

## **A l'intérieur vous trouverez:**

Qu'est-ce qu'un barrage de sable ?

D'où provient l'eau ?

Où et quand est-il préférable de construire ?

Quels types de permis sont exigés ?

Comment un barrage de sable est-il conçu, construit et entretenu ?

Terrasses autour de Sand Dams

*Par Jacob H. Stern (PhD., agronome) et Alvera Stern (Ed. D., spécialiste en développement communautaire), agents de service auprès du Comité Central Mennonite (MCC) au Kenya. Date de publication: 2019*



*« Nous ne voulons pas d'aide. Donnez-nous de l'eau, et nous pourrions alors produire notre propre nourriture. »  
 (Mtito Andei, membre d'un groupe communautaire au Kenya)*

## **Qu'est-ce qu'un barrage de sable ?**

Un barrage de sable est un mur de béton armé construit sur une rivière saisonnière pour retenir l'eau souterraine dans le sable. Il est d'abord construit en 1 m de haut et jusqu'à 90 m de diamètre. Pendant les fortes pluies saisonnières et irrégulières, l'eau et le limon s'écoulent au-dessus du barrage tandis que le sable plus lourd se dépose au fond. Pendant une à trois saisons de pluie, le barrage se remplit de sable qui sert de réservoir de stockage pour l'eau. Dans un sable de bonne qualité, le volume du barrage de sable est d'environ 35% d'eau (Beimers et al., 2001). La plupart de cette eau ne s'évapore pas étant donné qu'elle est protégée par le sable. L'évaporation diminue de 90% à 60 cm sous la surface (Borst et al., 2006).

Le barrage de sable est toujours construit sur un lit rocheux. Un aquifère naturel est formé sous le sable à mesure que l'eau s'accumule. Souvent, il y a déjà un aquifère présent et le barrage de sable y augmente simplement l'eau. Au fil du temps, l'aquifère augmente en taille et la nappe phréatique de la zone environnante s'élève.

## **Comment les gens extraient-ils l'eau du sable ?**

L'eau est extraite du barrage de sable de différentes manières : par un tuyau près du fond du mur du barrage de sable en aval, un puits d'extraction en amont, un réservoir d'eau encastré dans le mur du barrage en amont, ou creuser des trous en amont. Le plus souvent, la plupart de ces méthodes d'extraction de l'eau du sable sont utilisées sur le site.

## **Où les barrages de sable sont-ils appropriés ?**

Les barrages de sable sont plus appropriés dans les zones semi-arides et arides qui connaissent des averses courtes, lourdes, et erratiques. Ces zones ont généralement des cours d'eau saisonniers (éphémères) avec des lits de sable. À un point le long d'un lit de rivière, les populations locales peuvent creuser des trous pour avoir de l'eau. Cela indique que l'aquifère et le lit de roche sont présents et qu'il s'agit d'un site potentiel pour construire un barrage de sable.

Les barrages de sable sont généralement construits dans des zones rurales isolées sans infrastructures de soutien, et où il est peu probable que le gouvernement subvienne aux besoins en eau et en assainissement des populations. Les habitants de ces régions savent que leur survie dépend de leurs propres efforts. Ils sont également familiarisés avec l'obtention de l'eau à partir du sable, comme leurs familles l'ont fait depuis des générations. Beaucoup d'entre eux font des kilomètres à pied chaque jour pour rejoindre le « trou » et peuvent y passer des heures dans une file d'attente en attendant leur tour de puiser l'eau.

Les zones ayant des groupes d'entraide communautaires (GE) qui travaillent ensemble sur des tâches d'assistance mutuelle sont idéales pour la construction des barrages de sable. Les barrages de sable sont à faible coût et à faible technologie, mais il faut qu'ils soient la propriété de quelqu'un, qui en prend soin et qui utilise l'eau au bénéfice maximum de tous. Un groupe communautaire actif qui a déjà un programme pour leur propre profit et pour le profit de la communauté est un bon partenaire potentiel dans la construction des barrages de sable. Notre organisation travaille toujours avec des groupes d'entraide communautaires pour construire des barrages de sable. Leurs membres sont une partie active du processus de planification ; ils gèrent les accords locaux et gouvernementaux pour le barrage et fournissent environ la moitié du coût du barrage par leur travail et la collecte des matériaux au plan local tel que les pierres, le sable et l'eau utilisée lors de la construction du barrage. Vous pourrez avoir plus d'informations sur la façon dont le MCC travaille avec les groupes d'entraide communautaires à la fin de cette section.

## **Quels sont les avantages des barrages de sable aux gens ?**

Chaque barrage de sable a le potentiel de fournir de l'eau potable à jusqu'à 1200 personnes, aux animaux, aux pépinières et aux jardins potagers. L'augmentation de la disponibilité de l'eau dans un rayon de 10 km signifie qu'un barrage de sable peut bénéficier indirectement à des milliers de personnes, car l'utilisation de l'eau stockée n'est jamais limitée à ceux qui ont construit le barrage de sable. Les barrages de sable changent la vie des gens en leur fournissant de l'eau pour leurs besoins :

- Ils constituent une source d'eau durant toute l'année tout près des habitations des membres de la communauté afin de leur éviter de passer des heures à marcher et à faire la queue pour chercher l'eau.
- L'eau saline devient moins salée avec le temps à mesure que l'évaporation diminue : au fur et à mesure que l'eau entre dans le barrage de sable, la concentration en sel diminue.
- L'eau est plus propre, ayant été filtrée par le sable.
- L'eau est protégée contre les parasites et les gens sont moins susceptibles de tomber malades.
- La capacité accrue de l'eau permet aux collectivités de mettre en place des pépinières d'arbres dans les zones semi-arides où la plantation d'arbres est autrement très difficile.
- L'augmentation de l'eau pour l'irrigation fournit plus de nourriture pour les hommes et les animaux et plus de revenus, étant donné que la sécurité alimentaire est atteinte. Les gens peuvent cultiver des légumes dès qu'un barrage de sable contient de l'eau, même s'il ne pleut pas. Les barrages de sable se remplissent souvent avec de l'eau souterraine provenant de l'amont, même s'il n'y a pas eu de pluie dans la zone immédiate.

## **Quels sont les avantages des barrages de sable pour l'environnement ?**

Les barrages de sable changent l'environnement en le restaurant et en le renforçant :

- Les barrages de sable transforment l'environnement car l'eau stockée augmente le niveau de la nappe phréatique à la fois en amont et en aval des barrages (Brandsma et al, 2009 ; . Frima et al, 2002.). Comme l'aquifère augmente en taille, les puits et les forages ont plus d'eau et les sources peuvent revenir dans la zone.
- la nappe phréatique plus élevée augmente la végétation naturelle. Les arbres indigènes et les plantes riveraines, les oiseaux et les poissons reviennent à l'écosystème restauré (les poissons viennent vers le mur du barrage et vivent dans les bassins qui se forment en aval). La biodiversité augmente de manière significative, car le lit de la rivière, les rives et la zone de bassin d'eau sont reconstitués (Ertsen 2006).
- L'augmentation de la biodiversité permet aux membres de la communauté de créer un moyen de subsistance durable en harmonie avec leur environnement.

## **Quels sont les critères pour la l'emplacement du barrage de sable ?**

### **Un substrat rocheux solide**

- La qualité du lit rocheux doit être dense, et il doit être non poreux et sans fissures.
- Le lit de roche devrait être sur la surface ou assez près de la surface, et doit s'étendre de manière optimale sur le lit de la rivière. Avant de faire le choix définitif d'un site, il faudrait atteindre ce substrat rocheux en creusant une tranchée dans le lit de la rivière pour exposer la roche. Si le lit de roche ne s'étend pas sur le lit de la rivière, vous aurez besoin de creuser très profondément et y poser une fondation en béton.
- Cette tranchée devrait être étendue dans les berges de la rivière pour voir quel genre de fondation sera nécessaire pour les ailes.

### **La topographie de la zone**

- La vallée de la rivière devrait être étroite et bien définie pour assurer que la longueur du mur du barrage soit aussi courte que possible. Idéalement, le site devrait être dans une section profonde de la gorge de la vallée pour maximiser la capacité de stockage

et minimiser la zone de surface et la longueur de la paroi du barrage. Cependant, de nombreux barrages de sable ont été construits dans des zones assez plates et ils fonctionnent très bien, même s'ils sont généralement assez longs.

- Les berges doivent être suffisamment élevées pour construire un mur de barrage qui assurera un grand volume de stockage et qui pourra soutenir les murs en aile.
- L'emplacement doit être éloigné des courbes de la rivière et de l'érosion des sols.
- L'étiement derrière le barrage doit être suffisamment grand pour permettre une quantité maximale de stockage de sable. La pente devrait être idéale pour faciliter le bon stockage du sable derrière le barrage.
- La présence d'un grand nombre d'affluents en amont est idéale.
- Le bassin devrait être aussi exempt que possible de fissures et de crevasses afin de minimiser les fuites d'eau.
- L'emplacement doit être facilement accessible pour aider à la construction, à l'utilisation et à l'entretien du barrage.
- Les objets de valeurs et les terres ne doivent pas être submergés par la construction du barrage.

## Le type de sable

Plus le sable est grossier dans la rivière, mieux le site est. Le sable fin n'est pas approprié parce qu'il y a moins d'espace de stockage d'eau entre les particules. La quantité d'eau disponible pour l'extraction dans les différents sols est donnée dans le Tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1. Eau pouvant être extraite du limon, du sable et du gravier (Nissen-Petersen, 1999).**

Données	Limon	Sable Fin	Sable Moyen	Sable Grossier	Gravier Fin	Gravier
Taille (mm)	≤0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-5	5-19	19-70
Échantillon (litres)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Saturé (litres)	1.52	1.58	1.63	1.80	1.87	2.05
Porosité (%)	38.0	39.5	40.8	45.0	46.8	51.3
Extrait (litres)*	0.18	0.75	1.00	1.40	1.65	2.00
Taux d'extraction (%)	5	19	25	35	41	50

\*L'extrait est la quantité d'eau qui sortirait si un échantillon était placé dans un récipient avec des trous de drainage dans le fond.

## Apport de la communauté

- Marchez le long du lit de la rivière avec les anciens et les femmes qui vont chercher l'eau. Posez des questions, écoutez et observez. Ils sauront où l'eau peut être trouvée durant les saisons sèches ou durant la sécheresse.
- Marchez le long du lit de la rivière pour trouver une bonne formation rocheuse qui soit aussi près que possible des bénéficiaires (Figure 1).
- Parlez aux chefs et aux anciens de la communauté pour savoir où se trouve la ligne des hautes eaux pour la plupart des inondations qu'ils ont en mémoire. C'est la hauteur du déversoir principal.
- Parlez aux anciens pour savoir où se trouve la ligne des hautes eaux pour le pire cas d'inondation qu'ils ont en mémoire. Cela doit être marqué avec des piquets de manière à ce que la hauteur du déversoir secondaire et de l'aile soit supérieure à ces piquets.
- Vérifiez les politiques communautaires de la région pour voir si les propriétaires de terrains autour du site du barrage seront prêts à donner aux gens un passage sur le terrain pour accéder à l'eau.
- Engagez la communauté dans l'identification de plusieurs sites et expliquez les avantages de la construction d'une cascade ou d'une série de barrages sur la rivière pour un bénéfice maximal et la création d'une ceinture verte autour de leurs barrages de sable



**Figure 1.** Le Coordinateur du barrage et les membres du groupe d'entraide planifiant l'emplacement d'un barrage de sable.

## Quels types de permis sont exigés avant que la construction ne commence ?

Il y a généralement deux types de permis qui doivent être obtenus avant de commencer la construction. Le premier est un accord entre le groupe local qui fait le projet et les propriétaires fonciers dont les terres sont en bordure de la zone du site du barrage. L'autre est le permis que le gouvernement exige pour la construction sur une rivière saisonnière.

- **Accord de construction du barrage de sable.** Cet accord est signé par le groupe et devrait contenir au minimum les éléments ci-dessous :
  - Le consentement nécessaire des propriétaires des terres sur l'utilisation des terres et l'accès à l'eau ;
  - Le consentement nécessaire du gouvernement pour la construction du barrage de sable ;
  - La quantité de terrassement (expliquée ci-dessous) à être creusée avant que la construction du barrage ne commence ;
  - La main-d'œuvre et les matériaux tels que les pierres, le sable et de l'eau (contributions) prévus par le groupe communautaire ;
  - L'exigence de la surveillance continue et l'entretien du barrage par le groupe ;
- **Accord du gouvernement.** Le groupe doit se rendre à la collectivité locale et identifier toutes les autorisations nécessaires pour la construction du barrage de sable sur une rivière saisonnière, et obtenir tous les formulaires nécessaires. Dans la Province de l'Est du Kenya il y a un formulaire ; cette convention est signée par les représentants de la communauté du groupe et les représentants du service de l'eau du gouvernement régional.

## Quel est le meilleur moment pour construire un barrage de sable ?

Le calendrier de construction dépend de :

- la disponibilité des ressources ;
- l'accord du groupe communautaire à ce moment-là ;
- la disponibilité des membres à travailler ;
- la présence de sable, de pierres et de l'eau apprêtés sur le site ;
- la préparation des terrasses autour du site du barrage de sable ;
- le temps qu'il faut pour obtenir le(s) autorisation(s) nécessaire(s) du gouvernement ;
- la saison des pluies (étant donné que la construction du barrage de sable devrait être achevée avant le début des pluies).

## Comment concevoir le barrage de sable ?

L'UDO a des ingénieurs de l'eau qualifiés, appelés coordinateurs des barrages, qui travaillent avec le groupe d'entraide pour déterminer l'emplacement du site du barrage de sable, puis élaborent la conception du barrage (Figure 2), qui est soumis avec les autres documents au gouvernement pour approbation.

### Le déversoir principal

Le barrage se remplit très vite quand il pleut (les pluies dans les zones semi-arides où nous vivons sont courtes et irrégulières mais très lourdes). Le déversoir principal va centrer et libérer l'écoulement normal dans le canal de la rivière pendant la saison des pluies.

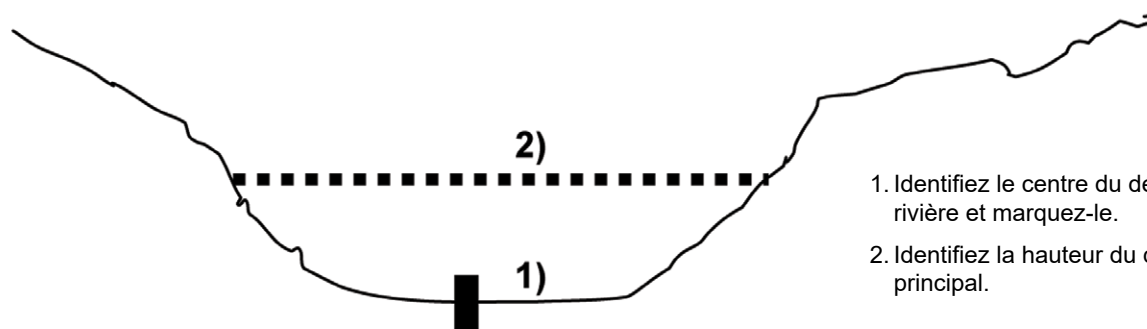
- Sur le site choisi, trouvez l'endroit le plus étroit avec le meilleur fond de roche. Placez-là un piquet. Maintenant, trouvez le centre du lit de la rivière à cet endroit.
- Identifiez le centre du lit de la rivière pour centrer le déversoir principal directement au-dessus de ce point. Assurez-vous que le barrage peut être fixé sur le meilleur lit de roches disponibles et que le déversoir principal sera centré au centre du lit naturel de la rivière. La rivière doit continuer à couler là où elle coulait auparavant sinon elle causera l'érosion. Placez-là un piquet.
- Déterminez la hauteur du déversoir principal à partir de la hauteur historique et normale de l'écoulement de l'eau après les pluies. Utilisez un niveau de cordeau et un cordeau à tracer pour identifier et marquer deux points, dont un sur chaque rive à la même hauteur. Cette hauteur au centre sera la hauteur du déversoir principal.
- Déterminez la longueur du déversoir principal le long de ce niveau de cordeau et du cordeau à tracer. La longueur du déversoir est la longueur nécessaire pour guider l'eau à travers ce canal et la garder dans le canal normal de la rivière durant le cours normal de son écoulement pendant la saison des pluies.
- Marquez la hauteur et la longueur du déversoir principal. Utilisez un ruban à mesurer. Marquez son emplacement avec des piquets, de la corde, et un niveau.

**Hauteur :** Le déversoir principal est normalement de 1 m ou légèrement plus élevé. Le principal facteur déterminant cela est la hauteur de l'écoulement normal durant la saison des pluies. D'autres facteurs sont : la taille de la rivière, la quantité du flux normal, les hauteurs des berges et la quantité de stockage ainsi que la zone de dépôt de sable souhaitées. Après que le sable a rempli le barrage à ce niveau de déversoir principal, la communauté décide souvent d'élever le niveau du barrage de 0,5 m de plus pour accueillir plus de sable et d'eau. Les ailes devront ensuite être étendues également.

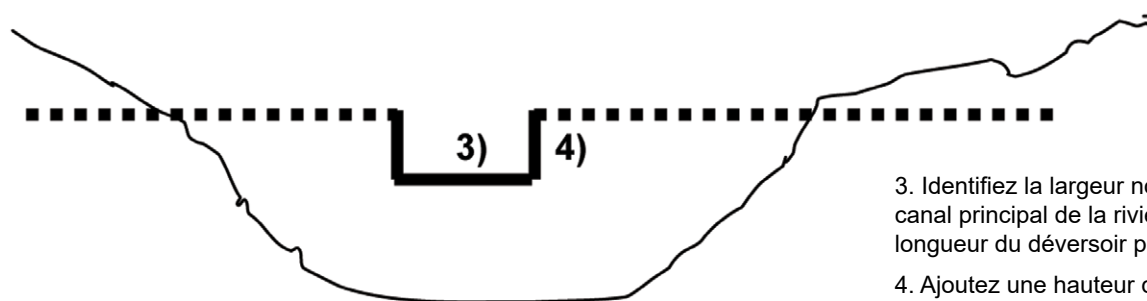
**Longueur :** La longueur du déversoir principal dépend de la largeur et de la pente des berges de la rivière et de la quantité d'eau contenue dans la rivière. La longueur du déversoir secondaire dépend de ces facteurs et de la quantité d'eau prévue qui va couler en amont dans la rivière après de fortes pluies.

**Largeur :** La largeur du mur du barrage au sommet devrait toujours être assez large pour qu'une personne puisse marcher dessus, un minimum de 1 m. La largeur de la fondation en bas dépend de la taille de la rivière et du débit. Le barrage de sable moyen est de 1,5 m de large au niveau de la fondation et se rétrécit vers le sommet. Si la rivière est très grande et si le barrage est élevé, la fondation doit être plus épaisse.

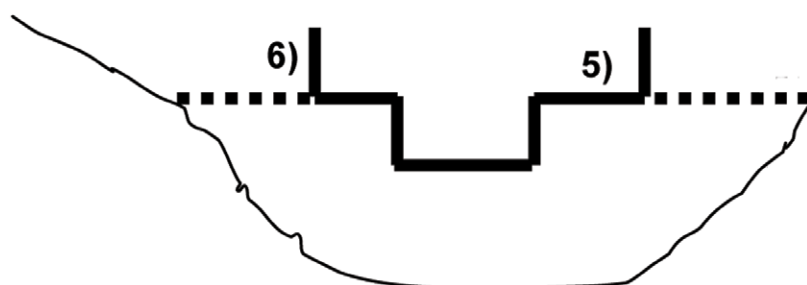
**Figure 2.** Croquis des dimensions du barrage de sable.



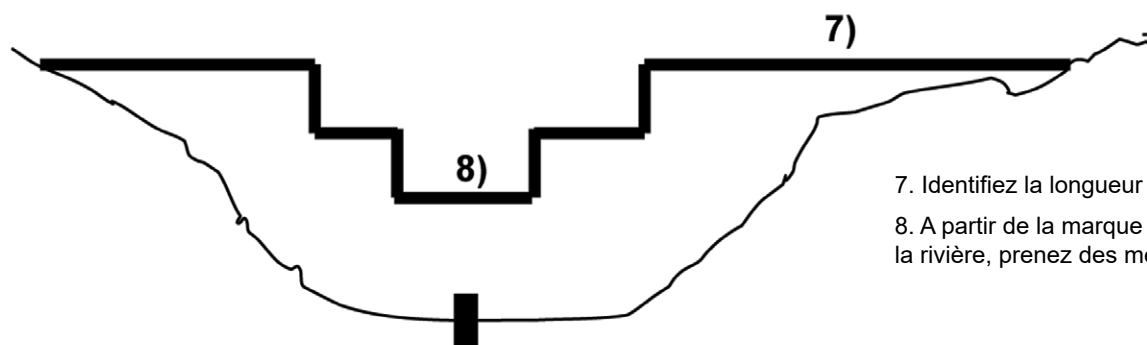
1. Identifiez le centre du débit de la rivière et marquez-le.
2. Identifiez la hauteur du déversoir principal.



3. Identifiez la largeur normale du canal principal de la rivière pour la longueur du déversoir principal.
4. Ajoutez une hauteur de 0,5-1 m pour la hauteur du déversoir secondaire.



5. Identifiez la longueur du canal d'écoulement de la rivière d'inondations pour la longueur du déversoir secondaire.
6. Ajoutez une hauteur de 0,5-1 m pour le déversoir secondaire.



7. Identifiez la longueur des ailes.
8. A partir de la marque du centre de la rivière, prenez des mesures.



## Le déversoir secondaire

Le déversoir secondaire est conçu pour guider l'eau au centre du canal régulier de la rivière quand il y a de fortes pluies et de forts débits de cours d'eau. Le déversoir principal maintient l'eau au centre de la rivière quand il y a moins de pluies. Le déversoir secondaire est important pour prévenir l'érosion du sol lors des fortes pluies étant donné qu'il centre l'eau dans le lit de la rivière.

- Déterminez la hauteur du déversoir secondaire. Ce sera le niveau de la crue des rivières durant de très fortes pluies.
- Utilisez un niveau de cordeau et un cordeau à tracer pour identifier et marquer deux points, dont un sur chaque rive, au niveau de débordement de la rivière durant de très fortes pluies. Cette hauteur sera la hauteur du déversoir secondaire.
- Déterminer la longueur du déversoir secondaire. C'est la longueur nécessaire pour contrôler l'écoulement de l'eau d'inondation et la garder dans le canal de la rivière durant une très forte pluie.
- Marquez la hauteur et la longueur du déversoir secondaire. Utilisez un ruban à mesurer. Marquez son emplacement avec des piquets, de la corde, et un niveau.

**Hauteur :** Le déversoir secondaire est généralement plus haut que le déversoir principal de 1 m.

**Longueur :** La longueur s'étend aux ailes, et dépend de la largeur de l'écoulement de la rivière au niveau de débordement.

**Largeur :** La largeur est généralement de 1 m de large.

## Le déversoir tertiaire

Dans le cas d'un très grand et vaste barrage de sable, vous devrez peut-être disposer d'un déversoir tertiaire (ou additionnel). Sa hauteur sera la hauteur de la plus haute inondation que les membres du groupe d'entraide et les anciens de la région ont en mémoire. Suivez la méthode ci-dessus pour concevoir et mettre à niveau le déversoir tertiaire.

## Les Ailes

Les ailes sont conçues pour éviter que les eaux de crue n'aillent autour du barrage de sable et ne provoquent l'érosion et ne sapent éventuellement les murs du barrage. Elles peuvent ne pas être nécessaires en fonction de la taille des berges et du volume des flux.

- Les ailes doivent être construites de façon à ramener l'eau de la rivière à son cours naturel en cas d'inondation.
- Déterminez le chemin de la crue des eaux sur les deux côtés des berges de la rivière. Marquez ce chemin de crue d'eau avec des piquets.
- Déterminez la longueur des ailes, en s'assurant qu'elles sont assez longues et assez hautes pour atteindre la hauteur de la plus haute inondation que les anciens ont en mémoire. Utilisez un ruban à mesurer et un niveau pour délimiter les ailes avec des pieux.

**Hauteur :** Les ailes du barrage atteignent 1 m ou plus au-dessus du déversoir secondaire pour empêcher l'érosion et contenir l'eau dans le lit de la rivière. La hauteur des ailes dépend de la quantité du flux, la courbe et le courant de la rivière.

**Longueur :** Les ailes peuvent s'étendre en longueur de 3 m jusqu'à 50 m ou plus. Si les berges de la rivière sont très raides, les ailes peuvent ne s'étendre que sur quelques mètres. Si les berges sont très plates, les ailes peuvent s'étaler sur plusieurs mètres. Les ailes doivent être suffisamment longues pour que l'eau ne les contourne pas (parfois il faut revenir et étendre les ailes pour faire en sorte que les eaux de crue soient contenues dans le canal de la rivière).

**Largeur :** La base des ailes est plus épaisse que la partie supérieure, et va en diminuant vers les extrémités. Les ailes sont faites du même matériau que le mur du barrage.

Prenez note de toutes les mesures et gardez-les. Vérifiez que vous disposez de toutes les mesures nécessaires pour la conception.

Le Croquis des Dimensions du Barrage de Sable est fait sur place par le coordonnateur du barrage et utilisé pour faire les mesures de conception, qui sont ensuite utilisées sur place par l'artisan qui construit les déversoirs et les ailes suivant ces spécifications. Les étapes de la conception d'un barrage de sable sont résumées dans le schéma ci-dessus (Figure 2).

## Comment construire le barrage de sable ?

**La fondation:** La fondation est creusée dans le lit de roche. Si une roche est poreuse elle doit être retirée pour ne laisser que la roche dure pour la fondation. Nettoyez les roches avec une brosse et de l'eau et vider l'eau sale. Enlevez par creusement toute roche meuble ou partiellement décomposée. Versez du ciment sec sur cette pierre après l'avoir rendue propre, pour combler les fissures dans le lit de roche.

**Dévier l'eau courante:** S'il y a de l'eau qui coule dans la rivière, construisez un coffrage (une charpente en bois) pour dévier l'eau d'un côté. Puis commencez la construction du côté ne contenant pas d'eau.

Des barres d'armature d'aciers torsadés: Creusez des trous de 2,5 cm de diamètre et 7,5 cm de profondeur à l'aide d'un marteau et d'un burin. Espacez les trous de 1,5 m en zigzag dans la fondation de la roche dans l'espace où vous allez placer le coffrage en bois (coffrages) pour le mur du barrage de sable. Ces trous vont ancrer les barres d'acier torsadés (appelés aussi des barres d'armature) qui renforcent la paroi en béton. Dans chaque trou placez une barre d'armature en acier torsadé d'une longueur de 1,5 m. L'armature doit zigzaguer dans le mur du barrage, toujours à au moins 20 cm des côtés du coffrage en bois. Lorsque les longueurs des barres d'armature sont en place, le coffrage est construit autour d'eux. Les barres sont maintenues en place par les trous de roche. Du fil de fer barbelé est placé autour de l'armature en renforcement. Lorsque le coffrage est en position, l'artisan supervise la mise en place des barbelés sur le coffrage pour le garder renforcé et fixé avec les bonnes mesures. Le fil de fer barbelé maintient le coffrage en bois pour l'empêcher de se propager (Figure 3).



**Figure 3.** Un artisan dans la tranchée montrant le coffrage, les barres d'armature en acier et les fils de fer barbelés.

**Les coffrages de bois (coffrage):** Sous la supervision de l'artisan, deux coffrages de bois doivent être construits, un pour l'amont et l'autre pour le côté en aval du barrage. Ces coffrages tiennent le béton jusqu'à ce qu'il soit durci. Les deux coffrages sont faits de planches horizontales et de poutres droites. Les planches horizontales sont de 2,5 x 15 cm et plusieurs mètres de long, en fonction de la largeur du barrage de sable souhaitée. Les montants sont de 5 x 10 cm et 1,5 m de hauteur à partir du bas vers le haut. Les planches horizontales et les poutres droites sont clouées ensemble et font le coffrage. Les coffrages sont faits sur la rive et ensuite amenés au site de fondation préparé, et montés en position sur la barre d'armature ancrée dans le lit de roche.

Les supports doivent être cloués au coffrage quand il est placé en position sur le site de la fondation du mur du barrage avant que le béton ne soit coulé. Ces supports maintiennent le coffrage en place.

Les murs de béton: Les membres de la communauté, sous la supervision de l'artisan, remplissent le coffrage de mortier et de pierres (Figure 4 et 5). L'artisan expérimenté encadre la mise en place du mortier et des pierres. Le mortier est fait en mélangeant du ciment, du sable et de l'eau le plus près du mur du barrage de sable que possible. Le mortier est mélangé par les membres du groupe sur le sol à l'aide de pelles (Figure 4). Lorsqu'il est prêt, il est pelleté sur de grands plateaux métalliques plats. Ces plateaux sont passés le long d'une chaîne de gens jusqu'au mur du barrage. Les pierres sont passées le long de la chaîne lorsque l'artisan les demande. Ce processus de chaîne de montage par la communauté se poursuit jusqu'à ce que le coffrage soit rempli de mortier et de pierres.

Les pierres ramassées par la communauté doivent être propres, des pierres imperméables de haute qualité. Si elles sont couvertes de terre, il faut bien les brosser avec une brosse métallique pour enlever la saleté. Il devrait y avoir trois tailles : de gros cailloux plats, des cailloux moyens et de petits cailloux.

Le ratio pour le mortier pour la première couche de 50 cm de mur est un sac de ciment et deux brouettées de sable. Après que cette première couche de mortier a été posée, de grosses pierres sont soigneusement placées par l'artisan dans le mortier. Ces gros cailloux sont ensuite suivis par des cailloux petits et moyens.

Après cette première couche, le ratio de ciment par rapport au sable est réduit (de 1 : 2) à un sac de ciment pour trois brouettées de sable. Ce ratio de 1 : 3 est ensuite maintenu pour le reste du mur du barrage. Des fils de fer barbelés sont placés dans ce mélange de mortier et de cailloux à des intervalles de 25 cm.

Les grosses pierres plates sont placées perpendiculairement à la couche de soubassement. Ensuite de petites pierres comblent les espaces vides. Utiliser un marteau de maçon pour frapper les petites pierres pour supprimer les espaces d'air et remplir tous les espaces entre les pierres les plus larges. Puis ajoutez 15 cm de mortier. Ces couches sont répétées, laissant 8 cm d'espace pour le mortier entre les pierres et le coffrage sur les deux côtés.



**Figure 4.** Les membres d'une communauté mélangeant le mortier à Woni Wo Tothi, au Kenya.



**Figure 5.** Construction d'un barrage de sable à Woni Wo Tithi par des groupes d'entraide d'Emali et le personnel de l'UDO au Kenya.

## Qu'est-ce qui doit être fait pour un entretien immédiat ?

### Le mûrissement du mur du barrage

Pendant les 21 premiers jours après que le barrage de sable a été achevé, l'artisan et le groupe d'entraide communautaire doivent surveiller de près le mur du barrage. Le béton doit être maintenu humide pour le durcir correctement (Figure 6). Si le béton n'est pas maintenu humide pendant 21 jours, le barrage peut se fissurer et permettre des fuites. Si le temps est très chaud, le mur du barrage devra être surveillé attentivement pendant le mûrissement, et plus d'eau peut être nécessaire pour humecter les murs plus fréquemment. Nous mettons du sable sur le mur du barrage pour le garder humide. Les fortes pluies peuvent entraver le processus de durcissement, par conséquent, il est préférable de ne pas construire pendant la saison des pluies.



**Figure 6.** Un barrage de sable achevé en phase de durcissement à Woni Wo Tithi au Kenya

### Protéger les berges et le bassin versant autour du barrage de sable

- Le terrassement empêche les dépôts excessifs de sols en amont du barrage par le contrôle du ruissellement rapide et à volume élevé de l'eau qui provoque l'érosion des sols. Les terrasses conservent également l'eau dans les digues et les tranchées. Il est important de souligner que les terrasses sont construites et entretenues pour que le limon soit maintenu hors du barrage de sable. Le limon ne stocke pas bien l'eau ; s'il remplit le barrage, il y a peu d'espace pour l'eau dans les espaces vides. L'UDO exige que les terrasses au-dessus du mur du barrage soient creusées avant de commencer le mur du barrage (Figure 7). Le groupe d'entraide communautaire doit comprendre que le barrage de sable ne fonctionnera pas correctement si les terrasses ne sont pas construites et entretenues. Le sol va se lessiver des berges dans la rivière, remplissant le barrage de limon plutôt que de sable. En outre, les terrasses captent l'eau dans le sol, de sorte qu'il y a beaucoup d'eau disponible sur les pentes pour les herbes, les arbres et les cultures qui y croissent.
- L'herbe à éléphant ou autres graminées et / ou légumineuses doivent être plantées sur les crêtes de la terrasse. L'herbe à éléphant fournit un bon fourrage et sert de point d'ancrage pour la terrasse, ce qui empêche l'érosion. [Envisager d'essayer le vétiver si les animaux en divagation sont susceptibles de détruire les herbes comestibles.] Les terrasses permettent d'éviter que le fumier soit emporté et augmentent l'aération du sol. Les agriculteurs voient une nette augmentation du rendement des cultures si leurs terres sont en terrasses, bénéficiant du terrassement, même à 2% de pente ou moins (Figure 8).
- Des plantations en aval, tels que l'herbe à éléphant ou autres graminées ou arbres, jouent un rôle important sur les côtés des deux rives en aval



**Figure 7.** Des groupes d'entraide creusant des terrasses à Makueni, dans la Province orientale au Kenya.



pour stabiliser le site et prévenir l'érosion. Cette plantation doit être faite immédiatement après la construction.

- Le groupe communautaire peut vouloir construire une clôture autour des points d'eau dans le lit de la rivière en amont pour protéger la zone contre les animaux qui encrassent le sable et réduisent la capacité de stockage d'eau du barrage.
- De petits ruisselets ou caniveaux à proximité du site doivent être bloqués pour empêcher l'érosion des sols. Ceux-ci peuvent être bloqués en utilisant des sacs de sable ou des graminées. Beaucoup de communautés construisent de petits barrages de sable sur ces ruisselets et caniveaux pour récupérer de l'eau supplémentaire.



**Figure 8.** Construction d'un barrage de sable à Woni Wo Tithi par des groupes d'entraide Emali et le personnel de l'UDO au Kenya.

## En quoi consiste l'entretien à long terme ?

Le groupe d'entraide communautaire doit reconnaître et accepter la responsabilité de l'entretien à long terme du barrage de sable et de ses berges et terrasses. Les éléments suivants sont les plus importants à vérifier :

- Immédiatement après une forte pluie, inspecter le barrage de sable pour voir s'il n'y a pas de dégâts.
  - Assurez-vous que l'eau ne contourne pas les ailes. Si c'est le cas, il faut les étendre. Si cela n'est pas fait, le barrage va se lessiver sur ce côté et le travail est perdu.
  - Vérifiez que les troncs d'arbres, branches et autres matériaux qui avaient été emmenés dans la rivière ont été enlevés.
- Vérifiez s'il n'y a pas d'érosion en aval, et renouvelez les plantations d'herbe à éléphant. Parfois, la longueur des ailes peut être étendue afin de prévenir cette érosion.
- Vérifiez que l'érosion ne se produit pas au niveau du tablier (c'est-à-dire, la zone située directement sous les déversoirs primaire et secondaire), le long du fond du déversoir et le long de la partie inférieure des ailes en aval. Si c'est le cas, renforcez le tablier avec du ciment et / ou des pierres. Si cela n'est pas fait, le mur du barrage sera emporté par lessivage avec les pluies qui suivront.
- Vérifiez s'il n'y a pas de fuites et / ou fissures dans le mur du barrage et dans les ailes et réparez immédiatement.
- Vérifiez les berges en amont et en aval et renouvelez les plantations pour contrôler l'érosion.
- Vérifiez les terrasses et replantez toute digue endommagée.
- Pensez à enfermer les animaux si vous voyez des dégâts causés par des animaux sur les terrasses (ou utilisez le vétiver).
- Pensez sérieusement à faire plus de barrages de sable au-dessus et / ou au-dessous du premier. Une série de barrages de sable crée beaucoup plus de stockage d'eau, augmente la nappe phréatique, et accroît la végétation de la zone. À long terme, ce changement permettra d'améliorer sensiblement l'écologie de la région et la vie des gens. Les barrages de sable peuvent être placés tous les 1-2 km le long d'un lit de rivière saisonnière, et chaque barrage profite au suivant. Chacun d'eux ralentit la ruée des eaux de crue, et permet à l'eau d'être stockée plutôt que de couler vers l'océan.

## Pourquoi construire des terrasses autour du barrage de sable ?

Il est extrêmement important de creuser des terrasses sur les rives du bassin versant du barrage de sable pour réduire la quantité de limon coulant dans le barrage de sable. Si les terrasses ne sont pas creusées, le barrage de sable se remplira de limon et le barrage ne pourra pas stocker de l'eau. Les terrasses ralentissent le ruissellement de l'eau, lui permettant d'être entreposée sur les berges. Cela fournit de l'eau disponible pour les cultures fourragères telles que l'herbe à éléphant, qui sert aussi de point d'ancrage pour la terrasse, ce qui empêche l'érosion.

Un récent article du National Geographic (Novembre 2009) sur les avantages des terrasses au sol donne la citation suivante :

*« Lorsque l'eau de pluie court, nous la faisons marcher.  
Lorsque l'eau de pluie marche, nous la faisons ramper.  
Lorsque l'eau de pluie rampe, nous la faisons s'infiltrer dans le sol. »*

## Pourquoi étendre souvent la hauteur du barrage de sable après environ un an ? Pourquoi ne pas le construire très haut dès le début ?

Si le mur du barrage de sable est construit à plus d'un mètre dès le début, il peut se remplir de limon. Nous voulons seulement que des sédiments grossiers (du sable) se posent derrière le mur du barrage. Une fois que le barrage de sable est rempli de sable, le mur peut alors être élevé d'un mètre de plus et le sable remplit cet espace élargi. Le sable grossier augmente la capacité de stockage du barrage, en raison de sa forte porosité.

## Comment empêcher le limon d'obstruer le barrage de sable ?

Si un barrage de sable est mal situé, mal conçu ou pas régulièrement entretenu, il se remplira de limon au lieu de sable, et la quantité d'eau qu'il emmagasine sera considérablement réduite.

- Le site doit être sur une rivière saisonnière avec un lit de rivière sableux et du sable grossier.
- La hauteur du premier déversoir doit être de 1 m de sorte que le limon léger s'écoule par-dessus le déversoir et que le sable plus lourd descende vers le fond pour être stocké par le barrage.
- Les terrasses doivent être construites en amont sur les rives de la rivière pour arrêter l'écoulement rapide de l'eau et du limon dans le lit de la rivière.
- Les crêtes des terrasses doivent être plantées avec de l'herbe à éléphant ou de vétiver pour ancrer les terrasses, prévenir l'érosion et garder le limon sur les berges.
- Les berges du lit de la rivière peuvent être plantées avec plus de graminées et d'arbres pour ancrer davantage le sol et fournir du fourrage de bonne qualité pour les animaux pendant les périodes de sécheresse.

## Qu'en est-il des gens vivant en aval ? Est-ce qu'ils perdent de l'eau ?

Dans notre région, il est clair que la quantité totale d'eau débordant d'un barrage de sable après la pluie est beaucoup plus élevée que le volume stocké dans son réservoir. Seuls 2% environ de la quantité totale d'eau en provenance du bassin particulier d'un barrage est stockée dans son réservoir (Hut et al., 2006).

## Quel est l'avantage d'un barrage de sable en termes de coût ?

Ces calculs ont été effectués à l'UDO de Kola au Kenya en 2010. Nous avons calculé le coût de construction d'un barrage de sable en ajoutant le coût moyen du barrage (y compris tout le personnel et les matériaux) et la contribution du groupe d'entraide communautaire, comme détaillé ci-dessous.

Nos ingénieurs hydrauliciens ont estimé le volume d'eau dans un barrage moyen.

Le coût de l'eau est le taux à partir de 2010 dans la zone cible.

Pour le barrage de sable moyen seulement : (1 \$ US = KSH75 / -)

**Tableau 2. Calcul du rapport coût / bénéfice d'un barrage de sable moyen au Kenya au cours de sa première année de fonctionnement. Basé sur un taux de change de 75 shillings kenyans pour 1 dollar américain.**

Variables	Monnaie	
	Shilling Kenyan	Dollar US
	<b>Calcul des coûts</b>	
Coût du barrage moyen	575.184	7.669
Contribution du groupe d'entraide*	640.000	8.533
<b>Coût total</b>	<b>1.215.184</b>	<b>16.202</b>
	<b>Calcul du bénéfice</b>	
	(Basé sur un volume moyen d'eau par barrage de 100.000 m <sup>3</sup> )	
Coût de 1 m <sup>3</sup> d'eau	100	1,33
Bénéfice Total (valeur de l'eau)	10.000.000	133.000
	<b>Ratio Coût / Bénéfice</b>	
	<b>1.215.184 : 10.000.000 = 1 : 8,2</b>	<b>16.202 : 133.000 = 1 : 8,2</b>

\*Voir le Tableau 3.3 ci-dessous pour le calcul du coût de la contribution du groupe d'entraide communautaire.

**Tableau 3. Calcul de la contribution au coût de la construction d'un barrage de sable par un groupe d'entraide communautaire. Les coûts comprennent la valeur du travail bénévole et les repas que les membres des groupes d'entraide apportent comme contribution à la construction du barrage de sable. Le taux de 250 shillings kenyans par jour est le taux moyen pour le travail contractuel dans la région.**

Contribution des membres du GE	Membres	Jours	Salaire / Jour (Shilling Kenyan)	Coût Total (Shilling Kenyan)
Creusage des fondations	40	6	250	60.000

**Tableau 3. Calcul de la contribution au coût de la construction d'un barrage de sable par un groupe d'entraide communautaire. Les coûts comprennent la valeur du travail bénévole et les repas que les membres des groupes d'entraide apportent comme contribution à la construction du barrage de sable. Le taux de 250 shillings kenyans par jour est le taux moyen pour le travail contractuel dans la région.**

Contribution des membres du GE	Membres	Jours	Salaire / Jour (Shilling Kenyan)	Coût Total (Shilling Kenyan)
Collecte de pierres et de sable	40	30	250	300.000
Collecte de l'eau	40	2	250	20.000
Construire	40	20	250	200.000
Restauration pendant la construction		20	3.000	60.000
<b>La contribution totale pour un barrage</b>				<b>640.000</b>

## Pourquoi travaillez-vous toujours avec les groupes d'entraide communautaires pour construire des barrages ?

Notre organisation travaille parmi le peuple Kamba dans l'Est du Kenya. Il (UDO) a été fondé par un agriculteur local, Joshua Mukusya, et fait appel à des connaissances et des pratiques culturelles. L'une des plus fortes traditions culturelles des Kamba est le « mwethya » ou les gens travaillant ensemble dans l'unité sur une tâche pour le bien commun. Cette tradition culturelle est un élément important de la réussite du projet de barrage de sable. Les gens sont très à l'aise pour rassembler des groupes pour des tâches mutuelles telles que la construction de maisons, la collecte de fonds pour les mariages et les funérailles, et les tontines (cette dernière est une méthode traditionnelle de la micro-finance, dans laquelle chaque personne contribue à une somme d'argent fixée chaque mois et le montant total est remis à un membre différent chaque mois). L'UDO a utilisé cette tradition précieuse pour aider les groupes à se réunir pour des plans holistiques et une action à long terme pour passer de la subsistance à la prospérité à travers l'eau, la nourriture et la sécurité du revenu. La sécurité de l'eau vient toujours en premier. Une femme nous a dit : « Nous ne voulons pas d'aide. Donnez-nous de l'eau et nous pourrions produire notre propre nourriture » .

Les projets de développement durable sont mieux commencés et mieux entretenus par les populations locales avec l'appropriation locale, la prise de décision locale et les ressources locales. Un groupe d'entraide communautaire qui travaille déjà, ou qui veut travailler sur la sécurité de l'eau et la sécurité alimentaire est un partenaire naturel pour les organisations de développement qui cherchent les mêmes objectifs. Les avantages de travailler avec des groupes d'entraide dans la construction de barrages de sable sont les suivants :

- Le groupe prend en charge et développe l'appropriation locale du barrage de sable.
- La contribution du groupe en main-d'œuvre et en matériaux permet de réduire le coût d'exploitation du barrage de sable à peu près de moitié.
- Le groupe ressent la propriété des biens en développement, de l'eau, du sable et de la restauration de la végétation.
- La formation avec le groupe contribue à renforcer les connaissances, les compétences et l'expérience du groupe, pour démarrer d'autres projets.
- Les groupes peuvent se réunir et échanger des connaissances et des compétences, se motivant et s'aidant mutuellement.
- Les revenus générés par les produits du barrage (par exemple, de la vente de l'eau, des légumes, des fruits et du fourrage) sont alors disponibles pour d'autres projets de groupe.

Le livre de Roland Bunch intitulé *Two Ears of Corn* (Deux épis de maïs) est un bon texte qui reflète la philosophie de l'UDO de travailler en collaboration avec les groupes communautaires. Nous utilisons ce texte lors de la formation du nouveau personnel dans notre organisation.

## Comment travaillez-vous avec les groupes d'entraide communautaires pour construire des barrages de sable ?

Nous travaillons uniquement avec des groupes d'entraide reconnus qui sont actifs dans d'autres projets avant qu'ils ne viennent à nous pour demander de l'aide pour la construction de barrages de sable. Nous travaillons avec le groupe pendant 6 mois pour nous assurer qu'ils sont motivés et prêts à démarrer un tel projet.

Nous utilisons une autre pratique culturelle traditionnelle, le « *kuthiana* » , en collaboration avec le groupe d'entraide communautaire. « *Kuthiana* » est l'exploration de la terre, puis la prise de note des bonnes idées. Nous avons utilisé cette méthode d'apprentissage oral et visuel comme une stratégie de communication majeure pour la formation des groupes communautaires à travers des échanges. Les groupes voyagent ensemble pour observer d'autres groupes qui ont réussi, et apprendre d'eux. Cela accélère l'apprentissage et le partage des connaissances sur la sécurité de l'eau et la sécurité alimentaire dans la méthode la plus efficace possible—l'une basée sur leur propre tradition orale d'apprentissage à partir de l'observation des autres. Les membres des groupes d'entraide locaux les plus dynamiques assurent une grande partie de la formation.

Les groupes se réunissent pour s'entraider à construire des barrages de sable, le plus souvent quand un groupe est en train de construire son premier barrage de sable, lorsque le groupe est très petit, ou lorsque le barrage de sable est particulièrement grand. Il est fréquent d'avoir trois ou quatre groupes de travail sur un barrage. Les groupes qui ont construit de nombreux barrages sont très expérimentés, ils travaillent vite avec peu de directives sauf du coordonnateur du barrage et de l'artisan qui s'assurent que la conception est suivie et que la construction est de haute qualité.

Nous avons élaboré et utilisé des formations (Figure 9) sur six ensembles de compétences de renforcement des capacités pour soutenir et encourager les « *mwethya* » en utilisant la technique d'apprentissage de « *kuthiana*. » Les trois premières séries sont données au groupe lors de sa première année de partenariat avec nous (Stern 2009). Nous avons constaté que ces formations doivent souvent être répétées tout au long de leur association avec nous. Ces ensembles de renforcement des capacités sont les suivantes :

- identité et vision
- gouvernance et leadership
- planification stratégique
- performance et résultats
- relations et communication
- développement des ressources

Nos meilleurs formateurs sont des membres qui ont construit de nombreux barrages, qui ont fait beaucoup d'erreurs et ont appris de ces erreurs, et sont dans des groupes qui sont aujourd'hui économiquement prospères (se faisant de l'argent).



**Figure 9.** La formation communautaire au profit du groupe féminin de Kalungu au Kenya.

## Références

- Beimers, PB, van Eijk, AT, Lam, KS, et Roos, B. Juin 2001. Improved Design Sand –Storage Dams (Amélioration de la conception des barrages de stockage de sable), rapport de projet, la Fondation SASOL, Nairobi, Kenya.
- Borst, L. et de Haas, S.A. 2006. Hydrology of Sand storage dams. A case study in the Kiindu catchment, Kitui District, Kenya (Hydrologie des barrages de stockage de sable. Une étude de cas dans le bassin versant de Kiindu dans le district de Kitui au Kenya. Mémoire de maîtrise, Vrije Universiteit, Amsterdam, Pays-Bas.
- Brandsma, J., Hofstra, F., Bjorn, L., Masharubu, B., et Mailu, D. 2009. Impact evaluation on Sand Storage dams (L'évaluation de l'impact sur les barrages de stockage de sable). SASOL, Wageningen UR, et van Hall Larenstein UR.
- Bunch, R. 2000. Two Ears of Corn : a Guide to People-Centered Agricultural Improvement (Deux épis de maïs : un guide sur une amélioration de l'agriculture centrée sur les personnes). World Neighbors, Oklahoma City, Oklahoma, USA [Ed : disponible en téléchargement sous forme de fichier pdf sur [JourneytoForever.org/farm\\_library/cd3wdbooks.html](http://JourneytoForever.org/farm_library/cd3wdbooks.html)]
- Ertsen, M. 2006. Re-hydrating the Earth in Arid Lands (REAL) : systems research on small groundwater retaining structures under local management in arid and semi-arid areas of East Africa (Réhydrater la Terre dans les terres arides (REAL) : la recherche des systèmes sur les petites structures de rétention des eaux souterraines sous gestion locale dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique de



l'Est). Gestion des ressources en eau, Faculté de Génie Civil et Sciences de la Terre, Université de Technologie de Delft, BP 5048, 2600 GA, Delft, Pays-Bas. Contact : m.w.ertsen@tudelft.nl

Frima, GAJ, Huijsmans, MA, van der Sluijs, N., et Wiersma, TE 2002. Sand Storage Dams. A manual on monitoring the ground water levels around a sand-storage dam (Barrages de stockage de sable. Un manuel sur le suivi des niveaux de l'eau souterraine autour d'un barrage de stockage de sable). Delft University of Technology et Sasol. Nairobi, Kenya.

Hut, R., Ertsen, M., Joeman, N., Vergeer, N., Insemius, H. et Van de Giesen, N. 2006. Effects of sand storage dams on ground water levels with examples from Kenya. ( Effets des barrages de stockage de sable sur les niveaux des eaux souterraines avec des exemples du Kenya). Gestion des ressources en eau, Faculté de Génie Civil et Sciences de la Terre, Université de Technologie de Delft, BP 5048, 2600 GA, Delft, Pays-Bas ; Contact : mwertsen@tudelft.nl

Nissen-Petersen, E. 1999. Affordable water : a series for designers and builders (Eau abordable : une série pour les concepteurs et les constructeurs). ASAL Consultants Ltd, Nairobi, Kenya. Contact : asal@wananchi.com

Stern, A. 2009. Mobilizing and Sustaining Self Help Groups. Utooni Development Organisation, Kenya (Mobiliser et soutenir les groupes d'entraide. Organisation pour le développement de l'Utooni, au Kenya). Contact : alverastern@yahoo.com

### **Bibliographie sur les barrages de sable, pour des lectures complémentaires**

Aerts, J. Lesage, R., betteraves, W., De Moel, H., Mutiso, G., DeVreis, A., 2007. Robustness of sand storage dams under climate change (La Robustesse des barrages de stockage de sable sous les changements climatiques). Vadose Zone Journal 6, 572-580.

Borst, L., Haas, de, S.A. 2006. Hydrology of Sand storage dams. A case study in the Kiindu catchment, Kitui District, Kenya (Hydrologie des barrages de stockage de sable. Une étude de cas dans le bassin versant de Kiindu dans le district de Kitui, au Kenya). Mémoire de master, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Chleq, J.L. et H. Dupriez. 1988. Vanishing Land and Water. Soil and Water Conservation in Drylands (Les terres et les eaux en voie de disparition. Conservation des Sols et des Eaux dans les terres arides). Macmillan.

Ertsen, MW, Biesbrouck, B., Postma, L. van Westerop, M., 2005. Participatory design of sand storage dams (Conception participative des barrages de stockage de sable). Dans : Goessling, T., Jansen, RJG, Oerlemans, LAG (Eds.) Coalitions and Collisions (Les coalitions et les collisions). Wolf Publishers, Nijmegen, pp.175-185

Ertsen, M. et Hut, R. 2009. Two waterfalls do not hear each other. Sand-storage dams, science and sustainable development in Kenya (Deux chutes d'eau ne s'entendent pas. Barrages de stockage de sable, science et développement durable au Kenya). Physique et Chimie de la Terre. 34 (2009) 14-22

Gijsbertsen, C. 2007. A study to upscaling of the principle and sediment transport processes behind sand storage dams (Une étude à plus grande échelle du principe et des processus de transport des sédiments derrière les barrages de stockage de sable). Le district de Kitui, au Kenya. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Haysom, A. 2006. A study of the factors affecting sustainability of rural water supplies in Tanzania (Une étude sur les facteurs qui influent sur la durabilité de l'approvisionnement en eau en milieu rural en Tanzanie). Institut de l'eau et de l'environnement, Université de Cranfield, Silsoe.

Hoogmoed, M. 2007. Analyses of impacts on a sand storage dam on ground water flow and storage (Les analyses des impacts sur un barrage de stockage de sable sur le flux et le stockage des eaux souterraines). Vrije Universiteit, Amsterdam.

Hussy, S.W. 2007. Water from sand rivers : guidelines for abstraction (L'eau des rivières de sable : lignes directrices pour l'abstraction). Centre de l'eau, de l'ingénierie et du Développement, Université de Loughborough, Royaume-Uni. WEDC @ Iboru.

Hut, R., Ertsen, MW, Joeman, N., Vergeer, N., Winsemius, H. Van de Giesen, NC, 2008. Effects of sand storage dams on ground water levels with examples from Kenya (Effets des barrages de stockage de sable sur les niveaux des eaux souterraines avec des exemples du Kenya). Physique et Chimie de la Terre 33, 56-66.

Jansen, J. 2007. The influence of sand dams on rainfall-runoff response and water availability in the semi arid Kiindu catchment, Kitui District, Kenya (L'influence des barrages de sable sur la réponse au ruissellement de l'eau de pluie et la disponibilité de l'eau dans le bassin versant semi-aride de Kiindu dans le district de Kitui, au Kenya). Vrije Universiteit, Amsterdam.

Lasage, R., Aerts, J., Mutiso, GCM, de Vries, A., 2008. Potential for community based adaptations to droughts : sand dams in Kitui, Kenya (Capacités pour des adaptations communautaires aux sécheresses : les barrages de sable de Kitui, au Kenya). Physique et Chimie de la Terre 33, 67 -73.

- Lasage, R., Mutiso, S., Mutiso, GCM, Odada, EO, Aerts, J., et de Vries, CA 2006. Adaptation to droughts : Developing community based sand dams in Kitui, Kenya (Adaptation aux sécheresses : Développement des barrages de sable communautaires à Kitui, au Kenya). Résumés de Geophysical Research, Vol.8, 01596, Union européenne des géosciences.
- Lee, M.D. et J.T. Visscher. 1990. Water Harvesting in Five African Countries (Récupération de l'eau dans cinq pays africains). Publication occasionnelle de l'IRC N ° 14.
- Munyao, JN, Munywoki, JM, Kitema, MI, Kithuku, DN, Munguti, JM, et Mutiso, S. 2004. Kitui sand dams : Construction and Operation (Les barrages de sable Kitui : construction et exploitation). Fondation SASOL.
- Nissen-Petersen, Erik. 2006. Water from Dry River Beds (L'eau provenant des lits de rivières à sec). Pour l'Agence danoise de développement international (DANIDA). ASAL Consultants Ltd, Nairobi, Kenya.
- Nissen-Petersen, Erik. 2006. Water from Small Dams (L'eau provenant de petits barrages). Pour l'Agence danoise de développement international (DANIDA). ASAL Consultants Ltd, Nairobi, Kenya.
- Nissen-Petersen, E. 2006 (a). Water surveys and designs (Etudes et croquis de l'eau). Pour l'Agence danoise de développement international (DANIDA). ASAL Consultants Ltd, Nairobi, Kenya.
- Nissen-Petersen, Erik. 2007. Water Supply by Rural Builders (Approvisionnement en eau par les constructeurs en milieu rural). Pour l'Agence danoise de développement international (DANIDA). ASAL Consultants Ltd, Nairobi, Kenya.
- Opere, AO, Awuor, VO, Firme Kooke, SO, Omoto, WO, 2002. Impact of Rainfall Variability on Water Resources Management : Case Study in Kitui District, Kenya. Third Waternet/Warfsa Symposium Water Demand Management for Sustainable Development (Impact de la variabilité des précipitations sur la gestion des ressources en eau : étude de cas dans le district de Kitui, au Kenya. Troisième Symposium de Waternet / WARFSA sur la gestion de la demande en eau pour le développement durable), Dar es Salaam, 30-31 Octobre 2002.
- Orient Quilis, R. 2007. Modeling sand storage dams systems in seasonal rivers in arid regions. Applications in Kitui District (Kenya). (Modélisation des systèmes de barrages de stockage de sable dans les rivières saisonnières dans les régions arides. Applications dans le district de Kitui (Kenya)). Mémoire de master, Université de Technologie de Delft UNESCO-IHE.
- Thornton, J. (Ed) Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Africa. United Nations Environment Programme Newsletter and Technical (Recueil de références de technologies alternatives pour l'augmentation de l'eau douce en Afrique. Lettre d'information du programme des Nations Unies pour l'environnement et publications techniques) [www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-8a/dams.asp](http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/techpub-8a/dams.asp) (article in ED UK tech/academic files)
- A practical guide to sand dam implementation : Water supply through local structures as adaptation to climate change. 2009. Rainwater Harvesting Implementation Network (Un guide pratique pour la mise en œuvre du barrage de sable : Approvisionnement en eau par le biais des structures locales comme adaptation aux changements climatiques). 2009. Rainwater Harvesting Implementation Network (réseau de mise en œuvre de la récupération de l'eau pluviale). . Rain Foundation, Acacia Water, Ethiopian Rainwater harvesting Association (Association Ethiopienne pour la récupération des eaux pluviales), Action pour le Développement, Sahelian Solutions Foundation (SASOL).
- Understanding the hydrology of Kitui sand dams : Short mission report, November 2005. Within component 1. Hydrological evaluation of Kitui sand dams, of "Recharge Techniques and Water Conservation in East Africa : up scaling and dissemination of good practices with the Kitui sand dams (Comprendre l'hydrologie des barrages de sable de Kitui : court rapport de mission, Novembre 2005. Dans la composante 1. Évaluation hydrologique des barrages de sable de Kitui, de « Techniques de recharge et conservation de l'eau en Afrique de l'Est : intensification et la diffusion de bonnes pratiques avec les barrages de sable de Kitui). »

## Pages Web

[www.utoonidevelopment.org](http://www.utoonidevelopment.org)

<https://www.excellentdevelopment.com/>