

**AMENAGEMENT D'UNE RAVINE EN ASSOCIATION AVEC LES AGRICULTEURS :
CAS DE LA RAVINE DE SAGARA (MUMIRWA CENTRAL, BURUNDI).**

**Marc LEBRETON, Hervé DUCHAUFOR, Melchior BIZIMANA et Joelle LECUYER
et le concours de Canisius MIKOKORO, Epogémine SINDAKIRA
et Prime RUPIYA**

*Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement
(ISABU / FAC)*

PARTIE II : Aménagement expérimental

RESUME

L'analyse de la dynamique de fonctionnement de la ravine de SAGARA (partie I) démontre que l'ampleur du phénomène s'accroît de façon très rapide d'année en année: la déstabilisation et l'effondrement des berges empiètent sur les surfaces adjacentes cultivées, les écoulements successifs le long du chemin rendent son parcours de plus en plus impraticable.

Pour répondre à la demande des agriculteurs, le Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement a entrepris dès Juillet 1991 (saison sèche) un aménagement expérimental défini et réalisé avec la population rurale concernée par le problème.

Son opération consiste en premier lieu à initier la population à ce type d'aménagement en utilisant des techniques appropriées, ensuite de tester à long terme l'efficacité de ces techniques, d'estimer le coût de l'intervention et d'améliorer nos connaissances sur ce type d'érosion fréquemment rencontré au BURUNDI.

Trois phases distinctes ont été adoptées:

- Construction de microbarrages perméables au fond de la ravine en utilisant différents types de matériaux locaux suivie d'une végétalisation des atterrissements;
- Végétalisation d'un périmètre de bordure et aménagement du chemin;
- Collecte des eaux de toiture

I. INTRODUCTION

Techniquement, les deux idées directrices qui nous ont guidé dans la conception de l'aménagement sont de réduire le débit et de limiter le charriage. Dans ce sens, notre objectif principal a été de diversifier les techniques pour connaître tous les facteurs d'adaptabilité aux conditions de milieu.

Finalement, ces considérations nous ont amené à définir un aménagement réparti en trois phases:

1. Stabilisation du lit de la ravine en installant différents types de barrages micro-hydrauliques suivis d'une végétalisation des remblais;
2. Végétalisation d'un périmètre de protection en bordure de la ravine et aménagement du chemin
3. Récupération des eaux de toiture avec des citernes de collecte.

II. CONCEPTION DE L'AMENAGEMENT

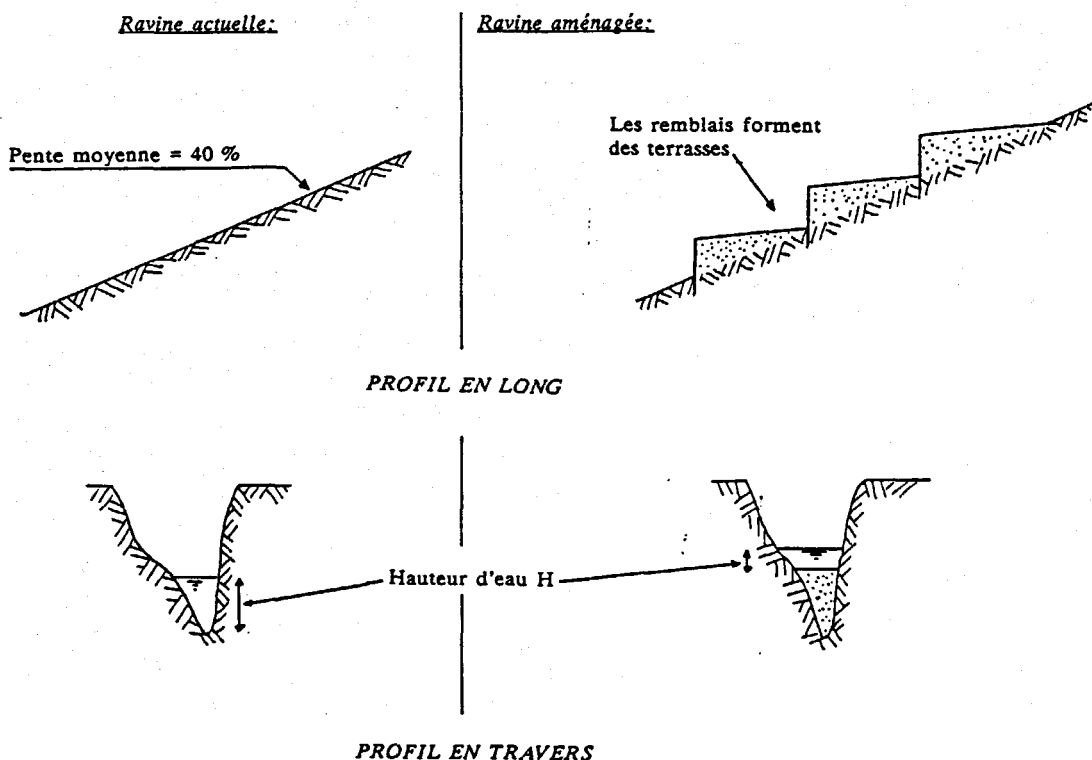
Phase 1 : Stabilisation du lit de la ravine

a. Principe.

L'objectif de cette première phase est de stabiliser le fond afin d'éviter l'érosion en profondeur qui est la première étape de formation des ravines. Cela consiste à installer un certain nombre de barrages successifs qui seront remblayés par décantation des matériaux solides transportés. Le fond aura aussi un profil en forme d'escalier où la pente sera réduite en tout point. De plus, la section sera élargie ce qui minimisera la hauteur d'eau H.

Par ailleurs, le volume des remblais formera un excellent aquifère propice à l'infiltration et à la végétalisation. Avant d'être saturés en eau, ces remblais auront alors un effet tampon sur l'écoulement.

Les schémas suivant illustrent les modifications escomptées :

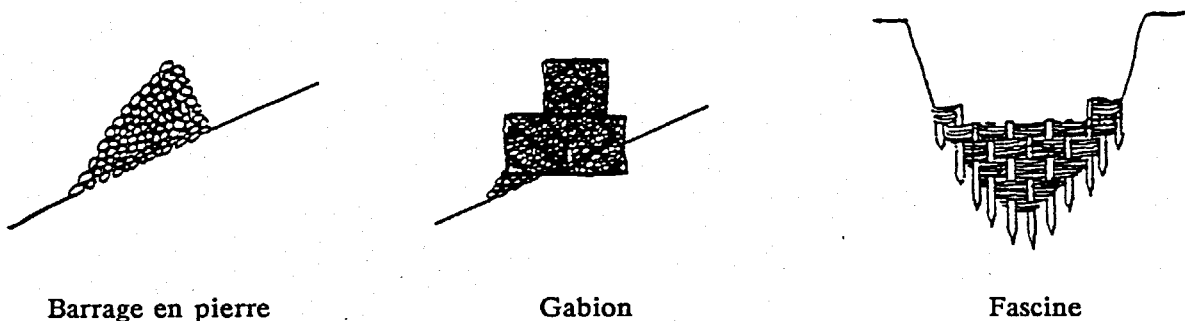


b. Caractéristiques des barrages.

Les barrages seront poreux afin d'éviter qu'ils supportent une charge dynamique et hydrostatique trop importante.

Trois types de barrages sont utilisables pour cet aménagement :

- barrage en pierre (ou "barrage poids")
- barrage en pierre avec armature sous forme de gabions superposés
- fascines en bois

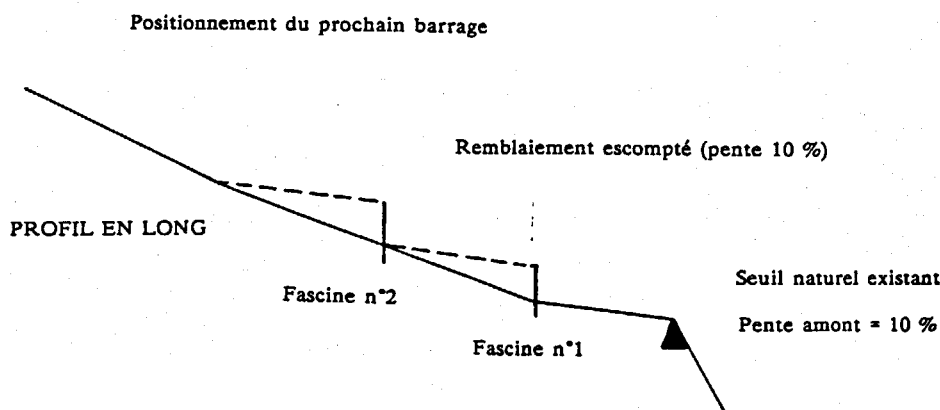


Etant donné que les pierres sont peu disponibles à proximité de la ravine, nous avons opté pour les fascines en bois aux endroits où la section est supérieure à 1 mètre de large et pour les barrages en pierre pour les sections plus étroites.

c. Dimensionnement.

Pour obtenir un remblaiement maximum, des barrages d'une hauteur moyenne de 2m 50 avec un ancrage dans le sol de 1m de profondeur ont été prévus.

Le positionnement des ouvrages est défini à l'aide du profil topographique. Après implantation du premier ouvrage, on dessine la pente de remblaiement amont afin de positionner le second ouvrage au point d'intersection (remblaiement - profil en long), et ainsi de suite comme l'illustre le schéma suivant:



La pente de remblaiement correspond à la pente d'équilibre. Or il y a équilibre quand $\tau = \tau_0$
d'où $I_0 = \frac{0,08d}{\omega H}$ (cf. partie I).

Cette pente a été estimée à partir du profil en long qui présente en trois points distincts des seuils naturels avec une pente d'équilibre de 10% en amont.

Finalement, les précalculs ont prévu :

- 17 fascines de 2m50 de haut en moyenne
- 2 barrages en pierre.

Une fois le remblaiement des barrages terminé, des boutures de bambou (*Bamboussa aureostriata* et *Arundinaria alpina*), de *Bana-grass* et de *Ficus ingens* seront plantées avec des écartements de 1 m.

Phase 2 : Végétalisation et aménagement du chemin.

a. Problématique.

Par temps de pluie, le sol de texture argilo-limoneuse devient glissant. Dans ces conditions le chemin est rendu difficilement praticable en raison de sa forte pente. Les passants n'ont d'autres solutions que de marcher sur le sol végétalisé en bordure du parcours pour gravir la pente. Finalement le sentier n'a cessé de s'élargir : à plusieurs endroits, le sol nu couvre une bande de plus de 10 mètres de large avec de nombreux couloirs de passage qui empiètent sur les champs voisins constituant ainsi un réseau dendritique complexe propice aux multiples ruissellements concentrés.

Cette détérioration progressive sur les terres cultivables (essentiellement par piétinement) diminue considérablement l'infiltration des eaux sur une surface de plus en plus importante. Conjointement, ce phénomène augmente le débit dans la ravine.

b. Solution.

Pour remédier à ce problème, la première étape consiste à rendre le chemin facilement utilisable tout en conservant des dimensions convenables (il dessert toute la colline). Dans cet objectif, il sera profilé en escalier afin de permettre aux passants de marcher sans glisser et de briser l'énergie du ruissellement.

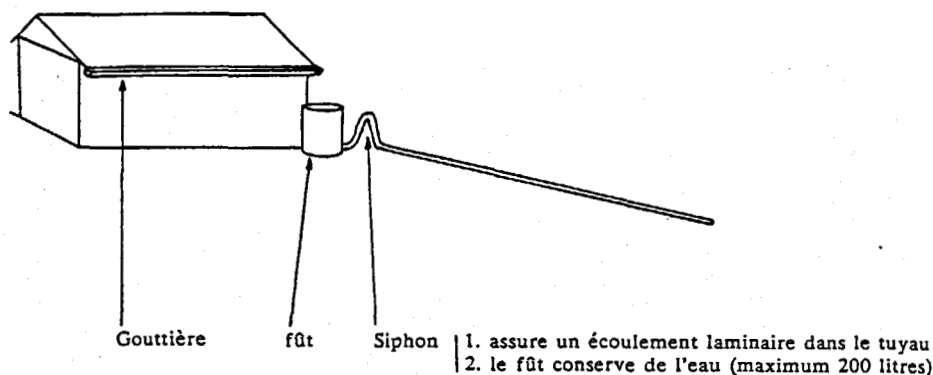
Le deuxième étape consiste à instaurer un périmètre de protection végétal autour de la ravine pour limiter les risques d'effondrement des talus et diminuer le ruissellement en bordure. Le long des tronçons II à V, une bande de cinq mètres de large en moyenne sera réservée à la végétalisation de différentes espèces graminéennes et arbustives. L'intérêt de cette diversification consiste à effectuer par la suite un suivi qui s'insèrera dans les recherches sylvicole et agroforestière du P.R.P.E. et de fournir à long terme une production mélangée de révolution et d'utilisation différentes aux paysans qui en bénéficieront.

Arbres introduits:

- *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus globulus maidenii*
- *Acrocarpus fraxinifolius*
- *Grevillea robusta*
- *Cedrella serrulata*
- *Alnus nepalensis*

Graminées herbacées:

- *Panicum maximum T58*
- *Panicum maximum CV C1*
- *Tripsacum laxum*
- *Setaria sphacelata*
- *Paspalum sp.*
- *Hyparrhenia sp.*



Avantages

- Prix très abordable : 12.000 FBu(*)
- Occupe peu de place
- Délivre un minimum d'eau
- La réserve d'eau est très facilement utilisable : il suffit d'abaisser le tuyau flexible.

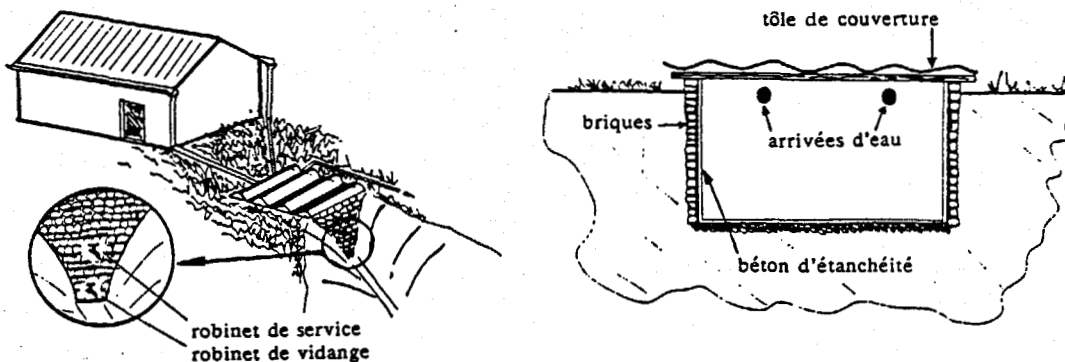
Inconvénients :

- PEU adapté lors des très fortes pluies ($I = 75$ mm/h), le tuyau ne pouvant évacuer un excédent de $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Il est donc indispensable de bien définir la zone d'installation, avec les critères suivants :
- * Pente faible
- * Végétalisation dense
- * Erodabilité faible
- * Forte perméabilité (s'encquerir de la susceptibilité au glissement de terrain).
- * Paillis dense ou dans compostière

(*): 1 FF = 35 FBu 1991

2. Bassin de stockage:

Cette installation capte la totalité des eaux de toiture et la conserve dans un bassin de stockage à la disposition du propriétaire.



Description du fonctionnement : Collectée par les gouttières, l'eau se déverse dans un bassin de 4 m^3 (pour une maison moyenne). Le propriétaire utilise l'eau à l'aide du robinet de service et peut vidanger la totalité du volume par le robinet au point le plus bas. Si cette eau n'est pas suffisamment exploitée lors des fortes pluies, un système de "trop plein" évacue les eaux excédentaires.

Avantages :

- Emmagazine toute l'eau de toiture et annihile ainsi toute possibilité d'érosion liée au toit.
- Délivre le maximum d'eau.

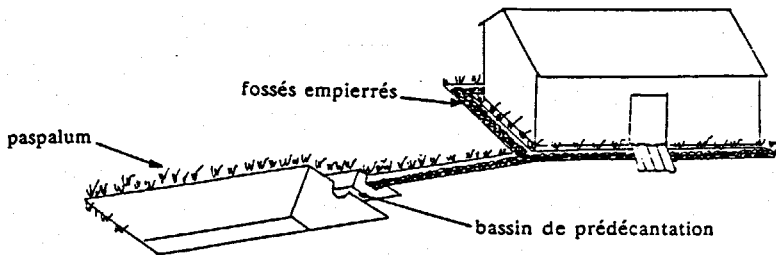
Inconvénients :

- Système complexe nécessitant plusieurs dépenses qui rendent l'installation très coûteuse pour l'habitant (53.000 FBU)
- Occupe de la place.
- Exige un suivi continu du niveau de l'eau pour minimiser la probabilité de débordement

3. Bassins d'infiltration

- Bassin d'infiltration simple

Ce bassin est conçu pour éviter toute possibilité de débordement, le fond perméable n'étant pas revêtu. Le système de collecte présenté est donc indépendant du type de toiture.



Description du fonctionnement : Les fossés, disposés à la verticale du toit, récoltent l'eau et l'acheminent dans un petit bassin de pré-décantation. Les particules solides contenues dans l'écoulement s'y décantent en partie. L'eau se déverse ensuite dans le bassin principal, où elle s'infiltré progressivement.

D'après les mesures effectuées au "perméamètre à double anneaux", on constate que la perméabilité moyenne des sols sur la colline de SAGARA est d'environ 10^{-5} m/s (soit 3,6 cm/h). Le volume maximal d'eau contenu dans le bassin s'élevant à 4 m³ et en considérant une surface au sol de 3 m², le temps d'infiltration serait de l'ordre de 40 heures.

Avantages :

- Très bon marché (3.000 Fbu)
- Annihile toute probabilité de ruissellement.

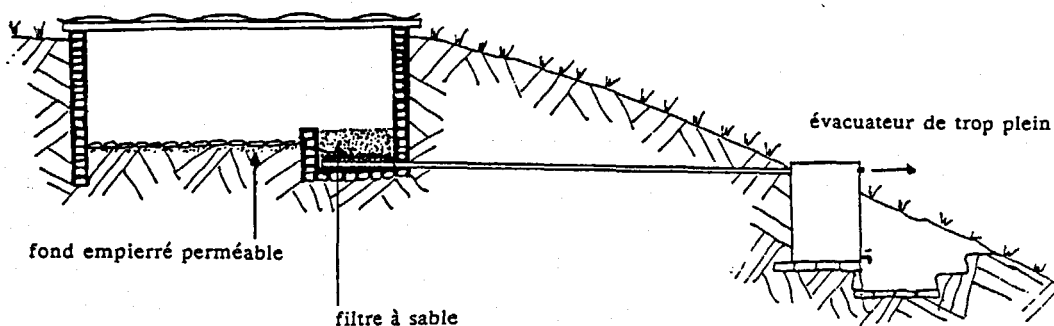
Inconvénients :

- Nécessite un entretien courant pour éviter que le fond ne se colmate avec les particules décantées.
- Eau non salubre
- Ne s'adapte pas sur tous types de sol

- Bassin d'infiltration + collecte eau

En plus d'un bassin d'infiltration, cette installation est équipée d'un drain dans le fond du bassin qui conduit une partie de l'eau dans un fût de stockage :

Descriptif du fonctionnement : Le système de collecte qui peut être composé soit de gouttières soit de fossés à la verticale du toit, déverse l'eau dans le bassin. La surface du fond est subdivisée en deux parties: une zone où l'eau s'infiltré directement dans le sol et une autre où elle est filtrée par une couche de sable avant de rejoindre le fût de stockage.



L'intérêt du filtre est double : il assure une bonne salubrité de l'eau dans le réservoir et il permet, en fonction de sa perméabilité et de sa section, de maîtriser le volume dévié.

Avantages :

- Réduit totalement l'écoulement de surface.
- Délivre une eau de bonne salubrité

Inconvénients :

- Ce système fait appel à une pré-étude rigoureuse avec des mesures de la perméabilité du sol.
- Ne s'adapte pas sur tous types de sol
- Nécessite un entretien régulier
- Prix élevé (35.000 Fbu)

III ORGANISATION DES TRAVAUX

Trois réunions entre les membres du projet, l'Administrateur Communal et les habitants de la colline nous ont permis de définir ensemble les objectifs de l'aménagement, de prévoir le déroulement des opérations et d'organiser la répartition des tâches.

Notre rôle s'est réduit à approfondir les techniques proposées. Finalement, nous avons abouti au plan d'aménagement défini ci-dessus en respectant la répartition des travaux suivante:

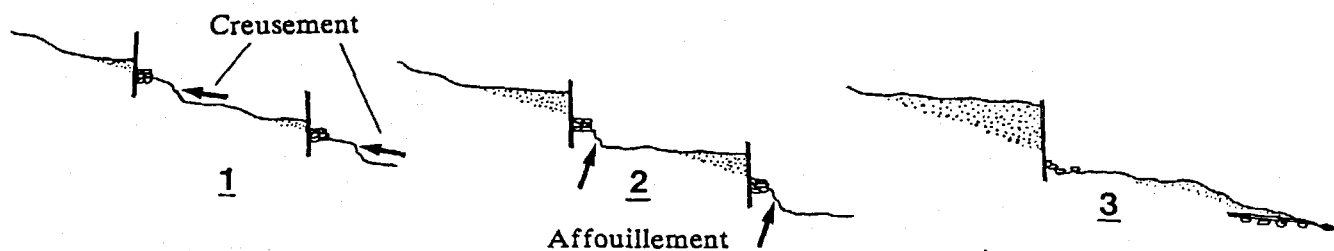
- La collecte des bois d'éclaircie dans le boisement industriel de RUGAZI (FED);
- La construction des barrages par des ouvriers (personnes volontaires issues de la colline) rémunérés et encadrés par un technicien spécialisé;
- L'aménagement du chemin et la végétalisation pris en charge par les travaux communautaires durant trois matinées de la semaine;
- Les travaux de la dernière phase effectués par le propriétaire.

CRITIQUE DE L'AMENAGEMENT

a. Stabilisation du lit

Toutes les fascines ont été construites pendant les mois d'Août et Septembre (mois secs). Les pluies du mois d'octobre et du mois de Novembre nous ont permis d'analyser le fonctionnement des ouvrages. Les profils en long succédant à chacune de ces précipitations illustrent bien la dynamique de l'érosion entre chaque barrage :

1. A la première pluie, le remblaiement a débuté à l'amont tandis qu'un surcreusement survient à l'aval de chaque barrage.
2. A la seconde pluie, le remblaiement augmente au dépens de l'érosion régressive qui continue à l'aval des barrages.
3. A la troisième pluie, le surcreusement atteint et affouille le pied des fascines; avec le poids du remblaiement, les pieux soutenant les ouvrages et leur mur de soutènement en pierre finissent par s'affaisser.



Rappelons que la dynamique de l'érosion entre chaque barrage est régie par l'équation pour le débit solide $G_s = \lambda(\tau - q_{0B}\alpha)$; si τ varie, G_s augmente (cf. Partie I).

Avant d'arriver au niveau d'un barrage, l'écoulement transporte une quantité maximale de matériaux. En rencontrant l'obstacle le flux est freiné et les matériaux se déposent. A l'aval, l'écoulement retrouve rapidement son énergie et se recharge en matériaux en creusant la pente non remblayée ce qui revient à dire que chacun des tronçons discontinus fonctionnent indépendamment en "érosion-dépôt".

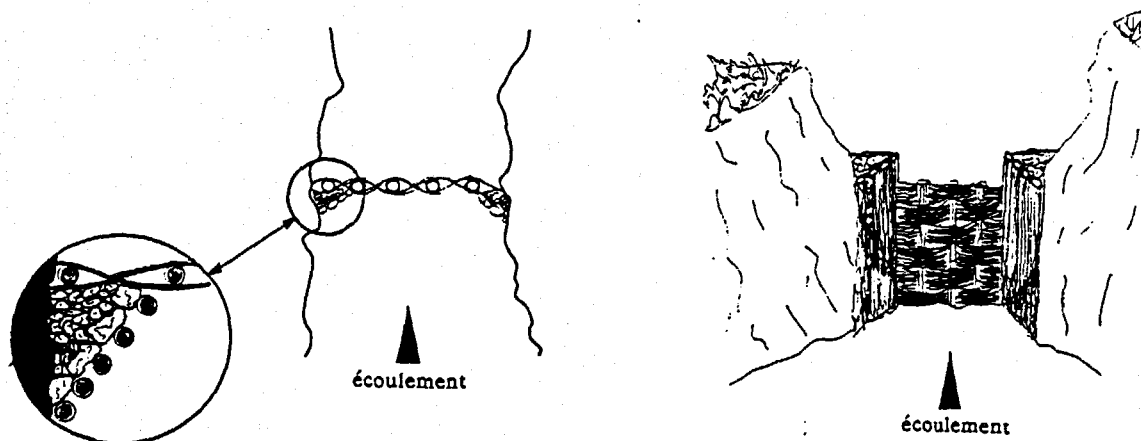
Finalement le 15 Novembre, les quatre fascines et leur barrage en pierre situés sur la plus forte pente étaient détruits. Face à ces incidents, les ouvrages restants ont été consolidés et de nouvelles mesures ont été préconisées pour la reconstruction des quatre autres.

Toutes les fascines ont été renforcées en apposant un gabion à l'aval de chacune afin d'aider l'ouvrage à supporter le poids du remblaiement et d'éviter son affouillement à la base en bloquant le front d'érosion régressive. De cette expérience, nous avons effectué la construction des fascines de l'aval vers l'amont et en interaction avec les pluies:

1. construction de la première fascine au point le plus bas de la ravine.
 2. après remblaiement de la fascine n° 1, construction de la fascine n° 2.
 - N. après remblaiement de la fascine n° N-1, construction de la fascine n° N
- ..., ainsi de suite jusqu'au début de la ravine.

En positionnant ainsi chaque fascine à la limite du remblaiement de la précédente, on annihile toute possibilité d'érosion à l'aval.

Il faut également souligner l'importance de la protection des bordures lors de la construction des fascines. En effet, tant que le remblaiement n'est pas atteint, l'écoulement tourbillonne à l'encontre de l'obstacle avec une tendance à affouiller les bords. Nous avons donc placé une colonne de pierres de chaque côté des fascines:

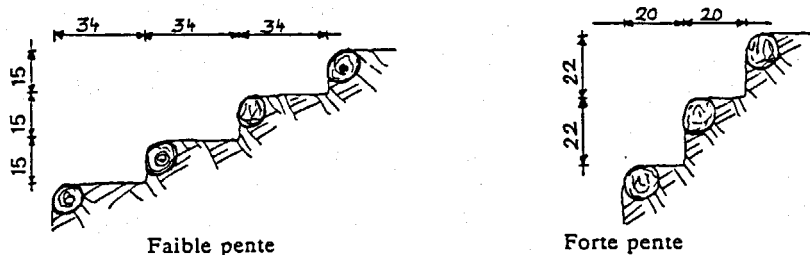


Dés le 15 Janvier 1992, les plantations de bambous, de Bana-grass et de Ficus ont été effectuées comme prévu sur les remblais stabilisés.

b. Aménagement du chemin

Lors de sa conception notre idée était de minimiser le nombre de rondins en formant des marches espacées d' un mètre en moyenne avec une pente intermédiaire. Ce calcul s'est avéré trop juste après avoir constaté que l'escalier est parfois contourné soit par manque d'habitude des utilisateurs, soit parce que certaines marches sont difficiles à gravir (surtout pour des passants qui transportent fréquemment des charges supérieures à 30 Kg).

Nous avons donc doublé le nombre de marche aux endroits contournés en respectant la proportion ergonomique $2h + g = 64$ (où h est la hauteur de marche et g le giron) qui s'applique à toutes les pentes:



c. Périmètre de protection végétalisé.

Afin d'instaurer le périmètre de protection, nous avons demandé aux agriculteurs de retirer leurs cultures situées sur l'emprise du périmètre en échange d'une indemnisation fixée suivant le barème d'expropriation établi par l'ordonnance ministérielle n° 710/129 du 11 juin 1982 (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage). Chaque agriculteur a reçu une somme fixée à la moitié du prix de l'expropriation en signant un contrat qui énumère les prescriptions relatives au bon développement de la végétation en accord avec son protocole de suivi et qui les associe tous dans un groupement chargé de son entretien et de son exploitation.

Ce groupement, constitué de quatorze agriculteurs, a également la responsabilité du maintien des dispositifs en place. Les techniciens du PRPE chargé du suivi technique rendront compte de l'efficacité de cet engagement qui a été décidé en commun accord et qui se veut original et indépendant.

IV COUTS DE L'OPERATION

DENOMINATION	BUDGET
Préliminaires : " Précalculs et dimensionnement"	92.200 Fbu
- Mesures topographiques	
* Technicien + appareil	20.000 Fbu
* ouvrier (2H * 10j)	2.200 Fbu
* ingénieur (1H * 2j)	6.000 Fbu
- Calculs et Dimensionnement	
Préparation projet sommaire d'aménagement	
* ingénieur (1H * 8j)	24.000 Fbu
- Transport	
* 1 voiture (40 km * 10j)	40.000 Fbu

**Étape 0 : "Collecte du bois à Rugazi"
(pour fascines et chemin)**

373.500 Fbu

- Achat du bois	70.000 Fbu(*)
* 13m3 Pinus patula	
* 1m3 Grevillea	
* 1m3 Casuarina	
* 1m3 Cyprès	
* 15m3 Pinus oocarpa	
* 1m3 Callitris	
* 0,4m3 Ficus	
- Coupe + Débardage	
* ouvriers (10H * 10j)	11.000 Fbu
* contre-maître (1H * 10j)	2.500 Fbu
* outils (3 scies, 3 haches)	24.000 Fbu
* tronçonneuse (2j)	10.000 Fbu
- Transport	
* Camion 7 tonnes (500 Km)	250.000 Fbu
- Prospection - Organisation	
* ingénieur (1H * 2j)	6.000 Fbu

Étape 1 : "Construction des fascines"

440.200 Fbu

- Achats 20 gabions	195.000 Fbu
- Collecte des pierres	
* ouvriers (20H * 10j)	22.000 Fbu
- Réception du bois	
* ouvriers (20H * 6j)	13.200 Fbu
- Construction des fascines	
* ouvriers (30H * 20j)	66.000 Fbu
* technicien (1H * 20j)	20.000 Fbu
- Supervision ingénieur	60.000 Fbu

**Étape 2 : "Aménagement du sentier
+ Végétalisation"**

173.600 Fbu

- Indemnités d'expropriation	25.000 Fbu
- Achats plants de pépinières (*)	
* Grevillea (800 plants)	2.400 Fbu
* Cedrella (800 plants)	2.400 Fbu
* Eucalyptus (800 plants)	1.600 Fbu

- Achats graminées (*)	
* Panicum T58 d(20.000 éclats de souches)	2.000 Fbu
* Pennisetum (20.000 éclats de souches)	2.000 Fbu
* Banagrass (40.000 boutures)	4.000 Fbu
* Paspalum (6.000 mottes)	1.800 Fbu
- Transport	
* Camion 7 tonnes (50Km)	50.000 Fbu
* Voiture (40Km * 10j)	40.000 Fbu
- Supervision	
* technicien (1H * 10j)	10.000 Fbu
* ingénieur (1H * 10j)	30.000 Fbu

Etape 3 : "Captage des eaux de toitures" 380.000 Fbu

Cette étape est actuellement au commencement; le budget prévu pour l'achat des matériaux est de 300 000 Fbu + transport + temps ingénieur et technicien

TOTAL 1.456.600 Fbu

Le montant total de l'aménagement est donc revenu à 1.456.000 Fbu, soit l'équivalent de 41.600 FF au taux de change de 1991 (35 Fbu pour 1 FF). Ce coût relativement élevé est en grande partie dû à l'achat des 20 gabions importés d'Europe par la Direction Générale des Routes. Néanmoins, nous avons comptabilisé volontairement les bois (*) de récupération d'éclaircie du boisement FED de Rugazi ainsi que tous les plants forestiers et herbacées (*) qui nous ont été offerts à titre gracieux. Quant à la majeure partie du budget, il a été assuré par le projet Suisse qui appuie le développement de la Commune d'Isale où se situe la colline de SAGARA.

Une simple constatation nous montre qu'un aménagement lourd constitué uniquement de gabions aurait demandé 3.900 000 Fbu (≈ 112.000 FF), soit près du triple du coût expérimental. Si ces moyens expérimentés s'avèrent résistants sur plusieurs années avant que la végétalisation du fond de la ravine est une totale emprise sur les remblais, il est certain qu'ils pourront être reconduits sur d'autres sites similaires, très nombreux au Burundi.

V CONCLUSION

La restauration de la ravine de SAGARA aura demandé six mois et demi de travaux avec une trentaine d'ouvriers-agriculteurs qui ont été initiés à la construction de barrages micro-hydrauliques par un technicien spécialisé. Son coût total s'élève à un peu plus de 40.000 FF en utilisant des matériaux simples (pieux en bois et branchages pour les fascines + végétaux divers pour la fixation des bordures), c'est à dire trois fois moins qu'un aménagement lourd en gabion. Le suivi de recherche expérimental indiquera dans quelle mesure le système mise en place sera pérenne et résistera en particulier aux fortes charges des atterrissements et aux variations fréquentes d'humidité et de dessiccation.