



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
DANS LE SAHEL :

PROFILS DES PRATIQUES DE GESTION AGRICOLE

AOÛT 2014

La rédaction du présent rapport a été rendue possible grâce au soutien du peuple américain par le biais de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID). Le contenu du présent document relève de la seule responsabilité de Tetra Tech ARD et ne représente pas nécessairement les points de vue de l'USAID ou du gouvernement américain.



ARCC



African and Latin American
Resilience to Climate Change Project

Le présent rapport a été rédigé dans le cadre d'un contrat de sous-traitance avec la Michigan State University, Département de l'agriculture, l'alimentation et des ressources économiques, par Brent M. Simpson, par le biais d'un marché de sous-traitance conclu avec Tetra Tech ARD.

Photo de couverture : Dignes filtrantes, Burkina Faso. Crédit : B.M. Simpson

La présente publication a été réalisée pour l'Agence des Etats-Unis pour le développement international par Tetra Tech ARD dans le cadre du Contrat à Quantité Indéterminée Prospérité, Moyens de subsistance et Conservation des écosystèmes [Prosperity, Livelihoods, and Conserving Ecosystems (PLACE)], contrat USAID No. AID-EPP-I-00-06-00008, ordre de service No. AID-OAA-TO-11-00064).

Contacts Tech ARD :

Patricia Caffrey

Chef d'équipe

Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC)

Burlington, Vermont

Tél.: 802.658.3890

Patricia.Caffrey@tetrattech.com

Anna Farmer

Chef de mission

Burlington, Vermont

Tél.: 802-658-3890

Anna.Farmer@tetrattech.com

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE DANS LE SAHEL :

PROFILS DES PRATIQUES DE GESTION AGRICOLE

RESILIENCE AFRICAINE ET LATINO-AMERICAINE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
(ARCC)

AOUT 2014

TABLE DES MATIERES

ACRONYMES ET ABREVIATIONS	iv
A PROPOS DE CETTE SERIE	v
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 CAPTAGE ET RETENTION D'HUMIDITE	3
2.1 DIGUETTES TRAPEZOIDALES	3
2.2 DIGUETTES SEMI-CIRCULAIRES	5
2.3 CORDONS PIERREUX	7
2.4 DIGUETTES D'EPANDAGE DE CRUE	9
2.5 SEUILS D'EPANDAGE	11
2.6 MICROBASSINS NEGARIM	13
2.7 BANQUETTES EN COURBES DE NIVEAU	15
2.8 AMENAGEMENT EN COURBES DE NIVEAU (ACN)	17
2.9 BILLONS EN COURBES DE NIVEAU/BILLONS CLOISONNES	19
2.10 DIGUES FILTRANTES	21
2.11 BANDES VEGETATIVES	23
2.12 SYSTEME VALLERANI	25
2.13 TRANCHEES DE PLANTATION	27
2.14 REGENERATION NATURELLE GEREE/ASSISTEE PAR LES AGRICULTEURS	29
2.15 FOSSES D'ENSEMENCEMENT	30
3.0 APPROVISIONNEMENT EN EAU SUPPLEMENTAIRE	32
3.1 IRRIGATION AU GOUTTE-A-GOUTTE	32
3.2 PETITS BARRAGES EN TERRE	35
3.3 BARRAGES DE CONTROLE	37
3.4 SYSTEMES D'IRRIGATION PAR POMPAGE	39
3.5 AMENAGEMENT DES BAS-FONDS (AMENAGEMENT DES BAS-FONDS / MARECAGES)	40
3.6 AMENAGEMENT DES PLAINES INONDABLES	42
4.0 RENFORCEMENT DE LA FERTILITE DU SOL	44
4.1 SYSTEME DE RIZICULTURE INTENSIVE (SRI)	44

4.2 AGROFORESTERIE.....	46
4.3 AGRICULTURE DE CONSERVATION.....	48
4.4 FUMIER ET COMPOST.....	50
4.5 PAILLAGE.....	52
4.6 MICRO-DOSAGE D'ENGRAIS.....	54
4.7 GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS.....	56
5.0 REDUCTION DE LA TEMPERATURE ET DE LA VITESSE DU VENT.....	58
5.1 FIXATION DES DUNES DE SABLE.....	58
5.2 PARE-FEUX.....	60
6.0 SOURCES COMPLEMENTAIRES.....	62

ACRONYMES ET ABREVIATIONS

AC	L'agriculture de conservation
ACN	Aménagement en courbes de niveau
AF	Agroforesterie
ARCC	Projet de l'USAID de Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique
AE	Agriculture écologique
BVN	Bandes végétatives naturelles
CDE	Centre pour le développement de l'environnement
CIAT	Centre international d'agriculture tropicale
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DIARPA	Diagnostic Rapide Pré-Aménagement
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FIDA	Fonds international pour le développement agricole
FMNR	Régénération naturelle gérée par les agriculteurs
GIFS	Gestion intégrée de la fertilité des sols
GIZ	<i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
ICRISAT	Institut international de recherches sur les cultures des zones tropicales semi-arides
IER	Institut de l'économie rurale
IPRODI	<i>Instituto Provincial de Discapacidad</i>
RAIN	Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie
SICA	<i>Sistema Intensivo de Cultivo Arroceros</i>
SRI	Système de riziculture Intensive
SV	Système Vallerani
WOCAT	Etude mondiale des approches et des technologies de conservation

A PROPOS DE CETTE SERIE

ETUDES SUR LA VULNERABILITE ET L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Le présent document fait partie d'une série d'études publiées par le projet Résilience africaine et latino-américaine au changement climatique (ARCC) visant à répondre aux besoins d'adaptation au changement climatique en Afrique de l'Ouest. Dans le cadre des études ARCC pour l'Afrique de l'Ouest, le présent document fait partie de la sous-série portant sur l'Adaptation de l'agriculture au changement climatique dans le Sahel. L'ARCC a également produit une sous-série sur le Changement climatique et les ressources en eau d'Afrique de l'Ouest, le Changement climatique et les conflits en Afrique de l'Ouest et le Changement climatique au Mali.

SOUS-SERIE SUR L'ADAPTATION DE L'AGRICULTURE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE SAHEL

A la demande de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID), l'ARCC a entrepris une série d'études sur le Sahel en vue d'améliorer la compréhension des impacts potentiels du changement climatique sur la productivité agricole dans le Sahel et d'identifier les moyens d'appui à l'adaptation à ces impacts. Entre autres documents de la série sur l'Adaptation de l'agriculture au changement climatique, l'on compte : Une approche de la sélection phénologique ; Une approche d'évaluation de la performance des pratiques agricoles ; Profils agronomiques de quinze cultures dominantes au Sahel ; Impacts prévus sur les ravageurs et les maladies des cultures et Impacts prévus sur les ravageurs et les maladies du bétail.

I.0 INTRODUCTION

A la demande de l'USAID, l'ARCC a mené des études sur les options d'évaluation des pratiques au niveau des exploitations agricoles selon différents scénarios climatiques. Le document qui en résulte, intitulé *Changement climatique au Sahel : une Approche d'évaluation des performances des pratiques agricoles*, décrit les critères de sélection des approches d'évaluation parmi les diverses approches disponibles. Il propose trois composantes de base pour une telle évaluation : définir les changements climatiques prévus, définir les objectifs d'adaptation et les pratiques à évaluer et enfin réaliser l'évaluation des pratiques définies.

Le présent document relève de la deuxième composante. Il présente les profils des pratiques, des techniques et des méthodes agricoles (ci-après désignées comme "pratiques") destinées à faciliter la sélection et l'évaluation. Les profils des pratiques ont été choisis en fonction de l'usage qu'en font les agriculteurs au Sahel pour gérer l'impact du changement climatique sur la productivité des cultures. Ces pratiques sont regroupées en quatre catégories selon leur fonction prévue : rétention d'humidité, approvisionnement en eau supplémentaire ; renforcement de la fertilité du sol et réduction de la température et de la vitesse du vent.

Les méthodes efficaces permettant de faire face à la variabilité et au changement climatiques sont importantes dans tous les secteurs agricoles. Les pratiques décrites dans le présent document ont été élaborées dans l'optique de faire face aux contraintes majeures de la productivité dans le Sahel, notamment, la fertilité réduite des sols, les températures élevées, les faibles précipitations et les séquences sèches. Les changements climatiques prévus au Sahel pourraient augmenter la sévérité de ces contraintes. La rétention d'humidité et l'approvisionnement en eau supplémentaire deviendront plus importants avec l'élévation des températures. L'amélioration de la gestion de l'humidité et la réduction de la dépendance aux volumes des précipitations et à leur répartition auront également une importance accrue si les précipitations baissent ou deviennent plus irrégulières, et en cas de fréquence accrue des séquences sèches. Le renforcement de la fertilité du sol deviendra crucial étant donné que l'élévation des températures, la sécheresse et des précipitations plus intenses modifient les taux d'érosion, l'humidité du sol, la croissance des racines et la phénologie des plantes. De même, les pratiques qui atténuent l'impact des températures élevées et réduisent la vitesse du vent deviendront essentielles étant donné que les changements climatiques augmentent les températures et modifient le volume et le régime des précipitations.

Le présent document décrit au total 30 pratiques. Chaque description commence par un aperçu de la pratique, suivi de sa description technique, d'une description des conditions climatiques et topographiques adaptées pour sa mise en œuvre, les limites de la pratique telles qu'indiquées dans les ouvrages et les références bibliographiques clés relatives à la pratique. Les informations utilisées dans les profils ont été extraites exclusivement des études disponibles et de la documentation technique. Les documents choisis pour la recherche documentaire mettent surtout l'accent sur le Sahel et l'Afrique de l'Ouest, bien que dans quelques cas, des informations relatives aux pratiques et à leur utilisation dans les régions semi-arides du monde se soient révélées pertinentes et utiles. Le document s'achève sur une liste de documents plus généraux, moins spécifiques à des pratiques particulières, qui ont été pris en compte dans l'élaboration de ces profils.

Cette étude représente un élément de l'action de l'ARCC en faveur de l'élaboration et de la mise en œuvre d'une approche visant à comprendre les potentiels impacts du changement climatique sur la

productivité des cultures dans le Sahel et à identifier les moyens favorisant l'adaptation des agriculteurs face à ces changements prévus. Il pourrait également être considéré comme un document de référence indépendant sur les pratiques, les techniques et les méthodes agricoles que les agriculteurs utilisent pour gérer l'impact du changement climatique au Sahel.

A l'instar de tous les manuels élaborés à partir d'une revue de la littérature, la présente étude fournit une base pour de nombreuses pistes envisageables pour de futurs travaux de recherche. Les travaux sur le terrain pourraient produire des descriptions plus précises de ces pratiques ou pourraient comparer les avantages relatifs des pratiques présentées. Le rapport de l'ARCC intitulé *Changement climatique au Mali : Conclusions relatives à l'adaptation* a étudié la promotion et l'adoption de ces pratiques ainsi que d'autres pratiques d'adaptation au Mali. Le rapport de l'ARCC intitulé *Modélisation de l'impact des pratiques agricoles adaptatives* a évalué l'efficacité de quatre pratiques de rétention d'eau décrites ici dans les conditions climatiques actuelles et futures prévues. Ces dernières ne représentent que quelques-unes des options possibles permettant de développer ce travail et de mieux comprendre les options disponibles visant à renforcer l'adaptation des agriculteurs aux changements climatiques au Sahel.

2.0 CAPTAGE ET RETENTION D'HUMIDITE

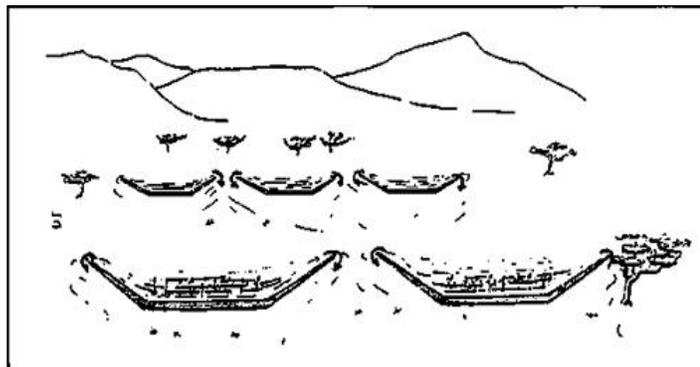
2.1 DIGUETTES TRAPEZOIDALES

Les diguettes trapézoïdales sont utilisées pour entourer des zones de plus d'un hectare au sein desquelles les eaux de ruissellement sont recueillies. Le nom de la technique est dérivé de la disposition de la structure qui forme un trapèze dont la base est reliée à deux diguettes latérales ou murs d'aile qui s'étendent en pentes ascendantes. Des cultures sont plantées à l'intérieur de la zone clôturée. L'eau qui déborde se déverse sur les extrémités des murs d'aile.

La disposition générale, composée d'une diguette de base reliée aux murs d'aile, est une technique traditionnelle courante de captage d'eau dans toute l'Afrique. Le concept est semblable, sur le plan conceptuel, à la technique de la diguette semi-circulaire (voir profil suivant), mais de plus grande envergure. La simplicité de la conception et de la construction, l'entretien minimum exigé et la taille de la surface à planter entourée sont les principaux avantages de cette technique.

Chaque diguette trapézoïdale consiste en une diguette de base reliée à deux murs d'aile qui s'étendent en amont en formant un angle de 135 degrés. La taille de la surface entourée dépend de la pente et peut varier entre 0,1 et 1 ha. Les diguettes trapézoïdales peuvent être construites en éléments simples ou en ensembles. Lorsqu'elles sont construites en ensembles, les diguettes sont disposées en quinconce par rapport aux diguettes de l'étage en aval, captant les eaux qui débordent des diguettes en amont. La distance courante entre les extrémités des diguettes adjacentes sur une rangée est de 20 m avec un espace de 30 mètres entre les extrémités de la rangée inférieure et les diguettes de base de la rangée supérieure. Le planificateur est évidemment libre de choisir d'autres dispositions qui correspondent mieux à la topographie du site. Il n'est pas conseillé de construire plus de deux rangées de diguettes trapézoïdales étant donné que celles en troisième ou quatrième rangée reçoivent beaucoup moins d'eau de ruissellement.

FIGURE I. UNE DIGUETTE TRAPEZOIDALE



Cette méthode est utilisée dans le district de Turkana au Kenya pour collecter les eaux de pluie.

Source : FAO

Données techniques

1. Longueur de la diguette de base : environ 40 m
2. Angle entre les diguettes de base et les diguettes latérales : 135°

3. Hauteur minimum de la diguette (aux extrémités) : 0,20m
4. Hauteur maximale de la diguette : 0,60m

Adéquation

Précipitations : 250 mm - 500 mm ; des zones arides aux zones semi-arides.

Sols : terres agricoles possédant de bonnes qualités de construction, c'est-à-dire à teneur élevée en argile (qui ne se fissurent pas).

Pentes : de 0,25% à 1,5%, mais plus adaptées en dessous de 0,5%.

Topographie : La surface entourée par les diguettes doit être plane.

Contraintes : Cette technique se limite à des faibles pentes. La construction de diguettes trapézoïdales sur des pentes supérieures à 1,5% est techniquement possible, cependant elle nécessite des quantités de terrassement hors prix.

Sources

Critchley, W., et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Hatibu, N., & Mahoo, H. (1999). Rainwater harvesting technologies for agricultural production: A case for Dodoma, Tanzania. *Conservation tillage with animal traction*, 161.

2.2 DIGUETTES SEMI-CIRCULAIRES

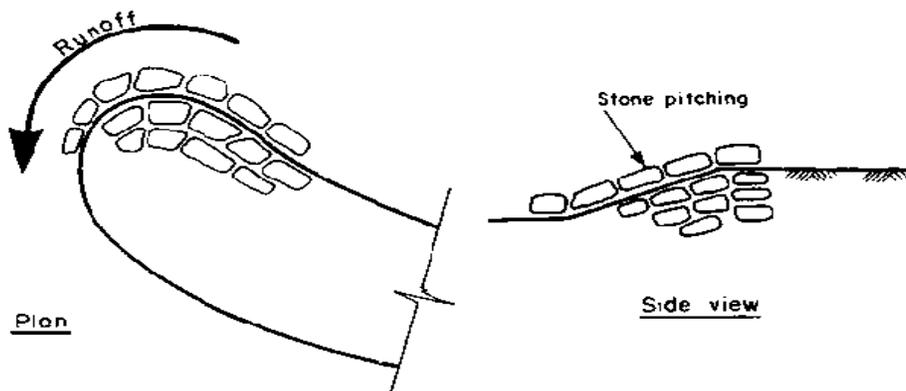
Comme leur nom l'indique, les diguettes semi-circulaires sont des remblais de terre en forme de demi-cercle dont les extrémités sont tournées vers le haut et alignées selon des courbes de niveau. Les diguettes semi-circulaires, de dimensions variées, sont surtout utilisées pour planter des arbres, régénérer les prairies, produire le fourrage et, dans certains cas, permettre la culture de plantes. Selon la configuration du site choisi (en particulier pour le captage : ratio des terres cultivées), cette technique peut être utilisée comme une technique de captage à pente courte ou longue.

Les diguettes semi-circulaires, ("demi-lune" dans les zones francophones d'Afrique de l'Ouest) sont recommandées comme méthode rapide et facile d'établissement d'arbres et de renforcement des prairies dans les zones semi-arides. Les diguettes semi-circulaires sont plus efficaces en termes de rapport entre zone de retenue et volume de la diguette que d'autres constructions équivalentes, telles que les diguettes trapézoïdales par exemple. Curieusement, cette méthode n'a jamais été utilisée traditionnellement.

Données techniques

1. Les diguettes semi-circulaires peuvent avoir des rayons compris entre 6 et 20 mètres. Elles sont construites en lignes échelonnées, les eaux de ruissellement formant des captages entre les structures.
2. Captage : Le ratio de la surface cultivée (C : SC) doit être compris entre 3:1 et 5:1.
3. Les différentes variations dépendent de la pente.

FIGURE 2. DIGUETTES SEMI-CIRCULAIRES AVEC COUCHE DE PROTECTION EN PIERRE



Source : Critchley & Siegert, avec Chapman. (1991), FAO

TABLEAU I. DIGUETTES SEMI-CIRCULAIRES

Pente	Rayon (m)	Longueur de la diguette (m)	Surface de retenue par diguette (m ²)	Diguette par ha
Jusqu'à 1%	6	19	57	73
Jusqu'à 2%	20	63	630	4
4%	10	31	160	16

Adéquation

Précipitations : 200 mm - 750 mm ; des zones arides aux zones semi-arides.

Sols : tous les sols un peu profonds ou non salins.

Pentes : en deçà de 2%, avec des plans de diguettes modifiés jusqu'à 5%.

Topographie : Topographie plane exigée, en particulier pour la conception.

Contraintes : La construction ne peut pas être facilement mécanisée.

Sources

Critchley, W., et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Hatibu, N., & Mahoo, H. (1999). Rainwater harvesting technologies for agricultural production: A case for Dodoma, Tanzania. *Conservation tillage with animal traction*, 161.

2.3 CORDONS PIERREUX

Les cordons pierreux sont utilisés pour ralentir et filtrer les eaux de ruissellement, améliorant ainsi l'infiltration et le captage de sédiments. L'eau et les sédiments retenus ont pour conséquence directe l'amélioration de la productivité des cultures. Cette technique est adaptée pour des applications à petite échelle sur les champs des agriculteurs et, avec un approvisionnement adéquat en pierres, peut être mise en œuvre rapidement et à moindre coût sur de vastes superficies.

L'utilisation des diguettes - ou lignes de pierres - est une pratique traditionnelle dans certaines régions du Sahel de l'Afrique de l'Ouest, notamment au Burkina Faso.

L'amélioration de la construction et de l'alignement tout le long de la courbe de niveau rend la technique plus efficace. Le grand avantage des systèmes qui utilisent les pierres est qu'il n'est nul besoin de déversoirs

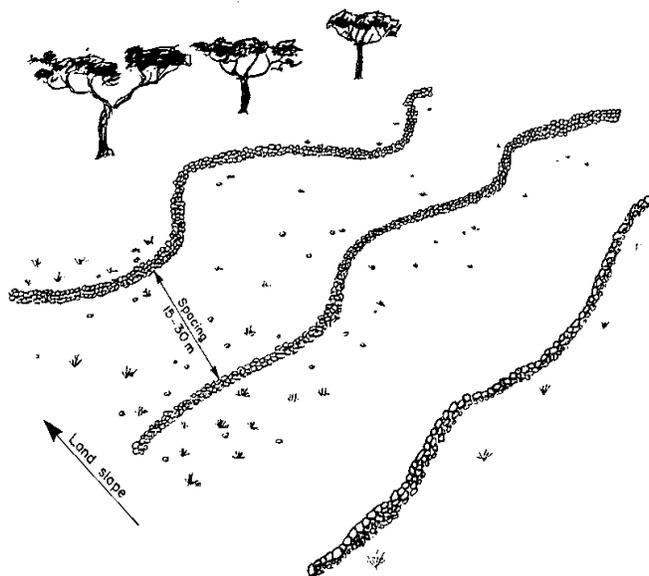
où les flux dangereux potentiels sont concentrés. L'effet filtre de la barrière semi-perméable permet une meilleure propagation des eaux de ruissellement qu'avec les banquettes, qui elles essaient de capter les eaux de ruissellement. En outre, les cordons pierreux nécessitent moins d'entretien, bien que des travaux d'entretien périodiques soient nécessaires, en particulier pour réparer les dégâts causés par le bétail errant.

L'utilisation de cordons pierreux pour la rétention d'eau (contrairement à l'aménagement en terrasses des flancs) a évolué sous diverses formes (voir figure 4, à droite). Toutes ses variantes ont montré l'efficacité de cette technique populaire et facilement maîtrisée par les agriculteurs.

Données techniques

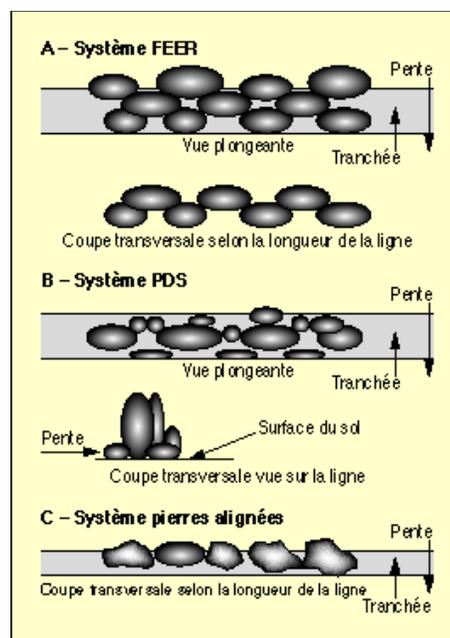
1. L'espace entre les lignes de pierres est compris entre 15 et 30 m selon la pente, la quantité de pierre et la main-d'œuvre disponibles. Un espacement de 20 m pour les pentes de moins de 1% et de 15 mètres pour les pentes de - 1,2% est recommandé. Les cordons pierreux ne nécessitent pas de fossés de dérivation ni de déversoirs.
2. Certaines lignes de pierres simples peuvent certes être partiellement efficaces, les pierres étant disposées selon diverses configurations en fonction de la technique utilisée, cependant, il est important d'utiliser un mélange de pierres de grandes et petites tailles.

FIGURE 3. CORDONS PIERREUX : DISPOSITION SUR LE TERRAIN



Source : Critchley & Reji, 1989

FIGURE 4. VARIANTES DE CORDONS PIERREUX



Source : Somé, et al. (2000)

Une pratique conseillée est la disposition des pierres en tranchées peu profondes de 5 à 10 cm de profondeur, permettant d'empêcher les dégâts causés par le ruissellement. Une hauteur minimum des cordons de 25 cm est recommandée, avec une base de 35 - 40 cm.

3. Variation des modèles : Lorsque la quantité de pierres nécessaire n'est pas facilement disponible, les lignes de pierre peuvent être utilisées pour former le cadre d'un système de plantation de graminées, ou d'autres matières, immédiatement derrière les alignements de pierre. Au fil du temps, une "barrière vivante" semblable au mur de pierre, en termes d'efficacité, se forme (voir également Bandes végétatives). Par ailleurs, des banquettes en courbes de niveau peuvent être construites, avec des déversoirs en pierre disposés à l'intérieur.

Adéquation

Pour la production de cultures, les cordons pierreux peuvent être utilisés dans les conditions suivantes :

Précipitations : 200 mm - 750 mm ; des zones arides aux zones semi-arides.

Sols : terres agricoles.

Pentes : de préférence inférieure à 2%

Topographie : un terrain complètement plan n'est pas requis.

Disponibilité des pierres : un bon approvisionnement en pierres est nécessaire.

Contraintes : Nécessitent beaucoup de travail.

Sources

Critchley, W., et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Nyssen, J., Poesen, J., Gebremichael, D., Vancampenhout, K., D'aes, M., Yihdego, G., ... & Deckers, J. (2007). Interdisciplinary on-site evaluation of stone bunds to control soil erosion on cropland in Northern Ethiopia. *Soil and Tillage Research*, 94(1): 51-163.

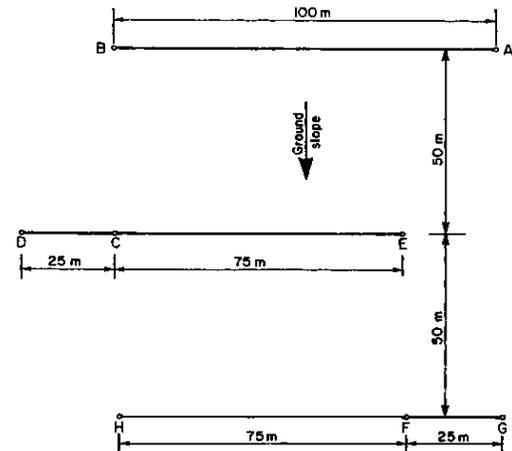
Somé, L., Kambou, F., Traore, S., et Ouedradogo, B. (2000). Techniques de conservation des eaux et des sols dans la moitié nord du Burkina Faso. *Science et Changement Planétaires/Sécheresse* 11(4): 267-74.

2.4 DIGUETTES D'EPANDAGE DE CRUE

Les diguettes d'épandage de crue sont souvent utilisées dans les situations où les diguettes trapézoïdales ne sont pas adaptées, généralement lorsque le déversement des eaux de ruissellement est élevé et endommagerait les diguettes trapézoïdales, ou lorsque les plantes à cultiver sont sensibles à l'engorgement temporaire, fréquent avec les diguettes trapézoïdales. La principale caractéristique des diguettes d'épandage de crue est, comme leur nom l'indique, qu'elles sont conçues pour répandre l'eau, et non pour la retenir.

Les diguettes sont utilisées pour répandre les eaux de crue provenant d'un cours d'eau ou pour permettre le remplissage homogène des plaines inondables. Les diguettes, normalement construites en terre, ralentissent le débit des eaux de crue et les répand sur la terre à cultiver, lui permettant par conséquent de les infiltrer.

FIGURE 5. DISPOSITION DES DIGUETTES PLANES : PENTE DE MOINS DE 5%

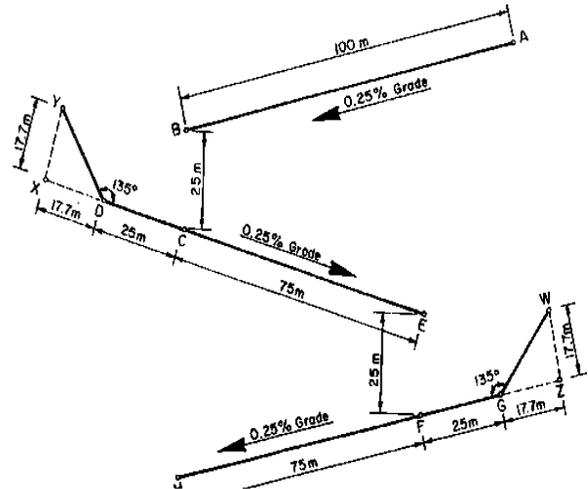


Source : Critchley & Siegert, avec Chapman. (1991)

Données techniques

1. Lorsque les pentes sont inférieures à 0,5%, des diguettes droites sont utilisées à travers la pente pour répandre l'eau. Les deux extrémités sont laissées ouvertes afin de permettre aux eaux de crue de passer autour des diguettes, distantes l'une de l'autre de 50 mètres. Les diguettes doivent se chevaucher de sorte que le débordement de l'une puisse être intercepté par celle en dessous. La dimension recommandée de la coupe transversale des diguettes est de 60 cm de hauteur, 4,1 mètres de largeur de base et la largeur en haut de 50 cm. Ce qui donne des pentes latérales de 3:1. La longueur maximale recommandée de la diguette de base est de 100 mètres.
2. Pour les pentes comprises entre 0,5% et 1,0%, des diguettes inclinées peuvent être utilisées. Les diguettes, de coupe transversale constante, sont inclinées le long d'une pente de 0,25%. Chaque diguette successive de la série en aval est inclinée à partir d'extrémités différentes. Un court mur d'aile est construit à 135° de l'extrémité supérieure de chaque diguette afin de permettre l'interception du débit autour de la diguette du dessus. Cette technique a pour effet de contrôler davantage le débit. L'espace entre les diguettes dépend de la pente du terrain. Des exemples de pentes différentes sont donnés aux figures 5 et 6. La coupe transversale de la diguette est la même que celle recommandée pour les banquettes en courbes de niveau sur les pentes inférieures. La longueur maximale recommandée de la base est de 100 mètres.

FIGURE 6. DISPOSITION DES DIGUETTES INCLINÉES POUR LES PENTES DE PLUS DE 0,5%.



Source : Critchley & Siegert, avec Chapman. (1991)

Adéquation

Précipitations : 100 mm - 350 mm ; dans les zones typiquement hyperarides/arides uniquement.

Sols : les cônes d'alluvion ou les plaines inondables à sols profonds et fertiles.

Pentes : plus adaptées sur les pentes de 1% ou moins.

Topographie : plane

Contraintes : Très spécifiques au site. Le terrain doit être situé près d'un oued ou d'un autre cours d'eau, en général sur une plaine inondable à sol d'alluvion et à faibles pentes.

Source

Critchley, W., et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

2.5 SEUILS D'EPANDAGE

Les seuils d'épandage ont été introduits au cours des années 90 au Tchad par le biais de la coopération suisse. Depuis lors, leur usage s'est étendu au Burkina Faso et au Niger. Ces seuils d'épandage régulent les eaux de crue dans les moyens cours d'eau et dans les fonds de vallée dégradés ayant un lit mineur prononcé. Ils sont construits avec des matériaux locaux et sont dotés d'un déversoir au milieu, de culées de chaque côté ou de longues ailes pour répandre l'eau sur une grande superficie.

Les seuils d'épandage couvrent toute la largeur de la zone de drainage et sont construits en maçonnerie de pierre ou en

béton jusqu'à 50 cm au-dessus de la surface du terrain environnant. Ils ralentissent le débit de l'eau dans les vallées et la répand sur des zones plus vastes où elle peut s'infiltrer dans le sol. Ainsi, ils contrôlent les eaux de crue des fleuves, réduisant par conséquent l'érosion et les pertes en eau. Dans le même temps, les sédiments retenus renforcent la fertilité du sol et, une meilleure infiltration réapprovisionne les aquifères.

Lorsque le débit des eaux de crue est plus fort, l'eau est canalisée vers les flancs et coule sur les ailes de flanc extérieures et inférieures. Lorsque les eaux de crue sont à leur débit maximum, l'eau coule même sur les murs plus hauts. En aval du seuil d'épandage, l'eau rejoint le canal établi.

Données techniques

1. Longueur du seuil d'épandage : 50-100m
2. Longueur de l'aile de flanc : 100-200m
3. Hauteur du seuil d'épandage : 1-4 m

Adéquation

Précipitations annuelles : 250-500mm

Relief du sol : fond de vallée ; drains

Pente : de plane à douce, ne conviennent pas pour les pentes modérées ou raides

Profondeur du sol : 50-120cm

Texture du sol : bonne, lourde (argile)

IMAGE I. SEUILS D'EPANDAGE AU SAHEL



Photo : GIZ (2012)

Tableau des eaux souterraines : 5-50m

Capacité de rétention d'eau du sol : moyenne

Les seuils d'épandage sont résistants aux conditions climatiques extrêmes telles que les précipitations saisonnières accrues, forts événements pluviométriques et inondations.

Sources

GIZ. (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation: A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.

Mekdaschi Studer, R., et Liniger, H. (2013) Water Harvesting: Guidelines to Good Practice. Centre pour le développement de l'environnement (CDE), Bern ; le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam ; MetaMeta, Wageningen ; le Fonds international pour le développement agricole (FIDA) : Rome.

2.6 MICROBASSINS NEGARIM

Les microbassins negarim sont des bassins en forme de diamant entourés de petites banquettes de terre possédant une fosse d'infiltration dans le recoin inférieur. Les eaux de ruissellement sont captées depuis l'intérieur du bassin et maintenues dans la fosse d'infiltration. Les microbassins sont utilisés dans la culture d'arbres ou d'arbustes. Cette technique est adaptée à la culture d'arbres à petite échelle dans les régions où il y a déficit d'humidité. En plus de retenir de l'eau pour les arbres, elle préserve le sol. Les microbassins negarim sont nets et précis et relativement faciles à construire.

Le mot "negarim" est dérivé du mot hébreu "neger" qui signifie "eaux de ruissellement". Les rapports qui ont cité l'utilisation de ces microbassins proviennent d'études menées dans le Sud de la Tunisie. Cependant, la technique est originaire du désert du Néguev, en Israël. Des variations de ces microbassins se rencontrent à travers les zones semi-arides et arides d'Afrique.

Données techniques

1. La taille des microbassins (individuels) varie normalement entre 10 m² et 100 m² selon les espèces d'arbres à planter, mais des microbassins de plus grandes tailles peuvent être construits, en particulier lorsque plus d'un arbre sera planté à l'intérieur d'un microbassin.
2. Chaque microbassin comprend une zone de captage et un fossé d'infiltration. Les bassins sont normalement de forme carrée, ayant l'apparence, vue d'en haut, d'un réseau de formes en diamant avec des fossés d'infiltration dans les recoins inférieurs (Figure 7).
3. Les sommets des diguettes doivent être d'au moins 25 cm de large et les pentes de flanc dans la marge de 1:1 dans le but de réduire l'érosion du sol pendant les orages. Lorsque c'est possible, les diguettes doivent être dotées d'une couverture végétale, étant donné que c'est la meilleure protection contre l'érosion.
4. La profondeur du fossé d'infiltration ne doit pas dépasser 40 cm afin d'éviter les pertes en eau à travers la percolation profonde et de réduire la charge de travail pour les travaux d'excavation.

**FIGURE 7. MICROBASSINS NEGARIM :
DISPOSITION SUR LE TERRAIN**

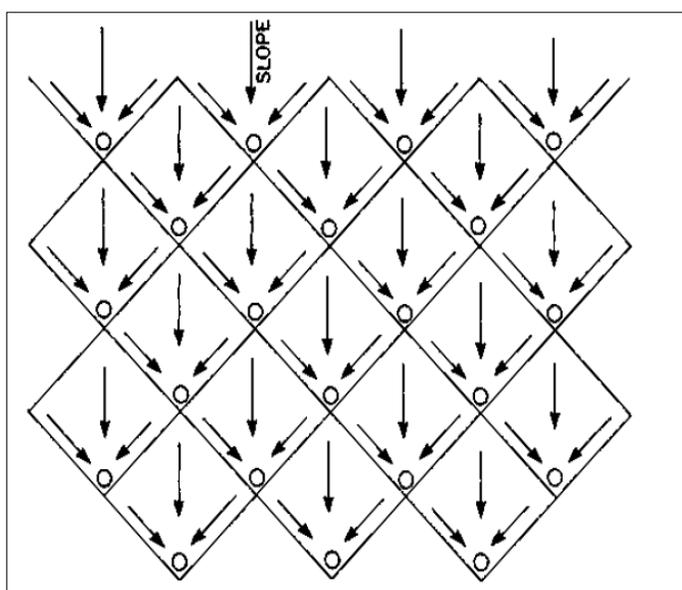


Image : Critchley & Siegert, avec Chapman. FAO. (1991).

Adéquation

Climat : zones arides et semi-arides.

Précipitations : peuvent être aussi faibles que 150 mm par an.

Sols : Doivent être profonds de 1,5 m mais de préférence 2 m afin de garantir la croissance normale de la racine et la conservation de l'eau retenue.

Pentes : de plane à une inclinaison de 5,0%

Topographie : Un terrain égal n'est pas nécessaire. Si le terrain est inégal, les microbassins doivent être divisés en blocs.

Contraintes : La construction manuelle est plus indiquée car les microbassins ne peuvent pas être facilement mécanisés. Une fois que les arbres sont plantés, le labour et la plantation à la machine entre les rangées d'arbres ne sont pas possibles.

TABLEAU 2. MICROBASSINS NEGARIM

Dimensions de chaque microbassin (m ²)	Pente du terrain			
	2%	3%	4%	5%
3x3	25	25	25	25
4x4	25	25	25	30
5x5	25	25	30	35
6x6	25	25	35	45
8x8	25	35	45	55
10x12	30	45	55	NR
12x12	35	50	NR	NR
15x15	45	NR	NR	NR

Clé : NR = Non Recommandé

Sources

Critchley, W., et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Renner, H. F., & Frasier, G. (1995). Microcatchment Water Harvesting for Agricultural Production. Part I: Physical and Technical Considerations. *Rangelands* 17(3): 72-78.

2.7 BANQUETTES EN COURBES DE NIVEAU

Les banquettes en courbes de niveau sont utilisées dans les cultures de rente et pour l'établissement d'arbres. Comme leur nom l'indique, les banquettes sont construites suivant une courbe de niveau à espacement réduit. Avec l'intégration facultative de petites "cloisons" en terre formées latéralement entre les banquettes, le système peut être divisé en microbassins individuels (voir également ACN et billons en courbes de niveau/billons cloisonnés). La construction de banquettes en courbes de niveau a entraîné elle-même la mécanisation (traction d'animal et/ou tracteurs). La technique est par conséquent adaptée pour une application à grande échelle. Mécanisé ou non, ce système est plus économique que celui des microbassins negarim, en particulier pour des applications à grande échelle - étant donné la quantité réduite de terre à dégager. L'avantage principal des banquettes en courbes de niveau est qu'elles permettent la plantation de cultures entre les intervalles. Comme avec d'autres techniques de rétention d'eau, le rendement des eaux de ruissellement est élevé, et lorsque le système est bien conçu, il n'y a pas de pertes en eau de ruissellement.

Données techniques

La disposition générale consiste en une série de banquettes de terre parallèles, ou presque, à proximité des courbes de niveau, espacées de 5 à 10 mètres.

1. Lorsque les banquettes en courbes de niveau sont utilisées pour l'établissement d'arbres, les dimensions courantes sont d'environ 10 m² à 50 m² pour chaque arbre, autrement les cultures peuvent être plantées dans toute la zone entre les banquettes.
2. Les hauteurs des banquettes sont de l'ordre de 25 à 40 cm selon la plus grande inclinaison de la pente.
3. La hauteur des banquettes ne doit pas être inférieure à 25 cm. La largeur de la base doit être d'au moins 75 cm.
4. L'intervalle entre les banquettes doit être de 5 m ou 10 m, selon la pente. Il est recommandé de prévoir 10 m d'espace entre les banquettes sur les pentes de plus de 0,5%, et 5 m pour les pentes plus raides.
5. En cas d'utilisation de cloisonnements partiels ou entiers (Figure 5), ces derniers doivent être d'au moins 2 m de long, espacés de 2 à 10 mètres les uns des autres.
6. Une fosse d'infiltration peut être creusée en même temps que la banquette et le cloisonnement. Une fosse d'infiltration d'environ 80 cm x 80 cm x 40 cm devrait suffire.

FIGURE 8. BANQUETTES EN COURBES DE NIVEAU POUR ARBRES

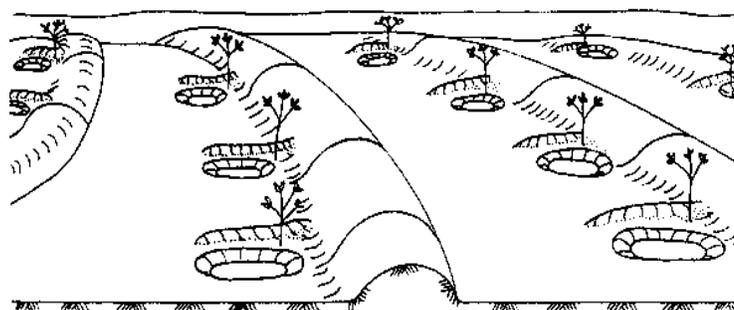


Photo: Critchley & Siegert, with Chapman. (1991) FAO

Adéquation

Précipitations : 200 mm - 750 mm ; des zones arides aux zones semi-arides.

Sols : Doivent être profonds de 1,5 m mais de préférence 2 m afin de garantir la croissance normale de la racine et la conservation de l'eau retenue, si le système est utilisé pour planter des arbres.

Pentes : de plane à une inclinaison de 5,0%

Topographie : doit être régulière, sans ravins ni rigoles.

Contraintes : Les banquettes en courbes de niveau ne sont pas adaptées à une utilisation sur des terrains irréguliers ou fortement érodés, étant donné que des événements de tempêtes extrêmes pourraient entraîner la rétention d'eau vers des endroits bas, rompant les banquettes et entraînant par la suite une érosion des banquettes en aval.

Sources

Critchley, W. et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Nagano, T., Horino, H., & Mitsuno, T. (2002). A study on conservation of millet field in the southwestern Niger, West Africa. Dans *Proceedings of 12th International Soil Conservation Conference, Beijing, China* (pp. 26-31).

2.8 AMENAGEMENT EN COURBES DE NIVEAU (ACN)

Une variation des banquettes en courbes de niveau, le système d'aménagement en courbes de niveau (ACN) est une approche holistique du paysage visant à gérer les ressources en eau et capter les eaux de pluie à l'échelle des bassins hydrographiques. L'approche a été élaborée au Mali par les chercheurs de l'Institut d'économie rurale (IER) et du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD). Les objectifs principaux de la technologie ACN sont : capter et retenir les eaux de pluie dans les champs traités, permettre l'évacuation du surplus d'eau et l'écoulement de surface dévastateur qui pourrait se déverser dans les champs lors de violentes tempêtes.

IMAGE 2. ADOS FONCTIONNEL ET BILLONS ANNUELS DANS UN CHAMP D'AGRICULTEUR



Photo : USAID. SM CRSP Bulletin, University of Hawaii.

Le système consiste en l'établissement permanent de billons (ados) d'environ 100 cm de large qui sont construits sur la courbe de niveau et conservés les années suivantes. De plus petits billons sont alors établis à travers le labour. Ces billons suivent les courbes de niveau balisées par les ados. D'autres structures telles que les canaux de surverse et d'évacuation pourraient être nécessaires pour drainer le surplus d'eau pour le champ. Les champs traités peuvent accroître l'infiltration d'eaux de pluie jusqu'à 10 pourcent du volume annuel, même dans les champs à légère pente entre 1 et 3 pourcent. Les taux accrus d'infiltration d'eau avec le système ACN montrent que la réduction des eaux de ruissellement générées par les pluies permet un meilleur captage d'eau et une plus profonde percolation dans le sol.

Données techniques

1. La distance typique entre les billons (ados) permanents varie entre 20 et 50 mètres, la distance entre les ados diminuant à mesure que la pente augmente.
2. Si la pente est très plane, la distance maximum entre les ados sera de 50 m. Si la pente est raide, les ados seront disposés de manière à ce que la variation d'élévation entre les ados ne dépasse jamais 80 cm.

Adéquation

1. Dans les zones sensibles à l'érosion du fait d'un faible taux d'infiltration et d'une forte intensité des précipitations au cours de la petite saison des pluies.
2. Dans les zones caractérisées par une érosion importante avec des pentes de 5 pourcent ou moins.

Source

Kablan, R., et al. (2008a). "Aménagement en courbes de niveau" (ACN): A water harvesting technology to increase rainfall capture, water storage, and deep drainage in soils of the Sahel." SM CRSP Bulletin, Université de Hawaï. http://www.ctahr.hawaii.edu/sm-crsp/pubs/pdf/acnfiche_finaldraft_1.pdf

2.9 BILLONS EN COURBES DE NIVEAU/BILLONS CLOISONNES

Les billons en courbes de niveau, ou le labour suivant les courbes de niveau, sont habituellement utilisés dans le monde pour la production des cultures. C'est également une technique de microcaptage. Les billons suivent les courbes de niveau à des intervalles de 1 à 2 mètres. Les eaux de ruissellement sont collectées et conservées dans les sillons entre les billons. Les cultures sont généralement plantées sur le sommet des billons. De plus, des cloisons peuvent être ajoutées au système, composées de barrières ou billons bas, entre les principaux billons, créant ainsi des microbassins à l'intérieur des sillons. L'utilisation des cloisons est utile pour prévenir l'accumulation d'eau dans les recoins inférieurs car une accumulation pourrait entraîner la rupture des billons sur les pentes. L'utilisation des cloisons est particulièrement nécessaire sur les terrains accidentés, ou dans des situations où il n'est pas possible de dessiner les courbes de manière précise. Le système, avec ou sans cloisons, est simple à construire et permet l'utilisation d'animaux de trait ou de tracteurs. Des accessoires spéciaux (pour la traction animale et les tracteurs) sont disponibles pour faciliter la création de "cloisons".

FIGURE 9. BILLONS EN COURBES DE NIVEAU, DISPOSITION SUR LE TERRAIN

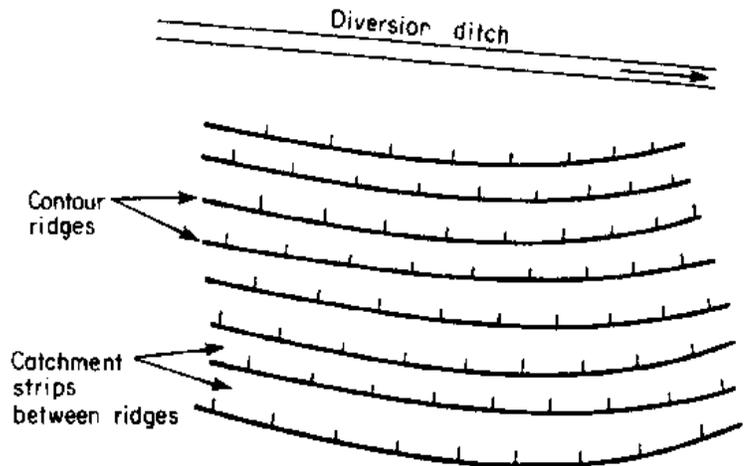


Image : Critchley & Siegert, with Chapman. (1991) FAO

Le rendement des eaux de ruissellement provenant des bassins de petite longueur est très efficace et, lorsque les systèmes sont conçus et construits correctement, il n'y a pas de pertes en eaux de ruissellement. Un autre avantage est une croissance régulière des cultures du fait que chaque plante est arrosée approximativement par le même bassin.

Données techniques

1. Un espacement de 1 à 2 mètres entre les billons (ratios de C:SC de 2:1 et 3:1 respectivement) est généralement recommandé pour les cultures annuelles dans les zones semi-arides (les agriculteurs ont tendance à utiliser des espacements plus étroits, par exemple de 75 cm).
2. En cas d'utilisation des cloisons, celles-ci doivent être placées à 2 m les unes des autres à l'intérieur des sillons.

Adéquation

Précipitations : 350 - 750 mm.

Sols : tous les sols adaptés à l'agriculture. Les sols lourds et compacts pourraient être une contrainte pour la construction de billons à la main.

Pentes : de plane à une inclinaison de 5,0%

Topographie : doit être régulière - les zones accidentées ou ayant des rigoles sont à éviter.

Contraintes : Si les billons en courbes de niveau ne sont pas bien construits, ils sont susceptibles d'être détruits lors de tempêtes extrêmes. Dans le pire des scénarios, les billons mal construits ou endommagés peuvent tomber, entraînant un effet de "cascade" où tous les billons suivants en aval deviennent surchargés et se rompent, les uns après les autres.

Sources

Critchley, W., et Siegert, K., avec Chapman, C. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Deuson, R. R., & Sanders, J. H. (1990). Cereal technology development in the Sahel: Burkina Faso and Niger. *Land Use Policy*, 7(3): 195-197.

2.10 DIGUES FILTRANTES

Les digues filtrantes sont une technique d'épandage de crue favorisant une amélioration de la production des cultures et empêchant en même temps l'apparition de rigoles. Les digues filtrantes peuvent être considérées comme une forme d'"oued en terrasse", bien que ce terme soit généralement employé pour désigner des structures dans les cours d'eau des zones plus arides.

Une digue filtrante est une structure longue et basse, faite de rochers détachés et de gabions qui s'étendent à travers un fond de vallée ou drain. La partie centrale de la digue est perpendiculaire au cours d'eau tandis que les murs remontent la vallée de part et d'autre en courbe. L'idée étant que les eaux de ruissellement, qui se concentrent au centre de la vallée, seront répandues et retenues au fond de la vallée, créant des conditions plus favorables à la croissance des plantes, en particulier à la riziculture. Le surplus d'eau se déverse par-dessus la digue pendant les débits de pointe, tandis que le reste d'eau s'infiltré lentement à travers la digue. Une série de digues est construite le long du même fond de vallée, favorisant la stabilité de tout le système de la vallée.

L'intérêt pour les digues filtrantes était concentré en Afrique de l'Ouest - au Burkina Faso en particulier - et s'est considérablement étendu à la fin des années 80. Cette technique était particulièrement populaire là où les villageois avaient connu le ravinement du fond des précédentes vallées productives, la conséquence étant que les eaux de crue ne se répandaient plus naturellement. Le grand volume de travail nécessaire montre que la technique est à forte intensité de main-d'œuvre et nécessite une approche de groupe, ainsi qu'une assistance quant au transport des pierres et d'autres matériaux.

Données techniques

1. D'habitude, la partie principale de la digue est d'environ de 70 cm de hauteur, bien que certaines soient de 50 cm. Cependant, la partie centrale de la digue, y compris le déversoir (si nécessaire), peut atteindre une hauteur maximale de 2 m ou plus au-dessus du fond de la vallée. Le mur de la digue ou "épandeur" peut s'étendre jusqu'à 1 000 mètres à travers les plus larges lits de vallée, cependant les longueurs varient généralement entre 50 et 300 mètres. La quantité de pierres utilisées dans les plus grandes structures peut atteindre jusqu'à 2 000 tonnes.

IMAGE 3. DIGUE FILTRANTE, BURKINA FASO



Photo : B.M. Simpson

FIGURE 10. DIGUE FILTRANTE, DISPOSITION GENERALE

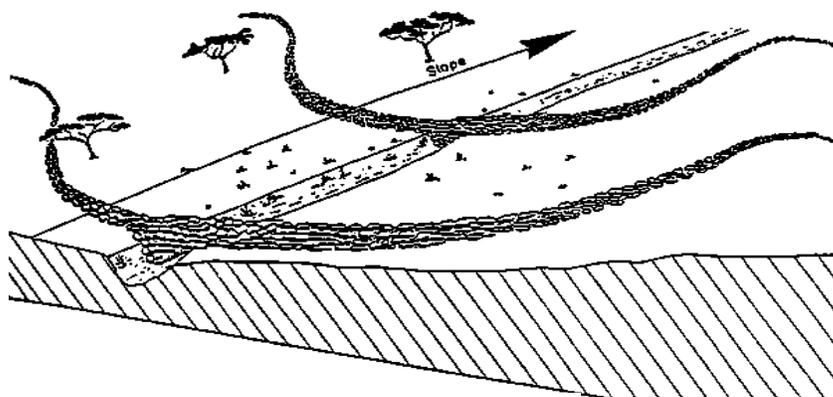
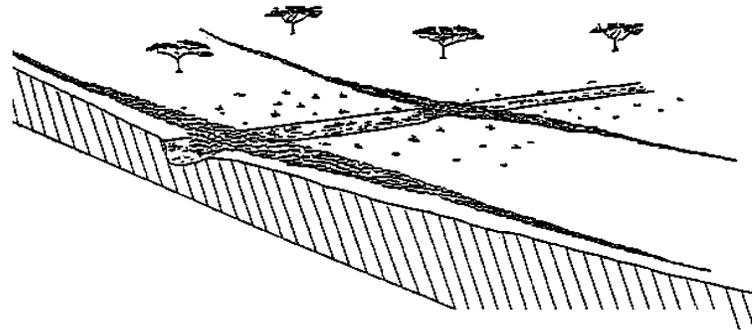


Image : Critchley & Reij, FAO (1989)

2. Le mur de la digue est fait de pierres individuelles ou de gabions soigneusement disposés avec les plus grands blocs formant le "cadre". Les plus petits sont entassés au milieu comme un "sandwich". Les pentes de flanc sont généralement de 3:1 ou 2:1 (horizontal : vertical) côté aval et de 1:1 ou 1:2 coté amont. Avec des pentes de flanc moins profondes, la structure est plus stable mais plus coûteuse.

FIGURE 11. DIGUE FILTRANTE, DISPOSITION ALTERNATIVE.



Source : Critchley & Reij, FAO (1989)

3. Il est recommandé pour tout type de sol de construire le mur du barrage sur une tranchée creusée d'environ 10 cm de profondeur afin d'éviter qu'il ne soit endommagé par les eaux de ruissellement. Dans le cas des sols érodables, il est conseillé de poser une couche de gravier, ou au moins de petites pierres dans la tranchée.
4. Variation des modèles : Lorsque les digues filtrantes sont construites dans des fonds de vallée à la surface relativement plane, elles sont souvent droites - contrairement au modèle habituel où les diguettes de l'épandeur remontent la vallée en courbe à partir du centre suivant la courbe. Avec des digues droites, la hauteur du mur diminue du centre vers les flancs de la vallée afin de maintenir une crête de niveau.

Adéquation

Précipitations : 200 mm -750 mm; des zones arides aux zones semi-arides.

Sol : toutes les terres agricoles. Les sols pauvres seront améliorés par traitement.

Pentes : mieux en deçà de 2% pour un épandage d'eau plus efficace.

Topographie : lits de vallée larges et peu profonds.

Contraintes : Très spécifiques au site, nécessitent une grande quantité de pierres ainsi que le transport. A très haute intensité de main-d'œuvre.

Sources

Critchley, W. et K. Siegert, avec C. Chapman. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.

Tabor, J. A. (1995). Improving crop yields in the Sahel by means of water-harvesting. *Journal of Arid Environments*, 30(1): 83-106.

2.11 BANDES VEGETATIVES

L'utilisation de bandes végétatives, naturelles ou plantées est une pratique traditionnelle visant à délimiter et protéger les champs utilisés par les agriculteurs dans diverses régions d'Afrique. L'utilisation recommandée de barrière en courbes de niveau, de bandes végétatives enherbées, et de haies d'arbres à usages multiples est encouragée sous diverses formes depuis les années 80.

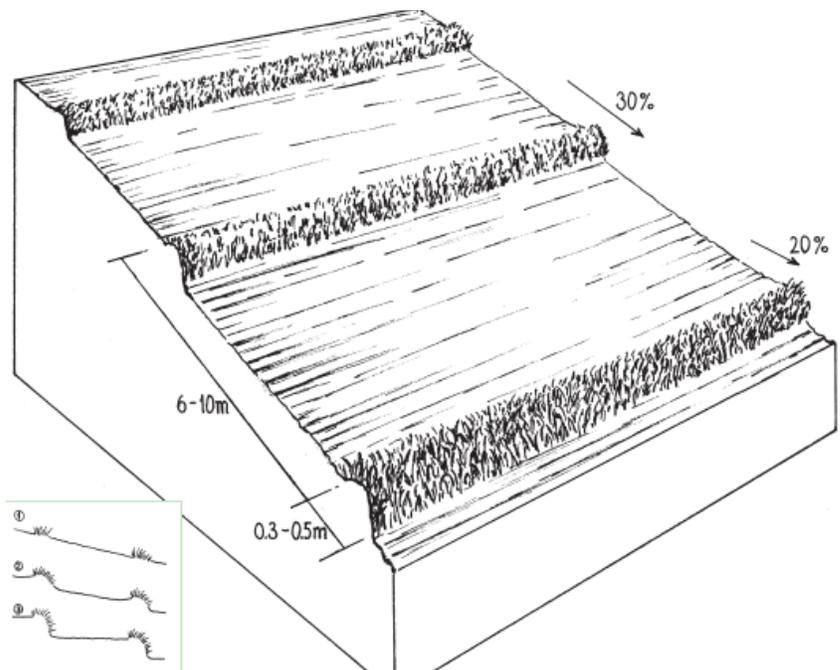
D'un point de vue technique, les bandes végétatives sont des bandes étroites d'herbes, d'autres plantes et d'arbres, qui poussent naturellement ou qui sont plantés. Les courbes de niveau sont disposées et délimitées afin de servir de guide initial pour le labourage, avec des bandes larges non cultivées pour permettre à la végétation de s'établir. Par ailleurs, les courbes délimitées sont utilisées pour guider la culture d'espèces, telles que le vétiver. Dans l'un ou l'autre cas, les eaux de ruissellement qui s'écoulent vers le bas sont ralenties et s'infiltrent lorsqu'elles atteignent les bandes végétatives. A mesure que le mouvement de l'eau est ralenti, les particules de sol en suspension sont collectées au-dessus des bandes, et des terrasses naturelles se forment au fil du temps. Ce nivellement est accompagné d'un labourage le long de la courbe entre les bandes, provoquant une certaine "érosion liée au labourage" qui peut également déplacer les particules du sol vers l'aval. La technique des bandes végétatives est peu coûteuse et à faible intensité de main-d'œuvre quant à l'établissement et l'entretien.

Les utilisateurs de terre apprécient la technique parce qu'elle contrôle efficacement l'érosion du sol et évite la perte de fertilisants appliqués aux plantes (à travers les eaux de ruissellement). Une des options auxquelles certains agriculteurs ont recours est la plantation d'arbres fruitiers et d'essences à bois, des bananiers et des ananas sur ou au-dessus des bandes végétatives. Cette plantation peut se faire pendant l'établissement des courbes de niveau, ou plus tard. Les arbres et autres plantes vivaces plantés comme cultures de rente fournissent une source de revenus supplémentaire, mais font de l'ombre aux cultures annuelles voisines.

Données techniques

1. Les bandes végétatives naturelles et haies de vétivers mûrs sont larges de 0,3 à 0,5 m.

FIGURE 12. BANDES VEGETATIVES



L'espacement des bandes végétatives dépend de la pente. La figure montre l'évolution des terrasses au fil du temps avec le labourage et l'érosion du sol, entraînant une accumulation de sédiments derrière la bande.

Source : WOCAT, Liniger, H. & Critchley, W. (2007)

2. La végétation naturelle dans les bandes établies doit être taillée à une hauteur de 5 à 10 cm une ou deux fois au cours de la période de culture. Le vétiver doit être maintenu à une taille comprise entre 30 et 50 cm. Les herbes naturelles taillées peuvent être appliquées comme paillis ou utilisées comme aliment pour bétail, selon leur composition. Avant de planter le vétiver, la taille des plantes est réduite entre 15 et 20 cm et les racines à 10 cm plus bas.
3. La distance entre les vétivers sur une rangée est de 20 cm. La distance entre les rangées de vétivers ou les bandes végétatives naturelles dépend de la pente. Des recommandations ont été formulées pour l'établissement d'une bande tous les 2 m de dénivellation.

Adéquation

Précipitations annuelles : jusqu'à 1 500 - 3 000 mm

Pente : de modérée (5-8%) à raide (40%-70%)

Fertilité du sol : Les sols possédant une capacité de fixation P élevée

Type de sols : Texture surtout loameuse ou fine, mais en partie avec ou sans pierres à la surface

Teneur en matière organique de la terre végétale : surtout basse (<1%), en partie moyenne (1- 3%)

Drainage du sol : en général bon sauf en cas de dépression

Erodabilité du sol : de moyenne à élevée

Profondeur du sol : 20cm -120 cm

Sources

GIZ (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation: A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.

Liniger, H. & Critchley, W. (2007), Where the land is greener — case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT).

Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). Sustainable Land Management in Practice — Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

White, L. P. (1971). Vegetation stripes on sheet wash surfaces. *The Journal of Ecology*, 615-622.

Banque mondiale (1987). Vetiver Grass: The hedge against erosion. 3e édition. Washington D.C. Banque mondiale.

2.12 SYSTEME VALLERANI

Le système Vallerani (SV) est un système relativement nouveau de captage d'eau où une charrue tirée par un tracteur est utilisée pour construire automatiquement les points de captage d'eau. Ce système est idéal pour les travaux de restauration d'envergure. Le système Vallerani consiste en une charrue modifiée appelée Delfino3, tirée par un tracteur lourd. La charrue Delfino3 a un unique soc réversible qui crée un sillon à angle et empile la terre creusée sur la partie basse (descente) du sillon. Cette terre forme une crête qui arrête ou ralentit l'écoulement des eaux de ruissellement vers le bas.

Le système Vallerani est utilisé pour semer des graines, planter des arbustes et arbres directement. Les graines sont semées le long des crêtes des cuvettes dans le sillage de la défonceuse. Avec plus d'humidité disponible pour une plus longue période de temps, les arbres poussent rapidement et la couverture de plantes herbacées gagne en quantité et en qualité - fournissant 20 à 30 fois plus de fourrage pour le bétail (1 000 à 2 000 kg de biomasse d'herbacés sec par ha/an) et permettant également de préserver le sol.

IMAGE 4. MICROBASSINS VALLERANI



Source : Photo : W. Critchley, extraite de Mekdaschi Studer, R., & Liniger, H. (2013)

Données techniques

1. La lame de la charrue se déplace de haut en bas (à l'intérieur et hors du sol), créant des microbassins d'environ 5 mètres de long, profonds de 50 cm et espacés d'environ 2 m, chacun ayant une crête.
2. Deux défonceuses placées à l'avant de la charrue labourent le sol à une profondeur de 80 cm, permettant la formation du microbassin grâce à la lame de la charrue.
3. Même avec de faibles précipitations (150-500 mm/an), chaque microbassin/sac de stockage peut capter 1 500 litres d'eau, y compris les eaux de ruissellement. Cette eau est protégée contre l'évaporation et reste à la disposition des racines et de la nappe souterraine.
4. La charrue Vallerani peut "travailler" jusqu'à 20 ha, creusant environ 5 720 microbassins en un seul jour. La vitesse et l'efficacité de la charrue Delfino3 sont ses principaux atouts.

Adéquation

Précipitations : 250-750 mm

Altitude : 100-1 000 m au-dessus du niveau de la mer

Relief : vallée, plateau/plaine

Pente : surface plane

Profondeur du sol : 0-20 cm

Disponibilité des eaux de surface : mauvaise, bonne

Capacité de stockage d'eau du sol : bonne, faible

Texture du sol : fin (sable), grossier

Teneur en matière organique du sol : bonne, faible

Matière organique de la terre arable : même inférieure à 1%

Drainage/infiltration du sol : bon (e), faible

Contraintes : Pour être rentable, le système doit être utilisé sur de vastes terres.

Sources

Mekdaschi Studer, R., et Liniger, H. (2013) *Water Harvesting: Guidelines to Good Practice*. Centre pour le développement de l'environnement (CDE), Bern ; le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam ; MetaMeta, Wageningen ; le Fonds international pour le développement agricole (FIDA)

Schmidt, M., König, K., Hahn, K., Zizka, G., & Wittig, R. (2010). Restoration of Bare Incrusted Soils in the Sahel Region of Burkina Faso. *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica* 13: 3-9.

Site Web du système Vallerani <http://www.vallerani.com/wp/>

2.13 TRANCHEES DE PLANTATION

L'objectif principal de cette technique est de restaurer le couvert végétal et d'empêcher l'érosion hydrique sur les pentes, en réduisant le débit des eaux qui menacent les terres situées dans les zones en aval. Les tranchées établies réduisent l'érosion des rigoles et la pédimentation des zones dont la structure du sol est fragile. Elle permet la réintroduction d'arbres sur les terres dégradées et stériles et contribue à dissiper la force du débit des eaux de ruissellement et accroître l'infiltration. Les zones restaurées grâce aux tranchées peuvent alors être exploitées dans une mesure limitée conformément à des pratiques de gestion rigoureuses. L'infiltration d'eau dans les tranchées peut également contribuer à la recharge souterraine.

IMAGE 5. MODELE DE TRANCHEES CREUSEES A LA MAIN



Photo : GIZ, 2012

Cette technique a prouvé son efficacité dans la restauration de la forêt/prairie sur les sites dégradés. Le développement progressif d'herbes et du couvert végétal continue sur ces sites des années après l'établissement. Cependant, les jeunes arbres doivent être surveillés pendant plusieurs années afin de s'assurer qu'ils ne sont pas endommagés en pâture par les animaux errants.

Données techniques

1. La longueur de la tranchée est comprise entre 3 et 3,5 m
2. La profondeur est d'environ 0,6 m
3. La distance entre les tranchées est d'environ 4 m pour les rangées parallèles, donnant environ 625 tranchées par hectare
4. La terre creusée est empilée en aval des tranchées, lesquelles sont alignées perpendiculairement à la pente. Au milieu de chaque tranchée, il est prévu une "marche" d'une hauteur de 0,40 m sur laquelle le jeune plant de l'arbre est planté. L'arbre reçoit l'eau dont il a besoin provenant de la tranchée où elle se déverse. Les plantes sont protégées de l'engorgement en cas de violentes averses, étant donné qu'elles se trouvent au-dessus du fond de la tranchée.

Adéquation

Cette technique est conçue pour restaurer les terres communales situées sur les pentes et les frontons de montagne.

Technique utile dans les régions où les précipitations sont faibles, étant donné que les tranchées collectent l'eau et la mettent à la disposition des arbres qui y poussent.

Convient mieux aux terrains fortement dégradés à faible fertilité. La haute intensité de main-d'œuvre en est un inconvénient.

Source

GIZ. (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation: A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.

2.14 REGENERATION NATURELLE GEREE/ASSISTEE PAR LES AGRICULTEURS

La plus célèbre Régénération naturelle assistée par les agriculteurs (FMNR) a été mise en œuvre dans la région de Maradi, au Niger, dès le début des années 80 et couvre finalement plus de 50 000 ha au Niger. La FMNR est la régénération systématique de souches vivantes et de plants émergents d'arbres indigènes, qui ont été auparavant taillés et brûlés dans la préparation des champs. Les espèces les plus adaptées sont celles à racines profondes qui ne sont pas en concurrence avec les cultures et qui ont de bonnes performances de croissance même pendant les mauvaises saisons des pluies. La FMNR est une méthode simple, peu coûteuse, accessible aux agriculteurs, et adaptée aux besoins des petits exploitants. Elle réduit la dépendance aux intrants externes, est facile à mettre en pratique et procure de multiples avantages aux populations, au bétail, aux cultures et à l'environnement.

Plus généralement, une FMNR représente une vaste catégorie de pratique, et par conséquent n'adhère pas aux aspects techniques fixes et ne respecte pas les critères d'adéquation. Il existe différents types de pratiques FMNR pour différents systèmes agricoles et zones agroclimatiques.

Sources

- Haglund, E., Ndjeunga, J., Snook, L., & Pasternak, D. (2011). Dry land tree management for improved household livelihoods: Farmer managed natural regeneration in Niger. *Journal of environmental management*, 92(7): 1696-1705.
- Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). Sustainable Land Management in Practice — Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

2.15 FOSSES D'ENSEMENCEMENT

L'établissement de fosses d'ensemencement, également connues sous l'appellation fosses *zai* ou *tassa*, est une pratique traditionnelle dans diverses régions d'Afrique. En Afrique de l'Ouest, la promotion des fosses *zai* était devenue populaire au début des années 80 dans le cadre du perfectionnement des pratiques traditionnelles au Burkina Faso. Traditionnellement, les fosses d'ensemencement étaient utilisées à petite échelle en vue de réhabiliter les terres stériles (*zipélé*) et les terrains encroûtés où les précipitations ne pouvaient plus s'infiltrer. Les dimensions des fosses ont été augmentées (un diamètre de 10-15 cm à 20-30 cm et une profondeur d'environ 20 cm).

Une autre innovation a été la suggestion d'ajout de fumier dans les trous. Ainsi, les fosses d'ensemencement améliorées concentraient l'eau et les nutriments en un point, un principe de base de l'agriculture de conservation.

Les fosses sont creusées pendant la saison sèche et la matière organique est utilisée pour attirer les termites. Ceux-ci jouent un rôle crucial en creusant les canaux dans le sol, améliorant ainsi la structure du sol. Dans le même temps, ils digèrent la matière organique et mettent plus facilement les nutriments à la disposition des cultures plantées ou semées dans les fosses.

Les fosses d'ensemencement sont utilisées pour la réhabilitation des terres dégradées et/ou encroûtées. Elles sont creusées à la main, la terre creusée formant un billon en aval de la fosse pour une collecte optimale des eaux de ruissellement des pluies. Du fumier est ajouté dans chaque fosse, bien qu'il ne soit pas facilement disponible. L'infiltration améliorée et la réserve accrue de nutriments font des terres dégradées des terres arables. Cette technique n'exige pas d'intrants externes ni d'appareils lourds et est alors facilement adoptée. Les fosses *zai* sont souvent associées aux lignes de pierres autour des courbes de niveau afin de renforcer davantage l'infiltration de l'eau, réduire l'érosion du sol et l'envasement des fosses. Les herbes qui poussent entre les pierres permettent d'accroître davantage l'infiltration et d'accélérer l'accumulation de sédiments fertiles.

Données techniques

1. Les fosses d'ensemencement sont des trous d'un diamètre de 20-30 cm et profonds de 20-25 cm, espacés d'environ 1 m de chaque côté.
2. En général, la forme de la fosse est circulaire mais elle peut être creusée sous d'autres formes.

IMAGE 6. FOSSES D'ENSEMENCEMENT (TASSA) AVANT LES SEMIS ET LA SAISON DES PLUIES, NIGER.



Photo : H.P. Liniger

Adéquation

Précipitations annuelles moyennes : 250-500 mm dans les zones semi-arides

Type de sols : sableux et peu profonds

Drainage du sol : bien drainé

Fertilité : efficace même sur les terres à faible ou très faible fertilité

Matière organique : efficace même sur les terres à faible teneur en matière organique (moins de 1%)

Relief : surtout les plaines / plateaux, en partie les pieds de pente

Pente : surtout légère (2-5%), en partie plane (0-2%)

Sources

Kaboré, D., & Reij, C. (2004). *The emergence and spreading of an improved traditional soil and water conservation practice in Burkina Faso*. Conference Paper No. 10

Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). *Sustainable Land Management in Practice — Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa*. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

Mekdaschi Studer, R., et Liniger, H. (2013) *Water Harvesting: Guidelines to Good Practice*. Centre pour le développement de l'environnement (CDE), Bern ; le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam ; MetaMeta, Wageningen ; le Fonds international pour le développement agricole (FIDA)

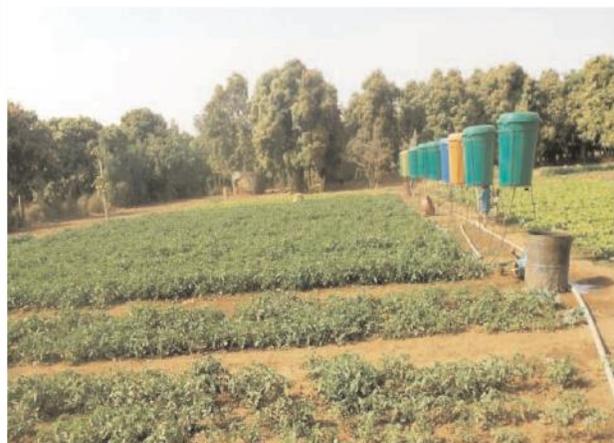
3.0 APPROVISIONNEMENT EN EAU SUPPLEMENTAIRE

3.1 IRRIGATION AU GOUTTE-A-GOUTTE

Le développement de l'irrigation au goutte-à-goutte moderne a commencé en Allemagne en 1860 lorsque les chercheurs ont entamé l'expérimentation de l'irrigation souterraine en utilisant un tuyau en argile pour créer une combinaison des systèmes d'irrigation et de drainage. Les études ont été élargies dans les années 20 pour inclure la mise en œuvre des systèmes à tuyau perforé. L'utilisation de plastique pour maintenir et répartir l'eau en irrigation au goutte-à-goutte a été développée plus tard en Australie.

L'irrigation au goutte-à-goutte consiste à évacuer l'eau dans le sol à un débit très faible (2-20 litres/heure) à partir d'un système de tuyaux en plastique de petit diamètre, équipés de sorties appelées émetteurs ou goutteurs. L'eau est appliquée près des plantes de sorte que seule la partie du sol dans laquelle les racines poussent est mouillée, à la différence de l'irrigation gravitaire ou par aspersion qui implique l'arrosage de toute la surface du sol. L'irrigation au goutte-à-goutte est d'une très grande efficacité avec jusqu'à 90% de l'eau appliquée mise à la disposition des plantes. Elle est particulièrement utile dans un contexte de faible disponibilité d'eau et de demande et/ou coûts élevés en eau d'irrigation. Avec l'irrigation au goutte-à-goutte, les applications d'eau sont plus fréquentes (en général tous les 1-3 jours) qu'avec d'autres méthodes et cela crée des conditions de sols très favorables, où les plantes peuvent bien pousser.

IMAGE 7. SYSTEME D'IRRIGATION AU GOUTTE-A-GOUTTE GRAVITAIRE



*Système goutte-à-goutte indigène, Burkina Faso.
Source : Sogoba et al., 2012.*

Données techniques

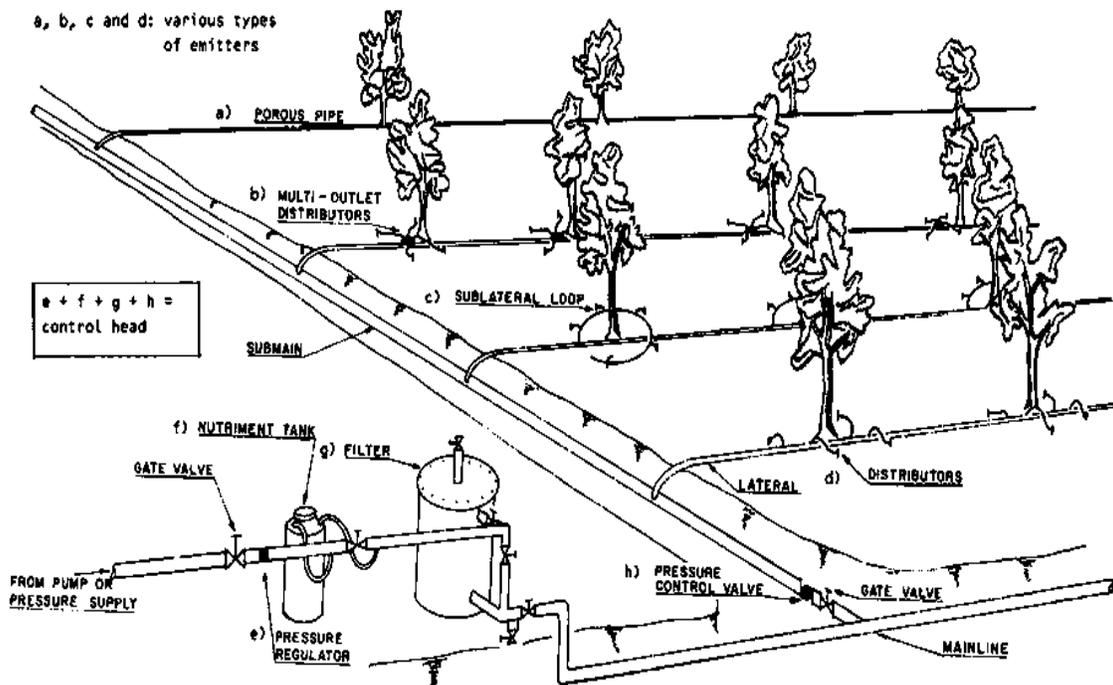
Dans les systèmes utilisant une pompe, le dispositif de pompage tire l'eau d'une source et donne la pression appropriée de déversement dans le tuyau. Dans les systèmes gravitaires, plus couramment utilisés en Afrique de l'Ouest, l'eau est pompée dans un réservoir surélevé à partir duquel elle est répartie à travers tout le système. Du fait de la pression plus faible, les systèmes gravitaires sont plus petits et sont dotés de moins de tuyaux.

1. La tête de commande est composée de robinets permettant de contrôler la décharge et la pression dans tout le système. Elle peut également être dotée de filtres servant à clarifier l'eau. Les types de filtres les plus courants sont les filtres écrans et les filtres de sable étagés, qui extraient la matière à grains fins suspendue dans l'eau. Certaines têtes de commande contiennent un réservoir d'engrais

ou de nutriments. Ces têtes ajoutent une dose mesurée d'engrais dans l'eau lors de l'irrigation. C'est l'un des avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte, comparée à d'autres méthodes.

2. Les canalisations principales, secondaires et les raccords fournissent l'eau à partir de la tête de commande vers les champs. Elles sont généralement faites de tuyaux en PVC ou polyéthylène et doivent être enterrées sous la terre étant donné qu'elles se dégradent facilement lorsqu'elles sont exposées directement aux rayonnements solaires et aux dégâts causés par les animaux. En général, les raccords ont entre 13 et 32 mm de diamètre.
3. Les émetteurs ou goutteurs sont des dispositifs permettant de contrôler la décharge d'eau des raccords aux plantes. Ils sont généralement espacés de plus d'1 mètre avec un ou plusieurs émetteurs utilisé (s) pour une seule plante, comme un arbre par exemple. Pour les cultures en rangée plus étroitement espacées, les émetteurs peuvent être utilisés pour mouiller une bande de sol. De nombreux modèles d'émetteurs ont été produits au cours des dernières années. Le principe de conception de base est de produire un émetteur fournissant une décharge spécifiée qui ne varie pas beaucoup avec les changements de pression et ne se bloquant pas facilement.

FIGURE 13. IRRIGATION AU GOUTTE-A-GOUTTE GRAVITAIRE AVEC DIFFERENTS TYPES D'EMETTEURS



Source :

<http://www.millenniumland.com/images/LANDSCAPE%20SERVICES/Irrigation/Drip%20Irrigation%20Systems/Drip%20Irrigation.gif>

Adéquation

1. Cultures : L'irrigation au goutte-à-goutte est surtout adaptée aux cultures en rangée (légumes, fruits rouges), aux cultures arboricoles et de vigne, où un émetteur, ou plus, peut être attribué à chaque plante. En général, seules les cultures à forte valeur ajoutée sont prises en compte, du fait des coûts d'investissement élevés pour l'installation du système goutte-à-goutte.

2. Pente : L'irrigation au goutte-à-goutte est adaptable à toute pente cultivable. Normalement, la culture doit être plantée tout le long des courbes de niveau, et les tuyaux (raccords) d'approvisionnement en eau doivent également être installés le long des courbes. Cette disposition permet de minimiser les variations dans la décharge de l'émetteur du fait des variations d'altitude du terrain. Dans les systèmes gravitaires, le réservoir d'approvisionnement est placé en amont afin d'augmenter la distribution d'eau à travers le système.
3. Sols : L'irrigation au goutte-à-goutte convient à la majorité des types de sols. Sur les sols argileux, l'eau doit être appliquée lentement afin d'éviter l'accumulation d'eaux de surface et les ruissellements. Sur les sols sableux, des taux élevés de décharge de l'émetteur sont nécessaires pour assurer une irrigation latérale adéquate du sol.
4. Eau d'irrigation : L'une des difficultés majeures avec l'irrigation au goutte-à-goutte est le blocage des émetteurs. Tous les émetteurs ont de très petites voies d'eau variant entre 0,2 et 2,0 mm de diamètre qui peuvent se boucher si l'eau n'est pas propre. Ainsi, il est essentiel que l'eau d'irrigation soit dépourvue de sédiments. Si de l'eau dépourvue de particules n'est pas disponible, alors l'eau d'irrigation doit être filtrée. Un blocage peut également survenir si l'eau contient des algues, des dépôts d'engrais et des produits chimiques dissous qui précipitent tels que le calcium et le fer. Le filtrage peut extraire certaines des particules, mais le problème peut être difficile à résoudre et nécessiter l'intervention d'un ingénieur expérimenté ou une consultation avec le fournisseur d'équipement.

Sources

- Geyik, M.P. (1986). FAO watershed management field manual: Gully control. Conservation Guide 13/2. FAO : ROME.
- Goldberg, D., Gornat, B., & Rimon, D. (1976). Drip irrigation: principles, design and agricultural practices. Drip irrigation: principles, design and agricultural practices.

3.2 PETITS BARRAGES EN TERRE

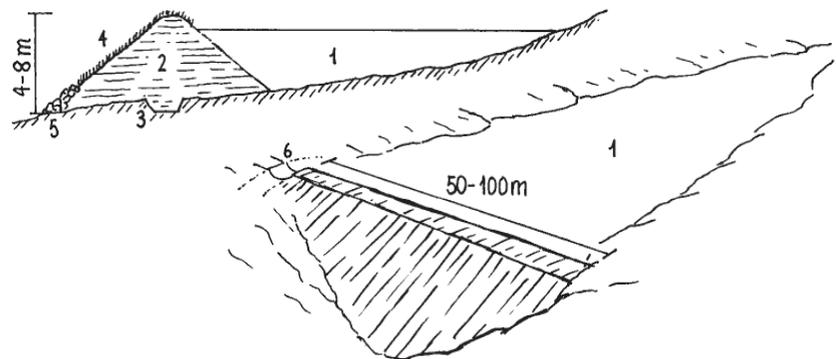
Les petits barrages en terre sont des structures de collecte et de stockage des eaux, construites à travers les sections étroites des vallées pour retenir les eaux de surface générées par les zones de captage en amont. La construction du mur du barrage commence par le creusement d'une tranchée principale le long du barrage, laquelle est remplie d'argile et compactée pour former un noyau central ("clé") qui arrime le mur et empêche ou réduit l'infiltration. Les remblais en amont et en aval sont construits en utilisant de l'argile à 20-30%. Pendant la construction - soit par le travail humain, la traction animale ou la machine (bulldozer, compacteur, niveleuse etc.) - il est crucial d'assurer un bon compactage pour la stabilité du mur. Il est courant de planter du gazon Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) afin d'empêcher l'érosion des remblais. Une clôture pourrait être nécessaire pour empêcher les animaux d'éroder le mur du barrage.

Les avantages directs des petits barrages en terre incluent une disponibilité accrue d'eau, en termes de volume et durée, pour l'irrigation à la pompe, une réduction de l'inondation en aval grâce la recharge de la nappe aquifère.

Données techniques

1. La longueur normale du remblai est comprise entre 50 et 100 m et sa profondeur varie de 4 à 8 m.
2. Un déversoir d'urgence (couvert de végétation ou une vanne en béton) est aménagé sur un des côtés du mur ou sur les deux côtés à la fois, pour une élimination sûre du surplus d'eau.
3. En général, les barrages ont un bassin de captage situé à 500 m, au plus, du mur du barrage, avec une capacité comprise entre 50 000 et 100 000 m³.

FIGURE 14. UN PETIT BARRAGE EN TERRE



Dimensions et composantes principales d'un petit barrage : (1) réservoir d'eau ; (2) corps du barrage (avec des couches de terre compactée, pente de flanc 3:1) ; (3) noyau central ("clé") ; (4) couverture enherbée ; (5) talus en pierre ; (6) déversoir.

Source : Liniger, H.P., et al. (2011).

Adéquation

Climat : semi-aride, subhumide

Précipitations annuelles moyennes : 400-800 mm

Drainage du sol : bien drainé

Texture du sol : des sols loameux aux sols sableux

Pente : plaines (2-15%) et vallées (15-40%)

Relief : plaines et vallées

Sources

- Liniger, H.P., R. Mekdaschi Studer, C. Hauert et M. Gurtner. (2011). Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.
- Mekdaschi Studer, R., et Liniger, H. (2013) Water Harvesting: Guidelines to Good Practice. Centre pour le développement de l'environnement (CDE), Bern ; le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam ; MetaMeta, Wageningen ; le Fonds international pour le développement agricole (FIDA)
- Tabor, J. A. "Improving crop yields in the Sahel by means of water-harvesting", *Journal of Arid Environments*, (30, 1) May 1995

3.3 BARRAGES DE CONTROLE

Le barrage de contrôle est une des variantes de la technologie des petits barrages. Les barrages de contrôle sont de petites barrières ou petits barrages construits à travers une noue, un drain ou d'autres zones à débit intermittent concentré, dans l'optique de réduire l'érosion de la canalisation et de ralentir l'évacuation des eaux. La plupart des barrages de contrôle sont construits avec des pierres, mais les bottes de foin, les troncs d'arbre, le béton, le métal et d'autres matériaux peuvent être utilisés. Les barrages sont de petits investissements, mieux adaptés aux zones de retenue d'eau de moins de 10 ares. L'eau collectée par les barrages de contrôle peut être utilisée comme une source d'irrigation à la pompe, comme abreuvoir pour le bétail et à d'autres fins.

IMAGE 8. BARRAGE DE CONTROLE



*Barrages de contrôle pour l'irrigation, faits de pierre, béton et gabion. De tels barrages réduisent également la vitesse des eaux de ruissellement et renforcent ainsi la restauration des rigoles.
Photo : E. Yazew.*

Données techniques

1. La largeur du barrage est comprise entre 1 et 2 m.
2. La hauteur varie de 2 à 4 mètres, selon la profondeur de la rigole.
3. La longueur du barrage dépend de la largeur de la rigole, alors que l'espacement entre les barrages de contrôle adjacents est déterminé en fonction de la disponibilité de l'eau et d'un terrain pouvant être irrigué.
4. Les zones des rigoles doivent être protégées contre davantage d'érosion, sinon le barrage se remplit rapidement de sédiments.

Adéquation

Les zones arides, semi-arides et subhumides, où il est nécessaire de stocker de l'eau pour affronter la saison sèche ou atténuer les impacts des séquences sèches.

Pente : plaines (2-15%) et vallées (15-40%) Relief : plaines et vallées.

Sources

Geyik, M.P. (1986). FAO watershed management field manual: Gully control. Conservation Guide 13/2. FAO. Rome.

- Mekdaschi Studer, R., et Liniger, H. (2013) *Water Harvesting: Guidelines to Good Practice*. Centre pour le développement de l'environnement (CDE), Bern ; le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam ; MetaMeta, Wageningen ; le Fonds international pour le développement agricole (FIDA)
- Tabor, J. A. (1995). Improving crop yields in the Sahel by means of water-harvesting. *Journal of Arid Environments*, 30(1), 83-106.
- Stauffe, B., & Carle, N. (s.d.). Check dams & Gully Plugs. Sustainable Sanitation and Water Management. Web page. <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/water-sources/hardware/precipitation-harvesting/check-dams-gully-plugs>

3.4 SYSTEMES D'IRRIGATION PAR POMPAGE

Les systèmes d'irrigation par pompage utilisent l'eau provenant de sources proches pour fournir de l'eau à un système de canaux d'irrigation. Les pompes sont généralement mobiles, une technologie qui se situe entre les systèmes d'irrigation individuels plus petits et les installations fixes plus grandes. Selon la topologie, l'eau est pompée dans le bassin à sédimentation permettant alors à la gravité de la déplacer vers le réseau de canaux, ou bien elle est directement pompée dans les champs. Ce type de système d'irrigation a été introduit au Mali après les sécheresses des années 70 par le biais de divers projets de développement ciblant la production de riz et de céréales. Entre les années 1996 et 2010, par exemple, le projet de l'*Instituto Provincial de Discapacidad (IPRODI)* a élaboré 450 plans d'irrigation au Nord Mali, créant une surface irriguée de plus de 13 000 ha cultivée par 55 000 agriculteurs. Cette technique permet d'aménager des terres non irriguées à des prix relativement bas.

IMAGE 9. POMPE POUR L'IRRIGATION D'UN VILLAGE, MALI



Photo : GIZ. (2012).

Les systèmes de pompage sont capables d'irriguer des régions dont la superficie est comprise en 20 et 40 hectares, entourées de digues en terre basses. Le bassin à sédimentation est l'un des modèles typiques du système qui reçoivent de l'eau d'une pompe à moteur, d'un canal principal, de canaux secondaires et de fossés d'irrigation. Le processus permet un contrôle total des réserves d'eau du système en déplaçant la pompe vers différentes stations de pompage autour du système. Les canaux sont ouverts et les étendues où l'infiltration est élevée peuvent être alignées avec un riprap ou du béton. Les structures de contrôle d'eau sont en béton. De tels systèmes nécessitent une source d'eau fiable, et sont par conséquent situés le long des fleuves ou près des étendues d'eau (semi-) permanentes. Ces systèmes sont tributaires de la disponibilité et du coût du carburant.

Adéquation

1. Les plans d'irrigation des villages sont adaptés aux sites ayant une source d'eau permanente à proximité.
2. Ces systèmes sont recommandés lorsque la différence de niveau entre les sources d'eau et les zones à irriguer est faible, réduisant ainsi les coûts de pompage.
3. L'utilisation des systèmes de pompage est également simplifiée par un accès facile au carburant.

Source

GIZ (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation, A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.

3.5 AMENAGEMENT DES BAS-FONDS (AMENAGEMENT DES BAS-FONDS / MARECAGES)

Dans les régions où il y a des contraintes pluviométriques, les bas-fonds ont une forte valeur agricole du fait que ces zones captent une quantité importante d'eau pendant une grande partie ou toute la durée de la saison sèche. Les bas-fonds apparaissent sous diverses formes et dans diverses positions dans le paysage. En général, ils fonctionnent comme des "sites récepteurs" en termes de processus pédologique, hydrologique et des pentes.

Au Burkina Faso et dans d'autres pays sahéliens, l'on observe une intensification de l'utilisation des bas-fonds depuis les années 70. Au cours de la période plus humide jusqu'aux années 70, lorsque la densité de la population était relativement faible, l'agriculture pluviale extensive suffisait pour l'alimentation, tant pendant les bonnes années que

pendant les mauvaises. La relative abondance des terres permettait de pratiquer l'agriculture itinérante. En général on évitait l'utilisation des bas-fonds pour les cultures car ils nécessitaient beaucoup trop de travail de nettoyage et de désherbage. Les bas-fonds étaient alors réservés au pâturage, à la production du bois de chauffage, ainsi qu'à la collecte de fruits sauvages et d'eau. Depuis les années 70, avec l'augmentation de la pression foncière et la baisse des précipitations, les cultivateurs se sont tournés vers l'exploitation des bas-fonds lesquels sont plus stables et plus productifs.

Le problème de l'évaluation du potentiel d'aménagement des zones d'intérêt vient de la nature dynamique de la disponibilité de l'eau, étant donné la fluctuation des nappes aquifères sur plusieurs mètres au cours d'une année, et selon différentes configurations d'une année à l'autre. La disponibilité de l'eau dépend de tout le bassin hydrographique, ainsi que de la situation topographique du bas-fond. Autrement dit, il est question de savoir si un bas-fond donné recevra assez d'eau pendant la saison sèche pour produire une récolte viable.

Données techniques

L'aménagement des bas-fonds varie de la construction d'une seule ou d'une série de digues basses (<80 cm) en terre au fond d'une vallée, à la construction d'une barrière centrale avec des digues intérieures et des structures de contrôle d'eau. Lorsqu'ils sont bien aménagés, les bas-fonds peuvent avoir une très grande capacité de contrôle des eaux et donner d'excellentes récoltes de riz. L'outil d'évaluation du Diagnostic rapide pré-aménagement (DIARPA) a été élaboré par les chercheurs du CIRAD et publié à travers le Consortium bas-fond (Riz pour l'Afrique) pour permettre l'identification des structures de contrôle des eaux les moins coûteuses en fonction de la largeur du fond de vallée, de la pente, de la profondeur de la couche d'argile sous-jacente et du débit du cours d'eau.

Adéquation

Précipitations : 700-1 200 mm

IMAGE 10. BAS-FONDS



Photo : B.M. Simpson (Mali)

Relief du sol : fond de vallée

Pente : pente douce

Capacité de stockage d'eau du sol : moyenne à très élevée.

Drainage du sol : sols productifs, avec couche d'argile sous-jacente.

Source

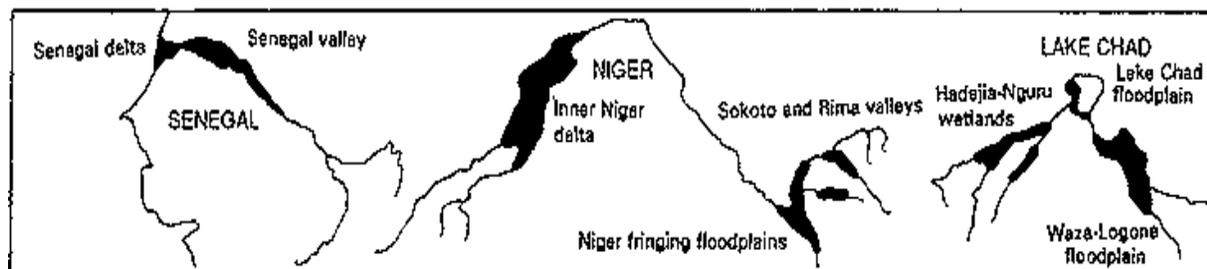
Scoones, I. (1991). "Wetlands in Drylands: Key Resources for Agricultural and Pastoral Production in Africa" *Ambio*, Vol. 20 (8): 366-371.

3.6 AMENAGEMENT DES PLAINES INONDABLES

La pénurie d'eau est l'un des facteurs majeurs limitant le développement de l'agriculture dans les zones plus arides d'Afrique de l'Ouest. Bien que cette région reçoive des précipitations saisonnières faibles, pendant la saison humide, les vastes régions bordant les principaux fleuves, y compris le Sénégal, le Niger, le Yobe et le Logone ainsi que leurs affluents, deviennent inondées. Pendant des siècles, ces plaines inondables ont joué un rôle crucial dans l'économie rurale de la région en fournissant des terres agricoles fertiles. Les eaux de crue apportent l'humidité et les nutriments essentiels au sol et représentent dans certaines régions des zones importantes de reproduction du poisson. L'eau qui s'infiltre à travers les plaines inondables recharge les réservoirs souterrains lesquels fournissent de l'eau aux puits en aval et hors de la zone humide. L'activité agricole est à son maximum lorsque l'eau recule, mais l'humidité nécessaire du sol demeure pendant la saison sèche et fournit le pâturage essentiel aux troupeaux migrants.

Sur le plan technique, l'aménagement des plaines inondables, pouvant couvrir des centaines à plus de mille hectares de terre, est une transposition à grande échelle des bas-fonds. Les systèmes plus grands sont parfois dotés de digues internes et de structures de contrôle des eaux permettant de faciliter et de contrôler l'inondation. A l'intérieur des différents compartiments, de tels systèmes ressemblent à de vastes plaines aérées. Les caractéristiques de chaque site spécifique permettent difficilement de faire des généralisations détaillées.

FIGURE 15. PRINCIPALES PLAINES INONDABLES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST SAHELIENNE



Source : Acreman, M.C. (1996).

Adéquation

Précipitations : 700-1 200 mm

Relief : plaines larges et planes.

Pente : des pentes douces aux pentes planes, terre agricole productive.

Drainage du sol : couche d'argile sous-jacente.

Sources

Acreman, A.C. (1996) The IUCN Sahelian Flood plain Initiative: Networking to Build Capacity to Manage Sahelian Floodplain Resources Sustainably, *International Journal of Water Resources Development*, 12:4, 429-436

Dugan, P. (1990). *Wetland Conservation. A Review of Current Issues and Required Action*. Gland, Switzerland: IUCN.

Friends of Rivers. (s.d.). Principles Of Flood Management And Floodplain Restoration.
<http://www.friendsoftheriver.org/fotr/BeyondFloodControl/noI.html>

4.0 RENFORCEMENT DE LA FERTILITE DU SOL

4.1 SYSTEME DE RIZICULTURE INTENSIVE (SRI)

Le Système de riziculture intensive, connu sous l'appellation SRI - *System of Rice Intensification* en anglais, *la Sistema Intensivo de Cultivo Arrocerero* (SICA) en espagnol - est une méthode de production agroécologique permettant l'amélioration de la productivité de la terre et de l'eau. Les pratiques ont été développées à Madagascar au début des années 80 et ont été intégrées en une seule approche vers le milieu des années 80.

Le système SRI est fondé sur le principe du développement d'un système sain, vaste et aux racines profondes, capable de mieux résister à la sécheresse, à l'engorgement et aux dégâts causés par le vent. Il consiste en quatre éléments clés (voir plus bas) visant à mieux gérer les intrants, à utiliser les nouvelles méthodes permettant de transplanter les jeunes plants et à gérer les ressources en eau et l'application d'engrais. Avec l'utilisation de la méthode SRI, l'on note d'une part un accroissement des rendements de 50-100% ou plus, et d'autre part une réduction d'intrants (graines : 90%, eaux d'irrigation : 30-50%, engrais chimiques : 20-100%). Pour les agriculteurs, le système SRI permet d'obtenir de meilleurs rendements relativement à la main-d'œuvre, à la terre et à l'investissement.

Données techniques

1. *Plants* : Les plants de riz sont gérés avec soin dans les pépinières et à l'âge de 8-12 jours, ils sont transplantés, un plant par poche, à des grands intervalles variant de 25-25 cm à 50-50 cm. Avec plus d'espace pour pousser, les racines de riz deviennent plus larges et plus capables d'extraire les nutriments du sol. Ce qui permet aux plantes de produire plus de grains.
2. *Sols* : La fertilité du sol est enrichie à travers l'application de matière organique visant à renforcer la structure du sol, la capacité à retenir les nutriments et l'eau, et à favoriser le développement de l'activité microbienne du sol. La matière organique est l'engrais de base pour la plante et est complétée par l'engrais chimique, si nécessaire.
3. *Eau* : Un minimum d'eau est appliqué au cours de la période de croissance végétative. Une couche d'eau de 1-2 cm est introduite dans la rizière. On laisse ensuite le terrain s'assécher au point où les fissures deviennent visibles. Une autre fine couche d'eau est alors introduite. Au cours de la floraison, une fine couche d'eau est maintenue, suivie d'une alternance d'humidification et d'assèchement pendant la période de remplissage du grain, avant le drainage de la rizière qui a lieu 2-3 semaines avant la récolte.
4. *Désherbage* : Bien que ce système empêche l'inondation des rizières, les mauvaises herbes poussent plus vigoureusement et doivent être détruites. Dans le système SRI, une houe rotative - un sarcloir simple, peu coûteux et mécanique - est recommandée. Le désherbage commence 10 jours après la transplantation, répété idéalement tous les 7 à 10 jours jusqu'à ce que la canopée soit dense. La houe rotative aère également le sol, facteur important pour le maintien d'un environnement sain pour le sol et une bonne croissance des racines.

Adéquation

Le système SRI est adapté à la majorité des contextes de production de riz irrigué. Cependant, il ne convient pas aux sols salins ou alcalins ni aux zones qui sont inondées pendant la saison des cultures et où il n'existe aucun moyen de contrôler le niveau des eaux. Le système SRI nécessite une abondance de matière organique et/ou de compost, et est généralement considéré comme une technique à plus haute intensité de main-d'œuvre que les autres systèmes de production.

Sources

- Krupnik, T. J., Shennan, C., & Rodenburg, J. (2012). Yield, water productivity and nutrient balances under the System of Rice Intensification and Recommended Management Practices in the Sahel. *Field Crops Research* 130: 155-167.
- Cornell University College of Agriculture and Life Sciences. SRI Methodologies web page. SRI International Network and Resources Center.<http://sri.ciifad.cornell.edu/aboutsri/methods/index.html#basicmgmtpractices>

4.2 AGROFORESTERIE

L'agroforesterie (AF) est un nom générique désignant les pratiques de gestion qui intègrent à la fois les plantes vivaces ligneuses et les cultures agricoles et/ou le bétail, fournissant ainsi divers avantages et services. L'AF va des systèmes très simples et parsemés à des systèmes très complexes et denses. Elle englobe un vaste éventail de pratiques : culture en bandes, agriculture avec arbres sur les courbes de niveau ou clôture de périmètre à l'aide d'arbres, culture étagée, culture en relais, culture intercalée, cultures multiples, jachères forestières, systèmes de prairies-parcs, jardins privés, etc. Nombre de ces pratiques sont des systèmes traditionnels d'utilisation des terres ou des dérivés de pratiques traditionnelles. Parmi les principaux types d'AF, l'on compte :

Les systèmes de prairies-parcs agroforestières, qui sont des surfaces cultivées parsemées d'espèces d'arbres indigènes autogénératrices. Parmi les caractéristiques des prairies-parcs agroforestières, l'on peut citer la diversité des espèces d'arbres et la variété des produits et des usages (y compris les fruits, le fourrage, etc.). Ces arbres et produits génèrent et fournissent des microclimats (à travers l'ombre en particulier) favorables et atténuent les conditions extrêmes (en agissant comme brise-vents). Les prairies-parcs se trouvent principalement dans les zones semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. Les systèmes céréaliers *Vitellariaparadoxa*, *Parkiabiglobosa*, et *Faidherbiaalbida* sont courants sur des millions d'hectares dans la zone sahélienne.

Les systèmes étagés sont des bosquets d'arbres ou d'arbustes existants ou plantés, qui sont gérés comme un étage supérieur ayant un ou plusieurs étages inférieurs lesquels sont cultivés pour une variété de produits. Le but étant (a) d'utiliser différentes couches et d'accroître la diversité des cultures en combinant des cultures compatibles de différentes tailles de la même région ; (b) de protéger les sols et fournir un microclimat favorable ; (c) de renforcer la qualité du sol en augmentant l'utilisation et le recyclage des nutriments et en maintenant ou augmentant la matière organique du sol et (d) d'augmenter le stockage du carbone dans la biomasse des plantes et du sol. La concurrence pour les ressources en eau limite l'utilisation des cultures étagées au Sahel.

Les banques de fourrage : Les arbres et les arbustes avec des feuilles et/ou gousses au goût agréable sont de bons compléments alimentaires pour le bétail. On peut les planter sur les limites ou les sentiers (souvent écimés afin de réduire la compétition) et le long des contours des champs pour limiter l'érosion du sol. La gestion des arbustes fourragers nécessite de multiples compétences, y compris la culture de jeunes plantes dans une pépinière, l'élagage d'arbres et la nutrition des feuilles. Au cours des 10 dernières années, plus de 200 000 agriculteurs au Kenya, en Ouganda, au Rwanda et au nord de la Tanzanie ont planté des arbustes fourragers, principalement pour nourrir leurs vaches laitières. L'utilisation intensive de la pratique reste encore à établir en Afrique de l'Ouest.

Les jachères améliorées impliquent la culture d'espèces d'arbres en vue de restaurer la fertilité dans un court laps de temps. La végétation naturelle peut s'avérer lente à restaurer la productivité du sol. Au contraire, les arbres légumineux et les buissons à croissance rapide - s'ils sont bien identifiés et choisis - peuvent renforcer la fertilité du sol en mettant à disposition les nutriments provenant des couches inférieures du sol, de la litière et de la fixation de l'azote. Les jachères améliorées sont l'une des nombreuses techniques prometteuses de l'agroforesterie. Les inconvénients de la technique sont l'identification des sources de graines ou du matériel de plantation, la pression foncière et l'existence de systèmes de régime foncier traditionnels différents.

Les brise-vents / rideaux-abris sont des barrières d'arbres et d'arbustes qui fournissent une protection contre les dégâts causés par les vents. Ils s'utilisent pour réduire la vitesse du vent, protéger les plantes qui poussent (cultures et fourrage), renforcer les microclimats afin d'améliorer la croissance de la plante, délimiter le champ et accroître le stockage de carbone.

Adéquation

Climat : les systèmes AF se trouvent dans tous les types d'environnements. Les systèmes à faible densité d'arbres sont plus adaptés dans les régions à faible pluviométrie et les systèmes à densité élevée dans les régions à forte pluviométrie, ou bien dans les zones où l'irrigation supplémentaire est disponible. Grâce à leur diversité, les systèmes AF conviennent à une large gamme de climats et de zones agroécologiques. Les prairies-parcs ne sont pas limitées à des zones agroécologiques spécifiques et existent à des latitudes différentes, mais surtout dans les zones semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest et dans certaines parties de l'Afrique de l'Est. Les systèmes étagés sont plus adaptés aux environnements subhumides à humides, ou dans les systèmes irrigués, du fait des besoins en eau. La culture en bandes et les jachères améliorées ont un vaste champ d'applicabilité, des zones semi-arides aux zones humides.

Terrain et paysage : Le système AF est adapté à tout relief et à toute pente, entre autres, les plaines/plateaux ainsi que les pentes et les fonds de vallée. Il est viable sur les terrains abrupts, qui par ailleurs ne sont pas propices aux cultures : dans ce cas le système AF peut favoriser la construction de terrasses si les arbres sont plantés le long des marches.

Sols : Les contraintes sont spécifiques à l'espèce. En général, le système AF convient à une grande variété de sols. Il permet de restaurer la fertilité du sol, où d'autres systèmes d'utilisation des terres ont sapé (épuisé) les nutriments du sol.

Résilience au CC : Les systèmes AF sont résistants à la variabilité climatique en fonction de la résistance des espèces pérennes. Ils sont capables de créer leurs propres microclimats et d'atténuer les conditions extrêmes (fortes pluies et périodes sèches et chaudes). Le système AF est reconnu comme étant une stratégie d'atténuation des gaz à effet de serre, à travers sa capacité à piéger le carbone biologiquement. Le potentiel d'adaptation et d'atténuation dépend du système AF appliqué.

Sources

Breman, H., & Kessler, J. J. (1997). The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *Developments in Crop Science*, 25, 39-47.

Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

4.3 AGRICULTURE DE CONSERVATION

L'agriculture de conservation (AC), une variante de l'agriculture sans labour, a été développée dans les années 80 et a commencé à se répandre en Afrique subsaharienne à travers les projets ciblant au départ les grands exploitants agricoles. Depuis lors, elle s'est étendue aux petites exploitations d'Afrique de l'Est et du Sud, et plus récemment amorce son introduction en Afrique de l'Ouest.

L'AC est un système agricole qui préserve, améliore et utilise de manière plus efficace les ressources naturelles à travers une gestion intégrée du sol, de l'eau et des ressources biologiques. Les trois principes fondamentaux de l'AC sont : un bouleversement minimum du sol, une couverture permanente du sol (à travers la gestion des résidus de cultures) et la rotation des cultures. Chacun des principes peut servir de base à l'introduction de la technique. Cependant, pour en tirer le maximum d'avantages, les trois principes doivent être appliqués simultanément.

Principes

Bouleversement minimum du sol : le principe majeur de l'agriculture de conservation est le bouleversement minimum du sol à travers l'établissement de poches de plantation, ou canaux, semblables à ceux utilisés dans la technique des fosses zaï. Les poches de plantation peuvent être réalisées à la main, par traction animale ou à l'aide d'un tracteur équipé d'un accessoire spécialisé. Les poches sont maintenues d'une saison à l'autre. Associée à la gestion des résidus de cultures, l'absence de labour favorise l'accumulation de la matière organique du sol (moins d'exposition à l'oxygène, donc, moins de minéralisation de la matière organique). Comparée au labour traditionnel, l'AC augmente la teneur en matière organique des sols en augmentant leur porosité et améliorant par conséquent leur capacité à absorber et à collecter l'eau. Ceci a deux impacts positifs. Premièrement, il y a plus d'eau disponible pour soutenir la croissance des cultures et l'activité biologique, par ailleurs très importante pour la productivité. Deuxièmement, il y a moins d'eau accumulée et par conséquent moins d'eaux de surface, causes d'inondations et d'érosion.

Les semis se font directement dans les poches de plantation ou les canaux. Un sous-solage préalable pourrait être nécessaire pour briser les croûtes dures causées par des années de labour et de binage à une profondeur constante.

La couverture permanente du sol est réalisée en maintenant les résidus de cultures entre les rangées des poches de plantation. La couverture permanente du sol a de nombreuses incidences positives : réserve accrue de matière organique favorisant l'amélioration de la terre arable, protection contre l'éclaboussement des gouttes de pluie, réduction de l'encroûtement et de l'évaporation de surface, meilleur microclimat favorable à la germination et à la croissance des plantes et réduction des eaux de ruissellement et de l'érosion du sol, et enfin, destruction des mauvaises herbes. Au cours des premières années d'utilisation de l'AC, une abondante présence de mauvaises herbes pourrait nécessiter le recours aux herbicides ou au désherbage manuel pour réduire le stock des semences. Cette tendance baisse après quelques années, étant donné que le nombre de graines du stock semencier baisse et, la couche de paillis ralentit leur croissance.

Rotation des cultures : Afin de réduire les risques d'exposition aux ravageurs, aux maladies et à l'envahissement des mauvaises herbes, il est avantageux de recourir à un système de rotation des cultures. Les systèmes typiques de rotation commencent d'abord par la plantation de céréales suivie d'une culture de légumineuses et des cultures fourragères et de couverture végétale.

Adéquation

Climat : L'AC est adaptée à tout type de climat, bien que ses avantages spécifiques soient plus visibles dans des conditions climatiques moins favorables telles que les zones semi-arides, en particulier là où des précipitations faibles ou irrégulières limitent la production de cultures. La technique présente des difficultés particulières dans les climats arides, cependant, elle produit de meilleurs résultats que les autres méthodes de labourage du sol lorsque l'on utilise suffisamment de paillis. La concurrence pour les résidus de cultures constitue un défi dans les systèmes agricoles dominants au Sahel.

Terrain et paysage : L'AC est adaptée aux pentes, des planes aux modérées. Les systèmes mécanisés sont incompatibles avec les pentes abruptes à plus de 16 pourcent, cependant la plantation manuelle est possible sur ces pentes. L'AC est particulièrement adaptée aux pentes de colline (traction manuelle ou animale) où il y a moins d'eaux de ruissellement et également à cause de l'érosion.

Sols : L'AC est adaptée aux loams sableux et loams argileux, mais inadaptée aux sols durs compactés ou à ceux exposés au risque d'engorgement (mal drainés) et/ou les sols peu profonds. Le sous-solage peut être utilisé pour faire face au compactage dû aux pratiques traditionnelles de labourage.

Sources

Jat, R. A., Wani, S. P., & Sahrawat, K. L. (2012). Conservation agriculture in the semi-arid tropics: prospects and problems. *Advances in Agronomy*, 117: 191-273.

Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

4.4 FUMIER ET COMPOST

La production de compost et l'utilisation de fumier de bétail sont les deux méthodes principales permettant d'obtenir de la matière organique pour une application dans les champs. Le fumier peut être collecté à partir d'enclos améliorés ou d'étables où les animaux ont des litières, ou encore déposé sur place en faisant paître les animaux dans des pâturages de chaumes et de résidus de culture. La fabrication de compost implique l'utilisation de diverses techniques visant à accélérer la décomposition naturelle de la matière organique. Le compost peut être fabriqué tout au long de l'année, selon la source et la disponibilité du matériel. La matière biodégradable (résidus de culture, biomasse végétale collectée, déchets ménagers et de cuisine) est collectée et compostée directement ou mélangée avec des déchets d'origine animale. Le compost peut être enrichi avec de la cendre et/ou du phosphate naturel pour améliorer sa teneur en minéraux.

Pour fabriquer le compost, la matière biodégradable est généralement placée dans un trou. Pendant la saison sèche, elle est régulièrement arrosée d'eau jusqu'à décomposition complète. Les tas de compost doivent être touillés de temps en temps pour accélérer et achever la désagrégation complète de la matière. Le compost mûr est alors répandu uniformément sur la terre avant les semis. La quantité recommandée varie selon le type de sol : 6 t/ha tous les trois ans (sols argileux lourds), 3t/ha tous les trois ans (sols sablo-argileux) ou 2t/ha chaque année (sols légers). Il est utile de calculer le volume total de compost nécessaire si tous les agriculteurs adoptent la pratique, et de comparer les résultats avec la biomasse disponible d'une région (et prévue dans les conditions de CC).

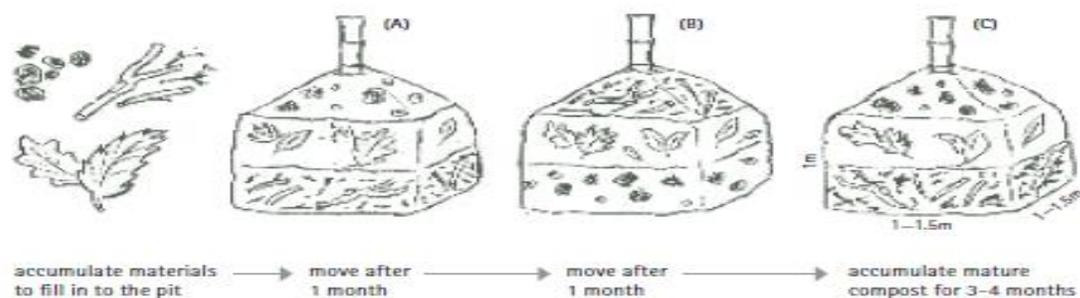
Contrairement au compost, le fumier collecté des enclos améliorés ou des étables n'est pas complètement décomposé et, le processus de décomposition peut se poursuivre sur plusieurs années. L'utilisation de fumier sur les terres agricoles présente des risques et des inconvénients. Etant donné que le fumier n'est que partiellement décomposé – la décomposition est amorcée après les premières pluies – les cultures n'ont pas accès au taux d'azote suffisant pour un développement optimal. L'utilisation de fumier partiellement décomposé expose également les plantes au risque de brûlure par étroite proximité. En dépit de ces inconvénients, l'application directe de fumier est couramment utilisée par les agriculteurs du fait qu'elle nécessite moins de travail que le compost.

Données techniques relatives à la fosse de compost

1. La profondeur de la fosse doit être de moins d'un mètre, la largeur entre 1-1,5 mètres et la longueur entre 1-1,5 mètres (ou plus).
2. Certaines recommandations préconisent trois couches de matière dans la fosse :
 - a. Couche 1 : une couche de matière végétale sèche ou un mélange de matières végétales sèches associé aux matériaux de compostage tels que de la bonne terre, du fumier et/ou de la cendre. Cette couche doit avoir une épaisseur de 20-25 cm, soit environ la profondeur d'une main sur les côtés. Les matériaux de compostage peuvent être mélangés avec de l'eau pour former une bouillie. L'eau ou la bouillie doit être uniformément éparpillée à la main ou aspergée à l'aide d'un arrosoir sur cette couche. La couche doit être humide mais pas trempée.
 - b. Couche 2 : une couche de matière végétale (verte), fraîche ou fanée, composée par exemple de mauvaises herbes ou d'autres herbes, de plantes provenant du nettoyage des allées, de tiges et feuilles tombées lors des récoltes de légumes, de fruits et légumes pourris. Les branches feuillues provenant des plantes ligneuses peuvent également être utilisées tant qu'elles sont découpées en morceaux. La couche doit avoir une épaisseur de 20-25 cm sur les côtés. L'eau ne doit PAS être aspergée ou répandue sur cette couche.

- c. Couche 3 : une couche de fumier d'origine animale collecté frais ou sec. Le fumier d'origine animale peut être mélangé avec de la terre, du vieux compost et de la cendre (afin d'accélérer la décomposition) pour former une couche d'une épaisseur de 5-10 cm. Lorsqu'il y a peu de fumier d'origine animale, il est préférable de fabriquer une bouillie en tournant le fumier dans de l'eau, que l'on répand ensuite en une fine couche de 1-2 cm d'épaisseur.
3. Une ou plusieurs aérations et/ou des tiges d'essais sont placées verticalement dans la fosse de compost. L'aération et les tiges d'essai sont utilisées pour vérifier si le processus de décomposition se passe bien ou pas.
4. Le compost mûr est fabriqué après 3 à 4 mois de climat plus chaud.

FIGURE 16. REMPLISSAGE SUCCESSIF DES FOSSES A, B ET C AVEC DU COMPOST



Source : Edwards, S., & Hailu, A. (2011)

Adéquation

Les terres dégradées pauvres en matière organique et de faible fertilité.

Régions peuplées d'un grand nombre de bovins, étant donné que la bouse de vache est utile à la fabrication de compost.

Zones où les eaux de ruissellement sont contrôlées, empêchant ainsi la déperdition du compost et du fumier qui ont été ajoutés au sol.

Sources

Edwards, S., & Hailu, S. (2011). "Climate Change and Food Systems Resilience in Sub-Saharan Africa." How To Make and Use Compost. FAO : Rome.

GIZ (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation, A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.

Ouédraogo, E., Mando, A., & Zombré, N. P. (2001). Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, ecosystems & environment* 84(3): 259-266.

4.5 PAILLAGE

Le paillage, application de toute matière organique à la surface du sol, réduit les pertes en eau, détruit les mauvaises herbes, réduit l'impact de l'éclaboussement des gouttes de pluie, baisse la température du sol et améliore, en général, la productivité des cultures, à travers l'ajout progressif de nutriments au sol. Traditionnellement, le paillage a toujours été considéré comme une technique permettant de réduire l'évapotranspiration, mais il est aujourd'hui utilisé car il fournit divers avantages liés à la préservation de la couverture des sols et à la réduction des eaux de surface, etc.

Dans le Sahel, le paillage consiste à laisser les tiges de millet et de sorgho dans les champs après les récoltes. Dans les cas où une culture de relais comme le melon a été plantée, les tiges servent à réduire l'évaporation du reste d'humidité du sol et agissent comme une barrière qui empêche l'érosion éolienne, en piégeant la fine poussière riche transportée par l'*harmattan*. Par l'action des termites, les tiges et les branches se détériorent et se décomposent progressivement et deviennent des éléments du sol, apportant ainsi des nutriments tout en renforçant la structure du sol. Lorsqu'elles sont accumulées en un seul lieu et associées au corail temporaire, les tiges servent d'aliment et de litière pour le bétail, et sont efficaces pour la restauration des parcelles de terres cultivées. L'utilisation du paillage peut être associée à d'autres techniques de contrôle de l'érosion, telles que les cordons pierreux en courbes de niveau et les bandes enherbées, et constitue une composante essentielle de l'agriculture de conservation.

Données techniques

1. On distingue deux types de paillages :
 - a. Les systèmes de paillage *in situ* où les résidus de cultures sont laissés à l'endroit du terrain où ils tombent.
 - b. Les systèmes de paillage prêt à couper et à emporter où les résidus de cultures viennent d'autres endroits et sont utilisés comme paillis.
2. La quantité recommandée est d'environ 2 tonnes par hectare par an, en d'autres termes 2 ou 3 tiges par m².

IMAGE 11. PAILLAGE AVEC TIGES DE MILLET



Photo : GIZ (2012).

Adéquation

Terres dégradées

Régions exposées au vent

Zones sèches et chaudes

Sources

Bot, A., & Benites, J. (2005). The importance of soil organic matter: key to drought-resistant soil and sustained food and production (Vol. 80). FAO.

- Lamers, J., Bruentrup, M., & Buerkert, A. (1998). The profitability of traditional and innovative mulching techniques using millet crop residues in the West African Sahel. *Agriculture, ecosystems & environment*, 67(1): 23-35.
- GIZ (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation, A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.

4.6 MICRO-DOSAGE D'ENGRAIS

Pour résoudre le problème de fertilité de sol, les chercheurs de l'ICRISAT ont élaboré une technique d'agriculture de précision appelée "microdosage". Elle consiste en l'application de petites quantités d'engrais chimiques en même temps que les graines au moment des semis, ou 3-4 semaines après. La technique de microdosage reproduit dans les champs le scénario des fosses *zai*, ou de l'agriculture de conservation, où de petites quantités d'engrais sont appliquées dans les trous de plantation sans nécessiter une altération du champ.

La technique du microdosage utilise environ un dixième des engrais généralement utilisés pour le blé, et un vingtième de la quantité utilisée pour le maïs aux Etats-Unis. Cependant, sur les sols africains, les cultures sont privées nutriments tels que le phosphore, le potassium et l'azote, à tel point que des micro-applications bien programmées, sont susceptibles de doubler les rendements des cultures. En remédiant aux déficits en nutriments du sol avec des petites doses, les systèmes racinaires sont capables de collecter l'eau et de se développer, augmentant de ce fait les rendements.

**IMAGE 12. MICRODOSE D'ENGRAIS
APPLIQUEE AUX CULTURES.**



Photo : ICRISAT

Dans les pays du projet ICRISAT, les agriculteurs ont élaboré des techniques novatrices pour l'application de microdoses de l'engrais adapté. Alors qu'au sud de l'Afrique, les agriculteurs utilisent de l'engrais mesuré dans un bouchon de bouteille de boisson gazeuse ou de bière, les agriculteurs d'Afrique de l'Ouest utilisent une mesure de trois pincées et l'appliquent dans le même trou où la graine est semée. A ce jour, quelques 25 000 petits exploitants du Mali, du Burkina Faso et du Niger ont appris la technique et connu des hausses de 44 à 120% dans les rendements du sorgho, accompagnées d'une augmentation des revenus familiaux de 50 à 130%.

Données techniques

1. Le microdosage consiste en l'application de petites quantités d'engrais bon marché avec les graines au moment du semis, ou en surface 3 à 4 semaines après la levée, au lieu de répandre l'engrais sur le champ.
2. Les agriculteurs qui pratiquent le microdosage, appliquent 6 grammes de doses d'engrais - environ un bouchon de bouteille entier ou une mesure de trois pincées - dans le trou où la graine est déposée (au moment du semis). Ce qui revient à environ 67 livres (30,39 kg) d'engrais par hectare.
3. Dans les zones où le sol a formé une croûte de surface, les agriculteurs peuvent utiliser la technique des fosses *zai* en creusant des petits trous avant le début des pluies et en les remplissant ensuite de fumier, si possible. Au début de la saison des pluies, ils mettent les graines et le fumier dans le trou, et le sol offre un environnement humide qui favorise la croissance des racines. L'eau est collectée au lieu de ruisseler sur le sol encroûté.

Adéquation

1. Adapté aux terres agricoles dégradées, faibles en nutriments tels que le phosphore, le potassium et l'azote.
2. La technique est adaptée à tout relief de chaque zone climatique. L'efficacité est renforcée si les agriculteurs protègent les champs recevant les microdoses contre les eaux de ruissellement.

Sources

ICRISAT (s.d.) Fertilizer Microdosing: Boosting Production in Unproductive Lands.
<http://www.icrisat.org/impacts/impact-stories/icrisat-is-fertilizer-microdosing.pdf>

Hayashi, K., Abdoulaye, T., Gerard, B., & Bationo, A. (2008). Evaluation of application timing in fertilizer micro-dosing technology on millet production in Niger, West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 80(3): 257-265.

4.7 GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS

La Gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) est une approche complète de gestion des sols consistant en une combinaison de différentes méthodes d'amendement de la fertilité des sols et de conservation des eaux et des sols. L'approche tient compte de toutes les ressources agricoles et est organisée autour de 3 principes : (1) utilisation optimale d'engrais organiques ; (2) réduction des pertes en nutriments ; (3) utilisation judicieuse des engrais inorganiques, selon les besoins et les disponibilités économiques.

En Afrique subsaharienne, la diminution de la fertilité des sols est actuellement à un seuil critique. Les techniques GIFS peuvent régénérer les sols dégradés et ensuite maintenir la fertilité des sols par l'utilisation efficace et durable des ressources en nutriments disponibles. La GIFS utilise des techniques qui requièrent l'utilisation de matériaux qui ne coûtent pas cher à l'agriculteur tels que les engrais organiques, résidus de culture et cultures fixatrices d'azote, associés au pré-trempage de semence et à la collecte des eaux. L'utilisation d'engrais inorganiques, bien qu'elle exige des ressources financières, réduit les dépenses lorsqu'elle est associée aux techniques d'application des microdoses.

Données techniques

1. Pour une gestion optimale de la fertilité des sols, la GIFS englobe à la fois les intrants organiques et inorganiques :
2. Intrants organiques :
 - a. *La fumure et le compostage* impliquent l'utilisation de sources de nutriments d'origines animale et végétale. Très souvent, la disponibilité de la matière est la principale contrainte, étant donné qu'elle est également sollicitée comme aliment pour bétail ou combustible pour la cuisson. L'application des résidus de cultures pour le paillage peut également renforcer la fertilité des sols.
 - b. *Le pré-trempage des graines* peut également être utilisé pour réduire le temps de germination. Il garantit un établissement des plantes plus uniforme et augmente la résistance aux insectes et à la moisissure.
 - c. *Intégration de plantes fixatrices d'azote* : L'engrais vert, les plantes légumineuses combinées ou plantées en rotation avec d'autres cultures ou les cultures couvre-sol fixatrices d'azote peuvent favoriser la fertilité des sols. Très souvent, le fumier vert est introduit dans le sol, ce qui n'est pas le moyen le plus efficace, à cause de la décomposition et de la libération rapides de nutriments. Il est souvent préférable de le découper et de l'enfouir dans les résidus. La pénétration naturelle des plantes couvre-sol et des résidus de mauvaises herbes de la surface du sol aux couches plus profondes, assurée par la micro et la macrofaune, favorise la libération lente des nutriments sur une plus longue période. De plus, le sol est couvert de résidus qui le protègent contre l'impact des eaux de ruissellement, du vent et des températures de surface élevée.
3. Engrais inorganique
 - a. Les rendements des cultures peuvent être considérablement améliorés à travers l'application d'engrais inorganiques lors des semis ou comme engrais de surface après la levée. Cependant, l'application doit être bien ciblée afin de réduire les coûts, les émissions de GAS et d'empêcher la mauvaise croissance des plantes, ainsi que la décomposition accélérée de la matière organique du sol. La fertilité étant le facteur limitant la production dans tout le Sahel, l'application ciblée de petites doses d'engrais peut accroître la production de façon significative. Cependant, pour

assurer la fertilité du sol à long terme, les microdosages doivent être associés au compost ou au fumier car les petites quantités d'engrais inorganiques utilisées en microdosage ne sont pas suffisantes pour arrêter l'épuisement des nutriments ou pour générer la matière organique du sol.

b. L'utilisation de *phosphate naturel* a été encouragée en Afrique de l'Ouest pendant plus de 50 ans, mais il demeure sous-utilisé à cause des coûts, de la rareté sur les marchés locaux ainsi que de l'expérience limitée des agriculteurs quant à son application entre autres facteurs. Le problème majeur vient du fait que les effets bénéfiques de l'application de phosphate naturel s'étendent sur plusieurs années. Cet aspect peut constituer un obstacle dans les contextes où les droits fonciers des agriculteurs ne sont pas garantis et que ces derniers utilisent des pratiques traditionnelles de rotation des cultures.

Adéquation

La GIFS est surtout utilisée pour les cultures annuelles et les systèmes agricoles mixtes, inadaptés aux prairies.

La production de compost est surtout efficace dans les zones subhumides à humides, où l'eau et la biomasse nécessaires sont disponibles. Dans les zones plus arides, les fosses sont utilisées pour conserver l'eau.

Terrain et paysage : des terrains plats aux terrains vallonnés (le transport est un lourd fardeau sur les pentes très abruptes)

Sols : La GIFS convient à tout type de sol. Cependant, il est difficile d'augmenter la teneur en matière organique des sols bien aérés, tels que les gros sables et les sols des zones chaudes et arides, à cause de la décomposition rapide de la matière ajoutée.

Sources

Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

Sanginga, N. S., & Woomer, P.L. (Eds.). (2009). Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices, and developmental process. (Téléchargement provenant du CIAT)

5.0 REDUCTION DE LA TEMPERATURE ET DE LA VITESSE DU VENT

5.1 FIXATION DES DUNES DE SABLE

La fixation des dunes de sable est réalisée à travers une combinaison de mesures mécaniques, y compris les palissades, et de mesures biologiques telles que les haies vives et la culture d'herbes. Ces mesures visent à arrêter l'ensablement et à fixer les dunes de sable sur place, afin de protéger les villages, les terres cultivées, les routes, les voies navigables et d'autres infrastructures. En plus de la régulation des températures et de l'atténuation de l'impact des vents, les avantages de la fixation des dunes incluent

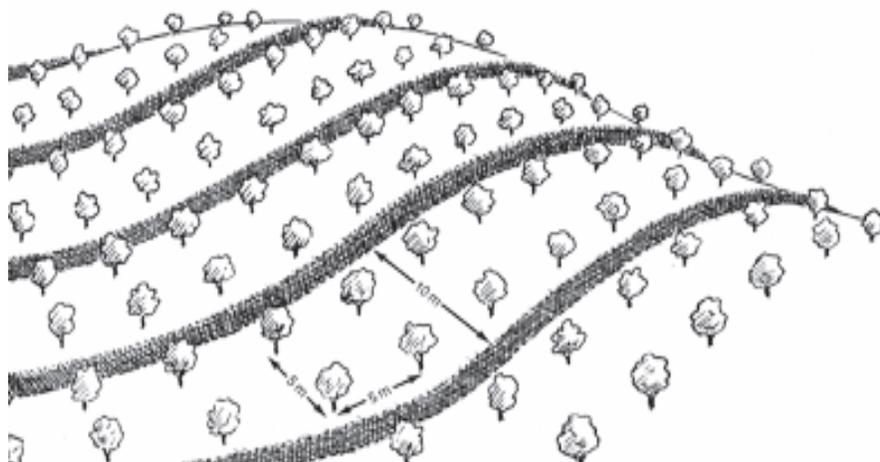
une couverture accrue des sols, un accroissement de la biomasse/séquestration de carbone à la surface, une augmentation de la capacité de charge maximale d'animaux et un renforcement de la fertilité du sol, entraînant une meilleure production de bois et de fourrage. La technique est actuellement appliquée à très grande échelle dans le bassin du Niger.

La vitesse croissante à laquelle progresse la désertification dans les pays sahéliens fait de cette technique l'un des principaux instruments de lutte contre les impacts du changement climatique. Les terrains sur lesquels de l'herbe a été plantée doivent être clôturés dès les premières années pour les protéger contre les animaux de pâturage et permettre ainsi leur établissement. L'établissement de ces systèmes nécessite une forte intensité de main-d'œuvre qui les rend peu attrayantes aux agriculteurs du Sahel, en dehors des projets financés par les bailleurs de fonds.

Données techniques

1. Les palissades utilisées pour fixer les dunes sont faites en tiges de millet, en doum ou en feuilles de dattier, selon la disponibilité locale. Les semences de gazon sont répandues.

FIGURE 17. DISPOSITION DES PALISSADES ET PLANTATION D'ARBRES POUR LA FIXATION DES DUNES DE SABLE.



Source : Liniger, H.P., et al. (2011).

2. Les palissades sont établies perpendiculairement au vent dominant, à des intervalles de 10-20 mètres entre les rangées, selon la gravité de l'ensablement et le niveau de dégradation de la terre. Plus l'espacement est étroit, plus efficace est la protection.
3. Les plants et les boutures d'arbres sont plantés sur une grille de 5 m x 5 m, avec une densité de 400 arbres par hectare. Quelques-unes des espèces généralement utilisées sont : *Euphorbia balsamifera*, *Prosopis chilensis*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia senegal* et *Bauhinia rufescens*.

Adéquation

Climat : semi-aride

Précipitations annuelles moyennes : 250-500 mm

Paramètres pédologiques : bon drainage, faible teneur en matière organique

Pente : dunes hautes à pentes abruptes (> 20%)

Relief : surtout les dunes

Altitude : 0-100 m au-dessus du niveau de la mer

Sources

Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Hauert, C., & Gurtner, M. (2011). Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.

Tsoar, H. (2008). "Land Use and its Effect on the Mobilization and Stabilization of the North-Western Negev Sand Dunes" *Arid Dune Ecosystems Ecological Studies*, 200:79-89.

5.2 PARE-FEUX

Les pare-feux sont une mesure préventive conçue pour protéger le fourrage dans les parcours pendant la saison sèche. Les pare-feux divisent les vastes étendues de parcours en petites zones dans l'optique de limiter les dégâts en cas de feux de brousse. Ils peuvent également être établis le long des passages traditionnels des troupeaux. Le vide dans la végétation permet de faire reculer le feu le long de l'allée, ce qui facilite l'accès rapide. Lorsque le feu atteint les pare-feux, il n'y a plus de matière combustible pour l'attiser et il finit par s'éteindre tout seul.

IMAGE 13. PARE-FEUX FREINANT LA PROGRESSION DU FEU DE BROUSSE.



Source : <http://rangeforestry.com/services>

L'utilisation des pare-feux est particulièrement importante comme mesure préventive pendant les années où le volume des précipitations est élevé et la croissance des plantes soutenue. Du fait de la faible réserve de carburant dans le Sahel, les feux de brousse constituent une menace uniquement pendant la saison sèche après une bonne saison des pluies qui a favorisé une bonne croissance des herbacées. Dans les situations de forte variabilité des précipitations d'une année à l'autre, la construction de pare-feux, comme mesure préventive, doit se faire après une saison pluvieuse caractérisée par des précipitations abondantes.

Données techniques

1. Les pare-feux peuvent être construits manuellement ou mécaniquement, dans l'un ou l'autre des cas, un couloir de 10-15 m est aménagé perpendiculairement à la direction du vent dominant, après la saison des pluies.
2. Le couloir est débarrassé de toutes les plantes herbacées, soit manuellement à l'aide d'outils comme les râtaux, pelles et haches, soit mécaniquement à l'aide d'un tracteur tirant une grande herse, d'un véhicule 4x4 tirant les lames à l'arrière ou de niveleuses. Les arbres sont taillés mais laissés sur place.
3. Les pare-feux doivent être régulièrement entretenus après leur établissement. Aucune plante ne doit pousser dans le pare-feu car cela irait à l'encontre du but de la technique.

Adéquation

Cette technique est utile dans les parcours où les précipitations varient entre 150 et 300 mm.

Toute région dotée d'une bonne végétation est exposée au risque de feu de brousse, étant donné qu'ils sont fréquents sur les parcours riches possédant plus de 1t/ha de biomasse. Ainsi, les pare-feux sont adaptés à toute région dotée d'une bonne végétation qui s'assèche en été.

Sources

- GIZ. (2012). Good Practices in Soil and Water Conservation: A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel.
- Sow, M., Hély, C., Mbow, C., & Sambou, B. (2013). Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahelian savannas. *Journal of Arid Environments*, 89: 84-93.

6.0 SOURCES

COMPLEMENTAIRES

- Barbier, E. B., & Thompson, J. R. (1998). The value of water: Floodplain versus large-scale irrigation benefits in northern Nigeria. *Ambio*, 434-440.
- Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B., & Kimetu, J. (2007). Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural systems*, 94(1), 13-25.
- Breman, H., & Kessler, J. J. (1997). The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions. *Developments in Crop Science*, 25, 39-47. 39-47.
- Brenner, A. J., Jarvis, P. G., & Van Den Beldt, R. J. (1995). Windbreak-crop interactions in the Sahel. I. Dependence of shelter on field conditions. *Agricultural and forest meteorology*, 75(4): 215-234.
- Brouwer, C.; Prins, K. ; Kay, M. ; Heibloem, M (1989) "Irrigation methods, FAO, Irrigation Water Management Training Manual No 5 ; Food and Agriculture Organization (FAO)
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R., & Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5): 1848-1853.
- Critchley, W. et K. Siegert, avec C. Chapman. (1991). "A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production." Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation : Rome.
- Critchley, W. 1991. Looking After Our Land, Soil and Water Conservation in Dryland Africa. Oxfam, Londres 84 p.
- Critchley, W.R.S., C.P. Reij, et S.D. Turner 1992. Soil and Water Conservation in Sub-Saharan Africa-- Towards Sustainable Production by the Rural Poor. Fonds international pour le développement agricole
- Critchley, W., & Gowing, J. (Editeurs.) (2013). *Water Harvesting in Sub-Saharan Africa*. Routledge.
- De Rouw, A. (2004). Improving yields and reducing risks in pearl millet farming in the African Sahel. *Agricultural Systems*, 81(1): 73-93.
- Diemer, G., & Huibers, F. P. (1996). Crops, people and irrigation: Water allocation practices of farmers and engineers. Londres : Intermediate Technology.
- Erenstein, O. (2002). Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research*, 67(2): 115-133.
- Fox, P., & Rockström, J. (2000). Water-harvesting for supplementary irrigation of cereal crops to overcome intra-seasonal dry-spells in the Sahel. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(3): 289-296.

- Fox, P., & Rockström, J. (2003). Supplemental irrigation for dry-spell mitigation of rainfed agriculture in the Sahel. *Agricultural water management*, 61(1): 29-50.
- Girard, H. (2009). WÉGOUBRI, the Sahelian bocage: an integrated approach for environment preservation and social development in Sahelian agriculture (Burkina Faso). *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, 1.
- ICRISAT West and Central Africa 2008 Research Highlights, (2008) ICRISAT
- Kaboré, D., & Reij, C. (2004). *The emergence and spreading of an improved traditional soil and water conservation practice in Burkina Faso*. (Téléchargements gratuits d'IFPRI).
- Kerr, J. and N.K. Sanghi (1992) Indigenous Soil and Water Conservation in India's Semi-Arid Tropics, Gatekeeper Series No. 34, Institut international pour l'environnement et le développement, Programme de l'agriculture durable et moyens de subsistance rural.
- Kimmage, K., & Adams, W. M. (1990). Small-scale farmer-managed irrigation in northern Nigeria. *Geoforum*, 21(4): 435-443.
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ - enrichment. *Soil and Tillage Research*, 43(1): 81-107.
- Liniger, H.P., R. Mekdaschi Studer, C. Hauert et M. Gurtner. (2011). Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerrAfrica, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) : Rome.
- Liniger, H. et W. Critchley. (2007), Where the land is greener - case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide, Etude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT).
- Mekdaschi Studer, R., et Liniger, H. (2013) Water Harvesting: Guidelines to Good Practice. Centre pour le développement de l'environnement (CDE), Bern; le Réseau de mise en œuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam ; MetaMeta, Wageningen ; le Fonds international pour le développement agricole (FIDA)
- Michels, K., Lamers, J. P. A., & Buerkert, A. (1998). Effects of windbreak species and mulching on wind erosion and millet yield in the Sahel. *Experimental Agriculture*, 34(4): 449-464.
- Nagano, T., Horino, H., & Mitsuno, T. (2002, May). A study on conservation of millet field in the southwestern Niger, West Africa. Dans *Proceedings of 12th International Soil Conservation Conference* (pp. 26-31).
- Niemeijer, D., & Mazzucato, V. (2002). Soil degradation in the West African Sahel: how serious is it? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 44(2): 20-31.
- Reenberg, A. (1994). Land-use dynamics in the Sahelian zone in eastern Niger--monitoring change in cultivation strategies in drought prone areas. *Journal of Arid Environments*, 27(2): 179-192.
- Reij, C. 1991. Indigenous Soil and Water Conservation in Africa. Gatekeeper Series SA29. IIED, Londres.
- Renner, H. F., & Frasier, G. (1995). Microcatchment Water Harvesting for Agricultural Production: Part I: Physical and Technical Considerations. *Rangelands*, 72-78.

- Sanchez, P. A., Shepherd, K. D., Soule, M. J., Place, F. M., Buresh, R. J., Izac, A. M. N., ... & Woomeer, P. L. (1997). Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital. Replenishing soil fertility in Africa, (replenishing soil), 1-46.
- Schmidt, M., König, K., Hahn, K., Zizka, G., & Wittig, R. Restoration of Bare Incrusted Soils in the Sahel Region of Burkina Faso. (2010) *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica* 13: 3-9.
- Sogoba, B., Samaké, O.B., Zougmore, R. Moussa, A.S. 2012. Innovations technologiques pour l'adaptation et l'atténuation des effets des changements climatiques en Afrique de l'Ouest : Récits paysans. Document de Travail No. 31. Cali, Colombie: Programme de recherche du CGIAR sur le Changement Climatique, l'Agriculture et la Sécurité Alimentaire.
- Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Africa (Publication Technique) (1999), UNEP
- Srivastava, J.P. & Tamboli, P.M. & English, J.C. & Lal, R. & Stewart, B.A. (1993) Conserving Soil Moisture and Fertility in the Warm Seasonally Dry Tropics, World Bank Technical paper No. 221
- Veihe, A. (2000). Sustainable farming practices: Ghanaian farmers' perception of erosion and their use of conservation measures. *Environmental Management*, 25(4): 393-402.
- Vlaar, J. C. J. (1992). Design and effectiveness of permeable infiltration dams in Burkina Faso. *Land Degradation & Development*, 3(1): 37-53.
- Wardman, A. (1991). The implementation of anti-erosion techniques in the Sahel: a case study from Kaya, Burkina Faso. *The Journal of Developing Areas*, 26(1): 65-80.

U.S. Agency for International Development

1300 Pennsylvania Avenue, NW

Washington, DC 20523

Tél: (202) 712-0000

Fax: (202) 216-3524

www.usaid.gov