

Catalogue des bonnes pratiques de collecte et de valorisation des eaux pluviales



Catalogue des bonnes pratiques de collecte et de valorisation des eaux pluviales



Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE)

Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, Département de l'Eau

Rue Hassan Benchekroun 10001 Rabat-Agdal / Maroc
Tél. : +212 (0) 537-778-727 - Fax : +212 (0) 537-778-696
www.water.gov.ma

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

c/o Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, Département de l'Eau
Rue Hassan Benchekroun, Bureau n° 229
B.P. 433, 10001 Rabat Rabat-Agdal / Maroc
Tél. : +212 (0) 537-775-450 - Fax : +212 (0) 537-772-610
www.agire-maroc.org - www.giz.de/marokko

Responsable : Mr. Pierre Guillibert (pierre.guillibert@giz.de)

Rédaction

Nour El Houda El Hamoumi, Jihane Naim, Lantam Djeri Wake, Walter Klemm, Christine Werner, Badre El Himdy

Mise en page

Nour El Houda El Hamoumi, Jihane Naim, Lantam Djeri Wake

Contributions

Nous adressons notre vive gratitude à toute personne et tout organisme, ayant contribué à enrichir le présent catalogue. Un remerciement particulier est adressé aux personnes suivantes :

- Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, Département de l'Eau : Abdeslam Ziyad, Moulay driss El Hasnaoui, Farah El Aoufir, Kamal Yaalaoui, Hassan Brirhet, Zaineb Filali
- Ministère de l'agriculture : Mohamed Kharmouch
- Ministère de la Santé : El Habib Omary
- Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification : Hassan Berhili, Abdelmajid El Majoudi
- Agences de Bassins Hydrauliques (ABH)s : Abdehamid Aslikh, Laila Misane, Dahbi Naima, Adnane Elkadri, Abdelhak Kossir
- NOVEC : Majda Nejmeddine, Mohamed Abdani
- Bureaux d'études (Phenixia, Hydraumet, CID, Waman consulting)
- École Hassania des Travaux Publics EHTP : Mohamed Sinan
- Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II : Badre El Himdy
- Holding Al Omrane : Lamia El kadiri, Bahae Benouahoud
- Lydec : Saad Azaoui
- Associations Terre et Humanisme : Boujemaa Gueghlan
- Associations France et Maroc au Coeur - AFEMAC : Noël Nel, Lhoussaine El Rhaffari, Fouzia Mallouk

Conception et impression

Livecomb - www.livecomb.com
Photographie : Riad Tabiben - riad.tabiben@gmail.com

Avis de non-responsabilité

Le contenu de ce manuel a été rédigé avec soin. Néanmoins, nous déclinons toute responsabilité quant à la validité, l'exactitude et l'exhaustivité des informations fournies. Ce catalogue contient des documents provenant de sources tierces, qui ne sont pas sous le contrôle de la GIZ, et pour lesquels nous déclinons toute responsabilité.

Droits d'auteur

Les producteurs du catalogue des bonnes pratiques de collecte et de valorisation des eaux pluviales/GIZ s'inscrivent dans le concept « open-source » pour le développement des capacités. Les informations qui y figurent sont destinées à un usage non-lucratif ; il ne peut donc être vendu.

Catalogue des bonnes pratiques de collecte et de valorisation des eaux pluviales en ligne

La version en ligne du catalogue est disponible à travers le lien :
<http://agire-maroc.org/DocBiblio/Catalogue-GIZ-BP-CEP.pdf>





Sommaire

Préface	11
Terminologie	12
Liste des abréviations et des acronymes	13
Liste des figures	14
Liste des tableaux	20

1

Introduction	22
---------------------	-----------

2

La Collecte et la valorisation des Eaux Pluviales (CEP)	26
--	-----------

2.1	Historique	28
2.2	Définitions et précisions	29
2.3	Considérations pour un projet de CEP	31
2.4	Benchmarking international	32

3

La collecte et la valorisation des eaux pluviales (CEP) au Maroc	38
---	-----------

3.1	Contexte naturel	40
3.2	Contextes institutionnel et réglementaire	42
3.3	Expérience marocaine en matière de CEP	43
3.4	Impacts environnementaux et socio-économiques de la CEP au Maroc	50
3.5	Perspectives de la CEP au Maroc	50

4

Fiches techniques	52
--------------------------	-----------

4.1	Recommandations pour l'utilisation des fiches techniques	54
4.1.1	Publics cibles	54
4.1.2	Utilisation des fiches techniques	54
4.2	Liste des fiches techniques	55

4.2.1	Milieu urbain	60
--------------	----------------------	-----------

4.2.2	Milieu rural	106
--------------	---------------------	------------

4.2.3	Aménagement des bassins versants	190
--------------	---	------------

5

Bibliographie	228
----------------------	------------

Dictionnaire de l'eau	230
Lois, décrets, arrêtés et dahirs	234
Base de données collectées sur le CEP	235
Rapports d'organismes internationaux	235
Stratégie Nationale de l'Eau	235
Stratégies sectorielles	235



Préface

La collecte et la valorisation des eaux pluviales (CEP) est un ensemble de pratiques très anciennes au Maroc. Elles sont généralement utilisées pour différents usages domestiques tels que la lessive, la consommation humaine et l'abreuvement du cheptel, ou valorisées pour améliorer la production des cultures et des arbres fruitiers.

Les techniques employées diffèrent selon l'échelle d'application, pour l'alimentation en eau potable, on utilise généralement des Matfias individuelles ou collectives. Pour ce qui est de la valorisation des eaux pluviales au niveau de l'agriculture, différentes techniques furent utilisées, en particulier la réalisation des cordons pierreux et diguettes suivant les courbes de niveaux, des banquettes le long des talwegs, l'épandage des eaux de crues et la réalisation de bassins de stockage d'eau.

Aujourd'hui et avec la raréfaction des ressources en eau et l'impact du changement climatique, la modernisation et le développement de ces pratiques offrent des potentialités et des opportunités de mobilisation et de valorisation de ressources en eau supplémentaires.

C'est dans ce sens et pour accompagner la mise en œuvre des orientations de la stratégie de développement du secteur de l'eau au Maroc, qu'un catalogue de bonnes pratiques de CEP a été élaboré dans le cadre du Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau entrepris par le Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, Département de l'Eau avec l'Agence Allemande de Coopération Internationale (GIZ) et l'appui de la coopération Suisse.

Ce catalogue, qui englobe aussi bien des techniques ancestrales que modernes et innovantes, est le fruit d'une recherche bibliographique très large et d'un processus participatif impliquant plusieurs experts représentant les différents partenaires institutionnels concernés. Il constitue par conséquent un référentiel de techniques et de pratiques de CEP capitalisées de par le monde et présente les grandes lignes de leur application dans le contexte marocain.

Le catalogue est destiné à tous les acteurs de l'eau au Maroc, en plus des urbanistes architectes gestionnaires des villes, particuliers, intervenants impliqués dans les systèmes de collecte des eaux pluviales et concepteurs de systèmes de drainage. Il est un recueil d'informations utiles, ainsi que des fiches techniques détaillées destinées à apporter des réponses et accompagner la mise en place des projets de CEP à différentes échelles.

Je suis persuadé que les bonnes pratiques objet de ce catalogue contribueront à la mise en œuvre des orientations et des actions de gestion intégrée des ressources en eau proposées dans le cadre du Plan National de l'Eau et la mise en application des dispositions de la nouvelle loi sur l'eau n°36-15, qui a consacré tout un chapitre à la collecte et la valorisation des eaux pluviales

Je ne manquerais pas cette occasion pour remercier la GIZ de leur appui continu aux services du Département de l'Eau et pour l'élaboration de ces outils pratiques et adaptés pour la mise en œuvre de projets durables, viables et respectueux de l'environnement.

Je vous en souhaite bonne lecture.

Abdeslam ZIYAD

Directeur de la Recherche et de la Planification de l'Eau
Département de l'Eau

Terminologie

Eaux	Eaux de pluie ou de fonte des neiges
Eaux pluviales	Eaux de ruissellement ou de crue
Ruissellement	Écoulement des eaux à la surface des sols
Infiltration	Processus par lequel l'eau pénètre dans le sol à partir de la surface
Surface imperméable	Surface où l'infiltration d'eau est limitée, voire même nulle
Surface de concentration de l'eau	Endroit où les eaux s'accumulent par application de la loi de la gravité, et/ ou par construction artificielle
Bassin hydraulique (BH)	Grand territoire dont les eaux coulent vers un lieu donné (cours d'eau, lac ou mer)
Sous-BH	Font partie du BH et correspondent à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans les cours d'eau principaux
Bassin versant (BV)	Petit BH naturel alimenté par des eaux pluviales, ou par des sources, et délimitée par ses lignes de partage d'eau. A l'intérieur du BV, les eaux tombées alimentent un même exutoire
Collecte de l'Eau (CE)	<p>Au sens strict, la collecte de l'eau se réfère simplement à la récupération et la concentration de l'eau.</p> <p>Cependant, au sens large, un système de collecte des eaux pluviales implique une gestion de cette ressource naturelle. Un tel système se compose généralement de trois éléments :</p> <ol style="list-style-type: none">1. une zone de collecte qui produit des eaux de ruissellement du fait2. d'une surface imperméable ou d'une faible infiltration;3. un système d'acheminement par lequel les eaux de ruissellement sont dirigées grâce à des diguettes, des fossés, des canaux (ce n'est néanmoins pas toujours nécessaire); et4. un système de stockage où l'eau est accumulée ou prête à être employée dans le sol, dans des fossés, des mares, des bassins, des réservoirs ou petits barrages (on peut toutefois laisser infiltrer l'eau directement). <p>La zone de collecte peut être une autre surface imperméable, un micro- BV, ou un macro-BV. Les techniques de collecte des eaux pluviales sont décrites en détail au chapitre 2.</p>
Micro-BV	Le micro-BV (de quelques mètres carrés à un hectare) est utilisé soit pour la collecte de l'eau (en tant que zone de collecte), soit pour la concentration de l'eau (en tant que système d'acheminement)
Macro-BV	BV naturel où les eaux de ruissellement sont dirigées vers un point bien déterminé (système d'acheminement), en application d'une gestion des eaux pluviales
Collecte et valorisation des eaux pluviales (CEP)	Signifie l'ensemble des bonnes pratiques (physiques ou biologiques), qui servent à la mobilisation « collecte », le stockage, et à l'utilisation durable des eaux pluviales. Ces pratiques ancestrales ou innovantes sont adaptées aux différents milieux (urbain, rural...) dépendent de la disponibilité en eau et s'adapte aux futures utilisations des eaux mobilisées (irrigation, alimentation, infiltration...). On peut aussi retrouver l'abréviation RWH (RainWater Harvesting) qui est souvent utilisée au lieu de CEP.
Bonne pratique de CEP	Toutes les méthodes physique « ouvrage » ou biologique « traitement du sol, plantation » qui permettent la mobilisation, le stockage l'utilisation ou l'infiltration des eaux pluviales.
Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)	« Un processus favorisant le développement et la gestion coordonnés des ressources en eau, du sol et des ressources associées, permettant de maximiser les bénéfices économiques et sociaux, de façon équitable sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux » (GWP, 2000).

Liste des abréviations et des acronymes

ABH	Agence de Bassin Hydraulique
AEPI	Alimentation en Eau Potable et Industrielle
AGIRE	Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
AUE	Association d'Usagers d'Eau
AUEA	Association d'Usagers d'Eau Agricole
BET	Bureau d'Etudes Techniques
BV	Bassin versant
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CE	Collecte de l'eau
CEP	Collecte et valorisation des Eaux Pluviales
CI	Conseil d'Irrigation
DAH	Direction des Aménagements Hydrauliques
DPA	Direction Provinciale d'Agriculture
DPH	Domaine Public Hydraulique
DRA	Direction Régionale de l'Agriculture
DRPE	Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et agriculture « Food and Agriculture Organisation of the United Nations »
FIDA	Fond Internationale du Développement Agricole
GEP	Gestion des Eaux Pluviales
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GIZ	Agence Allemande pour la Coopération Internationale, Eschborn, Allemagne (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
GPR	Gestion Participative des Ressources
GUA	Groupement d'Usagers d'Eau
Ha	Hectare
HEFLCD	Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification
KfW	Banque de Développement, Frankfurt a.M., Allemagne (Kreditanstalt für Wiederaufbau)
LYDEC	Lyonnaise des Eaux
MAD	Dirham marocain (1 US\$ ~ 8 MAD, 1 EUR ~ 11 MAD)
MAPM	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime
METLE-DE	Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, Département de l'Eau
ONCA	Office Nationale du Conseil Agricole
ONEE	Office National de l'Electricité et de l'Eau potable
ONG	Organisations Non-Gouvernementales
ONU	Organisation des Nations Unies
O & M	Opération et Maintenance (Operation and Maintenance)
ORMVA	Office Régional de Mise en Valeur Agricole
PDAIRE	Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau
PDC	Plan de Développement Communal
PDP	Plan de Développement Provincial
PME	Partenariat Mondial de l'Eau
PMH	Petite et Moyenne Hydraulique
PNE	Plan National de l'Eau
RUEP	Récupération et Utilisation des Eaux Pluviales
SD	Schéma Directeur
SNE	Stratégie Nationale de l'Eau
STORM	Outil de simulation et de dimensionnement basé sur un modèle hydrologique du cycle de l'eau pour les captages urbains et ruraux

Liste des figures

De la partie introductive

Figure 1 : Schéma du principe de la collecte et valorisation des eaux pluviales	29
Figure 2 : Exemples d'aménagement en milieu urbain pour la collecte et valorisation des eaux pluviales	30
Figure 3 : Répartition des précipitations annuelles à l'échelle nationale	40
Figure 4 : Système de conservation des eaux et des sols en liaison avec les étages bioclimatiques marocain	41
Figure 5 : Khettara, la source d'eau traditionnelle	43
Figure 6 : Citerne en surface, ouverte ou fermée	45
Figure 7 : Lac collinaire	46
Figure 8 : Banquettes de rétention avec plantation	46
Figure 9 : Murette de pierres	46
Figure 10 : Gradins suivant les courbes de niveaux	46
Figure 11 : Mur en gabion	47
Figure 12 : Mur en maçonnerie	47
Figure 13 : Ouvrage métallique	47
Figure 14 : Série de murs en maçonnerie le long d'un ravin reboisement suivant les courbes de niveau	48
Figure 14 : Série de murs en maçonnerie le long d'un ravin reboisement suivant les courbes de niveau	48
Figure 16 : Élément banquette	48
Figure 17 : Plantation avec impluvium et cuvettes	49
Figure 18 : Confection et supervision des impluviums et cuvettes	49

Des fiches techniques

Milieu Urbain

01. Toiture verte / végétalisée	62
Figure 1 : Toiture végétalisée	62
Figure 2 : Toits verts extensifs	62
Figure 3 : Toit vert intensif, Etats Unis	63
Figure 4 : Coupe d'un toit végétal intensif et extensif	63
Figure 5 : Coupe d'un toit végétal incliné	63
Figure 6 : Plantation des végétaux sur un substrat de toiture végétalisée	64
Figure 7 : Toiture végétalisée du parking végétal de Hay Riad, Maroc	64
Figure 8 : Toiture mixte : végétaux et panneaux photovoltaïques, Bâle, Suisse	65
02. Mur vert / végétalisé	66
Figure 2 : Composition d'un mur végétalisé	67
Figure 3 : Pont Max-Juvenal avant le mur végétal, Aix-en-Provence	68
Figure 4 : Pont Max-Juvenal avec le mur végétal, Aix-en-Provence	68
Figure 5 : Carrefour Market, Rabat - Maroc	68
Figure 6 : Mur végétalisé Kitéa géant, Rabat - Maroc (Source : GIZ/AGIRE)	68
03. Collecte d'eau de toiture	70
Figure 1 : Schéma d'un système de collecte d'eau de toiture en milieu urbain	70
Figure 2 : Composantes d'un système de collecte d'eau de toiture	70
Figure 3 : Plan horizontal de la superficie du toit	71
Figure 4 : Creusement des tranchées pour la disposition des tuyaux de descente	72
Figure 5 : Pose du réservoir de stockage	72
Figure 6 : Construction achevée d'un réservoir de stockage d'eau de pluie	73
04. Pavé drainant et chaussée réservoir	74
Figure 1 : Revêtement drainant en pavés de béton	74
Figure 2 : Différents types de pavés drainants	74
Figure 3 : Fonctionnement d'un pavé drainant	75
Figure 4 : Evacuation d'eau à travers les pavés drainants suivant la perméabilité du sol	75
Figure 5 : Pavage mécanique	76
Figure 6 : Projet résidentiel Riad El Andalous, Hay Riad, Rabat - Maroc	77
Figure 7 : Projet résidentiel Riad El Andalous, Hay Riad, Rabat - Maroc	77
05. Structures alvéolaires ultra légères (SAUL)	78
Figure 1 : Revêtement drainant en pavés de béton	78
Figure 2 : Coupe montrant le principe de fonctionnement d'une SAUL réalisée en NIDAPLAST	79
Figure 3 : Schémas d'utilisation des SAUL en évacuation des eaux pluviales	79
Figure 4 : Coupe d'une SAUL avec chaussée perméable	80
Figure 5 : Bassin de stockage pour régulation sous voirie avant rejet dans le réseau pluvial, Commune d'Arcachon, France	81

Figure 6 : Suppression d'un rejet d'eaux pluviales vers le milieu récepteur, Commune de Lège-Cap Ferret, France	81
06. Rigoles / Caniveaux	82
Figure 1 : Caniveaux construits dans une zone habitée	82
Figure 2 : Alimentation linéaire à gauche et ponctuelle à droite d'un caniveau	83
Figure 3 : Fixation d'une grille sur un caniveau	83
Figure 4 : Caniveaux construits dans une zone habitée	84
Figure 5 : Caniveaux construits en bordure d'une terrasse	84
Figure 6 : Caniveaux construits en zone urbaine	84
Figure 7 : Caniveau construits en zone urbaine, Lisbonne – Portugal	84
07. Fosses et Noues	85
Figure 1 : Fossé longeant la rocade de Rabat, Maroc	85
Figure 2 : Exemple d'une noue avec cloisons en béton	86
Figure 3 : Fossé ou noue d'infiltration	86
Figure 4 : Fossé ou noue de rétention	86
Figure 5 : Creusement d'un fossé	87
Figure 6 : Noues devant les habitations, Villeneuve d'Ascq, France	87
Figure 7 : Noue cloisonnée	87
Figure 8 : Fossé longeant la rocade de Rabat, Maroc	87
08. Tranchée d'infiltration	89
Figure 1 : Tranchée drainante le long d'un espace piétonnier, France	89
Figure 2 : Disposition d'un drain dans une tranchée d'infiltration recouverte de terre végétale	90
Figure 3 : Tranchée drainante sous voirie, France	91
Figure 4 : Tranchée d'infiltration le long des bâtiments	91
09. Puits d'infiltration	92
Figure 1 : Puits d'infiltration avec tampon ouvert et regard de décantation	92
Figure 2 : Puits d'infiltration comblé	93
Figure 3 : Puits d'infiltration couplé à un regard de décantation	93
Figure 4 : Avaloir conduisant les eaux pluviales de voirie vers le puits d'infiltration, France	94
Figure 5 : Puits d'infiltration, ZAC de Buet, France	94
10. Bassin de rétention ou d'infiltration	96
Figure 1 : Bassin de rétention dans un lotissement, Quebec, Canada	96
Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un bassin de rétention	97
Figure 3 : Bassin de rétention et de régulation, Quebec, Canada	98
Figure 4 : Bassin de rétention et de régulation, région de Casablanca, Maroc	98
11. Ouvrages de stockage d'orage	99
Figure 1 : Disposition de tuyaux enterrés pour le stockage des eaux d'orage	99
Figure 2 : Principe de fonctionnement des réseaux surdimensionnés	99
Figure 3 : Schéma du principe de fonctionnement d'un déversoir d'orage	100
Figure 4 : Intérieur du bassin d'orage Joffre, Loos, France	101
12. Déversoir d'orage	102
Figure 1 : Déversoir d'orage	102
Figure 2 : Principe du déversoir d'orage	102
Figure 3 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage	103
Figure 4 : Conception détaillée d'un déversoir d'orage	103
Figure 5 : Déversoir d'orage avec bassin	104
Figure 6 : Déversoir d'orage en acier	104
Figure 7 : Déversoir d'orage en béton préfabriqué	104
Figure 8 : Construction d'un déversoir d'orage, Givors	104
Figure 9 : Localisation du projet de lutte contre les inondations du bd Moulay Ismail à Ain Sebaâ, Casablanca Maroc	105
Figure 10 : Localisation de quelques déversoirs d'orage (DO) sur la ville de Valliere	105
Figure 11 : Sonde de mesure à l'intérieur d'un déversoir d'orage situé rue Jean Berry à Givors	105

Milieu Rural

13. Collecte de l'eau de toiture	108
Figure 1 : Réservoir connecté au toit d'une maison	108
Figure 2 : Exemple de drainage de l'eau du toit vers un jardin	108
Figure 3 : Composantes de base d'un système de collecte d'eau de pluie	109
Figure 4 : Plan horizontal de la superficie du toit	109
Figure 5 : Réservoir de captage d'eau pluviale de l'école primaire de Dayet Ifrah en construction	110
14. Cuvettes	112
Figure 1 : Système de cuvettes concentrant l'eau pour les cultures	112

Figure 2 : Conception des cuvettes	112
Figure 3 : Réalisation des cuvettes, Burkina Faso	113
Figure 4 : Dépôt de fumure organique à gauche et d'une micro-dose d'engrais à droite dans la cuvette	113
Figure 5 : Champs voisins de sorgho avec cuvettes à gauche et sans cuvettes à droite	114
Figure 6 : Cultures en cuvettes, Madagascar	114
15. Demi-lunes	115
Figure 1 : Demi-lune (banquettes semi-circulaires)	115
Figure 2 : Configuration des demi-lunes	115
Figure 3 : Dimensions des DL pour la configuration « a » en haut et « b » en bas	116
Figure 4 : Réalisation des demi-lunes	116
Figure 5 : Champ de mil dans des demi-lunes, région de Tahoua, Niger	117
Figure 6 : Plantations expérimentales d'oliviers dans des demi-lunes, Syrie	117
16. Système Vallerani (VS)	118
Figure 1 : Vallerani, Burkina Faso	118
Figure 2 : Charrue Delphino montée un tracteur réalisant des valleranis	118
Figure 3 : Espacement entre les lignes et les valleranis	119
Figure 4 : Méthode de semis au moyen de la canne semeuse, sur sillon vallerani Burkina Faso	119
Figure 5 : Etapes de traitement d'une parcelle par le système de vallerani	119
Figure 6 : Pâturage dans des champs préalablement labourés et semés, Burkina Faso	120
Figure 7 : Production de sorgho avec traitement traditionnel à gauche et avec les vallerani à droite, Niger	120
17. Negarim	121
Figure 1 : Série de micro-bassins de negarims	121
Figure 2 : Schéma des negarims	121
Figure 3 : Dimensions (en cm) d'un negarim de 25 cm de hauteur de diguette	122
Figure 4 : Technique de disposition des negarims	123
Figure 5 : Puits d'infiltration	123
Figure 6 : Etat final des negarims au village de Tidrhest pour la plantation des oliviers	123
18. Billonnage	125
Figure 1 : Plantation de pommes de terre sur billons	125
Figure 2 : Différentes parties d'un billonnage	125
Figure 3 : Billons aménagés suivant les courbes de niveau sur un terrain en pente	126
Figure 4 : Sillon profond et de faible ouverture en sol sableux	126
Figure 5 : Sillon large et de faible profondeur en sol argileux	126
Figure 6 : Traçage de sillons sur les parcelles d'essai dans le cadre du projet d'assainissement écologique dans le village de Dayet Ifrah, Maroc	127
19. Banquettes	128
Figure 1 : Banquettes fruitières, Khénifra, Maroc	128
Figure 2 : Exemple de configuration des banquettes pour des pentes inférieures à 5%	128
Figure 3 : Conception des banquettes	128
Figure 4 : Banquettes sur forte pente non entretenues et raviniées, Khénifra, Maroc	129
Figure 5 : Irrigation gravitaire d'une banquette fruitière et semi de blé intercalaire, Khénifra, Maroc	129
Figure 6 : Banquettes avec plantation d'oliviers	130
20. Cordons pierreux	131
Figure 1 : Cordons pierreux, Burkina Faso	131
Figure 2 : Disposition des cordons pierreux	131
Figure 3 : Labour du sol pour faciliter le creusement de la tranchée	132
Figure 4 : Disposition des cordons pierreux	132
Figure 5 : Disposition des pierres après creusement de la tranchée le long des courbes de niveau	132
Figure 6 : Cordons pierreux végétalisés au village Arazane région de Taroudant, Maroc	132
Figure 7 : Réalisation de Cordon pierreux dans le cadre du programme PATECORE, Burkina Faso	133
21. Paillage	134
Figure 1 : Paillage dans un jardin en zone aride, Douar El Hamri - chichaoua	134
Figure 2 : Paillage minéral pour massifs	134
Figure 3 : Couverture végétale à base de coquille d'arganier appliqué au Douar Ouahliba – Arazane, Maroc	135
Figure 4 : Plantation et paillage de buttes	135
Figure 5 : Paillage d'une parcelle en zone aride	135
Figure 6: Paillage avec du BRF et des feuilles d'oliviers	136
Figure 7 : Application de paillis dans les cuvettes de plantation	136
Figure 8: Application de paillage dans le jardin de l'Atlas Kasbah, Agadir, Maroc	137
Figure 9 : Formation agriculteurs : paillage BRF + Paille, les jardins agroécologiques du douar El Hamri	137
22. Techniques de labour et de travail du sol	138
Figure 1 : Labour sur sol sablo-limoneux	138
Figure 2 : Labour à la traction animale à gauche et mécanique à droite	139
Figure 3 : Préparation d'une parcelle à l'aide d'un billonneur, village de Dayet Ifrah, Maroc	139

23. Terrasses	141
Figure 1 : Cultures en terrasses	141
Figure 2 : Profil des différents types de terrasses	141
Figure 3 : Plantation sur terrasses au village Ouahliba, Maroc	142
Figure 4 : Plantation sur terrasses pour réduire l'érosion et le ruissellement de surface, Maroc	143
Figure 5 : Plantation sur terrasses au village Ouahliba, Maroc	143
24. Irrigation par jarre	144
Figure 1 : Jarre d'irrigation	144
Figure 2 : Jarres d'irrigation de différentes tailles	144
Figure 3 : Schéma comparatif d'arrosage par jarre avec l'arrosage de surface	145
Figure 4 : Modèle de jarre	146
Figure 5 : Mise en place de la jarre	146
Figure 6 : Méthode de la ficelle pour rapprocher l'eau dans la jarre vers les racines	146
Figure 7 : Jarres dans un jardin potager (France)	147
Figure 8 : Arbre fruitier planté avec une jarre au douar El Hamri	147
Figure 9 : Jarre mise en place dans une spirale de plantes aromatiques	147
Figure 10 : Jarre mise en place dans une spirale de plantes aromatiques	148
Figure 11 : zone d'humidité autour des jarres	148
25. Bois Raméal Fragmenté (BRF)	149
Figure 1 : Culture sur BRF	149
Figure 2 : Mycélium	149
Figure 3 : Rameaux d'olivier apportés pour être broyés	150
Figure 4 : Production du BRF avec un broyeur semi-professionnel	150
Figure 5 : Epanchage du BRF de rameaux d'oliviers	150
Figure 6 : Plantations sur BRF au douar El Hamri	151
Figure 7 : Cultures sur BRF au douar El Hamri	151
Figure 8 : BRF épandu autour d'un jeune olivier (France)	151
Figure 9 : Formation BRF des femmes du douar El Hamri par Jacky Dupéty	153
26. Tabia	154
Figure 1 : Tabia, Tunisie	154
Figure 2 : Tabia avec captage supplémentaire d'eau de crue	154
Figure 3 : Bassin versant du lac collinaire d'El Gouazine, Tunisie	155
Figure 4 : Tabia avec plantation de vergers, Tunisie	156
27. Jessour	157
Figure 1 : Aménagement de Jessour dans un bassin versant, Tunisie	157
Figure 2 : Aménagement de Jessour dans un bassin versant, Tunisie	157
Figure 3 : Variation des déversoirs d'un Jesser à l'autre	158
Figure 4 : Tabia d'un Jesser, Sud Tunisien	159
Figure 5 : Agriculture pluviale avec Jessour, Tunisie	159
Figure 6 : Jessour dans la province de Tataouine, Tunisie	159
28. Seuil d'infiltration	160
Figure 1 : Seuil d'infiltration réalisé au niveau de l'oued Ghmat, bassin du Tensift, Maroc	160
Figure 2 : Coupe type d'un seuil d'infiltration	160
Figure 3 : Coupe transversale du seuil réalisé au niveau de l'oued Ghmat bassin du Tensift, Maroc	161
Figure 4 : Construction du seuil d'infiltration au village de Tidrhest	161
Figure 5 : Construction du mur du barrage	161
Figure 6 : Fiche de présentation du projet captage de l'eau - renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate au village de Tidrhest	162
Figure 7 : Seuil d'infiltration construit au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	162
Figure 8 : Coupe type de seuil d'infiltration construit au village de tidrhest	162
29. Seuil d'épandage des eaux de crues	164
Figure 1 : Seuil d'épandage des eaux de crues, Burkina Faso	164
Figure 2 : Différentes parties d'un seuil d'épandage des eaux de crues	164
Figure 3 : Déversoir d'un seuil d'épandage suivi du bassin de dissipation, Tchad	165
Figure 4 : Fonctionnement d'un seuil d'épandage des eaux de crues	165
Figure 5 : Seuil d'épandage : pendant la saison des pluies la crête sert de passage à la population en temps de crue	165
Figure 6 : Exemple de configuration (mesures en cm) d'un seuil d'épandage dans une vallée	165
Figure 7 : Seuil d'épandage des eaux de crues à Kalfou dans la région de Tahoua, Niger	166
Figure 8 : Seuil d'épandage des eaux de crues dans la vallée de Bagaye, Niger	166
30. Lacs collinaires	167
Figure 1 : Lac collinaire, Maroc	167
Figure 2 : Lac collinaire dans la région nord Marocain installé pour contrer le problème d'envasement d'un barrage en aval	168

31. Matfia	170
Figure 1 : Matfia collective, Douar El Hamri, Maroc	170
Figure 2 : Composantes d'un système de matfia	170
Figure 3 : Composantes d'une matfia	171
Figure 4 : Matfia construite dans le Douar Laghoualem Foukani, Maroc	172
Figure 5 : Matfia construite au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	172
Figure 6 : Vue longitudinale de la Matfia construite au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	172
Figure 7 : Vue transversale de la Matfia construite au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	172
32. Khettara	174
Figure 1 : Galerie souterraine reliant les puits d'une Khettara à côté de Isfahan - Iran	174
Figure 2 : Carte des pays contenant des khettaras	174
Figure 3 : Schéma d'une khettara	175
Figure 4 : Têtes des puits des khettaras (Alignement des puits de visite d'un qanat près d'Arfoud, Maroc)	175
Figure 5 : Réseau de séguia	175
Figure 7 : Curage d'une khettara dans la région du Tafilalt	177
Figure 8 : Réhabilitation des puits d'une khettara, Gelmima	177
Figure 9 : Schéma d'une Khettara dénoyée	177
Figure 10 : Khettara (Foggara) en Algérie, munie de peignes (Kesria)	177
Figure 11 : Bassin d'accumulation des eaux de la khettara de d'Agadir Lehna dans la région de Tata	178
33. Barrages souterrains	179
Figure 1 : Schéma d'un barrage souterrain	179
Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un barrage souterrain	179
Figure 3 : Plan du projet de construction de barrage souterrain à Taghbalt, Province de Zagora, Maroc	181
Figure 4 : Retenue d'eau en amont du seuil construit en aval du barrage souterrain à Taghbalt, Province de Zagora, Maroc	181
34. Collecte des eaux de brouillard	182
Figure 1: Trois unités de collecte de brouillard CloudFisher® de Aqualonis sur le Jbel Boutmezguida	182
Figure 2 : Les sept types de brouillard	182
Figure 3 : Quatre unités de collecte de brouillard Standard Fog	183
Figure 4 : Détail d'un filet Cloudfisher®	183
Figure 5 : Schéma de mise en place d'une unité de collecte CloudFisher Pro®	184
Figure 6 : Schéma de mise en place d'une unité de collecte SFC	184
Figure 7 : Carte d'implantation des filets CloudFisher® mis en place par l'association Dar Si Hmad sur le Jbel Boutmezguida	184
35. Seguia	186
Figure 1 : Seguia pour irrigation et distribution d'eau	186
Figure 2 : Départ d'une séguia à partir d'un bassin, régulé par une vanne manuelle	186
Figure 3 : Départ d'une séguia à partir d'un bassin, régulé par une vanne manuel, F5ZV, Rissani	187
Figure 4 : Séguia pour distribution d'eau d'irrigation	187
Figure 5 : Tanaste, horloge traditionnelle pour calculer le tour d'eau, Musées galerie d'art, Lalla Mimouna	187
Figure 6 : Barrière pour divination d'eau ver la séguia	188
Figure 7 : Séguia envahie par des plantes	188
Figure 8 : Réseau de seguias traditionnelles qui prennent source de la rivière de N'fis	188
Figure 9 : Réhabilitation de la Séguia du village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	189
Figure 10 : Schéma de l'entrée de Séguia du village de Tidrhest après digue déversante, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	189
Figure 11 : Schéma de Seguia/aqueduc suspendu du village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013	189

Aménagement des bassins versants

36. Reboisement	192
Figure 1 : Plantation de pin d'Alep en zone montagneuse, Maroc	192
Figure 2 : Boisement appliqué aux demi-lunes	193
Figure 3 : Plantation de thuya de Berbérie, Maroc	193
37. Haies antiérosives	195
Figure 1 : Haie antiérosive en bordures d'un champ	195
Figure 2 : Localisations pertinentes des haies et des fascines pour réduire l'érosion des sols	195
Figure 3 : Plant taillé et poser dans le trou de plantation	196
Figure 4 : Maillage de haies antiérosives, Pays de Herve, Belgique	197
Figure 5 : Haie en cactus, région de Marrakech, Maroc	197
Figure 6 : Plantation de haies pour délimiter les parcelles de pâturage	197

38. Haies vives	198
Figure 1 : Haies vives suivant les courbes de niveau, Masama, Burundi	198
Figure 2 : Schéma de fonctionnement des haies vives	198
Figure 3 : Disposition des haies en une ligne	199
Figure 4 : Disposition en quinconce des haies sur 2 lignes	199
Figure 5 : Plantation de haies vives de cactus pour stabiliser les sols, Maroc	200
Figure 6 : Plantation de haies vives de cactus pour stabiliser les sols, Maroc	200
39. Bandes enherbées	201
Figure 1 : Bande enherbée en bordure aval d'un champ	201
Figure 2 : Localisations pertinentes des BE	201
Figure 3 : Principe de fonctionnement des bandes enherbées	201
Figure 4 : Bande enherbée de 6m de large entre la culture et un fossé	203
40. Fascines	204
Figure 1 : Fascine	204
Figure 2 : Localisations pertinentes des haies et des fascines pour réduire l'érosion des sols	204
Figure 3 : Fascine morte	205
Figure 4 : Fascine vivante	205
Figure 5 : Fascines morte à gauche et vivante à droite après 10 ans	205
Figure 6 : Disposition des pieux	206
Figure 7 : Dépôt du premier fagot	206
Figure 8 : Garnissage de la fascine par des fagots	206
Figure 9 : Accumulation de sédiments en amont d'une fascine, France	206
Figure 10 : Fascine pour limiter les coulées boueuses vers l'égout, France	206
41. Forêt riveraine ou ripisylve	208
Figure 1 : Végétation ripisylve	208
Figure 2 : Impact de la couverture végétale sur le ruissellement	208
Figure 3 : Végétation ripisylve au bord de l'Oued Lakhdar, Maroc	210
42. Jardin agroécologique	211
Figure 1 : Jardin Agroécologique du centre de l'Association France et Maroc au Cœur au niveau de douar ElHamri-Mzouda - Marrakech	211
Figure 2 : Exemple d'une culture sur butte-sandwich	212
Figure 3 : Construction d'un jardin en trou de serrure	212
Figure 4 : Potager spirale de PAM douar El Hamri	212
Figure 5 : Jardin familial de Tamatoust au niveau de douar El Hamri	213
43. Diguettes filtrantes	215
Figure 1 : Diguette filtrante	215
Figure 2 : Schéma d'une diguette filtrante	215
Figure 3 : Espacement entre les diguettes	216
44. Mur de soutènement en pierres	218
Figure 1 : Mur de soutènement en pierres sèches au bassin versant Allal El Fassi région de Sefrou	218
Figure 2 : Mur en pierres sèches en opus assisé (a) et en opus incertum (b)	218
Figure 3 : Ecoulement des eaux de ruissellement à travers un mur en pierres sèches	219
Figure 4 : Couronnement à plat à gauche et en clavade à droite	219
Figure 5 : Différentes parties d'un mur de soutènement en pierres	219
Figure 6 : Construction d'un mur en pierres sèches	220
Figure 7 : Murs de soutènement en pierres, Tiznit Tichka, Maroc	220
45. Seuil en Gabions	221
Figure 1 : Seuil en gabions construit, Ourika, Maroc	221
Figure 2 : Succession de seuils	221
Figure 3 : Succession de seuils en gabion à la vallée d'Ourika	222
Figure 4 : Exemple de cage métallique de gabion	222
Figure 5 : Série de seuils en gabions, région d'El Kbab - Maroc	223
Figure 6 : Seuils en gabions végétalisés, bassin versant de l'Ourika - Maroc	223
46. Mur de soutènement en gabions	225
Figure 1 : Mur de soutènement en gabions protégeant la route du talus	225
Figure 2 : Gabions à double torsion à gauche et électro-soudés à droite	225
Figure 3 : Assemblage des gabions montrant les agrafes à gauche, et les tirants à droite	226
Figure 4 : Construction en cours d'un mur de soutènement en gabions	226
Figure 5 : Mur de soutènement en gabions protégeant les exploitations agricoles et constructions en amont, Ait Idir, Maroc	227

Liste des tableaux

De la partie introductive

Tableau 1 : Coûts d'investissement en CEP en milieu rural	31
Tableau 2 : Aménagements et leurs impacts	50

Des fiches techniques

Milieu Urbain

01. Toiture verte / végétalisée	62
Tableau 1 : Comparaison entre le toit extensif et le toit intensif	63
Tableau 2 : Matériaux utilisés pour la construction d'un toit vert plat	64
02. Mur vert / végétalisé	66
Tableau 1 : Caractéristiques du mur végétal « Patrick Blanc »	67
Tableau 2 : Matériaux de construction d'un mur végétal « Patrick Blanc »	67
03. Collecte d'eau de toiture	70
Tableau 1 : Matériaux utilisés dans la construction d'un système de captage d'eau de toiture	72
04. Pavé drainant et chaussée réservoir	74
Tableau 1 : Catégories de trafic	75
Tableau 2 : Matériau et épaisseur de la fondation en fonction du trafic	75
Tableau 3 : Matériaux utilisés pour construire un pavage drainant	76
Tableau 4 : Prix des pavés drainants	76
05. Structures alvéolaires ultra légères (SAUL)	78
Tableau 1 : Schémas de principe des différentes classes de SAUL	78
Tableau 2 : Propriétés du Nidaplast H2OEP et Géolight 400	79
Tableau 3 : Schémas d'utilisation des SAUL en évacuation des eaux pluviales	79
Tableau 4 : Dispositifs des différents types de prétraitements	80
Tableau 5 : Matériaux pour la réalisation d'une SAUL avec entrée par infiltration	80
07. Fosses et Noues	85
Tableau 1 : Variantes de section des ouvrages	85
08. Tranchée d'infiltration	89
Tableau 1 : Fonctionnement des tranchées	89
Tableau 2 : Dimensions classiques d'une tranchée	90
09. Puits d'infiltration	92
Tableau 1 : Types d'alimentation des puits	93
11. Ouvrages de stockage d'orage	99
Tableau 1 : Matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages de stockage d'orage	100

Milieu Rural

13. Collecte de l'eau de toiture	108
Tableau 1 : Matériaux utilisés dans la construction d'un système de CEP	110
15. Demi-lunes	115
Tableau 1 : Dimension des demi-lunes en fonction de la pluviométrie	115
Tableau 2 : Exemples de configurations types «a» et «b» des demi-Lunes	115
Tableau 3 : Quantité requise de déblais pour les demi-lunes	116
Tableau 4 : Coût de réalisation des demi-lunes	116
16. Système Vallerani (VS)	118
Tableau 1 : Dimensions moyennes des valleranis	119
Tableau 2 : Ecart et densité moyenne des valleranis en fonction de la pente	119
Tableau 3 : Coût de la charrue Delphino	119

17. Negarim	121
Tableau 1 : Hauteur (en cm) des diguettes en fonction de la pente et de la taille du negarim	122
Tableau 2 : Volume du puits d'infiltration en fonction de la superficie du negarim	122
Tableau 3 : Quantité de déblais et taille du puits d'infiltration en fonction des dimensions du negarim pour une pente de 2%	122
18. Billonnage	125
Tableau 1 : Longueurs maximums des sillons en fonction de la pente, du type du sol, du débit et de la dose d'arrosage	126
19. Banquettes	128
Tableau 1 : Quantité de déblais nécessaire pour réaliser des banquettes	129
20. Cordons pierreux	131
Tableau 1 : Quantité de déblais nécessaire pour réaliser des banquettes	131
Tableau 2 : Quantité moyenne de pierres nécessaire et coût de réalisation des cordons pierreux	132
21. Paillage	134
Tableau 1 : Types et épaisseur de paillis en fonction du type de culture	135
23. Terrasses	141
Tableau 1 : Outils de labours selon les types de labour	142
26. Tabia	154
Tableau 1 : Coûts de réalisation et d'entretien des tabias	155
27. Jessour	157
Tableau 1 : Liste des matériaux pour la réalisation des jessour	158
33. Barrages souterrains	179
Tableau 1 : Différents types de barrages souterrains	179
35. Seguia	186
Tableau 1 : Les seguias de la rive gauche du N'Fis	188

Aménagement des bassins versants

36. Reboisement	192
Tableau 1 : Caractéristiques écologiques de certaines espèces forestières	192
Tableau 2 : Répartition des espèces forestières suivant l'altitude au Maroc	193
38. Haies vives	198
Tableau 1 : Espacement entre les lignes de haies vives en fonction de la pente	198
Tableau 2 : Distances de plantation des haies en fonction de la densité voulue	199
Tableau 3 : Éléments de coûts de réalisation des haies vives	199
39. Bandes enherbées	201
Tableau 1 : Coûts de réalisation et d'entretien des BE	202
41. Forêt riveraine ou ripisylve	208
Tableau 1 : Etages bioclimatiques et forêt au Maroc (hors aride et saharien)	209
42. Jardin agroécologique	211
Tableau 1 : Coûts de préparation, réalisation et entretien de Jardin Agro écologique de 200m ² , sans céréales et pour une famille de 4 personnes	213
43. Diguettes filtrantes	215
Tableau 1 : Exemple de quantité de pierres requise pour construire des diguettes filtrantes de configuration 0,7 m de haut, 2,8 m de large et 100 m de long	216
45. Seuil en Gabions	221
Tableau 1 : Hauteur du seuil en fonction du type de ravin	222
46. Mur de soutènement en gabions	225
Tableau 1 : Éléments de coûts de réalisation des murs de soutènement en gabions	226

1

Introduction



Le Maroc, pays à climat essentiellement semi-aride à aride dans une grande partie de son territoire, et recevant des précipitations moyennes annuelles allant de moins de 100 mm au sud à plus de 800 mm dans le rif, reste confronté au problème du développement et de la gestion durable de ses ressources en eau.

Bien que, disposant d'importantes chaînes de montagnes et d'une géographie physique diversifiée, le Maroc vit une raréfaction progressive des ressources en eau accentuée par le changement climatique, la surexploitation des eaux souterraines, et une forte demande qui résulte de la croissance démographique, de l'amélioration des conditions de vie, du développement des différentes industries, et de l'extension de l'irrigation.

Conscient de l'importance et de la nécessité d'agir en réaction à cette situation de déficit hydrique, le Maroc a élaboré en 2009, la Stratégie Nationale de l'Eau qui a été actualisée dans le cadre du Plan National de l'Eau. Ce Plan a retenu la collecte des eaux pluviales parmi les principaux axes de gestion et de développement de l'offre. Ces pratiques ont l'avantage de contribuer à réduire la pression sur l'eau conventionnelle (barrages, nappes phréatiques...), et de permettre la mobilisation de nouvelles ressources contribuant au développement socio-économique du milieu rural.

Le Maroc dispose déjà de techniques et pratiques traditionnelles de gestion conservatrice des eaux et des sols en milieu rural. Ces techniques, fréquemment mise en œuvre dans les régions de montagne ou à climat semi-aride et aride, témoignent d'un réel savoir-faire ancestrale en matière de mobilisation et de conservation des ressources (Khetaras dans le sud, Séguia, terrasses, cuvettes, Matfias privées ou collectives sur l'ensemble du territoire...), et méritent d'être diffusées à très grande échelle. D'autres techniques de gestion des eaux pluviales, en milieu rural ont été développées ailleurs dans le monde, dans des contextes climatiques similaires. Celles-ci méritent également d'être documentées, et diffusées.

Pour ce qui est des espaces urbains, la collecte des eaux pluviales ne semble pas encore recevoir, au Maroc, l'attention qu'elle mérite. De nombreuses expériences existent néanmoins dans le monde. La collecte des eaux pluviales à des fins domestiques voire industrielles est très répandue dans des pays comme la Belgique, l'Allemagne et la Suède. Dans ces pays, des mesures législatives nationales cadrent les conditions de mise en œuvre des installations de captage des eaux pluviales, et des mesures incitatives encouragent leur développement.

Aujourd'hui, devant la raréfaction des ressources en eau, il est urgent que les acteurs publics et privés concernés se mobilisent d'avantage et intègrent la CEP dans leurs stratégies et projets. Ces derniers devront impliquer la société civile et les citoyens, dans leurs efforts de sensibilisation et de mise en œuvre de projets de collecte et de valorisation des eaux pluviales.

Le présent catalogue a été élaboré dans le cadre du programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau « AGIRE », avec le concours de tous les partenaires sectoriels. Il constitue une compilation de plusieurs techniques de collecte et de valorisation des eaux pluviales, ces techniques sont adaptées soit au milieu rural, au milieu urbain, ou encore à l'aménagement des bassins versants.

Le catalogue vise en premier lieu à vulgariser et à inciter les particuliers et les organismes (publics et privés) à s'approprier et diffuser à grande échelle les techniques de collecte et de valorisation des eaux pluviales, et ainsi contribuer à la gestion rationnelle et durable des ressources naturelles.

Dans un second lieu, ce catalogue, à travers ses fiches techniques, a pour objectif de mettre à la disposition des planificateurs, ingénieurs, bureau d'études, architectes, urbanistes..., des outils d'aide à la sélection, la conception et à la réalisation des systèmes de collecte des eaux pluviales, et ce dans les conditions techniques adéquates.

Enfin, ce catalogue a aussi comme objectifs de :

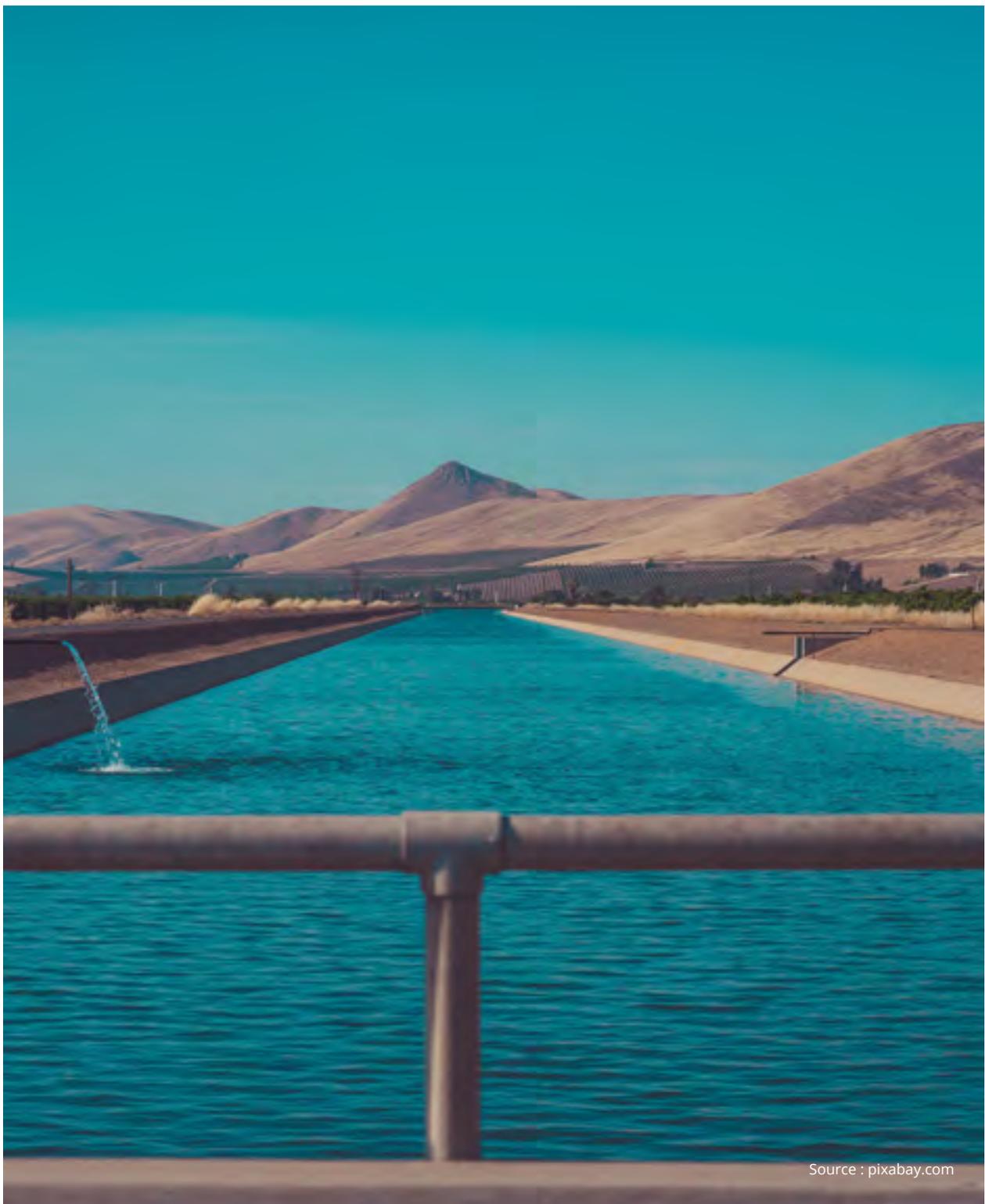
- Constituer un référentiel en matière de CEP au Maroc ;
- Fournir les descriptions techniques pour la réalisation des ouvrages de CEP au Maroc, mais aussi dans les zones arides et semi-arides des autres pays, particulièrement en Afrique du Nord ;
- Valoriser les pratiques ancestrales de CEP ;
- Vulgariser des techniques innovantes de CEP ;
- Améliorer les connaissances des professionnels en CEP ;
- Offrir un outil d'aide à la décision pour les futurs projets de CEP, et étendre le champ d'application du logiciel STORM (outil de simulation et de dimensionnement basé sur un modèle hydrologique du cycle de l'eau pour les captages urbains et ruraux).

L'élaboration du catalogue a nécessité plusieurs étapes de travail, notamment :

- Recherche documentaire ;
- Etablissement d'un inventaire des différentes bonnes pratiques ;

- Validation de la bibliographie et de l'inventaire ;
- Documentation des pratiques sélectionnées ;
- Elaboration de la fiche type appropriée ;
- Elaboration d'une fiche technique pour chaque bonne pratique ;
- Concertation et validation du catalogue.

Dans un souci d'introduire progressivement le lecteur aux bonnes pratiques de collecte et valorisation des eaux pluviales, et de lui permettre de comprendre l'importance et la place à réserver à chacune des techniques documentées et proposées, le chapitre 2 du catalogue adresse la collecte des eaux pluviales et en présente un benchmark international. Par la suite, le chapitre 3 retrace l'évolution du secteur de l'eau au Maroc en présentant un aperçu de l'histoire de la collecte des eaux pluviales au Maroc. Le lecteur y sera familiarisé avec les techniques traditionnelles d'aménagement réservées à l'eau, les stratégies nationales actuelles portant sur le secteur eau, ainsi que la perspective et le rôle de la CEP dans le contexte marocain. C'est après cela que le lecteur découvre, au chapitre 4, les fiches techniques relatant chacune d'une bonne pratique à mettre en œuvre soit en milieu urbain, soit en milieu rural, ou encore dans les aménagements des bassins versants. A la fin du catalogue, les références bibliographiques ayant servi à son élaboration sont présentées.



2

La Collecte et la valorisation des Eaux Pluviales (CEP)

Historique

Définitions et précisions

Considérations pour un projet de CEP

Benchmarking international



2.1 Historique

A l'échelle de l'humanité, les bonnes pratiques de collecte et de valorisation des eaux pluviales ancestrales s'exerçaient dans les grands bassins des fleuves Yangtze en Chine, Indus en Inde/Pakistan et Nile en Egypte/Soudan qui ont été peuplés, et que leurs sols alluviaux fertiles ont été utilisés pour la production agricole. Partout, dans les zones où les précipitations n'étaient pas suffisantes pour la période de croissance des plantes, les plaines inondables ont été utilisées pour l'exploitation agricole par des nomades devenus sédentaires. Les cultures étaient installées après le passage des crues, puis étaient irriguées par inondations plus ou moins récurrentes pendant la saison des pluies.

Cependant, la mise en place de grands empires dans ces vallées et l'extension du pouvoir à l'arrière-pays proche, a contraint les semi-nomades et les minorités à s'installer dans des endroits moins favorables. Le seul moyen qui restait alors à la portée, pour survivre dans ces zones difficiles caractérisées par un déficit hydrique manifeste, consistait en la collecte de l'eau (CE), que ce soit par le biais de la construction de citernes pour l'approvisionnement en eau potable, ou celle de canaux dérivés sur des petits cours d'eau pour irriguer leurs champs.

Les plus anciens vestiges, âgés d'environ 5.000 ans, sont des systèmes d'irrigation par des eaux de ruissellement à Jawa/Jordanie (Helms, 1973). Dans presque toutes les grandes zones semi-arides, à l'exception de l'Afrique subsaharienne, on a toujours rencontré durant les 100 dernières années des systèmes d'irrigation à partir des eaux de ruissellement lorsque trois conditions étaient remplies :

- Des intensités de précipitations élevées, insuffisante pour la période de croissance des cultures, et/ou se produisant avec une grande variabilité temporelle ;
- Des sols caractérisés par une haute capacité de stockage de l'eau disponible aux cultures ;
- Un terrain vallonné caractérisé par une superficie plane ou légèrement pentue.

De nombreux sites et fouilles viennent démontrer cela, à titre d'exemple on retient Marib et Hadramaout au Yémen, l'Asir en Arabie Saoudite, de nombreux endroits (Avdat, Shivta, Wadi Madash) dans le Sinaï, en Tunisie, en Algérie, en Chine, en Inde, dans le sud-ouest des États-Unis, et dans les montagnes centrales du Mexique. Le Maroc détient également une très longue histoire en matière d'irrigation à partir des eaux de ruissellement. Cette histoire s'est développée, sous l'influence des différentes dynasties et interpénétrations culturelles et techniques qui se sont succédées dans cette partie du monde (voir chap. 3.3).

La collecte de l'eau de pluie à des fins d'utilisations diverses est une technique qui n'est pas nouvelle. Des traces de cette pratique remontant à plusieurs milliers d'années ont été retrouvées en différents endroits du globe notamment en Inde 3 000 ans avant J-C. et au Moyen-Orient 2 000 ans avant J-C. (Agawal et Narain, 1997 ; Shata, 1982). En région méditerranéenne, on trouve des traces en Sardaigne 600 ans avant J-C. (Crasta et al., 1982), et de nombreuses villas romaines sont connues pour avoir utilisé l'eau de pluie comme source principale d'eau potable et à des fins domestiques (Kovacs, 1979).

Selon la revue de littérature réalisée par Richard Roebuck, il y a des preuves de l'utilisation passée de l'eau de pluie dans de nombreuses régions du monde : en Afrique du Nord dont le Maroc, en Turquie, en Asie du Sud-Est, au Japon, en Chine, en Inde et au Pakistan, en Europe de l'Ouest, en Amérique du Nord et en Amérique du Sud, en Australie et dans le Pacifique Sud (Roebuck, 2007).

Dans les pays développés, à partir du 19^{ème} siècle, le développement puis la généralisation des réseaux d'adduction d'eau potable ont largement contribué au recul de cette pratique en milieu urbain, voire à son éradication : la RUEP (récupération et utilisation des eaux pluviales) s'est retrouvée de facto reléguée aux zones rurales et aux zones péri - urbaines non desservies par le réseau et dépourvues d'autres ressources.

Dans les pays en développement où les services en réseau n'ont pas connu une telle universalisation, leur extension n'a pas accompagné le rythme de l'urbanisation. Ainsi, cette pratique est apparue comme une solution palliant l'absence du mode de desserte de référence : le réseau public centralisé. Toutefois, depuis déjà plusieurs années, l'utilisation de l'eau de pluie connaît un regain d'intérêt notable : elle réapparaît en milieu urbain dans des pays où elle avait disparu et fait l'objet d'une nouvelle dynamique dans les zones où elle avait persisté.

Le concept du « tout à l'égout » a été développé il y a plus de 150 ans, avec pour principe « d'évacuer le plus loin et le plus vite possible les eaux de toute nature » des villes, limitant ainsi les problèmes sanitaires et d'inondations. Les villes se sont donc peu à peu équipées d'un réseau unitaire, collectant à la fois les eaux usées et les eaux pluviales. Par ailleurs, l'urbanisation croissante de l'après-guerre a multiplié les surfaces imperméables pour tout renvoyer dans les réseaux.

Les conséquences ont été très néfastes :

- Le cycle naturel de l'eau est perturbé car les eaux pluviales ne réalimentent plus les nappes souterraines ;
- Les inondations sont de plus en plus fréquentes et importantes car les réseaux ne peuvent pas s'adapter à cette imperméabilisation croissante ;
- Les milieux naturels sont dégradés par la concentration de la pollution en quelques points de rejet et les débordements des réseaux vers les milieux sans traitement préalable ;
- La construction d'ouvrages traditionnels d'assainissement et leur gestion nécessitent un budget de plus en plus conséquent.

Aussi, les événements récents d'inondations et de pollutions ont mis en évidence le caractère inadapté des réponses purement techniques aux questions de la gestion de l'eau en milieu urbain. Les villes se sont alors orientées vers le développement d'une gestion intégrée de l'eau. Cette dernière consiste notamment à prendre en compte les eaux pluviales dans l'aménagement urbain (limiter les surfaces imperméabilisées,..) et à les traiter via les techniques dites alternatives. Ce principe de collecte des eaux pluviales présente de nombreux enjeux, tant sur l'aspect environnemental, financier que paysager.

2.2 Définitions et précisions

Il est indispensable d'unifier la compréhension des termes, afin d'éviter les confusions et les interprétations notamment :

Collecte des eaux (CE) : la collecte des eaux pluviales se limite aux opérations de récupération et de concentration des eaux pluviales (les eaux de ruissellement ou de crues).

Collecte et valorisation des eaux pluviales (CEP) : La collecte et valorisation des eaux pluviales (CEP) comprend toutes les étapes nécessaires pour rendre les eaux pluviales (les eaux de ruissellement ou de crues) disponibles à la consommation domestique, à l'élevage, et à la production agricole (irrigation des cultures, des pâturages, et des vergers). Elle comprend de facto l'étape de collecte des eaux pluviales (CEP), c'est-à-dire la récupération et la concentration des eaux pluviales (les eaux de ruissellement, ou de crue).

Au sens de la GIRE (Gestion intégrée des Ressources en Eau), la CEP permet également d'assurer la durabilité des écosystèmes concernés, par exemple, en assurant la recharge des eaux souterraines. La figure 1 représente un schéma illustrant le principe de la collecte et valorisation des eaux pluviales. On peut y voir clairement que la CEP se compose généralement de quatre éléments :

1. Une **zone de captage/zone de collecte** qui produit des eaux de ruissellement du fait d'une surface imperméable ou d'une faible infiltration.
2. Un **système d'adduction/système d'acheminement** par lequel les eaux de ruissellement sont dirigées grâce à des diguettes, des fossés, des canaux (ce n'est néanmoins pas toujours nécessaire).
3. Un **système de stockage** où l'eau est accumulée et devient prête à être utilisée dans le sol, dans des fossés, des mares, des réservoirs ou petits barrages (on peut toutefois laisser l'eau s'infiltrer directement dans le sol).
4. Une **zone d'application** où l'eau collectée est utilisée.

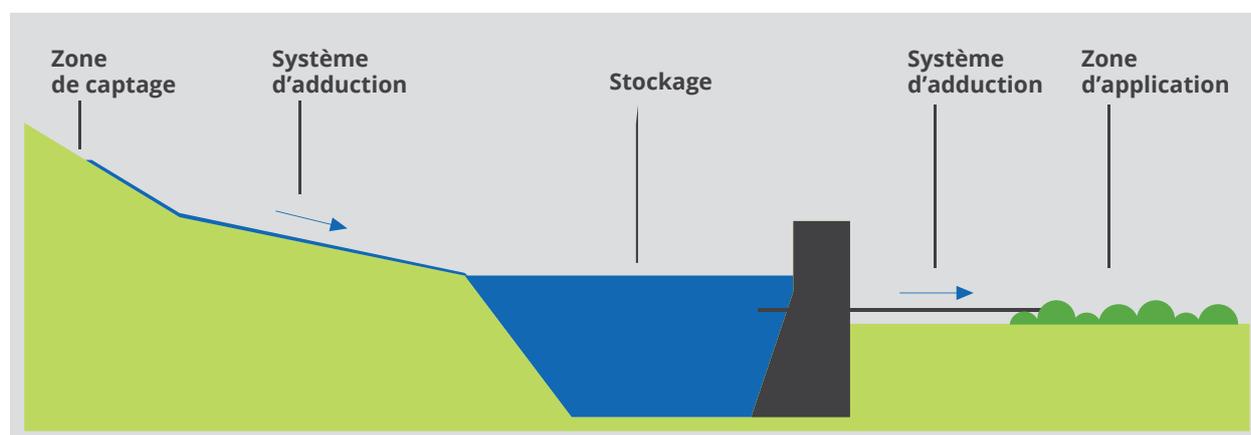


Figure 1 : Schéma du principe de la collecte et valorisation des eaux pluviales (Source : GIZ)

Méthodes de CEP

Il existe quatre méthodes différentes pour s'assurer d'une bonne CEP, une première à utiliser aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain concerne les espaces imperméabilisés, puis trois autres qui concernent le milieu rural :

1. La première méthode permet de récupérer l'eau sur une surface plus ou moins imperméable (figure 2) et bien déterminée (un toit, une cour, une chaussée, un jardin...).

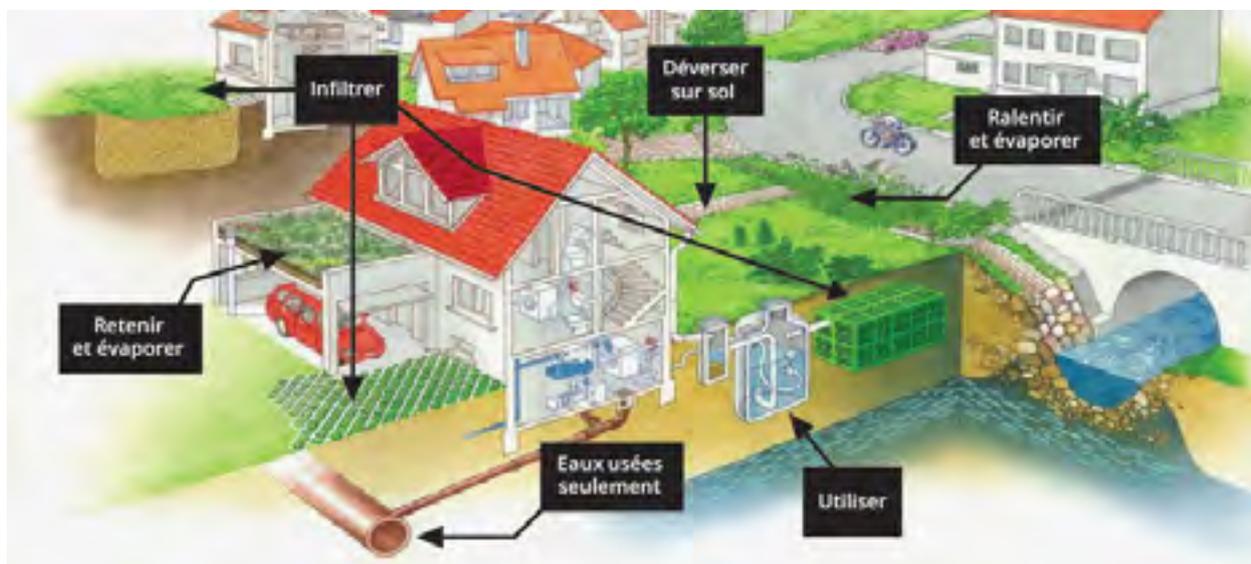


Figure 2 : Exemples d'aménagement en milieu urbain pour la collecte et valorisation des eaux pluviales (Source : Traitement naturel de l'eau de pluie - évaporation et infiltration au lieu de rejet - Office national de l'environnement de la Bavière)

2. La deuxième méthode (le micro-captage), vise à récupérer le ruissellement à petite échelle par la concentration de l'eau collectée sur une surface bien limitée (impluvium). L'eau est généralement dirigée et stockée dans la zone racinaire des cultures en place.
3. La troisième méthode (le macro-captage), récupère l'eau et la collecte à grand échelle dans un bassin versant, celle-ci est ensuite dirigée aux champs cultivés, ou stockée entretemps dans un réservoir dédié.
4. La quatrième méthode opère par déviation des eaux pluviales qui s'écoulent dans un cours d'eau naturel. Des canaux de prises d'eau latérales sont placés, le long du cours d'eau, vers les champs cultivés.

En principe, les quatre méthodes peuvent envisager le stockage de l'eau, soit dans un bassin ou un réservoir, soit simplement dans le sol ou dans un aquifère. On peut aussi combiner, les méthodes de CEP adaptées au milieu rural, au niveau d'un bassin versant dans le but de protéger les ressources naturelles, particulièrement les ressources en eau, mais aussi les sols. À condition qu'il y ait une pluviométrie suffisante et des sols favorables, la CEP apporte des bénéfices non négligeables aux régions semi-arides caractérisées par une pénurie d'eau.

Coûts des aménagements en CEP

En matière de CEP, les données relatives aux coûts d'investissement, de fonctionnement et d'entretien des systèmes, sont rares et assez disparates, puisque les systèmes sont très différents et toujours adaptés à des situations locales particulières. Peu de données sont publiées après qu'un système de CEP ait été installé ou réhabilité. Ces données indiquent que le taux de rendement économique d'un investissement dans une CEP est parmi les plus bas entre tous les systèmes fournissant de l'eau aux exploitations agricoles, le taux dépasse rarement 10% (ce qui ne récompense souvent pas les coûts d'opportunité du capital). De plus, ce taux prend déjà en compte des bénéfices complémentaires, tels que ceux résultant d'une amélioration d'inputs agricoles, des ouvrages pour la protection contre les crues, et d'une protection de l'environnement.

Le Tableau 1 ci-après, présente les coûts d'investissement par hectare, pour divers projets de CEP de part le monde incluant certains réalisés au Maroc. Les coûts ne sont donnés qu'à titre indicatif, puisque évidemment la valeur monétaire a diminué durant les vingt dernières années.

Région	Coûts (MAD*/ha)	Description
Constructions traditionnelles (sans ouvrages de dérivation)		
Gathelay, Erythrée	400	Diguettes, structures en gabions (2002)
KarkhiBund, Pakistan	560	Diguettes construites par buteuse, 20 ha (1993)
Wadi Labka, Erythrée	880	Barrages en gabions pour inonder les canaux
Grasha, Erythrée	980	Diguette et canal d'acheminement
Iran	1600	Irrigation par épandage des eaux de crue
Construction de petits ouvrages de dérivation		
Mochiwal, Pakistan	8	Structure tranchant le cours à un point important
Alebu, Erythrée	1450	Digue de déviation et vanne glissante
Bultubayay, Erythrée	3350	Digue de déviation, vanne glissante et canal d'inondation
Restauration		
DameersHadram., Yemen	720-1200	Petits systèmes
Wadi Zabid/Tuban, Yemen	1200-2400	Grandssystèmes
SidiBouzi, Tunisie	2020	Petits systèmes
Oum Aghanim, Morocco	4960	Digue de déviation, canal et structures de distribution
Afra, Morocco	7160	Digue de déviation, diguette de protection et digue de déviation, diguette de protection et structures de distribution
Construction de grands ouvrages de dérivation		
Marufzai, Pakistan	10800	
Wadi Laba, Erythrée	11400	Digue de déviation, fuse et aqueduc- siphon (2000)
Barag , Pakistan	11800	
SidiBouzi, Tunisie	11800-20000	Digue de déviation, canal et fuse(2000)
Mai Ule, Erythrée	19400	Digue de déviation, fuse et constructions aux rives (pas construites)

*Equivalent d'US \$

Tableau 1 : Coûts d'investissement en CEP en milieu rural (Source : Steenbergen, 2004)

Selon HR Wallingford², un grand système de CEP avec des ouvrages de dérivation (headworks) présente un coût par hectare de 11.000 à 16.000 MAD (quelques rares investissements étant encore supérieures). Cependant, il faut distinguer que le coût des ouvrages de dérivation permanents est élevé (entre 1.400 et 3.600 MAD/ha) par rapport aux ouvrages de dérivations temporaires (essentiellement des diguettes), dont le coût est plus bas (moins que 1.000 MAD/ ha).

Ces coûts doivent être mis en perspective : ceux d'un système d'irrigation gravitaire (gravity surface irrigation systems) se situent entre 16.000 et 40.000 MAD/ha, alors que les systèmes d'irrigation localisée (y compris les goutteurs (drippers), barboteurs (bubblers) et asperseurs (sprayers) se situent entre 24.000 et 48.000 MAD/ha. Compte tenu de l'incertitude à récupérer l'eau pour les exploitations agricoles (incertitude pluviométrique, donc de collecte, et donc de rendement), le coût d'investissement par hectare reste à donc relativement élevé. Les frais de fonctionnement et de maintenance des systèmes augmentent aussi les coûts, si bien que qu'il ne reste que peu d'opportunité de profit.

2.3 Considérations pour un projet de CEP

Lors de la préparation d'un projet de CEP, on réfléchit toujours dans le cadre géographique et en utilisant les unités naturelles (BV, sous-BV), et non pas les unités administratives. A ces échelles, la participation des communautés locales est nécessaire, au moins au niveau du sous-bassin. Elle permet une distribution d'eau plus efficace et plus équitable, que l'ancienne approche « du sommet à la base » (top-down approach) qui n'implique que très peu voire pas du tout les bénéficiaires.

¹A ne pas confondre : Les termes techniques « micro-captage » et « macro-captage » ne correspondent pas respectivement aux macro-BV et aux micro-BV ; les deux techniques de captage peuvent être utilisés autant avec des micro-BV, qu'avec des macro-BV.

²Improving Community Spate Irrigation, HR Wallingford (P. Lawrence & F. van Steenbergen), 2005

Par ailleurs, la réalisation d'un projet de CEP à ces échelles-là, ne peut correctement aboutir que si certaines considérations stratégiques sont prises en considération, celles-ci définissent très clairement le cadre d'intervention, et peuvent être résumées par :

- Le cadre légal ;
- Les conditions sociales ;
- Les contraintes économiques ;
- Les implications financières ;
- L'organisation institutionnelle des partenaires ;
- Les effets sur l'environnement ;
- Les alternatives techniques.
- Aussi, de nos jours, la réalisation d'un projet de CEP exige : un esprit critique lors de la lecture des guides et catalogues relatifs à ce thème, une vérification des coûts d'investissement de fonctionnement et de maintenance, ainsi que la mise en œuvre des bonnes pratiques et la capacité d'apprendre à partir des expériences et cas de succès et/ou d'échecs passés.

Enfin, les projets de CEP devront suivre quatre objectifs essentiels :

- La collecte de l'eau à des fins domestiques, l'irrigation par micro-captage, l'irrigation par les eaux de ruissellement (run-off irrigation) et l'irrigation par épandage des eaux de crue (spate irrigation) ;
- La protection de l'environnement (protection du BV et de la biodiversité) ;
- La production de l'eau potable (recharge des nappes) ;
- L'adaptation au climat.

Par référence aux aspects financiers des projets de CEP, comme tout investissement, la CEP nécessite le recours aux liquidités personnelles, ou à un prêt ou un don d'aide par un gouvernement, une institution financière, ou au moyen d'une convention d'assistance bilatérale ou multilatérale. Toute étude de projet de CEP en milieu rural ou urbain doit prendre en considération la liste non exhaustive des implications financières ci-après :

- L'investissement dans une CEP à besoin de soutien gouvernemental ;
- Si l'investissement est effectué à grande échelle, il ne convient pas au secteur privé, mais plutôt au secteur public ;
- Il est préférable que le projet soit développé et réalisé dans le cadre d'une GIRE, voire la gestion intégrée d'un bassin hydraulique ;
- Le taux de rendement étant très bas (10 à 15%), le coût d'opportunité du capital doit être au-dessous du seuil de 10% ;
- L'investissement en CEP présente un risque inhérent plus grand que toute autre investissement dans la fourniture de l'eau pour les besoins d'irrigation ;
- Le risque diminue en linéarité avec la taille du projet ;
- Au niveau de l'économie nationale, la CEP n'est pas priorisée en raison du taux de rendement faible et du risque élevé.

A ces incertitudes et risques s'ajoutent les contraintes économiques qui pèsent lourdement sur le secteur agricole, tels que les revenus variables et les problèmes de liquidité qui en découlent, et cela, qu'elles qu'en soient les raisons.

2.4 Benchmarking international

2.4.1 La CEP en milieu urbain

2.4.1.1 Expérience allemande

L'Allemagne, constitue un modèle pour la collecte et valorisation des eaux de pluie en milieu urbain, sur le plan législatif, au niveau fédéral, la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie ne fait objet d'aucun encadrement spécifique, néanmoins, elle est au cœur de politiques locales.

Le développement de la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie a été soutenu en Allemagne par :

- Les résultats encourageants, de la recherche scientifique et technique qui a notamment cadré les limites des risques associés à l'utilisation de l'eau de pluie ;

- Le secteur industriel qui a joué un rôle important en développant des technologies adaptées
- Susceptibles de préserver ou d'améliorer la qualité de l'eau ;
- La normalisation DIN avec la publication de la norme DIN 1989 « Systèmes d'utilisation des eaux pluviales » (Regenwassernutzungsanlagen) ;
- L'engagement des Länder et des municipalités qui ont mis en place des réglementations locales et des programmes de promotion, pour encourager l'utilisation de l'eau de pluie en substitution de l'eau potable et/ou pour le délestage des réseaux d'assainissement.

Les premières installations d'utilisation des eaux de pluie avec des subventions accordées par les communes datent de 1986 (30 ans déjà). Une association des professionnels du secteur y a même été créée dès 1996. Aussi, de nombreuses communes allemandes ont prescrit des installations de récupération collectives et de rétention de l'eau pluviale dans les nouveaux quartiers, et des pays comme la Belgique, le Danemark et les Pays-Bas ont repris les standards allemands. En 2006, l'Organisation des Nations Unies (ONU) indiquait qu'on trouvait en Allemagne plus de 500.000 installations de récupération d'eaux de pluies à travers le pays, et différents usages s'y sont développés : toilettes, arrosage, alimentation de machines à laver, etc.

Ce développement rapide a permis de réfléchir plus globalement et intégrer la collecte et valorisation des eaux de pluie à l'échelle des zones industrielles (qui disposent de grandes surfaces de toitures), et des quartiers pris dans leur ensemble. Par ailleurs, au niveau aménagement urbain, il devenait de plus en plus clair que le drainage conventionnel qui visait plus à « se débarrasser des eaux pluviales le plus rapidement possible ! », présentait de multiples inconvénients et devenait trop coûteux à la communauté. C'est ainsi que de nouvelles approches modernes (infiltration, toitures vertes, captage des eaux pluviales, filtres plantés, recharge de nappe...) ont été proposées et mises en œuvre dans beaucoup de Länder et de communes, l'objectif ultime étant de maintenir autant que possible un bilan hydrique naturel en équilibre.

2.4.1.2 Expérience française

La France a toujours accusé un retard en la matière, en grande partie à cause de la frilosité du ministère de la santé vis-à-vis des usages internes aux habitations. Néanmoins, la France figure parmi les pays qui ont beaucoup réglementé la CEP. Notamment à travers l'arrêté du 21 août 2008, publié au JO n°0201 du 29 août 2008, spécifie les modalités relatives à la récupération de l'eau de pluie et à son usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

Par ailleurs, le ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable, et de la Mer, a élaboré en 2009, un guide « Règles et bonnes pratiques à l'attention des installateurs » pour la collecte des eaux de toitures. Ce document ne s'applique qu'à l'eau de pluie récupérée en aval de toitures inaccessibles au public, et donne des indications générales sur la conception, le dimensionnement, la mise en œuvre, la mise en service, l'entretien et la maintenance des systèmes de récupération de l'eau de pluie.

La réglementation française mentionne clairement que l'eau de pluie (collectée à l'aval de toitures inaccessibles, à l'exclusion des eaux collectées sur d'autres surfaces) est une eau non potable, et elle en fixe les usages autorisés comme suit :

- Usages extérieurs (arrosage, lavage des véhicules, etc.) ;
- Alimentation des chasses d'eau de WC et lavage des sols ;
- À titre expérimental, lavage du linge, sous réserve d'un traitement adapté de l'eau de pluie ;
- Usages professionnels et industriels, à l'exception de ceux requérant l'usage d'une eau potable.

Les usages interdits de l'eau de pluie sont notamment : la boisson, la préparation des aliments, le lavage de la vaisselle et l'hygiène corporelle. Aussi, l'utilisation d'eau de pluie est interdite à l'intérieur :

- Des établissements de santé et des établissements, sociaux et médicaux-sociaux, d'hébergement de personnes âgées ;
- Des cabinets médicaux, des cabinets dentaires, des laboratoires d'analyses de biologie médicale et des établissements de transfusion sanguine ;
- Des crèches, des écoles maternelles et élémentaires.

Dans un autre registre, et concernant l'évacuation des eaux de pluies et la collecte et valorisation des réseaux d'assainissement, il y a été reconnu en France que les nuisances dues aux eaux pluviales et de ruissellement devenaient très importantes, sur les plans de la sécurité publique (inondations) mais aussi de la protection de l'environnement et de la santé publique (dégradation des eaux superficielles).

Le ministère français du Développement Durable a encouragé donc très fortement, et cela depuis plusieurs années, les collectivités locales à prendre en compte la gestion des eaux pluviales dans les questions d'aménagement et d'urbanisme. Parmi les mesures mise en œuvre, il est encouragé de réduire le ruissellement en ayant recours à des techniques facilitant l'infiltration des eaux pluviales et simples comme les fossés, noues, tranchées de rétention..., et parfois plus complexes : stockage sur toiture ou dans des bassins de rétention... Sur le plan législatif, pour aider à résoudre les difficultés de financement de la collecte et valorisation des eaux pluviales, la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (art. L. 2333-97 à L. 233-101 du Code général des collectivités territoriales) a donné la possibilité aux communes, ou à leurs établissements publics, de créer un service public administratif de la collecte et valorisation des eaux pluviales urbaines associé à une taxe annuelle facultative : la taxe pour la collecte et valorisation des eaux pluviales urbaines.

2.4.1.3 Expérience canadienne

Avec la participation du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, la province du Québec a élaboré le Guide québécois de la collecte et valorisation des eaux pluviales. Ce dernier, visant essentiellement le milieu urbain, a pour principal objectif de présenter différentes approches et techniques permettant de minimiser les impacts hydrologiques qui peuvent être associés au développement des zones urbanisées.

Le document est un outil pratique pour guider les concepteurs de systèmes de drainage ainsi que les autres intervenants impliqués dans le développement urbain (urbanistes, architectes paysagistes, spécialistes en environnement, développeurs et décideurs municipaux) dans l'identification, l'utilisation et la mise en œuvre des meilleures pratiques pour la protection des ressources hydriques pouvant être affectées par les eaux de ruissellement urbain. Le guide préconise que tout développement territorial devrait en matière de la collecte et valorisation des eaux pluviales reposer sur les principes suivants :

- La collecte et valorisation (quantitative et qualitative) des eaux de ruissellement, aussi près que possible de la source, en minimisant les volumes à collecter et à acheminer dans les réseaux d'assainissement ;
- La prévention des impacts associés aux eaux de ruissellement ;
- L'utilisation de méthodes de la collecte et valorisation des eaux pluviales simples, généralement moins coûteuses et nécessitant moins de maintenance, par opposition aux méthodes nécessitant la mise en œuvre d'ouvrage d'art et systèmes plus complexes ;
- La création d'un aménagement paysager qui soit multifonctionnel ;
- L'utilisation de l'hydrologie naturelle pour structurer le développement d'un site.

Aujourd'hui, les villes canadiennes mettent en place des mesures visant à réduire la charge des réseaux traditionnels d'évacuation des eaux de pluie. Parmi ces mesures, certaines sont destinées aux citoyens résidents. Nous donnons à titre d'exemple, les cas de la ville d'Ottawa. Le site Web de cette ville, présente, sous la rubrique 'résidents' (<http://ottawa.ca/fr/residents/eau-et-environnement/egouts-et-traitement-des-eaux-usees/reseau-de-collecte-des-eaux>), tout un ensemble de mesures pour la collecte et valorisation des eaux pluviales, et notamment celles de contrôle individuel à la source que pourraient mettre en œuvre les résidents eux-mêmes.

Les principales mesures de contrôle individuel des eaux pluviales préconisées, sont :

- La réorientation des tuyaux de descente des eaux pluviales qui permet de rediriger l'eau des toits vers le gazon, le gravier ou les tranchées d'infiltration ;
- L'installation de réservoirs ou citernes de collecte des eaux de pluie en vue d'une utilisation ultérieure de ces eaux ;
- L'installation de jardins de pluie et autres mesures d'aménagement paysager qui favorise l'infiltration de l'eau pluviale dans le sol et son absorption par un couvert végétal qui demande beaucoup d'eau (plantes hydrophiles).

2.4.2 La CEP en milieu rural

Partout dans le monde, et depuis des millénaires, les communautés vivant dans les régions arides et semis arides ont toujours cherché à capter les eaux pluviales, et utiliser l'eau récoltée pour leurs besoins domestiques et la boisson, l'irrigation, ou l'abreuvement du cheptel. Dans leur article « Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia » Beckers et al. (2013) indiquent que les recherches archéologiques ont mis en évidence plusieurs systèmes de collecte et valorisation des eaux pluviales dans le pourtour Méditerranéen et en Asie. Encore de nos jours, la CEP en milieu rural reste une pratique assez présente, nous relatons dans ce qui suit les pratiques et les expériences de CEP tentées dans certains pays.

2.4.2.1 Expérience en Tunisie

Sur le plan climatique, la situation de la Tunisie est sensiblement proche à celle du Maroc, et sur les 34 Milliards de mètres cubes de précipitations qui arrosent la Tunisie annuellement, près de 2,7 Milliards de mètres cubes ruissellent. Par ailleurs, la Tunisie est connue depuis des générations pour être le berceau de tabias et jessours dont l'exploitation est très répandue.

En matière de collecte des eaux pluviales, la Tunisie s'est employée dès la fin des années 80 dans la construction de lacs collinaires (640 lacs construits entre 1990 et 2000) et de bassins en béton armé. Aussi, l'expérience récente de la Tunisie en matière de collecte et valorisation des eaux pluviales comprend notamment le Programme de conservation des terres arides (2000-2005).

Exécuté par la FAO et ciblant une population de 40000 participants, il a concerné les gouvernorats de Kairouan, Siliana et Zaghuan, et a eu pour bailleurs : la Direction générale de la coopération au développement du Ministère des affaires étrangères italien, le Gouvernement Tunisien, et la population locale. Ce programme a mis en place des pratiques de conservation de l'eau et du sol (cordons, cuvettes individuelles, terrasses, lacs collinaires...), ce qui a permis la conversion des terres en oliveraie.

En ce qui concerne les coûts et les financements, le programme contribuait dans le financement de la conversion en oliveraie ainsi que dans la construction des bassins de rétention. Le coût de la reconversion à l'oléiculture (3 dinars tunisien par arbre planté), était réparti équitablement entre le bénéficiaire et le programme. Pour les bassins en béton armé, le coût de construction d'environ 32 500 MAD (3600 \$) était réparti entre le bénéficiaire (10%), le programme (65%), et le gouvernement (25%). Et, en ce qui concerne les lacs collinaires, le financement était assuré à 100% par le programme ou par une aide internationale additionnelle.

2.4.2.2 Expérience en Afrique subsaharienne

L'importance des petits systèmes traditionnels de collecte des eaux pluviales, à des fins agricoles en Afrique sub-saharienne, n'a été reconnue qu'après les sécheresses prononcées des années 70 (Critchley et Reij 1989). De simples cordons de pierres sont utilisés traditionnellement dans certains pays ouest-africains, notamment au Burkina Faso, et des systèmes de diguettes en terre sont rencontrés au Soudan oriental et en Somalie, sont ainsi reconnus, étudiés et diffusés ailleurs en tant que techniques efficaces (Critchley et al, 1991) Manuela Amin (2008) tout en citant (Critchley et Reij, 1989) précise qu'en Afrique subsaharienne, le potentiel de la collecte des eaux de ruissellement pour améliorer la productivité des cultures a reçu beaucoup d'attention dans les années 1970 et 1980, et que de nombreux projets de collecte des eaux de pluies y ont vu le jour durant cette période. Les principaux objectifs étaient de lutter contre les effets de la sécheresse en améliorant la production et, dans certains cas la réhabilitation des terres dégradées et abandonnées.

Au Burkina Faso, les techniques de micro captage (cuvettes, demi-lunes, diguettes, cordons de pierres...), ont révélé une grande performance des cultures de sorgho dans les provinces du plateau central avec un surplus de production par producteur de 0,5T (Millogo et al, 2005 cité par Manuel Amin, 2008).

En Afrique du Sud dans la région du ThabaNchu, les techniques de micro captages permettent une réduction de plus de 55% du risque lié à l'investissement pour la culture de maïs, de haricot sec et de tournesol (Viljoen et Kundhlande, 2003 cité par Manuel Amin, 2008).

D'autres techniques de collecte et utilisation des eaux pluviales en agriculture sont mise en œuvre en Afrique subsaharienne, comme les macros-captages, l'exploitation des eaux de crues et des zones de décrues. Malgré le fait que beaucoup de projets aient tenté de développer les techniques de collecte et valorisation des eaux pluviales pour l'opportunité qu'elles représentent pour l'agriculture et pour les populations pauvres d'Afrique Sub-saharienne, peu d'entre eux ont réussi à combiner l'efficacité technique à faible coût et l'acceptabilité des agriculteurs locaux ou des agro-pasteurs, de façon durable.

L'adoption de ces techniques est restée très limitée (Reij et al. 1988, Critchley et al.1992). Là où l'adoption a été faible les aspects suivants n'avaient pas été suffisamment pris en considération dans l'élaboration et la mise en œuvre des projets :

- Les contextes sociaux ;
- Les conditions physiques locales ;
- L'adaptation des techniques sélectionnées aux conditions locales.

2.4.2.3 Expérience en Erythrée

Entre 1995 et 2006, deux grands systèmes d'irrigation par épandage des eaux de crue étaient restaurés au nord de Masawa, en Erythrée. Au cours de la période de restauration, une importante inondation au lieu. Il est rapporté qu'à ce moment-là, un des deux Wadis avait été restauré partiellement et c'est celui-ci qui avait été détruit en partie par l'inondation, ne produisant qu'une récolte faible, alors que l'autre Wadi, pas encore restauré, a produit une récolte merveilleuse. Ce cas de projet d'irrigation par épandage des eaux de crues a produit un résultat peu attendu, et incite à la prudence dans l'action.

Les cas d'échec des actions de CEP sont nombreux, on en rencontre en Afrique (par exemple en Somalie les systèmes de demi-lune ; World Bank, 1988), au Proche et Moyen Orient, en Asie, mais également en Amérique Centrale et celle du Sud. Partout dans ces pays où les actions de CEP ont été proposées, elle a fonctionné quasi-exclusivement grâce aux agents de développement qui ont réanimé les vieux systèmes de CEP traditionnels après avoir gagné la confiance des habitants et avoir vécu parmi eux pour quelques années.

Toutefois, quand ces acteurs du développement (ingénieur ou chercheur) retournent chez eux, la plupart des habitants abandonnent très souvent les 'améliorations' apportées au système de CEP traditionnel. La situation est légèrement différente dans les pays Maghrébins ou particulièrement les jessour et tabia (voir chapitre 4.2) ont permis d'augmenter la production agricole. Il découle des expériences à travers le monde que pour réussir les actions de CEP en milieu rural, il est nécessaire, pour chaque cas, de tenir compte de la situation juridique et socio-économique particulière des bénéficiaires potentiels. Il est aussi prudent de prendre conscience du fait que les bénéfices purement économiques de tous les systèmes de CEP sont limités. Néanmoins, d'autres perspectives (humanitaire et environnementale) permettent d'accorder plus d'intérêt à la CEP, et ce notamment en milieu rural et dans les zones marginales.

2.4.3 La perspective humanitaire en CEP

Certaines situations où les populations vivent en zones difficiles et marginales s'imposent souvent l'action et la mise en œuvre de système de CEP. Notamment dans des situations qui n'ont aucune autre alternative à la CEP. Dans ces cas, les Gouvernements sont dans l'obligation de subvenir aux besoins des populations et de les aider à réaliser des systèmes de CEP.

2.4.4 La perspective écologique en CEP

Pour tout être vivant, et particulièrement pour ceux vivant dans une région aride ou semi-aride, la qualité de vie est fondée sur la terre et sur l'eau, et surtout sur la gestion durable des ces éléments clés. Chaque goutte d'eau est précieuse quand les précipitations sont insuffisantes et que les cours d'eau ne sont pas alimentés de façon permanente. Dans ces situations, les eaux pluviales doivent être collectées, acheminées et utilisées de manière économe pour l'ensemble de l'environnement.

Lorsque nous considérons l'expérience de la CEP à travers le monde, nous distinguons entre le milieu urbain et le milieu rural. Les expériences réalisées dans le milieu urbain, en particulier dans les pays industrialisés, ont été plutôt positive, tandis que les expériences faites en milieu rural des pays en Asie et en Afrique - ou l'économie est fondée sur un le secteur agricole - ont été plus équivoques, voire négatives. Des systèmes de CEP construits en milieu urbain au Canada, en France et en Allemagne (décrits dans les fiches techniques présentées au chapitre 4.2) ont connu un grand succès et des impacts importants sur l'environnement.

Par ailleurs, les expériences de CEP qui ont été menées en milieu rural (Afrique, Asie, Proche et moyen orient) et qui ont eu comme objectif principal la production agricole en général et la sécurité alimentaire en particulier, n'ont pas tous réussi. Néanmoins, lorsque les projets intègrent la CEP pour la conservation du sol et des eaux, comme dans le cas des projets de plantations forestières et des projets de lutte contre l'érosion qui utilisent des méthodes de conservation biologiques et mécaniques des sols, le succès est au rendez-vous.



3

La collecte et la valorisation des eaux pluviales (CEP) au Maroc

Contexte naturel

Contextes institutionnel et réglementaire

Expérience marocaine en matière de CEP

Impacts environnementaux et socio-économiques de la CEP au Maroc

Perspectives de la CEP au Maroc



3.1 Contexte naturel

3.1.1 Climat

Le Maroc, de par sa situation géographique, est soumis aux influences méditerranéennes au Nord, océaniques à l'Ouest, continentales au centre, puis sahariennes au Sud et Sud-est. Le climat du Maroc est caractérisé par un été chaud et sec avec des précipitations quasiment absentes et une évaporation élevée, et un hiver doux sur le littoral, froid à l'intérieur du pays, sur les chaînes de l'Atlas, du Rif et les hauts plateaux de l'Oriental.

Ces variations climatiques, tant saisonnières que géographiques, résultent de l'interaction entre plusieurs facteurs dont les principaux sont l'extension du pays en latitude, la topographie (qui crée des zones climatiques fortement différenciées puisque les chaînes montagneuses de l'Atlas constituent un obstacle aux vents dominants créant une zone désertique au sud-est, et celles du Rif forment une barrière à l'influence méditerranéenne), et l'influence de l'anticyclone des Açores, qui régule le passage des systèmes pluvieux. Selon le site Web officiel du Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau, Département de l'Eau au Maroc (Octobre, 2016), les précipitations moyennes annuelles se répartissent comme suit :

- 800 mm dans le nord,
- 400 à 600 mm au Centre,
- 200 et 400 mm dans l'Oriental et le Souss,
- 50 et 200 mm dans les zones sud-atlasiques,
- < 50 mm dans les bassins de Sakia El Hamra et Oued Eddahab.

Selon d'autres sources (figure 3), certaines zones du pays recevraient plus de 800 mm/an (Rif et moyen Atlas), et d'autres plus localisées, même plus de 1200 mm/an (Rif).

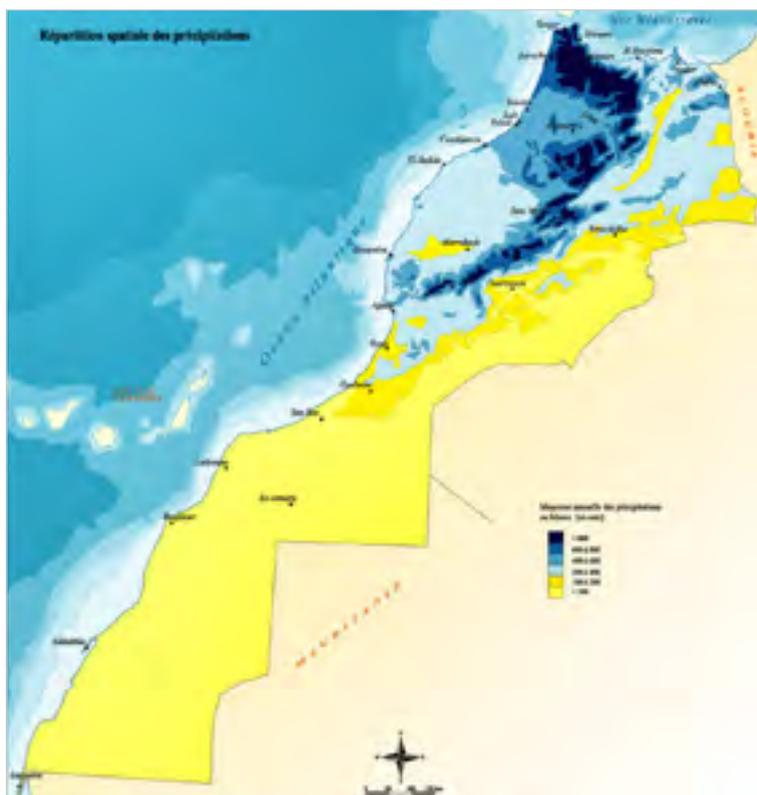


Figure 3 : Répartition des précipitations annuelles à l'échelle nationale (Source : Planification de l'Eau, DPGE/DPRE, MDE)

3.1.2 Zones agro-écologiques

Par référence au climat et à la gestion des eaux, il a été proposé par Roose et al. (2010) de subdiviser le Maroc en sept zones agro-écologiques. Celles-ci, représentées géographiquement dans la figure 4, se déclinent comme suit :

- La zone désertique (Sahara et Pré-Sahara) ;
- La zone des steppes (atlantiques et orientales) ;
- La zone des montagnes arides ;
- La zone des montagnes atlasiques et semi-arides ;
- La zone des montagnes semi-aride (Rif oriental) ;
- La zone des montagnes subhumides (Rif et Moyen Atlas) ;
- Les plaines (atlantiques et méditerranéennes).

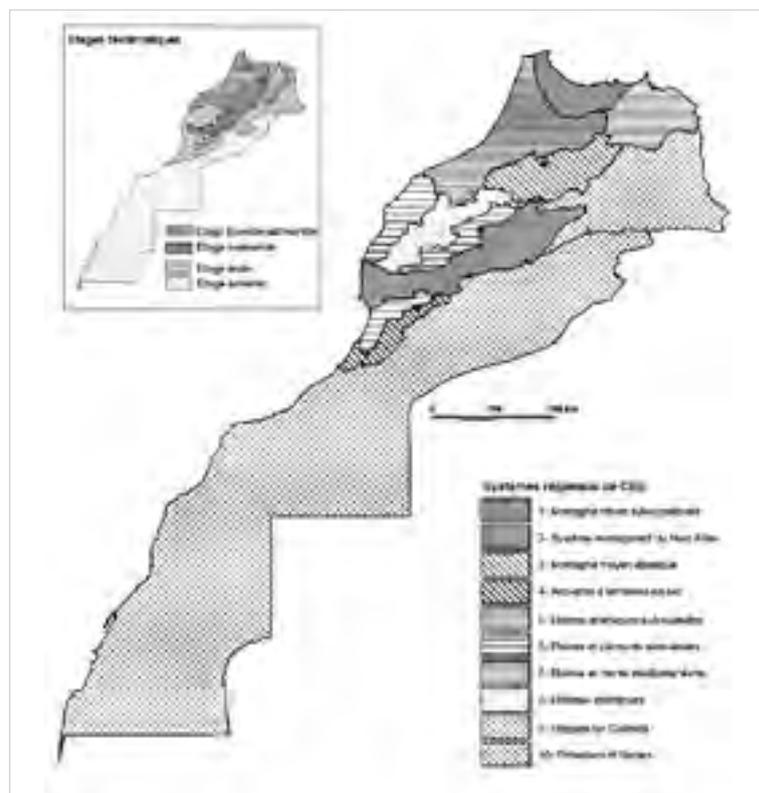


Figure 4 : Système de conservation des eaux et des sols en liaison avec les étages bioclimatiques marocain (Source : Laouina, 2010)

3.1.3 Changement climatique

La seconde communication nationale à la CCNUCC (2010) rapporte des indicateurs d'anomalies pluviométriques établies par les travaux de la direction de la météorologie nationale qui pointent vers l'évidence d'une évolution climatique nouvelle au Maroc. Ces travaux indiquent que les tendances des précipitations annuelles présentent les caractéristiques de changement suivantes :

- Augmentation des précipitations de début de l'année hydrologique (octobre-novembre) ;
- Diminution des précipitations du milieu et de fin de l'année hydrologique (-26% du cumul de la saison pluvieuse), en particulier sur la région nord-ouest du pays ;
- Les précipitations printanières montrent des tendances à la baisse assez significatives, de l'ordre de -47% ;
- Les précipitations hivernales au niveau des régions de l'intérieur ont baissé mais d'une façon peu significative.

Parallèlement à cela,

- La durée maximale des sécheresses intra-annuelles : le nombre de jours consécutifs secs (pluie < 1 mm) pour la saison pluvieuse (septembre à avril) augmente, causant ainsi un allongement de la période de sécheresse d'environ 15 jours ;
- Les fortes et très fortes précipitations : tendance vers une diminution marquée
- des précipitations relatives à la période février, mars- avril : baisse de 38mm, l'équivalent du tiers de la normale, dans le nord-ouest du pays : baisse de 23mm à l'échelon national.
- Par ailleurs, les mêmes études relatent :
- Un réchauffement moyen sur la période 1960 à 2000, et ce sur tout le territoire du Maroc, avec un maximum de 1,4°C au sud-est du Maroc et une valeur dépassant 1°C sur les 2/3 du pays ;
- Une tendance à la hausse des températures minimales plus marquée durant les saisons par régions.

Le changement de climat et son impact négatif a aggravé la situation hydrique au Maroc. La moyenne nationale des apports en eau de surface au niveau des sites de barrages a chuté de l'ordre de 20% au cours des trente dernières années. Le changement de régime des précipitations et la variation interannuelle des précipitations ont engendré un stress hydrique, ainsi qu'une surexploitation des eaux souterraines et - dans certains endroits - des pénuries d'eau potable.

Les effets du changement climatique au Maroc vont encore aggraver la pression sur les ressources en eau.

3.2 Contexte institutionnel et réglementaire

La gestion de l'eau au Maroc fait face à d'importants défis à cause de la surexploitation, de la diminution et de la dégradation de la qualité des ressources en eau. La qualité et la quantité des ressources en eau disponibles sont clairement en baisse et font face à une demande croissante du fait de la croissance de la population, du niveau de vie croissant, et du développement de l'industrie, du tourisme, et surtout de l'agriculture irriguée et son extension. La disponibilité durable des ressources en eau est de plus en plus menacée par la forte surexploitation des réserves souterraines. Du fait de l'urbanisation croissante, de l'imperméabilisation des sols, ainsi que du déboisement des surfaces forestières, les écoulements augmentent et s'accroissent, le risque d'inondation augmente, les sols sont encore plus exposés à l'érosion et le renouvellement en eau souterraine s'affaiblit.

A titre d'exemple on devra garder en mémoire les inondations et dégâts provoqués par les intempéries comme en Septembre 2013 à Marrakech, en Novembre 2014 à Guelmim, en Août 2015 dans la province de Tinghir, Mai 2016 dans les provinces de Taroudant et d'Ouarzazate, et en Février 2017 à Rabat-Salé. Cependant, les rôles et responsabilités des différents acteurs du secteur de l'eau méritent d'être mieux clarifiés, tout comme la coopération entre eux gagnerait à être davantage dynamisée. Aussi, les effectifs et la qualification du personnel dédié à ce secteur ne sont pas en adéquation avec le nombre et la nature des défis actuels.

Le gouvernement marocain a élaboré en parfaite coordination et concertation avec les départements ministériels et les établissements publics œuvrant dans le secteur de l'eau, le Plan National de l'Eau (PNE) qui constitue un prolongement de la stratégie nationale.

En effet, le PNE, a comme axes essentiels la gestion de la demande et valorisation de l'eau, le développement de l'offre et la préservation des ressources en eau, du milieu naturel et l'adaptation aux changements climatiques. Il y a de plus une réelle volonté politique au Maroc d'introduire de façon généralisée la réutilisation des eaux usées et la gestion durable des eaux pluviales.

Il reste à souligner qu'en dépit de l'existence de plusieurs projets déjà réalisés, il n'y a pas suffisamment d'approches globalisantes et d'innovations particulièrement adaptées à la gestion des eaux souterraines et pluviales, à l'assainissement durable, et à la valorisation des eaux usées. Au regard de cette situation problématique plurielle, les capacités techniques et institutionnelles des partenaires sectorielles sont aujourd'hui à renforcer pour une gestion des ressources en eau véritablement intégrée, durable et orientée vers les besoins des populations. En ce qui concerne la réglementation, en Aout 2016, la nouvelle loi 36-15 sur l'eau a été publiée au Bulletin officiel. Celle-ci a éclairé le régime juridique des eaux pluviales, on en distingue deux types :

- Les eaux de pluie tombées sur les propriétés privées : Selon l'article 62 au chapitre IV intitulé « Mise en valeur et utilisation des eaux de pluie » de la même loi, « Les propriétaires et les exploitants ont le droit de collecter, de stocker et d'user des eaux pluviales tombées sur leurs fonds », « les collectivités territoriales ont le droit, dans leurs circonscriptions territoriales, de collecter, de stocker et de distribuer les eaux pluviales pour tous usages domestiques, industriels, d'irrigation ou autres », et « les conditions d'accumulation artificielle des eaux sur les propriétés privées sont fixées par voie réglementaire ».
- Les eaux de pluie tombées sur le domaine public hydraulique (DPH) : ces eaux sont soumises aux conditions d'utilisation du DPH qui sont :
 - Autorisation.
 - Ou concession.

Aussi, en matière d'urbanisme, la loi stipule dans l'article 63 du chapitre IV « l'administration doit lors de l'élaboration des documents d'urbanisme demander la prise en considération des potentialités en matière de collecte et d'utilisation ou de mise en valeur des eaux pluviales ». Par ailleurs, la loi 78-00 portant la charte communale, modifiée et complétée à deux reprises (en 2003 et 2009), indique que les attributions du conseil communal en matière d'eaux pluviales, citées dans l'article 39 sont :

- Réalisation ou participation à l'exécution des aménagements et des ouvrages hydrauliques destinés à la maîtrise des eaux pluviales et à la protection contre les inondations.
- Délibération sur la politique communale en matière d'évacuation des eaux pluviales.

3.3 Expérience marocaine en matière de CEP

3.3.1 Les systèmes traditionnels

En matière de CEP, le Maroc dispose d'un savoir-faire traditionnel comparable à celui dans des pays ayant des conditions climatiques et naturelles comparables (Iran, Syrie, Yémen, Tunisie). Nous citerons à titre d'exemple introductif le système technique de la khettara (décrit en détail dans la fiche N°30), et illustré par la figure 5.

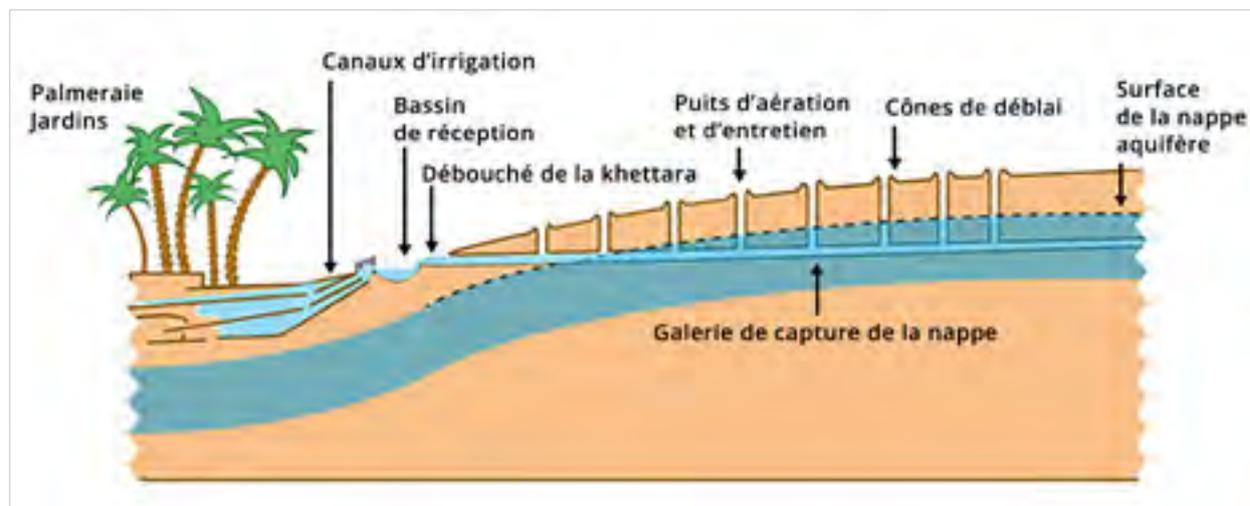


Figure 5 : Khettara, la source d'eau traditionnelle (Source : Les Khettara, un système traditionnel ingénieux de drainage des eaux en danger de disparition : <http://www.agrimaroc.ma/>)

Au Maroc comme dans d'autres pays arides et semi-arides, le système de Khettara permet de récupérer l'eau de la nappe à travers une galerie drainante (appelée khettara, ou qanat, karez, foghara) où l'eau évolue par gravité jusqu'à atteindre la surface sur une longue distance, ou à travers des puits (dugwell) par le travail des animaux. Cette méthode de khettara a garantie une utilisation durable des nappes pour quelque millénaires. Les eaux souterraines ainsi exploitées ne pouvaient guère être utilisées en quantité supérieure à celle rechargée par l'infiltration de la dernière précipitation, ou celle provenant d'un cours d'eau. L'Homme pourrait intervenir sur ces systèmes traditionnels et augmenter suffisamment le niveau de la nappe phréatique au moyen de technologies adaptées (par exemple, par la recharge artificielle de la nappe par les seuils d'infiltration).

Ainsi, la khettara, en tant que technique d'exploitation des eaux souterraines, pourrait bien devenir une partie intégrée d'un système de CEP plus global. La khettara, continuera alors à transférer l'eau du point de stockage (aquifère rechargé) jusqu'au point de consommation (point d'eau potable, ou champs). Dans ce qui suit, nous présenterons différentes techniques de CEP traditionnelles marocaines, en renvoyant le lecteur à la fiche détaillée correspondante. Ces techniques ont été sélectionnées parce qu'elles :

- Font partie de l'une des quatre méthodes présentées au chapitre 2.2 ;
- Sont (ou étaient) largement répandues au Maroc ;
- Contribuent exclusivement à l'utilisation d'eau potable et agricole ;
- Sont conformes aux besoins environnementaux concernant la conservation du sol et de l'eau.

Les micro-bassins : demi-lunes et cuvettes (Voir fiche technique 14 et 15)

- Description : C'est une technique de CEP la plus simple pour améliorer l'humidité du sol afin d'encourager les plantes à pousser.
- L'utilisation des demi-lunes et cuvettes, peut être étendue à tous les bassins versant à pente moyenne du Haut Atlas, au Moyen Atlas, et au Rif dans les zones semi-arides et subhumides (IRD, 2010).

Banquette (Voir fiche technique 19)

- Description : Le but de ces techniques est de capter, aux alentours de jeunes arbres, un maximum d'eau et de nutriments.
- Limites : L'extension de ces techniques est en principe possible sur toutes collines de moindre pente situées dans les zones semi-arides. Ces méthodes conviennent notamment pour restaurer des forêts dégradées ou planter des arbres fruitiers rustiques.

Cordons de pierres (Voir fiche technique 20)

- Description : La disposition des pierres (en cordons au long des courbes de niveau, à des espacements variables selon la pente) a pour effet de stocker les sédiments en amont des cordons, et de freiner les eaux de ruissellement, favorisant ainsi leur infiltration. Ces cordons de pierres ont été observés dans le rif occidental.
- Limites : Par ailleurs, ils peuvent se trouver et être mis en œuvre dans toutes les régions du Maroc où les sols sont pierreux (IRD, 2010).

Terrasses (Voir fiche technique 23)

- Description : Les terrasses de ce type sont dotées d'un système d'irrigation opérant soit par capture de l'eau de la vallée, soit par apport d'une eau de source. Elles se trouvent partout en zone humide, et à proximité des sources et des oueds dans les zones semi-arides et arides (IRD, 2010).
- Limites : Leur durabilité dépend de la présence d'eau.

Diguettes en terre (taba ou tabia) (Voir fiche technique 24)

- Description : « Le mot taba signifie toute type de diguette en terre, construite soit sur les versants, soit dans les ravins et les vallées pour capter le ruissellement et sa charge solide en vue de stabiliser les terres et d'intensifier la production des cultures » (IRD, 2010). Contrairement à ce qu'on croyait, les taba ne sont pas d'origine marocaine. Aujourd'hui, il y a quelques exemplaires rares à l'est du Maroc, mais plus en Tunisie, en Algérie et en Afrique de l'Ouest.
- Limites : Les tabias sont construites dans zones semi-arides permettent de récupérer les eaux de ruissellement des champs cultivés pour les forcer à s'infiltrer dans les sols et apporter ainsi un supplément d'eau aux cultures.

Digues d'épandage de crue (faïd, amzaourou ou amazighe) (Voir fiche technique 27)

- Description : Par cette technique, on vise à récupérer l'eau et les sédiments fins en transit dans l'oued et à les canaliser vers des surfaces planes pour irriguer et fertiliser les cultures et les plantations d'arbres fruitiers (spate irrigation). Ce système de CEP est observé sur le versant sud pré-saharien du Haut Atlas (Tafilalt, Ouarzazate, Tata, etc.), où les pluies annuelles ne dépassent pas 200 mm.

Citernes couvertes (matfia, joub ou notfia) (Voir fiche technique 29)

- Description : Les eaux stockées dans la matfia, collective ou individuelle, sont destinées aux usages domestiques, à l'abreuvement de la famille et du troupeau, et parfois à l'irrigation d'appoint d'un petit jardin en zone semi-aride et aride. L'Etat a encouragé la construction de matfia collectives dans les années 1970-1985(IRD, 2010). On trouve des citernes couvertes partout dans le pays, souvent dans les régions à forte densité, dans le Rif central et oriental, dans le Haut-Atlas oriental, l'Anti-Atlas (Taroudant et Ighrem), le Haouz (sous-bassin hydraulique de l'Oued Chichaoua), le Doukkala et l'Oriental. Aujourd'hui, il y a un regain d'intérêt et plusieurs institutions appuient, dans le cadre de projet de développement, la construction des matfia collectives.
- Limites : L'interception des eaux de pluie et du ruissellement abondant sur les sols tassés ou encroûtés est une pratique indispensable dans ces régions, car ils sont parfois à forte densité humaine et aux longues périodes sèches.

Haies vives (Voir fiche technique 35)

- Description : On trouve des haies en bordure des champs dans tout le pays, en particulier là où on souhaite limiter le parcours des animaux (piquets verts ou haies dans le Rif).
- Limites : Les bordures de parcelle en cactus (raquettes, chandelles ou coussinets) sont nombreuses surtout en zone semi-aride, où elles apportent un complément de recette lors de la vente des fruits (figues de barbarie) et servent de réserve de fourrage en cas de grande sécheresse (IRD, 2010).

Diguette filtrante (Voir fiche technique 40)

- Description : En ralentissant l'écoulement de l'eau, ces seuils évitent le creusement et l'élargissement des ravins. Elles se trouvent dans les bassins versants de l'Oued Lakhadar au Haut-Atlas central semi-aride, et dans les bassins versants de l'Oued Srou au Moyen Atlas subhumide.
- Limites : Ces seuils enherbés conviennent dans tout le Haut Atlas, Moyen Atlas et Rif, mais sont utilisés spécialement pour stabiliser progressivement les ravines peu actives à moindre coût.

3.3.2 Expériences du MAPM en matière de CEP

Depuis l'indépendance, un investissement important a été réalisé par les pouvoirs publics pour la mobilisation de l'eau et l'aménagement hydro-agricole dans les zones dites de petite et moyenne hydraulique. L'expérience du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime en matière de collecte des eaux pluviales est ancienne, et la Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole appui, dans le cadre des projets de développement, les aménagements de CEP.

Par ailleurs, le ministère prévoit aussi des subventions au taux de 50 % de l'investissement avec un plafond de 2 500 MAD par hectare pour les aménagements visant la collecte et valorisation des eaux pluviales (banquettes, cordons et murettes).

Voici ci-après quelques exemples de techniques de CEP mises en œuvre :

Matfia : il s'agit de bassins ou citernes, enterrés ou en surface, où l'eau de pluies est stockée pour satisfaire les besoins en eau des ménages, du bétail, et même l'irrigation de potager (Voir fiche technique 29)



Figure 6 : Citerne en surface, ouverte ou fermée (Source : Kharmouch M.)

Ifred ou digue pour retenue d'eau : Il s'agit d'obstacles construits pour retenir les eaux de pluies : digue en terre, en maçonnerie ou en béton construite à travers un talweg.

Lacs collinaires : des petits barrages de mobilisation des ressources en eau pour l'irrigation de petits périmètres, l'abreuvement de cheptel et recharge des nappes.

Banquettes de rétention avec plantation : il s'agit de l'ouverture d'une bande de terre, de largeur de 1 à 2m, selon les courbes de niveaux; conçues pour collecter les eaux de ruissellement et favoriser le maximum d'infiltration; protègent les sols contre l'érosion hydrique.



Figure 7 : Lac collinaire (Source : Kharmouch M.)



Figure 8 : Banquettes de rétention avec plantation (Source : Kharmouch M.)

Gradins : ce sont des sillons ouverts, suivant les courbes de niveau, ils servent à recueillir l'eau de ruissellement, conserver l'humidité aux niveaux des arbres ou plantations.

Impluvium avec plantation : cuvette en demi-lune avec un trou de plantation, disposée en quinconce selon les courbes de niveau.

Murettes et Cordons : sont des obstacles constitués d'accumulation de pierres sèches déposées en lignes selon les courbes de niveau. Ces ouvrages permettent à la fois de ralentir le ruissellement de l'eau sur les terrains en pente ; de retenir les sédiments entraînés par l'eau ; d'améliorer l'infiltration des eaux dans le sol ; de créer un milieu favorable à la mise en place d'une plantation fourragère ; de protéger les sols contre l'érosion pluviale.



Figure 9 : Murette de pierres (Source : Kharmouch M.)



Figure 10 : Gradins suivant les courbes de niveaux (Source : Kharmouch M.)

De nombreux projets de collecte de l'eau pluviale ont eu un impact réel et ont réussi, d'autres ont néanmoins échoué ou ont connu de graves problèmes. Dans le cas des échecs, plusieurs raisons ont été avancées, par exemple :

- Les données sur les paramètres hydrologiques tels que l'intensité de la pluie, de la durée de l'événement, l'infiltration de l'eau ne sont pas fiables ou pas du tout disponibles ;
- Le fait que les bénéficiaires sont souvent exclus de toute participation significative dans le processus de planification et de mise en œuvre ;
- Les coûts d'investissement sont très élevés ;
- Les coûts d'opération dépassent largement les moyens des bénéficiaires.

Dans la région du Souss au sud du Maroc, située entre le Haut Atlas et l'Anti Atlas, il y a quelques centaines d'années la gestion des systèmes d'irrigation était efficace. A partir du milieu du 20ème siècle, les nappes souterraines ont commencé à être surexploitées, et de nos jours les forages atteignent plus de 160m. Aujourd'hui, malgré l'installation du barrage d'Aoulouz et des seuils d'infiltration qui ont été mis en place pour assurer la recharge des nappes, le niveau d'exploitation de ces dernières fait que les agriculteurs doivent creuser des puits de plus en plus profonds. Toujours au sud, dans les zones d'action des DPA de Tiznit et de Guelmim les travaux d'aménagement hydro-agricoles (travaux de dérivation et d'écrêtement des crues) ont reçu beaucoup d'investissements (Barrages d'Ait Messoud, d'Oum Laâchar, d'Oum Ghanim).

Par ailleurs, l'IAV Hassan II a réalisé un programme de recherche-développement contractuel avec la DPA de Guelmim en vue de la valorisation des eaux dans les périmètres de : Oum Laâchar (2000 ha) relevant de la DPA de Guelmim et Dhar Amzaourou(320 ha) dans la zone d'action de la DPA de Tiznit. Ces études exploratoires uniques en leur genre ont permis de poser les problématiques de l'utilisation de l'eau dans les périmètres d'épandage des eaux de crue et de la gestion durable des ressources en eau et en sol dans ces milieux fragiles menacés par l'érosion et la désertification (Bouaziz et al, 2006).

« Mohamed Kharmouch, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime »

3.3.3 Expérience du HCEFLCD en matière de CEP

Devant l'ampleur des problèmes d'érosion hydrique, le Haut-Commissariat des Eaux et Forêt et de Lutte Contre la Désertification a pris, depuis plus d'un demi-siècle, des dispositions juridiques, administratives et techniques pour la promotion des interventions de conservation des eaux et des sols. Cela s'est traduit par une planification des actions dans le cadre d'un processus d'aménagement intégré des bassins versants qui vise à favoriser la régularisation et la préservation des eaux à leur source, tant sur le plan de la quantité que de la qualité.

De multiples techniques biologiques et mécaniques ont été testées et diffusées dans des contextes naturels très diversifiés, ce qui a permis la réhabilitation des écosystèmes dégradés à travers la conservation des eaux, et la protection des sols en amont des bassins versants (Berhili El hassan - HCEFLCD).



Figure 11 : Mur en gabion (Source : HCEFLCD)



Figure 12 : Mur en maçonnerie (Source : HCEFLCD)



Figure 13 : Ouvrage métallique (Source : HCEFLCD)



Figure 14 : Série de murs en maçonnerie le long d'un ravin reboisement suivant les courbes de niveau (Source : HCEFLCD)



Figure 15 : Terrasses sur terrain privé (Source : HCEFLCD)

Figure 16 : Élément banquetta (Source : HCEFLCD)

« Hassan Berhili, Haut-Commissariat aux Eaux et Forêt et à la Lutte Contre la Désertification »

3.3.4 CEP en milieu urbain - expérience de la Lydec

Lydec est un opérateur de services publics, délégataire, qui gère la distribution d'eau et d'électricité, la collecte des eaux usées et pluviales, et l'éclairage public pour 4,2 millions d'habitants de la Région du Grand Casablanca (Maroc). Ces missions lui ont été confiées dans le cadre d'un contrat de gestion déléguée signé en 1997 par l'Autorité Délégante (Communes urbaines de Casablanca, Mohammedia et AïnHarrouda), l'Autorité de Tutelle (Ministère de l'Intérieur) et le Délégataire (Lydec).

La Lydec propose un catalogue présentant un panel de techniques alternatives durables adaptées et constituant une solution idéale pour faire de la Région du Grand Casablanca une métropole durable à l'image des villes de demain. Ces techniques alternatives proposées notamment pour la gestion de l'eau sont globales, et concernent :

- Des techniques durables qui préservent les ressources rares telles que l'eau potable,
- Des techniques économiques qui permettent d'optimiser les investissements et de réduire les coûts d'exploitation,
- Des techniques intelligentes qui optimisent l'utilisation des ressources naturelles, matérielles et financières disponibles, au plus près des besoins.

Par référence à la collecte et valorisation des eaux pluviales, l'artificialisation des sols, conséquence directe de l'urbanisation oblige à trouver des solutions pour évacuer l'eau qui ne peut être absorbée par le sol. L'assainissement traditionnel des eaux pluviales en milieu urbain consiste à évacuer les eaux de ruissellement vers les égouts.

Les techniques alternatives proposées par Lydec, cherchent à apporter des réponses différentes en s'appuyant sur la régulation de l'écoulement via le stockage temporaire ou encore la maîtrise de la vitesse de ruissellement via différents procédés.

« Saad Azzaoui, Lydec »



3.3.5 Expérience du bureau d'étude NOVEC

Impliqué dans la majorité des Plans Directeurs d'Aménagement et de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PDAIRE), qui sont des outils de renforcement de la gouvernance de l'eau à l'échelle d'un bassin hydrographique, et conscient des enjeux hydriques stratégiques, NOVEC, premier bureau d'Ingénieurs Conseil au Maroc, a participé à plusieurs projets de mobilisation et de captage des eaux pluviales à travers le Royaume. Parmi les expériences en CEP de ce bureau d'ingénieurs conseil, on peut citer notamment :

En matière de développement et aménagement rural :

Entre 2008 et 2013, réalisation du « Projet d'Arboriculture fruitière en zone pluviale » avec comme objectifs l'extension de plantation et la réhabilitation de périmètres agricoles sur 19 provinces. Parmi les activités de ce projet, les supervisions techniques des réhabilitations des impluviums de CEP et des formations techniques au profit des bénéficiaires ont été mis en œuvre.



Figure 17 : Plantation avec impluvium et cuvettes



Figure 18 : Confection et supervision des impluviums et cuvettes

En matière de gestion des ressources en eau :

Actuellement, NOVEC est en cours d'élaboration de l'étude du schéma directeur de CEP dans la zone d'action de l'ABH-Loukkos, en zones rurale mais aussi urbaine concernant 2 villes nouvelles : Chrafate et Ibn Batouta. Cette étude permettra de concevoir, en concertation avec les aménageurs, des dispositifs de CEP pour l'irrigation des espaces verts, et participer à l'atténuation des inondations.

« Majda Nejmeddine, Mohamed Abdani, NOVEC »

Enfin, devant la diversité des techniques et projets intégrant la CEP tant en milieu urbain que rural, il est important de souligner qu'il est nécessaire aujourd'hui de procéder de façon globale à l'évaluation des systèmes de CEP récemment testés ou mis en œuvre au Maroc, afin de mettre en relief les réussites, les échecs, les impacts réels, et les coûts actualisés.

3.4 Impacts environnementaux et socio-économiques de la CEP au Maroc

S'il est vrai que la collecte de l'eau à partir des cours d'eau, des fleuves et des rivières, a des effets avantageux, il demeure que cette collecte perturbe l'écoulement naturel de l'eau et peut donc avoir quelques impacts négatifs, notamment pour les habitants en aval.

Le Tableau 2 montre les impacts de divers aménagements réalisés pour certaines techniques de CEP.

Situation	Impact
Recharge des eaux souterraines	Avantage : Augmentation de la recharge en raison de la rétention des inondations. Désavantage : Augmentation de l'évaporation.
Gestion des inondations	Avantage : Réduction des pointes de crue ; cependant, le volume des eaux de crue ne diminuera pas de manière significative, puisque les systèmes de CEP n'ont pas la capacité de retenir autant d'eau.
Dégradation de l'infrastructure de captage	Désavantage, s'il s'agit d'un système de CEP traditionnel nécessitant des arbres et de broussaille pour le maintien.
Morphologie du fleuve	Désavantage : Perturbation du fleuve et donc haut risque d'un changement de lit soudain. Avantages : Reconstitution de la morphologie et faune + flore.
Diversité biologique / végétation naturelle	Avantage : Mise en valeur de la diversité biologique grâce à la sédimentation des champs irrigués.
Relations entre les usagers de l'eau en amont et en aval	Désavantage : Risque de mise en danger des droits à l'eau existants, car les habitants en aval pourraient recevoir moins d'eau.

Tableau 2 : Aménagements et leurs impacts

3.5 Perspectives de la CEP au Maroc

Après avoir passé en revue la gamme des techniques utilisées au Maroc pour gérer les eaux pluviales et le ruissellement (chapitre 3.3), nous constatons la double nécessité d'une gestion durable des ressources en eau, notamment des eaux souterraines, et d'un développement de l'offre en se basant sur l'ensemble des techniques de mobilisation des ressources en eau dont la collecte et la valorisation des eaux pluviales.

Conscient de la nécessité de la gestion durable des eaux pluviales, le Ministère Délégué Chargé de l'Eau entreprend l'intégration d'une démarche de collecte des eaux pluviales dans sa nouvelle stratégie de mobilisation et de développement des ressources en eau. En effet, le Plan National de l'Eau (PNE) a proposé différentes mesures qui doivent être réalisées en partenariat entre les collectivités locales, les associations et les usagers d'eau avec l'appui des Départements Ministériels concernés (Eau, Agriculture, Urbanisme, Intérieur, Environnement, HCEFLCD...).

Ces mesures concernent essentiellement l'élaboration d'une stratégie nationale de collecte des eaux pluviales et la mise en œuvre des actions recommandées par les schémas directeurs du captage et de valorisation des eaux de pluie au niveau de chaque agence de bassin hydraulique avec le développement des techniques et des procédés de captage de l'eau pluviale, innovants et adaptés au contexte marocain.

Le PNE recommande également l'instauration des mécanismes d'incitation à la collecte et à la valorisation des eaux pluviales, tels que les subventions, les aides financières et l'assistance technique mais aussi le lancement de campagnes périodiques pour la sensibilisation et la vulgarisation des bonnes pratiques de collecte et de valorisation des eaux pluviales sur le plan pratique et pour la mise en œuvre des actions prévues par le PNE, des projets pilotes de collecte des eaux pluviales au niveau de chaque Agence de Bassin Hydraulique sont lancés ou programmés. Ces projets permettront de répondre à des besoins en eau particuliers et de faire face aux déficits en eau pendant les saisons sèches.

Pour les deux types de milieu, rural et urbain, une CEP appropriée pourrait améliorer l'accès à l'eau significativement, en récupérant plus d'eaux pluviales, en augmentant l'infiltration, et en installant des ouvrages

de stockage d'eau souterrains et en surface. Dans la plupart des cas, les mesures qui seront prises en application de la CEP, nécessiteront un soutien du Gouvernement, soit sous forme de transfert de savoir-faire, soit sous forme d'appui financier.

En milieu rural. Il y avait toujours de la CEP, et il y en aura toujours, peu importe son efficacité ou sa capacité à rendre des profits. Toutefois, pour vraiment faire le mieux d'une gestion des eaux pluviales, celle-ci doit faire partie constituante d'une gestion intégrée des ressources en eaux (**GIRE**)³. Ainsi elle pourra améliorer la vie des communautés traditionnelles vivant dans des régions arides ou semi-arides. Néanmoins, le rôle que la CEP peut jouer au sein d'une gestion intégrée des ressources en eau (**GIRE**) doit auparavant être clairement défini ; en faisant une distinction qui permet de délimiter le champ d'action en fonction des objectifs de la GIRE, entre :

- d'une part, une CEP qui est profitable, c'est à dire qui génère des bénéfices monétaires
- grâce à la vente de produits agricoles.
- d'autre part, une CEP qui répond à des fins socio-environnementales, qui assure socialement la sécurité alimentaire de la population et qui produit pour l'ensemble de l'environnement des bénéfices comme la protection des eaux et des sols (lutte contre l'érosion hydrique, recharge des nappes, augmentation de l'humidité du sol, écrêtage de crue, et espaces de loisir).

Par ailleurs, pour les projets de CEP en milieu rural, il faudra favoriser une mise en œuvre au sein de petites communautés qui ont les capacités à gérer un système de CEP, et les soutenir avec des subventions et autres formes de motivations. Dans les communautés ayant utilisé des méthodes de CEP depuis longtemps, il sera important d'appuyer la réhabilitation des méthodes, en donnant aux communautés concernées un rôle actif, et en faisant appel aux entreprises de construction locales.

Aussi, il est plus prudent d'éviter une mise en œuvre de grands systèmes de CEP, où des agences gouvernementales et plusieurs communautés seraient impliquées, et là où les usagers seraient soumis aux droits de terre et d'eau coutumiers. On pourra envisager de tels projets uniquement dans les cas où il n'y a pas de tels droits coutumiers et où le système de CEP pourrait être une innovation en soi. Enfin, le fonctionnement et le maintien d'un grand système de CEP étant complexe, il faudra veiller à établir, dans ces cas-là, des Associations d'Usagers d'Eau Agricole qualifiées, ou qualifier celles existantes avec des formations spécifiques en CEP et recouvrir les coûts par des frais de service.

En milieu urbain. La CEP est devenue un outil important pour limiter les coûts de fonctionnement et d'opération des infrastructures de drainage et d'assainissement. Plus on laisse l'eau infiltrer les surfaces perméables, et/ou qu'on le dirige vers des citernes, réservoirs souterrains, ou même dépressions naturelles, moins on devra construire des grandes canalisations de drainage, de grands fossés et de grandes installations de pompage. Les nouveaux schémas d'aménagement urbanistiques devront intégrer la CEP et se conformer au texte de la nouvelle loi sur l'eau 36-15.

Ces dernières années, beaucoup de systèmes sophistiqués et efficaces, mais parfois aussi chers, ont été construits dans des quartiers urbains modernes et récents (voir les fiches techniques du chapitre 4). Le coût de certaines de ces réalisations de CEP reste un facteur qui limite leur déploiement.

³Voir aussi Chap. 10 des « Guidelines on Spate Irrigation », FAO, Rome, 2010

4

Fiches techniques

Recommandations pour l'utilisation des fiches techniques

Publics cibles

Utilisation des fiches techniques

Liste des fiches techniques

- Milieu urbain
- Milieu rural
- Aménagement des bassins versants



4.1 Recommandations pour l'utilisation des fiches techniques

4.1.1 Public cible

Ce catalogue est un outil technique qui vise à partager l'information, se voulant un référentiel, il peut servir à plusieurs usages, aussi diverses que les cibles qu'il adresse, notamment :

- Les décideurs aux niveaux local, régional ou national ;
- Les ingénieurs du génie rural et ceux impliqués dans le développement rural ;
- Les ingénieurs communaux et municipaux ;
- Les bureaux d'études techniques ;
- Les ONG (organisation non-gouvernementales) ;
- Le personnel administratif des agences gouvernementales ;
- Le personnel des organisations internationales engagé dans la gestion des ressources naturelles et le développement ;
- Le personnel des instituts de recherche de la gestion durable des eaux et des sols ;
- Les formateurs (université, secteur publique et privé) ;
- Les particuliers ;
- Les entreprises de construction ;
- Les étudiants, les corps enseignants.

4.1.2 Utilisation des fiches techniques

Les fiches techniques contenues dans ce catalogue ont pour objectif la sensibilisation, l'information et la formation. Ainsi, elles sont classées en trois groupes, 1/ milieu urbain, 2/ milieu rural et 3/ aménagement des bassins versant, et comportent chacune plusieurs parties allant des généralités aux spécifications techniques.

Les différents paragraphes contenus dans chaque fiche technique sont les suivants :

- Informations générales : qui donnent une brève description de la technique, avec également les différentes appellations possibles de la bonne pratique,
- Possibilités d'utilisation de l'eau collectée : qui donnent une pondération des différentes alternatives d'utilisation possibles de l'eau collectée. Pour les bonnes pratiques dont la quantité et les conditions de stockage permettent l'utilisation comme eaux de consommation, des mesures particulières d'hygiénisation doivent être prises avant toute utilisation,
- Conditions d'implantation : qui définissent le domaine d'application technique de la bonne pratique. En plus des contraintes techniques, des contraintes politiques ou des réticences de la population avoisinante peuvent s'appliquer au choix de la technique,
- Techniques alternatives : qui informent sur les différentes alternatives techniques possibles par rapport aux contraintes budgétaires, techniques ou climatiques. Il est préférable de choisir la bonne pratique qui s'adapte techniquement et économiquement à la situation afin de faciliter son acceptation par les bénéficiaires,
- Données techniques : qui décrivent le principe de fonctionnement, les critères et les étapes de conception. Cependant, des modifications peuvent être observées dans l'application de la technique dans certains cas en vue d'une adaptation aux conditions locales,
- Avantages et inconvénients : qui permettent de bien apprécier chaque bonne pratique en tant que telle, et en mesurer correctement tous les impacts escomptés,
- Liste des matériaux et coûts : qui renseignent sur les différents matériaux utilisables pour la réalisation de la technique ainsi que l'ordre de grandeur des coûts, à titre informatif. Il est préférable de choisir des matériaux disponibles localement et d'opter pour la main d'œuvre locale dans la mesure du possible afin d'optimiser les coûts de réalisation,
- Etapes de réalisation : qui donnent la chronologie des actions à entreprendre pour la réalisation de la technique. Elles sont scindées respectivement en trois groupes :

- Préalables : qui concernent les études de faisabilité et la conception des aménagements. Une étude technico-économique devra être effectuée à long terme pour juger de la nécessité de l'aménagement surtout ceux qui nécessitent de grands investissements.
 - Exécution : qui est la réalisation proprement dite des installations.
 - Test : qui est une évaluation de la technique en vue de sa validation.
 - Suivi : qui consiste au suivi à long terme du fonctionnement de la technique.
- Entretien et maintenance : qui décrivent les actions à entreprendre pour prévenir ou corriger les éventuelles destructions des aménagements, et s'assurer de leur bon fonctionnement. La fréquence des opérations peut être adaptée à chaque situation. Certaines opérations peuvent également être ajoutées ou retranchées selon les situations,
 - Expériences réussies : qui donnent des exemples réussis de la bonne pratique au Maroc ou dans d'autres pays de la région MENA, d'Afrique, d'Asie, d'Amérique Latine, d'Europe ou d'Amérique du Nord,
 - Recommandations : qui donnent des conseils pour la bonne réussite de la technique et dans certains cas des conseils sur la répartition géographique de la technique au Maroc.
 - Références : qui indiquent les différentes sources d'informations utilisées pour la réalisation de la fiche technique.

Pour les techniques nécessitant une expertise technique, il est fortement recommandé de s'assurer d'un personnel qualifié pour la conception, la réalisation et s'il le faut la maintenance également.

4.2 Liste des fiches techniques

Les fiches techniques développées dans ce guide constituent, chacune prise à part, une solution particulière contribuant à la collecte et valorisation des eaux pluviales. Chaque solution à sa portée et son contexte précis d'utilisation ; selon les cas, elle peut être mise en œuvre seule ou en association avec une ou plusieurs autres techniques de CEP.

		Nombre de fiches techniques
Milieu urbain		12
Milieu rural	Micro-captage	13
	Macro-captage	10
Aménagement des bassins versants	Aménagement végétal	7
	Aménagement mécanique	4
Total		46

Milieu Urbain



01. Toiture verte / végétalisée

P : 62



05. Structures alvéolaires ultra légères (SAUL)

P : 78



09. Puits d'infiltration

P : 92



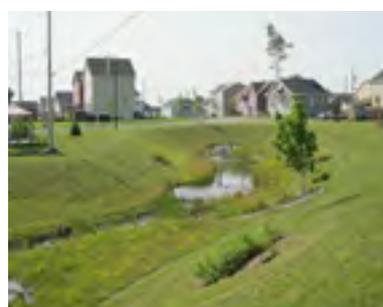
02. Mur vert / végétalisé

P : 66



06. Rigoles / Caniveaux

P : 82



10. Bassin de rétention ou d'infiltration

P : 96



03. Collecte d'eau de toiture

P : 70



07. Fosses et Noués

P : 85



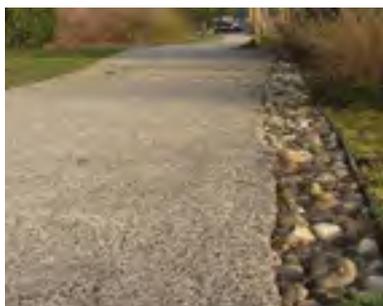
11. Ouvrages de stockage d'orage

P : 99



04. Pavé drainant et chaussée réservoir

P : 74



08. Tranchée d'infiltration

P : 89



12. Déversoir d'orage

P : 102

Milieu Rural

Systeme de micro-captage



13. Collecte de l'eau de toiture
P : 108



17. Negarim
P : 121



21. Paillage
P : 134



14. Cuvettes
P : 112



18. Billonnage
P : 125



22. Techniques de labour et de travail du sol
P : 138



15. Demi-lunes
P : 115



19. Banquettes
P : 128



23. Terrasses
P : 141



16. Systeme Vallerani (VS)
P : 118



20. Cordons pierreux
P : 131



24. Irrigation par jarre
P : 144

Milieu Rural

Système de micro-captage



25. Bois Raméal Fragmenté (BRF)

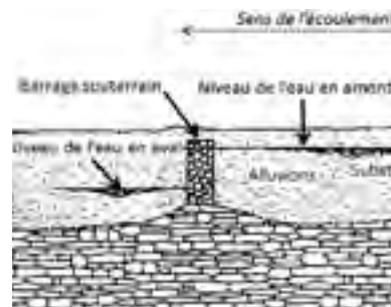
P : 149

Système de macro-captage



29. Seuil d'épandage des eaux de crues

P : 164



33. Barrages souterrains

P : 179



26. Tabia

P : 154



30. Lacs collinaires

P : 167



34. Collecte des eaux de brouillard

P : 182



27. Jessour

P : 157



31. Mafia

P : 170



35. Seguia

P : 186



28. Seuil d'infiltration

P : 160



32. Khattara

P : 174

Aménagement des bassins versants

Aménagement végétal



36. Reboisement

P : 192



37. Haies antiérosives

P : 195



38. Haies vives

P : 198



39. Bandes enherbées

P : 201



40. Fascines

P : 204



41. Forêt riveraine ou ripisylve

P : 208



42. Jardin agroécologique

P : 211

Aménagement mécanique



43. Diguettes filtrantes

P : 215



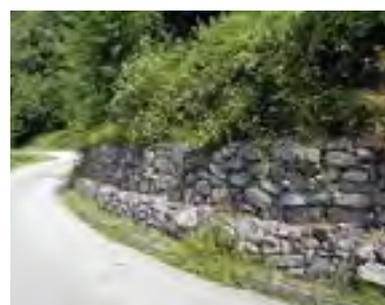
44. Mur de soutènement en pierres

P : 218



45. Seuil en Gabions

P : 221



46. Mur de soutènement en gabions

P : 225

Milieu Urbain

01. Toiture verte / végétalisée	62
02. Mur vert / végétalisé	66
03. Collecte d'eau de toiture	70
04. Pavé drainant et chaussée réservoir	74
05. Structures alvéolaires ultra légères (SAUL)	78
06. Rigoles / Caniveaux	82
07. Fosses et Noues	85
08. Tranchée d'infiltration	89
09. Puits d'infiltration	92
10. Bassin de rétention ou d'infiltration	96
11. Ouvrages de stockage d'orage	99
12. Déversoir d'orage	102



01

Toiture verte / végétalisée

Milieu urbain

Informations générales

Un toit vert ou toiture végétale/végétalisée est un toit plat ou à faible pente, recouvert d'un substrat pouvant supporter une structure végétale. En plus de retenir les eaux de pluie, les toitures végétalisées contribuent à améliorer le confort thermique des bâtiments, tout en constituant un atout considérable à l'aménagement paysager.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Pluviométrie (seuil minimal),
- Capacité du toit à supporter la charge supplémentaire du substrat végétalisé,
- Très bonne étanchéité du toit,
- Bonne exposition du toit au rayonnement solaire sur la majorité de sa surface pendant une grande partie de la journée,
- Existence d'une source d'eau alternative pour l'arrosage,
- Facilité d'accès pour l'entretien.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Citerne,
- Puits d'infiltration,
- Tranchée d'infiltration,
- Bassin de rétention,
- Fossés et noues.



Figure 1 : Toiture végétalisée (source : Inter-Environnement Bruxelles - Aménager votre habitation pour mieux préserver le « patrimoine-eau » de la région. <http://www.ieb.be/IMG/pdf/gestioneaupluie.pdf>)

Données techniques

Une toiture végétale comprend la pose de différentes membranes d'étanchéité et d'isolation permettant d'installer sur la structure d'un toit traditionnel une couche de terre appelée substrat, sur laquelle pousseront des végétaux.

Il existe deux principaux types de toits verts à savoir les toits verts extensifs et intensifs.

Les toits verts extensifs (TE) sont conçus pour les bâtiments avec un toit conventionnel. Ils ont un substrat peu épais, généralement un terreau minéral composé d'un mélange de sable, de gravier, de briques concassées, de boulettes d'argile, de tourbe, de matières organiques et d'un peu de terre. Ils comportent de petites plantes (issues de semis), indigènes et rustiques pour les milieux alpins ou arides (Figure 2).

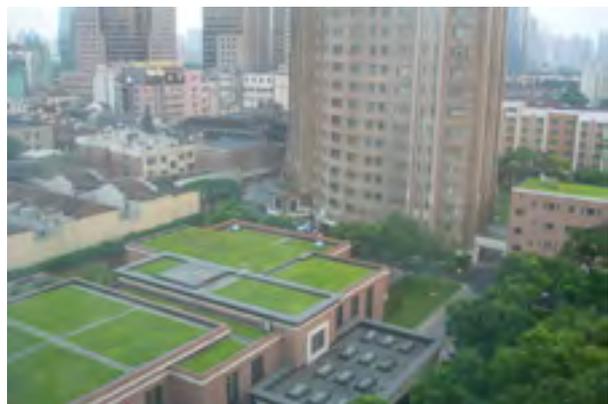


Figure 2 : Toits verts extensifs (source : <https://www.flickr.com/photos/kafka4prez/41572747/>)

Les toits verts intensifs (TI) permettent d'aménager des terrasses jardins et des espaces publics et sont généralement utilisés pour de grands bâtiments. Ils ont un substrat plus épais, composé principalement de terre et pouvant accueillir des plantes dont les racines sont plus matures et profondes (figure 3).



Figure 3 : Toit vert intensif, Etats Unis (source : <http://ocpm.qc.ca/sites/ocpm.qc.ca/files/pdf/41/8aa.pdf>)

Le toit extensif peut être réalisé au cours des travaux d'aménagement du bâtiment alors que la réalisation d'un toit intensif doit forcément être prise en compte pendant la conception du bâtiment.

Type de toit vert	Extensif	Intensif
Epaisseur	5 à 15 cm	20 à 60 cm
Poids à saturation d'eau	30-150 kg/m ²	> 350 kg/m ²
Végétation	Sédums généralement	Herbacées, arbustes, arbres
Pente du toit	0 à 45 degrés	Toits plats uniquement
Accès	non	oui

Tableau 1 : Comparaison entre le toit extensif et le toit intensif

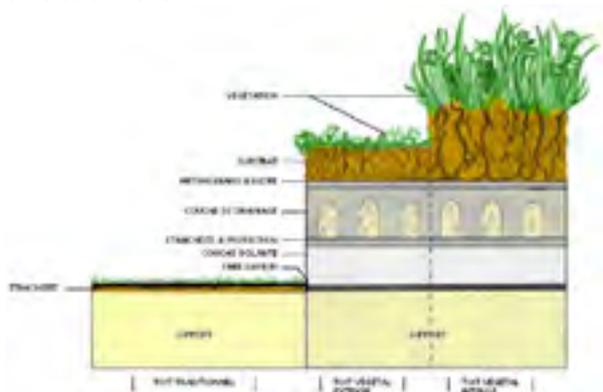


Figure 4 : Coupe d'un toit végétal intensif et extensif (source : <http://www.apte-asso.org/a-voir-ou-telecharger/eco-construction/toiture-vegetale>)

Pour les toits dont l'inclinaison est inférieure à 5%, la couche de drainage joue également le rôle de stockage temporaire d'eau. Elle est dimensionnée comme suit :

$$H = V / (S \times P)$$

Avec :

- H : épaisseur de la couche.
- V : volume d'eau à stocker.
- S : surface du toit.
- P : porosité du matériau utilisé.

La couche de drainage est facultative pour les toits dont l'inclinaison est supérieure à 5 %. Cependant, des structures supplémentaires s'avèreront nécessaires telles que les matériaux et panneaux de drainage, les canalisations, les baquets de rétention de substrat, etc. La terre de jardin ne convient pas pour les toitures vertes car elle se compacte et s'acidifie facilement. Des substrats spécialement conçus pour la végétalisation des toits existent dans le commerce.

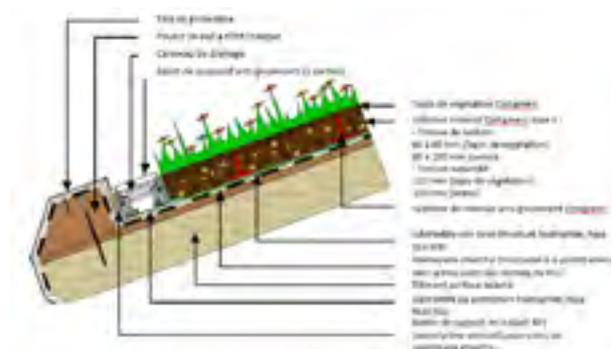


Figure 5 : Coupe d'un toit végétal incliné (Source : <https://dSPACE.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68039/F1-DP-2017-Jerabek-Michal-DIPLOMOVA%20PRACE.pdf?sequence=1>)

Avantages / Inconvénients

	Toit extensif	Toit intensif
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain ; • Réduction du ruissellement ; • Contribution à la purification de l'air ; • Isolation thermique et sonore du bâtiment ; • Protection de la biodiversité ; • Protection de la durée de vie du toit 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité de plantes et d'habitats ; • Meilleures propriétés isolantes ; • Plus grande efficacité énergétique et de rétention d'eau ; • Plus ornemental ; • Accessible.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité de main d'œuvre qualifiée • Faible isolation thermique ; • Choix de plantes plus restreint ; • Rarement accessible ; • Moins esthétique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte charge sur le toit ; • Nécessité de systèmes d'irrigation et de drainage ; • Coûts plus élevés de réalisation et d'entretien ; • Systèmes et expertise plus complexes.

Liste des matériaux et coûts

Élément	Matériaux
Élément porteur	TE : béton, bois et acier TI : Béton
Revêtement d'étanchéité	Bicouche en membranes bitumeuses traitées anti- racine ou asphalte coulé
Couche drainante	Agrégats minéraux poreux, argile expansée, matériaux alvéolaires, éléments synthétiques pré moulés, matelas de drainage synthétiques
Couche filtrante	Matériaux non tissés synthétiques en polyester ou polyéthylène
Substrat	TE : éléments organiques (tourbe, compost, terreau de feuilles...) avec minéraux (pierre de lave, pierre ponce, argile expansée...) TI : terre végétale
Dispositif de séparation zone stérile et zone végétalisée	Bande métallique ou bordure préfabriquée en béton ou en brique
Protection de l'étanchéité de la zone stérile	gravillons (granulométrie > 15 mm), dalles préfabriquées en béton ou en bois posées sur la couche drainante ou sur plots

Tableau 2 : Matériaux utilisés pour la construction d'un toit vert plat

La réalisation d'un toit vert coûte 450 MAD / m² / hors taxes par l'étanchéité du toit exclu (Source : Green Design Nomad).

Selon la nature des végétaux, il faut compter entre 800 et 1.200 MAD le mètre carré pour la plantation du toit.

Étapes de réalisation

Préalables

- Vérifier les conditions d'ensoleillement sur le toit à végétaliser ;
- Vérifier l'étanchéité et la résistance du toit (de préférence par un ingénieur ou un architecte)

Exécution

- Le toit ne devrait pas dépasser 10 ans d'âge et il est conseillé de le mettre en eau pendant 48 à 72 heures ;
- Refaire l'étanchéité si besoin et la vérifier par un test en eau 48 à 72 heures ;
- Poser sur la structure étanche une membrane en polyéthylène gaufrée qui va créer un espace de drainage de 10 mm de haut environ et diriger l'eau de pluie vers le drain ou les gouttières du toit ;
- Recouvrir la membrane par un premier film géotextile pour éviter le colmatage par les fines particules du substrat puis d'un deuxième film géotextile anti-racine (polyéthylène tissé) ;

- Mettre en œuvre la couche de substrat. Ce dernier doit avoir une grande capacité d'absorption et de rétention d'eau, tout en favorisant librement son écoulement ;
- Procéder à la plantation du substrat.



Figure 6 : Plantation des végétaux sur un substrat de toiture végétalisée (Source : <https://www.toiture-bio.com/>)

Entretien et maintenance

- Deux visites annuelles sont recommandées : l'une avant la période estivale afin de contrôler les avaloirs, les descentes d'eaux pluviales, etc., et l'autre après la période automnale afin d'enlever les feuilles mortes, les mousses et espèces parasitaires ;
- Dans le cas des végétations intensives, un arrosage peut être prévu, ainsi qu'une taille et une tonte des végétaux présents ;
- Le désherbage des végétaux indésirables doit être effectué pour chaque type de toiture.

Expériences réussies



Figure 7 : Toiture végétalisée du parking végétal de Hay Riad, Maroc (Source : Compagnie Générale des Parkings – Groupe CDG)

Description du projet :

Le projet consiste à réaliser un parking sur deux sous-sols de 600 places, la surface bâtie est de 16000 m²

Lieu : Hay Riad, Rabat, Maroc

Objectifs : Environnementaux et esthétique

Année de réalisation : 2005-2007



Figure 8 : Toiture mixte : végétaux et panneaux photovoltaïques, Bâle, Suisse (Source : Inter-Environnement Bruxelles)

Description du projet :

Surface : 16000 m²

Type : extensif

Épaisseur de substrat : 7 cm

Végétation : sédums + végétation naturelle

Lieu : Bâle, Suisse

Objectifs : environnementaux et esthétiques

Année de réalisation : réalisé en rénovation du bâtiment en 1999

Recommandations

Choisir des espèces endémiques pour les toits. Les toitures vertes peuvent être couplées à des panneaux solaires et contribuent ainsi à tempérer leurs effets.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Ernst & Young, (2009). Etude pour la définition d'une démarche de développement des toitures végétalisées
2. Laroche, D., Mitchell, A.M. et Péloquin, S., (2004). Les toits verts aujourd'hui ; c'est construire le Montréal de demain
3. Peck, S. et Kuhn, M. - Lignes directrices de conception de toits verts. <http://www.cebq.org/documents/Lignesdirectricesdeconceptiondetoitsverts.pdf>
4. <http://www.toitureverte.com/toits-vegetaux-extensifs/>
5. <http://www.natureparif.fr/attachments/Documentation/livres/Toitures-vegetalisees.pdf>
6. <http://www.isoltop.com/La-toiture-vegetalisee.html>
7. ADOPTA, (2009). Fiche technique n°8 - La toiture verte
8. <http://www.optigreen.fr/SystemSolutions/Pitched-Roof-Layer2b.html>
9. http://www.agpi.org/documents/file/colloques/2009/T7_COLLOQUE_AGPI_2009-2_O_Beliveau_A_Trottier.pdf
10. http://www.ecologieurbaine.net/files/imce/toitures_vegetales_implantation_de_toits_verts_en_milieu_institutionnel_2007.pdf
11. Boucher, I., (2006). Les toits verts

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

02 Mur vert / végétalisé

Milieu urbain

Informations générales

Un mur vert/ végétalisé est un écosystème vertical conçu comme une œuvre d'art ou un noyau écologique servant à recouvrir les façades. C'est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment. Selon son orientation et sa composition, le mur végétal servira à la fois d'écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement mais également la pollution, et constituera aussi un élément de décoration et d'esthétique.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Bonne exposition à la lumière ;
- Conditions de températures favorables au développement des plantes ;
- Possibilité d'arrosage alternative.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Citernes ;
- Toitures vertes ;
- Tranchées d'infiltration ;
- Ilots d'infiltration.



Figure 1 : Mur végétalisé Kitéa géant, Rabat - Maroc (Source : AGIRE/GIZ)

Données techniques

Un mur végétalisé est constitué de 3 grands ensembles :

- La structure primaire qui permet d'arrimer le mur végétal à la façade tout en réservant un espace ventilé de quelques centimètres avec le mur porteur. Cet espace peut permettre d'installer un isolant extérieur ;
- Le mur végétal proprement dit qui est un assemblage du contenant et du substrat :
 - Le substrat doit avoir des propriétés mécaniques, physiques et biochimiques adéquates pour protéger et optimiser le développement des plantes,
 - Le choix du contenant dépend de la nature et du poids du substrat.
- Le système d'irrigation qui constitue la clef de réussite du système. La solution d'irrigation doit contenir de l'engrais dilué à raison de 0,1 g/l en moyenne afin de permettre un bon développement des plantes.

Il existe plusieurs types de murs végétalisés mais le plus connu et le plus simple à concevoir est le mur appelé « Patrick Blanc » ou la technique feutrine.

La technique du botaniste Patrick blanc repose sur une constatation scientifique : pour prospérer, une plante n'a pas besoin de terre mais d'une surface stable ou les racines peuvent se fixer, d'une réserve d'eau et de sels minéraux.

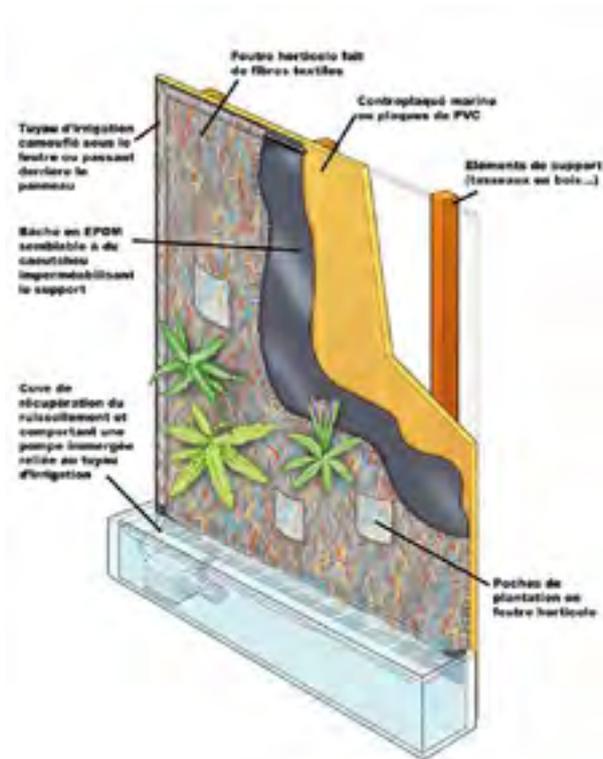


Figure 2 : Composition d'un mur végétalisé (Source : Med & Fuchs, 2009)

Structure du mur végétal	Cadre métallique Plaque en PVC Feutrine Plantes
Technique de plantation	Sur site après installation de la feutrine
Effet visuel à l'installation	50 % de couverture végétale
Poids	15 à 20 kg/m ²
Consommation d'eau en été	Externe : 8 à 10 l/m ² /jour Interne : 2 l/m ² /jour
Autonomie sans irrigation en été	24 heures

Tableau 1 : Caractéristiques du mur végétal « Patrick Blanc »

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de mise en œuvre ; Bonne intégration paysagère ; Réduction de l'effet d'îlot de chaleur ; Bonne isolation thermique et acoustique du bâtiment ; Enrichissement de la biodiversité en milieu urbain ; Purification de l'air en milieu urbain ; Contribution à la gestion du cycle de l'eau par l'évapotranspiration.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de savoir-faire technique pour la conception et l'installation ; Consommation élevée d'eau et d'énergie pour l'arrosage ; Très sensible au stress hydrique ; Suivi et entretien réguliers ; Coûts de réalisation et d'entretien élevés surtout pour un système mal conçu.

Liste des matériaux et coûts

Composantes	Matériaux
Structure primaire	Cadre métallique en acier de préférence (non corrosif et léger)
Support	Tasseaux de bois
Substrat	"Succession de : plaques de PVC bâche en EPDM plaques de feutres de polyamide"
Système automatisé d'irrigation	Bac de stockage d'eau, électrovannes, programmateur, filtre, régulateur de pression et pompe doseuse d'engrais.
Plantes	Anthurium, Asparagus, Ficus rampant, Calathéa, Spathiphyllum, Bégonias, etc.

Tableau 2 : Matériaux de construction d'un mur végétal « Patrick Blanc »

La réalisation d'un mur végétal coûte 2000 DH/m² approximativement. (Source : Société GREEN DESIGN NOMAD)

Étapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante et vérifier les conditions d'exposition de la façade à la lumière ;
- Définir l'objectif de réalisation du mur végétal (esthétique, biodiversité, intégration paysagère...) ;
- Concevoir le mur végétal ;
- Choisir les végétaux et les matériaux compatibles, disponibles et adéquats.

Exécution

- Placer le cadre métallique, servant de support, parallèlement et à quelques centimètres de la façade du bâtiment ;
- Fixer des plaques de PVC expansé de 10 mm d'épaisseur sur le cadre métallique pour isoler le mur du bâtiment de l'humidité du mur végétal ;
- Couvrir les plaques avec une bâche en EPDM (Éthylène Propylène Diène Monomère) pour imperméabiliser le support ;
- Installer le système d'irrigation ;
- Agrafer des plaques de feutre de polyamide de 6 cm d'épaisseur sur la bâche pour servir de support aux plantes, les racines s'incrétant et se fixant dans la matière ;
- Procéder à la plantation en incisant au cutter le feutre et en y implantant la micro-motte avec le plant. La densité de plantation dépend des espèces végétales plantées et de leur développement. Elle est comprise entre 20 et 30 plants par m².

Test

- Vérifier le bon fonctionnement du système d'irrigation, et la circulation de l'eau dans le substrat ;
- Vérifier l'étanchéité du support.

Suivi

- Vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble du mur végétal ;
- Vérifier le bon développement des plantes et adapter le dosage de l'engrais si nécessaire ;
- Evaluer l'impact du mur végétal sur l'isolation thermique et acoustique du bâtiment.

Entretien et maintenance

- Entretien des jeunes plantes tous les deux ans ;
- Entretien des plantes bien développées chaque année ;
- Vérifier les supports et fixations tous les cinq ans ;
- Tailler régulièrement les végétaux autour des ouvertures, prises d'air, cheminées, de manière à ce que la végétation ne guide pas des espèces indésirables ou invasives vers les espaces intérieurs.

Expériences réussies



Figure 3 : Pont Max-Juvenal avant le mur végétal, Aix-en-Provence



Figure 4 : Pont Max-Juvenal avec le mur végétal, Aix-en-Provence (Source : <http://www.monclimatmasante.qc.ca/murs-vegetalisés-à-aix-en-provence.aspx>)

Description du projet :

Surface du mur : 650 m²
Densité de plantation : 30 à 35 plantes/m²
Total : environ 20 000 plantes

Lieu : Aix-en-Provence, France

Objectifs : Embellissement et assainissement de l'air

Année de réalisation : 2008



Figure 5 : Carrefour Market, Rabat - Maroc (Source : GIZ/AGIRE)



Figure 6 : Mur végétalisé Kitéa géant, Rabat - Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Recommandations

- Choisir une pompe adaptée à la hauteur du mur ;
- Installer un système de captage des eaux pluviales pour les réutiliser dans le circuit d'irrigation ;
- Consulter un agronome ou un botaniste pour le choix des espèces à planter selon le climat et l'exposition du mur ;
- Bien optimiser le système d'irrigation et recycler si possible, les eaux pluviales pour réduire la consommation en eau.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Sebastien Crepieux, (2011). Les murs végétaux ou jardins verticaux. Plant Design SPRL. La revue architrave n° 170
2. Med Bouattour et Fuchs Alain, (2009). la végétalisation des bâtiments. Direction Régionale de l'Equipeement d'Ile-De-France
3. <http://www.greendesignnomad.com/>
4. <http://www.murmurevegetal.com/mur-vegetal/principes-mur-vegetal>
5. <http://www.monclimatmasante.qc.ca/murs-végétalisés-à-aix-en-provence.aspx>
6. <http://fabienneli.over-blog.org/article-les-murs-vegetaux-de-patrick-blanc-95833287.html>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

03 Collecte d'eau de toiture

Milieu urbain

Informations générales

La récupération des eaux pluviales à partir des toitures consiste à collecter dans un réservoir et à travers un système de drainage les eaux de pluies qui tombent sur les toits. Cela permet de garantir une disponibilité d'eau surtout pendant les périodes sèches, et satisfaire les différents besoins d'un ménage.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Partout ;
- Au moins de 300 mm/an de précipitations ;
- Dans les cours, sous-sol de bâtiment ;
- Profondeur de sol suffisante pour enterrer le réservoir.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Toitures vertes ;
- Puits d'infiltration ;
- Tranchée d'infiltration ;
- Drainage de l'eau du toit directement vers un jardin.



Figure 1 : Schéma d'un système de collecte d'eau de toiture en milieu urbain (Source : <https://www.systemed.fr/conseils-bricolage/recuperer-l-eau-pluie-installer-cuve-enterree,2499.html>)

Données techniques

Un système de collecte d'eau de pluie est constitué essentiellement de trois grandes composantes :

- Un impluvium qui sert de surface de collecte ;
- Un système de drainage constitué des gouttières, du tuyau de descente et des filtres ;
- Un réservoir de stockage enterré ou surélevé ;
- Des ouvrages annexes (filtres, prise d'eau, trop-plein, etc.).

En milieu urbain, les réservoirs sont généralement enterrés (figure 2).

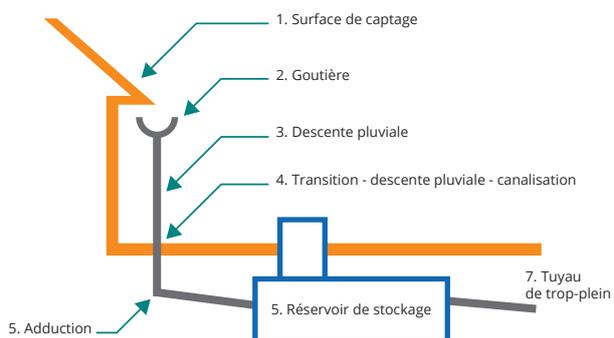


Figure 2 : Composantes d'un système de collecte d'eau de toiture (Source : GIZ/Agire)

La démarche de conception d'un système de collecte d'eau de toiture suit les étapes suivantes :

Estimation de la demande en eau non nécessairement potable

La demande annuelle en eau est estimée en utilisant l'équation suivante :

$$D = (\text{Dot} \times N + X) \times 10^{-3} \times 365 \text{ jours}$$

Avec :

- D : demande annuelle en eau en m³ ;
- Dot : dotation journalière d'eau en l/habitant/jour ;
- N : nombre d'habitants du ménage ;
- X : demande journalière pour les autres besoins (arrosage, etc.) en l/jour.

Cette équation permet une approximation de la demande, et ne tient pas compte des variations des besoins en fonction de la tranche d'âge et des saisons.

Conception du système de drainage

Les gouttières existent sous diverses formes, et elles sont dimensionnées selon Worm (2006) comme suit :

- Section transversale de la gouttière : prévoir 1 cm² de section transversale par m² de surface de toiture ;
- La longueur de la gouttière est imposée par la longueur de la toiture.

Calcul du volume de réservoir nécessaire

Il existe plusieurs approches pour calculer le volume du réservoir suivant l'objectif recherché :

• Approche basée sur la pluie de projet

C'est la méthode la plus utilisée. L'estimation du volume du réservoir se base sur la pluie décennale.

$$V_r = P_{10} \times 10^{-3} \times S \times C_e$$

Avec :

- V_r : Volume du réservoir en m³ ;
- P₁₀ : hauteur de la pluie décennale en mm ;
- S : surface de la projection horizontale du toit en m² (figure 3) ;
- C_e : Coefficient d'écoulement du toit.

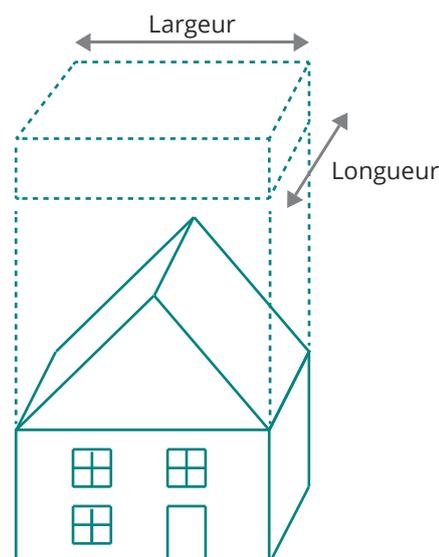


Figure 3 : Plan horizontal de la superficie du toit (Source : GIZ/Agire)

• Approche basée sur l'approvisionnement (méthode graphique)

C'est une méthode graphique. Elle est plus précise et permet de maximiser la collecte.

L'approvisionnement mensuel A_{pi} se calcule comme suit :

$$A_{pi} = P_i \times 10^{-3} \times S \times C_e$$

Avec :

- A_{pi} : approvisionnement mensuel en m³ ;
- P_i : précipitation moyenne mensuelle en mm ;
- S : surface de la projection horizontale du toit en m² (figure 3) ;
- C_e : Coefficient d'écoulement du toit.

Les étapes du calcul sont les suivantes :

- Tracer sur un graphe l'approvisionnement moyen mensuel en barre, et la demande moyenne mensuelle en ligne, et ce pour chaque mois ;
- Tracer sur le même graphe le cumul des approvisionnements mensuels ;
- Ajouter sur ce graphe une ligne en pointillés correspondant au cumul de la demande mensuelle en eau.

Le volume adéquat du réservoir correspond à la plus grande différence entre le cumul de l'approvisionnement et le cumul de la demande pour chaque mois, majorée de 5 m³. Cette méthode peut être résumée dans la formule suivante :

$$V_r = \max(\sum_i (P_{mi} \times 10^{-3} \times S_i \times C_e) - \sum_i (D_i)) + 5$$

Avec :

- P_m : pluies mensuelles en mm ;
- D : demande mensuelle en eau en m³ ;
- S : surface du toit en m² ;
- I : mois de l'année.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la disponibilité en eau ; • Réduction de la consommation en eau potable ; • Limitation des débits de pointe dans les réseaux d'assainissement par temps de pluie ; • Réduction du coût de réalisation des réseaux d'assainissement ; • Réduction des rejets au milieu naturel par temps de pluie.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien spécifiques ; • Risque de pollution accidentelle ; • Coût de réalisation élevé ; • Qualité variable de l'eau.

Liste des matériaux et coûts

Le choix des matériaux dépend des conditions locales, des matériaux disponibles, du type d'utilisation de l'eau collectée et du budget disponible. Les différentes possibilités de choix de matériaux pour chaque composante sont présentées dans le tableau 1.

Composantes	Matériaux
Impluvium	Tous matériaux (béton, plastique ondulé, tuiles, tôles), sauf la chaume, le bitume, l'amiante ciment et les matériaux contenant du plomb.
Gouttières	Aluminium, acier galvanisé, PVC, ...
Filtre	Tamis en acier inoxydable
Tuyau de descente	Aluminium, acier galvanisé, PVC,...
Réservoir	PVC, ferrociment, ou du béton surtout en cas d'un réservoir enterré.
Prise d'eau	Robinet (RS), pompe (RE)
Trop plein	Aluminium, acier galvanisé, PVC,...

Tableau 1 : Matériaux utilisés dans la construction d'un système de captage d'eau de toiture

Le coût d'installation d'un système de collecte d'eau de toiture varie entre 8000 et 70 000 DH selon la taille et le type de réservoir, des matériaux utilisés, et de l'utilisation de l'eau, (Adapté de <http://www.les-energies-renouvelables.eu/energies-renouvelables/quel-est-le-prix-dune-installation-de-recuperation-deau-de-pluie-.html>).

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante et évaluer les besoins en eau ;
- Vérifier la compatibilité et l'étanchéité du toit existant ;
- Mesurer la surface de captage et évaluer la disponibilité en eau pluviale ;
- Réaliser la conception de la technique appropriée à implémenter.

Exécution

- Choisir l'emplacement adéquat du réservoir et dresser et compacter le lit de pose ;
- Creuser la tranchée de passage des tuyaux de descente et le trou où sera disposé le réservoir ;
- Disposer les gouttières avec une inclinaison régulière ;



Figure 4 : Creusement des tranchées pour la disposition des tuyaux de descente (Source : <https://blog-maison-ecologique.fr/maison-ecologique/maison-ecologique-installation-dune-cuve-enterree-de-recuperation-deau-de-pluie>)

- Disposer les tuyaux de descente ;
- Poser le réservoir de stockage et le raccorder à l'extrémité des tuyaux de descente.



Figure 5 : Pose du réservoir de stockage (Source : <https://blog-maison-ecologique.fr/maison-ecologique/maison-ecologique-installation-dune-cuve-enterree-de-recuperation-deau-de-pluie>)

- Pour garantir la qualité de l'eau stockée, il faut prendre certaines précautions telles que :
 - Placer un filtre grossier entre la gouttière et l'entrée du réservoir ;
 - Placer un autre filtre plus fin selon le type d'utilisation de l'eau au niveau de la prise d'eau ;
 - Prévoir un dispositif d'évacuation du premier flot.
- Recouvrir les tuyaux de descente et le réservoir par le déblai.

Test

- Inspecter le système après la 1ère pluie et vérifier l'étanchéité de toutes les composantes du système ;
- Vérifier le bon fonctionnement des filtres ;
- Réparer les éventuelles fuites.

Entretien et maintenance

- Inspecter le système deux fois par saison pluvieuse
- Vérifier régulièrement s'il y a des fuites et fissures à réparer dans le système ;
- Réparer les éventuelles fuites.
- Nettoyer le toit, les gouttières et le réservoir à la fin de chaque saison sèche ;
- Nettoyer ou remplacer les éventuels filtres ;
- Laver l'intérieur du réservoir avec une solution d'eau de javel après chaque vidange puis rincer à l'eau 36 heures après, avant de l'utiliser à nouveau.

Expériences réussies



Figure 6 : Construction achevée d'un réservoir de stockage d'eau de pluie (<http://royaumedeoile.fr/maison/une-cuve-a-eau-de-pluie/>)

Description du projet :

Construction d'un système de collecte d'eau de toiture répondant aux normes dans les conditions françaises, pour un particulier
Surface du toit : 160 m²
Volume du réservoir : 8m³

Lieu : France

Objectifs : Récupérer et stocker les eaux de toiture

Coût de réalisation : 130 000 MAD environ

Recommandations

- En cas de disponibilité en eau potable suffisante et en présence d'un sol favorable à l'infiltration, les techniques d'infiltration de l'eau sont plus économiques que le système de collecte d'eau de toiture.

- Dans les régions de faible disponibilité d'eau, l'intégration des systèmes de collecte d'eau de toiture dans les plans architecturaux devrait être encouragée.
- Dans les régions de faible disponibilité d'eau, les systèmes de collecte d'eau de toiture sont à encourager, en plus des constructions à usage d'habitation, sur les édifices à caractère communautaire dont la surface des toits est importante (écoles, mosquées, marchés...).

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. <http://dma-tp.fr/images/installation-cuve-recuperation-eau-de-pluie.jpg>
2. Perraud, A. (2005). La réutilisation des eaux pluviales en milieu urbain.
3. Société Canadienne d'Hypothèques et de Logement - SCHL, (2012). Manuel de lignes directrices sur les installations résidentielles de collecte de l'eau de pluie.
4. Worm, J. (2006). La collecte de l'eau de pluie à usage domestique - Agrodok 43. Fondation Agromisa et CTA
5. Brühlmann, F., (2003). Utilisation judicieuse de l'eau de pluie : possibilités et limites, conseils et critères. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
6. <http://royaumedeoile.fr/maison/une-cuve-a-eau-de-pluie/>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

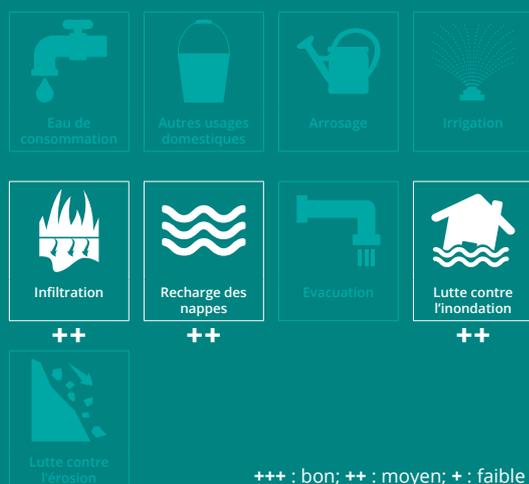
04 Pavé drainant et chaussée réservoir

Milieu urbain

Informations générales

Les pavés drainants sont des revêtements permettant l'infiltration des eaux in situ. L'eau est stockée provisoirement dans les fondations puis évacuée dans le sol. Ils permettent de soulager les égouts et de rétablir le niveau des nappes phréatiques.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Le réservoir de stockage de l'eau doit être à au moins 0,6 m au-dessus du niveau de la nappe et à plus de 30 m d'un point d'approvisionnement en eau potable (puits) ;
- La pente de la surface en pavé du système d'emmagasinement doit avoir une pente comprise entre 1 et 3 % ;
- Domaine d'application : terrains industriels, centres commerciaux, rues résidentielles, parking, pistes cyclables, trottoirs, entrées de garage, terrasses, etc.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Chaussées à structure réservoir ;
- Structures alvéolaires ultra légères (SAUL) ;
- Tranchées d'infiltration.

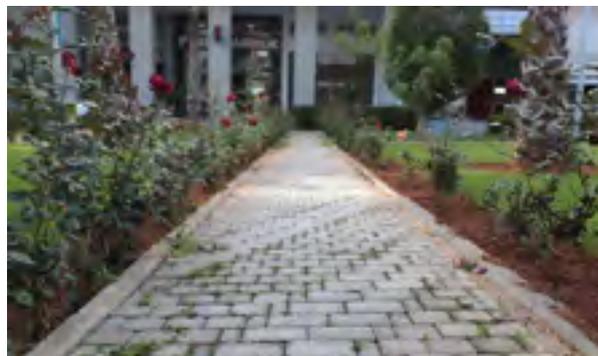


Figure 1 : Revêtement drainant en pavés de béton (Source : CRR, 2008)

Données techniques

Il existe quatre types de pavés drainants :

- Pavé à ouvertures drainantes comportant des cavités au centre ou aux extrémités ;
- Pavé avec écarteurs sur chaque côté créant des espaces au niveau des joints pour le passage de l'eau ;
- Pavé poreux constitué d'un béton poreux de perméabilité $k > 5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s ;
- Pavé vert ou dalle gazon caractérisé par des joints larges (3 à 5 cm) et engazonnés. Il a une capacité d'infiltration faible par rapport aux autres types de pavés.



Figure 2 : Différents types de pavés drainants (Source : CRR, 2008)

Le fonctionnement des pavés drainants est tel que l'eau s'infiltré via le pavé et/ou les joints puis la couche de pose pour atteindre la fondation. L'eau est stockée dans la sous-fondation et s'infiltré dans le sol suivant la perméabilité du sol (figure 3).

Pour des sols imperméables, l'eau est évacuée de manière différée via des réducteurs de débit vers d'autres systèmes de gestion des eaux pluviales (caniveaux...).

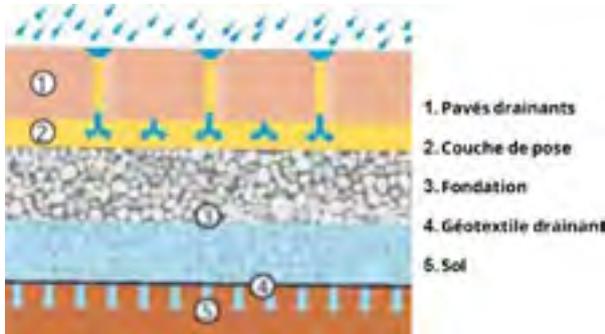


Figure 3 : Fonctionnement d'un pavé drainant (Source : CRR, 2008)

La conception des pavés drainants est fonction de la nature du sol et la charge du trafic que supportera la structure.

Conception de la sous-fondation

La sous-fondation sert à mettre le sol hors gel et à stocker provisoirement l'eau afin de rendre possible l'infiltration ou l'évacuation vers un exutoire si le sol n'est pas assez perméable.

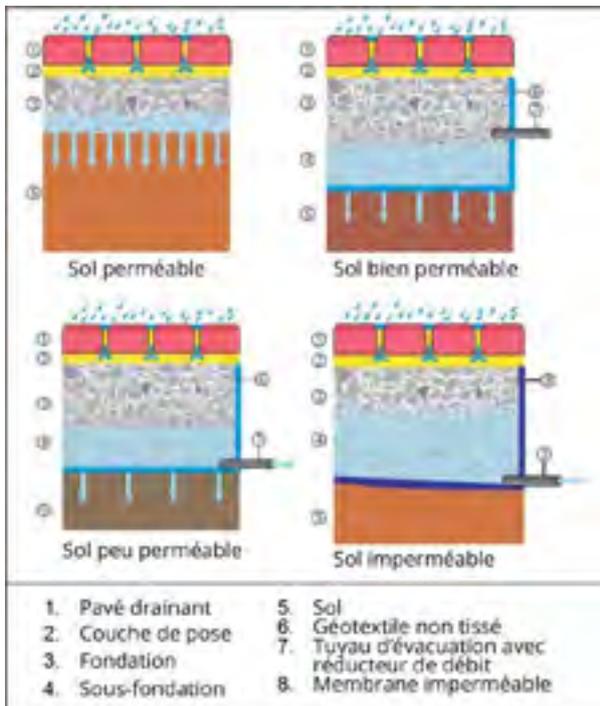


Figure 4 : Evacuation d'eau à travers les pavés drainants suivant la perméabilité du sol (Source : CRR, 2008)

On distingue quatre catégories de sols en fonction du coefficient de perméabilité k :

- Sol perméable ($k > 10^{-4}$ m/s) : une sous-fondation n'est pas nécessaire, ni un drainage supplémentaire ;
- Sol bien perméable ($10^{-4} > k > 10^{-6}$ m/s) ;
- Sol modérément voire peu perméable ($10^{-6} > k > 10^{-8}$ m/s) ;
- Sol imperméable ($k < 10^{-8}$ m/s).

L'épaisseur minimale de la sous-fondation est déterminée comme suit (Source : CRR, 2008) :

$$H_{sf} = V_s / p \times f$$

Avec :

- H_{sf} : épaisseur de la sous-fondation ;
- V_s : volume de stockage nécessaire en m^3/m^2 ;
- p : porosité du matériau de la sous-fondation ;
- f : facteur de sécurité égal à 1,5.

Conception de la fondation

La fondation assure la portance de la structure. Elle est dimensionnée en fonction de la charge du trafic (tableaux 1 et 2).

Catégorie	Type de circulation		
	Piétons, vélos, cyclomoteurs	Véhicules légers (<3,5 t)	Véhicules lourds (>3,5 t)
I	Illimitée	Limité à 5000 par jour	Limité à 400 par jour
II	Illimitée	Limité à 5000 par jour	Limité à 100 par jour
III	Illimitée	Limité à 500 par jour	Limité à 20 par jour
IV	Illimitée	Occasionnelle	Aucune

Tableau 1 : Catégories de trafic (Source : CRR, 2008)

Matériau de la fondation	Epaisseur de la fondation (cm)			
	I	II	III	IV
Béton maigre drainant	-	20	15	-
Empierrement non lié	-	35	25	15

Tableau 2 : Matériau et épaisseur de la fondation en fonction du trafic (Source : CRR, 2008)

La fondation en béton maigre drainant est plus adaptée aux trafics lourds et celle en empierrement non lié aux trafics légers.

Conception de la couche de pose

Les critères de choix du type de couche de pose sont :

- Perméabilité à l'eau d'au moins de $5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s ;
- Stabilité du filtre ;
- Résistance à la fragmentation.

L'épaisseur de la couche de pose doit être de 3cm après compactage.

Suivant le matériau utilisé, un géotextile peut être placé avant la couche de pose pour limiter la diffusion des fines vers la fondation.

Choix du type de pavé

Les pavés en béton poreux sont plus adaptés pour les pistes cyclables et les trottoirs que les pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage. Ces derniers sont quant à eux plus résistants au trafic lourd et sont disponibles dans des épaisseurs plus importantes

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Conception simple ; • Soulagement du réseau d'évacuation des eaux usées ; • Réduction du risque d'inondation en aval ; • Pas d'emprise foncière supplémentaire ; • Cout d'aménagement faible par rapport à un bassin enterré ; • Intéressant dans le cas d'un sol superficiel imperméable et d'un sous-sol perméable ; • Contribution à l'alimentation de la nappe.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée pour la conception et la réalisation ; • Phénomène de colmatage (réduit si des dalles alvéolaires sont utilisées) ; • Entretien spécifique indispensable ; • Risque de pollution accidentelle de la nappe ; • Nettoyage fréquent (manuel) onéreux.

Liste des matériaux et coûts

Composantes	Matériaux
Revêtement	Pavés drainants
Couche de pose	Graviers de granulométrie variée entre (0/2 + 2/6,3) et 0/5,6 selon le trafic
Fondation	Empierrement à granulométrie continue ou béton maigre drainant
Sous-fondation	Sable ou empierrement

Tableau 3 : Matériaux utilisés pour construire un pavage drainant (Source : BOLDUC, 2005)

Le coût de réalisation dépend du profil de la structure (nature du sol, précipitations). Le prix des pavés (hors pose) dépend des dimensions et du fabricant. Le tableau 4 donne les prix des pavés drainants.

Type de pavés	Prix
Pavé vert	43 à 107,6 MAD/pièce
Pavé avec écarteurs	161,5 à 430,3 MAD/m ²
Pavé à ouverture drainante	215,2 à 430,6 MAD/m ²
Pavé poreux	269,1 à 538,3 MAD/m ²

Tableau 4 : Prix des pavés drainants (Source : <http://pave.comprendrechoisir.com/comprendre/pave-drainant>)

Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux de 1 euro = 10, 7652 MAD (le 12.11.2018)

Etapas de réalisation

Préalables

- Réaliser des études géotechniques du sol ;
- Mesurer la perméabilité du sol ;
- Déterminer la couche de sol adéquate pour servir de fond de pose ;
- Choisir la pluie de projet ;
- Concevoir le système de pavés drainants et évaluer les quantités de matériaux nécessaires.

Exécution

- Vérifier la conformité des matériaux par rapport au cahier des charges (aspect, qualité, quantité) ;
- Aplanir les inégalités du fond de coffre et recompacter pour avoir une portance minimale de 17 MPa ;
- Placer un géotextile si besoin est, et procéder à la mise en place du matériau de la sous-fondation. La portance de la sous-fondation après compactage doit être d'au moins 35 MPa ;
- Procéder au contre-buttagage et à la finition des bords en fonction de la largeur de la route ;
- Poser la couche de fondation puis la compacter avec un matériel vibrant. La surface de la fondation doit totalement être parallèle au profil de la future route, ce qui assure à la couche de pose une épaisseur constante. La portance de la fondation doit être supérieure à 110 MPa ;



Figure 5 : Pavage mécanique (Source : CRR, 2009)

- Epancher uniformément la couche de pose et la profiler de façon à avoir une épaisseur de 3 à 4cm après compactage ;
- Mettre en place les pavés.
- Commencer de préférence par les bords et poursuivre perpendiculairement à l'axe de la route.
- Réaliser des joints de dilatation tous les 30 m afin de compenser les dilatations qui se produisent en été ;
- Procéder aux finitions autour des points singuliers et aux extrémités du revêtement ;
- Procéder au jointoyage et à la vibration du pavage. Cette étape permet de compacter la couche de pose ;
- Corriger les inégalités et répéter les opérations de jointoyage et vibration jusqu'à ce que la planéité soit obtenue.

Test

- Vérifier la planéité du revêtement après la mise en service ;
- Vérifier la planéité du revêtement après les premières pluies et s'assurer d'une absence de stagnation d'eau dans la structure ;
- En cas de discontinuités, réétudier tout le système pour déterminer les irrégularités et les corriger.

Suivi

- Vérifier la planéité du revêtement après la mise en service ;
- En cas de discontinuités, réétudier tout le système pour déterminer les irrégularités et les corriger.

Entretien et maintenance

- Contrôler et remplir régulièrement les joints ;
- Eliminer les mauvaises herbes en surface ;
- Nettoyer régulièrement surtout en cas d'obstruction sans altérer la structure.

Expériences réussies



Figure 6 : Projet résidentiel Riad El Andalous, Hay Riad, Rabat - Maroc (Source : GIZ/AGIRE)



Figure 7 : Projet résidentiel Riad El Andalous, Hay Riad, Rabat - Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Recommandations

- Réaliser avec soin les études géotechniques du sol et les tests de perméabilité pour augmenter la fiabilité de la conception ;
- Sélectionner une entreprise disposant de personnel compétent et suffisamment de références pour l'exécution des travaux.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Centre de Recherches Routières (CRR), (2008). Revêtements drainants en pavés de béton. Annexe au Bulletin CRR n° 77
2. GIE PromoPav, (2011). Le haut du pavé. Journal d'information N° 13
3. BOLDUC, (2005). Pavés perméables: Pavés Opus, Via Appia 60 et Via Appia 80
4. Centre de Recherches Routières (CRR), (2009). Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution de revêtements en pavés de béton
5. Grand Lyon - Fiche n°01: Revêtements de surface poreux. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_01_revetements_surface_poreux.pdf
6. STRADUS INFRA - Pavage drainant. <https://www.stradusinfra.be/pdf/documentatie/pavage-drainant-fr.pdf>
7. http://services-urbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/08_Fiche_Technique_5.pdf
8. <http://pave.comprendrechoisir.com/comprendre/pave-drainant>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

05

Structures alvéolaires ultra légères (SAUL)

Milieu urbain

Informations générales

Les structures alvéolaires ultra légères (SAUL) sont des ouvrages enterrés sous voiries, placettes ou espaces verts, permettant le stockage, l'infiltration et la régulation des eaux de ruissellement issues des surfaces imperméabilisées d'une voirie ou d'un bassin versant.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration	 Recharge des nappes	 Evacuation	 Lutte contre l'inondation
		+++	+++
 Lutte contre l'érosion	+++ : bon; ++ : moyen; + : faible		

Conditions d'implantation

Les SAUL permettent de réaliser un volume de stockage tampon enterré pour les eaux pluviales. Elles sont applicables pour les routes, les tranchées, les bassins de rétention souterrain, etc.

Il faudra vérifier la perméabilité du sol et si la zone est permise pour infiltration afin de choisir la voie d'évacuation appropriée de l'eau.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Pavés drainants ;
- Chaussées réservoir ;
- Tranchées d'infiltration.



Figure 1 : Revêtement drainant en pavés de béton (Source : <http://www.subletdas.fr/temp/index.php?dept=20&act=42>)

Données techniques

Les SAUL sont constitués de polymères en polypropylène (PP), le polyéthylène - haute densité (PEHD) ou le polychlorure devinyle (PVC). Différentes classes de SAUL sont disponibles sur le marché (tableau 1).

Classes	Illustrations
SAUL à diffuseur externe	
SAUL à diffuseur interne	
SAUL sans diffuseur	
SAUL à canal de curage	
SAUL de type tunnel de stockage	

Tableau 1 : Schémas de principe des différentes classes de SAUL

Deux types de SAUL (Nidaplast et Géolight), qualifiés selon la norme AFNOR sont détaillés dans cette fiche :

- La gamme Nidaplast, à diffuseur externe, est fabriquée par la société INDUPLAST dont le produit standard est le Nidaplast H2OEP ;
- La gamme Géolight, à diffuseur interne, est fabriquée par HAMON Industrie Thermique dont le produit standard est le Géolight 400.

Leurs caractéristiques physiques sont rapportées dans le tableau 2.

Propriétés	Nidaplast H2OEP	Géolight 400
Masse volumique	42 kg/m ³	50 kg/m ³
Dimensions	2 x 1 x 0,48 m ³	2 x 1 x 0,5 m ³
Polymère constitutif	Polypropylène	PVC
Rcv- Résistance en compression vertical	400 kPa	400kPa
Ei- Module initial	30 - 35 MPa	30 - 35 MPa
Rct- Résistance en compression latérale	20 kPa	30 kPa
Angle de frottement bloc sur bloc	24 degré	24 degré
Tenue aux UV lors du stockage	Sensible au-delà de 3 jours	Bonne
Tenue aux hydrocarbures courants	Bonne	Bonne
Tenue au feu	Sensible	Bonne
Porosité	95%	95%

Tableau 2 : Propriétés du Nidaplast H2OEP et Géolight 400

Pour chaque gamme, il existe des produits de propriétés variables suivant l'application (plus ou moins sollicitée mécaniquement).

Principe de fonctionnement

• NIDAPLAST

Les eaux de pluie arrivent dans le bassin de stockage par un tuyau collecteur puis dispersées dans une couche de diffusion située sous les blocs de SAUL via un réseau de drains.

La vidange du bassin se fait par évacuation de l'eau dans le sol ou par l'intermédiaire de drains situés à l'aval du bassin.

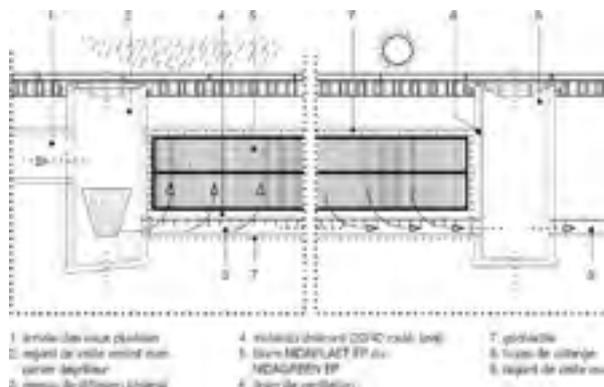


Figure 2 : Coupe montrant le principe de fonctionnement d'une SAUL réalisée en NIDAPLAST

• Géolight

Les eaux pluviales collectées arrivent dans le bassin de rétention par un ou plusieurs systèmes de diffusion disposés sur les faces latérales des blocs de SAUL.

Chaque système de diffusion est constitué d'un drain, généralement de ø 500 mm noyé dans une tranchée remplie de matériaux drainants lavés, exempts de fines et de granulométrie 15/25. Une géogrille de maille 10 mm disposée entre le diffuseur et les blocs de SAUL évite le colmatage des alvéoles par les matériaux drainants. L'évacuation de l'eau se fait à travers le système de diffusion.

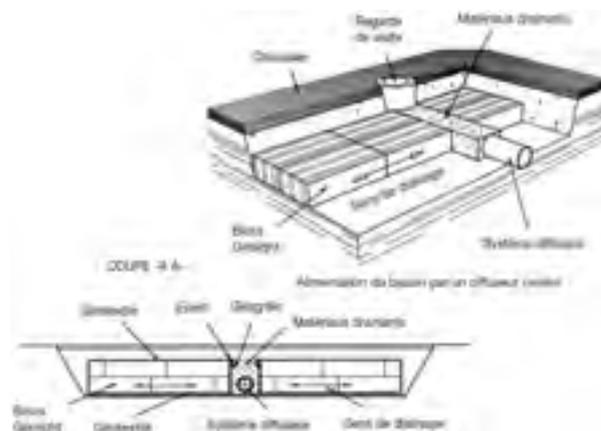


Figure 3 : Schémas d'utilisation des SAUL en évacuation des eaux pluviales (Source : LCPC, Certu et Agences de l'Eau, (1998). Les structures alvéolaires en assainissement pluvial)

Conception hydraulique

La conception sur le plan hydraulique prend en compte trois fonctions de base :

- Le recueil et l'injection des eaux pluviales dans la structure ;
- La rétention temporaire des eaux ;
- L'évacuation des eaux.

Entrée de l'eau / Evacuation	Infiltration de la pluie	Injection de la pluie
Infiltration		
Collecte		

Tableau 3 : Schémas d'utilisation des SAUL en évacuation des eaux pluviales (source : LCPC, Certu et Agences de l'Eau, (1998). Les structures alvéolaires en assainissement pluvial)

Les structures perméables sont généralement des chaussées perméables, des pavés drainants, etc. Chaque couche doit avoir une perméabilité d'au moins 1 cm/h, et la structure de rétention doit être à au moins 1 m du niveau maximum de la nappe.

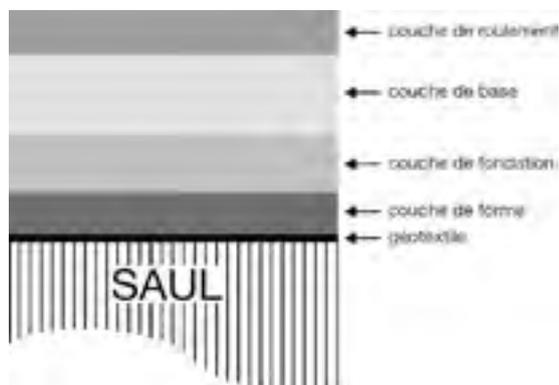


Figure 4 : Coupe d'une SAUL avec chaussée perméable (Source : LCPC, Certu et Agences de l'Eau, (1998). Les structures alvéolaires en assainissement pluvial)

Pour les structures imperméables, il faut disposer des ouvrages de prétraitement suivis d'un regard de visite afin de contrôler la qualité des eaux avant injection dans la SAUL.

Objectifs de rétention	Dispositif de protection
Feuilles, gros objets	Panier
Flottants, hydrocarbures	Siphon, séparateur
Matières en suspension et pollution associée	Décantation en regard ou en caniveau, filtre géotextile, séparateur lamellaire.

Tableau 4 : Dispositifs des différents types de prétraitements (source : LCPC, Certu et Agences de l'Eau, (1998). Les structures alvéolaires en assainissement pluvial)

Conception mécanique

Le dimensionnement mécanique des structures au-dessus des SAUL (choix et épaisseur des matériaux) et des SAUL proprement dites (position, type de SAUL, Rcv, etc.) sont fonction de la charge du trafic.

Avantages / Inconvénients

Avantages	
	<ul style="list-style-type: none"> Capacité de stockage importante: indice de vide de 95% ; Faible besoin en terrassement ; Ne mobilise pas d'espace supplémentaire (sous voirie ou espace publics) ; Facilité et rapidité de pose des modules ; Pas de contrainte particulière compte tenu de la perméabilité du sol ; Grande adaptabilité aux contraintes topographiques et aux exigences architecturales du fait de la modularité des équipements ; Grande résistance mécanique ; Bon rapport coût / performance ; Produit chimiquement inerte (pas de pollution des eaux).

Inconvénients

- Nécessité d'une bonne conception ;
- Risque de pollution accidentelle de la nappe ;
- Nécessité d'entretiens fréquents ;
- Coût élevé des dispositifs.

Liste des matériaux et coûts

Composantes	Matériaux
Couche de roulement	Pavés poreux ; Enrobés drainants ; Béton poreux.
Couche de base	Grave-bitume poreux ; Béton poreux ; Concassés sans sable (GNTP).
Couche de fondation	Concassés sans sable (GNTP).
Couche de forme	Concassés sans sable (GNTP).
Les SAUL proprement dites.	

Tableau 5 : Matériaux pour la réalisation d'une SAUL avec entrée par infiltration (structure perméable) et évacuation par infiltration (Source : Nathalie Le Nouveau et al. 2007)

GNTP : matériau comportant un réseau de vides communicants entre eux et avec l'extérieur. Ces vides sont d'une taille suffisante pour permettre à l'eau d'y être stockée temporairement, d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire et ce de façon durable. Pour obtenir ces vides de façon permanente, on utilise des granulats concassés de D max élevé, dont on élimine la fraction sableuse. Les vides obtenus sont ainsi le fait de la composition du matériau et non d'un compactage insuffisant. http://mediatheque.snbp.e.org/userfiles/file/mediatheque/public/CT-T57_109-146.pdf

Etapas de réalisation

Préalables

- Déterminer l'emplacement de pose des SAUL ;
- Etudes géotechniques du sol ;
- Déterminer les dimensions de la fouille en fonction de la nature géologique du sol et de la cohésion et l'angle de frottement ;
- Déterminer le volume de SAUL nécessaire en fonction des précipitations et de l'espace disponible.

Exécution

- Procéder au terrassement du bassin ;
- Mettre en place un géotextile ou une géomembrane pour éviter le colmatage du dispositif ;
- Mettre en place la SAUL et son réseau de drainage.
- Réaliser un réseau de drainage supérieur. Cette étape n'est pas nécessaire si la structure recouvrant la SAUL est poreuse ;
- Procéder au remblaiement. Le remblaiement périphérique peut se faire avec les matériaux du site. Le remblaiement supérieur est réalisé suivant la charge du trafic ;
- Réaliser la structure sus-jacente (revêtement).

Entretien et maintenance

- Inspections fréquentes et curage des ouvrages amont/aval, voire des diffuseurs ;
- En cas de structure poreuse, procéder à un nettoyage régulier pour éviter le colmatage.

Expériences réussies



Figure 5 : Bassin de stockage pour régulation sous voirie avant rejet dans le réseau pluvial, Commune d'Arcachon, France (Source : Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon, 2012)



Figure 6 : Suppression d'un rejet d'eaux pluviales vers le milieu récepteur, Commune de Lège-Cap Ferret, France (Source : Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon, 2012)

Recommandations

La limitation de l'apport en éléments solides dans l'ouvrage de stockage est un point important qui doit être abordé avec attention durant la phase d'études. Ainsi, il s'agira :

- D'empêcher l'introduction de flottants, feuilles et autres débris pouvant obstruer l'ouvrage et ses équipements annexes (systèmes d'injection, etc.),
- De prévenir l'apport en fines et matières en suspension (MES).

En effet, les seuls organes susceptibles d'être inspectés et nettoyés se limitent aux drains, aux canaux de diffusion accessibles, aux ouvrages d'injection et de restitution éventuels. Il est donc important de veiller à :

- **Ne pas y introduire d'éléments colmatant ou fragilisant**, qu'ils soient liquides ou solides, dont la présence risquerait d'affecter la pérennité de l'ouvrage et des fonctions qui lui sont confiées (flottants, effluents fortement chargés en matière en suspension ou en matières organiques, effluents de type industriel, etc.) ;
- **Assurer la continuité hydraulique** de l'ouvrage.

Par ailleurs, il est toujours possible d'évaluer la durée de sollicitation au bout de laquelle une perte significative du volume utile est à craindre. Les concentrations moyennes en matières en suspension (MES) mesurées dans les eaux de ruissellement issues de petits bassins versants résidentiels périurbains ou de chaussées sont généralement inférieures à 100 mg/L (en France). Ces concentrations sont également **très variables** d'un événement pluviométrique à un autre. À titre d'information, une synthèse de valeurs mesurées disponibles dans la littérature est présentée dans (Barraud & al., 2009). **Toute implantation d'une SAUL sur réseau d'assainissement unitaire doit être proscrite.**

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. <http://www.subletdas.fr/temp/index.php?dept=20&act=42>
2. Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon, (2012). Eaux pluviales: Guide technique du bassin d'Arcachon
3. Nathalie Le Nouveau, Michel Montaut et Agnès Gomez, (2007). Structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) en assainissement pluvial : vers une classification des produits et retours d'expériences. NOVATECH
4. N. Le Nouveau, H. Perrier and E. Valla, (2008). Ultra light cellular Structures for rainwater storage : a new technical guideline in France. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK
5. CO.BA.H.M.A. / C.L.E. - Comment réguler et traiter les eaux pluviales : Moyens de régulation / Moyens de traitement
6. http://mediatheque.snbppe.org/userfiles/file/mediatheque/public/CT-T57_109-146.pdf
7. <http://dtrf.setra.fr/pdf/pj/Dtrf/0000/Dtrf-0000801/DT801.pdf?openerPag..>
8. http://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lcpc/GuideTechnique/GuideTechnique-LCPC-TMSALV.pdf

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

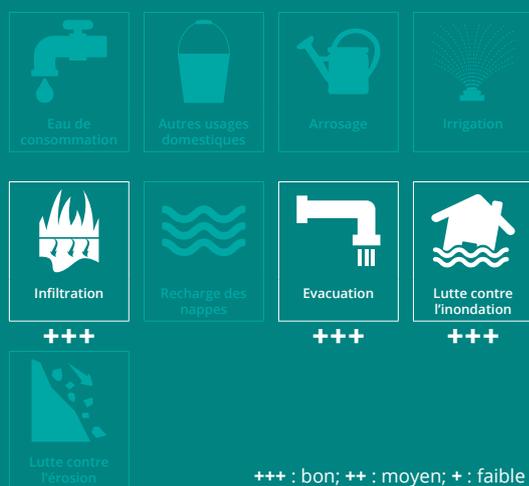
06 Rigoles / Caniveaux

Milieu urbain

Informations générales

Un caniveau est, dans une agglomération, une rigole permettant de drainer les eaux de ruissellement afin de protéger notamment les bâtiments et les routes. Lorsque les caniveaux sont situés en limite de la chaussée ou du trottoir, ils prennent le nom de « bordures ».

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Les rigoles et caniveaux ne permettent que le drainage des eaux de ruissellement, et les diriger vers le réseau d'assainissement.

Conditions d'implantation

- Partout ;
- Routes, zones d'habitations, zones industrielles, etc.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Fossés / noues ;
- Pavés drainants ;
- Chaussées réservoirs ;
- Tranchées d'infiltration.



Figure 1 : Caniveaux construits dans une zone habitée (Source : Nicoll, 2008)

Données techniques

- Les caniveaux sont appliqués lorsqu'il y a risque de stagnation de l'eau ou lorsque l'infiltration de l'eau peut être préjudiciable pour la route ou les constructions.
- Ils sont soit coulés sur place, soit préfabriqués. Les matériaux utilisés pour leur fabrication sont variés :
 - Granit ;
 - Béton conventionnel ;
 - Béton de polymère ou de résine : matériaux très résistants et qui présentent une bonne finition ;
- Thermoplastiques : les plastiques utilisés sont :
 - Le PVC, le polypropylène et le polyéthylène ;
 - Acier galvanisé ou inoxydable.

La conception d'un réseau de caniveau prend en compte la charge supportée par la route adjacente. La norme européenne EN-1433 définit quatre classes de résistances. Elles indiquent le type de charge que le caniveau peut supporter (Nicoll, 2008) :

- A 15 pour passage de piétons et cyclistes ;
- B 125 pour les véhicules de tourisme ;
- C 250 pour les véhicules légers, poids lourds et élévateurs ;
- D 400 pour tous les types de véhicules ;
- E 600 pour les charges à l'essieu élevé (port, docks) ;
- F 900 pour les pistes pour avions.

La conception des caniveaux suit le même principe que les fossés. Les caniveaux se distinguent des fossés végétalisés par leur fond étanches et ils drainent les eaux plus rapidement sans rétention temporaire. Les caniveaux sont posés au point le plus bas de la route afin de permettre un écoulement gravitaire de l'eau vers le caniveau.

L'alimentation peut être soit linéaire, soit ponctuelle (figure 2).



Figure 2 : Alimentation linéaire à gauche et ponctuelle à droite d'un caniveau (Source : Nicoll, 2008)

Les dimensions du caniveau sont fonction du débit d'eau à drainer. Il est important d'éviter que l'eau ne ruisselle longtemps pour réduire le risque de pollution et de décantation. Le fond du caniveau doit avoir une pente de 1 % afin de permettre un écoulement régulier vers l'exutoire. Le caniveau doit être couvert avec une grille métallique qui permet de retenir les éléments grossiers en surface et réduire les risques de colmatage du caniveau.



Figure 3 : Fixation d'une grille sur un caniveau (<https://uploads.gedimat.fr/DOCUMENT/TYPE1/0000123985667.pdf>)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne canalisation des eaux de ruissellement • Durée de vie élevée • Facilité de mise en œuvre • Facilité d'entretien • bon esthétisme de l'ouvrage • Faible emprise sur le terrain
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation élevé • Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée • Possibilité de colmatage par l'intrusion des déchets surtout en cas d'un caniveau à ciel ouvert

Liste des matériaux et coûts

Les différents types de caniveaux existant sont :

- Les caniveaux en béton : préfabriqués en usine ou coulés ou moulés;

- Les caniveaux en granite généralement taillés en carrière ;
- Les caniveaux en béton bitumineux moulés sur le revêtement à l'aide d'un coffrage glissant.

Le prix unitaire au Maroc des caniveaux préfabriqués en béton de 30/20*22*100cm avec jonction par emboîtement est de 154.81 MAD (Source : http://www.maroc.prix-construction.info/espaces_urbains/Reseaux_divers/Evacuation_de_l_eau/Caniveaux/Caniveau_prefabrique.html)

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (pluviométrie, occupation du sol, disponibilité en espace, topographie) ;
- Réaliser la conception du réseau de caniveaux ;
- Choisir le type de caniveaux à implanter en fonction des matériaux disponibles localement et de la configuration du réseau.

Exécution

- Délimiter l'emplacement des caniveaux ;
- Creuser la tranchée large d'au moins 10 cm (ou 20) de plus que la largeur du caniveau et profonde de 5 cm au moins de plus que la profondeur du caniveau (10 cm pour passage voiture) ;
- Aplanir le fond de la tranchée ;
- Stabiliser le fond de la tranchée en dressant une semelle en béton maigre sur 5 cm ou 10 selon l'usage tout en maintenant la pente à l'aide d'une règle et d'un niveau ;
- Poser et sceller les caniveaux dans la tranchée ;
- Raccorder les caniveaux à l'exutoire via des canalisations ;
- Couvrir le caniveau avec une grille pour éviter l'intrusion des matières grossières.

Test

- Vérifier après la première pluie qu'il n'y a pas de stagnation dans le réseau et à la surface du sol, sinon réajuster la pente du caniveau et dresser la surface du sol pour faciliter l'écoulement vers le caniveau.

Suivi

- Idem au test

Entretien et maintenance

- Balayer régulièrement la route pour éviter le transfert des particules vers le caniveau ;
- En cas de dépôts importants dans le caniveau pouvant ralentir l'écoulement de l'eau, procéder au curage.

Expériences réussies



Figure 4 : Caniveaux construits dans une zone habitée (Source : <http://shimlapinks-london.com/caniveau-extra-plat-pour-terrasse.html>)



Figure 5 : Caniveaux construits en bordure d'une terrasse (Source : ULMA, 2012)



Figure 6 : Caniveaux construits en zone urbaine (Source : ULMA, 2012)



Figure 7 : Caniveau construits en zone urbaine, Lisbonne - Portugal (Source : GIZ/AGIRE)

Recommandations

- En cas d'espace disponible et lorsque les propriétés du sol le permettent, réaliser plutôt des fossés ou noues (avantages économiques et environnementaux)

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Leroy Merlin – Comment installer un caniveau ? <http://www.leroymerlin.fr/multimedia/a74630355/idees-conseils/comment-installer-un-caniveau/installer-un-caniveau.pdf>
2. Nicoll, (2008). Guide technique des caniveaux hydrauliques et des systèmes d'évacuation des eaux de ruissellement. <https://www.nicoll.fr/sites/default/files/products/CCAN16.pdf>
3. CERIU (Centre d'Expertise et de Recherche en Infrastructures Urbaines) – Les bordures – Caniveaux. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1132633.pdf>
4. ULMA, (2012). Systèmes de drainage – Système de pente à 2,5 %.

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

07 Fosses et Noues

Milieu urbain

Informations générales

Les fossés sont des ouvrages linéaires à ciel ouvert de faible largeur. Ils servent au recueil des eaux pluviales, à leur rétention et à leur évacuation par infiltration ou par rejet dans un cours d'eau ou un réseau.

Les noues se différencient des fossés par leur profil plus évasé et moins profond (NORPAC et IDDR).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration +++	 Recharge des nappes +	 Evacuation ++	 Lutte contre l'inondation ++
 Lutte contre l'érosion	+++ : bon; ++ : moyen; + : faible		

Conditions d'implantation

Les fossés (F) et noues (N) sont adaptés pour la gestion des eaux pluviales d'un particulier, ou d'un lotissement, et pour le traitement des zones imperméabilisés le long des bâtiments, des voiries, etc. La pente longitudinale du terrain doit être de préférence inférieure à 0,5 %.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Rigoles ;
- Tranchées d'infiltration.



Figure 1 : Fossé longeant la rocade de Rabat, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Données techniques

Le dimensionnement des fossés et des noues prend en compte la disponibilité en espace, la quantité d'eau disponible, la perméabilité du terrain et l'aspect recherché tel que le moyen d'alimentation et d'évacuation de l'eau.

Caractéristiques du terrain

La section des ouvrages peut être de différentes formes en fonction de la disponibilité en espace (tableau 1).

Pour des pentes de terrain dépassant 0,5 %, il faut prévoir des cloisons, soit en béton soit en bois (figure 2) pour réduire la vitesse de ruissellement de l'eau, et pour des pentes inférieures à 0,2 % il faut construire une petite cunette en béton au fond de l'ouvrage pour assurer un débit minimal (NORPAC et IDDR).

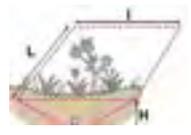
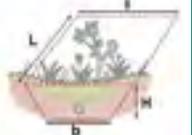
Section		
Courbe	Triangulaire	Trapézoïdale
		
Formule de calcul des sections		
$L \times l \times H \times (3,14/4)$	$L \times l \times H / 2$	$L \times H \times (l + b) / 2$

Tableau 1 : Variantes de section des ouvrages



Figure 2 : Exemple d'une noue avec cloisons en béton (Source : Grand Lyon, 2008)

Alimentation et évacuation de l'eau

L'eau est collectée dans les fossés soit par des canalisations soit par ruissellement direct. L'eau est ensuite retenue puis évacuée par infiltration directe dans les cas des fossés ou noues d'infiltration (figure 3), ou de manière régulée vers un exutoire (figure 4) par exemple un puits, un bassin ou un réseau de collecte dans le cas des fossés ou noues de rétention).

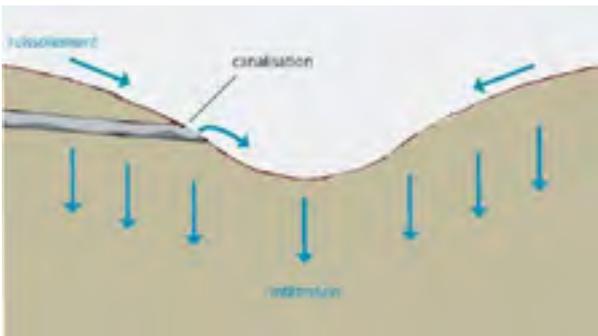


Figure 3 : Fossé ou noue d'infiltration (Source : Région Rhône-Alpes, 2006)

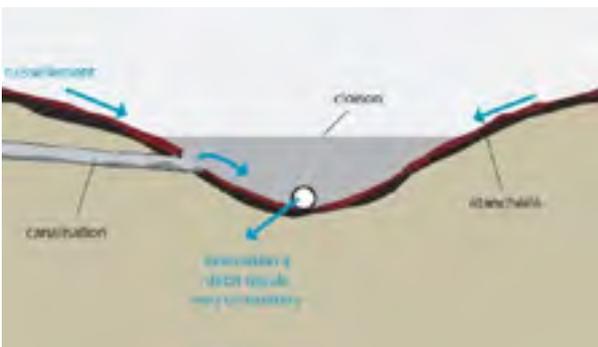


Figure 4 : Fossé ou noue de rétention (Source : Région Rhône-Alpes, 2006)

Les noues sont plus appropriées pour l'infiltration car la surface de contact est plus grande.

Il est conseillé de garder un écart minimal de 2 m entre le niveau de la nappe souterraine et la base de l'ouvrage pour réduire les risques de contamination.

Dimensionnement

Différentes méthodes sont utilisées pour le dimensionnement (Communauté des Communes Epernay Pays de Champagne), notamment :

- La méthode dite « des pluies » qui utilise l'analyse statistique des pluies ;
- La méthode dite « des volumes » qui utilise l'analyse statistique des volumes ;
- La méthode simplifiée pour les petits ouvrages.

Cette méthode simplifiée consiste à dimensionner l'ouvrage de façon à stocker la lame d'eau journalière de période de retour choisie. Le volume de stockage nécessaire, exprimé en m³, est alors égal à :

$$V = C \times S \times H$$

Avec :

- V : Volume de stockage nécessaire ;
- C : coefficient de ruissellement ;
- S : surface du bassin versant (m²) ;
- H : hauteur d'eau journalière correspondant à la période de retour choisie (m).

Avantages / Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Rétention, régulation et écrêtement des débits de pointe à l'aval ; • Diminution du risque d'inondation ; • Contribution à une meilleure délimitation de l'espace ; • Bon comportement épuratoire ; • Bonne intégration paysagère ; • Pas d'exutoire en sol perméable, infiltration directe ; • Réalisation et entretien peu coûteux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien et nettoyage régulier indispensable ; • Nuisances liées à la stagnation éventuelle ; • Colmatage possible des ouvrages ; • Sur sites pentus, cloisonnement nécessaire pour limiter les pertes de volume de stockage ; • Risque d'accident en période de remplissage ; • Risque de pollution accidentelle de la nappe ; • Emprise foncière importante dans certains cas.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation des fossés et noues sont :

- Les conduites d'alimentation et d'évacuation de l'eau selon le type d'ouvrage ;
- Une membrane imperméable pour l'étanchéité dans le cas où l'infiltration n'est pas permise ;
- Du bois ou du béton pour construire des cloisons et du béton pour la cunette en fonction de la pente du terrain ;
- Des plantes (gazon ou végétation de prairie, etc.) pour végétaliser les ouvrages.

Attention, les coûts varient en fonction du matériel utilisé.

(Fourchettes de prix données à titre indicatif)

Pour la réalisation :

- Mise en place de la noue : 129 MAD HT/m³ terrassé (ou environ 236 MAD HT/ml)
- Mise en place d'un fossé : 376 MAD HT/m³ terrassé (+ éventuel remplissage géotextile)
- Si nécessaire, installation du massif drainant : 646,2 à 1077 MAD TTC /ml
engazonnement : 10 à 21 MAD/ml

Pour l'entretien

- Curage environ tous les 10 ans pour une noue.
- Entretien d'un fossé : 3 à 4 MAD/m³/an (ou environ 32 MAD HT/ml).

Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux de 1 euro = 10,7705 MAD (le 04.12.2018)

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la zone d'étude (configuration des constructions, des routes, etc.) ;
- Déterminer la nature et le type de sol (profil, perméabilité), le niveau de la nappe, la pente du terrain, ...
- Concevoir le ou les fossés/noues.

Exécution

Les fossés et noues se creusent simplement avec une pelleuse ou une pelle mécanique (figure 5). La réalisation ne présente aucune difficulté technique particulière mais des précautions particulières sont à prendre pendant la mise en œuvre :

- Respecter le profil en long établi lors de la conception pour éviter des stagnations de l'eau ;
- Eviter l'apport de fines particules dans le fossé ou la noue pendant la construction au risque de favoriser le colmatage ;
- Ne pas compacter le sol sous les noues pour préserver leur capacité d'infiltration.
- Eviter l'érosion hydrique par une mise en route précoce des ouvrages.



Figure 5 : Creusement d'un fossé (Source : <http://www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Biodiversité-et-gestion-de-leau-à-la-parcelle-les-noues-et-fossés-4-Mai.pdf>)

Entretien et maintenance

- Curer tous les 5 à 10 ans selon le niveau d'envasement des ouvrages surtout pour les noues de rétention ;
- Ramasser les feuilles et les déchets chaque automne ;
- Curer et nettoyer les exutoires au moins une fois par an ;
- Tondre le gazon en hiver et arroser en été.

Expériences réussies



Figure 6 : Noues devant les habitations, Villeneuve d'Ascq, France (Source : NORPAC et IDDR)



Figure 7 : Noue cloisonnée (<https://www.amiens.fr/content/download/3325/51310/file/Guide-Public.pdf>)



Figure 8 : Fossé longeant la rocade de Rabat, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Recommandations

Les fossés et noues doivent être encouragés dans tous les projets d'aménagement urbain, de lotissements nouveaux, et d'aménagement des espaces verts, cela en priorité dans les régions humides du pays.

Les bureaux d'études spécialisés en aménagement urbain, ainsi que les architectes devront être sensibilisés régulièrement sur la question de la collecte et valorisation des eaux pluviales en milieu urbain.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Grand Lyon- Fiche n° 2 - Fossés et noues. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_02_fosses_noues.pdf
2. Communauté des Communes Epernay Pays de Champagne - La gestion des eaux pluviales par des techniques alternatives. <http://www.pierry-sud-developpement.fr/doc%20pdf/Fiches%20techniques%20gestion%20eaux%20pluviales.pdf>
3. NORPAC et IDDR - Biodiversité et gestion de l'eau à la parcelle - Les noues et fossés. Guide BBP - Les fiches techniques p 1/5. <http://www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Biodiversité-et-gestion-de-leau-à-la-parcelle-les-noues-et-fossés-4-Mai.pdf>
4. Région Rhône-Alpes, (2006). Pour la gestion des eaux pluviales. http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/PlaqTA.pdf
5. Grand Lyon, (2008). Guide pratique - Aménagement et eaux pluviales. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_guide.pdf
6. Grand Lyon - Fiche n°00 : Méthode pour le dimensionnement des ouvrages de stockage. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_00_methode_dimensionnement_ouvrages_stockage.pdf
7. <https://www.amiens.fr/content/download/3325/51310/file/Guide-Public.pdf>
8. <http://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/depollution-eaux-pluviales-noues-fosses-enherbes.php>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

08 Tranchée d'infiltration

Milieu urbain

Informations générales

Les tranchées sont des ouvrages superficiels linéaires remplis de matériaux poreux et capables de stocker temporairement les eaux pluviales. Elles écrètent ainsi les volumes et débits puis évacuent les eaux pluviales soit vers un exutoire dans le cas des tranchées drainantes (ou de rétention), soit dans le sol dans le cas des tranchées d'infiltration.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

La principale condition est que la zone de réalisation de l'ouvrage ne soit pas une zone à infiltration réglementée (ex : zones de protection des nappes d'alimentation en eau potable). Aussi, les eaux collectées doivent être de bonne qualité.

Pour les tranchées d'infiltration :

- Les horizons géologiques superficiels (1 à 1,5m) doivent être favorables à l'infiltration ($10^{-5} < k < 10^{-2}$ m/s) ;
- La durée d'infiltration après un orage doit être inférieure à 6h ;
- Le sol doit permettre l'infiltration des eaux de pluie générées par deux épisodes pluvieux décennaux se succédant en l'espace de 24h ;
- La nature des couches géologiques du sol et l'environnement immédiat (habitation, sous-sol, terrains pentus, etc.) doivent être compatibles avec l'infiltration (effondrements, glissements de terrain, création de nappe perchée provoquant l'inondation des sous-sols, etc.).

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Les pavés drainants ;
- Les chaussées réservoirs ;
- Les structures alvéolaires ultra-légères (SAUL).



Figure 1 : Tranchée drainante le long d'un espace piétonnier, France (Source : Région Rhône-Alpes, 2006)

Données techniques

La collecte de l'eau dans les tranchées se fait par ruissellement superficiel ou par des drains. L'eau est stockée temporairement puis évacuée par infiltration ou vers un exutoire.

	Apport réparti (ruissellement)	Apport localisé (canalisation)
Infiltration		
Rétention		

Tableau 1 : Fonctionnement des tranchées

NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux

Les tranchées le long des voies circulées présentent un risque plus élevé de colmatage. Même si l'infiltration est permise, il est préférable de placer un drain pour rejeter l'eau retenue vers un exutoire en cas de colmatage.

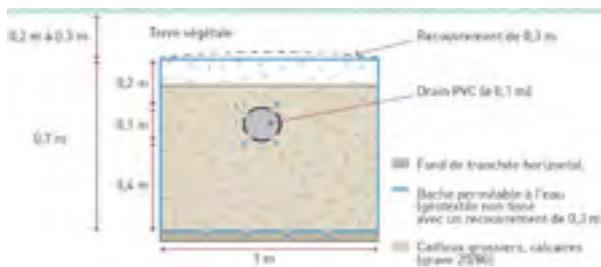


Figure 2 : Disposition d'un drain dans une tranchée d'infiltration recouverte de terre végétale (Source : Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard)

Les tranchées peuvent revêtir en surface divers matériaux tels qu'un enrobé drainant, une dalle de béton, des galets ou de la pelouse (figure 2), selon son usage superficiel : parkings de centres commerciaux, trottoirs le long de la voirie, ou jardins.

La section de la tranchée est généralement de forme rectangulaire ou trapézoïdale. La capacité de stockage d'une tranchée est évaluée comme suit :

Section rectangulaire :

$$V_s = p \times L \times l \times h$$

Section trapézoïdale :

$$V_s = p \times L \times h \times (b + B) / 2$$

Avec :

- V_s : volume de stockage ;
- p : porosité du matériau de remplissage ;
- L : longueur de la tranchée ;
- l : largeur de la tranchée ;
- b : petite base ;
- B : grande base.

La longueur de la tranchée est souvent imposée par le type de projet. Le tableau 2 présente les largeurs et profondeurs classiques pour les tranchées.

	Le long des voiries	Dans les jardins privés
Largeur	0,5 à 2 m	0,5 à 1,5 m
Profondeur	0,5 à 3 m	0,5 à 1,5 m

Tableau 2 : Dimensions classiques d'une tranchée (Source : Grand Lyon, 2008)

Les matériaux de remplissage sont choisis en fonction de leurs caractéristiques mécaniques (résistance à la charge) et hydrauliques (rétention dans les porosités des matériaux). En fonction du volume d'eau à stocker, on pourra choisir un matériau de type grave à 30% de porosité ou un matériau alvéolaire en plastique à plus de 90% de porosité.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des débits de pointe et des volumes s'écoulant vers les exutoires ; • Réalimentation des nappes phréatiques pour les tranchées d'infiltration ; • Dépollution efficace des eaux pluviales par « filtration » par interception au travers de la structure ; • Technique peu coûteuse et facile à mettre en œuvre ; • Bonne intégration paysagère ; • Faible emprise foncière ; • Adaptée aux terrains plats dont la gestion des eaux pluviales est difficile.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de colmatage possible ; • Nécessité d'un entretien régulier spécifique ; • Difficilement applicable pour des terrains naturels à forte pente ; • Risque de pollution de la nappe pour les tranchées d'infiltration.

Liste des matériaux et coûts

Composantes	Matériaux
Interface surface drainée	Revêtements étanches ou drainants (dalles, blocs poreux) ; Galets ; Tapis de gazon sur géotextile.
Matériaux de remplissage	Galets ; Matériaux alvéolaires en plastique.
Interface sol - matériaux de remplissage	Géotextile

Etapas de réalisation

La réalisation des tranchées ne nécessite pas une technicité particulière. Pour que la capacité hydraulique soit correctement assurée, il est indispensable de suivre quelques recommandations et d'effectuer certains contrôles :

- Respecter scrupuleusement les dimensions établies lors de la conception hydraulique (profondeur et largeur de la tranchée) ;
- Veiller à ce que le fond de la tranchée soit bien horizontal afin de faciliter la diffusion de l'eau dans la structure ;
- Sur un site pentu, prévoir un cloisonnement pour optimiser les volumes de stockage ;
- Utiliser des matériaux de qualité et contrôler la porosité des matériaux de remplissage utilisés pour garantir les volumes de stockage ;
- Éviter les risques de colmatage pendant la réalisation du projet par les fines issues des travaux.

Entretien et maintenance

- Ramasser régulièrement les déchets ou les débris de végétaux qui obstruent les dispositifs d'injection locale comme les orifices entre bordures ou les avaloirs ;
- Entretien du revêtement drainant de surface (voir fiche pavé drainant) ;
- Changer le géotextile de surface dès constatation de colmatage.

Expériences réussies



Figure 3 : Tranchée drainante sous voirie, France (Source : DIREN Lorraine, 2006)



Figure 4 : Tranchée d'infiltration le long des bâtiments (Source : Grand Lyon, 2008)

Description du projet : Bassin de 17000 m³

Lieu : Loos, France

Année de réalisation : 2008

Recommandations

Les tranchées d'infiltration doivent être encouragées dans les projets d'aménagement urbain, de lotissements nouveaux, et d'aménagement des espaces verts, cela en priorité dans les régions humides du pays.

Les bureaux d'études spécialisés en aménagement urbain, ainsi que les architectes devront être sensibilisés régulièrement sur la question de la collecte des eaux pluviales en milieu urbain.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Région Rhône-Alpes, (2006). Pour la gestion des eaux pluviales - Stratégie et solutions techniques
2. http://www.business.greaterlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_03_tranchee_retention_infiltration.pdf
3. Grand Toulouse, (2009). Guide de gestion des eaux de pluie et de ruissellement
4. Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard - Guide gestion des eaux pluviales
5. DIREN Lorraine, (2006). Cahier des charges pour la gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement
6. Grand Lyon, (2008). Guide pratique - Aménagement et eaux pluviales
7. ADOPTA, (2006). Fiche technique n° 2 - La tranchée drainante
8. https://www.caue45.fr/dossier_thematique/gestion_urbaine_de_l_eau_de_pluie.html

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

09 Puits d'infiltration

Milieu urbain

Informations générales

Les puits d'infiltration sont des ouvrages ponctuels de profondeur variable permettant de transférer les eaux pour être infiltrées dans les couches géologiques perméables situées en dessous. Ils sont adaptés à la gestion des eaux pluviales d'un particulier, le long d'un bâtiment ou d'une voirie ou sur des parkings à stationnement peu intense.

Le puits d'infiltration n'est pas un procédé d'épuration mais d'évacuation d'eau, ainsi, il n'admet que des eaux déjà prétraitées ou ruisselant sur des surfaces plus ou moins propres (ex: toitures).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration +++	 Recharge des nappes ++	 Evacuation +++	 Lutte contre l'inondation +++
 Lutte contre l'érosion	+++ : bon; ++ : moyen; + : faible		

Conditions d'implantation

Les puits d'infiltration sont applicables lorsque la couche superficielle du sol est peu perméable et que les couches géologiques sous-jacentes ont une capacité d'infiltration satisfaisante. Les conditions suivantes sont à respecter :

- Surface drainée inférieure à 1 ha ;
- Perméabilité des couches géologiques sous-jacentes comprise entre 10^{-5} et 10^{-2} m/s ;
- Distance minimale de 3 m entre la structure et tout végétal arbustif (risque de dégradation de l'ouvrage par le système racinaire) et de 5 m avec les bâtiments.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Le bassin de rétention ;
- Le fossé ;
- La noue ;
- La tranchée d'infiltration.



Figure 1 : Puits d'infiltration avec tampon ouvert et regard de décantation (Source : Grand Lyon, 2008)

Données techniques

Les puits d'infiltration ont pour fonction le stockage temporaire des eaux pluviales et leur évacuation par infiltration vers les couches géologiques perméables du sous-sol.

Ils sont généralement remplis de matériaux poreux servant de couche filtrante, il s'agit dans ce cas de puits comblés. La couche filtrante est généralement constituée d'alluvion de pierres de granulométrie 40 à 80mm. Des copeaux de bois ou de la paille peuvent également être utilisés mais sont moins durables (5 ans en moyenne).

Pour réduire le risque de colmatage, il faut entourer le matériau filtrant d'un géotextile et/ou prévoir un avaloir en amont du puits pour retenir les éléments fins contenus dans l'eau ruisselée.

Les puits d'infiltration sont alimentés soit directement par ruissellement des eaux pluviales de surface soit par un réseau de conduites (Tableau 1).

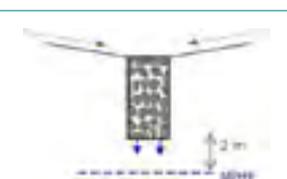
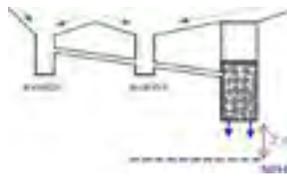
Evacuation répartie (infiltration)	
Apport réparti (ruissellement)	
Apport localisé (canalisation)	

Tableau 1 : Types d'alimentation des puits (Source : Grand Lyon, 2008)

NPHE : Niveau des Plus Hautes Eaux

Le puits est installé dans la partie basse de la parcelle. Son volume est calculé comme suit (sans tenir compte de l'infiltration) :

$$V = S \times H \times C$$

Avec :

- S : la surface de l'impluvium (m²) ;
- H : la hauteur de pluie (m) ;
- C : le coefficient de ruissellement.

En général, la profondeur du puits est comprise entre 2,5 et 5 m avec un rayon moyen de 1 m.

La surface latérale du puits d'infiltration doit être étanche depuis la surface du sol jusqu'à 0,5 m au moins en dessous du point d'amenée d'eau. Dans la partie inférieure les buses doivent être perforées et la surface totale de contact (fond et paroi) avec la couche géologique perméable doit être égale à 2 m² par pièce principale (buse). Il faut prévoir un répartiteur au point d'amenée pour épandre l'effluent sur toute la surface du puits. Le puits doit être recouvert d'un tampon amovible de visite pour faciliter l'accès pour l'entretien.

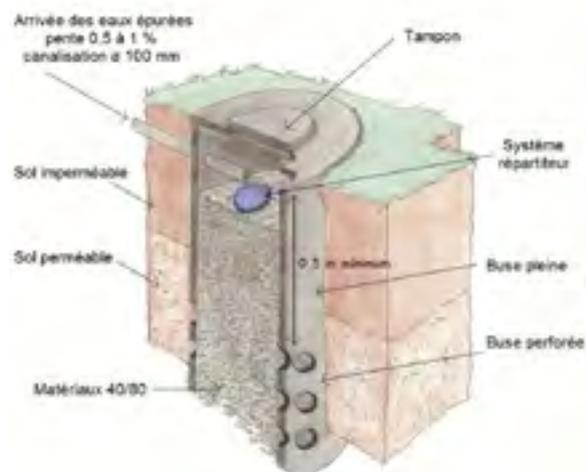


Figure 2 : Puits d'infiltration comblé (Source : guide pratique du COSTIC)

On distingue également les puits creux ou vides qui ne contiennent qu'une couche de 0,3 m de sable au fond comme couche filtrante. Ils sont plus exigeants en matière de qualité de l'effluent. Le tuyau d'amenée doit être muni d'une vanne pour interrompre l'alimentation en cas de pollution.

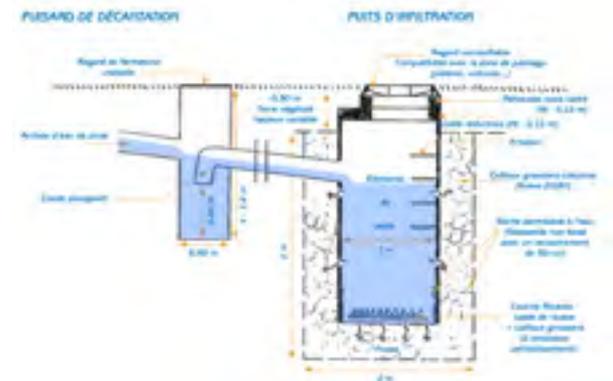


Figure 3 : Puits d'infiltration couplé à un regard de décantation (Source : https://adopta.fr/wp-content/uploads/2016/07/FicheTechnique-1_ADOPTA.pdf)

La capacité de stockage d'un puits est évaluée comme suit :

$$V_s = p \times 3,14 \times R^2 \times h$$

Avec :

- Vs : volume de stockage (m³) ;
- p : porosité du matériau de comblement (p = 1 pour un puits creux) ;
- R : rayon du puits (m) ;
- h : profondeur du puits (m).

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Faible emprise au sol ; • Conception simple ; • Entretien simple ; • Contexte d'utilisation très large ; • Bonne intégration dans le tissu urbain ; • Pas d'exutoire à prévoir ; • Intéressant dans le cas d'un sol superficiel imperméable et d'un sous-sol perméable ; • Contribue à l'alimentation de la nappe ; • Pas de contrainte topographique majeure ; • Adapté aux terrains plats où l'assainissement pluvial est difficile à mettre en place ; • Possibilité de coupler le puits avec d'autres techniques alternatives ; • Coût de réalisation peu élevé.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité du puits au colmatage ; • Nécessité d'ouvrages de prétraitement ; • Entretien régulier spécifique indispensable ; • Risque de pollution accidentelle de la nappe ; • Capacité de stockage limitée ; • Faisabilité tributoire de la nature du sol.

Liste des matériaux et coûts

- **Interface surface drainée / puits d'infiltration** : dalles ou blocs poreux ou alvéolés sur couche de sable; gazon, galets ou enrobés drainants ;

- **Intérieur du puits** : vide, ou cailloux, graviers ou granulats concassés, lesquels assurent la stabilité mécanique de l'ouvrage et l'infiltration dans le sol ;
- **Interface puits / sol** : le volume de stockage est délimité par une crépine ou des buses empilées et perforées en béton ; la pose d'un géotextile est indispensable pour éviter le transfert de fines, donc le colmatage de l'ouvrage.

Le coût de la mise en œuvre d'un puits d'infiltration est de 32 MAD/m² de surface assainie/an et celui de l'entretien est de 16 MAD/m² de surface assainie/an.

Pour la réalisation d'un puits : 53 MAD HT/m² de surface assainie.

Coût d'un puit : 16 158 MAD HT en moyenne pour un puits d'absorption de 2m sur 2m.

Pour l'entretien, le nettoyage 32 MADHT/m² de surface assainie par an 861 MAD/an (curage) pour un entretien satisfaisant ou 3 229 MADHT tous les 2 ans.

Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux : 1 euro=10,7652 MAD (le 12.11.2018)

(Source : http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_04_puits_infiltration.pdf)

Etapas de réalisation

Préalables

- Etudier le profil et la nature du sol ;
- Analyser le contexte géologique local ;
- Déterminer la perméabilité du sol et des couches sous-jacentes à différentes profondeurs ;
- Concevoir le puits d'infiltration et déterminer sa profondeur ;
- Vérifier que le niveau de la nappe est situé à au moins 2 m du fond du puits.

Exécution

- Excaver le sol jusqu'à atteindre une couche perméable de sol ;
- Installer les buses en respectant les instructions techniques (dimensionnement, étanchéité au-dessus et surface de contact dans la partie inférieure) ;
- Comblent le puits avec les matériaux constituant la couche filtrante ;
- Il est important de vérifier les propriétés des matériaux de comblement afin de limiter le risque de colmatage.

Entretien et maintenance

- Le puits doit être accessible et l'entretien doit être réalisé à une fréquence semestrielle ou annuelle ;
- L'entretien courant concerne : le nettoyage des décanteurs et des dispositifs filtrants,

la vérification du système de trop plein (s'il existe) et l'entretien des espaces verts environnants et de l'impluvium alimentant le puits ;

- Vider régulièrement la chambre de décantation de ses boues et nettoyer le dispositif filtrant dans le cas d'un puits vide.
- Renouveler la couche filtrante lorsque l'eau stagne encore dans le puits 24 h après une pluie.

Expériences réussies



Figure 4 : Avaloir conduisant les eaux pluviales de voirie vers le puits d'infiltration, France (Source : Grand Lyon, Fiche n°04)



Figure 5 : Puits d'infiltration, ZAC de Buet, France (Source : http://services-urbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/09_Fiche_Technique_6.pdf)

Recommandations

Recommandations pour lutter contre le colmatage :

- Pour des ouvrages d'infiltration de grande taille (drainant des bassins versants de plusieurs dizaines d'hectares), il vaut mieux éviter l'apport permanent d'eau de temps sec qui favorise le développement de biofilm. De plus, avec ce fonctionnement les risques de rejets illicites sont plus probables.
- Les compartiments de rétention généralement placés en amont doivent être conçus non seulement sur des critères hydrauliques (lutte contre les inondations) mais ils doivent également être de bons systèmes de décantation (temps de séjour suffisant, court-circuit à éviter, ...), ce qui est rarement le cas (Cf. § 1.9).

- Mieux vaut protéger le fond des bassins d'infiltration construits à l'air libre par une couche de graviers ou constituée à base d'un autre matériau granulaire de manière à le protéger de la lumière et donc du développement des micro-algues. On peut également penser à la végétalisation. D'après L. Citeau (2005) plusieurs études préconisent la végétalisation pour lutter contre le colmatage ; la végétalisation permet en effet d'augmenter la perméabilité du sol par la création de macroporosité (Metropolitan-council 2001). Cependant, il peut y avoir un risque de formation de chemins d'écoulement préférentiels en fonction de l'architecture des racines. Le type de végétation et son rôle réel sur le colmatage reste encore à être étudié pour être optimisé. Les ouvrages peuvent enfin être compartimentés pour mieux circonscrire pollution, colmatage et entretien.
 - Lors de la réhabilitation d'un site, toute opération d'enlèvement des sédiments et de terrassement doit être contrôlée de manière à ne pas enfouir les couches colmatées et les dépôts pollués. De plus, les engins de terrassement peuvent opérer un compactage néfaste pour la perméabilité du sol.
 - Il est également nécessaire de poursuivre le travail d'observation et de suivi de sites de manière à disposer de chroniques plus longues et continues qui permettront de fournir de véritables historiques de l'évolution du colmatage dans différentes situations. Un contrôle permanent des facteurs de colmatage (suivi des apports en matières en suspension via la turbidité, des masses de polluants apportés au bassin conjointement aux mesures dans le sol, ...) est également nécessaire et d'ores et déjà mis en place, notamment sur les sites de l'OTHU. Il serait à terme particulièrement important de pouvoir relier ou même expliquer les valeurs de résistances hydrauliques par des variables de site de manière à rendre le modèle plus prévisionnel, puis d'instrumenter d'autres sites de manière à examiner s'il est fondé de généraliser les observations ou les méthodes de suivi proposées.
5. Communauté d'Agglomération du Pays de Montbeliard – Guide - Gestion des eaux pluviales
 6. Artois Comm. - Gérer ses eaux pluviales simplement - Surface de terrain inférieure à 1 ha
 7. Grand Lyon - Fiche n° 04: Puits d'infiltration
 8. Conseil Général Saône & Loire - Conseils pour la mise en place du puits d'infiltration
 9. Nicolas Stämpfli, (2007). Fiche technique - Puits d'infiltration. Université McGill
 10. https://adopta.fr/wp-content/uploads/2016/07/FicheTechnique-1_ADOPTA.pdf
 11. <http://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/depollution-eaux-pluviales-puits-absorption.php>
 12. http://services-urbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/09_Fiche_Technique_6.pdf
 13. CO.BA.H.M.A./C.L.E. - Comment réguler et traiter les eaux pluviales ? Moyens de régulation / Moyens de traitement
 14. <https://www.ain.fr/content/uploads/2017/08/Puit-dinfiltration.pdf>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

Source : https://www.graie.org/othu/docsactu/GuideTechnique_recommandationsouvragesinfiltration.pdf

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Grand Lyon, (2008). Guide pratique - Aménagement eaux pluviales
2. Région Rhône Alpes, (2006). Pour la gestion des eaux pluviales - Stratégie et solutions techniques
3. Grand Lyon, (2010). Les ouvrages enterrés de gestion des eaux pluviales - Référentiel conception et gestion des espaces publics
4. https://www.ville.quebec.qc.ca/gens_affaires/implantation-projets-immobiliers/projets-residentiels/docs/fiches_gestion_eaux_pluviales/5_puits_ou_tranchee_infiltration.pdf

10

Bassin de rétention ou d'infiltration

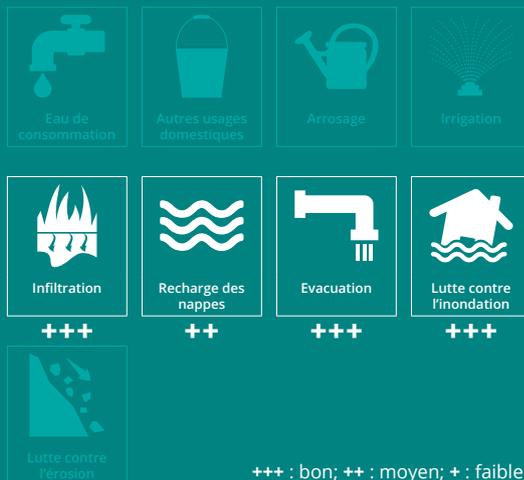
Milieu urbain

Informations générales

Un bassin de rétention est une zone de stockage temporaire, à ciel ouvert ou enterré, des eaux de ruissellement. Il est destiné à récupérer les eaux pluviales issues de surfaces non-absorbantes (lotissements, zone industrielle, ...) afin de protéger les infrastructures en aval.

Il peut être perméable (bassin d'infiltration) ou non (bassin de rétention).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Capacité d'infiltration des horizons géologiques superficiels (1 à 1,5 m) comprise entre 10^{-5} et 10^{-2} m/s pour un bassin d'infiltration ;
- Durée d'évacuation d'eau après un orage inférieure à 6h ;
- Possibilité d'infiltration des eaux de pluie générées par deux épisodes pluvieux décennaux, se succédant en l'espace de 24h ;
- Absence de risques (effondrements, glissements de terrain, etc.) pour les infrastructures environnantes
- Disponibilité d'espace (jusqu'à 5 ha ou plus selon les caractéristiques du bassin versant).

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Les fossés ;
- Les noues ;
- Les déversoirs d'orage ;
- Les tranchées d'infiltration ou de rétention ;
- Les pavés drainants ;
- Les puits d'infiltration ;
- Les structures alvéolaires.



Figure 1 : Bassin de rétention dans un lotissement, Québec, Canada (Source : http://www.cageq.ca/documents/Recommandations_bassins_ancienne.pdf)

Données techniques

Un bassin de rétention a pour fonction principale l'écrêtement des débits de pointe. L'alimentation en eau durant l'épisode pluvieux peut se faire :

- Par ruissellement direct ;
- Par déversement du réseau pluvial ;
- Par mise en charge et débordement du réseau.

Lorsqu'il s'agit de bassin de rétention, le fond du bassin doit être étanchéifié par une géo-membrane, du béton ou un enrobé.

Le dimensionnement dépend des caractéristiques du site et du projet. Il peut être calculé de deux manières :

- La méthode des volumes ou ;
- La méthode des pluies.

L'estimation du volume du bassin est faite décennale. A titre indicatif, un volume de bassin de 5m³ permet de gérer environ 100m² de surface imperméabilisée.



Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un bassin de rétention (Source : Réseau Environnement et al., 2014)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Ecrêtement des débits de pointe ; • Bon comportement épuratoire (décantation et ou dépollution biologique) ; • Bonne intégration paysagère ; • Augmentation de la biodiversité ; • Facilité de mise en œuvre ; • Contribution à l'alimentation de la nappe pour un bassin d'infiltration ; • Aucune emprise foncière pour un bassin enterré.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien régulier indispensable ; • Risque de pollution accidentelle de la nappe ; • Grande emprise foncière pour les bassins à ciel ouvert ; • Coût de réalisation relativement élevé.

Liste des matériaux et coûts

La construction d'un bassin de rétention varie d'une simple excavation à des aménagements plus complexes selon l'objectif, la situation du bassin versant et le budget disponible.

Les différents matériaux qui pourraient rentrer en jeu sont :

- Les canalisations de tailles diverses selon le débit ;
- L'étanchéité du bassin : géo-membrane, béton ou enrobé ;
- Les ouvrages de prétraitement et de régulation de débit ;
- L'aménagement paysager: gazons, fleurs, plantes, etc.

La réalisation d'un bassin de rétention varie de 120 à 1200 MAD/m³ (Adapté de Grand Lyon – Fiche n°5)

Etapes de réalisation

Préalables

- Déterminer les besoins (protection contre les inondations ou protection des biens et des personnes) ;
- Etudes topographiques, géotechniques, hydrologiques et parfois de la qualité des eaux ;

- Concevoir le bassin (type, emplacement, dimensions et aménagements connexes).

Exécution

- Délimiter le périmètre du bassin de rétention ;
- Procéder au terrassement conformément à la conception établie ;
- Réaliser l'étanchéité si nécessaire ;
- Réaliser le génie civil ;
- Construire et aménager les ouvrages connexes (prétraitement, alimentation, trop plein, exutoire, etc.) ;
- Protéger les talus par la plantation.

Test

- Vérifier après la première forte pluie :
- L'absence de débordement du bassin ;
- Le bon fonctionnement du prétraitement par l'absence des matières grossières ;
- Le bon fonctionnement des ouvrages connexes (canalisations, trop-plein et du régulateur de débit, etc.).

Suivi

- Vérifier après chaque forte pluie :
- L'absence de débordement du bassin ;
- Le bon fonctionnement du prétraitement par l'absence des matières grossières ;
- Le bon fonctionnement des ouvrages connexes (canalisations, trop-plein et du régulateur de débit, etc.).

Entretien et maintenance

- Entretien fréquent et régulier surtout pour les ouvrages de petite taille (chaque 3 à 6 mois) ;
- Ramassage régulier des flottants ;
- Entretien des talus ;
- Nettoyage des ouvrages de prétraitement ;
- Contrôle de la végétation ;
- Limiter les arrivées de fertilisants dans le bassin pour éviter une eutrophisation rapide d'algues néfastes ;
- Extraire les dépôts par curage lorsque le volume utile de rétention est réduit ;
- Pour les bassins en eau, il faut les vider tous les 3 à 5 ans pour entretenir les ouvrages noyés et les curer.

Expériences réussies



Figure 3 : Bassin de rétention et de régulation, Québec, Canada (<http://www.vsj.ca/fr/bassin-de-retention-du-parc-schulz.aspx>)

Description du projet :

Capacité de 5400 m³ pour une superficie de 8300 m²

Lieu : Commune de Gujan-Mestras, France

Objectifs : Suppression des débordements du ruisseau en zone urbaine

Année de réalisation : 2009

Coût de réalisation : 250000 CN\$¹

¹ 1 CN\$ ≈ 7,5 MAD



Figure 4 : Bassin de rétention et de régulation, région de Casablanca, Maroc (Source : AGIRE/MAROC)

Recommandations

Lorsque les conditions sont favorables, les bassins à ciel ouvert et intégrés sont recommandés pour les raisons suivantes :

- Cout de réalisation faible ;
- Réalisation moins complexe ;
- Facilité d'entretien ;
- Portée esthétique de l'aménagement.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Réseau Environnement, MDDEP et MAMROT, (2014). Guide de gestion des eaux pluviales - Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm>
2. Grand Lyon - Fiche n°5.
3. http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/200806_gl_eaux_pluviales_pro_fiche_05_bassins_retention_infiltration.pdf
4. http://www.cageq.ca/documents/Recommandations_bassins_ancienne.pdf
5. <http://www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Gestion-de-leau-a-la-parcelle-bassins-de-retention-4-Avril.pdf>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

11

Ouvrages de stockage d'orage

Milieu urbain

Informations générales

Les ouvrages de stockage d'orage sont des ouvrages enterrés ou à ciel ouvert permettant de collecter et de stocker ou de rejeter les eaux pluviales en temps de forte pluie afin de soulager le réseau d'assainissement et d'éviter les inondations.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Structures alvéolaires ;
- Chaussées réservoirs ;
- Bassins de rétention.



Figure 1 : Disposition de tuyaux enterrés pour le stockage des eaux d'orage (Source : https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/11/sequence1_2_171010_rex-bo_jt-voca_typologies_cle5692d3.pdf)

Données techniques

Le principe de fonctionnement des ouvrages de gestion d'orage consiste à dévier ou à stocker le débit excédentaire de ruissellement en fonction de la capacité du réseau d'assainissement existant, afin d'éviter les inondations et de préserver le bon fonctionnement de la station d'épuration en aval du réseau. En cas de stockage, l'eau est évacuée à débit régulé après l'orage afin d'éviter la mise sous charge du réseau. Le principe de dimensionnement des ouvrages de stockage d'orage est le même que pour les bassins de rétention (voir fiche bassin de rétention).

Il existe plusieurs types d'ouvrages de gestion d'orage :

- Le bassin d'orage qui sont des bassins enterrés ou à ciel ouvert permettant d'écrêter les débits de pointe ;
- Le stockage en tuyaux qui consiste à disposer plusieurs tuyaux sous une structure perméable permettant de collecter et de stocker par gravité les eaux de ruissellement ;
- Le collecteur surdimensionné qui consiste à augmenter les dimensions du réseau sur un tronçon donné, de sorte à stocker l'excédent d'eau apporté par l'orage par rapport au fonctionnement du réseau en temps sec.

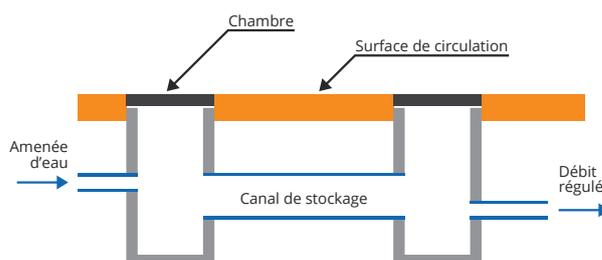


Figure 2 : Principe de fonctionnement des réseaux surdimensionnés (Source : GIZ/Agire)

- Le déversoir d'orage qui consiste à dévier et à rejeter l'excédent d'eau du réseau vers le milieu naturel ;
- etc.

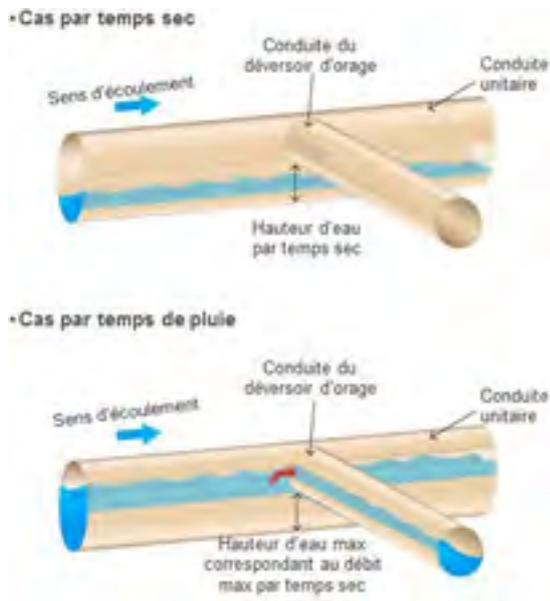


Figure 3 : Schéma du principe de fonctionnement d'un déversoir d'orage (<http://assainissement.comprendrechoisir.com/comprendre/eaux-pluviales-de-toiture-de-ruissellement>)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Ecrêtement des débits de pointe ; • Réduction des risques d'inondation ; • Protection des stations d'épuration ; • Possibilité de valorisation de l'eau stockée par l'alimentation des bouches incendies ou l'arrosage des espaces verts par exemple ; • Aucune emprise de terrain en cas d'ouvrages enterrés.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation élevé ; • Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée ; • Entretiens spécifiques indispensables

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux utilisés diffèrent selon le type d'ouvrage à mettre en place (tableau 1).

Types d'ouvrages	Matériaux
Bassin d'orage	idem que bassin de rétention
Stockage en tuyaux	tuyaux en béton ou en PVC
Collecteur surdimensionné	tuyaux en béton ou en PVC, vannes
Déversoir d'orage	tuyaux en béton ou en PVC, vannes

Tableau 1 : Matériaux utilisés pour la réalisation des ouvrages de stockage d'orage

Le coût de réalisation également varie d'un ouvrage à un autre, et dépend du débit à écrêter et de la valeur du foncier pour les ouvrages à ciel ouvert.

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (pluviométrie, nature du sol, occupation du sol, valeur du foncier, etc.) ;
- Déterminer l'ouvrage adapté ;
- Réaliser la conception de l'ouvrage.

Exécution

- Pour un bassin d'orage voir fiche bassin de stockage
- Pour les ouvrages enterrés :
 - Délimiter l'emplacement du réseau en prenant en compte les réseaux existants (réseau d'AEP, etc.) ;
 - Creuser la tranchée à une profondeur suffisante ;
 - Compacter et dresser le lit de pose tout en respectant la pente de conception de l'ouvrage ;
 - Disposer les conduites, les vannes et les raccords ;
 - Reboucher la tranchée par le déblai ;
 - Réaliser le revêtement en surface.

Test

- Pour le bassin d'orage, idem au bassin de rétention ;
- Pour les ouvrages enterrés, vérifier qu'il n'y a pas stagnation d'eau en surface après la première grande pluie ;
- Si oui, vérifier le bon fonctionnement des vannes et que les ouvrages de prétraitements ne sont pas bouchés.

Suivi

- Idem au test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Inspecter régulièrement les ouvrages et réparer immédiatement les non conformités éventuelles (fuites, corrosions, etc.) ;
- Nettoyer périodiquement les ouvrages de prétraitement ;
- Suivre et veiller à remplacer les constituants de l'ouvrage en fonction de leur durée de vie.

Expériences réussies



Figure 4 : Intérieur du bassin d'orage Joffre, Loos, France
(Source : Soletanche - Bachy)

Description du projet :

Bassin de 17 000 m³

Lieu : Loos, France

Année de réalisation : 2008

Coût de réalisation : 7.54 MMAD

(Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux de 1 euro = 10,7652 MAD (le 12.11.2018))

Recommandations :

- Préconiser des ouvrages simples et faciles à l'entretien
- Garantir l'accès à tout moment à l'ouvrage (voirie, tampons d'accès, etc.).
- Élaborer et disposer d'un programme régulier pour l'entretien.
- Point d'eau ou utilisations des eaux transitant dans l'ouvrage.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Sabla, B.. Catalogue des travaux publics : stockage et régulation. [http://www.bonnasabla.com/bonnasabla/ressources/upload/fckEditor/BS-Catalogue%20TP-02Stock%26Regul\(1\).pdf](http://www.bonnasabla.com/bonnasabla/ressources/upload/fckEditor/BS-Catalogue%20TP-02Stock%26Regul(1).pdf)
2. <http://assainissement.comprendrechoisir.com/comprendre/eaux-pluviales-de-toiture-de-ruissellement>
3. Grand Lyon – Fiche n° 5 : Bassin d'infiltration et/ou infiltration
4. Solétanche Bachy - Bassin d'orage : Loos Bassin Joffre. [http://www.soletanche-bachy.com/SBF/sbf.nsf/technique/bassin-loos/\\$file/481.pdf](http://www.soletanche-bachy.com/SBF/sbf.nsf/technique/bassin-loos/$file/481.pdf)
5. Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES), ANJOU RECHERCHE et Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (F N D A E), (2006). Guide technique sur le fonctionnement des déversoirs d'orage.
6. Helie, S., Roux, C., Sikora B., (2010). Modernisation d'un déversoir d'orage des Hauts-de-Seine à l'aide d'une vanne Déomatic. NOVATECH

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

12

Déversoir d'orage

Milieu urbain

Informations générales

« Le déversoir d'orage est un ouvrage permettant le rejet direct d'une partie des effluents au milieu naturel lorsque le débit à l'amont dépasse une certaine valeur. Les déversoirs d'orage sont généralement installés sur les réseaux unitaires dans le but de limiter les apports au réseau aval et en particulier dans la STEU en cas de pluie » (Source : Chocat 1997).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Sous-sol libre
- Nature du sol
- Topographie
- Accessibilité des ouvrages fonctionnements quantitatifs et qualitatifs
- Topographie : pente, bassins hydrographiques, existence d'exutoires naturels, etc. ;
- Occupation du sol : densité de l'habitat et des activités, voirie, sous-sol, etc.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Trop-pleins ;
- Vannes de secours.



Figure 1 : Déversoir d'orage (Source : https://eau.public.lu/eaux_usees_pluviales/assainissement/deversoir_orage/index.html)

On leur a assigné en premier le rôle hydraulique de trop plein ou de « soupape de sécurité » du réseau d'assainissement unitaire. On limitait ainsi la quantité d'effluents envoyée vers l'aval.

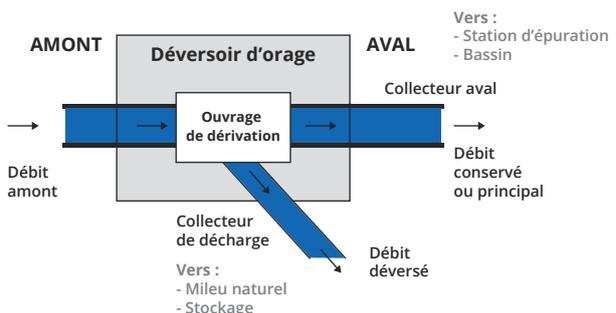


Figure 2 : Principe du déversoir d'orage (Adapté de ENGÉES, 2012)

Ensuite, la prise de conscience de la protection de la ressource en eau a permis la création des stations de traitement des eaux usées (STEU). On a dû adapter le débit aval des déversoirs existants en fonction du débit de référence. De plus, la prise de conscience de la quantité de pollution véhiculée par les réseaux d'assainissement a permis d'enrichir le rôle des déversoirs. Ils ont ainsi pour fonction de limiter la fréquence des déversements vers le milieu naturel.

L'utilisation de déversoirs et de seuil pour réguler les écoulements n'est pas une découverte récente; leur usage remonte à une époque lointaine. Les romains déjà avaient développé des systèmes similaires à ceux d'aujourd'hui.

La courbe de fonctionnement théorique représente le cas de régulation idéale dans lequel quel que soit le débit amont supérieur au débit de référence, le débit conservé est égal au débit de référence.

La création d'un tel déversoir nécessite une régulation dynamique représentée par exemple par une vanne autorégulée ou par une pompe.

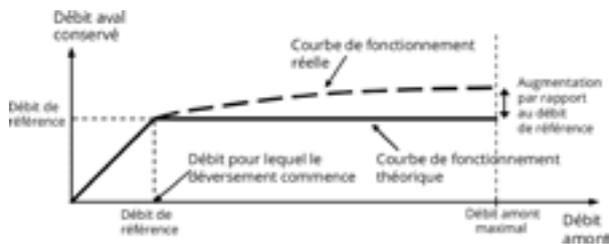


Figure 3 : Principe de fonctionnement hydraulique du déversoir d'orage (Source : ENGEES, 2012)

Le choix d'un déversoir d'orage résulte d'un compromis fait au moment de la réalisation ou de la rénovation du réseau unitaire selon quatre types de contraintes :

Physiques (géométrie + hydraulique)

- Ouvrages hydrauliques proches du DO
- (bassin, station de pompage...)

Environnementale

- Protection du milieu naturel contre les
- Pollutions ;
- Protections des riverains contre les pollutions
- Diverses (santé, odeurs, bruit...).

Economiques

- Coût des collecteurs vis-à-vis du coût du déversoir et de ses ouvrages annexes.

Gestion

- Mode de gestion : statique, dynamique
- (Ouvrages mobiles) ;
- Facilités d'exploitation : accès, nettoyage, entretien...

Données techniques

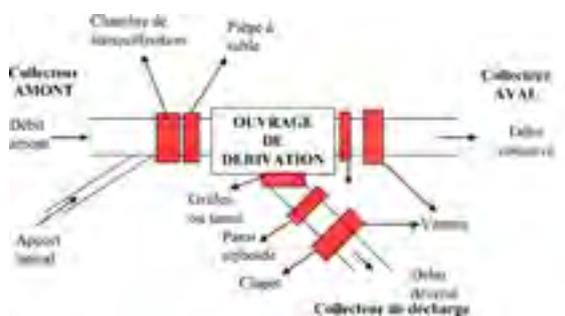


Figure 4 : Conception détaillée d'un déversoir d'orage (Source : ENGEES, 2012)

Le dimensionnement d'un déversoir d'orage commence par le choix du débit de référence et du débit amont maximal en fonction des objectifs de protection (du milieu naturel, de la ville contre l'inondation...) qui doivent être assurés par le réseau d'assainissement.

Les grilles ont pour but de piéger les gros solides ($\varnothing > 6 \text{ mm}$) pour éviter leur envoi dans le milieu naturel. La paroi siphonoïde permet d'éviter d'envoyer les flottants vers le collecteur de décharge. Ils sont ainsi acheminés vers la station de traitement des eaux usées.

La chambre de tranquillisation et/ou de dessablement, située à l'amont du déversoir, a pour but, en réduisant la vitesse du flux, d'assurer une décantation des sables (matières minérales denses) et de faire remonter en surface les flottants.

Les vannes de régulation permettent, dans certaines configurations, de mieux garantir le fonctionnement hydraulique du déversoir. Dans la conduite conservée, le rôle de la vanne est de limiter le débit à l'aval. Pour la conduite déversée, la vanne empêche une remontée des eaux.

Les déversoirs peuvent être classés suivant la forme de l'ouvrage de dérivation.

On peut distinguer les déversoirs avec et sans crête déversante comme les trop-pleins de bassin.

Le déversoir frontal est constitué d'une crête rectiligne et perpendiculaire à l'écoulement de la conduite amont.

Le déversoir latéral est constitué d'une crête rectiligne et faisant un angle avec l'écoulement de la conduite amont pouvant aller jusqu'à 20° .

Parmi les déversoirs à seuils, on peut encore établir une sous-catégorie selon :

L'angle entre l'écoulement de la conduite amont et la crête :

- Déversoir sans entonnement (angle nul) ;
- Déversoir avec entonnement ($0 < \text{angle} \leq 20^\circ$).

Le nombre de crêtes de débordement :

- Déversoir à une crête déversante d'un seul côté ;
- Déversoir à deux crêtes déversantes de chaque côté.

La hauteur de la crête par rapport à la hauteur de la conduite aval conservée :

- Déversoir à crête haute ;
- Déversoir à crête basse.

L'épaisseur de la crête de débordement :

- Seuil à crête mince ;
- Seuil à crête épaisse.

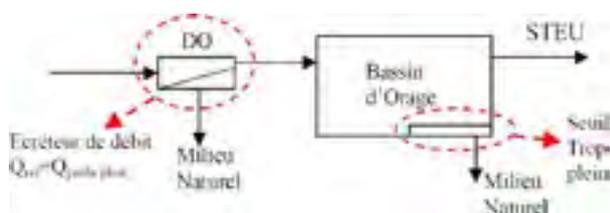


Figure 5 : Déversoir d'orage avec bassin (Source : ENGEES, 2012)

Le déversoir d'orage peut jouer le rôle d'écrêteur de débit strict, ou associé à un rôle de trop plein, en fonction de sa position par rapport au bassin d'orage.

Le bassin est traversé en permanence par la totalité des eaux de temps sec et d'une partie des eaux de temps de pluie (connexion directe). Un déversoir à l'amont limite le remplissage du bassin pour un débit de temps de pluie correspondant au débit critique.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Protège le milieu naturel ; • Soulage la station de traitement ; • Protège contre les inondations.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'une étude spécifique à chaque ouvrage ; • Mobilisation de moyens de calcul et de compétences hydrauliques pour construire les relations hauteurs débit ; • possibilité de pollution des milieux naturels.

Liste des matériaux et coûts

La liste des matériaux et le coût d'installation d'un déversoir d'orage ne sont pas définis, car il dépend de plusieurs critères et c'est ce qui rend l'estimation un peu difficile, parmi ces paramètres on trouve la topographie, le débit des eaux usées et le type de déversoir. Le déversoir peut être un préfabriqué près à l'installation qui est en général métallique.



Figure 6 : Déversoir d'orage en acier (Source : MSE)

Le déversoir peut aussi être un ouvrage en béton armé nécessite le matériel nécessaire pour les constructions, béton, barres de fer, planches, vannes, régulateur de débit, détecteurs de niveau d'eau, clapet anti retour, et outils...



Figure 7 : Déversoir d'orage en béton préfabriqué (Source : <http://www.vdbbeton.be/>)

Etapas de réalisation

Préalables

- Récolte d'information pour le calcul du débit de référence ou le débit des eaux du temps sec ;
- Etude sur le milieu récepteur des eaux déversées ;
- Localisation d'endroit d'emplacement du déversoir ;
- Choix du type de déversoir ;



Figure 8 : Construction d'un déversoir d'orage, Givros (Source : SYSEG, 2012)

Entretien et maintenance

Le déversoir d'orage est un ouvrage qui nécessite un entretien régulier pour garantir la pérennité de l'ouvrage et de l'ensemble des équipements et s'assurer du bon fonctionnement de la lignée de mesure et de prélèvement.

Pour cela il faut :

Contrôle journalier sur supervision :

- Contrôle journalier sur la supervision (problème alimentation, défaut mesure, détection de valeur aberrante...);
- Fin de campagne de prélèvement.

Entretien hebdomadaire :

- Nettoyage des préleveurs ;
- Epoussetage et brossage des sondes ;
- Contrôle de l'ensablement du réseau proche des sondes vitesse et enlèvement des flottants et gros déchets sur les lames de déversement.

Contrôle périodique des Ouvrages équipés de dispositifs d'auto surveillance :

- Des préleveurs ;
- Des sondes.

Expériences réussies

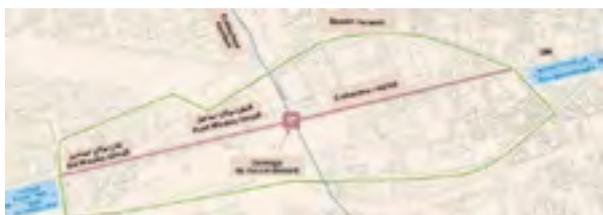


Figure 9 : Localisation du projet de lutte contre les inondations du bd Moulay Ismail à Ain Sebaâ, Casablanca Maroc (Source : Lydec)

Description du projet :

Renforcement du réseau d'assainissement pluvial par :

- Pose d'un collecteur de renforcement unitaire d'un diamètre de 600 à 1.000 mm sur une longueur de plus de 1.200 mètres ;
- Pose d'une conduite de raccordement sur le collecteur Afriquia ;
- Aménagement d'un déversoir d'orage.

Lieu : Boulevard Moulay Ismail à Ain Sebaâ, Casablanca Maroc

Objectifs : Lutte contre les inondations

Année de réalisation : 2011

Coût de réalisation : 10,5 millions de dirhams HT



Figure 10 : Localisation de quelques déversoirs d'orage (DO) sur la ville de Vallière (Source : SIAAL, 1998)

Des déversoirs d'orage distribués sur les réseaux unitaire de la Vallière qui est une commune française située dans le département de la Creuse. Certains DO sont soumis à un système d'auto surveillance qui permet :

- De répondre à la réglementation en vigueur ;

- De collecter des données et de les intégrer dans un outil d'aide à la compréhension de la dynamique des réseaux unitaires par temps de pluie ;
- De renforcer la police de réseau en pouvant réaliser des prélèvements dans des DO en aval d'établissements particuliers.



Figure 11 : Sonde de mesure à l'intérieur d'un déversoir d'orage situé rue Jean Berry à Givors (Source : SYSEG, 2012)

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Guide technique sur le fonctionnement des déversoirs d'orage
2. Maîtrise des rejets urbains de temps de pluie en Basse-Normandie
3. Guide Technique n°1 Optimisation par modélisation numérique de l'évaluation du débit rejeté par un déversoir d'orage à partir de la mesure d'une ou plusieurs hauteurs d'eau.
4. Diagnostic pour l'aide à l'instrumentation
5. Des déversoirs d'orage, José VAZQUEZ, 2016
6. <http://www.vdbbeton.be/nl/pages/bypass.html>
7. http://www.syseg.fr/4-nouveaux-deversoirs-d-orage-bientot-sous-autosurveillance_a132.html
8. ENGEES : Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg.
9. SYSEG : syndicat pour la station d'épuration de Givors, France
10. SIAAL : Syndicat Intercommunal d'Assainissement de Longwy, France
11. MSE : Matériel. Santé. Environnement

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

Milieu Rural

13. Collecte de l'eau de toiture	108
14. Cuvettes	112
15. Demi-lunes	115
16. Système Vallerani (VS)	118
17. Negarim	121
18. Billonnage	125
19. Banquettes	128
20. Cordons pierreux	131
21. Paillage	134
22. Techniques de labour et de travail du sol	138
23. Terrasses	141
24. Irrigation par jarre	144
25. Bois Raméal Fragmenté (BRF)	149
26. Tabia	154
27. Jessour	157
28. Seuil d'infiltration	160
29. Seuil d'épandage des eaux de crues	164
30. Lacs collinaires	167
31. Matfia	170
32. Kheffara	174
33. Barrages souterrains	179
34. Collecte des eaux de brouillard	182
35. Seguia	186



13

Collecte de l'eau de toiture

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

La récupération des eaux pluviales par le système de toiture consiste à récupérer les eaux qui tombent sur le toit dans un réservoir à travers un système de drainage, afin de garantir une disponibilité de l'eau surtout pendant les périodes sèches pour satisfaire les différents besoins d'un ménage en milieu rural.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Partout ;
- Précipitation > à 300 mm/an de préférence ;
- Toit en matériaux imperméables (ex: tôles, tuiles, etc.) ;
- Au moins 1 m de profondeur de sol pour les réservoirs enterrés ou semi-enterrés ;
- Disponibilité d'espace pour le réservoir ;
- Disponibilité de matériaux et de main d'œuvre localement.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Drainage de l'eau du toit directement vers un jardin ;
- Puits d'infiltration ;
- Toit vert ;
- Tranchée d'infiltration.



Figure 1 : Réservoir connecté au toit d'une maison (Source : Geherys Lane Kilmore, Development Plan, March 2014)

Données techniques

Un système de collecte d'eau de pluie est constitué essentiellement des éléments suivants :

- Un impluvium qui sert de surface de collecte ;
- Un système de drainage constitué des gouttières, du tuyau de descente et des filtres ;
- Un réservoir de stockage enterré ou surélevé ;
- Des ouvrages annexes (filtres, prise d'eau, trop-plein, etc.).



Figure 2 : Exemple de drainage de l'eau du toit vers un jardin (Source : <http://takecareoftexas.org/sites/default/files/publications/gi-404.pdf>)

La conception d'un tel système passe par les différentes étapes suivantes :

Estimation de la demande domestique en eau

La demande annuelle en eau du ménage se calcule comme suit :

$$D = (\text{dot} \times N + X) \times 10^{-3} \times 365 \text{ jours}$$

Avec :

- D : demande annuelle en eau en m³ ;
- dot : dotation journalière d'eau en l/ habitant/ jour ;
- N : nombre d'habitants du ménage.
- X : demande journalière pour les autres besoins (arrosage, etc.) en l/jour.

Cette approche est approximative et ne tient pas compte des variations des besoins en fonction de la tranche d'âge et des saisons.

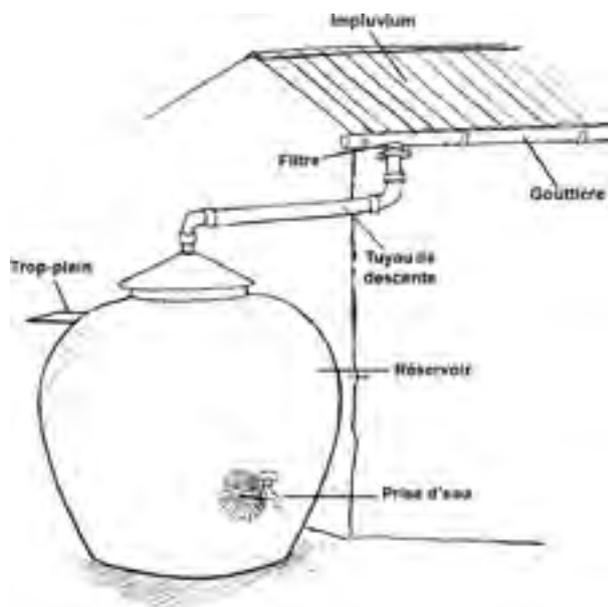


Figure 3 : Composantes de base d'un système de collecte d'eau de pluie (Adapté de Worm, 2006)

Conception du système de drainage

Les gouttières existent sous diverses formes et sont dimensionnées selon Worm (2006), comme suit) :

- 1 cm² de section transversale par m² de surface de toiture ;
- La longueur est imposée par la longueur de la toiture.

Calcul du volume de réservoir nécessaire

Il existe plusieurs approches pour calculer le volume du réservoir suivant l'objectif recherché :

• Approche basée sur la demande

Cette méthode est appropriée pour les zones connaissant une saison sèche distincte. Le réservoir est prévu pour répondre aux besoins en eau pendant toute la saison sèche.

$$V_r = (D / 12) \times nms$$

Avec :

- D: demande annuelle en eau en m³ ;
- nms: nombre de mois de la saison sèche.

• Approche basée sur l'approvisionnement (méthode graphique)

Elle est plus précise et permet de maximiser la collecte.

L'approvisionnement mensuel A_{pi} se calcule comme suit :

$$A_{pi} = P_i \times 10^{-3} \times S \times C_e$$

Avec :

- A_{pi} : approvisionnement mensuel en m³ ;
- P_i : précipitation moyenne mensuelle en mm ;
- S : surface de la projection horizontale du toit en m² (figure 3) ;
- C_e : coefficient d'écoulement du toit.

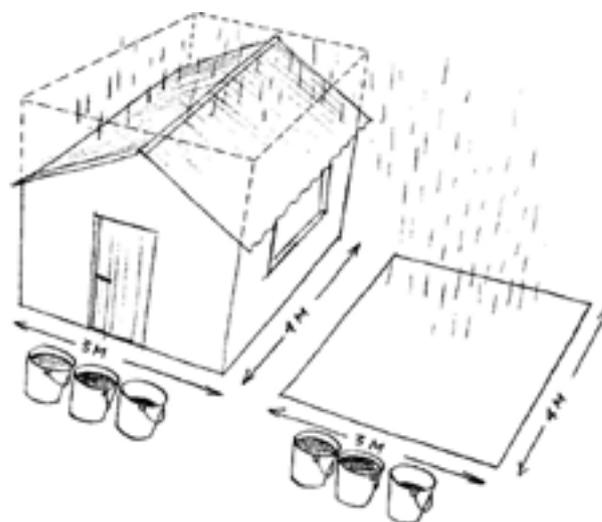


Figure 4 : Plan horizontal de la superficie du toit (Source : <http://www.fpvimage.co/how-to-calculate-the-area-of-a-roof/>)

Les étapes du calcul sont les suivantes :

- Tracer sur un graphe l'approvisionnement moyen mensuel en barre et la demande moyenne mensuelle en ligne de chaque mois ;
- Tracer sur le même graphe le cumul des approvisionnements mensuels ;
- Ajouter sur ce graphe une ligne en pointillés correspondant au cumul de la demande mensuelle en eau.

Le volume adéquat du réservoir correspond à la plus grande différence entre le cumul de l'approvisionnement et le cumul de la demande pour chaque mois, majorée de 5 m³. Cette méthode peut être résumée dans la formule suivante :

$$V = \max(\Sigma(P_m \times 10^{-3} \times S \times C_e) - \Sigma(D)) + 5$$

Avec :

- V : volume du réservoir en m³ ;
- P_m : pluies mensuelles en mm ;
- D : demande mensuelle en eau en m³ ;
- S : surface du toit en m² ;
- l : mois de l'année.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Construction simple ; • Maintenance simple ; • Augmentation de la disponibilité en eau ; • Souplesse et adaptabilité du système.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement relativement élevé en cas d'indisponibilité de matériaux locaux appropriés ; • Entretien régulier indispensable ; • Qualité d'eau variable ; • Dépendance de la collecte par rapport à la superficie du toit

Liste des matériaux et coûts

Le choix des matériaux dépend des conditions locales, des matériaux disponibles, du type d'utilisation de l'eau collectée et du budget disponible.

Composantes	Matériaux
Impluvium	Plastique ondulé, tuiles, tôles; sauf la chaume, le bitume, l'amiante ciment et les matériaux contenant du plomb.
Gouttières	Aluminium, acier galvanisé, bambou, planche, PVC, ...
Filtre	Tamis en acier inoxydable
Tuyau de descente	Aluminium, acier galvanisé, PVC,...
Réservoir	Jarres en poterie, PVC, ferrociment, ou du béton surtout en cas d'un réservoir enterré.
Prise d'eau	Robinet (RS), pompe (RE), système de poulie
Trop plein	Aluminium, acier galvanisé, PVC,...

RS : réservoir en surface; RE: réservoir enterré

Tableau 1 : Matériaux utilisés dans la construction d'un système de CEP

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (ressources en eau de la région, climat) et juger de la nécessité du système ;
- Vérifier la compatibilité et l'étanchéité du toit existant ;
- Déterminer la surface de captage et évaluer la rentabilité du système ;
- Réaliser la conception du système (volume et type de réservoir, choix de matériaux).

Exécution

- Choisir l'emplacement adéquat du réservoir et dresser et compacter le lit de pose ;
- Construire le réservoir ;
- Disposer les gouttières avec une inclinaison régulière pour permettre un écoulement lent et minimiser les pertes ;

- Relier l'extrémité de la gouttière et le réservoir de stockage par un tuyau de descente ;
- Pour garantir la qualité de l'eau stockée, il faut prendre certaines précautions telles que :
 - Placer un filtre grossier entre la gouttière et l'entrée du réservoir ;
 - Placer un autre filtre plus fin selon le type d'utilisation de l'eau au niveau de la prise d'eau ;
 - Prévoir un dispositif d'évacuation du premier flot ;
 - pour des fins de consommation, prévoir un traitement supplémentaire (javellisation...)

Test

- Inspecter le système après la première pluie et vérifier l'étanchéité de toutes les composantes du système ;
- Vérifier le bon fonctionnement des filtres ;
- Réparer les éventuelles fuites.

Suivi

- Inspecter le système deux fois par saison Pluvieuse ;
- Réparer les éventuelles fuites.

Entretien et maintenance

- Vérifier régulièrement s'il y a des fuites et fissures à réparer dans le système ;
- Nettoyer le toit, les gouttières et le réservoir à la fin de chaque saison sèche ;
- Nettoyer ou remplacer les éventuels filtres ;
- Laver l'intérieur du réservoir avec une solution d'eau de javel après chaque vidange puis rincer à l'eau trente-six (36) heures après, avant de l'utiliser à nouveau.

Expériences réussies



Figure 5 : Réservoir de captage d'eau pluviale de l'école primaire de Dayet Ifrah en construction (Source : GIZ/AGIRE)

Description du projet :

Projet d'assainissement écologique rural

Lieu : Village de Dayet Ifrah au Maroc

Objectifs : Collecte des eaux de toiture de l'école du village

Année de réalisation : 2010

Coût de réalisation : 15 000 MAD

Impact écologique : Augmentation de la disponibilité en eau

Appréciation des usagers : Satisfaction

Recommandations

- Les gouttières en cuivre, en bois, en vinyle ou en plastique sont déconseillées ;
- Prévoir des mesures de traitement comme la javellisation, l'ébullition, des filtrations supplémentaires, et autres, si l'eau collectée est destinée à la consommation ;
- Pour le Maroc, dans la majorité des cas, les réservoirs construits sont appelés Matfias (voir fiche n°30).

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Janette Worm, (2006). La-collecte de l'eau de pluie à usage domestique - Agrodok 43. Fondation Agromisa et CTA
2. WOCAT, (2011). La pratique de la gestion durable des terres - Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne
3. GIZ/AGIRE. Projet pilote d'assainissement écologique rural dans le village de DayetIfrah. <http://www.agire-maroc.org/activites/assainissement-et-reutilisation-des-eaux-usees/inauguration-du-projet-pilote-dassainissement-ecologique-dayet-ifrah-juillet-2011.html>
4. https://www.mitchellshire.vic.gov.au/downloads/Services/Building_Planning_Transport/Strategic_Planning/125_Gehreys_Lane_Kilmore/1_Development_Plan_Assessment_Report.pdf

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

14

Cuvettes

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Les cuvettes constituent une méthode traditionnelle de réhabilitation des terres cuirassées et encroûtées. Elles permettent de capter les eaux de ruissellement et d'augmenter l'humidité du sol. La technique est connue sous différents noms tels que zaï au Burkina Faso ou tassa au Niger.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- 300 à 800 mm/an de précipitation ;
- Dans les terrains agricoles ;
- 5% maximum de pente ;
- Tout type de sols sauf les sols sableux ;
- 50 cm au moins de profondeur ;
- Cultures maraîchères, cultures fourragères, céréalicultures.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Demi-lunes ;
- Negarim ;
- Système vallerani.



Figure 1 : Système de cuvettes concentrant l'eau pour les cultures (Source : AGRISUD, 2010)

Données techniques

Les cuvettes mesurent en moyenne 20 à 40 cm de diamètre, avec une profondeur de 10 à 20 cm. Elles sont disposées en quinconce et espacées de 1m. Environ 10000 cuvettes peuvent être creusées par hectare.

De plus grandes tailles sont envisageables pour des zones plus sèches.

Après excavation, le déblai est rejeté en aval de la cuvette et disposé en croissant de façon à retenir au mieux les ruissellements.

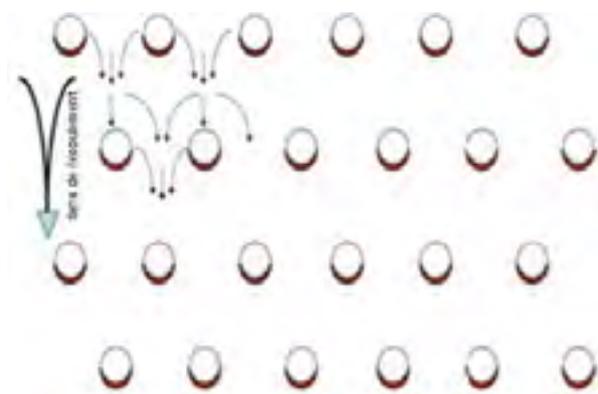


Figure 2 : Conception des cuvettes

L'activité des micro-organismes rend le sol plus poreux formant en profondeur des poches d'humidité à l'abri de l'évaporation.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Augmentation de l'humidité du sol ;• Réduction des risques d'érosion en nappe ;• Réalisation simple ;• Adaptable à la demande.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Besoin élevé en main d'œuvre ;• Instabilité des cuvettes en sol meuble ;• Mécanisation impossible de l'agriculture.

Liste des matériaux et coûts

La réalisation des cuvettes est entièrement manuelle. Divers outils sont utilisés pour les creuser tels que la houe, la pioche, etc.



Figure 3 : Réalisation des cuvettes, Burkina Faso

Le coût de réalisation dépend de la main d'œuvre, du type et de la quantité d'engrais utilisé.

La main d'œuvre nécessaire pour la réalisation des cuvettes sur un hectare serait située entre 40 et 60 ouvriers (Source : Dorlochter-Sulser et al, 2012). Enfin, le coût journalier de la main d'œuvre en milieu rural marocain varie de 60 à 70 MAD/j. Pour un hectare ça varie entre 2400 à 4200 MAD/j

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante ;
- Estimer la taille et l'espacement entre les cuvettes en fonction de la pluviosité, la nature du sol et le type de cultures ;
- Vérifier la disponibilité de la main d'œuvre et de l'engrais.

Exécution

- Marquer la position des cuvettes à l'aide d'une ficelle de longueur égale à l'espacement choisi plus le rayon des cuvettes (par exemple une ficelle de 1,15 m pour une cuvette de rayon 15 cm et un espacement de 1 m) ;

- Attacher un piquet à chaque extrémité de la ficelle pour s'assurer un espacement constant. Planter un piquet à l'emplacement de la première cuvette et, avec l'autre, tracer un cercle autour. Ensuite planter le 1^{er} piquet sur le cercle (emplacement de la 2^{ème} cuvette) et tracer un nouveau cercle. Creuser les 3^{ème} et 4^{ème} cuvettes aux points de rencontre des deux cercles ;
- Disposer la terre extraite en cordon en aval de chaque cuvette pour améliorer le captage du ruissellement ;
- Répéter les opérations précédentes jusqu'à traiter complètement tout le terrain ;
- Apporter de la matière organique sous forme de fumier ou de compost avant la période de semis (une poignée, soit environ 600 g/trou) ;



Figure 4 : Dépôt de fumure organique à gauche et d'une micro-dose d'engrais à droite dans la cuvette (Source : <http://www.fao.org/docrep/014/i1861f/i1861f04.pdf>)

- Utiliser les résidus disponibles pour créer un paillage en couverture de la cuvette pour protéger de l'évaporation et des mauvaises herbes.

Test

- Vérifier après la première pluie la fonction de captage et la stabilité de la forme des cuvettes ;
- En cas de destruction, chercher les causes et les rectifier.

Suivi

- Idem que le test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Désherber le champ 2 fois par cycle de culture pour éviter l'expansion des mauvaises herbes ;
- Epandre les résidus de récolte sous forme de paillage pour ralentir l'évaporation ;
- Semer dans les mêmes cuvettes la deuxième année ou creuser de nouvelles entre les premières si le but est de restaurer la fertilité de tout le champ.

Expériences réussies



Figure 5 : Champs voisins de sorgho avec cuvettes à gauche et sans cuvettes à droite (Source : <http://kaabnoogo.blogspot.com/2010/09/>)



Figure 6 : Cultures en cuvettes, Madagascar (Source : AGRISUD, 2010)

Recommandations

- Technique particulièrement adaptée à l'agriculture de subsistance pour combattre la pauvreté ;
- Pour de grandes superficies et en cas de moyens disponibles, opter pour des techniques mécanisables (ex. la technique vallerani), notamment pour l'amélioration des parcours sur les steppes semi-aride et arides.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. AGRISUD, (2010). L'agroécologie en pratiques – Guide édition 2010
2. WOCAT, (2011). La pratique de la gestion durable des terres : Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique Subsaharienne. FAO, TerrAfrica
3. Justine Anschütz, Antoinette Kome, Marc Nederlof, Rob de Neef et Ton van de Ven, (2004). Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol. CTA
4. Dorlochter-Sulser, S. et Nill, D., (2012). Bonnes pratiques de CES/DRS – Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs. GIZ
5. WOCAT, FAO and UN, (2009). SLM in practice – Promoting knowledge on sustainable land management for action in Sub-Saharan Africa. Draft version. TerrAfrica
6. <http://www.kaabnoogo.blogspot.com/>
7. <https://afrique-ouest.cirad.fr/le-cirad-en-afrique-de-l-ouest-zone-seche/burkina-faso>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

15

Demi-lunes

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Les demi-lunes (DL) sont des ouvrages en terre compactée ou en pierres en forme de demi-cercle. Elles sont conçues en quinconce, perpendiculairement à la pente et suivant les courbes de niveau. Elles permettent de collecter l'eau de ruissellement pour la mettre à la disposition de la plante.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- 200 à 500 mm/an de précipitation ;
- Dans les terrains agricoles ;
- 1 % à 5 % de pente ;
- Sols peu salins et non argileux ;
- Couche végétale de 20 à 30 cm de profondeur ;
- Cultures fourragères, céréaliculture, arboriculture.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cuvettes ;
- Negarim ;
- Vallerani.



Figure 1 : Demi-lune (banquettes semi-circulaires) (Source : INRA, 2004)

Données techniques

Les demi-lunes sont disposées en quinconce et suivant les courbes de niveau (figure 2).

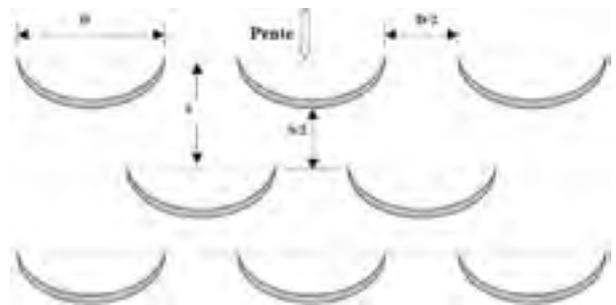


Figure 2 : Configuration des demi-lunes

Les dimensions des DL varient selon la pluviométrie, la nature du sol et le types de cultures (tableaux 1 et 2).

Pluviométrie	Rayon
200 - 300 mm	0,5 - 5 m
300 - 500 mm	5 - 30 m

Tableau 1 : Dimension des demi-lunes en fonction de la pluviométrie

	Configuration "a"	Configuration "b"
Rayon	6 m	20 m
Espacement	3 m	30 m
Densité	70-75 demi-lunes/ha	4 demi-lunes/ha

Tableau 2 : Exemples de configurations types «a» et «b» des demi-Lunes

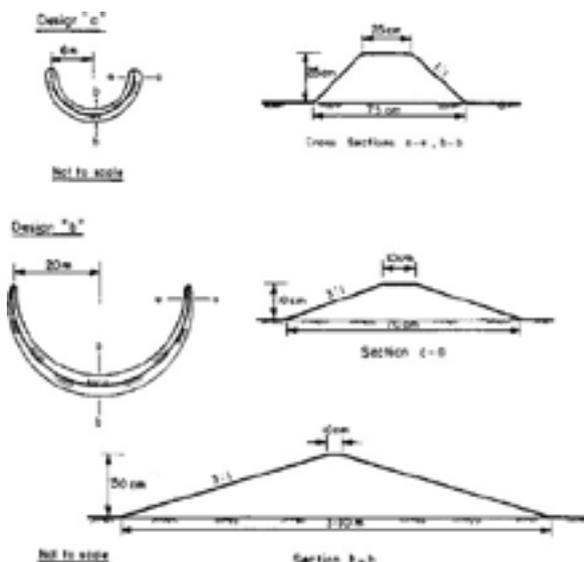


Figure 3 : Dimensions des DL pour la configuration « a » en haut et « b » en bas (Adapté de Critchley et al, 1991)

Ces dimensions sont valables pour des pentes de 1% pour la configuration « a » et 2% pour « b » (Critchley et al, 1991). Pour des pentes supérieures la hauteur des DL devrait être augmentée (voir fiche Negarim), et l'espacement réduit. Un fossé de déviation peut être creusé en amont pour limiter l'intrusion des eaux extérieures dans le champ.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre l'érosion ; • Augmentation des rendements agricoles ; • Restauration de la végétation ; • Augmentation de l'infiltration ; • Réalisation relativement peu couteuse ;
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Forte demande en main d'œuvre ; • Réduction des superficies cultivables ; • Risque d'inondation des plants en cas de grands volumes de ruissellement.

Liste des matériaux et coûts

La réalisation des demi-lunes se fait à base de déblais. La quantité de déblais requise dépend de la configuration choisie (tableau 3).

Caractéristiques	Configurations	
	a	b
Pente	1 %	2 %
Rayon	6 m	20 m
Longueur de la diguette	19 m	63 m
Aire/ demi-lune	57 m ²	630 m ²
Déblai / demi-lune	2,4 m ³	26,4 m ³
Nombre de demi-lunes / ha	73	4
Déblai/ ha	175 m ³	105 m ³

Tableau 3 : Quantité requise de déblais pour les demi-lunes (Source : Critchley et al, 1991)

La réalisation des demi-lunes est généralement manuelle mais des excavateurs peuvent être utilisés pour les grandes structures (rayon > 10 m). Le tableau 4 donne les coûts de réalisation des demi-lunes.

Travaux	Coûts
Excavation	500 MAD/ha
Construction des diguettes	2500 MAD/ha

Tableau 4 : Coût de réalisation des demi-lunes (Source : Roose et al., 2010)

Étapes de réalisation

Préalables

- Inspecter la situation naturelle (topographie, nature et profil du sol, pluviométrie, types de cultures adaptées) ;
- Réaliser la conception du système de demi-lunes (dimensions et espacement).

Exécution

- Déterminer et marquer la ligne de niveau supérieure du champ ;
- A l'aide d'un fil mesurant le rayon de demi-lune choisi, délimiter chaque demi-lune et marquer les extrémités en respectant les espacements ;
- Tout en respectant l'espacement, déterminer la ligne de niveau inférieure et répéter l'opération jusqu'à traiter complètement de tout le champ ;
- Procéder à l'excavation de la surface des demi-lunes. Et, s'assurer de la présence de terre végétale après excavation ;
- Utiliser ensuite le déblai pour construire la demi-lune en respectant les tracés ;
- Mouiller et compacter la demi-lune.



Figure 4 : Réalisation des demi-lunes

Test

- Remplir la demi-lune d'eau jusqu'à 20 cm de hauteur et déterminer la durée d'infiltration. Si au bout de 30 minutes l'eau ne s'infiltré pas totalement, labourer le sol dans la DL lorsque l'eau disparaîtra afin d'augmenter la capacité d'infiltration du sol ;

- Vérifier la stabilité des DL après la première pluie et réparer les éventuelles fissures par ajout de déblai puis par compactage.

Suivi

- Vérifier la stabilité des DL après chaque forte pluie et réparer les éventuelles fissures par ajout de déblai puis par compactage ;
- Labourer le sol dans la DL en cas de formation d'une croûte pouvant freiner l'infiltration.

Entretien et maintenance

- Inspecter le champ après chaque forte pluie et réparer les éventuelles DL brisées ;
- Garder la zone de captage exempte de végétations pour optimiser le captage ;
- Labourer le sol dans les DL avant chaque saison pluvieuse.

Expériences réussies



Figure 5 : Champ de mil dans des demi-lunes, région de Tahoua, Niger (Source : Botoni et al. 2009)



Figure 6 : Plantations expérimentales d'oliviers dans des demi-lunes, Syrie (Source : ICARDA, 2006)

Recommandations

- Choisir des cultures bien adaptées aux demi-lunes et résistantes au stress hydrique ;
- A préconiser pour l'amélioration pastorale et l'installation d'arbustes fourragers ;
- S'assurer d'une profondeur de sol d'au moins 50 cm après excavation pour une bonne réussite du système.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. INRA, 2004. Projet 83 : Recherche sur les technologies de lutte contre la désertification au Sahel et étude de leur impact agro-écologique. Ouagadougou
2. Sibiri Jean Ouedraogo, Abdoukarim Dan Koulou et Jean Claude Ouedraogo, (2007). Partager et diffuser les acquis pertinents es actions de gestion durable de la fertilité des sols pour une meilleure prise de décision. CILSS
3. Éric Roose, Mohamed Sabir et Abdellah Laouina, (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc - Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes
4. Will Critchley, Klaus Siegert and C. Chapman, (1991). Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO
5. CTA, (2008). Récupération de l'eau de pluie pour accroître la production fourragère. Collection Guides pratiques du CTA, N°3
6. Zougmoré R. et Zida Z., (2000). Récupération agronomique des terres encroutées par la technique de demi-lune. INERA SARIA, Fiche technique N° 5
7. CRESA, (2006). Impacts des investissements dans la gestion des ressources naturelles (GRN) au Niger : Rapport de synthèse. Niamey, Niger
8. Edwige Botoni et Chris Rey, (2009). La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel : impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

16

Système Vallerani (VS)

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Le système Vallerani (VS) est basé sur la création de tranchées creusées dans le sol, perpendiculairement à la pente et suivant les courbes de niveau à l'aide d'une charrue spécifique développée par le Dr. Venanzio Vallerani. Ces tranchées permettent de rompre la compaction du sol et de collecter les eaux de ruissellement. Les « Valleranis » ainsi créés constituent un moyen mécanique de récupération des sols dégradés.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- 200 à 800 mm/an de précipitation ;
- Agriculture ou végétation naturelle ;
- De préférence < à 5 %, maximum 10% de pente ;
- Au moins 50 cm de profondeur de sol ;
- Arboriculture, céréaliculture, viticulture, cultures sylvo-pastorales.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cordons pierreux ;
- Cuvettes ;
- Demi-lunes ;
- Negarims.



Figure 1 : Vallerani, Burkina Faso (Source : Condera et al., 2010)

Cette méthode de travail des terres arides et semi-arides vise à restaurer et redonner vie aux sols dégradés à travers une amélioration de l'infiltration des eaux pluviales, et permet ainsi de :

- Optimiser le stockage et l'utilisation de l'eau de pluie ;
- Reboiser des grandes zones désertiques ;
- Améliorer les pâturages ;
- Augmenter la production agricole.

Données techniques

Les valleranis sont réalisés à l'aide d'une charrue Delfino nécessitant un tracteur de grande puissance (150 à 160 CV). Cette charrue permet de creuser de petites tranchées tout en disposant le déblai en aval. La charrue creuse 10 à 20 valleranis par minute (Junhou et Vallerani, 2010). L'eau recueillie est protégée de l'évaporation et mise à la disposition des racines.



Figure 2 : Charrue Delfino montée un tracteur réalisant des valleranis (Source : http://bft.cirad.fr/cd/BFT_304_61-71.pdf)

Un exemple de configuration pour la réalisation des valleranis est présenté dans la figure 3, et leurs dimensions rapportées dans le tableau 1.

Longueur	Largeur	Profondeur	Espacement
4 à 5 m	1 m	50 cm	2m

Tableau 1 : Dimensions moyennes des valleranis

L'écart entre les lignes de valleranis varie avec la pente (tableau 2)

Pente	Ecart	Densité
< 2 %	7 m	200 valleranis/ha
2 - 5 %	5 m	280 valleranis/ha
5 - 10 %	3 m	480 valleranis/ha

Tableau 2 : Ecart et densité moyenne des valleranis en fonction de la pente

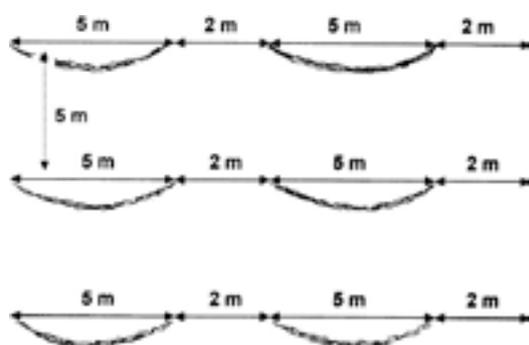


Figure 3 : Espacement entre les lignes et les valleranis

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'érosion ; • Amélioration de la qualité du sol ; • Amélioration des rendements agricoles ; • Re-végétalisation des espaces stériles ; • Rapidité d'intervention.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Matériel onéreux et pas facile d'accès ; • Réalisation coûteuse ; • Nécessité de savoir-faire technique.

Liste des matériaux et coûts

Le principal matériel nécessaire pour la réalisation des valleranis est la charrue Delphino ainsi qu'un tracteur de grande puissance.

Achat	441 700 MAD amortissable en 5 ans pour une moyenne de travail de 2000 ha/an
Location	915 à 1290 MAD/ha selon la taille et les caractéristiques du terrain
Main d'œuvre	Coût journalier de la main d'œuvre en milieu rural marocain 60 à 70 MAD/j

Tableau 3 : Coût de la charrue Delphino (Source : http://win.vallerani.com/vallerani_fra/progetto.htm)

Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux : 1 euro = 10,7705 MAD (le 21.10.2016)

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (topographie, nature du sol, pluviométrie) ;
- Réaliser la conception du système de valleranis (dimensions, espacements).

Exécution

- Marquer les lignes en fonction de l'espacement choisi ;
- Procéder au creusement des tranchées en procédant au labour du terrain avec la charrue Delphino ;
- Semer les graines, de préférence des espèces ligneuses dans les tranchées avant la saison des pluies.



Figure 4 : Méthode de semis au moyen de la canne semeuse, sur sillon vallerani Burkina Faso

- Un an après le semis des espèces ligneuses, semer des herbacés pérennes afin de permettre l'établissement des arbres et en même temps de produire du fourrage pour le bétail.



Figure 5 : Etapes de traitement d'une parcelle par le système de vallerani (Source : WOCAT, 2013)

Test

- Inspecter les valleranis après la première pluie et vérifier le bon fonctionnement du système (captage du ruissellement, stabilité des diguettes).

Suivi

- Idem au test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Interdire le pâturage des animaux la première année pour permettre aux arbres de bien se développer.
- Désherber une fois par an pour éviter le développement des mauvaises herbes.

Expériences réussies



Figure 6 : Pâturage dans des champs préalablement labourés et semés, Burkina Faso (Source : Condera et al., 2010)



Figure 7 : Production de sorgho avec traitement traditionnel à gauche et avec les vallerani à droite, Niger (Source : http://win.vallerani.com/vallerani_fra/progetto.htm)

Recommandations

- Ne choisir cette technique que lorsqu'aucune autre technique n'est possible ou en cas de subventions à cause du coût élevé de l'aménagement ;
- Choisir un tracteur de grande puissance pour faciliter l'accès sur les terrains pentus ;
- Choisir des cultures adaptées aux conditions climatiques et socio-économiques de la région pour faciliter l'acceptation et l'entretien du système.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. M. Condera, N. Bomio-Pacciorini, P. Bomio-Pacciorini, S. Sciacca, L. Grandi, A. Boureima et A. M. Vettrano, (2010). Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliens. AssociazioneDeserto Verde Burkinabé, Reach BF

2. REACH et CILSS, (2009). Récupération des sols fortement dégradés à des fins sylvo-pastorales http://win.vallerani.com/vallerani_fra/progetto.htm
3. WOCAT, (2013). Vallerani system - Burkina Faso. Summary
4. Michel Malagnoux - Restauration des terres arides dégradées pour la production agricole, forestière et pastorale grâce à une nouvelle technique mécanisée de récolte des eaux pluviales. FAO
5. Wang Junhou and VenazioVallerani, (2010). Implementation report for the Sino-Italy Cooperation Project on the afforestation of a pilot area through the application of the "Vallerani System" Technology in the Inner Mongolia Autonomous Region

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

Informations générales

Les negarims sont des petits bassins en forme de losange entourés de petites diguettes en terre avec un puits d'infiltration dans le coin le plus bas, où est stocké le ruissellement collecté à l'intérieur du bassin (impluvium).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- 100 à 500 mm/an ;
- Dans les terrains agricoles ;
- Pente inférieure à 5% ;
- Au moins 1 m de profondeur ;
- Arbres fruitiers (pistachier, abricotier, olivier, amandier, grenadier, etc.).

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cuvettes ;
- Demi-lunes.



Figure 1 : Série de micro-bassins de negarims

Données techniques

Configuration générale

Un negarim est composé de :

- Un impluvium qui sert de surface de captage ;
- Un puits d'infiltration où est stockée l'eau ;
- Une diguette qui entoure l'impluvium et le puits.

La superficie d'un negarim varie entre 10 et 100 m² en fonction de la pluviométrie de la région, du type de sol et de l'espèce d'arbre à planter.

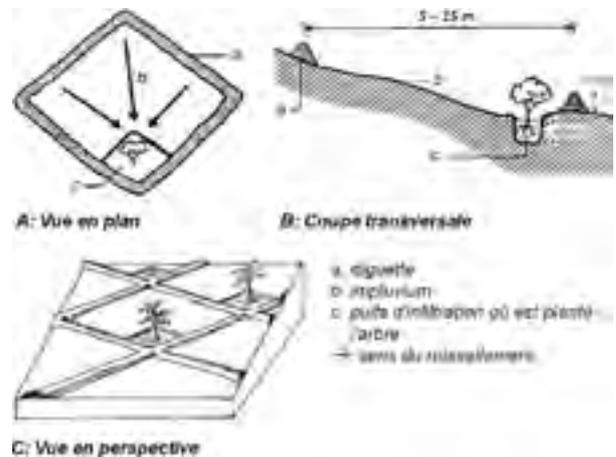


Figure 2 : Schéma des negarims (Adapté de Anschütz et al., 2004)

Conception des diguettes

La hauteur de la diguette dépend de la pente du terrain et de la taille d'impluvium choisie (tableau 1). La hauteur minimale de la diguette est de 25 cm afin d'éviter le risque de débordement et d'érosion. La diguette doit être compactée et son sommet doit mesurer 25 cm de large pour augmenter sa stabilité.

Aire de negarim (m ²)	Pentes			
	2%	3%	4%	5%
3x3	25	25	25	25
4x4	25	25	25	30
5x5	25	25	30	35
6x6	25	25	35	45
8x8	25	35	45	55
10x10	30	45	55	n.r.

n.r. = non recommandé

Tableau 1 : Hauteur (en cm) des diguettes en fonction de la pente et de la taille du negarim (Critchley et al, 1991)

NB : Les valeurs rapportées dans le tableau 1 constituent la hauteur maximale de la diguette derrière le puits d'infiltration.

Conception du puits d'infiltration

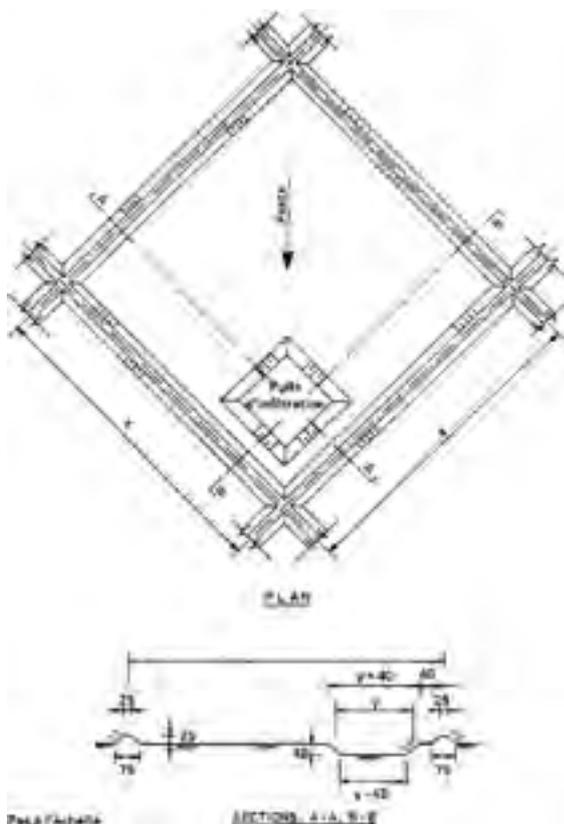


Figure 3 : Dimensions (en cm) d'un negarim de 25 cm de hauteur de diguette (Adapté de Critchley et al. 1991)

La profondeur maximale du puits est de 40 cm afin d'éviter les pertes d'eau par percolation profonde. Les dimensions du puits d'infiltration dépendent de celles du negarim choisi (tableau 2).

Aire du negarim (m ²)	Volume du puits (m ³)
(x) x (x)	(y) x (y) x (h)
3x3	1,4 x 1,4 x 0,4
4x4	1,6 x 1,6 x 0,4
5x5	1,8 x 1,8 x 0,4
6x6	1,9 x 1,9 x 0,4
8x8	2,2 x 2,2 x 0,4
10x10	2,5 x 2,5 x 0,4

Tableau 2 : Volume du puits d'infiltration en fonction de la superficie du negarim (Source : Critchley et al, 1991)

Avec :

- x : coté du negarim ;
- y : coté du puits d'infiltration ;
- h : profondeur du puits d'infiltration.

Avantages / Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'érosion en nappe ; • Augmentation de la quantité d'eau stockée sur de petites surfaces ; • Augmentation des rendements agricoles ; • Réalisation peu coûteuse ; • Valorisation agricole des sols en milieu aride. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte en superficies cultivables ; • Forte demande en main d'œuvre ; • Mécanisation du travail impossible entre les lignes d'arbres.

Liste des matériaux et coûts

Les negarims sont faits en terre. La terre utilisée provient du site. En cas de déficit, une source externe de terre pourrait être utilisée. La quantité de déblai nécessaire dépend de la taille des negarims (voir tableau 3).

Surface du negarim (m ²)	3x3	4x4	5x5	6x6	8x8	10x10
Pente (%)	≤ 5	≤ 4	≤ 3	≤ 3	≤ 2	≤ 1
Déblai nécessaire (m ³ / negarim)	0,75	1	1,25	1,5	2	2,5
Nombre de negarims/ha	1110	625	400	275	155	100
Déblai total (m ³ /ha)	835	625	500	415	310	250

Tableau 3 : Quantité de déblais et taille du puits d'infiltration en fonction des dimensions du negarim pour une pente de 2% (Source : Critchley et al., 1991)

Remarque : Les quantités de déblai ne comprennent que deux des côtés autour du bassin versant. Les deux autres côtés de la partie supérieure sont inclus dans le bassin amont.

La réalisation des negarims est essentiellement manuelle.

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (type et profil de sol, topographie, pluviométrie) ;
- Concevoir le système de negarims (dimensions) ;
- Vérifier la disponibilité de main d'œuvre et de déblai supplémentaire si nécessaire.

Exécution

- Déterminer et lisser les lignes de niveau et marquer la ligne au sommet du bloc de negarims ;
- Au moyen d'un mètre à ruban, marquer les bouts des diguettes le long du contour. La distance entre les bouts (A-B) dépend de la taille de negarim choisie (figure 4).

$$AB = \sqrt{2 \cdot (x)^2}$$

- A l'aide de deux ficelles maintenues aux bouts A et B, et mesurant le côté du negarim, marquer le sommet C au point de rencontre des deux ficelles avec un piquet ;
- Tracer les côtés de captage AC et BC sur le sol ;
- Répéter les étapes précédentes jusqu'à ce que tous les alignements de diguettes dans la première rangée soient déterminés ;
- Jalonner la rangée suivante de negarims. Les pieds des diguettes de la rangée supérieure seront les sommets pour la rangée suivante. Les diguettes sont délimitées par répétition de la manœuvre de l'étape 3.
- Le résultat final sera une série de negarims en losanges, avec une première rangée qui est ouverte à la fin de la pente ascendante (figure 4).

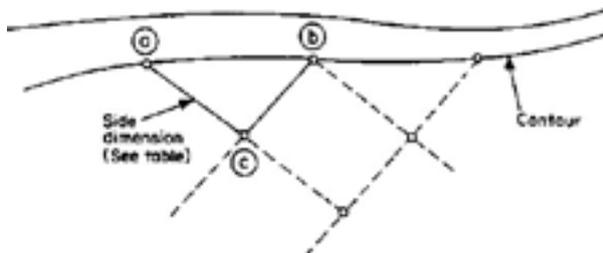


Figure 4 : Technique de disposition des negarims

- Jalonner la taille du puits d'infiltration et le creuser en laissant un petit pas vers l'arrière sur lequel le plant sera planté (figure 5) ;



Figure 5 : Puits d'infiltration

- Désherber la surface des negarims ;
- Utiliser les déblais provenant du puits d'infiltration pour construire les diguettes ;

- Compacter les diguettes lors de leur construction ;
- Creuser un fossé de déviation à l'amont du champ pour le protéger du ruissellement provenant des zones en amont.

Test

- Inspecter le système après la première pluie et vérifier la stabilité des structures ;
- Réparer les diguettes brisées ;
- Adapter la hauteur des diguettes au besoin.

Suivi

- Idem au test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Vérifier et corriger au besoin la configuration des negarims avant chaque saison pluvieuse ;
- Réparer immédiatement les diguettes brisées et garder la hauteur recommandée ;
- Garder la zone de captage exempte de végétations ;
- Appliquer si nécessaire une quantité adéquate de fumier pour améliorer le rendement agricole.

Expériences réussies



Figure 6 : Etat final des negarims au village de Tidrhest pour la plantation des oliviers (GIZ, 2013)

Description du projet :

Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasisienne dans la région d'Ouarzazate

Lieu : Village de Tidrhest

Objectifs : Mettre à disposition de l'eau pour les plantations

Année de réalisation : 2013

Coût de réalisation : 3700 MAD

Coût d'entretien : 200 MAD /an

Impact socio-économique : Ravivement de l'activité agricole dans l'oasis de Tidrhest

Impact écologique : Contribue à la recharge de la nappe

Appréciation des usagers : Population est enthousiaste à l'idée de raviver l'oasis qui a connue plusieurs périodes de sécheresse

Recommandations

- Interdire le pâturage et le passage des animaux pour éviter la destruction des diguettes.
- Cette pratique peut être adéquate dans le cadre de programmes de reboisement en régions arides, pour appliquer des cultures du caroubier, arganier, ou amandier dans les régions sud du Maroc.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Will Critchley, Klaus Siegert and C. Chapman, (1991). Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO
2. Justine Anschütz, Antoinette Kome, Marc Nederlof, Rob de Neef et Ton van de Ven, (2004), Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol – Série Agrodok No 13
3. International Rainwater Harvesting Alliance (IRHA), <http://www.irha-h2o.org/>
4. White House - Fiches techniques – Agriculture durable

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

18

Billonnage

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Le billonnage est une opération agricole qui consiste à réaliser, manuellement ou mécaniquement, de légers exhaussements de terre linéaires et parallèles (appelés billons) sur lesquels sont semées les cultures. L'espace inter-billons, appelé sillon, permet de drainer les eaux de ruissellement, et éviter l'asphyxie racinaire.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++



+++

+

+



+

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Partout ;
- Dans les terrains agricoles ;
- Pente inférieure 0,5 %; maximum 3 % de préférence ;
- Plusieurs types de sols en particulier les sols à encroûtement rapide ;
- Au moins 50 cm de profondeur ;
- Les cultures en lignes surtout (maïs, sorgho, tournesol, pommes de terres, etc.)

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cuvettes ;
- Demi-lunes ;
- Valleranis ;
- Negarim ;
- Banquettes ;
- Paillage.



Figure 1 : Plantation de pommes de terre sur billons (Source : Xanthoulis, 2011)

Données techniques

Le billonnage est généralement réalisé sur des terrains à faible pente. Il est constitué de 2 parties dont une creuse appelée sillon, et l'autre qui est une raie appelée billon (figure 2).

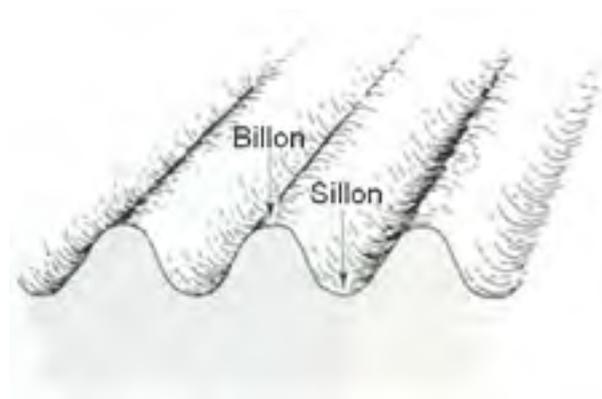


Figure 2 : Différentes parties d'un billonnage (Source : Brouwer et al., 1990)

La configuration des sillons est fonction de la taille du champ, de la pente du terrain, du type et de la perméabilité du sol et du débit d'eau à drainer. Toutefois, les sillons doivent avoir une pente d'au plus 0,5% pour assurer le drainage de l'eau.

La longueur des sillons est proportionnelle à la pente et au débit à drainer et est inversement proportionnelle à la perméabilité du sol. Le tableau 1 présente des ordres de grandeur des longueurs maximums des sillons.

Aire de negarim (m ²)	Débit unitaire par sillon (l/s)	Type de sol					
		Argile		Limon		Sable	
		Dose d'irrigation (mm)					
		50	75	50	75	50	75
0,0	3	100	150	60	90	30	45
0,1	3	120	170	90	125	45	60
0,2	2,5	130	180	110	150	60	95
0,3	2	150	200	130	170	75	110
0,5	1,2	150	200	130	170	75	110

Tableau 1 : Longueurs maximums des sillons en fonction de la pente, du type du sol, du débit et de la dose d'arrosage (Brouwer et al.1990)

NB : Les valeurs présentées dans le tableau 1 sont données à titre indicatif, elles sont souvent limitées par les dimensions du champ.

Lorsque la pente de terrain dépasse 0,5 %, les billons sont réalisés suivant les courbes de niveau (figure 3). Pour des pentes supérieures à 3 %, le risque d'érosion est important et la technique du billonnage n'est pas conseillée.



Figure 3 : Billons aménagés suivant les courbes de niveau sur un terrain en pente (Source : FUSAG)

La forme des sillons dépend de la nature du sol et du débit d'eau. Les sillons sont plus profonds et moins larges pour les sols perméables et inversement pour les sols moins perméables (figures 4 et 5). La largeur en surface du sillon est proportionnelle au débit du courant d'eau.

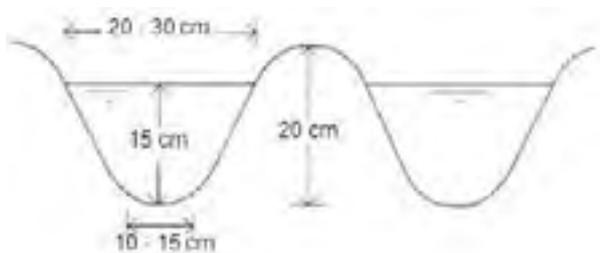


Figure 4 : Sillon profond et de faible ouverture en sol sableux (Source : Brouwer et al.1990)

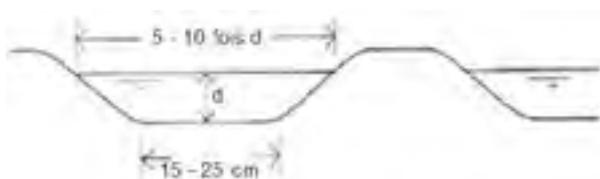


Figure 5 : Sillon large et de faible profondeur en sol argileux (Source : Brouwer et al.1990)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Bonne conservation de l'humidité du sol Bon ressuyage au voisinage du plant Coût de réalisation faible
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Non adapté aux sols sableux Réalisation pénible manuellement

Liste des matériaux et coûts

Le billonnage est entièrement réalisé en terre. La réalisation peut se faire à l'aide de la houe, de la charrue (réalisation manuelle) ou d'une billonneuse (réalisation mécanisée). Le coût de réalisation du billonnage dépend de la taille de l'exploitation et du matériel utilisé. Au Maroc le billonnage mécanique coûte entre 350 et 450 MAD/ha.

Étapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (nature du sol, pente de terrain, types de cultures, pluviométrie) ;
- Réaliser la conception du billonnage ;
- Vérifier la disponibilité de main d'œuvre et/ou du matériel.

Exécution

- En terrain plat ($p < 0,5 \%$) :
 - Jalonner le premier sillon projeté. Celui-ci suit généralement la limite du terrain ;
 - Ouvrir le premier sillon à l'aide de l'adosseur sillonneur qui permet d'ouvrir plusieurs sillons parallèles ou à l'aide de la houe ou d'une charrue ;
 - Jalonner et ouvrir les autres sillons en gardant au mieux possible le parallélisme entre eux.
- En terrain pentu ($0,5 \% < p < 3 \%$) :
 - Jalonner le premier sillon de base par délimitation de la ligne de niveau
 - Délimiter d'autres sillons de bases tous les 5 m pour les terrains en pente irrégulière et tous les 10 m pour les terrains en pente uniforme
 - Ouvrir les sillons en commençant par la base soit à l'aide de l'adosseur soit à l'aide d'une charrue.

Test

- Vérifier la stabilité des billons après les premières pluies et rétablir la forme des sillons au besoin ;

- En cas d'irrigation, vérifier que l'eau arrive à l'extrémité des sillons sans déborder, sinon réguler le débit d'irrigation.

Suivi

- Idem au test.

Entretien et maintenance

- Idem au test ;
- Désherber les sillons deux fois par cycle cultural pour éviter la concurrence des plantes avec les mauvaises herbes.

Expériences réussies



Figure 6 : Traçage de sillons sur les parcelles d'essai dans le cadre du projet d'assainissement écologique dans le village de Dayet Ifrah, Maroc (Source : Derouich et al. 2012)

Description du projet :

Projet d'assainissement écologique rural

Lieu : Village de Dayet Ifrah au Maroc

Objectifs : Expérimentation et démonstration de l'efficacité de l'approche « ecosan » au Maroc

Année de réalisation : 2010

Coût de réalisation : 15000 MAD y compris la location de terrain, matériel

Impact socio-économique : Amélioration des conditions de vie de la population locale

Impact écologique : Réduction de l'utilisation des fertilisants industriels et réutilisation des produits de l'assainissement (urine, fèces, biogaz, digestat)

Appréciation des usagers : Satisfaction

Recommandations

- Ne pas trop espacer les sillons pour assurer une bonne disponibilité en eau aux plantes ;
- Réguler le débit d'irrigation afin d'éviter le débordement d'eau dans les sillons voisins.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Xanthoulis, D., (2011). Erosion, ruissellements, coulées boueuses et inondations : Retour d'expérience sur les dispositifs d'aménagement existants : lutter contre les inondations et coulées boueuses
2. Valérie Hauchart, (2007). Durabilité des pratiques culturales dans le nord du bassin versant de la Volta. Volta Basin Focal Project Report No. 2 - CGIAR Challenge Program on Water and Food
3. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAG) - Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole - Génie Rural. Guide pour des aménagements de conservation des eaux et des sols appropriés en région wallonne - Fiche technique N°4 : Les pratiques agricoles : Gestion du couvert et Gestion du sol
4. C. Brouwer, K. Prins, M. Kay et M. Heibloem, (1990). Gestion des eaux en irrigation - Manuel de formation n° 5 : Méthodes d'irrigation. FAO
5. Derouich S., Khyati M. G., Werner C., (2012). Reportage photographique de la campagne agricole des jardins d'essai et de démonstration pour la réutilisation des produits de l'assainissement. Programme AGIRE - GIZ

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

19

Banquettes

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Les banquettes sont des fossés, creusés en parallèle suivant les courbes de niveau, permettant de retenir, de stocker et même de drainer les eaux de ruissellement.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Dans les zones arides et semi-arides ;
- 300 à 700 mm/an ;
- < 5 % mais peut atteindre 20% ;
- Éviter les terrains argileux en pente ;
- Au moins 50 cm de profondeur de sol ;
- Arboriculture, cultures fourragères, céréales.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Fascines ;
- Gradins ;
- Haies antiérosives ;
- Terrasses.



Figure 1 : Banquettes fruitières, Khénifra - Maroc (Source : GTZ/MEDA)

Données techniques

Le fossé est construit suivant la courbe de niveau et le sol excavé est disposé à l'aval pour former une crête isohypse (de même niveau).

La crête doit être assez élevée, en fonction de la pente et de l'espacement pour contenir le ruissellement.

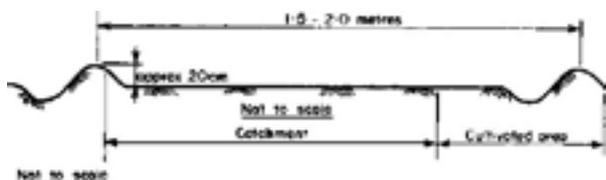


Figure 2 : Exemple de configuration des banquettes pour des pentes inférieures à 5% (Source : Critchley et al.1991).

Un fossé de déviation peut être nécessaire pour protéger le système contre les eaux de ruissellement provenant de l'extérieur. Les dimensions du fossé (figure 3) sont généralement de 50 cm de profondeur, 1 à 1,5 m de large avec une pente de 0,25% (Source : Critchley et al. 1991).

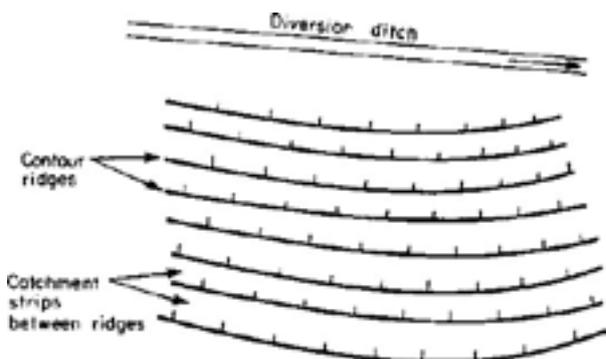


Figure 3 : Conception des banquettes (Source : Critchley et al. 1991)

En milieu aride, l'espace inter-banquette devrait être exempt de végétation pour capter le maximum d'eau dans le fossé, cependant la végétation est le meilleur moyen pour stabiliser les sols meubles.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Conservation des sols sur les terrains en pente ; • Réduction de l'érosion • Augmentation des rendements agricoles ; • Réduction du risque d'inondation à l'aval ; • Mise en œuvre simple ; • Construction mécanisable.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Moins efficace sur les terrains à forte pente et imperméables ; • Perte de surface cultivable ; • Entretien obligatoire ; • Mécanisation difficile des cultures ; • Risque d'érosion accru si les ouvrages sont mal construits.



Figure 4 : Banquettes sur forte pente non entretenues et ravinées, Khénifra, Maroc (Source : GTZ/MEDA)

Liste des matériaux et coûts

On pourra s'inspirer des données rapportées dans le tableau 1 pour estimer les volumes de déblais nécessaires pour la réalisation des banquettes en fonction de leur configuration.

Espacement (m)	Hauteur de la crête (cm)	Quantité de déblais/ ha (m3)
1,5	15	270
1,5	20	480
2,0	20	360

Tableau 1 : Quantité de déblais nécessaire pour réaliser des banquettes (Source : Critchley et al. 1991).

Dans le cas où un fossé de déviation est nécessaire, il faut prévoir 62,5 m³ supplémentaires de terre par 100 mètres linéaires de fossé. La réalisation des banquettes coûte environ 20 MAD/ml (GFA terra system, 2004).

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (nature des sols, pentes, pluviométrie) ;

- Réaliser la conception du système de banquettes (hauteur des digues et espacement) ;
- Vérifier la disponibilité du matériel, de la main d'œuvre et des plants.

Exécution

- Déterminer les courbes de niveau et jalonner les fossés selon l'espacement choisi ;
- Creuser les sillons et placer le sol excavé vers l'aval pour former la crête ;
- Construire de petites traverses de 15 à 20 cm de haut et de 50 à 75 cm de long dans le fossé avec un intervalle de 5 m ;
- Construire un fossé de déviation en amont du champ en cas de risque d'intrusion des eaux de ruissellement externes.

Test

- Vérifier la stabilité des diguettes après la première pluie ;
- Vérifier l'horizontalité des structures par l'homogénéité de la retenue d'eau dans les fossés par rangée de banquette et réparer les irrégularités au besoin.

Suivi

- Vérifier la stabilité de la configuration des banquettes après chaque forte pluie (hauteur des diguettes, profondeur des fossés) ;
- Réparer les irrégularités au besoin.

Entretien et maintenance

- Examiner les banquettes après chaque forte pluie ;
- Réparer immédiatement les éventuels dommages constatés ;
- Reconstruire les crêtes à leur hauteur d'origine après chaque saison.



Figure 5 : Irrigation gravitaire d'une banquette fruitière et semi de blé intercalaire, Khénifra, Maroc (Source : GTZ/MEDA)

Expériences réussies



Figure 6 : Banquettes avec plantation d'oliviers

Recommandations

- En cas de disponibilité de pierres et surtout sur de fortes pentes, disposez des pierres en aval des banquettes pour augmenter leur résistance au ravinement ;
- Régulièrement entretenir les banquettes pour augmenter leur efficacité.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. <http://vertigo.revues.org/9354>
2. Will Critchley, (1991). A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO - Rome
3. GFA terra system, (2004). Projet d'Aménagement anti-érosif du Bassin Versant de Sidi Driss (PABVSD). Rapport de mission : Référentiel technique des mesures anti-érosives et de gestion de l'eau. HCEFLD, MADR
4. <http://www.reforestation.com/blog/reforestation-au-saloum-lutter-contre-lerosion-des-sols/>
5. <http://physio-geo.revues.org/2319>
6. <http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/VI.Lutte.html>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

20 Cordons pierreux

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Les cordons pierreux sont des alignements de pierres suivant les courbes de niveau utilisés pour ralentir le ruissellement. Ils favorisent l'infiltration/la rétention de l'eau et capturent les sédiments.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration +++	 Recharge des nappes +	 Evacuation	 Lutte contre l'inondation +
 Lutte contre l'érosion +			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- 100 à 700 mm/an de précipitation ;
- Végétation naturelle, agriculture, terrain nu ;
- Pente maximum de 5 % ;
- 50 cm au moins de profondeur de sol ;
- Végétation naturelle, cultures fourragères, céréales, arboriculture, cultures maraichères.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cuvettes ;
- Diguettes filtrantes.



Figure 1 : Cordons pierreux, Burkina Faso

Données techniques

Les cordons pierreux sont disposés suivant les courbes de niveau et sont espacés de 10 à 20 m en fonction de la pente (tableau 1), la pluviométrie et l'état de surface du sol.

Pente	Espacement
< 1 %	20 m
1 % - 2 %	15 m
2 % - 5 %	10 m

Tableau 1 : Quantité de déblais nécessaire pour réaliser des banquettes (Source : Critchley et al. 1991)

Les cordons pierreux doivent avoir une hauteur minimale de 30 cm, une largeur de base de 40 cm et installés dans une tranchée de 10 cm de profondeur pour éviter le sapement par les eaux de ruissellement (figure 2).



Figure 2 : Disposition des cordons pierreux (Source : profiles of agricultural management practices, USAID august 2014)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation facile ; • Réduction de la vitesse du ruissellement ; • Amélioration de l'infiltration ; • Réduction de l'érosion hydrique.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation relativement coûteuse surtout en cas d'indisponibilité de pierres ; • Forte demande en main d'œuvre ; • Entretien fréquent et obligatoire ; • Nécessité d'associer d'autres techniques pour augmenter la capacité de rétention et d'infiltration du sol (ex: cuvettes, application de fumier, labour, végétalisation, etc.).

Liste des matériaux et coûts

A titre indicatif, les volumes de matériaux nécessaires, ainsi que les coûts au mètre linéaire, ou par hectare en fonction des espacements, sont rapportés dans le tableau 2.

Espacement (m)	Vp/ml (m3)	Vp/ha (m3)	Coût/ml (MAD)	Coût/ha (MAD)
15	0,08	60	40	2400
20	0,08	50	40	2000

Vp : Volume de pierres ; ml : mètre linéaire

Tableau 2 : Quantité moyenne de pierres nécessaire et coût de réalisation des cordons pierreux

L'estimation de la main d'œuvre considère la pose uniquement et ne prend pas en compte le transport des pierres vers la parcelle.

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (sols, précipitations) ;
- Déterminer la pente du terrain ;
- Concevoir les cordons pierreux (espacement, dimensions) ;
- Vérifier la disponibilité de pierres et de main d'œuvre.

Exécution

- Déterminer et tracer les courbes de niveau selon l'espacement choisi ;
- Creuser la tranchée.



Figure 3 : Labour du sol pour faciliter le creusement de la tranchée

- Excaver le sol de la tranchée ;
- Procéder à la disposition des pierres. Veiller à disposer les petites pierres en amont des grandes pour faciliter l'envasement (figure 4).

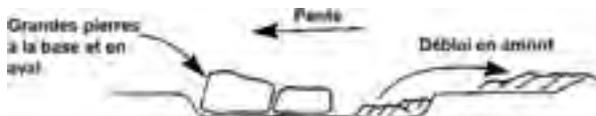


Figure 4 : Disposition des cordons pierreux



Figure 5 : Disposition des pierres après creusement de la tranchée le long des courbes de niveau (Source : CILSS)

- Appliquer des dispositions supplémentaires selon les moyens de l'agriculteur (ex : végétaliser les cordons en amont avec des herbacés, pour éviter leur colmatage).



Figure 6 : Cordons pierreux végétalisés au village Arazane région de Taroudant, Maroc (Source : GIZ/Agire)

Test

- Après les premières pluies, inspecter chaque partie des cordons pierreux ;
- Renforcer les points non résistants ;
- Vérifier qu'il n'y a pas de ruissellement concentré.

Suivi

- Idem au test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Inspecter les cordons pierreux avant chaque saison pluvieuse ;
- Replacer les pierres déplacées ;
- Drainer les points de concentration de ruissellement vers un exutoire ou un ouvrage annexe (ex : fossé de dérivation).

Si les sédiments tendent à atteindre le sommet du cordon, avant que ce ne soit le cas, augmenter sa hauteur en ajoutant des pierres.

Expériences réussies



Figure 7 : Réalisation de Cordon pierreux dans le cadre du programme PATECORE, Burkina Faso (Photo: M. Landolt)

Description du projet :

Avec le PATECORE 100 000 ha ont été aménagés, plus de 2,5 millions de m³ de pierres pour construire plus de 30 000 km de cordons pierreux le long des courbes de niveau.

Lieu : Burkina Faso

Objectifs : Mieux utiliser l'eau de pluie et ralentir l'érosion des terres arables

Année de réalisation : 1987-2006

Impact socio-économique : Accroissement de la valeur en capital des terres cultivées de plus de 2000 euros par hectare. Projet bénéfique en termes de sécurité alimentaire, réduction de la pauvreté, réduction de l'exode rural vers les villes, prévention des crises alimentaires en milieu urbain

Impact écologique : Préservation de la biodiversité et séquestration du carbone.

Appréciation des usagers : Très positive

Recommandations

- Combiner d'autres mesures de conservation des sols pour améliorer le rendement du système.
- Bien ancrer les pierres dans le sol, sinon elles ne résisteront pas au passage de l'eau.
- Si l'entretien est irrégulier (ce qui n'est pas conseillé), reconstruire entièrement le cordon tous les 10 ans.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Will Critchley, Klaus Siegert and C. Chapman, (1991). Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO
2. Whyte House – Fiches techniques Agriculture durable
3. INRA SARIA, (2000). Lutte anti-érosive et amélioration de la productivité du sol par l'aménagement de cordons pierreux. Fiche technique n°1
4. Sabine Dorlochter-Sulser et Dieter Nill, (2012). Bonnes pratiques de CES/DRS. Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs - Les expériences de quelques projets au Sahel. GIZ
5. PRODABO - GIZ, (2011). Cordons pierreux - Méthodes et instruments. Programme de Développement Rural et Décentralisé – Tchad
6. http://www.gtdesertification.org/content/download/16629/356160/version/2/file/2013_GTD_RESAD_Cordons_pierreux.pdf
7. https://www.rural21.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/rural_fr_58-59_2-2011.pdf

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

21

Paillage

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Le Paillage ou mulching se définit par l'action de couvrir le sol avec des matériaux divers (paille, compost, écorce de bois...). Cette pratique tend à protéger les cultures des intempéries (froid, sécheresse, pluies fortes ...) et à limiter le développement des adventices ou « mauvaises herbes ». Le « paillage » conserve l'humidité et améliore la structure et la fertilité du sol, lors de sa décomposition.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Dans les terrains agricoles, terrains nus exposés à l'érosion ;
- Pente inférieure à 5% ;
- Toutes cultures ;
- Non approprié pour les sols trop humides.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Bois Raméal Fragmenté ;
- Cuvettes ;
- Demi-lunes ;
- Negarims ;
- Banquettes.



Figure 1 : Paillage dans un jardin en zone aride, Douar El Hamri - chichaoua (Source : AFEMAC Maroc)

Lorsque le « paillage » est minéral, on utilise des galets, de pouzzolane, du quartz, des billes d'argile etc. le but étant de lutter contre les herbes indésirables, de protéger le sol et de limiter l'évaporation de l'eau. Le paillage minéral ajoute une dimension esthétique aux jardins et convient surtout aux massifs, aux arbres, arbustes et plantes en pot.



Figure 2 : Paillage minéral pour massifs (Source : <https://www.paysagiste-jardins-chatellerault-86.com/t-p-17-amenagement-jardins.php>)

La culture d'engrais verts est utile pour nourrir, couvrir et améliorer la structure du sol, notamment argileux. Cela permet également de récupérer de la matière organique.



Figure 3 : Couverture végétale à base de coquille d'arganier appliqué au Douar Ouahliba – Arazane, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Données techniques

La période de réalisation du paillage varie selon les situations :

- Lors du semis pour protéger le sol fraîchement travaillé;
- En début de saison en attente des plantations;
- Après la récolte pour protéger et conserver la qualité du sol, si la plantation d'engrais verts n'est pas prévue.



Figure 4 : Plantation et paillage de buttes (Source : AFEMAC Maroc)



Figure 5 : Paillage d'une parcelle en zone aride (Source : AFEMAC Maroc)

L'épaisseur de paillis nécessaire diffère selon la nature du paillis, du type de culture et de la nature du sol. En général, une épaisseur de 2 cm est recommandée pour les cultures basses (laitue, épinard, etc.) et 2 à 10 cm pour les cultures hautes (tomates, courgettes, choux, etc.) et les arbres. Une plus grande épaisseur risquerait d'étouffer les plantes. L'estimation de quantité de paillis nécessaire se fait comme suit (Adapté de CTAHR, 1997):

$$V = S \times E \times 7 \times 10^{-5}$$

Avec :

V : le volume de paillis en m³

S : la superficie du jardin en m²

E : l'épaisseur de paillis à appliquer en m.

Paillis	Epaisseur	Durée	Utilisation
Feuilles mortes épaisses	10 cm	Paillis permanent, à compléter chaque automne	Pour haies, arbres, rosiers, fleursvivaces, fruitiers...
Tontes de pelouse	5 à 10 cm	Quelques semaines	Laissez sécher avant l'utilisation, pour éviter le pourrissement
Déchets secs du jardin, tailles (sauf thuyas)	5 à 10 cm	une année	À broyer avec la tondeuse (petitsdéchets) ou au broyeur
Fougères, paille naturelle, feuilles mortes tendres	5 à 10 cm	Jusqu'à une année	Pour les cultures hautes: tomates, courgettes, fraisières

Tableau 1 : Types et épaisseur de paillis en fonction du type de culture (Source : Ville et Communauté urbaine de Strasbourg)

Au Maroc, il est difficile dans les zones arides de trouver des matériaux disponibles pour couvrir le sol. Utiliser la paille semble être un choix compliqué pour les éleveurs d'ovins.

Cependant, la compréhension des avantages du paillage permet de le développer à l'échelle d'un jardin familial. Le BRF (Bois Raméal Fragmenté voir la fiche technique n°25) issu de la taille des oliviers fournit du bois et des feuilles pour couvrir le sol et améliorer sa fertilité.

Pour couvrir les allées entre les cultures, il est aussi possible d'utiliser l'écorce des bambous, un matériau abondant et peu onéreux qui limite la pousse des adventices. Il faut éviter ce "paillis" dans les zones de cultures.



Figure 6: Paillage avec du BRF et des feuilles d'oliviers (Source : AFEMAC Maroc)

Le paillage peut également être appliqué à petite échelle en association avec d'autres techniques de micro-captage telles que les cuvettes, les demi-lunes, etc., pour augmenter le rendement de la mesure.



Figure 7 : Application de paillis dans les cuvettes de plantation (Source : WOCAT, 2011)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'évaporation; • Augmentation de l'humidité du sol; • Atténuation de l'effet des brusques variations de températures et protection du sol; • Diminution/élimination des mauvaises herbes sans utilisation de désherbants chimiques; • Réduction du risque de ravinement du sol lors de fortes pluies; • Amélioration de la structure du sol et de sa fertilité; • Développement de la biodiversité en favorisant la vie du sol • Amélioration des rendements agricoles; • Coût de réalisation faible; • Recyclage sur place des déchets végétaux;
------------------	---

Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • La difficulté à trouver des matériaux organiques dans les zones arides, surtout en période de sécheresse. • Risque de multiplication des petits rongeurs qui peuvent manger les racines des plants; • Risque de développement des limaces et escargots qui s'abritent dans le paillage et se nourrissent des jeunes plants. • Risque de formation d'une croûte peu perméable pour certains matériaux comme les écorces. • Dans les zones de grand vent, il est difficile de maintenir le paillage léger.
----------------------	--

Liste des matériaux et coûts

Différents matériaux peuvent être utilisés pour la couverture des sols :

- Compost pour amender le sol et l'enrichir;
- Paille;
- Déchets organiques : copeaux de bois, feuilles mortes, tonte de pelouse, BRF, etc. ;
- Minéraux : gravier, sable, pouzzolane, etc.

Le paillage est généralement réalisé par le propriétaire terrien, sinon, le coût de réalisation varie de 5 à 20 MAD/m².

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (climat, sol) ;
- Déterminer le type de paillis et estimer la quantité nécessaire en fonction du type de culture ;
- Vérifier la disponibilité de matériaux.

Exécution

- Désherber manuellement la surface à pailler (feuilles et racines) ;
- Ajouter éventuellement une couche de compost en surface afin d'enrichir le sol et soutenir sa fertilité ;
- Nivelier toute la surface à cultiver ;
- Semer, planter ;
- Arroser ;
- Répandre le paillis de manière homogène avec une épaisseur la plus régulière possible ;
- Arroser de nouveau.

Test

- Le paillage ne nécessite pas de test. Il suffit de faire une bonne conception.

Suivi

- Vérifier la bonne croissance des cultures, sinon, s'assurer qu'elles ne sont pas étouffées par une épaisseur de paillis trop importante.
- Ne pas hésiter à ajouter du paillis si nécessaire.

Entretien et maintenance

- Le paillage ne nécessite pas d'entretien régulier. En fonction de sa durée de vie et si besoin est, il doit être renouvelé au prochain cycle cultural.

Expériences réussies



Figure 8: Application de paillage dans le jardin de l'Atlas Kasbah, Agadir, Maroc



Figure 9 : Formation agriculteurs : paillage BRF + Paille, les jardins agroécologiques du douar El Hamri (Source : AFEMAC Maroc)

Recommandations

- Il faut bien évaluer la quantité de paillage utile et éviter de couvrir le collet de la plante.
- Le paillage peut être fait tout au long de l'année mais plus particulièrement en automne. Cela permet de protéger les plantes herbacées du froid tout en assurant une fertilité élevée du sol au printemps.
- Pour que le paillage soit réussi, il faut arroser avant et après la mise en place du paillis.
- Il ne faut pas pailler sur un sol gelé en période hivernale, ni par vent fort.
- Dans le choix du paillis, il faut prohiber les feuilles des arbustes persistants ainsi que les aiguilles de pin. Elles ont du mal à se dégrader.
- Attention également aux paillis qui peuvent constituer des abris parfaits pour certains organismes nuisibles comme les limaces et les escargots ou les rongeurs.

- Dans le choix du paillis, il faut prohiber les feuilles des arbustes persistants ainsi que les aiguilles de pin. Elles ont du mal à se dégrader.
- Attention également aux paillis qui peuvent constituer des abris parfaits pour certains organismes nuisibles comme les limaces et les escargots ou les rongeurs.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. <http://www.monsa clay.fr/2012/05/02/potager-sans-preparation-des-sols-suite/paillage-1/>
2. CTAHR - College of Tropical Agriculture and Human Resources, (1997). Mulching for healthier landscape plants
3. WOCAT, (2011). la pratique de la gestion durable des terres : Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique Subsaharienne. FAO, TerrAfrica
4. Rodale, R., Olds, J., Goldman, M. C., Franz, M. – The organic way to mulching
5. Ville et la Communauté urbaine de Strasbourg - Le paillage c'est simple, efficace et plein de bon sens. <https://www.strasbourg.eu/documents/976405/1628244/0/e3dcd84f-5ced-ccb-d-67b4-f1b44ea80e0d>
6. Gilles Dubus « Mon potager au naturel »

Auteurs : W. Klemm, D. L. Wake, N. E. El Hamoumi, J. Naim, C. Werner, B. El Himdy, N. Nel, F. Delaite

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

Informations générales

Le labour ou labourage est le retournement des horizons superficiels du sol dans l'objectif de l'ameublir, d'y incorporer diverses substances (fertilisants, amendement, résidus des récoltes, adventices), d'augmenter sa capacité d'infiltration ou encore de protéger et / ou entretenir une structure adéquate du sol pour le développement des cultures.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Hors terrain érosif ;
- Dans les terrains agricoles et terrain nu ;
- Sol moyens à lourds, pas trop humide ni trop sec ;
- Tous types de cultures.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Paillage.



Figure 1 : Labour sur sol sablo-limoneux (Source : CANC Plateforme machinisme agricole ANGONIN Bernard).

Données techniques

Il existe différents types de labours en fonction de la nature du sol, l'objectif recherché et la profondeur de sol à atteindre.

Le **labour primaire** s'effectue au début de l'année culturale avant la mise en culture et sur un sol qui n'a pas été travaillé depuis au moins l'année agricole précédente. Il atteint une profondeur de sol de 20 à 30 cm.

Le **labour secondaire**, effectué généralement après le labour primaire, est associé à la mise en cultures par enfouissement des semences dans le sol. Il atteint une profondeur de 2 à 5 cm.

Le **sarclage** qui s'effectue pendant le développement des cultures dans le but de désherber et de favoriser la croissance des cultures. La profondeur atteinte est d'environ 2 cm.

Le **déchaumage** ou labour après la récolte qui permet d'enfouir les résidus dans la terre.

Etant donné les charges et les coûts du labour conventionnel, les tendances se tournent vers l'« agriculture de conservation » qui consiste en une protection physique du sol contre le soleil et l'érosion par un labour minimum ou l'absence de labour avec protection de la surface du sol par du paillis.

On distingue également d'autres techniques de préparation du sol telles que :

- Le **défonçage** : qui consiste à remuer le sol sur une profondeur pouvant atteindre 60 à 80 cm. Il est généralement pratiqué sur des parcelles où il est prévu d'installer une plantation, ou des parcelles nouvellement défrichées.

- **L'épierrage** : qui consiste à retirer les pierres des horizons superficiels et permet d'aérer le sol.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Restructuration et aération du sol ; • Destruction directe des adventices levées ou germées ; • Augmentation de la capacité d'infiltration du sol ; • Réduction des risques de transmission des éventuelles maladies de la culture précédente ; • Réduction des coûts de traitement des herbicides et fongicides.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Forte consommation en énergie ; • Coût de réalisation élevé ; • Risque accru en adventices lorsque le sol n'est pas utilisé ; • Risque de formation d'une semelle de labour ; • Compactage du sol ; • Ameublissement exagéré du sol ; • Augmentation du risque d'érosion ; • Réduction de l'activité biologique du sol.

Liste des matériaux et coûts

Le matériel utilisé dépend du type de labour souhaité et des moyens disponibles. La réalisation peut être faite à la traction mécanique, à la traction animale ou manuellement à l'aide de la houe.

Type de labour	Travail mécanique	Travail manuel
Primaire	charrue à disques	charrue à soc
Secondaire	Outil à dents et herse	charrue à soc
Sarclage	Outil à dents	charrue à soc, houe

Tableau 1 : Outils de labours selon les types de labour (Jenhaoui et al, 2011)

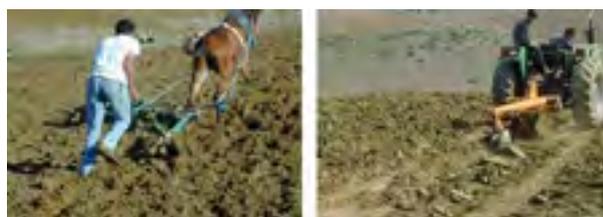


Figure 2 : Labour à la traction animale à gauche et mécanique à droite (Source : Jenhaoui et al. 2011)

Le labour d'un champ coûte entre 300 et 700 MAD/ha selon la nature du sol, le type de labour et le matériel utilisé.

Étapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (climat, topographie, sol) ;

- Déterminer les options appropriées par rapports aux types de cultures à installer.

Exécution

- Déterminer le sens de la pente ;
- Procéder au labour suivant le mode choisi (parallèlement ou perpendiculairement à la pente) ;
- Réaliser au besoin les autres labours successifs selon le type de cultures.

Entretien et maintenance

Un champ labouré ne nécessite pas d'entretien spécifique. Il faut par contre interdire le pâturage pour permettre une bonne croissance des plantes.

Expériences réussies



Figure 3 : Préparation d'une parcelle à l'aide d'un billonneur, village de Dayet Ifrah, Maroc (Source : Derouich et al., 2012)

Description du projet :

Projet d'assainissement écologique rural

Lieu : Village de Dayet Ifrah au Maroc

Objectifs : Préparation du sol pour l'expérimentation de la réutilisation des produits de l'assainissement en agriculture

Année de réalisation : 2010

Recommandations

Les techniques de labour et de travail du sol sont multiples et très variables. Les décisions d'intervention sur un sol (sélection du type d'outil, et de la date d'exécution) dépendent de la culture à installer et des conditions et facteurs entourant la mise en culture de la parcelle.

Les outils de labour, charrues, chisels et pulvérisateurs, permettent de créer, dans les sols à forte stabilité structurale, les conditions d'une meilleure infiltration des eaux de pluie.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Jenhaoui, Z. et Raclot, D., (2011). Le travail du sol à Kamach. IRD
2. Angonin, B. - Les bases de l'itinéraire technique : Définition des travaux Choix et fonctionnalités des équipements. Agriculture et territoire – Chambre d'Agriculture – Nouvelle Calédonie
3. Derouich S., Khyati M. G., Werner C., (2012). Reportage photographique de la campagne agricole des jardins d'essai et de démonstration pour la réutilisation des produits de l'assainissement. Programme AGIRE - GIZ

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

23 Terrasses

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Les terrasses sont une série de bandes quasi-horizontales s'étendant en travers d'un versant et soutenues par des talus abrupts. Les cultures y sont pratiquées sur la pente horizontale appelée *sole* ou *lit*. Elles constituent un moyen efficace de lutte contre l'érosion en régions montagneuses.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration	 Recharge des nappes	 Evacuation	 Lutte contre l'inondation
+++	+		+
 Lutte contre l'érosion			
+			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Dans les zones montagneuses ;
- Adapté à tous les climats ;
- Dans les zones agricoles ;
- Pente de 5 à 20% voire jusqu'à 50 ;
- Au moins 1 m de profondeur de sol ;
- Arboriculture (ex : olivier), céréaliculture (ex. : blé), viticulture, cultures irriguées.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Banquettes ;
- Fascines.



Figure 1 : Cultures en terrasses (Source : <http://www.marrakech-aventure.com/project/excursion-montagne-atlas/>)

Données techniques

Il existe essentiellement quatre types de terrasses (tableau 1 et figure 2).

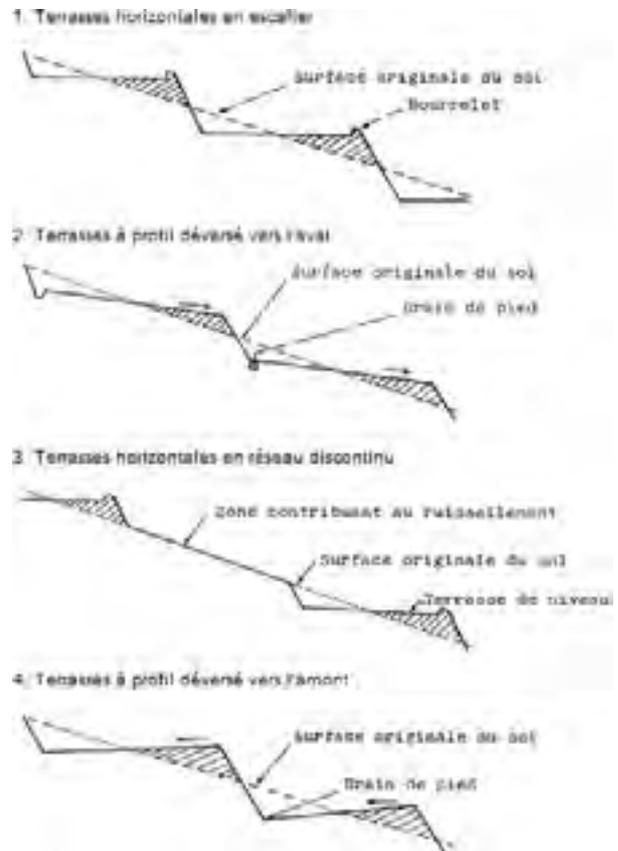


Figure 2 : Profil des différents types de terrasses (Source : <http://www.fao.org/docrep/006/AD071F/AD071f11.htm>)

Type de terrasses	Climat approprié
Horizontales	Subhumides
A profil déversé vers l'aval	Arides et semi-arides
En réseau discontinu	Arides et semi-arides
A profil déversé vers l'amont	Humides

Tableau 1 : Outils de labours selon les types de labour
(Source : Jenhaoui et al, 2011)

Les terrasses à profil déversé sont les plus difficiles à construire, la construction des autres types de terrasses reste plus facile. Par contre, les terrasses les plus répandues au Maroc sont des terrasses horizontales en escalier. Les côtés de chaque escalier sont soutenues soit par des diguettes en pierres, soit (le plus souvent) par des murs de soutènement en pierres sèches.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'érosion hydrique ; • Amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol et augmentation de la fertilité du sol ; • Amélioration de la couverture du sol ; • Augmentation des rendements des cultures.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Exigence en main d'œuvre importante ; • Nécessité d'un grand savoir-faire ; • Nécessité de fréquents entretiens ; • Vulnérable au passage des animaux ; • Mécanisation de l'agriculture peu évidente

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation des terrasses sont la terre et les pierres.

Les travaux sont difficilement mécanisables ; ils sont généralement faits manuellement. La réalisation des terrasses coûte 10 MAD/m² de terrasse et la plantation des oliviers le long des terrasses coûte 10 MAD/plant.

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (nature du sol, pente, profondeur, etc.) ;
- Déterminer le type de terrasses approprié à la situation ;
- Concevoir les terrasses.

Exécution

- Tracer les courbes de niveau par pas de dénivelé choisi (tous les 1m par exemple).



- Confectionner les talus et les bourrelets et végétalisation.



- Le degré de la pente diminue progressivement avec les travaux cultureux.



La diminution de la pente au niveau des lits peut se faire directement par des travaux de remblaiement et de creusement. Il est important de creuser un fossé de dissipation de 50cm de large et 30cm de profondeur juste au pied du talus et selon la courbe de niveau pour récupérer l'eau et la terre emportée qui se déversent et répartir à nouveau les eaux de ruissellement.



Figure 3 : Plantation sur terrasses au village Ouahliba, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Test

- Vérifier la stabilité des terrasses après les premières pluies ;
- En cas de risque d'effondrement, renforcer le talus.

Suivi

- Idem au test surtout après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Stabiliser les terrasses par exemple en remontant les murs par ajout de pierres ;
- Réparer les terrasses endommagées et replanter les végétaux ;
- Recreuser les tranchées bouchées en jetant les sédiments vers l'amont ;
- Réparer les brèches dans les talus si nécessaires ;
- Désherber les lits pour améliorer le rendement des cultures ;
- Renforcer les talus tous les ans.

Expériences réussies



Figure 4 : Plantation sur terrasses pour réduire l'érosion et le ruissellement de surface, Maroc (Source : http://www.atlas-cimes-sentiers.com/sejour_trekking-entre-yagour-et-la-vallee-de-zat_52_9.html)



Figure 5 : Plantation sur terrasses au village Ouahliba, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Recommandations

Il faut protéger la partie aval de la terrasse par des pierres, du gazon ou des cultures afin d'éviter le glissement de la terrasse vers le bas sous l'effet de l'érosion.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Flickr, (2011). <https://www.flickr.com/photos/treksmaroc/5916578873/in/photostream/>
2. WOCAT, (2011). La pratique de la gestion durable des terres – Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique Subsaharienne. FAO, TerrAfrica
3. <http://www.fao.org/docrep/006/AD071F/AD071f11.htm>
4. White House – Fiches techniques – Agriculture durable
5. <http://www.larousse.fr/encyclopedie/nom-commun-nom/terrasse/96666#76524>
6. <http://www.fao.org/docrep/005/x3996f/x3996f0x.htm#TopOfPage>
7. AGRISUD, (2010). L'agroécologie en pratiques
8. <http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/VI.Lutte.html>
9. http://www.pierreseche.com/bibliographie_des_terrasses.htm

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

24 Irrigation par jarre

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

Le système de micro irrigation par jarre est écologique, économique et simple d'utilisation. Les jarres sont des pots en terre cuite micro-poreuse que l'on enterre près des plantes à irriguer et que l'on remplit d'eau une à deux fois par semaine. L'eau sort progressivement de la jarre et se répand dans le sol. Elle est ainsi absorbée par les racines des plantes proches.

Cette technique d'irrigation permet d'économiser l'eau en étant plus efficace que l'arrosage de surface puisque l'évaporation est limitée. Ainsi le stress hydrique des plantes peut être évité en période de sécheresse.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Partout (zone humide, aride, semi-aride...);
- Dans les terrains agricoles, jardins, pots, balcon ;
- Toute la jarre en profondeur avec la tête de jarre en surface ;
- Toute culture.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Gaine Irrigasc
<http://www.irrigasc.org/la-gaine-irrigation>



Figure 1 : Jarre d'irrigation (Source : vegetable growing by pitcher clay irrigation)

Ce système d'arrosage ancien répond aux nécessités actuelles et tend à se développer. Les jarres sont appelées aussi « oya » (orthographié « olla »). Le mot est d'origine espagnole et signifie « pot » ou « marmite ». Dans les pays anglophones, on parle de « clay pots » ou pots en argile. D'autres dénominations existent en Afrique. Certains chercheurs parlent de « pitcher » (pichets) et « pitcher irrigation », « riego par succion » (irrigation par aspiration), « capsulas porosas » (capsules poreuses).



Figure 2 : Jarres d'irrigation de différentes tailles (Source : Oyas-Environnement - France)

Données techniques

- La jarre doit avoir un taux d'écoulement suffisant, de conductivité hydraulique pour définir l'aptitude d'un milieu poreux (les parois de la jarre) à laisser passer un fluide selon une pression exprimée en mètres / seconde.
- La jarre d'irrigation doit avoir des parois répondant à des impératifs de composition, température de cuisson et traitement de surface de la céramique afin de ne pas être étanche.
- Le matériau utilisé pour fabriquer la jarre d'irrigation doit comporter de l'argile et certains matériaux plus perméables ou plus grossiers (ex: sable).
- La jarre doit être cuite à une température en dessous de 1000°C, mais pas trop basse. Une jarre d'irrigation exclusivement en argile cuite à 850°C aura une porosité de 18% environ.
- Le risque majeur est que la jarre ne soit pas assez perméable. Il est alors recommandé de choisir toujours une jarre plutôt trop perméable que pas assez.

Traitement des surfaces de la jarre

- La jarre ne doit pas être émaillée.
- Si elle n'est pas assez perméable, on peut poncer légèrement la surface externe.

Evapotranspiration

- Le besoin en eau de la plante correspond à ses pertes par évapotranspiration.

Ex. : En zone sahélienne, le taux d'évapotranspiration potentielle d'une pelouse varie de 6 à 9mm d'eau par jour. En zone tempérée, il est de 1 à 2mm par jour. Pour les cultures potagères et fruitières, on considère que les besoins sont plus élevés.

- Quand la terre est sèche, les racines vont chercher l'humidité transmise par la jarre.



Figure 3 : Schéma comparatif d'arrosage par jarre avec l'arrosage de surface (Source : <http://www.oyas-environnement.com/index.html>)

Avantages / Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Système très simple d'utilisation, écologique et économique, • Le coût des jarres est peu onéreux au Maroc, • La jarre permet une économie d'eau de l'ordre de 50 à 70%, • La diffusion de l'eau est constante et sans excès, ce qui évite le stress hydrique des plantes et permet une irrigation adaptée aux besoins des plantes et arbres, • L'eau de la jarre est utilisée en totalité par les plantes, • Elle permet une diffusion d'eau en profondeur, • Cela fonctionne avec tous les végétaux, • Cela convient aux zones arides, • Le remplissage se fait tous les 2 à 9 jours selon la taille de la jarre et la surface à irriguer, • La jarre favorise le développement de la faune et de la microflore du sol, • Les mauvaises herbes se développent moins, • Les plantes sont moins exposées aux maladies apportées par l'humidité sur le feuillage, • Il est possible d'installer un système d'irrigation par jarres remplies automatiquement pour éviter le travail de remplissage avec l'arrosoir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les pots peuvent casser, il faut donc faire attention au moment des travaux du jardin. • Le choix du système d'irrigation par jarre est complexe sur de grandes surfaces maraîchères= on devrait utiliser trop de jarres, ce qui augmente le coût et la complexité d'alimentation en eau. • Si l'eau utilisée est calcaire, elle peut boucher les pores de la jarre. Prévoir un entretien, au moins une fois par an. • Prévoir un orifice supérieur assez large pour pouvoir contrôler le niveau d'eau interne.

Liste des matériaux et coûts

- Jarres micro-poreuses et tous les outils nécessaires à l'exécution : pioche, truelle, sécateur, compost, arrosoir.
- Le nombre de jarres et donc le coût de l'installation dépendra de plusieurs éléments :
 - La surface à irriguer et la nature du sol,
 - Le besoin d'eau des plantes,
 - Le choix de la taille des jarres.

Pour éclairer ce choix, Oyas-Environnement donne des repères sur son site internet.

Si la jarre a un diamètre de 22cm et une contenance de 5 litres, elle a un diamètre d'irrigation de 66cm. Dans ce cas, une jarre pourrait suffire par m².

Son coût au Maroc varie de 50 à 100 MAD.



Figure 4 : Modèle de jarre (Source : oyas-environnement)

Etapas de réalisation

Exécution

- Préparer des jarres de taille adaptée à la surface à irriguer ;
- Préparer ses outils : une pioche, une truelle, sécateur, terreau ou compost et eau ;
- La jarre peut être mise en pleine terre, dans une butte (permaculture), un bac ou une jardinière ;
- Préparer l'emplacement : creuser le trou, mettre du compost au fond, placer la jarre ;
- Enterrer la jarre : remplir le trou de terre, alterner une couche de terre et une couche de compost, laisser le col dépasser de 1 à 5cm ;
- Remplir d'eau la jarre puis mettre le couvercle ou poser la pierre sur son ouverture afin d'éviter l'évaporation et l'entrée d'insectes ou petits animaux ;
- Pailler le sol autour de la jarre afin de conserver l'humidité ;
- En moyenne, la poterie est remplie d'eau une fois par semaine mais tout dépend de la taille de la jarre, des besoins en eau des plantes et des températures ;
- Le volume d'eau de la poterie se situe idéalement entre 2 à 7 litres pour le potager et près de 10 litres pour les arbustes. Plusieurs jarres peuvent être installées autour d'un arbre.



Figure 5 : Mise en place de la jarre (Source : Oyas-Environnement)

D'autres pratiques existent :

- On peut recourir à la méthode de la ficelle : « en perçant le fond de la poterie et en y enfilant une ficelle. On bloque la ficelle par un nœud à l'intérieur de la jarre, et la ficelle est ensuite enterrée près des plants à irriguer. La ficelle ne doit pas être très longue, elle doit simplement suffire à rapprocher l'eau des racines de la plante.

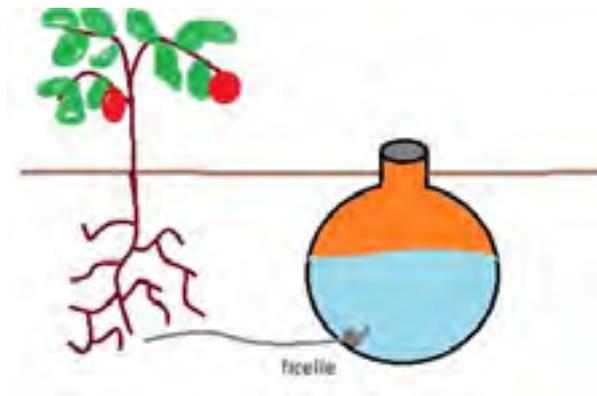


Figure 6 : Méthode de la ficelle pour rapprocher l'eau dans la jarre vers les racines (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation_par_jarre)

- En Amérique du Sud, certains cultivateurs enterrent complètement leurs poteries et les alimentent en eau par tuyau PVC.

Ces deux systèmes nécessitent plus de travaux pour leur mise en oeuvre.

Test

Il est possible de tester la capacité d'écoulement de la jarre avant une utilisation régulière :

- Mettre la jarre dans un seau, à l'ombre et à l'abri du vent, là où elle sera utilisée,
- Remplir la jarre
- La laisser s'écouler pendant quelques heures
- La retirer
- Evaluer la quantité d'eau écoulée par heure. Le journal Dawn au Pakistan prône un taux d'écoulement de 15% du volume en 24 heures.

Suivi

Vérification périodique de l'état et du fonctionnement des installations après leur mise en service. Observer l'évolution des plants autour de la jarre.

Entretien et maintenance

Mesures et fréquences des entretiens des installations de la technique : au moins une fois par an.

Si l'eau est calcaire, elle peut limiter la porosité de la jarre après quelques mois d'utilisation. Il faut donc prévoir de nettoyer la jarre au vinaigre blanc et bien la rincer.

Expériences réussies

Exemples de réalisations réussies de la technique :

- Europe : la technique se développe bien en France où elle a été très médiatisée. Une entreprise française, Oyas-Environnement, fabrique des jarres d'irrigation et vend ses produits dans toute l'Europe. Elle a promu ce système d'irrigation sur son site internet qui a aussi une vocation pédagogique.



Figure 7 : Jarres dans un jardin potager (France) (Source : Le Potager du Poiraud)

- Inde et Pakistan : technique utilisée (jardins botaniques de Lalbagh), notamment avec la méthode de la ficelle dans le reste du pays.
- Afrique Subsaharienne : essais menés par l'ONG ACRA dans la région du Guéra au Tchad
- Amérique Latine : projet institutionnel mené au Brésil par Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria dans l'Etat du Pernambuco.
- Maroc : la technique était connue des anciens dans le milieu rural, notamment pour la plantation d'arbres, mais l'usage s'est perdu. Les Terres d'Amanar et l'association AFEMAC utilisent cette technique. Dans son jardin pédagogique du douar El Hamri, Afemac incite les villageois à utiliser ce système d'irrigation écologique dans leurs jardins familiaux.



Figure 8 : Arbre fruitier planté avec une jarre au douar El Hamri (Source : AFEMAC Maroc)



Figure 9 : Jarre mise en place dans une spirale de plantes aromatiques (Source : AFEMAC Maroc)

Description du projet :

Irrigation de jardins familiaux en agroécologie

Lieu : El Hamri (commune de Mzouda, Maroc)

Objectifs : Utilisation d'un système d'irrigation écologique et économie d'eau en zone aride.

Année de réalisation : En cours depuis 2015

Coût de réalisation :

Faible coût lié à l'achat de jarres fabriquées par des artisans locaux.

- 10 dh/jarre petite taille;
- 30 dh/jarre taille moyenne.



Figure 10 : Jarre mise en place dans une spirale de plantes aromatiques (Source : AFEMAC Maroc)

Recommandations

Recommandations pratiques pour une bonne réussite de la technique :

- Veiller à l'achat de jarres poreuses (pas d'émail), il vaut mieux choisir une jarre plutôt trop perméable que pas assez.
- Veiller à choisir la taille de la jarre selon la surface à irriguer.
- La zone d'humidité varie de 20 à 60 cm de rayon autour de la jarre et dépend surtout du taux d'écoulement de la jarre et de sa taille. Il est conseillé de ménager une distance de 50cm entre deux jarres en sol sableux et de 1 mètre en sol argileux.

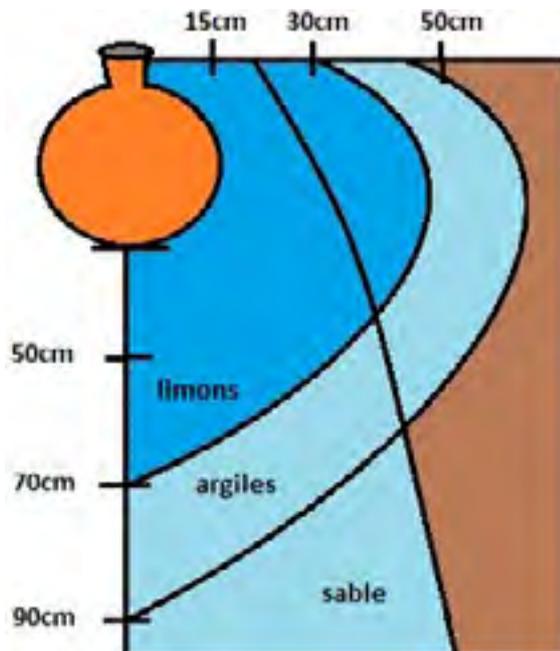


Figure 11 : zone d'humidité autour des jarres (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation_par_jarre)

Recommandations des zones appropriées pour l'implantation de la technique au Maroc :

- L'irrigation par jarre convient à toute zone de culture, notamment aride. Elle permet d'éviter le stress hydrique des arbres et des potagers en période de sécheresse parce qu'il n'y a pas d'évaporation de l'eau, liée aux fortes chaleurs.
- Cette bonne pratique s'inscrit dans le catalogue parce que l'alimentation des jarres peut être faite avec les eaux pluviales collectées auparavant. Elle optimise l'utilisation de l'eau par les plantes en la conservant dans le sol et permet ainsi une importante économie d'eau. Cette technique d'irrigation est adaptée au changement climatique.

Il faut prévoir un paillage du sol pour limiter l'évaporation qui est cependant moins importante que lors d'un arrosage de surface.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. <http://www.oyas-environnement.com/index.html>
2. https://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation_par_jarre
3. <http://www.lepotagerdupoiraud.com/2016/08/arroser-des-ollas-v2-plus-grandes-plus-simples-plus-efficaces.html>
4. Les Oyas, des pots qui arrosent à votre place <https://www.youtube.com/watch?v=msnBepFMsnNM>
5. Comment installer une "Oya"? https://www.youtube.com/watch?v=bAoN9_dh1Ro
6. La magie des Oyas <https://www.youtube.com/watch?v=PftmoZrcSx4>
7. Expérience irrigation par jarre Terres d'Amanar (Maroc) <https://www.youtube.com/watch?v=WsGByjQB-Fk>

Auteurs : F. Delaite, N. Nel, N. E. El Hamoumi, J. Naim

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

25 Bois Raméal Fragmenté (BRF)

Milieu rural - système de micro-captage

Informations générales

En trois mots : Bois Raméal Fragmenté (BRF)

- **Bois** : mélange d'espèces diversifiées de feuillus (éviter ou limiter les résineux)
- **Raméal** : la partie « raméale » de l'arbre représente les jeunes branches de l'année
- **Fragmenté** : les rameaux fragmentés deviennent des copeaux ou broyats.

Le bois raméal fragmenté (BRF) est constitué de jeunes rameaux broyés, issus de la taille de haies et d'opérations d'élagage. Ces branches constituent en général un déchet. Broyées et réutilisées pour enrichir le sol, elles deviennent une ressource appréciable.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++



++

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Dans les terrains agricoles, terrains nus exposés à l'érosion, jardins ;
- Toutes cultures ;
- Non approprié pour les sols trop humides.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Paillage.



Figure 1 : Culture sur BRF (Source : <http://www.donaction.net/vitrine/project/bugapat/moyen>)

Les bois raméaux concentrent la plus grande partie de tous les nutriments des arbres : 75% des minéraux, des acides aminés, des protéines, des celluloses et lignines, des sucres et amidons, des polyphénols, des tanins, etc.

La dégradation de ce broyat frais sur le sol déclenche des processus comparables à ceux qui sont à l'œuvre dans la formation de l'humus forestier. La technique de préparation naturelle des sols cultivés par le BRF s'inspire en effet de la formation des sols des forêts.

« La clé de voûte est la lignine et les champignons capables de la transformer » (Jacky Dupéty) ; les champignons s'alimentent à la lignine et leur mycélium alimente ensuite les micro-organismes et les petits animaux du sous-sol, etc. La symbiose qui se crée entre le mycélium et les racines des plantes, appelée mycorhize, permet aux plantes de développer leur système racinaire et de trouver des éléments nutritifs et de l'eau. Elle lui permet aussi d'absorber plus facilement phosphore et azote, deux éléments essentiels dans la croissance de la plante.



Figure 2 : Mycélium (Source : « Mon jardin en permaculture » Olivier Gruié)

La technique du BRF est utilisable pour la restauration et l'amélioration des sols agricoles. Le BRF peut être utilisé pour différentes cultures en maraîchage, mais aussi pour stimuler les arbres fruitiers, les plantes aromatiques et médicinales. C'est une technique adaptée aux particuliers ayant des jardins familiaux mais aussi aux agriculteurs qui cultivent sur de plus grandes surfaces.

La restauration des sols avec le BRF est particulière et ne peut pas vraiment être comparée à d'autres techniques de couvertures du sol même si elles peuvent avoir des objectifs communs comme la protection des sols, leur enrichissement et l'économie d'eau. Le BRF est considéré par certains comme une révolution agronomique.

Données techniques

Choix d'arbres et d'essences

Il faut privilégier les essences feuillues : l'olivier, le chêne, le châtaignier, l'érable, le hêtre, l'acacia, le noyer, le tilleul, etc. Il faut ne pas trop utiliser les essences à cycle court : le saule, le peuplier fonctionnent mais moins bien.

Les rameaux d'arbres doivent être diversifiés dans la mesure du possible et il faut éviter les branches mortes car elles ne disposent pas des nutriments utiles. Il faut limiter le broyat de résineux dans une proportion de 10 à 20% du total épandu sur la parcelle. Ils déclenchent peu les processus du BRF et sont acides.

Choix des rameaux

Il faut que les rameaux soient **inférieurs à 7cm** de diamètre. Plus le diamètre de la branche est petit, meilleur sera l'effet sur le sol.



Figure 3 : Rameaux d'olivier apportés pour être broyés (Source : AFEMAC Maroc)

La production de BRF

L'apport de BRF sur la surface cultivée du sol doit être de 3 à 5 cm au plus. Il est donc nécessaire de se procurer de grandes quantités de BRF. 1 m³ de broyat couvre 30 m² de terrain environ, soit 330 m³ à l'hectare.

Pour cela, on peut :

- Planter des arbres et des arbustes destinés à fournir du BRF ;
- Planter des haies : selon Jacky Dupéty, un chemin de 500m² bordé de haies, soit 1km de bordure végétale, offre une possibilité de 500 à 1000m² de couvert !
- Utiliser la taille des arbres, des arbustes ou des haies pour produire le BRF.
- S'adresser à un élagueur ou à un service d'espaces verts pour récupérer des rameaux mais en prenant des précautions sur l'origine des branches.



Figure 4 : Production du BRF avec un broyeur semi-professionnel (Source : AFEMAC Maroc)

Épandage et incorporation du BRF

On répand le BRF en automne jusqu'au début du printemps. Le broyat frais doit être épandu rapidement sur le sol (24 h maximum).

Après 2 à 4 mois, selon le moment de l'épandage, on peut l'incorporer à la couche superficielle du sol (sur 5 cm) avec un engin de travail superficiel. Ces premiers centimètres du sol maintiennent le bois humide et abritent la biomasse la plus active. Au-delà de 10 cm de profondeur, le processus de décomposition ne fonctionne pas. Les champignons vont dégrader la lignine et se multiplier. La vie va se développer dans le sol.

Le BRF peut aussi ne pas être incorporé, notamment autour des arbres, mais aussi pour certaines cultures.



Figure 5 : Épandage du BRF de rameaux d'oliviers (Source : AFEMAC Maroc)

Cultures sur BRF

Après l'incorporation, on peut planter ou semer.

Pour les semis délicats, écarter le BRF avec un râteau pour préparer un bon lit de semences : remplir le fond du lit avec de la terre noire de jardin, semer, recouvrir de terre fine, tasser, mouiller, replacer le BRF.



Figure 6 : Plantations sur BRF au douar El Hamri (Source : AFEMAC Maroc)

Quelques mois plus tard...



Figure 7 : Cultures sur BRF au douar El Hamri (Source : AFEMAC Maroc)



Figure 8 : BRF épandu autour d'un jeune olivier (France)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Permet d'utiliser les rameaux issus de la taille des arbres, des haies, des arbustes pour améliorer les sols, au lieu de les brûler ; • Stimule la vie des micro-organismes du sol par des processus biologiques et biochimiques propre aux sols forestiers ; • Augmente de manière significative et rapide le taux d'humus des sols ; • Apporte des nutriments au sol : carbone organique, azote, oligo-éléments et restaure ainsi sa fertilité ; • Diminue certaines maladies des plantes en améliorant la biodiversité des sols. Il permet ainsi d'éviter l'usage des engrais chimiques et des pesticides ; • Après un an de BRF, le sol infiltre 3 fois plus d'eau ce qui maintient l'humidité (effet d'une éponge) et permet d'économiser l'eau d'irrigation (50% environ). Les sols montrent ainsi une résistance à la sécheresse ; • Convient à de nombreuses cultures et à différents sols ; • Augmente les rendements à partir de la 2ème année suivant l'épandage sur les parcelles ; • Très efficace autour des arbres dont le rendement et la qualité des fruits sont meilleurs. • Permet de ne plus travailler les sols pendant 3 à 4 ans et il diminue le développement des « mauvaises herbes » ; • Incite à planter des arbres, des haies et des arbustes ; • Permet d'améliorer l'environnement et de développer la biodiversité.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Dans les zones arides, il y a des difficultés à trouver la matière première: les rameaux. Il faut donc tailler les arbres tels que les oliviers, amandiers etc. Le bois est souvent utilisé pour les fours traditionnels dans le milieu rural, ou pour se chauffer ; • Les rameaux issus des fermes posent le problème des pesticides et engrais chimiques utilisés sur les arbres. Il faut donc vérifier l'origine des rameaux et éviter ceux traités ; • Il y a parfois une « faim d'azote » temporaire quand une concurrence se crée entre les besoins en azote pour la décomposition du BRF et ceux pour la croissance des plantes cultivées. Par précaution, on peut planter la première année des engrais verts de légumineuses ; • Créer une pépinière d'arbustes, d'arbres, destinés au BRF demande du temps ; • Il faut prévoir une formation courte pour les agriculteurs et les particuliers: intérêt de planter des arbres, de les tailler parce qu'il existe des résistances et il faut expliquer le processus du BRF afin de les inviter à expérimenter cette technique ; • Le coût des broyeur qui incite à mutualiser l'achat ;

Liste des matériaux et coûts

- Disposer d'un broyeur de végétaux ou d'un broyeur professionnel. A défaut, passer par un organisme qui en possède un (prix de la location fixé par le loueur). Pour un jardin, il suffit d'avoir un broyeur électrique de puissance de 2000W ou de 5CV à moteur essence.

On peut alors broyer des branches de 2 à 3 cm de diamètre. Coût de 2500 à 4000 MAD.

- Pour des parcelles plus grandes, il convient d'avoir un broyeur plus puissant qui peut broyer des branches de 7cm de diamètre au maximum ;
- Sécheur pour taille d'arbustes (entre 100 et 300 MAD) ;
- Gants (50 à 100 MAD), lunettes de protection (100 MAD), casque pour l'utilisateur d'un broyeur broyeur (100 à 300 MAD) ;
- Râteau, grelinette (800 MAD) ou fourche ;
- Coût du broyeur semi-professionnel : 40 000 MAD ;
- Coût des couteaux du broyeur : 2200 MAD ;
- 5l d'essence ;
- Huile moteur du broyeur.

Étapes de réalisation

Préalables

- S'assurer que les rameaux employés n'ont pas été traités aux pesticides et insecticides ;
- Toujours savoir d'où viennent les rameaux, certaines espèces d'arbres peuvent être malades et le broyat peut contaminer les arbres de l'utilisateur. (Exemple : la chalarose du frêne).
- Tailler et récolter les rameaux entre octobre et février, pendant la période de dormance des feuillus.
- Les rameaux taillés au début de l'automne peuvent être stockés deux mois à l'ombre avant d'être broyés.

Exécution

- Broyage des rameaux
- Il ne faut pas ajouter beaucoup de feuilles dans le broyat, car ce serait développer les bactéries aux dépens des champignons et on se rapprocherait du compostage classique.

Epannage et incorporation du BRF

- Il faut répandre le BRF peu après le broyage, ou dans les 24 heures, sur une hauteur de 3 à 5 cm. Le BRF peut être conservé dans des sacs en toile, s'il doit être transporté, ou en tas sur le sol, s'il est broyé sur le terrain à cultiver.
- Il est incorporé dans les premiers centimètres du sol un ou deux mois après l'épandage.
- On peut ensuite semer et planter sur le BRF.

Test

- Quelques semaines après l'incorporation du BRF, on vérifie la présence de mycélium, signe que le processus est enclenché.

Suivi

- Ajouter de la paille sur le BRF et l'humidifier s'il y a un risque que le broyat sèche.
- Suivre les cultures et le risque de « faim d'azote » la première année. Les champignons

s'accaparent de l'azote minéral du sol, mais vont ensuite le rendre disponible aux plantes sous forme assimilable (c'est-à-dire soluble).

- Suivre l'évolution du sol et l'apparition du mycélium.

Entretien et maintenance

- Possibilité d'ajouter un peu de BRF sur la parcelle chaque année. Mais le plus souvent, le BRF est renouvelé au bout de 3 à 4 ans.
- Nettoyer les couteaux du broyeur et le broyeur au moins une fois par an, et après chaque importante utilisation.

Expériences réussies

Exemples de réalisations réussies de la technique suivant l'ordre de priorité suivant :

- Amérique du Nord. : Canada. Les expériences et recherches du professeur Gilles Le mieux ont permis la diffusion à l'échelle mondiale de cette technique ;
- Amérique du Sud ;
- Europe : France, Belgique ;
- France : Expérience de la Ferme du Pouzat de Jacky Dupéty dans le Quercy. Il a fondé l'association AVEBRF pour promouvoir la technique en France et en Afrique ;
- Afrique Subsaharienne et Amérique Latine : Burkina Faso, Mali, Togo, République démocratique du Congo, Ghana, Sénégal, etc ;
- Maroc, douar El Hamri : cultures sur BRF dans les jardins pédagogiques de l'association AFEMAC et les jardins familiaux.

Description du projet : Culture sur BRF

Lieu : El Hamri et douars environnants (Chichaoua), Maroc

Objectifs : Doter en parcelles BRF les jardins familiaux suivis par AFEMAC

Année de réalisation : 2015 et suivantes

Coût de réalisation :

Coût de la taille des arbres et du transport des rameaux.

Coût du broyeur semi-professionnel acheté en France et livré au Maroc : 60 000 MAD (frais de douane inclus)

Coût d'entretien : Aucun pour les particuliers

Impact socio-économique : Autonomisation de familles accédant à l'autosubsistance alimentaire

Impact écologique : Enrichissement du sol, développement de la biodiversité et économie d'eau.

Appréciation des usagers : Satisfaction après le constat d'un meilleur rendement sur les parcelles en BRF et d'une bonne qualité des fruits, légumes et plantes aromatiques et médicinales. Un goût très apprécié.

Recommandations

Recommandations des zones appropriées pour l'implantation de la technique au Maroc Toutes les zones sèches voire arides sont appropriées.

- Respecter les périodes de taille des arbres et de production du BRF,
- Veiller à l'épandre sur le sol dans les 24 h avec une épaisseur de 3 cm environ, moins sur des terres argileuses et limoneuses.
- Limiter au maximum la durée du stockage et du transport du broyat afin d'éviter la fermentation bactérienne thermophile qui évapore les matières nutritives fraîches utiles au processus BRF.
- « L'incorporation » du BRF se fait dans les premiers centimètres du sol avec des outils adaptés (grelinette, fourche, griffe). Il peut être laissé sur le sol sans incorporation.
- Si les chaleurs sont importantes au printemps, notamment dans les pays du Sud, il est possible de couvrir la parcelle BRF d'une fine couche de paille et d'arroser la parcelle afin de maintenir l'humidité nécessaire à la décomposition du BRF.
- Pour éviter la « faim d'azote » : épandre le BRF et planter plusieurs semaines après, ou semer des engrais verts (légumineuses). C'est une phase temporaire.
- Il faut un minimum de protections pour l'utilisateur du broyeur électrique ou thermique : gants, lunettes et casque pour le bruit si nécessaire.



Figure 9 : Formation BRF des femmes du douar El Hamri par Jacky Dupéty (Source : AFEMAC Maroc)

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

Références bibliographiques

1. Le BRF, vous connaissez ? Jacky Dupéty Editions du Terran (http://fermedupouzat.free.fr/?page_id=31)
2. « De l'arbre au sol Les bois Raméaux Fragmentés », EleaAsselineau / Gilles Domenech Editions du Rouergue
3. « Histoire de BRF » : <http://jardinierdumonde.be/histoire-de-brf/>
4. « Le Bois Raméal Fragmenté, un amendement aux propriétés surprenantes » http://www.paysans-creactiv-bzh.org/imgbd_panierequal/File/public/Bois-Energie/BRF.pdf

5. <http://www.brfgeneration.fr/guide-brf.rub-11/ressource-bois.rub-13/>
6. <https://www.alsagarden.com/blog/le-bois-rameal-fragmente-brf-ses-benefices-au-jardin-potager/>
7. <http://www.gammvert.fr/conseils/conseils-de-jardinage/planter-avec-des-mycorhizes>
8. <https://www.un-jardin-bio.com/enrichir-sa-terre-avec-le-brf/>

Pour en savoir plus :

9. Les références bibliographiques sur le BRF sont nombreuses, plusieurs documents sont téléchargeables sur le site <http://www.aggra.org>
10. Le site du Centre des Technologies Agronomiques (CTA) www.ctastree.be est également riche en informations avec les travaux de l'ingénieur agronome Benoît Noël (2005), « Le Bois Raméal Fragmenté - Plus de carbone pour nos sols », Collection « L'agriculture de demain ».
11. Vidéos Sikana : <https://www.sikana.tv/fr/nature/rameal-chipped-wood>
 - Comprendre le BRF, avec Jacky Dupéty
 - Quels matériaux pour le BRF
 - Préparer le BRF
 - Utiliser le BRF

Auteurs : F. Delaite, N. Nel, N. E. El Hamoumi, J. Naim, P. Guilibert

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

26 Tabia

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Les tabias sont tout type de digue en terre, construite soit sur les versants, soit dans les ravins et les vallées pour capter le ruissellement et sa charge solide en vue de stabiliser les terres et d'intensifier la production des cultures (Roose et al. 2010).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Dans les zones arides et semi-arides ;
- 100 à 250 mm/an de précipitation ;
- Dans les zones agricoles ou végétation naturelle ;
- Maximum 3 % de pente ;
- 1 m de profondeur au moins ;
- Arboriculture, céréaliculture, cultures fourragères, végétation naturelle.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Banquettes ;
- Cordons pierreux ;
- Diguettes filtrantes.



Figure 1 : Tabia, Tunisie (Source : Oweis et al. 2001)

Données techniques

Les tabias permettent de récupérer les eaux de ruissellement des champs cultivés pour les forcer à s'infiltrer dans les sols et apporter ainsi un supplément d'eau aux cultures des zones semi-arides. Elles réduisent aussi l'apport d'eau et de sédiments dans les retenues en aval. Les tabias sont traditionnellement construites en courbes de niveau, perpendiculairement aux vents qui provoquent des déplacements de sable. Elles sont constituées de :

- Une longue digue de 2 à 5 m de hauteur et pouvant atteindre 100 m de longueur selon la taille du bassin versant ;
- Deux diguettes latérales aux extrémités remontant la pente jusqu'à 30 m de longueur ;
- Un déversoir central (et ou latéral) pour évacuer l'excédent d'eau lorsque la retenue dépasse 20 cm de hauteur ;
- Parfois une petite digue de déviation des crues (mgoud) ;
- Un parement de pierres sèches disposé à la base de la digue permet de la protéger.

La partie amont des tabias constitue la zone de culture appelée « Jesser ». Le déversoir est construit en pierres et en escalier afin de dissiper l'énergie du ruissellement.

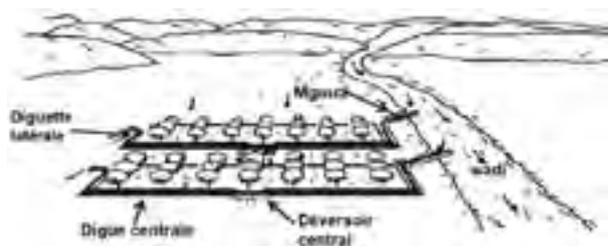


Figure 2 : Tabia avec captage supplémentaire d'eau de crue (Adapté de Mekdaschi Studer et al. 2013)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'érosion des sols ; • Contrôle des crues et protection des infrastructures à l'aval ; • Valorisation agricole des sols dégradés en zones arides et semi-arides ; • Augmentation de l'humidité du sol ; • Amélioration de la recharge de la nappe ; • Mise en œuvre simple.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation relativement élevé pour les petits producteurs ; • Main d'œuvre importante ; • Perte de surface cultivable (largeur de la digue et zone décapée) surtout en cas de mécanisation des travaux par des engins lourds.

Liste des matériaux et coûts

La réalisation des tabias est le plus souvent manuelle mais les constructions importantes sont effectuées avec des tracteurs et des bulldozers. Elles sont faites en terre et en pierres.

Réalisations	Coûts par traité
Construction des digues	2000 MAD
Protection des digues par cactus ou herbes pérennes	1000 MAD
Fumure (fumier, NPK)	500 MAD
Entretien des tabias	100 MAD/an
Traitement phytosanitaire des cultures	200 MAD/an
Apport de fumure	500 MAD/ha
Total	4300 MAD/ha

Tableau 1 : Coûts de réalisation et d'entretien des tabias (Source : Roose et al. 2010).

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (climat, nature, pente et profondeur du sol) ;
- Déterminer le nombre, l'emplacement et les dimensions des tabias ;
- Vérifier la disponibilité des matériaux (terre et pierres) et de la main d'œuvre.

Exécution

- Délimiter l'emplacement de la digue, des diguettes latérales et du déversoir ;
- Construire les canaux de déviation d'eau de crue ;
- Construire le déversoir central et éventuellement les déversoirs latéraux ;
- Procéder au décapage de la zone amont pour former un petit bassin de retenue ;
- Construire la digue avec le déblai en amont de la zone décapée ;

- Construire les bras aux extrémités et perpendiculairement à la digue principale ;
- Arroser si possible et compacter la digue et les diguettes par laminage, battage ou estampage ;
- Renforcer la base de la digue et des diguettes par des pierres ;
- Construire un fossé de dérivation en amont si nécessaire.

Test

- Vérifier la stabilité des tabias après les premières fortes pluies ;
- Renforcer la digue et les diguettes au besoin.

Suivi

- Vérifier la stabilité des tabias après chaque forte pluie et renforcer la digue et les diguettes au besoin ;
- Evaluer l'impact des aménagements sur les rendements agricoles, sur l'érosion du sol et sur la recharge de la nappe.

Entretien et maintenance

- Inspecter périodiquement les tabias ;
- Réparer immédiatement les éventuelles brèches constatées dans les tabias et bien les compacter ;
- Reconstruire les ailes en cas de dommages causés surtout par les débordements des écoulements.

Expériences réussies



Figure 3 : Bassin versant du lac collinaire d'El Gouzine, Tunisie (Source : Mollard et al. 2008).



Figure 4 : Tabia avec plantation de vergers, Tunisie (Source : Mekdaschi Studer et al. 2013)

Recommandations

Protéger les tabias par des herbes pérennes ou des cactus pour améliorer leur stabilité.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Oweis, T., D. Prinz and A. Hachum. 2001. Récolte de l'Eau le Savoir Indigène pour l'Avenir des Environnements Secs. ICARDA, Alep, Syrie. 40 pp
2. Éric Roose, Mohamed Sabir et Abdellah Laouina, (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc - Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes
3. Mekdaschi Studer, R. et Liniger, H., (2013). La collecte de l'eau : Directives pour de bonnes pratiques. Centre pour le développement et l'environnement (CDE), Bern, Réseau de mise en oeuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam, MetaMeta, Wageningen, Fonds international de développement agricole (FIDA), Rom
4. J. Bonvallet - Tabias et jessour du Sud Tunisien - Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/24510.PDF
5. Eric Mollard et Annie Walter, (2008). Agriculture singulière.

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

27

Jessour

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Les jessour (pluriel de jesser) sont des installations hydrauliques construites dans les bassins versants pour collecter les eaux de ruissellement et contrôler l'érosion des sols. Ils permettent une valorisation agricole des zones montagneuses en milieu aride.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- 100 à 250 mm/an de précipitation ;
- Dans les terrains agricoles ou végétation naturelle ;
- Flanc de montagne, piémonts et glacis (1 à 50 %) ;
- 20 à 50 cm au moins ;
- Arboriculture, céréaliculture, cultures fourragères, végétation naturelle.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Banquettes ;
- Cordons pierreux ;
- Diguettes filtrantes ;
- Seuils en gabions.



Figure 1 : Aménagement de Jessour dans un bassin versant, Tunisie (Source : Mekdaschi Studer et al. 2013)

Données techniques

Les Jessour sont très utilisés en zones montagneuses et permettent de valoriser les talwegs à des fins agricoles par ralentissements successifs des eaux de ruissellement de l'amont vers l'aval et par prélèvements échelonnés de celle-ci par chaque Jesser. Chaque Jesser est constitué de :

- Un impluvium ou bassin versant qui sert de surface de collecte et qui concentre le ruissellement. Il est délimité par la ligne naturelle de partage des eaux ;
- Une terrasse qui est un sol artificiel créé progressivement par accumulation des sédiments en amont de la digue et qui sert de surface de culture ;
- Une digue en terre (ou *tabia*) armée d'un mur à l'aval (*Sirra*) et de déversoirs (en position centrale et/ou latérale) qui sert de barrière pour retenir les sédiments et les eaux de ruissellement.

La digue est de forme trapézoïdale et mesure 15 à 50 m de long, 1 à 4 m de large et 2 à 5 m de haut. Le sommet (« Rass» ou « Thaba»), sert de sentier pour passer d'un versant à un autre.

La digue des Jessour diffère de la technique des Tabias par l'absence des digues latérales aux extrémités (voir fiche Tabia).



Figure 2 : Aménagement de Jessour dans un bassin versant, Tunisie (Source : Mekdaschi Studer et al. 2013)

Afin de résister aux fortes averses, il faut varier les types de déversoirs (central et latéral) d'un Jessor à l'autre (figure 3).

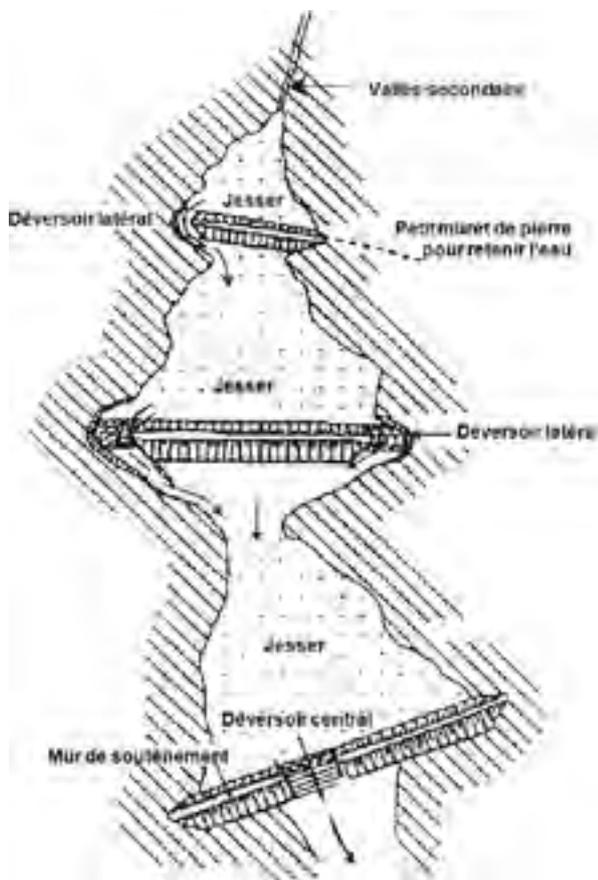


Figure 3 : Variation des déversoirs d'un Jessor à l'autre (Adapté de Roose et al. 2010)

Avantages / Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de l'érosion hydrique et éolienne des sols ; • Réduction des risques de crues ; • Protection des infrastructures à l'aval ; • Valorisation agricole des sols dégradés en zones arides et semi-arides ; • Augmentation de l'humidité du sol ; • Amélioration de la recharge de la nappe ; • Mise en œuvre simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation relativement élevé pour les petits producteurs ; • Main d'œuvre importante ; • Perte de surface cultivable (largeur de diguet zone décapée) surtout en cas de mécanisation des travaux par des engins lourds ; • Diminution de l'eau de ruissellement pour les usagers de l'aval.

Liste des matériaux et coûts

Composante	Matériaux
Tabia	Terre et pierres
Jesser	Plants d'arbres et fertilisants

Tableau 1 : Liste des matériaux pour la réalisation des *jessour*

La réalisation complète des Jessor avec l'achat et la plantation des arbres coûte entre 5000 et 15000 MAD/ha selon la taille et la densité des Tabias (Source : Roose et al. 2010).

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (climat, topographie, nature et profondeur du sol) ;
- Déterminer le nombre, l'emplacement et les dimensions des Tabias ;
- Vérifier la disponibilité des matériaux et de la main d'œuvre.

Exécution

- Délimiter l'emplacement des Tabias et de leurs déversoirs ;
- Procéder au décapage de la zone amont des Tabias pour former un petit bassin de retenue ;
- Construire les Tabias avec le déblai en amont de la zone décapée ;
- Arroser si possible et compacter les Tabias par laminage, battage ou estampage ;
- Construire les éventuels déversoirs ;
- Renforcer la base des Tabias par des pierres ;
- Planter les arbres dans le Jessor ;
- Construire un fossé de dérivation en amont si nécessaire.

Test

- Vérifier la stabilité des Tabias après la première pluie ;
- Renforcer les Tabias au besoin par des pierres, des mesures de végétalisation ou un compactage supplémentaire.

Suivi

- Idem au test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Inspecter périodiquement les Tabias ;
- Réparer immédiatement les éventuelles brèches constatées dans les Tabias et bien les compacter ;
- Entretien des cultures ;
- Travailler le sol en amont de la Tabia pour éviter le croûtage du sol.

Expériences réussies



Figure 4 : Tabia d'un Jesser, Sud Tunisien (Source : Mekdaschi Studer, et al. 2013)



Figure 5 : Agriculture pluviale avec Jessour, Tunisie (Source : <https://www.dutchwatersector.com/news-events/news/7354-nwo-wotro-launches-new-scientific-research-programme-for-inclusive-development-sub-sahara-africa.html>)



Figure 6 : Jessour dans la province de Tataouine, Tunisie (Source : <https://journals.openedition.org/confins/7802>)

Recommandations

Protéger les *tabias* par des herbes pérennes ou des cactus pour améliorer leur stabilité.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Mekdaschi Studer, R. et Liniger, H., (2013). La collecte de l'eau : Directives pour de bonnes pratiques. Centre pour le développement et l'environnement (CDE), Bern, Réseau de mise en oeuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam, MetaMeta, Wageningen, Fonds international de développement agricole (FIDA), Rom.
2. Éric Roose, Mohamed Sabir et Abdellah Laouina, (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc - Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes
3. J. Bonvallot - Tabias et jessour du Sud Tunisien - Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/24510.PDF

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

28 Seuil d'infiltration

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Un seuil d'infiltration est un barrage construit à l'entrée des élargissements du lit d'un oued comprenant plusieurs chenaux perméables afin d'étaler la lame d'eau et la répartir dans le plus grand nombre possible de chenaux en aval et accroître ainsi la surface d'infiltration.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration +++	 Recharge des nappes +++	 Evacuation	 Lutte contre l'inondation +
 Lutte contre l'érosion			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones semi-aride à aride ;
- Terrain granulaire de préférence.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Seuils d'épandage ;
- Seuils en gabions ;
- Bassins de rétention/infiltration ;
- Barrages souterrains ;
- Lacs collinaires.



Figure 1 : Seuil d'infiltration réalisé au niveau de l'oued Ghmat, bassin du Tensift, Maroc (Source : ABHT, 2011)

Données techniques

Les seuils permettront de corriger le lit en amont et augmenter la surface d'échange permettant d'améliorer la capacité d'infiltration de l'eau vers la nappe, de plus, l'écoulement sera réparti uniformément le long de toute la largeur du lit de l'oued. Un seuil d'infiltration (figure 2) est constitué des éléments suivants :

- Le corps du seuil qui constitue le barrage ;
- Le déversoir qu'à travers duquel l'eau se déverse à l'aval du seuil ;
- Les ailes qui permettent l'encrage du seuil dans les berges ;
- Les enrochements amont et aval qui sont des mesures de protection contre l'affouillement à la base du seuil.

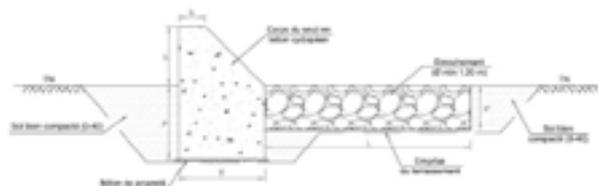


Figure 2 : Coupe type d'un seuil d'infiltration (Source : ABHT, 2011)

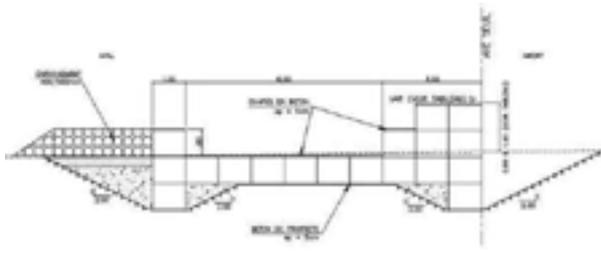


Figure 3 : Coupe transversale du seuil réalisé au niveau de l'oued Ghmat bassin du Tensift, Maroc (Source : ABHT, 2011)

Le dimensionnement des seuils nécessite d'abord la connaissance du bassin versant, des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau à aménager, de même que les caractéristiques du sol que traverse ce cours d'eau. Ces différentes caractéristiques permettront d'évaluer les paramètres suivants :

- Débit de projet, Q [m^3/s] ;
- Section du cours d'eau, b [m] et z pour une section trapézoïdale ;
- Pente du cours d'eau avant aménagement, S_0 [m/m] ;
- Coefficient de rugosité de Manning, n [s/ml³] ;
- Hauteur normale d'écoulement, y_n [m] ;
- Vitesse d'écoulement, V [m/s] ;
- Nombre de Froude, F ($F > 1$, écoulement torrentiel ; $F < 1$, écoulement fluvial) ;
- Hauteur critique d'écoulement, y_c [m] ;
- Vitesse d'écoulement maximale permise, V_{max} [m/s].

Installer un décanteur horizontal en amont du seuil pour traiter les eaux chargées. La hauteur du seuil au niveau du déversoir doit être supérieure à 1,2 fois la hauteur critique d'écoulement.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la force érosive de l'eau ; • Amélioration de la recharge des nappes phréatiques ; • Augmentation de la disponibilité en eau pour les populations riveraines ; • Améliorer la fertilité des sols en amont du seuil par la sédimentation des éléments fertilisants transportés par l'eau ; • Bonne exploitation agricole des zones inondées en période de décrue.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Problème de colmatage des surfaces d'infiltration ; • Perte de surfaces exploitables en cultures pluviales par la création d'un plan d'eau semi permanent insupportable par certaines cultures ; • Entretien fréquent ; • Coût de réalisation élevé.

Liste des matériaux et coûts

Les intrants et matériaux nécessaires dépendent du type de seuil, des propriétés physiques du bassin versant et des matériaux disponibles sur le site et sur le marché.

Les principaux matériaux requis sont le ciment, le gravier, le sable, l'eau, le fer, le bois de coffrage, etc.

Etapes de réalisation

Préalables

- Collecte et organisation des données, évaluation des ressources, identification de sites potentiels et études préliminaires ;
- Localisation et dimension de l'aire d'étude ;
- La quantité et la qualité des eaux destinées à la recharge ;
- Profondeur de la nappe ;
- La qualité d'eau souterraine
- Choix du dispositif de recharge ;
- Dimensionnement et conception : type du dispositif, dimensions, espacement, et emplacement des installations de surface et sub-surface de recharge et leurs sujétions ;
- Evaluation du volume de la recharge et des performances du dispositif.

Exécution

- Délimiter l'emplacement du seuil ;
- Procéder ensuite à l'excavation de la tranchée ;



Figure 4 : Construction du seuil d'infiltration au village de Tidrhest (Source : GIZ/AGIRE)

- Couler la dalle de la fondation ;
- Construire la 2ème fondation en disposant sur la 1ère une couche de renfort horizontale et en y coulant 5 cm de dalle ;
- Remplir ensuite la tranchée de fondation de maçonnerie ;
- Installer les coffrages du mur du seuil, du déversoir et des ailes ;
- Construire le seuil puis procéder aux finitions.



Figure 5 : Construction du mur du barrage (Source : Stern)

Test

- Vérifier après la première forte pluie que l'eau ne passe pas autour des ailes, sinon prolonger les ailes ;
- Vérifier l'étanchéité du seuil.

Suivi

- Idem que le test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Vérifier après chaque forte pluie que l'eau ne passe pas autour des ailes ; sinon prolonger les ailes ;
- Veiller à garder le lit de la rivière exempt de végétation ;
- Réparer immédiatement toute fuite ou fissure détectée dans la maçonnerie du mur du barrage et des ailes ;
- Vérifier qu'il n'y a pas d'affouillement à la base amont ou aval du seuil sinon renforcer et compacter la base.

Expériences réussies



Figure 6 : Fiche de présentation du projet captage de l'eau - renforcement de l'agriculture oasisienne dans la région d'Ouarzazate au village de Tidrhest (Source : GIZ/AGIRE)



Figure 7 : Seuil d'infiltration construit au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasisienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)

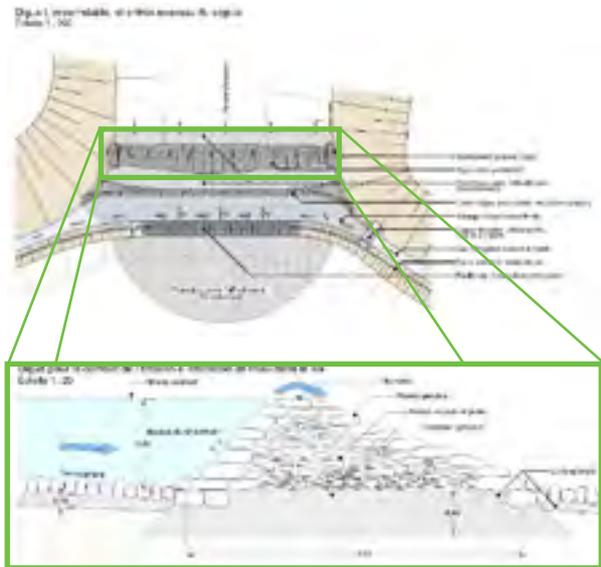


Figure 8 : Coupe type de seuil d'infiltration construit au village de Tidrhest (Source : GIZ/AGIRE)

Description du projet :

Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasisienne dans la région d'Ouarzazate

Lieu : Village de Tidrhest, Maroc

Objectifs : Protection du système d'irrigation contre les crues

Année de réalisation : 2013

Coût de réalisation : 36 800 MAD

Impact socio-économique : Ravivement de l'activité agricole grâce à l'augmentation de l'apport aux eaux souterraines

Impact écologique : Recharge de la nappe, réduction de l'érosion et conservation du sol

Appréciation des usagers : Population est enthousiaste à l'idée de raviver et protéger l'oasis contre les crues

Recommandations

- Les seuils d'infiltration sont à multiplier en très grand nombre dans les zones arides et semi-arides, le long des cours d'eau et des oueds. Ils devront être intégrés, dans les programmes de développement des communes, parmi les mesures d'adaptation au changement climatique ;
- Il est important, dans le cadre d'appui aux collectivités locales, de sensibiliser les populations et de les impliquer dans la planification, l'exécution, et l'entretien de ces ouvrages ;
- Enfin, il faut former et suivre des opérateurs locaux (ouvriers, et contremaitres) qui se spécialiseront progressivement dans la réalisation des seuils d'infiltration.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Agence du Bassin Hydraulique du Tensift - ABHT, (2011). Elaboration d'un plan d'action pour le développement de la recharge artificielle des nappes dans le bassin du Tensift. Marché n°: 37/2011/ABHT - Mission II : Analyse et choix des procédés de recharge artificielle.
2. Agence du Bassin Hydraulique du Tensift - ABHT, (2011). Elaboration d'un plan d'action pour le développement de la recharge artificielle des nappes dans le bassin du Tensift. Marché n°: 37/2011/ABHT - Mission III : Mission III : Etude d'impact des dispositifs de recharge artificielle.
3. Agence du Bassin Hydraulique du Tensift - ABHT, (2011). Elaboration d'un plan d'action pour le développement de la recharge artificielle des nappes dans le bassin du Tensift. Marché n°: 37/2011/ABHT - Mission III : Mission IV : Etude préliminaire des variantes de recharge
4. Agence du Bassin Hydraulique du Tensift - ABHT, (2011). Elaboration d'un plan d'action pour le développement de la recharge artificielle des nappes dans le bassin du Tensift. Marché n°: 37/2011/ABHT - Mission III : Mission V : Elaboration d'un guide de suivi et d'évaluation des systèmes de la recharge artificielle
5. Stern, J.H. and Stern, A., (2011). Water harvesting through sand dams – Echo Technical Note
6. RAIN, (2007). A practical guide to sand dam implementation - Water supply through local structures as adaptation to climate change
7. FAO, (2001). La collecte des eaux de surface en Afrique de l'Ouest et du Centre

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

Informations générales

Le seuil d'épandage est un ouvrage hydraulique réalisé en travers du lit mineur d'une vallée perpendiculairement au sens d'écoulement des eaux. Il permet de contrôler l'érosion hydrique et surtout d'assurer l'épandage des eaux de crues sur une largeur plus importante du bas-fond en corrigeant le chemin préférentiel de l'eau.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Lit mineurs des cours d'eau ;
- 50 - 1200 mm/an de précipitation ;
- Dans les terrains agricoles ;
- 1 à 8 % de pente, bas-fonds, larges vallées plates ;
- 50 - 120 cm de profondeur ;
- Tous types de cultures.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Seuils en gabions ;
- Seuils en béton.



Figure 1 : Seuil d'épandage des eaux de crues, Burkina Faso (Source : GIZ, KfW, 2011)

Données techniques

L'objectif principal des seuils d'épandage des eaux de crues est la correction des ravins dans les bas-fonds. Ils permettent également une valorisation agricole des vallées et la recharge des nappes phréatiques. Les seuils d'épandage (figure 2) sont composés :

- D'un déversoir dans l'axe du véritable lit de la rivière (lit mineur) ;
- De contreforts latéraux permettant de stabiliser l'ouvrage ;
- De murs en ailes hautes puis basses qui traversent la vallée ;
- D'un bassin de dissipation rempli de pierres et conçu en escaliers en aval du déversoir permettant de casser l'énergie du ruissellement afin d'éviter l'affouillement en aval du seuil.

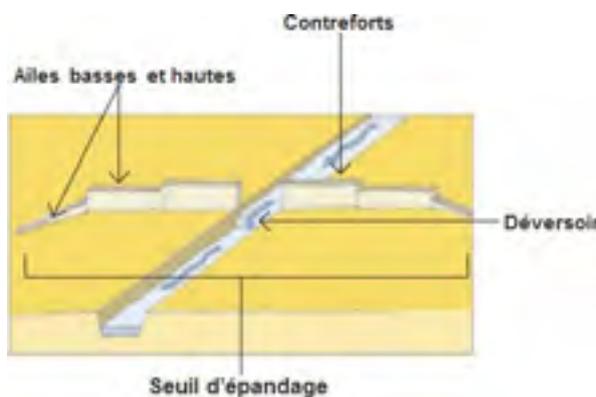


Figure 2 : Différentes parties d'un seuil d'épandage des eaux de crues (Source : Nill, 2012)

Lors d'une crue, l'eau se répand en amont de l'ouvrage, puis elle passe éventuellement au-dessus des ailes basses puis hautes selon l'importance de la crue pour refluer vers l'aval de l'ouvrage (figure 3).



Figure 3 : Déversoir d'un seuil d'épandage suivi du bassin de dissipation, Tchad (Source : Picard, GIZ)

Les parties amont et aval de l'ouvrage sont ainsi inondés favorisant l'infiltration de l'eau et la sédimentation des particules. Par conséquent, le niveau de la nappe remonte, les ravines de la vallée sont comblées et le lit de la rivière remonte également.



Figure 4 : Fonctionnement d'un seuil d'épandage des eaux de crues : (période hors crue (a); ruissellement faible (b) et fort (c)) (Adapté de Dorlöchter-Sulser et Nill, 2012)

Contrairement aux petites retenues d'eau, les seuils d'épandage sont adaptés aux larges vallées et peu profondes. La crête du déversoir peut servir de passage pour traverser la vallée en temps de crue (figure 5).



Figure 5 : Seuil d'épandage : pendant la saison des pluies la crête sert de passage à la population en temps de crue (Source : Bender, 2009)

La configuration des seuils d'épandage dépend de celle de la largeur de la vallée du cours d'eau. La longueur couvre toute la largeur de la vallée, la profondeur de la fondation est d'au moins 1 m et la largeur en crête de la digue de 0,5 à 3 m. La hauteur du seuil au niveau du déversoir varie entre 1 à 5 m.

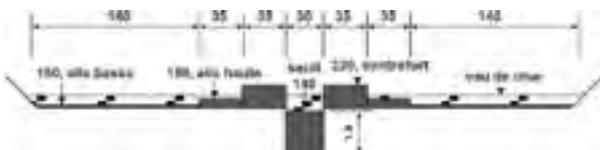


Figure 6 : Exemple de configuration (mesures en cm) d'un seuil d'épandage dans une vallée (Source : Bender, 2009)

La réalisation du seuil d'épandage des eaux de crues se fait après la saison des pluies pour éviter la mise en eau du chantier. L'aménagement d'une ravine se fait d'amont en aval pour arrêter la progression de la tête de la ravine vers l'amont. La construction de plusieurs ouvrages successifs est préférable à la mise en place d'un seul seuil de grande dimension. L'écartement entre deux seuils est tel que le pied du seuil amont est à l'horizontale avec le sommet du seuil aval (idem que pour les diguettes filtrantes : fiche n° 43).

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la force érosive de l'eau ; • Amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol ; • Bonne répartition de la crue dans les vallées ; • Amélioration de la fertilité des sols en amont du seuil ; • Valorisation agricoles des terres en cultures annuelles ou en pâturage extensif.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de sol cultivable en période de crue ; • Coût de construction élevé ; • Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée pour la conception et la réalisation.

Liste des matériaux et coûts

Les seuils d'épandage des eaux de crues sont construits avec des pierres locales et du ciment.

Les coûts de construction des seuils varient environ entre 6000 et 15000 MAD par hectare de terre dominé par le seuil (Adapté de GIZ, KfW, 2011) en fonction des caractéristiques de la vallée.

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (taille du bassin versant, largeur du bas-fond, topographie, pluviométrie, nature du sol, hydrologie, géologie, niveau de la nappe) ;
- Simuler l'impact des seuils sur les débits déversés et les superficies inondées ;
- Réaliser la conception des seuils d'épandage (type et nombre de seuils, emplacement, dimensions) ;
- Vérifier la disponibilité de matériaux et de la main d'œuvre.

Exécution

- Délimiter l'emplacement du seuil d'épandage ;
- Creuser la fondation sur toute la longueur du tracé du seuil ;
- Couler le béton de la fondation ;
- Construire le mur du seuil proprement dit (ailes, contreforts, déversoir) ;
- Procéder aux finitions et remplir le bassin à sédimentation.

Test

- Vérifier que l'eau s'épand bien en aval du seuil lors de la première crue après la construction ;
- Vérifier que le niveau de l'eau ne dépasse pas celui du contrefort.

Suivi

- Idem que le test ci-dessus ;
- Vérifier que le niveau de sédimentation en amont ne dépasse pas celui des ailes ;
- Superficies inondées ;
- Niveau de la nappe en amont et en aval du seuil.

Entretien et maintenance

- Surélever le seuil sur toute sa longueur lorsque le niveau de sédimentation en amont dépasse celui des ailes.

Expériences réussies



Figure 7 : Seuil d'épandage des eaux de crues à Kalfou dans la région de Tahoua, Niger (Source : Nill, 2012)



Figure 8 : Seuil d'épandage des eaux de crues dans la vallée de Bagaye, Niger (Source : FAO et IESA)

Description du projet :

l vallée = 700 m
L seuil: 670 m
L déversoir : 100 m
h maxi contrefort : 3,80 m
Profondeur tranchée : 1 m
l crête : 3 m

h maxi déversoir : 1,6 m
V remblai : 17 000 m³ de latérite
V eau stockée temporairement : 60 000 m³
S bassin versant : 50 km²
S dominée par le seuil: 30 ha

Lieu : Vallée de Bagaye au Niger

Objectifs : Amélioration de la qualité des sols érodés pour des fins agricoles

Année de réalisation : 2005

Coût de réalisation : ≈ 4,1 Millions de MAD

Recommandations

Lorsque l'objectif principal est l'irrigation des terres, opter plutôt pour des barrages collinaires ou pour des « saguias » (canaux d'irrigation) qui sont plus efficaces.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Bender, H., (2009). Pistes rurales et mesures antiérosives - Recommandations techniques
2. GIZ and KfW, (2011). Factsheet - Water-spreading weirs
3. Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) et Initiative Eau et Sécurité Alimentaire pour l'Afrique (IESA). Bonnes pratiques en irrigation : Seuil d'épandage au Niger
4. Nill, D., (2012). Seuils d'épandage pour la valorisation des vallées d'oued dégradées : Expériences du Sahel. GIZ, KfW
5. Bender, H., (2009). Pistes rurales et mesures antiérosives : Recommandations techniques
6. Picard, J. Factsheet - Water-spreading Weirs : Methods and Tools. GIZ - Programme for Decentralised Rural Development, KfW
7. Mekdaschi Studer, R. et Liniger, H., (2013). La collecte de l'eau : Directives pour de bonnes pratiques. Centre pour le développement et l'environnement (CDE), Bern, Réseau de mise en oeuvre de la collecte des eaux de pluie (RAIN), Amsterdam, MetaMeta, Wageningen, Fonds international de développement agricole (FIDA), Rom.
8. Dorlöchter-Sulser, S. et Nill, D., (2012). Bonnes pratiques de CES/ DRS. Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs. GIZ - Projet sectoriel Développement territorial en milieu rural

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

30 Lacs collinaires

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Un lac collinaire est une réserve artificielle d'eau, en fond de terrains vallonnés, fermée par une ou plusieurs digues (ou barrages), et alimentée soit en période de pluies par le ruissellement des eaux, soit par un cours d'eau.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation +	 Autres usages domestiques ++	 Arrosage +++	 Irrigation +++
 Infiltration +++	 Recharge des nappes ++	 Evacuation +++	 Lutte contre l'inondation +
 Lutte contre l'érosion			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Partout ;
- Réalisés au niveau des Talwegs.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Seuils d'épandage ;
- Seuils en gabions ;
- Barrages souterrains.



Figure 1 : Lac collinaire, Maroc (Source : Alaoui Mohamed, 2012)

Données techniques

La hauteur sur fondation du barrage créant un lac collinaire ne dépasse généralement pas 15m au point le plus haut. La capacité de la retenue qui en résulte est le plus souvent inférieure à 1 million de m³ sur une étendue de quelques hectares.

L'évaluation de la retenue se fait de la même façon que pour un bassin de rétention (voir fiche bassin de rétention). En cas d'absence d'une source d'alimentation de la retenue, l'étendue du bassin versant doit être au minimum de 2 km² dans la zone située au nord de Rabat, de 4 km² entre Rabat et Marrakech et plus de 6 km² au sud de Marrakech (Agence du Sud).

Il existe 3 types de retenues collinaires :

- Les retenues réalisées « en parallèle » au cours d'eau pour stocker l'eau excédentaire des périodes de fortes crues
- Les retenues « au fil du cours d'eau »
- Les retenues en tête de bassin versant : souvent alimentées par des sources ou par ruissellement.

Le barrage des lacs collinaires est constitué des éléments suivants :

- Le corps proprement dit du barrage ;
- Des déversoirs latéraux ;
- Une vidange de fond et une vidange de demi-fond qui permettent de soulager le barrage en période de crue ou de vider le fond pour réduire le taux d'envasement.

Les conduites constituant les vidanges ont un diamètre de 800 mm à 1 m.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Protection des infrastructures à l'aval ;• Développement de l'économie locale ;• Augmentation de la disponibilité en eau ;• Régulation des crues torrentielles des montagnes ;• Amélioration de la recharge des nappes.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Modification du cours de l'eau en aval ;• Coût de réalisation élevé ;• Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée pour la conception et la réalisation.

Liste des matériaux et coûts

Les barrages des lacs collinaires sont construits soit en terre, en enrochement ou soit en béton selon la configuration du site et les moyens disponibles. Leurs coûts de réalisation varient de quelques milliers à quelques millions de MAD.

Etapas de réalisation

Préalables

- Etudier la situation existante (topographie, hydrologie, géologie, géotechnique) ;
- Choisir le site de construction du lac collinaire ;
- Evaluer la quantité de la retenue ;
- Réaliser la conception du lac collinaire

Exécution

- Délimiter l'emplacement du barrage du lac collinaire ;
- Creuser la fondation ;
- Construire la fondation ;
- Construire le barrage proprement dit en tenant en compte de l'emplacement des vidanges et des déversoirs.

Test

- Vérifier la stabilité et l'étanchéité du barrage après les premières fortes pluies ;
- Renforcer le barrage au besoin.

Suivi

- Idem au test après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Inspecter périodiquement le barrage du lac collinaire ;
- Vérifier la stabilité et l'étanchéité du barrage après chaque forte pluie ;
- Réparer les éventuelles fuites constatées dans le barrage ;
- Lorsque la sédimentation devient importante, vidanger la retenue.

Expériences réussies



Figure 2 : Lac collinaire dans la région nord Marocain installé pour contrer le problème d'envasement d'un barrage en aval (Source : <http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1/VI.Lutte.html>)

Description du projet :

Bassin versant : 3,7 Km²
Apport moyen en eaux : 40.000 m³/an
Capacité de la retenue : 44.600 m³
Type du barrage : poids en maçonnerie
Volume total du barrage : 3900 m³
Hauteur max. sur fondation : 11 m
Hauteur sur T.N : 7,50 m
Longueur en crête : 110 m

Lieu : Commune M'Nabha, Province de Marrakech - Maroc

Objectifs : Abreuvement de cheptel

Année de réalisation : 1991

Coût de réalisation : 2,5 M MAD

Recommandations

- Sensibiliser les régions et les communes, sur les possibilités de collecte des eaux pluviales offertes par les lacs collinaires ;
- Encourager et subventionner les travaux de sélection de sites dans les communes à faibles revenus, et ce pour les communautés et les particuliers ;
- Choisir un site où la vallée se resserre pour la construction du barrage afin de réduire les coûts de construction ;
- Mettre en place des mécanismes innovants de financements des constructions de lacs collinaires ;
- Les travaux doivent s'effectuer hors période d'étiage.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Alaoui Mohamed, (2012). Les petits barrages au Maroc : une expérience à consolider dans un cadre rénové. Ministère de l'Énergie des Mines de l'Eau et de l'Environnement - Département de l'Eau
2. Agence du Bassin Hydraulique du Tensift – ABHT, (2012). Barrages et lacs collinaires dans la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

31

Matfia

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Les matfias sont une technique traditionnelle de collecte des eaux de pluie et de ruissellement en milieu rural. Elles consistent à stocker les eaux dans des citernes souterraines afin d'augmenter la disponibilité en eau pour divers usages.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- Distance d'au moins 30 m d'une fosse septique ou d'une latrine ;
- Disponibilité d'un impluvium de grande dimension pour une matfia public, et de petite dimension pour une matfia individuelle.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

Pour une matfia individuelle :

- Collecte d'eau de toiture ;
- Tranchée d'infiltration ;
- Puits d'infiltration.

Pour une matfia collective :

- Bassin de rétention ;
- Lac collinaire.



Figure 1 : Matfia collective, Douar El Hamri, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Données techniques

Les matfias sont généralement des citernes enterrées ou semi-enterrées. Les composantes d'un système de matfia (figures 2 et 3), sont :

- Un impluvium naturel ou aménagé qui coïncide avec le versant qui surplombe la matfia ;
- Un canal de raccordement (séguia) entre l'impluvium et le bassin de décantation ;
- Un bassin de décantation muni d'une conduite le reliant à la citerne ;
- Une citerne (matfia proprement dite) ;
- Une prise d'eau qui peut être une pompe manuelle, un seau à travers une ouverture, etc.

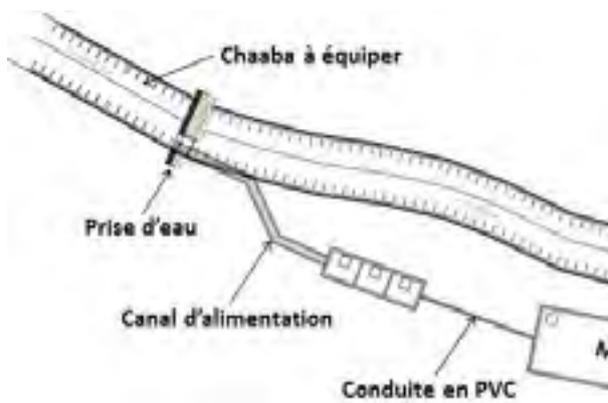


Figure 2 : Composantes d'un système de matfia (Source : https://qcat.wocat.net/en/wocat/technologies/view/technologies_3205/)

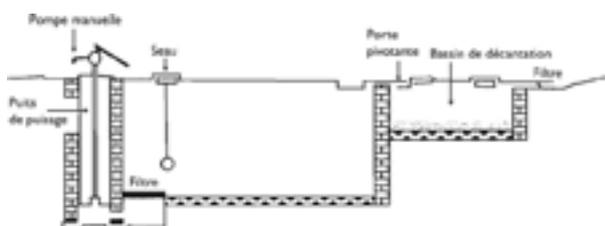


Figure 3 : Composantes d'une matfia (Source : Roose et al., 2010)

La différence entre les bassins de rétention et les matfias est que ces dernières ont un impluvium aménagé qui les alimente en eau. Cependant l'estimation du volume d'une matfia est la même que celle d'un bassin de rétention (voir la fiche technique bassin de rétention n°10).

En général, la capacité des matfias varie de 1 à 20 m³ pour les individuelles, et supérieure à 20 voire 200 m³ pour les collectives.

Les matfias collectives sont construites à l'extérieur des maisons, et les matfias individuelles, le plus souvent à l'intérieur des maisons d'habitation.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Stockage de l'eau et utilisation différée ; • Approvisionnement en eau pour divers usages domestiques ; • Amélioration des conditions d'hygiène de la famille ; • Contribution à la pérennisation des activités pastorales ; • Diminution des risques de ravinement et d'inondations ; • Réduction de la corvée de l'eau.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Volume insuffisant pour les besoins annuels ; • Problème sanitaire: stockage trop long ou puisage par les enfants peu soigneux ; • Grande emprise foncière dans certains cas • Entretien difficile si accès difficile ; • Coût de réalisation élevé.

Liste des matériaux et coûts

Les matfias sont construites en béton, mais il existe aussi des configurations moins coûteuses en pierres ou en terre battue. Le coût de réalisation des matfias varie en fonction de leur taille, des aménagements connexes à réaliser et des matériaux utilisés. A titre d'exemple, la construction d'une matfia de 180 m³ en ciment a coûté 209 000 MAD (hors TVA) dans le Douar Laghoualem Foukani (figure 4).

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (topographie, hydrologie, régime pluviométrique, nature des sols, etc.) ;
- Déterminer le site de la matfia ;

- Concevoir de système de matfia (taille de l'impluvium, capacité de la matfia, ouvrages connexes).

Exécution

- Délimiter l'emplacement de la matfia, des canalisations et de l'impluvium en cas d'un impluvium aménagé ;
- Procéder aux excavations ;
- Etanchéifier le fond du réservoir en béton ou en compactant le fond ;
- Construire les murs de la matfia tout en prévoyant l'entrée d'eau ;
- Construire le toit de la matfia tout en prévoyant le moyen de prise d'eau ;
- Construire le bassin de décantation et les canaux d'alimentation ;
- Aménager l'impluvium ;
- Laver les canaux d'alimentation pour éliminer les impuretés avant la mise en service ;
- Mettre en place les ouvrages de prise d'eau.

Test

- Vérifier l'étanchéité de la matfia par surveillance du niveau d'eau après les premières pluies ;
- Vérifier la bonne disposition et le bon fonctionnement des canaux d'alimentation lors des pluies ;
- Vérifier le bon fonctionnement du décanteur en mesurant la turbidité en amont et en aval du décanteur ;
- Vérifier le bon fonctionnement des ouvrages de prise d'eau.

Suivi

- Vérifier le bon fonctionnement du décanteur en mesurant la turbidité en amont et en aval du décanteur ;
- Vérifier le bon fonctionnement des ouvrages de prise d'eau.

Entretien et maintenance

- Vider les boues au fond des ouvrages de décantation avant chaque saison de pluie ;
- Lorsque la matfia est vide, ou que l'eau est de mauvaise qualité avant la saison des pluies, il faut vider et nettoyer la matfia.

Expériences réussies



Figure 4 : Matfia construite dans le Douar Laghoualem Foukani, Maroc (Source : Service Eau d'El Kelaa Des Sraghna, 2013)

Description du projet :

Construction d'un système de matfia d'une capacité de 180 m³

Lieu : Douar Laghoualem Foukani, Province de Rehamna, Maroc

Objectifs : Stockage des eaux pluviales de ruissèlement collectées sur une aire de 1.6 ha par des canaux

Année de réalisation : 2012

Coût de réalisation : 209 000 MAD (hors TVA)



Figure 5 : Matfia construite au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)

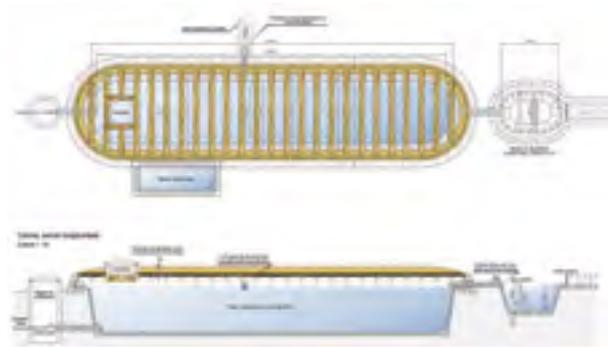


Figure 6 : Vue longitudinale de la Matfia construite au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)

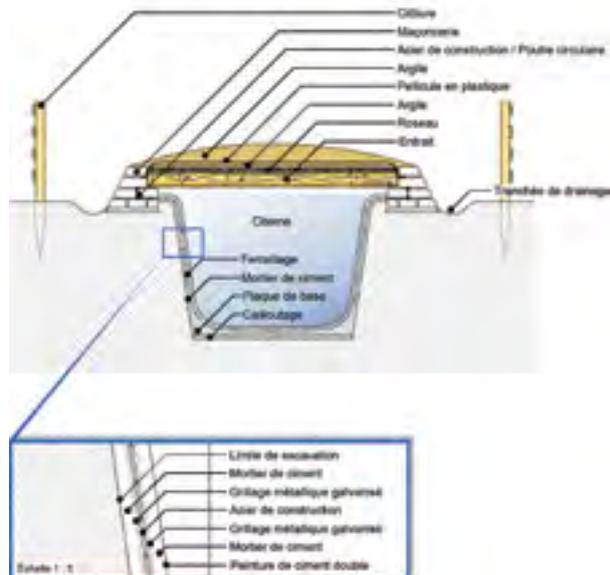


Figure 7 : Vue transversale de la Matfia construite au village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)

Description du projet :

Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate

Lieu : Village de tidrhest, Maroc

Objectifs : Collecte et stockage jusqu'à environ 30 % des précipitations

Année de réalisation : 2013

Coût de réalisation : 48 500 MAD

Impact socio-économique : Approvisionnement en eau pour des usages domestiques, agricoles ou l'abreuvement du bétail

Impact écologique : Diminution des risques d'érosion

Appréciation des usagers : Population est enthousiaste à l'idée de raviver l'oasis qui a connu plusieurs périodes de sécheresse

Recommandations

- Eviter de construire des fosses septiques et des latrines à proximité des matfias ;
- Sensibiliser régulièrement aux échelles régionales et locales sur le potentiel permis par les matfias ;
- Encourager et subventionner la construction de matfia individuelles et collectives dans les zones aride et semi-aride.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. KHARMOUCH Mohamed - Techniques culturales de captage des eaux pluviales
2. Service Eau d'El Kelaa Des Sraghna, (2013). Rapport de fin de travaux de réalisation des canaux de collecte des eaux de ruissellement et construction d'un réservoir semi-enterré pour le stockage des eaux pluviales au douar LaghoualemFoukani
3. Éric Roose, Mohamed Sabir et Abdellah Laouina, (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc - Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes
4. <http://www.hydropoject.info/en/morocco-matfias-of-abda/waterworks18/>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

32

Khettara

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Une khettara est un système traditionnel ingénieux (du type minier) destiné au captage des eaux souterraines d'une nappe phréatique et leur adduction à la surface du sol à travers une galerie (reliant les différents puits d'aération) par simple effet de gravité (sans aucun pompage). Cette galerie souterraine est constituée d'une partie drainante à l'amont de l'ouvrage où s'effectue le drainage des eaux de la nappe et d'une partie adductrice à l'aval pour le transport de ces eaux jusqu'au point de sortie de la khettara à la surface du sol (bassin de récupération ou directement dans les canaux d'irrigation à ciel ouvert appelés seguias).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation +	 Autres usages domestiques ++	 Arrosage ++	 Irrigation +++
 Infiltration	 Recharge des nappes	 Evacuation	 Lutte contre l'inondation
 Lutte contre l'érosion			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones semi-arides à désertiques ;
- < 500 mm de précipitation ;
- Sol nu situé sur une nappe phréatique ;
- Faible pente topographique.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Les puits souterrains ;
- Les forages ;
- Les sources ;
- Les drains souterrains.



Figure 1 : Galerie souterraine reliant les puits d'une Khettara à côté de Isfahan - Iran (Source : Wikipedia <https://fr.wikipedia.org/wiki/Qanat>)

Les khettaras prennent naissance généralement au pied d'une montagne, sur les terrasses d'un oued ou dans des hauts plateaux renfermant des nappes phréatiques situées à des profondeurs relativement faibles (quelques dizaines de mètres au maximum) et ayant un débit d'écoulement (des eaux souterraines) relativement important, permettant de satisfaire les besoins en eau (notamment agricoles) de la population située en contrebas.

Il existe deux grands types de khettaras : les khettaras d'oued et les khettaras de plaine.

Le système de khettara est considéré comme l'un des plus vieux systèmes de gestion des eaux d'irrigation, il aurait vu le jour en Perse il y a plus de 3000 ans. Il est appelé « Qanat » en Iran, « Kiraz » en Afghanistan, Karez en Chine, « Aflaj » au Yemen, « Kanawat » en Syrie, « Fouggara » en Algérie et « Khettara » au Maroc.



Figure 2 : Carte des pays contenant des khettaras (Source : L'eau du désert. <http://www.l-eau-du-desert.com/ledd/fr/khettaras>)

Pour les populations des pays arides ou semi-arides, une khettara constitue une source d'eau à débit régulier (de quelques litres par seconde à quelques dizaines de litres par seconde), permettant la satisfaction des besoins en eau de la population vivant en milieu rural, notamment pour l'irrigation de leurs parcelles agricoles étalées sur plusieurs kilomètres en aval de la sortie d'eau de la khettara.

Données techniques

Une khattara est un ouvrage complexe constitué d'une multitude de puits verticaux (pouvant s'étaler sur une longueur comprise entre plusieurs centaines de mètres et quelques kilomètres). Ces puits sont séparés en surface par une distance variant entre 10 et 30 m.

En profondeur les puits sont reliés entre eux par une galerie souterraine légèrement en pente vers l'aval (comparable à un aqueduc souterrain) qui achemine l'eau gravitairement vers un bassin d'accumulation ou vers un exutoire situé à la surface du sol permettant à la population de satisfaire ses besoins en eau, notamment agricoles (Figure 3).

La hauteur de la galerie souterraine est variable mais sa largeur suffit tout juste au passage d'un homme. Quant à la profondeur des puits d'aération, elle varie généralement entre 10 et 25 m.

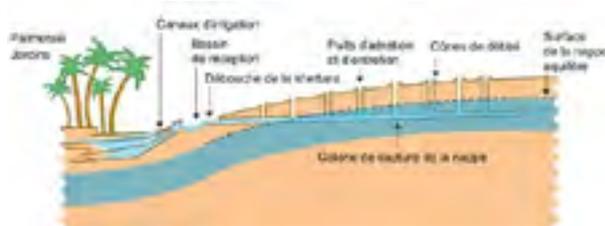


Figure 3 : Schéma d'une khattara (Source : Les Khettaras, un système traditionnel ingénieux de drainage des eaux en danger de disparition : <http://www.agrimaroc.ma/>)

Le rendement d'une khattara est estimé à environ 60% en moyenne, en raison des pertes d'eau qui se produisent en particulier dans la partie adductrice de la galerie où elles peuvent atteindre 30 à 50 % du débit de la nappe phréatique drainé en amont.

La gestion des eaux distribuées par une khattara obéit à des normes coutumières de répartition appelées « droit d'eau ». A l'origine, le volume d'eau octroyé par usager était proportionnel aux travaux fournis lors de l'édification de la khattara et traduit en une durée d'irrigation durant laquelle le bénéficiaire dispose de la totalité du débit d'eau produit par la khattara.



Figure 4 : Têtes des puits des khettaras (Alignement des puits de visite d'un qanat près d'Arfoud, Maroc) (Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Qanat>)

Les khettaras constituent un troisième exemple de patrimoine maghrébin en matière hydraulique. Il existe peut-être en Tunisie où on les dénomme kriga ou ngoula, d'avantage en Algérie dans les oasis du Touat, Gourara et du Tidikelt, où on les appelle Fogara.

Le réseau le plus spectaculaire au Maghreb est celui du Haouz de Marrakech. On peut citer deux types de khettaras :

Les khettaras de nappe

Elles se situent au pied d'un «jebel» (Montagne) ou sur les terrasses d'un oued, leur longueur peut atteindre jusqu'à 10 km (cas du TAFILALET).

Les sols sont sablo-limoneux ou limono-sableux et donc friables. Les galeries sont longues de quelques kilomètres, larges et souvent non construites (car le matériau est friable et il y a des risques d'effondrement).

Les khettaras d'oued

La tête de la khattara ainsi que les puits d'aération se trouvent dans le lit de l'oued. Le principe consiste à capter les eaux d'infiltration de l'oued. Les types de sol rencontrés dans ces khettaras sont généralement argilo-limoneux et parfois caillouteux.

Les galeries sont en général courtes, étroites et souvent construites (sauf la partie drainante pour capter le maximum d'eau). La longueur de ces khettaras varie de 500 mètres à 1 kilomètre.

Les puits d'aération sont souvent masqués par les alluvions de l'oued apportées lors des crues. Cette difficulté a toujours existé.



Figure 5 : Réseau de séguia (Source : Agadir Lehna Les khettaras et les autres formes de mobilisation de l'eau dans la région de Tata. <http://phgeorges.free.fr/docs/sciences/khettaras.pdf>)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Conception simple et main d'œuvre non qualifiée ; • Pas de contrainte topographique majeure ; • Contexte d'utilisation très large ; • Débit régulier et variant entre quelques l/s et plusieurs dizaines de l/s ; • Eau drainée généralement de bonne qualité et peu sensible à l'évaporation ; • Faible envasement de la galerie ; • Forte résistance aux désastres naturels (tremblements de terre, inondations...) et humains (destructions en temps de guerre) ; • Besoin faible en entretien ; • Faible coût de réalisation.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de réalisation trop longue (plusieurs mois à plusieurs années) ; • Pénibilité des travaux de réalisation (creusement manuel des puits et de la galerie souterraine) ; • Occupation importante de l'espace par les déblais sortis des puits d'aération et de la galerie souterraine ; • Débit d'eau produit variable selon le niveau de la nappe, sa recharge et du degré de son exploitation ; • Risque d'accidents humains lors du creusement des puits et de la galerie souterraine ; • Risque d'introduction de la pollution dans les regards des puits d'aération ; • Risque d'endommagement des ouvrages de la khattara par des crues violentes (cas des khattaras situées à proximité des cours d'eau) ; • Nécessité d'entretien des puits et de la galerie souterraine ; • Difficulté de gestion (exploitation, maintenance, protection contre la pollution, répartition du débit de l'eau...) d'un grand ouvrage appartenant à plusieurs personnes.

Liste des matériaux et coûts

- Le creusement des puits et de la galerie se fait par l'Homme avec des moyens traditionnels (sans aucune mécanisation) ;
- Les puits et la galerie souterraine de la khattara sont vides, ne contenant aucun matériau de remplissage ou d'équipement. Seul un revêtement en ciment est parfois nécessaire pour lutter contre le risque d'effondrement de la galerie.

Le coût de réalisation des khattaras est relativement faible par rapport à l'ampleur des travaux effectués. Ce coût varie selon le nombre de puits réalisés et de leur profondeur, ainsi que des dimensions de la galerie souterraine (longueur, largeur et hauteur).

Actuellement, le coût de réalisation d'une khattara s'étalant sur 1 Km de longueur et contenant 50 puits (de 25 m de profondeur moyenne) varierait entre environ 1.5 et 2.0 millions de MAD.

Pour l'entretien de cette galerie, le coût serait d'environ 0.5 millions MAD/an.



Figure 6 : Galeries de la khattara, Erfoud (Source : Daniel, le géant d'Erfoud, 2014)

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyse du profil topographique et la nature du sol ;
- Analyse des contextes géologique et hydrogéologique locaux : type de nappe, profondeur de l'eau/sol, repérage des sources et des résurgences... ;
- Détermination de l'emplacement, du nombre et de la profondeur des puits à réaliser ;
- Estimation des dimensions de la galerie souterraine : longueur, largeur et hauteur ;
- Estimation de la durée et du coût des travaux.

Exécution

- Démarrage des travaux en aval de l'ouvrage (au niveau de la tête morte) par la réalisation d'un canal à ciel ouvert, qui prend la forme d'une galerie lorsque la masse des déblais devient trop importante. La cote de départ est imposée par celle des parcelles situées à l'amont du périmètre à irriguer ;
- Réalisation de la galerie souterraine : elle se fait dans les deux sens simultanément :
 - Des ouvriers procèdent au creusement de cette galerie à partir de la tranchée réalisée en allant contre le sens de l'écoulement de la nappe ;
 - D'autres ouvriers entament les travaux à l'autre bout de la galerie, à partir d'un puits exécuté à 20 m de la tête de la tranchée en allant dans le sens de l'écoulement de l'eau de la nappe.
- Le même procédé se répète entre deux puits successifs jusqu'au creusement de la totalité de la galerie. Les déblais sont évacués à partir des puits au fur et à mesure de l'avancement des travaux ;
- Cimentation des tronçons de la galerie creusés dans des terrains friables (pour lutter contre son effondrement).

La construction d'une khattara de 4 Km de long, comportant des puits de 12 m de profondeur requiert le travail de 40 hommes pendant 4 ans.

Les propriétaires terriens se rassemblaient en petits groupes pour financer la construction d'une khattara.

Entretien et maintenance

- Lutte contre l'ensablement et l'effondrement des ouvrages constituant la khattara (puits et galerie) ;
- Bouchage des trous pouvant apparaître dans le toit de la galerie souterraine ;
- Approfondissement des puits d'aération pour éviter leur dénoyage pouvant survenir suite à l'abaissement de la surface de la nappe (engendré par une baisse de la recharge de la nappe et par sa surexploitation) ;
- Prolongement de la galerie vers l'amont afin que la tête de la khattara se trouve à nouveau au-dessous du niveau piézométrique de la nappe captée (Figure 7).



Figure 7 : Curage d'une khattara dans la région du Tafilat (Source : ORMVA Tafilat, 2001, http://docnum.univ-lorraine.fr/public/NANCY2/doc342/2008NAN21005_3.pdf)



Figure 8 : Réhabilitation des puits d'une khattara, Gelmima



Figure 9 : Schéma d'une Khettara dénoyée (Source : http://zoumine.free.fr/tt/sahara/donnees_geo_climatiques/eauausahara.html)

Expériences réussies

Algérie

Les khattaras sont appelées les foggaras et sont concentrées dans le Sahara algérien au niveau du Grand Erg Occidental. Elles sont munies d'un système aussi efficace qu'esthétique : les peignes (kesria). L'eau circule ensuite dans des canaux traditionnels (seguias) qui l'emmènent jusqu'au bassin d'accumulation (le majen), où elle est stockée jusqu'à ce que le cultivateur irrigue ses terres.

Un « spécialiste » appelé « Kiel El Ma » mesure le débit d'eau qui passe entre chaque dent et refait l'opération à chaque fois que la foggara est recreusée ou entretenue ou quand un propriétaire terrien achète le droit à l'eau d'un autre.



Figure 10 : Khettara (Foggara) en Algérie, munie de peignes (Kesria) (Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Qanat>)

Iran

33 000 Khettaras (appelées qanats) ont été recensées à ce jour en Iran. La khattara de Zarch est la plus longue d'Iran : elle mesure 71 km et comporte 2115 puits de visite verticaux. C'est également la plus ancienne khattara d'Iran, datant de 3 000 ans.

Maroc

Le premier réseau de khattaras a été conçu à Marrakech en 1106 par Oubeid Allah Ibn Youssef, un ingénieur bâtisseur venu d'Andalousie. Ce système de drainage d'eau s'est rapidement développé durant le règne des Almohades et des dynasties qui lui succèdent.

Les khattaras étaient à l'origine de l'alimentation de la ville de Marrakech en eau potable, de l'irrigation des jardins et de la Palmeraie. Pour de nombreux chercheurs, la Palmeraie de Marrakech, les oliveraies ainsi que les plus beaux jardins de cette cité impériale ont existé grâce à ce système de drainage des eaux souterraines. Si les oasis du Sud du Maroc et notamment celles de la région de Tafilalet entretiennent encore activement ce système de captage des eaux souterraines (où 570 khattaras ont été recensées, totalisant un linéaire de 2 900 Km et permettant l'irrigation d'une superficie d'environ

9 000 hectares), les khettaras de la région de Marrakech connaissent au contraire des difficultés croissantes et une majorité d'entre elles a tari depuis plusieurs années à cause de la baisse des niveaux de la nappe, conséquence conjuguée des sécheresses successives qu'a connues la région depuis quatre décennies, de la surexploitation de la nappe phréatique (notamment par les prélèvements d'eau souterraines destinés à l'irrigation) et par l'urbanisation galopante.



Figure 11 : Bassin d'accumulation des eaux de la khettara de d'Agadir Lehna dans la région de Tata (Source : Les khettaras et les autres formes de mobilisation de l'eau dans la région de Tata. <http://phgeorges.free.fr/docs/sciences/khettaras.pdf>)

Recommandations

- Mettre en place un programme national de réhabilitation des khettaras : approfondissement des puits d'aération, curage des puits et des galeries, réalisation de nouveaux puits en amont des khettaras dénoyées, extension des galeries des khettaras dénoyées vers l'amont ;
- Développement de la recharge artificielle des nappes surexploitées et captées par des khettaras pour permettre la pérennité de leur fonctionnement et l'augmentation de leur productivité.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Les Khettaras, un système traditionnel ingénieux de drainage des eaux en danger de disparition. <http://www.agrimaroc.ma/les-khettara-un-systeme-traditionnel-ingenieux-de-drainage-des-eaux-en-danger-de-disparition/>
2. L'eau du désert. <http://www.l-eau-du-desert.com/ledd/fr/khettaras>
3. Quels enjeux de développement pour les systèmes de khettara (galeries drainantes) au Maroc ? http://www.isiimm.agropolis.org/OSIRIS/article/maElFaizRuf2006_khettaras2.pdf
4. Les khettaras : mobilisation durable et écologique des eaux des oasis. R. Loussert et A. Fekkak. Forum Mondial de l'Eau. Marseille, 12- 17 Mars 2012
5. Le patrimoine hydraulique. Le Système khettarien des Ouled-berrhil : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/NANCY2/doc342/2008NAN21005_3.pdf
6. Wikipedia

Auteurs : M. Sinan, B. Gueghlan, N. E. El Hamoumi, J. Naim, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

33

Barrages souterrains

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Un barrage souterrain (figure 1) est un écran étanche construit dans un terrain aquifère destiné à retenir les eaux souterraines et par conséquent, favoriser la surélévation et la stabilisation de la nappe aquifère, notamment les nappes d'inféoflux.

Lorsque les eaux sont très peu profondes, le barrage est construit de sorte qu'une partie de son corps affleure en surface.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation +	 Autres usages domestiques ++	 Arrosage +++	 Irrigation +++
 Infiltration +++	 Recharge des nappes +++	 Evacuation +	 Lutte contre l'inondation +
 Lutte contre l'érosion			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- lit d'oued à sec avec écoulement ≥ 1 fois/an ;
- Faible pente ;
- Sol peu perméable pour fermer le réservoir sur le fond et latéralement ;
- Présence de nappe phréatique à écoulement significatif ;
- Présence d'aquifères aptes à constituer un réservoir.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Seuils d'infiltration ;
- Seuils en gabions.



Figure 1 : Schéma d'un barrage souterrain (Adapté de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea59e/ch34.htm>)

Données techniques

Le principal objectif d'un barrage souterrain est l'amélioration des ressources hydrauliques d'une vallée fossile.

Son principe de fonctionnement est de stocker l'eau dans les couches inférieures du sol et de limiter les pertes par évaporation surtout en milieu aride. Le sol en surface pourra être valorisé pour diverses fins (agricole, etc.) selon le régime de l'oued (figure 2).

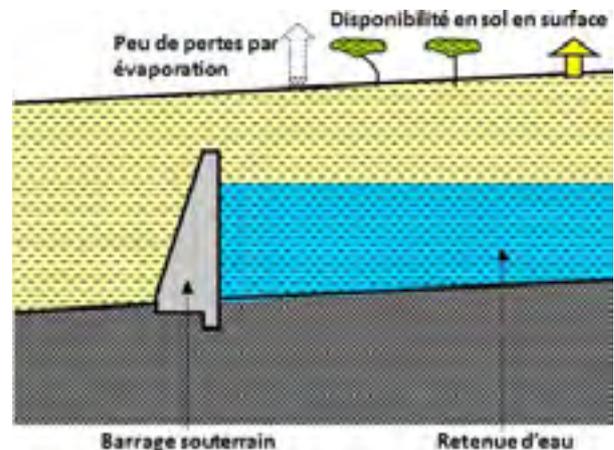


Figure 2 : Principe de fonctionnement d'un barrage souterrain (Adapté de MEJ, 2004)

Il existe différents types de barrages souterrains adaptés à différentes situations (tableau 1).

Type de barrage souterrain	Caractéristiques
En terre	Matériel peu sophistiqué mais déblais importants
En maçonnerie	Bonne résistance mais très coûteux

En béton	Matériel peu sophistiqué mais plus d'excavation
En palplanche	bonne résistance, facilité de mise en œuvre mais exige des engins importants
A injection	Bonne étanchéité
En pieux jointifs ou en paroi moulée	Bonne étanchéité, adaptable aux conditions existantes et peu coûteux

Tableau 1 : Différents types de barrages souterrains (Source : MEJ, 2004).

Les barrages souterrains les plus répandus au Maroc sont ceux en pieux jointifs ou en paroi moulée (ex des barrages de Tifounassine et de Tazzarine).

Les éléments à prendre en considération lors de la conception d'un barrage souterrain sont les suivants :

- La topographie ;
- La géologie ;
- Les caractéristiques du sol (nature, profil, perméabilité) ;
- L'hydrologie et l'hydrogéologie pour estimer les ressources existantes, ainsi que les éventuels apports.

La hauteur du barrage varie en fonction de la profondeur du sol. La base du barrage doit être dans le substrat rocheux ou dans une couche de sol stable.

Le barrage souterrain peut être surmonté d'un barrage de surface pour améliorer la retenue d'eau.

La prise d'eau du barrage peut se faire soit par une galerie drainante, soit par un puits aménagés en amont du barrage

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des pertes par évaporation ; • Augmentation de la disponibilité en eau ; • Bonne stabilité du barrage et nécessité de peu d'entretien ; • Amélioration de l'agriculture en amont du barrage (dans les oasis dans le sud marocain).
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés de choix de l'emplacement, les estimations de capacité de la réserve d'eau étant difficiles ; • L'efficacité du barrage dépend de la porosité du sol ; • Difficulté de mise en œuvre ; • Risque d'arrivée d'eaux intempestives pendant les travaux ; • Risque de pollution de l'eau dû aux activités anthropiques en amont ; • Coût de réalisation élevé.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation d'un barrage souterrain en paroi moulée sont :

- Le bois de coffrage ;

- La cage d'armature en fer ;
- Le béton.

Le coût de réalisation des barrages souterrains varie selon la configuration du site, le type de barrage et le matériel utilisé. Il peut aller de quelques milliers de MAD pour les petites structures à quelques millions de MAD.

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (topographie, géotechnique, hydrologie, hydrogéologie) ;
- Sélectionner le site ;
- Choisir le type de barrage souterrain à construire ;
- Dimensionner le barrage et les ouvrages annexes de prise et d'adduction ;
- Vérifier la disponibilité du matériel, des matériaux et de la main d'œuvre.

Exécution

- Construire en amont une déviation pour protéger le site de construction de toute arrivée accidentelle d'eau ;
- Creuser une tranchée sur toute la longueur et la profondeur du barrage ;
- Placer les coffrages d'extrémités ;
- Placer les armatures ;
- Procéder au bétonnage à partir du fond du barrage à l'aide de tubes plongeurs.

Test

- Vérifier le bon fonctionnement du barrage et l'absence de fuite par la mesure périodique (en fonction du régime d'écoulement de l'oued) du niveau de l'eau en amont du barrage à travers un piézomètre ou à travers des puits.

Suivi

- Idem au test.

Entretien et maintenance

- Les barrages souterrains ne nécessitent pas d'entretien spécifique d'où la nécessité d'un bon dimensionnement et d'une bonne construction.

Expériences réussies

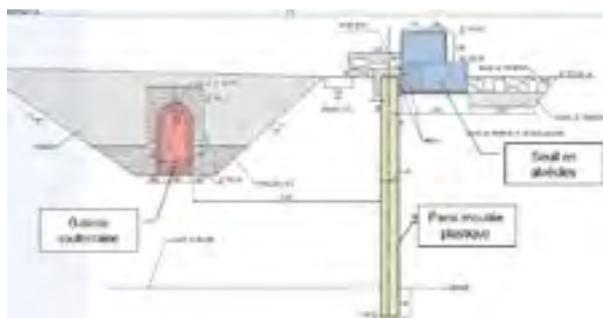


Figure 3 : Plan du projet de construction de barrage souterrain à Taghbalt, Province de Zagora, Maroc (Source : MDCEau/DAH/Division des petits et moyens barrages)



Figure 4 : Retenue d'eau en amont du seuil construit en aval du barrage souterrain à Taghbalt, Province de Zagora, Maroc (Source : MDCEau/DAH/Division des petits et moyens barrages)

Recommandations

- Sensibiliser, appuyer la sélection des sites ainsi que les études techniques ;
- Encourager les communes des régions arides à avoir des plans communaux de développement intégrant la dimension collecte des eaux pluviales ;
- Construire le barrage souterrain en début de saison sèche pour éviter toute arrivée d'eau pendant les travaux.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea59e/ch34.htm>
2. MEJ - Ministère de l'Environnement du Japon, (2004). Projet expérimental de lutte contre la désertification : Technologie du barrage souterrain de Naré au Burkina Faso
3. Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer, (1978). Les barrages souterrains. Collections techniques rurales en Afrique
4. MDCEau/DAH/Division des petits et moyens barrages – Les barrages souterrains au Maroc : Cas du barrage de Taghbalt dans la Province de Zagora

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

34 Collecte des eaux de brouillard

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Le brouillard est la suspension dans l'atmosphère de très fines gouttelettes d'eau réduisant la visibilité à moins d'un kilomètre. Les gouttelettes d'eau sont maintenues en suspension par les mouvements turbulents de l'air, leurs charges électriques les écartent les unes des autres. Le brouillard est un nuage dont la base touche le sol.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zone aride à semi-aride mais à brouillard régulier ;
- Zone montagneuse et océanique ou maritime ;
- La base des stratocumulus, riches en humidité, se situe à une altitude comprise entre 500 et 2000 mètres d'altitude. Et ces nuages ont des gouttelettes récoltables ;
- Le diamètre minimum des gouttelettes des brouillards récoltables est de l'ordre des 4µm.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Filets standard de récolte d'eau de brouillard (dit SFC)



Figure 1: Trois unités de collecte de brouillard CloudFisher® de Aqualonis sur le Jbel Boutmezguida (Source : Association Dar Si Hmed)

Le brouillard est un phénomène de petite échelle, une infime variation d'un paramètre météorologique peut être suffisante à atteindre ou pas le point de rosée. Le principe de base est la mise en place d'une surface de concentration de l'eau de brouillard. La surface de concentration est un filet tendu face au vent.



Figure 2 : Les sept types de brouillard. De gauche à droite, brouillard de : de mer, d'advection, de radiation, de montagne, de vallée, de chaleur.

Une unité de collecte CloudFisher Pro® occupe 62m² sur au moins 13m de long, face au vent.

Plusieurs types de surfaces de condensation ont été essayées :

- Les Standard Fog Catcher (ou SFC) de FogQuest ;
- Les CloudFisher® de la Fondation de l'Eau.

La technologie de collecte de brouillard CloudFisher®, mise au point par l'ingénieur Peter Trautwein, après validation d'une période expérimentale au Jbel Boutmezguida, est basée sur le même principe que les filets standard de récolte d'eau de brouillard (dit SFC).

Données techniques

La technologie de collecte de brouillard CloudFisher®, mise au point par l'ingénieur Peter Trautwein, après validation d'une période expérimentale au Jbel Boutmezguida, est basée sur le même principe que les filets standard de récolte d'eau de brouillard (dit SFC).



Figure 3 : Quatre unités de collecte de brouillard Standard Fog (Source : Association Dar Si Hmed)

Le brouillard traverse des filets tendus face au vent. Les filets condensent les gouttelettes au fur et à mesure qu'elles se heurtent aux fils. Les SFC sont des filets de polypropylène repliés en deux couches.

Les CloudFisher®, à l'opposé des SFC, sont une combinaison de deux filets dont un de soutien épais à grosse maille en plastique Turfprotecta (HDPE) et le second de captation très fin avec un tissage tridimensionnel en PET. De plus les filets CloudFisher® sont insérés dans et maintenus avec les gouttières. Le vent déplace les gouttières avec les filets de cette façon. Ces filets sont conçus pour résister aux UV, aux vents jusqu'à 120km, et sont de qualité alimentaire.



Figure 4 : Détail d'un filet Cloudfisher® (Source : Association Dar Si Hmed)

L'eau de brouillard est acheminée par des gouttières vers un premier réservoir. Elle est ensuite passée dans un bassin de décantation pour retirer les poussières que les filets récoltent durant les périodes sèches. L'eau subit ensuite un traitement UV, une filtration au sable puis une microfiltration au carbone.

L'ensemble du système de traitement fonctionne grâce à l'énergie solaire. Ensuite l'eau est descendue par gravité vers le réservoir principale où elle est mélangée à de l'eau de forage pour ensuite être distribuée aux ménages.

Les traitements et le mélange à de l'eau de forage sont, par principe de précaution, utilisés pour se mettre à la norme de potabilité du Maroc et pour assurer la distribution de l'eau en période sans brouillard.

Il apparaît aux analyses que l'eau de brouillard est suffisamment minéralisée pour être potable directement. Cependant les salissures de la période sèche imposent le traitement aux UV afin de détruire toutes bactéries.

Avantages / Inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Facile d'installation et d'entretien (CloudFisher®) ;• Coût de fonctionnement pratiquement nul (CloudFisher®) ;• Aucune énergie n'est nécessaire ;• L'eau du brouillard est riche en calcium et en sodium ;• Durabilité de la ressource.	<ul style="list-style-type: none">• Besoin de l'acceptation de la population bénéficiaire ;• L'évaluation du site de récolte prend au moins une année complète pour déterminer l'intérêt d'un site particulier ;• La production est saisonnière et irrégulière ;• L'investissement d'implantation est assez élevé hors adduction (CloudFisher®) ;• L'eau récoltée peut être sujette à la pollution aérienne locale.

Liste des matériaux et coûts

Liste non exhaustive des matériaux pour une unité de collecte de brouillard :

1. Des cadres
2. Des poutres de soutien à la taille des cadres
3. Des traverses pour tenir les cadres entre eux
4. Des ancrages bétonnés
5. Des gouttières à la taille des cadres et des filets
6. Des tuyaux afin de récolter l'eau des gouttières
7. Des tissus ou de support de maille à tendre dans les cadres et dans les gouttières (cf photo détaillant le filet Cloudfisher Pro®)
8. Des anneaux en caoutchouc pour fixer et tendre les filets dans les gouttières et dans le cadre

Coût de réalisation hors adduction selon l'accessibilité du site et la quantité de filets à poser :

- CloudFisher® : Entre 165€ et 185€ par m² de filet
- SFC : Entre 10€ et 20€ par m² de filet

Ils existent des appareils de mesure du brouillard : le transmissiomètre et le diffusomètre. Ils sont cependant très onéreux et difficiles d'accès car généralement réservés aux grandes structures tels que les aéroports.

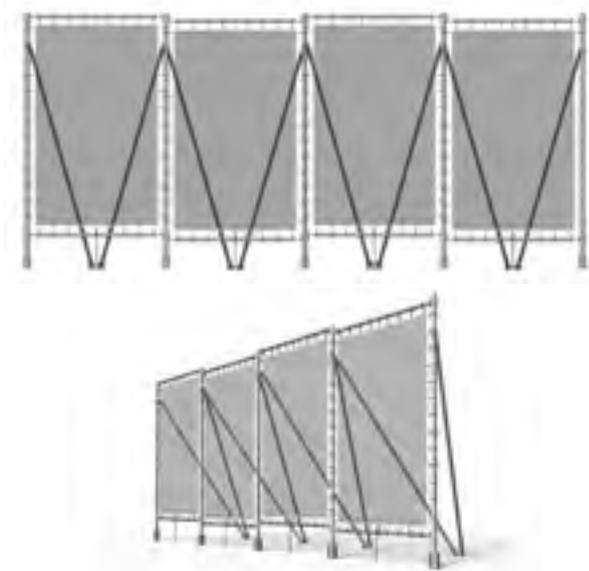


Figure 5 : Schéma de mise en place d'une unité de collecte CloudFisher Pro® (Source : Association Dar Si Hmed)

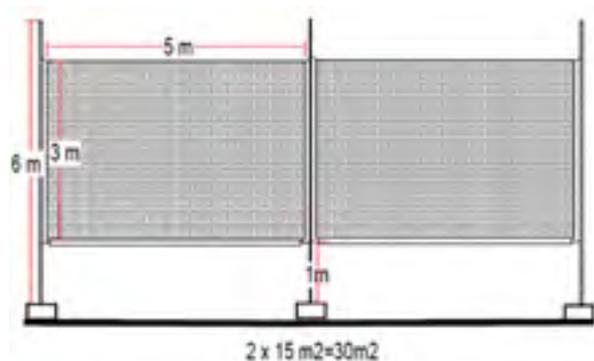


Figure 6 : Schéma de mise en place d'une unité de collecte SFC (Source : Association Dar Si Hmed)

Etapas de réalisation

Exécution

- Lancement d'une étude exploratoire pour l'évaluation du potentiel hydrique ;
- Etude ethnographique des besoins en eaux de la population, de leurs rapports au brouillard et leur mode de vie ;
- Evaluation par un expert du meilleur site possible d'implantation avec l'accord et la volonté des bénéficiaires (Surfaces et orientation des filets par rapport aux vents dominants sur le terrain le plus propice à la récolte) ;
- Construction des filets avec l'aide des populations locales ;
- Détermination d'un « champion » parmi les locaux pour le former à la mise en place, l'entretien et suivi de l'installation ;
- Construction des canalisations et du raccordement des douars ;
- Mise en place d'un système de prépaiement ;
- Evaluation et observation en continu par le « champion » des récoltes des filets et de leur état.

Entretien et maintenance

- Au moins 2 filets expérimentaux d'1 m² doivent être mis en place sur le site test que le « champion » détermine selon ses connaissances de sa région. Pendant cette première année d'expérimentation, des mesures de l'eau récoltée doivent être faites manuellement quotidiennement à heure fixe en incluant les jours sans brouillard ;
- Un pluviomètre de station Davis peut faire les mêmes relevés en temps réel mais reste onéreuse ;
- Une fois le site mis en place, il est nécessaire de suivre la production au quotidien afin de s'assurer du maintien de la récolte. Les filets doivent être vérifiés régulièrement afin de prévenir vandalisme ou toutes autres atteintes à leur intégrité ;
- Avec les CloudFisher® : une fois par mois et suite aux épisodes de grands vents, une simple vérification peut suffire ;
- Avec les SFC : une fois par semaine au minimum, les filets doivent être vérifiés. Et chaque déchirure doit être raccommodée le plus vite possible. Les filets doivent être retendus régulièrement ;
- Coût d'entretien hors adduction :
 - CloudFisher® : Environ 800 MAD par an
 - SFC : Environ 30 000 MAD par an, (une personne à temps plein et le matériel de remplacement)
- Un tour des locaux techniques doit avoir lieu au moins une fois par semaine afin de s'assurer de l'absence de toute fuite et de la transparence des eaux.

Expériences réussies

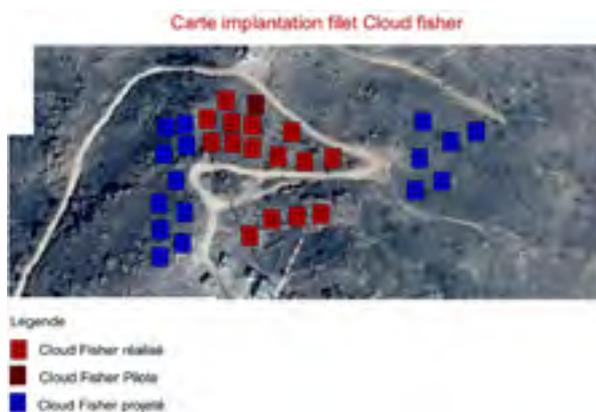


Figure 7 : Carte d'implantation des filets CloudFisher® mis en place par l'association Dar Si Hmad sur le Jbel Boutmezguida (Source : Association Dar Si Hmed)

- Les filets du projet de collecte de brouillard ont été érigés par Dar Si Hmad au sommet du mont Boutmezguida, (29° 12' 30" N – 10° 01' 30" W, 1225 m d'altitude), situé dans la boutonnière des Aït Baamrane, Sud-ouest du Maroc ;
- Les plateaux de Lakhssas, d'Aït Erkha et de Mejjat entourent la boutonnière ;

- Sur le plan hydrographique, les alentours de Boutmezguida semblent disposer d'une réserve d'eau souterraine significative (indiquée en partie par les eaux thermales d'Abaynou). Compte tenu de la succession des périodes de sécheresse qui secouent la région, la commune continue à connaître une diminution importante de l'eau souterraine par manque de renouvellement ;
- Avec les CloudFisher® : récolte obtenue en cours d'évaluation mais déjà aux alentours des 24l/m²/jour (Pour 864m² de filets posés) ;
- Avec les SFC : récolte, en moyenne annuelle, de 10,5l/m²/jour. (Pour 600m² de filets posés) ;
- Un facteur d'échelle est à prendre en considération entre le filet expérimental et les filets de collecte ;
- Les niveaux des puits des villages desservis montrent une croissance de leur niveau de remplissage malgré les sécheresses de ces dernières années.
- Le projet de collecte de brouillard du Jbel Boutmezguida est le plus grand site de collecte de brouillard au monde. Son impact positif sur la vie des communautés est remarquable en particulier pour les femmes, le cheptel et l'environnement en général.

Recommandations

- L'absence de source d'eau à proximité ou un état dégradé des nappes phréatiques justifie l'usage de cette technologie ;
- Une production de 20l par m² de filets et par jour semble être un résultat minimum à attendre avec le filet expérimental pour l'implantation complète afin d'espérer un retour sur investissement dans un temps raisonnable ;
- Il est indispensable que les populations locales soient conviées dès le début du projet et de poursuivre avec des activités de sensibilisation et d'explication ;
- Le vent est à la fois nécessaire et un facteur contraignant. Les filets sont un système passif dans lequel le vent sert à pousser les nuages pour permettre une plus grande condensation. Cependant les vents trop forts déchirent les filets et augmentent les coûts d'entretien, à moins d'utiliser des filets qui résistent tels les CloudFisher® ;
- Le diamètre minimum des gouttelettes des brouillards récoltables est de l'ordre des 4µm ;
- La base des stratocumulus, riches en humidité, se situe à une altitude comprise entre 500 et 2000 mètres d'altitude. Et ces nuages ont des gouttelettes récoltables ;
- La connaissance de leur région confère aux habitants la connaissance des espaces de passage du brouillard. L'observation attentive de l'environnement permet de le vérifier. (Présence de lichen ou d'autres espèces sensibles au brouillard) ;
- Au Maroc, les zones géographiques qui semblent les plus pertinentes sont le Nord, dans le Rif et dans certaines zones de l'Anti-Atlas et du Haut-Atlas, exposées à la mer.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Peter Trautwein; Aqualonis GmbH
2. <https://www.aqualonis.com/>
3. En tant que membre de la Fondation de l'Eau (Wasserstiftung), Aqualonis produit et vend les produits CloudFisher®. CloudFisher® est une marque déposée de la Fondation de l'Eau.
4. <http://www.wasserstiftung.de/>
5. Ma V. Marzol Jaén (La Laguna), J. L. Sánchez Megía (Santa Cruz de Tenerife) ; Fog Water Harvesting in Ifni, Morocco. An Assessment of Potential and Demand.
6. C. Gischer ; The Missing Link in a Production Chain, Vertical obstacles to catch Camanchaca. Mexico, 1991
7. R. S. Schemenauer, P. Cereceda; The chemical composition of fog water supplies in rural areas of Chile, Peru and Oman. International Seminar on Efficient Water Use.
8. R. S. Schemenauer, P. Cereceda, P. Osses; Fog Water Collection Manual; FogQuest
9. <http://www.fogquest.org/>

Auteurs : A. Benaïssa ; J. Bargach ; M. Abbar

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

35 Seguia

Milieu rural - système de macro-captage

Informations générales

Une seguia, ou seghia, est un canal d'irrigation ou d'acheminement d'eau à ciel ouvert qu'on rencontre fréquemment dans différents topographie, oasis, montagne, pleine. Compte tenu du climat, ce dispositif rudimentaire implique d'importantes pertes d'eau par évaporation.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation +	 Autres usages domestiques ++	 Arrosage +	 Irrigation +++
 Infiltration +	 Recharge des nappes +	 Evacuation +	 Lutte contre l'inondation +
 Lutte contre l'érosion +	+++ : bon; ++ : moyen; + : faible		

Conditions d'implantation

- Type du sol ;
- Pente ;
- Vitesse d'écoulement ;
- Ressources hydriques ;
- Climat ;
- Types des Cultures.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Khattara ;
- Canaux en béton, en acier ou en plastique.



Figure 1 : Seguia pour irrigation et distribution d'eau (Source : B. Gueghlan Tilouine, 2014)

La seguia permet d'amener l'eau prise dans l'oued à l'aide d'une digue rudimentaire (ougoug) vers les parcelles à irriguer, ou distribue les eaux accumulées dans un bassin alimenté par une source ou une khattara. Le système de seguia s'organise en de multiples canaux répartiteurs, ce qui implique une certaine hiérarchie : la seguia principale qui est à la base du système et les seguias secondaires et tertiaires qui sont des rigoles de distribution (mesref).

Le système d'irrigation traditionnelle fait l'objet d'une organisation dictée par le droit coutumier. Un exemple d'acheminement d'eau est le canal de la rocade de la région du Haouz qui est dépourvue d'eau pour irriguer ses vastes plaines puisque les khétaras utilisées autrefois ne suffisaient pas et la région exige de grandes quantités d'eau.



Figure 2 : Départ d'une séguia à partir d'un bassin, régulé par une vanne manuelle (Source : GIZ/AGIRE)



Figure 3 : Départ d'une séguia à partir d'un bassin, régulé par une vanne manuel, F5ZV, Rissani

Données techniques

La seguia, unité de base du système hydraulique.

Tout part de la séguia, principal système de collecte, de transfert et de distribution de l'eau. Au départ, c'est une prise d'eau rudimentaire dans l'oued, puis un canal en terre qui chemine le long de l'oued, faisant un parcours parfois acrobatique, pour enfin dominer et féconder des superficies pouvant atteindre des milliers d'hectares. Creusées à la main ces séguias ne s'affranchissent guère des courbes de niveaux.

La pente, calculée en laissant couler un filet d'eau, est en générale trop forte (de l'ordre de 3% en moyenne), ce qui limite considérablement la superficie dominée par chaque séguia.



Figure 4 : Séguia pour distribution d'eau d'irrigation (Source : B.Gueghlan, Guelmima, 2014)

Au niveau de la Séguia la répartition de l'eau est soumis à des droits d'eau, on distingue trois catégories de gestion des eaux :

- Le système melk : dans ce système une part d'eau est appropriée par un individu indépendant de sa propriété foncière. La distribution de l'eau entre les propriétés s'opère dans le cadre d'un tour d'eau dont la durée varie selon les séguias ;
- Le système collectif : le statut de l'eau est collectif. L'eau fait partie intégrante et indissociable de la terre. Dans ce cas, l'irrigation se fait selon une rotation de l'eau entre les différents espaces irrigués dans l'ordre de leur succession topographique;
- Le système mixte: celui-ci consiste en une juxtaposition dans une même séguia des deux systèmes précédents.



Figure 5 : Tanaste, horloge traditionnelle pour calculer le tour d'eau, Musées galerie d'art, Lalla Mimouna

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement faible, relativement à d'autres aux systèmes comme le goutte-à-goutte ou l'aspersion ; • Besoin en énergie faible ou nul ; • Technique éprouvée ; • Insensibilité au vent ; • Possibilités d'utiliser les eaux salées ; • Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Pertes importantes surtout par infiltration et évaporation • Besoins importants en main d'œuvre ; • Lenteur de l'arrosage ; • L'uniformité de l'arrosage dépend directement de planage des parcelles, d'où l'importance de nivellement laser ; • Inadaptation aux sols filtrants.

Liste des matériaux et coûts

La séguia est traditionnellement creusée manuellement par des outils simples notamment la pioche, la pelle, la bêche...

Le creusement et la mise en place des séguias peuvent se faire aussi mécaniquement ce qui nécessite des machines adapté pour ce type de travail, mais il y a des régions où ces machines ne peuvent pas accéder, ce qui nécessite une intervention manuelle.

Le prix de la main d'œuvre varie selon les régions entre 70 et 80 MAD par jour et le prix du mètre linéaire dépendent de la largeur de la séguia.

Etapas de réalisation

Exécution

- Identification de la source d'eau.
- Creusement d'un canal principal qui va alimenter un bassin de distribution des eaux ou qui va directement vers les terrains à irriguer.
- Construction d'ougougue qui est une sorte de barrière sur la rivière qui va acheminer l'eau vers la séguia.
- Raccordement de la séguia avec ougougue.



Figure 6 : Barrière pour divination d'eau ver la séguia (Source : B. Gueghlan, tilouine, 2014)

Entretien et maintenance

L'entretien et la maintenance de la séguia se fait d'une manière collective et dans la plus part des cas manuellement.

Cette entretien consiste à :

- Enlever les bous et les dépôts de sables qui se déposent en fonction de la vitesse d'écoulement de l'eau de la séguia.
- Désherbage des bords de la séguia qui consiste à enlever les herbes qui ralentissent la vitesse de l'eau.
- Réparation et réaménagement des bords qui peuvent être endommagés.



Figure 7 : Séguia envahie par des plantes (Source : B.Gueghlan, Tameslouhte, Marrakech, 2016)

Expériences réussies

La mise en service en 1935 d'un barrage régulateur sur l'oued N'Fis a profondément modifié les modalités de gestion des eaux de cet oued, les seguias, privées des eaux de l'oued, étant désormais réalimentées par des lâchers du barrage. La reconnaissance des droits d'eaux effectuées sous le Protectorat s'est traduite par la fixation de débits délivrés en tête ainsi que d'ordres de priorité pour l'alimentation des différentes seguias. Nous ne savons pas sur quelles bases ceux-ci ont été définis, mais donnons un aperçu des différentes formules :

- On alimente en premier lieu les seguias bénéficiant d'un droit d'eau régularisé, appelé hypothèque constante. Le total de ces droits représente un débit continu de 1 150 l/s

- correspondant à un volume annuel de 36 Mm³ ;
- Lorsque les réserves du barrage et les apports annuels permettent de lâcher un débit compris entre 1 150 et 4 500 l/s, on alimente, en plus des seguias précédentes, celles qui disposent d'un droit de premier rang. Pour chaque valeur du débit lâché en tête, il existe une séquence précise de répartition de l'eau entre les différentes seguias. L'ensemble de ces seguias dérive en moyenne 95 Mm³/an ;
- A partir de 4 500 l/s, ce sont les seguias de crue ou de deuxième rang qui reçoivent à leur tour l'eau au prorata de leurs droits (29 Mm³/ an en moyenne) ;
- Au-delà de 8 000 l/s (capacité maximale de l'adduction principale), le débit excédentaire est déversé dans l'oued N'fis et récupéré ;
- À l'aval par les prises traditionnelles des seguias qui bénéficient alors d'une alimentation mixte. (Source : Gestion de l'eau dans le N'Fis et mise en place des associations d'Usagers d'Eau Agricole, Geneviève Jolly-ATES).

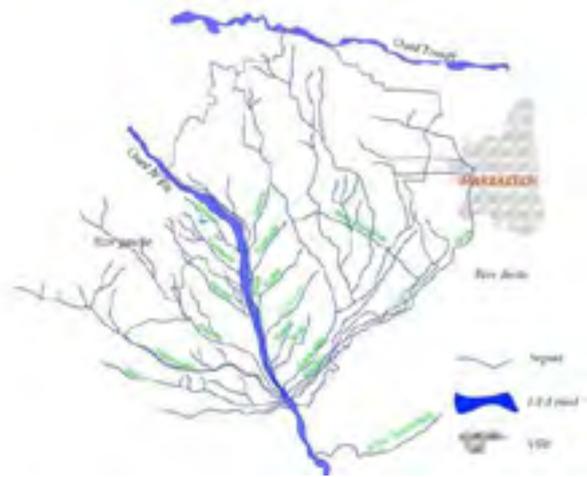


Figure 8 : Réseau de seguias traditionnelles qui prennent source de la rivière de N'fis (Source : IRD, Haouze, 2004)

Seguia	Longueur (km)	Vol. d'eau prélevée (m ³ /ha/an)
1. Mrah	0.5	47 000
2. Taguenza	0.1	23 000
3. Imarine	0.1	44 000
4. Fquih Si Tounsi	0.5	20 000
5. Moulay Ali	0.1	17 000
6. Agafaï	20.6	4 000
7. Jdida	20.7	3 200
8. Tamesguelft	-	2 000
9. Amzri	24.6	3 300
10. Abdallah Slitine	0.3	6 000
11. Taïnint	11.0	2 000
12. Taziouent	12.0	1 600
13. Taslimt	6.4	1 400

Tableau 1 : Les seguias de la rive gauche du N'Fis (Source : P. Pascon, 1977, p89)



Figure 9 : Réhabilitation de la Séguia du village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)



Figure 10 : Schéma de l'entrée de Séguia du village de Tidrhest après digue déversante, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)

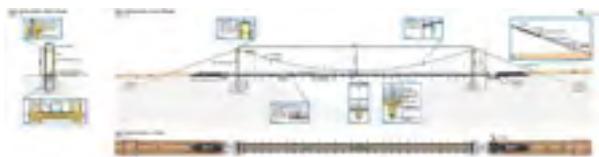


Figure 11 : Schéma de Seguia/aqueduc suspendu du village de Tidrhest, projet Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate, 2013 (Source : GIZ/AGIRE)

Description du projet :

Captage de l'eau et renforcement de l'agriculture oasienne dans la région d'Ouarzazate

Lieu : Village Tidrhest, Maroc

Objectifs : Réhabilitation avec des techniques innovantes à faible coût du canal d'irrigation traditionnel « séguia » d'une longueur de 8 km, initialement construit en terre par des ingénieurs

berbères il y a 400 ans, permettant d'acheminer les eaux de l'Oued Izerki dans l'Oasis de Tidrhest

Année de réalisation : 2013

Impact socio-économique : Mobilisation des eaux pour l'irrigation et stop de l'exode rural

Impact écologique : Redynamisation de l'agriculture oasienne

Appréciation des usagers : Population est enthousiaste à l'idée de raviver l'oasis qui a connu plusieurs périodes de sécheresse

Recommandations

- Aménagement des séguia avec une texture qui empêche l'infiltration des eaux et de couvrir le maximum possible pour réduire l'évaporation ;
- Les séguia traditionnelles enterrées peuvent également contribuer à l'alimentation de la nappe phréatique.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Organisation actuelle de la distribution de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués du Maroc
2. Par Mf. Ghazzali k. ORMVA du Gharb.
3. Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz royaume du Maroc.
4. Impact de la turbidité des eaux du canal de la Rodeade sur le projet de reconversion du système d'irrigation dans le périmètre du N'Fis (région de Marrakech-Tensift-Alhaouz, Maroc).
5. <http://books.openedition.org/irdeditions/4891>
6. <http://agronomie.info/fr/irrigation-gravitaire-traditionnelle/>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

Aménagement des bassins versants

36. Reboisement	192
37. Haies antiérosives	195
38. Haies vives	198
39. Bandes enherbées	201
40. Fascines	204
41. Forêt riveraine ou ripisylve	208
42. Jardin agroécologique	211
43. Diguettes filtrantes	215
44. Mur de soutènement en pierres	218
45. Seuil en Gabions	221
46. Mur de soutènement en gabions	225



36 Reboisement

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

Le boisement est l'action de planter des arbres forestiers sur un terrain nu.

Le reboisement est une opération qui consiste à restaurer des zones boisées ou des forêts qui ont été détruites ou déboisées pour diverses raisons telles que la coupe rase, les incendies, la surexploitation, le surpâturage, etc.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



++

+

+

+

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Dans les forêts, sols nus, marginaux, ou érodés, etc ;
- Au moins 50 cm de profondeur de sol ;
- Types de culture : espèces forestières.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Mise en défens ;
- Régénération naturelle ou assistée des peuplements naturels dégradés avec mise en défend ;
- Plantations fruitières en terrain privé couplées avec des banquettes ou impluvium ;
- Amélioration sylvopastorale avec mise en défend.



Figure 1 : Plantation de pin d'Alep en zone montagneuse, Maroc (Source : <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1061>)

Données techniques

Le reboisement de protection a pour fonction principale la lutte contre l'érosion hydrique et éolienne, mais permet aussi de valoriser les terrains forestiers dégradés par la production de fourrage, de bois de feu, etc. Le choix des espèces à planter lors d'une opération de boisement ou de reboisement doit être adapté aux conditions écologiques locales (climat, sol, altitude, etc.). Le tableau 1 donne l'adaptation de certaines espèces suivant le climat et la nature du sol, et le tableau 2 présente la répartition au Maroc de certaines espèces selon l'altitude et le climat.

Espèces	Climats	Sols
Cupressus arizonica Cupressus atlantica	Etage humide	Calcaire ou acide
Cupressus arizonica Cupressus atlantica	Etage subhumide	Sol superficiel calcaire, acide, grès
Cupressus arizonica Cupressus atlantica Pinus halepensis Eucalyptus gomphocephala Eucalyptus occidentalis Eucalyptus camaldulensis		Sols profonds colluvionnaires
Cupressus arizonica Cupressus atlantica Pinus halepensis Eucalyptus gomphocephala Acacia cyanophylla		Etage semi-aride
Pinus halepensis Cupressus atlantica Eucalyptus gomphocephala Eucalyptus camaldulensis Acacia cyanophylla		Sols profonds : calcaire tendre, marne légère, schistes, grès, colluvion
Eucalyptus sidéroxydon Eucalyptus occidentalis Pinus halepensis Cupressus atlantica	Etage aride	Schistes, grès, quartzites.

Tableau 1 : Caractéristiques écologiques de certaines espèces forestières (Source : GFA terra system, 2004)

Espèce	Altitude
Cèdre de l'Atlas	1600 - 2400 m
Sapin du Maroc	1400 - 2000 m
Thuya de Berbérie	max 1400 m
Cyprès de l'Atlas	900 - 1400 m
Pin d'Alep	du littoral jusqu'à 2000 m
Pin maritime	du littoral jusqu'à 2200 m

Tableau 2 : Répartition des espèces forestières suivant l'altitude au Maroc (Source : <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1061>)

Lorsque les conditions le permettent, les opérations de reboisement peuvent être combinées à des techniques de micro-captage (cuvettes, demi-lunes, banquettes, etc.) afin d'améliorer le rendement de reboisement (figure 2).



Figure 2 : Boisement appliqué aux demi-lunes (Source : HCEFLCD, 2011)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Protection des sols contre l'érosion hydrique et éolienne ; • Contribution à la protection des infrastructures à l'aval (barrage, routes, piste, seguia, etc.) ; • Régénération de la végétation naturelle et réhabilitation de la biodiversité ; • Augmentation de la disponibilité de fourrage et de bois pour divers besoins.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de réponse à la protection des versants contre l'érosion hydrique très lents; • Limite l'espace utilisé par les paysans (parcours), au moins pour les années de mise en défens.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour les opérations de boisement et de reboisement sont les plants d'arbres et les engrais.

Le coût du reboisement, y compris la préparation du terrain, l'achat et le transport des plants varie de 4000 à 8000 MAD/ha selon la densité de plantation, l'éloignement et les difficultés d'accès.

Etapes de réalisation

Préalables

- Identifier le terrain à reboiser ;
- Analyser les conditions écologiques locales (climat, nature du sol, cause de la désertification, etc.) ;
- Faire la conception des opérations de boisement ou de reboisement (type et nombre de plants, type de préparation du sol, aménagements de micro-captage adaptés aux conditions locales) ;
- Vérifier la disponibilité des plants et de la main d'œuvre.

Exécution

- Délimiter le périmètre à traiter ;
- Réaliser la mise en défens de la parcelle (clôture en fils de fer barbelés, en claies, ou autres) ;
- Préparer le sol (désherbage et labour pour ameublir le sol) ;
- Construire les aménagements de micro-captage choisi (voir la fiche technique correspondante) ;
- Planter les arbres ;
- Appliquer des fertilisants (engrais, fumier).

Test

- Vérifier la stabilité de la mise en défens et réhabiliter au besoin.

Suivi

- Vérifier la stabilité de la mise en défens et réhabiliter au besoin ;
- Vérifier le bon développement des plantes et adopter des mesures (irrigation, fertilisation, débroussaillage, etc.) au besoin.

Expériences réussies



Figure 3 : Plantation de thuya de Berbérie, Maroc (Source : <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1061>)

Description du projet :

Aménagement antiérosif du Bassin Versant de Sidi Driss

Lieu : Bassin Versant de Sidi Driss

Objectifs :

- Gestion rationnelle des ressources naturelles ;
- Développement rural avec participation de la population ;
- Protection des infrastructures hydro- agricoles en aval ;
- Amélioration des conditions de vie des populations riveraines.

Année de réalisation : 1997-2008

Coût de réalisation :

Densité 833 à 5831 MAD/ha

Densité 1100 à 7700 MAD/ha

Recommandations

- Associer à la plantation d'arbre des techniques de micro-captage (demi-lunes, negarims, banquettes, etc.) pour augmenter l'efficacité de la mesure ;
- Prévoir des brise-vents autour du périmètre reboisé.
- Le reboisement peut être effectué à l'aide d'eaux usées traitées, comme est le cas pour la ceinture verte de la ville d'Ouarzazate.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1061>
2. GFA terra system, (2004). Projet d'Aménagement anti-érosif du Bassin Versant de Sidi Driss (PABVSD). Rapport de mission : Référentiel technique des mesures anti-érosives et de gestion de l'eau. HCEFLD, MADR
3. HCEFLCD, (2011). Bilan des réalisations du Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et Lutte Contre la Désertification de l'année 2011

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, E. H. Berhili

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

37

Haies antiérosives

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

Les haies antiérosives sont des alignements étroits et denses d'arbustes ou de mélanges d'arbustes et d'arbres se développant sur un tapis de végétation herbacée. Elles permettent de réduire les risques d'érosion hydrique et servent également de brise-vent.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones humides à semi-arides ;
- Dans les Talus, surfaces agricoles, terrains nus, sols marginaux ;
- Plantes et arbustes autochtones (saule, vétiver, cactus, etc.).

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Fascines ;
- Haies vives ;
- Cordons pierreux ;
- Diguettes filtrantes.



Figure 1 : Haie antiérosive en bordures d'un champ (Source : Percsy, 2008)

Données techniques

Il existe trois types de haies antiérosives en fonction de leur taille et de leur composition (Source : Percsy, 2008) :

- La **haie taillée** : de petite taille, elle est placée devant les maisons ou en bordure des terrasses. Elle exige un entretien régulier ;
- La **haie libre** : elle est constituée d'un plus grand nombre d'espèces d'arbustes et prend plus d'espace mais ne nécessite aucun entretien ;
- La **haie brise-vent** : elle est une haie libre mélangée à de grands arbres permettant de protéger les constructions ou les cultures des vents violents.

Les emplacements adéquats des haies sont indiqués sur la figure 2.



Figure 2 : Localisations pertinentes des haies et des fascines pour réduire l'érosion des sols (Source : AREAS, 2012)

Avec :

1. Au pied des versants de pente > 5 % qui souffrent d'érosion en rigole ;
2. Perpendiculaire à un axe de ruissellement ;
3. En coin de parcelle ;
4. A l'interface entre parcelle cultivée et prairie ;
5. En protection rapprochée d'une zone urbaine ;
6. En protection rapprochée d'une route ;
7. En protection rapprochée d'une bétairie (puits karstique) ;
8. En protection rapprochée d'un ouvrage de réduction des inondations ;
9. En renforcement d'une bande enherbée le long de la rivière ;
10. En association avec une bande enherbée de talweg.

L'efficacité des haies vis-à-vis de la sédimentation des particules est fonction de la densité de tiges au sol, l'absence de court-circuit, la pente amont du terrain, la taille des particules à piéger et le débit de ruissellement.

En matière de densité de tiges, pour atteindre les résultats recherchés dans un délai raisonnable. Il convient de conjuguer les critères suivants :

- Une densité de plantation de l'ordre de 6 pieds / ml ;
- Un mode d'entretien qui favorise la multiplication de nombreuses tiges au sol ou à la base : taille en cépée ;
- Des variétés arbustives régionales en mélange qui produisent beaucoup de drageons ou de tiges à la base ;
- Une bonne préparation du sol avant la plantation (décompactage, désherbage, paillage, etc.).

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none">• Réduction de l'érosion hydrique et de l'érosion éolienne ;• Réduction des pertes d'eau par évapotranspiration ;• Augmentation de la biodiversité ;• Rétention des sédiments transportés par le ruissellement ;• Faible emprise sur le sol ;• Durée de vie élevée ;• Coût de réalisation relativement faible ;• Support de l'équilibre écologique ;• Intérêt économique pour certaines espèces (cactus).
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Efficacité faible des haies les premières années suivant la réalisation ;• Risque de concurrence avec les cultures en climat semi-aride ;• Risque de destruction des plantes par le pâturage.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation des haies sont les plantes, de préférence autochtones. Le coût de réalisation des haies antiérosives est d'environ 15 MAD/ml (AREAS, 2012).

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (taille du bassin versant, pentes, nature du sol, précipitations, direction et l'intensité du vent, etc.) ;
- Déterminer l'emplacement des haies ;
- Déterminer les types de plantes appropriées ;
- Etablir un plan de plantation de l'ensemble du projet.

Exécution

- Préparer le sol (fauchage, sous-solage, labour, nivellement, etc.) ;
- Creuser le trou de plantation plus large que la masse racinaire ;
- Amender le sol si possible par du compost parfaitement décomposé ;
- Supprimer les racines cassées, blessées et celles trop longues ;
- Placer le plant en position naturelle dans le trou de plantation et recouvrir du déblai de sorte que le collet est au niveau du sol ;
- Raccourcir les branches pour limiter le volume du feuillage lors de la reprise de l'arbuste ;
- Répandre une couche de 5 cm environ de paille au pied de la plante (figure 3) ;
- Mettre en place des mesures de mise en défens au besoin.

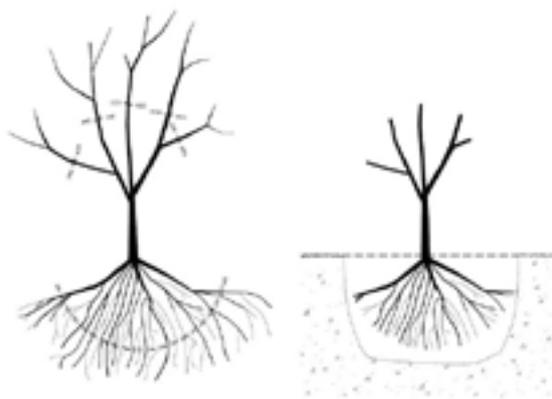


Figure 3 : Plant taillé et posé dans le trou de plantation (Source : Percsy, 2008)

Test

- Vérification et contrôle des haies antiérosives après leur mise en place.

Suivi

- Vérification périodique de l'état et du fonctionnement des haies antiérosives après leur mise en place.

Entretien et maintenance

L'entretien dépend du type de haie :

- Tailler 1 ou 2 fois par an pour les haies taillées : chaque année, le niveau de taille est décalé vers l'extérieur de 20 à 30 cm ; après 5 à 10 ans, les branches sont rabattues au niveau initial.

Expériences réussies



Figure 4 : Maillage de haies antiérosives, Pays de Herve, Belgique (Source : Ministère de la Région Wallonne)



Figure 5 : Haie en cactus, région de Marrakech, Maroc (Adapté de : <http://jardinonssolvivant.fr/du-maraichage-sous-les-oliviers-au-maroc/>)



Figure 6 : Plantation de haies pour délimiter les parcelles de pâturage (Source : Percsy, 2008)

Recommandations

Opter pour des jeunes plants à racines nues qui sont moins coûteux et dont la reprise est facile contrairement aux plants âgés.

Planter les haies antiérosives pendant les saisons de plantation pendant lesquelles les chances de reprise et d'enracinement sont les plus élevées.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Association Régionale pour l'Etude et l'Amélioration des Sols (AREAS), (2012). Fascines et haies pour réduire les effets du ruissellement érosif Caractérisation de l'efficacité et conditions d'utilisation
2. Percsy, C., (2008). Des haies pour demain. Service public de Wallonie. Collection « nature et forêts » n°1
3. Ministère de la Région Wallonne / Division de la Nature et des Forêts – Guide technique pour la plantation des haies. Brochure technique 3

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, O. Amrani

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

38

Haies vives

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

Les haies vives consistent en des plantations serrées d'arbustes suivant les courbes de niveau ou en travers d'axes de concentration des eaux dans le but de protéger contre l'érosion hydrique, éolienne et la divagation des animaux.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée

 Eau de consommation	 Autres usages domestiques	 Arrosage	 Irrigation
 Infiltration +++	 Recharge des nappes +	 Evacuation	 Lutte contre l'inondation +
 Lutte contre l'érosion +			

+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones humides à semi-arides ;
- Dans les terrains agricoles, végétation naturelle ;
- Une dénivellée minimale est nécessaire (courbes de niveau et de ruissellement) minimum 5% voir tableau 1 ;
- Cultures épineuses (cactus raquette, jujubier, etc.), espèces fourragères, herbacées (canne de Provence, palmier doum, Vétiver, etc.), etc.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Banquettes ;
- Cordons pierreux ;
- Fascines ;
- Terrasses de cultures.



Figure 1 : Haies vives suivant les courbes de niveau, Masama, Burundi (Source : Laroche, G., 2011)

Données techniques

Les haies vives sont constituées de lignes de plantations serrées suivant les courbes de niveau. Les haies peuvent être constituées d'un mélange d'espèces épineuses, herbacées, etc. ou mélangées d'arbres fruitiers (amandiers, oliviers, etc.) plantés tous les 5 m sur la ligne de la haie.

Les haies vives permettent de ralentir le ruissellement et d'en retenir les matières en suspension en amont. Elles provoquent à moyen terme la formation d'une terrasse progressive par filtration de l'eau, dépôt des sédiments grossiers et des matières organiques, et surtout par érosion aratoire (figure 2).



Figure 2 : Schéma de fonctionnement des haies vives (Source : à Roose et al. 2010)

L'espacement entre les lignes de haies est déterminé en fonction de la pente du terrain (tableau 1).

Pentes (%)	Espacement (m)
5 - 10	20
10 - 15	15
15 - 25	10
25 - 35	7
35 - 50	5
50 - 60	3

Tableau 1 : Espacement entre les lignes de haies vives en fonction de la pente (Source : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux)

Niveau de densité	Espacement
Très dense	50 cm
Dense	60 cm
Peu dense	80 cm
Espacée	100 cm

Tableau 2 : Distances de plantation des haies en fonction de la densité voulue (Source : Parc naturel régional du Vexin français, 2010)

Il existe 2 types de dispositions des haies vives (figures 3 et 4) en fonction du risque d'érosion existant et des moyens disponibles :

- Plantation sur une ligne ;
- Plantation en quinconce sur 2 lignes espacées de 50 cm pour des risques d'érosion plus élevés.

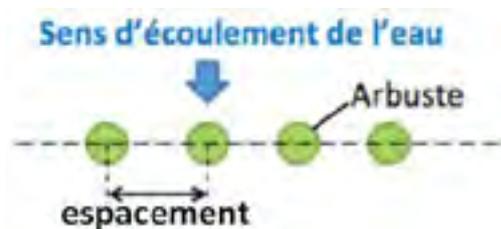


Figure 3 : Disposition des haies en une ligne (Source : Parc naturel régional du Vexin français, 2010)

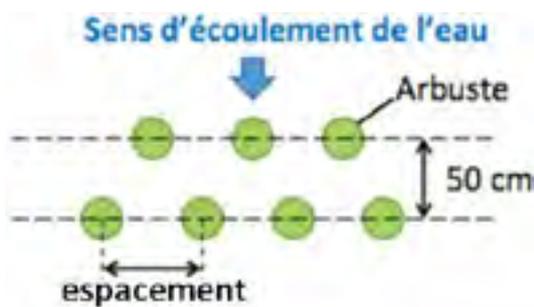


Figure 4 : Disposition en quinconce des haies sur 2 lignes (Source : Parc naturel régional du Vexin français, 2010)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de l'infiltration de l'eau ; • Réduction des pertes en terre due à l'érosion ; • Protection des cultures et du sol contre le vent ; • Augmentation de la biodiversité ; • Production de matières (bois, fruit, fourrage, etc.) ; • Stabilité et longue durée de vie de la structure ; • Coût d'installation faible ; • Mise en œuvre simple.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des surfaces cultivables ; • Nécessité de main d'œuvre importante ; • Risque de besoin important en eau selon la nature des plantes ; • Augmentation des frais d'installation en cas de transport des plantes.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation des haies sont les plants d'arbustes.

Activités	Coûts
Préparation du terrain + apport d'engrais	500 MAD / ha
Plants	2 à 3 - 4 MAD / plant
Plantation	1 000 à 2 000 MAD / ha selon la densité de plantation

Tableau 3 : Eléments de coûts de réalisation des haies vives (Source : Roose et al. 2010)

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (sol, topographie, disponibilité en eau) ;
- Réaliser la conception des haies vives ;
- Vérifier la disponibilité des plants.

Exécution

- Délimiter la zone à traiter ;
- Déterminer et marquer les lignes de haies suivant les courbes de niveau ;
- Creuser une tranchée le long des lignes de plantation ;
- Planter les plants en respectant la densité de plantation choisie ;
- Arroser.

Suivi

- Vérifier le bon développement des haies ;
- Vérifier la stabilité des haies après chaque forte pluie.

Entretien et maintenance

- Remplacer les plants n'ayant pas pris ;
- Effectuer une première taille lorsque la haie atteint 1 m pour avoir une hauteur de 25 à 30 cm ;
- Ensuite tailler avant et pendant la saison des pluies ;
- Désherber deux fois par an.

Expériences réussies



Figure 5 : Plantation de haies vives de cactus pour stabiliser les sols, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)



Figure 6 : Plantation de haies vives de cactus pour stabiliser les sols, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Recommandations

- Le choix des plantes doit être adapté aux caractéristiques écologiques locales (précipitation, nature du sol, etc.) ;
- Opter pour les espèces résistantes pour éviter le travail supplémentaire d'arrosage ;
- Lors de l'arrachage des mauvaises herbes, conserver les ligneux qui poussent dans ou à proximité de la haie vive, afin d'épaissir la haie ;
- Protéger les haies vives par une défense pour permettre leur bon développement.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Roose, E., Sabir, M. et Laouina, A., (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc : Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéenne. IRD Editions
2. Laroche, G., (2011). L'intégration des savoirs des agriculteurs dans le processus de communication des haies antiérosives au Burundi
3. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux / Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole - Génie Rural - Guide pour des aménagements de conservation des eaux et des sols appropriés en région wallonne.

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, O. Amrani

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

39

Bandes enherbées

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

Les bande enherbées (BE) sont des surfaces de végétations permanentes (herbage, buisson, haie) naturelles ou aménagées, susceptibles d'intercepter des écoulements de surface diffus ou concentrés (figure 1 et 2). Elles permettent de retenir les sédiments et d'épurer les eaux de ruissellement avant leur rejet dans les cours d'eau.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones humides à semi-arides ;
- Au moins 500 mm/an de précipitation ;
- Jusqu'à 30 % de pente ;
- Notamment pour les sols développant une couche de battance ;
- Au moins 50 cm de profondeur de sol ;
- Plantes locales adaptées au sol et au climat.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cordons pierreux ;
- Fascines ;
- Haies antiérosives.



Figure 1 : Bande enherbée en bordure aval d'un champ (Source : Brochure Gestion des bords de champs cultivés)

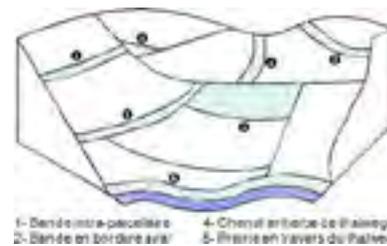


Figure 2 : Localisations pertinentes des BE (Source : CORPEN, 2007)

Données techniques

Les bandes enherbées sont caractérisées par une végétation au-dessus du sol qui augmente la rugosité de la surface et la porosité dans le sol. Elles favorisent l'infiltration des eaux de ruissellement, la sédimentation des matières en suspension, la rétention et la dégradation des polluants pesticides, et autres (figure 3).

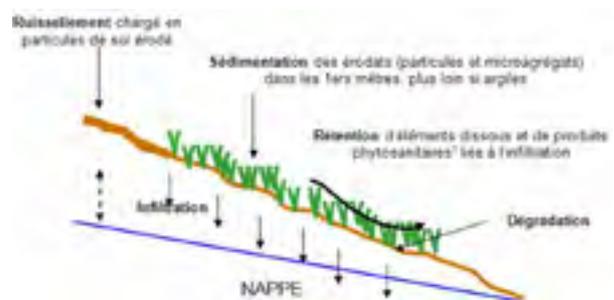


Figure 3 : Principe de fonctionnement des bandes enherbées (Source : territ'Eau, 2009)

L'efficacité des BE augmente avec leur largeur. Le dimensionnement est fonction de :

- La nature du sol ;
- La pente et la longueur du versant suivant la pente ;
- Le type de culture et les pratiques culturales ;
- Les intensités de pluies.

En règle générale, la largeur minimale d'une BE est de 5m. Cependant il est recommandé une largeur de :

- 10 m pour des longueurs de versant inférieures à 100 m ;
- 10 à 20 m pour des longueurs de versant supérieures à 100 m ;
- La largeur doit être d'autant plus grande que les conditions de sol/culture/pluviométrie/ surface de parcelle sont érosives.

Caractéristiques de la flore

Un mélange de graminées et de légumineuses permet d'optimiser l'efficacité de la bande enherbée.

Pour éviter les problèmes de salissement dans la parcelle cultivée, le couvert devra répondre aux caractéristiques suivantes :

- Implantation facile et rapide ;
- Occupation régulière de l'ensemble de la surface ;
- Densité de végétation la plus régulière possible ;
- Bonne résistance à l'envahissement d'espèces végétales nuisibles à la parcelle et bonne longévité.

Les légumineuses sont intéressantes à employer dans une bande enherbée, surtout en sols pauvres. En effet, elles sont capables de fixer l'azote de l'air et donc d'améliorer la concentration en nutriments disponibles. Les graminées permettent de couvrir rapidement le sol et donc de limiter l'espace et les ressources disponibles pour les adventices.

La fétuque est intéressante lorsque l'objectif est de limiter l'entretien. Les plantes telles que le dactyle, la luzerne et le brome supportent mal les excès d'eau, l'anoxie de longue durée. En revanche, elles supportent l'inondation quand elle intervient en phase de repos de la végétation ; par contre la fétuque des prés et la fléole sont très sensibles à la sécheresse.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Effet brise-vent et lutte contre l'érosion hydrique (hauteur limitée des graminées et légumineuse) ; • Réduction des pollutions diffuses (nitrates, phosphates, pesticides) ; • Stabilisation des berges ; • Renforcement de la biodiversité ; • Amélioration de la capacité d'infiltration du sol • Bonne intégration paysagère ; • Refuge ou habitat pour certaines espèces végétales. En fonction des espèces et de leur entretien, la faune sauvage pourra être favorisée ; • Diminution de l'érosion des sols ; • Fourrage comme sous-produit.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation relativement élevé ; • Pertes de surfaces cultivables ; • Possibilité de concurrence avec les plantes cultivées du champ ; • Développement probable de ravageurs.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation des BE sont les semences végétales des espèces sélectionnées. Un travail initial du sol est néanmoins nécessaire.

L'usage des fertilisants et des pesticides est interdit, il est à éviter.

Opérations	Coûts
Réalisation (achat des semences + travail du sol + semis)	1076,5 MAD/ha
Entretien annuel	323,0 MAD/ha

Tableau 1 : Coûts de réalisation et d'entretien des BE (Source : Chambre Régionale d'Agriculture de la Région Centre, 2003)

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante ;
- Identifier le besoin d'implémentation des BE ;
- Déterminer les potentiels emplacements des BE ;
- Concevoir les BE en prenant en compte la nature du sol, la pente du terrain, les précipitations, les pratiques culturales, etc ;
- Déterminer les types de plantes adéquates et disponibles pour la réalisation des BE.

Exécution

- Délimiter la parcelle où sera réalisé la BE ;
- Labourer la zone délimitée ;
- Réaliser les semis (avant la saison pluvieuse) ;
- Prévoir un exutoire de drainage en cas d'engorgement.

Test

- Vérifier le bon fonctionnement des BE lors des premières pluies en suivant la réduction de la vitesse de ruissellement en aval, après l'établissement de la végétation ;
- Vérifier la stabilité de la BE après la pluie ;
- Renforcer éventuellement la densité des BE si nécessaire.

Suivi

- Vérifier la croissance des plantes constituant les BE ;
- Evaluer le rendement des BE par rapport au contrôle de l'érosion hydrique, la recharge de la nappe phréatique et la pollution du milieu naturel ;
- Renforcer éventuellement la densité des BE si nécessaire.

Entretien et maintenance

- Première année : une fauche précoce de nettoyage peut être envisagée au printemps ;
- Années suivantes : au minimum, une coupe ou un broyage chaque automne pour assurer la pérennité du couvert. Eviter toute coupe en période de couvaion des oiseaux ;
- L'entretien de la BE pourra se faire par broyage ou fauchage, une à deux fois par an.

Expériences réussies



Figure 4 : Bande enherbée de 6m de large entre la culture et un fossé (Source : LPO)

Recommandations

- Associer d'autres techniques de conservation des sols pour des conditions de sol/culture/pluviométrie/surface de parcelle très érosives.
- Adapter la largeur des BE aux conditions locales.
- Diversifier les espèces végétales dans la bande enherbée.
- Eviter l'usage des produits phytopharmaceutiques et fertilisants sur une bande enherbée.
- Eviter de stocker des engins agricoles sur ces dispositifs.
- Eviter de broyer pendant les périodes de floraison et reproduction.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. CORPEN, (2007). Les fonctions environnementales des zones tampons - 1ère édition: Les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux
2. Territ'Eau - Agro-Transfert Bretagne, (2009). Bandes enherbées. http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Bandes_enherbees/chapitre.pdf
3. LPO - Les bandes enherbées.

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

40 Fascines

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

Les fascines sont de petites barrières constituées de boutures empilées sous forme de fagots entre deux alignements parallèles de pieux vivants ou morts. Elles sont positionnées en travers du ruissellement et constituent un obstacle perméable en piégeant les sables et limons transportés par le ruissellement.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones humides à semi-arides (notamment montagneuses : pluies torrentielles) ;
- Dans les Talus, surfaces agricoles, terrains nus, etc ;
- Topographie permettant le ruissellement ;
- Sols à faible capacité de rétention (limoneux) ;
- Saule, vétiver, cactus, etc.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Digues filtrantes ;
- Gabions ;
- Haies vives.



Figure 1 : Fascine (Source : REY, 2003)

Données techniques

Les emplacements pertinents pour les fascines (figure 2) sont :

1. Au pied des versants de pente > 5 % qui souffrent d'érosion en rigole ;
2. Perpendiculaires à un axe de ruissellement ;
3. En coin de parcelle ;
4. A l'interface entre parcelle cultivée et prairie ;
5. En protection rapprochée d'une zone urbaine ;
6. En protection rapprochée d'une route ;
7. En protection rapprochée d'une bétairie (puits karstique) ;
8. En protection rapprochée d'un ouvrage de réduction des inondations ;
9. En renforcement d'une bande enherbée le long de la rivière ;
10. En association avec une bande enherbée de talweg.



Figure 2 : Localisations pertinentes des haies et des fascines pour réduire l'érosion des sols (Source : AREAS, 2012)

Les fascines sont constituées de 2 rangées de pieux de 6 à 8 cm de diamètre et de 1,2 à 1,5 m de long chacun et espacées de 0,5 m. La base des pieux est taillée en biseau et enfoncée dans le sol à une profondeur d'au moins 0,5 m. Les pieux sont disposés soit face à face, soit en quinconce. Au milieu, une tranchée est creusée sur 30 cm de profondeur. Le tout est rempli de tiges de saule (ou autres) sur une hauteur totale de 80 cm minimum de façon à obtenir un fagot de 50 cm au-dessus du sol. A la fin, le fagot est compacté mécaniquement et un tasseau attaché entre 2 pieux maintient le tout.

Le bois utilisé pour réaliser une fascine peut être mort ou « vivant ».

Une fascine en bois mort (figure 3) a une durée de vie de 2 à 4 ans en fonction de la nature des branches utilisées qui vont pourrir plus ou moins vite. Il est conseillé d'utiliser un bois non traité, résistant au pourrissement par exemple le châtaignier, le robinier, l'acacia, etc.



Figure 3 : Fascine morte

La fascine vivante (figure 4) est réalisée en bouture ou avec du bois qui s'enracine facilement au contact de la terre comme le saule.



Figure 4 : Fascine vivante

Au bout de 5 à 10 ans, le fagot de la fascine disparaît complètement. Les pieux de la fascine morte restent inertes alors que la fascine vivante se développe en haie et continue à jouer un rôle vis-à-vis du ruissellement.



Figure 5 : Fascines morte à gauche et vivante à droite après 10 ans (Source : AREAS, 2012)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre les coulées boueuses ; • Correction des ravines ; • Stabilisation des berges ; • Réduction de la vitesse de ruissellement ; • Réduction des pertes de sols par ruissellement ; • Amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol ; • Faible empreinte sur le sol ; • Possibilité de développer des terrasses cultivables et/ou d'utilisation des matériaux fertiles déposés ; • Utilisation des matériaux locaux simples pour la confection (bambous, bois mort ...)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de mise en œuvre élevé pour les grandes structures surtout s'il n'y a pas de bois disponible ; • Durabilité limitée du système par disparition des fagots de bois au bout de 5 à 7 ans ; • Risque d'inondation des parcelles avoisinantes (à vérifier lors de la conception).

Liste des matériaux et coûts

- 30 à 40 segments de tiges de 2 à 4 cm de diamètre et de 1 à 2 m de long servant de fagot pour couvrir 1 m linéaire ;
- Le nombre de pieux diffère selon l'espacement choisi. Pour un espacement de 0,5 m par exemple, il faut 4 pieux par mètre linéaire ;
- Environ 3 m de fil galvanisé pour attacher 1 m de fagot aux pieux.

La mise en œuvre coûte environ 645,86 MAD le mètre linéaire de fascine vivante et environ 592,43 MAD pour la fascine morte.

Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux de 1 euro = 10,7652 MAD (le 12.11.2018)

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyse de la situation existante ;
- Détermination de l'emplacement des fascines ;
- Conception des fascines.

Exécution

- Creuser une fosse large de 30 à 50 cm (largeur de la fascine) et profonde de 30 cm pour enterrer le premier fagot ;

- Enfoncer 2 rangées de pieux sur les bords de la tranchée. Les pieux sont positionnés tous les 1 à 1,50 m en quinconce ou tous les 80 cm environ en vis-à-vis. Ils sont enfoncés à 50 cm de profondeur.

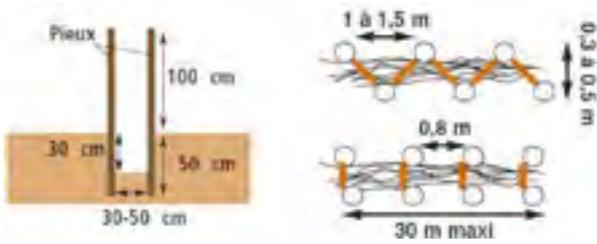


Figure 6 : Disposition des pieux

- Déposer le premier fagot de sorte à dépasser un peu le niveau du sol afin d'assurer une continuité des branchages avec le fagot suivant. La terre enlevée de la tranchée sera reposée sur le côté du caisson, afin d'assurer un bon contact entre le premier fagot et le sol, notamment en surface. Ensuite, veiller aussi à assurer une bonne jonction entre les fagots sur la longueur.

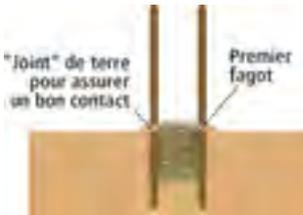


Figure 7 : Dépôt du premier fagot

- Disposer les autres fagots à l'horizontal, sur une hauteur de 50 cm à 1 m au-dessus du terrain naturel amont. La longueur de la fascine est au moins égale à la largeur des écoulements les plus importants observés ;
- Bien tasser les fagots tout en disposant des tasseaux fixés aux pieux par des fils de fer, afin de maintenir l'ensemble. Ne pas couper les pieux au ras du fagot. Même s'ils dépassent de 50 cm, l'excédent permettra de rehausser le bourrage si nécessaire.



Figure 8 : Garnissage de la fascine par des fagots

Test

- Vérifier la stabilité des fascines après les premières pluies ;
- Vérifier la fonction de filtration du ruissellement et rajouter des fagots de bois si nécessaire.

Suivi

- Vérifier la stabilité des fascines après les premières pluies ;
- Vérifier la fonction de filtration du ruissellement et rajouter des fagots de bois si nécessaire.

Entretien et maintenance

- Après les 1ères pluies, vérifier et réparer les possibles affouillements en rajoutant de la terre ou un petit fagot au pied de la fascine et compléter le remplissage du caisson si nécessaire ;
- Au fil du temps, les dépôts de terre s'accumulent à l'amont de la fascine et réduisent son efficacité. Si le dépôt est faible, le simple travail du sol peut suffire à dégager l'amont de la fascine. Si le dépôt est important la fascine peut être rehaussée en ajoutant des fagots entre les pieux.

Expériences réussies



Figure 9 : Accumulation de sédiments en amont d'une fascine, France (Source : AREAS, 2012)



Figure 10 : Fascine pour limiter les coulées boueuses vers l'égout, France (Source : AREAS, 2012)

Recommandations

Les fascines sont à préconiser dans les régions où le matériel végétal, pour la constitution des pieux et fagots, est disponible.

Au Maroc, pour les fascines mortes, des pieux en rondins d'eucalyptus (disponibles), et des fagots

en branchage de jujubier ou en cannes de roseaux pourraient être proposés et testés. Par ailleurs, pour les fascines vivantes le roseau pourrait aussi être planté dans les zones semi-arides et subhumides.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Freddy REY, (2003). Synthèse et bilan critique des réalisations de génie écologique pour la maîtrise de l'érosion dans le département de l'Isère. Rapport final
2. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, (2005). Techniques de stabilisation des rives. Extrait Guide des bonnes pratiques chapitre 7 - Protection des rives, du littoral et des plaines inondables
3. AREAS, (2012). Fascines et haies pour réduire les effets du ruissellement érosif Caractérisation de l'efficacité et conditions d'utilisation
4. Chambre d'Agriculture de Seine-Maritime, (2012). Fascines : Freiner les ruissellements – Provoquer la sédimentation. Fiche technique n°12. <http://www.seine-maritime.chambagri.fr>
5. Solofo RAHARINAIVO, (2008). Les techniques de Correction des ravines et de Stabilisation des Lavaka. PLAE. [https://wocatpedia.net/wiki/File:Solofo_Raharinaivo_\(2008\)_-Les_techniques_de_Correction_des_ravines_et_de_Stabilisation_des_Lavaka_.pdf](https://wocatpedia.net/wiki/File:Solofo_Raharinaivo_(2008)_-Les_techniques_de_Correction_des_ravines_et_de_Stabilisation_des_Lavaka_.pdf)
6. SAVNR, (2009). Retour d'expérience – Evolution de protections deb berges en techniques végétales mises en place en 1995 sur la NiedReune
7. California Department of Transportation, (2003). Caltrans erosion control new technology report
8. GISER, (2012). Dispositif de lutte contre les coulées de boue – Cahier spécial des charges « Placement des fascines ». http://www.giser.be/wp-content/uploads/2012/09/Giser_CSC_Placement-de-fascines.pdf
9. AREAS, (2009). Aménagements d'hydraulique rapprochée
10. <https://journals.openedition.org/geomorphologie/222>

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, O. Amrani

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

41

Forêt riveraine ou ripisylve

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

La forêt riveraine ou ripisylve, appelée aussi la forêt de production d'eau est un boisement qui favorise l'infiltration des eaux au détriment de leur écoulement en surface, qui fixe et altère les polluants chimiques (nitrates, phosphates...) et réduit la turbidité des eaux.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones permettant le développement d'essences forestières ;
- Forêt, plateaux agricoles, sols nus, marginaux, ou érodés, etc. (étalées le long de petits cours d'eau) ;
- Types de cultures : espèces forestières.



Figure 1 : Végétation ripisylve (Source : <http://www.humanite-biodiversite.fr/document/precieuses-forets-riveraines-les-ripisylves-2>)

Données techniques

La forêt produit et épure l'eau et adoucit le climat. Elle réduit le ruissellement, favorise l'infiltration et fixe les nitrates des eaux au niveau des racines.

Les rôles éco systémiques de la forêt sont importants et plus diversifiés.

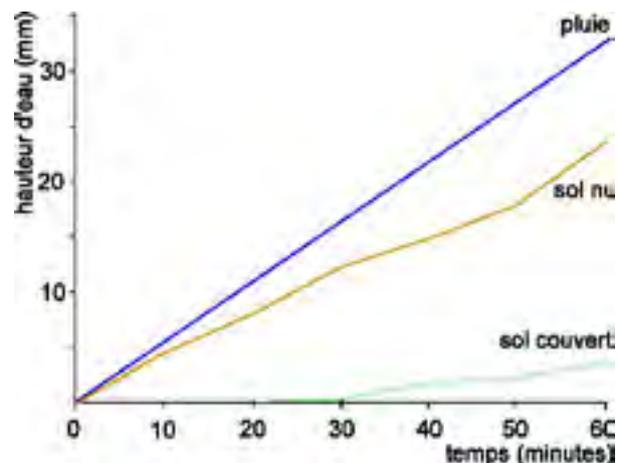


Figure 2 : Impact de la couverture végétale sur le ruissellement

Sous forêt, le sol bénéficie d'une couverture à long terme, limitant les accidents de turbidité. Les eaux de pluie et de ruissellement sont souvent chargées de substances polluantes. La pérennité du couvert forestier est un atout par rapport aux autres couverts végétaux, en lien avec une activité biologique plus constante et un recyclage des éléments minéraux et chimiques plus efficace.

Bioclimat	Pluviométrie mm/an	Espèces
Semi-aride	300 à 550	Tetraclinis articulata, Arganier, Chêne-vert, Oléo-Lenticetum, Juniperus phoenicea, Juniperus thurifera, Genévrier rouge, Genévrier thurifère, chêne-liège, Subéraies, Pin d'Alep, Cupressus atlantica
Subhumide	de 550 à 900	Chêne-vert (Quercus Ilex, îlots de Chêne-liège, Pin maritime, Chêne Zeen, Cèdre de l'Atlas, Subéraies d'oléastre, lentisque, bruyère, d'Arbousier, genêts, des Cytises et des Lavandes, Erica arborea, Juniperus aigle (Pteris aquilina), Myrtus communis, Pirus mamorensis, Ormenis mixta, Pin maritime (Pinus pinaster), genévrier oxycèdre Oxycedrus et l'Aubépine (Crataegus monogyna), fougère
Humide	900 à 1200	Lambeaux, Cèdre de l'Atlas, du Sapin, du Pin maritime, des Chênes à feuilles caduques (Chêne Zeen, Chêne Tausin) et Chênes à feuilles persistantes (chêne vert et chêne liège), Phanérophytes genévrier oxycèdre, l'Erable, l'If, le Houx, le Rosier, le Bouleau, les Aubépines, les Alisiers
Per humide	> 1200	Chêne-vert, Genévrier Thurifère, Phanérophytes épineux en boules ou xérophytes, genévrier oxycèdre, Juniperus communis, xérophytes épineux

Tableau 1 : Etages bioclimatiques et forêt au Maroc (hors aride et saharien) (Source : HCEF)

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre l'érosion hydrique et éolienne ; Régulation du climat et lutte contre le réchauffement climatique ; Préservation de la biodiversité ; Epuration des eaux infiltrées vers la nappe.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Coût de réalisation élevé ; Complexité de gestion des forêts d'eau ; Exposition des gabions au pouvoir abrasif des crues torrentielles ; Sensibilité de l'ensemble de l'ouvrage à la moindre rupture ; Problèmes liés au foncier.

Liste des matériaux et coûts

Le coût de réalisation d'un reboisement en terrain domanial varie de 10.000 à 25.000 MAD par hectare selon les régions et les espèces utilisées.

Toutes les forêts n'ont pas la même aptitude pour produire et épurer l'eau. La gestion d'une forêt d'eau impose au sylviculteur un certain nombre de spécificités qui portent sur :

- Les modalités de récolte ;
- Le mode de renouvellement des peuplements ;
- L'utilisation d'engins et d'infrastructures de desserte ;
- Le choix des interventions sylvicoles ;
- Le choix des essences.

Etapes de réalisation

Préalables

- Identifier le périmètre à traiter ;
- Vérifier la disponibilité du terrain ;
- Analyser la situation existante (climats, hydrologie, état d'érosion, sols, pente).

Exécution

- Favoriser la futaie irrégulière par bouquets ou par pied à pied ;
- Favoriser les feuillus d'une manière générale ;
- Travailler avec des essences locales adaptées ;
- En zones enrésinées, favoriser le mélange feuillus-résineux (au moins 20% de feuillus) ;
- Privilégier la régénération naturelle ;
- Eviter les monocultures (forêt constituée d'une seule espèce), en particulier de résineux ;
- Mettre une clause captage dans les cahiers de charges des exploitations forestières et informer le gestionnaire de l'eau potable de toute exploitation ;
- Exploiter pied à pied ou par trouées. Ne pas réaliser des trouées supérieures à 5000 m² et de 50 m maximum dans le sens de la pente ;
- Ne pas exploiter quand le sol est saturé en eau ;
- Structurer la desserte et canaliser les engins d'exploitation sur les cloisonnements ;
- Dans les pentes raides et sur sols fragiles, privilégier la création de routes (plutôt que des pistes) et débarder au câble-mat et par équidés ;
- Eloigner le plus possible le tracé des pistes et des routes des zones de captage ;
- Lors de la création de voies, anticiper la gestion des eaux de surface ;
- Utiliser des huiles biodégradables et ne pas transvaser d'hydrocarbures dans les périmètres de protection.

Test

- Qualité de l'eau (souterraine et superficielle) ;
- Qualité de sol ;
- Taux d'érosion.

Suivi

Une forêt impose une protection contre les catastrophes naturelles et anthropiques, afin d'assurer le maintien de son écosystème.

Expériences réussies



Figure 3 : Végétation ripisylve au bord de l'Oued Lakhdar, Maroc (Source :GIZ/AGIRE)

Recommandations

Pour chacun des principaux bassins hydrauliques, réaliser des études pour cibler les forêts à convertir en forêts d'eau et les zones où il s'impose de créer des boisements d'eau. Il en est de même pour les cours d'eau et la restauration ou création de végétation ripisylve.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Benoit M. et Papy F., 1997 : Pratiques agricoles sur le territoire et qualité de l'eau alimentant un captage. INRA, pp. 323-338.
2. FAO. 2013. Etat des forêts méditerranéennes 2013 FAO (<http://www.fao.org/publications>).
3. Fiquepron J., 2012 Étude technico-économique du site de Moises- Forchat – Evaluation du service
4. Rendu par la forêt pour production eau potable. CNPF, IDF, SIEM, Alpeau, 79 p.
5. GIEC. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
6. Giannakopoulos C., Bindi M., Moriondo M., Le Sager P., Tin T., 2009. Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. Observatoire national d'Athènes, Grèce
7. Maridet L., 1995 : Rôle des formations végétales riveraines. Recommandations pour une gestion raisonnée. Min. Environ. Cemagref.

Auteurs : A. Mokrim, N. E. El Hamoumi, J. Naim, C. Werner, B. El Himdy, O. Amrani, E. H. Berhili

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

42 Jardin agroécologique

Aménagement des bassins versants - aménagement végétal

Informations générales

L'agroécologie est un ensemble de pratiques qui recherchent des moyens pour améliorer les systèmes agricoles. Il s'agit d'utiliser au maximum la nature comme facteur de production en maintenant ses capacités de renouvellement.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Serres mobiles, jardin des petites à grandes habitations, sites de réutilisation des eaux usées traitées ;
- Jusqu'à 20% de pente ;
- Au moins 30 cm de profondeur de sol ;
- Cultures : Légumes perpétuels, PAM, arbres, fruitiers, etc.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Zones de biomasse ;
- Haies antiérosives.



Figure 1 : Jardin Agroécologique du centre de l'Association France et Maroc au Cœur au niveau de douar ElHamri-Mzouda - Marrakech (Source : AFEMAC D.ElHamri Octobre 2015)

Données techniques

L'agroécologie permet d'obtenir des conditions plus favorables pour la croissance des végétaux, en gérant la matière organique et en augmentant l'activité biotique du sol. Elle met l'accent sur l'équilibre durable du système sol-culture en diminuant le volume des intrants et elle rend donc les paysans plus autonomes.

Elle impose une couverture végétale permanente, l'absence de labour, la rétention d'eau par le sol. Elle réduit donc les besoins d'irrigation. Les cultures ont alors une meilleure capacité de résistance aux conditions difficiles (sécheresse, sols appauvris...). Et les connaissances y sont élaborées à partir de l'expérience et savoir-faire des agriculteurs.

Plusieurs techniques peuvent être appliquées dans un seul site agroécologique afin d'aboutir à des résultats plus avancés. On peut citer par exemple :

Culture sur buttes

Symboles de l'agroécologie et de la permaculture, les buttes sont des techniques de cultures mises en place pour résoudre des problèmes d'irrigation et de fertilité. Leur but principal est de :

- Maximiser le rendement ;
- Imiter la nature ;
- Créer un écosystème complet et amplifier ses fonctionnalités ;
- Améliorer la qualité du sol.

La création d'une butte est un moment-clé de la mise en place du jardin. Il faut plusieurs années pour aboutir à un résultat optimal.

Liste des matériaux et coûts

Opérations	Coûts annuels
Travail du sol	918 MAD/200m ²
Fertilisation organique	270 MAD/200m ²
Traitement phytosanitaire naturel	324 MAD/200m ²
Plantes (Arbres, légumes, PAM...)	540 MAD/200m ²
Aménagement antiérosif	918 MAD/200m ²

Tableau 1 : Coûts de préparation, réalisation et entretien de Jardin Agro écologique de 200m², sans céréales et pour une famille de 4 personnes

Prix initialement exprimé en Euro, converti selon le taux de 1 euro = 10,7652 MAD (le 12.11.2018).

La production est liée au type d'investissement engagé : travail du sol, production/acquisition des semences et plants, entretien. Il n'y a pas de business plan bien établi de ce type de jardin, mais il est préférable de songer à son élaboration pour aider à la décision dans ce type d'investissement.

Une famille (de 4 personnes) s'investit dans le jardinage en agro-écologie à différents types de dépenses : travaux (aménagements, travail du sol, semis, plantation, entretiens...) et acquisitions (Semences, plants, outillage, besoins pour pépinière...).

Etapes de réalisation

Travail du sol

- Respect de la structure naturelle du sol ;
- Jumelage entre les différents sièges des micro-organismes présents dans les strates de la terre.

Fertilisation organique

- Restitution et maintenance de potentiel nutritif du sol ;
- Génération d'humus ;
- Fertilisation au moyen d'engrais verts et de compostage ;
- Protection de la vie et de la fertilité naturelle des sols ;
- Utilisation de véritable nourriture qui pouvant être utilisée par les paysans les plus pauvres ;
- Semer les plants (avant la saison pluvieuse).

Traitement phytosanitaire naturel

- Utilisation des bio-pesticides traditionnels et biodégradables ;
- Introduction des prédateurs ou parasites des ravageurs, des plantes répulsives ou pièges ;
- Lutte contre les parasites et les maladies par l'association des plantes ;
- Utilisation de plusieurs techniques (pralinage, traitement à base du neem, traitement à base de l'ail ou de purin d'ortie...).

Sélection des variétés plus adaptées à la situation

- Reproduction locale ;
- Véritable autonomie ;
- Recours à une source d'énergie mécanique ou animale plus équilibrée
- Eviter le gaspillage d'énergie et les équipements coûteux ;
- Ajuster le progrès aux contextes réels ;
- Compléter le cycle écologique du jardin.

Aménagement antiérosifs de surface

- Installation des diguettes, micro-barrages, digues filtrantes ;
- Collecte du maximum des eaux pluviales ;
- Lutte contre l'érosion des sols et les inondations ;
- Recharge des nappes phréatiques.

Constitution de haies vives

- Protection des terres cultivées contre le vent ;
- Constitution de petits systèmes favorables au développement des plantes cultivées ;
- Maintien d'une faune et flore auxiliaires utiles.

Reboisement

- Reboisement des terrains disponibles et dénudés ;
- Production des combustibles, de la pharmacopée naturelle, la nourriture humaine et végétale ;
- Régénération du sol.

Entretien et maintenance

- 1ère année : un nettoyage peut être envisagé au printemps et après chaque période de récolte ;
- L'entretien des constructions des techniques (Spirale, serrures,...) chaque année après la récolte.

Expériences réussies



Figure 5 : Jardin familial de Tamatoust au niveau de douar El Hamri (Source : AFEMAC Maroc)

Description du projet :

Jardin familial 1000 m²

Lieu : Douar Tamatoust au Maroc

Objectifs : Autonomie alimentaire d'une famille de 6 personnes

Année de réalisation : 2015-2016

Coût de réalisation : Faible (dons de graines et plants par AFEMAC)

Coût d'entretien : Coût de l'irrigation

Impact socio-économique : Economie sur les achats de légumes au souk, distribution de légumes aux voisins et à la famille élargie, vente de quelques produits au souk (menthe, persil, ...)

Impact écologique : Enrichissement du sol et développement de la biodiversité

Appréciation des usagers : Très satisfaits de produire une nourriture saine avec des qualités gustatives. Bien être au jardin où le travail se fait en famille.

Recommandations

- Associer d'autres techniques de conservation des sols pour des conditions de sol/culture/pluviométrie/surface ;
- Intégrer l'aspect réutilisation des eaux usées traitées et des produits EcoSan ;
- Diversifier les espèces au niveau du jardin ;
- Eviter l'usage des produits phytopharmaceutiques et fertilisants sur les plantes du jardin ;
- Prévoir un petit réseau de passage pour intervention (visites, maintenances,...) ;
- Respecter les périodes/saisons de récolte et de culture de plantation.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Fiche technique du projet agricole d'AFEMAC à El Hamri
2. Fiche technique d'agroécologie en zones arides
3. Fiche technique de Bois Raméal Fragmenté (BRF)
4. Guide agroécologique de l'association AFEMAC
5. Compléments d'information sur l'agroécologie
6. <http://www.afemac.fr>
7. Sols, arbres et fertilité http://www.ap32.fr/pdf/page12/ref_livret_Arbres-et-Sols_AP32_2015.pdf
8. <http://terre-humanisme.org/formation/le-potager-agroecologique>

Auteurs : F. Mallouk, H. Sardi, L. El Rhaffari, N. Nel, N. E. El Hamoumi, J. Naim, C. Werner, B. El Himdy

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

43 Diguettes filtrantes

Aménagement des bassins versants - aménagement mécanique

Informations générales

Les diguettes filtrantes, appelées aussi diguettes en pierres sèches, sont des seuils en pierres sèches (sans ciment ni enduit) implantés transversalement dans les lits d'oued, les lits de ravins, dans les bas-fonds et sur les pentes douces. Elles permettent de retenir les sédiments et de réduire les risques d'érosion.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Zones subhumides à arides ;
- 200 à 800 mm/an de précipitations ;
- Dans les terrains agricoles, végétation naturelle ;
- 1 à 5 % de pente ;
- Sols légers ;
- 50 cm au moins de profondeur de sol ;
- Tout type de cultures résistantes à la sécheresse.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cordons pierreux ;
- Haies antiérosives ;
- Fascines ;
- Sacs de sable ;
- Seuils en gabions.



Figure 1 : Diguette filtrante

Elles permettent à la fois de débarrasser les parcelles des pierres qui handicapent leur valorisation, de réduire le ruissellement et sa vitesse et de piéger les sédiments transportés. Sur les pentes moyennes à fortes, on aboutit rapidement à des terrasses progressives du fait de l'érosion hydrique et mécanique, permettant d'augmenter l'humidité, l'épaisseur et la productivité des sols. Les diguettes sont plus adaptées aux pentes fortes (>15%).

Données techniques

La longueur d'une diguette filtrante varie entre 20 à 400 m en fonction des dimensions du lit de l'oued, du ravin ou du bas-fond. Sa largeur varie entre 0,5 et 1 m et sa hauteur entre 0,5 et 1,5 m (0,7 m habituellement). Les diguettes filtrantes sont installées dans des tranchées de 20 à 30 cm de profondeur pour éviter leur sapement.

Habituellement, une série de diguettes est construite le long de la vallée pour conserver la stabilité du système (figure 2). Un déversoir peut être construit, au besoin, dans la partie centrale de la série de diguettes pour drainer la retenue d'eau.

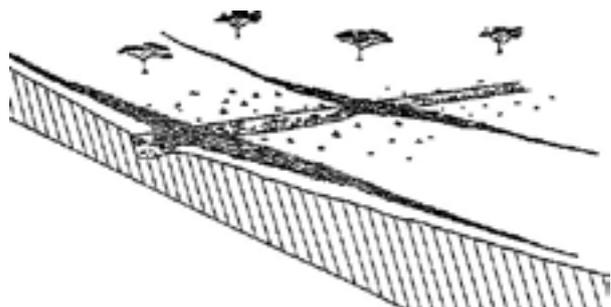


Figure 2 : Schéma d'une diguette filtrante (Source : Critchley et al. 1991).

Dans le cas d'une série de diguettes, il est conseillé de :

- Traiter la vallée du haut vers le bas ;
- Utiliser un intervalle vertical (IV) supérieur à la hauteur de la diguette de sorte que la crête d'une diguette inférieure corresponde à la base de celle supérieure (figure3).

Pour une pente du sol (p), l'intervalle horizontal (IH) est déterminé par la formule suivante :

$$IH \geq IV / p$$

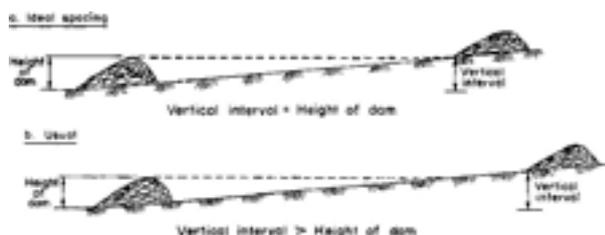


Figure 3 : Espacement entre les diguettes (Source : (Critchley et al. 1991).

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du risque d'inondation en aval ; • Diminution de l'érosion en nappe et en rigole ; • Collecte de terre à l'amont des diguettes ; • Contribution à la recharge de la nappe ; • Bonne répartition de l'eau en aval de la diguette ; • Amélioration de l'humidité du sol ; • Réalisation simple. • Main d'œuvre qualifiée non nécessaire ; • Coût de réalisation relativement faible.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'une grande quantité de pierres ; • Forte demande en main d'œuvre ; • Réalisation coûteuse en cas d'indisponibilité de pierres.

Liste des matériaux et coûts

Les principaux matériaux utilisés pour construire les diguettes filtrantes sont des pierres. Le tableau 1 présente la variation de la quantité de pierres nécessaire en fonction de la pente du sol pour des diguettes de 0,7 m de haut, 2,8 m de large, et 100 m de long.

Pente La surface du sol (%)	Espacement entre les diguettes (m)	Volume de pierres/ha cultivé (m3)
1	70	140
2	47	208
3	35	280

Tableau 1 : Exemple de quantité de pierres requise pour construire des diguettes filtrantes de configuration 0,7 m de haut, 2,8 m de large et 100 m de long

La réalisation de diguettes filtrantes coûte 50 à 70 MAD/ml selon la disponibilité des pierres (GFA terra system, 2004).

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante ;
- Etudier les contextes géographiques, topographique, géologique, climatique et hydrologique de la zone ;
- Choisir le site convenable à la réalisation de diguettes ;
- Concevoir les diguettes filtrantes (nombre, dimensions, et disposition) ;
- Vérifier la disponibilité de pierres et de main d'œuvre à proximité de la zone du projet.

Exécution

- Délimiter l'emplacement de la diguette sur le terrain ;
- Creuser une tranchée de 20 cm de profondeur et la remplir de petites pierres (graviers si disponibles) ;
- Construire la diguette progressivement couche par couche en disposant au centre, les petites pierres et les grosses sur les façades. La crête de la digue doit être horizontale ;
- Eviter de mélanger la terre aux pierres pour conserver la solidité de la diguette.

Test

- Vérifier après les premières pluies la conformité de la configuration globale des diguettes (hauteur et emplacement des pierres), et la stabilité de la base des diguettes ;
- Replacer les pierres déplacées.

Suivi

- Vérifier la stabilité des diguettes filtrantes après chaque forte pluie ;
- Replacer les éventuelles pierres déplacées.

Entretien et maintenance

- Vérifier la stabilité des diguettes avant et après chaque saison de pluies ;
- Replacer les pierres déplacées ;
- Labourer la partie des diguettes avant chaque saison de pluies pour niveler les accumulations de sédiments et faciliter l'infiltration de l'eau dans le sol.

Expériences réussies

Description du projet :

Aménagement antiérosif du Bassin Versant de Sidi Driss.

Lieu : Bassin Versant de Sidi Driss, MAROC

Objectifs :

- Gestion rationnelle des ressources naturelles ; Développement rural avec participation de la population ;
- Protection des infrastructures hydro- agricoles en aval ; Amélioration des conditions de vie des populations riveraines.

Année de réalisation : 1997-2008

Coût de réalisation : 5 à 20 MAD/ml

Recommandations

- Pour des pentes inférieures à 3 % et pour un objectif agricole, et à des fins culturales, il faut opter plutôt pour les cordons pierreux ;
- Limiter la hauteur des diguettes et opter pour une série de diguettes successives ;
- Technique recommandée en cas de disponibilité de pierres dans la zone du projet et pour le traitement des petites ravines ;
- Sensibiliser les collectivités locales et les accompagner pour l'adoption et la mise en œuvre de ces techniques.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Will Critchley, Klaus Siegert and C. Chapman, (1991). Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO
2. Sabine Dorlochter-Sulser et Dr. Dieter Nill, (2012). Bonnes pratiques de CES/DRS. Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs : Les expériences de quelques projets au Sahel. GIZ
3. GFA terra system, (2004). Projet d'Aménagement anti-érosif du Bassin Versant de Sidi Driss (PABVSD). Rapport de mission : Référentiel technique des mesures anti-érosives et de gestion de l'eau. HCEFLD, MADR
4. <http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0r.htm>
5. Eric ROOSE, (1989). Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahélienne : Définitions, fonctionnements, limites et améliorations possibles. Communication à la 6e Réunion du Réseau Erosion

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, M. Sinan

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

44 Mur de soutènement en pierres

Aménagement des bassins versants - aménagement mécanique

Informations générales

Les murs de soutènement en pierres sont des murets montés sans liant, par empilement de pierres, brutes ou ébauchées, qui sont stabilisées les unes par rapport aux autres par leur forme et leur poids. Ils sont destinés à soutenir un remblai, une terrasse cultivable ou un talus, tout en permettant l'écoulement des eaux de ruissellement (figure 1 et 3).

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Dans les remblais, terrasses de culture, talus.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Fascines ;
- Haies antiérosives ;
- Murs de soutènement en pieux.



Figure 1 : Mur de soutènement en pierres sèches au bassin versant Allal El Fassi région de Sefrou (Source : Berhili, 2014)

Données techniques

Les murs de soutènement en pierres sont généralement des murs poids. Il existe deux types de murs en pierres sèches selon la nature des pierres (figure 2) :

- Le mur en opus assisé avec des pierres régulières posées parallèlement aux strates (Figure 1a) ;
- Le mur en opus incertum construit avec des pierres irrégulières (Figure 1b).



Figure 2 : Mur en pierres sèches en opus assisé (a) et en opus incertum (b) (Source : Colas, 2009)

Un mur en pierres sèches comprend cinq parties principales dont (figure 5):

- **La fondation** : elle supporte le poids du mur. Elle est constituée des plus grosses pierres et doit être inclinée vers l'intérieur du massif soutenu, avec une pente égale à la valeur du fruit du parement extérieur (figure 2) ;
- **Le parement extérieur** : c'est la face visible du mur avec un alignement soigné ;
- **Le parement intérieur** : c'est la face non visible du mur, celle sur laquelle la poussée du sol de remblai vient s'appliquer ;
- **Le drain** : il est constitué de débris ou de cailloutis de petit calibre disposés à l'arrière de l'ouvrage. Il protège le parement de l'envahissement progressif par les terres et permet l'écoulement des eaux de pluies. La

bonne tenue du mur dépend de la bonne construction des parements intérieurs et extérieurs.

- **Le couronnement** (ou arasement) : c'est le dernier lit de pierre posé sur le mur permettant de prévenir ainsi contre la dégradation des parties supérieures de l'ouvrage qui pourrait se propager à l'ouvrage entier. On distingue deux types de couronnement (figure 4) :
 - Le couronnement à plat par des pierres plus lourdes et plus longues de sorte à relier les deux parements ;
 - Le couronnement par des pierres de même taille posées en clavade.



Figure 3 : Ecoulement des eaux de ruissellement à travers un mur en pierres sèches (Source : Alava et al., 2009)



Figure 4 : Couronnement à plat à gauche et en clavade à droite (Source : Alava et al., 2009)

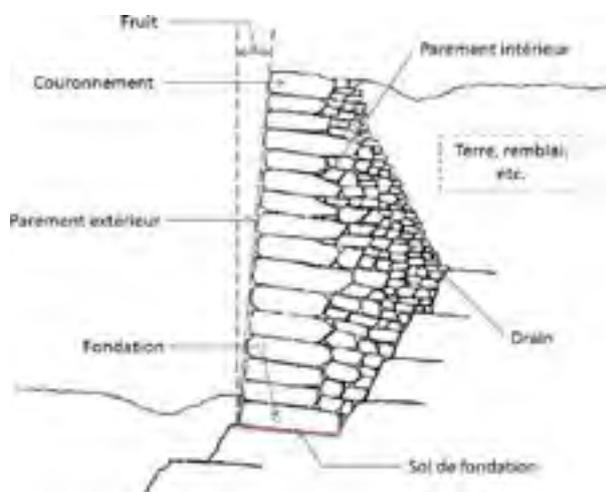


Figure 5 : Différentes parties d'un mur de soutènement en pierres (Adapté de Alava et al., 2009)

Dans les zones humides, il faut protéger le pied du mur de soutènement par un revêtement en grosses pierres contre les phénomènes d'érosion dus au ruissellement et aux chutes d'eau issues des drains. La hauteur du mur ne dépasse généralement pas 1,5m. La largeur de la base doit être égale à 1/3 de la hauteur.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Fixation et stabilisation des berges ; • Protection des cultures contre les inondations ; • Mise en œuvre relativement facile ; • Bonne résistance mécanique ; • Durée de vie élevée ; • Bonne intégration paysagère ; • Coût de réalisation faible.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Forte demande en main d'œuvre pour des ouvrages de grande dimension ; • Nécessité d'un bon savoir-faire.

Liste des matériaux et coûts

La réalisation des murs de soutènement en pierres est complètement manuelle. Les matériaux nécessaires sont les pierres. Elles peuvent provenir de l'épierrage *in situ*, des carrières locales, ou être importées d'un autre site. Les murs en pierres sont généralement construits par les bénéficiaires.

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (historique des précipitations, nature du sol, géologie, régime hydrologique, l'occupation du sol) ;
- Concevoir le mur en pierres ;
- Vérifier la disponibilité de pierres sur le site et la présence de main d'œuvre locale.

Exécution

- Délimiter l'emplacement du mur ;
- Trier les différentes pierres nécessaires à chaque étape de la construction et les stocker à proximité ;
- Creuser la fondation (15 à 40 cm) en tenant compte du fruit et préparer et aplanir le lit d'assise ;
- Poser le gabarit du mur à l'aide de planches et de madrier ou de fils ;
- Disposer les pierres couche par couche et en quinconce d'une couche à l'autre en plaçant les plus grosses pierres au niveau de la fondation ;
- Caler chaque pierre en la mettant en position isostatique en utilisant des pierres de tout calibre ;
- Garnir les vides restants avec des pierres de tout calibre sans perturber l'équilibre obtenu lors du calage ;
- Construire la couronne du mur.



Figure 6 : Construction d'un mur en pierres sèches (Source : Alava et al., 2009)

Test

- Vérifier le bon fonctionnement du système de drainage lors des premières pluies ;
- Vérifier la stabilité de l'ensemble du mur.
- En cas de décalage, reconstruire la partie décalée sans déstabiliser l'ensemble du mur.

Suivi

- Idem au test.

Entretien et maintenance

Les murs de soutènement en pierres ne nécessitent pas d'entretien spécifique. La mise en œuvre doit donc être faite avec grand soin.

Expériences réussies



Figure 7 : Murs de soutènement en pierres, Tiznit Tichka, Maroc (Source : Stabilisation des talus pour la pratique agricole, 2014)

Lieu : Tiznit Tichka, Maroc

Objectifs : Stabilisation des talus pour la pratique agricole

Année de réalisation : 2014

Coût de réalisation : Réalisation par les bénéficiaires

Projet d'Aménagement antiérosif du Bassin Versant de Sidi Driss

Description du projet : Aménagement antiérosif du Bassin Versant de Sidi Driss.

Lieu : Bassin Versant de Sidi Driss

Objectifs :

- Gestion rationnelle des ressources naturelles
- Développement rural avec participation de la population
- Protection des infrastructures hydro- agricoles en aval
- Amélioration des conditions de vie des populations riveraines

Année de réalisation : 1997-2008

Coût de réalisation : 100-200 MAD/m³

Recommandations

- Les murs de soutènement en pierres constituent une technique très efficace et peu coûteuse, pour la préservation des ressources en sol et en eau en zone montagneuse. Cette technique mérite d'être considérée et appuyée, dans le cadre des projets solidaires du pilier II du plan Maroc vert ;
- Pour augmenter le poids volumique de la maçonnerie, il est recommandé de répandre les débris de pierres à chaque couche de pierre afin de combler une partie des vides. On peut ainsi gagner 5 à 20% sur le poids volumique du mur mais cela réduit la capacité drainante du mur.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Alava, C., Augeraud, L., Apavou, S., Bouskela, D., Lenoir C., Peyrard, M., (2009). Murs de soutènement - Comparaison environnementale et financière de différentes technologies
2. Colas, A.S., (2009). Mécanique des murs de soutènement en pierre sèche : Modélisation par le calcul à la et expérimentation échelle 1. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur de l'Ecole Centrale de Lyon

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, M. Sinan, E. H. Berhili

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE
<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

45 Seuil en Gabions

Aménagement des bassins versants - aménagement mécanique

Informations générales

Les seuils en gabions sont des digues en pierres sèches empilés dans des caisses de grillage en métal galvanisé (figure 1), formant de petits barrages implantés transversalement dans le lit des ravins ou des oueds. Ils permettent de réduire la vitesse du ruissellement et de retenir les sédiments transportés.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



+++ : bon; ++ : moyen; + : faible

Conditions d'implantation

- Zones arides et semi-arides ;
- < 500 mm de précipitation ;
- Applicable partout quelle que soit l'occupation du sol ;
- Terres argileuses ou marneuses, terrain peu stables, ravin à forte puissance et charge solide.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Cordons pierreux ;
- Diguettes filtrantes ;
- Haies antiérosives ;
- Fascines ;
- Sacs de sable.



Figure 1 : Seuil en gabions construit, Ourika, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Données techniques

Placement des seuils

Le nombre de seuils dépend essentiellement de la longueur du ravin, de sa pente et de la hauteur effective choisie pour les seuils. Plus la pente est élevée, plus l'écartement entre les seuils est faible et le nombre de seuils élevé.

Ecartement entre les seuils

L'écartement (figure 2), est estimé par la formule de Heede et Mufich (GFA terra system, 2004) :

$$E = H_e / (K \times \sin \alpha)$$

Avec :

- E : écartement en m ;
- H_e : hauteur effective du seuil au niveau du déversoir ;
- α : angle correspondant à la pente du ravin ;
- K : constante (0,3 si $\text{tg} \alpha < 0,20$ et 0,5 si $\text{tg} \alpha \geq 0,20$).

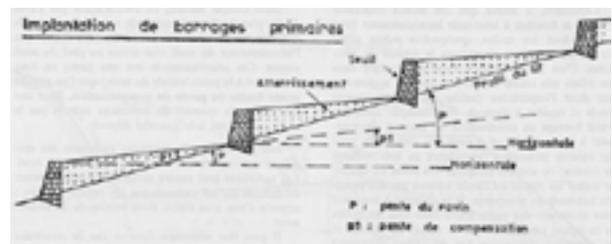


Figure 2 : Succession de seuils (source : GFA terra system, 2004)



Figure 3 : Succession de seuils en gabion à la vallée d'Ourika (Source : Ph. El Hassan Berhili - Mai 2014)

La hauteur des seuils est fonction des profils en travers et en long des ravins (tableau 1)

Type de ravin	Profondeur du ravin (m)	Hauteur du seuil (m)
1er ordre	> 4,5	> 4,5
2ème ordre	2 à 4	2 à 4
3ème ordre	1 à 2	1 à 2
4ème ordre	0,3 à 10	0,5 à 1

Tableau 1 : Hauteur du seuil en fonction du type de ravin (Source : EAU et GFA terra system, 2004)

Les fondations des seuils doivent être solides et avoir une profondeur de 0,5 à 1 m avec un profil en escalier au niveau des ailes pour les encastrer. Les ailes doivent être surélevées près des berges et le déversoir doit avoir des dimensions suffisantes pour éviter le contournement (figure 4).

Il faut également construire un enrochement à la base et en aval du seuil sur au moins 50 cm pour éviter les ruptures dans la structure.

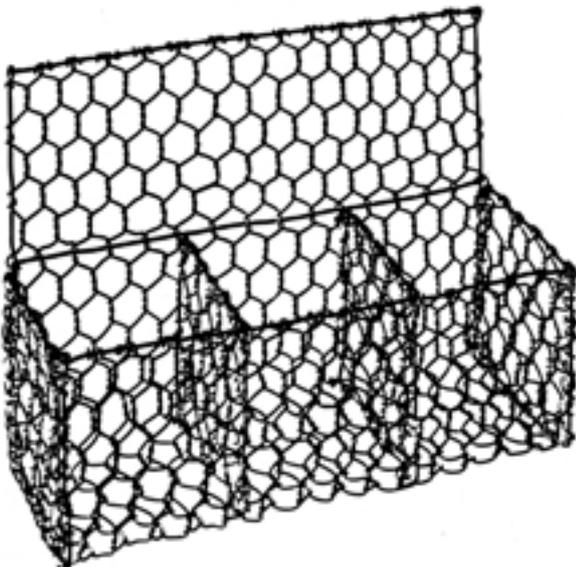


Figure 4 : Exemple de cage métallique de gabion

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'érosion • Mise en œuvre simple et rapide • Modularité de la construction • Stabilité accrue par la flexibilité de la structure • Durée de vie élevée.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation élevé • Besoin en main d'œuvre qualifiée • Dépendance de la structure vis-à-vis de la résistance des fils métalliques • Risque de vandalisme et de destruction des seuils pour valoriser les pierres ou les fils métalliques.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux nécessaires pour la réalisation des seuils en gabions sont :

- Des cages en grillage (figure 3) double torsion de maille 80 * 100 ou 100 * 120 mm et de diamètre 3 mm ;
- Des pierres (non friables et non gélives) de diamètre 1,5 à 2 fois la dimension intérieure de la maille du grillage ;
- Des tirants et ligatures constitués de fil de fer galvanisé n° 17 (diamètre 3 mm).

La réalisation des gabions en pierres coûte 400 à 600 MAD/m³.

Etapas de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (climat, état d'érosion, sols, pente, ...etc.) ;
- Déterminer le nombre et l'emplacement adéquat des seuils en gabions ;
- Concevoir les seuils en gabions.

Exécution

- Délimiter l'emplacement des seuils en gabions et procéder aux constructions en commençant par l'amont ;
- Creuser les tranchées jusqu'à atteindre le rocher sein ou au moins le sol non remanié ;
- Creuser les fondations dans le lit et les berges du ravin en leur donnant une pente de 10% vers l'amont ;
- Rejeter la terre des fondations à l'amont du futur seuil, de façon à créer un atterrissement artificiel ;
- Nivelier le fond de la tranchée ;
- Construire les fondations en plaçant les cages métalliques et en les remplissant par des pierres ;
- Ranger les pierres à la main et les serrer les unes contre les autres. Les parements et les faces extérieures sont édifiés en pierres de plus grandes dimensions ;

- Fixer les cages métalliques du mur du seuil sur celles de la fondation et procéder à leur remplissage en tenant compte du déversoir ;
- Veiller à solidement ligaturer les blocs de gabions entre eux.

Test

- Vérifier, après la première forte pluie, la stabilité du seuil à travers :
 - La disposition des pierres ;
 - La stabilité des ligatures ;
 - La stabilité de l'enrochement.
- Vérifier que le déversoir a une forme suffisante et qu'il n'y a pas de contournement de l'écoulement.

Suivi

- Vérifier après chaque forte pluie la stabilité du seuil et de l'enrochement ;
- Renforcer et compacter la base amont du seuil au besoin pour éviter le sapement ;
- Renforcer et surélever les ailes au besoin pour éviter le phénomène de contournement.

Entretien et maintenance

- Inspecter le seuil après chaque forte pluie ;
- Vérifier l'état des fils de fer des cages métalliques et au niveau des joints et les renforcer au besoin ;
- Inspecter périodiquement la stabilité du seuil par rapport au sapement et au contournement ;
- Vérifier que l'enrochement n'est pas érodé par le phénomène de splash et le renforcer au besoin ;
- En cas de grands dépôts de sédiments en amont du seuil, répandre les sédiments en amont pour soulager le seuil.

Expériences réussies



Figure 5 : Série de seuils en gabions, région d'El Kbab - Maroc (Source :Blali, 2011)



Figure 6 : Seuils en gabions végétalisés, bassin versant de l'Ourika - Maroc (Source : Blali, 2011)

Description du projet :

Aménagement antiérosif du Bassin Versant de Sidi Driss.

Lieu : Bassin Versant de Sidi Driss, Maroc

Objectifs :

- Gestion rationnelle des ressources naturelles ;
- Développement rural avec participation de la population ;
- Protection des infrastructures hydro- agricoles en aval ;
- Amélioration des conditions de vie des populations riveraines ;

Année de réalisation : 1997-2008

Coût de réalisation : 400-600 MAD/m³

Recommandations

- Ne construire les seuils en gabions que si aucune autre technique alternative n'est adaptée à la situation étant donné leur coût de réalisation élevé ;
- Respecter les dimensions calculées en faisant régulièrement des mesures pendant la construction.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. GFA terra system, (2004). Projet d'Aménagement anti-érosif du Bassin Versant de Sidi Driss (PABVSD). Rapport de mission: Référentiel technique des mesures anti-érosives et de gestion de l'eau. HCEFLD, MADR
2. ALI BLALI, (2011). Guide de traitement des ravins à l'usage des acteurs communautaires dans la vallée de l'Agoundiss. HCEFLD
3. Environmental Alternatives Unlimited (EAU) - Rapport des Ravins de Nakhla. Water Resources Sustainability Project (WRS)
4. FAO, (2001). Small dams and weirs in earth and gabion materials

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim,
W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, E. H. Berhili

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

46 Mur de soutènement en gabions

Aménagement des bassins versants - aménagement mécanique

Informations générales

Les murs de soutènement en gabions sont des murs verticaux constitués de pierres empilées dans des cages métalliques (murs poids dont la masse s'oppose aux poussées). Ils permettent de contenir des terres afin de protéger les infrastructures (bâtiments, routes, terrains agricoles, etc.) des éboulements et glissements de terrains, et de structurer les berges.

Possibilités d'utilisation de l'eau collectée



Conditions d'implantation

- Bords des talus ;
- Berges des cours d'eau et des ravins ;
- Talus des terrasses de cultures ;
- Clôture des maisons.

Techniques alternatives

Les techniques applicables dans des conditions similaires et/ou pour les mêmes buts sont :

- Haies antiérosives ;
- Fascines ;
- Barres en pieux (mur de soutènement en bois).

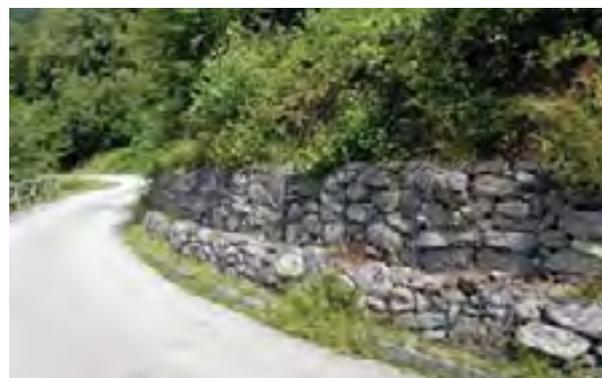


Figure 1 : Mur de soutènement en gabions protégeant la route du talus (Source : Meyer et al. 2011)

Données techniques

Les murs en gabions sont généralement des murs poids qui s'opposent aux efforts générés par le sol par leur poids propre. La mise en œuvre ne nécessite donc pas de fondation et peut être faite directement sur le décaissement.

Il existe deux types de grillage de gabions :

- Les gabions à double torsion, à mailles hexagonales, qui sont obtenus par tissage de fils métalliques de petits diamètres ;
- Les gabions électro-soudés, à maille carrée ou rectangulaire, qui sont obtenus par soudage électrique de barrettes d'acier. Ils ont une meilleure tenue et une très bonne rigidité. Ils sont plus faciles à mettre en œuvre, leur finition est meilleure, plus soignée. De plus, ils sont facilement récupérables et recyclables.



Figure 2 : Gabions à double torsion à gauche et électro-soudés à droite

Le dimensionnement d'un ouvrage de soutènement en gabions prend en compte divers paramètres incluant les caractéristiques intrinsèques des matériaux de remplissage (densité et pourcentage des vides), la résistance des grillages, les caractéristiques intrinsèques des matériaux en place et de remblais arrière, l'existence ou non de fondation et l'éventuelle présence d'une nappe phréatique.

Comme pour tout ouvrage de soutènement on doit considérer le profil en travers et les éventuelles surcharges en tête de mur.

Pour un pré dimensionnement rapide des murs en gabion, dans des conditions classiques, la base est prise égale à H+1 m, le tout divisé par 2. Soit pour un ouvrage de H=5 m, une base de 3 m.

Habituellement on enterre la base de l'ouvrage de 8 à 12 % de la hauteur totale.

Avantages / Inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre l'érosion par sapement et fixation des berges ; • Durée de vie élevée ; • Simplicité et rapidité de construction ; • Flexibilité de l'ouvrage augmentant sa stabilité surtout en terrain argileux ; • Consolidation biologique possible ; • Possibilité de valorisation des berges stabilisées par la plantation d'arbres.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de réalisation élevé ; • Construction sensible en secteur orageux ; • Exposition des gabions au pouvoir abrasif des crues torrentielles ; • sensibilité de l'ensemble de l'ouvrage à la moindre rupture.

Liste des matériaux et coûts

Les matériaux utilisés pour la réalisation des murs de soutènement en gabions sont :

- Le grillage de gabions ;
- Des pierres ayant la plus haute densité possible, de formes homogènes, non évolutives et insensibles au gel ;
- Du béton concassé peut aussi être utilisé. Le tableau 1 présente les éléments de coûts.

Main d'œuvre		Coût de réalisation	
non spécialisé	spécialisé	en régie	en entreprise
4 à 5 hj/m3	1 hj/m3	20 MAD/hj	600 MAD/m3

Tableau 1 : Eléments de coûts de réalisation des murs de soutènement en gabions (Source : GFA terra system, 2004)

Etapes de réalisation

Préalables

- Analyser la situation existante (climats, sols, hydrologie, état d'érosion, sols, pente, géologie) ;
- Concevoir le mur en gabions ;
- Vérifier la disponibilité des pierres dans la zone du projet.

Exécution

- Délimiter l'emplacement du mur en gabions ;
- Creuser une tranchée (50 cm généralement) couvrant toute la largeur du mur ;

- Aplanir le fond de la tranchée ;
- Procéder à la construction du mur. Deux techniques sont possibles :
 - Soit, monter, remplir et fermer les gabions à part puis les disposer à leur place à l'aide d'une grue ;
 - Soit, installer les gabions à leur place finale, puis les remplir de pierres et fermer.
- Assembler les blocs de gabions avec des agrafes en acier ;
- Placer des tirants de renfort (tiges d'acier aux extrémités recourbées) diagonalement entre les différentes faces de la cage pour augmenter la stabilité du mur. Quatre tirants sont placés à 1/3 de la hauteur et quatre autres sur le 1/3 suivant.



Figure 3 : Assemblage des gabions montrant les agrafes à gauche, et les tirants à droite

- Placer un géotextile sur la face amont du mur avant le remblaiement du terrain afin de laisser passer l'eau sans colmater le mur.



Figure 4 : Construction en cours d'un mur de soutènement en gabions

Test

- Vérifier, après la première forte pluie, la stabilité du mur à travers :
 - La disposition des pierres ;
 - La stabilité des joints ;
 - Le déplacement latéral du mur en gabions.

Suivi

- Vérifier après chaque forte pluie la stabilité du mur ;
- Renforcer et compacter la base aval du mur au besoin pour éviter le sapement.

Entretien et maintenance

Le mur en gabion ne nécessite pas d'entretien particulier. Les activités de maintenance peuvent être :

- Le compactage de la base aval pour éviter le sapement ;
- Le remplacement du grillage en cas de rouille (au moins 30 ans après la réalisation) ou d'actions de vandalismes.

Expériences réussies



Figure 5 : Mur de soutènement en gabions protégeant les exploitations agricoles et constructions en amont, Ait Idir, Maroc (Source : GIZ/AGIRE)

Description du projet :

Projet d'assainissement écologique et de gestion des eaux pluviales.

Lieu : Village d'Ait Idir, Province de Tinghir au Maroc

Objectifs : Stabiliser les berges et limiter l'élargissement du ravin

Année de réalisation : 2014

Impact socio-économique : Protection des infrastructures

Impact écologique : Lutte contre l'érosion, les glissements de terrains et structure des berges

Appréciation des usagers : Appréciable

Recommandations

Il faudra préconiser le remplissage in situ des gabions qui est beaucoup plus efficace, ne nécessite pas de grue, et évite le doublage des côtés et des bases.

Références

Les sources suivantes ont été prises en considération :

1. Andreas Meyer, Goran Dušej, Jean-Claude Monney, Herbert Billing, Murielle Mermod, Katja Jucker et Maximilien Bovey, (2011). Notice pratique petites structures – Gabions. KRACH. https://www.unine.ch/files/live/sites/karch/files/Doc_a_telecharger/

[Praxismerkblaetter/Reptilien/Notice_pratique_gabions.pdf](#)

2. ALAVA Camille, AUGERAUD Lucie, APAVOU Sendyl, BOUSKELA Daniel, LENOIR Camille, PEYRARD Marianne, (2009). Murs de soutènement - Comparaison environnementale et financière de différentes technologies
3. GFA terra system, (2004). Projet d'Aménagement anti-érosif du Bassin Versant de Sidi Driss (PABVSD). Rapport de mission : Référentiel technique des mesures anti-érosives et de gestion de l'eau. HCEFLD, MADR

Auteurs : N. E. El Hamoumi, D. L. Wake, J. Naim, W. Klemm, C. Werner, B. El Himdy, M. Sinan

Dernière mise à jour : Octobre 2018

GIZ/Programme AGIRE

<http://www.agire-maroc.org/>

© GIZ/Programme AGIRE

Tout matériel émanant du Programme AGIRE est librement disponible selon le concept open-source pour un développement des connaissances et une utilisation non-lucrative aussi longtemps que les sources d'information utilisées sont convenablement citées. Les utilisateurs devraient toujours mentionner, dans leurs citations, l'auteur, la source et le détenteur des droits.

5

Bibliographie

Dictionnaire de l'eau
Lois, décrets, arrêtés et dahirs
Documentation du programme AGIRE
Rapports d'organismes internationaux
Stratégie Nationale de l'Eau
Stratégies sectorielles



Dictionnaire de l'eau

A

ASSAINISSEMENT : rendre sain ou plus sain. Synonyme : épurer.

ASSAINISSEMENT COLLECTIF : réseau de collecte des eaux usées (et éventuellement des eaux pluviales) établi généralement sur le domaine public vers les dispositifs de traitement collectif (station d'épuration). Le réseau d'assainissement est l'ensemble des ouvrages de collecte, de transport, de stockage éventuel et de traitement des eaux usées et des eaux pluviales.

ASSAINISSEMENT NON COLLECTIF (OU AUTONOME) : système de collecte et de traitement individuel des eaux usées, établi généralement sur le domaine privé, à proximité de l'immeuble desservi.

AVAL : côté vers lequel va un réseau ou un cours d'eau.

AVALOIR : bouche d'égout (généralement à grille) qui reçoit les eaux de ruissellement des caniveaux.

B

BALMES : collines de Lyon dont le sous-sol est composé de nombreuses galeries souterraines. Pentes d'une colline.

BARRAGE : obstacle naturel ou construction empêchant l'écoulement total ou partiel des eaux, créant ainsi une réserve en amont.

BASSIN D'INFILTRATION : bassin perméable dans lequel l'eau est déversée et d'où elle percole dans le sol. Utilisé en assainissement pour réinfiltrer les eaux pluviales.

BASSIN DE DÉCANTATION : bassin destiné au traitement de l'eau au fond duquel les matières en suspension se déposent. L'eau ressort plus claire. Principalement utilisé pour l'eau potable, les eaux pluviales et les eaux usées. Le passage des eaux usées dans un bassin de décantation permet d'éliminer 60 % des matières en

suspension ainsi que 30 % des matières organiques.

BASSIN DE RÉTENTION : bassin de stockage de l'eau de pluie avant son rejet vers le milieu naturel ou le réseau d'assainissement. Ce dispositif permet de réguler le débit de rejet et d'écarter les crues. Il s'agit dans ce cas d'un dispositif de lutte contre les inondations.

BASSIN VERSANT : territoire dont les eaux de ruissellement vont se concentrer dans un ensemble de cours d'eau ou d'égouts qui les acheminent vers un point appelé exutoire : cours d'eau, lac, mer (ou station d'épuration).

BRANCHEMENT PARTICULIER (B.P.) : partie d'ouvrage qui raccorde une habitation à l'égout public.

C

CANALISATION : tuyau, conduite.

CHAUSSÉE POREUSE : technique alternative à l'assainissement pluvial traditionnel. Comme son nom l'indique, elle absorbe les eaux pluviales de ruissellement, ce qui diminue les risques d'inondation et permet d'assurer une meilleure gestion des écoulements, une plus grande sécurité des automobilistes (chaussée moins glissante), mais aussi de réduire les bruits de la circulation. La rue de l'Industrie, à Craponne, a été réalisée selon cette technique, en 1993. C'est la première réalisation du genre sur le territoire du Grand Lyon. Depuis, deux autres sites ont été aménagés. Comme pour le premier chantier, la Communauté urbaine a piloté les travaux.

CIRCULATION GRAVITAIRE : en utilisant le poids de l'eau, donc la force de gravité terrestre, on fait circuler l'eau vers un point bas.

CLAPET ANTI-RETOUR : dispositif évitant le retour d'eau dans les réseaux.

COLLECTEUR : égout recevant les canalisations des branchements

appartenant aux particuliers. Peut être de différents diamètres et de différentes formes.

CONFLUENT : lieu où deux cours d'eau se réunissent. Le confluent du Rhône et de la Saône se situe au pont de la Mulatière.

COURS D'EAU : écoulement continu d'eau courante (ruisseau, torrent, rivière, fleuve...).

CRUE : élévation du niveau d'un cours d'eau due à la fonte des neiges ou à des pluies abondantes.

CYCLE DE L'EAU : l'eau tombe du ciel, mais tout recommence ! Dès le XVIII^e siècle, l'homme a compris que l'eau effectuait un cycle, des nuages à la terre en passant par les milieux aquatiques et la mer. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'eau ne suit pas un circuit permanent, mais emprunte de multiples chemins qui s'enchaînent et se ramifient selon le relief et la température. C'est pourquoi la ressource en eau n'est pas distribuée de la même façon dans toutes les régions. D'autres facteurs interviennent : les activités humaines. L'homme prélève l'eau pour sa consommation et la rejette après dépollution.

CYCLE URBAIN DE L'EAU : il s'agit du trajet de l'eau en ville. Dans notre agglomération, l'eau est captée dans la nappe alluviale du Rhône, en amont de Lyon. Elle est ensuite distribuée par des canalisations jusqu'aux robinets, puis évacuée dans les égouts et les stations d'épuration avant d'être rejetée dans le Rhône, en aval de l'agglomération.

D

DÉBIT : quantité d'eau qui s'écoule pendant un temps donné. Il se mesure en litre par seconde (l/s) ou en mètre cube par heure (m³/h).

DÉBIT DE TEMPS SEC : quantité d'eau qui s'écoule dans un égout pendant un temps donné, durant une période sans pluie.

DÉCANTATION : action de laisser reposer un liquide pour le séparer des matières solides qu'il contient en suspension.

DBO (DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGÈNE) : mesure de la consommation naturelle d'oxygène dissous dans l'eau. La DBO5 est la mesure de la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes pour dégrader les matières biodégradables pendant 5 jours.

DCO (DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE) : la DCO est la mesure de la quantité d'oxygène apportée par un réactif chimique pour oxyder toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables.

DIMENSIONNEMENT : détermination de la taille d'un ouvrage afin de lui permettre d'être opérationnel dans les conditions fixées par l'étude.
DRAINER : faciliter l'écoulement de l'eau dans un sol trop humide au moyen de dispositifs enterrés. Dans la nature, le sol, son relief et sa végétation permettent le drainage des eaux de ruissellement.

E

EAU : substance liquide et incolore, sans saveur à l'état pur, la plus répandue sur notre globe où elle constitue l'hydrosphère. Sur notre planète, l'eau existe sous trois formes : état gazeux, état liquide, état solide. À l'état liquide, elle peut atteindre des températures de 0° C à 100° C. Elle s'écoule alors facilement. En dessous de 0° C, elle se solidifie et se transforme en glace. À 100° C, elle se met à bouillir et se vaporise. Pour en savoir plus sur sa composition chimique, voir la définition de H₂O.

EAU POTABLE : une eau potable est considérée comme telle lorsqu'elle peut être bue par l'homme sans nuire à sa santé. Le concept de « potabilité » varie dans le monde. En France, elle répond

à des critères très précis. À Lyon, l'eau potable, pompée dans le sol, est naturellement d'excellente qualité.

EAU DE SOURCE : eau potable à l'état naturel qui provient d'une source clairement localisée.

Eaux PLUVIALES : eaux résultant des pluies auxquelles on assimile les eaux en provenance de l'arrosage des jardins, des cours d'immeuble et du lavage des voies. Ne pas confondre avec eaux fluviales (des fleuves).

Eaux DE RUISSELLEMENT : ce sont les eaux pluviales de surface, qui coulent sur une pente. Durant leur trajet, elles lessivent les sols, entraînent les polluants (flaques d'huile ou d'essence, pesticides...), et constituent un facteur d'érosion important.

Eaux USÉES : ce sont les eaux chargées de matières polluantes rejetées par les particuliers ou les industriels. Elles sont conduites et traitées dans des systèmes d'épuration collectifs ou individuels. On distingue les eaux usées domestiques (eau ménagères et eaux-vannes) des eaux usées industrielles.

Eaux MÉNAGÈRES : eaux en provenance des appareils sanitaires (lessive, cuisine, salle d'eau...), à l'exclusion des WC.

Eaux-VANNES : eaux en provenance des WC. Elles contiennent urines et matières fécales.

ÉCOLOGIE : science qui étudie la relation des êtres vivants, entre eux et avec leur milieu.

ÉCOSYSTÈME : ensemble des êtres vivants dont la vie est inféodée à un milieu donné. Un écosystème aquatique est constitué par la nature du fond et des berges, la qualité et la quantité d'eau, les végétaux et les animaux.

ÉGOUT : canalisation souterraine permettant d'évacuer les eaux usées et pluviales. On distingue

les égouts séparatifs et les égouts unitaires (pour en savoir plus, voir les définitions ci-dessous).

ÉGOUTS SÉPARATIFS : il y a deux canalisations pour évacuer, d'un côté, les eaux usées, et de l'autre, les eaux pluviales (qui n'ont pas les mêmes charges polluantes que les eaux usées). Les eaux usées sont dépolluées en station d'épuration. Avant d'être rejetée dans le milieu naturel, une partie des eaux pluviales séjournent dans des bassins de décantation. Le reste va directement dans le milieu naturel.

ÉGOUTS UNITAIRES : il n'y a qu'une canalisation pour les eaux usées et les eaux pluviales. C'est le cas pour 80 % du réseau de l'agglomération lyonnaise.

ÉPURATION : action de dépolluer l'eau sans la rendre potable, mais en la laissant suffisamment propre pour qu'une auto-épuration puisse se faire dans le milieu naturel. L'eau retrouve alors son état de pureté originelle.

ÉQUIVALENT-HABITANT (ÉQH) : unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. Elle se base sur la quantité de pollution émise par personne et par jour.

ÉTIAGE : en hydrologie, l'étiage correspond statistiquement à la période de l'année (étiage d'hiver, étiage d'été...) où le débit d'un cours d'eau atteint son point le plus bas (basses eaux).

EUTROPHISATION : croissance excessive des algues dans l'eau. Ce phénomène est naturel, mais s'accélère sous l'influence des activités humaines, notamment de l'agriculture. Cela se manifeste par la prolifération d'algues vertes, grandes consommatrices d'oxygène. Elles finissent par asphyxier les organismes vivants qui, eux aussi, ont besoin d'oxygène. Un autre problème se pose : par leur grand nombre, les algues empêchent les rayons du soleil de pénétrer dans l'eau, ce qui nuit au développement de la vie aquatique. Ce phénomène,

Dictionnaire de l'eau

plus fréquent l'été, s'observe aussi bien en eau douce qu'en mer, le long des plages.

ÉVAPORATION : transformation de l'eau en vapeur, sous l'influence de la chaleur.

ÉVAPOTRANSPIRATION : émission de vapeur d'eau (rosée) par les feuilles des plantes ou des arbres (transpiration), mais aussi par la surface du sol (évaporation).

EXUTOIRE : ouvrage permettant de rejeter l'eau dans le milieu naturel.

F

FOSSE SCEPTIQUE : dans le cas d'un assainissement autonome, réservoir fermé de décantation dans lequel les boues décantées sont en contact direct avec les eaux usées traversant l'ouvrage. Les matières organiques solides y sont décomposées par voie bactérienne anaérobie (bactéries pouvant vivre sans oxygène).

G

GOUTTE : très petite quantité d'eau de forme arrondie qui se forme par condensation ou par ruissellement. Taille moyenne d'une goutte d'eau : 3 à 4 mm.

H

H₂O : formule chimique de l'eau : 2 atomes d'hydrogène pour 1 atome d'oxygène.

HYDRAULIQUE : branche de la mécanique des fluides qui traite des liquides, notamment de l'eau.

I

IMPACT ÉCOLOGIQUE : conséquence d'une atteinte à l'environnement. Les rejets d'eau pluviales ou d'eaux usés, directement dans le milieu naturel, sans aucune précaution, peuvent avoir des conséquences importantes.

INFILTRATION : passage lent

d'un liquide à travers un corps solide poreux, comme le sol.

INTENSITÉ DE PLUIE : quantité de pluie tombée pendant un temps donné. La mesure s'effectue avec un pluviomètre.

L

LESSIVAGE (DES SOLS AGRICOLES) : entraînement par les eaux de pluie de substances solubles provenant des engrais ou des pesticides. Ces produits peuvent ainsi aboutir dans les nappes phréatiques et les polluer.

LIMITATEUR DE DÉBIT : dispositif permettant de réguler le débit en sortie d'un ouvrage de stockage.

M

MATIÈRES EN SUSPENSION (M.E.S.) : ensemble des matières solides non dissoutes.

MATIÈRES MINÉRALES : par opposition aux matières organiques qui évoluent dans le temps, les matières minérales sont stables biologiquement. C'est le cas du sable par exemple.

MATIÈRES ORGANIQUES : matières biodégradables caractéristiques des organismes vivants (plantes, animaux). Les déjections sont des matières organiques.

MILIEU RÉCEPTEUR OU MILIEU NATUREL : lieu où sont déversées les eaux épurées ou non. Il peut s'agir d'une rivière, d'un lac, d'un étang, d'une nappe phréatique ou encore de la mer.

N

NAPPES PHRÉATIQUES : nappes d'eaux souterraines formées par l'infiltration des eaux de pluie et des nappes d'accompagnement des cours d'eau. Elles alimentent les sources et les puits. La pureté de ces eaux est due à la filtration naturelle par les roches poreuses et les sables. La nappe est dite « libre », lorsqu'elle est

directement alimentée par les précipitations qui s'infiltrent depuis la surface du sol. Elle est dite « captive » lorsqu'une couche de terrain imperméable la sépare de la surface.

NITRATES : d'un point de vue chimique, les nitrates sont le résultat final de l'oxydation de l'azote. C'est la principale source nutritive des végétaux. À de fortes concentrations, c'est aussi un polluant qui provient essentiellement de l'utilisation des engrais agricoles.

NUISANCES : conséquences néfastes sur la vie animale et végétale, suite à un dépassement d'un seuil de pollution (odeur, bruit, produit toxique...).

O

ORAGE : perturbation atmosphérique violente pouvant apporter de très grande quantité d'eau de pluie en un minimum de temps.

OXYGÈNE : molécule indispensable à la vie. Elle intervient dans la composition de l'eau (H₂O) et de l'air (O₂). Elle représente le cinquième de l'atmosphère.

P

PERCOLATION : pénétration lente des eaux de pluie dans le sol.

PENTE : pourcentage d'inclinaison. Se calcule en mesurant la différence d'altitude entre 2 points séparés par une distance connue.

PIÉZOMÈTRE : tube foré dans le sol atteignant la nappe phréatique et permettant de mesurer son niveau.

PÉRIODE DE RETOUR : notion de probabilité de retour d'événement difficile à définir. Une pluie de période de 10 ans aura une probabilité d'être observée dans l'année de 1/10 = 0.1. C'est comme une loterie ! Vos numéros fétiches peuvent sortir 2 fois de suite... ou jamais !

PLUVIOMÈTRE : instrument servant à mesurer la quantité d'eau de pluie tombée dans un lieu donné. Le Grand Lyon compte 30 pluviomètres répartis sur le territoire communautaire. Les données recueillies permettent de mieux dimensionner les ouvrages.

POLLUTION : déséquilibre d'un milieu par la présence d'éléments plus ou moins nuisibles. Il existe différentes formes de pollutions : chimiques (pesticides et autres produits toxiques), organiques (déjections, micro-organismes), thermiques (eau chaude)... Toutes ne sont pas le fait de l'activité humaine. Certaines substances peuvent être présente naturellement dans le milieu. Au-delà d'un certain seuil, la pollution devient une nuisance pour l'homme, la faune et la flore.

POMPAGE : action d'élever un liquide (à l'aide d'une pompe) à un niveau supérieur.

PUIT : dispositif d'accès à l'eau d'une nappe phréatique (artésien si la nappe est sous pression).

PUITS PERDU : ancien puits servant au captage d'eau transformé en ouvrage de rejet. Les eaux rejetées, pluviales ou usées, sont directement en contact avec l'eau de la nappe phréatique. Ce type d'ouvrage est interdit.

PUITS D'INFILTRATION : ouvrage permettant le rejet d'eaux pluviales dans une couche de terrain perméable non saturé par l'eau de la nappe phréatique. Cette couche de terrain est indispensable pour filtrer et développer les bactéries épuratrices de l'eau. Elle doit être de 2 m au minimum.

R

RÉGIME D'ÉCOULEMENT DU FLEUVE : il est caractérisé par les variations de son débit. Durant les périodes de hautes eaux maximales, le fleuve est en crue. Durant les périodes où les eaux sont les plus basses, il est à

l'étiage.

REJET : renvoi d'eau dans le milieu naturel (mer, lac, rivière, nappe...). Lorsque les caractéristiques de l'eau rejetée (quantité, propreté) respectent les normes et autorisations, on considère qu'ils sont conformes.

RENDEMENT D'UN OUVRAGE : il est caractérisé par son efficacité. L'ouvrage en question peut être une pompe, une station d'épuration ou encore un réseau de canalisations.

RÉSEAU : ensemble des canalisations ou conduites reliées entre elles de manière ramifiée ou maillée. Le réseau du Grand Lyon compte 2 800 km d'égouts. Le réseau d'eau potable a 3 600 km de canalisations.

RIGOLE : caniveau.

RUISSELLEMENTS : écoulements instantanés et temporaires d'eau, à la suite de précipitations.

S

SAUMÂTRE : se dit des milieux où l'eau douce et l'eau de mer se mélangent, par exemple l'estuaire.

SIPHON : conduite (ou ensemble de conduites) permettant de faire passer des eaux sous un obstacle.

STATION D'ÉPURATION OU USINE DE DÉPOLLUTION : équipement d'assainissement des eaux usées ou des eaux pluviales. Les eaux subissent d'abord un traitement mécanique, appelé « prétraitement » ou « traitement primaire », qui consiste à éliminer les particules en suspension par filtrage (dégrillage), décantation, dessablage. Cette phase débarrasse les eaux des huiles (désuilage) éventuellement présentes. Elles subissent ensuite un second traitement (traitement secondaire). Ce dernier peut être chimique. Dans ce cas, les substances dissoutes sont éliminées par précipitation. Il peut être également biologique : les matières organiques biodégradables sont digérées par des bactéries. Pour information,

la communauté urbaine de Lyon en possède 8 (une autre est en projet).

STOCKAGE : mise en réserve temporaire d'eau.

T

THALWEG ou TALWEG : ligne joignant les points les plus bas d'une vallée où se concentrent les eaux d'un bassin versant.

TURBIDITÉ : qualité d'une eau plus ou moins trouble (turbide). Plus la turbidité est forte, moins elle est pure.

V

VANNE : dispositif permettant de régler l'écoulement d'un fluide. Existe sur les réseaux d'eau et d'assainissement.

Bibliographie

Une centaine de publications a été revue pour les besoins de ce catalogue. La présente liste énumère les plus pertinentes et utiles pour nos besoins :

- La collecte de l'eau, Directives pour de bonnes pratiques, FIDA, Rome, 2013 ;
- Guide de gestion des eaux pluviales : Stratégies d'aménagement, principe de conception et pratiques de gestion optimale pour les réseaux de drainage en milieu urbain, Le Ministère de Développement durable, Environnement, Faunes et parcs, Québec, 2012 ;
- La pratique de la gestion durable des terres, WOCAT, Bern, 2011 ;
- Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc, IRD Editions, Marseille, 2010 ;
- Stratégie Nationale de Développement du Secteur de l'Eau – Note de Synthèse, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Rabat, 2010 ;
- Guidelines on Spate Irrigation, I&D Paper 65, FAO, Rome, 2010 ;
- Le Plan Maroc Vert, Ministère de l'Agriculture et des Pêches Maritimes, Rabat, 2009 ;
- Profile fourrager au Maroc, O. Berkat, M. Tazi, J.M. Suttie et S.G. Reynolds, Rabat, 2004.

Lois, décrets, arrêtés et dahirs

- La loi n°36-15 sur l'eau promulguée par le dahir n° 1-16-113 du 6 kaada 1437 (10 août 2016) chapitre IV mise en valeur et utilisation des eaux de pluie article 62 et 63 ;
- Dahir n° 1-02-297- du 25 reheb 1483 portant promulgation de la loi n° 78-00 portant la charte communale. (B.O du 21 novembre 2002) article 39 ;
- La loi n° 10-95 sur l'eau promulguée par le dahir n°1-95-154 du 24 rabii I 1416 (16 août 1995) ;
- Décret n° 2-97-414 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif aux modalités de recouvrement de la redevance pour utilisation de l'eau du domaine public hydraulique ;
- Décret n° 2-83-752 du 7 jourmada I 1405 (29 janvier 1985) réglementant les encouragements de l'Etat en vue de l'aménagement hydroagricole et des améliorations foncières des propriétés agricoles tel qu'il est modifié et complété par le décret n° 2-93-82 du 13 kaada 1413 (5 mai 1993) ;
- Plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) de tous les bassins hydrauliques ;
- Décret n° 2-05-1534 du 24 novembre 2005 relatif aux conditions et modalités d'élaboration et de révision des plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau et du plan national de l'eau ;
- Décret n° 2-97-223 du 21 jourmada II 1418 (24 octobre 1997) relatif à la procédure d'élaboration et de révision des plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eaux et du plan national de l'eau ;
- Décret n° 2-97-488 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif à la composition et au fonctionnement des commissions préfectorales et provinciales de l'eau ;
- La note circulaire sur la prévention des risques d'inondation ;
- Décret n° 2-97-787 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif aux normes de qualité des eaux et à l'inventaire du degré de pollution des eaux ;
- Arrêté du ministre de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement n° 2028-03 du 10 ramadan 1424 (5 novembre 2003) fixant les normes de qualité des eaux piscicoles ;
- Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1275-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) définissant la grille de qualité des eaux de surface ;
- Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1276-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ;
- Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1277-01 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) portant fixation des normes de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable ;
- Dahir n° 1-99-174 du 16 rabii I 1420 (30 juin 1999) portant promulgation de la loi n° 19-98 modifiant et complétant la loi n° 10-95 sur l'eau ;
- Décret n° 2-00-474 du 17 chaabane 1421 (14 novembre 2000) fixant la procédure de reconnaissance de droits acquis sur le domaine public hydraulique ;
- Décret n° 2-04-553 du 13 hija 1425 (24 janvier 2005) relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux superficielles ou souterraines ;
- Décret n° 2-97-178 du 21 jourmada II 1418 (24 octobre 1997) fixant la procédure de déclaration pour la tenue à jour de l'inventaire des ressources en eau prévue par l'article 92 ;
- Décret n° 2-97-224 du 21 jourmada II 1418 (24 octobre 1997) fixant les conditions d'accumulation artificielle des eaux ;
- Décret n° 2-97-414 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif aux modalités de fixation et de recouvrement de la redevance pour utilisation de l'eau du domaine public hydraulique ;
- Décret n° 2-97-487 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) fixant la procédure d'octroi des autorisations et des concessions relatives au domaine public hydraulique ;
- Décret n° 2-97-657 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif à la délimitation des zones de protection et des périmètres de sauvegarde et d'interdiction ;
- Décret n° 2-97-875 du 6 chaoual 1418 (4 février 1998) relatif à l'utilisation des eaux usées ;
- Arrêté conjoint du ministre des finances, du commerce, de l'industrie et de l'artisanat, du ministre de l'agriculture, de l'équipement et de l'environnement et du ministre du transport et de la marine marchande, du tourisme, de l'énergie et des mines n° 520-98 du 12 mars 1998 relatif aux redevances d'utilisation de l'eau du domaine public hydraulique pour la production de l'énergie hydroélectrique ;
- Arrêté conjoint du ministre de l'économie et des finances, du ministre de l'équipement et du ministre de l'agriculture,

- du développement rural et des pêches maritimes n° 548-98 du 27 rabii II 1419 (21 août 1998) relatif aux redevances d'utilisation de l'eau du domaine public hydraulique pour l'irrigation ;
- Arrêté du ministre de l'équipement n° 1556-02 du 10 chaabane 1423 (17 octobre 2002) relatif à la fixation du seuil de creusement de puits, de réalisation des forages et de prélèvement d'eau souterraine à l'intérieur de la zone d'action de l'Agence du bassin hydraulique du Tensift ;
- Arrêté du ministre de l'équipement n°1648-00 du 20 chaabane 1421 (17 novembre 2000) relatif à la fixation du seuil de prélèvement d'eau dans la nappe souterraine à l'extérieur des zones d'action des agences de bassins hydrauliques ;
- 2000) relatif à la fixation du seuil de creusement de puits et de réalisation des forages à l'extérieur des zones d'action des agences de bassins hydrauliques ;
- Arrêté conjoint du ministre de l'intérieur, du ministre des finances et de la privatisation et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement n° 2283- 03 du 29 chaoual 1424 (24 décembre 2003) relatif aux redevances d'utilisation de l'eau du domaine public hydraulique pour l'approvisionnement en eau des populations ;
- Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1443-02 du 3 chaabane 1423 (10 octobre 2002) portant fixation des termes de référence de l'étude des répercussions sur le domaine public hydraulique.

Documentation du programme AGIRE

- AGIRE : Elaboration et mise en œuvre d'un contrat de nappe ABHOER (23/06/2011, Werner, van Tilborg, Eickhof) ;
- AGIRE : Etude du régime juridique et fiscal des ABHs (15/07/2010 Chaouni et El Krimi) ;
- AGIRE : Mise en place d'un système de contrôle de gestion et d'évaluation des performances des ABH - atelier inter ABH- Décembre 2009 -présentation ;
- AGIRE : Plan d'action pour la mise en place d'un système d'information, de gestion et de contrôle interne - atelier inter ABH- Décembre 2010 – présentation ;
- AGIRE : Organigramme Type des ABH.

Rapports d'organismes internationaux

- La collecte de l'eau : Directives pour de bonnes pratiques, IFAD, Rome, 2013 ;
- Guide de gestion des eaux pluviales : Stratégies d'aménagement, principe de conception et pratiques de gestion optimale pour les réseaux de drainage en milieu urbain, Le Ministère de Développement durable, Environnement, Faunes et parcs, Québec, 2012 ;
- La pratique de la gestion durable des terres, WOCAT 2011 ;
- Guidelines on Spate Irrigation, I&D Paper 65, FAO, Rome, 2010 ;
- GW-MATE (2002-2006) :Groundwater Dimensions of National Water Resource and River
- Basin Planning - Promoting an integrated strategy, Briefing Note Series, Note 10 ;
- InWENT (2004-2009) : Water Dialogues in the MENA Region – Experiences on Water Conflict Resolution, Case Studies from Mnasra (Morocco), Azraq (Jordan), Cap Bon (Tunisia) ;
- World Bank (2002) : Managing the Invisible – Understanding and Improving Groundwater Governance.

Stratégie Nationale de l'Eau

- Royaume du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement 2011 : Stratégie Nationale de l'Eau (ppt) ;
- Royaume du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement – Département de l'Eau, 2010 : Stratégie Nationale de Développement du Secteur de l'Eau – Note de Synthèse ;
- Royaume du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement – Département de l'Eau : Présentation Extraits généraux de la loi sur l'eau ;
- Royaume du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement – Département de l'Eau, 2009 : Liste des UGP et des chefs d'équipe ;
- Royaume du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement – Département de l'Eau : Mise en œuvre de la SNE ;
- Royaume du Maroc, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement – Département de l'Eau, 2009 : Stratégie Nationale de Développement du Secteur de l'Eau et Conventions Cadre de partenariat avec les régions.

Stratégies sectorielles

- Royaume du Maroc, Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement – Département de l'Eau, 04/01/2012 : Stratégie nationale adaptation au changement climatique ;
- Royaume du Maroc, Ministère de l'Agriculture et des Pêches Maritimes, 05/2009 : Plan Maroc Vert ;
- Royaume du Maroc, Ministère de l'Agriculture et des Pêches Maritimes, Département de la Pêche maritime, 06/2009 : La pêche maritime au Maroc : une nouvelle stratégie pour un secteur à fort potentiel de développement ;
- Royaume du Maroc, Département du Tourisme, Direction de la Réglementation du Développement et de la Qualité, 18/01/2010 : Optimisation de la gestion de l'eau dans le secteur touristique ;
- Royaume du Maroc, Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Eau et de l'Environnement, Département de l'Energie et des Mines, 09/2010 : La nouvelle stratégie énergétique nationale.

