

## Centre d'Expertise pour la Collecte de l'Eau de Pluie (CECEP)

---

# Construction expérimentale d'impluviums en moellons dans le cercle de Bandiagara

Région de Mopti



Septembre 2012

## Liste des acronymes et abréviations

3R	Recharge, Retention and Re-use
CECEP	Centre d'Expertise pour la Collecte de l'Eau de Pluie
FIETS	Durabilité Financière, Institutionnelle, Environnementale, Technique et Sociale
MUS	Multiple Use Service
PMO	Partenaire de Mise en Œuvre

## 1. Introduction

Le plan quadriennal du Centre d'Expertise pour la Collecte de l'Eau de Pluie (CECEP) Mali inclut un axe de recherche et d'expérimentation dans le but :

- d'améliorer les techniques et/ou approches existantes ;
- d'identifier, de tester et de mettre au point de nouvelles technologies et/ou activités d'animation.

Il s'agit à travers ces travaux, de rendre la collecte d'eau de pluie plus accessible, tant sur les plans technique, social et financier, afin d'assurer sa promotion et son développement. En s'appuyant sur les expériences pertinentes réalisées à l'étranger et en prenant en compte les atouts et contraintes du contexte malien, des expérimentations sont identifiées en concertation avec les acteurs concernés (RAIN Foundation, CECEP, PMO) et en cohérence avec l'orientation stratégique de RAIN Foundation axée sur les approches 3R, MUS et FIETS.

## 2. Contexte

Au Mali, les principales infrastructures en matière de collecte d'eau de pluie à usage domestique sont des impluviums. Il s'agit de dispositifs composés comme suit :

- Une aire de captage, constituée par une toiture métallique.
- Un système de drainage (gouttière et tuyauterie) qui permet de canaliser l'eau de pluie.
- Un réservoir de stockage en ferrociment équipé d'un système de puisage.



Les réservoirs ont généralement un volume compris entre 10 et 14 m<sup>3</sup>, même si l'on en rencontre quelques uns d'une capacité de 20 voire 50 m<sup>3</sup>.

Dans le cadre de la campagne 2012, le CECEP accompagne la réalisation de 175 impluviums financés par RAIN Foundation. 151 réservoirs ont un volume de 12 m<sup>3</sup> et les 24 restantes sont de 14 m<sup>3</sup>. La réalisation des travaux et l'accompagnement des populations sont assurés par 4 ONG nationales : ALPHALOG, ARAFD, CAEB et GASS Mali.

Les prix moyens prévisionnels des réalisations 2012 se décomposent comme suit :

Rubrique	Prix pour un impluvium	%
1 Matériaux	470 329	71,8%
2 Transport	19 750	3,0%
3 Main d'œuvre	81 825	12,5%
4 Autres coûts	41 800	6,4%
5 Communication	4 323	0,7%
6 Supervision / formation	36 760	5,6%
<b>Total 1</b>	<b>654 787</b>	
Contribution locale	233 609	
Contribution ONG	60 078	
<b>Total 2</b>	<b>293 688</b>	

Les matériaux constituent à eux seuls presque 72% du coût d'un impluvium. L'analyse du prix des matériaux montre que le ciment et le fer à béton représentent les deux postes les plus importants et par conséquent ces deux éléments ont une incidence forte sur le coût global.

Matériaux	Prix moyen	% du prix des matériaux	% du prix total de l'impluvium
Ciment	155 041	36,9%	26,5%
Fer à béton	63 259	15,1%	10,8%
Grillage type "poulailler"	39 530	9,4%	6,8%
Planches et chevrons	21 900	5,2%	3,7%
Tôle galvanisée	21 000	5,0%	3,6%
Couvercle fer 60x60	20 250	4,8%	3,5%
Séko [natte]	13 750	3,3%	2,4%
Support chéneau en fer Ø12	11 250	2,7%	1,9%
Etais 2,5m	9 175	2,2%	1,6%
Fil de fer recuit	8 625	2,1%	1,5%
Tuyau évacuation PVC 100 mm	6 875	1,6%	1,2%
Entonnoir ou seau	5 000	1,2%	0,9%
....			

### 3. Objectif de l'expérimentation

Sachant que, dans un réservoir en ferrociment, le ciment représente environ  $\frac{1}{4}$  du prix de l'ouvrage et le fer à béton  $\frac{1}{10}$ <sup>ème</sup>, il semble intéressant de chercher des matériaux de substitution plus économiques et disponibles sur place, afin de diminuer à la fois les coûts d'achat et de transport. L'utilisation de blocs de pierre pour la construction des réservoirs peut être envisagée dans certaines régions du Mali du fait de la disponibilité du matériau et de l'existence de compétence locale en matière de construction maçonnée.

Il existe quelque cas de réservoirs construits en pierre maçonnée mais la documentation existante ne permet pas de connaître en détail les atouts et contraintes de cette technologie.

Pour apprécier sa pertinence, une réalisation expérimentale de réservoirs en moellons maçonnés a été programmée dans le cadre de la planification 2012. C'est l'ONG partenaire GAAS Mali qui a été retenue pour collaborer à ces réalisations car dans leur zone d'intervention, Bandiagara, les constructions en pierres font partie des traditions locales.

L'objectif de l'expérimentation est de **tester la faisabilité d'impluviums avec des réservoirs construits en pierres maçonnées (moellons) afin d'évaluer les possibilités de réduction du ciment et du fer utilisé et ainsi diminuer le coût de l'ouvrage.**

#### 4. Options initiales

Il a été décidé de remplacer les parois en ferrociment par une construction en pierre maçonnées, mais de garder la fondation et la toiture classique. Dans le cas où un réservoir se trouverait sur un sol rocheux, il a été convenu de ne pas réaliser de fondation et de monter directement les parois en pierres maçonnées sur le substratum rocheux. Dans tous les cas, la toiture serait construite de façon standard, en béton armé.

#### 5. Réalisation

L'expérimentation a eu lieu dans le village de Toumouni, commune de Bandiagara, cercle de Bandiagara. Quatre réservoirs d'un volume de 12 m<sup>3</sup> chacune ont été réalisées entre le 13 août et le 4 septembre 2012.

Sur place, tous les sites disponibles se trouvaient sur un sol constitué de terre végétale et la construction d'un réservoir sans fondation n'a pas pu être tentée.

Les pierres ont été taillées dans une carrière située à environ 7 km du chantier. Elles ont nécessité un nouveau taillage de finition avant d'être utilisées. Elles ont été amenées sur place avec un coût de 110 F CFA l'unité. Environ 2280 moellons ont été utilisés, soit 570 par réservoir. La majorité d'entre eux a été retaillée à nouveau lors de la mise en place.

Les fouilles ont été réalisées de façon classique, seul le diamètre a été légèrement augmenté (+ 30 cm) pour tenir compte de l'épaisseur plus importante de la paroi du réservoir.



Le blocage en moellon s'est fait de façon habituelle, avec lit de sable et arrosage pour assurer un bon remplissage des interstices.



Un béton de propreté a été coulé sur l'assise en pierre.



Le pourtour de la fondation a été réalisé avec des pierres jointées.



Contrairement aux réservoirs en ferrociment<sup>1</sup>, le ferrailage n'a concerné que la fondation. Le béton de fondation a été réalisé de façon classique, sauf que le diamètre était légèrement plus important (3,3 m au lieu de 3 m).



<sup>1</sup> Dans les réservoirs en ferrociment, le ferrailage de la fondation se prolonge dans les parois.

Les murs ont ensuite été montés avec des moellons grossièrement taillés :

- épaisseur 15 cm,
- largeur 15 cm
- hauteur 20 cm

Le mortier utilisé comme liant était dosé à 2,5 brouettes de sable pour 1 sac de ciment. Un maximum de 3 rangées de moellon (soit environ 60 cm) a pu être réalisé chaque jour.



Dans l'avant dernière rangée, des fers à béton verticaux ont été mis en attente entre les moellons pour préparer le ferrailage de la toiture du réservoir.



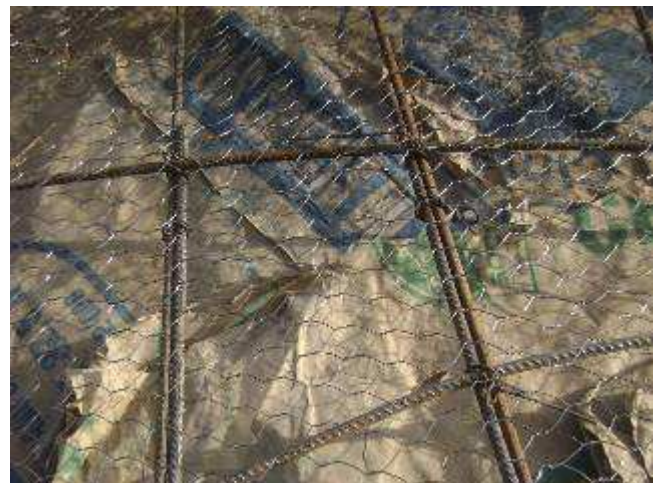


Le crépissage des parois internes s'est fait de la façon suivante :

- Première couche effectuée avec un mortier identique à celui du montage des moellons.
- Deuxième couche et chape réalisée avec un dosage de 2 brouettes de sable pour 1 sac de ciment.
- Barbotine sur la paroi et la chape.



La toiture a été réalisée de façon standard avec un soutènement en bois, un coffrage en matériaux naturel (séko) recouvert d'emballages de ciment. Le ferrailage a été réalisé en reprenant les filantes verticales fixées au sommet de la paroi. Un trou d'homme équipé d'un couvercle métallique a été installé.



Le regard de puisage a été réalisé en moellons. Il est équipé des éléments de robinetterie habituels et d'un couvercle métallique.



## 6. Principaux résultats

Les quatre réservoirs ont été réalisés sans difficulté particulière. Le tableau suivant fait ressortir les principales différences entre un réservoir en ferrociment et un ouvrage en pierres maçonnées

	Réservoir en ferrociment		Réservoir en moellons		
	Ciment	Fer	Ciment	Fer	Pierre taillée
	(sac)	(barre)	(sac)	(barre)	(U)
Béton de propreté	1,5		2		
Fondation	4		6	8	
Elévation	17	40	3		510
Crépissage 1 <sup>ère</sup> couche			3		
Crépissage 2 <sup>ème</sup> couche			3		
Barbotine			1		
Toit			4	13	
Aire de puisage	1,5		1		59
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>40</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>569</b>

Concernant le temps de construction, il faut compter environ 15 jours pour réaliser un impluvium complet avec un réservoir en moellon contre 12 pour le modèle en ferrociment. Les trois jours supplémentaires concernent uniquement la construction de la paroi car la mise en œuvre des moellons est fastidieuse et aussi plus pénible<sup>2</sup>.

La vitesse moyenne de construction de la paroi est de 3 rangées de pierres, soit environ 60 cm, par jour. Mais si cette étape est plus lente que dans le cas d'un réservoir en ferrociment (où la paroi est construite en un seul jour), chaque moellon posé est ajusté pour respecter à la fois le diamètre et la verticalité de la paroi. Il s'en suit une meilleure géométrie du réservoir.

Concernant les coûts d'un réservoir en moellons, la comparaison ne se fait que sur quelques éléments : ciment, ferrailage (fer à béton, grillage et fil de fer), moellons, et coffrage (séko).

<sup>2</sup> Chaque bloc de pierre pèse une dizaine de kilos.

Dans le cas de notre expérimentation, le tableau suivant reprend les principales informations concernant le coût des matériaux (prix 2012 de l'ONG GAAS) :

	MATERIAUX	1. Impluvium ferrociment			2. Impluvium moellons			Solde 1 - 2
		Qté	Coût unitaire	Coût Total	Qté	Coût unitaire	Coût Total	
1	Ciment [sac]	24	6 250	150 000	23	6 250	143 750	6 250
2	Fer à béton 6 mm [barre 12m]	40	1 300	52 000	21	1 300	27 300	24 700
3	Pierres taillées (moellons)	0	110	0	569	110	62 590	-62 590
4	Grillage "poulailler" (en mètre)	34	700	23 800	8	700	5 600	18 200
5	Tuyau pression PVC 32 [barre 6m]	1	4 000	4 000	1	4 000	4 000	
6	Coude PVC 32 [unité]	1	600	600	1	600	600	
7	Té galvanisé 20/27 [unité]	1	300	300	1	300	300	
8	Coude galvanisé 20/27 [unité]	1	300	300	1	300	300	
9	Bouchon galvanisé 20/27 [unité]	2	300	600	2	300	600	
10	Embout PVC 25/32 [unité]	2	500	1 000	2	500	1 000	
11	Vanne d'arrêt 20/27 [unité]	1	3 000	3 000	1	3 000	3 000	
12	Robinet 20/27 [unité]	1	3 000	3 000	1	3 000	3 000	
13	Séko [natte]	10	750	7 500	2	750	1 500	6 000
14	Couvercle fer 60x60 [unité]	2	12 000	24 000	2	12 000	24 000	
15	Etais 2,5m [unité]	20	1 500	30 000	21	1 500	31 500	-1 500
16	Clous 80 [boite]	1	3 000	3 000	1	3 000	3 000	
17	Tôle galvanisée [m]	27	5 000	135 000	27	5 000	135 000	
18	Tuyau évacuation PVC 100 [barre]	1	8 000	8 000	1	8 000	8 000	
19	Té évacuation PVC 100 [unité]	1	2 000	2 000	1	2 000	2 000	
20	Coude évacuation PVC 100 [unité]	1	2 000	2 000	1	2 000	2 000	
21	Bouchon évacuation PVC [unité]	1	2 000	2 000	1	2 000	2 000	
22	Grillage moustiquaire [m2]	0,3	3 000	800	0,3	3 000	800	
23	Entonnoir ou seau [unité]	1	15 000	15 000	1	15 000	15 000	
24	Support chéneau en fer 12 [unité]	10	1 500	15 000	10	1 500	15 000	
25	Fil de fer recuit [rouleau de 5 kg]	3	2 500	7 500	2	2 500	5 000	2 500
26	Colle PVC [boite 1/4kg]	1	3 500	3 500	1	3 500	3 500	
27	Pâte Gebajoint [boite 1kg]	1	4 000	4 000	1	4 000	4 000	
28	Brique [unité]	16	300	4 800	0	300	0	4 800
29	Chevrons (barre de 6 mètres)	7,5	6 000	45 200	7,5	6 000	45 200	
30	Planches de 6 mètres	0,2	12 000	2 400	0,2	12 000	2 400	
31	Fer mou (rouleau)	0,1	60 000	4 000	0,1	60 000	4 000	
	<b>Prix total</b>			<b>554 300</b>			<b>555 940</b>	<b>-1 640</b>

On constate que le coût de l'impluvium en moellons a un coût identique à celui en ferrociment. Bien que le montant du transport des matériaux n'ait pas été pris en compte, l'économie réalisée dans le cas de l'ouvrage en moellon (moins de barres de fer à acheminer sur site) est négligeable.

On peut conclure que, dans les conditions de cette expérimentation, le coût des ouvrages en moellons est similaire à celui du ferrociment. Néanmoins, on peut imaginer que les blocs de pierre soient taillés et acheminés sur site par les usagers à titre de contribution. Il semble aussi possible de disposer de pierres mieux taillées. Dans ce cas, cela devrait se traduire par un meilleur ajustement des blocs et une légère économie de ciment, à la fois pour la jointure des moellons et pour l'enduit interne.

Il semble aussi envisageable de diminuer légèrement l'épaisseur de la fondation (initialement de 15 cm) car la bonne qualité des pierres utilisées pour le soubassement renforce considérablement la stabilité du fond de fouille. En ramenant l'épaisseur à 12 - 13 cm, on économiserait un sac de ciment sans affecter sensiblement la résistance de la fondation.

Ainsi, dans l'idéal, si les usagers se chargeaient de fournir des moellons bien taillés et en diminuant légèrement l'épaisseur de la fondation, on peut estimer une réduction de 3 sacs de ciment. D'un point de vue financier, on pourrait alors envisager les économies suivantes.

		1. Impluvium ferrociment			2. Impluvium moellons			Solde
MATERIAUX		Qté	Coût unitaire	Coût Total	Qté	Coût unitaire	Coût Total	1 - 2
1	Ciment [sac]	24	6 250	150 000	21	6 250	131 250	18 750
2	Fer à béton 6 mm [barre 12m]	40	1 300	52 000	21	1 300	27 300	24 700
3	Pierres taillées (moellons)	0	110	0	569		0	
4	Grillage poulailler (en mètre)	34	700	23 800	8	700	5 600	18 200
13	Séko [natte]	10	750	7 500	2	750	1 500	6 000
15	Etats 2,5m [unité]	20	1 500	30 000	20	1 500	30 000	
25	Fil de fer recuit [rouleau de 5 kg]	3	2 500	7 500	2	2 500	5 000	2 500
28	Brique [unité]	16	300	4 800		300	0	4 800
<b>Prix total</b>								<b>74 950</b>

Une économie de l'ordre de 75 000 F CFA représente 14% du coût des matériaux et 12% du coût total de l'impluvium<sup>3</sup>.

En se référant aux 25 impluviums prévus en 2012 par GAAS Mali dans la zone de Bandiagara, une réduction de 75 000 F CFA par ouvrage permet d'économiser 1 875 000 F CFA pour l'ensemble du projet. Sur cette base, **il serait possible de construire 3 impluviums supplémentaires grâce à cette réduction des coûts.**

Une autre dimension à prendre en compte est la valorisation des matériaux locaux (les moellons) et des compétences locales (le taillage des pierres) qui apporte une certaine indépendance des populations vis-à-vis de l'achat de produits manufacturés (fer et ciment).

En revanche aucune information n'est disponible quand à l'étanchéité des réservoirs en moellons. Il est à craindre, même si le risque est limité, que la dilatation différentielle des parois sous l'effet des variations de température (les blocs de pierre ne se dilatent pas de la même façon que les jointures en mortier ni que l'enduit intérieur) ne produisent des microfissures qui provoqueront des fuites. Une observation dans le temps des 4 réservoirs construits permettra de se prononcer sur cette question. Mais la construction des réservoirs hors-sol en pierres maçonnées a déjà été réalisée par le passé et, même si des problèmes de fuites restent possibles, cela ne devrait pas être un problème insurmontable.

## 7. Leçons apprises

Si la construction des 4 réservoirs en pierres maçonnées s'est globalement très bien déroulée, plusieurs aspects ont été mis en évidence.

Il semble difficile d'obtenir des moellons bien taillés. Probablement parce que cela représente un travail supplémentaire et que, traditionnellement, les blocs utilisés pour la construction ne nécessitent pas une finition poussée. Mais les compétences locales existent et la fabrication locale de moellons de dimensions régulières est tout à fait envisageable.

<sup>3</sup> Estimé à 625 833 F CFA dans le cadre du budget 2012 de l'ONG GAAS Mali

Le montage en élévation (construction de la paroi) du réservoir est plus lent que pour un ouvrage en ferrociment. Il faut compter au minimum 3 à 4 jours : 3 rangées soit 60 cm, par jour pour une hauteur de 2 m. Le travail est aussi plus pénible à cause de la manutention des blocs.

La construction maçonnée permet en revanche un meilleur contrôle de la géométrie : vérification du diamètre à chaque moellon grâce à une pige centrale et vérification de la verticalité au fil à plomb. Cela se traduit par une infrastructure bien construite, donc plus stable. D'un point de vue esthétique, le résultat est particulièrement réussi.

Il faudra un peu de recul (au moins une année d'utilisation) pour vérifier l'étanchéité des réservoirs en pierres maçonnées. Néanmoins, même si des fuites apparaissent, il devrait être possible de les réduire de façon significative en reprenant l'enduit aux endroits concernés.

La construction en moellons permet de diviser par 2 la quantité de fer à béton utilisé (21 barres de fer Ø 6 mm contre 40 pour un impluvium classique). En revanche, dans le contexte actuel (pierres grossièrement taillées et achetée 110 F l'unité par le projet) les économies financières sont nulles.

La zone de Bandiagara est bien adaptée pour la construction de réservoirs en moellons : des matériaux de qualité sont disponibles ainsi que des compétences pour la taille des blocs.

## **8. Prochaines étapes**

En s'appuyant sur les résultats obtenus on constate que la réalisation de réservoirs en moellon n'a pas engendré de réduction des coûts. Pourtant des économies potentielles existent sous réserve de quelques changements (pierres gratuites, mieux taillées, épaisseur de la fondation réduite).

La question de l'étanchéité doit elle aussi être analysée pour s'assurer de la fonctionnalité de l'ouvrage.

L'expérimentation de la construction des réservoirs en pierres maçonnées doit donc être poursuivie en 2013 afin de se laisser le temps de négocier avec les usagers de la fourniture des moellons et de vérifier la bonne tenue des 4 ouvrages réalisés cette année.