

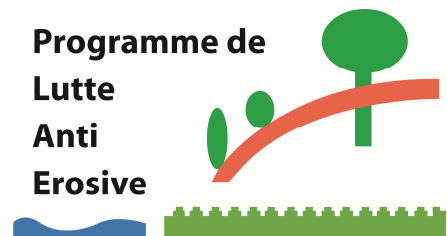


**Les techniques de
Correction des ravines et de Stabilisation des Lavaka
tirées des acquis du PLAE à Marovoay**

Programme de Développement de Madagascar

**Cofinancé par le Ministère Fédéral pour la
Coopération Economique et le Développement
(BMZ) à travers la KfW**

**Programme de
Lutte
Anti
Erosive**



Solofo RAHARINAIVO

novembre 2008

Table des matières

Introduction :	4
1. Le PLAE et ses sites d'interventions.....	4
La plaine de Marovoay.....	5
2. L'érosion :.....	5
2.1. Erosion de rejaillissement.....	6
2.2. Le ravinement :.....	8
2.3. Le Lavaka :.....	8
3. Les mesures de LAE et leur application:.....	9
Le calendrier.....	9
Courbes de niveau :.....	13
3.1. Les mesures à mettre en place pour l'érosion de rejaillissement :.....	13
3.1.1. Cordon de paille.....	13
3.1.2. Diguette en pierres.....	16
3.1.3. Haies antiérosives.....	17
3.1.4. Reboisement et embroussaillage.....	18
3.2. Les mesures à mettre en place pour le ravinement.....	21
3.2.1. Fossé de protection cloisonné.....	22
3.2.2. Fascines.....	24
3.2.3. Empierrement.....	27
3.3. Les mesures à mettre en place pour stabiliser un Lavaka.....	28
3.3.1. Le gabion.....	30
3.3.2. Terrassement.....	31
3.3.3. Barrage en pieux.....	32
3.3.4. Caisson.....	32
Conclusion :	34

Liste des acronymes

Ar	:	Ariary
BD	:	Base de données du PLAE
CES	:	Conservation des Eaux et des Sols
DRS	:	Défense et Restauration des Sols
h/j	:	Homme jour
LAE	:	Lutte Anti Erosive
PLAE	:	Programme de Lutte Anti Erosive
SBV	:	Sous Bassin Versant

Introduction :

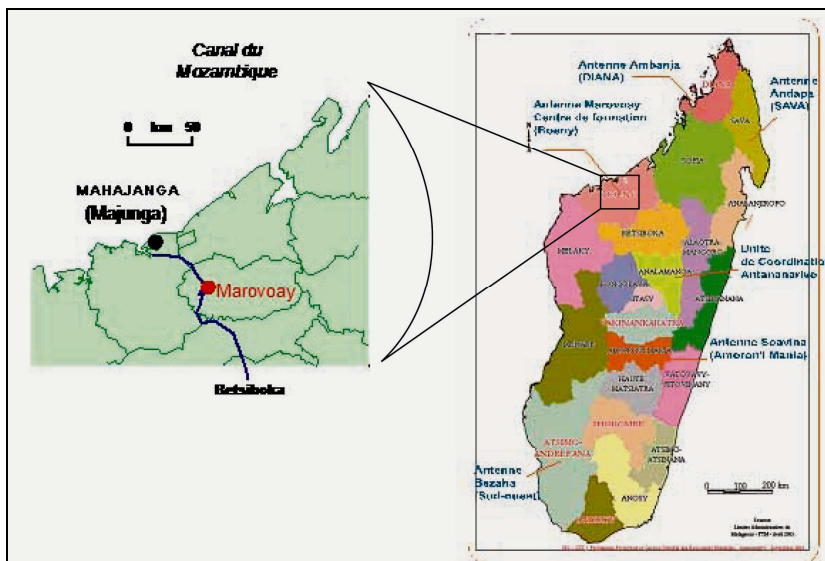
L'érosion des Bassins Versants représente un risque important pour l'agriculture. La dégradation des sols provoque, non seulement la réduction de la superficie exploitable sur Tanety, mais cause d'une manière assez spectaculaire, dans beaucoup de région de Madagascar, un ensablement important des rizières et des réseaux hydro agricoles.

Le Programme de Lutte Anti Erosive (PLAE) intervient pour mettre en œuvre des mesures de protection et de restauration des Bassins Versants en responsabilisant les populations, avec les moyens matériels disponibles localement et des techniques reproductibles avec leurs moyens.

L'élaboration de ce document, qui résume les expériences du PLAE dans l'application des mesures de lutte antiérosive avec la population à Marovoay, plus particulièrement la correction des ravines et la stabilisation des Lavaka, est essentielle pour le développement agricole lié à une meilleure gestion des Bassins Versants. Les expériences du PLAE sont convaincantes et les résultats sont prometteurs. Les mesures appliquées sont basées sur les techniques traditionnelles de CES DRS consolidées par des nombreuses idées de l'équipe du Programme et des partenaires. Les différents concepts d'approche et de démarche proviennent du développement participatif, de la recherche-action et d'autres méthodes. Les approches du PLAE visent surtout à mettre en pratique les procédés et instruments répondant le mieux possible aux situations et aux conditions sociales et techniques de la population et de son environnement immédiat.

1. Le PLAE et ses sites d'interventions

Le PLAE est conçu pour assurer la pérennité des Sous Bassins Versants (SBV) de petites tailles situées aux alentours directs des rizières, afin de réduire l'ensablement des canaux et des rizières. Il est depuis 2005 composé d'une Unité de Coordination, de cinq Antennes fonctionnelles et d'un centre de formation sis à Marovoay région Boeny.



Le PLAE a démarré ses activités à Marovoay, dans la Région de Boeny, au cours de sa première phase, de 1998 à 2004. La première extension du PLAE dans d'autres Régions de Madagascar a été entamée durant l'année 2005. Les Bassins Versants de Soavina et Ambondromisotra dans la Région d'Amoron'i Mania ont été ciblés à partir de la campagne 2005 – 06 et ceux autour de la vallée de la Taheza, Région Atsimo Andrefana ont été touchés depuis la campagne 2006-2007.

Une deuxième extension a eu lieu en 2008 dans le Nord de Madagascar avec l'implantation de deux antennes, l'une à Andapa (Région SAVA) et l'autre à Ambanja (Région DIANA).

La plaine de Marovoay

La plaine de Marovoay, d'une superficie de 16 000 ha aménagée pour l'irrigation, appelée aussi la plaine de la Basse Betsiboka, est connue pour être le deuxième grenier à riz de Madagascar après le Lac Alaotra (Nord Antananarivo). Les rizières sont établies dans une plaine d'inondation du fleuve Betsiboka. Avant de se jeter dans la mer à Mahajanga, le fleuve, de direction Sud Nord, traverse la plaine rizicole qu'il inonde à chaque saison des pluies. La plaine est également inondée par les eaux du réseau hydrographique provenant des SBV environnants. Une partie de ce dernier sert à réalimenter des lacs de retenues destinés à l'irrigation des rizières en saison sèche.

La plaine rizicole est encaissée dans un relief de cuesta (les Tanety) d'âge secondaire et tertiaire composé essentiellement de grès fortement altéré, donnant des sols sableux. Les rizières sont donc situées en contrebas d'un "stock" de sable. Ce stock de sable est facilement mobilisable puisque la végétation se fait rare et que le climat, à deux saisons contrastées, est très contraignant. Pendant la saison des pluies (de décembre à avril), les précipitations peuvent dépasser les 1500 millimètres et c'est aussi la région de Madagascar où les pluies sont les plus violentes. Le reste de l'année est largement dominé par un temps ensoleillé et sec.

2. L'érosion :

La déforestation, les feux de brousse et l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles augmentent l'érosion du sol des Bassins Versants. L'impact est particulièrement important car les sols sont laissés sans aucune couverture végétale.

Plus de 60% des Communes de la Région de Boeny considèrent l'ensablement des bas-fonds comme un problème important à leur niveau.

Sur les Bassins Versant autour de Marovoay, le contexte social ne favorise pas une gestion raisonnée de l'environnement. D'un côté, la population, souvent très peu fortunée, se préoccupe essentiellement de subvenir à leur besoin alimentaire primaire et raisonne donc à court terme. De l'autre côté, la diversification ethnique selon la zone d'implantation, les Merina sont majoritaire à Marovoay ville, les Betsileo sur la rive droite et les ethnies du Sud sur la rive gauche (source : Enquête socio économique par Catherine DOMALIN en 2000) et le mode de faire valoir, le métayage qui domine (quelque soit le type de riziculture, il dépasse les 30%) n'incite pas les villageois à s'investir sur les parcelles rizicoles et de ne pas s'intéresser à la préservation des ressources naturelles des Bassins Versants.

Les pratiques agropastorales (feux de brousse, cultures sur pentes, gestion des ressources boisées...) ne sont pas en adéquation avec une politique de préservation de l'environnement qui, elle, se réalise sur le long terme.

Le climat agressif favorise l'érosion qui se traduit principalement par l'ensablement en saison des pluies et par l'impossibilité pour la végétation de se maintenir en saison sèche. Sur les Tanety, cela se traduit par une raréfaction de la couverture végétale, obligeant les habitants à parcourir plusieurs kilomètres pour se procurer du bois. Dans le périmètre rizicole, les parcelles de culture situées en bordure des Tanety sont ensablées ou menacées d'ensablement. La végétation arborée perdure dans les villes, dans les fonds de vallons et dans le parc d'Ankarafantsika où elle est néanmoins de plus en plus menacée. Les feux de brousses, fléau dans le maintien de la couverture végétale, sont pratiqués pour régénérer l'herbe sèche. Les terrains brûlés n'ont pas le temps de se refaire une couverture végétale avant la saison des pluies.

A cela s'ajoutent des facteurs économiques comme l'exploitation déraisonnée de carrières de terres sur les Tanety qui sont ensuite laissées à l'abandon.

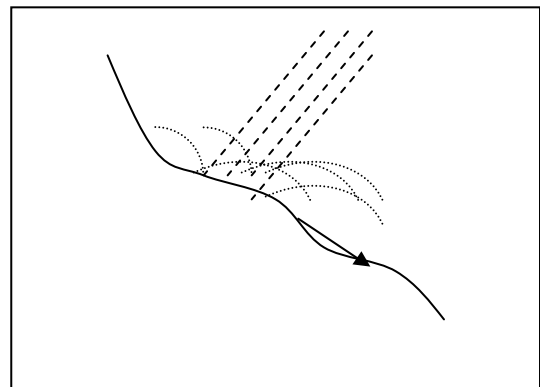
Notre objectif n'est pas de montrer la genèse des ravines ou des Lavaka mais plutôt de partager les méthodes les plus pratiques pour freiner ces phénomènes. Toutefois, un aperçu général de l'érosion et de son importance s'avère utile.

2.1. Erosion de rejaillissement

L'eau de pluie agit sur le sol et provoque sa dégradation. En première phase, l'eau de pluie tombe et use d'abord les surfaces dénudées (érosion de rejaillissement ou splash erosion). Les gouttes d'eau font éclater les particules terreuses et les projettent assez loin.



L'érosion en nappe (site Morarano)



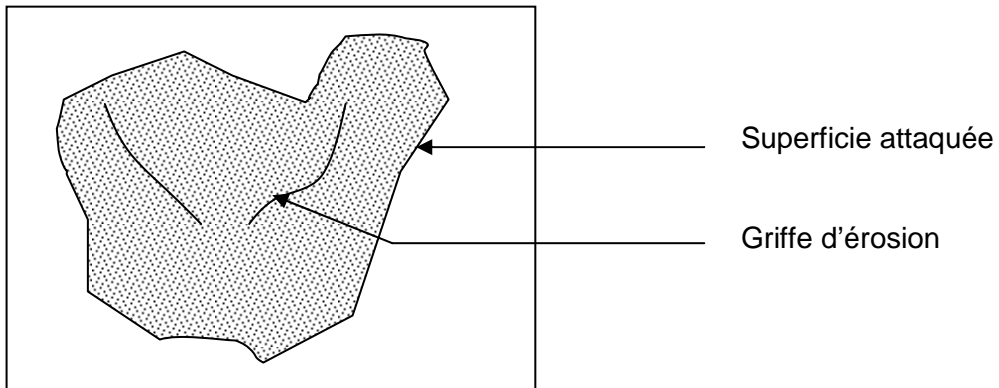
L'éclatement et le déplacement des particules de sol

Ce déplacement de particules est important car une averse de 100 mm peut faire rejaillir 300t de sol par ha.

Sur des terrains qui ont une pente plus ou moins faible, le ruissellement peut provoquer une érosion superficielle comme une nappe suivant la pente (sheet erosion). Souvent,

PLAE

l'écoulement n'est pas toujours régulier, ce qui résulte un début de formation des griffes d'érosion qui évolue après en ravine sur les lieux de concentration de l'eau.



Vue de plan érosion en nappe

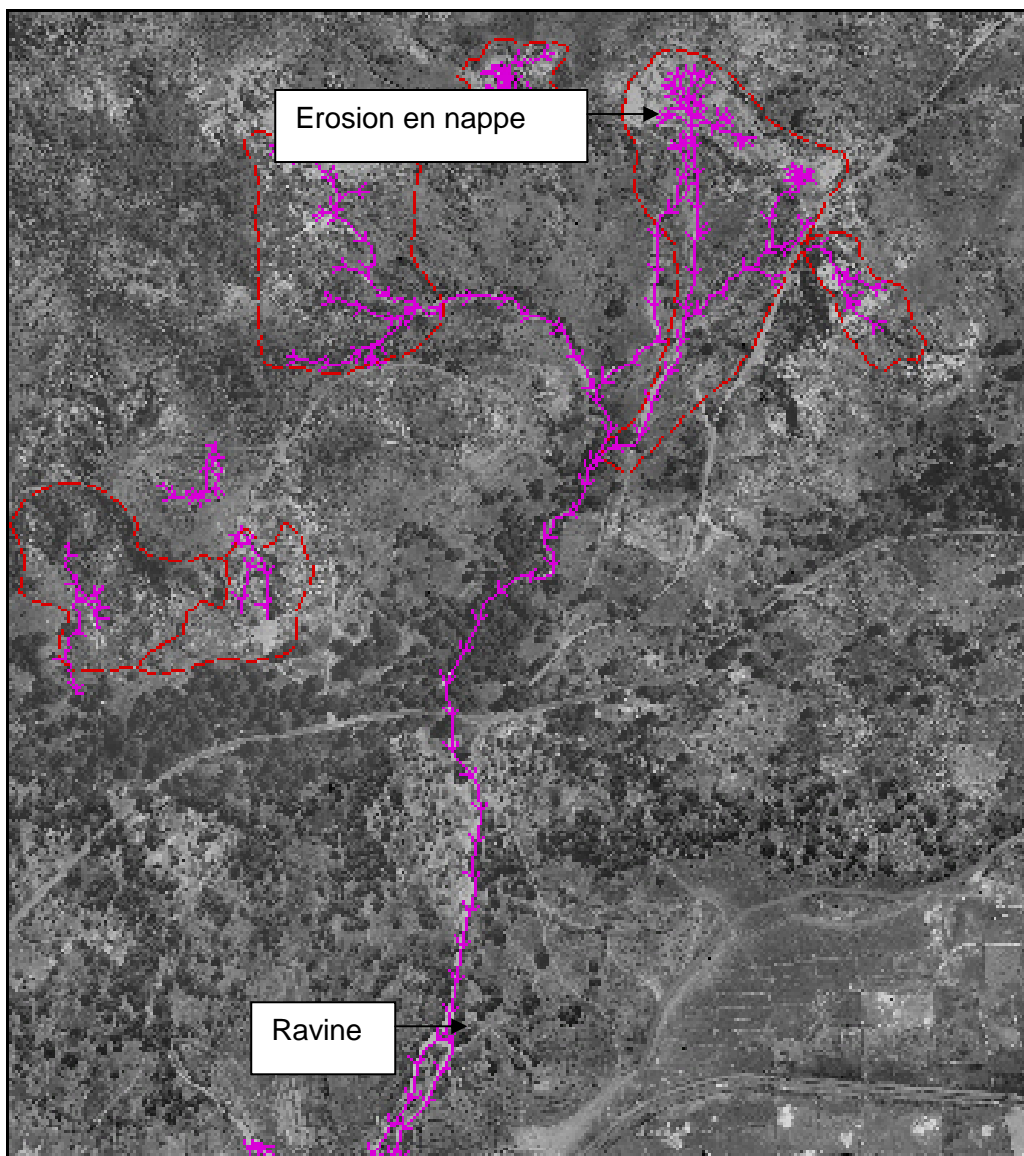
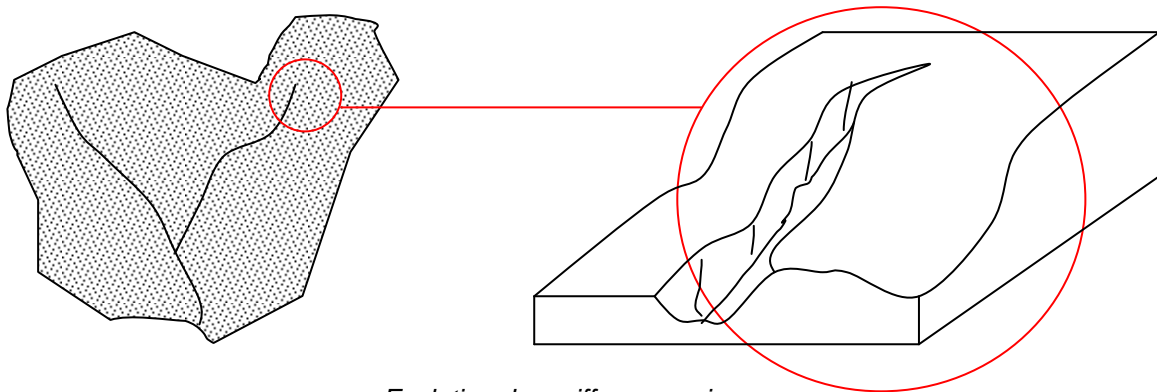


Photo aérienne d'un site affecté par l'érosion.

2.2. Le ravinement :

L'arrachement du sol est beaucoup plus considérable si les gouttes de pluies sont plus intenses, ce qui accentue la vitesse de l'eau. Si l'érosion en griffe n'est pas effacée, les griffes causées par une concentration du ruissellement se développent en ravine qui peut avoir une taille assez importante, de 0.5 m à 5 m.

L'importance de l'érosion est en fonction de cinq facteurs : l'intensité de la pluie, la pente, la végétation, la susceptibilité du sol et sa perméabilité. Avec une pente raide et une forte intensité de pluie, l'érosion est importante ; elle est par contre moins importante si la végétation est assez dense et la pente est moins faible.



Evolution des griffes en ravines



Ravine sur le site de Morarano



Ravine sur le site de Tsarahonenana

2.3. Le Lavaka :

Lavaka est un mot Malagasy qui se traduit littéralement par « trou ». Le type de Lavaka le plus commun se présente sous la forme d'une goutte d'eau à l'envers, avec la partie large se situant vers le haut de la colline et la partie effilée vers le bas se rétrécissant jusqu'à 1/1000 de leur grosseur maximale. Ils peuvent atteindre jusqu'à 300 mètres de long, 75 mètres de large et 20 mètres de profondeur (cas des Lavaka qu'on rencontre sur le Sous Bassin Versant de Mantsamandevy en Rive gauche de la Betsiboka ou sur le 07c en amont de la ville de Marovoay). Ce qui différencie les Lavaka des ravines communes est leur forme et la très grande taille qu'ils peuvent avoir.

Le degré d'érosion occasionnée et les sédiments transportés depuis les Lavaka s'avèrent considérable. Les estimations tournent autour de 2900 tonnes par hectare par an, mais aucun chiffre officiel n'existe sur les dégâts où les plantes, clôtures, et même les barrages de gabions qui peuvent être littéralement emportés par le phénomène de formation de Lavaka. Tout cela fait que les risques et les coûts pour stabiliser un Lavaka en pleine activité s'avèrent parfois élevés.

3. Les mesures de LAE et leur application :

La stratégie globale du PLAE est premièrement d'empêcher le sol d'être emporté, et deuxièmement de freiner la vitesse de l'eau d'écoulement en diminuant ainsi sa force érosive, ce qui assure aussi le dépôt des sédiments avant leur arrivée dans les canaux et les rizières.

Deux principaux types de mesures sont développés :

- Les ouvrages dits « mécaniques », comportant des fascines simples ou doubles, les cordons de paille ou de pierres, les diguettes en terre, le caisson, le gabion et les fossés de protection. Pour ces mesures il faut employer les matériaux qui sont disponibles sur place en quantité suffisante.

Ces ouvrages ne sont donc que des protections temporaires qui doivent être accompagnées de la végétalisation qui en prolongera les effets.

- Les mesures biologiques comportant essentiellement les haies antiérosives, l'enrichissement de la couverture herbeuse et les plantations d'arbres et d'arbustes. La végétalisation est la principale garantie de durabilité tant qu'elle n'est pas détruite par le feu ou la coupe abusive. Elle est menée en tenant compte des contraintes locales du sol et des intérêts des populations pour certaines espèces.

Le calendrier

Une des conditions de réussite des mesures de lutte antiérosive est le respect du calendrier de mise en place et d'entretien. D'une manière générale, les mesures mécaniques qui doivent créer des effets immédiats sur la correction des ravines par une accumulation de sable et ralentissement de la vitesse de l'eau doivent être mises en place avant la saison de pluie. Le suivi doit se faire pendant toute l'année pour vérifier l'efficacité de ces mesures et pour organiser les travaux d'entretien en cas de nécessité.

Les mesures biologiques doivent être installées tout au début de la saison de pluie. La plantation tardive ne permet jamais d'avoir ni un taux de réussite acceptable ni une croissance normale des plantes.

PLAE

A partir des données entre 1929 et 1978 auprès du service de la météorologie à Ampandrianomby Antananarivo, la pluviométrie moyenne annuelle de Marovoay est de 1341 mm. La région de Marovoay, avec une saison sèche de 5 à 6 mois, est classée dans une zone subhumide (RAUNET, 1997, d'après Humbert et Court-Darne). En conséquence, l'installation des mesures biologiques doit se faire à partir du mois de décembre où l'on peut déjà avoir des précipitations moyennes autour de 100 mm.



Calendrier des activités de Lutte Contre l'Erosion des Bassins Versants

Tetiandro amin'ny fanatanterahana ireo asa fianovanana ny sabon-drilaka

Activités	Asa	Mois - Volana											
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Préparation	Fanomana												
Choix des sites à traiter	Fisafidianana ny toerana iasana	x											
Diagnostic des sites, parcelles de cultures - aires de pâturage	Fanadiadiana ny niavian'ny olana eny an-tanety, eny amin'ny tanimboly, eny amin'ny toeram-piraofana	x	x										
Etablissement du plan paysan	Famolavolana ny planina hotanterahana	x	x	x									
Formation	Fiofanana												
Formation sur la pépinière	Fiofanana amin'ny famokarana zanakazo	x	x	x	x								
Formation sur les mesures mécaniques	Fiofanana amin'ny fametrahana ireo fiarovana mekanika				x	x	x						
Formation sur les courbes de niveau	Fiofanana amin'ny famaritana tsipika mira ahabo						x	x					
Formation sur la trouaison et la plantation	Fiofanana amin'ny fanaovana lavakazo						x	x					
Formation sur l'organisation de chantier	Fiofanana amin'ny fandaminana ny asa			x	x	x	x						
Formation sur la gestion de l'aire de pâturage	Fiofanana amin'ny fitantanana toeram-piraofana			x	x								
Réalisation	Fanatanterahana												
Mise en place des mesures mécaniques	Fametrahana ireo fiarovana mekanika												
Fascines	Hesika					x	x	x					
Digues en terre	Fefiloha vita amin'ny tany voatoto			x	x	x							
Cordon de paille	Laharana paipaika					x	x	x					
Cordon de pierre	Laharam-bato					x	x	x					
Gabion	Rarivato ("gabio")			x	x	x							
Caisson	Vata vita amin'ny hazo					x	x	x					
							semestre 2			semestre 1			
							Tapa taona 2			Tapa taona 1			





Calendrier des activités de Lutte Contre l'Erosion des Bassins Versants

Tetiandro amin'ny fanatanterahana ireo asa fiarovana ny sabon'-draka

Activités	Asa	Mois - Volana												
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
Mise en place des mesures biologiques	Fametrahana ireo fiarovana ara - pambolena					x	x	x	x					
Choix emplacement des pépinières	Fisafidianana ny toerana asiana ny fanin-ianankazo	x												x
Travaux de production des plants	Asa famokarana zanakazo	x	x	x	x	x	x							
Reboisement	Fambolen-kazo					x	x	x	x					
Embroussaillage	Fambolena ireo kirihitra					x	x	x	x					
Haie antiérosive	Fefy velona					x	x	x						
Installation des plantes de couvertures	Fametrahana ireo volirakotra					x	x	x						x
Installation des cultures vivrières	Fametrahana ny voly fihinana					x	x	x						x
Suivi Entretien	Fanaraha-maso sy fikojakiana													
Suivi des réalisations	Fanaraha-maso ny asa vita	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Suivi animation de la lutte contre les feux	Fanaraha-maso sy fanentnana amin'ny ady amin'ny afo	x	x	x	x									
Entretien renforcement des mesures mécaniques	Fikojakiana sy fanamafisana ireo fiarovana mekanika					x			x	x				
Regarnissage des plantations	Fanosohana ireo volihazo								x	x				
Evaluation Reprogrammation	Tomban'ezaka sy Fandaharam-potoana													
Evaluation efficacité des mesures	Fandrefesana ny fiasan'ny fiarovana										x	x		
Evaluation réussite en plantation	Fandrefesana ny tahan'ny fahombiazana amin'ny volihazo				x	x								
Evaluation conjointe	Tomban'ezaka											x	x	
Première évaluation des activités à mener	Faminavinana savaranonando ny asa ho fanetrahina											x	x	
		semestre 2						semestre 1						
		Tapa taona 2						Tapa taona 1						

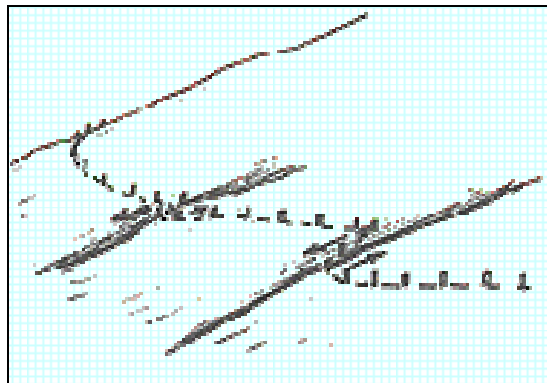


Courbes de niveau :

La plupart des dispositifs de lutte antiérosive sont installés suivant les courbes de niveau pour assurer une meilleure efficacité et pour éviter une concentration de l'eau. La maîtrise du traçage de ces courbes est alors très importante.

Les courbes de niveau sont des lignes imaginaires reliant les points de même altitude. Les courbes de niveau sont totalement horizontales.

La confection des courbes de niveau ne demande pas d'équipement coûteux dans le cadre de la lutte antiérosive. Elle peut se faire facilement avec le cadre A qu'on peut bien construire avec des matériels disponibles localement, avec le niveau à bulle et le niveau collier.



Une courbe de niveau

Ces instruments sont les plus souvent utilisés par les villageois comme détaillé dans la « fiche courbes de niveau ».

3.1. Les mesures à mettre en place contre l'érosion de rejaillement :

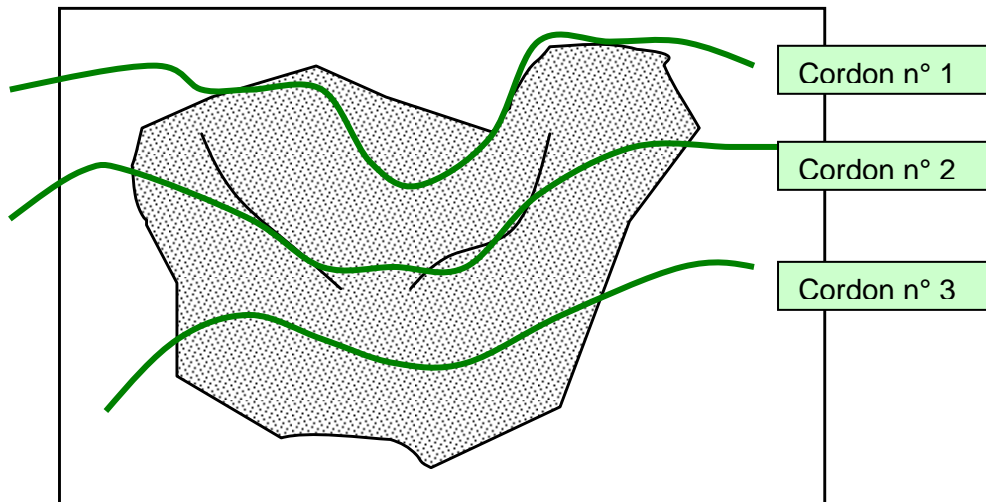
Les mesures à mettre en place consistent à réduire l'effet de l'eau de pluie sur le sol. Il s'agit alors à priori des dispositifs favorisant la restauration de la couverture végétale : des cordons de paille, des cordons de pierres, des haies antiérosives et le reboisement.

3.1.1. Cordon de paille

Les mesures de LAE adoptées par le PLAE pour ce type d'érosion consistent à ralentir la force de l'eau à travers la régénération d'une couverture végétale (cas : sites Morarano, Marosakoa et Tsiandrarafa Marovoay).

Dans le cas où l'amincissement de la couche végétale est très important, on doit d'abord favoriser une accumulation des particules de sol en installant des cordons de paille suivant les courbes de niveau, à partir du sommet et avec une dénivellation bien calculée.

Le cordon de paille est une rangée de paille fixée par des piquets suivant les courbes de niveau.



Disposition des cordons de paille vue de plan

La vitesse de l'eau dépend de sa quantité, de la pente et de la densité de la couverture végétale. Au cours de son installation, un cordon de paille peut avoir 25 cm de hauteur. La dénivellation entre deux lignes est alors 50 cm. Avec cet écartement, l'eau ne peut pas encore gagner la force d'emporter le sol ou de détruire le cordon.

En cas de manque de paille, on peut utiliser aussi des branches avec une légère application de paille en amont du dispositif. Si possible, on peut utiliser des boutures de *Ceiba pentadra* (faux Kapokier) ou de *Jatropha curcas* (valavelona), de *Physalis sp* (Tsipoapoaka) ou d'autres espèces qui peuvent se reproduire par bouture pour fixer la paille.

Coût :

Le coût de la mise en place du dispositif est de l'ordre de 345 Ar par mètre linéaire. Un homme jour pour les villageois correspond à 5 heures de travail. Les calculs de coûts effectués sont alors basés sur cette équivalence en heure.

Réalisation : 80 m de cordon de paille.

Désignation	Unité	Quantité	PU en Ar	Montant	Observations
Main d'œuvre	h/j	9.2	3000	27 600	23 personnes qui ont travaillé chacun en moyenne pendant 2h.
Paille	m ³	8	-	-	Disponible sur place
Gaulette	m	64	-	-	2 piquets de 40 cm par m de cordon
				27 600	
				345 Ar	par mètre linéaire de cordon

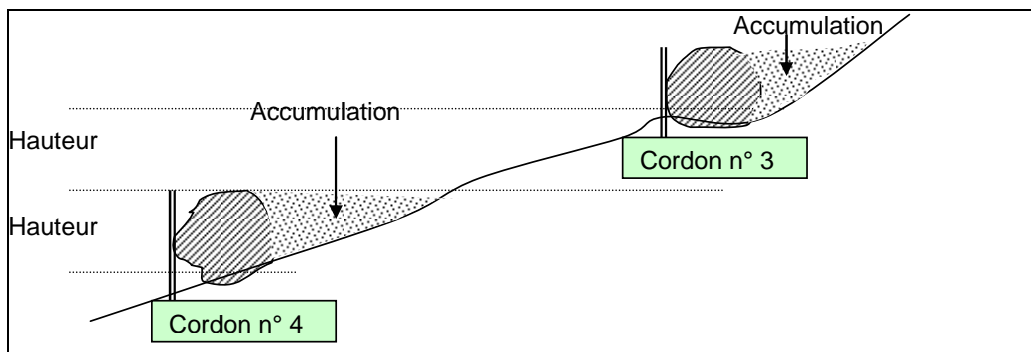
(Source : BD du PLAE _ suivi des activités en 2003 et en 2005).

PLAE

Les matériels sont disponibles sur place. Le coût unitaire du dispositif n'est autre que le coût de la main d'œuvre lors de la confection.

Période de mise en place :

Ce dispositif facilement reproductible est très efficace pour favoriser une accumulation de sol et de déchets végétaux, pour augmenter l'infiltration de l'eau et favoriser la régénération naturelle de la couverture herbeuse. Il doit être confectionné au début de la saison de pluie et le suivi et l'entretien doivent se faire pendant la saison de pluie. Un renforcement de mesure est nécessaire en début de la prochaine saison de pluie.



Disposition des cordons de paille vue de profil



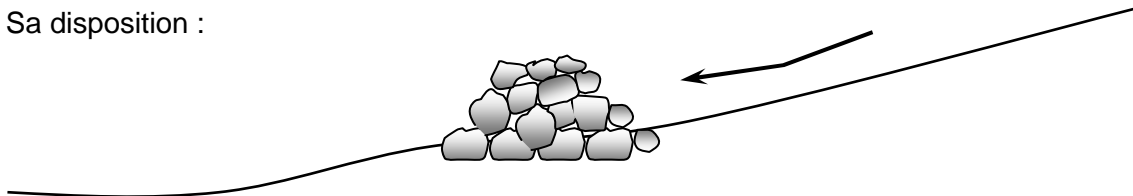
Cordon de paille site Marosakoa

La couverture herbeuse commence à régénérer, d'abord, le long du cordon, et petit à petit sur l'ensemble de la superficie. Dans ce cas, l'installation des haies antiérosives n'est plus nécessaire car la création d'une bande enherbée se fait naturellement.

3.1.2. Cordon de pierres

Le cordon de pierres est un dispositif filtrant construit avec des cailloux. Il a de même utilité que les cordons de paille et est recommandé en cas de disponibilité de matériaux. L'intervention pour son renforcement est beaucoup moins réduite par rapport au cordon de paille.

Sa disposition :



Elle est aussi installée suivant les courbes de niveau mais avec le même écartement plus large que les cordons de paille. Avant son installation, il faut procéder à un léger travail de nivellement de son assise pour que la diguette en pierres soit très stable et pour diminuer la longueur de l'ouvrage en arrondissant les angles trop aigus. Les grosses pierres doivent être installées dans la partie basse et les vides entre les pierres de grosses tailles doivent être comblés par celles qui sont plus petites.

Dimension :

Un cordon de pierres n'occupe pas trop de place et ne consomme pas trop de matériel. D'une manière générale, il a une base de 50 à 60 cm et une hauteur de 30 à 50 cm.

Coût :

La construction d'un cordon de pierres ne doit pas être trop coûteuse car la première condition de sa confection est la disponibilité de matériel sur place. En conséquence, le coût engagé ne concerne que la valorisation de la main d'œuvre mobilisée pour sa confection.

Un (1) m³ de cordon soit un cordon de 4 m de longueur avec une base de 60 cm de large et une hauteur 50 cm a besoin de un (01) m³ de tout venant pour sa construction.

Désignation	Unité	Quantité	Homme Jour mobilisé	Montant Total (Ar)	Montant par m (Ar)	
Terrassement	m ²	24	1	3 000	125	Equivalent à 1 homme Jour
Confection cordon	m	4	2	6 000	1 500	Equivalent à 2 hommes Jour
				Prix unitaire (1 mètre linéaire)	1 625	

(Source : BD du PLAE _ calcul des coûts en 2005).

Période d'installation :

La construction des cordons de pierres peut se faire pendant toute la saison sèche de l'année. On doit éviter de travailler pendant la saison de pluie pendant laquelle le risque d'accident est assez élevé. Il faut bien organiser l'intervention en fonction de la disponibilité de la main d'œuvre.

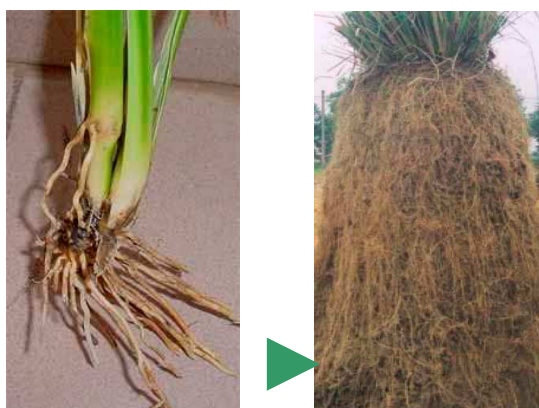


Un cordon de pierres dans le site d'Andranomandevy

3.1.3. Haies antiérosives

Depuis des années, des villageois connaissent différentes espèces d'arbres ou arbustes et diverses espèces herbacées telles que le Vétiver et le Sisal, qu'ils installent pour clôturer ou matérialiser la limite de leurs parcelles.

Le choix des espèces, la description des techniques d'installation et de gestion des haies dépendent du milieu et surtout de la fonction visée. Les haies installées sont donc des haies antiérosives qui doivent avoir une bonne reprise et une bonne fermeture.



L'éclat de souche du vétiver et le développement de son système racinaire

Pour cette fin, diverses espèces, légumineuses ou graminées, des plantes fourragères (Crotalaria, Tephrosia, Cajanus cajan, Pennisetum, Tripsacum, Brachiaria, Citronnelle, Jatropha...) sont utilisées au PLAE. La diversification des espèces est très conseillée pour faciliter le choix d'utilité des produits : production de biomasse, fertilisation, fourrage.

Par rapport au développement de son système racinaire, le Vétiver peut bien constituer une haie antiérosive efficace mais il supporte mal la sécheresse et les sols pauvres. Par contre, la Citronnelle arrive bien à se développer dans des conditions très difficiles.

Les haies antiérosives sont installées suivant les courbes de niveau et plus particulièrement sur la zone en amont de la ravine ou du Lavaka à traiter mais également pour fixer l'accumulation de sable en aval des ravines.



Haie antiérosive en Vétiver en amont



Haie fixatrice de sable en aval

Coût :

Les données sous mentionnées ont été obtenue à partir des fiches d'enregistrement de travail ponctuel réalisé au cours de la campagne 2004 - 2005. Les coûts de l'encadrement des techniciens du PLAE ne sont pas mentionnés.

Désignation	Unité	Quantité	PU en Ar	Montant	Observations
Longueur de la Haie vive	m	177		en Ar	Espèce : Vétiver
Traçage des courbes de niveau	h/j	1,58	3 000	4750	5 personnes pendant 1h 35
Labour	h/j	2,33	3 000	7000	7 personnes pendant 1h 40
Intrants	nb	546			
Achat :	-	-	Non calculé		apporté par les villageois
Arrachage et transport	h/j	1,40	3 000	4200	6 personnes pendant 1h 10
Plantation	h/j	3,47	3 000	10400	8 personnes pendant 2h 10
Coût total	Ar			26 350	
Coûts mètre linéaire d'une haie vive en Vétiver	Ar			148	

(Source : BD du PLAE _ calcul des coûts en 2005).

Période d'installation :

Pour que les plantes puissent se développer, son installation doit se faire à partir du mois de décembre et s'arrêter à la fin du mois de janvier.

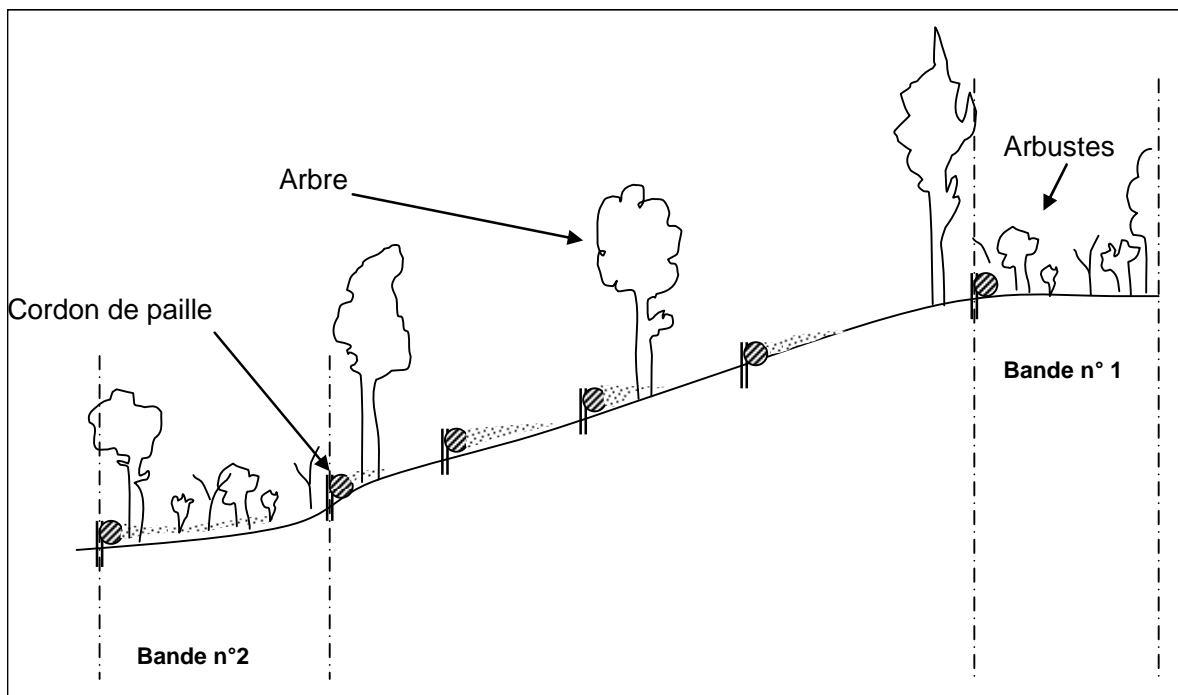
3.1.4. Reboisement et embroussaillement

La couverture végétale joue un rôle très important dans la lutte contre l'érosion. Sur les zones où elle est quasi inexistante et dont la confection des cordons de pailles ou de pierres ou des haies antiérosives doit être entreprise en priorité, l'enrichissement de la couverture végétale devra être envisagé dès la deuxième campagne d'intervention à travers des actions de reboisement et d'embroussaillement. Les espèces utilisées par le PLAE à Marovoay sont listées en annexe 1. Les techniques de préparation de sol et de plantation sont détaillées dans la fiche technique plantation.

Toutefois, il est nécessaire de préciser que le dispositif de plantation ayant pour objectif la lutte antiérosive n'est pas forcément le même que pour d'autre type de reboisement.

Pour la lutte antiérosive, le mode de plantation le mieux adapté est :

- la plantation suivant les courbes de niveau et en quinconce,
- le mélange d'espèces et peuplement assez clairsemé entre les bandes pour laisser développer la couverture herbeuse,
- la création des bandes d'arrêt par l'installation des espèces d'accompagnement ou des plantes d'embroussaillage. Un peuplement fermé et à plusieurs strates est alors formé pour jouer le rôle d'une barrière biologique.

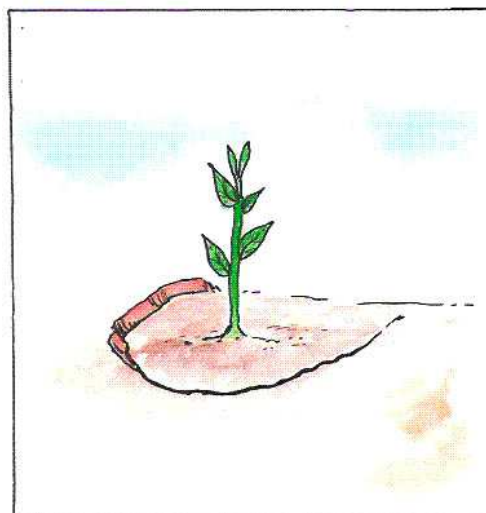


Disposition des arbres et arbustes

La création d'une demi-lune ou d'une cuvette par plante est aussi importante outre l'application du paillage pour stocker de l'eau. La demi-lune et la cuvette sont des ouvrages antiérosifs à vocation sylvicole et agricole. Elles favorisent l'infiltration de l'eau de ruissellement sur les sols dégradés.

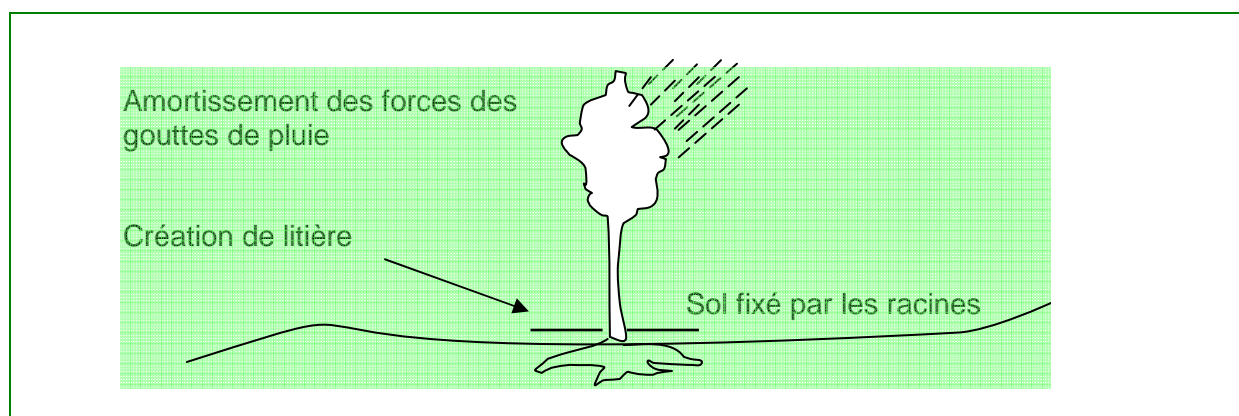


Cuvette (plantation de Grevillea)



Une demi-lune

L'arbre et l'arbuste protègent le sol à l'aide des houppiers qui amortissent la force des gouttes de pluies, des litières qu'ils peuvent produire pour couvrir et améliorer le sol et aussi à l'aide des racines qui fixent le sol.



Rôle de l'arbre dans la lutte antiérosive

Coût :

Par rapport à l'expérience du PLAE en matière de reboisement et d'embroussaillage, 1 ha de plantation dont la densité moyenne est de 1300 pieds à l'ha, coûte 231 584 Ar soit 178 Ar par pieds. On peut y ajouter le coût de la production de plants en pépinière qui est de l'ordre de 97 Ar par plants produits soit 126 673 Ar par ha.

(Source : BD du PLAE _ calcul de coût plantation en 2005)



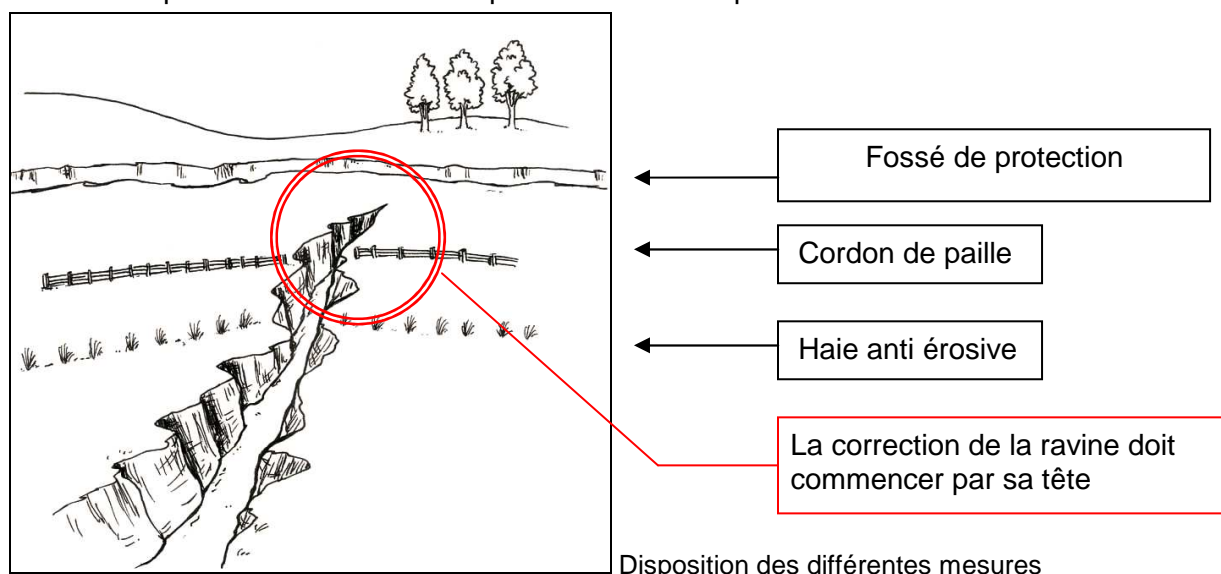
Reboisement en lutte antiérosive Ankazomborona

Période de plantation :

Le reboisement dans le cadre de la lutte antiérosive est souvent installé sur les terrains usés avec des sols insuffisamment perméables. Les racines sont alors soumises à des conditions extrêmes : excès d'humidité et ensuite sécheresse. Les jeunes plants doivent alors profiter une quantité maximale de pluie pour se développer, d'où l'importance de la préparation de sol, du paillage et des demi-lunes. Chaque année, la saison de plantation d'arbres et d'arbustes commence au mois de décembre et se termine au mois de février.

3.2. Les mesures à mettre en place contre le ravinement

La formation des ravines est, d'une manière générale, provoquée par le ruissellement superficiel. Les mesures de LAE doivent alors réduire cet écoulement et favoriser une infiltration. Les installations devront commencer à partir de la crête par le reboisement et l'embroussaillage avec des fossés de protection, des haies antiérosives et aussi des cordons de paille ou des cordons de pierres selon la disponibilité des matériaux.



Pour corriger la ravine, les dispositifs doivent être installés à partir de sa tête. Une ravine se développe toujours d'une manière régressive. Au début, sa taille et sa profondeur ne sont pas importantes mais peuvent devenir désastreuses après quelques années.

Les dispositifs, fascine ou empierrement, que l'on met en place doivent alors freiner ce mouvement régressif et fixer les parois.

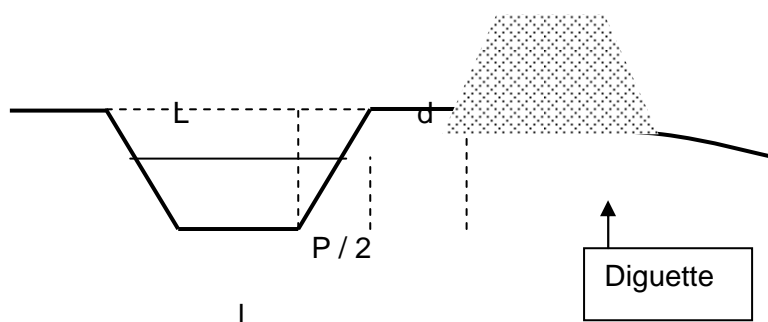
3.2.1. Fossé de protection cloisonné



Un fossé à Marovoay

Un fossé de protection est un dispositif servant à réduire la vitesse de ruissellement de l'eau et de favoriser l'infiltration. Il est ouvert en amont généralement à au moins à 30 m de la tête de la ravine. Il doit suivre un tracé de pente faible (~1%).

Sa taille est déterminée en fonction de la quantité d'eau, plus précisément l'intensité de pluie qui tombe sur le SBV traité.



L : largeur au sommet
 l : largeur au plafond (lit)
 d : distance entre le bord du fossé et la diguette
 P/2 : hauteur des cloisons qui est égale à ma moitié de la profondeur du fossé (P)

Pour le cas du Sous Bassin versant 07 c, pour capter l'eau de ruissellement d'un petit bassin de 1 ha dont l'intensité moyenne de pluie tombée sur 24 heures est de l'ordre de 15 à 25 mm de décembre à février, deux fossés ont été implantés dont la dimension de chaque est de :

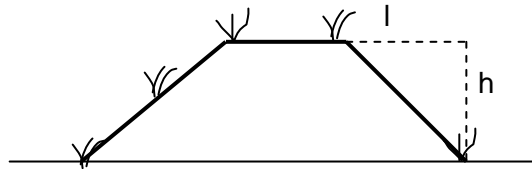
$$l = 0.80 \text{ m}$$

$$L = 1.60 \text{ m}$$

$$P = 0.80 \text{ m}$$

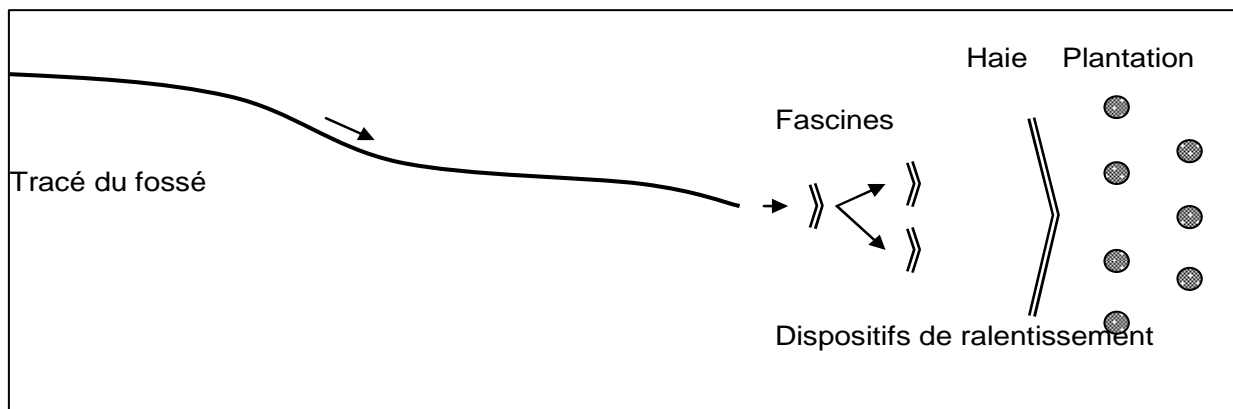
Le deuxième fossé est construit à 30 m en aval du premier et ils ont une longueur totale de 63 m.

La terre produite par le creusement du fossé est utilisée en aval pour construire une diguette de protection. Cette diguette est installée à une distance 'd = l/2' pour que son effondrement en cas d'attaque de l'eau ne provoque le comblement du fossé. Elle doit être bien compactée et protégée par une couverture herbeuse ou des lignes de végétation. La pente est de l'ordre 100% (l = h)



On laisse des cloisons d'une hauteur égale à la moitié de la profondeur du fossé, pour laisser l'eau stagner le plus longtemps possible afin de provoquer une infiltration maximale.

Le choix du déversoir du fossé est très important pour que l'eau ne crée pas de dégât à sa sortie. Si une zone propice existe déjà, (zone bien embroussaillée et assez loin de la ravine traitée), le traçage du fossé doit partir de cette zone. Le traçage part donc de l'aval vers l'amont. Sinon, il faut créer cette zone tampon avant d'ouvrir le fossé : installation des fascines, des haies vives et de plantation d'arbres et arbustes.



Aménagement de la zone de ralentissement

Coût :

Le calcul de coût est réalisé sur la base des données collectées en 2005 lors de l'ouverture des deux fossés d'une longueur totale de 63 m. L'encadrement par les techniciens du PLAE n'est pas pris en compte dans le calcul.

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant Ar	Observation
Traçage	Homme jour	0.40	3000	1 200	2 hommes pendant 1 heure
Fouille	Homme jour	18.90	3000	56 700	63 hommes pendant 1 heure 30 mn
Total				57 900	

Coût mètre linéaire	919 Ar	
Coût par m3	3 676 Ar	Volume fossé = 0.25 m3 par mètre linéaire

Source : BD du PLAE

Période d'installation :

L'ouverture du fossé doit être faite avant la saison de pluie pour éviter que sa finition partielle ne fasse que provoquer d'autres dégâts. Toutefois, il est préférable d'attendre la première pluie pour que le travail du sol ne soit pas trop pénible.

3.2.2. Fascines

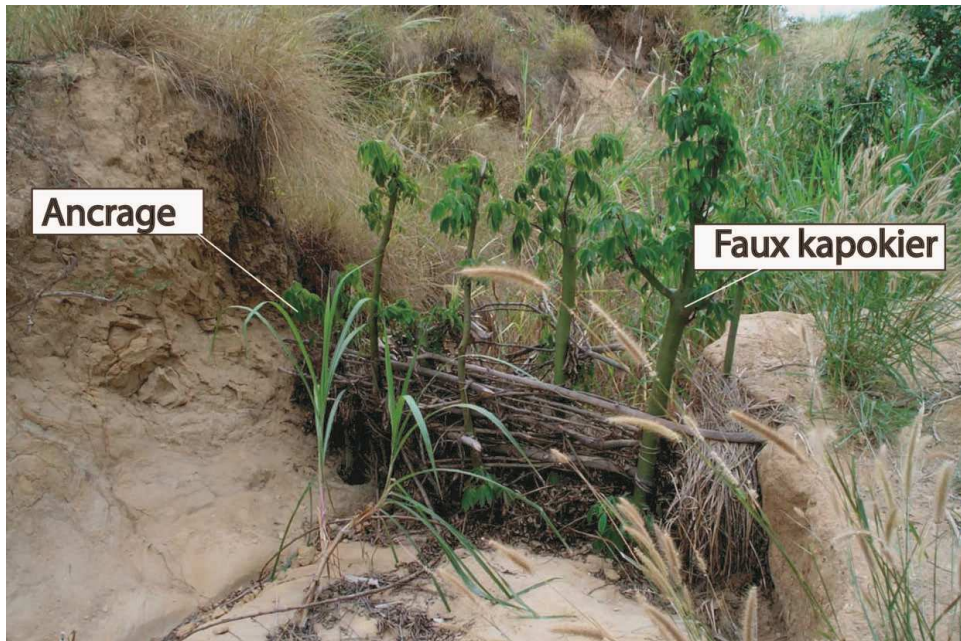
Une fascine est un ouvrage construit à l'aide des piquets, des branches et de paille pour réduire la vitesse d'écoulement de l'eau dans les ravines. Elle est très valable pour la correction des ravines de petite taille (moins de 2 m de large) ou sur les ravines dont la vitesse d'écoulement de l'eau est très faible. La fascine ne peut pas empêcher l'eau de passer mais elle sert principalement à réduire la vitesse de ruissèlement pour provoquer une accumulation de sable.

Au cours de l'installation, on doit tenir compte des points suivant :

- la première fascine doit être installée à la tête de la ravine pour protéger les parois,
- la deuxième se trouve très près de la première avec une distance inférieure ou égale à 2 fois la profondeur de la ravine,
- l'ancrage est très important pour éviter que la fascine fasse dévier l'eau pour attaquer les berges,
- l'utilisation des piquets qui peuvent repousser par bouture est très efficace et réduit considérablement l'entretien de la fascine,
- la viabilité d'une fascine ne dépasse pas trois ans si les piquets utilisés ne repoussent pas. En effet, il est nécessaire de prévoir des travaux d'entretien au moins 2 fois par ans : avant et au milieu de la saison de pluie.

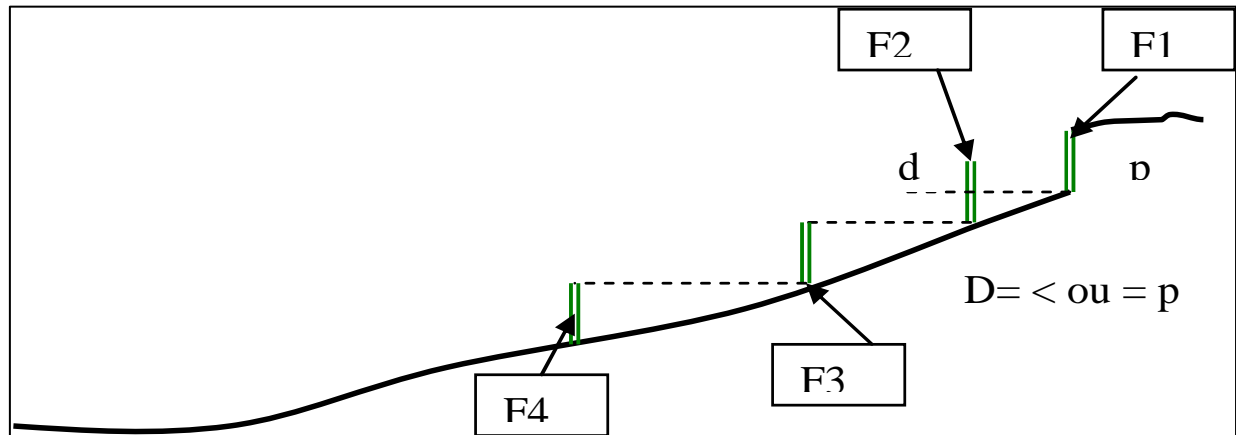
On distingue trois types de fascine : une fascine simple, une fascine double et une fascine double renforcée par une murette de pierre. Le choix du type de fascine est fonction de la

dimension des ravines. Une fascine double renforcée peut en certain moment remplacée un gabion.



Fascine simple avec des piquets verts

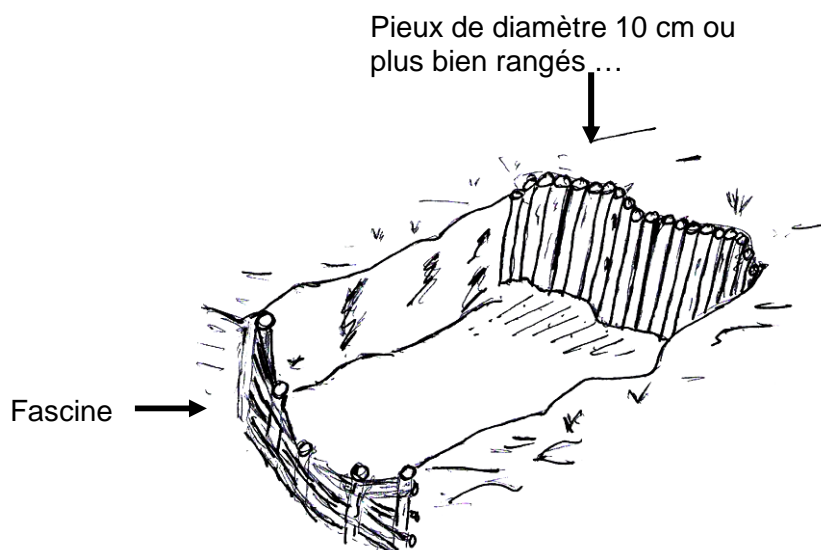
Disposition :



F : Fascine
d : distance entre les deux premières fascines
p : profondeur de la ravine

PLAE

Technique de protection de la tête d'une ravine à l'aide des fascines :



Coût :

Pour la confection d'une fascine simple de 2.15 m de longueur et de 0.75 m de hauteur, avec la main d'œuvre locale et les matériaux apportés par le villageois, 1 m de cet ouvrage revient à 676 Ar.

Toutes les données sous-mentionnées sont obtenues à partir des fiches d'enregistrement ponctuel des travaux au mois janvier et février 2005. Les coûts des matériaux locaux ne sont pas inclus ainsi que l'encadrement du PLAE.

Désignation	Unité	Quantité	PU	Montant	Observations
Largeur de la fascine	m	2.15			
Hauteur de la fascine	m	0.75			
Piquets utilisés	m	6.00	Non calculé		apporté par les villageois
Gaulettes utilisés	m	4.00	Non calculé		apporté par les villageois
Ficelles utilisées	m	0.00	Non calculé		apporté par les villageois
Branches utilisées	tas	6.00	Non calculé		apporté par les villageois
Paillages	tas	0.50	Non calculé		
Nombre des participants	nb	5.00			
Durée effective des travaux	heure	0.62			
Main d'œuvre en h/j	h/j	0.62	3 000	1 860	
Coût total de la fascine	Ar			1 860	
Coûts mètre linéaire d'une fascine	Ar			676	

Source : BD du PLAE

Période d'installation :

Les fascines doivent être installées avant le début de la saison de pluie. Ces ouvrages doivent être surveillés pendant la saison de pluie pour pouvoir les réparer dès constatation d'un endommagement. L'installation des plantes fixatrices (Vétiver ou espèces fourragères), la plantation des boutures qui vont remplacer les piquets doivent se faire fin janvier ou mi février.

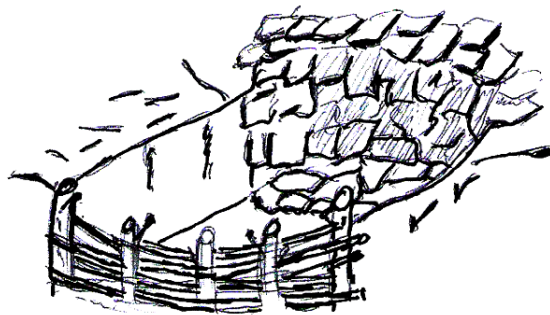
3.2.3. Empierrement

Si les matériaux sont disponibles, le traitement de la tête d'une ravine peut également se faire par un empierrement. L'objectif est de supprimer le développement de la ravine que ce soit en profondeur qu'en largeur. Il suffit de ranger des tout venants le long des parois de la ravine et aussi sur le lit.

On doit reprendre la confection des fascines un peu plus en aval (idem point 321) pour continuer la correction de la ravine.

Si nécessaire, on peut procéder à un travail léger de terrassement pour pouvoir bien poser les pierres.

Technique de protection de la tête d'une ravine à l'aide d'une fascine et de l'empierrement :



Traitement de la tête d'une ravine par l'empierrement

Coût

Avec les matériaux disponibles sur place, le coût de la mise en place d'un empierrement peut se résumer comme suit :

Désignation	Unité	Quantité	Montant (Ar)	Observation
Terrassement	m ²	1	125	
Confection empierrement	m ²	1	1 500	1m ³ à 6000 Ar
Coût total d'1 m²			1 625 Ar	

Source : BD PLAE

3.3. Les mesures à mettre en place pour stabiliser un Lavaka

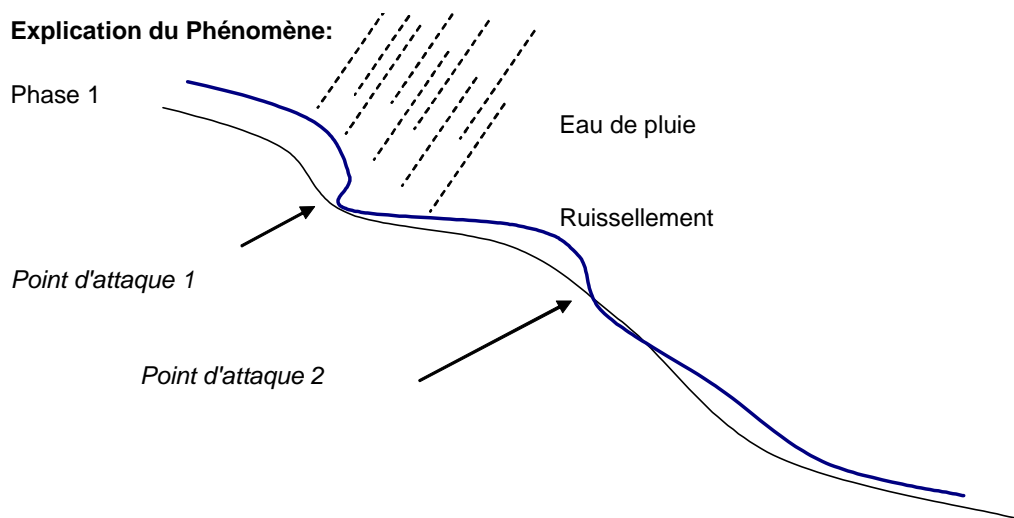
Au cas où une ravine n'est pas traitée, elle peut se développer en Lavaka. Elle progresse également de façon régressive.



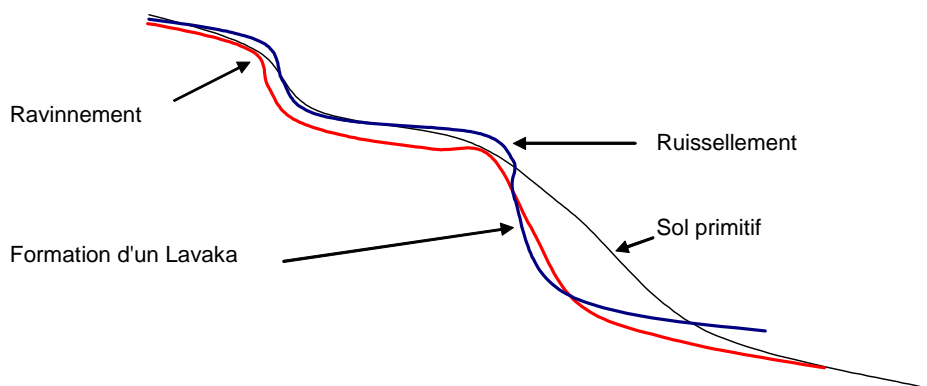
Le début de la lavakisation

Les schémas suivants représentent le phénomène :

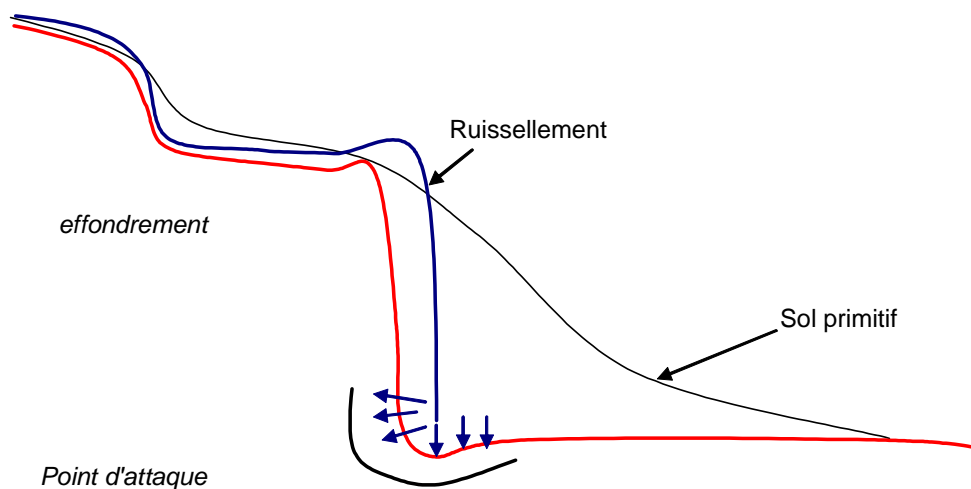
Explication du Phénomène:



Phase 2



Phase 3: Lavaka



Le facteur principal de la genèse d'un Lavaka est la dynamique d'une surface. J. Riquier affirme que « les Lavaka sont en fait une exagération du processus d'érosion en ravins ; leur forme particulière est due à la texture et à la structure des argiles latéritiques, sur sol rouge, compact, surmontant une zone d'altération de la roche épaisse et friable ».

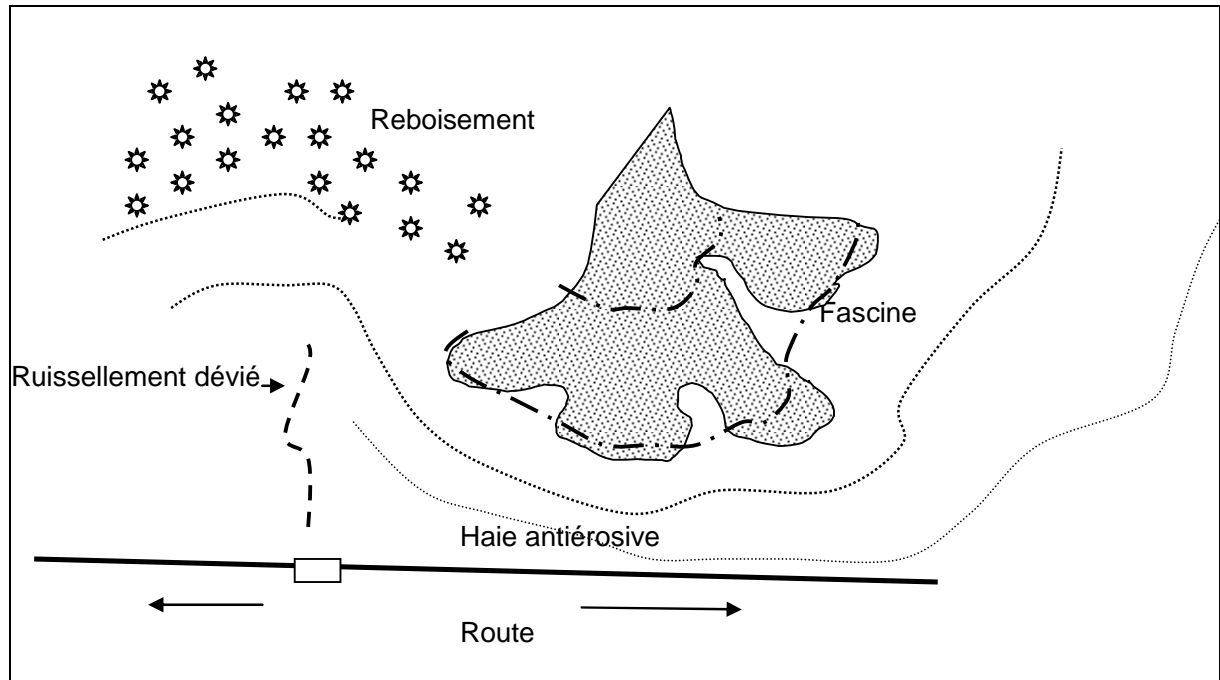
La stabilisation d'un Lavaka fait alors intervenir différents processus :

- diminution de son aire de drainage,
- diminution des effets de cascades d'eau venant de la partie supérieure,
- arrêt de son approfondissement.

La végétation joue un rôle important dans la stabilisation d'un Lavaka. Elle fixe le sol et réduit les effets de l'eau. Une recolonisation de l'intérieur du Lavaka peut se faire.

Cinq sites ont été choisis pour mettre en application les différentes méthodes de stabilisation de Lavaka.

A Bevovoka où le Lavaka qui s'est formé a une profondeur de 2m 50, l'installation des haies antiérosives sur le front, l'aménagement d'une zone d'épandage de l'eau de ruissellement, la confection des fascines doubles à l'intérieur du Lavaka ont permis de freiner en première campagne sa progression. En deuxième campagne, il a suffi de procéder à l'installation d'une couverture végétale composée essentiellement par des espèces fourragères pour arrêter le phénomène.



A Ambodiadabo, à Tsinjorivo et à Mantsamansevy, les phénomènes sont beaucoup plus importants. La profondeur des Lavaka peut atteindre les 15 m. Ces Lavaka causent un ensablement très spectaculaire du canal d'irrigation des secteurs rizicoles.

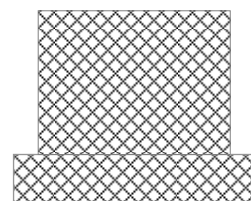
Les mesures mises en place consistent alors à traiter la surface en amont pour freiner la vitesse d'écoulement d'eau (haie antiérosive, plantation d'arbres et arbustes), à installer des ouvrages au niveau du goulot d'étranglement pour corriger la tête des Lavaka (gabion), et enfin à installer des ouvrages de ralentissement (fascines) suivis d'une végétalisation du lit par des Vétiver ou des espèces fourragères jusqu'au cône de déjection

3.3.1. Le gabion

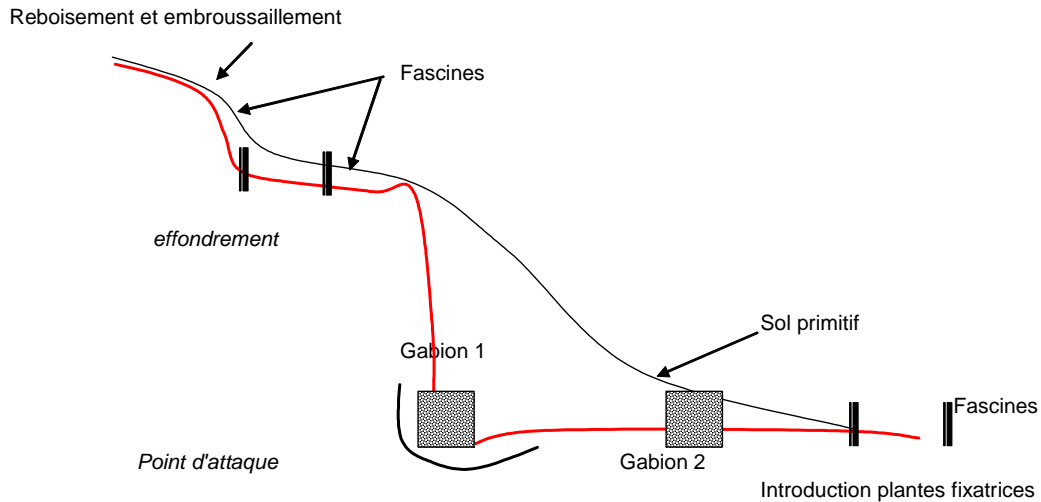
La chute d'eau provoque un creusement au fond du Lavaka, ce qui entraîne un effondrement de la paroi justifiant la progression régressive.

Un premier gabion (gabion 1) est alors construit contre la paroi du Lavaka pour éviter les effets de cascade de l'eau. Un deuxième gabion (gabion 2) est construit à une distance égale à la profondeur du Lavaka pour freiner le transport des sols dû à l'effondrement des parois, donc à pour effet de corriger progressivement le talus.

Pour assurer une meilleure efficacité du dispositif, le gabion doit avoir une semelle et que l'ancrage soit bien étudié.



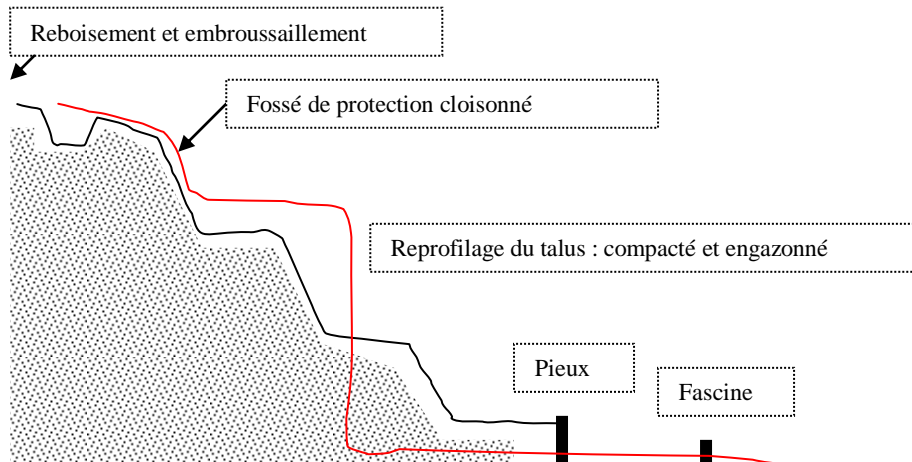
Semelle (~0.50 m de hauteur)



3.3.2. Terrassement

A Ambohiba, un des Lavaka très actif dont la profondeur est plus de 10 m cause l'ensablement du port de Marovoay, de la ville et le secteur rizicole n°7. La paroi du Lavaka est terrassée, toujours dans l'objectif de réduire les effets de la chute d'eau. Cette tête est aménagée en terrasse suivant les courbes de niveau et les déblais issus de ces travaux de terrassement sont compactés, tous les 10 cm puis fixés par un barrage en pieux.

Toute la surface travaillée est engazonnée pour la protéger contre l'eau de pluie.



Cette méthode est très avantageuse car tout d'abord, elle est beaucoup moins coûteuse que le gabionnage, son adoption par les villageois ne pose aucun problème.

Le déplacement des particules terreuses dû à l'effondrement des parois et maîtrisé du fait du reprofilage (on provoque l'effondrement et on stabilise le sol avec de dispositif pas très sophistiqué (Pieux)).

Le compactage est très important pour éviter que les sols partent dès la première pluie.

L'angle de la paroi est réduit à 100% après le terrassement et l'écoulement d'eau ne produit plus de dégâts.



Situation de départ



terrassement réalisé

3.3.3. Barrage en pieux



Un barrage en pieux sert à retenir un remblai compacté. Il est construit avec des bois ronds de diamètre 10 cm au moins.

Les bois ronds, bien rangés l'un à côté de l'autre, pour réduire autant que possible les vides entre deux pieux, doivent être bien enfoncés à l'aide d'une masse et sa hauteur ne doit pas dépasser 1 m pour éviter son écroulement.

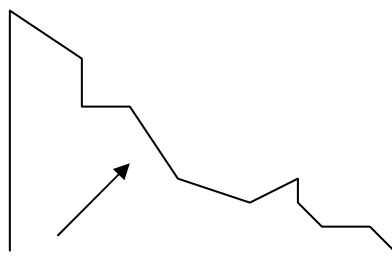
3.3.4. Caisson

Le caisson est un dispositif de protection et de renforcement des points très sensibles à l'érosion. Il est utilisé à la place des gabions.

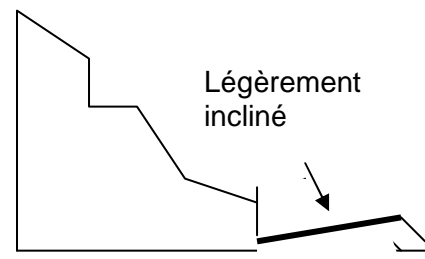
Le dispositif est assez coûteux vu la quantité de bois nécessaire pour sa construction et les besoins en main d'œuvre. Elle est par contre très valable au cas où les matériaux tels que des tiges de palmier, des bois ronds sont disponibles sur place.

Les opérations à réaliser pour la confection d'un caisson sont les suivantes :

- Après avoir préparé la fondation, tailler quatre gros bois ronds pour servir de piliers principaux ;



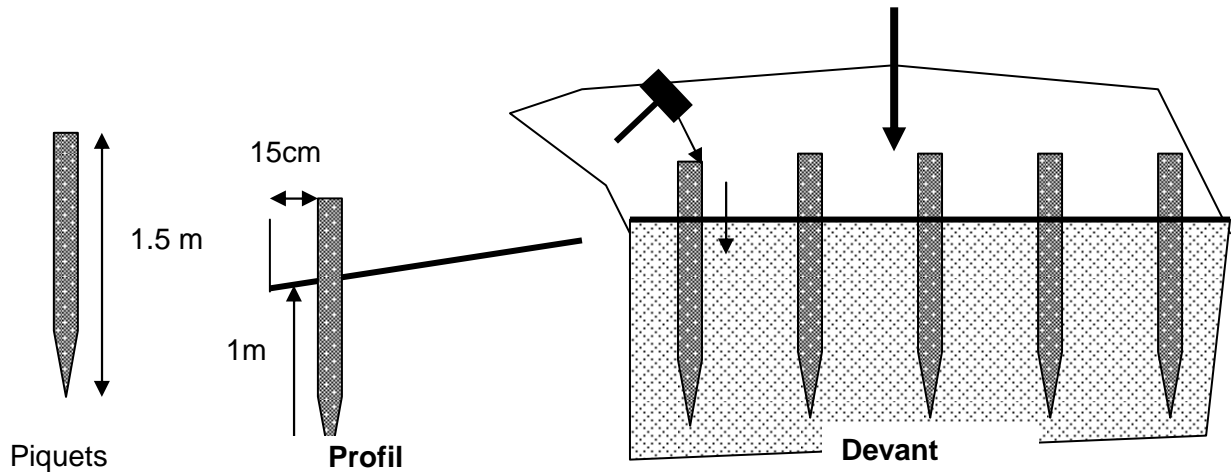
Profil initial



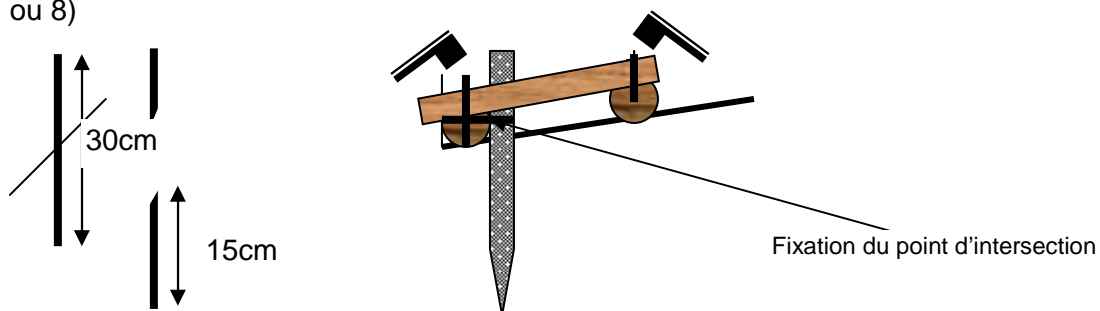
Profil final

PLAE

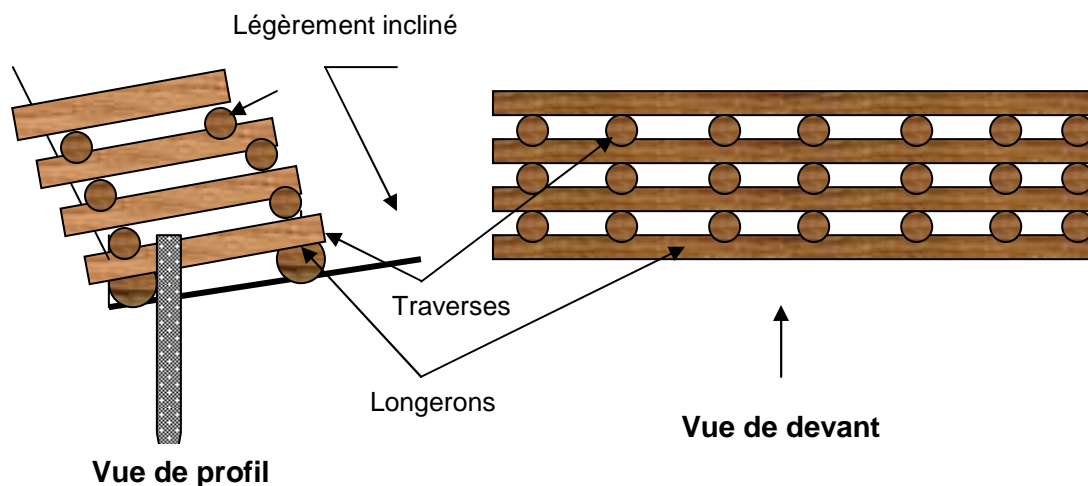
- Enfoncer verticalement les quatre piliers dans les quatre coins de la zone à corriger. Les deux piquets de devant prennent une inclinaison de 30°. Il faut bien les enfoncer pour bien ancrer le dispositif ;
- Mettre en place quatre bois ronds horizontaux qui sont perpendiculaires aux derniers bois ronds jusqu'à ce qu'on obtient une sorte de cube. Une partie de 0.8 m à 1 m des bois ronds horizontaux s'enfoncent verticalement dans le sol.



- Tenir le point d'intersection des deux bois ronds en bas par un bout de fer rond courbé (fer 6 ou 8)

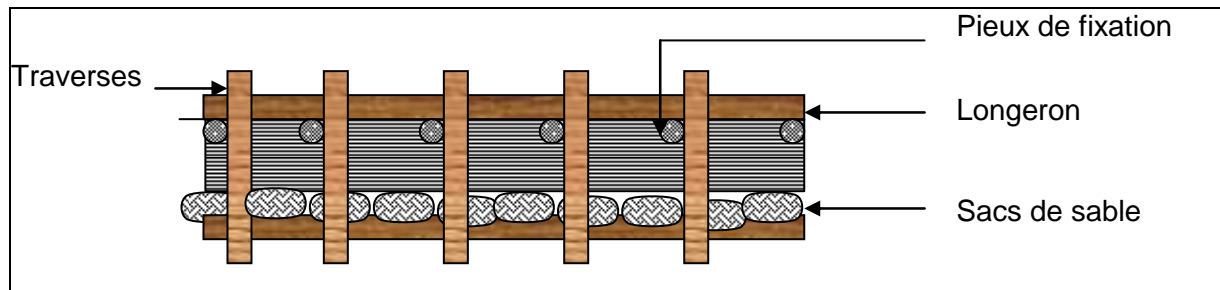


- Enfoncer les bois ronds transversaux (partie enfoncée de longueur de 1m dans le sol)
- Mettre les bois ronds horizontaux en les fixant avec des points avec les bois ronds transversaux



- Remplir les parties vides par de la terre

Une fois que le caisson est construit, il est mieux d'installer des plantes fixatrices sur les bords entre les deux niveaux de bois ronds transversaux.



Vue de dessus d'un caisson

Conclusion :

Le respect des normes techniques est inévitablement une des conditions permettant d'obtenir un maximum d'efficacité des mesures. Mais si on veut cibler la viabilité des aménagements réalisés, il ne suffit pas de se limiter aux aspects techniques et économiques. Il faut surtout connaître et intégrer les aspects socio culturelles. D'où l'approche participative mise en œuvre par le PLAE qui consiste à responsabiliser la population pour qu'elle-même soit capable de définir ses actions de développement sans attendre les développeurs.

Annexe 1 : Liste des espèces utilisées dans la lutte antiérosive à Marovoay

ESPECES Nom scientifique	ESPECES Nom vernaculaire	Principaux usages
Agroforesterie		
<i>Acacia mangium</i>	Mimozà	Bois rond, Energie, Fertilité
<i>Acacia auriculiformis</i>	Mimozà	Bois rond, Energie, Fertilité
<i>Acacia holosericea</i>	Mimozà	Fertilité, Brise vent, Embrousaillement, Bois de chauffe
<i>Acacia leptocarpa</i>	Mimozà	Fertilité, Bois de chauffe
<i>Albizia lebbek</i>	Bonara	Fertilité, fourrage
<i>Crotalaria grahamiana</i>	Crotallaire, Aika	Fertilité
<i>Grevillea banksii</i>	Grevillea blanc	Fixation talus, Haie vive
<i>Jatropha curcas</i>	Kinana, valavelona, Savoia	Energie
<i>Leuceana leucocephala</i>	Bonara mantsina	Fertilité, Embousaillement, Bois de chauffe
<i>Lantana camara</i>	Radriaka	Haie
<i>Moringa oleifera</i>	Ananambo, Felimirongo	Purification d'eau, Feuilles comestibles, Fertilité
<i>Sesbania sesban</i>	Maivanaty	Fertilité, Embousaillement
<i>Ziziphus jujuba</i>	Mokonazy	Haie vive, Fourrage, Fruits comestibles
Fourrage		
<i>Brachiaria ruziensis</i> ou <i>brizantha</i> ou <i>humidicola</i>	Vilona	Fourrage, plante de couverture
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Vilona	Fourrage, plante de couverture
Foresterie		
<i>Adansonia digitata</i>	Baobab, Reniala, Bozybe	Fruits
<i>Anacardium occidentale</i>	Mahabibo	Fixation dunes, Fruits et Noix comestibles
<i>Azadirachta indica</i>	150 maladies	Ombrage, médecine, Insecticide
<i>Cinnamomum camphora</i>	Ravintsara	Bois, huile essentielle
<i>Craspidospermum verticillatum</i>	Vandrika	Bois d'œuvre
<i>Dalbergia purperuscula</i>	Manary boto	Fourrage, Artisanat, Embrousaillement
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Kininina	Bois de chauffe, Bois de construction, Brise vent
<i>Eucalyptus citriodora</i>	Kinininolina, Kininina manitra	Huile essentielle, Construction
<i>Eucalyptus maculata</i>	Kininina marokoroko	Bois de chauffe, Sciage
<i>Gmelina arborea</i>	Mera, Somotsohy	Bois d'œuvre, Fertilité
<i>Khaya madagascariensis</i>	Hazomena	Bois d'œuvre
<i>Stereospermum euphoroides</i>	Mangarahara	Bois (très dur)
<i>Tamarindus indica</i>	Voamadiro, Kily	Bois de chauffe, Fruits comestibles
<i>Tectona grandis</i>	Kesika	Bois d'œuvre, Bois de construction

ESPECES Nom scientifique	ESPECES Nom vernaculaire	Principaux usages
Palmiers		
Bismerkia nobilis	Satrabe	Ornement, Artisanat
Borassus	Dimaka	Ornement, Artisanat
Medemia nobilis	Satramira	Ornement, Artisanat
Raphia ruffa	Rofia	Ornement, Artisanat

PLAE

Annexe 2 : Fiche technique « courbes de niveau »

Annexe 3 : Fiche technique « Fascine »

Annexe 4 : Fiche technique « Plantation »