

Guide technique de la conservation des terres agricoles

Redonner au sol sa productivité dans une perspective durable



Mars 2001

Documentation technique de la JGRC

Générer l'abondance dans le Sahel par la lutte contre la désertification

La présente documentation technique de la JGRC, composée de 8 guides, s'adresse aux techniciens impliqués dans la lutte contre la désertification par le biais des activités agricoles des communautés rurales.

Vol. 1 Guide technique de l'établissement de projets des mesures de lutte contre la désertification

Ce guide propose des techniques de planification pour le développement agricole et des communautés rurales axé sur la participation des habitants à la lutte contre la désertification. Il intègre les diverses techniques expérimentées par la JGRC dans le Sahel, en tenant compte des conditions naturelles, historiques et socio-économiques de cette région.

Vol. 2 Guide technique de la formation d'organisations d'habitants

Ce guide entend fournir aux habitants les moyens de former, de leur propre initiative, les associations communautaires nécessaires à une utilisation et à une gestion responsables et durables des ressources naturelles locales, sur la base des méthodes de gestion autonome.

Vol. 3 Guide technique du développement des ressources en eau

Ce guide présente une méthodologie pour connaître les réserves de ressources en eau, ainsi que des techniques relatives à l'aménagement des mares et à la mise en place de mini-barrages et de puits.

Vol. 4 Guide technique de l'utilisation des ressources en eau

Ce guide aborde notamment la planification, la conception et l'aménagement d'ouvrages d'irrigation peu onéreux, de fonctionnement simple et d'entretien facile, pour les zones disposant d'un niveau déterminé de ressources en eau même pendant la saison sèche.

Vol. 5 Guide technique de la conservation des terres agricoles

Dans ce guide, sont identifiés les avantages et inconvénients des méthodes de conservation des terres agricoles applicables selon les conditions naturelles (dont notamment le relief, la nature du sol et les caractéristiques d'écoulement). Le guide inclut également une marche à suivre pour l'application de ces méthodes, ainsi que des exemples concrets.

Vol. 6 Guide technique de l'agriculture

Ce guide présente des techniques pour l'augmentation du rendement de la riziculture irriguée, de la culture pluviale et de la culture des légumes et fruits, dans des environnements qui diffèrent du point de vue des ressources en sol et en eau, à savoir : les plaines d'inondation des oueds, les pentes et les plateaux.

Vol. 7 Guide technique de l'élevage

Dans ce guide sont présentées des techniques d'élevage semi-intensif qui, adaptées aux régions et d'un niveau accessible aux habitants, leur permettent de tirer avantage des ressources fourragères et animales.

Vol. 8 Guide technique du boisement

Ce guide présente des techniques de boisement de petite envergure pour exploitants individuels, dans une perspective agroforestière permettant l'utilisation et la fourniture de sous-produits forestiers sur une base stable.

Introduction

A l'occasion de la grande sécheresse qu'a subi en 1984 le Sahel, situé à l'extrémité Sud du Sahara, la Société Japonaise des Ressources Vertes (JGRC : Japan Green Resources Corporation) a entrepris l'étude de mesures de lutte contre la désertification dans cette région du globe que l'on dit la plus sérieusement affectée par la progression de la désertification.

Dans une première étape (1985-1989), afin de connaître l'état de progression de la désertification et d'en analyser les causes, la JGRC a collecté des données de base dans le bassin du fleuve Niger, qui traverse le Sahel dans sa longueur. Cette étude a révélé qu'en plus des causes naturelles (dont notamment les sécheresses), la progression de la désertification est étroitement liée à des facteurs humains découlant de la croissance démographique, à savoir : l'agriculture excessive, le surpâturage et la collecte excessive de bois de feu.

Sur la base de ce constat, la JGRC a conclu que pour mettre un frein à la désertification, la stabilité du cadre de vie des habitants de la région revêt une grande importance, et que, du point de vue des activités agro-sylvo-pastorales, une transition s'impose d'un modèle de type usurpateur à un modèle de type durable en harmonie avec l'environnement naturel.

Dans une seconde étape (1990-1995), elle a aménagé une ferme expérimentale d'environ 100 ha dans le village de Magou, situé aux environs de Niamey, la capitale du Niger. Avec la collaboration des habitants, elle y a expérimenté et évalué diverses techniques nécessaires au développement durable des communautés agricoles, dont notamment des techniques de développement des ressources en eau, de conservation des terres agricoles, d'agriculture, d'élevage et de boisement. De plus, elle a établi un plan type de lutte contre la désertification pour la zone de Magou (environ 1.800 ha) en appliquant ces techniques, et présenté ainsi un exemple de développement des communautés agricoles.

Dans une troisième étape (1996-2000), tout en poursuivant ses expérimentations sur des techniques de nature applicable, la JGRC a bénéficié de la participation des habitants du village de Magou pour la mise à l'essai d'une partie du plan type de lutte contre la désertification. Cela lui a permis, dans un premier temps, de connaître les problèmes relatifs au système cadastral et social soulevés lors de l'exécution d'un tel projet avec la participation des habitants, et, dans un deuxième temps, de rechercher avec ces derniers des façons de résoudre ces problèmes. Par ailleurs, afin de vérifier leur polyvalence, la JGRC a appliqué aux villages de Yakouta au Burkina Faso et à plusieurs villages du cercle de Ségou au Mali, les techniques élaborées jusque-là au Niger dans des conditions naturelles différentes (précipitations, etc.).

En deux mots, les études de la JGRC se caractérisent par l'acquisition ① de techniques de développement agricole utilisant efficacement l'eau des oueds (cours d'eau dont l'écoulement se limite à la saison des pluies) dans les plaines d'inondation, ces dernières étant relativement fertiles mais peu utilisées, et ② de techniques de développement global et durable de l'agriculture, centrées sur la conservation des sols des terrains en pente douce et le rétablissement de la productivité des sols où se trouvent les villages.

Les présents guides compilent des techniques de développement des communautés agricoles, facilement applicables par les autochtones et permettant la lutte contre la désertification dans le Sahel. Ces techniques ont été élaborées par la JGRC au cours des études précitées, avec la collaboration des habitants.

Ces guides techniques font l'objet d'une division en huit domaines, à savoir : l'établissement de projets des mesures de lutte contre la désertification, la formation d'organisations d'habitants, l'exploitation des ressources en eau, l'utilisation des ressources en eau, la conservation des terres agricoles, l'agriculture, l'élevage et le boisement.

Il est souhaitable que ces informations techniques soient utilisées par un grand nombre de personnes impliquées dans les mesures de lutte contre la désertification. Pour cela, conjointement avec l'Autorité du Bassin du Niger (ABN), la JGRC a établi un bureau d'information au Secrétariat Exécutif de l'ABN pour la lutte contre la désertification, et des informations techniques sont disponibles par Internet.

Nous souhaitons que ces guides techniques soient utilisés par de nombreuses personnes dans plusieurs pays, et qu'ils contribuent ainsi à l'avancement des mesures de lutte contre la désertification.

De nombreuses personnes du Japon et de l'étranger ont collaboré à la rédaction de ces guides techniques.

Nous souhaitons plus particulièrement remercier ici le Secrétariat Exécutif de l'ABN, le Niger, le Burkina Faso, le Mali, les pays membres de l'ABN, les techniciens des nombreux pays qui ont contribué à cette étude, ainsi que les habitants des zones concernées.

Mars 2001

Shigeo KARIMATA

Directeur

Département des activités outre-mer

Société Japonaise des Ressources Vertes

Guide technique de la conservation des terres agricoles

Tables des Matières

Chapitre 1 Synthèse

1.1 Contexte	2
1.2 Objectifs	2

Chapitre 2 Caractéristiques du sol des terres de culture du mil dans la région du Sahel

2.1 Caractéristiques du sol dans la région du Sahel	6
2.1.1 Origine du sol	6
2.1.2 Propriétés physiques du sol	7
2.1.3 Propriétés chimiques du sol	12
2.2 Erosion et appauvrissement du sol	14
2.2.1 Erosion hydrique	14
2.2.2 Erosion éolienne	17

Chapitre 3 Méthodes de conservation des terres agricoles

3.1 Introduction aux méthodes physico-chimiques de conservation des terres agricoles	20
3.1.1 Prévention de l'érosion hydrique et facilitation de l'infiltration	20
3.1.2 Prévention de l'érosion éolienne	24
3.1.3 Le rôle des éléments organiques	25
3.1.4 Efficacité des engrais chimiques	26
3.1.5 Ce que signifie la conservation par la végétation	27
3.2 Méthodes de conservation des terres agricoles dans le Sahel	29
3.2.1 Evolution historique des méthodes de conservation des terres agricoles	29
3.2.2 Sélection de méthodes adaptées à la topographie	31
3.2.3 Méthodes de conservation des terres de culture	32
3.2.4 Conservation des plateaux et des versants	38
3.2.5 Réparation des rigoles et des ravins	40

Chapitre 4 Activités de conservation des terres agricoles

4.1 Etude de terrain	44
4.1.1 Objectif	44
4.1.2 Eléments de l'étude	44
4.2 Planification de la conservation des terres agricoles	49
4.2.1 Plan de vulgarisation et d'orientation	49
4.2.2 Plan d'exécution des mesures de conservation	50

Chapitre 5 Exemples d'activités de conservation des terres agricoles

5.1 Cordons et diguettes en pierres	54
5.1.1 Prévention de l'écoulement du sable dans les bassins d'eau et régénération végétale (environs de la mare d'Eda du village Magou, Niger)	54
5.1.2 Régénération végétale d'un pré où l'état de dénudation du terrain est avancé (village de Yakouta, Burkina Faso)	57
5.1.3 Mesures de contrôle des eaux de ruissellement des collines aux terres de culture (5 villages de Ségou, Mali)	63
5.2 Mesures relatives aux rigoles et ravins	68
5.2.1 Mesures de contrôle de l'agrandissement des rigoles à l'aide de sacs de sable (village de Magou, Niger)	68
5.2.2 Réparation des rigoles à l'aide de haies vives et de cordons de pierres (5 villages de Ségou, Mali)	69
5.2.3 Mise en place de gabions dans les ravins (village de Magou, Niger)	70
5.3 Water harvesting	73
5.3.1 Méthode des demi-lunes	73
5.3.2 Zaï	73
5.4 Mesures de conservation des terres agricoles sur les terres de cultures ..	74

Chapitre 1 Synthèse

1.1 Contexte

La région du Sahel est encore aujourd'hui une des régions du monde où la densité de population est peu élevée. Cela est dû au fait qu'il s'agit d'un milieu très sévère pour l'existence humaine. Le système agricole y est basé sur une pratique "extensive" de l'agriculture. Autrement dit, il s'agit d'une culture "usurpatrice". Par le passé, ce système était productif parce que la quantité des ressources naturelles était extrêmement élevée comparativement au niveau démographique. Autrement dit, la capacité de reproduction des ressources naturelles dépassait les besoins humains. Or, c'est le sol qui se trouve à la base des ressources naturelles. Le sol est le lieu de stockage des précipitations, la base de la croissance des végétaux, et le site de la circulation cyclique des éléments nutritifs. La reproduction de la nature varie d'une année à l'autre selon, par exemple, la pluviométrie et le rayonnement solaire. Une certaine richesse de sol permet de réduire un peu cette variation, et l'abondance des précipitations permet d'obtenir des récoltes sur une base stable. L'appauvrissement, l'écoulement et la perte du sol se traduisent toutefois par une diminution de la capacité de reproduction des ressources. Dans de telles conditions, un faible volume de précipitations équivaut à un volume de récoltes nul, et même avec des précipitations suffisantes, la nature ne peut se reproduire en l'absence d'éléments nutritifs. C'est une telle diminution des capacités de la nature qu'indique la désertification. La croissance démographique fulgurante qu'a connue la région sahélienne au cours des 30 ou 40 dernières années a brisé l'équilibre avec les ressources naturelles dans cette région. Le Sahel ne peut plus se permettre la pratique d'une agriculture extensive. Les ressources sont limitées, et le sol l'est également. L'avenir s'annonce sombre pour le Sahel si le sol n'y fait pas l'objet d'une gestion et d'une conservation.

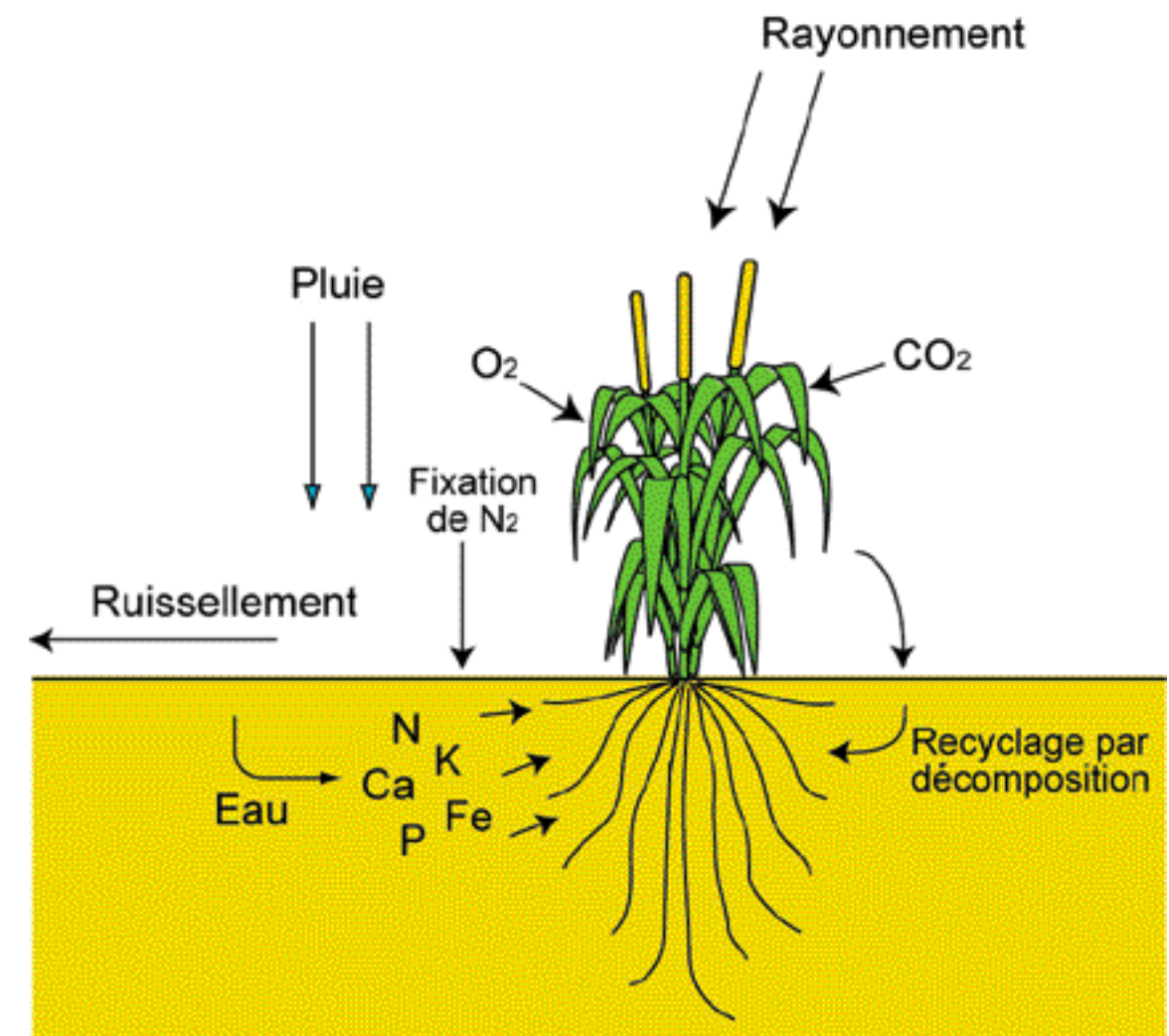
Les principes de la conservation des terres agricoles sont à la fois très simples et évidents. Les effets de la conservation ne sont toutefois pas visibles immédiatement. Ils se manifestent à long terme. La conservation nécessite donc des efforts persistants. Par le passé, les projets de lutte contre la désertification se faisaient toujours avec pour thème central la conservation des terres agricoles. Nombre d'entre eux avaient recours aux moyens d'aide tels que *Food for Work* pour soulever l'intérêt et stimuler l'effort de travail des habitants envers la conservation des terres agricoles. Une telle façon de procéder a toutefois donné lieu au problème de la nature temporaire des effets qu'elle permettait, parce que les agriculteurs ne travaillaient que pour se nourrir, sans toujours bien comprendre, ni les phénomènes se produisant sur leurs propres terres agricoles, ni la nécessité de les protéger. Depuis quelques années, les projets de conservation des terres agricoles se réalisent de plus en plus selon un modèle de participation non rémunérée des habitants, une importance toujours plus grande étant accordée à la ferveur manifestée par les agriculteurs eux-mêmes.

1.2 Objectifs

Exprimée en termes simples, l'expression "conservation des terres agricoles" signifie la conservation du sol et de l'eau. Les éléments nécessaires à la croissance sont l'eau et le rayonnement solaire, ainsi que les éléments nutritifs (azote, acide phosphorique, potasse, etc.) et les oligo-éléments (fer et magnésium). L'eau et le rayonnement sont fournis par la pluie et le soleil, mais c'est du sol que les végétaux tirent principalement les

autres éléments. Cela est indiqué de façon simple à la Figure 1.2.(1). Grâce au rayonnement solaire, les végétaux fabriquent des glucides par photosynthèse, en absorbant le dioxyde de carbone de l'atmosphère par les feuilles, et l'eau par les racines. Or, les glucides constituent la source énergétique des végétaux. Toutefois, leur seule présence ne suffit pas à assurer la croissance. L'azote, l'acide phosphorique et les oligo-éléments sont indispensables à l'élaboration de la structure végétale et au maintien de son activité biologique. Si le cycle de circulation de ces éléments s'avère insuffisant, on ne peut espérer une croissance normale de la végétation.

Fig. 1.2.(1) Croissance végétale : le cycle de circulation de la pluie et des éléments nutritifs



La conservation de l'eau constitue la condition minimale de cette activité biologique végétale qu'est la photosynthèse, et de l'absorption d'éléments nutritifs par les racines. Or, comment cette conservation de l'eau peut-elle être assurée ? D'une part, en y faisant infiltrer l'eau de pluie le plus possible, et, d'autre part, en réduisant les pertes causées par le ruissellement. Dans la région sahélienne, les pluies tombent en grande quantité sur une période très courte. Pour cette raison, la pluie tombée ne pénètre pas complètement dans le sol, une partie étant perdue sous forme de ruissellement. Imaginons par exemple un glacis extrêmement dur. Si 500 mm de pluie y tombent et que 200 mm se perdent par ruissellement, on ne pourra espérer qu'une productivité correspondant à celle de l'extrémité septentrionale du Sahel. Par contre, si on fait appel à une méthode de conservation du sol pour que 100 mm supplémentaires de pluie pénètrent le sol, il en résultera une hausse de la productivité potentielle de ce glacis.

La conservation du sol permet le maintien de sa capacité de production. La gestion la plus efficace des terres agricoles passe par la consolidation du cycle des éléments nutritifs dans le sol. Pour cela, la réduction des pertes en éléments nutritifs s'impose. L'accumulation d'éléments nutritifs dans la couche de surface du sol sahélien est considérable. A l'inverse, la couche inférieure y est oligotrophique. Considérons par exemple l'érosion d'un (1) mm sur le sol d'une terre agricole. Il s'agit là d'une quantité non visible à l'oeil nu. Cela représente toutefois une perte en sol de surface s'élevant à 15 tonnes si elle s'étend à l'ensemble d'une terre agricole d'un (1) hectare. Il faudrait vraisemblablement répéter l'aller-retour un très grand nombre de fois avec une charrette pour remettre ces 15 tonnes de terre dans le champ. Ce travail n'aurait rien de facile. La conservation du sol est un moyen de faire en sorte que cette érosion d'un (1) mm ne se produise pas ici et là dans un champ. Elle représente un travail efficace et plus facile que le transport de 15 tonnes de terre chaque année. Qui plus est, la conservation adéquate du sol permet de redonner à un terrain nu son sol de surface.

Le présent guide se veut un ouvrage de référence pour les techniciens qui apportent leur soutien aux habitants de la région pour la promotion des mesures de prévention de l'érosion du sol et de conservation des terres agricoles. Il fournit également des explications simples, en prévision de son utilisation par des techniciens qui pratiquent de telles activités de soutien sans toutefois être spécialisés dans la conservation du sol. Mettant l'accent sur la conservation des champs de mil, qui constituent la base de la production alimentaire dans la région sahélienne, il fournit d'abord des explications relatives au rôle du sol et aux mécanismes de son appauvrissement, puis présente les caractéristiques de chacune des méthodes de conservation. Il présente en outre des exemples concrets d'activités de soutien exercées par la JGRC au Niger, au Burkina Faso et au Mali, afin que les habitants de la région puissent prendre conscience du phénomène d'érosion et d'appauvrissement du sol qui prend naissance sur les terres agricoles ; comprendre l'importance des mesures de conservation et de prévention de l'érosion du sol ; organiser le développement de leurs propres activités autonomes, élaborer des mesures concrètes et se donner les moyens d'appliquer ces dernières ; et établir par leurs propres efforts les bases productives d'un système agro-pastoral durable.

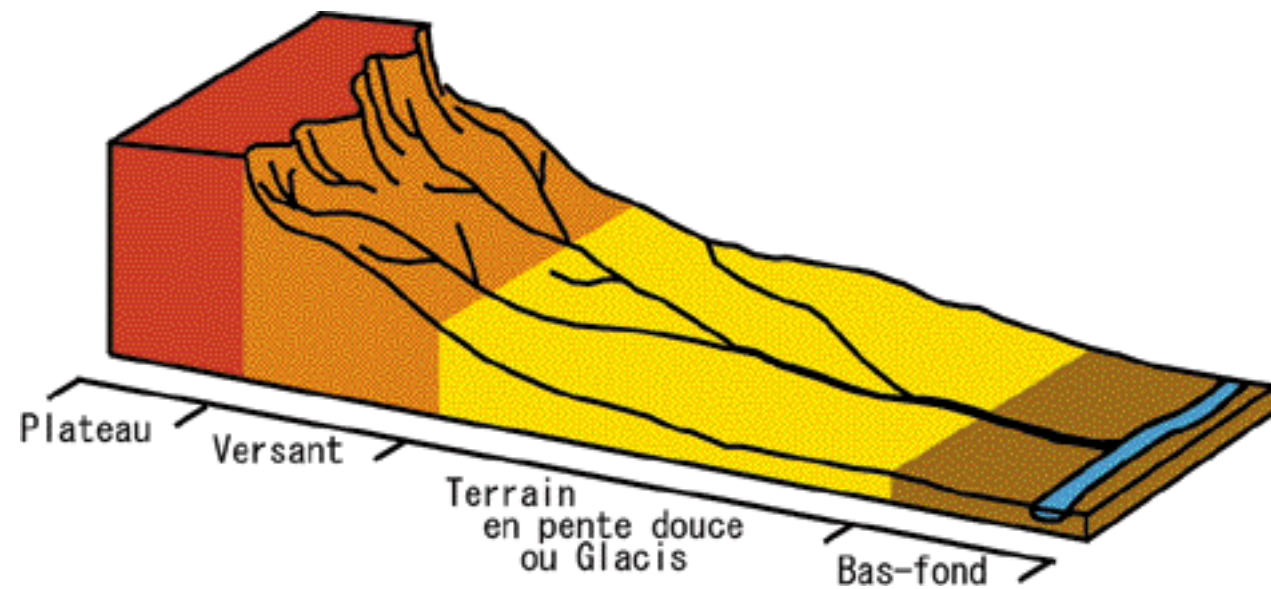
Chapitre 2 **Caractéristiques du sol des terres de culture du mil dans la région du Sahel**

2.1 **Caractéristiques du sol dans la région du Sahel**

2.1.1 **Origine du sol**

Le sol sableux dont se composent les terres de culture du mil dans la région du Sahel est un sol où persistent encore aujourd'hui les effets qui datent de l'époque où il s'agissait d'une région de forêts à pluviométrie élevée, et où la désagrégation et le lessivage se sont poursuivis par la suite. Il en a résulté une acidité élevée et un faible taux de minéraux (ou de cations basiques : K, Na, Mg, Ca, etc.) aux environs du sol superficiel. Il s'agit d'un sol à faible capacité d'amortissement, dont la kaolinite est la principale composante argileuse et qui a une faible capacité de conservation des éléments nutritifs, à cause de la quantité peu élevée d'éléments organiques qui s'y trouve.

Fig. 2.1.(1) Les principales unités topographiques du sud-ouest du Niger

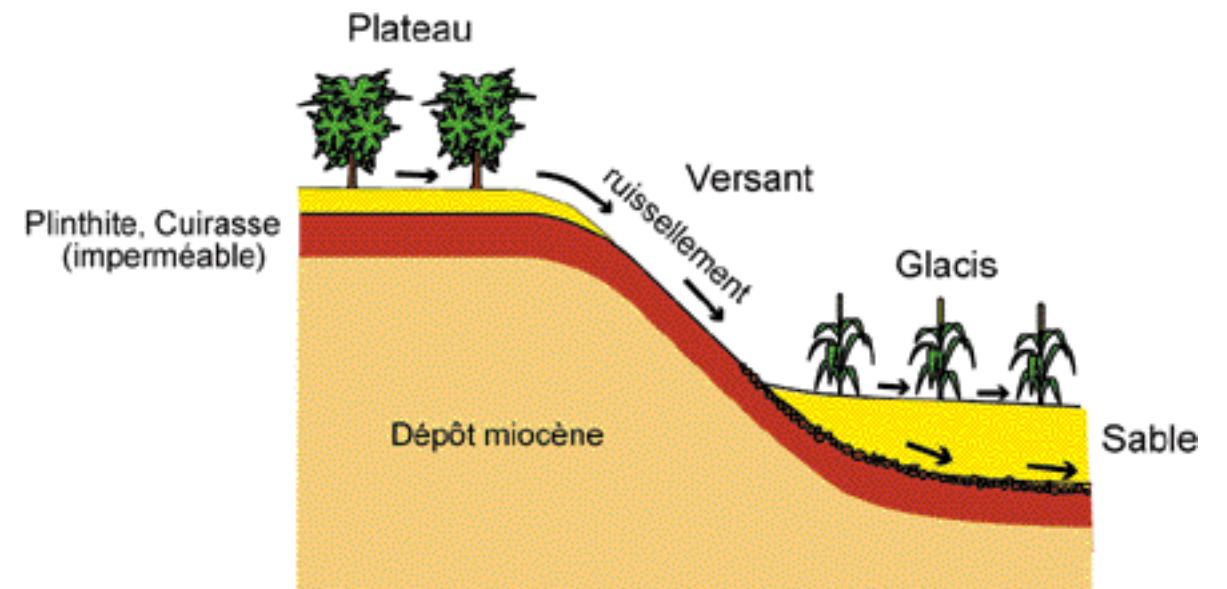


La Figure 2.1.(1) présente les principales unités topographiques du sud-ouest du Niger. Elles sont également partagées par le nord du Burkina Faso et le Mali. Les plateaux que l'on retrouve dans la région sahélienne sont formés d'une couche sédimentaire que l'on nomme le "terminal continental"; ils se composent principalement de matériaux accumulés il y a environ 25 millions d'années (au cours du miocène). Ce terminal continental se trouve à des niveaux avoisinant les 220, 240 et 260 mètres par rapport à la mer, le long du Fleuve Niger. Le grès de ce terminal continental, avec une couche de pierres ferreuses, constitue la base du sol sableux de cette région. Acide, il comprend de la kaolinite et du fer oxydé.

La couche de plinthite qui recouvre les plateaux s'est formée pendant une période à pluviométrie élevée, qui s'étend de la fin du pliocène au début du quaternaire (il y a environ 2 millions d'années). L'épaisseur de la couche de plinthite varie de 20 cm à 1 m, est continue, sous forme de blocs ou de gravier. Le plinthite est également

appelé latérite, mais puisque la définition de ce dernier terme renvoie à un sol de couleur rouge riche en éléments ferreux, elle n'est pas assez précise. Pour cette raison, nous ne l'employons pas dans le présent guide. Le plinthite constitue la base du sol, formant une couche imperméable au-delà de laquelle les racines ne peuvent pas s'étendre. Il a pris forme par accumulation à une certaine profondeur, à l'époque où la région sahélienne avait un climat humide, par lessivage du fer oxydé dans le sol. Il a pris naissance avec l'augmentation du taux relatif de sesquioxyde (fer, etc.) consécutive de la désagrégation et du lessivage des autres matières dans un environnement à température et humidité élevées. Comme le montre la Figure 2.1.(2), la couche de pierres ferreuses s'étend de manière continue des plateaux aux basses terres, en descendant les glacis. Dans ce cas, elle donne lieu au passage du courant intermédiaire, en tant que couche imperméable.

Fig. 2.1.(2) Position du plinthite dans les unités topographiques



La profondeur du sol sableux qui s'accumule des plateaux vers les vallées atteint plusieurs mètres. On considère généralement que le processus de formation de ce sol sableux (au fil d'une période qui s'étend 40.000 à 20.000 ans plus tôt) est le suivant : les matériaux du terminal continental et de la couche de pierres ferreuses, formés par désagrégation, ont été soumis à l'érosion ; ils ont ensuite été soulevés par le vent, et la quantité de matières y adhérant (telles que les composants argileux du sol et le fer oxydé) a diminué sous l'effet du transport par l'eau. En général, moins une matière contient d'argile et de fer oxydé, plus sa couleur rouge s'efface et tourne au jaune. Par ailleurs, la couche de sol que l'on appelle "dallo" date de 1.000 ans ou moins, et elle a été formée par un courant sous-fluvial généré à la suite de l'accumulation du sable granuleux sur une rivière de vallée fossile.

2.1.2 **Propriétés physiques du sol**

1) Granulométrie, perméabilité et rétention

Les terres de culture du mil se trouvent sur un sol sableux dont l'imperméabilité est originellement bonne. Du

Caractéristiques du sol des terres de culture du mil dans la région du Sahel

Caractéristiques du sol des terres de culture du mil dans la région du Sahel

point de vue topographique, il s'agit de la partie qui s'étend des terrains en pente douce des vallées jusqu'aux plaines. Le sol sableux ordinaire dont il est question ici est accumulé sur plusieurs mètres d'épaisseur. Les sols sableux du Sud du Sahel, généralement appelés sols ferrugineux lessivés, comprennent les alfisols et les ultisols (selon la taxonomie de l'USDA: *United States Department of Agriculture*). Le taux d'argile de cette couche de sol n'excède ordinairement pas 10%, et bien souvent la combinaison de l'argile et du limon n'y atteint pas 20%. La catégorie des sols sableux indique également le sable fin et le sable gros. La surface des sols non soumis à l'érosion a un taux d'argile bas et une bonne perméabilité. L'alfisol se caractérise par la formation d'un horizon d'argile sédimenté, ce dernier s'étant accumulé à plusieurs dizaines de cm sous le sol en se déplaçant vers le bas avec les eaux qui s'y infiltrent. Le critère qui différencie l'ultisol de l'alfisol est sa faible saturation en bases. Dans un sol peu argileux et à perméabilité élevée, le lessivage se poursuit et la saturation en bases devient basse. Dans de nombreux cas, l'horizon d'accumulation argilique n'apparaît pas clairement dans l'ultisol, contrairement à l'alfisol.

Le Tableau 2.1.(1) indique la distribution granulométrique du sol dans la dune de la ferme expérimentale de Magou, tandis que le Tableau 2.1.(2) présente un exemple de propriétés physiques d'un alfisol de terrain en pente douce. Le Tableau 2.1.(1) ne présente pas de données sur la perméabilité, mais la dune est peu argileuse et très perméable. Dans un tel sol, les pertes d'eau de pluie par ruissellement sont peu considérables, mais puisque la rétention de l'eau est peu élevée, les eaux infiltrées se perdent facilement en s'infiltrant vers le bas. Sur le terrain en pente du Tableau 2.1.(2), l'érosion se poursuit légèrement sous l'action du ruissellement. La densité du sol et la quantité d'argile qu'il comprend augmentent suivant la profondeur. A une profondeur de 34 cm pour le profil 1, et de 67 cm pour le profil 2, la perméabilité est remarquablement réduite, et on peut croire que les horizons d'accumulation argilique se situent à ces profondeurs respectives. La rétention d'eau s'élève légèrement avec l'augmentation du taux d'argile, mais dans le cas de ce genre de sol, nombreux sont les cas où la perméabilité est limitée par la formation d'une croûte de sol en surface. En outre, dans le cas d'un sol qui possède un horizon d'accumulation argilique soumis à une érosion sérieuse entraînant l'exposition de cet horizon, il y a risque que se forme une terre nue permanente.

Tableau 2.1.(1) Distribution granulométrique du sol de la dune

Profondeur cm	Granulométrie			
	Sable gros %	Sable fin %	Limon %	Argile %
0-6	26,1	62,6	8,2	3,1
6-40	37,1	48,6	9,2	5,1
40-72	36,2	48,3	8,5	7,0
72-119	33,3	51,9	7,7	7,1

Tableau 2.1.(2) Exemple de propriétés physiques d'un alfisol de terrain en pente

Profondeur cm	Granulométrie				Densité g/cm ³	Perméabilité à saturation mm/h	Humidité			Rétention Eau utile %
	Sable gros %	Sable fin %	Limon %	Argile %			pF 2,5 %	pF 3,0 %	pF 4,2 %	
Profil 1										
0-21	21,4	64,0	9,7	5,0	1,62	62,3	5,8	5,1	3,1	2,7
21-34	21,7	58,9	10,4	9,0	1,58	73,4	8,8	8,1	5,8	3,0
34-52	22,0	57,9	9,4	10,7	1,61	25,4	13,1	11,5	7,0	6,1
52-79	19,7	57,6	10,1	12,6	1,61	48,2	12,2	10,9	7,3	4,8
79-102	18,8	57,6	10,1	13,5	1,64	24,9	11,4	10,3	7,3	4,1
135-	22,5	47,3	14,2	16,1	1,78	0,3	15,9	14,3	10,2	5,7
Profil 2										
0-10	25,7	62,1	8,5	3,8	1,56	127,4	6,3	5,2	2,2	4,0
10-42	22,2	59,6	12,1	6,2	1,49	122,0	6,7	5,8	3,3	3,4
42-67	21,0	59,7	12,2	7,2	1,58	58,0	9,9	8,7	5,5	4,3
67-92	21,7	56,0	13,0	9,3	1,71	16,9	10,8	9,5	6,0	4,7
92-125	21,3	60,3	9,6	8,8	1,72	6,1	16,7	14,6	9,3	7,4
125-	24,4	59,4	7,7	8,6	1,67	9,9	13,6	12,1	8,5	5,0

2) Croûte du sol

La croûte du sol est une fine membrane qui se forme à sa surface. La croûte prend naissance par la destruction des agrégats sous les pluies violentes, cette destruction donnant lieu à une nouvelle répartition des agrégats en fines particules qui se dispersent et pénètrent dans les interstices du sol et les bloquent. La formation de la croûte fait considérablement obstacle à l'infiltration de la pluie dans le sol, avec pour conséquence du ruissellement en surface et l'accélération de l'érosion. La cause de l'érosion du sol dans le Sahel, à l'origine relativement perméable, est la diminution de cette perméabilité entraînée par l'érosion du sol.

La formation de la croûte se compose d'un certain nombre de processus parallèles et continus. Ces processus sont schématisés à la Figure 2.1.(3).

a) Absorption d'humidité

Lorsque la pluie commence à tomber, le sol sec de la surface s'humidifie subitement, des bulles s'y forment et la différence de pression entraîne la destruction des agrégats. Le sol du Sahel comportant peu d'argile et de matières organiques, la force d'adhésion des particules y est peu élevée. Il s'ensuit qu'il se sépare aisément sous le choc des gouttes de pluie.

b) Choc des gouttes de pluie

La surface du sol devient cratériforme sous le choc des gouttes de pluie, et il se produit une nouvelle répartition des particules.

c) Formation de la croûte structurelle

Si, d'une part, les grosses particules de terre demeurent à la surface, les petites sont dispersées et pénètrent avec l'eau interstitielle, bloquant ainsi les interstices et donnant lieu à la formation d'une membrane peu perméable. Ce phénomène est résumé par l'expression "croûte structurelle".

d) Le ruissellement en surface

Si la pluie continue de tomber et donne naissance au ruissellement, les grosses particules demeurées à la surface du sol sont emportées par le ruissellement ; la couche inférieure dense dont les interstices avaient été bouchés se trouve ainsi exposée.

e) Formation de la croûte érosive

On appelle cette couche la "couche érosive". L'épaisseur de sol sableux y est d'environ 1 mm. La surface y est d'apparence douce, sans interstices. La diminution de la rugosité de la surface entraîne une augmentation de la vitesse du ruissellement.

f) Durcissement de la croûte érosive

Chaque nouvelle précipitation accentue la densité de la croûte érosive, la solidifiant.

La facilité avec laquelle se forme la croûte dépend largement de la stabilité des particules du sol et de la force des précipitations. Nous expliquons ci-dessous les facteurs qui interviennent dans ce phénomène.

① Concentration argileuse

Lorsque la concentration argileuse est élevée, la plus grande capacité d'adhésion des agrégats limite la formation de la croûte. On considère généralement que les sols qui donnent facilement naissance à la croûte ont une concentration argileuse de 20% ou moins; selon Poeson (1986), c'est sur les sols dont la concentration combinée d'argile et de limon est d'environ 10% que la croûte se forme le plus facilement. Cela correspond à la nature du sol sableux de la région du Sahel.

② Eléments organiques

Puisque les éléments organiques, à l'instar de l'argile, sont des matières aux particules adhérentes, plus leur concentration est élevée, plus les particules sont stables et plus la croûte se forme difficilement.

③ Concentration d'eau initiale

Si le sol est sec lorsque la pluie se met à tomber, les agrégats sont plus facilement sujets à la destruction par l'absorption subite d'humidité. C'est lorsque le sol est humide que sa stabilité est élevée.

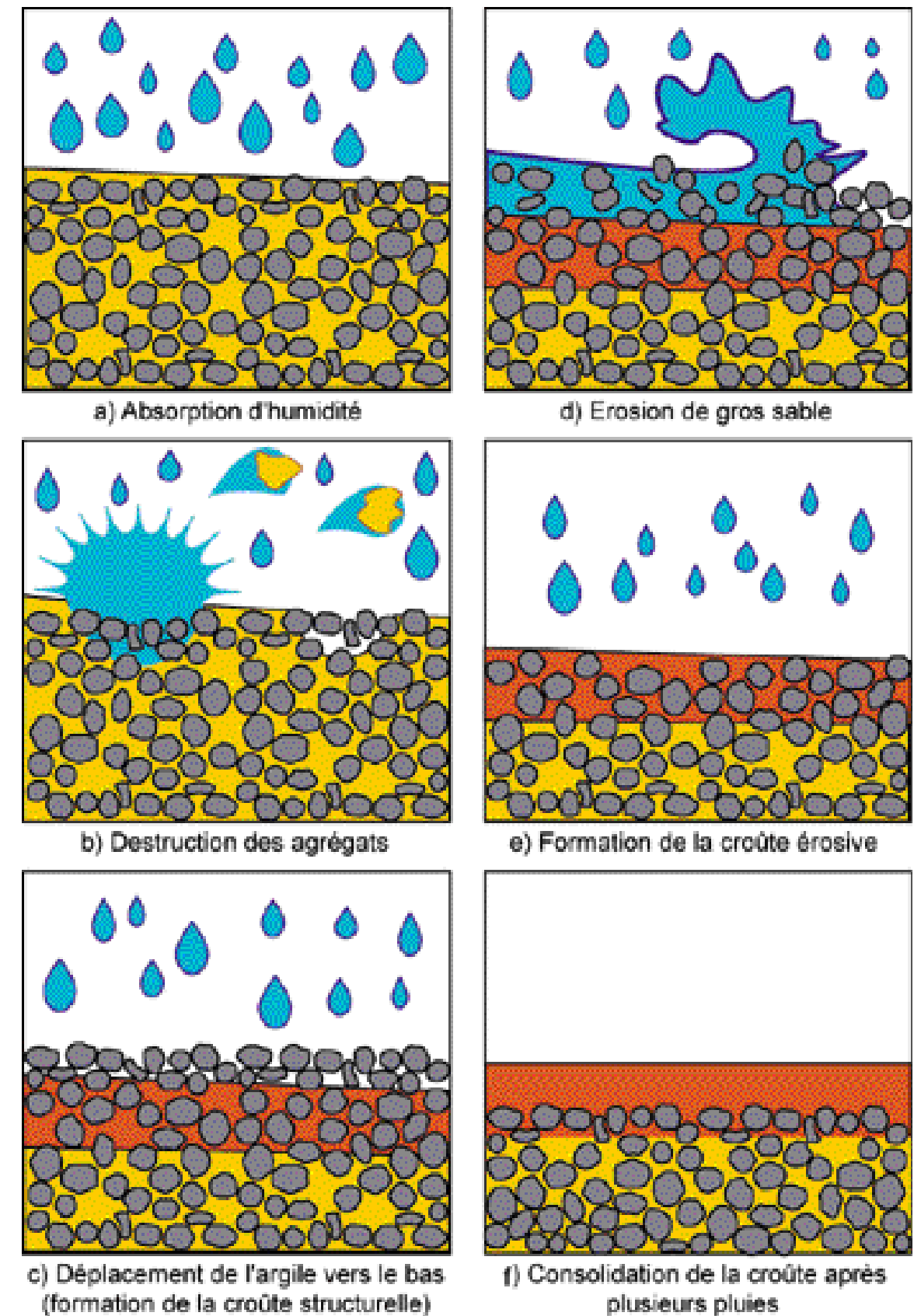
④ Violence des précipitations

Plus l'énergie générée par le choc des gouttes de pluie est élevée, plus la croûte se forme facilement. Plus les précipitations se poursuivent avec violence sur une longue période, plus la croûte se forme facilement.

⑤ Recouvrement

Lorsque la surface du sol est recouverte de végétation et de paillage, la formation de la croûte se trouve limitée par l'adoucissement des chocs des gouttes de pluie sur les particules du sol.

Fig. 2.1.(3) Processus de formation de la croûte



2.1.3 Propriétés chimiques du sol

1) Relation entre la composition du sol et les cations basiques

Le sol sableux se compose principalement de quartz, de kaolinite et de fer oxydé. Le quartz constitue "l'ossature" des particules, à laquelle adhère faiblement le minéral argileux (la kaolinite et le fer oxydé). Même parmi les constituants des argiles, la kaolinite est celui dont la capacité d'absorption des éléments nutritifs est la plus basse (capacité d'échange cationique ou CEC), et puisque sa concentration en éléments nutritifs est peu élevée, la capacité du sol à retenir ces éléments nutritifs est basse. Ce sont les matières organiques qui, avec l'argile, assurent le maintien des éléments nutritifs, mais d'ordinaire la concentration normale n'atteint pas 1%. Il s'ensuit que les cations basiques à grande hydrosolubilité et capacité d'échange, tels que K, Na, Mg et Ca, sont facilement lessivés par l'eau qui pénètre dans le sol. Puisque la roche-mère du sol (terminal continental) se compose également de grès sédimentaire soumis à l'érosion sur une longue période, les cations basiques y sont originellement peu nombreux ; à l'inverse, il y reste de l'aluminium et des ions hydrogène, et son acidité est élevée. On peut mentionner, parmi les causes de l'acidification du sol, ① le fait que la roche-mère soit acide, ② la progression de l'acidification lors des périodes de pluviométrie élevée par le passé, ③ et le lessivage des éléments basiques sous le climat actuel.

Là où une mince couche de sol sableux s'est accumulée sur le plinthis (sur les plateaux par exemple), le sol affiche une forte acidité. Cela est dû soit à la forte acidité de la roche-mère, soit au lessivage des éléments basiques.

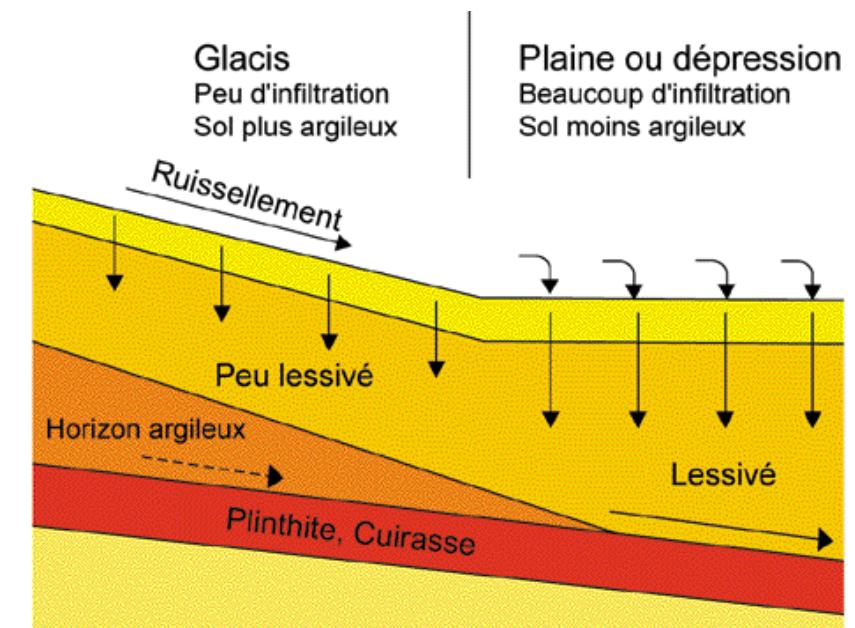
Le Tableau 2.1.(3) présente les propriétés chimiques de la dune et du glaci de la ferme expérimentale de Magou. Dans la dune, puisque la concentration argileuse est peu élevée, il en va de même pour la capacité d'échange cationique (CEC) ; à cause de la bonne perméabilité, les cations basiques font l'objet d'un lessivage, aussi la saturation en bases (qui indique le taux de présence des cations ioniques dans la capacité d'échange cationique (CEC) prend-elle une valeur peu élevée. De son côté, le sol du glaci ayant une concentration argileuse élevée, la capacité d'échange cationique (CEC) a tendance à y être grande comparativement à celle de la dune, tandis que la saturation en bases y est élevée parce que le lessivage s'y manifeste difficilement à cause de sa faible perméabilité. Généralement, plus la saturation en bases est basse, plus le sol risque d'être acide.

La Figure 2.1.(4) illustre le lessivage des cations dans la pente douce. Le sol est très argileux au milieu de la pente, où il y a beaucoup de ruissellement et peu d'infiltration, le lessivage est peu prononcé, comparativement à la partie inférieure de la pente et au bas-fond, où la concentration du ruissellement entraîne beaucoup d'infiltration et provoque le lessivage.

Tableau 2.1.(3) Comparaison des propriétés chimiques du sol de dune et de glaci

Profondeur Cm	Granulométrie				pH	Matière Organique %	CEC meq/100g	Saturation en bases %	Phosphore Assim. ppm
	Sable gros %	Sable fin %	Limon %	Argile %					
Dune, pente faible(2%)									
0-6	26,1	62,6	8,2	3,1	6,0	0,27	1,59	38,4	2,42
6-40	37,1	48,6	9,2	5,1	5,8	0,26	1,33	34,6	2,31
40-72	36,2	48,3	8,5	7,0	5,6	0,20	1,41	47,5	-
72-119	33,3	51,9	7,7	7,1	5,8	0,12	1,18	34,7	-
Glaci, pente forte (3-4%)									
0-10	38,8	55,4	3,6	2,2	5,9	0,33	0,85	88,2	3,92
10-52	30,6	56,4	7,2	5,8	5,6	0,27	1,26	52,4	3,89
52-117	27,1	50,5	7,3	15,1	5,4	0,16	2,28	65,8	-
117-152	22,6	59,2	7,0	11,2	6,0	0,09	1,74	82,8	-

Fig. 2.1.(4) Relation entre la partie en pente et le lessivage



Dans le cas de l'acidification du sol et d'un pH bas, la quantité d'éléments Al et Mn échangeables augmente. Si le pH est inférieur à 5, on atteint un niveau où ces matières empoisonnent la végétation. Comparativement aux légumineuses telles que le niébé et l'arachide, la résistance du mil à l'acidité est élevée, mais une trop grande concentration constituerait un facteur limitatif de sa croissance (Chase *et al.*, 1989). Ce sont les taux élevés d'aluminium et de magnésium qui, étant absorbés par les végétaux, font obstacle à leur croissance. Cela cause notamment problème dans les bas-fonds des régions où il y a beaucoup d'infiltration et où le lessivage survient facilement.

2) Facteurs limitatifs de la fumure

L'insuffisance d'azote et de phosphate, en tant que facteurs limitatifs de la production agricole sahélienne, représente encore aujourd'hui un problème aussi, sinon plus sérieux que la pénurie d'eau. S'ils en avaient les moyens, les agriculteurs pourraient palier à cette insuffisance d'azote et de phosphate par l'application d'engrais chimique, mais il faudrait alors prendre garde aux points suivants relativement aux propriétés chimiques du sol. Par exemple, si le sol contient beaucoup d'aluminium et de fer, l'engrais phosphaté s'y combinerait facilement, avec pour conséquence qu'il y aurait peu de phosphates sous une forme utilisable malgré cet épandage. Pour que l'engrais phosphaté puisse agir efficacement, il importe que le taux d'acidité soit équilibré par un supplément organique (fumier, etc.). Même l'utilisation des engrais azotés doit être évitée, puisque le sulfate d'ammonium, notamment, entraîne l'acidification du sol lors de son processus de décomposition organique.

Comme nous l'avons vu plus haut, les propriétés chimiques et physiques du sol exercent les unes sur les autres des effets réciproques. En considération de quoi, la question se pose de la réduction de l'insuffisance nutritive par l'application de fumure sur les sols très perméables et qui donnent lieu à beaucoup de lessivage, comme dans les dunes, etc. Par contre, dans le cas des sols très argileux et peu perméables, il y a peu de lessivage et la capacité de maintien des éléments nutritifs est élevée, mais le problème de l'assurance de l'eau se pose.

2.2 Erosion et appauvrissement du sol

2.2.1 Erosion hydrique

1) Principe de l'érosion hydrique

Lorsque la force des précipitations excède la capacité d'absorption du sol, l'excédent d'eau ruisselle à la surface et descend le long des pentes. Ce phénomène de transport du sol par le ruissellement (érosion) est appelé érosion hydrique. L'érosion hydrique comprend deux processus. Le détachement du sol et son transport. L'énergie nécessaire à ces processus provient des précipitations et du ruissellement.

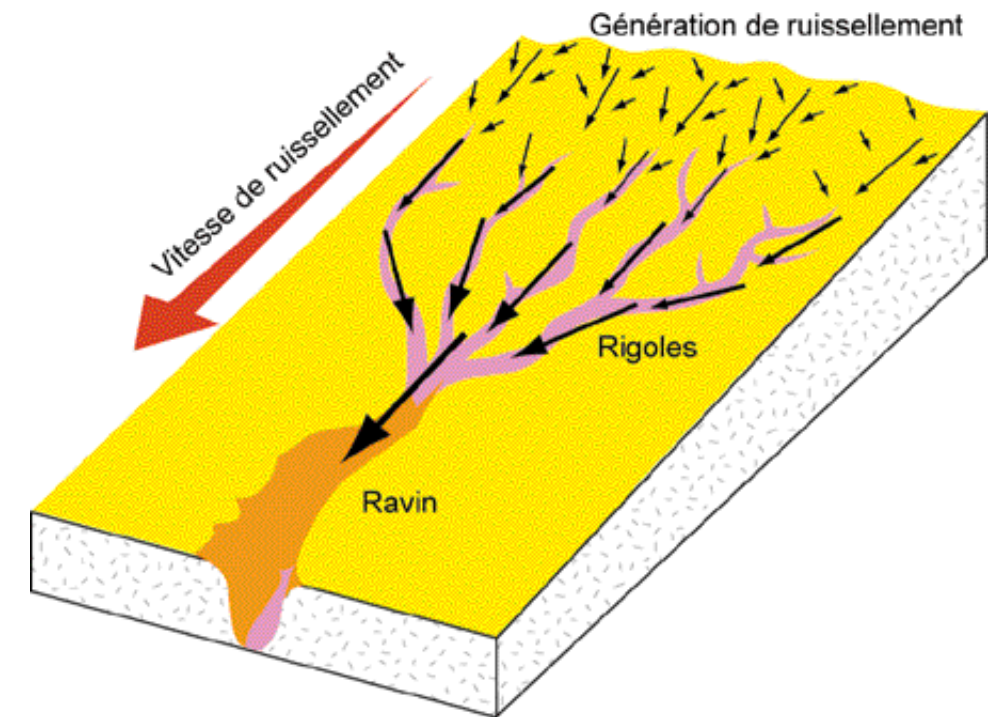
a) Détachement du sol

Nous avons abordé le phénomène de détachement du sol dans la section sur la croûte du sol. Sous l'énergie des précipitations, les agrégats sont détruits, et le sol ainsi dispersé est transporté par le ruissellement. Ou encore, le ruissellement lui-même provoque le soulèvement du sol par sa surface.

b) Transport du sol

L'énergie du ruissellement dépend de sa vitesse. La vitesse du ruissellement à laquelle le déplacement des particules de terre devient remarquable varie selon le type de sol, mais plus les particules sont fines, plus leur transport se fait facilement même avec un ruissellement lent. Dans les pentes, plus l'inclinaison est prononcée, plus la vitesse est élevée, et plus la puissance de transport du sol augmente. L'accroissement de l'inclinaison fait augmenter la puissance d'érosion du sol de manière exponentielle. Quant aux effets de la longueur de la pente, ils sont dirigés selon son inclinaison et sa forme. On considère généralement que la puissance de transport augmente en fonction exponentielle de la longueur de la pente.

Fig. 2.2.(1) Le processus de progression de l'érosion du sol



2) La forme de l'érosion

La figure 2.2.(1) présente le processus de progression de l'érosion. Lorsqu'il pleut et que cela génère du ruissellement, le ruissellement descend d'abord vers le bas sur toute la surface, mais par la suite il se concentre en des endroits relativement peu élevés de la pente en formant des voies de ruissellement. De telles voies de ruissellement sont appelées des rigoles. Le ruissellement dans les rigoles entraîne une augmentation soudaine de la profondeur d'eau et de la vitesse de ruissellement, provoquant ainsi une augmentation de la puissance de détachement et de transport du sol. C'est pour cette raison que les rigoles grandissent à chaque précipitation, par érosion du sol qui les entoure. On appelle "ravin" la rencontre de plusieurs rigoles. Ce terme désigne des endroits où l'érosion a atteint une profondeur telle que la culture n'est plus possible dans ces voies de ruissellement, et où les deux versants se dressent sous la forme d'une coupure très prononcée. Ils apparaissent facilement là où la couche inférieure du sol est fragile et se brise facilement. Dans les ravins, on trouve des points de chute d'eau aux endroits où l'érosion a progressé rapidement ; ces points progressent par la suite de plus en plus vers le haut. L'érosion du sol dans les ravins est considérablement plus grande que dans le ruissellement de surface et les rigoles.

3) Les facteurs d'érosion du sol

L'équation universelle d'érosion des sols (USLE) étant la façon la plus claire de présenter les facteurs d'érosion du sol, nous la présentons ci-dessous, de façon simple. Cette équation a été établie sur la base de tests sur des boîtes de ruissellement, dans le cadre d'un très grand projet réalisé dans toutes les régions des Etats-Unis, pour pouvoir y procéder à l'estimation des volumes d'érosion du sol. L'USLE permet de calculer la tendance à l'érosion des sols à long terme, dans une rigole ou sur une surface qui comporte des rigoles. Aujourd'hui, cette

équation a été adoptée à travers le monde. Elle prend la forme ci-dessous.

$$A = (0,224) RKLSCP$$

où A: correspond à la perte de sol (kgm^{-2}), R: au coefficient d'érosivité des pluies, K: au coefficient d'érodabilité du sol, L: au coefficient de longueur de pente, S: au coefficient d'inclinaison, C: au coefficient de protection du sol par la couverture végétale, et P: au coefficient de protection du sol par les pratiques agricoles.

Comme le montre la formule, le volume d'érosion du sol peut être représenté par le produit de coefficients exprimant divers facteurs. Autrement dit, il est possible de réduire le volume d'érosion du sol en s'efforçant de rendre plus petit chacun de ces coefficients. Nous présentons les divers facteurs d'érosion ci-dessous.

a) Coefficient d'érosivité des pluies (R)

Le coefficient d'érosivité des pluies est établi en fonction de deux particularités. Il s'agit de l'énergie de déplacement des pluies et de la force des pluies. L'énergie de déplacement des pluies dépend du diamètre des gouttes de pluie. En général, plus la force de la pluie est grande, plus le diamètre des gouttes est grand, et plus l'énergie de déplacement est élevée. Ainsi, plus la force de la pluie est grande, plus la valeur R sera élevée. L'intervention humaine sur ce facteur n'est pas possible.

b) Coefficient d'érodabilité du sol (K)

Pour le coefficient d'érodabilité du sol K, le facteur dominant est le taux de limon (0,002 à 0,05 mm) et de sable fin (0,05 à 0,1 mm) dans le sol. D'autres facteurs exercent également des effets, dont notamment le taux de matières organiques, la structure du sol et sa perméabilité. La valeur de K augmente avec la quantité de limon et de sable, et en raison inverse de la présence de matières organiques et de la perméabilité. La valeur de K peut être diminuée par l'intervention humaine, en introduisant des matières organiques pour élever la stabilité des agrégats du sol, ou encore en limitant le niveau de développement de la croûte pour assurer la perméabilité du sol.

c) Coefficient de longueur de pente (L) et coefficient d'inclinaison (S)

Bien que ces deux coefficients soient indépendants, ils sont en fait utilisés ensemble sous la forme d'un seul coefficient LS. La longueur de la pente correspond à la distance qui sépare le point où commence le ruissellement, et le point où la pente se termine. Quant à l'inclinaison, elle est normalement exprimée sous la forme d'un pourcentage. La vitesse du ruissellement et, par conséquent, l'érosivité augmentent en fonction de la longueur de la pente et de son inclinaison. Par exemple, si on divise la longueur en plusieurs segments courts à l'aide de cordons de pierres, la vitesse de ruissellement sera alors réduite, entraînant une diminution du coefficient L.

d) Coefficient de protection du sol par la couverture végétale (C)

Ce coefficient varie selon l'état de la couverture du sol et la présence de produits spécifiques ; il varie donc selon des facteurs tels que l'état de croissance du système végétal, la longueur de la période de culture, le

système de labour, la gestion des résidus végétaux, l'emplacement du sol par rapport à la distribution pluviométrique dans la région, etc. Lorsque le taux de couverture végétale (plantes et résidus végétaux) est élevé, cela prévient le choc direct de la pluie sur la surface, réduisant ainsi la valeur du coefficient. Plus la période de couverture est longue, plus la valeur de C diminue.

e) Coefficient de protection du sol par les pratiques agricoles (P)

Il s'agit d'un coefficient d'ajustement qui varie selon l'adoption de mesures contre l'érosion par la culture orientée de haut en bas sur la pente : culture selon les courbes de niveau, culture en bandes, terrasses, etc. Avec une inclinaison de 15% ou moins, la culture selon les courbes de niveau permet de réduire le volume d'érosion à 50% ou 70% ; quant aux terrasses, elles permettent une réduction jusqu'à 15%.

Ainsi, pour faire la synthèse de ce qui précède, il faut, pour réduire l'érosion du sol :

- ① Elever la stabilité du sol par le dosage des matières organiques, et assurer une perméabilité élevée du sol pour empêcher la formation de la croûte.
- ② La construction d'une structure sur une longue pente permet de réduire la vitesse de ruissellement. Dans une perspective à long terme, l'inclinaison de la pente peut également être adoucie par des terrasses.
- ③ La couverture du sol par le paillage et des végétaux permet d'éviter qu'il ne soit mis à nu.

La nécessité de ces mesures a été clairement établie.

2.2.2 Erosion éolienne

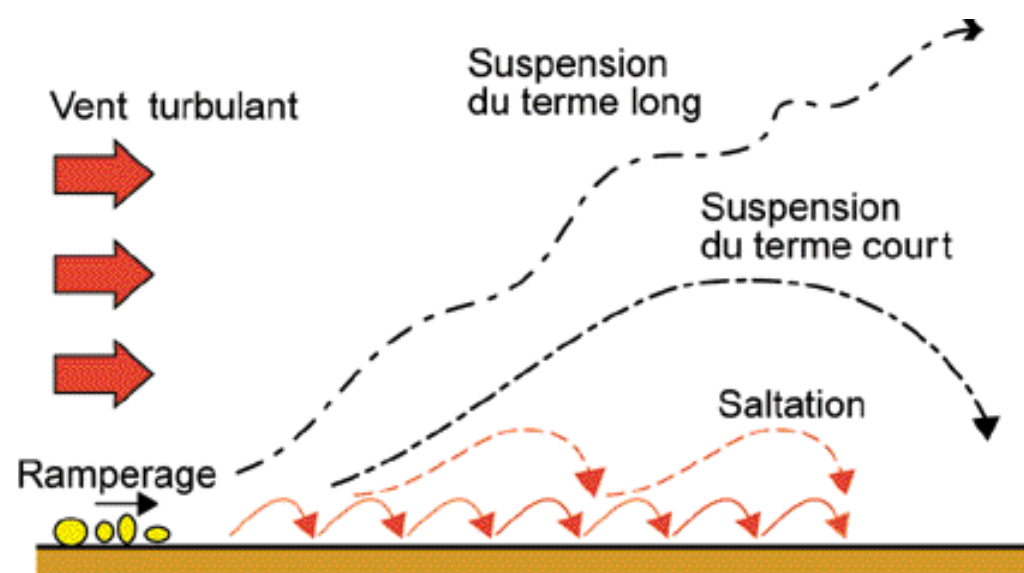
1) Envergure de l'érosion éolienne

L'érosion varie selon l'envergure et l'inclinaison de la pente et les conditions du sol, et il est difficile de la mesurer dans le cas des voies de ruissellement telles que les ravins. Pour ces raisons, il y a peu de documentation fournissant des données concrètes sur ce point. Dans le Nord du Sahel, où la pluviométrie est généralement peu élevée, les dommages causés par l'érosion éolienne seraient plus considérables que ceux causés par l'érosion hydrique. En région située à une latitude de 14° à 18° nord, l'érosion éolienne annuelle est estimée entre 10 et 200 t/ha, tandis qu'à une latitude de 10° à 14° nord, elle serait de 10 à 50 t/ha (Lal., 1993). En comparaison, l'érosion hydrique est estimée de 5 à 40 t/ha environ.

2) Principes de l'érosion éolienne

L'érosion éolienne est similaire à l'érosion hydrique sur un point, en ceci qu'elle dépend de l'énergie que possède le vent. En termes plus simples, le facteur qui exerce la plus grande influence sur l'érosion éolienne est la vitesse du vent près de la surface du sol. Le déplacement des particules du sol peut prendre alors trois formes, comme l'indique la Figure 2.2.(2). Il s'agit de la saltation, du ramperage et de la suspension, chacune de ces formes se distinguant du point de vue de la grosseur des particules et de la vitesse du vent.

Fig. 2.2.(2) Formes de déplacement du sol lors de l'érosion éolienne



Les microparticules, telles que celles d'argile et de limon ($70 \mu\text{m}$ ou moins) ne nécessitant pas une très grande énergie cinétique pour leur transport, elles sont soulevées de la surface du sol et se trouvent en suspension dans l'atmosphère sur une période qui varie de quelques heures à quelques jours, et peuvent se déplacer sur de grandes distances (de 200 à 1.000 km). A l'opposé, les grosses particules telles que celles de sable gros (0,5 mm ou plus) n'arrivant pas à flotter même à grande vitesse éolienne, leur déplacement à la surface du sol ne se limite qu'à quelques mètres ou quelques dizaines de mètres. C'est ce qu'on appelle le ramperage. Quant à la saltation, elle désigne le déplacement des particules de grosseur moyenne, qui frappent le sol de manière répétée en étant d'abord soulevées par le vent à une hauteur d'environ 1 mètre, puis ramenées au sol par leur masse. Le déplacement par saltation peut s'étendre de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. Dans les recherches récentes, on considère que, dans le cas de l'érosion éolienne, le déplacement du sol et de ses éléments nutritifs par l'érosion éolienne aurait pour facteur dominant la saltation.

3) Le phénomène d'érosion éolienne et les dommages qu'il cause

Les dommages causés par l'érosion éolienne surviennent principalement pendant la saison de pluie. Ils sont causés par les vents violents qui précèdent la pluie. Comme nous l'avons vu, l'érosion éolienne augmente en fonction de la vitesse du vent à proximité du sol. Autrement dit, si un sol est plat et nu, le fait qu'il ne soit pas protégé du vent le rendra très exposé à l'érosion. Les champs de mil en début de saison de pluie en fournissent un exemple représentatif. Par ailleurs, le transport du sol par saltation s'effectue sur des distances relativement courtes. Or, lorsque cette saltation a lieu sur une surface très rugueuse (buissons, herbes et autres obstacles), le sol s'accumule contre ces objets proches qui font obstacle au vent et en réduisent la vitesse. Ainsi, bien que l'érosion éolienne soit considérable dans un champ dont le sol est nu, le sol s'accumule sur les terres en jachère et les prairies d'herbages. Il est important de prêter attention au fait que l'érosion éolienne, à la différence de l'érosion hydrique, ne provoque pas de pertes absolues par ruissellement du sol, mais plutôt une modification du sol en le redistribuant.

Chapitre 3 Méthodes de conservation des terres agricoles

3.1 Introduction aux méthodes physico-chimiques de conservation des terres agricoles

Au chapitre précédent, nous avons abordé les caractéristiques du sol sableux, et des phénomènes d'érosion hydrique et d'érosion éolienne. Pour assurer la conservation des terres agricoles, il est bon de comprendre ces phénomènes pour pouvoir agir de façon à inverser un processus d'appauvrissement lorsqu'il survient. Dans le présent chapitre, nous expliquons de façon simple les principes d'une telle action. Il existe aujourd'hui des exemples de réussite par l'application d'ensembles de techniques pour la conservation des terres agricoles dans la région du Sahel. Bien que l'action puisse être basée sur l'apprentissage de ces ensembles de techniques, il est également important de comprendre les phénomènes et de s'efforcer d'y apporter des solutions adaptées aux conditions socio-économiques et aux ressources de la région en question.

3.1.1 Prévention de l'érosion hydrique et facilitation de l'infiltration

1) Conserver le sol à la source du ruissellement

Lorsque l'on considère la conservation des terres agricoles, la chose la plus importante est la détermination de l'endroit où l'érosion hydrique prend naissance. Par exemple, dans le cas des champs situés en plein milieu d'une pente, l'érosion est souvent provoquée par le ruissellement en provenance de la partie supérieure. Dans un tel cas, il sera difficile d'interrompre un ruissellement dont le volume est considérable malgré de grands efforts si l'on procède dans le milieu du champ, et même si la chose s'avère possible, cela nécessitera énormément de peine pour assurer la maintenance et la gestion. La quantité de travail que nécessite la réparation des petites rigoles et des grands ravins est très différente. La façon la plus efficace d'assurer une bonne conservation des terres agricoles consiste à effectuer celle-ci à l'endroit où le ruissellement prend naissance. Pour cela, il importe d'abord d'avoir une bonne connaissance de la raison qui provoque l'érosion en ce point. Fondamentalement, la conservation des terres agricoles doit être effectuée dans la pente selon un développement commençant en haut et se poursuivant vers le bas. Si la conservation des terres agricoles est d'abord assurée en amont, des mesures de conservation de petite envergure suffiront en aval, puisque le ruissellement y sera réduit. Diverses contraintes apparaissent toutefois lors de l'exécution, aussi faut-il adopter dans chaque cas les plus efficaces des mesures envisageables.

2) Favoriser l'infiltration de la pluie

La façon la plus efficace de prévenir la génération de ruissellement et de faire augmenter le volume d'eau dans le sol pour rendre la culture efficace consiste à assurer un niveau élevé d'infiltration dans la couche de surface du sol. Pour cela, la prévention du développement de la croûte du sol revêt une grande importance. Mentionnons sur ce point les méthodes de prévention suivantes.

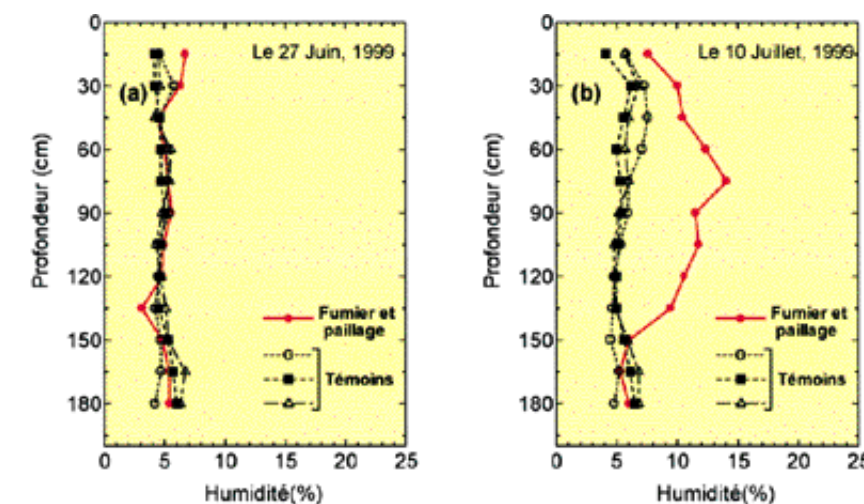
- Détruire la croûte
- Protéger la surface du sol contre les gouttes de pluie
- Protéger le gros sable à la surface du sol

a) Destruction de la croûte

La façon traditionnelle de détruire la croûte est le sarclage et le labour. Il s'agit d'un moyen très efficace, qui prévient la naissance du ruissellement et facilite l'infiltration. Par contre, le labour demande un travail considérable dans les régions où il est effectué manuellement. En Inde, on a parfois recours à la force animale pour procéder au labour avant le début de la saison de pluie, afin de rendre plus efficace l'infiltration de la pluie au début de ladite saison. Fondamentalement, le labour ne fait que "déranger" la surface du sol, aussi la croûte se reforme-t-elle par la suite au fil des précipitations. Un moyen efficace et nécessitant moins de travail consiste à effectuer un paillage à l'aide de résidus de produits cultivés et à épandre du fumier. Si les résidus de mil sont laissés à la surface du sol après la récolte pendant la saison sèche, et si l'on effectue un épandage de fumier avant la saison de pluie, cela attirera les termites qui viendront s'en nourrir. Le but est ici de faire la culture de champignons, les termites absorbant la cellulose des corps végétaux et la transportant jusqu'à la termitière plusieurs mètres sous la surface du sol. Au cours de ce processus, la croûte qui recouvre la surface du sol se trouve détruite, tandis que l'infiltration de la pluie est facilitée par le développement des interstices verticaux formés par les canaux creusés dans le sol par les termites.

Ce paillage peut également se faire avec des branches et de l'herbe. Selon Mando (1997, 1998), on procède au paillage dans le Nord du Burkina Faso pour attirer les termites, à l'aide de branches et d'herbes, et cela contribuerait à redonner leur perméabilité aux terrains nus. La Figure 3.1.(1) présente une comparaison de la quantité d'eau dans le sol au début de la saison des pluies, entre, d'une part, un champ où des résidus du mil cultivé l'année précédente ont été laissés et où 1,5 t/h de fumier a été épandu, et, d'autre part, un sol où ces mesures n'ont pas été appliquées. Le graphique (a) présente les données pour le début de la saison de pluie, tandis que celles du graphique (b) sont pour la période précédant immédiatement le premier sarclage et labour. Cela permet de constater que l'infiltration profonde dans le sol est favorisée dans le champ où il y a eu épandage de fumier et application d'un paillage. Il est ainsi possible d'obtenir des résultats similaires avec beaucoup moins de travail qu'en s'évertuant à labourer le sol en saison sèche. Toutefois, ces effets de facilitation de l'infiltration disparaissent avec le sarclage et le labour.

Fig. 3.1.(1) Comparaison du volume d'eau dans le sol entre des sections avec et sans épandage de fumier et de paillage.

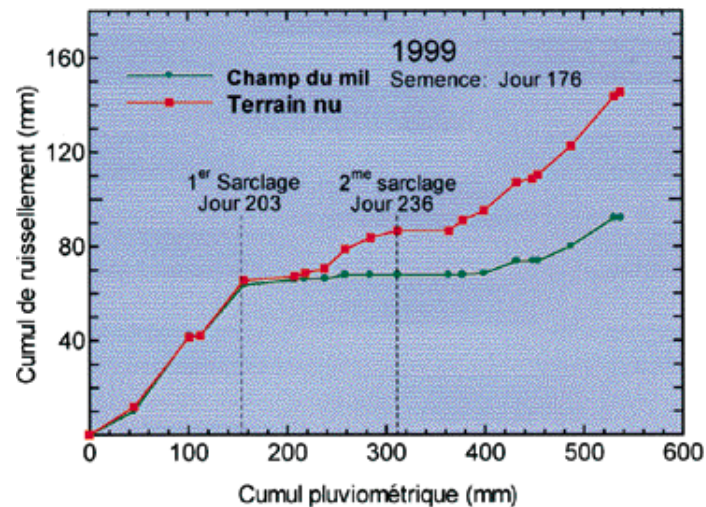


b) Protéger la surface du sol contre les gouttes de pluie

La croûte prend naissance et se développe sous le choc des gouttes de pluie sur les particules du sol en surface. Il est donc possible de limiter ce phénomène en empêchant les gouttes de pluie de frapper directement les particules.

Il est toutefois très difficile de recouvrir parfaitement la surface du sol par paillage, dans le cas du Sahel. Les terres se trouvant tout particulièrement mises à nu au début de la saison de pluie, et il n'existe actuellement pas de moyen efficace de les recouvrir à ce moment. Le choc des gouttes de pluie sur la surface du sol diminue toutefois lorsque l'on atteint le milieu de la saison de pluie, grâce à la croissance des feuilles de mil. La Figure 3.1.(2) compare le taux de ruissellement sur des secteurs de culture du mil et des secteurs de terrain nu. Cela permet de constater que le taux de ruissellement diminue dans les secteurs de culture du mil après le premier labour (30 à 40 jours après les semis).

Fig. 3.1.(2) Différence du taux de ruissellement entre un secteur de culture du mil et un terrain nu

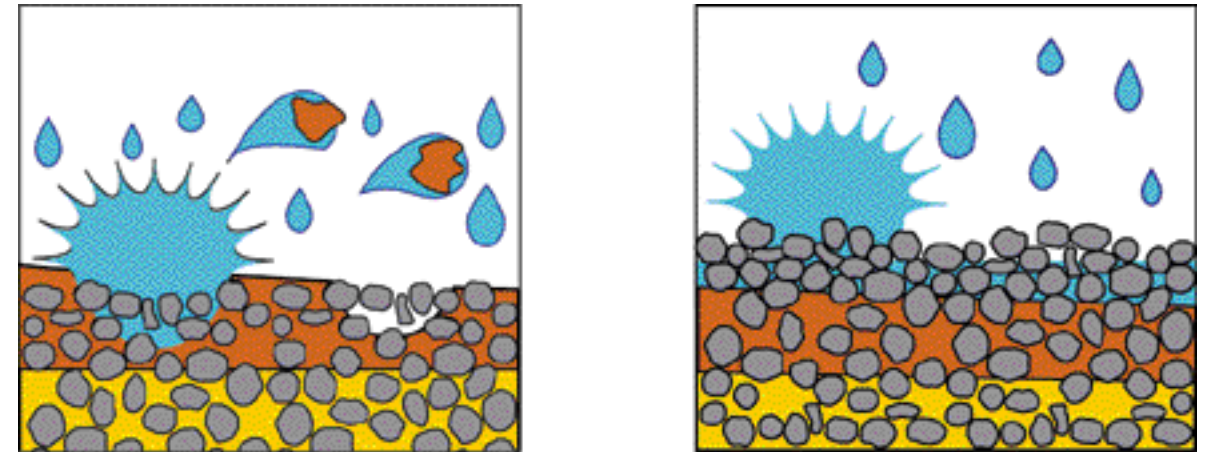


Les résultats de la figure ci-dessus sont ceux d'une terre expérimentale comparativement sableuse. Il est permis de croire que dans les régions où la surface du sol est dure, la diminution du taux de ruissellement par la croissance du mil n'est pas toujours aussi remarquable que dans le cas ci-dessus. Dans de tels cas, on obtiendra de bons résultats en pratiquant la culture associée du mil et du niébé, pour augmenter le taux de couverture de la surface du sol.

c) Protéger le gros sable à la surface du sol

La croûte structurelle (forme que prend la croûte en début de formation) est recouverte de gros sable. Lorsqu'elle perd son gros sable, cette croûte structurelle se développe pour prendre une forme moins perméable, que l'on nomme croûte érosive, mais lorsque le gros sable demeure en surface, il remplit un rôle de protection contre la pluie. Si l'épaisseur du gros sable fait plusieurs centimètres, il s'agit alors d'une protection extrêmement efficace. Or, pour conserver ce gros sable, il est efficace de procéder à un paillage ou d'installer des diguettes selon les courbes de niveau, pour empêcher la vitesse du ruissellement d'augmenter. Dans un champ, il est également efficace de laisser des arbres pour empêcher l'érosion éolienne et favoriser l'accumulation du sol transporté par le vent.

Fig. 3.1.(3) Effet de protection assuré par une couche de gros sable en surface



3) Faire obstacle au ruissellement et en réduire la vitesse

Dans bien des cas, le fait de favoriser la pénétration de la pluie ne suffit pas à empêcher la génération de ruissellement. Lorsque ce dernier survient, non seulement les petites matières comprises dans le paillage et le fumier, mais également le gros sable, sont soumis à l'érosion. Pour empêcher cela, il est alors nécessaire d'empêcher le ruissellement en installant une structure de protection pour le champ, ou de réduire la vitesse du ruissellement.

On utilise généralement comme structure de protection des diguettes de pierres ferreuses et de terre le long des courbes de niveau. Dans le cas de la terre, le ruissellement est empêché par la non perméabilité, tandis que dans le cas des pierres ferreuses, le ruissellement étant temporairement stagnant, sa vitesse se trouve réduite. Dans un cas comme dans l'autre, la vitesse du ruissellement se trouve réduite et il s'ensuit une diminution de la capacité de transport du sol du ruissellement (son caractère érosif).

Les effets ne sont pas toujours remarquables au début aux endroits où l'érosion est déjà bien avancée, mais dans de nombreux cas on constate quand même une amélioration au fil des ans.

4) Concentration de l'eau

Dans le Nord du Sahel, l'insuffisance de la pluviométrie constitue un facteur limitatif de la croissance. Or, il est possible de concentrer l'eau de pluie tombée sur une zone étendue en un seul point, en recourant aux diguettes sur les courbes de niveau et autres moyens mentionnés ci-dessus. Cette pratique se base sur une conception que l'on nomme le "water-harvesting" (captage de l'eau). Cette dernière consiste, non pas à faire s'infiltrer l'eau de pluie sur l'ensemble d'une zone, mais à faire en sorte qu'elle se concentre dans une zone culturale par ruissellement. La collecte d'eau est schématisée à la Figure 3.1.(4). Par exemple, il est possible de multiplier la quantité d'eau utilisable pour les produits cultivés même dans une zone où la pluviométrie n'est que d'environ 400 mm, en la faisant ruisseler du bassin versant à la zone culturale. Le taux d'augmentation dépend alors de la surface occupée par la zone du bassin versant par rapport à celle de culture, ainsi que du taux de ruissellement (volume de ruissellement/pluviométrie).

Fig. 3.1.(4) Schéma de la récolte de l'eau

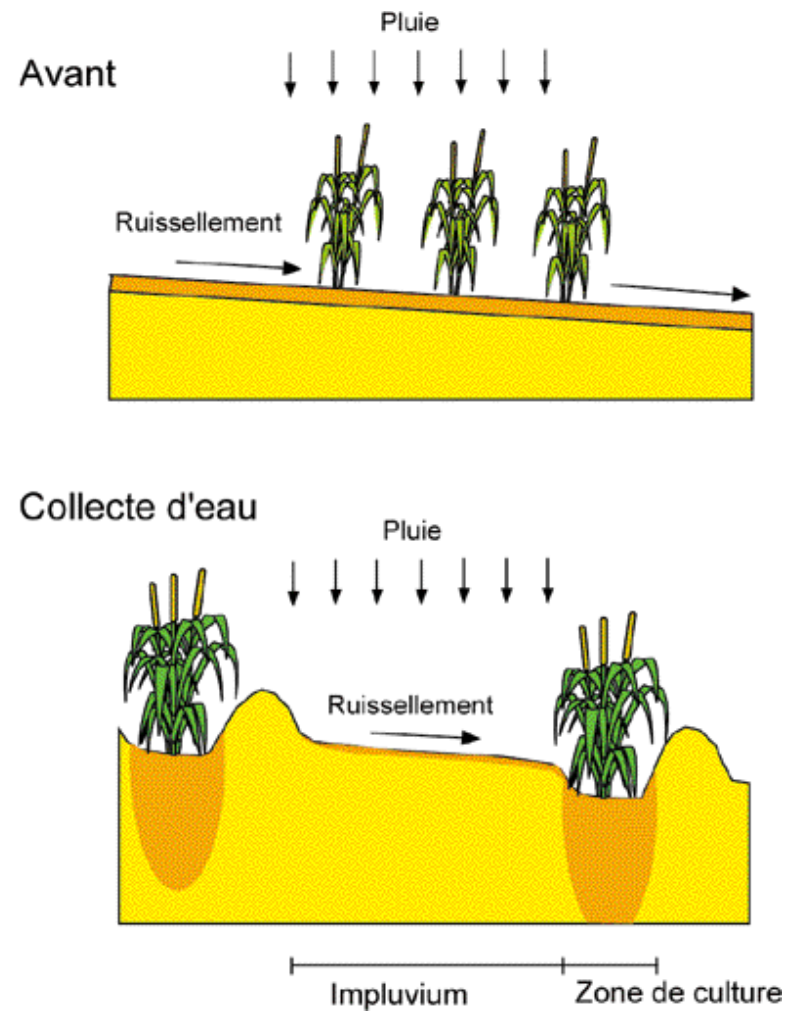
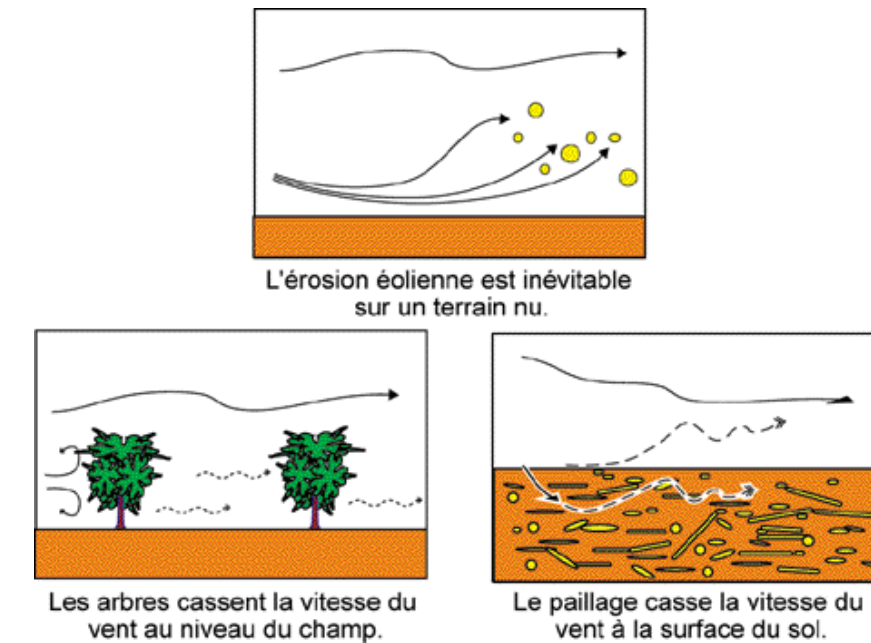


Fig. 3.1.(5) Méthodes de prévention de l'érosion éolienne



3.1.2 Prévention de l'érosion éolienne

La seule façon de prévenir l'érosion éolienne est de faire diminuer la vitesse du vent à la surface du champ. Pour cela, comme l'indique la Figure 3.1.(5), il y a divers moyens, dont notamment : éviter que la terre de culture ne prenne la forme d'un terrain nu, augmenter la rugosité de la surface du sol par le paillage, etc., ou bien laisser des arbres ou des haies vives dans le champ pour le protéger du vent. Dans le Sahel, les matériaux utilisés pour le paillage ne suffisent pas pour couvrir la surface du sol. Avec 1,5 t/ha de résidus végétatifs, le taux de couverture de la surface du sol ne dépasse guère 7%. Toutefois, selon les recherches de Sterk et Stroosnijder (1997), l'application de 1,5 t/ha de résidus de mil pour protéger le sol permettrait de réduire les dommages causés par l'érosion éolienne à un niveau allant de 50% à 80%. Si on considère que l'élément dominant de l'érosion éolienne, la saltation, déplace le sol sur de courtes distances, il est possible de "saisir" le sol et les éléments nutritifs par le paillage. Par la protection fournie par le paillage, le sable accumulé à la surface du sol est également efficace en ceci qu'il facilite l'infiltration. En ce sens, le fait de mettre un champ en jachère pour qu'il retourne entièrement à l'état de prairie est extrêmement efficace.

Au Sahel, un vent saisonnier souffle en provenance du nord-est pendant la saison sèche : l'harmattan. Ce dernier transporte des microparticules (poussières) en provenance du Sahara. Ces poussières sont composées d'argile dans une proportion de 20% à 30%, et de limon pour le reste. Dans le Sahara, on considère les basses terres de Quatara comme un endroit qui produit ces poussières en très grande quantité ; on estime à 400 mètres l'épaisseur de sol qui en a été enlevée par la force éolienne au cours des 2 ou 3 derniers millions d'années (Stahr et al., 1996). En saison sèche le taux de poussières que fait tomber l'harmattan à la surface du sol est peu élevé. Les vents violents qui précèdent les précipitations en saison de pluie transportent les poussières en grande quantité, et la pluie qui leur succède assure qu'elles retomberont au sol. On estime de 50 à 70 kg/m² par année les poussières qui circulent dans l'atmosphère au-dessus du Sahel, dont quelques centaines de grammes par mètre carré retombent effectivement sur la surface du sol. Parmi les composants minéraux de ces poussières, le quartz domine, tandis que parmi les constituants argileux, on trouve beaucoup de kaolinite. Cela n'entraîne pas une modification de la nature du sol, mais cette contribution en argile permet une hausse de sa capacité d'absorption des éléments nutritifs. Les éléments nutritifs contenus dans les poussières (16mg K g⁻¹, 17mg Ca g⁻¹, 7mg Mg g⁻¹, 0,7mg Na g⁻¹) ne contribuent guère au cycle nutritif, mais ces poussières ont une concentration d'éléments nutritifs de 7 à 35 fois supérieure à celle d'une surface moyenne. Si on peut faire en sorte que le développement de brise-vent permette d'accumuler ces poussières, il s'agira d'une contribution positive en éléments nutritifs.

3.1.3 Le rôle des éléments organiques

Les éléments organiques remplissent une très grande diversité de rôles dans le Sahel. Voici quelques exemples ci-dessous.

Rôle chimique

- Absorption des éléments nutritifs du sol (hausse de la CEC)
- Transformation des acides phosphoriques en une forme absorbable, par l'amélioration de la saturation en bases

- Par la revitalisation des micro-organismes du sol, multiplication des fixateurs d'azote

Rôle physique

- Limitation du ruissellement par la protection de la couche de surface du sol
- Amélioration de la structure physique du sol en causant la présence des termites
- Prévention de l'érosion éolienne par le paillage et promotion de l'accumulation du sol qui se déplace dans l'air

1) Le rôle chimique

Tout comme les éléments argileux, les éléments organiques remplissent un rôle d'absorption des éléments nutritifs. Selon Jone et Wild (1975), la capacité d'échange cationique (CEC) du sol des savanes proviendrait des éléments organiques dans une proportion d'environ 80%. Lorsque les éléments organiques diminuent, le lessivage des éléments nutritifs se trouve facilité. Par exemple, si la pluviométrie est considérable en début de saison de pluie, le front d'infiltration progresse plus vite que la croissance des racines du mil, aussi les éléments nutritifs se déplacent-ils vers le bas. Dans un tel cas, les racines n'absorbant pas assez d'éléments nutritifs en phase initiale, cela aurait des effets négatifs sur la croissance du mil (Payne *et al.*, 1990).

Si la saturation en bases s'élève et si la CEC augmente, le phosphore qui était unifié à l'aluminium prend alors une forme facilement absorbable par les plantes (Bationo *et al.*, 1990). Autrement dit, davantage que dans le cas d'engrais chimique uniquement, l'ajout d'éléments organiques fait augmenter la quantité de phosphore absorbé efficacement par les plantes. On a également observé que le fait de revitaliser les micro-organismes du sol, en lui ajoutant des matières organiques, contribue à l'augmentation de l'absorption des éléments nutritifs par les produits cultivés (Hafner *et al.*, 1993). Le système racinaire du mil contient des fixateurs d'azote (Wani *et al.*, 1988). Si on donne au sol des résidus de produits cultivés, les fixateurs d'azote s'activent en se nourrissant du carbone de ces résidus, et la quantité d'azote qui retourne de l'atmosphère au sol augmente. Dans certains cas, la quantité d'azote absorbée par les produits cultivés est plus grande que celle appliquée en tant que fumure. Ainsi, même dans un champ sans application de fumure et où le mil pousse à un certain point, il est fort probable que cela soit dû à la contribution des fixateurs de l'azote. Lorsque l'activité des micro-organismes devient plus intense dans le sol, les hormones végétales sécrétées favorisent la croissance des racines (et en particulier des poils absorbants) (Joshi et Rao, 1989 ; Martin et al., 1989), avec pour résultat, selon Hafner *et al.*, une élévation du taux d'absorption du phosphore. D'après leurs expériences, si on compare la quantité de phosphore absorbée lorsque le sol n'a eu qu'une application d'engrais chimique et lorsqu'on lui a également ajouté des résidus de produits cultivés, les résultats sont trois fois supérieurs, voire davantage, avec les résidus de produits cultivés.

2) Le rôle physique

Nous retranchons ici cette section, puisqu'elle a été abordée plus haut lorsque nous avons traité de la prévention de l'érosion hydrique et de l'érosion éolienne.

3.1.4 Efficacité des engrais chimiques

Même dans le cas de mesures de conservation parfaites contre l'érosion hydrique et l'érosion éolienne, si la culture continue du mil est effectuée sans mise en jachère, la désertification se poursuivra à cause du manque

d'éléments nutritifs dans le sol. Comme nous l'avons vu dans la section sur le sol, les facteurs limitatifs de la culture pluviale dans le Sahel sont, d'une part, l'insuffisance d'eau dans le sol en raison de la progression de l'érosion du sol, et, d'autre part, l'insuffisance en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphate. Ce dernier facteur devient très important dans des zones où la perméabilité du sol est originellement élevée. Dans les conditions actuelles, où la superficie de culture par personne diminue d'année en année, une hausse de la productivité par unité de surface agricole permettrait de réduire la surface effectivement cultivée, de rendre possible une mise en jachère adéquate, et de réduire le travail que la culture nécessite.

L'utilisation des engrais chimiques pour la culture pluviale d'autoconsommation dans le Sahel (celle du mil par exemple) comporte des risques du point de vue des coûts que cela implique. Des méthodes moins onéreuses doivent d'abord être envisagées dans la mesure du possible, telles que l'utilisation des excréments du bétail et le retour des résidus végétaux aux terres de culture, mais dans les cas où cela ne suffit toujours pas, on peut utiliser les engrais chimiques pour assurer la durabilité de la fertilité du sol. Il importe toutefois de prêter une grande attention au fait qu'accorder une confiance excessive aux effets des engrais chimiques peut toutefois avoir des conséquences contraires s'il ne s'accompagne pas d'un effort de gestion des terres de culture.

Les quantités de fumure recommandées par l'INRAN et l'ICRISAT au Niger (Ly *et al.*, 1997) sont les suivantes.

- Azote : 30 kgN/ha (soit l'équivalent de 60 kg/ha d'urée). L'épandage a lieu deux fois, 3 semaines et 6 semaines après les semis, une fois le sarclage et le labour effectués. Si on ne dispose pas de l'argent nécessaire, épandre la moitié de cette quantité.
- Phosphate : 30 kgP₂O₅/ha. L'épandage a lieu avant le début de la saison de pluie.

Ainsi, dans une région où la pluviométrie est de 400 à 800 mm, une augmentation des rendements de l'ordre des 300 kg/ha serait possible. Selon la FAO (1991), en tenant compte du prix de la fumure, les retours que l'on peut attendre de l'épandage sont limités aux zones fertiles dont le rendement est de 400 kg/ha même sans fumure, avec une pluviométrie de 300 mm ou plus. Grâce à l'épandage, la croissance des produits cultivés est stimulée, et la quantité d'eau absorbée augmente. Il est donc important de procéder à un épandage dans les régions où l'infiltration de l'eau est suffisamment assurée par la conservation des terres agricoles. Par ailleurs, pour que l'engrais phosphaté puisse agir avec efficacité, il faut que l'on assure au sol suffisamment d'éléments organiques par l'introduction de résidus de produits cultivés et de fumier. On peut dire la même chose du point de vue de la prévention du lessivage de l'azote.

3.1.5 Ce que signifie la conservation par la végétation

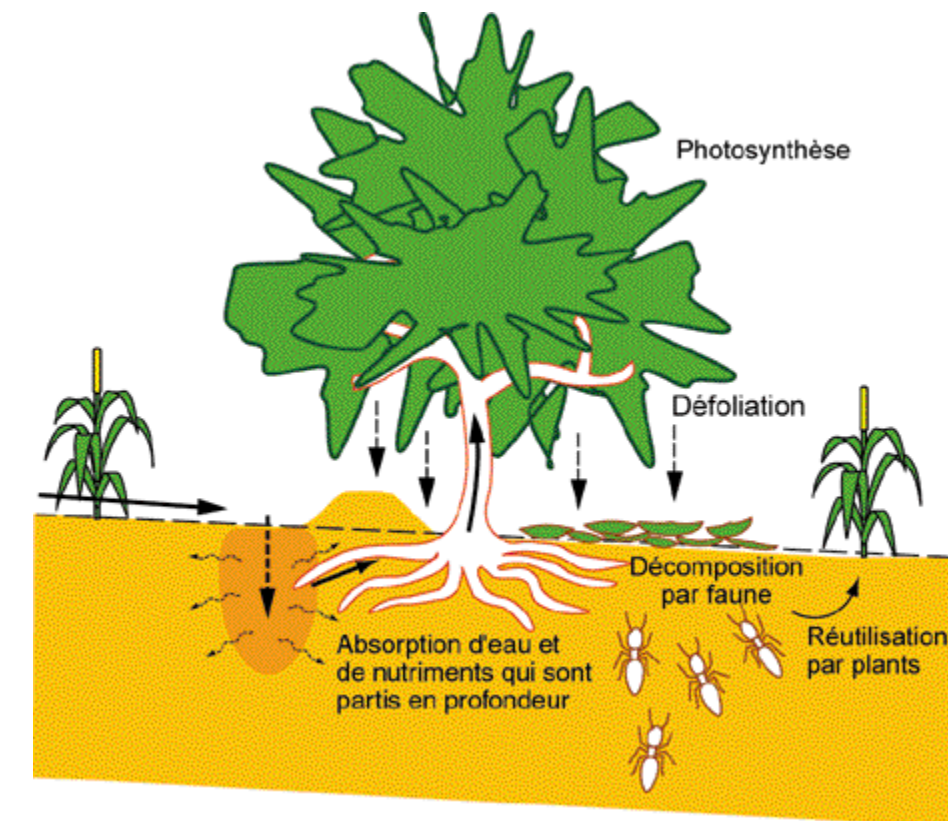
Dans l'ensemble, les agriculteurs du Sahel n'aiment guère laisser des arbres dans leurs champs. On peut mentionner comme raisons les attaques aviaires que cela provoque pendant les récoltes, et l'ombre formée par ces arbres. Il importe toutefois de prendre conscience des nombreux bénéfices qu'entraîne la présence de végétation dans un champ. Ces bénéfices sont énumérés ci-dessous, de façon simple.

- Cela affaiblit la vitesse du vent dans le champ, réduisant ainsi les dommages causés par l'érosion éolienne et permettant l'accumulation du sol.

- b) L'herbe remplit un rôle protecteur et complémentaire aux travaux de conservation des terres agricoles, et limite le ruissellement.
- c) Les arbres absorbent l'eau à une profondeur hors de portée des produits cultivés, ainsi que les éléments nutritifs emportés vers le bas par le lessivage ; ils retournent également de la matière végétale au sol lors de la défoliation.
- d) Nombreuses sont les légumineuses qui contiennent des fixateurs d'azote et retournent ainsi des éléments nutritifs aux produits cultivés.
- e) Les feuilles tombées des arbres constituent une source d'éléments organiques, favorisant ainsi l'activité des micro-organismes dans le sol.

Nous avons déjà abordé la question du rôle physique des éléments a) et b). L'effet protecteur des diguettes de terre et de pierres ferreuses le long des courbes de niveau diminue d'année en année parce qu'elles sont soumises à l'érosion et à l'accumulation de sol. Par contre, si on profite de l'amélioration des conditions d'eau dans le sol aux environs de ces ouvrages pour faire pousser des herbes et des arbres, on obtiendra des résultats au niveau de la protection des travaux de conservation et de la prévention de l'écoulement du sol. Quant à l'élément c), il est particulièrement efficace dans le cas d'un sol à perméabilité élevée. Par le lessivage des éléments nutritifs à l'année à pluviométrie élevée, il arrive que ces éléments se déplacent vers le bas à une vitesse supérieure à celle de croissance des racines des plantes, entraînant une diminution du rendement des produits cultivés. Fondamentalement, cette eau qui s'est enfoncée ne peut pas être réutilisée, mais elle peut revenir au sol sous la forme des feuilles qui, tombées sur le sol, proviennent des arbres aux racines profondes. L'utilisation des feuilles et des branches pour le paillage intensifie également l'activité des termites, menant ainsi à une plus grande perméabilité des champs voisins. L'agroforesterie, en combinant le boisement et la culture, représente un moyen extrêmement efficace d'assurer la durabilité là où le sol est pauvre en éléments nutritifs, aux environs des zones tropicales. Dans une région comme le Sahel, où la production de la biomasse est peu élevée, il est extrêmement important d'élever cette production par la combinaison des produits cultivés et des arbres, mettant efficacement à contribution les éléments nutritifs et l'eau.

Fig. 3.1.(6) Cycle nutritif mettant à profit les arbres



3.2 Méthodes de conservation des terres agricoles dans le Sahel

3.2.1 Evolution historique des méthodes de conservation des terres agricoles

Avant d'aborder concrètement la question des travaux de conservation des terres agricoles, nous présentons de façon simple les changements qu'ont connus les méthodes de conservation du sol dans le Sahel. Les conceptions relatives aux méthodes de conservation du sol ont beaucoup changé des années 1960 à aujourd'hui. Pour dire les choses simplement, il y a eu un passage d'une conception axée sur le progrès technique à une conception axée sur la participation des gens, cette dernière impliquant des travaux simples, faciles et peu onéreux.

1) De la période initiale au début des années 1980

Dans les années 1960, la pluviométrie étant plus élevée qu'en moyenne dans le Sahel, les premiers projets concernèrent davantage la conservation du sol dans un sens restreint que la lutte contre la désertification dans un sens large. On construisit alors principalement sur plusieurs milliers d'hectares des diguettes de prévention contre l'érosion, par le recours à la force des machines, mais puisqu'on ne prit pas en considération la participation des gens tant au niveau de la planification que de l'envergure des projets, nombre d'entre eux s'avérèrent des échecs, faute de pouvoir assurer la gestion et les réparations une fois les travaux terminés. A partir du début des années 1970, en dépit du fait que la pluviométrie affichait alors une remarquable tendance à la baisse, de nombreux projets continuèrent d'être centrés sur une définition étroite se limitant à la conservation du sol. Des projets et des

activités d'ONG prenant en considération la participation des habitants commencèrent ici et là, mais dans l'ensemble, la situation restait la même. C'est avec l'entrée dans les années 1980 qu'un mouvement de révision a pris naissance quant à la façon de réaliser les projets, sur la base d'une prise de conscience des erreurs du passé. En 1984, à Nouakchott en Mauritanie, lors d'une réunion des pays membres de CILSS (Comité inter-états de la Lutte contre la Sécheresse au Sahel), les méthodes de gestion du terroir ont été pour la première fois présentées, faisant clairement appel à la participation des habitants en tant que stratégie régionale de lutte contre la désertification.

2) Début de la participation des villageois, par la méthode de gestion du terroir

Le terme terroir désigne un territoire villageois, c'est-à-dire un espace dont la possession et l'utilisation sont reconnues par les autres communautés. Quant à l'expression "gestion du terroir", elle renvoie à l'ensemble des actions des habitants pour la gestion durable d'un territoire et la hausse de sa productivité, dont notamment : la formation d'organisations, l'amélioration des conditions socio-économiques, la gestion des ressources naturelles et l'introduction de technologies.

Jusque-là, les mesures de lutte contre la désertification étaient prises dans le cadre de projets et sous l'initiative d'organismes publics, du début à la fin : analyse des conditions d'utilisation du sol, proposition et réalisation de projet, puis évaluation des travaux. A l'opposé, la gestion du terroir s'effectue fondamentalement sous l'initiative des habitants, ces derniers se chargeant eux-mêmes de la planification et de l'exécution des activités. Le rôle premier des projets et des organismes publics se situe ainsi au niveau des activités de vulgarisation et de formation auprès des habitants pour qu'ils puissent élaborer leurs plans de gestion du terroir. Deuxièmement, ce rôle consiste à apporter un soutien technique et financier à la réalisation des plans de gestion du terroir ainsi élaborés. La gestion du terroir se caractérise donc par la position qu'elle accorde clairement aux projets et aux organismes publics en tant que "soutien arrière" de l'activité autonome des habitants contre la désertification.

3) Période de propulsion de grands projets par le programme *Food for Work*

Lors de la grande sécheresse des années 1983-84, la région Nord du Sahel fit face à un effondrement total de ses infrastructures de production et tomba dans une situation de crise. Dans un tel contexte, on établit comme tâche urgente la restauration, à grande échelle, des unités de bassin versant. Pour cela, on eut amplement recours au programme *Food for Work* des Nations Unies, qui représente une forme d'aide alimentaire gratuite faisant appel à la participation des habitants. Les participants fournissant leur force de travail pour les travaux de restauration recevaient comme salaire de la nourriture. Cette formule est considérée comme une aide de nature socio-économique visant la promotion de la gestion des terroirs, et tout particulièrement la participation des habitants. Il ne s'agit pas d'une forme de participation spontanée des habitants, mais elle a quand même le mérite de garantir le maintien du cadre de vie des habitants en situation de crise, et de leur fournir une chance d'apprendre les méthodes appliquées aux travaux de restauration, et de s'initier à la gestion. Outre le fait que cela stimule le désir de travailler chez les habitants, cela a également pour avantage de faciliter la réalisation de travaux de grande envergure grâce à la participation élargie au-delà des personnes qui bénéficient directement de ces travaux.

Le programme *Food for Work* a joué un grand rôle en tant que catalyseur de la participation des habitants, mais il comporte un inconvénient en ceci qu'il crée une relation de dépendance envers l'aide dans les villages bénéficiaires lorsque la formule est appliquée sur une longue période.

4) Vers une participation des habitants en tant qu'acteurs principaux

Au cours des dernières années, cette formule a subi une modification en faisant appel à la participation non rémunérée des habitants aux projets, en tant qu'acteurs principaux de la lutte contre la désertification. A cette fin, les orientations ci-dessous ont pris davantage d'importance (Yacouba et al., 1995).

- Le respect des évaluations des habitants.
- La priorité de la conservation des terres agricoles sur une base individuelle (les retours que procurent les effets de la conservation sont alors plus rapides que dans les cas des terres communautaires).
- La diffusion de l'éducation en matière de gestion des ressources naturelles.
- La modification de la législation et l'adoption de nouvelles réglementations pour la gestion des ressources naturelles, aux niveaux régional et national.

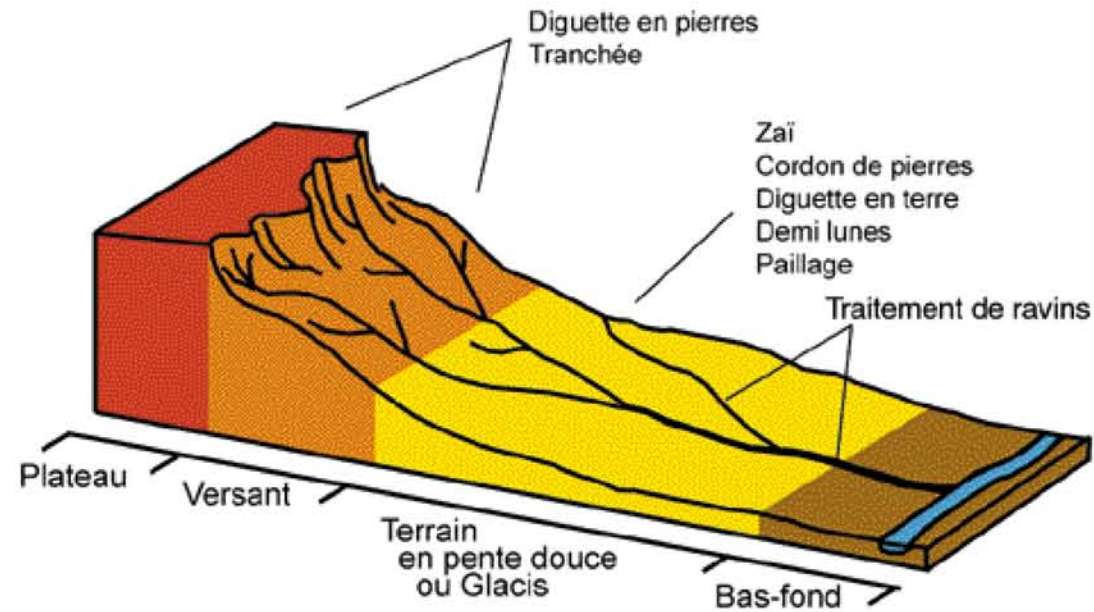
Ainsi, dans ce courant de participation des villageois, la priorité s'est déplacée vers la réduction des coûts, et cela même dans la sphère technique. Les travaux de conservation ont pour objet des aires plus petites, telles que les villages et les terres de culture, et la priorité est accordée à des techniques simples et de diffusion facile. Une autre des grandes caractéristiques est la combinaison des techniques. On est passé de la conservation du sol à la conservation du sol et de son humidité, et au water-harvesting, et on combine de plus en plus la conservation du sol avec le boisement et la plantation de fourrage (Reij, 1989).

3.2.2 Sélection de méthodes adaptées à la topographie

A la section 3.1.1, nous avons abordé la question de la nécessité de prendre des mesures à la source du ruissellement pour faire obstacle à l'érosion hydrique. La main-d'oeuvre et le temps de travail sont toutefois limités lorsque l'on fait appel à la participation des habitants pour les travaux de conservation du sol et de son humidité. De plus, puisque les résultats de ces activités ne se manifestent qu'au bout d'une longue période, il n'est pas facile de motiver suffisamment les agriculteurs. Dans de telles conditions, en tant que solution de rechange, il a été proposé de commencer la conservation du sol et de son humidité sur les terres de culture. La raison en est que, sur les terres de culture, les résultats de la conservation du sol et de son humidité se reflètent au niveau des rendements, d'où la facilité de stimuler la volonté de travailler. Par contre, étant donné la distance qui sépare les hauteurs d'une pente et les plateaux des villages, les résultats de la conservation atteignent difficilement les individus. Par conséquent, on a réalisé qu'il serait plus efficace, dans de telles régions, de passer à la conservation une fois le concept de gestion du terroir développé dans les villages. La Figure 3.2.(1) effectue une classification des méthodes de conservation du sol et de son humidité telles qu'on les retrouve dans l'ensemble du Sahel, suivant les unités topographiques. Les travaux de conservation sur les plateaux et les versants nécessitent un travail communautaire (avec le village pour unité de travail), à cause de l'envergure du ruissellement. Pour la conservation des terres de culture, les travaux communautaires en groupe sont souhaitables pour la construction des cordons de pierres et des diguettes en terre. Quant aux autres travaux, ils s'effectuent sur une base individuelle. Finalement, les travaux de traitement des ravins prennent de l'ampleur à mesure qu'ils se trouvent en

aval, aussi nécessitent-ils alors beaucoup de travailleurs. Chacune des méthodes de construction est présentée ci-dessous de façon détaillée.

Fig. 3.2.(1) Méthodes des travaux de conservation selon les divisions topographiques.

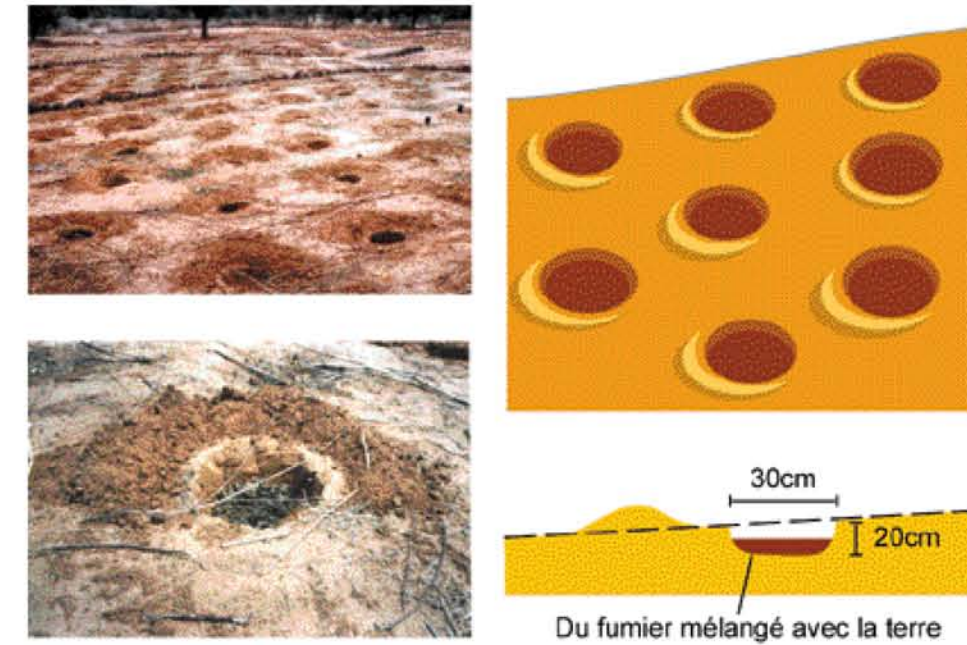


3.2.3 Méthodes de conservation des terres de culture

1) Zai

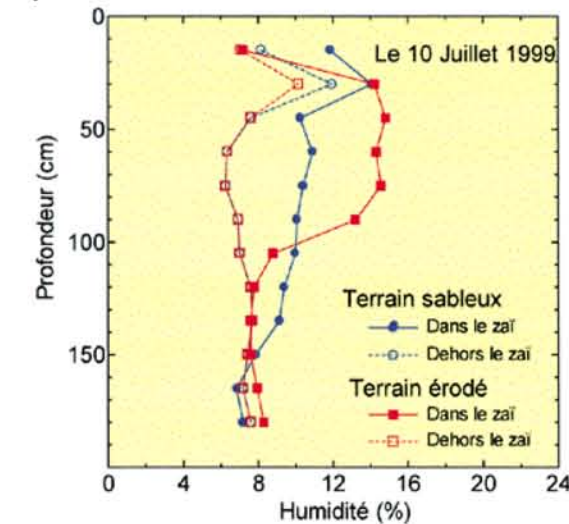
Le zai était une technique de culture traditionnelle au Burkina Faso et au Niger, mais puisqu'il demande un travail intensif, il a été abandonné et oublié dans la plupart des régions. Son utilisation a toutefois été rétablie en faisant l'objet d'un raffinement, dans la deuxième moitié des années 1980 dans la région de Yatenga au Burkina Faso ; depuis qu'il a connu du succès, il est également en voie de rétablissement au Niger, en tant que méthode traditionnelle de conservation de la terre et de culture améliorée.

Fig. 3.2.(2) Aperçu du zai



Le zai, pratiqué pendant la saison sèche, est une technique qui consiste à creuser des trous d'un diamètre d'environ 30 cm entre les espaces de culture du mil, puis à les remplir de nouveau en mélangeant environ 500 g de fumier à la terre. Les trous ne sont toutefois pas complètement remplis, mais seulement jusqu'à une profondeur d'environ 10 cm, et l'excédent de terre est accumulé du côté le plus bas, pour contribuer à la capture du ruissellement (voir la Figure 3.2.(2)). Il s'agit d'une forme simple de récolte de l'eau, qui permet efficacement de concentrer l'eau aux endroits où le mil est cultivé, et d'éviter la perte du fumier par le ruissellement. Les semis de mil nécessitent normalement 20 mm ou plus de pluie. Or, le zai a également comme avantage de permettre les semis de mil même avec une faible pluviométrie, en concentrant ainsi l'eau. Bien que cela varie selon les conditions du sol, il est d'ordinaire possible pour une (1) personne de fabriquer 50 zai par jour. Quant à la densité des trous, elle est souvent établie en fonction des espaces de culture du mil.

Fig. 3.2.(3) Comparaison de l'humidité du sol à l'intérieur et à l'extérieur du zai



En mélangeant le fumier au zaï, les termites s'en nourrissent avant la saison de pluie. C'est pourquoi, même sur un terrain nu où ne pousse aucune herbe, des macropores se forment aux alentours des zaï, favorisant l'infiltration. La Figure 3.2.(3) présente une comparaison de l'humidité du sol à l'intérieur et à l'extérieur du zaï, et elle permet de constater que des lignes de front d'infiltration se développent jusqu'à une profondeur considérable.

Le zaï ne nécessite pas de travaux communautaires, ces travaux pouvant être effectués de manière individuelle pendant la saison sèche. Puisqu'il n'est pas nécessaire de procéder à des travaux de recherche des courbes de niveau, il s'agit de la technique la plus simple et elle jouit d'une très grande popularité auprès des agriculteurs comparativement aux autres méthodes de conservation. Cependant, dans une pente où l'érosion est avancée, il suffit que la pluie tombe une seule fois pour boucher les trous si le zaï n'est pas pratiqué en combinaison avec d'autres méthodes. Ces effets sont par exemple plus durables s'il est combiné avec des cordons de pierres, comme nous allons le voir plus bas. Il faut par ailleurs prendre garde de creuser les zaï trop profondément, sinon les plantes poussant à partir d'une graine seront submergées pendant leur début de croissance et se flétriront.

Le Tableau 3.2.(1) indique les résultats des essais de restauration d'un terrain nu par le zaï, dans le village de Magou. Avec l'application d'environ 800 g (4 t/ha) de fumier dans un trou de zaï en 1998, nous avons obtenu des récoltes de 1550 kg/ha avec une variété locale. Il s'agit environ du double des récoltes (760 kg/ha) obtenues à proximité dans une section de culture sans engrais. En 1999, la quantité de fumier a été réduite à 300 g par trou (1,5 t/ha). Au début de la saison de pluie, des précipitations considérables et répétées ont toutefois causé des dommages (ensevelissement des plantes, etc.), aussi l'augmentation des récoltes ne fut-elle que minime. Le zaï entraînant des frais de main-d'oeuvre en saison sèche, le fait de mettre un peu plus de fumier sera profitable, en ceci qu'il en résultera une élévation du taux de survie initiale pour le mil.

Tableau 3.2.(1) Comparaison des volumes de récoltes entre la section avec zaï et la section cultivée selon les méthodes ordinaires

Année	Quantité du fumier (t/ha)	Rendement (kg/ha)	
		Zaï	Témoin
1998	4	1.550	760
1999	1,5	710	556

2) Cordons de pierres

Comme permet de le constater la Figure 3.2.(4), la technique des cordons de pierres consiste à enfoncer environ du tiers des pierres ferreuses le long des courbes de niveau, avec pour résultats la diminution de la vitesse du ruissellement et la limitation des pertes en sol et en matières organiques. Les pierres ferreuses qui forment le matériau des cordons sont transportées des plateaux. Pour mesurer les courbes de niveau, on utilise un instrument de mesure simple, en reliant à deux bâtons un tuyau d'arrosage transparent. Etant donné le fardeau que représente le transport des pierres pour les cordons, la distance qui sépare le lieu de cueillette du lieu des travaux constitue un facteur limitatif. Dans les projets, une aide est alors apportée, soit pour l'achat de charrettes, soit pour le transport des pierres par véhicule lorsque la distance est trop grande pour les charrettes. Quant à la

construction des cordons, les charges de travail sont réparties entre les groupes. La combinaison des cordons avec les zaï mentionnés ci-dessus permet d'obtenir de meilleurs résultats.

Dans les tests réalisés par la JGRC au Niger sur une pente sableuse douce (2,8%), les cordons de pierres ont réduit d'environ 40% le volume de ruissellement sur le terrain nu. Les cordons provoquent une submersion temporaire par le ruissellement, mais les eaux se fauillent bientôt à travers les interstices des pierres pour poursuivre graduellement leur descente. C'est pourquoi le taux d'humidité du sol augmente à proximité des cordons de pierres, mais entraîne une légère amélioration de l'infiltration même aux autres endroits, comme le montre la Figure 3.2.(5). Si la protection du gros sable est assurée en surface sur une longue période, la perméabilité se trouvera améliorée dans l'ensemble. A partir du milieu de la saison de pluie, les herbes deviennent luxuriantes aux environs des cordons de pierres, assurant un plus grand effet de prévention de l'érosion du sol. Dans le cas d'une pente douce au sol sableux, les cordons de pierres sont espacés de 15 à 30 mètres environ. Si le sol n'est pas très perméable et si la pente est abrupte, il est préférable de réduire cet espace. Fondamentalement, l'espacement doit être tel qu'il empêche une vitesse de ruissellement telle qu'elle engendre l'érosion en rigoles.

Fig. 3.2.(4) Aperçu des cordons de pierres

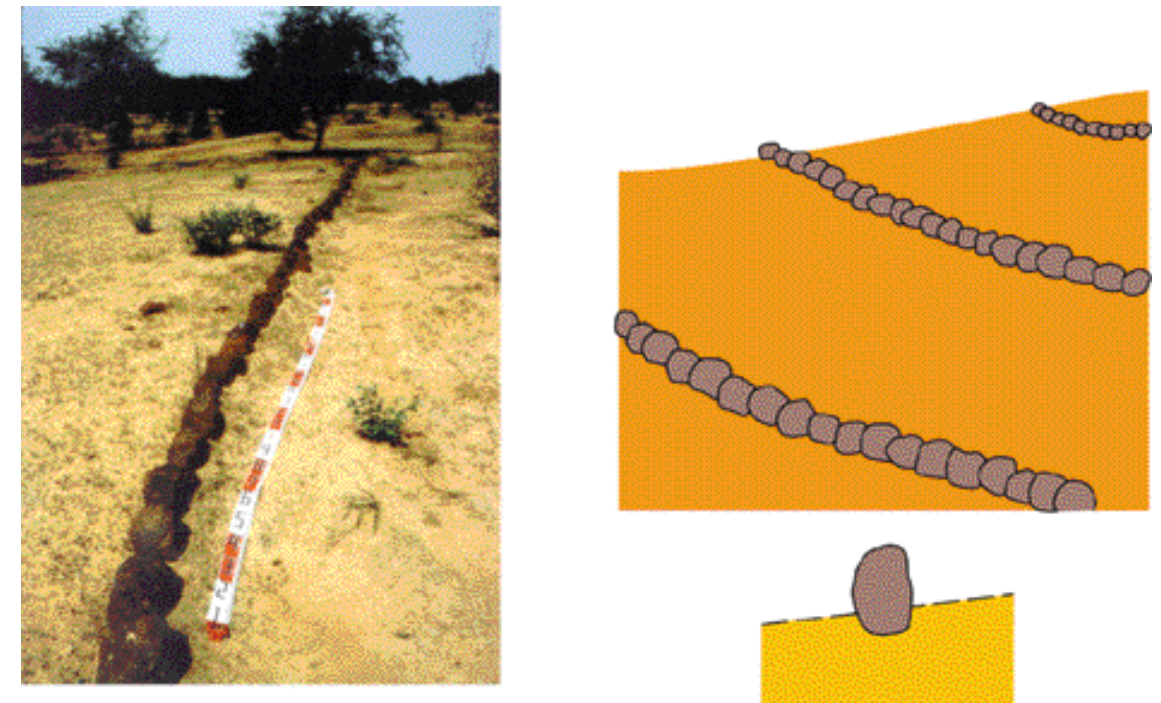
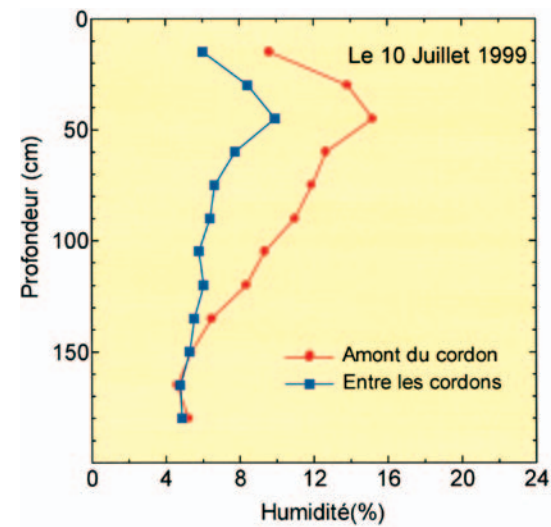


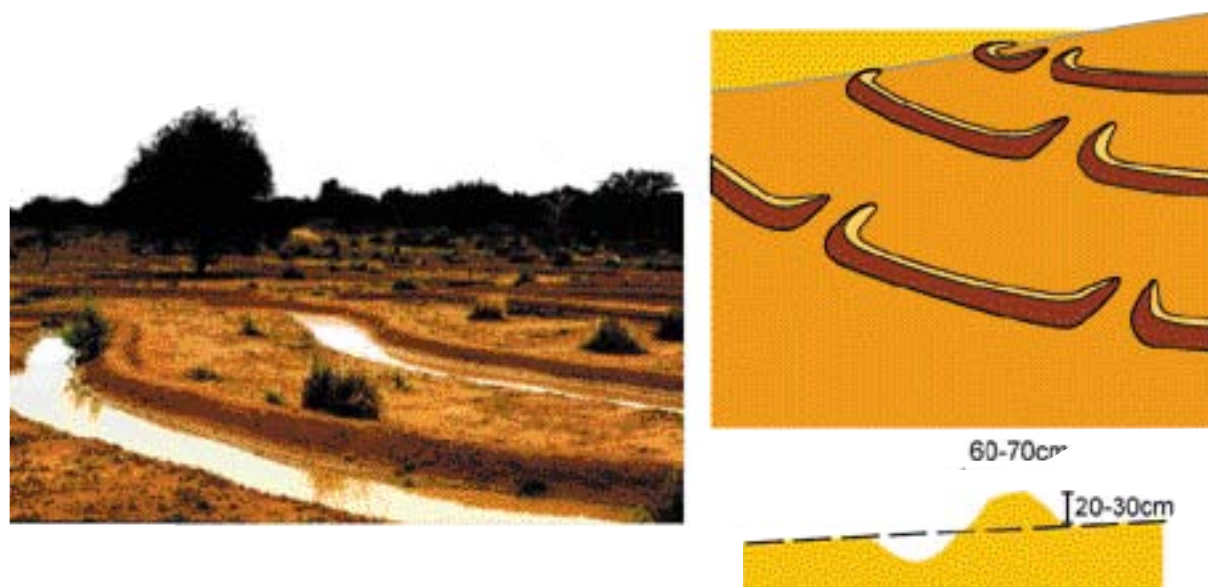
Fig. 3.2.(5) Comparaison du volume d'humidité du sol aux environs des cordons



3) Diguettes en terre

Comme le montre la Figure 3.2.(6), les diguettes en terre sur les courbes sont formées par élévation puis par pilonnage du sol. Leur plus grand avantage est qu'elles ne nécessitent pas de transport de matériaux. Par ailleurs, à la différence des cordons de pierres, elles empêchent parfaitement le ruissellement dans la mesure où celui-ci ne les franchit pas. Par contre, les diguettes sont facilement détruites lorsque le ruissellement les déborde. Pour cette raison, il importe que les courbes de niveau soient bien mesurées et que le pilonnage soit effectué pendant la saison des pluies alors que le sol est humide. Il s'agit là de contraintes techniques qui impliquent un transfert de connaissances techniques difficile à réaliser dans les circonstances actuelles. Du point de vue topographique, l'application de cette méthode n'est donc possible que dans les régions où le ruissellement en provenance de l'amont n'est pas considérable. A long terme, on peut s'attendre à ce qu'elle permette le nivelage de la pente et la formation de terrasses.

Fig. 3.2.(6) Aperçu des diguettes en terre sur les courbes de niveau



Comme le montre la Figure 3.2.(7), l'humidité du sol est très élevée aux alentours des diguettes, puisque le ruissellement s'y accumule. L'amont des diguettes ne convient pas pour la culture du mil, mais il est adéquat pour y planter des arbres qui consomment beaucoup d'eau. En aval des diguettes, la croissance du mil est excellente. Par ailleurs, comme permet de le constater la figure, la croissance des produits cultivés varie selon la nature du sol entre les diguettes. Sur un sol soumis à l'érosion, plus on approche des diguettes, plus la croissance tend à être bonne. Par contre, sur un sol sableux à bonne perméabilité, la croissance est irrégulière. Cela serait dû à l'irrégularité de la perméabilité. L'amélioration du taux d'humidité en aval des diguettes est d'environ 1 m. Même sur un sol sableux, les diguettes peuvent durer pendant environ 5 ans si le pilonnage est bien effectué. Aux endroits où l'horizon d'accumulation argilique est exposé dans les zones soumises à l'érosion, les diguettes deviennent très rigides après le pilonnage.

Fig. 3.2.(7) Répartition de l'humidité aux environs des diguettes

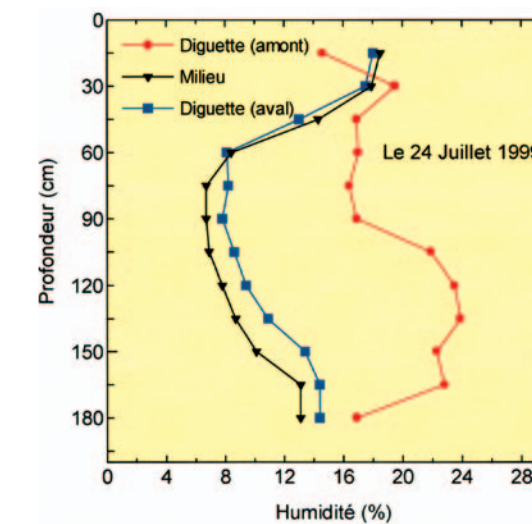
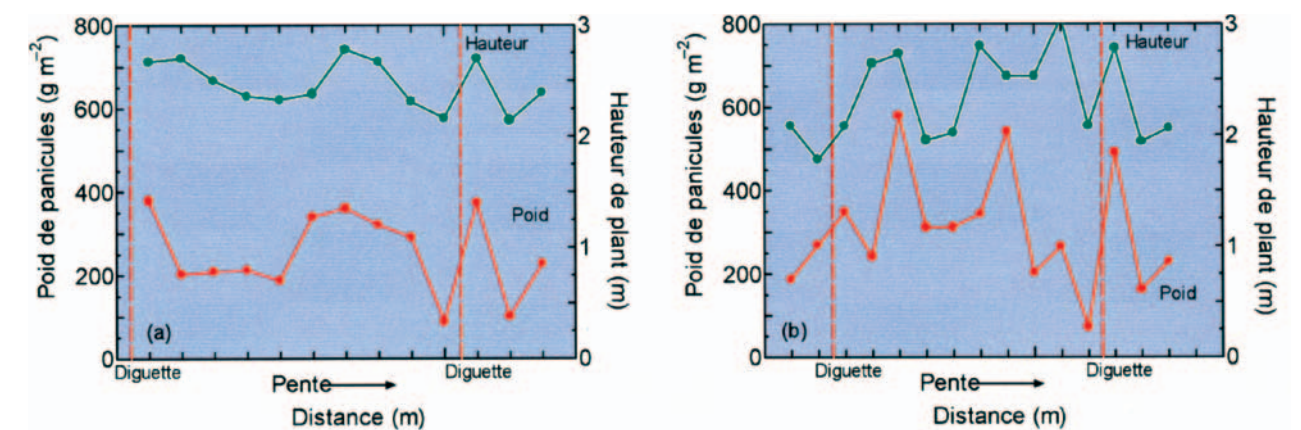


Fig. 3.2.(8) Profil de croissance des produits cultivés entre les diguettes

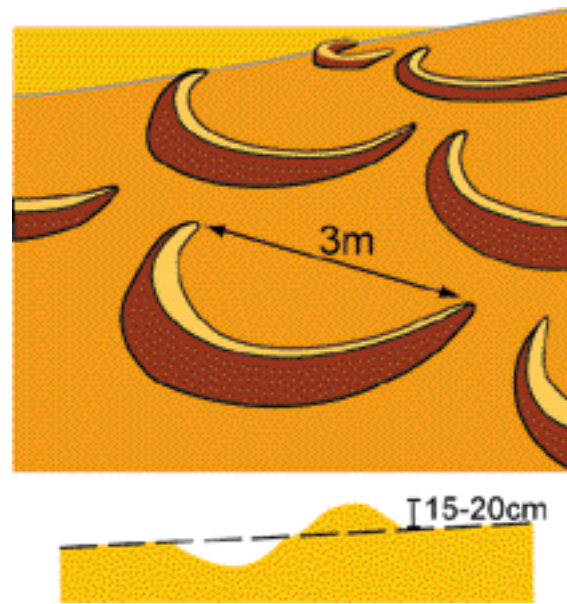
(a) Sol soumis à l'érosion (b) Sol sableux



(4) Demi-lunes

Comme le montre la Figure 3.2.(9), la méthode des demi-lunes consiste en la récolte d'eau par la construction de diguettes de terre en forme de demi-lune et dont l'ouverture est orientée vers le haut de la pente. Dans une région dont la pluviométrie est d'environ 400 mm, on recommande un diamètre de 3 mètres, et une densité de 625 demi-lunes par hectare (espacements horizontal et vertical de 4 m). Cette méthode, à l'instar des diguettes sur les courbes de niveau, est utilisée dans les zones où les pierres ferreuses ne sont pas assez nombreuses pour la construction de cordons de pierres. Il s'agit d'une structure extrêmement simple, qui ne demande que l'accumulation de terre en forme de demi-lune à l'aide d'une pelle. Elle ne nécessite pas de mesures, mais sa résistance étant peu élevée, il faut la remplacer à chaque nouvelle culture. Il est possible pour une (1) personne de construire environ 40 demi-lunes en une journée. Il est préférable de mélanger du fumier au sol à l'intérieur de la demi-lune, pour y améliorer la condition du sol. Tout comme le zaï, la méthode des demi-lunes a pour avantage la possibilité de faire les travaux de manière individuelle. Mais à long terme, ses effets de conservation du sol sont peu élevés.

Fig. 3.2.(9) Aperçu de la méthode des demi-lunes



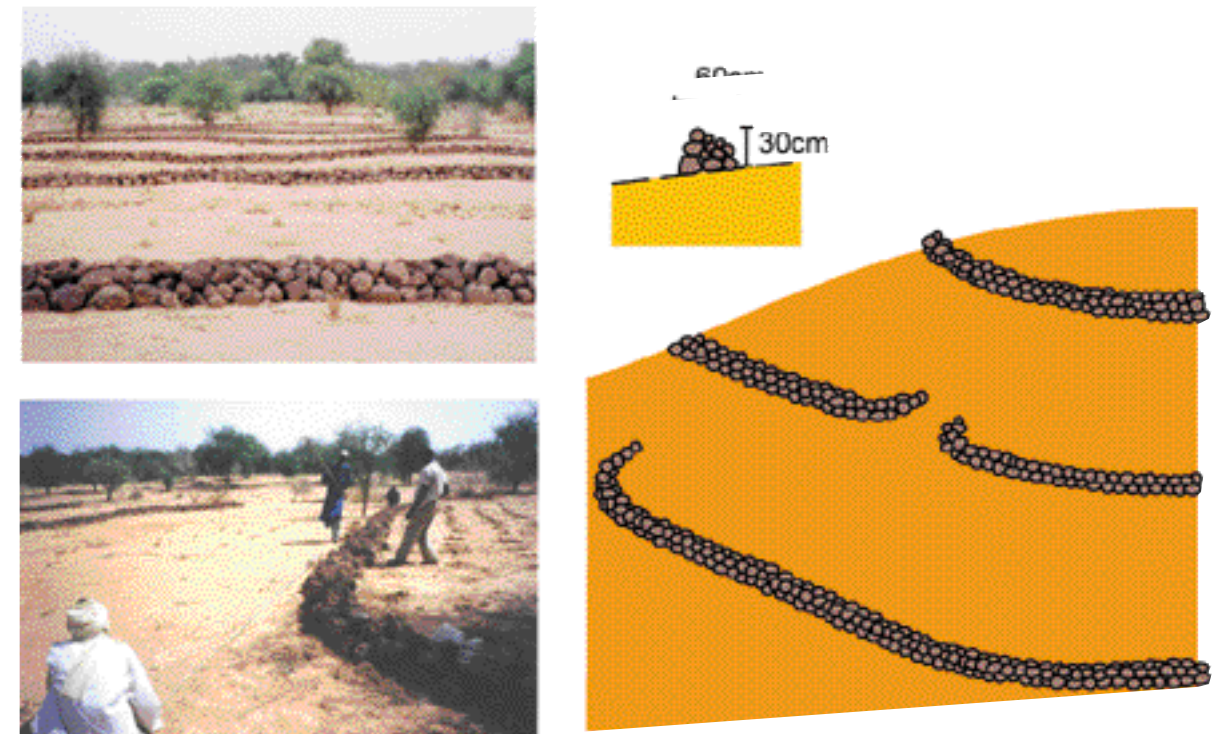
3.2.4 Conservation des plateaux et des versants

1) Diguettes en pierres

Les diguettes en pierres nécessitent davantage de pierres que les cordons. La Figure 3.2.(10) fournit une vue schématisée de cette méthode. Elle convient aux endroits où le volume de ruissellement est élevé. Elle ne comporte aucune difficulté particulière du point de vue technique, consistant simplement à empiler des pierres le long des courbes de niveau. Bien que les diguettes en pierres soient très résistantes, le nombre considérable de pierres qu'elles nécessitent a pour conséquence qu'elles conviennent à des plateaux et versants où l'approvisionnement en pierres est facile. Cette méthode de conservation est toutefois également utilisée dans des terres basses et planes où les eaux de ruissellement se concentrent.

Il s'agit fondamentalement d'une structure conçue pour réduire la vitesse du ruissellement, aussi ne nécessite-t-elle pas une grande précision de mesure des courbes de niveau comme dans le cas des diguettes de terre. D'une grande souplesse, cette méthode peut même aisément être utilisée lorsqu'il y a des rigoles et des ravins. Du fait que les diguettes en pierres sont installées aux endroits où le ruissellement est considérable, l'accumulation du sol du côté amont des diguettes se poursuit à un rythme rapide. On peut donc s'attendre à la formation de terrasses. Même sur un terrain nu, les mauvaises herbes prendront rapidement, et au bout de quelques années, l'accumulation de sol sablé suffira bientôt à rendre possible la culture. Si on pratique la culture sur une surface dure comme celle des plateaux, il est alors nécessaire de recourir à des expédients tels que le broyage du sous-sol ou le creusage de zaï, pour assurer l'infiltration de l'eau. Par ailleurs, en de tels endroits, la culture du sorgho convient davantage que celle du mil. Quant au côté aval des diguettes en pierres, il convient pour planter des arbres. Sur les terres planes telles que les plateaux, il faut espacer les diguettes de 20 à 50 mètres, et utiliser les espaces entre ces dernières comme zones de ruissellement pour le water-harvesting. Quant aux versants, il est souhaitable d'espacer les diguettes de 15 mètres ou moins, en prévision de la formation de terrasses.

Fig. 3.2.(10) Méthode des diguettes en pierres

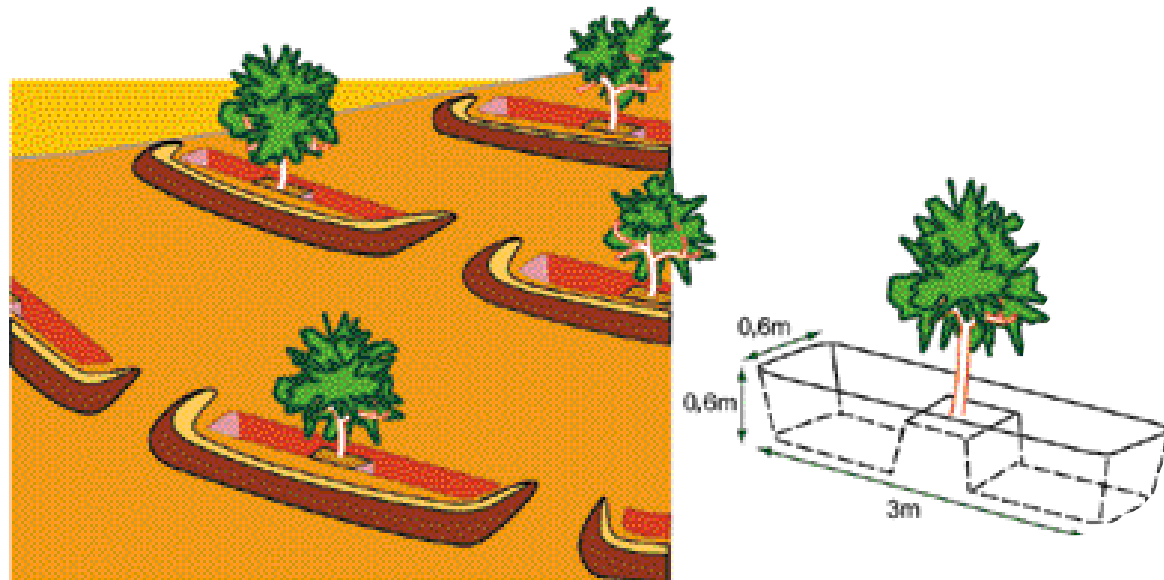


2) Tranchées

La méthode des tranchées, schématisée à la Figure 3.2.(11), permet la réduction du ruissellement sur les plateaux et les versants par le boisement. Concrètement, il s'agit de creuser à la pelle une tranchée d'une largeur de 3,6 mètres et d'une profondeur de 0,6 mètre, et de planter un arbre au milieu. Bien que cela varie selon les conditions de sol, il s'agit d'un travail intensif, une (1) personne ne pouvant fabriquer qu'environ deux tranchées par jour. Pour cette raison, il est réalisé soit dans le cadre du travail rémunéré par le programme *Food for Work*, ou bien, lorsqu'il s'agit d'activités non rémunérées, il ne convient que dans le cas des villages où la conscience de

l'importance de la conservation des ressources naturelles est très développée. L'arbre doit être planté au milieu de la tranchée, en y laissant le sol élevé de 0,3 mètre par rapport au fond de la tranchée. Les effets obtenus sont considérables si, en plus des arbres, on plante également des variétés de plantes fourragères pour apporter un complément de matières organiques au sol. Ces tranchées se comblent au bout de quelques années, mais si les arbres croissent entre-temps, cela ne semble pas causer de problème. Dans le cas du Projet Intégré Keita, au Niger, on recommandait 770 tranchées par hectare dans les versants.

Fig. 3.2.(11) Méthode des tranchées



3.2.5 Réparation des rigoles et des ravins

Les rigoles et ravins se forment sous les effets du ruissellement en provenance de l'amont. Pour cette raison, il faut d'abord contrôler ce ruissellement en amont avant de s'attaquer à la réparation des rigoles et ravins. Si l'on tente de procéder directement aux réparations sans passer par cette première étape, il n'en résultera que le déplacement des voies de ruissellement. Ce point nécessite une mise en garde : non seulement n'aura-t-on pas assuré une protection, mais cela entraînera également la formation d'une nouvelle érosion.

1) Réparation des rigoles

Les rigoles étant des voies de ruissellement de petite envergure, il est possible d'y faire face par des mesures de protection, comme nous l'avons vu plus haut. La mise en place de cordons de pierres sur les rigoles de façon partielle permet également de faire face au problème. Une autre méthode existe par ailleurs, qui ne nécessite pas l'utilisation de pierres, mais celle de sacs de sable. Pour ces sacs de sable, on utilise par exemple des sacs de céréales. Bien que cela comporte le problème du coût des sacs, il s'agit d'une méthode qui a pour avantage la simplicité de la fabrication avec la terre qui se trouve sur place. On mélange une petite quantité de fumier à la terre mise dans le sac, on perce des trous en quelques points du sac, puis on y met des graines d'andropogon. L'humidité de la saison de pluie permettant la prise de l'andropogon, les effets seront maintenus même si le sac est détruit. Il faut toutefois prendre garde de mettre trop de fumier, puisque la chaleur engendrée par le processus

de décomposition endommagerait le sac.

Dans le cas des cordons de pierre comme dans celui des sacs de sable, ils doivent être installés en plusieurs points de l'amont à l'aval pour réduire le ruissellement. Lorsque le sol s'accumule aux alentours des cordons ou des sacs, il faut alors les élever davantage.

Fig. 3.2.(12) Réparation des rigoles par des cordons de pierres



2) Réparation des ravins

Plus les ravins se trouvent en aval, plus ils grandissent, et puisque la force destructrice du ruissellement y augmente également, des mesures d'une envergure correspondante doivent être prises. Dans le cas d'un ravin d'une largeur de 1 mètre et d'une profondeur de 1 mètre environ, la réparation est possible en disposant des pierres de la façon indiquée à la Figure 3.2.(13). Les pierres qui forment la base de cette structure sur les côtés et le dessous doivent être insérées dans le sol pour empêcher l'affouillement. Etant donné la possibilité d'un déplacement des pierres lors des fortes précipitations, la structure doit faire l'objet d'une inspection périodique. Lorsque les ravins sont très larges et très creux, la mise en place d'un gabion est préférable, pour éviter que les pierres ne soient emportées par le ruissellement. Le nombre de roches étant alors élevé, les travaux nécessitent une participation à l'échelle du village. Il importe de mettre en place de telles structures en plusieurs points dans les ravins pour arriver à réduire le ruissellement.

Fig. 3.2.(13) Réparation des ravins par la disposition de pierres

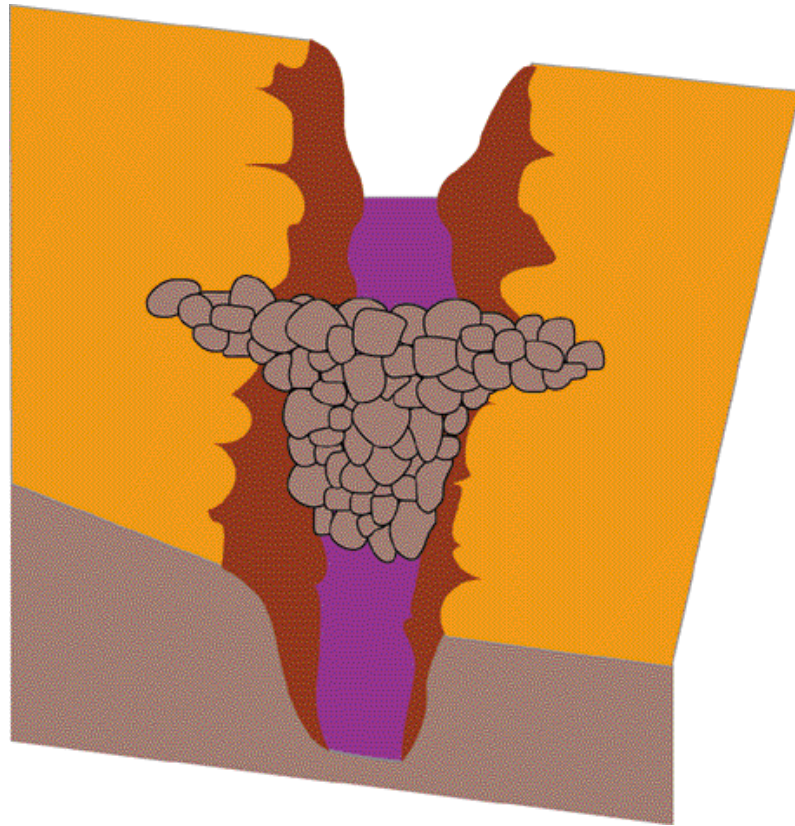


Fig. 3.2.(14) Exemple de travaux de réparation le long d'un ravin



Fig. 3.2.(15) Exemple de réparation de grande envergure à l'aide d'un gabion



Chapitre 4 Activités de conservation des terres agricoles

Ce que l'on entend par activités de conservation des terres agricoles, c'est une série d'activités visant à l'établissement des infrastructures de production dans le secteur agro-pastoral, de manière durable, par l'effort des habitants d'une région. Cet effort doit s'appuyer sur une connaissance adéquate des phénomènes qui prennent naissance sur leurs terres de culture, et la compréhension de la nécessité de prendre des mesures face à ces phénomènes. Afin de favoriser chez les habitants de la région la connaissance de la situation actuelle et la compréhension de l'importance des mesures à adopter, il importe de bien saisir la situation locale. On doit également mettre en place des mécanismes qui permettront à ces habitants d'entreprendre leurs activités de façon autonome et durable, par le soutien à la formation d'organisations d'habitants visant l'établissement d'un système d'exécution des mesures adoptées, pour la sélection de mesures et méthodes qui conviennent aux conditions locales, et pour la planification de l'exécution de ces mesures et de l'application de ces méthodes.

4.1 Etude de terrain

4.1.1 Objectif

L'étude de terrain a pour objet la connaissance adéquate, d'une part, des conditions naturelles, géographiques et sociales de la région concernée, et, d'autre part, des opinions des habitants de ladite région, afin de rendre efficace l'application des mesures de lutte contre l'érosion du sol et de conservation des terres agricoles. L'étude de terrain constitue l'une des activités qui revêtent une grande importance pour la saisie de la situation en termes d'érosion et d'appauvrissement du sol dans la région concernée, pour la sélection de mesures et de méthodes adéquates, ainsi que pour promouvoir chez les habitants la connaissance de la situation actuelle et la compréhension des activités de conservation. Cette étude se déroule dans une relation de collaboration réciproque avec les organisations d'habitants concernées par le développement des villages ruraux dans la région. Nous expliquons ci-dessous quelles sont les informations à collecter localement pour pouvoir ensuite passer à l'examen, d'une part, des mesures et méthodes qui conviennent aux particularités régionales, et, d'autre part, aux façons de promouvoir la participation des habitants.

4.1.2 Eléments de l'étude

L'étude de terrain comprend les éléments suivants : la nature du sol et les conditions topographiques, l'état de progression de l'érosion du sol, la végétation, les conditions d'utilisation des terres, le volume de production agricole et le système de production agricole. Cette étude doit également inclure la connaissance des éléments relatifs à la communauté locale, dont notamment les organisations existantes pour la réalisation des travaux communautaires.

1) Etude topographique

Cette partie de l'étude vise la connaissance des inclinaisons topographiques, de la position, de l'envergure et de la superficie des bassins versants des oueds (appelés cours d'eau saisonniers surtout en Afrique Occidentale, ci-dessous appelés "oueds") et ravins (rigoles comprises; les termes «oueds» et «ravins» seront toujours

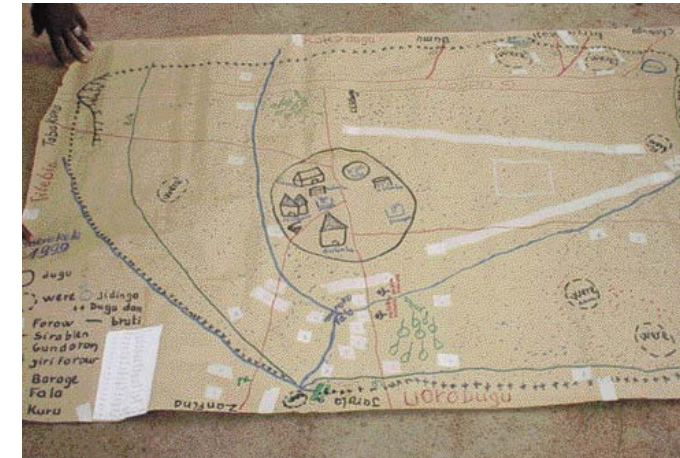
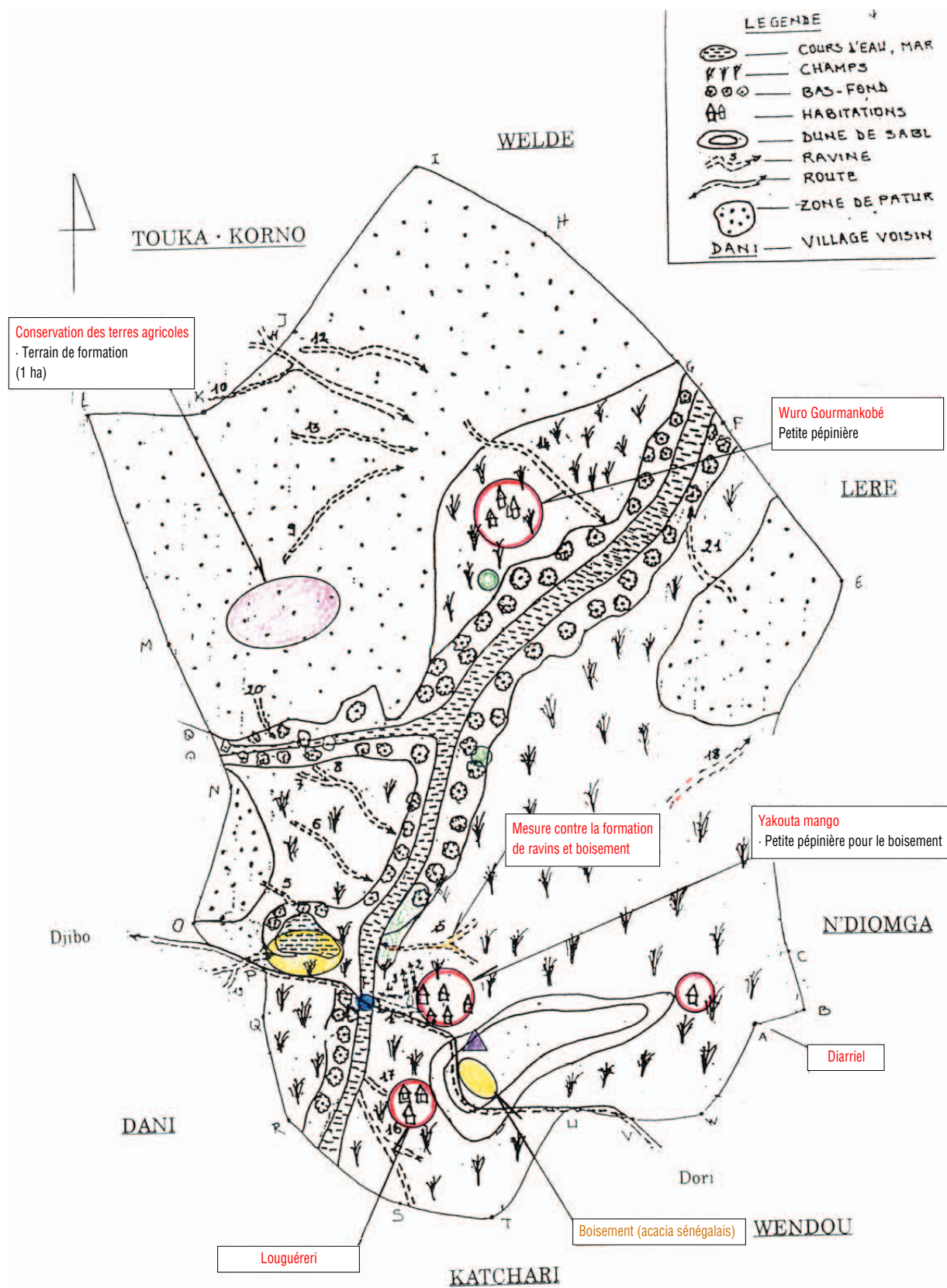
employés dans ce sens), des divisions dont fait l'objet l'utilisation des sols, ainsi que des limites des terroirs. Il est souhaitable que les mesures topographiques soient prises à l'aide d'une carte topographique existante (échelle : 1 : 1.000 à 5.000), sur laquelle on indiquera les résultats obtenus. Si l'on ne dispose pas d'une telle carte et si l'on ne dispose pas des moyens techniques permettant d'en élaborer une, on tracera une carte simplifiée comprenant les informations collectées au cours de l'étude topographique (voir la Figure 4.1.(1)).

Les inclinaisons topographiques fournissent des informations importantes pour la sélection des méthodes adéquates et pour l'examen des espaces de la disposition. Il s'agit de connaître la distribution des pentes de la région en les divisant, par exemple, selon qu'elles sont de 0 à 2°, de 2 à 5°, ou de plus de 5°.

Lorsqu'il y a des oueds et des ravins, il faut en connaître la largeur, la profondeur, la longueur et la superficie d'accumulation d'eau, et il faut savoir où l'eau se dirige en aval. Dans le cas de la prévention de l'expansion des oueds ou des ravins, ainsi que dans celui des mesures de lutte contre le sable dans une région située en aval des oueds ou des ravins, ces informations sont importantes pour établir l'ordre de priorité des installations, ainsi que pour déterminer l'emplacement et la quantité des seuils de fonds.

Quant aux divisions d'utilisation des sols et aux limites des terroirs, il s'agit d'informations importantes pour l'identification des zones où des mesures sont nécessaires et pour la clarification de l'aire villageoise concernée par les activités de conservation du sol.

Fig. 4.1.(1) Schéma de distribution des ravins à l'intérieur d'un terroir, établi à partir d'une carte topographique sommaire



Plan de surface d'un terroir tracé à la main

2) Etude de la nature du sol

Sur la base des résultats de l'étude de terrain, on indique sur une carte comme celle présentée ci-dessus les divisions de la surface du sol selon sa nature (sol sableux, sol argileux ou roche), ainsi que la présence ou non d'une croûte. Ces informations seront ensuite utilisées pour la détermination des zones d'application des mesures, pour le choix des mesures et méthodes adéquates, et pour l'examen de l'endroit où les installations seront situées.

3) Etude des conditions d'érosion du sol

Les données de cette étude des conditions d'érosion du sol sont ajoutées, sur la carte mentionnée ci-dessus, à celles des études sur la topographie et la nature du sol. L'étude des conditions d'érosion comprend l'épaisseur du sol de surface, sa fertilité, et les conditions de génération des rigoles et ravins ; elle comprend également les rendements par unité de surface dans les champs de mil, ainsi que la densité des plantes et leurs variétés dans les prés. Ces informations seront ensuite utilisées pour la détermination des zones d'application des mesures, pour le choix des mesures et méthodes adéquates, et pour l'examen de l'endroit où les installations seront situées.

4) Etude sur la communauté locale

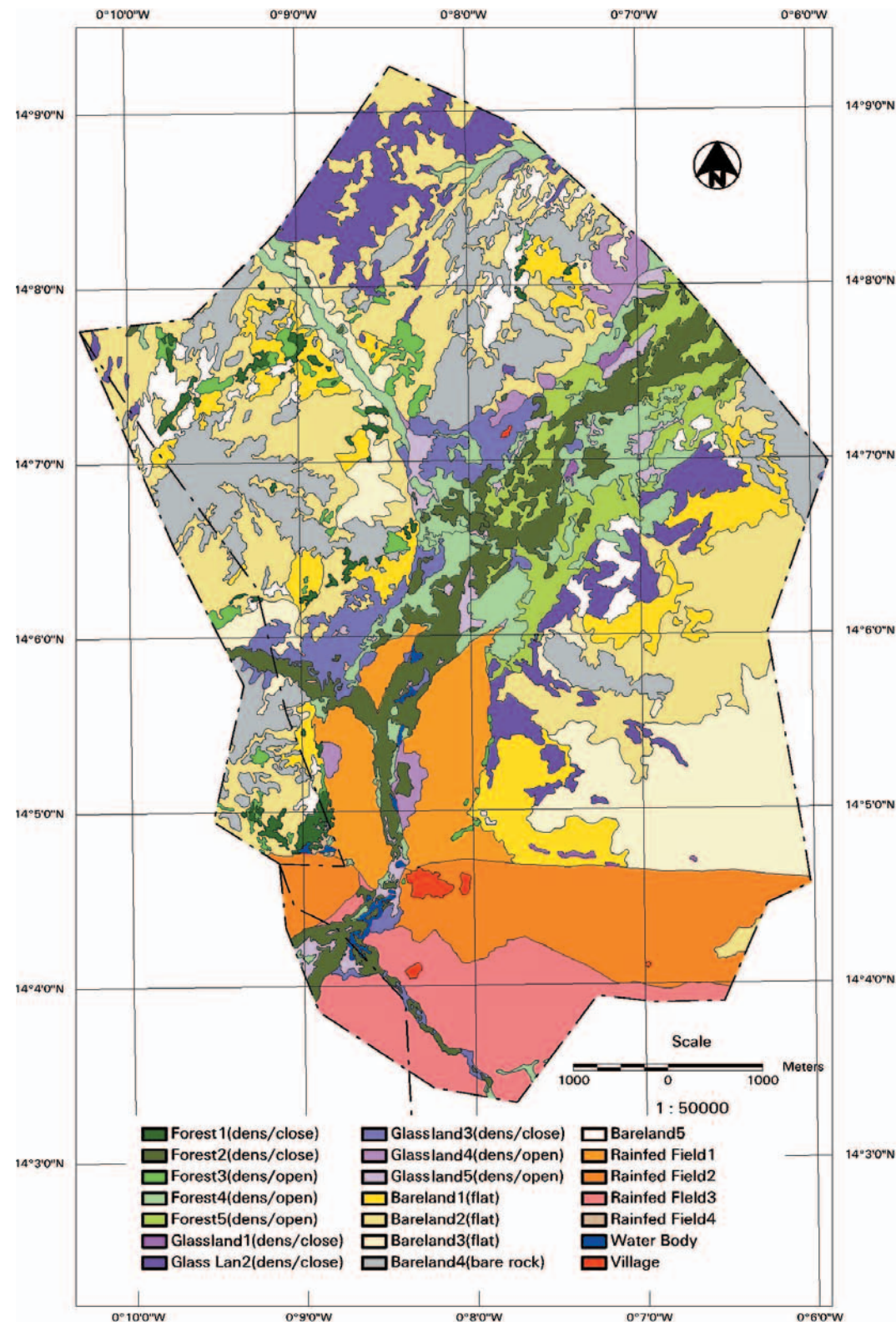
Outre la collecte d'informations sur les conditions de nature physique mentionnées ci-dessus, l'étude de terrain couvre également l'examen du système de production agricole dans la zone concernée (fréquence de mise en jachère, superficies agricoles, périodes de culture, etc.), ainsi que la forme que prennent les travaux communautaires et les organisations d'habitants. Ces informations seront utilisées pour l'examen des combinaisons possibles de mesures de génie rural et de gestion agricole, ainsi que des mesures de promotion de la participation des habitants.

5) Autres méthodes d'enquête

Outre ces études réalisées directement sur le terrain, l'analyse des données visuelles telles que les photographies satellite et les photographies aériennes permettent de connaître les divisions de l'utilisation du sol (terres de culture, villages, forêts, prés, etc.), les types de végétation et leurs densités de distribution (voir la Figure 4.1.(2).) L'acquisition et l'analyse de ces données visuelles nécessitent toutefois des ordinateurs et des

logiciels d'un coût relativement élevé, aussi sont-elles confiées à des organismes de recherche qui possèdent de tels équipements.

Fig. 4.1.(2) Carte de distribution de l'utilisation des sols élaborée à partir de l'analyse des données de photographies aériennes



4.2 Planification de la conservation des terres agricoles

Pour pouvoir réaliser efficacement l'étude de terrain et élaborer un plan de conservation des terres agricoles adapté aux conditions locales, l'examen préliminaire ci-dessous s'impose. L'élaboration du plan tiendra ainsi compte de l'ensemble des résultats de cet examen.

4.2.1 Plan de vulgarisation et d'orientation

1) Offre d'informations aux habitants de la zone

Pour que réussisse l'application des mesures de conservation des terres agricoles, il est important, d'une part, que les habitants de la zone prennent conscience des phénomènes qui se produisent sur leurs terres de culture et dans leurs villages, et, d'autre part, qu'ils comprennent l'importance du plan de conservation des terres agricoles et de l'application des mesures qu'il comprend. Pour cela, l'étude de terrain doit être réalisée de concert avec des représentants des organisations d'habitants concernées par le développement agricole de la zone; les résultats de l'étude doivent être communiqués aux habitants de la zone; et il faut organiser des réunions d'information pour connaître leurs opinions. L'organisation de visites d'étude dans des zones où de tels travaux ont déjà été réalisés est également efficace, en ceci qu'elle permet de constater de visu les résultats des mesures appliquées.

2) Organisation des habitants

La formation d'organisations pour les habitants est nécessaire en tant que mécanisme permettant la promotion de leur participation aux mesures de conservation des terres agricoles, ainsi qu'à l'efficacité de l'application de ces mesures. Lors de la formation d'une organisation d'habitants, il importe de respecter les pratiques traditionnelles et sociales de la zone, telles qu'identifiées lors de l'étude de terrain. Il est également important que les activités liées à la composition, à la procédure d'établissement et à la description des activités de cette organisation s'effectuent sur la base d'un processus de discussions avec les habitants. Si un mécanisme de réalisation des travaux communautaires existe déjà, il faut procéder à un examen suffisant de la possibilité d'y recourir. Sur la procédure concrète de formation des organisations d'habitants, ainsi que sur la question des points à prendre en considération pour leur apporter un soutien, on consultera le "Guide technique de la formation de l'organisation des habitants" de la présente série de documentation technique.

3) Offre de formation technique

Si les habitants de la zone ne connaissent pas les techniques impliquées par les mesures de conservation des terres agricoles, l'application concrète de ces dernières sera difficile. La formation de vulgarisateurs s'impose alors pour qu'ils puissent offrir une orientation de nature technique aux habitants. Les vulgarisateurs sont d'abord choisis par un processus de discussions entre les habitants de la zone, puis un stage de formation technique leur est offert sur les mesures de conservation des terres agricoles et de prévention de l'érosion. Quant au contenu du stage technique, aux matériaux nécessaires et à la façon de les obtenir, il importe que ces points fassent l'objet d'un examen préliminaire, selon les mesures à appliquer et la forme d'organisation des habitants.

4.2.2 Plan d'exécution des mesures de conservation

1) Contenu des mesures de protection

Sur la base de l'étude de terrain, les zones qui nécessitent l'application des mesures sont spécifiées, et le contenu concret des mesures de conservation est soumis à l'examen (les méthodes qui seront effectivement utilisées, l'aspect quantitatif, etc.).

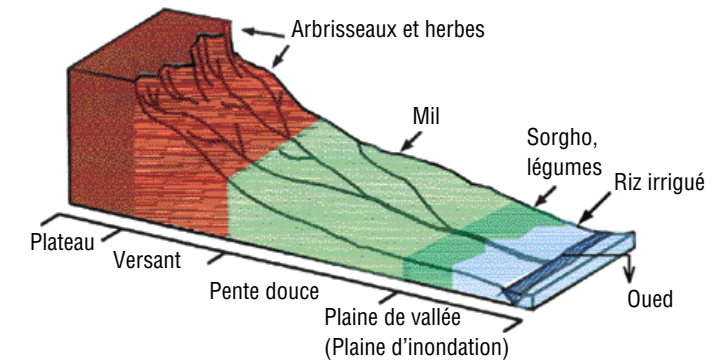
Les méthodes de conservation des terres agricoles présentées à la Figure 4.2.(1) sont largement utilisées dans le Sahel. On peut recourir à la plus efficace de ces méthodes ou en combiner plus d'une, selon les particularités de la zone (topographie et nature du sol) et les effets visés par les mesures de conservation. Les caractéristiques techniques de chacune de ces méthodes et leurs conditions d'application ont fait l'objet d'une présentation détaillée à la section 3.2.3 du chapitre 3, mais résumons comme suit les autres points auxquels il importe de prêter attention :

- S'agit-il d'une méthode dont l'application est possible, compte tenu du niveau technique et économique de la zone et de ses habitants ?
- Si cette méthode nécessite des travaux communautaires, peut-on s'assurer de la main-d'œuvre nécessaire en faisant appel à la participation des habitants de la zone ?
- S'il s'agit d'une méthode qui implique des travaux effectués sur une base individuelle, chacun des individus possède-t-il les connaissances techniques nécessaires à l'exécution, et peut-il se procurer facilement les outils nécessaires ?
- S'il s'agit d'une méthode qui implique l'utilisation de pierres, leur collecte peut-elle se faire de manière adéquate à proximité ?
- La quantité de travail que nécessitent les travaux ne dépasse-t-elle pas la capacité des habitants à fournir la main-d'œuvre ?

Outre la confirmation de l'adaptabilité technique des habitants à la méthode appliquée, ces points doivent faire l'objet d'un examen suffisant.

De plus, pour chacune des méthodes utilisées pour l'application des mesures de conservation des terres agricoles, un examen d'éléments concrets doit être effectué, à savoir : le calcul de l'ampleur des travaux à exécuter, les types et quantités de matériaux nécessaires, le nombre de travailleurs, le jour de début des travaux et leur durée, etc. Nous présentons dans les tableaux 4.2.(1) à (5), à titre de référence, les données relatives à quelques-unes des méthodes appliquées dans l'étude de la JGRC : nombre de travailleurs et quantité de pierres par unité de longueur, données relatives aux travaux de transport et d'empilage des pierres, etc. Il faut toutefois noter que ces données sont sujettes à une variation considérable d'une zone à l'autre (selon la topographie, la distance par rapport au lieu de collecte des pierres, le mode de transport des pierres, etc.). Quant aux éléments tels que le nombre de travailleurs par tâche à accomplir, il est souhaitable que la précision de la planification soit accrue, par une révision effectuée sur la base des résultats obtenus par l'observation sur le terrain, une fois les activités commencées.

Fig. 4.2.(1) Caractéristiques topographiques de l'étude de terrain, l'utilisation des sols et les mesures de conservation des terres agricoles envisagées



Plateau	Versant		Pente douce	Plaine alluviale / Plaine d'inondation	
		Colluvion	Pente au pied de la montagne où s'accumule le sol effondré (terre de culture)	Rive	Basse terre humide
Inclinaison de 0 à 1%	5-10	2-5	0-2%	0-5	0-1%
Pâturage interdit Gestion de pâturage Développement de bois faisant l'objet d'une gestion Reboisement	Pâturage interdit	Protection Boisement Petites berges de protection Bande d'arrêt à bonne perméabilité	Drainage aménagé Haies vives de délimitation des sections Introduction de techniques de conservation du sol et de l'eau Réintroduction d'arbres dans les champs	Reboisement Protection des rives	Construction de réservoirs Utilisation efficace du sol (amélioration des techniques traditionnelles de riziculture, utilisation des ressources d'herbes)

Les principales techniques de conservation du sol dans ces sections

Technique de conservation	Demi-lunes	Diguettes en pierres	Diguettes hypsométriques	Cordons de pierres	Zai
Schéma					
Caractéristiques	Pas de transport de matériaux	Peu de contraintes topographiques	Pas de transport de matériaux	Peu de contraintes relatives aux matériaux	Haut rendement
Contraintes topographiques (nécessité de mesures)	B	A	C	B	A
Capacité de limiter le ruissellement	B	B	A	B	C (début de saison de pluie seulement)
Effet de formation de terrasses	C	A	A	B	C
Durée des travaux	B	C	B (travaux nécessaires en saison de pluie)	B	C
Résistance	C	A	B	B	C
Effets sur la culture	B	B	B (environs des diguettes seulement)	C	A
Terrains adéquats	Terrains érodés	Près des plateaux ; ravins	(terrains inclinés du côté des vallées)	Dans les pentes	Terrains érodés

Remarque : les lettres A, B et C indiquent respectivement une estimation bonne, moyenne et mauvaise pour l'ensemble des avantages et désavantages des méthodes.

Tableau 4.2.(1) Quantités standard des travaux de mise en place des cordons de pierres (longueur totale : 2.730 m)

Nombre de travailleurs par 100 m de cordons de pierres	23 pers. / 100 m
Quantité de pierres par 100 m de cordons	8 m ³ / 100 m

Résultats de l'étude de la JGRC dans le village de Yakouta au Burkina Faso

Tableau 4.2.(2) Quantités standard des travaux de mise en place des diguettes en pierres (longueur totale : 1.935 m)

Nombre de travailleurs par 100 m de diguettes	35 pers. / 100 m
Quantité de pierres par 100 m de diguettes	18 m ³ / 100 m

Résultats de l'étude de la JGRC dans le village de Magou au Niger

Tableau 4.2.(3) Quantités standard des travaux de mise en place des demi-lunes (distance entre les diguettes : 4 m ; 625 diguettes/ha)

Items	Quantités standard / unité
Nombre de travailleurs par hectare	16 pers. · jour
Volume quotidien de travail par personne	40 diguettes / jour

Résultats de l'étude de la JGRC dans le village de Magou au Niger

Tableau 4.2.(4) Quantités standard des travaux de mise en place des zaï (distance ente les zaï : 1 m ; 10.000 zaï/ha)

Items	Quantités standard / unité
Nombre de travailleurs par hectare	200 pers · jour
Volume quotidien de travail par personne	50 zaï / jour

Résultats de l'étude de la JGRC dans le village de Magou au Niger

Tableau 4.2.(5) Quantités standard des travaux de mise en place de gabions (3 à 5 gabions × 2 rangées × 2 à 3 étages)

Items	Quantités standard / unité
Nombre moyen de travailleurs par site	70 à 340 pers. · jour
Nombre de travailleurs par gabion	6 à 30 pers./ gabion

Résultats de l'étude de la JGRC dans le village de Magou au Niger

2) Plan de promotion de la participation des habitants

L'exécution des activités de conservation est fondée sur la participation non rémunérée des habitants de la région. Il importe donc que l'on motive ces derniers afin qu'ils offrent de manière spontanée leur participation aux activités. Ou bien, selon les circonstances locales, on pourra examiner les mesures de promotion de la participation des habitants en prenant en considération leur combinaison avec d'autres mesures de motivation (le programme *Food for Work*, les mesures que désirent les habitants, etc.) si cela s'avère plus efficace. Toutefois, comme le montrent les exemples des résultats d'étude de la JGRC présentés au chapitre suivant, ainsi que la tendance des dernières années, le fait de trop compter sur le programme *Food for Work* pour motiver la participation des habitants ne donne pas toujours de bons résultats.

3) Calcul des coûts et planification de l'approvisionnement

En fonction d'un plan concret d'exécution, il s'agit de faire l'estimation de l'étendue des actions à mettre en oeuvre pour ces mesures, ainsi que des types et quantités de matériaux et équipements (pelles, charrettes, etc.), puis à distinguer les matériaux et équipements fournis par les participants de ceux qu'il faudra acheter, pour finalement procéder au calcul des coûts impliqués par l'achat des matériaux nécessaires.

Chapitre 5 Exemples d'activités de conservation des terres agricoles

5.1 Cordons et diguettes en pierres

5.1.1 Prévention de l'écoulement du sable dans les bassins d'eau et régénération végétale

1) Vue d'ensemble de la région et description des installations mises en place

Le village de Magou est situé à une soixantaine de kilomètres au sud-ouest de la capitale du Niger, Niamey. En 1995, la JGRC a établi, dans le terroir de Magou, un plan modèle de développement des villages agricoles. Ce plan comprenait notamment le développement des ressources en eau, la conservation des terres agricoles et l'élevage du bétail, et c'est sur sa base que les activités des habitants du terroir s'effectuent depuis.

La mare d'Eda, située en bordure de la partie sud-ouest de Magou, servait de point d'abreuvement pour le bétail de Magou et des villages voisins, jusqu'à ce qu'il soit presque complètement enseveli par l'écoulement du sable entraîné par la dénudation du terrain où il se trouve. La mare d'Eda fit donc l'objet de travaux de restauration, dans le cadre des volets "Elevage" et "Conservation des terres agricoles" du plan modèle de développement du village agricole de Magou.

Les travaux de restauration de cette mare comblée par le sable consistèrent à assurer sa conservation en tant que zone de terres humides pour les animaux et les plantes, en creusant les basses terres l'avoisinant afin de faire renaître la mare. Lesdits travaux comprenaient également des mesures de prévention de l'érosion du sol, avec pour objectif l'interruption de l'écoulement du sable et de la progression de la dénudation du sol, ainsi que la régénération de la végétation.

2) Mesures de prévention de l'érosion de sol

Le plan de conservation des terres agricoles à Magou comprenait des mesures de lutte contre l'érosion du sol et de conservation des terres agricoles, sur l'ensemble du terroir et par le recours à diverses méthodes (voir Figure 5.1.(1)). Parmi ces mesures, la restauration de la mare d'Eda s'accompagna de mesures consistant en la mise en place de diguettes en pierres sur une longueur de 1.935 mètres, ainsi que de 100 demi-lunes, dans une zone de 5 hectares de terrain nu considérable du côté nord de la mare. Le volume de pierres utilisées pour les diguettes s'élève à quelque 350 m³, soit environ 0,2 m³ de pierres par mètre. Le détail des coûts impliqués par ces mesures est présenté au Tableau 5.1.(1).

Tableau 5.1.(1) Résumé des coûts associés aux mesures de lutte contre l'érosion du sol

Items	Description	Montant
Mesures prises aux environs de la mare d'Eda		
Boisement	Plants totaux	150.000
Mesures de prévention de l'écoulement du sable		
Collecte et transport des pierres	Camion, pelle mécanique	400.000
Matériaux divers	Niveau, pioches, etc.	150.000
Conducteur	Ensemble	250.000
Sous-total		950.000
Installation de diguettes en pierres et demi-lunes	Travail non rémunéré offert par les habitants	0
Total		950.000



Transport et empilement des pierres rassemblées



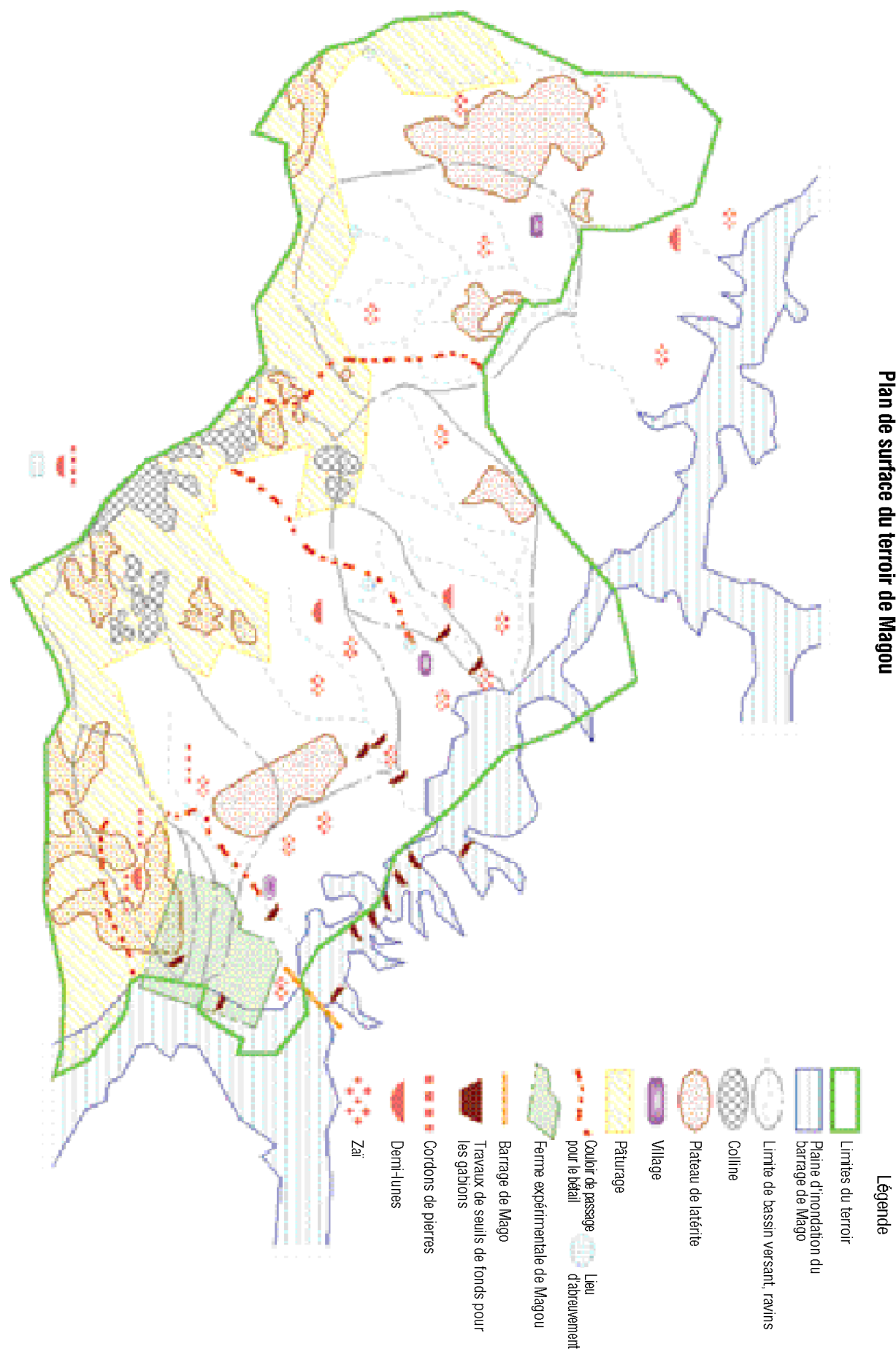
Travaux d'installation des diguettes en pierres



Ligne de diguettes installée derrière la mare d'Eda



Début de régénération végétale grâce aux diguettes en pierres



Plan de surface du terroir de Magou

Fig. 5.1.(1) Plan de surface du plan de réalisation des mesures de protection des terres agricoles à Magou

3) Conditions de participation des habitants

Les mesures de conservation furent appliquées pendant la saison sèche en 1999-2000, avec la participation des habitants des villages d'Eda et de Magou. Les travaux étaient d'une durée de deux semaines, et ils ont donné lieu à un phénomène fort intéressant du point de vue du nombre moyen de participants par jour (une vingtaine par village en moyenne), en ceci que prit naissance un esprit de compétition entre les deux villages qui eut pour conséquence de favoriser la participation des habitants : si le nombre de participants de l'un des deux villages était plus élevé un jour, c'était au tour de l'autre village de surpasser ce nombre le jour de travail suivant.

5.1.2 Régénération végétale d'un pré où l'état de dénudation du terrain est avancé

1) Vue d'ensemble de la région

(1) Position et topographie du village de Yakouta

Le village de Yakouta, situé à l'extrémité nord-est du Burkina Faso, comprend 4 hameaux et fait partie d'un terroir d'une superficie totale de 5.337 hectares. La partie centrale de ce terroir est traversée du sud vers le nord par un oued appelé la rivière Goudebo. La partie sud du terroir se compose d'une zone de dunes de sable, tandis que des plateaux légèrement accidentés s'étendent au nord-est et au nord-ouest, pour se poursuivre jusqu'à une plaine d'inondation d'oued sous la forme d'une pente douce.

(2) Végétation et utilisation du sol

La végétation du village de Yakouta est comparativement dense dans la zone de dunes au sud. On trouve des terres boisées le long de la plaine d'inondation d'oued, mais sur les pentes douces qui partent des deux côtés du oued vers les plateaux, la densité diminue graduellement, le terrain prenant la forme d'un terrain faiblement boisé, d'un pré, puis d'un terrain nu. Quant à la division de l'utilisation du sol, les terres de culture se concentrent à 70% dans la zone de dunes de sable au sud, le reste étant dispersé dans les terrains faiblement boisés et aux limites des prés. Sur les pentes douces du nord-est et du nord-ouest, les terrains sont dénudés sur une superficie correspondant à 50% de l'ensemble du terroir, ces terrains étant peu ou pas utilisés.

(3) Etat d'érosion du sol et mesures actuelles

Les résultats de l'étude de terrain effectuée par la JGRC ont permis de constater la présence de ravins relativement grands en 27 endroits dans le terroir, dont une dizaine nécessitaient des mesures d'urgence. Un de ces ravins avait une largeur de 6 mètres et une profondeur de 3 mètres, un autre provoquait l'érosion d'une partie de zone résidentielle, tandis qu'un autre encore isolait le hameau lors des inondations en coupant la voie de circulation.

Par ailleurs, dans les prés à terrain nu, l'état d'érosion de la surface était avancé, à cause des eaux de ruissellement lors des précipitations, et à cause de l'érosion éolienne. La reproduction des plantes y était difficile, et même sur les terres de culture, la productivité du sol était en baisse à cause de l'érosion de la surface et des pertes en sol.

Jusque-là, les mesures de lutte contre l'érosion du sol étaient effectuées à petite échelle sur une base individuelle et n'avaient guère d'effets concrets : pose de bûches d'arbre dans les rigoles des terres de culture,

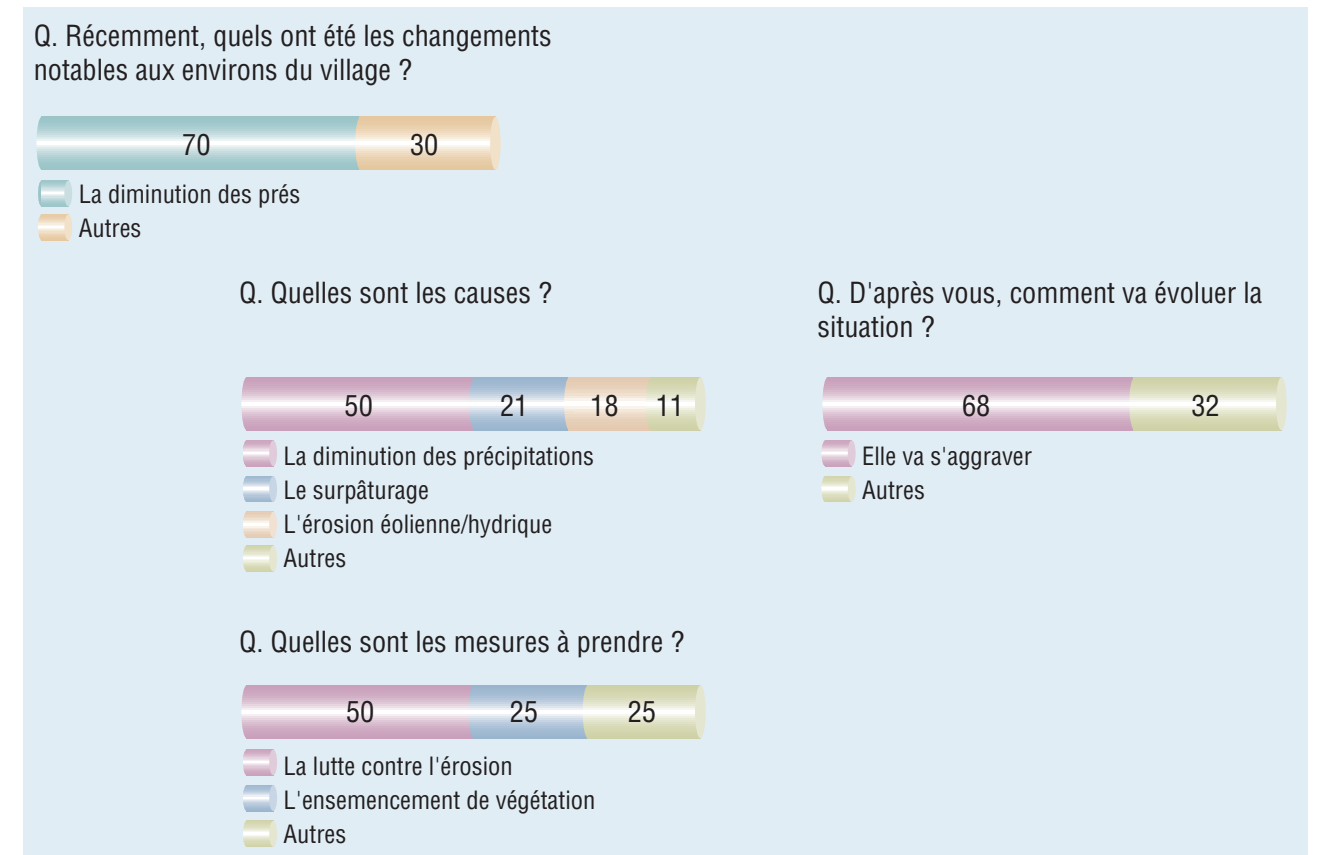
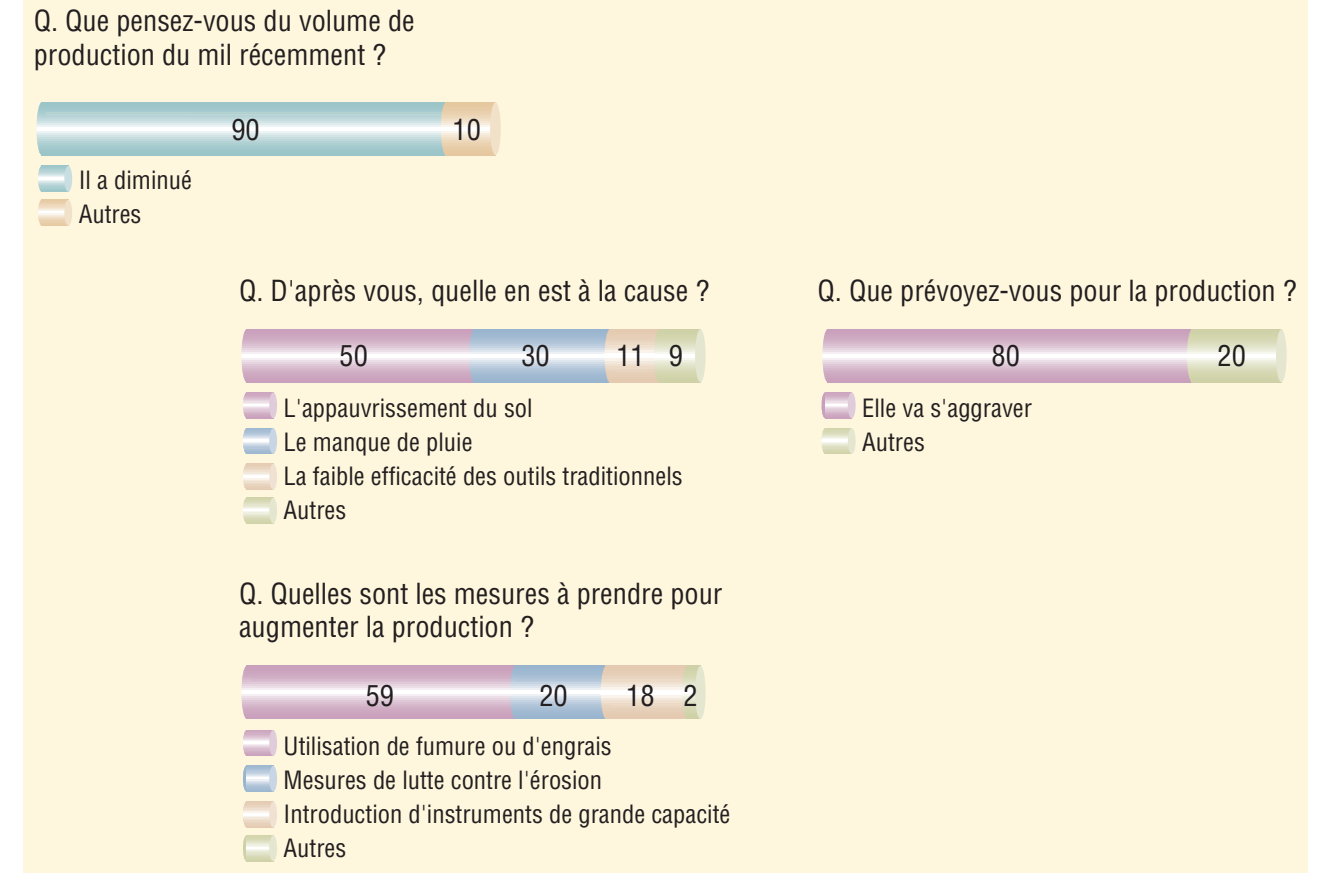
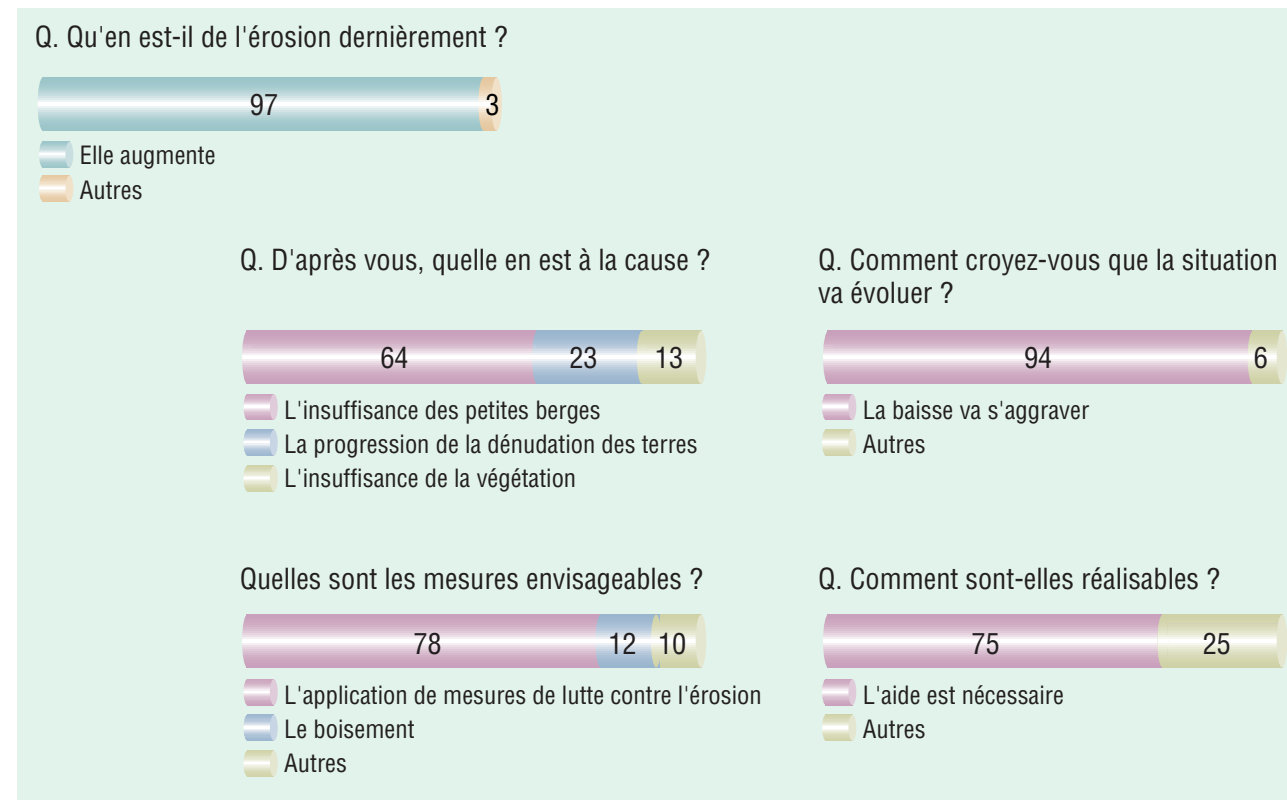
dépôt de sacs de sable et semis de mil dans les ravins des zones résidentielles, etc. Il n'y avait pas de mesures organisées et cohérentes.

(4) Conscience de l'érosion du sol chez les habitants

Une enquête d'opinion réalisée en octobre 1999 auprès de 111 personnes dans les 4 hameaux du village de Yakouta a permis de connaître la conscience de l'érosion du sol chez les habitants.

L'enquête a fait ressortir qu'un nombre assez élevé d'habitants ressentaient la baisse des rendements du principal produit cultivé qu'est le mil, et la diminution de la superficie occupée par les prairies. Les habitants craignent également que la situation ne s'aggrave de plus en plus si rien n'est fait pour corriger la situation. Une forte proportion des habitants a identifié l'appauvrissement et l'érosion du sol à la source du problème, et presque tous avaient conscience de l'augmentation récente de l'érosion du sol. Ils considéraient également que la lutte contre l'érosion est nécessaire en tant que mesure pour régler à la fois le problème de la réduction des rendements du mil, et celui de la diminution de la surface occupée par les prairies.

Fig. 5.1.(2) Les résultats de l'enquête d'opinion réalisée auprès des habitants de Yakouta



2) Résumé des mesures prises

(1) Les secteurs concernés

Sur la base des résultats de l'étude de terrain réalisée par la JGRC, il fut décidé d'installer des cordons de pierres dans le but de prévenir l'érosion du sol et de régénérer la végétation, en contrôlant les eaux de ruissellement sur une surface de 10 hectares de prés communautaires où la dénudation du terrain était avancée, dans la partie nord-ouest du terroir. Ces travaux devant être effectués avec la participation des habitants, un stage de formation technique fut organisé pour eux pendant la saison sèche 1998-99, et l'exécution effective des travaux eut lieu pendant la saison sèche 1999-2000.

(2) Orientation technique auprès des habitants de la région

En juin 1998, 26 habitants de Yakouta (dont 5 femmes) ont pris part à un voyage d'étude dans un secteur de promotion des activités de conservation des terres agricoles situé à proximité. De plus, afin d'enseigner aux habitants de la région les techniques nécessaires à l'application des mesures de lutte contre l'érosion du sol et de conservation des terres agricoles, une partie du secteur mentionné ci-dessus a été transformée en site de formation. En janvier 1999, une vingtaine d'habitants y ont suivi un stage de formation technique de 5 jours. Ce stage, réalisé sous les directives d'un technicien de la Direction de l'Agriculture, comprenait les méthodes d'établissement des courbes de niveau (à l'aide d'un niveau simple utilisé avec un tuyau d'eau), la préparation de la base sur le terrain, ainsi que les méthodes de sélection et de mise en place des pierres.

(3) Travaux communautaires par la participation des habitants

Afin d'inciter les participants à participer aux travaux de mise en place des cordons de pierres, nous avons eu recours au programme *Food for work*. Cela a permis d'obtenir la participation active des habitants, et d'appliquer dès la saison sèche 1998-99 les mesures initialement prévues pour l'année suivante, dans plus de 70% de la section concernée de 10 hectares. Toutefois, la participation des habitants prit fin lorsque le programme se termina et que la saison des travaux agricoles commença, et ils ne reprirent pas leurs activités de conservation de manière autonome même pendant la saison sèche 1999-2000.

(4) Nombre de jours de travail et matériaux

Lors de l'exécution des travaux communautaires de mise en place des cordons de pierres, la JGRC a fourni des camions pour le transport des pierres, et des outils, tandis que les participants fournissaient leur force de travail pour la collecte et l'empilement des pierres, ainsi que pour la mise en place des cordons de pierres. Le Tableau 5.1.(1) présente le nombre de participants pour chacun des travaux, tandis que le Tableau 5.1.(2) présente le détail du matériel utilisé et des coûts. Dans ce dernier tableau, les montants n'ont pas été effectivement versés ; il s'agit des valeurs estimées si l'on avait payé les montants indiqués pour les "salaires" et "l'aide alimentaire".

Tableau 5.1.(1) Travaux de mise en place des cordons de pierres

Travaux	Jours de travail a	Nombre moyen d'heures de travail b	Conversion en jours de travail effectif c=a×b/8	Nombre moyen de participants par jour d	Nombre total de participants e=c×d	Nombre moyen de jeunes participants (personnes/jour)	Nombre total de jeunes participants (personnes/jour)
Collecte et chargement/déchargement des pierres	15	6	11	28	308	9	101
Traçage des courbes de niveau	6	4	3	21	63	6	18
Mise en place des cordons de pierres	13	5,5	9	29	259	7	63
Total	34		23		630		182

Tableau 5.1.(2) Détail des frais de mise en place des cordons de pierres

Travaux	Unité	Qté	Prix unitaire (FCFA)	Coût
Camion loué plus essence (a)	Jours	15		825.000
Salaires (b)	Pers. - jours	630	Salaires local ordinaire :	630.000
Vulgarisateur (c)	Ensemble	1		106.800
Aide alimentaire (PAM) (d)	Repas	3.360	Conversion en prix locaux	383.040
Frais de location du matériel (e)				6.978
Pioche	pièces-jours	78	Prix d'achat / 1 an = 10 F/jour	780
Pince-monseigneur	pièces-jours	36	∕ 5 ans = 10 F/jour	360
Brouette	pièces-jours	133	∕ 2 ans = 41 F/jour	5.453
Charrette à âne	pièces-jours	3	∕ 5 ans = 107 F/jour	321
Niveau	pièces-jours	32	∕ 3 ans = 2 F/jour	64
Coût à l'hectare, salaires exclus			(a+c+e) ÷ 7,5ha=	125.170
Coût à l'hectare, salaires inclus			(a+b+c+e) ÷ 7,5ha=	209.170
Coût à l'hectare, frais d'aide alimentaire inclus			(a+c+d+e) ÷ 7,5ha=	176.242
Coût à l'hectare, salaires et aide alimentaire inclus			(a+b+c+d+e) ÷ 7,5ha=	260.242

3) Mesure des effets des cordons de pierres

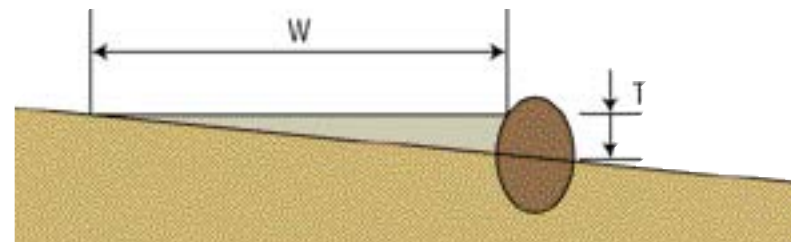
21 cordons de pierres ont été installés, chacun sur une longueur d'environ 130 mètres. Les cordons étaient distants de 20 à 30 mètres, et d'une hauteur d'à peu près 20 cm. Quant à la nature du sol, elle se divisait en deux types délimités aux environs du douzième cordon en partant du bas. Le sol était composé de gravier au-delà de cette limite, tandis qu'il était sableux en deçà.

(1) Effet de contrôle des pertes de sol

L'effet du contrôle des pertes de sol a été estimé selon le volume des dépôts de sable créés le long des cordons. Pour effectuer les mesures, nous avons inséré des pieux d'acier gradués en 18 points, à raison de 3 points par cordon, pour un total de 6 cordons (3 cordons respectivement dans la partie de gravier et celle de sol sableux). Comme l'indiquent les résultats des mesures du tableau suivant, l'estimation de la quantité de sol accumulé grâce aux cordons de pierres s'élève à 68,5 t/ha. Cela correspond à un contrôle des pertes de sol de l'ordre des 3 mm en moyenne pour l'ensemble du secteur en question.

Tableau 5.1.(3) Volume de sol retenu par les cordons de pierre selon la nature du sol

Section	Sol de gravier du côté supérieur de la pente	Sol sableux du côté inférieur de la pente
Épaisseur moyenne de l'accumulation de sol (T)	10 cm	10 cm
Largeur moyenne du sol accumulé (W)	59 cm	41 cm
Volume de sol accumulé par unité de surface (γ)	2,154 g / cm ³	2,493 g / cm ³
Volume d'accumulation par mètre de cordon de pierres (V)	130 kg / m	120 kg / m
Volume d'accumulation par hectare (C)	68,5 t / ha	



Cordon de pierres



Régénération végétale grâce à un cordon de pierres

Tableau 5.1.(4) Résultats des mesures de biomasse

Secteur	Sol de gravier du côté supérieur de la pente	Sol sableux du côté inférieur de la pente
Secteur de cordons de pierres	2.200 kg	2.600 kg
Secteur sans cordons de pierres	1.000 kg	1.435 kg
Taux d'augmentation de la biomasse	2,2	1,8

5.1.3 Mesures de contrôle des eaux de ruissellement des collines aux terres de culture

1) Vue d'ensemble de la région

(1) Position et topographie des 5 villages

Les 5 villages étudiés se trouvent dans le cercle de Ségou, à environ 260 km à l'est de la capitale du Mali, Bamako. Ils comprennent 6 hameaux dispersés sur une bande de collines aux pentes relativement douces, à une altitude variant de 290 à 350 mètres, entre le fleuve Niger et l'un de ces affluents, la rivière Bani. Les hameaux sont distants de 2 à 4 km, et la division des terroirs s'y fait le long de douces crêtes. D'une part, la topographie rappelle celle de bols de soupe formés entre des collines dont les pentes ont une inclinaison de 3 à 8 degrés environ, tandis qu'à leur pied s'étendent des terres plates (0 à 2 degrés d'inclinaison) utilisées pour la culture.

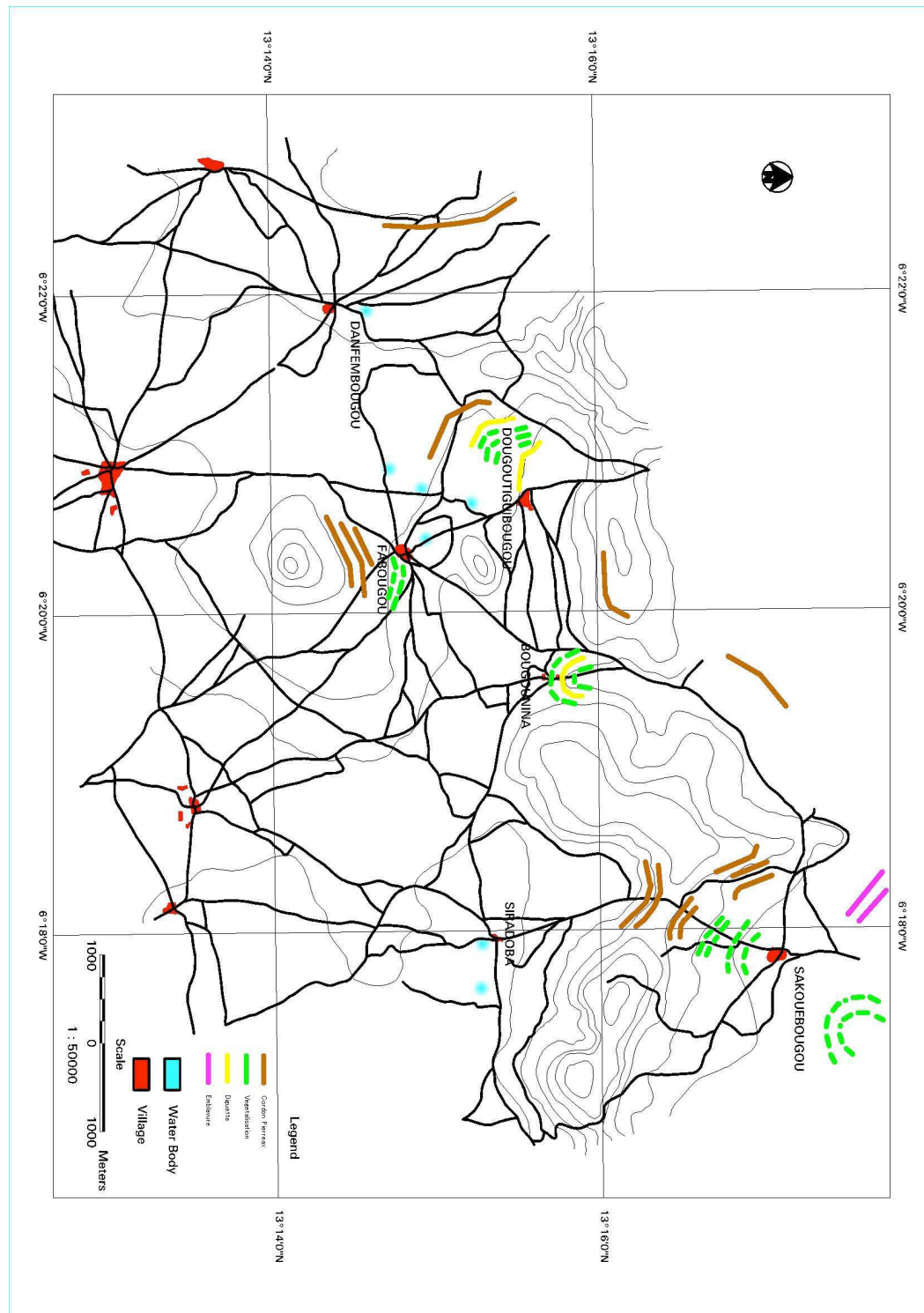


Fig. 5.1.(2) Mesures de lutte contre l'érosion du sol dans les 5 villages (Cercle de Ségou)

(2) Végétation, nature du sol et divisions d'utilisation du sol

La division de l'utilisation du sol dans les 5 villages du cercle de Ségou est la suivante : environ 70% de terres de culture, 20% de forêts, et 10% de prés ou de terrains nus. Les terres planes, les collines et les pentes douces correspondent à peu près également à ces divisions respectives. La végétation et la nature du sol comprennent : de la crête au bas des collines, des forêts d'arbustes peu denses où est exposé en grande quantité un gravier de pierres ferreuses ; sur la pente douce à la base des collines, des surfaces non utilisées ou peu utilisées de terrains nus et de prés peu denses, mélangées les unes aux autres de façon compliquée ; puis dans les plaines, quelques rares surfaces boisées et surtout des terres de culture dont le sol est généralement sableux ou limoneux.

(3) Erosion du sol et les mesures actuelles

Dans les terres de collines à faible densité végétale, l'érosion de la surface est avancée au point que les nombreuses pierres ferreuses y sont exposées par les eaux qui ruissellent lors des précipitations et par l'érosion éolienne. Quant aux pentes douces où la dénudation du sol est avancée, il y a formation d'une croûte serrée. Ces phénomènes s'accompagnent d'une augmentation du ruissellement vers les terres de culture, y générant de nombreuses rigoles.

Selon les résultats obtenus par la JGRC lors de son étude, 40% des agriculteurs (sur les 25 exploitants visités) ont répondu qu'il y avait génération d'érosion du sol sur leurs terres agricoles. Jusque-là, dans la zone de réalisation de l'étude, il n'y avait jamais eu d'orientation technique relativement à la lutte contre l'érosion du sol et à la conservation des terres agricoles. Les habitants y exprimaient le désir qu'on leur explique les façons d'obtenir la force de travail nécessaire et qu'on leur apporte de l'aide pour l'acquisition des matériaux.

2) Résumé des mesures prises

(1) Description des mesures

Les orientations fondamentales pour les mesures ont été établies selon les divisions topographiques indiquées au Tableau 5.1.(5), sur la base des résultats de l'étude de terrain. Sur cette base, les mesures de contrôle des eaux de ruissellement sur les collines ont été appliquées avec la participation des habitants, tandis que les mesures de lutte contre l'érosion du sol sur les terres agricoles ont été appliquées par chacun des agriculteurs. Nous avons également décidé d'offrir un stage de formation technique dans le but de faire acquérir aux participants les connaissances techniques nécessaires à leurs activités. En outre, nous avons eu recours, pour la participation des habitants, au mécanisme déjà en place pour les travaux communautaires, dans chacun des hameaux. Selon ce mécanisme, tous les hommes des hameaux en âge de travailler participent un (1) jour par semaine aux travaux communautaires (réparation de chemin, de puits, etc.) pendant la période d'inactivité agricole en saison sèche.

Tableau 5.1.(5) Mesures de lutte contre l'érosion du sol et de conservation des terres agricoles selon les divisions topographiques

Division topographique	Degré d'inclinaison	Caractéristiques	Orientations	Activités
Plateau	0-1°	Les surfaces planes des plateaux ne sont presque pas utilisées pour l'agriculture.	Réglementer les feux de brousse et la coupe de bois, ainsi que le pâturage du bétail ; gestion adéquate de la végétation naturelle.	<ul style="list-style-type: none"> • Etablissement de zones d'interdiction du pâturage • Contrôle des voies de ruissellement à l'aide de diguettes simples • Boisement par water-harvesting
Versants et éboulis	5-10°	Zones d'utilisation limitée à cause de la formation d'escarpements par érosion et d'éboulis, et zones sujettes à l'appauvrissement et à l'érosion du sol	Limiter le plus possible la vitesse du ruissellement, favoriser l'infiltration de la pluie, et augmenter la densité végétale	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction du pâturage • Haies vives denses et diguettes en pierres • Boisement par water-harvesting • Construction de diguettes
Pentes douces	0-2°	La pratique de l'agriculture s'y concentre dans les parties où les éboulis deviennent très étendus.	Protection contre l'érosion en assurant l'infiltration de la pluie pendant sa descente, ou en assurant la descente de l'eau sans danger d'érosion	<ul style="list-style-type: none"> • Construction de diguettes • Division des terres de culture par des haies vives • Billons hypsométriques, zaï • Boisement dans les champs

(2) Approche pour la participation des habitants, et conditions de participation

a) Réunions d'explication pour les habitants

Nous avons organisé des réunions d'explication dans chacun des hameaux, afin que les habitants prennent conscience de l'état actuel de l'érosion du sol, et comprennent la nécessité de prendre des mesures. Il fut également décidé d'offrir l'orientation technique et le matériel nécessaire à l'application des mesures. Il était tout particulièrement spécifié, au cours de ces réunions, :

- que la JGRC fournirait le minimum nécessaire de matériel et d'orientation technique, et que ce soutien prendrait fin au bout d'une période déterminée ;
- que pour cela, il était nécessaire que les habitants de la région apprennent les techniques nécessaires sur une courte période, et d'établir un mécanisme permettant de poursuivre de manière continue les travaux communautaires par la suite ;
- que seul l'effort soutenu des habitants eux-mêmes leur permettrait de protéger leurs bases de production grâce au soutien obtenu et aux connaissances techniques acquises.

Nous nous sommes efforcés de soulever une prise de conscience chez chacun des habitants sur ces points.

b) Offre d'un stage de formation technique et de matériel

Au terme de discussions menées entre les habitants, 5 jeunes personnes par hameau (de 4 à 6 selon la grosseur du hameau) ont été sélectionnées pour participer au stage de formation technique. Le stage de formation technique s'est déroulé sur une période de trois jours en janvier 1999. A l'aide de panneau, de textes et d'un niveau simple, un enseignement technique a été fourni sur l'utilisation du niveau simple, ainsi que sur la façon de collecter, de transporter et de placer les pierres.

La JGRC a fourni à chacun des hameaux un niveau simple en forme de A, des pioches et des faux. Quant aux charrettes à âne utilisées pour la collecte et le transport des pierres, elles étaient fournies par les participants aux travaux.

c) Conditions de participation des habitants

Une fois terminé le stage de formation technique, les activités d'application des mesures de conservation ont commencé dans les hameaux avec la participation des habitants, sous le leadership des 30 personnes ayant reçu la formation technique. La JGRC notait également l'état de progression des travaux et le nombre de participants dans chacun des hameaux, pour diffuser ces informations dans les autres hameaux. Cela a donné naissance à un esprit de compétition, non prévu, entre les hameaux, favorisant la participation ; ceci se refléta au niveau du nombre de participants et du volume de travail exécuté.

Dans l'un des hameaux, une centaine de personnes au total ont participé aux activités de conservation en juin 2000, pour la mise en place de 1.400 mètres de diguettes en pierres. Dans un autre hameau, la participation d'une quarantaine de personnes a permis la mise en place de 260 mètres de diguettes en pierres.

(3) Effets des mesures

Les diguettes en pierres mises en place dans les pentes des collines de chacun des hameaux s'étendaient sur plusieurs kilomètres. La norme de hauteur était de 25 cm, afin qu'elles aient une bonne résistance aux eaux de ruissellement. La mise en place de ces diguettes en pierres a favorisé une plus grande infiltration des eaux de ruissellement lors des précipitations, ainsi que le contrôle des pertes en sol, permettant de constater une régénération de la végétation.



La mise en place des diguettes en pierres



Du côté amont des diguettes en pierres, l'accumulation de sol fin a permis la régénération végétale

5.2 Mesures relatives aux rigoles et ravins

5.2.1 Mesures de contrôle de l'agrandissement des rigoles à l'aide de sacs de sable

(1) Résumé des mesures

Dans le champ de mil de la ferme expérimentale installée par la JGRC dans le village de Magou, des mesures de conservation des terres agricoles ont été appliquées pour empêcher l'agrandissement des rigoles formées par l'affouillement causé par le ruissellement en saison sèche, à l'aide de sacs de sable auxquels étaient mélangées des graines de plantes.

L'inclinaison du champ de mil est d'environ 3°, et la superficie des terres en arrières d'où provient le ruissellement de l'ordre de 1 ou 2 hectares. Les mesures ont été appliquées dans 3 rigoles, dont le niveau d'érosion varie entre 30 cm × quelques mètres à 80 cm × 1,2 m environ (profondeur × largeur).

L'utilisation des sacs de sable s'explique par le fait qu'il n'était pas possible de faire la collecte de pierres en quantité suffisante dans les environs. Des sacs de jute en Nylon étaient utilisés, et ils étaient comblés de terre mélangée de fumier (de 5 à 10% de fumier par rapport au poids total). Ces sacs de terre furent d'abord disposés en lignes sur la largeur des rigoles, puis on les perça pour y enfoncer des graines d'andropogon au début de la saison de pluie.



Mise en place d'une ligne de sacs de terre



Germination après quelques précipitations

2) Effets des mesures

Ces mesures ont été appliquées avant la saison de pluie de 1999. Au début de la saison de pluie, le taux de germination de l'andropogon variait de 30 à 60%, et sa croissance, en entraînant la solidification des sacs de sable, a permis d'augmenter les effets de réduction du ruissellement. A partir du milieu de la saison de pluie, nous avons constaté un affouillement partiel directement sur le côté aval de la ligne de sacs, à cause de l'eau ayant débordé les sacs ou s'étant faufilée à travers les interstices. Il y avait toutefois une bande de sable d'une épaisseur d'environ 10 à 15 cm derrière la ligne de sacs, l'agrandissement des rigoles étant ainsi contrôlé. Un problème est toutefois survenu avec les sacs où la concentration de fumier était trop élevée, puisque la décomposition du fumier entraînait le dégagement d'une chaleur qui faisait fondre les sacs avant la germination

de l'andropogon. De plus, il y avait également des cas de rigoles tellement profondes qu'elles pouvaient en fait être appelées des ravins, aussi les lignes de sacs y furent-elles partiellement emportées par les eaux de ruissellement. On peut en conclure que cette méthode est efficace dans le cas des rigoles nouvellement formées, avec une surface de ruissellement relativement petite et une pente dont l'inclinaison est douce.

5.2.2 Réparation des rigoles à l'aide de haies vives et de cordons de pierres

Comme nous l'avons vu au Tableau 5.1.3, les mesures de conservation appliquées dans les 5 villages du cercle de Ségou au Mali consistaient en la mise en place de diguettes en pierres dans les pentes des collines pour contrôler le ruissellement, tandis que les mesures relatives aux rigoles dans les terres de culture en aval et les pentes douces y menant étaient confiées à chacun des cultivateurs sur une base individuelle.



Rigole formée par le ruissellement de l'eau de pluie en provenance d'une colline



Ligne de diguettes en pierres installée dans une rigole



Haies de pourghères juste après la plantation



Une fois qu'elle a pris, la haie vive donne de bons résultats de réduction du ruissellement



Rigole ayant subi un affouillement d'une profondeur d'environ 50 cm



La même rigole 1 an plus tard (formation d'une bande de sable et retour du champ)

Les mesures relatives aux rigoles visaient à réduire la vitesse du ruissellement, à favoriser l'infiltration, l'accumulation du sable coulant, la régénération de la végétation naturelle, et à contrôler le ruissellement vers les terres de culture situées en aval. Trois types de mesures ont été adoptés. Le premier s'appliquait aux cas où la collecte de pierres à proximité était facile, pour la mise en place de cordons de pierres d'une largeur de 5 à 10 mètres (selon la largeur de la rigole), à intervalles de 20 à 30 mètres. Le deuxième type de mesures, appliqué là où la collecte des pierres était difficile, à installer des haies vives d'une même largeur et d'une même épaisseur. Finalement, le troisième type de mesures consistait à installer des haies de fascines. Pour les haies vives, les arbres utilisés étaient principalement l'euphorbia, le pourghère et le cisal, dont la reproduction est accrue par la ramification des branches.

A l'intérieur des terres de culture, nous avons utilisé principalement des haies de fascines et des haies vives. Dans le cas des haies de fascines, elles n'ont pas d'effet lorsque le volume de ruissellement est trop élevé, aussi y a-t-il alors des pertes en sol. De plus, la durée de résistance des branches utilisées comme pieux et traverses pour les clôtures est parfois courte, puisqu'elles sont dévorées par les termites. Quant aux haies vives, leurs effets sont considérables lorsqu'elles prennent. Elles permettent de réparer une rigole d'une profondeur de 50 à 80 cm et d'une largeur de 3 à 5 mètres, rendant possible la culture l'année suivante.

L'application des mesures de conservation à l'aide de haies vives se fait en sélectionnant des espèces d'arbres adaptées au milieu de croissance végétale, en tenant compte notamment de la pluviométrie et de la nature du sol dans la région en question. Il est nécessaire d'acheter des plants et de les faire pousser, mais leurs effets sont considérables dans les rigoles des terres de cultures situées dans des pentes très douces dont le sol est de nature sableuse.

5.2.3 Mise en place de gabions dans les ravins

1) Nécessité des mesures

Aux environs de la retenue du barrage de Mago installé dans le village de Magou au Niger, les habitants de 2 villages voisins pratiquent la culture de décrue et la riziculture irriguée en plaine d'inondation. Or, la durée de service de la retenue du barrage de Mago (capacité de 85.000 m³) est estimée à quelques dizaines d'années à un rythme d'ensablement annuel de 1.400 m³ (par le sable qui s'y écoule en provenance des terres situées derrière).

Par contre, si rien n'est fait pour mettre un frein à la dénudation de ces terres et à l'érosion de leur sol, l'augmentation de l'écoulement du sable entraînera une diminution de cette durée de service. La nécessité de mesures de conservation des terres agricoles sur ces terres a donc été reconnue par les habitants des 2 villages en question, aussi ont-ils commencé à y appliquer des mesures contre l'érosion du sable des oueds qui se déversent dans le barrage, dans le cadre des activités basées sur le plan modèle de développement du village agricole de Magou (présenté à la section 5.1.1).

2) Résumé des mesures

En tant que mesures contre l'érosion du sable des oueds, des seuils de fonds, sous la forme de gabions, ont été installés en 5 endroits de la rivière Mago, et en 8 endroits sur ces confluent. Les gabions ont été installés dans le but de réduire la vitesse du ruissellement des oueds et de favoriser l'ensablement dans le lit de la rivière, afin de prévenir l'écoulement du sable dans la retenue du barrage. Pour la sélection des points d'installation des gabions, nous avons tenu compte de l'inclinaison et de la largeur des oueds, afin de s'assurer d'une capacité d'accumulation du sable suffisante. De plus, répondant aux désirs des habitants de la région, nous avons fait en sorte que les gabions puissent également servir de voies de passage au-dessus des oueds.

La JGRC a fourni le véhicule pour le transport des pierres, ainsi que les gabions et matériaux divers nécessaires à l'application des mesures de conservation. Quant aux travaux (collecte et chargement/déchargement des pierres, creusage des fondations des seuils de fonds, mise en place des gabions, dépôt des pierres et autres travaux connexes), ils ont été réalisés avec la participation des habitants.

3) Conditions de participation des habitants

Parmi les 13 endroits de mise en place de gabions ci-dessus, 5 ont fait l'objet de travaux en janvier 2000. Pour les travaux, les participants ont été divisés en 2 groupes, chacun d'eux étant dirigé par un maçon. Le nombre de participants s'est élevé à 1.029 personnes-jours pour l'ensemble des 20 jours de travaux (51 personnes par jour en moyenne) et à 140 personnes-jours pour une autre période de 9 jours (16 personnes par jour en moyenne).

Les travaux de mise en place des gabions en tant que tels étaient simples, mais il ne fut pas toujours facile de motiver un tel nombre de personnes et d'obtenir la cohésion fonctionnelle nécessaire par une distribution adéquate des travaux. Malgré tout, les habitants qui ont réalisé ces travaux en y mettant leur effort personnel ont alors acquis une confiance en leur capacité d'effectuer eux-mêmes de telles activités. Ils ont ainsi pu poursuivre seuls, par la suite, la réalisation de travaux supplémentaires.



① Creusage des fondations



② Creusage des fondations terminé



③ Une toile de protection contre l'affouillement est étendue



④ Assemblage du gabion



⑤ Travaux de dépôt des pierres



⑥ Résultat final

5.3 Water harvesting

5.3.1 Méthode des demi-lunes

1) Description des installations

Comme mesure de conservation aux environs de la mare d'Eda du village de Magou au Niger (présentée à la section 5.1.1), 100 demi-lunes ont été ajoutées entre les lignes de diguettes en pierres installées dans les terrains nus derrière la mare.

Cette méthode consiste à creuser des trous en forme de demi-lune d'une profondeur de 20 cm et d'un diamètre de 4 mètres environ, en les entourant de la terre ainsi creusée. Par ailleurs, puisque ces demi-lunes étaient utilisées en commun avec les diguettes en pierres, elles étaient installées de façon séparée, à raison d'un espacement de 3 à 4 mètres. A l'intérieur des demi-lunes, des ligneux fourragers ont été plantés pour le bétail.

2) Réalisation des travaux et résultats obtenus

La mise en place des demi-lunes fut effectuée pendant la saison sèche 1999-2000, avec la participation des habitants, en même temps que celle des diguettes en pierres mentionnées plus haut. On se référera aux tableaux 5.1.(1) et 5.1.1.(3) pour les données sur le nombre de participants, la quantité d'outils et les frais d'achats de plants.

Il est encore trop tôt pour constater les effets concrets des ligneux fourragers puisqu'ils viennent à peine d'être plantés, mais dès le début de la saison de pluie, la régénération végétale avait commencé.



L'intérieur d'une demi-lune et la régénération végétale autour

5.3.2 Zaï

Dans le cadre du plan modèle de développement du village agricole de Magou au Niger, présenté à la section 5.1.1, des zaï ont été mis en place dans une des sections de terroir où la dénudation du terrain est avancée. Pendant la saison de pluie 1999, environ 8.000 zaï ont été installés par 20 ménages d'agriculteurs. Le résumé de la technique de mise en place des zaï est présenté à la section 3.2.3.



Des zaï mis en place avec des cordons de pierres



Germination de mil

5.4 Mesures de conservation des terres agricoles sur les terres de cultures

Nous présentons ci-dessous d'autres mesures de conservation appliquées de façon individuelle sur les terres de culture, dans le cadre du plan modèle de développement du village agricole de Magou.

1) Contrôle du ruissellement à l'aide de branches mortes et de résidus de récoltes



Il s'agit d'une méthode qui consiste simplement à aligner des branches mortes sur les voies d'eau dans les terres de culture, mais elle a un effet de prévention des pertes en sol dans les cas où le volume de ruissellement est peu considérable, en période initiale de génération de rigole.



Il est efficace d'installer plusieurs lignes de branches mortes, en les espaçant de 10 à 20 mètres.

2) Mesures contre les petits ravins, à l'aide de pierres



Le fait de mettre des pierres dans les voies d'eau des ravins s'étant formés dans les terres de culture a permis de réduire la vitesse de ruissellement, de favoriser l'ensablement, et de limiter l'agrandissement du ravin.

Il est efficace de placer des lignes de pierres en plusieurs points.



Ravin en cours de réparation par l'ensablement

3) Mesures de limitation de l'agrandissement des petits ravins, par des sacs de sable



Dans les endroits où l'approvisionnement en pierres était difficile, on a empilé des sacs de sable à l'intérieur de la voie de ruissellement, pour promouvoir l'ensablement et limiter l'agrandissement du ravin. Les sacs de sable étaient toutefois emportés lorsque le volume de ruissellement était trop grand. Il fallut alors placer les sacs dans le sens de la longueur par rapport à la direction du ruissellement (parallèlement), et en aligner plusieurs en élargissant vers la base. Leur stabilité et les effets de réduction du ruissellement ont par ailleurs été améliorés en y repiquant des graines d'andropogon.

Documents de Référence

- Ahn, P.M. , 1970. West African Soils. West African Agriculture vol.I. Oxford University Press: 332.
- Agbenin, J.O. and T.J. Goladi, 1997. Long-term soil fertility trend in the savanna as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizer. Soil fertility management in West African land use systems: Proceedings of regional workshop. University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Center and INRAN: 4-8 March 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag: 21-30
- Bationo, A., S.H. Chien, J. Henao, C.B. Christianson and A.U. Mokwunye, 1990. Agronomic evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:1772-1777
- Buol, S.W., F.D. Hole and R.J. McCracken eds., 1980. Soil genesis and classification. The Iowa State University Press, Ames:404.
- Carucci, R., 1989. Aperçu sur l'approche territoriale et méthodologies d'intervention dans la lutte contre la désertification de l'arrondissement de Keita. Pour le séminaire organisé par l'INRAN et le Programme Engrais Nigérien du 20 au 24 Février 1989 à Tahoua, République du Niger
- Casenave, A. and C. Valentin, 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in semi-arid areas of West Africa. J. Hydrol. 130: 231-249.
- Chase, R.G., J.W. Wendt and L.R. Hossner, 1989. A study of crop growth variability in sandy Sahelian soils. Soil, crop and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Saheilan zone. Proceedings of an International Workshop, 11-16 January 1987, ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger:229-240.
- Eldridge, D.J. 1994. Nests of ants and termites influence infiltration in a semi-arid woodland. Pedobiologia 38: 481-491
- Elkins, N.Z., G.V. Sabol, T.J. Ward and W.G. Whitford, 1986. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan desert ecosystems. Oecologia 68: 521-528
- FAO 1991. Resume des résultats des tests du Programme Engrais Nigerien. AG: GCPF/NER/020/DEN, Document de travail No.4.
- Hafner, H., E. George, A. Bationo and H. Marschner, 1993. Effect of crop residues on root growth and phosphorus acquisition of pearl millet in an acid sandy soil in Niger. Plant and Soil 150:117-127
- Jone, M.J. and A.Wild, 1975. Soils of the West African Savanna. Technical Communication No.55. Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England.246
- Joshi, N.L. and A.V. Rao, 1989. Availability of phosphate and potassium as the result of interactions between root and soil in the rhizosphere. Z.flanzenaehr. Bodenkd 149: 411-427
- Lal,R., 1993. Soil erosion and conservation in West Africa. World soil erosion and conservation (Primentel, D ed.). Cambridge University Press: 349.
- Leonard, J. and J.L. Rajot, 1997. Restoration of infiltration properties of crusted soils by mulching. Soil fertility management in West African land use systems: Proceedings of regional workshop. University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Center and INRAN: 4-8 March 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag:191-196
- Lobry de Bruyn, L.A. and A.J. Conacher, 1990. The role of termites and ants in soil modification: A review. Australian Journal of Soil Research 28: 55-93
- Ly, S.A., N. van Duivenbooden, C.L. Biolders, A.S. Gouro and K. Anand Kumar eds. 1997. Technologies diffusables et transférables aux producteurs. Actes des Ateliers cojoins INRAN-ICRISAT sur les technologies diffusables et transférables aux producteurs, 21-22 Novembre 1996 et 5-6 Juin 1997, Centre Sahélien de l'ICRISAT, Sadoré, Niger.
- Mando, A.L., L. Stroosnijder and L. Brussaard, 1996. Effects of termites on infiltration into crusted soil. Geoderma 74: 107-113.
- Martin, P., A. Glatzle, W. Kolb, H. Omay and W. Schmidt, 1989. N₂ -fixing bacteria in the rhizosphere: Quantification and Hormonal effect on root development. Z. Pflanzenaehr. Bodenkd 152: 237-245
- PASP 1999. Presentation du PASP.
- Payne, W.A., C.W. Wendt and R.J. Lascano, 1990. Root zone water balances of three low-input millet fields in Niger, West Africa. Agron. J. 82: 813-819
- Reji, C., 1989. The present state of soil and water conservation in the Sahel. OECD, 23-26
- Stahr, K., L. Herrmann and R. Jahn, 1994. Long distance dust transport in the Sudano-Sahelian zone and the consequence for soil properties. Wind erosion in West Africa: Proceedings of the international Symposium, University of Hohenheim, Germany, 5-7 December 1994. 23-34.
- Sterk,G. and L. Stroosnijder, 1997. Optimizing mulch application for wind erosion protection in the Sahel. Soil fertility management in West African land use systems: Proceedings of regional workshop. University of Hohenheim, ICRISAT Sahelian Center and INRAN: 4-8 March 1997, Niamey, Niger. Margraf Verlag: 185-189
- Wani,S.P, S. Chandrapalaih, M.A. Zambre and K.K. Lee, 1988. Association between N₂ -fixing bacteria and pearl millet plants: Responses, mechanisms and persistence. Plant and Soil 110: 289-302
- Yacouba, M., C. Reij and R. Rochette, 1995: Atelier de restitution sur la gestion des terroirs et le developpement local au Sahel, Niamey, 30 Mai-2 Juin 1995. Club de Sahel, SAH/D(95)448
- Wilding, L.P. and L.R. Hossner 1989. Causes and effects of acidity in Sahelian soils.

JGRC

La Société Japonaise des Ressources Vertes (JGRC) est une personnalité juridique sous tutelle du Ministère de l'Agriculture, des Forêts et de la Pêche.

Au Japon, elle s'occupe entre autres de l'aménagement général des terres agricoles, du boisement et de la construction de routes forestières.

Ses activités de coopération au développement des communautés agricoles dans des zones de pays en développement ont commencé en 1982. Depuis quelques années, elle s'occupe surtout activement d'études visant l'élaboration de mesures de lutte contre la désertification et de lutte contre l'érosion des sols pour faire face aux problèmes environnementaux d'envergure mondiale.

JGRC

Adresse: Shuwa Shiba Park Bldg., 2-4-1 Shibakoen, Minato-ku,
Tokyo 105-0011 Japon

Tél: 0081-3-3433-4240 (Département des activités outre-mer)

Fax: 0081-3-3436-1827

E-mail: overseas-activities@green.go.jp

ABN

L'Autorité du Bassin du Niger (ABN) est une Organisation Intergouvernementale créée en 1964 qui comprend neuf (9) pays riverains du Fleuve Niger : Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Guinée, Mali, Niger, Nigeria et Tchad.

Les objectifs de l'ABN sont :

- harmoniser et coordonner les politiques nationales de mise en valeur des ressources du bassin du Niger
- planifier le développement du bassin en élaborant et en exécutant un "Plan de Développement Intégré du Bassin"
- concevoir, réaliser, exploiter et entretenir des ouvrages et des projets communs.

ABN

Adresse: BP 729, Niamey, Niger

Tél: 00227-723102

Fax: 00227-724208

E-mail: abnsec@intnet.ne

Web: <http://www.abn-nba.org>