin de débardage afin de faciliter et de minimiser le passage de la machinerie en cours de débardage. Si c'est dans la forêt, il faut lui enlever le houppier. Pour un arbre isolé, il faut lui laisser le houppier qui lui servira d'amortisseur lors de la chute et cela lui évitera l'éclatement.

a4. Niveau de coupe. La hauteur à laquelle il faut couper l'arbre doit être de 20 cm pour celui qui rejette et au ras du sol pour celui qui ne rejette pas.

a5. Outil. L'abattage peut se faire à l'aide d'une hache, d'une scie à dents, d'une tronçonneuse ou scie électrique.

Quand on procède à une coupe, il faut : maintenir une lisière boisée d'une largeur de 10 ou 15 mètres (selon la pente) à partir du bord supérieur du cours d'eau, couper au maximum 50 %, éviter la coupe totale en tout temps et limiter le plus possible le déplacement de la machinerie forestière. Il est important de favoriser les coupes partielles, protéger la régénération et minimiser les perturbations du sol. S'il y a récolte de tiges, commencer la coupe par le haut de la pente pour terminer par le bas afin de perturber le moins possible le sol. Eviter de circuler dans les milieux forestiers humides avec tout type de véhicule motorisé. Il ne faut pas récolter d'arbres sur ces milieux. Cela pourrait provoquer un rehaussement de la nappe phréatique.

La coupe forestière peut avoir un impact visuel important en créant des zones jugées inesthétiques. Pour ne pas créer ces zones, il faut: éviter de créer des bordures de coupe rectilignes, harmoniser la forme des coupes avec celles qui dominent le paysage, et ce, en imitant le plus possible les formes des trouées naturelles. De plus, le reverdissement rapide des parterres de coupe est à favoriser.

Il faudra protéger les sommets. Les lignes de crête (sommets) sont visibles et constituent un point d'attrait. Il est donc essentiel de ne pas y effectuer de coupe totale et il faut conserver un écran visuel aux abords de la route. De plus, les débris de coupe sont disposés de façon à ce qu'ils ne soient pas visibles de la route.

b. Ebranchage. Il consiste à enlever les branches pour préparer les grumes au tronçonnage. L'ébranchage s'effectue parallèlement à l'axe de la tige et doit éviter le danger de blessures. La plus grande partie de l'ébranchage s'effectue à la hache mais les grandes branches peuvent être enlevées par la scie passe partout ou la scie à moteur. Les branches sont laissées sur le parterre et protègent la régénération, conservent l'humidité du sol, servent de nourriture et d'abri à la faune et minimisent les impacts visuels de la jetée ou de l'aire d'empilement.

c. Tronçonnage. Il consiste à couper l'arbre en grumes ou en billons qui se différencient par les dimensions. Il peut être effectué soit sur le lieu de la coupe soit sur le lieu du chargement. Pour les arbres de petites dimensions, l'outil pratique est la scie à cadre. Ceux de grandes dimensions sont coupés à la tronçonneuse. Le tronçonnage de ces arbres peut occasionner les problèmes suivants : les arbres sont difficiles à tourner, les gros arbres peuvent cacher un rocher pouvant endommager le matériel utilisé, les gros arbres sur pente peuvent glisser et blesser les bûcherons ; ceux derniers doivent se mettre en amont de la pente. Les déchets de l'opération sont laissés sur place.

d. L`écorçage. Cette opération est conseillée pour les arbres à bois d`œuvre. Il existe des outils appropriés en forme de pioche écorceuse. Pour les arbres ayant une grande humidité, l`écorçage ne doit pas être effectué sous risque d`attaque des insectes.

e. Le débardage. Le débardage est le transport de troncs ou de billes, de l`aire de coupe jusqu`à la bordure de route. Ce transport peut s`effectuer par traînage des tiges (débusqueuse) ou par transport de billes ou de troncs entiers (porteur ou véhicule avec remorque).

Lors de la réalisation d`une coupe forestière, les problèmes d`érosion surviendront le plus souvent dans les sentiers de débardage. En effet, les activités de débardage entraînent souvent la mise à nu du sol minéral et la formation d`ornières (tranchées remplies d`eau) en raison du passage de la machinerie ou du frottement des tiges lorsque celles-ci sont traînées par des débusqueuses.

Pour améliorer la qualité des travaux de débardage et réduire l`érosion des sols, il faut : ébrancher les arbres sur les sentiers de débardage (ces débris ligneux peuvent être éparpillés sur le sentier en vue de réduire le compactage et les dommages au sol et par conséquent, augmenter la capacité portante), choisir la méthode de débardage et la machinerie pour sortir le bois en fonction de la qualité et de l`abondance du sous-bois, des secteurs humides, des sols minces et limiter les déplacements des véhicules forestiers à un réseau de sentiers régulièrement espacés.

Les bonnes pratiques d`aménagement forestier doivent aussi atteindre les objectifs suivants :

Encadré 7.1 : Les objectifs à atteindre dans d`aménagement forestier

Maintenir ou améliorer la productivité des terrains forestiers ;
 Maintenir ou améliorer l`apport en éléments nutritifs ;
 Maintenir ou améliorer les conditions de température et d`humidité du sol ;
 Maintenir ou améliorer les niveaux et les taux de renouvellement normaux de la matière organique du sol ;
 Maintenir ou améliorer la structure, l`aération et le drainage du sol ;
 Maintenir ou améliorer les populations de micro-organismes et d`invertébrés du sol ;
 Minimiser les impacts sur la qualité de l`eau des cours d`eau ;
 Maintenir ou améliorer la santé, la vitalité et l`intégrité des écosystèmes et des paysages ;
 Maintenir ou améliorer la biodiversité à tous les niveaux – génétique, spécifique, éco systémique et les paysages ;
 Planifier l`emplacement des ponts et des ponceaux ;
 Installer les ponts et les ponceaux correctement ;
 Installer les fossés et les drains nécessaires ;
 Éviter de bloquer l`écoulement des eaux d`infiltration et des voies de drainage ;
 Prendre des précautions spéciales dans les zones riveraines et les terres humides ;
 Stabiliser les pentes et les rives des cours d`eau ;
 Tenir compte des aspects esthétiques ;
 Remettre en état les sites de routes et de jetées ;
 Prendre en compte l`état, l`âge et la stabilité au vent du peuplement ;
 Éviter de créer des conditions microclimatiques extrêmes ;
 Gérer les changements de composition et de structure de peuplement ;
 Choisir un régime sylvicole approprié.

f. Le chargement. Le chargement des petits bois s'effectue généralement à bras d'hommes, morceau par morceau. Le chargement peut aussi s'effectuer par machine.

7.4. Gestion des aires protégées

L'article 77 du code de l'environnement du Burundi stipule que les réserves naturelles ou des zones particulières dites réserves intégrales peuvent être créées à l'intérieur ou même en dehors des parcs naturels en vue d'y assurer :

- (i) la préservation d'espèces animales ou végétales et d'habitats en voie de disparition sur tout ou une partie du territoire national et présentant des qualités remarquables ;
- (ii) la reconstitution des espèces animales ou végétales ou de leurs habitats ;
- (iii) la conservation des jardins botaniques et arboretums constituant des réserves d'espèces végétales ;
- (iv) la préservation des biotopes et des formations géologiques, géomorphiques ou spéléologiques remarquables ;
- (v) des études scientifiques ou techniques indispensables au développement des connaissances humaines ;
- (vi) la préservation des sites présentant un intérêt particulier pour l'étude de l'évolution de la vie et des premières activités humaines.

7.4.1. Objectifs de gestion des aires protégées

Les objectifs de gestion des aires protégées ayant un statut légal sont définis par le décret n° 100/007 du 25 Janvier 2000. En plus des objectifs pour chaque aire protégée, ce décret stipule dans son article 25 que l'exploitation des terres autour des parcs et réserves n'est permise qu'au-delà de 1000 mètres des limites des aires protégées. Dans son article 26, le décret interdit la chasse, la pêche et la coupe de bois dans les limites des aires protégées. Toutefois, il stipule en outre que la population riveraine des aires protégées pourra être autorisée à opérer des extractions de certains produits ou autres ressources indispensables à leur vie.

Au départ la gestion a été caractérisée par une stratégie policière et coercitive, interdisant aux populations l'utilisation des ressources naturelles des aires protégées. Aujourd'hui, la gestion prend en compte l'intégration des partenaires, à commencer par les populations riveraines et les administrations locales. La gestion se base sur la nécessité absolue de conservation de ces sites naturels et de leurs ressources par la promotion de leur utilisation durable. L'aménagement des aires protégées porte sur la mise en place des infrastructures fonctionnelles pour assurer leur préservation dans leur intégrité et leur gestion.

Les principaux aménagements concernent notamment l'ouverture et l'entretien des pistes, la démarcation et matérialisation des limites, l'installation et l'entretien de pare-feux, la mise en place d'un réseau de communication, etc.

7.4.2. Pratiques dégradantes dans les aires protégées

La gestion efficace des aires protégées pose problème, ceci dépend de la volonté et de la capacité du Gouvernement à financer les coûts directs et indirects de leur gestion. Dans les pays densément peuplés, les zones protégées sont exposées à la dégradation liée à la l'exploitation forestière illégale, la collecte du combustible ligneux, le pâturage et le braconnage.

Au Burundi, plusieurs pratiques sont à l'origine de la dégradation des aires protégées suite à l'usage illégal des ressources forestières (BARARWANDIKA A. et NINDORERA D. 2008). Il s'agit principalement du défrichement cultural, du prélèvement incontrôlé des ressources biologiques, du surpâturage, des feux de brousse et de l'extension de l'habitat.

7.4.3. Stratégies de gérer de manière durable les aires protégées

Dans le souci de gérer de manière durable les aires protégées, des stratégies à mettre en œuvre sont notamment d'ordre institutionnel et technique.

Au niveau institutionnel, les stratégies suivantes sont à mettre en œuvre:

- (i) Amélioration de la surveillance, de la conservation communautaire, de la recherche, des techniques d'aménagement et de conduite des pépinières forestières et agro forestières ;
- (ii) Monitoring et promotion de l'éco-tourisme ;
- (iii) Augmentation des effectifs de gardes forestiers, les former et les équiper de moyens nécessaires tout en réorganisant le système de patrouille, en réhabilitant les postes de patrouille existants et en construisant des postes supplémentaires ;
- (iv) Valorisation du statut d'Officiers de Police Judiciaire des agents de l'OBPE tel que le prévoit la loi.

Au niveau technique, il faudrait adopter et mettre en œuvre les stratégies suivantes:

- (i) Développement des stratégies intégrées de surveillance et de protection ;
- (ii) Renforcement de l'approche participative dans la protection des écosystèmes contre les feux de brousse ;
- (iii) Démarcation et matérialisation des limites de toutes les aires protégées ;
- (iv) Redynamisation de la collaboration transfrontalière dans les activités de surveillance et conservation des écosystèmes transfrontaliers à l'instar de la Kibira-Nyungwe entre le Burundi et le Rwanda ;
- (v) Négociation auprès des bailleurs de fonds, des financements pour la gestion durable des aires protégées.

7.5. Les techniques d'amélioration des écosystèmes forestiers

De manière très simple, l'écosystème est une formation naturelle (écologique) constituée par un ensemble d'animaux et de végétaux et le milieu dans lequel ils vivent.

7.5.1. Ecosystèmes existants au Burundi

Selon la SNPA/DB, (2002) deux grands groupes d'écosystèmes existent au Burundi, il s'agit des écosystèmes terrestres et des écosystèmes aquatiques et semi-aquatiques. La diversité biologique comprend des espèces sauvages, des espèces cultivées et animales domestiquées.

Les espèces sauvages sont constituées de la flore vasculaire (2909 espèces réparties en 1046 genres et 195 familles), la flore non vasculaire (les algues, les champignons, les bactéries et les virus), la faune est riche et variée à cause de la diversité des biotopes (composée des vertébrés et des invertébrés).

Les espèces cultivées comprennent les cultures vivrières, fruitières et maraîchères. Les animaux domestiques comprennent les caprins, la volaille, les bovins, les ovins, les lapins et les porcins. Les espèces forestières et agro forestières sont principalement exotiques.

7.5.2. Biens et services des écosystèmes

L'Evaluation du Millénaire des Ecosystèmes (ONU, 2005) a classé les services des écosystèmes en quatre grands groupes présentés dans le tableau ci-dessous. Cette évaluation ajoute que, ces services pour durer, nécessitent des interventions ou des abstentions qui ont des coûts réels et des coûts d'opportunité de plus en plus importants au fur et à mesure que les ressources se dégradent.

Tableau 16 : Biens et services de l'écosystème forestier

Services d'approvisionnement <ul style="list-style-type: none"> • Alimentation, fibres et combustible • Ressources génétiques • Substances biochimiques • Eau douce 	Services culturels <ul style="list-style-type: none"> • Valeurs spirituelles et religieuses • Systèmes de connaissances • Education / inspiration • Loisirs et valeur esthétique
Services de régulation <ul style="list-style-type: none"> • Résistance à l'invasion • Herbivorisme • Pollinisation et dispersion des graines • Régulation du climat • Régulation de l'érosion • Purification de l'eau • Régulation des nuisibles et des maladies • Protection contre les catastrophes naturelles 	Services de soutien <ul style="list-style-type: none"> • Production primaire • Logement • Cycle nutritif • Formation et rétention des sols • Production d'oxygène atmosphérique • Cycle de l'eau

7.5.3. Bonnes pratiques pour l'amélioration des écosystèmes

La conservation de la biodiversité est l'un des grands enjeux de la GDT et de la protection des fonctions des écosystèmes. L'agro-biodiversité comprend les plantes, le bétail, les poissons domestiqués, les ressources animales et végétales sauvages ainsi que la biodiversité qui soutient les productions agricoles grâce au recyclage des nutriments, au contrôle des ravageurs et à la pollinisation. La promotion de la diversité génétique des plantes cultivées fait partie de leur stratégie d'adaptation au changement climatique.

Les bonnes pratiques de gestion durable des écosystèmes sont :

Les institutions et la gouvernance. Des institutions sont là pour s'occuper des problèmes liés à la dégradation des services fournis par les écosystèmes, mais sont confrontées à toute une série d'obstacles dans leur action. Celles-ci ne prennent pas en compte les menaces qu'implique cette dégradation, ni pour s'occuper de façon adéquate de la gestion des ressources en libre accès. Pour permettre la gestion effective des écosystèmes, une gouvernance institutionnelle et environnementale s'impose.

L'économie et les incitations. Les interventions économiques et financières permettent de réguler l'utilisation de biens et services offerts par les écosystèmes. Cependant, ces services ne sont pas tous échangés sur le marché, ce qui ne permet pas une distribution efficace et une utilisation durable. Aussi, les personnes affectées par le manque de ces services ne sont pas nécessairement celles qui profitent des actions conduisant à leur dégradation. Ainsi les coûts ne sont pas pris en compte dans les décisions relatives à la gestion. L'augmentation des taxes et les redevances d'utilisation sont des actions bénéfiques pour les écosystèmes.

La Restauration des Paysages forestiers (RPF). Trois principes qui caractérisent la RPF sont: (i) la restauration d'un ensemble équilibré et convenu des fonctions de la forêt ; (ii) La collaboration, la négociation et l'engagement actifs entre les parties prenantes ; (iii) Travailler à travers le paysage.

Les paiements pour les services environnementaux. Les paiements pour les services environnementaux (PSE) peuvent être définis comme des transactions volontaires selon lesquelles un service environnemental (ou l'utilisation des terres pour sécuriser ce service) est payé à un fournisseur, à la condition que le fournisseur assure la provision de ce service (Wunder, 2008).

L'accès et le partage équitable des avantages. Le troisième objectif de la Convention sur la diversité biologique concerne «le partage juste et équitable des ressources découlant de l'utilisation des ressources génétiques...».

Le rôle des communautés autochtones et locales. La Convention sur la diversité biologique reconnaît l'importance des connaissances, innovations et pratiques traditionnelles des communautés autochtones et locales pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique et l'article 8 j de la Convention vise au respect, à la préservation et à la promotion de ces connaissances traditionnelles.

La communication, l'éducation et la sensibilisation. La gestion durable des forêts (GDF) reflète un ensemble de valeurs sociétales en relation avec la conservation et l'utilisation de la forêt, et en constitue l'un des principes fondamentaux.

Les actions technologiques. Le développement et la diffusion de technologies pouvant réduire les impacts sur les écosystèmes sont importants. Ce sont notamment les pratiques agricoles, la restauration des écosystèmes et l'efficacité énergétique.

La réglementation de l'exploitation des produits forestiers non ligneux actuellement largement absents des stratégies gouvernementales de développement.

Les actions suivantes sont bénéfiques pour les écosystèmes : (i) baser les décisions liées à la gestion et aux investissements sur les valeurs marchandes et non marchandes des écosystèmes ; (ii) optimiser l'utilisation de l'information pertinente ; (iii) améliorer et maintenir la capacité à évaluer les conséquences de la transformation des écosystèmes.

7.6. Gouvernance forestière

L'ordonnance ministérielle de 2009 instituant l'aménagement participatif des boisements domaniaux au Burundi autorise la mise en place des comités locaux pour la gouvernance des ressources forestières, comme *nouvelles structures institutionnelles*, grâce auxquelles l'administration locale, les services techniques et les populations locales sont mieux impliquées dans la gestion de ces ressources et dans la prise de décision.

La politique forestière nationale est articulée autour des options telles que la participation et la responsabilisation effective de la population dans la conception, l'exécution, le suivi-évaluation des activités forestières, notamment à la gestion décentralisée des ressources forestières. Son élaboration et sa mise en œuvre seront guidées par des principes de participation, de responsabilité et de transparence. Elle met en avant le droit d'accès aux ressources forestières dans le souci d'améliorer les conditions d'existence des populations locales avec, en retour, la responsabilité de participer à leur gestion durable. Le principe de bonne gouvernance est ici privilégié.

7.6.1. Gestion communautaire des boisements publics

L'aménagement participatif du bloc boisé permet d'assurer de meilleures conditions de vie des populations riveraines et de continuer à jouer durablement ses fonctions écologiques (régulation du climat, la protection des sols contre l'érosion, l'amélioration de l'état du terroir, du paysage et

de leur situation socioéconomique). Les cas de gestion de Muyinga et Gashikanwa en sont des exemples.

Processus de base. Ce processus suit généralement sept étapes à savoir:

- (i) l'identification du boisement à soumettre à la gestion communautaire et participative ;
- (ii) la campagne d'information ;
- (iii) la planification de la mise en œuvre du système de gestion forestière participative ;
- (iv) la constitution des groupements de gestion forestière (GGF) ;
- (v) l'appui à la structuration du cadre institutionnel de la cogestion ;
- (vi) la conception de la gestion et l'aménagement forestier participatif ;
- (vii) l'appui et la supervision.

7.6.2. Les problèmes liés à la bonne gestion des boisements

Une série de problèmes entravent la gestion des ressources forestières :

- (i) une gestion qui compte sur le financement extérieur via les projets dont la durée ne correspond pas à la révolution des boisements (20 à 25 ans) ;
- (ii) le manque de connaissance technique sur la conduite de certaines essences ;
- (iii) le manque de plans de gestion et d'aménagement, outils informatiques et logiciels.

7.7. Les techniques de lutte contre la déforestation et la dégradation des forêts

7.7.1. La déforestation : un des problèmes environnementaux majeurs au Burundi



*Figure 132 : une burundaise transportant du bois de chauffage
(source : PNUD)*

La déforestation correspond à une récolte ou une destruction des forêts par l'homme d'une façon où la vocation du territoire forestier est changée. En plus de la mauvaise utilisation des terres, de l'exiguïté des terres, des perturbations climatiques, du surpâturage, la déforestation est l'un des grands problèmes liés à la dégradation des sols. Le Burundi a connu une baisse de sa couverture forestière suite aux coupes incontrôlées dans le but de s'approvisionner en bois de chauffage (fig.132), passant outre la législation en place. Avec une perte de sa couverture forestière mesurée à 5,2% entre 2000 et 2005 (FAO, 2005), le Burundi a eu le taux de déforestation le plus élevé d'Afrique. La déforestation a conduit à la diminution d'une grande partie des ressources forestières et cette destruction est à l'origine des changements climatiques subis par le Burundi.

7.7.2. Les causes de la déforestation

La principale cause demeure la forte dépendance de la population vis-à-vis du bois comme source d'énergie (fig.133). En effet, 96% des bilans énergétiques totaux proviennent du bois. Le manque d'énergie alternative au bois-énergie accentue la déforestation dans le pays. La faible valorisation du bois, les faibles rendements de la transformation du bois et l'utilisation des foyers qui n'économisent pas l'énergie sont autant d'handicaps à la lutte contre ce phénomène.

Les autres causes directes de la déforestation au Burundi sont entre autres le défrichement cultural (fig.134), les feux de brousse, la mauvaise gestion des boisements et des aires protégées.



Figure 133 : *Vente du bois de chauffage à Rukoko*
(photo réalisée par Astère BARARWANDIKA)



Figure 134 : *Défrichement dans une prairie*
(source : PNUD Burundi/Aude Rossignol/2012)

7.7.3. Les conséquences de la déforestation

La déforestation a de multiples conséquences sur la disparition de la biodiversité animale et végétale, l'érosion des sols, le transport de maladies, la contamination des sols, le changement du climat local et la pollution de l'atmosphère. L'érosion des sols due à la déforestation est à l'origine de l'envasement des rivières, des lacs et des marais qui menace à la fois les écosystèmes aquatiques et l'approvisionnement en eau douce.

De façon générale, la déforestation représente une triple menace pour la biodiversité, les équilibres climatiques et les conditions de vie des populations. Elle met en danger des milliers d'espèces végétales et animales ; elle est responsable de 20% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. La coupe rase serait la deuxième cause du réchauffement climatique puisqu'en coupant les arbres, une quantité importante de CO₂ est alors libérée.

Elle prive les espèces animales de leurs habitats naturels, accélère la disparition d'espèces menacées et aggrave également le réchauffement climatique. Si aucune mesure de protection n'est entreprise, la couverture forestière aura totalement disparu en 2040.

7.7.4. Les bonnes pratiques de lutte contre la déforestation et la dégradation des forêts

Des solutions à la déforestation sont possibles. Il s'agit notamment du fait que:

- (i) la question de la déforestation doit occuper une place centrale dans les débats internationaux, régionaux et nationaux. Des décisions doivent être prises pour protéger les forêts et lutter ainsi contre les effets du changement climatique ;
- (ii) les populations doivent diminuer considérablement l'utilisation du bois-énergie car celui-ci participe activement au déboisement ;
- (iii) les exploitants doivent remplacer les arbres qu'ils ont coupés et les autorités doivent infliger des sanctions à tous ceux qui coupent illégalement le bois ;
- (iv) elles doivent remplacer les foyers à bois par des foyers solaires, les foyers à économie d'énergie et les fours traditionnels de carbonisation par les fours améliorés ;
- (v) les commerçants du bois et ses dérivés doivent utiliser du bois éco-certifié : du bois en provenance de forêts gérées de manière durable ;
- (vi) une législation sur le commerce du bois mettant fin au bois vendu illégalement doit être mise en place. Le bois vendu doit respecter les normes environnementales, sociales et économiques.

7.7.4. 1. La reforestation

La reforestation constitue une pratique par excellence d'atténuation du changement climatique car agissant comme puits de carbone donc d'absorption du gaz carbonique. La reforestation à des échelles importantes contribue à la régulation du climat et surtout des précipitations. Elle contribue également à la protection des sols, l'infiltration de l'eau et la recharge des nappes phréatiques. La reforestation commence par la production des plants en pépinière (voir chapitre 6), la mise en place des plants et la conduite des soins culturaux telles que décrit au début de ce chapitre.

La reforestation se pratique, par choix des espèces adaptées, sous tous les climats du Burundi, sur tous les types de sols à l'exception des sols ferrugineux tropicaux indurés superficiels et peu profonds à moins que la trouaison soit conséquente pour détruire cette barrière physique. La reconstitution des écosystèmes forestiers sur des terres dénudées et indurées se ferait par la régénération de la végétation ligneuse et herbacée à l'aide de techniques de plantation des espèces adaptées notamment le *Callitris calcarata* et le traçage des fossés d'infiltration totale pour limiter l'érosion sur les flancs de montagnes. Le *Callitris calcarata* supporte des terrains pauvres et colonisent même des terrains très dégradés, fortement érodés, caillouteux et des crêtes rocheuses. Tous les Burundais peuvent utiliser cette technique de reforestation pour couvrir leurs besoins ne fut-ce que domestiques en terme d'énergie.

Avantages et impacts. La reforestation permet la production de bois de feu et / ou de service pour les plantations classiques et la production fruitière par la mise en place de vergers. Elle contribue à

augmenter l'offre en bois de feu comme en bois de service. Elle permet également l'embellissement et la création d'espaces verts.

La mise en place des activités de reforestation a permis de reconvertis plusieurs zones longtemps dénudées en zones boisées de nos jours avec une bonne dynamique de réduction des zones nues des sommets de montagne dans beaucoup de régions du pays.

Contraintes. Les contraintes sont surtout : (i) le manque de ressources financières pour l'approvisionnement en semences et en sachets plastiques pour la production des plants en pépinière par les producteurs ;

(ii) l'insuffisance de formation des producteurs pour la collecte des semences pour réduire les coûts d'achat des semences ; (iii) le manque d'information et de connaissances techniques des producteurs sur le choix des espèces à installer.

Se pose également le problème de sécurisation foncière pour les terrains communautaires, le manque d'entretien des boisements domaniaux, communaux et leur destruction par des feux de brousse engendrant des taux de succès faibles.

7.7.4.2. La coupe sélective

L'objectif est d'assurer : (i) une production soutenue et durable en bois forestier ; (ii) une récolte du bois et une bonne régénération des espèces exploitées et (iii) une protection des espèces menacées.

La coupe sélective du bois est une méthode d'exploitation par une succession de coupes à finalité différente. Le but est d'assurer la régénération progressive. Le prélèvement maximal est de 50% du volume commercialisable sur pied dans la parcelle de coupe. Elle peut se baser sur : (i) les critères commerciaux et économiques ; (ii) l'abattage concerne une classe de diamètre donné selon les objectifs d'aménagement et les exigences commerciales ; (iii) les critères de régénération : les semenciers de certaines espèces et les arbres isolés sont maintenus dans la parcelle ; (iv) les éclaircies doivent permettre un bon développement de meilleurs fûts ; (v) les critères de protection. Les forêts, les aires protégées, les formations sur milieux écologiquement sensibles, les sujets localisés sur des milieux humides et le long des cours d'eau et les espèces non commercialisables sont épargnées.

La coupe sélective serait préconisée dans les différents chantiers d'aménagement forestier sur tout le territoire national, toutes les zones agro-écologiques et sur tous les types de sols du pays.

Avantages et impacts. Elle permet : (i) une régénération vigoureuse par rejet de souches des espèces coupées qui peuvent rejeter ; (ii) d'assurer une couverture maximale du sol, de lutter contre l'ensoleillement et les érosions hydriques et éoliennes ; (iii) un renouvellement permanent

du capital productif ; (iv) une conservation de la biodiversité et un maintien de la diversité biologique en protégeant les espèces menacées et (v) une possibilité de produire du bois de grosse dimension, très apprécié et de grande valeur.

Contraintes. Les contraintes sont : (i) une faible connaissance de la biologie des espèces diffusées et des espèces locales ; (ii) une rotation et des intensités de coupe non fixées par les textes d'application des lois ; (iii) une coupe précoce de la totalité des espèces suite à la pauvreté des populations rurales ; (iv) des difficultés de protéger les espaces sous exploitations contre les feux de brousses et (v) des dommages pouvant être causés au semis ou aux arbres à garder lors de l'exploitation.

7.7.4.3. La lutte contre les feux de brousse incontrôlés

Les feux de brousse sont des feux incontrôlés en milieu rural quelles que soient leur cause et leur origine. La lutte contre les feux incontrôlés a pour objectif de minimiser les effets des feux sur le couvert végétal, les sols et autres biens de l'homme. Les feux de brousse incontrôlés contribuent à fragiliser la végétation responsable de la séquestration du carbone et peuvent contribuer à la perte de la diversité biologique.

Les principales causes des feux de brousse sont : (i) les besoins de repousse d'une herbe jeune et tendre pour le bétail en détruisant les herbes séchées et lignifiées ; (ii) les besoins de favoriser la repousse de feuilles vertes de certains arbustes fourragers pour le bétail ; (iii) les besoins de freiner le développement de la strate arbustive qui concurrence en lumière les pâturages ; (iv) les besoins de la clarté de la vision sur le gibier ; (v) les besoins de destruction de certains parasites des cultures et vecteurs de maladies du bétail et (vi) les fumeurs par les jets de mégots de cigarettes lors des déplacements sur les routes longeant les forêts.

La lutte contre les feux de brousse comporte des techniques de détection des feux, des techniques préventives et des techniques de lutte active.

a. La détection se fait grâce aux patrouilles terrestres. Au Burundi, les patrouilles terrestres sont les plus pratiquées.

b. La lutte préventive consiste à éviter le démarrage du feu et son extension. La prévention des incendies grâce à une bonne gestion reste de loin plus rentable que leur extinction. Il faudrait souligner notamment les pratiques de brûlage dirigé ainsi que la mise au point des activités visant à réduire l'accumulation des amas de combustibles.

b₁. La prévention par la sylviculture. Une bonne gestion forestière constitue une lutte préventive contre les feux de brousse. C'est pourquoi les plans de gestion forestière englobent la prévention des feux.

b₂. La prévention biologique des feux. Elle est basée sur la sélection des espèces résistantes au feu afin de planter des pare-feu de verdure. On parle aussi de pare-feu vert quand le dispositif comprend un peuplement de ligneux vivace empêchant le développement de la strate herbacée.

b₃. La prévention par l'utilisation du feu. Dans le cadre de la prévention, le feu peut être utilisé, soit pour la construction ou l'entretien des pare-feu et des barrières, soit dans le traitement et l'élimination des résidus forestiers par entassement et par brûlage programmé de zones forestières afin de réduire la quantité totale de combustibles. Les feux précoces constituent le moyen le plus efficace de se préserver contre les feux accidentels.

b₄. La prévention par l'éducation. L'éducation du public reste le principal moyen de prévention dans les pays en développement.

b₅. La réalisation de pare-feux. Le pare-feu protège du feu, de l'incendie. Il s'agit d'un espace nettoyé, dépourvu de combustible, destiné à arrêter la propagation d'un feu. La réalisation des pare-feux comporte deux étapes : l'ouverture des pare-feux et leur entretien périodique. En fonction de l'étendue de la zone à protéger, il est recommandé de densifier le réseau de pare-feux. Pour jouer pleinement son rôle de coupe feu, les pare-feux doivent avoir une largeur minimale de 3-5 m. L'entretien consiste au désherbage complet et au ramassage de l'herbe dans la bande protectrice.

c. Les techniques de lutte active. La lutte contre les feux accidentels exige une parfaite coordination des actions et des prises de décisions rapides et justes. Pour être efficaces, mieux vaut disposer de plusieurs groupes, tout au long de la ligne à défendre, que de se gêner au même endroit.

Pour combattre les feux accidentels et même contrôler des brûlages volontaires, précoces ou non, le matériel le plus utilisé reste la hache ou la machette qui servent d'outils polyvalents pour couper notamment des branches feuillées, les stipes de bananiers. D'autres outils manuels et équipements légers sont efficaces lors d'une intervention en équipe contre les feux de brousse. Il s'agit notamment des pompes manuelles, de batte-feu, des seaux, des jerrycans, des bottes, des pelles, des râteaux, etc.

Plusieurs techniques de lutte contre les feux incontrôlés peuvent être utilisées :

c₁. L'attaque de front. Pour réussir l'attaque de front, il faut disposer d'une main-d'œuvre suffisante et bien engagée à se battre contre le feu. Selon le nombre de la main-d'œuvre, la violence du feu et du vent, la végétation, etc. On va attaquer le front d'incendie sur une longueur quelconque. L'équipe attaque en force le point faible du front en profitant d'un apaisement momentané du feu ou un changement de direction du vent.

c₂. Le contre-feu. En cas de feu trop violent, l'équipe fera recours au contre-feu. La méthode exige moins d'efforts physiques mais elle demande certaines précautions: (i) le contre-feu ne doit pas échapper au contrôle et être à l'origine d'un nouvel incendie; (ii) il doit être allumé assez loin du front à combattre pour qu'il ait le temps de progresser suffisamment, contre le vent, avant de le rencontrer.

c3. L'appui sur un pare-feu. En cherchant à protéger une parcelle entourée de pare-feu bien nettoyé dont un incendie risque d'atteindre, poussé par un vent violent, et le traverser; on allume un contre-feu en s'appuyant sur le pare-feu, sur une piste bien dégagée ou toute limite désherbée. En fonction de l'efficacité du pare-feu, de la violence du vent, de l'importance de la végétation, le contre-feu est allumé plus ou moins rapidement. Une fois que le contre-feu a progressé de plusieurs mètres et qu'il a été parfaitement éteint vers l'extérieur, on peut le laisser aller sans autre surveillance.

La base de contre-feu. Pour créer une base de contre-feu, on débroussailler grossièrement un passage en coupant les herbes sur un mètre de largeur environ et les jetant assez loin vers l'extérieur. De part et d'autre de la base fauchée, les herbes sont rabattues et piétinées pour élargir davantage le chemin.



Figure 135 : L'extinction d'une incendie dans une plantation de pins

(Source : <https://www.google.com>)

Il est inutile et épuisant de s'attaquer à un brasier violent alors que, peu après, gagnant une zone moins riche en végétaux ou grâce à une diminution momentanée du vent, il s'apaisera quelque peu.

Il ne faut jamais négliger la toute petite flamme qui s'attarde sur une touffe d'herbe ou entame un morceau de bois mort traînant sur le sol.

Tout en combattant le feu, surtout par grand vent, un membre de l'équipe doit surveiller les flammèches qui, derrière elle, peuvent être l'origine d'un nouveau front d'incendie

Avantages et impacts. Le premier avantage de la lutte contre les feux de brousse incontrôlés est la réduction de la perte de la diversité biologique et la récolte potentielle de bois de feu. Elle favorise le développement normal de la régénération naturelle et la colonisation des zones dégradées.

Contraintes. La marge de manœuvre des éleveurs pour provoquer la repousse des herbes fraîches en faveur du bétail est réduite. La mise en place et l'entretien des pare-feux nécessitent une main-d'œuvre importante et régulière.

7.7.4.4. Le feu précoce

Les feux précoce, appelés aussi feux d'aménagement, sont employés pour renouveler les pâturages ou pour protéger les parcs nationaux ou les réserves de forêt et de faune. La connaissance profonde du type de végétation et de sa capacité à se régénérer dans différents environnements et saisons est nécessaire. Il s'agit notamment de limiter l'incidence des feux dévastateurs pour l'environnement ; de réduire l'intensité et la sévérité des feux dommageables aux ligneux et au sol ; de générer des repousses d'herbacés pérennes et de ligneux de bonne valeur

nutritive pour l'alimentation du bétail et de la faune et d'assurer un équilibre ligneux/herbacés pour une utilisation multiple des ressources forestières.

Les feux précoce sont allumés dès la fin des pluies, avant que la végétation ne dessèche complètement. Il s'agit de brûler au moment où l'humidité de l'air est suffisamment élevée et la vitesse du vent faible. Il est recommandé d'allumer le feu contre le sens du vent. L'ouverture de pare-feux permet de contrôler l'exécution des feux. C'est une activité qui mobilise une main-d'œuvre importante.

La pratique du feu précoce est préconisée dans les réserves forestières où le tapis herbacé est important et où les graminées pérennes sont abondantes. La pratique de feu est prohibée dans la zone où le tapis herbacé est constitué d'annuelles. Les sols profonds et bien drainés sont les plus productifs en matière de biomasse herbacée. Les gestionnaires des aires protégées sont les seuls autorisés à utiliser cette technique.

Avantages et impacts: (i) il limite l'incidence des feux incontrôlés; (ii) il assure une couverture minimale du sol permettant de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne ; (iii) il assure un équilibre ligneux/herbacés ; (iv) le feu précoce est bénéfique pour le pâturage en induisant des repousses des graminées pérennes. La reprise de la végétation herbacée dès le début des pluies est plus rapide ; (v) sur les parcelles brûlées que celles non brûlées, certains ligneux émettent également un nouveau feuillage bien appétisé par les herbivores ; (vi) il constitue un compromis entre la difficulté d'interdiction totale des feux et les feux incontrôlés.

Contraintes. Le feu précoce occasionne une augmentation de la biomasse des annuelles telle que *Loudetia simplex*, ce qui constitue un indice de dégradation du pâturage. Il existe une difficulté de déterminer une période optimale d'exécution du feu précoce à cause de la structure de la végétation constituée de mosaïques d'herbacées annuelles et pérennes. Cette pratique nécessite une mobilisation importante de main-d'œuvre pour le contrôle du feu lors du brûlis.

7.7.4.5. Les fours de carbonisation améliorés

L'objectif est de lutter contre la dégradation des ressources forestières et l'environnement par l'introduction des techniques optimales et appropriées de conversion de bois en charbon de bois. Le constat est que les techniques de carbonisation restent traditionnelles et offrent de très faibles rendements.

La carbonisation du bois consiste en la dégradation de trois polymères végétaux à savoir la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Elle donne lieu à trois produits que sont le charbon de bois, une fraction pyrolygneuse et la fraction gazeuse.

Le four de carbonisation amélioré est une meule de forme rectangulaire et de grandes dimensions qui utilise une cheminée constituée de trois fûts soudés les uns aux autres, et quatre évents métalliques de quinze centimètres de diamètre.

a. Le bois à carboniser. L'humidité du bois à carboniser ne doit pas être élevée, les experts recommandent de laisser le bois avec les branches pour faciliter la sortie rapide de la sève et permettre ainsi un séchage rapide. La sortie de la sève sera donc uniforme et le bois ne se fend pas. Pendant la saison sèche, le temps de séchage va durer au moins un mois avant le tronçonnage.

b. Comment charger la meule? Le chargement de la meule repose sur trois longerons de vingt cm de diamètre posés suivant la pente du terrain ou parallèlement à la direction du vent si le terrain est plat, et deux piquets sont plantés à la base du four pour tenir le chargement. Le petit bois est rangé à la base de la meule de façon que le bois se touche et que les vides soient bouchés par le bois de faibles dimensions pendant le chargement. Le bois de grandes dimensions est rangé au 2/3 de la meule et du côté de la cheminée (en amont). Les quatre évents sont placés à la base, entre les longerons, et au milieu de la meule, un trou est aménagé pour supporter la cheminée en fût, c'est celui-ci qui va collecter la fumée de la meule.

c. L'allumage. Après l'empilage du bois, on recouvre la meule avec des feuillages secs, de la paille et ensuite de la terre. Celui-ci se fait par le bas, la fumée va sortir sur le trou au-dessus de la meule. Cette technique permet d'avoir un tirage direct pendant l'allumage. Pendant l'allumage on ferme les quatre évents de la meule. Quand le feu a bien pris, on bouche le trou de l'allumage au-dessus et à la base de la meule, on ouvre les quatre évents en amont de celle-ci. L'air de l'extérieur entre dans le meule par les quatre évents, cet air traverse le couloir formé par les longerons, rejoint le front de carbonisation au point d'allumage. Les gaz chauds dégagés par le front traversent toute la masse du bois et descendent à la base de la meule pour sortir par la cheminée; le tirage est inversé. Le passage de la fumée chaude à travers le chargement sèche le bois avant la carbonisation proprement dite.

d. La conduite. La conduite est aisée car l'avancement du front de carbonisation est matérialisé par l'affaissement des dessus de la meule quand cet affaissement n'est pas uniforme c'est-à-dire qu'une partie avance plus vite qu'une autre, on bouche alors l'évent correspondant jusqu'à ce que le front de carbonisation soit perpendiculaire à la longueur de la meule et ainsi de suite.

e. La fin de la carbonisation. La fin de la carbonisation est matérialisée par l'apparition des braises dans les évents, la fumée bleue et légère dans la cheminée. Il faut immédiatement procéder à la fermeture de tous les orifices qui laissent passer l'air. On laisse alors la charge se refroidir.

f. Le défournement. La meule n'est jamais refroidie complètement, il faut au moins deux jours. Il est conseillé de faire cette opération très tôt le matin pour éviter les coups de feu sur le charbon. Il faut laisser le charbon au moins douze heures à l'air libre avant la mise en sacs. Le rendement sur matière anhydre est de 18 à 20%.

7.7.4.6. La promotion et la valorisation des énergies renouvelables

7.7.4.6.1. Le séchage et la cuisson solaire des aliments

En lieu et place de l'utilisation de fours consommant des énergies fossiles ou du bois de chauffe qui décime les forêts, le séchage solaire valorise l'énergie solaire avec une vitesse de séchage plus rapide que le séchage par simple exposition au soleil. Le séchage permet en outre de pouvoir conserver des produits qui allaient pourrir en période d'abondance et de les utiliser en période de pénurie. Le séchage est aussi une source d'activité économique et améliore également la qualité de l'alimentation du ménage. Les produits locaux tels que les fruits et légumes ont une valeur ajoutée avec le séchage et le coût de séchage est réduit. La cuisson solaire réduit le temps d'occupation de la ménagère et donne un meilleur confort (absence de fumée) que l'utilisation du bois.

Le séchage solaire des denrées alimentaires permet leur conservation pendant une période plus au moins longue. Le processus de séchage demande de bonnes conditions d'hygiène des équipements et corporelles des personnes qui vont manipuler les produits. Les principales opérations pratiques consistent en : (i) la réception de la matière première ; (ii) le pesage de la matière première ; (iii) au triage ; (iv) au trempage, lavage et rinçage ; (v) au parage et à l'épluchage s'il y a lieu ; (vi) au découpage ; (vii) la mise en claire dans le séchoir ; (viii) le remplissage du séchoir ; (ix) le pesage des produits restant et des déchets de transformation ; (x) le suivi du processus de séchage ; (xi) le triage du produit séché et (xii) le conditionnement et stockage du produit séché.

Les températures avec les séchoirs solaires vont de 40-60°C. Les capacités sont de 10-20 kg de produits frais en fonction du dimensionnement du séchoir. La durée de séchage varie de 2 à 3 jours. Pour la cuisson des aliments, plusieurs équipements sont mis au point, tels les fours solaires, les paraboles, les enceintes qui permettent de conserver l'énergie après un préchauffage.

Le séchage solaire et la cuisson solaire des aliments peuvent se pratiquer sous tous les climats au Burundi. Peu de personnes utilisent actuellement cette technologie.

Avantages et impacts. Le séchage permet de pouvoir conserver des produits (légumes et produits forestiers non ligneux) qui allaient se détériorer en période d'abondance et de les utiliser en période de pénurie. Le séchage est aussi une source d'activité économique et améliore également la qualité de l'alimentation. Les produits locaux tels que les fruits et légumes ont une valeur ajoutée avec le séchage, le coût de séchage est réduit et encourage la plantation de vergers ou de protection des espèces locales. La cuisson solaire des aliments permet de réduire le temps d'occupation de la ménagère avec plus de confort.

Contraintes. Comparé au séchage utilisant les énergies fossiles, le séchage solaire prend plus de temps (20 heures maximum contre 72 heures) réduisant les quantités des produits séchés. Certains produits séchés ne sont pas encore rentrés dans les habitudes de consommation de la population

entraînant parfois des difficultés de commercialisation des produits séchés. Les règles de séchage sont de plus en plus contraignantes pour les produits à l'exportation. Le temps de cuisson solaire peut être plus prolongé en fonction des types de produits.

7.7.4.6.2. Le chauffe-eau solaire

Le chauffe-eau solaire valorise l'énergie solaire renouvelable en lieu et place d'énergie fossile ou de bois évitant ainsi la pollution de l'air, l'accentuation du changement climatique et le déboisement. Ce système pallie la raréfaction du bois des ménages urbains et ruraux.

Il est basé sur le phénomène naturel de convection appelé thermosiphon. C'est un principe physique qui veut que l'eau chaude qui est plus légère monte alors que l'eau froide plus lourde descend. Du fond de la cuve de stockage, l'eau froide coule en bas des capteurs solaires où l'énergie solaire va la réchauffer. L'eau remonte le long du panneau au fur et à mesure que sa température augmente et réintègre la cuve où elle s'accumule jusqu'en haut de la citerne. Cette eau reste en permanence dans la citerne. Un échangeur de chaleur immergé dans la citerne permet de chauffer l'eau du réseau circulant dedans pour l'usage.

Le chauffe-eau solaire est constitué de trois grandes parties : L' «*absorbeur*» pour le chauffage de l'eau, le «*stock*» pour stocker l'eau chaude et la «*tour*» pour supporter le stock. Pour un chauffe-eau solaire classique de 100 litres, la surface du capteur est de 2 m², les dimensions sont de 300 cm de longueur, 200 cm de largeur et 270 cm de hauteur. La puissance est de 4 kwatt/jour. Les capacités des différents modèles de chauffe-eau peuvent être dimensionnées en fonction des besoins des utilisateurs.

Le chauffe-eau solaire peut être utilisé sous tous les climats par des ménages dans tout le pays. Malheureusement, il n'est pas vulgarisé dans notre pays.

Avantages et impacts. Le chauffe-eau solaire permet au ménage d'économiser de l'énergie et donc de l'argent sur la facture d'électricité. Il nécessite très peu de maintenance et permet d'avoir de l'eau chaude à tout moment.

Contraintes. Une des principales contraintes est le coût des équipements et de l'installation qui est élevé même si à moyen terme il devient plus avantageux qu'un chauffe-eau électrique. Les baisses de la température en période d'insolation réduite peuvent aussi constituer une contrainte pour certaines utilisations.

7.7.4.7. Usage des foyers à économie d'énergie : le foyer amélioré

L'objectif principal de l'utilisation des foyers améliorés est de réduire la quantité de bois ou de charbon utilisé dans la cuisson des aliments pour contribuer à réduire la demande en bois et en

charbon permettant la conservation des forêts qui séquestrent le carbone, protègent les terres et conservent la biodiversité.

Les foyers de cuisson améliorés sont des fours domestiques construits en argile, en briques ou en tôles à l'intérieur desquels se consument lentement, à l'abri de l'air et du vent, des branchages, du petit bois ou du charbon de bois. Particulièrement économies par rapport aux méthodes traditionnelles de cuisson à l'air libre, ces foyers améliorés permettent d'épargner jusqu'à 75 % du combustible nécessaire pour la préparation des repas.

Les types de foyers améliorés varient suivant les paramètres ci-après : (i) le matériau utilisé dans la fabrication du foyer (métallique, briques, argile, ciment, etc.); (ii) la mobilité (fixe ou déplaçable), (iii) les dimensions, (iv) le combustible utilisé (bois, charbon).

Les foyers améliorés peuvent être utilisés sous tous les climats du pays par tous les ménages.

Avantages et impacts. Les foyers améliorés contribuent à la lutte contre la déforestation et les effets du changement climatiques à travers l'économie d'énergie. Ils contribuent à l'amélioration des conditions de vie des femmes par le confort dans la cuisine et le gain en temps de travail. Les foyers améliorés permettent une économie d'énergie d'environ 40 % par rapport aux foyers traditionnels. Les foyers améliorés sont faciles à construire et sont également disponibles sur le marché à des coûts abordables.

Contraintes. Certains foyers ne sont pas déplaçables et résistent très peu aux intempéries. Très peu d'options existent pour les foyers améliorés adaptés aux grandes utilisations avec le confort d'atténuation de la fumée.

7.7.4.8. L`écocertification

On appelle **certification forestière** ou "**certification gestion durable**" la marque de garantie attachée à un lot de bois provenant d'une forêt gérée durablement. La certification forestière a pour objectif de garantir au consommateur que le bois qu'il achète est issu de forêts gérées durablement. Le pays devrait entamer les procédures de certification de son bois.

La spécificité de l'écocertification est d'attester non seulement de la légalité du bois mais également de la qualité de la gestion forestière durable. Pour qu'un produit forestier soit certifié, il faut que toute la chaîne en amont le soit également : de la forêt dont est issu le bois aux différents intermédiaires (en particulier les industriels qui transforment le bois). En pratique, cela revient à combiner deux certifications : (i) la certification de gestion forestière durable; (ii) la certification de traçabilité ou certification de la chaîne d'approvisionnement et de transformation.

En conclusion, la surexploitation et/ou la mauvaise gestion de l'exploitation des ressources forestières entraînent des conséquences négatives au premier rang desquelles figurent la déforestation et la perte de biodiversité. Le principe de gestion durable intègre l'équilibre entre les fonctions écologiques, économiques et sociales des forêts. La gestion forestière durable inclut : l'étendue des ressources forestières; la diversité biologique; la santé et la vitalité des forêts; les fonctions productives des ressources forestières; les fonctions de protection des ressources forestières; les fonctions socioéconomiques; le cadre juridique, politique et institutionnel. La certification des forêts permettrait, non seulement de faciliter la commercialisation des produits forestiers, mais aussi d'améliorer la gestion des forêts et les conditions de travail dans le secteur.

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

- BARARWANDIKA A. et NINDORERA D., 2008: Questions nationales sur l'application des législations forestières et la gouvernance au Burundi.
- De Ligne A. et al., 1987: Synthèse des recherches forestières effectuées au Burundi. Publications agricoles n°12
- FAO, 2009: Situation des Forêts du monde. Rome.
- FAO, 2010: Situation des Forêts du monde. Rome.
- KARIMUMURYANGO Jérôme, 1995: Les feux de brousse dans les aires protégées du Burundi. Méthode d'analyse et Esquisse de solution. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme en études du développement
- Lewalle J., 1971 : Essences autochtones. Fascicule 1. ISABU, Bujumbura.
- MEEATU, 2010: Plan d'aménagement démonstratif des massifs forestiers de Gakara et Vyanda
- NDABI RORERE, Salvator, 2006: Projet Autoévaluation nationale des capacités à renforcer pour la gestion de l'environnement mondial, ANCR «Analyse du secteur thématique. Désertification».
- NDIKUMAGENGE, Cléto., 1997: Aménagement et gestion communautaire des formations forestières au Burundi. Rapport de consultance. FAO, Bujumbura.
- NINDORERA Damien., 1997: Aménagement et gestion communautaire des formations forestières artificielles et naturelles au Burundi. Analyse du cadre légal, réglementaire et institutionnel. Rapport de consultation FAO, Bujumbura.
- NZIGIDAHERA Benoît et al, 2009: Quatrième rapport du Burundi à la Convention sur la Biodiversité.
- PNUD, 1996: Synthèse du rapport sur les effets de la crise socio-économique sur l'environnement au Burundi.
- République du Burundi, 2000 : Code de l'Environnement de la République du Burundi.
- République du Burundi, 1985 : Code forestier du Burundi.



CHAPITRE 8: ADAPTATION AUX EFFETS NEFASTES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Le Burundi a été enregistré parmi les pays les plus vulnérables aux risques du changement climatique. Depuis deux décennies, le changement climatique se traduit par une hausse constante de la température de l'air, une évaporation accrue, une diminution en volume des ressources en eau, une instabilité des saisons qui désoriente l'agriculteur et tout cela est aggravé par la fréquence de plus en plus élevée des phénomènes hydro-climatiques tels que les sécheresses prolongées dans certaines régions et des inondations dévastatrices dans d'autres.

En mars 2012, le Burundi a soumis à la 36^{ème} session du SBSTA, pour considération des préoccupations du Burundi en rapport avec l'agriculture et le changement climatique. Ces préoccupations portaient sur les actions prioritaires en matière d'adaptation, d'atténuation des effets du changement climatique, le transfert de technologies, le renforcement des capacités et le financement.

En décembre 2015, le Burundi a soumis à la 21^{ème} Conférence des Parties (COP21) de la CCNUCC, sa CPDN (Contribution Prévue Déterminée au niveau National). Dans cette contribution, le Burundi clarifie son engagement à contribuer à l'effort mondial de réduire les émissions de GES mais aussi pour s'adapter au changement climatique et plus particulièrement dans le secteur agricole.

8.1. Etats de lieux sur le changement climatique

Au Burundi, la situation actuelle du changement climatique fait ressortir deux problèmes majeurs à savoir : (i) des sécheresses prolongées observées dans la plupart des régions naturelles du Burundi notamment les régions de l'Imbo, les dépressions de l'Est et du Nord-Est où la tendance de l'allongement des saisons sèches va de 5 à 6 mois. Les conséquences sont une diminution des ressources en eau, un tarissement des sources d'eau et une certaine tendance à la désertification, comme c'est le cas de la région naturelle de Bugesera (fig.136) ; (ii) des pluies trop abondantes qui sont parfois à l'origine des inondations graves (fig.137), d'une forte érosion et de la destruction des infrastructures (routes, maisons, infrastructures agricoles, etc...).

Les perturbations causées par la variabilité et le changement climatique se sont traduites d'une part, par diverses calamités qu'a connues le Burundi depuis longtemps : (i) la sécheresse dans tout le pays notamment des années 1905-1909, 1925-1928, 1941-1945 et dans le Nord-Est du pays en 1999-2000 (MINATTE, PANA, 2007) ; (ii) la grêle surtout dans certaines zones des plateaux centraux ; (iii) les pluies torrentielles (1937, 1941, 1950, 1960, etc....) et surtout les inondations de la ville de Bujumbura en 1964 et 2014; (iv) les vents violents par exemple ceux de 1982 à Bujumbura. Et d'autre part, par une hausse persistante de la température moyenne par rapport à la normale. En effet, la température moyenne dans la région a monté de 0,7 à 0,9°C depuis les années 1930 (MINATTE, PANA, 2007).



Figure 136 : Cultures frappées par la sécheresse prolongée à Kirundo
(source : MINATTE)



Figure 137 : Inondations dues au changement climatique à Gatunguru
(source : Journal IWACU)

Comme les différentes études sectorielles d'adaptation et d'évaluation de la vulnérabilité l'ont démontré, le changement climatique affectent tous les secteurs de l'économie burundaise et en particulier l'agriculture. Le changement climatique affecte les principales composante de l'agriculture à savoir : (i) les cultures, (ii) l'élevage, (iii) la foresterie, (iv) la pêche et l'aquaculture.

En effet, les projections des changements climatiques menées dans le cadre de l'étude sur l'Analyse Intégrée de la Vulnérabilité au Burundi ont montré que les précipitations et la température augmenteront à l'avenir au Burundi avec pour conséquences suivantes : (i) les conditions climatiques futures pourraient ne plus représenter des conditions de croissance optimales pour les cultures actuelles dans différentes régions du Burundi. Les pratiques agricoles et les types de culture devraient donc être adaptés à l'élévation des températures et au changement des régimes et des quantités de précipitations ; (ii) des températures plus élevées et une prolongation de la saison sèche risquent de réduire encore la disponibilité de l'eau dans des régions déjà sujettes à une pénurie d'eau saisonnière. Ceci s'applique en particulier à la partie nord du Burundi ainsi que la région autour de Bujumbura.

Face à cette situation, il est urgent de sécuriser le secteur agricole contre les impacts négatifs de la variabilité du climat et du changement climatique en adoptant des pratiques de l'agriculture intelligente face au climat qui augmente la productivité et la résilience (adaptation) des cultures de manière durable; et favorise la réduction/élimination des gaz à effet de serre (atténuation).

8.2. Impacts du changement climatique

a. Effets du changement climatique sur les cultures. Les changements climatiques auront un effet néfaste plus important sur la productivité des cultures et partant sur la production agricole. En effet, on a vu plus haut qu'au Burundi, le changement climatique entraîne plusieurs risques climatiques dont les plus importants sont : le déficit pluviométrique (sécheresse) et l'excès pluviométrique (pluies diluvienues).

En situation de déficit pluviométrique dû aux sécheresses ou aux pluies tardives, nous assisterons au dessèchement des cultures, et cela est déjà observé dans certains coins du pays notamment dans la région d'Imbo et dans les dépressions Nord-Est (Bugesera et Moso). Le retard et le départ précoce des pluies perturbent le calendrier cultural et entraînent la non maturation des cultures. Avec les saisons sèches très prolongées, l'exploitation des marais, au cours de la saison sèche, deviendra très difficile suite au dessèchement de l'eau des nappes phréatiques avant la maturité des cultures et à une forte transpiration.

En cas d'excès pluviométrique (pluies diluvienues), nous assistons à des inondations des basses terres et des marais ainsi qu'à l'érosion pluviale. Des cultures se trouvant dans ces zones inondées sont fortement détruites causant ainsi des pertes des récoltes des cultures vivrières. Il en est de même en cas de vents violents et de grêle qui accompagnent souvent les pluies torrentielles.

b. Effets du changement climatique sur l'élevage. Le changement climatique occasionne d'énormes dégâts et des effets néfastes au secteur de l'élevage au Burundi. La sévérité de l'aridité et/ou des sécheresses prolongées provoquerait le dessèchement des pâturages sur collines et dans les marais entraînant de ce fait des déficits alimentaires pour le bétail qui, à la longue, pourrait subir des pertes suite à la famine. Les marais et bas-fonds étant considérés comme des pâturages surtout pendant les saisons sèches, il en découlerait l'abandon de l'élevage surtout de gros bétail. De plus, cette situation pourrait également ralentir les efforts de plantations des cultures fourragères. Les inondations pourraient détruire les pâturages et modifier les limites de la végétation surtout pour les terres en basses altitudes, dans les marais et bas-fonds.

c. Effets du changement climatique sur la foresterie. En matière de foresterie, les hausses des températures et des fortes précipitations annoncées suite au changement climatique devraient se manifester par la modification des périodes et du rythme de croissance des arbres, mais également de leur répartition et leur productivité suivant les zones écologiques du Burundi.

La perturbation du régime pluviométrique, comme pour le cas de l'agriculture, devrait se répercuter sur les périodes de préparation des pépinières. En effet, la période de préparation des pépinières (mai- septembre) devrait certainement changer pour permettre aux plants de poursuivre leur croissance en saison des pluies. On peut aussi envisager l'abandon de la production en pépinière de certaines espèces végétales qui sont incapables de résister à la haute température. Cependant, certaines espèces très résistantes pourraient voir leur espace de préférence agrandi.

d. Effets du changement climatique sur la pêche et l'aquaculture. Les activités de pêche et d'aquaculture sont également perturbées suite à la variabilité et au changement climatique. La conjugaison de plusieurs facteurs défavorables à la pratique de la pêche et de l'aquaculture a entraîné de profondes modifications dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques affectant du coup les stocks piscicoles et la vie des artisans - pêcheurs. De même, les fortes températures induisent une élévation de l'évaporation d'où leur contribution à l'assèchement précoce des points d'eau provoquant ainsi une baisse de la production piscicole.

e. Effets du changement climatique sur les paysages et écosystèmes naturels. Au Burundi, les catastrophes naturelles telles que les sécheresses, les inondations, les érosions des sols et les glissements de terrains rendent les paysages et les écosystèmes naturels les plus vulnérables. Plusieurs études de vulnérabilité ont été effectuées. Elles ont porté notamment sur la plaine de l'Imbo, les escarpements des Mirwa, la Crête Congo-Nil et les dépressions du Nord-Est pour les paysages, et sur le lac Tanganyika, le lac Rweru, le Delta de la Rusizi, la forêt xérophile de la plaine de la Rusizi et la forêt ombrophile de montagne de la Kibira pour les écosystèmes naturels. Ces paysages et écosystèmes représentent un potentiel socio-économique évident pour le Burundi, mais ils sont malheureusement soumis à des pressions diverses dont le changement climatique qui menace leur avenir.

En référence aux études, les effets du changement climatique couramment observées sont notamment : (i) l'érosion latérale et verticale le long des axes de drainage, (ii) les fréquentes inondations le long des principaux cours d'eau et des rivières, (iii) la destruction des berges et infrastructures le long des axes de drainage et (iv) le surcreusement des vallées et une intense dissection des versants avec des pertes annuelles en terres très élevées.

Ainsi, les impacts induits par le changement climatique futur se traduiront-ils par l'amplification des inondations dans les basses terres, l'accélération de l'érosion dans les versants escarpés des Mirwa et une forte dynamique dans l'ensemble des régions (MINATTE, 2001, Bisore Simon, 2005-2006).

8.3. Bonnes pratiques d'adaptation de l'agriculture au changement du climat

8.3.1. Options d'atténuation et d'adaptation au changement climatique

La Première Communication Nationale de 2001 précise les politiques et les mesures d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre. Nombreuses options d'atténuation sont présentées selon les sources des émissions dont les principales sont : (i) le bétail domestique, (ii) le brûlage dirigé des savanes, (iii) les sols cultivés et (iv) la culture du riz.

a. Options pour le contrôle des émissions de GES issues du bétail domestique : (i) assurer le passage de l'élevage traditionnel à l'élevage intensif ; (ii) améliorer la composition et l'utilisation des aliments du cheptel domestique ; (iii) promouvoir l'élevage d'animaux faiblement producteurs de méthane ; (iv) promouvoir les techniques de compostage du fumier surtout en tas ; (v) utiliser des digesteurs à biogaz (biodigesteurs) dans la gestion du fumier.

b. Options pour le contrôle des émissions de GES issues du brûlage des savanes ou des mauvaises herbes : (i) adopter des méthodes culturales comme le désherbage manuel, le binage et le labourage à traction animale ou mécanique ; (ii) faire la rotation des cultures ; (iii) adopter le compostage des résidus agricoles ou des mauvaises herbes ; (iv) utiliser les résidus agricoles ou des mauvaises herbes à l'alimentation du bétail.

c. Options pour le contrôle des émissions de GES issues des sols cultivés : (i) utiliser des quantités optimales d'engrais chimiques azotés et leur application à des stades optimaux ; (ii) utiliser la matière organique riche en azote ; (iii) utiliser les techniques de fixation symbiotique de l'azote ; (iv) développer l'agroforesterie ; (v) faire le drainage et l'aération du sol.

d. Option pour la réduction des émissions de GES issues des rizières : (i) vulgariser des méthodes de drainage ; (ii) vulgariser des techniques de compostage des résidus de paille ; (iii) exploiter préférentiellement des marais minéraux ; (iv) utiliser des variétés à cycle court et à faible production du méthane ; (v) semer à des dates optimales.

8.3.2. Contribution prévue déterminée au niveau National, CPDN

Afin de réduire la vulnérabilité et accroître la résilience du Burundi face au changement climatique, les besoins ont été identifiés dans la CPDN. Ces besoins touchent le renforcement des capacités humaines, institutionnelles, techniques, financières et le transfert des technologies.

a. Besoins en renforcement des capacités humaines et institutionnelles. Le pays a besoin de: (i) informer, éduquer et communiquer sur le climat, les risques climatiques et les technologies d'adaptation (développement des capacités des populations à réagir) ; (ii) renforcer les aptitudes des acteurs (surtout femmes et agriculteurs) sur de nouveaux itinéraires techniques dans le cadre de modes de production intensifiés et durables (nouvelles techniques et systèmes cultureaux) ; (iii) encourager les transferts de technologie entre les organismes de recherche et les acteurs agro-sylvo-zootechniques ; (iv) soutenir les institutions à définir des priorités en matière d'adaptation selon les secteurs socio-économiques et favoriser la cohérence intersectorielle, notamment lors de l'élaboration du Plan National d'Adaptation.

b. Besoins techniques et transfert des technologies. Les besoins, les objectifs sont présentés dans le tableau 8.1.

Tableau 17 : Les besoins, les objectifs présentés dans la CPDN par le Burundi

Besoins	Objectifs et description
<i>Mesure phare : Développement de l'accès à l'eau tout en assurant une meilleure efficience de son utilisation</i>	
<i>Maîtrise et gestion des ressources en eau</i>	Développer, réhabiliter, gérer les aménagements hydro-agricoles et les retenues collinaires ; Réaliser les aménagements pour les cultures pluviales ; Développer la petite et moyenne irrigation et améliorer son efficacité pour limiter la consommation d'eau.
<i>Mesure phare : Promotion d'une agriculture intensifiée efficiente en eau</i>	
<i>Intensification et diversification des productions agricoles</i>	Intensifier et diversifier les productions agricoles en facilitant l'accès aux intrants (engrais, semences vivrières, fourragères résistantes à la sécheresse et produits phytosanitaires.) et aux équipements agricoles ; Développer l'approche agro-écologique (pratiques de gestion de la fertilité des sols, apport de fumier et de compost, développement de l'agroforesterie, conservation de l'eau et du sol) ; Développer la rizipisciculture
<i>Mesure phare : Sécurisation des productions animales et halieutiques et promotion des associations</i>	
<i>Sécurisation de l'élevage et appui à l'association agriculture- élevage</i>	Permettre la diversification des activités (élevage de plusieurs espèces d'animaux, association agriculture-élevage, vente de services de transports de récoltes, cultures fourragères, etc.) ; Faciliter la diversité génétique des différents animaux.
<i>Soutien à l'exploitation des ressources halieutiques</i>	Développer l'exploitation des ressources halieutiques tout en préservant la ressource (empoissonnement des plans d'eau, développement de la pisciculture pluviale, appliquer la mise en défens) ; Promotion de l'aquaculture en cage ; Promotion de l'aquaculture associée (volaille, porcs, lapins).
<i>Mesure phare : Soutien aux équipements utilisant les sources d'énergies renouvelables</i>	
<i>Amélioration du bien être des populations</i>	Améliorer les activités productives de l'agriculture et de l'élevage (exhaure, conservation, séchage, chaîne de froid) en utilisant les sources d'énergies renouvelables (hydraulique, solaire, éolienne). En intégrant l'aspect genre
<i>Mesure phare : Communication sur les risques climatiques et les scenarii d'adaptation</i>	
<i>Connaissance des changements spatio-temporels du milieu</i>	Suivi du climat et des prévisions météorologiques ; Prévention et lutte contre les bio-agresseurs ; former les acteurs sur les données climatiques et scenarii d'adaptation ; Les réseaux d'information permettant de connaître les zones où sévissent des maladies, et/ou celles où les ressources en eau et pâturages sont importantes.

En conclusion, la variabilité climatique est un risque pour les systèmes essentiels à la vie : la nourriture, l'eau, l'écosystèmes et la santé humaine. Il faudrait intégrer l'adaptation à toutes les politiques, notamment au secteur agricole. Les mesures conçues pour améliorer la gestion des risques climatiques contribuent positivement à l'adaptation au changement climatique. La mise en état des services éco-systémique et la protection du capital productif pourra augmenter la résilience. L'amélioration de l'efficacité du plaidoyer et du développement durable passera par la prise en compte du changement climatique.

Bibliographie et autres ouvrages à consulter

FAO, 2010: Climate Change Implications for Food Security and Natural Resources Management in Africa. Rome.

FAOSTAT, 2006: Progrès vers un environnement durable tel que défini par l'objectif 7 des Nations Unies pour le développement. Rome.

MEEATU, 2011: II^{ème} Communication nationale sur les Changements Climatiques.

NAHAYO Venant, 2008: Changements climatiques et Sécurité alimentaire. Quels liens? Rapport de consultation. Bujumbura.

NGEZEBUHORO E., 2011 : Les changements climatiques au Burundi. Présentation faite à l'occasion du forum national sur la sécurité alimentaire et la nutrition. Bujumbura.

NYENGAYENGE D. et al 2001: Analyse d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. Bujumbura.

CONCLUSION

Le Burundi fait face à une forte pression sur les ressources naturelles (eaux, forêts, terres...) due à une forte densité démographique sur des terres exigües, entraînant de ce fait leur forte dégradation. Les causes majeures de cette dégradation sont : la surexploitation des terres agricoles, les pratiques culturales inappropriées, la mauvaise utilisation de ressources en eau et en sols, la mauvaise affectation des terres, le défrichement incontrôlé des aires sous protection, les coupes illicites des boisements domaniaux et individuels, les feux de brousses incontrôlés, le surpâturage... A cela s'ajoute les effets du changement climatique.

Les défis auxquels les populations sont confrontées sont : l'amplification des phénomènes d'érosion hydrique et éolienne, l'aridité des sols, la dégradation physique, chimique et biologique des sols, la salinisation de certains périmètres irrigués, la dégradation des ressources forestières, des pâturages, des aires protégées et la perte de la biodiversité. L'amplification des problèmes d'érosion sur les collines influe énormément sur la qualité des sources en eaux, la stabilité des berges des rivières, la pollution des eaux et la détérioration des caractéristiques des zones humides. Cette dégradation débouche sur la détérioration des conditions de vie des populations, la baisse des capacités de production et la résilience face aux effets du changement climatique.

Les techniques proposées plus haut peuvent résoudre les questions cruciales de la dégradation des terres. Pour la lutte anti-érosive, l'enquête réalisée par la FAO a montré que les techniques biologiques sont plus efficaces car ayant un effet direct sur le sol et permettant d'acquérir d'autres produits comme le fourrage, les tuteurs, le bois... et demandent moins de main-d'œuvre. Les ouvrages mécaniques sont coûteux en termes de moyens, de technologies et de charge de travail. Les exploitations étant de petites dimensions, l'adoption de l'agroforesterie offre plusieurs opportunités en terme de conservation de sol, de fournitures de produits et autres services.

La gestion efficiente de l'eau pourrait permettre une augmentation de la production et de la productivité mais il nous faut adopter les technologies de collecte, de conservation et d'utilisation rationnelle des eaux pluviales. En plus les techniques d'irrigation et l'extension des zones irriguées devraient permettre une augmentation substantielle de la production notamment dans la plaine de l'Imbo et les dépressions de l'Est et du Nord-Est. Le Gouvernement devrait y consentir plus de moyens matériels, techniques, financiers et humains consistants plus que d'habitude.

Le développement de la GIFS est une solution durable à l'agriculture burundaise mais des contraintes sont à résoudre en termes d'accès aux intrants agricoles et aux technologies nouvelles. La promotion du crédit agricole et le renforcement des services de vulgarisation trouveraient ici leur bonne place.

La promotion de la foresterie et de l'agroforesterie par la maîtrise de la pratique des pépinières, le reboisement des sommets de collines, l'installation des cordons boisés dans les petites

exploitations et de grands boisements dans les grandes exploitations amélioreraient les conditions climatiques du pays, la protection de la biodiversité et la résilience face au changement climatique.

Enfin, l'adoption de bonnes pratiques d'adaptation au changement climatique est une chance pour nos populations de survivre et de s'adapter aux effets néfastes du changement climatique par des méthodes qui leur permettraient de mieux produire et donc de mieux vivre.

La mise au point des techniques relativement simples et réalisables par les agriculteurs et qui procurent un avantage à court terme (immédiat) est un préalable à toute action de vulgarisation. Toute technique n'est facilement vulgarisable que si elle apporte un surcroît de production, elle doit être simple à réaliser et ne doit pas être coûteuse à mettre en œuvre.

ADOPTION ET SOUTIEN DECISIONNEL²⁸

Le succès de l'adoption de la gestion durable des terres dépend d'un certain nombre de facteurs: d'abord de la disponibilité de bonnes pratiques de gestion durable des terres qui augmentent les rendements et en même temps diminuent la dégradation des terres, ensuite du fait que ces pratiques soient adaptées aux situations agro-écologiques et aux conditions socio-économiques des populations. Mais cette condition ne suffit pas : un environnement favorable est primordial, constitué d'un cadre institutionnel politique et légal, de la participation locale et de la planification régionale, de la création des compétences, du suivi et de l'évaluation, des moyens financiers ainsi que de la recherche.

Pour la réussite de la mise en œuvre des bonnes pratiques de gestion durable des terres, deux scénarii se présentent²⁹ :

Scénario 1 : Faibles investissements dans la lutte contre la dégradation des ressources naturelles. Ce premier scénario est basé sur l'idée que les décideurs politiques ne sont pas suffisamment conscientisés sur les enjeux d'engager une lutte soutenue contre la dégradation des terres et par conséquent ne mobilisent pas les ressources nécessaires à cet effet. Cette situation serait donc similaire à celle que le Burundi vit actuellement.

Scénario 2 : Investissements importants dans la lutte contre la dégradation des ressources naturelles. Il s'agit d'un scénario envisagé au cas où les décideurs politiques prendraient bien conscience que la survie de la population burundaise actuelle et future dépend de la gestion rationnelle et durable des ressources naturelles et de l'environnement. Dans ce cas, ils vont mobiliser les ressources intérieures et extérieures nécessaires pour mettre en œuvre les politiques déjà conçues en matière de gestion durable des ressources naturelles et de l'environnement.

²⁸ La Pratique de Gestion Durable des Terres. Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique Subsaharienne. Applications sur terrain.TerrAfrica 2011.

²⁹ Etude de sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi. MEEATU, 2011

ANNEXES

Annexe 1 : Les définitions des phénomènes de mouvement de masse

- a. Les glissements lents (creep).** C'est un glissement plus ou moins lent des couches superficielles de la couverture pédologique, généralement sans décollement, qui s'observe assez généralement sur des pentes fortes grâce à la forme couchée de jeunes plants forestiers et à la forme en crosse de la base des arbres adultes. Une autre forme de creep est causée par des techniques culturales : c'est l'**érosion mécanique sèche** : descente progressive des terres poussées par les outils agricoles comme la houe, la charrue à socs ou à disques.
- b. Les glissements rapides.** Les glissements de terrain en planches sont des décollements d'une couche plus ou moins épaisse de sol, glissant sur un horizon plus compact (souvent de roche altérée), servant de plan de glissement. Ce phénomène est très courant sur les schistes dont le pendage est parallèle à la topographie (pendage conforme) sur les gneiss en voie d'altération.
- c. Les versants moutonnés.** Formes molles apparaissant dans des conditions humides lorsque les horizons superficiels dépassant le point de plasticité et progressent lentement, comme une pate dentifrice, entre la trame de racines qui retient l'horizon de surface et l'horizon compact imperméable que représente l'altérité des argilites par exemple.
- d. Les coulées boueuses** (lave torrentielle). Ce sont des mélanges d'eau et de terre à haute densité ayant dépassé le point de liquidité et qui emportent à grande vitesse des masses considérables de boue et de blocs de roches de taille importante. Lorsqu'elles viennent de se produire, elles se présentent sous forme d'un canal terminé par une langue de matériaux de texture très hétérogène (cône de déjections). Les matériaux fins sont repris ultérieurement par l'érosion hydrique en nappe ou en rigole, laissant en place une masse de cailloux et de blocs de taille très hétérogène. Elles apparaissent souvent à la suite d'un glissement en planche ou dans une ravine lors d'une averse exceptionnelle nettoyant les altérités accumulées depuis quelques années.
- e. Les glissements rotationnels en coups de cuillère.** Ce sont des glissements où la surface du sol et une partie de la masse glissent en faisant une rotation, de telle sorte qu'il apparaît une contre pente sur le versant.
- f. Les formes locales.** Il s'agit d'éboulement rocheux, de sapements de berges ou d'effondrements de versants qui entraînent des glissements localisés. Ceux-ci sont très fréquents en tête de ravines : ils entraînent l'éboulements de la partie supérieure des lèvres d'une ravine et font progresser la ravine vers le sommet de la colline par érosion régressive.

Annexe 2. Construction supplémentaire dans le PPI d'un forage selon le type de moteur utilisé

- (i) Dans le cas de forages équipés de pompes à motricité humaine, il est demandé de construire une dalle en béton (margelle) comme protection de l'ouvrage contre toute pollution directe. Une dalle en béton peut avoir les dimensions suivantes : 280 cm x 220 cm et 20 cm d'épaisseur munie d'un canal d'évacuation. La construction doit être entourée d'un grillage afin d'éviter l'entrée des animaux.
- (ii) Dans le cas de forages équipés d'une pompe solaire, et uniquement dans le cas où le lieu de puisage se trouve dans le PPI, il est demandé de construire une dalle en béton munie d'un canal d'évacuation qui draine les eaux usées à l'extérieur du PPI (et en aval du captage si possible). La construction doit être entourée d'une clôture grillagée. Un exemple de plan de construction n'est pas proposé car il n'existe pas de standard. Il dépend du type d'aménagement de surface, de l'aire de puisage, de son plan ainsi que du nombre de robinets. L'objectif étant que l'ouvrage (à savoir la dalle en béton du lieu de puisage) protège le captage de toute infiltration d'eau.

(iii) Dans le cas de forages équipés d'une pompe électrique actionnée par un groupe électrogène, une plateforme en béton de 20 cm d'épaisseur avec drains collecteurs et fosse étanche doit être installée pour protéger la nappe. Les hydrocarbures doivent être stockés à l'extérieur du PPI.

Annexe 3. Formule utilisée pour le calcul du rayon de PPR et PPE

Formule utilisée pour le calcul de rayon de PPR et PPE sans données hydrogéologiques. Les tailles de rayons se basent sur le calcul proposé pour la mise en place des périmètres de protection des captages Aménagement d'Eau Potable au Bénin :

$$R = \sqrt{Q \cdot t / \pi \cdot n_e \cdot h}$$

Q : débit d'exploitation (m³/h) ; t : temps de prélèvement. On considère un prélèvement constant sur 10 jours (ou 240 h) ; n_e : porosité efficace estimée à n_e = 0,05. Cette valeur correspond au sable argileux, qui est le matériel de l'aquifère poreux dans la plaine de l'Imbo. Si le type d'aquifère est connu, les porosités efficaces correspondantes peuvent être appliquées; et h : longueur moyenne de crête installée au Burundi (10 m).

Valeurs de la porosité efficace moyenne pour les principaux réservoirs (Castany, 1998)

Type d'aquifère	Porosité efficace n _e
Gravier gros	0,30
Gravier moyen	0,25
Gravier fin	0,20
Gravier et sable	0,15 à 0,25
Alluvions	0,08 à 0,10
Sable gros	0,20
Sable moyen	0,15
Sable fin	0,10
Sable très fin	0,05
Sable argileux	0,05
Argile	0,02
Vases	0,001
Calcaire fissuré	0,02 à 0,15
Craie	0,02 à 0,05
Grès fissuré	0,02 à 0,15
Granite fissuré	0,001 à 0,02
Basalte fissuré	0,08 à 0,10
Schistes	0,001 à 0,02

Description de la méthode de Wyssling (données hydrogéologiques spécifiques locales disponibles).

La méthode de Wyssling (1979) est généralement appliquée pour la délimitation des périmètres de protection. À travers une formule mathématique, elle permet de calculer le temps d'écoulement (t) d'une goutte d'eau souterraine située sur un point quelconque de l'aquifère jusqu'au captage et ainsi délimiter les isochrones nécessaires pour la définition des périmètres de protection. L'application de la méthode suppose que l'aquifère soit homogène et illimité.

Pour appliquer la formule de Wyssling, il faut d'abord connaître :

- H : épaisseur de l'aquifère saturé (m)
- k : conductivité hydraulique de l'aquifère (m/s)
- I₀ : gradient hydraulique (dans le cas de forage, il s'agit du gradient initial, c'est-à-dire avant l'installation de la pompe)

- n_e : porosité efficace de l'aquifère
- Q : débit moyen annuel pour les sources et débit d'exploitation pour les forages (m^3/s)

Avec ces valeurs, il faut calculer les dimensions suivantes nécessaires pour la délimitation des zones de protection :

$$B = Q/H.k.I_0 \quad \text{Largeur du front d'appel en amont du forage ou de la source pour un débit } Q \text{ (en m)}$$

$$X_0 = B/2\pi \quad \text{Distance en aval concernée par le pompage ou le débit de la source (en m). Dans le cas où le } X_0 \text{ calculé est inférieure au } S_u \text{ calculé, il sera alors égal à } S_u$$

$$b = B/2 \quad \text{Largeur du front d'appel à l'hauteur du forage ou de la source (en m)}$$

$$v_o = \frac{k \cdot I_0 \cdot 86400}{n_e} \quad \text{Vitesse effective d'écoulement (ou de transfert) de l'eau souterraine (m/jour)}$$

$$S_o = \frac{v_o \cdot 10 \cdot \sqrt{v_o \cdot 10 \cdot (v_o \cdot 10 + 8 \cdot X_0)}}{2} \quad \text{Distance en amont sur l'axe d'écoulement pour l'isochrone de 10 jours. Pour calculer cette distance dans le cas de l'isochrone de 5 jours, il faut remplacer 10 par 5 dans cette formule}$$

$$S_o = \frac{-v_o \cdot 10 \cdot \sqrt{v_o \cdot 10 \cdot (v_o \cdot 10 + 8 \cdot X_0)}}{2} \quad \text{Distance en aval sur l'axe d'écoulement pour l'isochrone de 10 jours. Pour calculer cette distance dans le cas de l'isochrone de 5 jours, il faut remplacer 10 par 5 dans cette formule}$$

$$L_o = 2a = 2 \frac{(S_o + S_u)}{2} \quad \text{Longueur de l'ellipse qui représente l'isochrone calculé}$$

$$L_a = 2 \cdot \sqrt{(a^2 - (a - S_u)^2)} \quad \text{Largeur de l'ellipse qui représente l'isochrone calculé}$$

Une fois que les grandeurs B , X_0 , b , S_o et S_u sont connues, il faut dessiner les périmètres de protection. Le PPR, qui est défini comme l'isochrone de 10 jours (ou 5 jours), portera une forme d'ellipse. Le PPE prendra une forme parabolique avec une longueur du grand axe équivalente à $X_0 + 2 \cdot S_o$.

Annexe 4. Impacts des décharges et mesures d'atténuation

Effets du traitement des déchets sur la santé. Les différents procédés de traitement peuvent être générateurs d'émissions polluantes spécifiques :

- Les opérations de collecte peuvent contribuer à la diffusion de poussières et de micro-organismes susceptibles de porter atteinte aux voies respiratoires ou aux tissus (mycoses),
- Des fermentations anaérobies se produisent sur les sites de stockage compactés et génèrent en outre des traces de mercaptans toxiques et des quantités significatives d'hydrogène sulfuré et de méthane, gaz à effet de serre et explosible à certaines concentrations,

(iii) La combustion des déchets et des gaz qu'ils génèrent émet des oxydes de carbone, d'azote et de soufre, des acides, des poussières, des composés organiques volatils et des organohalogénés. Ces substances émises sont diffusées dans l'environnement et sont susceptibles d'avoir un impact sanitaire sur les populations riveraines.

Ainsi, cela nous donne des informations sur des dangers que courent les populations riveraines des différents dépotoirs et de la décharge de Bujumbura car ces substances varient en fonction de la composition des déchets, des conditions climatiques,...

Impacts de la décharge sur l'environnement. Les déchets ménagers, comme d'ailleurs tous les autres déchets, constituent une très grande menace écologique lorsque leur mise en décharge ne correspond pas aux dispositions techniques adéquates. En règle générale, les risques de contamination de l'environnement aux environs d'une décharge sont fonction des principaux facteurs suivants: (i) le mode d'exploitation, (ii) le type et le tonnage des déchets mis en décharge, (iii) le type de l'installation, (iv) les caractéristiques du lieu d'implantation, (v) le mode de gestion. Toutefois, la production de déchets elle-même constitue une source réelle des risques liés à la gestion des déchets. La principale mesure visant à prévenir ou à réduire ces nuisances consiste donc à limiter à un minimum la production des déchets.

En ce qui concerne la réalisation des installations techniques, la méthode la plus efficace pour prévenir les effets nuisibles consiste à choisir des sites d'implantation adaptés et à bien concevoir les installations conformément aux exigences techniques, organisationnelles et environnementales. Une décharge construite selon les règles de l'art et exploitée de manière contrôlée permet d'exclure largement les nuisances et les inconvénients que les diverses émissions constituent pour l'homme et son environnement.

Impacts sur le site et le paysage : Le corps de la décharge sera très probablement à l'origine de modifications considérables dans la région environnante. Entre autres, la dégradation du paysage se caractérisera par : (i) la construction des superstructures et des bâtiments, (ii) la réduction de l'accessibilité aux zones sauvages, (iii) le trafic lié aux livraisons de déchets : dégradation visuelle du paysage, nuisances sonores et émission de substances polluantes.

Impacts sur la faune et la flore: l'exploitation de la décharge aura des conséquences sur la vie sauvage (faune et flore) aux environs de cette dernière. A l'exception de quelques secteurs isolés, la faune et la flore aborigènes pourraient complètement disparaître. Cependant, la mise en décharge des déchets peut entraîner l'apparition de nouvelles communautés d'animaux et de végétaux. En effet, d'un point de vue purement biologique, un site de mise en décharge peut être considéré comme véritable biotope, se distinguant du milieu environnant et caractérisé par une activité biologique propre. On peut également s'attendre à la prolifération d'animaux représentant un danger ou une nuisance pour l'homme même à ses environs aussi.

Impacts sur la qualité de vie des populations. La qualité de vie des populations environnant la décharge pourrait être perturbée par des nuisances de plusieurs sources dont les principales sont : odeurs, lixiviats, émissions des poussières et les bruits.

Impacts sur le processus climatique : les biogaz générés par une décharge renferment essentiellement le méthane. Or, ce dernier est un gaz à effet de serre ayant par ailleurs un pouvoir de réchauffement élevé et qui participe donc au dérèglement du climat.

Des mesures visant à prévenir ou à réduire les effets nuisibles pour la santé publique :

- Mesures hygiéniques et sanitaires préventives comme la fourniture de vêtements de travail, l'hygiène au lieu de travail, examens médicaux réguliers pour le personnel, lutte contre la prolifération des insectes et des rongeurs, ...

- Mesures en matière de sécurité du travail : niveau élevé d'instruction et de formation du personnel pour la prévention des accidents, l'élaboration de plans d'alarme indiquant comment agir en cas d'accident, programmes d' entraînement régulier, ...
- Mesures de minimisation des émissions pour la population environnante : suppression des émissions de fumée, minimisation des émissions gazeuses, liquides, solides et olfactives, respect des distances minimum jusqu'aux zones résidentielles, mesures de protection sonore, ...
- Minimisation des risques d'accidents : minimisation du trafic aller-retour et du trafic sur le site, prévention des incendies et des émissions de fumées, ...

Des mesures visant à prévenir ou à réduire les effets nuisibles sur le paysage et l'espace :

- Choix du site appropriés,
- Minimisation de l'absorption du terrain,
- Conservation des éléments caractéristiques du paysage,
- Mesures visant à éviter l'éparpillement des déchets volatiles,
- Revégétalisation des sites après fermeture, en respect des critères d'aménagement paysager, ...

Des mesures visant à prévenir ou à réduire les effets nuisibles sur la faune et la flore :

- Conservation de l'espace vital des plantes et des animaux protégés,
- Minimisation de l'absorption de terrain,
- Emploi des plantes aborigènes pour les surfaces libres, ...

Des mesures visant à prévenir ou à réduire les effets nuisibles sur l'air et le climat :

- Minimisation des émissions de gaz, de poussières, de fumées et d'éléments polluants,
- Conservation des zones naturelles à potentiel important pour le microclimat,
- Minimisation de la consommation d'énergie primaire : réduction de l'émission de CO, de CO₂ et ainsi donc la minimisation de l'impact sur le réchauffement de la planète.

Des mesures visant à prévenir ou à réduire les effets nuisibles pour les eaux :

- Contrôle et traitement adéquat des eaux de ruissellement et des lixiviats,
- Minimisation de l'absorption de terrain,
- Minimisation des émissions d'éléments polluants, ...

Annexe 5. Contraintes et rôle potentiel de l'arbre selon le système d'utilisation du sol au Burundi

Type de système	Contraintes	Rôle potentiel de l'arbre
La plaine occidentale	Surpâturage, vents desséchants et érosion éolienne conduisant à la disparition des pâturages au Nord ; L'excès de chaleur et le manque d'eau limitant le développement des cultures ; Les crues provenant du Mumirwa détruisent les infrastructures.	Amélioration des pâturages, brise-vent ; Ombrage des cultures.
L'escarpement occidental à bananier	Région la plus affectée par l'érosion d'où diminution de la fertilité des sols ; Les parcelles agricoles sont de plus en plus réduites suite à la	Des haies anti-érosives mixtes lutteraient contre l'érosion, fourniraient divers produits boisés et de la paille pour les cafériers.

	forte croissance de la population ; Manque de bois de feu et de construction, de bois d'œuvre et de tuteurs pour haricot volubile.	
La Crête Zaïre-Nil à thé et fôrets (Nord du Mugamba)	Réduction de la taille de l'exploitation, diminution de la fertilité des sols, manque de revenus, approvisionnement en bois des exploitations en lisière de la forêt naturelle protégée.	Plantation d'arbres pour le bois de feu et d'œuvre en vue de protéger la forêt naturelle ; Le développement des vergers de fruits pour diversifier les sources de revenus.
La Crête Zaïre-Nil à élevage (Bututsi et Mugamba Sud)	Acidité des sols affectant le développement de l'agriculture et de l'élevage, manque de revenus.	Haies mixtes dans les parcelles vivrières et les pâturages pour l'alimentation du bétail et la stabilisation du sol ;
		Plantation de micro-boisements pour production de bois et de revenus qui permettraient de se procurer des amendements.
Les plateaux centraux à cafier	Réduction de la taille de l'exploitation, diminution de la fertilité du sol ; Médiocrité des sols et saison sèche longue dans la partie Est moins peuplée.	Haies mixtes d'arbustes fourragers et d'herbacées pour produire du fourrage pour le petit bétail et du mulch pour améliorer la fertilité du sol ; Arbres pour bois de feu et d'œuvre dans la partie Est.
Les plaines sèches de l'Est (dépression de la Malagarazi et ses affluents à la frontière Tanzanienne).	Dégénération de la savane arborée par les feux de brousse, médiocre fertilité des sols, sensibilité des sols à l'érosion et sécheresse.	Plantation d'arbres pour bois de feu, d'œuvre et de service ; Installation de haies anti-érosives

Annexe 6. Techniques de multiplication des arbres et arbustes agro-forestiers

Acacia sp. Semis en pépinière. Ebouillantage de graines durant 3 minutes et laisser refroidir 24 à 48 h, la graine doit être gonflée et semée aussitôt après traitement. Certaines espèces peuvent demander l'inoculation, se renseigner au préalable. Pour tous les Acacias africains les graines plantées développent souvent une très profonde racine pivotante, la croissance aérienne est donc généralement lente au début.

Acrocarpus fraxinifolius. Semis en pépinière après ébouillantage des graines (2 graines par tube). Essence longue à la germination - a tendance à développer un profond pivot avant croissance en hauteur. Doit être réessayé à diverses altitudes au Burundi en boisement. Espoir en agroforesterie comme ombrage en caféculture et théiculture. Sa litière se décompose bien.

Albizia sp. Les graines ont un tégument très dur. Elles demandent un ébouillantage 3 minutes avant semis.

Alnus. Semis en germoir, puis repiquage. Bouturage par les racines. Il a une bonne faculté à rejeter. *Alnus acuminata* demande l'inoculation. Les graines se conservent très mal et doivent être semées juste après la récolte.

Cajanus cajan. Semis direct couramment, l'espèce n'étant pas très exigeante au niveau du sol.

Calliandra calothyrsus. 15000 graines/kg. La germination des graines peut avoir lieu sans traitement mais le résultat est meilleur après ébouillantage des graines (2 à 3 minutes). La plantule est plantée à 5-6 mois. En 1 an, il peut

atteindre 3 à 5 m de hauteur et 5 cm de diamètre. L'inoculation n'est pas nécessaire. L'espèce demande néanmoins des sols riches. Le *Calliandra* donne peu de graines.

Cedrela/ Toona. La fructification est abondante. Son pouvoir germinatif est fugace sauf avec conservation au froid. Semer en lignes espacées de 20 cm sur couches légèrement ombragées. Levée : 8-20 jours. Repiquer en sachets ou sur plates-bandes à 10*20 cm. Les plants en sachets sont utilisés dans la saison, ceux sur plates-bandes sont stumpés à un an. La mise en place se fait à un espacement large 6*6 m. Sa croissance est rapide : 1,5 m par an dans les meilleures conditions jusqu'à un âge avancé. Il est exploité à 40-50 ans. Sa régénération naturelle est abondante. Il souffre de bostryches foreurs de tronc (*Apate*), de chenilles défoliaitrices, de fourmis attaquant l'écorce et provoquant une gommosse. La végétation est languissante même après un bon départ, en sol insuffisamment fertile.

Crotalaria sp. Semis direct sur le terrain ou en pépinière. Essence rustique au niveau du sol mais moins que *Tephrosia*. On la retrouve naturellement au Burundi dans les régions des plateaux centraux et sur les crêtes jusqu'à 2200 m d'altitude. Elle a été implantée avec succès au Mugamba. Les graines se traitent par scarification mécanique ou trempage dans l'eau à température ambiante 2 jours puis on passe au séchage.

Ficus sp. La multiplication se fait par bouturage des branches entières (pas trop grosses). Il faut les couper et les enterrer légèrement.

Grevillea robusta. Le semis se fait en pépinière, en germoir ou directement en tube. Dans le second cas veiller à ne pas enterrer très profondément la graine.

Leucaena sp. La scarification est mécanique (agiter les graines 15 à 20 mm avec du sable grossier), ou trempage 2 minutes dans de l'eau à 80° ou trempage 3 jours dans de l'eau à température ambiante et séchage correct.

Maesopsis eminii. La graine demande une stratification longue (5 jours dans une boue sablonneuse avant semis). A utiliser en reboisement de 800 à 1500 m.

Markhamia sp. Le semis est direct en pépinière et sur le terrain. Il pousse facilement et donne un bon bois de feu et de service. Il a une bonne sociabilité avec les cultures. Le traitement en taillis avec rotation de 4 à 5 ans (2 à 3 perches). Il se bouture bien.

Millettia sp. Espèce recommandée en pépinière, mais le semis direct est possible.

Mitragyna rubrostipulosa. Il se reproduit par bouture. Il se trouve à l'état naturel à Gisozi dans le fonds de vallons. Essence intéressante pour le mulch et pour implantation en marais. Il rejette facilement.

Morus alba. Reproduction généralement pour bouture.

Newtonia buchananii. Semis direct possible. A tester au bord des marais.

Sesbania sp. Semis en pépinière, repiquage ou semis direct.

Tephrosia sp. Semis direct sur le terrain ou en pépinière. L'essence apparaît dans son milieu naturel de manière très rustique, sur versants abrupts et zone caillouteuses. Peu d'exigence. Les graines se traitent par scarification mécanique trempage dans l'eau à température ambiante 2 jours puis séchage.

Annexe 7. Les conditions d`exigences édapho-climatiques de chaque espèce agroforestière

Espèces/essence	Exigences des sol/tolérance à l'acidité du sol	Précipitations minimales mm/ans	Altitude
<i>A. albida</i>	Léger-profond.Peu exigeant	250 mm	< 1800 m
<i>A. melanoxyton</i>	Très bons sol	1000 mm	1000 à 1800 m
<i>A. auriculiformis</i>	Latéritique-sablo-limoneux	1000 mm	1000 à 1500 m
<i>A. longifolia</i>	Sol profond-riche	1200 mm	< 2000 m
<i>A. nilotica</i>	Alluvions inondées	1000 mm	< 1800 m
<i>A. polyacantha</i>	Riche et humide	1000 mm	< 1800 m
<i>A. holosericea</i>	Acide-profond-sableux	1000 mm	< 2000 m
<i>A. catechu</i>	Sabloneux-rocheux	500 mm	< 1000 m
<i>A. sieberana</i>	Humide-sablo-limoneux	600 mm	800 à 1800 m
<i>A. saligna</i>	Peu d'exigence	1000 mm	< 2000 m
<i>A. Elata</i>	Sol profonds-riches	1200 mm	< 2000 m
<i>A. mearnsii</i>		1200 mm	800 à 2500 m
<i>A. mangium</i>	Sableux-acide	1000 mm	< 1500 m
<i>A. hockii</i>	Rocheux-hauts pâturages	600 mm	1000 à 1700 m
<i>A. gerrardii</i>	Humide-long des rivières	1200 mm	1300 à 1700 m
<i>A. mollessima</i>	Pauvre	1000 mm	1200 à 1800 m
<i>A. abyssinica</i>	Savanes boisées	1200 mm	1400 à 1800 m
<i>A. aulacocarpa</i>	Sol acide	300 mm	
<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	profond	750 mm	Jusqu'à 1700 m et +
<i>Albizia lebbeck</i>	Moyennement acide	1000 mm	< 1800 m
<i>Albizia gummifera</i>	Très plastique		
	Moyennement acide profond frais	800 mm	1000-2200 m
<i>Albizia chinensis</i>	Frais même marécageux	1000 mm	< 1900 m
<i>Albizia harveyi</i>	Terrain forêts	1000 mm	< 1800 m
<i>Albizia falcata</i>	Profond frais	1000 mm	2000 m et +
<i>Alnus nepalensis</i>	Argileux profond bien drainé	500 mm	1000 à 3000 m
<i>Alnus acuminata</i>	Argileux profond bien drainé	1000 mm	1200 à 3000 m
<i>Alnus alba</i>	profond		
<i>Cajanus cajan</i>	Tolérant	600 mm	< 1.800 m
<i>Calliandra calothyrsus</i>	bonne	800 mm	< 2000 m
<i>Cedrela serrulata</i>	Moyenne	1200 mm	< 1200 m
<i>Cedrela odorata</i>	Moyenne	1200 mm	< 1500 m
<i>Toona ciliata</i>	moyenne	1200 mm et +	< 1200 m
<i>Crotalaria</i>	Tolérant	1000 mm	1000 à 2000 m et +
<i>Ficus divers</i>	moyen	600 mm	800 à 2300 m
<i>Grevillea robusta</i>	moyen	800 mm	1000-1800 m
<i>Hagenia abyssinica</i>	moyen	1500 mm	Jusqu'à 2700 m
<i>Leucaena leucocephala</i>	Non	600 mm	< 1500 m
<i>Leucaena diversifolia</i>	moyen	600 mm	2000 m et +
<i>Maesopsis eminii</i>	moyen	800 mm	800-1800 m
<i>Markhamia lutea</i>	bonne	800 mm	800-2300 m
<i>Markhamia obtusifolia</i>	bonne	800 mm	< 1200 m

Millettia dura	Prof. <50 cm meuble	1200 mm	1000 à 1500 m
Mitragyna rubrostipulosa	moyen	maraïs	1400 à 2300 m
Morus alba	moyen	1000 m	1800 m
Myrianthus holstii	moyen	1500 mm	1800 à 2400 m
Newtonia buchananii	moyen	1000 mm	800 à 2400 m
Sesbania sesban	Moyen	1000 mm	< 2000 m
Sesbania grandiflora	Non (pH >7,5)	1500 mm	< 1200 m
Sesbania macrantha	moyen	700 mm	1500 à 1700 m
Tephrosia vogelii	Tolérant	800 mm	< 1800 m

Annexe 8. Mise en place des graminées et légumineuses fourragères herbacées

Cadariocalyx gyroïdes. Semis, 2 à 3 kg de semences par hectare, profondeur de semis : 1 à 2 cm. 120 000 graines par kg de semences. La scarification n'est pas obligatoire. Une inoculation avec une souche de Rhizobium spécifique est recommandable. L'enrobage des graines avec de la roche phosphatée peut prévenir des déficiences durant la phase d'installation. Il est préférable de l'installer comme culture pure. La plantation par éclats de souche ou bouture un peu ligneuse donnent des bons résultats.

Centrosema spp. Semis de 3-8 kg de semences à l'hectare, 2,5 à 5 cm de profondeur. Les graines étant dures, il est conseillé de faire un trempage dans l'eau chaude 77°C pendant 15 minutes avant le semis pour favoriser la germination. Un enrobage de roche phosphatée est souhaitable. Après un démarrage parfois lent, le recouvrement du sol se fait rapidement. L'inoculation est recommandable pour assurer la fixation d'azote atmosphérique. Plantation des boutures, en pépinière dans des sachets en feuilles de banane pour améliorer la reprise.

Desmodium intortum et Desmodium uncinatum. Semis, 2 à 3kg de semences par hectare, scarification non obligatoire, trempage 5 minutes dans l'acide sulfurique. L'inoculation avec du rhizobium et l'enrobage des graines avec de la roche phosphatée pour prévenir les déficiences durant la phase d'installation sont recommandés. Plantation des boutures sur terrain (40% de reprise). La transplantation des boutures déjà enracinées dans des sachets en feuilles de bananiers à la pépinière donne de très bons résultats.

Macrotylona axillare. Semis, 1 à 2 kg de semences par hectare, profondeur 1 à 2 cm. 120 000 graines par kg de semences. La scarification n'est pas obligatoire. Bien qu'elle s'infecte avec des souches naturelles du sol, une inoculation avec une souche de Cowpea est recommandable lorsqu'il s'agit d'une nouvelle introduction de l'espèce. Un enrobage avec de la roche phosphatée peut suffire à stimuler le départ de la croissance et protéger les Rhizobiums. On plante aussi des boutures. Une fertilisation phosphatée avant les semis est souhaitable.

Panicum maximum. Semis, 5 à 10 kg de graines à l'hectare au début de la saison des pluies, suivi d'un hersage et d'un roulage, profondeur de semis 1 à 2 cm (taux de germination faible, semis en pépinière, 2 ares pour 1 hectare, multiplication des jeunes plants par éclats de souche en utilisant des pieds fortement racinés et provenant de grosses souches, on fait raccourcir les racines à 2 cm et couper la taille à 10 cm au-dessus du collet. Elle est exigeante en fumier : apport de 40 à 50 tonnes de fumier par hectare avant l'implantation.

Pennisetum purpureum. Exclusivement par voie végétative. Plantation des éclats de souche ou des boutures de tige portant 3 à 4 nœuds qui seront couchées dans le sillon, un nœud au-dessus, deux nœuds en dessous du sol.

Pueraria sp. Semis : les graines sont très dures et doivent être trempées dans l'eau chaude de 50 à 70°C pendant quelques heures ou dans l'acide sulfurique (30 minutes) avant d'être semées. On sème en ligne, à la volée ou en paquets à raison de 6 à 17 kg/ha. Le semis en paquets distants de 0,50 m nécessite 8 kg de semences à hectare.

Boutures : on utilise de boutures de 0,70 à 1 m de long environ que l'on plante à 90 cm dans chaque sens. L'inoculation n'est pas obligatoire mais recommandée.

Setaria sphacelata. Semis, le taux de germination est généralement faible, 18kg de semences par hectare. Plantation, par éclats de souche à 15cm de profondeur, il faut raccourci les racines à 2 cm et couper la taille 10 à 15 cm au-dessus du collet.

Stylosanthes guianensis. Semis : les graines sont dures (350 000 graines par kg de semences). Pour améliorer la germination, il est recommandé de les tremper dans l'eau chaude à 60°C pendant 20 minutes. On sème à raison de 2 à 3 kg de semences par hectare, à une profondeur de 0,5 cm.

Boutures : on repique des extrémités herbacées de rameaux et on plante 2 à 3 dans un bouquet (3 noeuds au-dessous du sol). Elle s'infecte des souches de Rhizobium naturelles dans le sol.

Tripsacum laxum. Au début de la saison des pluies, plantation des boutures de fragments de tige portant 3-4 nœuds ou des éclats de souche portant des racines. Après trois mois on opère un buttage léger pour favoriser le taillage. Cette plante réagit très bien à la fertilisation et en particulier à la fertilisation azotée.

Annexe 9. Les détails sur les exigences édapho-climatiques des plantes fourragères herbacées

Espèce	Tolérance à l'acidité	Précipitation minimale mm/ an	Altitude m
Cadariocalyx gyroïdes CIAT 301	moyenne	1000	1800
Desmodium intortum	moyenne	900	< 2400
Desmodium uncinatum	moyenne	900	< 2400
Macrotyloma axillare « Archer »	moyenne	1000	< 1800
Panicum maximum T58	moyenne	1000	< 1800
Cameroun French Cameroun Keyberg "Dwarf" Bana Grass	moyenne moyenne moyenne moyenne moyenne	1000 1000 1000 1000 1000	< 2000 < 2000 < 1800 < 1800 < 1800
Pueraria phaseoloïde	bonne	850 m en couverture 1200 mm	< 1000 Tanzanie < 1200 Kenya < 2000 Colombie
Setaria sphacelata	moyenne	750	< 2600
Stylosanthes guianensis "CIAT 184" "COOK"	bon bon	650 650	< 2000 < 2000
Tripsacum laxum	moyenne	1000	< 2000

Annexe 10. Calcul des quantités de chaux à appliquer

Le but du chaulage est de rendre l’Aluminium inoffensif. Pour calculer la quantité de chaux qui doit être appliquée, les données suivantes sont requises : (i) quantité réelle de l’Al échangeable ; (ii) proportion désirée : $100 \times \text{Al/CECE}$; (iii) quantité de chaux requise par unité d’Al ; (iv) équivalent du carbonate de calcium de la matière de chaulage utilisée. La proportion requise $100 \times \text{Al/CECE}$ est indiquée par DESA (Degré Exigé pour la Saturation en Al), d’où :

$$\text{DESA} = \frac{100 \text{ Al désiré}}{\text{Al}^+ \text{Ca}^+ \text{Mg}} \text{ ou } 100 \times \text{Al/CECE}$$

Al exigé = DESA ($\text{Al}^+ \text{Ca}^+ \text{Mg}$)/100, où Al, Ca, Mg et Al exigé sont exprimés en mmol (p^+) par 100 g de sol.

$$\text{BC (CaCO}_3 \text{ t/ha)} = 1.5 (\text{Al} - \text{DESA} (\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg})/100) \quad (1)$$

BC : besoin en chaux exprimé en tonnes de CaCO_3 tonnes par hectare

DESA : degré exigé de saturation en Al (ou désirée) (%)

Al : Al extractible (Al échangeable + soluble) en mmol/100g sol

$\text{Al}^+ \text{Ca}^+ \text{Mg}$ est une approximation pour la CECE

Il y a plusieurs raisons pour ne pas entièrement corriger la toxicité en Al ; au lieu de déterminer la chaux requise pour l’élimination de tout l’Al échangeable, on peut décider d’accepter un certain pourcentage de saturation en Al de la CECE :

- (i) les différentes cultures agricoles et horticoles ont des exigences différentes par rapport au pH. Le pH optimal est un compromis pour lequel les systèmes de production, la disponibilité des éléments nutritifs, la vie du sol, la structure du sol et les risques des pestes et les maladies ont été prises en compte ;
- (ii) il apparaît que les cultures et leurs variétés diffèrent en sensibilité pour l’Al ; l’Al extractible total devrait être corrigé pour les systèmes de production basés sur les cultures sensibles ;
- (iii) un pourcentage désiré de saturation en Al pourrait être choisi dans des endroits où le chaulage est coûteux et où les cultures sont plus tolérantes à l’Al.

Ainsi l’équation (1) pourrait être utilisée pour atteindre le taux de chaux recommandé. Pour les cultures sensibles, la proportion $100 \times \text{Al/CECE}$ doit être ramenée à environ 30 (DESA= 30%). Pour les cultures tolérantes à l’acidité, les valeurs sont aussi élevées que : 70 (DESA=70%) pour $100 \times \text{Al/CECE}$.

Une approche plus facile et plus approximative calcule le besoin en chaux (CaCO_3 pur) en relation directe avec la quantité totale de l’Al toxique, avec ou sans les ions H^+ (selon la procédure utilisée au laboratoire) :

$$\text{BC (t/ha de CaCO}_3) = \text{facteur} \times \text{mmol} (\text{Al}^+ \text{H}^+)/100 \text{g sol} \quad (2)$$

ou = facteur x mmol Al/100 g sol

Pour éviter de chauler excessivement, un facteur d’adaptation est proposé qui prend en compte la sensibilité en Al des cultures :

Facteur < 1 pour les cultures tolérantes à Al ;

Facteur = 1,0 pour les cultures modérément tolérantes à Al ;

Facteur = 1,5 pour les cultures sensibles à Al.

L’équation ci-dessus suppose que la toxicité en Al est éliminée et, pour des cultures sensibles à l’Al, elle suppose que la saturation en Al est proche de 0%. L’approche ne prend pas non plus en compte l’effet de la saturation réelle en Al du sol ; il ne considère que l’Al extractible. Cependant, le sol avec le même Al extractible peut avoir les valeurs de saturation très différentes et ainsi avoir un impact différent sur la performance des cultures.

Alternative au cas où seul le pH eau peut être mesuré. Le besoin en chaux pour corriger l'acidité du sol est estimé en utilisant les données de ACID4 (Yamoah et al. 1990), le Système d'Expert NuMaSS (Osmond et al., 2002). L'équation a été développée en utilisant seulement les quantités de chaux nécessaires pour ramener le pH du sol à 5,2-5,5.

$$BC(t/ha \text{ de } CaCO_3) = 16,0 - 2,87pH(H_2O) \quad (3)$$

Cette équation reflète une pente plus élevée, moins de tamponnement du pH ainsi que moins de besoins en chaux que la recommandation originale d'ACID4 (Yamoah et al. 1990), qui était basée sur le chaulage à pH = 6.2

Annexe 11. Quelques engrains usuels

Types d'engrais	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
1. Engrais azotés						
Sulfate d'ammonium (NH ₄) ₂ SO ₄	21					23
Nitrate d'ammonium NH ₄ NO ₃	33-33,5					
Ammonnitrate de chaux NH ₄ NO ₃ +CaCO ₃	20,5-26			12		
Urée CO(NH ₂) ₂	45-46					
Sulfonitrate d'ammonium NH ₄ NO ₃ . (NH ₄) ₂ SO ₄	26				15	
Ammoniaque anhydre NH ₃	82					
Nitrate de calcium Ca(NO ₃) ₂	15,5			26		
Nitrate de potassium KNO ₃	13					
2. Engrais phosphatés						
Superphosphate simple Ca(H ₂ PO ₄) ₂ +CaSO ₄	16-20			28		9-12
Superphosphate triple ou concentré	45			20		
Phosphate naturel Apatite	28-38			35-50		
3. Engrais potassiques						
Chlorure de potassium KCl			60			
Sulfate de potassium K ₂ SO ₄			50		18	
Sulfate de potassium et de magnésium K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄			26-30		5-7	16-22
4. Engrais magnésiens						
Kieserite MgSO ₄ .7H ₂ O				16	22	
Kieserite calciné MgSO ₄ .H ₂ O				20	27	
5. Engrais binaires et ternaires						
Engrais NPK	5-26	5-35	5-26			
Diammonium Phosphate (NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	16-18	46-48				
Mono ammonium Phosphate (NH ₄)H ₂ PO ₄	11	52				
Nitrophosphates NP	20-26	6-34				
Engrais PK		6-30	6-30			

Annexe 12. Quelques importantes sources d'oligo-éléments

Source	Formule chimique	Eléments
Sulfate ferreux	FeSO ₄ .7H ₂ O	Fer (Fe)
Sulfate de cuivre	CuSO ₄ .5H ₂ O	Cuivre (Cu)
Sulfate de zinc	ZnSO ₄ .7H ₂ O	Zinc (Zn)
Sulfate de manganèse	MnSO ₄ .7H ₂ O	Manganèse (Mn)
Borax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Bore (B)
Molybdate de sodium	Na ₂ MoO ₄ .10H ₂ O	Molybdène (Mo)

Annexe 13. Notions d'inventaire et d'aménagement forestier

a. Matériel et méthode. La méthode d'inventaire à utiliser sera entre autres l'inventaire statistique par sondage ou l'inventaire systématique.

Un inventaire par sondage vous oblige à inventorier une placette à chaque hectare de forêts. Ainsi donc, pour un inventaire par sondage de 2% d'une forêt de 10 ha, le sondage se fera sur dix placettes de 2 ares chacune.

(i) La progression dans un peuplement forestier suit les directions préalablement établies par rapport au maillage de chaque parcelle dont la carte forestière reste le guide principal. Les directions sont indiquées par des boussoles dendrométriques dont doit disposer chaque équipe d'inventaire et la distance est mesurée à l'aide du topofil. Cette progression garantit le choix aléatoire des placettes échantillons.

(ii) La distance entre deux centres de placettes consécutives est de 100 mètres, 75 mètres ou 50 mètres selon les dimensions de la parcelle. Cette distance est à ajuster chaque fois avec la pente du terrain.

(iii) Des tableaux de conversion sont mis à disposition de chaque équipe d'inventaire.

La liste du matériel comprend entre autres la carte forestière, les décamètres, le clinomètre, le dendromètre de Suunto ou de Blum Leiss, les topofils, les GPS, les appareils photos numériques, la mire Pardé, etc.

b. Mesures faites pour chaque placette

La circonférence de tous les arbres de la placette : la mesure des circonférences de référence à 1,30 mètres du sol se fait avec le mètre ruban ou le compas forestier (diamètre à convertir) et permet de calculer le volume du bois sur chaque placette et parcelle; il montre la structure du peuplement.

La circonférence dominante: l'opérateur doit noter les deux plus grosses circonférences (gros arbres) de la placette.

La circonférence moyenne : pour montrer la circonférence moyenne de la placette, la mesure d'un arbre le plus proche du centre de la placette est réalisée, en même temps que sa hauteur.

La hauteur dominante: la hauteur des 2 plus grands arbres de la placette est mesurée. Ce paramètre est un indicateur important de la classe de fertilité des parcelles. La mesure est effectuée à l'aide de dendromètres.

La pente du terrain: elle est mesurée à l'aide du clinomètre, du dendromètre de Blum Leiss, la pente moyenne de chaque parcelle est mesurée pour permettre les corrections éventuelles au niveau des distances entre les centres des placettes et leurs rayons.

La description des parcelles: chaque parcelle est décrite sur une fiche descriptive en montrant l'identification de la parcelle, l'état de la parcelle, sa régénération, la croissance des arbres, les travaux antérieurs, les coupes antérieures, les passages des feux de brousse ou autres faits importants observés.

Après le repérage du centre de la placette, sa détermination est faite à l'aide du dendromètre de Suunto ou de Blume Leiss munis de viseurs optiques à travers lesquels on observe la mire Pardé dont la distance entre ses voyants est préalablement étalonnée en fonction de la superficie de la placette et de la pente du terrain. Plus la pente est grande, plus le rayon de la placette augmente.

c. Le traitement des données

c₁. Le volume sur pied. Les données de terrain sont recueillies sur des fiches d'inventaire. Elles sont saisies et un logiciel adapté ainsi qu'une note de saisie permettent de traiter ces données. L'évaluation des volumes de bois sur pied est effectuée à l'aide des *tarifs de cubage*. Les résultats obtenus portent sur les volumes sous écorce du bois sur pied.

$$V = 0,0268 \times C^{2,27} \text{ avec } C \text{ en cm et } V \text{ en dm}^3$$

Le nombre de tiges à l'hectare (N tiges/ha) : c'est le facteur important qui montre la densité actuelle du peuplement et la répartition par catégorie de circonférence.

La circonférence moyenne de la parcelle : le fichier des résultats donne la structure du peuplement et montre la répartition des circonférences par catégorie de grandeur à l'échelle des différentes placettes en donnant la valeur moyenne pour toute la parcelle

La surface terrière à l'hectare à l'hectare (G/ha en m²/ha) : C'est un des indicateurs de la productivité qui est donné par la somme des sections transversales des arbres réalisées au niveau des diamètres de référence.

Le volume à l'hectare (V/ha en m³/ha) : C'est un indicateur très important de la productivité des parcelles. Elle permet de comparer les parcelles entre elles et faire un classement, elle est fonction des dimensions des arbres et de la densité de la parcelle.

Le volume moyen de la parcelle (Vol moyen en m³) : il montre la production estimée pour la parcelle. Elle est fonction des dimensions des arbres, de la densité, des conditions du sol et des interventions sylvicoles.

c₂ Rédaction du plan d'aménagement. La rédaction du plan d'aménagement constitue une phase décisionnelle à plusieurs étapes:

- le choix des objectifs prioritaires d'aménagement;
- le découpage géographique de la forêt en fonction des usages : production, mais aussi conservation;
- la détermination des paramètres d'aménagement à partir de la connaissance du peuplement fournie par l'inventaire d'aménagement : rotation, diamètres minimaux d'exploitation, taux de reconstitution;
- la planification opérationnelle (ordre de passage en coupe, mesures prévues pour garantir les droits des populations riveraines et la protection de l'environnement).

