



Mis en œuvre par

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

En collaboration avec



Ministère de l'Agriculture,
des Ressources Hydrauliques
et de la Pêche

Protection et réhabilitations des sols dégradés en Tunisie (ProSol)

Les bonnes pratiques de la gestion durable des terres agricoles (GDTA)-ProSol

Octobre 2022



2



Avant propos	5
--------------	---

1^{ère}

Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention Physique	9
Murettes en pierre sèche	11
Tabias	19
Cuvettes individuelles	27
Banquette mécanique	33
Déviation des cuves	41

2^{ème}

Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention agronomique ou de végétalisation	47
Confection de banquette avec des haies de vétiver	49
Agriculture de conservation	57
Haies, clôtures vives et bosquets	67
Stabilisation des ravines dans les parcelles cultivées	75
L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées	81

3^{ème}

Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention Mixte	89
Compost	91
Façons culturales antiérosives	99
Les cordons en pierres sèches	109
Stabilisation des ravins hors du parcelle cultivée	117
Techniques améliorées de végétalisation pérenne	125



4





Avant-propos

Pourquoi des fiches des bonnes pratiques agricoles ?

La notion du développement durable évolue rapidement et s'avère fort complexe ; L'épuisement des ressources naturelles est devenu un enjeu majeur pour la société dans son ensemble. Un réel consensus croissant est en vigueur afin d'essayer de maintenir un environnement écologiquement durable et équilibré. Une solution profonde à ce problème est d'exploiter et d'explorer les pratiques du développement durable. Il est donc essentiel de sensibiliser à un avenir plus durable. En revanche de nombreux débats et études ont lieu mettant l'accent sur la responsabilité de tous citoyens quant aux problèmes de dégradation des sols, à la pénurie d'eau, aux changements climatique, etc...,

En Tunisie, la dégradation croissante des sols et de leurs fonctions écologiques constitue une problématique majeure dans la mise en valeur des terres agricoles, lié à une mauvaise gestion et surexploitation de cette ressource. Les conséquences incluent la réduction de la fertilité des sols, la dégradation chimique, le compactage, l'érosion éolienne et hydrique, la salinisation, la réduction de la capacité de rétention d'eau et le déclin de la flore et de la faune du sol. Ceci est accentué par le morcellement des terres, et le nonaccès au foncier. La situation est aggravée par les facteurs climatiques dont les manifestations majeures sont entre autres : les sécheresses répétitives et la multiplication des pluies torrentielles. En plus, le cadre institutionnel et économique n'encourage pas l'innovation et l'investissement dans la gestion durable des terres.

Cela se traduit concrètement par une baisse de la productivité des sols, de sorte que les surfaces agricoles fertiles ne cessent de diminuer. Or, dans le même temps, le nombre de personnes à nourrir augmente.

Parmi les difficultés soulevées dans la mise en œuvre des mesures techniques sur terrain, selon la stratégie ACTA, il y a une faiblesse de point de vue application des techniques, retour d'expérience et partage de savoir sur la mise en œuvre des pratiques de protection des sols, leur efficacité, efficacité et impacts. Dans ce cadre une mission sur l'identification des bonnes pratiques de gestion durable des terres agricoles a été lancée.

Cette mission s'intègre dans le cadre de l'assistance appui-technique pour la mise en œuvre de la stratégie ACTA¹ et fait partie du champ d'action 1 du projet « mise en œuvre des mesures de protection et réhabilitation des sols au centre ouest et au nord-ouest de la Tunisie » du projet ProSol² en Tunisie. Elle a porté sur le recueil des connaissances disponibles en vue d'identifier les bonnes pratiques éprouvées de la Gestion Durable des Terres agricoles (GDT). La nécessité de cette mission est clairement marquée par la multitude d'informations spécifiques diverses sur les actions et les mesures prometteuses développées pour la restauration, amélioration et maintien de la fertilité des sols ainsi qu'améliorer et diffuser les bonnes pratiques dans les zones d'intervention du projet ProSol. Quinze bonnes pratiques ont été sélectionnées et qui sont présentées dans ce guide.

1. La Nouvelle stratégie ACTA pour l'Aménagement et la Conservation des Terres Agricoles s'inscrit dans la planification nationale des ressources naturelles à l'horizon de 2050 en harmonie avec la stratégie Eau 2050 et elle intègre l'adaptation au changement climatique.
2. Le projet ProSol « Protection et réhabilitation des sols dégradés en Tunisie » a démarré en septembre 2019. Il travaille sous tutelle avec le ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime et des Ressources Hydrauliques (MAPMRH) représenté par la Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles (DGACTA).



Les fiches bonnes pratiques agricoles : comment elles étaient établies ?

La sélection des pratiques agricoles ayant un objectif d'intervention durable ainsi que l'élaboration des fiches relatives à ces pratiques a vu le jour suite à une approche méthodologique et un système d'analyse multicritère avec des paramètres bien définis (basés sur les principes agroécologique, contribution à l'augmentation de l'approvisionnement de l'eau in situ et de la fertilité, potentiel d'augmenter la production des filières présélectionnés, ratio coûts/bénéfices pour l'agriculteur, besoins d'une amélioration de la situation foncière, etc.) pour orienter l'identification des bonnes pratiques.

Le processus de l'élaboration de ce guide rassemblant les fiches des bonnes pratiques a passé par les étapes suivantes :

- Une identification et une analyse des revues des bonnes pratiques
- Une validation des pratiques selon les aspects favorisant la mise à échelle dans les zones d'intervention du ProSol (centre-ouest et nord-ouest) et l'identification des modalités de diffusion de ces connaissances
- Des entretiens avec les personnes ressources afin de discuter sur les bonnes pratiques agricoles, les opportunités et les limites pour une diffusion de ces pratiques à grande échelle en Tunisie.
- Une identification et la structuration des bonnes pratiques
- Une organisation d'un atelier national de validation avec les différentes parties prenantes afin de concevoir des pistes d'amélioration et de mise à échelle ;

Quelles bonnes pratiques ont été illustrées dans ce guide ?

Première Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention Physique

Ce sont des ouvrages qui nécessitent un aménagement physique pour leur mise en place.

- Murettes en pierre sèche
- Tabias
- cuvettes individuelles
- Banquette mécanique
- Déviation des cuves

Deuxième Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention agronomique ou de végétalisation

Ce sont les techniques agronomiques qui sont basées sur une intervention de végétation, de plantation et de boisement.

- Confection de banquette avec des haies de vétiver
- Agriculture de conservation
- Haies, clôtures vives et bosquets
- Stabilisation des ravines dans les parcelles cultivées
- L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées



Troisième Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention Mixte

- Compost
- Façons culturales antiérosives
- Les cordons en pierres sèches
- Stabilisation des ravins hors du parcelle cultivée
- Techniques améliorées de végétalisation pérenne

Quelles informations fournissent ce guide ?

Ce guide est composé de quinze fiches descriptives des bonnes pratiques. Chaque bonne pratique contient les sections suivantes :

1. Description de la pratique
2. Effets physiques visés par la pratique
3. Détails techniques (y compris des recommandations d'amélioration)
4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation
5. Avantages/impacts « hors exploitation »
6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients
7. Coûts et bénéfices
8. Recommandations pour la mise à l'échelle

Ce guide, pour qui ?

Les fiches techniques des BP seront utilisées comme référentiel par les formateurs/les multiplicateurs et les partenaires clés pour la promotion, la diffusion et l'accompagnement de mise en œuvre de ces BP. Les fiches sont ainsi conçues pour les acteurs les plus directement concernés par la promotion de l'adoption effective, sur le terrain, des BP :

- Décideurs sectoriels aux différents niveaux (central, régional ...) ;
- Techniciens de terrain en charge de la sensibilisation, l'information, la vulgarisation et l'accompagnement des agriculteurs ainsi que du suivi des travaux.

Conclusion :

Pour contribuer à l'amélioration de la fertilité et l'augmentation des rendements des terres, l'agriculteur doit avoir la capacité d'agir en adaptant ses pratiques usuelles avec des bonnes pratiques agricoles de manière à assurer une agriculture durable.

Le projet ProSol a choisi une approche participative, multi-échelle et multi-acteurs dans le but de la mise en œuvre sur terrain de ces pratiques agricoles.

La collaboration du projet ProSol (DGA/ACTA/GIZ) avec les partenaires nationaux à savoir *l'institut national des grandes cultures (INGC), le centre national de recherche agricole dans les zones arides (ICARDA), l'office*



d'élevage et des pâturages (OEP), l'association tunisienne de l'agriculture environnementale (ATAE), le comité général des prisons et de rééducation (CGPR), le centre technique de l'agriculture biologique (CTAB)... ainsi que d'autres initiatives avec les agriculteurs individuels, les Organisations Professionnelles Agricoles, les Organisations Non Gouvernementales et le secteur privé, vise à ancrer ces approches/interventions d'une façon durable dans un objectif de diffusion vers un large public afin d'assurer une meilleure mise à échelle basé sur la capitalisation et l'appropriation de ces pratiques par les acteurs clés du secteur agricole Tunisien.

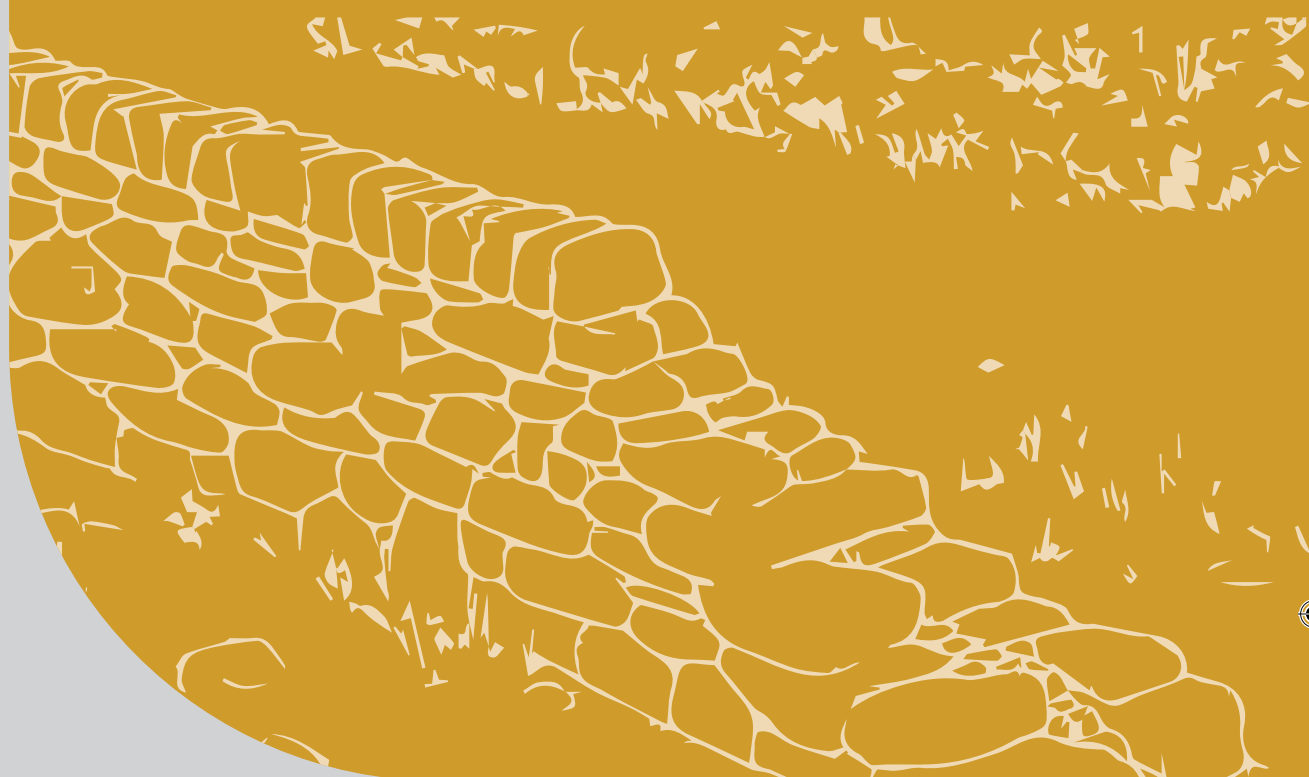


Première Catégorie : Les bonnes pratiques axées sur une intervention Physique





Murettes en pierre sèche



Première Catégorie :
Les bonnes pratiques axées sur
une intervention Physique

Murettes en pierre sèche



1. Description

Les murettes en pierre sèche (MPS) sont des dispositifs antiérosifs construits avec soin, en lignes continues en courbes de niveau, d'une hauteur le plus fréquemment de 40 cm à 1m50 (mais pouvant aller jusqu'à 2 voire 3 mètres), une largeur de 30 cm à 1 mètre et distantes entre elles de 3 à 50 mètres, en fonction de la pente du terrain.



Photo 1 : Murettes antiérosives traditionnelles en Syrie, avec des terrasses à faible pente résiduelle

Les MPS construites dans le respect des règles techniques de base, soit en une seule fois, soit le cas échéant de façon progressive, sont des aménagements très durables et efficaces donnant à terme lieu à des terrasses à pente faible voire nulle.

Traditionnellement, les MPS sont d'utilisation courante, à travers le monde, sur des pentes fortes (les MPS peuvent être installés sur des



Photo 2 : Murettes antiérosives traditionnelles au Maroc (haut-Atlas), avec terrasses horizontales

pentes allant jusqu'à 100%) et sur tous types de sol, pourvu que ceux-ci aient un potentiel productif suffisamment important : pluviométrie au-delà de 400 mm/an et/ou sols profonds et/ou possibilités d'irrigation d'appoint et cultures suffisamment valorisantes (arboriculture, maraichages, légumineuses/céréales en culture assez intensive, vigne, ...).

Leur utilisation se limite (pour tous types d'exploitation, mais surtout pour les petites et moyennes exploitations disposant le plus facilement de la main d'œuvre nécessaire) à des terrains pierreux agricoles, où leur construction est le complément de l'épierreage des parcelles, parfois suite à un défonçage/sous-solage ou le cas échéant à des terrains où des pierres sont disponibles en quantité suffisante à proximité immédiate.



2. Effets physiques visés

Les MPS interceptent aussi bien l'eau de ruissellement que les éléments solides transportés par celle-ci, ainsi que la terre déplacée par l'érosion aratoire. Le piégeage des sédiments (particules de terre et matière organique) et l'infiltration des eaux de pluie, par les MPS, est particulièrement efficace.

Progressivement, la sédimentation à l'amont des MPS conduit à la création de terrasses en pente résiduelle très faible voire nulle (cf. photo et croquis en page 3), qui renforcent l'effet de ralentissement et d'infiltration des eaux de pluie ruisselées et de sédimentation.

La base des murettes sera stabilisée par le fait que le sol immédiatement à l'aval ne sera pas labourée. Les MPS contribuent ainsi à l'amélioration de la profondeur, de la fertilité et du taux d'humidité

du sol. Un réseau assez dense de MPS permet de diminuer l'érosion de de l'ordre de 30 à 75%, selon les cas.

A titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente les taux de réduction de l'érosion en fonction de la

densité du réseau de murettes, pour une parcelle pour laquelle la longueur initiale de la pente est de 120 mètres et la largeur de 80 mètres (donc avec une superficie de près d'un hectare).

Taux de réduction de l'érosion par l'aménagement d'un réseau de murettes en pierre sèche				
Nombre de lignes de murettes en courbe de niveau	Nombre de mètres linéaires de murettes (m)	Longueur de pente effective (distance entre - ou sans - murettes) (m)	Intensité relative de l'érosion (%)	Taux de réduction de l'érosion (%)
0	0	120	100%	-
1	80	60	71%	29%
3	240	30	50%	50%
7	560	15	35%	65%
15	1.200	7,5	25%	75%

Ces valeurs sont comparables à certaines données observées sur le terrain. Les MPS sont plus efficaces que les cordons de pierre, tout en ayant une emprise au sol pas plus importante (voire, à terme, moindre) que ces derniers ; et ils ont les mêmes avantages que les cordons de pierre comparativement aux fossés/levées de terre (très peu de risque d'écoulements latéraux et de destruction, donc plus grande durabilité).



3. Détails techniques

Comme pour tous les autres aménagements de CES, il faut attacher une importance particulière au bon traçage des courbes de niveau, tâche facile et pouvant être exécutée par les agriculteurs, mais nécessitant un travail suffisamment méticuleux. La distance entre MPS sera fonction notamment de la pente, de la perméabilité du terrain, de la disponibilité en pierres. La distance horizontale entre les lignes de MPS est déterminée par la pente résiduelle souhaitée des terrasses et par la hauteur finale prévue des murettes¹. Les courbes du niveau sont tracées avec un triangle à niveau

(cf. la fiche BP « Façons culturelles anti-érosives »). Elles seront matérialisées par des jalons (pierres, petits piquets, ...) distants d'environ 2 mètres, sur chaque courbe de niveau.

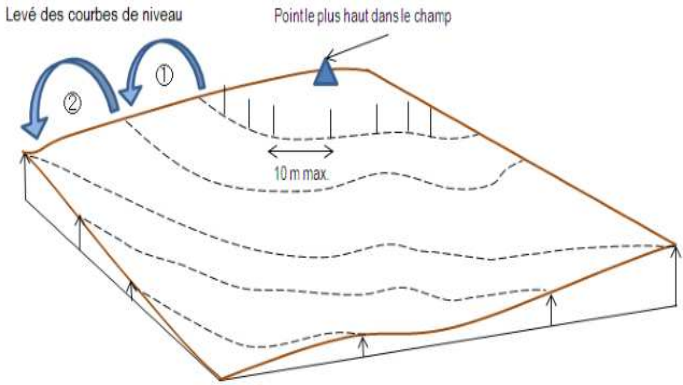


Figure 1 : Schéma de traçage des courbes de niveau

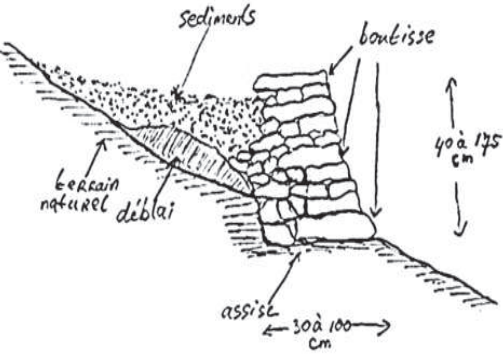


Figure 2 : Schéma d'une murette en pierre sèche (avec assise, déblai et comblement partiel par les sédiments)

1. Voici, en tant qu'exemple de calcul, le cas d'une parcelle avec une pente du terrain naturel de 30%, aménagée par des MPS dont la hauteur finale prévue est de 1m50 et la distance entre murettes de 8 mètres. La pente résiduelle moyenne du terrain cultivé entre les murettes sera d'environ 11%.

Voici les principales considérations techniques à prendre en compte lors de la construction des MPS :

- Les MPS nécessitent une tranchée de fondation d'une largeur de 30 cm à 1 m, servant d'assise horizontale ou avec une faible contrepente (au maximum 5 %). La terre déblayée lors du creusement de cette assise sera déposée vers l'amont (cf. croquis).
- Les pierres, ramassées dans la parcelle où à proximité immédiate, sont posées en respectant les règles suivantes :
 - ▶ La face aval de la murette aura un léger «fruit» (inclinaison vers l'amont) ;
 - ▶ Cette face sera construite avec les pierres les plus grandes ;
 - ▶ De temps à autre, les pierres les plus longues seront posées en tant que « boutisses » (cf. croquis), c'est à dire en les orientant dans leur plus grande longueur de l'extérieur de la murette vers l'intérieur, de manière à assurer la solidité de l'ouvrage ;
 - ▶ Une fois la hauteur finale de la murette atteinte, finir l'ouvrage en disposant des pierres de grande dimension sur le haut de la face aval de la murette ;
 - ▶ L'arrière de la murette (donc la partie située à l'amont) sera construit et le cas échéant remblayé avec des pierres plus petites.
- Après la construction initiale de l'ouvrage, au fur et à mesure que les sédiments déposés s'approchent du haut de la murette, celle-ci sera surélevé ; cette construction par surélévation progressive des murettes en améliore l'intérêt économique (la rentabilité de l'aménagement).

Améliorations proposées :

La pratique des MPS ne prête pas, en soi, à des améliorations notables.

Toutefois, par rapport à certaines modalités de réalisation effective des MPS qui ne respectent



Photo 3 : MPS en cours de construction

pas les règles évoquées ci-dessus, les principales améliorations sont :

- La bonne fabrication des assises avec rejet vers l'amont du déblai ;
- La bonne utilisation des boutisses ;
- La bonne finition du haut de la face aval de la murette ;
- Le comblement au moins partiel du vide subsistant à l'arrière de la murette, au fur et à mesure de sa construction (ce qui, en plus du renforcement des effets physiques de la murette, facilitera la reprise des façons culturales) ;
- Enfin, les MPS peuvent être à la fois mieux rentabilisées et leur base stabilisée par la plantation d'arbres fruitiers ou arbustes immédiatement à leur aval.



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Les MPS, grâce aux la rétention des sédiments résultant du décapage de la couche la plus fertile du sol des parcelles cultivées ainsi qu'à la meilleure infiltration et rétention de l'eau de pluie et la diminution de l'érosion en nappe permettent

Murettes en pierre sèche

des augmentations de rendement de l'ordre de 40% à 90%, une plus grande résilience des cultures vis à vis de l'aléa climatique et au changement climatique, et donc une meilleure régularité de la production. En plus, la constitution des terrasses et l'épierrage des parcelles (afin de fournir les pierres servant à construire les murettes) facilitent les façons culturales (labour, semis, désherbage, moisson, ...) et permettent l'intensification des assolements (aussi bien des cultures annuelles ou pluriannuelles que pérennes).

Enfin, il est facile d'intégrer dans les réseaux de MPS les aménagements (végétalisation et/ou interventions mécaniques) de correction torrentielle au sein du parcellaire agricole.



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

Les MPS permettent de régulariser le cycle de l'eau au niveau des bassins versants et d'y diminuer l'intensité des crues, le ravinement des terrains situés à l'aval des parcelles traités, les dégâts de crue au niveau des infrastructures routières, des réseaux d'irrigation voire de l'habitat et l'envasement des barrages.

Grâce à l'amélioration des rendements agricoles, les MPS contribuent également à la sécurité alimentaire.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des avantages, sur et hors exploitation, des MPS.

Résumé des principaux avantages des murettes en pierre sèche, sur et hors exploitation		
Avantages	Sur exploitation	Hors exploitation
Augmentation de « l'eau verte » au profit des cultures (*)	Fort avantage	Fort avantage
Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité des sols agricoles (*)		
Prévention/correction de l'érosion en rigoles et ravines, au sein du parcellaire agricole (*).		
Amélioration des rendements (*)		
Augmentation du revenu agricole		
Adaptation au changement climatique (à la sécheresse et aux pluies torrentielles) (*)	Fort avantage	
Diminution des dégâts de crue à l'aval (*)	Avantage moyen	
Diminution du ravinement à l'aval (*)	Avantage moyen	
Diminution de l'envasement des barrages (*)	Avantage moyen	
Contribution à la sécurité alimentaire (*)	Fort avantage	

■ Avantage faible

■ Avantage moyen

■ Fort avantage

(*) Avantages ayant une dimension « adaptation au CC »



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

L'aménagement des MPS, est une pratique mature. Il nécessite une certaine technicité, garantissant le respect des règles de construction présentées

au §3 ci-dessus (et plus particulièrement celles concernant l'assise de la murette, le déblai vers l'amont, le fruit de la face aval et la bonne utilisation des boutisses). Il peut néanmoins être facilement réalisé par les agriculteurs eux-mêmes. Si ces règles sont respectées, les MPS sont très durables et ne nécessitent que peu d'entretien.



Du point de vue des contraintes foncières, les MPS peuvent être réalisés :

- Soit sur des parcelles d'une largeur suffisante permettant le travail du sol en courbes de niveau, entre les murettes ;
- Soit grâce à l'organisation concertée, entre agriculteurs voisins, de la mise en place du réseau de murettes continues couvrant de façon efficace et suffisamment ordonnée l'ensemble des parcelles d'un même versant ;
- Soit, le cas échéant, après des opérations Inconvénients de remembrement concerté.

Les principaux inconvénients des MPS, au niveau de l'exploitation, consistent en leur emprise au sol et leur coût (essentiellement en main d'œuvre). L'emprise au sol, qui ne représente que de 5% à 10% de la parcelle aménagée, est toutefois largement compensé par les avantages/impacts au niveau de la parcelle, car les facteurs limitants de la production agricole sont la disponibilité en eau verte et la qualité et la profondeur des sols. Le coût élevé en main d'œuvre est justifié par les impacts importants (étant donné le potentiel productif suffisamment important des parcelles aménagées ; cf. §1) et la durabilité des ouvrages (cf. ci-dessous pour plus de détail).



7. Coûts et bénéfices

La confection des MPS avec de la pierre ramassée sur place nécessite, en fonction de la pente (et donc de la densité du réseau et des dimensions des murettes), de 190 à 630 hommes*jours de travail à l'hectare, pour des pentes de 25% à 50%, des distances intramurettes de 5 mètres à 8 mètres et des hauteurs de murette de 1m à 2 mètres.

Les MPS permettent une amélioration immédiate des rendements agricoles grâce à la meilleure infiltration des eaux de pluie et qui s'accroîtra

progressivement au cours des années par la rétention des éléments fertiles du sol.

Cette augmentation est estimée en année moyenne à entre 40% et 90% (cf. §4 ci-dessus). Sur cette base, pour une parcelle pouvant être cultivée de façon assez intensive avec une VA à l'hectare initiale de l'ordre de 2.750 de dinars dont l'augmentation à terme sera de 70% grâce à l'aménagement des MPS, la rentabilité de celui-ci est de l'ordre de 15% à 35% (selon la pente des terrains aménagés et des volumes correspondants des ouvrages), pourvu que la confection des murettes se fasse de façon progressive (hauteur de 0,4 m en première année, amenée en 11 années à la hauteur finale).

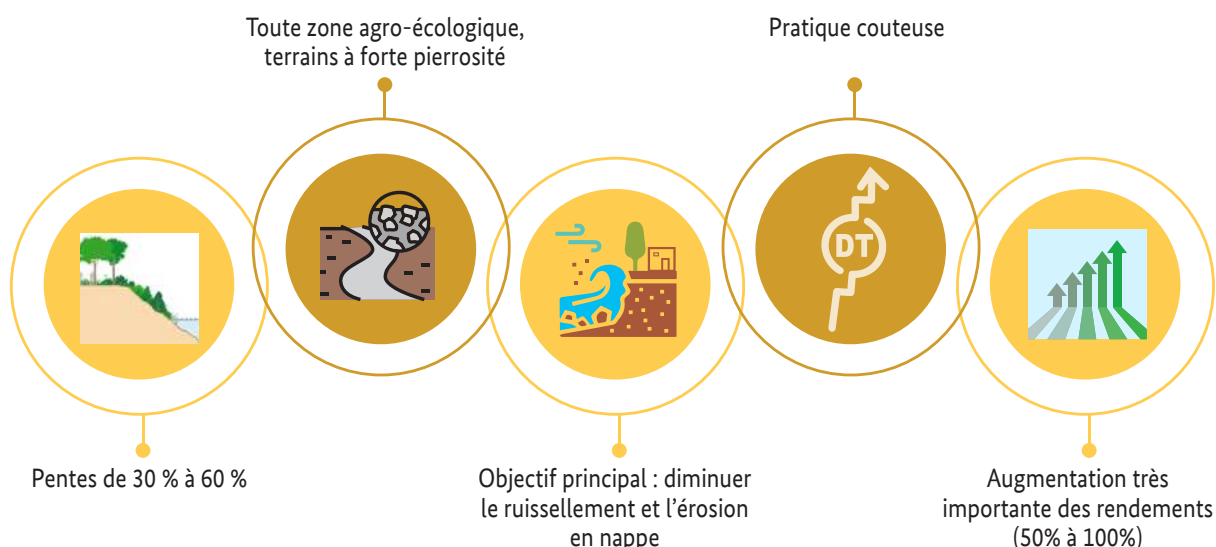


8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de cette pratique très efficace et durable peut être promue par le biais des activités suivantes à mettre en œuvre par les services techniques :

- L'information des agriculteurs sur ses impacts physiques et économiques à court et long terme ;
- Leur formation au traçage des courbes de niveau ;
- L'établissement de cahiers de charge techniques (comportant le cas échéant, là où nécessaire, des spécificités locales) à destination des agriculteurs ;
- L'animation des activités de concertation (voire le cas échéant des opérations de remembrement) évoqués au §6 ci-dessus ;
- La conception et la mise en œuvre volontariste d'un système de subventions pour la confection des MPS par les agriculteurs (*subventions faibles en comparaison avec l'exécution en entreprise, mais suffisamment motivantes pour les agriculteurs*).

Murettes en pierre sèche



Références de la Fiche « Murettes en pierre sèche »

Élément	Référence/source
Page 1 – Photo 1	Stone Wall Bench Terraces (Syrie), GDT Wocat Technologies Michael Zoebisch et autres, ICARDA – Liban, 2010
Page 1 – Photo 2	Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc -Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes, E. ROOSE et autres, IRD, Marseille, 2010
Tableau de la page 2	Élaboré par le consultant sur la base de l'équation USLE (équation universelle de perte en sol), selon laquelle pour des pentes supérieures à 5% le facteur LS est proportionnel à la longueur de la pente à la puissance 0,5 (toutes autres choses étant égales par ailleurs). Il convient de noter que si les valeurs absolues données par l'équation d'USLE sont sujettes à caution, son appréciation des ordres de grandeur de la réduction relative de l'érosion suite à la réduction de la longueur de pente est fiable. Valeurs comparables dans « Effectiveness of stone bunds in controlling soil erosion on cropland in the Tigray Highlands, northern Ethiopia. G. DESTA et autres, Soil Use and Management, 21, 3: 287-297, 2005
Page 2 – Figure 1, Schéma de traçage des courbes de niveau	Aménagement en courbes de niveau pour la conservation des sols en champs paysans – Annexe : Manuel technique 9 du « Guide pour la gestion et la Conservation des Ressources Naturelles », Institut d'Économie Rurale/Japan International Research Center for Agricultural Sciences, décembre 2012
Page 3 – Figure 2, Schéma de MPS	Croquis du consultant
Page 3 – Photo de MPS en cours de construction	Guide de référence sur les pratiques de prévention et de lutte contre l'érosion dans le département sud d'Haïti, A. BIGI, ECHO/CESVI/MANDR, 2013
Page 4 – Augmentations des rendements induites par les MPS	Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel, J. VLAAR, UAW-Wageningen/CIEH Burkina Faso, 1992
Section 7 – Coûts et bénéfices	Simulations du consultant.





Tabias



Première Catégorie :
Les bonnes pratiques axées sur
une intervention Physique





1. Description

Le système « tabia » est une pratique ancestrale pour lutter contre le ruissellement des eaux et l'utiliser en agriculture pluviale dans les régions semi-arides et arides méditerranéennes. Ce système est, largement et depuis des siècles, utilisé dans le Centre et le Sud tunisien par les agriculteurs de grandes, moyennes et petites exploitations, qui en maîtrisent bien la confection et l'entretien. Les tabias renforcées en pierres sèches préromaines de Dj. Selloum (Kasserine) fonctionnaient jusqu'aux années 1970. Elles ont été abandonnées par la suite (problèmes d'héritage et foncier.)



Photo 1 : Vue aérienne de réseau de tabias, secteur piedmont de la chaîne des Matmata, (hélico, prospection), Mtimet 1989

Confectionnée par des remblais de terres sur des sols assez profonds en courbes de niveau, elle capte les eaux de pluie pour les cultures et les arbres plantés (essentiellement l'olivier) en position de versants des collines, en zones de piedmonts et aussi en secteurs de glacis à légères pentes, Mtimet et Braudeau 2018.

Elles se différencient de celles des Jessours qui sont construites dans des vallons en zones

montagneuses, renforcées à leur base par un petit mur (Sirra) et comportant un Menfess (déversoir latéral), Cf. Guide CES 1995.

Contexte d'utilisation : pente, sol, climat, cultures, zones/sites

- **climat/aire des tabias :** de semi-aride à aride inférieur (400mm-200mm) Tunisie Centrale et Méridionale ;
- **unité topographique** - type de sols - pente :

BV	TS	P
Piedmont de montagne	Sols peu évolués d'apport	8 à 10 %
Glacis et plaines	Sols alluviaux, iso-humiques, sablo-limoneux	3 à 8 %

- **infiltration/eau :** bonne en sols d'apport ;
- **occupation du sol (cultures) :** arbres et céréales ;
- **sites,** zones agro-écologiques et type de dégradation des sols concernés.



2. Effets physiques visés

La tabia, en tant qu'ouvrage de petite hydraulique, est confectionnée pour réduire la longueur de la pente et intercepter les eaux de ruissellement avant qu'elles n'atteignent la vitesse érosive et profiter des apports solides. Ce type d'ouvrages fournit un supplément d'eau pour les cultures. Appartenant aux aménagements hydrauliques traditionnels en aridoculture, les tabias jouent leur rôle en fonction des espaces agro-écologiques et de l'aridité du climat :

- les tabias de jessours : secteurs vallonnés des collines ou piedmonts (pente de 8 à 10 %) ;
- les tabias de glacis (pente de 4 à 5 %) et plaines : le Kairouanais (El Hajeb, El Alaa) ;
- enclos-tabias : plaine de Kairouan (pente <5 %).



Photo 2 : Réseau de tabia dans l'ouest de Ibel Orbata, Image Google, Mtimet 2014



3. Détails techniques

L'ouvrage est formé d'une banquette principale à une hauteur d'1 m à 1m50 et à chaque extrémité, à angle droit, une deuxième unité de banquette latérale. **L'impluvium**, ainsi entouré des trois côtés et ouvert sur le côté amont, reçoit les eaux de ruissellement pour alimenter les cultures ou les arbres (oliviers, arbres fruitiers). Il présente des dimensions variables selon le site : pente, type de sols et limites foncières. L'impluvium a généralement une largeur de 30 m et une longueur de 50 à 150 m. Les arbres, selon le savoir faire des agriculteurs et la géomorphologie du terrain, se répartissent sur des distances 10X10 m. La tabia est construite **manuellement** ou **mécaniquement**, formée de matériaux ramenés de l'impluvium et compactés. L'eau de ruissellement est retenue d'une manière régulière lors des pluies jusqu'à une hauteur de 20 à 30 cm, avant d'être déversée par l'intermédiaire d'un **déversoir latéral** ou central en pierres sèches dans l'unité située en aval.

La technique **enclos-tabia dans le Kairouanais** consiste en champs (parcelles) derrière les tabias qui varient en surface de quelques milliers de m²

à quelques ha, parfois propriété d'un même agriculteur. Ce système consiste non pas en une levée de terre au départ, mais en **une raie** ou **saignée creusée dans le sol**. Cette dernière est plantée en **raquette de cactus**. Dès la deuxième année, la terre de la raie est rabattue de part et d'autre de la ligne de cactus. En quelques années, on est en face d'une tabia de 1,5 à 2 m de hauteur **conso-**

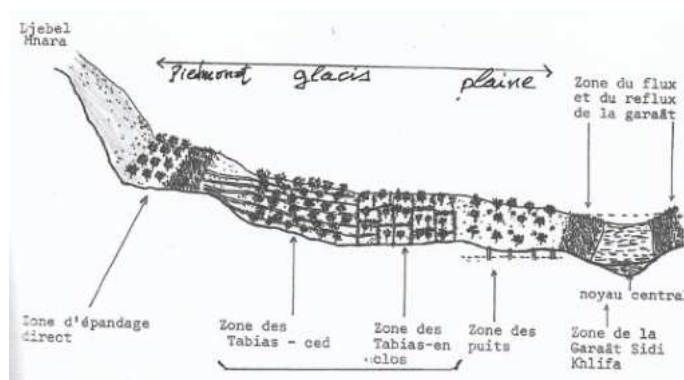


Figure 1 : Répartition des aménagements hydrauliques traditionnels (tabias) selon une topo-séquence, Ennabli 1993

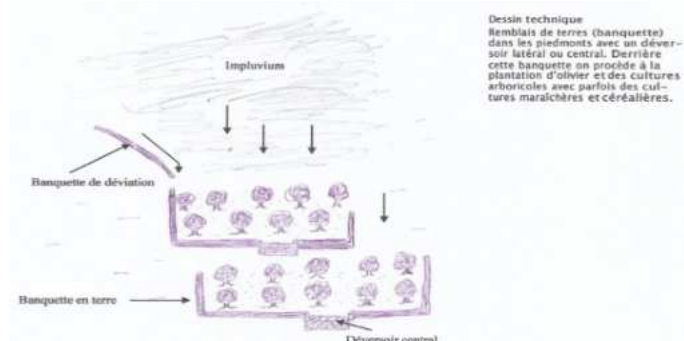


Figure 2 : Les bonnes pratiques de la gestion des terres agricoles, FAO et MARH 2010

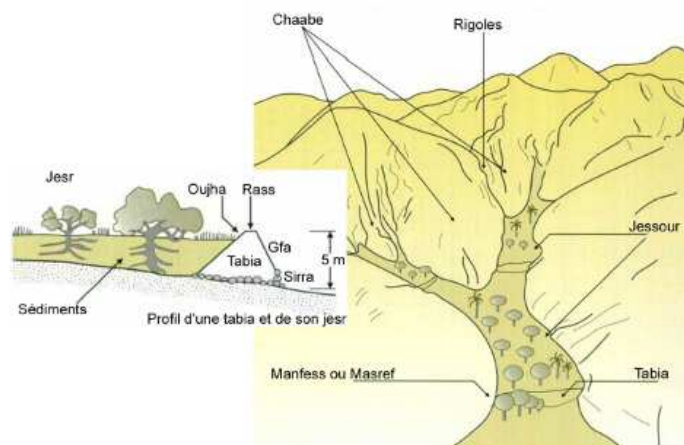


Figure 3 :Tabias et aridoculture, structure antiérosive dans la gestion des eaux et du sol, El Amami & al in Snène 1996



idée par la plantation de cactus et servant de protection à la parcelle cultivée en arboriculture (oliviers, amandiers, abricotiers...) ou en cultures maraîchères.

Une attention particulière doit être accordée aux opérations suivantes :

- La confection manuelle ou mécanique du remblai de 50 à 150 m de long avec à chaque extrémité un autre remblai latéral de 40 à 50 m et un compactage du matériau¹ ;
- La construction d'un déversoir (central ou latéral) en pierres sèches, pour évacuer les eaux de crues et protéger la tabia des dégâts des fortes pluies (en position de plaine, l'implantation de ce déversoir est peu considérée) ;
- En site de plaine (comme dans la zone du Kairouannais) le renforcement / consolidation

des ouvrages par des végétaux (comme le cactus : enclos-tabias) adaptés à l'aridité, si possible en préservant ceux déjà présents sur place ;

- La valorisation de l'impluvium par l'installation d'arbres sur 3 à 4 rangées (arbres fruitiers, oliviers) et de cultures céréalières associées parfois à des légumineuses tenant compte des apports des eaux de ruissellement ;
- Le suivi de l'état des ouvrages et l'entretien en cas de rupture, en mobilisant les agriculteurs concernés (cas d'un groupement de propriétaires sur un petit bassin versant à Sidi Bouzid, Kasserine) ;
- Un labour, un nivellement, après chaque crue importante, des sédiments accumulés ;
- Le colmatage des éventuelles galeries creusées par des rongeurs.



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Résumé des principaux avantages de la tabia sur exploitation	
Augmentation de « l'eau verte » au profit des cultures	Fort avantage
Recharge de la nappe	Avantage moyen
Réduction du transport solide et du ruissellement	Avantage moyen
Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité du sol/matière organique du sol	Avantage moyen
Infiltration de l'eau dans le sol, amélioration du bilan hydrique	Fort avantage
Fixation mécanique du sol	Avantage moyen
Fixation biologique du sol	Avantage moyen
Régénération du couvert herbacé	Fort avantage
Protection des cultures contre certains ravageurs (effet écran)	Avantage moyen
Conservation de la biodiversité/restauration des terres arides	Fort avantage
Séquestration du carbone dans le sol/atténuation des changements climatiques	Avantage moyen
Adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles)	Avantage moyen
Amélioration des rendements	Fort avantage
Augmentation du revenu agricole	Avantage moyen
Contribution à la sécurité alimentaire	Avantage moyen

■ Avantage faible ■ Avantage moyen ■ Fort avantage

1. Des expériences réussies sur l'ajout de la margine au matériau sablo-limoneux lors du compactage pour la résistance de l'ouvrage aux forces du ruissellement, Mtimet 1992 (L'aridité une contrainte au développement, ORSTOM)



5. Avantages/impacts hors exploitation-bassin versant

Résumé des principaux avantages de la tabia hors exploitation	
Recharge de la nappe	
Réduction du ruissellement, du ravinement et du transport solide à l'aval	
Réduction de l'envasement des barrages	
Lutte contre les inondations	
Adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles)	

Synthèse de l'importance des impacts par sites/zones et types de dégradation des sols concernés						
Erosion éolienne	Erosion hydrique				Restauration des terres dégradées	Conservation et Gestion de l'eau
	Erosion en Nappe	Erosion linéaire	Ravinement	Glissement de terrain		
Nord Ouest						
Centre Ouest, Sud						

■ Impact faible
 ■ Impact moyen
 ■ Impact fort



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

La durabilité des tabias est liée à l'entretien régulier par l'exploitant agricole (labour, lutte contre les mauvaises herbes, protection contre le piétinement des animaux et les rongeurs, colmatage des fissures et galeries etc.). Un

mauvais entretien de la tabia la rend vulnérable par cassure et peut engendrer des énormes dégâts lors des forts orages par la force du ruissellement et des mauvais impacts dans les secteurs aval. La survie de tout le réseau des tabias d'un bassin versant demande une maintenance accrue des ouvrages, une concertation et une organisation entre les agriculteurs pour faire face à ces dangers physiques.



Photo 3 : Passage d'un violent orage, observer le ruissellement et la charge solide passant par le déversoir central de la tabia, MARH 2013

Les inconvénients de la tabia sont, son emprise au sol dans des petites parcelles, sa pente (lors du travail du sol par les machines) et le fait que l'ouvrage demande le décapage de gros volumes de terre de culture humifère.



7. Coûts et bénéfices

La réalisation des ouvrages peut faire appel à de la main d'œuvre et à des engins (notamment tractopelle), selon les conditions de terrain (envergure des travaux, dimensions et formes du terrain à aménager). Le coût varie de 1.000 à 2.500 TND selon la longueur de l'ouvrage confectionné. Par ailleurs il faut considérer l'entretien/réparations, évalués à entre² 150 et 300 TND/ha/an.

L'accroissement du rendement des cultures varie avec les types de plantations et les pratiques culturales (labour, amendement, lutte contre les mauvaises herbes, taille des oliviers...). Une estimation des bénéfices pour l'olivier peut aller de 6.000 à 10.000 TND/ha sur une période de 20 ans.



Photo 4 : Construction d'une tabia expérimentale manuelle compactée avec la margine, en zone de piedmont, Mtimet 1992



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

Les principales recommandations sont les suivantes :

- Identification systématique des sites favorables à l'implantation de réseaux de tabias et dimensionnement des ouvrages ;
- Favoriser la conjugaison entre l'aménagement foncier et le GDT
- Instauration d'un système efficace d'incitations juridiques et financières des agriculteurs à la construction d'ouvrages nouveaux ;
- Instauration des mesures techniques/ pédagogiques efficaces encourageant la réparation, l'entretien courant et la bonne valorisation des ouvrages existants par les agriculteurs.



Photo 5 : Tabia à déversoir maçonné avec arboriculture fruitière (Sidi Bouzid), Mtimet 2021

2. Calculs du consultant : pour une tabia de 60m, banquette principale + 2 B. latérales et seuil maçonné, frais de terrassement mécanique + frais maçonnerie = 1500 TND ; pour 100 m = 2500 TND.



Références de la Fiche « tabias »

Élément	Référence/source
Page 1 § 1 - Photo 1 - Vue aérienne Page 1, § 2- Image Google	• Réseau de tabias, secteur piedmont, Mtimet, 1989 • Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie, El Amami, Hadri, Mtimet, Mamou, (version arabe), 1986 • Les enjeux du sol dans les orientations de planifications, A. Mtimet et E. Braudeau, Annales de l'INRAT, vol.91, 2018 • Bassin versant d'oued et réseau de tabias, Alignement PAN/PNUD, Mtimet, 2014 • Guide de CES ; DGA/CTA/MARH, 1995 • La question hydraulique, petite et moyenne, Bouderbala, Chiche, 1984
Page 2 § 3 Figure 1 - toposéquence/ aménagements Figure 2 - Bonnes pratiques/tabias Figure 3 - Illustration	• Répartition des aménagements hydrauliques traditionnels selon une topo-séquence, Ennabli 1993 • Les bonnes pratiques de la gestion des terres agricoles, FAO et MARH, 2010 • Tabia et aridoculture, structure antiérosive dans la gestion des eaux et du sol, El Amami & al in Snène, 1996
Page 5 - Photos 3, 4 Pluie et tabias	• Ruissellement et charge solide (orage) passant par le déversoir central de la tabia, MARH, 2013 • Construction d'une tabia expérimentale manuelle, Mtimet 1992
Page 6 - Photo 5	• Tabia à déversoir maçonné, installée sur un glacis de 7 % de pente, (Sidi Bouzid), Rapport de consultation régionale ProSol, Mtimet avril, 2021



Impluvia/demi- lunes, cuvettes individuelles



Première Catégorie :
Les bonnes pratiques axées sur
une intervention Physique



1. Description

La demi-lune est un ouvrage physique qui peut être réalisé en pierres ou encore creusé dans le sol. En forme de demi-cercle, les ouvrages disposent d'une ouverture perpendiculaire au sens d'écoulement des eaux et d'une disposition en quinconce (disposition en 5 unités dont 4 aux 4 angles d'un rectangle) et la 5ème au centre). La technique des demi-lunes vise à favoriser l'infiltration des eaux de pluie et à ralentir l'érosion de manière à récupérer des terres dégradées ou dénudées (dépôt de sédiments) à des fins agricoles, pastorales ou forestières.

En régions semi-arides, les ouvrages sont généralement réalisés dans les parcelles à pente moyenne ou faible (piedmont, glacis et pénéplaine). Confectionnées manuellement (cf. Photos 1 et 2) ou à l'aide d'une charrue (Delfino par exemple), les demi-lunes ont le plus souvent



Photo 1 et 2 : Confection de demi-lunes agricoles au Niger

cuvettes individuelles

un diamètre compris entre 2 et 4 mètres. Elles se pratiquent dans le Centre Ouest et le Nord Ouest. La consolidation des ouvrages à l'aide de pierres est observée à Kairouan et Oueslatia autour des arbres (cf. Photo 3).

Cette technique pourrait réhabiliter de larges superficies dans les gouvernorats de Sidi Bouzid et de Kasserine, consacrées à la production agricole et/ou pastorale (fourrage).



2. Effets physiques visés

Les demi-lunes et les cuvettes individuelles sont des ouvrages de rétention d'eau visant :

- La réduction du ruissellement et du transport des sédiments ; l'infiltration des eaux de pluie, d'où l'amélioration du bilan hydrique des sols (d'environ 40%);
- L'amélioration du taux de MO du sol (d'environ 20%) ;
- Le meilleur développement des cultures et de la production (notamment les arbres fruitiers et les fourrages), augmentant la production de l'olivier de 25%.

L'infiltration des eaux, grâce à ces ouvrages, peut être améliorée de 40% à 60 %. Ainsi, elles permettent, dans les systèmes de production pluviale, de mieux faire face aux conditions de sécheresse.



Photo 3 : Demi-lunes en pierres sur sol squelettique calcaire, pente de 15% (Oueslatia, Kairouan), Mtimet 2021



3. Détails techniques

« Il n'y a pas de recettes en agriculture, il n'y a que des situations auxquelles il faut s'adapter... »
(Hénin 1982).

Les demi-lunes et cuvettes individuelles sont installées sur des versants avec une pente de 10 % à 25 %. Leur installation est recommandée après la saison sèche, avant les premières pluies automnales.

En fonction du profil topographique de la parcelle, l'écartement entre demi-lunes est de 10m sur la ligne. Selon le contexte morpho pédologique, le nombre de demi-lunes varie de 100 à 300 unités/ha.

La demi-lune (en système Delfino) est un ouvrage observé en zone sahélienne et en Tunisie mécaniquement et manuellement.

Le sol déblayé (éventuellement après défoncement par un Ripper) est déposé sur le demi-cercle en un bourrelet (quelques fois renforcé par des pierres sèches) devant un trou préparé pour la

plantation ou entourant un arbre déjà en place, l'espacement des ouvrages suit l'emplacement des oliviers (technique développée dans les différents secteurs de la Dorsale, le Haut Tell et le Kairouannais, projet PACTE INRGREF/DGACTA 2020).

En secteurs de piedmont et de glacis, les micro-bassins sont généralement de taille réduite (entre 2 m et 3 m) et sont réalisés manuellement. Lorsque la pente est supérieure à 15 %, l'orientation du bourrelet ou du muret situé en aval de l'ouvrage permet de canaliser le trop-plein vers les cuvettes inférieures (cf. Illustration). Sur des sols compactés, un défonçage mécanique préalable en surface est exigé. En secteur de plaine (Kairouan, Sidi Bouzid, Kasserine), avec des sols profonds à texture moyenne à grossière et une proportion d'humus faible (C/N de l'ordre de 8), les cuvettes de rétention sont fermées (micro-bassins) autour des arbres, afin de mieux concentrer les apports d'eau aux plantations. Les cuvettes sont généralement espacées de 15 à 20 m (région de Sidi Bouzid).

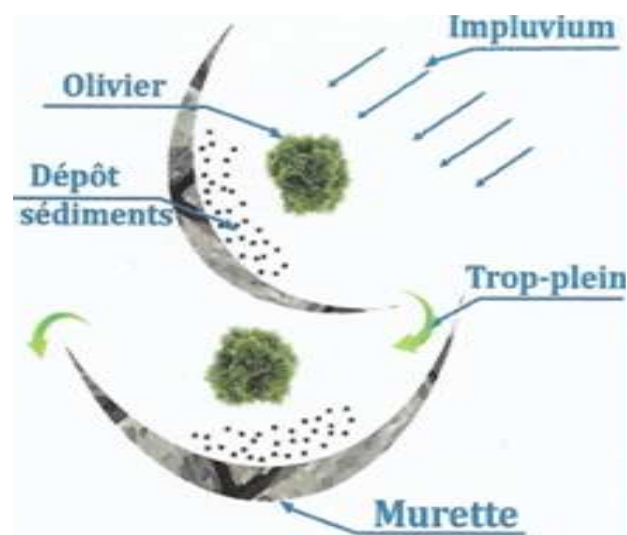


Photo 4 et Figure 1 : Cuvettes individuelles région Oueslatia (Kairouan) projet PACTE, INRGREF/DGACTA



Photo 5 : Cuvette individuelle de type micro-bassin fermé pour la rétention totale de l'eau, sur jeunes oliviers en zone de plaine à sol sablo-limoneux profond, perméable (Sidi Bouzid) (creusement sur 50 cm ; apport de fumier ; bourrelet à la périphérie pour garder le maximum d'eau et l'infiltrer ; pas d'impluvium amont), Mtimet 2021



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Avantages	Pratiques	
	Demi-lune	Cuvettes
Augmentation de « l'eau verte » au profit des plantes		
Préservation de la fertilité des sols (par la diminution de l'érosion)		
Amélioration des rendements (de l'ordre 25% des oliviers)		
Augmentation des revenus agricoles		

■ Faible ■ Moyen ■ Fort



5. Avantages hors exploitation

Avantages des impluvia/cuvettes/demi-lunes hors exploitation

Adaptation au changement climatique (à la sécheresse et aux pluies torrentielles)	
Diminution des dégâts de crue à l'aval	
Diminution du ravinement à l'aval	
Diminution de l'envasement des barrages	
Contribution à la sécurité alimentaire	

■ Avantage faible

■ Avantage moyen

■ Fort avantage



6. Conditions de mise en œuvre et durabilité

Pour la durabilité de l'ouvrage, un entretien manuel régulier est exigé ainsi que la réparation des dommages éventuels suite à de fortes pluies ou des passages de cheptel. Ces opérations, nécessaires pour assurer la durabilité des cuvettes/impluvia sont généralement légères, faciles et rapides.



7. Coûts et bénéfices

Coûts :

- Défonçage par Ripper (200 TND/heure), selon le type de terrain et la pente (passage simple ou passages croisés, réalisant en moyenne 6600 ml/h).
- Aménagement des impluvia (marquage, traçage, confection) : 3 hommes*jour/ha.

cuvettes individuelles

- Le coût d'investissement total est estimé à 210 TND/ha.
- Entretien : 2 hommes*jour/an.

Bénéfices :

Sur la base d'une augmentation des rendements des seules cultures pérennes (donc hors éventuelles cultures annuelles intercalaires) de 25%, le bénéfice peut être estimé à 2.000 TND/ha/an en moyenne, pour un verger en plein en régime pluvial.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

- Réaliser une campagne d'identification systématique des sites favorables à l'utilisation de cette pratique par bassin versant en tenant compte notamment :
 - De l'importance du ruissellement en provenance des différents sites (glacis de piedmont, pénéplaines, versants encroûtés à pente moyenne, ...) ;
 - Des possibilités de valorisation agricole effective du ruissellement pouvant être interceptés/infiltré ;
- D'une prise en compte dans la mise en œuvre, de la pente et des sols caillouteux ;
- De l'identification des espèces fruitières et sylvopastorales les plus appropriées (rusticité, productivité, ...).
- Informer les agriculteurs sur les possibilités techniques et sur l'intérêt économique des aménagements, recueillir leurs réactions.
- Incitations et encouragements : proposition à l'étude par l'APIA en cherchant le cout réel d'un ha en cuvette et le synchroniser avec la loi d'investissement.
- Mobiliser les agriculteurs en vue de l'élaboration de plans d'aménagement locaux intégrés d'une envergure suffisante, incluant les dimensions agroforestières (notamment à l'amont) et agro-écologiques et prévoyant les modalités concertées de leur financement, de leur réalisation, de leur gestion et de leur entretien.
- Finaliser le montage opérationnel technique et financier (répartition et programmation des travaux, formation/encadrement technique et système de subventionnement des travaux réalisés par les agriculteurs.



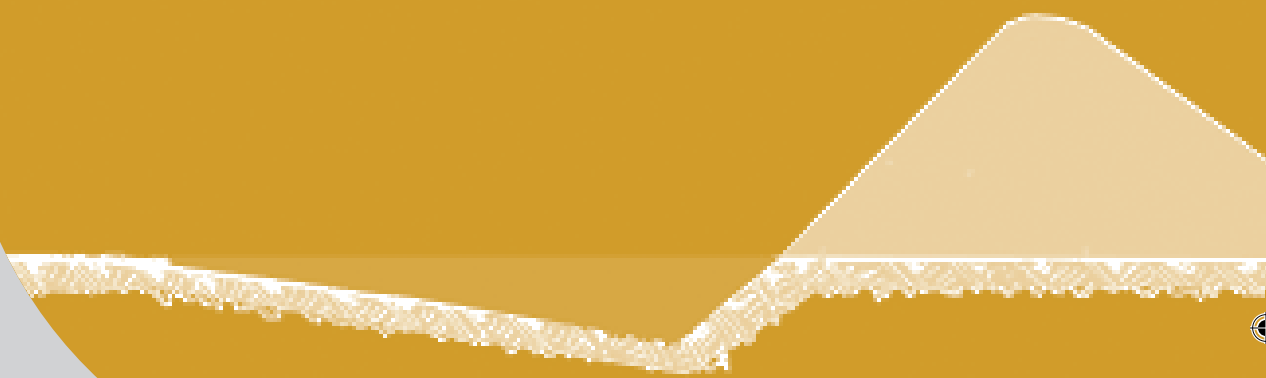
Références de la Fiche « cuvettes individuelles »

Élément	Référence/source
Page 1 § 1- Photos 1, 2 et 3	• Paysages de zones sahéliennes (Niger), réhabilitation de terres dégradées par des aménagements de techniques CES, WOCAT 1998 • Série de demi-lunes Oueslatia, Kairouan, Rapport de consultation régionale mission BPA ProSol, A. Mtimet avril 2021
Page 1 § 2	• Curmi P. Structure, espace poral du sol et fonctionnement hydrique, 1988, INRA, (Science du sol) • Référentiel sur l'érodibilité, Mtimet et al. 1996
Page 2 § 3 – Photo 4 et figure 1	• Cuvettes Individuelles région Oueslatia (Kairouan) projet PACTE, INRGREF/DGACTA MARHP 2020

Page 3 - Photo 5	• Cuvette individuelle de type micro-bassin fermé pour la rétention totale de l'eau, sur jeunes oliviers en zone de plaine à sol sablo-limoneux profond, perméable (Sidi Bouzid) Programme d'adaptation au changement climatique des territoires ruraux vulnérables en Tunisie, PACTE, INRGREF/DGACTA 2018
Page 3 § 3	• Evaluation des paramètres physico hydriques de l'évaluation de l'érosion hydrique, (Référentiel sur l'érodibilité des terres en Tunisie), A. Mtimet et al. 1996 • Physique du sol, Henin, 1982 • Guide des principales techniques de lutte contre la désertification OSS, 2017
Page 4 § 8	• Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, E. Roose 1994



Banquette mécanique



Première Catégorie :
Les bonnes pratiques axées sur
une intervention Physique





1. Description

Une banquette est un remblai en terre implanté perpendiculairement à la pente du terrain naturel. Cet ouvrage, réalisé mécaniquement, aura une hauteur de 1 m à 1,2 m (le bourrelet) et une largeur à la base de 4,1 m et présentant 2 talus (amont-aval) avec des pentes respectives de 1/1 et 2/1. La zone de l'impluvium (70 % de la surface), forme l'exploitation ou le champ de l'agriculteur et l'on utilise un labour en courbe de niveau pour réduire le taux de l'érosion en nappe et intercepter une partie du ruissellement pour les cultures (essentiellement oliviers et arbres fruitiers) avec une bonne gestion des terres (engrais biologique, fumier, interdiction d'un élevage extensif-piétinement...).



Photo 1 : Réseau de banquettes à partir de sommet de collines, (Nord Est tunisien)

Le réseau de banquettes est formé d'un ensemble d'unité dont la longueur de chaque élément dépend de la nature du sol (texture, structure, profondeur...), la pente du terrain naturel, la pluviométrie et les souhaits des agriculteurs dans l'exploitation de leurs terres.



2. Effets physiques visés de la BP en termes de GDTA

Il est à rappeler qu'environ 70 % de la superficie des sols agricoles tunisiens est considérée peu fertile et sensible à l'érosion hydrique avec un taux en matière organique ne dépassant guère 1 %.

La technique des banquettes mécaniques rentre dans l'aménagement des terres agricoles et la réhabilitation des zones dégradées par des actions s'inscrivant dans les grandes options des stratégies nationales décennales de CES (volet « aménagements CES » d'un ensemble d'exploitations et d'actions au niveau de l'unité, en utilisant un matériel généralement lourd de terrassement du Ministère de l'Agriculture ou avec des entreprises privées).

Elles sont considérées comme des ouvrages (à rétention totale ou partielle) en terre construits sur des terrains de pente de 15 à 5 % en vue de ralentir la lame d'eau du ruissèlement et d'améliorer le stock hydrique des terres dans les zones d'intervention.

Contexte d'utilisation : pente, sol, climat, types de culture, zones/sites

- **climat/aire des banquettes :** du subhumide à l'aride supérieur (800mm-200mm)
- **unité topographique(BV) – Type de sol (TS) – Pente (P)**

BV	TS	P
Escarpements/ collines, calcaire/grès Eboulis	Lithosols	> 15 %
Versants raides, calcaires/argile	Rendzine, sols gris peu profonds	> 15 %
Plateau calcaire	Lithosols caillouteux	15 à 5%

BV	TS	P
Glacis/plaine	Sols bruns calcaires	15 à 5%
	Sols sablo-argileux	15 à 5%
	Sols ocre-rouge sableux	15 à 5%
Plaine, dépôts / alluvions	Sols alluviaux profonds	<5%

• Occupation du sol

- Aménagement sylvo-pastoral de parcours dégradés secteurs amont ;
- Oliviers, arbres fruitiers et céréaliculture, cultures maraichères (en secteurs intermédiaires et aval).

Sites/zones d'utilisation et type de dégradation des sols concernés

Erosion éolienne	Erosion hydrique				Restauration des terres dégradées	Conservation et Gestion de l'eau
	Erosion en Nappe	Erosion linéaire	Ravinement	Glissement de terrain		
Nord Ouest						
Centre Ouest, Sud						

■ Impact faible

■ Impact moyen

■ Impact fort

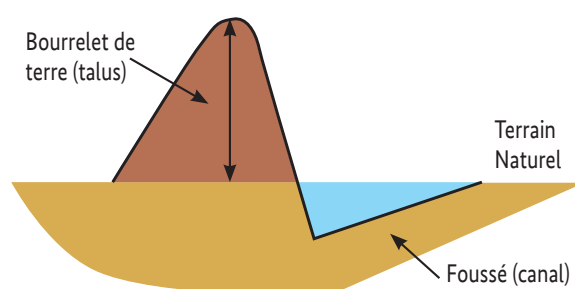
(Mtimet 2016, Roose 2002)

3. Détails pratiques, confection d'une banquette mécanique : typologie des banquettes selon le mode de gestion des eaux de surface

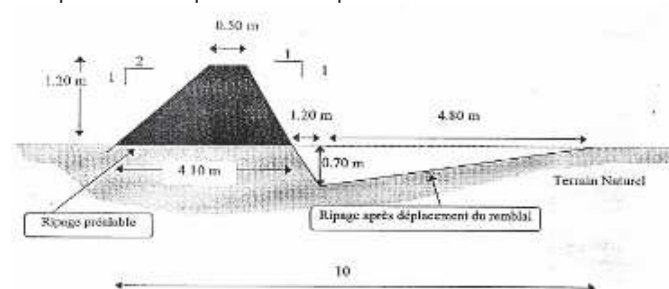
Banquettes mécaniques et mode opératoire :

- Traçage des banquettes suivant les courbes de niveau en adoptant la formule de Bugeat qui donne un écartement entre les banquettes de $E = (220 + 8P) / P$ (P : pente du terrain en %)
Avec une pente longitudinale de 1 à 5 ‰ vers les exutoires naturels pour évacuer le surplus d'eau retenue par les banquettes ;
- Elimination de la végétation existante dans l'emprise de la banquette ;
- Ripage avec l'engin de l'emprise de la banquette en deux passages sur une profondeur de 60 à 80 cm pour avoir une meilleure cohésion entre le bourrelet et le terrain naturel ;

- Confection d'un bourrelet perpendiculaire à la pente : hauteur maximale 1,2 m ; grande base 4,1 m ; crête 0,5 m ; fruit amont 1/1 ; fruit aval $\frac{1}{2}$;
- Compactage du bourrelet ;
- Sous-solage du canal (ou fossé) avec l'engin équipé de ripper à 3 dents sur une profondeur de 40 à 60 cm (deux passages) ;



Coupe d'une banquette mécanique



- Exutoire et ouvertures en quinconce ;
- Les cours d'eau (grands ravins, oued, ...) par lesquels transitent des eaux en provenance de l'amont seront conservés et joueront le rôle d'un exutoire naturel.
- Les banquettes de rétention totale : absorption totale des eaux de surface sur des sols perméables et pluviosité > 350mm.
- Les banquettes d'absorption partielle (Guide CES 1995) : pluviosité >350mm. Elles se font selon les courbes de niveau avec déversement latéral vers un exutoire naturel (oued, ravin) ou à défaut un exutoire central (diversion des eaux excédentaires de l'exploitation vers un exutoire aménagé).

Longueur des banquettes : La longueur maximale d'une banquette dépend, étroitement, de la nature du sol (OSS, 2017, PACTE, 2020) :

- Pour des sols peu perméables, elle ne doit pas excéder 300 m ;
- Pour des sols de moyennement perméables, elle est de 40 m ;
- Pour des sols de forte perméabilité, elle est de 500 m à 600 m.
- Les banquettes sont dimensionnées pour des pluies de retour de 10 ans ;
- L'écartement entre 2 banquettes successives, fonction de la pente est en moyenne de 25 m.



Photo 2 et 3 : Phases de mise en œuvre (bourellet et canal), Secteur à faible pente < à 10% et sols à tendance de texture sableuse : confection d'un réseau de banquette avec des engins lourds, construction du bourellet en haut, ripage du fossé ou canal vers le bas, Mtimet 2003



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Résumé des principaux avantages de la banquette au niveau de l'exploitation

Augmentation de « l'eau verte » au profit des cultures

Recharge de la nappe

Réduction du transport solide et du ruissellement

Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité du sol/matière organique du sol

Infiltration de l'eau dans le sol, amélioration du bilan hydrique

Fixation mécanique du sol

Fixation biologique du sol

Régénération du couvert herbacé

Banquette mécanique

Résumé des principaux avantages de la banquette au niveau de l'exploitation

Protection des cultures contre certains ravageurs (effet écran)	Fort avantage
Conservation de la biodiversité/restauration des terres arides	Fort avantage
Séquestration du carbone dans le sol	Fort avantage
Adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles)	Fort avantage
Amélioration des rendements	Fort avantage
Augmentation du revenu agricole	Fort avantage
Contribution à la sécurité alimentaire et lutte contre la pauvreté	Fort avantage

■ Avantage faible

■ Avantage moyen

■ Fort avantage

Bilan hydrique et impact sur le rendement.

En moyenne, un impluvium recevant de l'ordre de 300 mm de pluies en perd au moins 25 % par ruissellement sans en recevoir (en surface) de la zone amont parce qu'il est protégé par un bourrelet compacté, imperméable.

Le fossé (ou canal), reçoit la lame de pluie tombée plus l'eau ruisselée provenant de l'impluvium, restituées par drainage vers l'aval, d'où des productions agricoles plus importantes (légumineuses associées aux oliviers et aux arbres fruitiers ; une augmentation de l'ordre de 15 à 50 %, Roose, 2002).

Globalement, la quantité d'eau « gagnée » pour les cultures correspond aux 25% de la lame d'eau reçue qui auraient été perdus par le ruissellement.



Photo 4 : Sols sablo-limoneux cultivés en céréales et installation de banquettes mécaniques pente 10%, Mtimet 2008



5. Avantages hors exploitation

Résumé des principaux avantages de la banquette hors exploitation

Réduction de l'envasement des barrages et les pertes en sol	Fort avantage
Conservation de la biodiversité/restauration des terres arides/micro-climat favorable à l'arboriculture et une diminution des émissions des gaz à effet de serre	Fort avantage
Lutte contre les inondations	Fort avantage
Adaptation au changement climatique (pluies torrentielles)	Fort avantage



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité, inconvénients

La confection d'un réseau de banquettes mécaniques rentre dans le cadre des aménagements de lutte contre l'érosion des terres agricoles et de la gestion de l'eau de ruissellement dans les bassins versants. L'ouvrage banquette est un aménagement efficace qui intercepte le sol érodé par le ruissellement et transporté vers l'aval. Il collecte les eaux de ruissellement et augmente la rétention de l'eau et le bilan hydrique des sols. La végétalisation des ados et/ou des fossés (canaux adjacents) permet de stabiliser l'ouvrage.

Les banquettes mécaniques restent durables dans les grands travaux de CES au Nord et Centre du pays. Toutefois, il faut lutter contre les dégâts comme les brèches d'érosion, et les dommages des animaux.

Cette technique permet de ralentir les processus d'érosion (Khemiri et Jebari, 2021), et contribue à une intensification de l'agriculture (en associant les arbres fruitiers aux abords des bourrelets) et à une bonne répartition des eaux entre les exploitants des secteurs amont et aval en système de banquette à infiltration partielle. En fonction des types d'exploitation (petite, moyenne ou grande) la réalisation des aménagements se fait :

- Par une demande des agriculteurs pour intervenir sur leur exploitation (une forme d'acceptabilité) ;
- Par des opérations techniques suivant un traçage préalable du réseau et une mobilisation du matériel d'exécution montrant une maturité scientifique et technique confirmée par les entreprises. Cependant, et selon les cas, une réticence des agriculteurs se manifeste concernant la perte de surface cultivable (comme la perte de parcours) de 5 à 15% à cause de l'emprise au sol des ouvrages.
- L'ouvrage ne peut être efficace que lors d'épisodes de pluies orageuses très intenses



Photo 5 : Réseau de banquettes sur des petites exploitations et implantation du bourrelet et de l'impluvium (sol limono-calcaire) à observer le tassement au niveau de la plateforme (collecte de l'eau du ruissellement), Mtimet 2008

mais brèves. La nature de la géologie et les sols (sols sableux et argileux influent sur l'absorption des précipitations sans difficultés et avec des pentes entre 7 et 8 %). Le manque d'entretien régulier et les actions des animaux (gerboises, renards, ...) forment une menace sur la durée de vie de la banquette (photo page 5). La durée de vie moyenne d'une banquette est de 10 ans quand l'entretien et la consolidation par les plantations sont assurés durant toute l'année.

- Une difficulté majeure dans l'exécution et la durabilité de la banquette revient à l'état parcellaire dans les secteurs amont (collines, montagnes...) comme dans les secteurs aval. La dimension de la plateforme (impluvium) agit également dans les processus de circulation des agriculteurs, des machines agricoles et des troupeaux (piétinement du bourrelet). Aussi il est indiqué que les aménagements doivent rester de dimensions assez faibles (Mtimet & al. 2003).



7. Coûts et bénéfices

La mise en place d'un réseau de banquettes mécaniques demande la mobilisation d'engins lourds (bulldozers) pour le terrassement et la confection des différentes unités en fonction de la position topographique et de la nature des sols (terres caillouteuses, terres profondes, ...). Son coût varie entre 575 et 865 TND par 100 mètres linéaires. Quant aux coûts d'entretien du réseau, ils varient de 150 à 200 TND/ha en fonction des dégâts constatés.

Les bénéfices observés de ces aménagements (sédiments et ruissellement piégés) sont résumés par l'amélioration des bilans hydriques des sols, l'augmentation des rendements des cultures de et une meilleure régularité interannuelle, avec une production même lors des années sèches.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

- Appuyer l'action participative pour l'évaluation des besoins selon les secteurs prioritaires et des superficies à traiter et aménager afin de définir les actions des programmes correspondants à mettre en place par bassin versant ;
- Promouvoir la recherche appliquée dans les observatoires et sites choisis des territoires des gouvernorats en relation avec les systèmes de production, la dynamique de l'érosion et les agriculteurs et les services régionaux (CRDA, CTV, société civile). Information, sensibilisation et vulgarisation aussi bien auprès des usagers potentiels que des groupements des GDTA (dépliant avec notamment toutes les informations techniques et économiques pertinentes) ;
- Favoriser la conjugaison entre l'aménagement foncier et le GDT ;
- Tenir compte des aspects morpho-édaphiques (texture des sols et lithologie géologique pour parer contre les glissements de terrain) et de l'entretien continu des ouvrages ;
- Soutien et encouragements auprès des petites et moyennes exploitations (subventions par l'APIA).

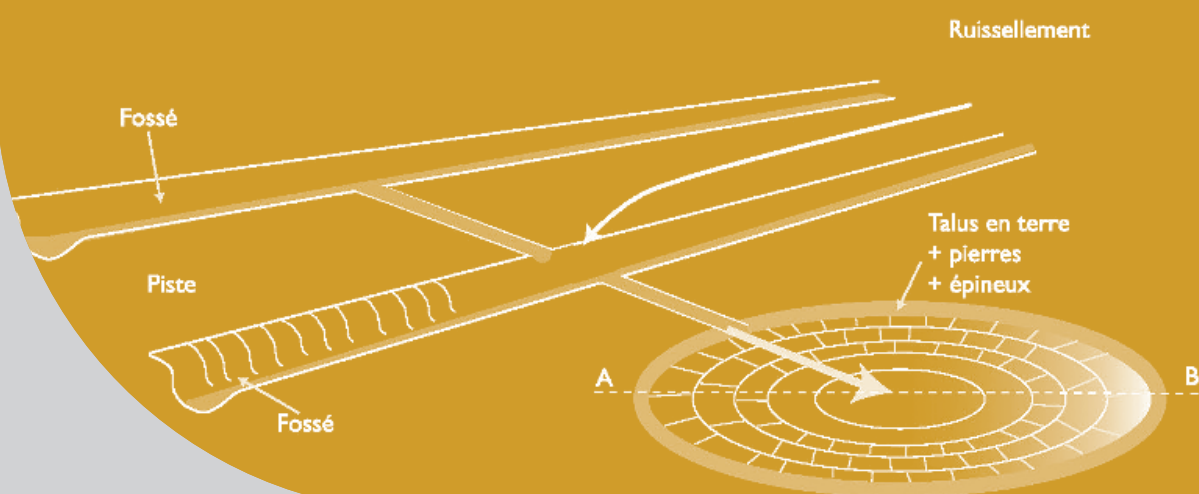


Références de la Fiche « banquette mécanique »

Élément	Référence/source
Page 1 - photo 1 Illustration d'un réseau de banquettes	• Nord Est tunisien, « Earth FROM ABOVE », Pictura, 2000
Page 2 et 3 § 2 – Contexte d'utilisation des sols	• Les sols tunisiens à l'épreuve de la durabilité, A. Mtimet, 2016 • Analyse des systèmes des banquettes mécaniques, E.Roose, 2002
Page 3 § 3 – 2 Illustrations: coupe d'une banquette mécanique	• Rapport annuel RMTA, 2021 • Projet PACTE, INRGREF/DGACTA, 2020
Page 3 § 3, photos 2 et 3	• Etapes de confection des éléments de banquettes • Guide de CES, DGACTA, 1995
Page 4 § 4 - Bilan hydrique et impact	• Rapport technique RMTA, Mtimet, 2003 • Guide de bonnes pratiques – OSS, 2017 • Analyse des systèmes des banquettes mécaniques (Kairouan, Siliana, Zaghuan), E.Roose, 2002
Page 4 §4, Photo 4	• Sols sablo-limoneux cultivés en céréales et installation de banquettes mécaniques, A. Mtimet, 2008
Page 5 - § 5 et 6 - Impacts hors exploitation	• Evaluation de l'érosion hydrique dans les BV de la zone semi-aride tunisienne, Khaoula Khemiri et Sihem Jebari, Cahiers Agriculture, 2021
Page 5 § 6, photo 5	• Réseau de banquettes sur des petites exploitations et implantation du bourrelet et de l'impluvium (sols limono-calcaire) à observer le tassement au niveau de la plateforme (collecte de l'eau du ruissellement), A. Mtimet, 2008
Page 6 § 7 – Mise en œuvre : aménagements hydrauliques	• Contribution de la RMTA dans la réalisation des aménagements hydrauliques : les banquettes mécaniques (journée nationale sur le système des banquettes mécaniques), A. Mtimet, H. Ben Dhiab et M.Djedidi, Fév. 2003



Dévi- ation des cuves



Première Catégorie :
Les bonnes pratiques axées sur
une intervention Physique



1. Description

Les fossés de déviation/infiltration sont des dispositifs dont les objectifs sont de :

- Capter le ruissellement de surface en provenance des terrains non cultivés représentant des risques majeurs d'endommagement des terres agricoles situées à l'aval ;
- Protéger ainsi le parcellaire agricole du ruissellement en provenance de l'amont ;
- Favoriser l'infiltration, dans le fossé même, d'une partie des eaux captées ;
- Dévier les eaux excédentaires vers :
 - Des parcelles ou parties de parcelles situées à l'aval afin d'en faire profiter les cultures ;
 - Des exutoires débouchant sur des dépressions ou des oueds.



Photo 1 : Fossé de déviation des eaux ruisselées de l'amont (terrain en faible pente) pour protéger les terrains de l'aval, RMTA 2021

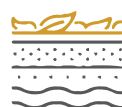


Photo 2 : Fossé de déviation en haut de versant à pente moyenne sous sommet de colline

Déviation des cuves

Les fossés d'infiltration/déviation sont par exemple, sous climats subhumide et semi-aride, intégrés dans l'aménagement de sites (toute zone agro-écologique) dans le Tell, au NO de Kairouan, à Béja, Siliana et Kasserine, sur des terrains en pente moyenne à forte dotés de réseaux de banquettes, où ils sont implantés en haut des versants.

Les parcelles protégées par les fossés de déviation/infiltration peuvent elles-mêmes soit déjà être aménagées/protégées par des dispositifs divers (cordons, murettes, banquettes, bandes enherbées, ...) soit l'être par la suite.



2. Effets physiques visés

Les fossés d'infiltration/déviation visent un ou plusieurs des objectifs suivants :

- Lutter contre la dégradation des parcelles situés à l'aval et de leurs aménagements ;
- Faire profiter les terrains situés à l'aval de l'eau infiltrée (arbres fruitiers, cultures annuelles, fourrages, arbustes fourragers, ...) (eau verte = biodisponibilité de l'eau) ;
- Réguler les débits (notamment des crues) au niveau des exutoires et des oueds ;
- Éliminer ou diminuer fortement le ravinement au niveau des exutoires ;
- Diminuer les transports solides et l'envasement des retenues collinaires et des barrages ;
- Recharger les nappes.

Les fossés d'absorption totale visent l'infiltration de la totalité des eaux de ruissellement (Guide CES, 1995).

Les fossés d'absorption/déviation combinent l'effet d'infiltration au niveau du fossé lui-même



et l'acheminement en surface des eaux ruisselées, autant que possible vers et au profit des parcelles aval et/ou vers des exutoires.

Un exemple de bilan hydrique d'un fossé de déviation/infiltration dans le Centre Ouest, avec une pluviométrie inférieure ou égale à 400 mm/an et pour une longueur de versant dominant de 100 mètres avec un taux d'infiltration de 40%, se résume ainsi (pour une longueur de fossé de 100 m) :

- Volume d'eau total recueilli par le fossé (impluvium + fossé même) : 2.640 m³/an ;
- En cas d'infiltration et/ou répartition en surface totale, au profit des cultures, ceci représente pour un hectare situé à l'aval un apport moyen d'environ 230 mm supplémentaires disponibles pour les cultures (en plus de la pluviométrie reçue directement par le champ). En cas de déviation de 30% des eaux de ruissellement interceptées par le fossé, cet apport ne sera que de l'ordre de 160 mm/an.



3. Détails techniques

Les fossés sont conçus en fossés uniques perpendiculaires à la ligne de pente, en bas du versant dont le ruissellement menace les terrains situés à l'aval (cf. Photo 1). Quand la limite entre le versant/impluvium et le parcellaire



Photo 3 : Confection d'un fossé de déviation avec Ripper

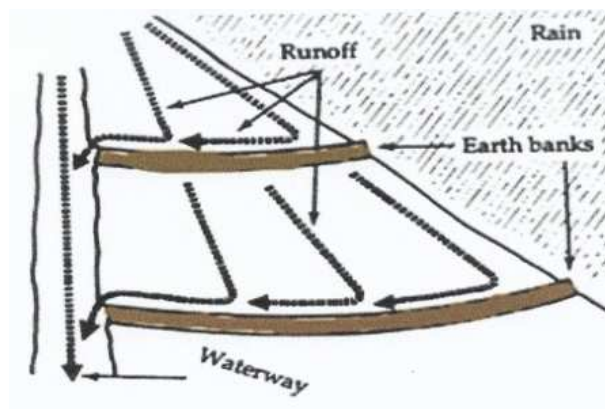


Figure 1 : Collecte des eaux ruisselées par plusieurs fossés de déviation (Greenfield 1989)

cultivé à protéger présente une pente, il y a lieu d'aménager un réseau de plusieurs fossés (cf. Figure 1). Les caractéristiques des fossés seront fonction des conditions du milieu (géologie, morphologie, pédologie, climat), qui déterminent les dimensions des 2 principales composantes du fossé que sont le **canal de déviation** et l'ados (remblai). Le fossé est réalisé par le décapage, à l'aide d'un ripper bulldozer, **d'une zone de plusieurs mètres de largeur (pouvant aller jusqu'à 6 m)** et par le creusement d'un canal de jusqu'à **0,5 m de profondeur**. La digue/bourrelet aura une hauteur pouvant aller jusqu'à 1,20 m.

Une amélioration majeure permettant d'améliorer la durabilité des fossés, tout en ralentissant et en diminuant les écoulements latéraux et en favorisant l'infiltration, consiste en leur compartimentage, soit par des levées de terres, soit par des pierres (si disponibles sur place).



Photo 4 : Fossé de déviation longeant des exploitations agricoles (épisode de sécheresse, Sidi Bouzid, avril 2021)





4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

- Protection directe des sols des parcelles cultivées contre les eaux ruisselées en provenance du versant amont ;
- Possibilité d'aménager la parcelle elle-même (par des cordons, fossés, banquettes, ...) sans que ces aménagements soient détruits notamment en cas de fortes crues ;
- Augmentation des rendements grâce à la remobilisation de l'eau de ruisselée restituée par les fossés (par infiltration ou en surface).



5. Avantages hors exploitation

- Diminution des crues au niveau des bassins versants (exutoires et oueds) ;
- Eliminer ou diminuer fortement le ravinement au niveau des exutoires ;
- Diminuer les dégâts de crue dans les parties aval des bassins versants ;
- Diminuer l'envasement des retenues collinaires et des barrages ;
- Fournir une contribution à la recharge des nappes phréatiques (adaptation aux changements climatiques).

Résumé des principaux avantages des fossés de déviation/infiltration sur et hors exploitation

Avantages	Sur exploitation	Hors exploitation
Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité des parcelles protégées (*)	Fort avantage	
Possibilité d'aménager les parcelles protégées	Fort avantage	
Infiltration de l'eau dans le sol, amélioration du bilan hydrique ("eau verte") (*)	Fort avantage	
Amélioration des rendements	Avantage moyen	
Augmentation du revenu agricole	Avantage moyen	
Adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles) (*)	Fort avantage	Avantage moyen
Diminution du ravinement des exutoires (*)		Avantage moyen
Diminution des inondations et des dégâts de crue (*)		Avantage moyen
Réduction de l'envasement des lacs collinaires et retenues des barrages (*)		Avantage moyen
Recharge de la nappe phréatique (*)		Avantage faible

■ Avantage faible

■ Avantage moyen

■ Fort avantage

(*) Avantages ayant une dimension « adaptation au CC »



6. Conditions de mise en œuvre, inconvénients et durabilité

L'identification des sites précis d'aménagement des fossés de déviation/infiltration du ruisselle-

ment puis leur conception, leur réalisation et leur bon fonctionnement exigent d'accorder une importance particulière :

- À la valeur de l'ensemble des terrains situés à l'aval, à protéger par le fossé, et au niveau de leur valorisation agricole (paramètres justifiant la protection de ces terrains) ;



Déviation des cuves

- À la nécessité de protéger ces terrains du ruissellement de l'amont (réseau de banquettes mécaniques) et d'y réaliser des aménagements supplémentaires « intra-parcelle » ;
- Au dimensionnement du **canal et de la digue/remblais** ; ce dimensionnement doit notamment tenir compte (i) des intensités pluviales, (ii) de la longueur de la pente et (iii) la perméabilité du sol du versant dominant et (iv) de la longueur du fossé de déviation/infiltration lui-même ;
- Au bon entretien des fossés (pendant la saison sèche), pour assurer un écoulement suffisant au niveau du canal et éviter tout débordement de la digue (qui endommagerait les champs situés à l'aval et leurs aménagements). Cet entretien sera nécessaire, selon les cas, suite notamment aux événements climatiques exceptionnels et à d'éventuels dommages provoqués par le cheptel, mais aussi par le comblement progressif du canal et des tassements ou affaissements de la digue/bourrelet.

Les fossés ne présentent pas d'inconvénients particuliers, notamment parce qu'en général ils pourront être réalisés sans empiéter sur le parcellaire agricole, puisqu'ils se situent à l'amont de celui-ci et longe les exploitations.



7. Coûts et bénéfices

L'aménagement des fossés de déviation/infiltration se fera par des moyens mécaniques lourds (riper bulldozer), d'autant plus qu'ils concernent le plus souvent plusieurs exploitations, ce qui rend difficile l'auto-aménagement par les agriculteurs (ce dont il faudra compte pour leur mise à l'échelle ; cf. §8).

Leur cout varie de 2.200 à 2.500 TND/1000 ml. A

raison de 1.000 m linéaire pour 5 ha de parcellaire agricole à protéger, ceci correspond à 440 à 500 TND/ha. Le coût d'entretien est estimé à entre 150 et 200 TND/ha.

Le bénéfice au niveau de l'exploitation agricole résultant de l'aménagement des fossés correspondra, sur la base des hypothèses du §2 ci-dessus, à une augmentation des rendements agricoles d'environ 30% (hors impacts des éventuels aménagements supplémentaires permis suit à la protection des parcelles contre le ruissellement amorcé).



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle peut être promue par :

- L'identification participative des sites d'aménagement des fossés de déviation/infiltration du ruissellement, a priori notamment sur les hauts de versant, en tenant compte :
 - ▶ De la gravité des problèmes de dégradation des sols provoqués par le ruissellement en provenance des terrains amont ;
 - ▶ De l'intérêt économique, pour les exploitants agricoles, de la maîtrise des eaux ruisselées et/ou de leur valorisation et/ou de l'aménagement devenu possible du parcellaire protégé ;
 - ▶ L'établissement participatif des plans d'aménagement intégrés des sites retenus, prévoyant, en plus des fossés d'infiltration/déviation :
 - ▶ Les aménagements ou autres pratiques de gestion durable des sols sur le parcellaire protégé par ces fossés ;
 - ▶ Les éventuels dispositifs de répartition des eaux non infiltrés à travers le parcellaire cultivé ;



- La réalisation d'un montage participatif (avec les groupes d'agriculteurs concernés) de la réalisation des plans d'aménagement, avec a priori une prise en charge de l'aménagement

des fossés par l'état (budget courant; projet; ...), motivant les agriculteurs pour une participation très significative de leur part dans l'aménagement de leurs parcelles (complétée par une subvention).



Références de la Fiche « Déviation des cuves »

Élément	Référence/source
Page 1 § 1 - Photos 1 et 2	• Détails des actions techniques (banquettes et fossés). RMTA, 2021 • Rapport de synthèse, réseau banquettes et processus d'érosion, Mtimet, 2005 et 2014
Page 2 § 2- Bilan hydrique	• Calculs du consultant selon mode de calcul figurant dans « Pluies, érosion, ruissellement », Albergel & al. 2003 and Roose, 2002
Page 2 § 3 - Figure 1	• Collecte des eaux de ruissellement, http://www.nap.edu/catalog/2077.html • Guide de CES ; DGA/ACTA/MARH, 1995
Page 2 - Photo 3	• Confection d'un fossé de déviation avec Ripper : Phases de mise en œuvre. RMTA, 2020
Page 2 - Photo 4	• Fossé de déviation : Episodes de sécheresse à Sidi Bouzid, Mtimet, 2021
Page 3 - § 4 et 5	• Rapport de synthèse, réseau banquettes et processus d'érosion, Mtimet, 2005 et 2014
Page 5 - §7	• Indiquer la référence/source pour le coût unitaire



Deuxième Catégorie : **Les bonnes pratiques** **axées sur une** **intervention** **agronomique ou de** **végétalisation**







Confection de banquette avec des haies de vétiver



Deuxième Catégorie :
**Les bonnes pratiques axées sur une
intervention agronomique ou de
végétalisation**



Confection de banquette avec des haies de vétiver



1. Description

La technique consiste à planter une ligne de plants de vétiver suivant les courbes de niveau, distants de 10-15 cm (cf. Figure 1).

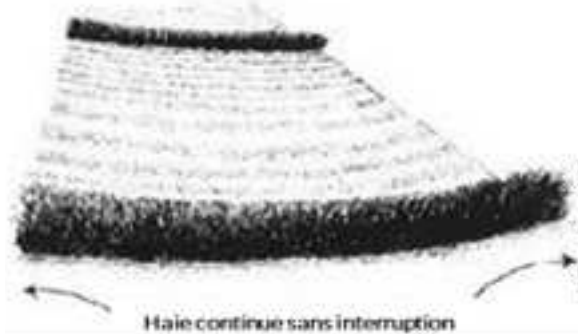


Figure 1 : Haies végétales (Système Vétiver)

Les eaux ruisselées (cf. Figure 2), seront ralenties par la bande de vétiver (qui peut constituer à terme une véritable haie), elles déposeront les sédiments transportés (cf. Figure 3) et s'infiltreront en partie. Par ailleurs, à cause des bandes/haies végétales horizontales, le labour sera obligatoirement effectué selon les courbes de niveau. Avec le temps, la végétation se densifiera, la sédimentation et l'infiltration de l'eau ruisselée se renforceront et, par l'effet conjoint de l'érosion aratoire en bas de la bande végétalisée et du dépôt des sédiments à son amont, la bande de vétiver se transformera en un talus stabilisé formant une

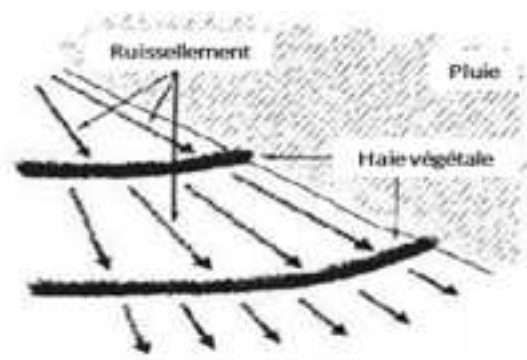


Figure 2 : Drainage du système de haies végétales

terrasse, et la pente du terrain entre les lignes de vétiver diminuera (cf. Figure 4).

Par ailleurs, le long de la haie, les racines sont si denses qu'elles créent un rideau de racines (cf. Figure 5). Ceci, associé à la résistance élevée à la traction des racines, constitue la raison pour laquelle le vétiver stabilise des pentes très raides et empêche le glissement des terrains.



Photo 1 : Cette photo montre la coupe transversale d'une haie de vétiver de 2 ans et du sol (terrain en pente de 5%).

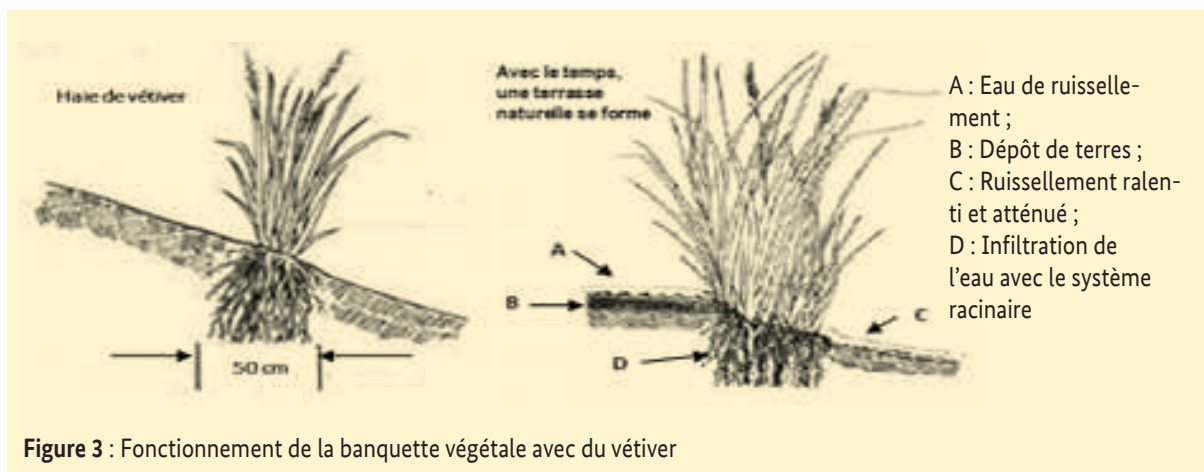


Figure 3 : Fonctionnement de la banquette végétale avec du vétiver

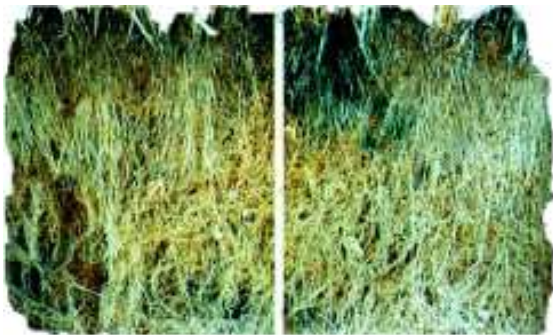


Photo 2 : Photo d'une section longitudinale à travers une haie de vétiver.

Pourquoi le vétiver ?

Les caractéristiques du vétiver sont particulièrement adaptées à la conservation de l'eau et du sol sur les terrains agricoles :

- Le vétiver (*Vetiveria zizanioides*) (نجيل الهند) est une plante rustique. C'est une graminée en C4 pouvant s'adapter à une grande étendue de conditions édapho-climatiques (pluviométrie, température, salinité, acidité, hydromorphie, etc.) ;
- Son système racinaire a plusieurs particularités: racines fibreuses, spongieuses et denses assurant un fort ancrage et une pénétration profonde (pouvant aller jusqu'à 6 mètres), lui permettant d'utiliser les nutriments des couches profondes (et de les restituer aux couches superficielles), mais avec une faible croissance latérale (d'où une faible compétition avec les cultures pour les nutriments et l'eau) ;
- Souches hautes et raides formant une haie dense, ralentissant et épandant efficacement les eaux de ruissellement et réduisant ainsi leur pouvoir érosif ;
- Multiplication végétative facile ;
- Les jeunes pousses de vétiver ont une valeur fourragère non négligeable (0,8 UF/kg de MS et 15,8% de Matière Azotée Digestible, ce qui est supérieur aux autres graminées¹) ;
- Les bandes de vétiver n'occupent qu'une faible partie du terrain qu'elles protègent.

La couche arable d'origine est la couche sombre. Ainsi, environ 30 cm de sol se sont accumulés derrière la haie pour créer une terrasse et où la haie a grandi avec la terrasse pour constituer une banquette biologique.

Les haies de vétiver peuvent être développées dans les conditions suivantes :

- Pluviométrie : de 250 à plus de 800 mm ;
- Type de terrain : Versant, piedmont, glacis et plaine ;
- Type de sol : tout type de sol (le vétiver tolère la salinité, l'alcalinité et l'acidité) ;
- Pente : faible, moyenne et forte ;
- Types de culture : cultures annuelles (grandes cultures), prairies, arboriculture ;
- Taille des exploitations : Petites, moyennes et grandes exploitations.



2. Effets physiques visés

- Fixation biologique du sol ;
- Réduction de l'érosion ;
- Ralentissement du ruissellement ;
- Amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol de 20 à 50% (effet réservoir).



3. Détails techniques

La mise en place et la conduite des haies de vétiver comportent les activités suivantes :

1. Tracer les courbes de niveau par piquetage et les concrétiser par un sillon de labour ;
2. Obtenir le matériel végétal de vétiver (boutures racinées ou non, éclats de souche) ;
3. Avant de planter, le « rafraichir » en coupant les racines à 10 cm du bas du collet et les feuilles à 15 cm de longueur ;

1. Effects of shading on vetiver development (*Chrysopogon zizanioides* L.) under greenhouse, Agro and Biotech, BEN ROMDHANE and alii, Journal of New Sciences, 2017



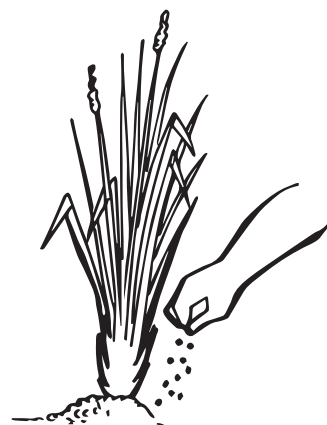
4. Plantez toujours au début de l'automne pour profiter pleinement des pluies. Même dans les zones arides qui reçoivent de l'ordre de 200 mm de pluie par an, une haie de vétiver en courbe de niveau peut survivre ;
5. Faites un trou dans le sillon qui a été labouré, aussi précisément que possible sur la courbe de niveau ;
6. Une seule rangée de plants doit être plantée.
7. Les rangées seront d'autant plus rapprochées que la pente est forte. Avec un dénivelé de 2 mètres sur l'espace inter-rangée, par exemple, les haies sur une pente de 2% seraient espacées d'environ 100 mètres et celles sur une pente de 10% seraient espacées de 20 mètres ;
8. Entretien :
 - Effectuer une taille annuelle à une hauteur d'environ 30-50 centimètres du collet pour favoriser le tallage et prévenir l'ombrage des cultures ;
 - Labourer le long des bords des haies pour éliminer toutes les talles qui empiètent sur le champ de culture et pour empêcher ainsi les haies de devenir trop larges.

4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Les haies de vétiver, grâce aux effets évoqués ci-dessus, permettent de :

- Prévenir l'érosion en rigoles et ravines, au sein du parcellaire agricole ;
- Augmenter le rendement des cultures de 15% à 30% par :
 - L'infiltration accrue de l'eau de ruissellement qui peut atteindre 70%.
 - L'amélioration de la fertilité du sol/stock de matière organique du sol ;
 - La réduction de la perte en terre par l'érosion ;

- Réduction de la vitesse du vent en surface/ Réduction de l'ETP ;
- Production de biomasse fourragère et pour le paillage ;
- Contribution au maintien de la micro et macro faune du sol ;
- Protection des cultures contre les insectes: le vétiver est répulsif et/ou insecticide des chenilles, termites, moustiques, grâce à ses composés naturels, notamment les «terpènes»;
- En outre, les haies de vétiver occupent une surface faible (4% à 8% de la parcelle) comparativement à la banquette mécanique (10 à 25%).



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

- Contribution à l'atténuation des effets du changement climatique par la séquestration du carbone dans le sol et dans la biomasse, notamment en raison de sa haute productivité en biomasse ;

Contribution à la réduction de l'ensemble des effets et impacts du ruissellement et de l'érosion au niveau du bassin versant.

Le tableau ci-dessous résume les principaux avantages des haies de vétiver sur et hors exploitation (les avantages liés à l'atténuation ou à l'adaptation au CC sont indiqués par un *

Confection de banquette avec des haies de vétiver

Résumé des principaux avantages des bandes/haies de vétiver, sur et hors exploitation		
Avantages	Sur exploitation	Hors exploitation
Augmentation de « l'eau verte » au profit des cultures (*)		
Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité des sols (*)		
Prévention/correction de l'érosion en rigoles et ravines au sein du parcellaire (*)		
Amélioration des rendements		
Productions d'unités fourragères		
Augmentation du revenu agricole		
Adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles) (*)		
Atténuation du CC (par séquestration du carbone) (*)		
Diminution des dégâts de crue à l'aval (*)		
Diminution du ravinement à l'aval (*)		
Diminution de l'envasement des barrages (*)		
Contribution à la sécurité alimentaire (*)		

■ Avantage faible ■ Avantage moyen ■ Fort avantage



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

L'aménagement des banquettes avec du vétiver est **une pratique mature dans de nombreux pays**, ne nécessite pas une technicité importante et peut être réalisée par les agriculteurs eux-mêmes ou, à la limite, sous-traitée à des entrepreneurs dans le cas de grandes exploitations.

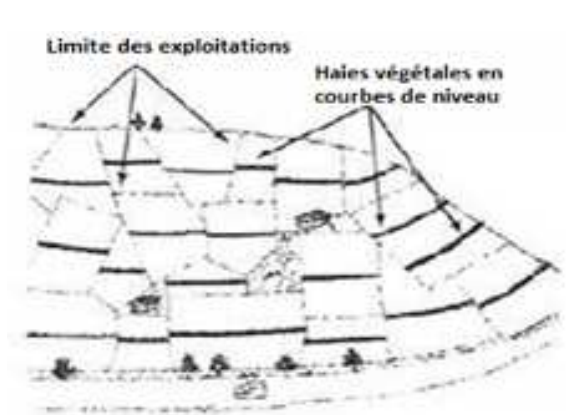


Figure 4 : Schéma indicatif de mise en place d'un système de haies de vétiver sur un versant

2. Calcul du consultant.

Cela dit, les banquettes avec des lignes de vétiver sont durables, à condition d'assurer un minimum d'entretien (coupes régulières) en vue d'éviter que la ligne de vétiver empiète sur le terrain de culture (espace inter banquette). De même, le vétiver étant bien apprécié par le bétail, il est nécessaire de protéger les haies durant la première année contre la divagation des animaux.

La figure 4 montre à titre d'exemple **comment un réseau de haies de vétiver peut être mis en place de façon souple**, en s'adaptant aux différentes contraintes spécifiques (foncières) au niveau des différentes exploitations et parcelles, et en permettant le passage aisé entre parcelles et entre les différentes inter-bandes cultivées.



7. Coûts et bénéfices²

Les coûts de mise en œuvre de la pratique portent sur :

- La matérialisation des courbes de niveau, estimée à 25 DT/ha ;

- L'achat du matériel végétal, estimé à 375 DT/ha ;
- La plantation (main d'œuvre), estimée à 105 DT/ha ;
- L'entretien annuel (moins d'œuvre) estimé à 70 DT/ha/an.

Le coût d'investissement est évalué à 505 DT/ha auquel s'ajoute le coût récurrent de 70 DT/ha/an. Les retombées positives s'élèvent progressivement de 340 à 710 DT/an après 20 ans (augmentation du rendement moyen de 15% à 30%, plus les Unités Fourragères produites par le vétiver), ce qui donne un taux de rentabilité interne de 10 à 25%.

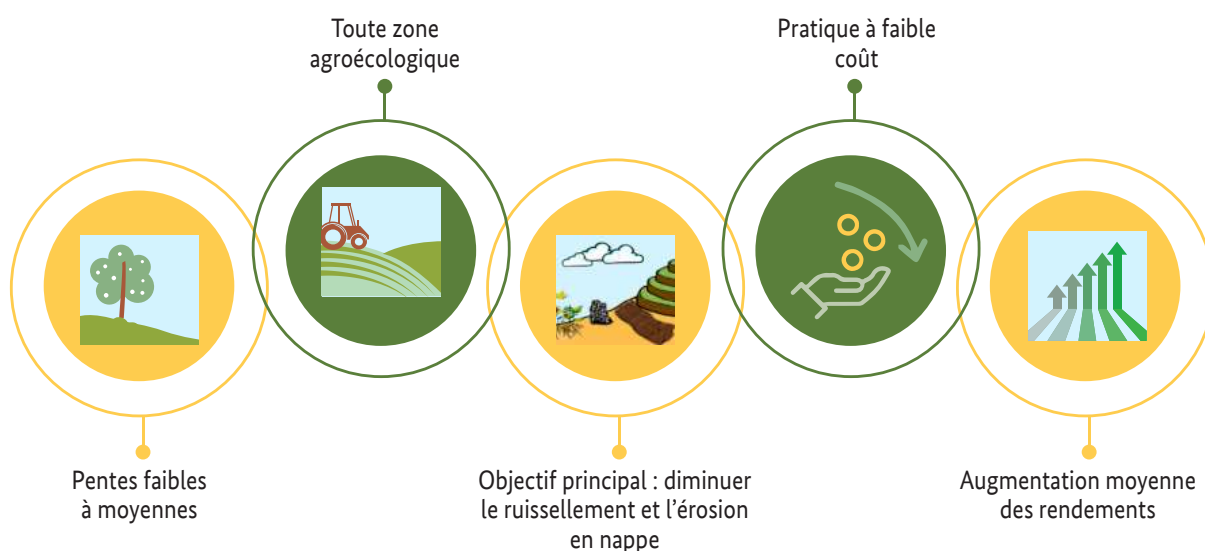


8. Recommandations pour la mise à l'échelle

Bien que quelques introductions du vétiver en Tunisie aient été signalées³, le vétiver n'est pas actuellement utilisé en Tunisie dans le cadre de la protection des sols contre l'érosion.

Or, le vétiver a montré un développement spectaculaire et une résistance remarquable à la sécheresse dans la région de Monastir.

Pour cette raison, il est recommandé de le tester à une échelle pilote dans une première étape dans différentes zones agro-écologiques, à une échelle suffisante (au moins une dizaine d'hectares par zone agro-écologique), et ce en vue d'affiner les conditions de son adoption et de sa généralisation dans une étape ultérieure.



3. Le vétiver avait été introduit en Tunisie en 1940 pour fixer les entiers muletiers en Kroumerie-Mogod et pour lutter contre l'ensablement ; malheureusement il semblerait qu'il a disparu. Néanmoins il a été réintroduit en 2008 par un horticulteur dans la région de Monastir.

Confection de banquette avec des haies de vétiver



Références de la Fiche « Confection de banquette avec des haies de vétiver »

Élément	Référence/source
Figures 1, 2, 3 et 4 : Photos 1 et 2 :	Vetiver Grass: The Hedge against Erosion, The World Bank, Washington, D.C. (Fourth edition April 1993), Cover design by Bill Fraser, ISBN 0-8213-1405-X. http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS/TVN_greenEng.pdf .
1. Description	Vétiver - Etonnante plante primitive multifonctionnelle : https://lavierebelle.org/vetiver-etonnante-plante-primitive
2. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation	Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization: a collection of papers and newsletters / compiled by the Vetiver Network; edited by Richard Grimshaw and Larisa Helfer. p. cm.-(World Bank technical paper, ISSN 0253-7494; no. 273). https://documents1.worldbank.org/curated/en/378301468739764572/pdf/multi-page.pdf
3. Coûts et bénéfices	
Photos 3 et 4 :	Le consultant (Communication personnelle de Habib Kraiem).
Articles et documents pertinents ayant trait à l'utilisation du vétiver dans le domaine de la conservation des eaux et du sol.	Lily Grimshaw : The vétiver system for agriculture. Dedicated to John C Greenfield The «Father» of the Vetiver System 1st Edition 2008. Published by The Vetiver Network International. https://www.vetiver.org/ Richard Grimshaw : The Vetiver System for Soil and Water Conservation. Proven and Green Environmental Solutions. First Edition Published by The Vetiver Network International. USA 2008. https://www.vetiver.org/PUBLICATIONS/Vetiver%20System%20for%20Soil%20and%20Water%20Conservation.pdf U. C. Lavania and Seshu Lavania : Sequestration of atmospheric carbon into subsoil horizons through deep-rooted grasses – vetiver grass model. Current Science, VOL. 97, NO. 5, 10 September 2009. https://www.researchgate.net/publication/237490672_Sequestration_of_atmospheric_carbon_into_subsoil_horizons_through_deep-rooted_grasses_-_Vetiver_grass_model B. Deesaeng, J. Pheunda, C. Onarsa and A. Boonsaner : Vetiver potential for increasing groundwater recharge - Watershed Research Division, Watershed Conservation and Management Office, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Bangkok, Thailand. https://www.researchgate.net/publication/237280856_VETIVER_POTENTIAL_FOR_INCREASING_GROUNDWATER_RECHARGE
Sites WEB intéressants :	https://www.vetiver.org/ https://lavierebelle.org/vetiver-etonnante-plante-primitive



Agriculture de conservation



Deuxième Catégorie :
**Les bonnes pratiques axées sur une
intervention agronomique ou de
végétalisation**



1. Description

L'agriculture de conservation (AC) est un système de culture combinant plusieurs pratiques basées sur trois grands principes (FAO 2015) :

► Une perturbation mécanique minimale des sols



► Une couverture organique permanente d'au moins 30 % de la superficie du sol



► La diversification des espèces cultivées (au moins trois cultures successives)



De ce fait, la pratique de l'AC dépend largement de la combinaison adoptée de ces 3 principes, selon les facteurs du milieu agro écologique, donnant lieu à des pratiques de fait distinctes.

Développée aux Etats-Unis dans les années 1930, suite à des phénomènes majeurs d'érosion éolienne et hydrique en partie dû à un travail intensif du sol (dust bowl), l'AC repose sur l'adoption de plusieurs pratiques ayant pour objectif de conserver le potentiel agronomique des sols **en altérant aussi peu que possible**

sa composition, sa structure, sa biodiversité naturelle et en le préservant des processus d'érosion. La réduction du travail du sol et la couverture permanente (plantes vivantes ou résidus de culture) favorisent :

- La protection des sols contre l'érosion ;
- L'infiltration de l'eau de pluie ;
- L'augmentation de la taille des agrégats du sol, de son taux de matière organique et de sa fertilité ;
- La réduction du lessivage et de la pollution des eaux de surface et souterraines ;
- La réduction des émissions de CO₂ ;
- L'augmentation de la biodiversité sur la parcelle.

L'agriculture de conservation comprend les pratiques suivantes, combinées ou non (ECAF : <https://ecaf.org/ecaf/>) :

Le semis direct ou le non-labour

Aucune intervention mécanique de travail du sol (labour, hersage) n'est réalisée entre la récolte de la culture précédente et le semis de la suivante. Le lit de semence est préparé sur une faible profondeur (<15cm) grâce à des coutres, des chasses résidus rotatifs, des disques ouvreurs, des dents de chisel ou un roto-tiller. Le contrôle des adventices est obtenu par l'introduction d'une culture intermédiaire ou réalisé avec des herbicides (impact environnemental à considérer): (Laura VINCENT-CABOUD et al, 2017. https://abiodoc.docressources.fr/index.php?l-vl=author_see&id=16373).



Photo 1 : Opération de semis direct sur chaume à El Krib.



Photo 2 : Semis direct de blé à El Krib.



Photo 3 : Soc en patte d'oie pour déchaumeur.



La culture en billon

De même que pour le semis direct, le sol n'est pas travaillé entre la récolte précédente et le semis de la culture suivante.

Le lit de semence est préparé en billons d'environ 15-20 cm de hauteur avec un soc pour déchaumeur en forme de patte d'oie (cf. Photo 3), d'une largeur de travail de 20-30 cm, disque ouvreuse, coutres ou chasse résidus rotatifs. Les résidus sont laissés en surface entre les billons. Le contrôle des adventices peut être réalisé avec des herbicides (impact environnemental à considérer).

La culture sous mulch/techniques culturales simplifiées (TCS)

Le sol est travaillé avant le semis.

Les outils de travaux du sol utilisés sont des chisels, cultivateurs, cover-crop, soc en forme de patte d'oie ou des lames.

Le contrôle des adventices est réalisé de plusieurs façons. En non-labour, le sol est travaillé immédiatement après la récolte mais superficiellement et sans retournement, d'où la faible incorporation des graines d'adventices, qui en inhibe la germination. Le maintien en surface des résidus de récolte contribue également à l'inhibition de la germination et de la croissance des adventices. Enfin, ce travail du sol fait office de « faux semis » pour la germination d'une partie des graines des adventices et fournit une couverture du sol pendant l'inter culture.



Photo 4 : Champ de semi direct de couverture (Sorgho fourrager, après avoine) à El Krib.

Par ailleurs, en AC, les adventices sont combattues par les rotations et par l'utilisation des herbicides (cf. §3).

Les cultures de couverture

Il s'agit de semer des espèces appropriées ou de laisser pousser une végétation spontanée entre les rangs d'arbres ou, à une époque déterminée, entre deux cultures annuelles successives.

Cette pratique permet d'empêcher l'érosion du sol et de contrôler les plantes adventices.

Les cultures de couverture sont soit roulées ou fauchées et laissées sur place quand il s'agit d'une végétation spontanée dans les vergers/vignobles, soit exploitées quand il s'agit d'une culture (fourragère généralement), soit gérées avec des herbicides ayant un minimum d'impact environnemental.

Ces pratiques peuvent être adoptées séparément ou d'une manière combinée, et ce en fonction des conditions agro écologiques locales, ainsi que de la diversification/rotation des cultures et de leurs cycles végétatifs, etc.

De ce fait la pratique de l'AC revêt un caractère complexe qui fait qu'elle ne pourrait être « enfermée » dans une pratique standardisée, applicable partout, ce qui appelle la nécessité de l'adapter chaque fois que nécessaire aux conditions locales. Cet état des choses a fait qu'à ce jour, il n'y a aucun référentiel technique standard au niveau de l'INGC.



Photo 5 : Opération de semi direct de blé sur couvert de sorgho à El Krib.





2. Effets physiques visés

L'AC vise à empêcher la perte de terres arables, voire à régénérer les terres agricoles dégradées, tout en préservant et augmentant leur productivité. Cependant, les effets physiques varient selon les pratiques adoptées. Le tableau ci-après présente à titre d'exemple, les effets physiques de la pratique du SD combinée à la pratique de la SCV.

Semis direct seul	Semis direct combiné au SCV (Permanente ou non)
Elimination ou minimisation du travail du sol ce qui permet le maintien en surface et l'inhibition de la germination des graines des adventices (et évite aussi, dans le premier temps de la mise en place du système AC, la remontée du stock de graines enfouies profondément dans le sol)	
Réduction de la contamination des eaux de surface	
Augmentation naturelle relative de la matière organique et de l'activité biologique au niveau du sol	
Protection relative du sol contre l'érosion des précipitations et du ruissellement	
	Conservation des sols (diminution de l'érosion) ;
	Amélioration de la structure et de la porosité du sol (d'où une meilleure infiltration de l'eau de pluie) ;
	Augmentation du stock d'eau dans le sol par la diminution de l'évapotranspiration (couverture du sol) ;
	Fixation symbiotique de l'azote (utilisation des légumineuses).

Les effets listés ci-dessus sont des effets perceptibles à court terme.

A plus long terme, l'AC combinant le SD au SCV (Permanente ou non), entraîne une augmentation

importante du taux de matière organique dans le sol, ce qui, tout en profitant directement aux rendements des cultures, renforcera encore les effets décrits ci-dessus.



3. Détails techniques

Comme évoqué plus haut (§. 1), les détails techniques de la pratique dépendent des conditions agro-écologiques locales. En se référant aux derniers développements dans ce domaine, deux pratiques distinctes sont décrites ci-après à titre indicatif :

- La pratique du SD combiné aux TCS (Techniques Culturales Simplifiées), appropriée pour l'étage bioclimatique semi-aride inférieur ;
- La pratique du SD combiné à la culture SCV (permanent ou non), appropriée pour l'étage bioclimatique semi-aride supérieur et subhumide.

i) Pratique du SD + TCS :

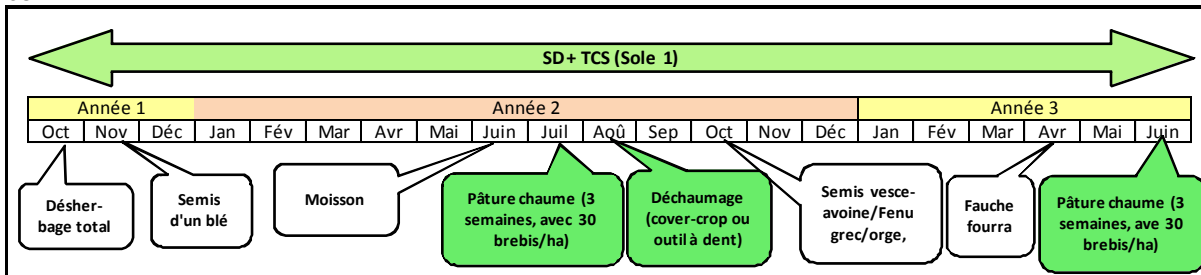
Cette pratique est basée sur rotation biannuelle des cultures alternant un blé avec un fourrage de légumineuse ou un mix de graminées et de légumineuses, ainsi qu'une intégration de l'élevage ovin raisonné sur le plan des effectifs. Les techniques préconisées comportent :

- Le SD pour l'installation des cultures ;
- Une exploitation modérée des chaumes par pâture de manière à assurer une couverture d'au moins 30% du sol par les résidus des cultures ;
- Le déchaumage moyennant une façon superficielle qui vise à pulvériser les résidus de culture et favoriser le semis des adventices ;
- La constitution de stocks fourragers (foins, paille, grains) pour subvenir aux besoins du cheptel de l'exploitation pour compenser la limitation de la pâture des chaumes.

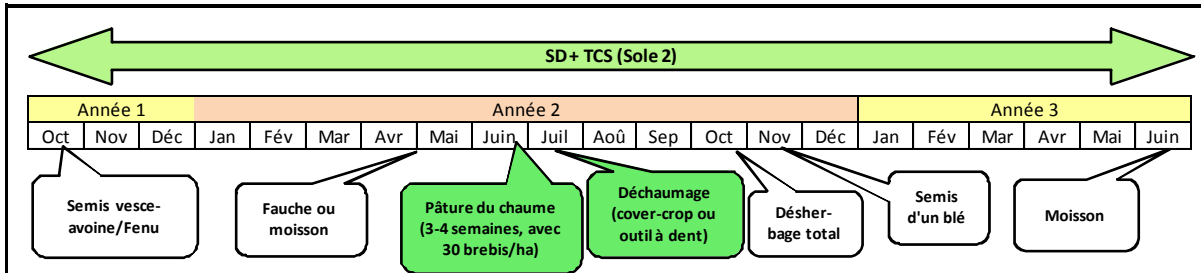
Sur cette base, les séquences de cette pratique pourraient être schématisées comme suit :

Agriculture de conservation

SOLE 1:



SOLE 2:



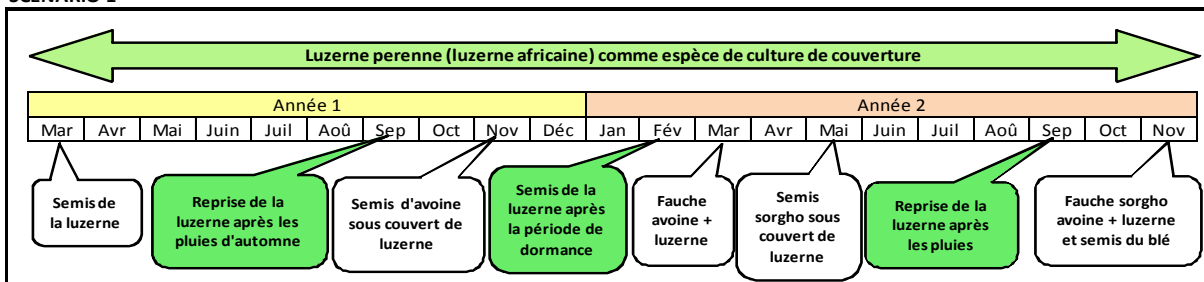
ii) Pratique du SD combiné à une culture de couverture (permanente ou non) :

Cette pratique a été testée par le CTC au cours de la période 2002-2004 dans la zone du Krib (Nord du Gouvernorat de Siliana) en adoptant le sorgho fourrager comme une culture de couverture vivante. Cependant, malgré les résultats probants obtenus, il a été conclu que le caractère erratique de la pluviométrie dans le contexte méditerranéen à la fin du printemps et au début de l'été, ne permet pas d'adopter une telle pratique d'une manière durable. C'est ainsi que les derniers développements de la pratique de l'AC dans la

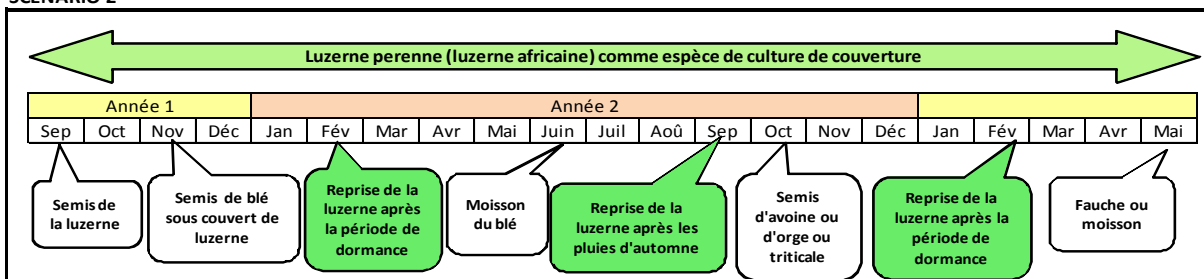
région maghrébine (https://www.fert.fr/v2/wp-content/uploads/2018/09/Fiche_SD_FR_Fert.pdf) ont permis de mettre au point une pratique axée sur l'adoption d'une culture sous couverture permanente utilisant une luzerne pluriannuelle ou pérenne, en l'occurrence la luzerne africaine. Les séquences et les scénarii de développement de cette pratique sont schématisés comme suit : Les principales améliorations possibles de la pratique résident dans la mise au point :

- D'itinéraires techniques pour la pratique du SD + TCS dans les zones semi-arides dans le sens de son adaptation aux conditions

SCENARIO 1



SCENARIO 2



- pédoclimatiques des zones agro écologiques bénéficiant d'une pluviométrie de 350 à 400 mm ;
- D'itinéraires techniques pour la pratique du SD + SCV moyennant l'identification d'espèces végétales autochtones utiles, notamment fourragères, qui seraient en mesure d'assurer une couverture quasi permanente du sol sous les différentes conditions agro-écologiques.

Une telle mise au point **requerra des travaux de Recherche-Développement et de suivi de 5 ans** au minimum en vue de maîtriser (i) la gestion des adventices, (ii) les doses d'engrais azotés, (iii) le contrôle des limaces, et surtout (iv) l'intégration

de l'élevage (ovin) qui pose le problème de la gestion des résidus de culture (chaumes) laquelle constitue un des éléments clés de la pratique du SD.



4. Avantages/ impacts au niveau de l'exploitation

Les avantages de l'AC varient selon les pratiques ou la combinaison des pratiques utilisées. Le tableau ci-après fait état des avantages inhérents aux pratiques considérées, à savoir, le SD combiné aux TCS et le SD combiné à la culture SCV.

Résumé des principaux avantages des pratiques ayant trait à l'Agriculture de Conservation

Avantages	Pratique	
	SD + TCS	SD+SCV
Agronomiques		
Diminution de l'érosion et de la battance (meilleure infiltration etc.)(*)		
Augmentation du taux de Matière Organique dans les profils superficiels		
Economie de l'eau : moins d'évaporation/ruissellement grâce à la couverture (*)		
Accroissement de l'activité biologique des sols		
Diminution du lessivage des nutriments azotés/ lixiviation des nitrates		
Amélioration de la portance des sols (meilleur accès aux parcelles)		
Rendements équivalents si le semis est réalisé dans de bonnes conditions		
Environnementaux		
Atténuation du CC par séquestration du carbone dans le sol (*)		
Diminution de la consommation d'énergie (Diminution des émissions de CO2) (*)		
Socio-économiques		
Réduction de la durée et du coût des opérations culturales		
Diminution des coûts de mécanisation/ Economie de carburant (*)		
Augmentation de la biomasse fourragère pour l'élevage		
Amélioration de la résilience de la production agricole vis-à-vis des aléas du CC (*)		

■ Avantage faible ■ Avantage moyen ■ Fort avantage

(*) principaux avantages liés à l'atténuation et/ou à l'adaptation au CC

1. D'après (Gitonga, 2005), cité in « La pratique de la gestion durable des terres ». Dans le cas de la pratique du paillage combiné aux techniques culturales simplifiées, l'eau disponible pour la culture passe de 27 à 55%, la perte d'eau par évaporation passe de 65% à 44%, tandis que la perte d'eau par ruissellement passe par de 8% à 1%.



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

Ceux-ci consistent en :

- Une contribution double à l'atténuation du CC au niveau global/mondial, par (i) la séquestration du carbone au niveau du sol et (ii) la réduction des émissions de Gaz à effets de Serre subséquente à l'économie de carburant résultant de la réduction des façons culturales mécanisées ;
- L'atténuation des crues et la réduction de l'envasement des barrages au niveau des bassins versant, subséquente à la diminution de l'érosion;
- Une certaine contribution à l'amélioration de la biodiversité agricole (rotations et assolements plus diversifiés des cultures) et de la méso-biodiversité.



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

L'AC, sous ses différentes formes, est une pratique dynamique du point de vue scientifique et technologique qui requiert des adaptations continues. Elle a été introduite en Tunisie une première fois en 1985 par l'Office des Terres Domaniales (OTD) qui avait reçu un semoir anglais et procédé à des essais dans certaines UCP (Unités Coopératives de Production) dans la région de Béja. Cependant, faute de suivi technique et scientifique, des essais de semis direct furent abandonnés². Ce n'est qu'à partir de 1998/1999 que l'AC a pris son réel envol avec l'appui du CIRAD. En 2004/2005, l'AC a été adoptée par 44 grandes et moyennes exploitations du Nord de

la Tunisie sur une superficie de 2.931 ha³ pour atteindre 12.000 ha en 2010/2011 et 14.000 ha en 2015/2016 (250 exploitations)⁴. Ceci atteste de son acceptabilité au niveau de ces catégories d'exploitation. Elle pourrait être développée davantage en considérant notamment l'investissement initial et le nécessaire équilibre entre productions animales et végétales (système polyculture-élevage). Sa mise en œuvre nécessite:

- La disponibilité des semoirs spécialisés à un prix abordable et avec un besoin de puissance de traction acceptable ;
- La possibilité d'adapter le système d'affouragement du cheptel (pâturage contrôlé des chaumes, culture de couverture, diversification et rotation des cultures) ;
- Un suivi-encadrement approprié au cours des 5 premières années d'introduction de la pratique, notamment au niveau des moyennes exploitations.

Ce sont notamment les insuffisances sur ces derniers points qui expliquent les difficultés d'acceptation/appropriation de la pratique par un plus grand nombre d'agriculteurs.

Les principaux inconvénients de ces pratiques qui nécessitent une certaine vigilance sont :

L'augmentation des émissions de N₂O les 5 premières années au cours desquelles un apport supplémentaire (10 à 20%) d'engrais azotés est requis;

- l'augmentation fréquente de l'utilisation d'herbicides les premières années, à défaut d'un recours insuffisant aux solutions agronomiques de lutte contre les adventices (rotations, faux-semis, semis précoce ; cf. §2 et §3) ;
- les problèmes de la difficile maîtrise de certains

2. Communication personnelle de M. Boubaker Bousbiaâ, Ingénieur Agronome, ex-chef d'arrondissement des UCP de Béja de 1978 à 1986.

3. Étude de faisabilité technique du projet d'appui au développement de l'agriculture de conservation. MARHP/CTC-AED Consult. 2005.

4. L'Agriculture de Conservation : Une alternative pour la préservation des ressources en sols et eaux. La lettre de l'ONAGRI Vol 5, N°2. Trimestre 2- 2019.

nuisibles tels que les limaces et des adventices, notamment celles avec rhizomes.

Par ailleurs, il ya leur de noter que l'augmentation des maladies fongiques par le mulch de surface (résidus de récolte ; adventices) ne représente pas un risque majeur pour les espèces et variétés cultivées en culture pluviale en Tunisie. En outre, pour ce qui est du tassement des sols suite au non-labour, il est contrebalancé par (i) l'augmentation de la teneur du sol en matière organique et (ii) le travail superficiel du sol par des outils à dents. Le tassement profond, en soi peu important dans les conditions tunisiennes (sols ayant une teneur suffisante en argile et peu souvent saturés en eau en profondeur), est en tous les cas pas plus important que pour les systèmes à labour ordinaire.



7. Coûts et bénéfices⁵

Les coûts inhérents à la pratique du SD et du SCV par rapport à l'agriculture conventionnelle portent sur :

- L'opération du semis direct qui requiert un semoir adapté relativement coûteux, ainsi que d'autres opérations subsidiaires ;
- L'installation de la culture de couverture, en fonction des espèces végétales à utiliser ;
- Les besoins en engrais azotés qui seraient plus importants pour la culture principale au cours des cinq premières années.

En termes monétaires, les coûts additionnels de production de la culture principale sont estimés à 355 DT/ha/an.

Pour ce qui est des avantages, ceux-ci se concrétisent par :

- Un accroissement moyen du rendement de la culture principale (blé) de 2,6 Qx/ha, évalué à

224 DT ;

- La réduction de la perte de terre de 3,8 t/ha/an évalués à 9,7 DT ;
- La production de 7,5 T fourrages verts évalués à 327 DT.

Ces avantages sont estimés à 560 DT/ha/an.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

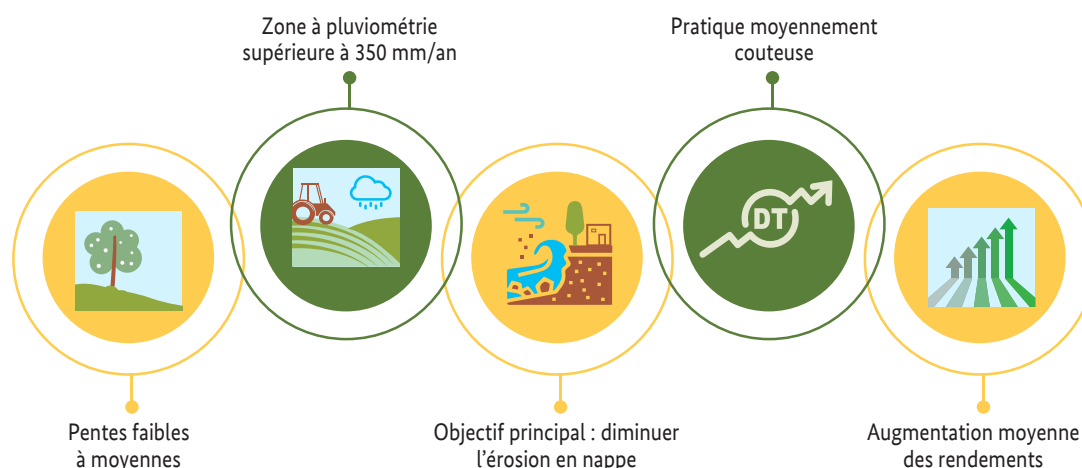
- Faciliter l'accès au crédit aux Sociétés Mutuelles de Services Agricoles (SMSA) et aux GDA pour l'acquisition d'unités de semi direct, notamment pour servir les petites et moyennes exploitations d'une superficie de 5 ha et plus ;
- Intégrer l'AC parmi les actions devant bénéficier d'une subvention spécifique pour l'acquisition et la location des unités mécaniques et de semi direct ;
- Introduction et test de semoirs légers à dents, produits dans la région et pouvant être attelé à des tracteurs de puissance moyenne. Il s'agit notamment des semoirs algérien, syrien et jordanien qui ont été développés avec la collaboration d'experts australiens ;
- Remettre à l'ordre du jour le « Projet Pilote de Séquestration du carbone agricole du sol par l'AC dans le Nord de la Tunisie ».
- Renforcer l'encadrement des agriculteurs en mettant en place des unités spécialisées au niveau de l'INGC (Institut National des Grandes Cultures, Ex Centre Technique des Céréales/CTC, notamment pour les gouvernorats du Nord-ouest et le gouvernorat de Bizerte), y compris pour ce qui est de la promotion du business-modèle correspondant à l'AC).
- Fournir un encadrement et un suivi suffisamment long notamment au niveau des moyennes exploitations portant sur l'ensemble des aspects les plus cruciaux de l'AC exposés ci-dessus (cf. notamment les §3, §4 et §6, y

5. Source : Calcul du consultant.

Agriculture de conservation

- compris la promotion de la production de semoirs adaptés et des cultures fourragères).
- D'une manière générale, mener des actions

ciblées auprès des décideurs en vue de l'adoption de politiques et de textes visant la promotion de l'AC.



Références de la Fiche « Agriculture de conservation »

Elément	Référence/source
Figures 1, 2, 4 et 5 :	Centre Technique des Céréales (CTC), 2005.
1. Description	Lucien Seguy Jean-Claude Quillet : Etats des lieux du semis direct en Tunisie et propositions d'actions pour son amélioration. CIRAD, avril 2005 MARHP/CTC : Étude de faisabilité technique du projet d'appui au développement de l'agriculture de conservation. Centre Technique des Céréales. Rapport définitif, janvier 2006 FAO 2015, Définition de l'Agriculture de Conservation, http://www.fao.org/ag/ca/fr/ FERT 2016 : Le semis direct en Tunisie situation actuelle et perspectives. Septembre 2016. N. Brahim, T. Guellali and M. Bernoux. Effects of agronomic practices on the soil carbon storage potential in northern Tunisia. Asian Journal of Agricultural Research 3 (3) : 55-66, 2009. FAO, 2017 : Conservation Agriculture, dépliant. L'agriculture de conservation comme alternative pour améliorer la résistance des sols à l'érosion hydrique dans le Nord de la Tunisie, Revue « Les Annales de l'INRAT », 9 p., 2019
2. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation	Adoption of Conservation Agriculture Technologies by Smallholder Farmers in the semiarid region of Tunisia: Resource constraints and partial adoption Ayoub Fouzai - Higher School of Agriculture, Mograne; Maroua Smaoui - Université de Sherbrooke ; Boubaker Dhehibi - ICARDA ; Aymen Frija - Consultative Group on International Agricultural Research , In ResearchGate, February 2018 L'Agriculture de Conservation: Une alternative pour la préservation des ressources en sols et eaux. La lettre de l'ONAGRI Vol 5, N°2. Trimestre 2- 2019. Projet Agriculture de Conservation au Maghreb (2014 - 2017) : Semis sous Couverture Végétale vivante Permanente (SCVP). Une approche innovante pour le semis direct. https://www.fert.fr/v2/wp-content/uploads/2018/09/Fiche_SD_FR_Fert.pdf

3. Coûts et bénéfices	Haithem BAHRI, M. Annabi b, H. Cheikh M'Hamed & A. Fija : Assessing the long-term impact of conservation agriculture on wheat-based systems in Tunisia using APSIM simulations under a climate change context. Science of the total environment 692 (2019). ICARDA : Use of conservation agriculture in crop-livestock systems (CLCA) in the drylands for enhanced water use efficiency, soil fertility and productivity in NEN and LAC countries. CLCA Progress Report YEAR II – April 2019 To March 2020
4. Articles et documents pertinents ayant trait à l'Agriculture de conservation.	FAO 2018 : Vers une Gestion Durable des Terres (GDT) - Une collection des bonnes pratiques en Tunisie. ACTA-WOCET-GEF. Laura VINCENT-CABOUD : Plusieurs articles. https://abiocdoc.docressources.fr/index.php?lvl=author_see&id=16373
5. Sites WEB intéressants	https://agriculture-de-conservation.com/ European Conservation Agriculture Federation (ECAf) : https://ecaf.org/ecaf/

Haies, clôtures vives et bosquets



Deuxième Catégorie :
**Les bonnes pratiques axées sur une
intervention agronomique ou de
végétalisation**





1. Description

« Une haie est une structure végétale linéaire associant arbres, arbustes et arbrisseaux, sous-arbrisseaux et autres plantes natives qui poussent librement, ou sont entretenus pour former une clôture entourant une unité foncière telle qu'un champ cultivé, un pré, un jardin ou un verger.

D'une manière générale les haies sont érigées pour remplir diverses fonctions, notamment le marquage de la limite des champs, la protection contre l'intrusion des animaux et des personnes, la protection contre le vent et la lumière, etc. Outre ces fonctions, et selon le matériel végétal utilisé, elles peuvent remplir des fonctions productives, écologiques et environnementales, dont notamment la protection des sols contre le ruissellement et l'érosion (pour les haies en

Haies, clôtures vives et bosquets

courbes de niveau), la protection contre l'érosion éolienne et contre les vents asséchants et l'effet ombrage.

Les photos ci-après illustrent la variété et la diversité des types de haies selon les conditions du milieu naturel et les effets recherchés par les agriculteurs.

Cela dit, les haies sont caractérisées par (i) leur volume qui peut être maîtrisable moyennant l'émondage, l'élagage et les coupes, ainsi que par (ii) leur épaisseur ou largeur qui peut varier entre 1 et 5 m selon les objectifs recherchés : protection des champs, séparation des cultures, haie fruitière, protection visuelle ou pour attirer une faune utile à l'écosystème en présence (pollinisation, lutte biologique, habitat pour le gibier, etc.). Par conséquent, plusieurs types de haies vives peuvent être adoptés.



Photo 1 : Haie discontinue d'Acacia radiana et d'Eucalyptus sp. dans la région de Sejnane



Photo 2 : Haie fermée de cyprès combiné avec d'autres espèces à Béni Atta à proximité de Ras Jebel



Photo 3 : Haie fermée de cactus épineux et de févier d'Amérique sur une route dans la région de Mahdia



Photo 4 : Haies fermées de cactus épineux dans la région de Sidi El Hani (Kairouan)



2. Effets physiques visés

Les haies vives agricoles, notamment les réseaux de haies vives constituées d'espèces locales adaptées, visent de nombreux effets tels que :

- La régulation hydraulique et la protection des sols :
 - Stabilisation du sol, interception du ruissellement et sédimentation des éléments solides qu'il transporte et limitation de l'érosion ;
 - Maintien de la structure et de la qualité des sols et de l'eau ;
 - Ralentissement notable de l'érosion éolienne des sols ;
 - Décompactage du sol grâce aux racines et facilitation de l'infiltration des eaux pluviales ;
- La contribution au maintien et à l'amélioration de la fertilité du sol grâce à :
 - La remontée en surface d'éléments utiles et récupération des éléments entraînés par le lessivage ;
 - L'augmentation du taux de matière organique du sol (litière aérienne et souterraine) ;
- La régulation climatique :
 - Protection des cultures par l'effet brise-vent ;
 - Contribution à la limitation à la fois des

risques et effets des phénomènes de sécheresses/inondations ;

- Abris au bétail contre la pluie, le vent ou les fortes chaleurs.

- La constitution d'un habitat pour des animaux et insectes favorables aux cultures (exemple des hyménoptères pollinisateurs) ;
- La protection des champs et des cultures contre toute intrusion, notamment du cheptel.



3. Détails techniques

Il existe différents types de haies selon l'objectif visé, le milieu naturel (sol, pluviométrie, température, etc.), le matériel végétal. Ainsi, le type de haie détermine largement les techniques à utiliser en termes d'intervalle entre les plants et/ou d'écartement entre les lignes de haie (distance entre haies de l'ordre de 15 fois son hauteur), S'agissant de haies champêtres d'arbres et/ou d'arbustes, la technique la plus commune consiste à :

- Choisir les végétaux (arbres et arbustes) en misant sur des espèces locales qui sont naturellement adaptées aux conditions édapho-climatiques de la région parmi les espèces forestières ou semi-forestières à buts multiples (espèces ligneuses, fruitières, fourragères, mellifères, aromatiques/médicinales, etc.), les espèces fruitières, etc. A cet effet il est recommandé de retenir 2 à 3 d'arbre et d'arbustes ;
- Creuser un fossé de 40 cm de profondeur et 50 cm de largeur en plaçant le déblai vers l'amont en cas de plantation en courbe de niveau, de manière à créer une butte ;
- Planter une ligne simple ou une ligne double en quinconce, en ajoutant du fumier et/ou un engrais de fond (DAP : Diamono phosphate) dans les trous de plantation ;

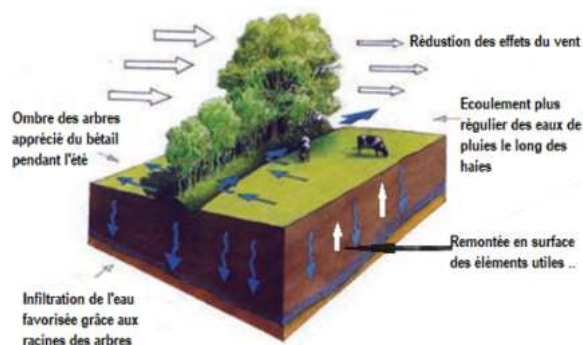


Figure 1 : Collecte des eaux ruisselées par plusieurs fossés de déviation (Greenfield 1989)

- Respecter une distance de 1 à 2 m entre arbres/arbustes ;
- Entretenir la haie durant les 3 premières années (arrosage si nécessaire, taille de formation, etc.);
- Exploiter/valoriser la haie selon la vocation des espèces plantées.



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

A travers les effets physiques évoqués au § 2 ci-dessus, les haies champêtres recèlent ont des avantages importants en fonction des espèces utilisées, notamment :

- Une incidence sur la production agricole : en effet les haies vives permettent :
 - D'obtenir une augmentation significative des rendements subséquente à la protection du sol, de l'infiltration du ruissellement et à la fonction brise-vent (réduction de l'évapotranspiration et du rayonnement solaire – albedo, voire de l'érosion) ;
 - Une meilleure pollinisation grâce à l'intensification de la de faune d'insectes et l'augmentation de la diversité et de la quantité d'organismes auxiliaires ;
 - La formation d'écrans protecteurs contre la dérive aérienne lors des épandages de pesticides ;
 - Dans certains cas, l'amélioration de la fertilité du sol par la fixation de l'azote (pour certaines espèces) ;
- La production de biens d'intérêt économique, notamment :
 - La production de biomasse ligneuse, notamment du bois de chauffage et,

accessoirement, des piquets/pieux et des résidus qui peuvent être broyés et compostés.

A titre d'exemple, les prélèvements de bois-énergie à partir des haies de bocage en France sont évalués annuellement à 1,85 million de m³ de bois à comparer aux 19,75 millions de m³ provenant de la forêt¹ ;

- La production de fourrages pour le bétail ;
- La production de fruits, du miel, etc. ;
- La production d'herbes et d'extraits aromatiques et médicinaux.



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

Les avantages hors exploitation des haies résident dans leurs fonctions écosystémiques et environnementales, au niveau des terroirs et bassins versants concernés, qui ont trait à :

- L'atténuation du changement climatique grâce à l'absorption du CO₂ dans la biomasse aérienne et à la fixation du carbone organique dans le sol ;
- Diminution des crues à l'aval (avantage qui s'accroîtra avec le changement climatique qui donnera lieu à des épisodes de forte pluviométrie) et de l'envasement des barrages ;
- La restauration d'une certaine biodiversité moyennant l'amélioration des conditions de vie (habitat naturel) et de circulation des espèces animales (continuités écologiques) ;
- Dans certains cas, l'amélioration de la fertilité du sol par la fixation de l'azote (pour certaines espèces, notamment les légumineuses) ;
- La valorisation des paysages agraires moyennant leur amélioration foncière et leur structuration.

1. En France, on estime qu'un kilomètre de haie produit 4 m³ de bois de chauffage par an, en moyenne nationale.

Haies, clôtures vives et bosquets



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

La mise en place des haies vives champêtres/agricoles est une pratique empirique très ancienne qui caractérise de nombreux paysages agraires de la Tunisie et d'ailleurs. Sa pratique ne nécessite pas une technicité importante et peut être réalisée par les agriculteurs eux-mêmes. Toutefois, l'adoption d'une telle pratique d'une manière durable dans des paysages qui en sont dépourvus requiert :

- Un choix raisonné de l'espèce ou de la combinaison des espèces à planter en vue d'en optimiser les avantages économiques, écologiques et environnementaux ;
- En outre, dans le cas de grandes exploitations, cette pratique gagnerait à être effectuée non seulement autour des parcelles, mais également à l'intérieur de celles-ci, selon les courbes de niveau, en particulier pour des pentes de plus de 15% ;
- Le respect d'une densité maximale du réseau de haies (ne pas les rapprocher à moins de 30 mètres, sachant que l'effet brise vent d'une haie s'exerce sur une distance de 15 à 20 fois sa hauteur) ;
- Une certaine entente et concertation entre agriculteurs voisins ;
- Cela dit, les haies vives peuvent être érigées dans tous les paysages agraires de la Tunisie quelque soit la taille des champs, sur des terrains présentant des pentes faibles et moyennes (jusqu'à 35%) à condition de tenir compte des conditions naturelles du site, notamment en ce qui concerne le choix des végétaux. Le tableau ci-après présente une gamme d'espèces en mesure d'être utilisées dans les régions du nord-ouest et du centre ouest de la Tunisie.

	Nord ouest	Centre ouest
Arbres forestiers/semi-forestiers	Cyprès, pin pignon, peuplier, lentisque, Noyer, pacanier, châtaignier, caroubier.	Lentisque, Caroubier, olivier de bohème
Arbustes forestiers	Acacia radiana, Acacia cyanophylla, Acacia auriculiformis	
Espèces horticoles	Cognassier, néflier, Olivier var. Frangivento	Amandier, Olivier var. Frangi-vento
Espèces aromatiques/médicinales et mellifères	Aubépine/ Azérolier, Robinier, myrte, laurier sauce, olivier de bohème.	Ziziphus mauritiana (عُثْب), myrte, laurier sauce, olivier de bohème.
Espèces fourragères	Févier d'Amérique (Gleditsia triacanthos), Luzerne arbustive	
Autres espèces	Cactus épineux et inerme	

Nonobstant les nombreux avantages certains des haies vives champêtres au niveau de l'exploitation, celles-ci comportent un certain nombre d'inconvénients, à savoir :

- Leur emprise au sol, notamment quand il s'agit de petites exploitations ;
- Leur mise en place qui est laborieuse et relativement coûteuse, notamment en ce qui concerne l'acquisition du matériel végétal ;
- Leur mise en place requiert un minimum d'entente entre les agriculteurs voisins.

Seulement, eu égard aux effets physiques et avantages évoqués au §2 et §5 ci-dessus, cette pratique demeure très avantageuse à plusieurs titres, notamment en termes de protection et de valorisation des ressources naturelles (sols, eau verte, biodiversité), de durabilité des systèmes de production agricole, en particulier à travers l'amélioration de la résilience de ces derniers vis-à-vis des effets du réchauffement climatique.

Par ailleurs, s'agissant d'une pratique qui peut être réalisée d'une manière très variée selon les zones agro écologiques et les milieux, son succès résiderait dans sa configuration initiale qui devrait être conçue en observant :

- Les caractéristiques physiographiques du paysage et des systèmes de culture, notamment quant à l'importance relative des productions végétales et animales ;
- La place de l'arbre dans le paysage ;
- Les opportunités de diversification des espèces à buts multiples pour répondre à des besoins locaux, à une demande du marché pour créer des chaînes de valeur de produits ;
- La nécessité, dans le cas de parcelles petites, d'obtenir une entente entre agriculteurs pour décider de l'ensemble des paramètres techniques du réseau de haies à mettre en place (espèces, distances, tracés, ...).

Enfin, l'acceptabilité de la pratique (qui est au demeurant bonne, notamment en zones ventées) est conditionnée par la compréhension, par les agriculteurs, de son intérêt réel résultant de ses retombées multiples.



7. Coûts et bénéfices

Le coût de la mise en place initiale des haies vives agricoles/champêtres dépendra largement de la configuration de la haie, de la nature et du nombre de plants de chaque espèce à utiliser. Ainsi par exemple :

- Une haie d'arbustes plantés sur une ligne unique avec une équidistance sur la ligne de 1-1,5 m coûterait environ entre 75 et 110 DT pour 100 mètres de haie, correspondant à entre 230 et 360 DT/ha pour une distance entre haies de 30 m ;
- Une haie constituée de plants fruitiers (cognassier avec une équidistance de 1,5 m)

ou d'un arbre forestier (noyer/pacanier avec une équidistance de 2 m) coûterait 250 DT pour 100 mètres de haie, donc de 825 DT/ha en moyenne, auxquels s'ajoutent les frais d'entretien annuel ;

- Une haie de cactus plantée en quinconce sur 2 lignes distantes de 30 cm avec 25 cm entre les raquettes, coûterait entre 300 et 400 DT pour 100 m de haie.

Pour ce qui est des bénéfices, dans le cas le plus général, ceux-ci atteindraient l'équivalent d'un accroissement de 30% du rendement des cultures protégées en année de croisière, et ce en plus de la valeur de la biomasse produite par la haie.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de cette pratique très avantageuse, peut être promue par le biais de :

- La conception technique de haies vives typiques en fonction des caractéristiques physiographiques des paysages et des systèmes de culture dans les différentes régions naturelles du pays ;
- L'information et la sensibilisation des agriculteurs quant aux avantages des haies, notamment en mettant en place des actions des parcelles de démonstration, tout en favorisant la concertation entre les agriculteurs riverains en vue d'une entente durable entre ces derniers pour la mise en place et l'entretien des haies ;
- L'établissement de cahiers des charges techniques (comportant le cas échéant, là où nécessaire, des spécificités locales) à destination des agriculteurs ;
- La conception et la mise en œuvre volontariste d'un mécanisme d'incitation pour la confection des haies/clôtures vives, notamment moyennant une subvention à l'acquisition du matériel végétal requis pour ce faire.

Haies, clôtures vives et bosquets



Références de la Fiche « Haies, clôtures vives et bosquets »

Élément	Référence/source
Photos 1 :	Souhaila Merzougui : HedgeGrow: Promouvoir le maintien et l'implantation de haies bocagères pour soutenir la biodiversité locale au nord de la Tunisie in . Mars 2020. (http://www.explorialis.org/hedgegrow-diagnostic-de-la-haie-pilote#jp-carousel-20856)
Photos 2 :	https://journals.openedition.org/physio-geo/docannexe/image/5451/img-18-small580.jpg
Photos 3 et 4 :	Photos prises par le consultant.
Figure 1 :	Adaptée d'après : http://www.caue41.fr/guide-le-bocage-un-territoire-dactions/
1. Description	Synthèse du consultant à partir des différentes sources, notamment : Brahim Jaziri : Évaluation quantitative et mise au point d'un SIG sur la structuration du paysage bocager de Ras Djebel dans le sahel de Bizerte (Tunisie). Open edition journal, volume 11/2017. p. 161-180 (https://doi.org/10.4000/physio-geo.5451)
2. Effets physiques visés	« GUIDE : Le bocage, un territoire d'actions réalisé par le Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement de Loir-et-Cher (CAUE) : https://www.google.tn/search?q=Le+bocage%2C+un+territoire+d%E2%80%99actions+&rlz=1C1CHZL_frTN737TN737&sxsrf=AOaemvKU2ndRs9sJMDzHMD6sKBX_s9-atg%3A1641547429897&ei=pQbYYcSlNryP9u8Ps8qz0AY&ved=0ahUKEwiEjMPbqJ_1AhW8h_0HHTPLDGoQ4dUDCA4&oq=Le+bocage%2C+un+territoire+d%E2%80%99actions+&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAwyBwghEAoQoAEy-BwghEAoQoAFKBAhBGABKBAhGGABQAFgAYJo3aABwAn-gAgAH4AYgB-AGSAQMyLTGYAQCgAQKgAQHAAQE&scient=gws-wiz https://fr.wikipedia.org/wiki/Haie#cite_note-11
3. Détails techniques.	Synthèse du consultant à partir des différentes sources.
4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation	Souhaila Merzougui : Les plantes pare-feu : des essences qui résistent aux incendies. Janvier 2021 (http://www.explorialis.org/plantes-pare-feu) https://fr.wikipedia.org/wiki/Haie#Des_haies_particul%C3%A8res https://fr.wikipedia.org/wiki/Haie#cite_note-11
5. Avantages/impacts «hors exploitation».	A. Colin, A. Thivolle-Cazal, C. Barnerias, F. Coulon, C. Couturier, M. Salis, « Évaluation de biomasse ligneuse d'origine forestière, populeuse et bocagère disponible sur la période 2006-2020 », étude réalisée pour l'ADEME par l'Inventaire forestier national (IFN), avec l'Institut Technique Forêt Cellulose Bois Ameublement (FCBA) et l'association SOLAGRO, 2009, 99 p.
7. Coûts et bénéfices :	Office de l'Elevage et des Pâturages : Opuntia Ficus-indica var. inermis (http://www.oep.nat.tn/uploads/documentations/cactus_inerme.pdf)

Articles et documents
pertinents ayant trait aux
haies champêtres

Vanessa Mery : Les haies vives en zones sèches (Mémoire de stage) :
Premier bilan des essais réalisés au Burkina Faso dans le cadre de la
coopération CI-RAD-foret /INERA productions forestières. 1996-1997
(<https://agritrop.cirad.fr/517101/1/ID517101.pdf>)
Destruction, déplacement ou remplacement de haie :
<http://www.ain.gouv.fr/destruction-deplacement-ou-remplacement-de-haie-a4368.html>
<http://www.lombredupalmier.com/chroniques-de-permacultures-blog-de-corinne-abbassi/>
Les Chroniques de permacultures : le blog de Corinne Abbassi : <http://www.lombredupalmier.com/chroniques-de-permacultures-blog-de-corinne-abbassi/>
Malainy Diatta, Elhadji Faye, Michel Grouzis et Pascal Perez : Rôles de
la haie vive antiérosive sur la gestion de l'eau, du sol et le rendement
des cultures du centre sud du bassin arachidier sénégalais : <https://books.openedition.org/irdeditions/13667?lang=fr#:~:text=36En%20d%C3%A9finitive%2C%20la%20haie, eau%20vers%20l'aval.>

Stabilisation des ravines dans le parcellaire cultivé



Deuxième Catégorie :
**Les bonnes pratiques axées sur une
intervention agronomique ou de
végétalisation**

Stabilisation des ravines dans le parcellaire cultivé



1. Description

Les ravines dans les parcelles agricoles sont des dépressions plus ou moins profondes creusées par le ruissellement concentré de l'eau de pluie ne s'infiltrant pas dans le sol. Contrairement aux rigoles d'érosion, moins profondes, les ravines ne peuvent pas être facilement nivelées/effacées par le travail du sol annuel par charrue ou araire, mais nécessitent des aménagements

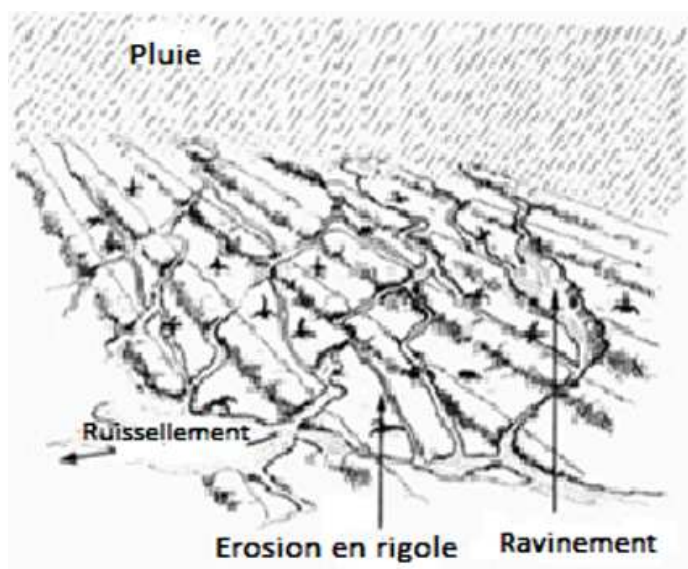


Figure 1 : érosion en rigole avec début de développement de ravines dans une parcelle cultivée

et/ou équipements spécifiques et plus lourds. En l'absence de pratiques anti-érosives, ces ravines se creusent progressivement en profondeur et en largeur, tout en remontant vers l'amont (érosion régressive), finissent par constituer des obstacles infranchissables qui empêchent le labour, découpent les parcelles en bandes de plus en plus étroites (cf. figure 1 et photo 1). A plus ou moins long terme, elles peuvent se transformer en ravins de dimensions plus importantes.

Le traitement des ravines dans le parcellaire cultivé consiste en la mise en place de dispositifs mécaniques et/ou biologiques (végétalisation) interceptant, ralentissant et dissipant l'énergie



Photo 1 : Petite ravine naissante dans une parcelle semée en blé

kinétique des écoulements des eaux de pluie ruisselées en provenance des parties de la parcelle situées à l'amont.

Ces dispositifs (présentés plus en détail au §3 ci-dessous) sont intégrés dans les autres pratiques anti-érosifs au niveau de la parcelle. Ils ont leur utilité dans toutes les zones des 2 régions concernées par le projet ProSol.



2. Effets physiques visés

La stabilisation des ravines vise principalement à :

- Ralentir et filter le ruissellement en le dissipant latéralement, tout en favorisant l'infiltration de l'eau et la rétention des particules du sol charriées par l'eau ;
- Arrêter le creusement du sol du parcellaire cultivé par l'érosion provoquée par les eaux de ruissellement en provenance de l'amont de la parcelle. Plus précisément, elle vise à empêcher la remontée de la tête des ravines par érosion régressive et le surcreusement des ravines existantes.



3. Détails techniques

La stabilisation des ravines recourt à des combinaisons variées des techniques suivantes :

- Le **comblement** des ravines avec des moyens appropriés (travail manuel ou engins à dents ou à lames) ; cette solution s'applique seulement au cas où il y a suffisamment de sol meuble disponible au niveau de la parcelle et si les ravines ne sont pas trop profondes (moins de 40 cm) ;
- **L'interception et la répartition** de l'eau ruisselée ainsi que la dissipation de son énergie cinétique, prioritairement au niveau de la «tête» (le point le plus haut) de la ravine ; ceci peut se faire par des moyens mécaniques (petits ouvrages en pierre ou en fascines/clayons) complémentés par la végétalisation ;



Photo 2 : Empierrage d'une tête de ravine

- La stabilisation du sol tout au long du parcours de la ravine, soit ponctuellement, soit sur tout ou la quasi-totalité de son parcours, par végétalisation ;
- Le traitement conservatoire de la partie de la parcelle située à l'amont de la tête de ravine, par des pratiques de GDTA appropriées permettant d'y diminuer voire d'y éliminer le ruissellement de l'eau de pluie ;
- Le cas échéant, s'il y a des écoulements, vers la ravine, d'eau ruisselées à partir des parties du parcellaire traversées par la ravine, le traitement conservatoire de ces parties.



Photo 3 : Seuil de simple empierrage dans une petite ravine, intégré dans un cordon de pierre protégeant le parcellaire dans son ensemble

Les dispositifs mécaniques et les végétaux mis en place constituent des micro-barrages implantés perpendiculairement au sens de l'écoulement et permettent de réduire l'énergie du ruissellement tout en favorisant l'infiltration des eaux ruisselées et le dépôt des sédiments transportés, conduisant à terme au comblement des ravines (cf. figure 2). Il est absolument indispensable d'intégrer les aménagements de stabilisation des ravines dans un ensemble de pratiques de GDTA (exemples : cordons en pierre, bandes enherbées, agriculture de conservation, ...) visant à favoriser l'infiltration, à maîtriser le ruissellement et à prévenir l'érosion du sol au niveau de l'ensemble du parcellaire (cf. photo 3 et figure 2).

Le cas échéant, si la ravine ne peut pas être suffisamment comblée pour permettre sa remise en culture, on peut la végétaliser sur toute sa longueur, créant ainsi un «chemin de l'eau végétalisé¹» qui protégera le sol en cas de très fortes pluies.

Enfin, le matériel végétal à planter sera autant que possible composé d'espèces locales qui sont naturellement adaptées aux conditions édapho-climatiques, comme par exemple l'Azérolier (arbuste forestier), les arbustes fourragers tels que l'Atriplex sp, l'acacia cyanophylla, la luzerne arbustive, le Sulla, des espèces herbacées pérennes telles que le diss (Ampelodesmos mauritanicus), l'Andropogon sp et le vétiver (Chrysopogon zizanioides), en combinant les espèces herbacées et les arbustes.

1. Cf. référence article B. HEDE.



4. Avantages au niveau de l'exploitation

Grâce aux effets physiques évoqués au § 2 ci-dessus, la stabilisation des ravines, permet d'avoir les impacts suivants au niveau de l'exploitation :

- Empêcher le découpage progressif du terroir cultivé, par la création et l'extension des ravines, en parcelles de plus en plus petites ;
- Arrêter la perte des sols et des surfaces agricoles due aux creusement et à l'élargissement des ravines ;
- Favoriser l'adoption d'autres pratiques de GDTA, dans les quelles elle devrait s'intégrer (cf. §.3), comme le travail du sol en courbe de niveau, les cordons, murettes et banquettes biologiques ou mécaniques ;
- Permettre aux agriculteurs de bénéficier de la valorisation des végétaux mis en place (biomasse ligneuse, unités fourragères, productions fruitières, miel, plantes aromatiques et médicinales, etc.).



5. Avantages « hors exploitation »

Les avantages hors exploitation de la stabilisation des ravines sont :

- La diminution voire l'arrêt de la production de sédiments subséquente au creusement des ravines et aux phénomènes d'érosion régressive qui contribuent à l'envasement des barrages ;
- La diminution de la torrencialité des écoulements en provenance du parcellaire cultivé, donc des crues et du creusement des ravins à l'aval, ainsi que des autres dégâts de crue ;
- L'atténuation du changement climatique grâce à la végétalisation qui contribue à la séquestration du carbone dans la biomasse aérienne et souterraine, ainsi qu'à l'augmentation de la biodiversité et l'amélioration des paysages agraires.

Résumé des principaux avantages, sur et hors exploitation, de la stabilisation des ravines dans le parcellaire cultivé

	Sur exploitation	Hors exploitation
Préservation de l'intégrité du parcellaire cultivé	Fort avantage	
Protection des sols en bordure des ravines	Avantage moyen	
Promotion des autres pratiques de GDTA (*)	Fort avantage	
Valorisations diverses des végétaux mis en place	Avantage moyen	
Diminution de l'envasement des barrages (*)		Avantage moyen
Diminution des dégâts de crue (*)		Avantage faible
Atténuation du changement climatique par séquestration du carbone (*)		Avantage faible

■ Avantage faible

■ Avantage moyen

■ Fort avantage

(*) Avantages directement ou indirectement liés à l'adaptation au CC ou à son atténuation



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

La stabilisation des ravines dans le parcellaire cultivé recourt à des techniques simples pouvant être mises en œuvre par les agriculteurs eux-mêmes avec un appui des services techniques concernés. C'est une pratique bien appropriée par les agriculteurs, qui la mettent assez souvent en œuvre spontanément (notamment les aménagements physiques ; la végétalisation étant une pratique relativement nouvelle dans le contexte tunisien).

Stabilisation des ravines dans le parcellaire cultivé

Ces techniques peuvent être appliquées dans tous les terroirs agricoles du Nord ouest et Centre Ouest de la Tunisie, sur des terrains présentant des pentes faibles et moyennes (jusqu'à 35%).

Pour leur bonne mise en œuvre, il convient de tenir compte :

- Des conditions naturelles du site, en particulier la récurrence des sécheresses dans le contexte du changement climatique, pour le choix des espèces à utiliser pour la végétalisation ;
- Des avantages socioéconomiques et environnementaux de ces différentes espèces ;
- Du contexte foncier, dans la mesure où les ravines concernent fréquemment plusieurs agriculteurs-propriétaires.

La stabilisation des ravines ne présente pas d'inconvénients particuliers.



7. Coûts et bénéfices

Le coût de la stabilisation des ravines dépendra considérablement des options de traitement retenues parmi celles, très nombreuses.

De façon globale, les différents coûts qui concernent les petits, voire très petits aménagements mécaniques (empierrage, cordons, petits seuils, clayonnages) et la végétalisation sont assez modestes.

Par exemple, la végétalisation des ravines ne coûte qu'environ 3,5 DT par mètre linéaire de ligne de plantation.

Ces coûts sont faibles eu égard aux avantages énumérés aux §.4 et §.5 ci-dessus (qui sont toutefois difficilement quantifiables) et dont les bénéfices correspondent à une amélioration consistante du rendement des cultures sur la superficie traitée, à laquelle s'ajoute la valeur de la production des haies végétales (fourrage, biomasse ligneuse, etc.).

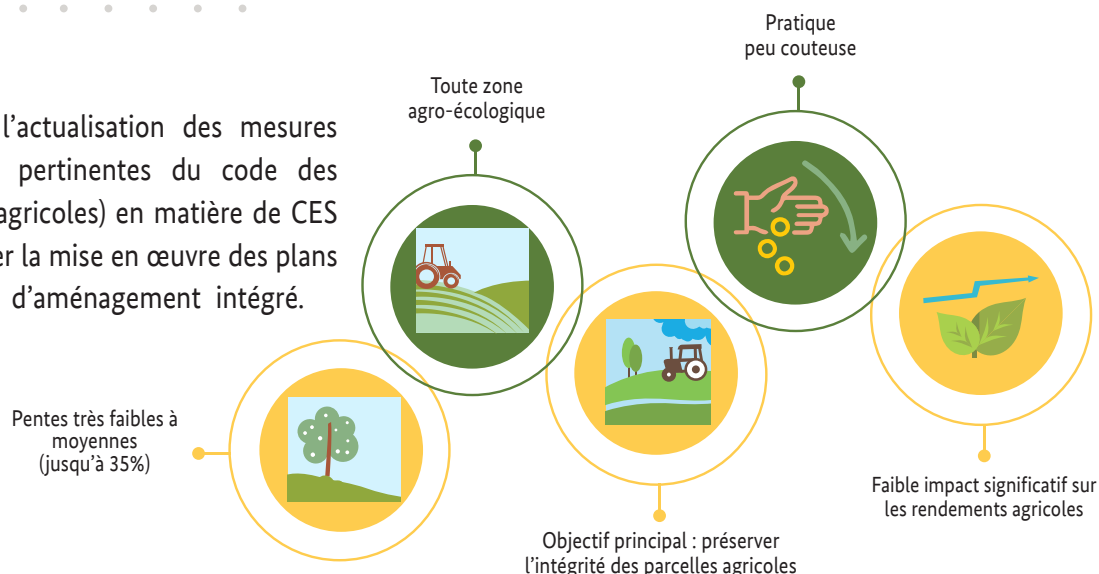


8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de cette pratique sera promue par :

- L'identification/délimitation préliminaire des sites ou des unités paysagères potentielles connaissant le plus des problèmes d'érosion en rigoles et en ravines sur des terrains agricoles ayant un potentiel minimal justifiant leur protection/aménagement ;
- La conduite d'une campagne ciblée de journées d'information et de sensibilisation des agriculteurs, sur les problèmes qui résultent à terme de l'aggravation du ravinement et sur les différents avantages de la stabilisation des ravines (en effet, dans la situation actuelle, les agriculteurs ignorent le plus souvent les rigoles et petites ravines) ;
- Le choix des sites à aménager de concert avec les agriculteurs sur la base de critères techniques et d'adhésion à l'action tout en impliquant les Groupements de Développement Agricole et les communes ;
- L'élaboration d'un diagnostic participatif en vue d'élaborer un plan de protection et d'aménagement intégré concerté, axé sur la stabilisation des ravines et **associant d'autres bonnes pratiques pertinentes du ProSol** (banquette végétale avec du vétiver, cordon en pierre, etc.). Ce plan devra en outre définir les arrangements de mise en œuvre et de financement, ainsi que les rôles et responsabilités des parties en présence (Agriculteurs, DGA/TA/ProSol, GDAs, Commune) ;
- Le cas échéant, par la réalisation d'aménagements de démonstration ou à titre pilote ;
- L'élaboration d'un très simple manuel ou guide pratique à l'usage des techniciens de terrain, y compris en matière d'appui à la préparation des dossiers de financement des agriculteurs ;

- L'adaptation ou l'actualisation des mesures d'encouragement pertinentes du code des investissements (agricoles) en matière de CES en vue de favoriser la mise en œuvre des plans de protection et d'aménagement intégré.



Références de la Fiche « Stabilisation des ravines dans le parcellaire cultivé »

Élément	Référence/source
Photo 1 :	https://www.ars.usda.gov/oc/images/photos/photos-field-research/
Photo 2 :	Stratégie de lutte anti-érosive dans la Sierra Madre Occidentale (Mexique), Lutte anti-érosive, BARRIOS et DESCROIX, IRD Editions, 2012
Photo 3 :	Etat des lieux sur les bonnes techniques de Conservation des Eaux et des Sols valorisables au Bénin dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé, AFRICA GREEN CORPORATION/SNV, août 2019
Figures 1 et 2 :	Le vétiver – Une haie contre l'érosion. Banque Mondiale Washington, D.C. Première édition 1987 (https://www.vetiver.org/TVN_french%20vetiver-2.pdf).
Articles et documents pertinents ayant trait à la lutte contre l'érosion dans les terrains de cultures, la végétalisation des ravines, etc.	https://www.aquaportail.com/definition-6107-ravinement.html Freddy REY et Frédéric BERGER : Interactions végétation-érosion et génie écologique pour la maîtrise de l'érosion en montagne. CEMAGREF. Grenoble/ Unité de recherche Ecosystèmes et Paysages Montagnards (https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/Rey-Berger-2.pdf); Éric ROOSE, Mohamed SABIR, Mourad ARABI, Boutkhil MORSLI and Mohamed MAZOUR. Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. p 43-69. (https://doi.org/10.4000/physio-geo.2319). Nolwenn Bougon, Thomas Eglin, Flavien Poinçot : Les sols dans les politiques publiques : une lente implantation in « Espaces naturels », n°72 octobre 2020. Nolwenn Bougon, Thomas Eglin, Flavien Poinçot : Les sols dans les politiques publiques : une lente implantation in « Espaces naturels », n°72 octobre 2020. Jim. Ritter, 2018: Fiche technique : L'érosion du sol – Causes et effets (http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.htm). FAO : Ouvrages et méthodes de correction de ravins par Burchard H. Heede /Station Expérimentale des Forêts et Parcours des Montagnes Rocheuses/ Service Forestier des Etats-Unis. https://wocatpedia.net/images/d/d9/Solofo_Raharinaivo_%282008%29_Les_techniques_de_Correction_des_ravines_et_de_Stabilisation_des_Lavaka_.pdf; La lutte contre l'érosion des sols dans les régions de grandes cultures (https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/Erosion_sol/Erosion-sol.htm). Ouvrages et méthodes de correction de ravins, B. Heede, Station Expérimentale des Forêts et Parcours des Montagnes Rocheuses Service Forestier des Etats-Unis, https://www.fao.org/3/ad071f/AD071f12.htm



L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées



Deuxième Catégorie :
**Les bonnes pratiques axées sur une
intervention agronomique ou de
végétalisation**



L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées



1. Description

L'agroforesterie (AF) désigne les systèmes d'utilisation des terres dans lesquelles les plantes ligneuses vivaces (arbres et arbustes) sont délibérément intégrées au terroir agricole pour améliorer la durabilité des ressources naturelles (sol, eau, couvert végétal) qui constituent la base de sa mise en valeur. Dépendant des régions naturelles, des zones agroécologiques et de leurs caractéristiques socioéconomiques.

L'agroforesterie inclut un large éventail de pratiques allant des cultures intercalaires conduites en sec (sous pluie), aux cultures pluri-étagées qui sont conduites, le plus souvent, sous irrigation. Elle peut prendre de nombreuses formes en fonction des objectifs poursuivis et

des conditions pédo-climatiques locales. Les exemples les plus communs en Tunisie sont représentés par :

- le système traditionnel en culture pluviale, dans la région du sahel et du Kairouanais, associant des céréales, des légumineuses alimentaires, des fourrages, des cultures araîchères, aux plantations d'olivier, auquel l'élevage est plus moins intégré, et qui fournit des sous-produits tels que la paille, les fanes, les prindilles d'olivier qui sont consommées par le bétail, ainsi que du bois (bois de service, bois de chauffe);
- les systèmes agraires traditionnels oasiens irrigués du Sud tunisien (photo 6) intégrant jusqu'à 4 étages de cultures : palmier dattier, arbres fruitiers plus bas (grenadier, pêcher, etc.), les arbustes (henné, ...) et les cultures annuelles (légumes, fourrages, céréales et tabac) ;



Photo 1: Culture de céréales en intercalaire dans une jeune plantation d'olivier (Sidi Smail/Béja).



Photo 2: Culture de céréales en intercalaire dans une plantation de poirier (Région du Sahel/(Moknine)



Photo 3: Culture de gambo en intercalaire dans une plantation d'olivier (Moknine)



Photo 4: Verger de poirier associé à la vigne (Moknine). Au fond on note une haie de cactus épineux



Photo 5 : Système de cultures pluri-étagées dans l'oasis de Gafsa.

Protection et réhabilitations des sols dégradés en Tunisie (ProSol)



- les jardins de « Jebba el Olia » (ou les hauteurs de Jebba) qui sont alimentés par un ensemble de sources et de capatges, forment un système agroforestier traditionnel très particulier de par son emplacement. Situé sur les hauteurs de Jebel El Gorrâa (Gouvernorat de Béja), c'est un système polyculturel varié et résilient avec comme pilier la culture du figuier, soutenu par de l'élevage extensif (Photo).



Photo 6 : Système agroforestier des jardins de « jebba el Olia » qui est assimilable à un véritable oasis en zone Montagneuse



2. Effets physiques visés

Les effets physiques visés par l'agroforesterie et les cultures pluri-étagées, incluent notamment :

- le maintien, voire l'amélioration de la fertilité des sols : les arbres puisent les nutriments et l'eau profondément pour les restituer sous forme de litière en surface (feuilles mortes) et de litière souterraine (racines décomposées) qui renforcent le sol en matière organique et en éléments minéraux (exemple de l'azote pour les légumineuses) ;
- la protection des sols contre l'érosion pluviale et le tassement ;
- une meilleure infiltration des eaux de pluie ;
- la protection contre le vent et le rayonnement solaire direct par les étages hauts des cultures

basses en sous-étage, contribuant ainsi à limiter leur évapotranspiration et leurs besoins en eau, d'où l'optimisation de la valorisation des ressources en eau ;

- d'une manière globale, le renforcement de la résilience et de l'adaptation du système de culture vis-à-vis du changement climatique.



3. Détails techniques

Les systèmes agro-forestiers et de cultures pluri-étagées, en Tunisie comme ailleurs, sont généralement empiriques et résultent de l'accumulation des expériences séculaires des agriculteurs dans leur environnement spécifique. Néanmoins, l'agroforesterie respecte les principes généraux suivants :

- une couverture optimale du sol par les cultures elles-mêmes et/ou par la litière ;
- l'adaptation optimale des espèces et variétés aux conditions pédo-climatiques locales ;
- la diversité des espèces et variétés cultivées, notamment pour ce qui est de la complémentarité entre leurs exigences micro-écologiques spécifiques ;
- les interactions positives entre différentes espèces et variétés, ainsi qu'avec la microfaune, notamment sur le plan phytosanitaire et de la pollinisation ;
- la diversité des types de production (vivrière, fourragère, fruitière, miel, aromatique, médicinale, bois de service et de chauffe) ;
- l'adaptation judicieuse des densités d'occupation du sol à sa fertilité et à la pluviométrie ;
- la prise en compte de la pente, de la direction du vent et de l'exposition au soleil pour déterminer l'orientation ou le sens des lignes de plantation.

Le tableau ci-après présente une gamme indicative d'espèces pouvant être utilisées en



culture pluviale, dans les régions du nord ouest et du centre ouest de la Tunisie.

	Nord ouest	Centre ouest
Arbres forestiers/semi-forestiers	Peuplier, Noyer, pacanier, châtaignier, laurier sauce	Caroubier, <i>Ziziphus mauritiana</i> greffé (عُثَاب)
Arbustes forestiers	Azérolier, Acacia auriculiformis	Acacia cyanophylla, Acacia auriculiformis
Espèces horticoles	Cognassier, olivier, amandier, néflier, plaqueminier (Kaki), grenadier, figuier, amandier arbres à noyaux ;	Olivier, pistachier, grenadier, vignes, amandier et autres arbres à noyaux
Arbres et arbustes fourragers	Luzerne arbustive, Sulla pérenne ou biannuelle, Atriplex sp	Luzerne arbustive, Atriplex sp, Févier d'Amérique (<i>Gleditsia triacanthos</i>),
Espèces aromatiques/médicinales et mellifères	Aubépine/ Azérolier, Robinier, laurier sauce myrte, <i>Géranium rosale</i> , Romarin.	<i>Ziziphus mauritiana</i> , laurier sauce, Eglantier ;
Autres espèces	Cactus inerme	
Cultures annuelles	Céréales, fourrages, légumineuses et cultures maraîchères	

Bien que les principes de l'agroforesterie et de la culture pluri-étagée soient bien connus, généralement valables et sont déjà mis en pratique en Tunisie, des améliorations possibles devraient faire l'objet d'actions de recherche-développement, en particulier en vue d'optimiser leur adaptation à différentes situations agro-écologiques et au changement climatique, ainsi que de renforcer leur résilience vis-à-vis de celui-ci.



4. Avantages au niveau de l'exploitation

Grâce aux effets physiques évoqués au § 2 ci-dessus, l'agroforesterie et les cultures pluri-étagées offrent au niveau de l'exploitation les avantages suivants:

- l'amélioration de la productivité des sols (production biomassique par unité de surface) ;
- l'amélioration de la productivité de l'eau verte (pluviale ou d'irrigation) ;
- la diminution des risques phytosanitaires ;
- l'optimisation de la valeur économique de la production agricole ;
- la diminution des risques économiques, grâce à la diversification et au meilleur échelonnement des productions au cours de la campagne agricole ;
- la meilleure intégration de l'élevage (production fourragère, ombrage, fumier, ...).



5. Avantages « hors exploitation »

Les avantages hors exploitation de l'agroforesterie et des cultures pluri-étagées concernent essentiellement :

- l'atténuation du changement climatique à travers l'effet puits de carbone de la végétation (augmentation de la biomasse aérienne et souterraine) ;
- l'amélioration de la biodiversité surtout floristique, mais aussi faunistique (surtout micro-faune) ;
- amélioration de la qualité des paysages agraires ;
- en zone de culture pluviale : diminution du ruissellement, des crues et de l'envasement des barrages.

L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées

Résumé des principaux avantages, sur et hors exploitation, de la stablisation des ravins hors du parcellaire cultivé

	Sur exploitation	Hors exploitation
Amélioration de la productivité agricole et/ou de sa durabilité (valorisation des sols et de l'eau)	Fort avantage	
Augmentation des revenus agricoles	Avantage moyen	
Diminution des risques économiques	Fort avantage	
Meilleure intégration de l'élevage	Avantage moyen	
Atténuation du changement climatique		Avantage moyen
Amélioration de la biodiversité		Avantage moyen
Amélioration de la qualité des paysages agraires		Avantage moyen
Diminution des dégâts de crue		Avantage faible
Diminution de l'envasement des barrages		Avantage faible

■ Avantage faible ■ Avantage moyen ■ Fort avantage



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

La pratique de l'agroforesterie et des cultures pluri-étagées est applicable dans tous les paysages agraires de la Tunisie, sur tous les types de sol cultivables :

- en culture pluviale, aussi bien sous climat subhumide, notamment sur les versants montagneux et les zones de grandes cultures sensibles et menacés d'érosion telles que les collines de la Medjerda, que sous climat semi aride supérieur ;
- sous irrigation en climats semi aride, aride et saharien.

L'agroforesterie et la pratique des cultures pluri-étagées ne nécessitent pas une technicité importante et peuvent être conduites par les agriculteurs eux-mêmes avec certains appuis des services techniques concernés (cf. § 8).

En soi, ce système ne comporte pas d'inconvénients majeurs, pourvu que sa mise en œuvre soit conduite judicieusement, notamment pour ce qui est de la prise en compte des besoins

respectifs complémentaires - mais partiellement concurrentiels - des différents types et étages de végétaux en espace, lumière, eau et éléments nutritifs).



7. Coûts et bénéfices

Compte tenu du caractère progressif de mise en place des différents végétaux, les investissements à réaliser s'étalent sur une période relativement longue. Ceci améliore la rentabilité de l'introduction de l'agroforesterie et des cultures pluri-étagées, qui est un véritable projet d'investissement.

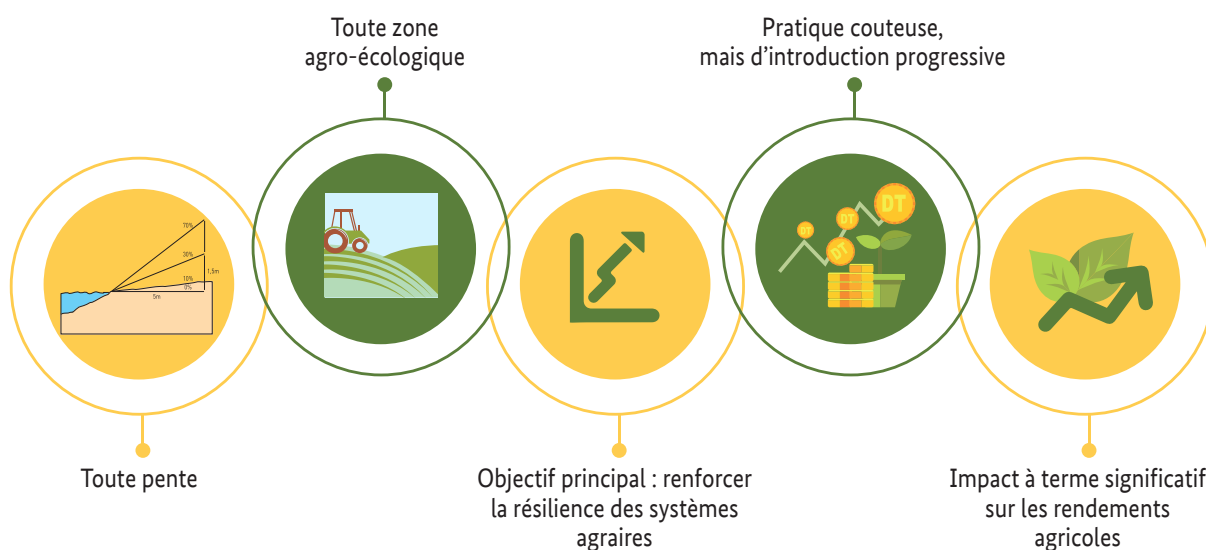
Cela dit, les coûts dépendront largement des associations retenues et du niveau d'intensification (notamment la densité de l'occupation des sols et le nombre d'étages). Il en est de même pour les bénéfices, ce qui appelle la nécessité de **procéder à des évaluation à priori des rapport coûts/bénéfices**. D'une manière générale, cette pratique demeure toujours rentable si elle est menée d'une manière raisonnée quant au choix et la combinaison des espèces.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de l'agroforesterie et des cultures pluri-étagées nécessite les activités suivantes :

- l'établissement d'un état des lieux permettant une identification suffisamment exhaustive, une caractérisation (technico-économique) suffisamment précise et l'appréciation de la reproductibilité des systèmes d'agroforesterie et/ou de cultures multi-étagées existants en Tunisie (en particulier dans les zones NO et CO), en tirant les enseignements utiles des expériences de la DGF, de l'OEP et de l'ODESYANO tout en impliquant les institutions de la recherche;
- l'élaboration d'un plan directeur de promotion des pratiques agro-forestières et des cultures pluri-étagées dans les différentes zones agro-écologiques des régions du nord-ouest et du centre ouest, identifiant et proposant des modèles technico-économiques d'exploitation intégrés, assortis de mesures d'accompagnement (information, formation, incitations financières) ;
- l'information et la sensibilisation des agriculteurs à l'intérêt de la pratique (visites de terrain, échanges d'expérience, présentation d'études de cas de modèles agroforestiers intégrés, etc...) ;
- l'animation de la concertation entre les agriculteurs intéressés en vue de l'élaboration de projets locaux de mise en place de systèmes agroforestiers viables ;
- le suivi et l'encadrement-conseil de la réalisation de ces projets ;
- l'adaptation éventuelle des dispositions du code des investissements agricoles en vue de promouvoir une mise à l'échelle appropriée de la pratique.



L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées



Références de la Fiche « L'agro pastoralisme et cultures pluri-étagées »

Élément	Référence/source
Photos 1, 2, 3, et 4	Photos du consultant
Photos 5 et 6	https://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/near-east-and-north-africa/gafsa-oases/fr/ https://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/near-east-and-north-africa/hanging-gardens-from-djebba-el-olia/fr/ TOUNSI Kamel, MARS Messaoud & KHANOUSSE Mustapha : Le système ingénieux des jardins suspendus de «Djebba el Olia» : Un système agroforestier de montagne. FAO, Ministère de l'environnement, 2020.
1. Description	FAO : L'agroforesterie. La pratique de la gestion durable des terres :
2. Effets physiques visés	Groupe GDT : Agroforesterie https://www.fao.org/3/i1861f/i1861f08.pdf
3. Avantages au niveau de l'exploitation	N. De Baets, S. Garipey et A. Vézina : Le portait de l'agroforesterie au Québec. Gouvernement du Canada Mars 2007. https://www.agrireseau.net/Agroforesterie/documents/agroforest_version_integrale.pdf
4. Avantages hors exploitation	Fiche technique : Connaître et maitriser un système de production en agroforesterie. Impact 37 : Initiatives pour une agriculture citoyenne et territoriale. http://www.inpact37.org/images/Fiche_technique_agroforesterie.pdf Fiche5_Agroforesterie_fiche_pedagogique_Kit-climat_APCA.pdf https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/002_inst-site-chambres/pages/agri_pol/fiche5_Agroforesterie_fiche_pedagogique_Kit-climat_APCA.pdf L'agroforesterie en France : intérêts et enjeux. CENTRE D'ÉTUDES ET DE PROSPECTIVE — n° 37 - Janvier 2012. https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents//Analyse_37_CEP_Agroforesterie.pdf Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural : l'Europe investit dans les zones rurales/ Mise en place de projets agro forestiers en Wallonie : notions & règlements (DOCUMENT PROVISOIRE). https://www.reseau-pwdr.be/sites/default/files/261123_120125_er_projetsagroforestiersnotionsetreglements.pdf
6. Détails techniques	Synthèse du consultant à partir de différentes sources
Articles et documents pertinents ayant trait à la gestion durable des terres et l'agroforesterie.	Ministère des affaires locales et de l'environnement. Bureau d'appui à l'économie verte (Green Help Desk) : Guide d'orientation des investisseurs en économie verte, SECTEUR DE L'AGROFORESTERIE Édition 2017. La pratique de la gestion durable des terres : Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne. Applications sur le terrain. WOCAT-FAO/TerrAfrica. 2011 (https://issuu.com/wocat/docs/slm-in_practice_f_final_low)
Sites WEB intéressants :	www.chambres-agriculture.fr/thematiques/territoires/foret-arbres-et-bois www.agriculture.gouv.fr/lagroforesterie-comment-ca-marche www.agroforesterie.fr www.agroof.net www.afac-agroforesteries.fr



Protection et réhabilitations des sols dégradés en Tunisie (ProSol)





Troisième Catégorie : **Les bonnes pratiques** **axées sur une** **intervention Mixte**







Compost



Troisième Catégorie :
Les bonnes pratiques axées
sur une intervention Mixte





1. Description

Le processus du compostage est une écotechnologie qui consiste en une biodégradation aérobie des déchets et résidus organiques riches en carbone. Grâce à l'action conjuguée des bactéries et des champignons, la décomposition aboutit à un produit organique stable et riche en éléments humiques appelé compost.

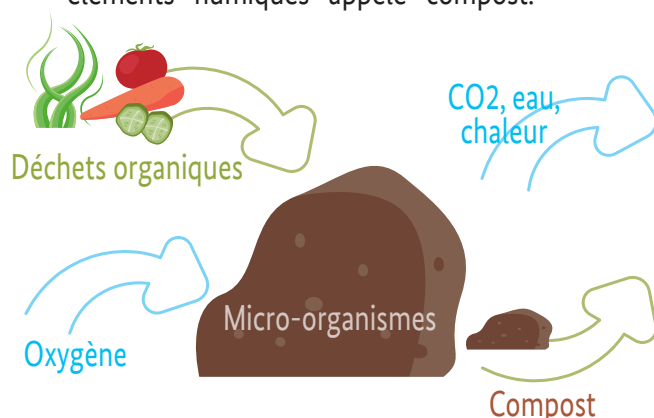


Figure 1 : Comment procéder pour le compost ? éléments de base

La matière première à composter peut provenir d'un large éventail de produits résiduels organiques (notamment ménagers, agro-alimentaires, agricoles, déchets verts des jardins et parcs, voire boues de décantation, ...).

La production de compost peut être développée à différentes échelles : individuelles ou collectives.



Photo1 : Compost après traitement, bon pour usage

Dans la perspective d'un apport significatif sur les terres emblavées, le compostage collectif doit être privilégié notamment pour les produits résiduels organiques d'origine urbaine.

Les usages possibles suivants du compost concernent l'ensemble des zones d'intervention du projet ProSol :

- Exploitations arboricoles et maraîchères ;
- En particulier : réhabilitation des sols dégradés (sols salinisés, sols compactés...) ;
- Sylviculture (amendement organique lors de la plantation par exemple) ;
- Cultures sous serres ;
- Pépinières forestières et horticoles.

Zones d'utilisation concernées : niveau d'intérêt de l'utilisation du compost selon la qualité des sols et les objectifs visés

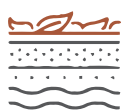
	Nature du sol				Objectifs visés		
	Teneur faible en matières organiques	Sableux	Argileux	Équilibré	Restauration de la fertilité	Conservation de l'eau	Diminution érosion hydrique ou éolienne
Nord-Ouest							
Centre Ouest							
Sols pauvres ¹							

■ Intérêt faible

■ Intérêt moyen

■ Intérêt important

¹ pH élevé, capacité d'échange cationique (CEC) faible, teneur en matière organique faible



2. Effets physiques visés

Le compost est à la fois un amendement organique améliorant les propriétés physiques du sol, mais également un fertilisant apportant des nutriments aux plantes. Il améliore la structure du sol (stabilité structurale) grâce à la consolidation de son complexe argilo-humique et fournit des éléments minéraux aux plantes (azote, phosphore, potassium). Il stimule également l'activité biologique du sol. Le compost augmente aussi la capacité de rétention en eau des sols, ce qui est particulièrement intéressant dans les régions semi-arides et arides du Centre et Sud de la Tunisie. Au total, il permet l'intensification de la production agricole, tout en contribuant à la conservation des sols.

Enfin, le compost contribue à l'atténuation du changement climatique par la diminution des gaz à effets de serre : d'une part, le compost lui-même retient le carbone organique ; d'autre part, grâce à la meilleure croissance des plantes (du fait la meilleure fertilité des sols ayant reçu le compost), la quantité de CO₂ atmosphérique transformée et stockée par les plantes sous forme organique dans leurs parties aériennes et leurs racines et, ensuite, dans le sol, est aussi augmentée (séquestration du carbone). L'apport d'engrais organiques est de + 0,5 tonne de carbone par hectare et par an (V. Chaplot 4/1000).

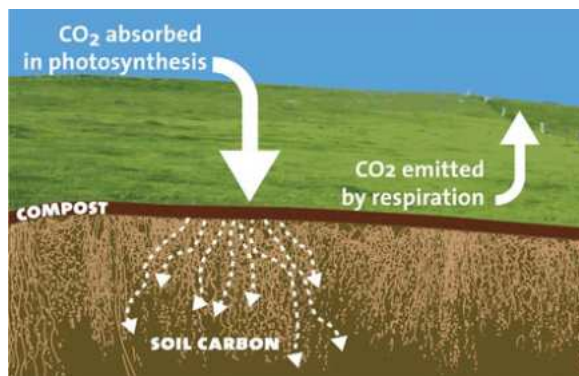


Figure 2 : Illustration du cycle du carbone en présence de compost (séquestration dans le sol et absorption et rejet par les plantes)



3. Détails techniques

Le processus du compostage comporte **8 étapes** de traitement et de conditionnement des matières organiques à transformer :

- Réception et tri
- Broyage
- Mise en tas du broyat
- Homogénéisation
- Fermentation
- Maturation (dont la durée dépendra du degré de lignification des déchets utilisés)
- Criblage (élimination éléments grossiers)
- Tamisage (élimination éléments plus fins <1mm) et conditionnement

La bonne conduite du processus de compostage doit aboutir à un produit de couleur brun foncé, exempt de germes pathogènes et de parasites. Le produit final est considéré prêt à l'utilisation quand les odeurs de fermentation ont disparu laissant place à l'odeur d'un humus forestier.

Le volume initial de déchets mis en compostage réduit d'au moins 50% au cours du processus. La richesse relative des éléments carbone et azote est exprimée par **le rapport C/N**. La valeur idéale recherchée à travers les analyses se situe entre 20 et 30. Une valeur élevée indique que le temps requis pour la biodégradation devient plus long, le



Photo 2 : Phase de retournement

cas où la valeur de l'indice est faible, l'azote est en grande partie perdu sous forme d'ammoniaque. Les facteurs qui impactent le processus de compostage :

- La teneur en eau pour l'activité des micro-organismes (éviter une forte humidité) ;
- La température, tous les micro-organismes en une fourchette optimale d'activité (entre 40° et 70° pour les thermophiles) ;
- Le pH conditionne la biodisponibilité des éléments nutritifs pour les micro-organismes et la solubilité des métaux lourds.

Quelques valeurs du rapport C/N de matières premières organiques compostables (Jmeli, 2001, Grissa, 2017) :

• Ordures ménagères	15 – 25
• Déchets de légumes	11 – 12
• Fientes de volailles	8 – 10
• Paille des céréales	90 – 120
• Sciure de bois fraîche	100 – 500
• Ecorce de pin	300
• Paille	100
• Paille + déjection	50

Il faut donc mélanger judicieusement les types de matériaux pour avoir un bon rapport carbone/azote (entre 20 et 30).



Photo 3 : Phase de broyage de sous-produits végétaux

En Tunisie, plusieurs types de déchets d'origine végétale et animale sont utilisés pour la production de compost. Citons par exemple :

1. Les résidus de cultures : les sous-produits végétaux sont broyés pour faire un mulch, parfois avec des apports d'azote et de phosphore pour activer l'humification. Pour ce qui est du fumier (paille et déjections animales) il est laissé en tas pendant quelques mois pour une décomposition/compostage lent avant son épandage.
2. Les déchets d'acacia et d'écorces de pin : les branches d'acacia et les écorces ramassées sont ensuite broyées pour obtenir un broyât de 1,5 à 3 cm. Une bétonnière assure une meilleure homogénéisation du broyât. Le broyât est ensuite disposé en couche de 20 cm, puis arrosé pour maintenir une humidité relative de 50 à 60%.
3. La paille (80%) associée aux fientes de volailles (20%) : par fermentation dans une enceinte close, ce compostage dure 45j avec un rendement de l'ordre de 45% (1 t de déchets solides produit 450 kg de compost).
4. Les déchets verts avec les marcs de raisins et la fiente de volailles.
5. Les déchets verts (70%) associés aux excréments de lapins (30%). Deux tonnes de matières premières fournissent 900 kg de compost après 7 à 8 mois.
6. Les sous-produits du palmier dattier aux oasis du Djérid avec les boues d'épuration de Nefta (hors régions d'intervention du ProSol).

Les matériels nécessaires pour le compostage (cf. Photos 4 & 5)

- Un broyeur
- Un retourneur d'andain
- Un tracteur à pelle frontale ou une tractopelle
- Un tamiseur cribleur
- Une tronçonneuse



Photo 4 : Retourneur d'andain en action



Photo 5 : Tractopelle dans des travaux de retournement du tas de compost

- Une bascule
- Une ensacheuse
- Matériel de transport : camionnette
- Petits matériels : brouettes, des pelles, fourches à fumier, râteliers, des thermomètres, tuyaux d'arrosage.



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Impacts au niveau de l'exploitation		
Impacts	Court terme	Long terme
Amélioration de la fertilité du sol, de sa teneur en matière organique et de sa richesse en éléments nutritifs		
Meilleure capacité de rétention de l'eau du sol		
Structure du sol améliorée		
Amélioration du drainage		
Stimulation des micro-organismes du sol		
Réduction de l'évapotranspiration		
Régénération du couvert végétal et des cultures		
Séquestration du carbone dans le sol		
Economie de l'énergie		

■ Peu important ■ Moyennement important ■ Très important

Inconvénients

- Le compostage peut attirer mouches, insectes et animaux
- Processus exigeant en main d'œuvre et/ou équipements (broyage, humidification, aération, ...)
- Durée du processus pouvant être long, en fonction du climat (notamment excès ou déficit hydrique et basse température)
- Coût assez élevé du compost commercialisé
- Pour les composts urbains : risques de contamination par les métaux lourds : Les valeurs limites en éléments traces métalliques (E.T.M.) en cuivre et zinc
Cu mg/Kg MS 300 - mg/Kg MO 600,
Zn mg/Kg MS 600- mg/Kg MO 1200 (Norme tunisienne NT 10.44, 2013, in Grissa 2017)

Avantages économiques et financiers

- Opportunité de création d'entreprises et emplois verts
- Augmentation forte à moyenne des rendements agricoles
- Economie en fertilisants : 10 tonnes de compost apportent au minimum 40kg de N, 30 kg de P₂O₅ et 30 kg de K₂O

Avantages environnementaux

- Amélioration des caractéristiques physiques du sol (stabilité structurale, infiltration et rétention de l'eau, ...)
- Valorisation des déchets organiques
- Pour certains déchets polluants à l'état brut (margines, autres déchets animaux ou végétaux non compostés) : diminution ou élimination de la pollution



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

Les principaux avantages/impacts hors exploitation sont :

Niveau de l'impact		
Impacts environnementaux	Impact sur la sécurité alimentaire et la nutrition	
	Contribution à l'adaptation aux CC, résilience	
	Conservation de la biodiversité	
	Diminution des volumes de déchets végétaux mis en décharge (sauvage ou contrôlé)	
	Lutte contre la désertification et les adventices	
	Economie d'eau	
	Economie d'énergie	
Autres impacts secondaires économiques, sociaux : productivité, emploi ...		

■ Peu élevé

■ Moyen

■ Fort



6. Conditions de mise en œuvre et durabilité

Conditions de mise en œuvre et durabilité			
	Types d'exploitation		
	Petite	Moyenne	Grande
Acceptabilité/prépondérance			
Technicité requise			
Autoréalisation			
Rôle de la femme			
Maturité scientifique et technologique			
Besoins en entretien			

■ Peu important

■ Moyennement important

■ Très important

Pour que l'utilisation du compost (et éventuellement sa production au niveau des exploitations) soit adoptée à plus large échelle, les agriculteurs doivent être convaincus de son intérêt. Cela passe notamment par l'observation des impacts des apports en compost (croissance, rendement) et par la bonne connaissance de leurs sols. Des observations directes (parcelle/terrain à pente faible à moyenne) et éventuellement des analyses du sol (portant sur sa texture, sa structure, son taux de matière organique, ses

capacités de rétention en eau et les éléments nutritifs, l'acidité, la salinité, les teneurs en N-P-K et oligoéléments) permettent d'adapter les doses d'apport voire la composition des composts. Un rapport élevé C/N du compost peut s'expliquer, par exemple, par la présence de la paille riche en carbone et de la litière formée de copeaux de bois dans un fumier de volaille elle aussi riche en carbone.

Il convient également d'être transparent sur l'origine des composts afin de rassurer les



Compost

agriculteurs sur la présence de métaux lourds (fer, manganèse, cuivre, et zinc). Ces minéraux sont des indicateurs de la qualité environnementale des composts. Un excès de ces minéraux peut représenter une forme de pollution et de dégradation de la qualité chimique du compost.

L'utilisation du compost surtout en cultures intensives doit tenir compte des paramètres suivants :

- Le type de sol : texture, structure, densité apparente, taux de matière organique, pH, capacité d'échange cationique, salinité ;
- Le climat et l'environnement d'utilisation ;
- La plante ou culture selon son stade de développement et les besoins en éléments nutritifs ;
- La qualité du compost : degré de maturité et sa composition chimique.

Doses moyennes préconisées :

- 30 t/ha sur sols sableux pour grandes cultures et 40 t/ha pour les cultures maraîchères (au maximum tous les deux ans) ;
- 10 t/ha sur sols à texture argileuse pour grandes cultures et 30 t/ha pour les cultures maraîchères (au maximum une fois tous les deux ans) ;
- En pépinières maraîchères, arboricoles et forestières : un taux de compost dans le substrat de 25% à 35 % en volume.



7. Coûts et bénéfices

Les coûts de production et les bénéfices du compost vont dépendre de plusieurs facteurs dont la dimension du projet et les choix techniques à adopter. Ainsi ils sont variables selon l'importance de l'unité et l'investissement de départ, qui peut varier de 5 000 TND à 100.000 TND. Ils tiennent

compte de l'ensemble du cycle de production, de la spécificité du compost, de l'énergie, de la main d'œuvre, de l'entretien et des frais de fonctionnement. Le prix de vente varie de 250 TND à 400 TND/t, le prix de vente d'un engrais (compost avec certains additifs) varie entre 700 et 800 TND/t. Le coût de production du compost en petite unité, « compostage artisanale chez un agriculteur », évolue entre 70 et 120 DT. Cette variation dépend des déchets organiques utilisés.

- Les prix au détail varient de 1.1 TND/sac de 5 Kg à 5 TND/sac de 25 kg et à 180 TND/t en vrac.
- Compost livré en vrac aux gros utilisateurs par transport spécialisé : 50 à 100 DT/t.
- Le prix du compost est supérieur à celui du fumier livré en camion (20 à 60 TND/t).



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

Éléments stratégiques :

- Information, sensibilisation et vulgarisation aussi bien auprès des entrepreneurs que des usagers potentiels du compost (dépliant avec notamment toutes les informations techniques et économiques pertinentes) ;
- Evaluation des besoins et de la demande des différents types de compost afin de définir les capacités de production correspondantes à mettre en place ;
- Promouvoir la recherche appliquée dans le domaine de la valorisation du compost par des essais agronomiques et démonstrations chez les agriculteurs maraîchers, viticulteurs et arboriculteurs ;
- Mettre en place des encouragements pour la fabrication du compost au niveau des exploitations (subventions par l'APIA). Les



- incitations actuelles de compostage : 50 % en système bio, 22 % pour les services de compostage dans les zones de GDTA.
- Intégrer le compost en tant que pratique CES : amélioration de la fertilité (révision du code CES).
 - Faciliter les processus multi-acteurs (communes, sociétés, coopératives, offices...)

Éléments techniques :

Prévoir les surfaces nécessaires pour les aires correspondant aux différentes phases du processus de compostage (réception, tri, mise en tas, fermentation, maturation, criblage et stockage) ainsi que des aménagements (tranchées, fosse) pour la récupération et le traitement des eaux de lessivage. Pour une unité artisanale d'une capacité de 3 tonnes de déchets/jour une surface totale de 360 m² est nécessaire.



Références de la Fiche « Compost »

Élément	Référence/source
Page 1 § 1 - Photo du compost	• Centre technique de l'agriculture biologique, CTAB, 2018
Page 1 – Illustration. Comment procéder pour le compost ?	• https://www.sede-fertilisants.fr/
Page 2 § 2- Illustration séquestration du carbone Amplifier la séquestration du carbone dans le sol	• Whender Silver, UC Berclay, 2014 https://www.zerowasteFrance.org • « L'initiative 4 pour mille », V. Chaplot, Réseau 4/1000, 2020
Page 2 et 3 § 3 – Photos 2 et 3 Détails techniques	• Gestion des déchets organiques et compostage, Hanem Grissa FAO, 2017 • Centre technique de l'agriculture biologique, 2018, 2021.
Pages 3 - Principales étapes de valorisation et transformation des bio-déchets	• Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts, Ibrahim Znaidi, C.I.H.E.A.M, 2002 • Etude du compostage et des possibilités de valorisation agricole du compost de déchets organiques, B. Jemali in « Agriculture & environnement », 2001
Page 4 - photos 4 et 5 Equipements	• Matériel des opérateurs de compost en Tunisie, CTAB/H.Grissa, 2021
Page 4 § 4 - Données pédo-environnementales	• Stratégie nationale de l'amélioration de la fertilité des sols en produits organiques, Mtimet et al. MARH, 2009 • Les sols tunisiens à l'épreuve de la durabilité, Mtimet, 2016
Pages 4/5 § 4 – Éléments traces métalliques, métaux lourds et doses à appliquer, gain économique	• Les eaux gravitaires influencent les métaux lourds contenus dans le compost. C. Keller, G. Bouvrie, « Sciences du sol », 1987 • Gestion des déchets organiques et compostage, H. Grissa FAO, 2017
Pages 5/6 § 6- Mise en œuvre et durabilité	• Gestion des déchets organiques et compostage, H. Grissa FAO, 2017 • Etude du compostage et des possibilités de valorisation agricole du compost de déchets organiques, B. Jemali in « Agriculture & environnement », 2001 • MARH, APIA, décret n° 389 / 2017 (JORT)
Page 7 § 7- Données économiques coûts	• Centre technique de l'agriculture biologique, CTAB, 2021



Façons culturales antiérosives



Troisième Catégorie :
**Les bonnes pratiques axées
sur une intervention Mixte**





1. Description

A l'étape de la préparation du sol pour le semis, trois techniques antiérosives peuvent être adoptées afin de favoriser l'infiltration des eaux de ruissellement et réduire le transport de sédiments. Elles ont comme point commun le travail du sol en courbes de niveau. Il s'agit :

- Du labour en courbes de niveau ;
- Du billonnage en courbes de niveau ;
- De la double dérayure.



Photo 1 : Labour en courbes de niveau

Le travail du sol en courbes de niveau (obligatoire dans certains pays au-delà d'une certaine pente) est possible sur tous types de sols et climats. En Tunisie, il est observé aussi bien sous climat subhumide (une partie de la région NO) que semi-aride (CO et une partie du NO). Il est adapté à toutes les cultures (annuelles et pérennes).

Par ailleurs, il est particulièrement adapté aux parcelles à longue pente (au-delà de 40 à 50 mètres) en zone subhumide.

La taille des parcelles est une caractéristique importante pour décider de l'utilisation de cette pratique. Sa mise en œuvre est plus facile au niveau de **parcelles suffisamment larges (plus de 40 à 50 mètres)** pour éviter les nombreuses manœuvres en bout de parcelle avec la charrue. Lorsque les parcelles sont étroites (car morcelées et pas remembrées), il est envisageable d'accompagner

l'organisation des labours entre agriculteurs (exemple : labour en CdN en commun, par un seul passage de tracteur sur plusieurs parcelles contigües en même temps).

Les billons en courbes de niveau (CdN) sont des accumulations de terres séparées par des sillons, plus ou moins profonds, exécutés manuellement ou à l'araire en culture traditionnelle, ou bien en culture mécanisée, à la charrue ou avec un disque billonneur.



Photo 2 : Légumineuse cultivée en billons

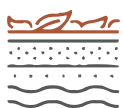
Le billonnage est particulièrement conseillé sur des terrains à pente moyenne (à partir de 15% et jusqu'à 25% voire 30%), pour tous les types de sols et sous tous les climats, et particulièrement adapté à la culture des légumineuses (fèves, pois, ...).

Le principe de la **double dérayure** consiste à séparer la surface labourée en courbes de niveau par des bandes plus ou moins larges (1 à 2 mètres) non labourées de façon permanente.

La double dérayure peut aussi bien être appliquée sur des pentes faibles de 10% à 15% (pratiques conservatrices) que sur des pentes plus marquées, en complément du labour ou du billonnage en courbes de niveau. En effet, cette pratique permet de créer des bourrelets (plus ou moins végétalisés ; aussi appelés « rideaux ») puis, progressivement, des terrasses en courbes de niveau qui constituent une bonne protection contre l'érosion hydrique. Elle est adaptée à toutes les cultures, annuelles

et pérennes (notamment arboriculture), et particulièrement adaptées aux plantations en courbes de niveau.

Ces pratiques sont toutes trois pertinentes au niveau des parcelles agricoles et des systèmes agroécologiques observés dans les zones d'intervention du projet ProSol, pour tous types et tailles d'exploitation.



2. Effets physiques visés

Le labour en courbes de niveau oriente les sillons constitués par le passage de l'outil (araire, charrue, disque, dents) perpendiculairement à la pente. Ceci a comme effets :

- Le ralentissement des eaux de ruissellement ;
- La dissipation de leur énergie cinétique et, par conséquent, de leur capacité érosive ;
- La meilleure infiltration de l'eau de pluie ;
- La réduction de l'érosion, aussi bien en nappe qu'en griffes, en rigoles et en ravines :
 - Au niveau de la parcelle : réduction de la seule érosion en nappe d'environ :
 - ▶ 50% pour les pentes faibles (jusqu'à 8%),
 - ▶ 40% pour les pentes jusqu'à 12%,
 - ▶ 20% jusqu'à des pentes de 20%
 - ▶ 10% jusqu'à une pente de 25% ;
 - ▶ A partir d'une pente de 25 %, cette réduction est négligeable¹ ;
 - Une réduction de l'érosion au niveau la parcelle d'en moyenne 30% conduirait, au niveau du bassin versant, à une réduction d'environ 15% des apports de sédiments au niveau des barrages et des retenues d'eau.

Le billonnage en courbe de niveau permet une réduction de l'érosion beaucoup plus importante

(de l'ordre du double de celle obtenue par le simple labour en courbes de niveau). Toutefois, son efficacité diminue également au fur et à mesure que les pentes augmentent.

Pour ce qui est de **la double dérayure**, ses effets au niveau des bandes permanentes non labourées sont (cf. figure 1) :

- La suppression de l'érosion aratoire ;
- La création progressive d'une bande végétalisée d'absorption/infiltration des eaux ruisselées ;
- Le captage des sédiments avec formation, dans sa partie amont, d'un bourrelet de terre ;
- Leur évolution en un talus dont la base est progressivement abaissée par le labour à l'aval et dont le haut s'élève suite au dépôt des sédiments, et dont la pente devient donc supérieure à celle du terrain naturel.

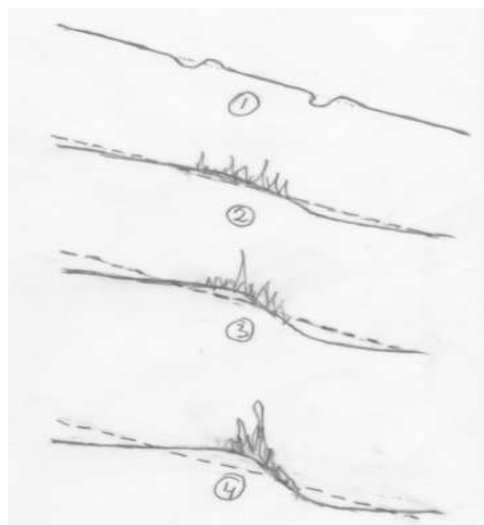


Figure 1 : Constitution d'un talus et d'une semi-terrace par l'effet de double dérayure

En fonction de la pente, de la nature du sol et de la pluviométrie, la hauteur du talus ainsi créé peut atteindre de 5 à 25 centimètres par an. De cette façon, au niveau du terrain cultivé se trouvant entre deux talus successifs, sa pente diminue petit à petit et ce terrain évolue donc progressivement

1. Les valeurs indiquées, résultant de la formule de Wischmeier, correspondent à 1-P, P étant l'indicateur de l'efficacité des pratiques antiérosives, c'est à dire le rapport des pertes de sol d'un champ sur lequel on utilise des pratiques conservatrices, aux pertes de terre d'une culture en rangs dans le sens de la pente, toutes les autres conditions étant égales par ailleurs.



Photo 3 : Talus végétalisé crée progressivement par la double dérayure

vers une terrasse avec une pente sensiblement plus faible que celle du terrain naturel. A terme, elle peut s'approcher de l'horizontalité.

Au total, cette succession « bourrelet/ /talus/ terrasse » crée un « tampon », ralentissant et laissant s'infiltrer l'eau de ruissellement et provoquant le dépôt d'une partie de leur charge solide (sédimentation).

Si le taux de réduction de l'érosion est faible à très court terme, il augmente rapidement notamment grâce à la végétalisation de la bande non labourée, pouvant atteindre à terme de l'ordre de 60%.



3. Détails techniques

Le **labour en courbes de niveau** se fait en respectant au mieux les courbes maitresses du terrain (cf. ci-contre).

Pour ce qui est de la culture en billons, il est important de noter qu'elle ne nécessite pas un travail en profondeur. Cette pratique (très fréquemment mise en œuvre pour la culture des légumineuses alimentaires – fèves, pois chiches, ...) permet de réaliser les semences sur le billon, tandis que l'eau en excès s'infiltré (et s'écoule parfois en partie) dans les sillons de part et d'autre des billons.

Pour la **double dérayure**, les bandes non labourées seront démarquées par 2 sillons de

labour profonds, obtenus chacun par un ou deux passages de charrue ou d'araire, une à l'aval de la bande cultivée supérieure et une à l'amont de la bande cultivée inférieure. A titre indicatif, les éléments de dimensionnement suivants peuvent être préconisés :

- Largeur de la bande non travaillée : 0,75 à 1,25 mètres
- Distance entre deux (2) doubles dérayures successives : 35 mètres pour les pentes inférieures à 10%, 20 mètres pour les pentes de 11% à 20%, 10 à 15 mètres pour les pentes de 21% à 30%.

Ces 3 pratiques nécessitent **la prise en compte des courbes de niveau maitresses**. Il s'agit de courbes de niveau distantes entre elles de 7 à 15 mètres, en fonction de la pente. Ces courbes maitresses peuvent être tracées facilement par les agriculteurs eux-mêmes, à l'aide d'un outil de visée horizontale de type clisimètre ou éventuellement d'un triangle à niveau (ci-contre).

Pour ce qui est du labour et du billonnage en courbes de niveau, le traçage des courbes maitresses n'a pas besoin d'être refait à chaque labour. Une fois ces courbes établies, **l'agriculteur peut utiliser des repères** servant à guider le labour et le billonnage en courbes de niveau (ces repères



Photo 4 : Triangle à niveau

Façons culturelles antiérosives

seront constitués par des éléments permanents en bordure de parcelle ou dans la parcelle : arbres, rochers, ... ; éventuellement des pierres ou piquets mis en place en bordure de parcelle).

Pour ce qui est de la double dérayure, les 2 bords des « rideaux » (c'est à dire les 2 courbes de niveau correspondant aux limites haute et basse de la bande non travaillée) peuvent être matérialisés de façon permanente au sein de la parcelle par des pierres, des piquets ou des arbres ou arbustes plantés afin de constituer des haies (système agroforestier).

Les courbes maîtresses permettent de tenir compte des variations de la pente au sein de la parcelle. En effet, l'augmentation de celle-ci implique la diminution de la distance horizontale entre courbes de niveau et celle mesurée le long de la pente. Ceci nécessite le resserrage des sillons, des billons et les doubles dérayures là où la pente est plus forte et/ou l'augmentation de la largeur de terre travaillée (par des sillons/billons supplémentaires) là où la pente est plus faible.

Les principales améliorations proposées sont les suivantes :

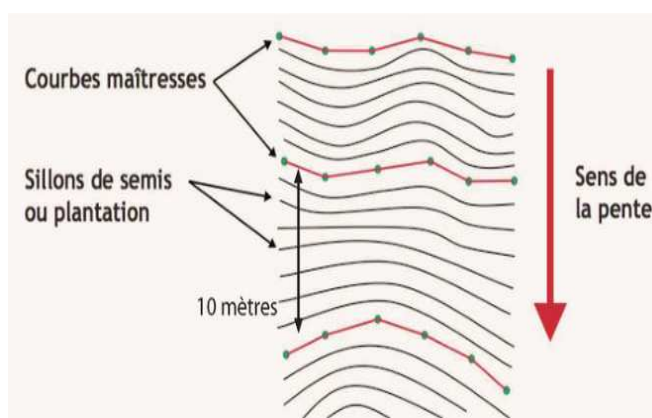


Figure 2 : Schéma des courbes de niveau et des courbes maîtresses

- Pour le travail du sol en CdN (dont l'efficacité diminue quand la pente du terrain augmente), il conviendra d'y associer au-delà d'une pente de 20% à 25% d'autres pratiques, comme la double dérayure, l'aménagement de levées de terre/fossés, bandes végétalisées, cordons de pierre, murettes (cf. fiches BP spécifiques) ;
- Pour le billonnage sur terrain en forte pente (au-delà de 30%), il est conseillé de cloisonner les sillons inter-billon ;
- Pour la double dérayure, son efficacité peut être améliorée en déposant des pierres sur la bande², en plantant des végétaux (arbustes, arbres, hindia, ...) voire le cas échéant en y déposant des résidus de culture (paille, rafle, etc.).



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Les principaux avantages de ces trois pratiques au niveau de l'exploitation agricole, qui découlent directement des effets physiques évoqués au §2, sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Les économies en énergie de traction et en temps permises par ces pratiques sont très importantes :

- Le travail du sol en courbes de niveau permet d'éliminer les descentes et montées répétées indispensables lors du travail du sol dans le sens de la pente ;
- Pour le billonnage, s'ajoutent à cela la diminution du nombre de passages et l'utilisation d'équipements de plus petite taille (car travaillant à moindre profondeur ; cf. §3 ci-dessus) et donc moins énergivores.

2. Pratique très répandue, par exemple dans le Moyen Atlas marocain

Résumé des principaux avantages des façons culturales antiérosives au niveau de l'exploitation agricole

Avantages	Pratiques		
	Travail du sol en courbes de niveau	Billonnage en CdN	Double dérayure (*)
Augmentation de « l'eau verte » (**)			
Préservation de la fertilité des sols (par diminution de l'érosion, selon les pentes ; cf. § 2) (**)			
Amélioration des rendements			
Economie de carburant (**)			
Economie de temps			
Production d'UF (sur bandes non labourées)	-	-	
Faible coût d'investissement			
Augmentation des revenus agricoles			

■ Peu important

■ Moyennement important

■ Très important

(*) Avantages moyens, à nuancer selon les pentes (cf. ci-dessous) s'ajoutant à ceux du labour en CdN

(**) avantages liés au CC (adaptation ou atténuation ; cf. texte)

Ces économies sont importantes et permettent une réduction significative du temps du travail du sol ainsi qu'une économie en carburants contribuant à l'atténuation au changement climatique. Par exemple, la culture sur billon permet une économie de carburant de l'ordre de 60% par rapport au travail de sol conventionnel³.

Les avantages de la double dérayure constituent un **complément** par rapport à ceux du travail du sol en CdN. Pour les fortes pentes, ce complément est plus important que sur les pentes faibles. Cette pratique, qui a un coût zéro (simple élimination du travail du sol sur une partie de la superficie ; pratique très courante au niveau des limites/séparations entre parcelles) permet la mise en place progressive d'un réseau de talus et de terrasses qui structurent le versant. Elle peut être combinée avec plusieurs autres pratiques complémentaires (mais pas indispensables) au niveau de bandes non labourées : dépôt de pierres et différents types de végétalisation (fruitiers, arbustes fourragers, bois-énergie, plantes mellifères, ...).

Enfin, il convient de noter que les effets de ces pratiques au niveau de l'augmentation de « l'eau verte » (disponible pour les cultures et/ou pour la végétation installée sur les bandes non labourées) et de la préservation de la fertilité des sols contribuent, par le biais de la plus grande résilience des cultures qui en résultent, à l'**adaptation** des systèmes agraires au changement climatique.



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

Au-delà de l'échelle « exploitation agricole » (donc y compris au niveau de bassin versant) les principaux avantages associés à ces pratiques sont :

- La diminution des émissions de CO₂ et donc **l'atténuation du changement climatique** ;
- La diminution de **l'envasement** des retenues de barrage ;
- La diminution de la torrencialité des écoulements à l'aval du terroir agricole (donc notamment du **ravinement et des dégâts de crue**).

3. L'économie d'énergie résultant du labour en courbes de niveau est mentionnée notamment dans la littérature anglophone sans toutefois être quantifiée. Dans l'ensemble, ces économies sont trop peu documentées, eu égard à leur importance économique et environnementale.

Façons culturelles antiérosives

La fréquence et l'intensité des crues (et des dégâts occasionnés) augmentent du fait du changement climatique. Cette diminution de la torrentialité des écoulements constitue une contribution des façons culturales antiérosives **à l'adaptation au CC dans ce domaine, dans la mesure où le CC provoquera des pluies plus intenses, donc des écoulements plus torrentiels;**

- La réduction du stress hydrique (accentué par le changement climatique) et l'amélioration des rendements agricoles contribuent à la **sécurité alimentaire.**



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

Le travail du sol et le billonnage en CdN ainsi que la double dérayure sont en soi des pratiques « matures » sur les plans scientifique et technologique (et cela indépendamment de leur pratique effective et leur extension actuelle en Tunisie). Elles **ne nécessitent pas une technicité importante**. Par conséquent, elles peuvent, de ce point de vue, être réalisées par les agriculteurs eux-mêmes ou par leurs prestataires de service, quel que soit la taille de l'exploitations.

Le principal inconvénient concerne le billonnage pour lequel il existe, sur les très fortes pentes et en cas de très fortes pluies, un risque de débordement et/ou de rupture des billons, qui nécessitent alors des réfections localisées.

L'extension de ces pratiques au-delà des parcelles d'une largeur suffisante (cf. §1) nécessite une organisation concertée des travaux de préparation du sol voire d'assolements entre les agriculteurs mitoyens. Le cas échéant, des opérations de remembrement ou d'échanges

de parcelles peuvent être accompagnées. Ce sont essentiellement ces aspects, qui sont pris en compte au niveau des propositions de mise à l'échelle, qui conditionnent l'acceptabilité de ces pratiques par les agriculteurs.



7. Coûts et bénéfices

Sur les pentes faibles et modérées (jusqu'à 20%), le travail du sol en courbes de niveau peut se faire sans équipements spéciaux et n'impliquent, par conséquent, pas de coûts additionnels pour l'agriculteur.

Au contraire, comme mentionné au §4, les pratiques « travail du sol et billonnage en CdN », permettent une réduction du coût du travail du sol (économies d'énergie de traction et de temps). Pour la double dérayure, son coût à court terme correspond au fait de ne pas cultiver la bande non labourée. Très rapidement, en quelques années, ce coût est compensé par la meilleure infiltration des eaux ruisselées au profit des cultures et par la production fourragère du talus.

Au total, le rapport bénéfice/coût de ces pratiques est élevé.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

Les principales recommandations pour la mise à l'échelle de ces trois pratiques figurent dans le tableau ci-dessus. Elles mettent en relief le fait que si la mise en œuvre de ces pratiques concerne tous les types d'exploitation, elle est conditionnée par des activités de promotion à mener par les services techniques.

Niveaux d'importance et/ou d'urgence des principales recommandations spécifiques pour la mise à l'échelle du travail du sol en courbes de niveau, du billonnage et de la double dérayure

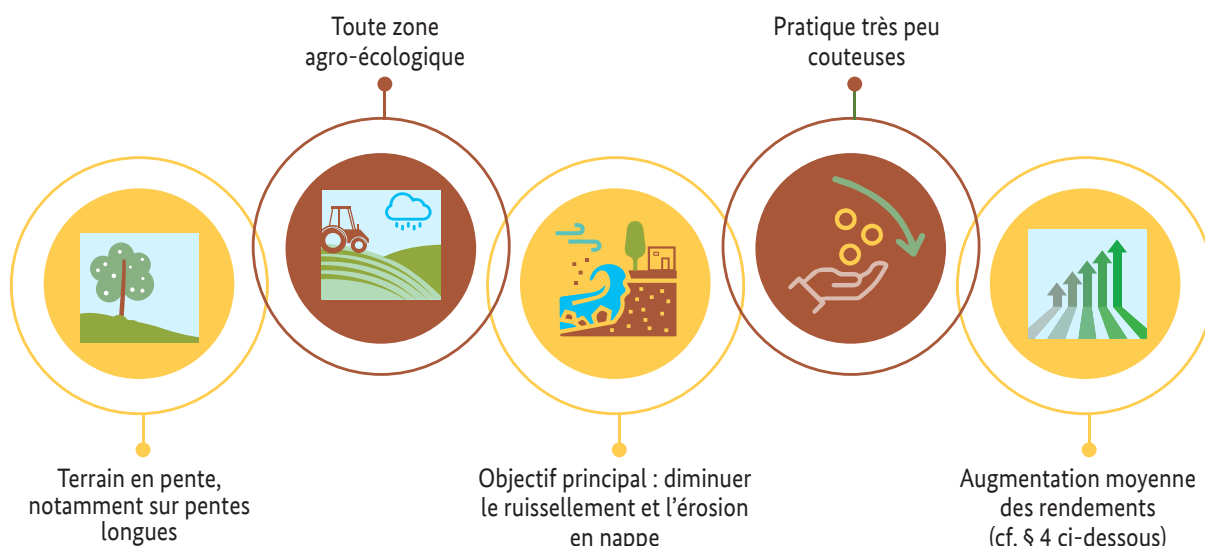
Recommandations pour la mise à l'échelle	Pratiques		
	Travail du sol en courbes de niveau (TS/CdN)	Billonnage en CdN (B/CdN)	Double dérayure + TS/CdN
Information/vulgarisation (CTV + formation professionnelle) au niveau des exploitations par rapport aux économies d'énergie et de temps réalisées grâce au TS/CdN et au B/CdN : - Recueillir des références précises ; - Réaliser des expérimentations et démonstrations, avec des mesures sur le terrain, en situation réelle d'exploitation - Apprécier les impacts sur les revenus agricoles - Divulguer les résultats de façon adaptée et efficace			-
Réaliser soit des opérations de remembrement soit des opérations intégrées multi-exploitation d'utilisation des pratiques sur des versants/micro-bassins versants de taille significative, avec des agriculteurs dûment informés et motivés			
Pour les pentes fortes, identifier les solutions pour ce qui est des équipements de traction mécanique appropriées et les mettre en œuvre			
Intégrer ces pratiques dans des packages comportant d'autres BP : couverture du sol au niveau des bandes non travaillées par des mulch organiques ou minéral (pierres) et/ou végétalisation de ces bandes ; association de l'ensemble des 3 pratiques à la culture en bandes en CdN ; aménagements de levées de terre/fossés, bandes végétalisées, cordons de pierre, murettes, cloisonnement des billons			
Accorder des subventions conditionnées par la bonne application			
Application de la loi sur l'interdiction du labour dans le sens de la pente			
Capitalisation : - Assurer le suivi de l'application des pratiques - Mise en forme et divulgation des résultats observés			

■ Pas de première urgence

■ Moyennement important et urgente

■ Très important et urgente

Façons culturelles antiérosives



Références de la Fiche « Façons culturelles antiérosives »

Élément	Référence/source
Page 1 – Photo du labour en courbes de niveau	https://lemag.nikonclub.fr/photographie-portrait-exterieur/2021-02_labour.jpg
Page 1 – Photo de la culture en billons	Dynamique de la dégradation des terres et techniques de gestion de l'eau et du sol : les terres Bour dans la commune rurale des Shoul, I. Farhaoui - UNIVERSITE MOHAMMED V-AGDAL Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Département de Géographie, Rabat, 2008
Page 2 – Schéma de la formation d'un talus par effet de double dérayure	Croquis de l'expert
Page 2 – Photo de la double dérayure	Efficacité des mesures de lutte contre l'érosion et le ruissellement dans le bassin versant de l'Aïse ; INP – Toulouse /ENSEEIH ; http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0203/travaux/optsee/bei/2/projet/impactsecon.html
Page 2 – Données sur la réduction de l'érosion au niveau de la parcelle	Équation universelle des pertes en terre (USLE), Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales, Ontario, Canada ; www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-052.htm
Page 2 – Données sur la réduction de l'érosion au niveau du bassin versant	Impacts of Land Management Options in the Sebou Basin : Using the Soil and Water Assessment Tool – SWAT, DROOGERS, VAN LYNDEN et REUTER, Research Gate, 2011
Page 3 – Figure 2 : Schéma des courbes de niveau	Les cultures en courbe de niveau dans « Pratiques agro-écologiques » - CNABio- Ouagadougou, BURKINA FASO - www.cnabio.net
Page 3 – Photo triangle à niveau	https://mathssansstress.fr/wp-content/uploads/2020/06/niveau-franc-ma%C3%A7on.jpg
Page 5 – Données sur l'économie de carburant grâce à la culture sur billon	Brodeur, Crowley, Desmeules et Durox, 2008 ; cités dans « Analyse des pratiques agricoles permettant de réduire les impacts environnementaux et d'améliorer le bilan environnemental de l'agriculture au Québec », J.D. POLIQUIN, Université de Sherbrooke, mai 2017).
Page 5 – Mention de l'économie d'énergie résultant du labour en courbes de niveau	What Is Contour Farming? Worldatlas : https://www.worldatlas.com/articles/what-is-contour-farming.html



Les cordons en pierres sèches

Troisième Catégorie :
Les bonnes pratiques axées
sur une intervention Mixte

Les cordons en pierres sèches



1. Description

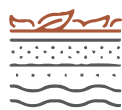
Les cordons pierreux sont des dispositifs antiérosifs constitués de pierres disposées en lignes continues en courbes de niveau, distantes entre elles de 5 à 30 mètres, en fonction de la pente du terrain, et de faible hauteur (initiale).

Les cordons de pierre sont rencontrés sur des pentes jusqu'à 50%. Toutefois, mieux vaut les réserver à des pentes faibles et moyennes (jusqu'à 30% à 35%¹). Ils sont particulièrement appropriés sur des terrains pierreux **agricoles**, où leur construction se fait en complément de l'épierrage des parcelles (après le labour ou parfois suite à un défonçage/sous-solage), pour tous types et tailles d'exploitation. Mais ils peuvent également se pratiquer sur les parcours (sylvo-)



Photo 1 : cordon de pierre

pastoraux, notamment dans le cadre d'opérations d'amélioration, plus particulièrement de plantations d'arbustes fourragers. Ils peuvent être implantés sur tous types de sols, aussi bien sous climat subhumide que semi-aride.



2. Effets physiques visés

Les cordons de pierre interceptent l'eau de ruissellement, en réduisent la vitesse voire l'arrêtent totalement. Ils assurent ainsi l'infiltration des eaux de pluie et le piégeage des sédiments (particules de terre et matière organique) transportés par l'eau ruisselée, dont ils provoquent le dépôt dans et à l'amont des cordons, et diminuent l'érosion en nappe, contribuant donc doublement au maintien voire l'amélioration de la fertilité des sols.

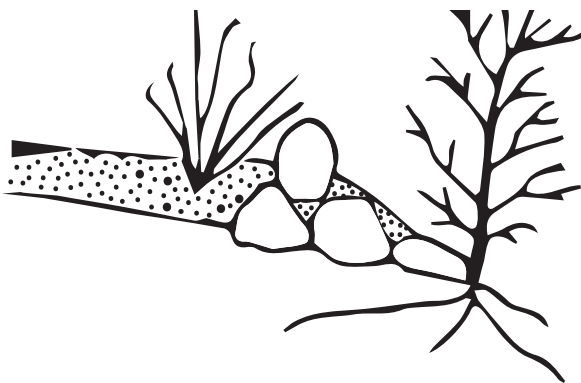


Figure 1 : Schéma illustrant l'effet d'un cordon de pierre

Progressivement, ces cordons sont colmatés jusqu'à leur crête. En fonction de la pente, de la nature du sol et de la pluviométrie, la hauteur du talus ainsi créé peut atteindre de 5 à 25 centimètres par an. La pente du terrain cultivé se trouvant entre deux cordons successifs diminue progressivement, au cours du temps, et ce terrain évolue donc progressivement vers une terrasse avec une pente plus faible que celle du terrain naturel. Ceci renforce l'effet de ralentissement et d'infiltration de l'eau et de dépôt des sédiments.

Les cordons pierreux contribuent ainsi aussi bien à l'amélioration de la fertilité du sol qu'à celle de son taux d'humidité (ce qui constitue

1. Au-delà de cette pente (puisque la hauteur du talus atteindra alors plus d'un mètre et que la distance entre cordons ne saurait guère être inférieure à 5 mètres ; cf. §2 et §3) il y aura lieu de recourir à la construction de murettes, ouvrages plus solides grâce à l'agencement en bonne et due forme des pierres.

une adaptation au CC). Les réseaux de cordons fournissent également (et encore plus une fois végétalisés) une protection contre l'érosion éolienne.

Un réseau de cordons de pierre suffisamment rapprochés permet, au niveau de la parcelle, de diminuer le ruissellement moyen de 20% à 40% et ses débits de pointe de jusqu'à 45%, et l'érosion de l'ordre de 30 à 60%.

NB. Il est utile de noter que le « filtre » constitué par les cordons de pierre répartit mieux les eaux ruisselées que ne le font les réseaux de fossés/levées de terre et que (contrairement à ce qui se produit fréquemment au niveau de ces derniers) le risque d'écoulements latéraux et de destruction des cordons est faible.

Enfin, les cordons de pierre ont également un effet de diminution de l'érosion éolienne, effet léger, mais qui sera renforcé par leur végétalisation (spontanée ou assistée).



3. Détails techniques

Il faut attacher une importance particulière au bon traçage des courbes de niveau, tâche facile et pouvant être exécutée par les agriculteurs, mais nécessitant un travail suffisamment méticuleux. La distance entre cordons sera fonction notamment de la pente, de la perméabilité du terrain, de la disponibilité en pierres. La distance horizontale entre cordons est déterminée par leur hauteur maximale (de l'ordre de 1 mètre) et par la pente résiduelle souhaitée après le comblement des cordons (cf. à titre d'exemple la note de bas de page ci-dessous).

Les courbes du niveau (CdN) sur lesquelles les cordons seront installés sont tracées de proche

en proche avec un triangle à niveau (cf. la fiche BP « Façons culturelles anti-érosives »). Elles seront matérialisées par des « pierre-jalon » (dis-tantes d'environ 2 mètres, sur chaque courbe).

Voici les principales considérations techniques à prendre en compte lors de la construction des cordons de pierre :

- Une tranchée de fondation, suivant les CdN matérialisées comme indiqué ci-dessus, est re-commandée pour des pentes supérieures à 15%. Cette tranchée, d'une profondeur de 10 à 15 cm et une largeur de 20 à 25 cm, pourra être confectionnée manuellement, à l'araire ou à la charrue ;
- La hauteur et la largeur initiales des cordons sont de l'ordre de 30 centimètres ;
- Les pierres, ramassées dans la parcelle où le cas échéant à proximité immédiate, sont posées sans soin particulier ;
- Une fois les pierres posées, on peut (surtout quand celles-ci sont de grande taille) ramener un peu de terre vers sa base amont, afin de la colmater sur une hauteur d'une quinzaine de centimètres ;
- Périodiquement, quand les sédiments s'approchent à une quinzaine de centimètres de la crête du cordon, celui-ci sera surélevé par la pose de nouvelles pierres ;

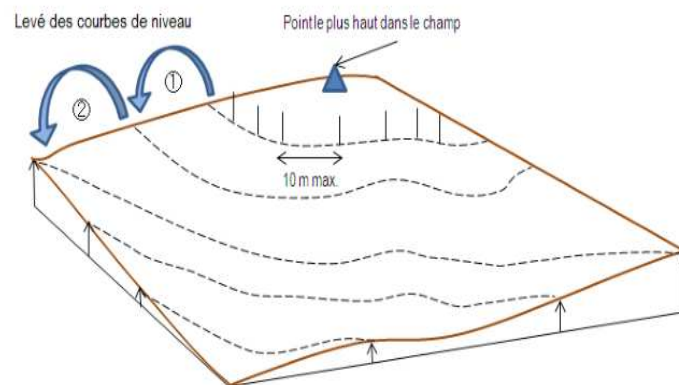


Figure 2 : Schéma de traçage des courbes de niveau

- Progressivement, la hauteur des cordons pourra attendre jusqu'à 1 mètre (du côté de son talus aval)²; leur largeur sera de l'ordre de 1,3 fois leur hauteur ;
- Bien que le risque d'écoulements latéraux et de débordements concentrés localisés des crêtes des cordons soit plus faible que par exemple pour les fossés de déviation, on peut en cas de besoin constaté aménager des bourrelets de terre visant à encore diminuer ce risque (cf. les « Améliorations techniques » ci-dessous).

Améliorations techniques :

Les effets physiques des cordons pierreux peuvent être renforcés et diversifiés en y associant notamment différents types de végétalisation (enherbement, plantation d'arbustes voire d'arbres), qui, en plus de renforcer les cordons eux-mêmes, renforceront l'infiltration de l'eau et la sédimentation et réduiront le risque de glissement de terrain sur les parcelles exposées à ce risque.

L'utilisation d'espèces végétales à utilisation multiple (fourragères, mellifères, bois-énergie, aromatiques, médicinales, ...) permet d'accroître leur intérêt au niveau de l'exploitation.

L'aménagement de bourrelets de terre à l'amont des cordons, tous les 20 à 30 mètres, parallèles au sens de la pente (donc perpendiculaires aux cordons) permet d'éviter les écoulements latéraux et les risques de débordements localisés des cordons. Ces bourrelets peuvent être végétalisés (cf. ci-dessus) prioritairement.

La solidité et la durabilité des cordons peuvent être renforcés en posant les pierres les plus grosses du côté aval et les pierres plus petites du côté amont.

Enfin, l'effet positif des cordons de pierre peut être

renforcé en privilégiant les parcelles aménagées au niveau des fumures (organiques et minérales), les impacts résultant de ces deux pratiques se renforçant réciproquement.



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Les cordons de pierre, grâce aux effets physiques évoqués au § 2 ci-dessus (*meilleure infiltration de l'eau de pluie ; diminution de l'érosion et rétention des sédiments au niveau des terrasses constituées*) et à la plus grande résilience des cultures qui en découle (y compris en termes d'adaptation au changement climatique), ainsi qu'à l'épierrage des parcelles, permettent des augmentations des rendements de 10% à 30% en année de bonne pluviométrie à de l'ordre de 40% à 70% en moyenne et jusqu'à 250% en année sèche. Dans ce dernier cas, les cordons permettent d'avoir une récolte, quand celle-ci est très faible voire nulle sur des terrains non aménagés. Les cordons permettent également de prévenir voire de corriger l'érosion en rigoles et ravines, au sein du parcellaire agricole (cf. fiche « Correction des ravines au sein des parcelles cultivées »).



5. Avantages/impacts « hors exploitation »

L'aménagement des versants par des cordons de pierre permet de régulariser le cycle de l'eau au niveau des bassins versants et d'y diminuer l'intensité des crues, le ravinement des terres et les autres dégâts de crue à l'aval et l'envasement des barrages. Une étude d'un aménagement d'un bassin versant de 780 hectares essentiellement en

2. Ainsi, une parcelle avec une pente du terrain naturel de 20%, aménagée par des cordons distants de 10 mètres, sera à terme, quand les cordons de pierre atteindront une hauteur de 1 mètre (talus aval), transformée en une succession de semi-terrasses avec une pente moyenne d'environ 10%.

Les cordons en pierres sèches

cordons de pierres en Tunisie semi-aride (Oued Zroud, Jbel Semama ; 350 mm/an) a conclu à un étalement significatif des crues (durée doublée), un écrêtement des débits de pointe de 33%, une réduction de 50% du ruissellement et une diminution des transports solides de 50 à 90%.

Il contribue aussi à un certain maintien de la biodiversité (installation d'une flore notamment sur les cordons et abris fourni à la petite faune

(oiseaux, reptiles, ...) ainsi qu'à l'adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles). Enfin, grâce à l'amélioration des rendements agricoles, les cordons de pierre contribuer également à la sécurité alimentaire.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des avantages, sur et hors exploitation, des cordons de pierre. (NB. Les avantages ayant une dimension «adaptation au CC» sont indiqués par *).

Résumé des principaux avantages des cordons de pierre, sur et hors exploitation		
Avantages	Sur exploitation	Hors exploitation
Augmentation de « l'eau verte » au profit des cultures (*)		
Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité des sols agricoles (*)		
Prévention/correction de l'érosion en rigoles et ravines au sein du parcellaire (*)		
Meilleure efficacité et durabilité que les levées de terre avec fossés		
Amélioration des rendements (*)		
Productions diverses (fourragères, etc. ; cf. §3)		
Augmentation du revenu agricole		
Adaptation au changement climatique (sécheresse et pluies torrentielles) (*)		
Diminution des dégâts de crue à l'aval (*)		
Diminution du ravinement à l'aval (*)		
Diminution de l'envasement des barrages (*)		
Contribution à la sécurité alimentaire (*)		
Maintien d'une certaine biodiversité		

■ Avantage faible ■ Avantage moyen ■ Fort avantage



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

L'aménagement des cordons de pierre est une pratique mature, ne nécessitant pas une technicité importante et facilement acceptée/adoptée et réalisée par les agriculteurs eux-mêmes, d'autant plus que c'est une pratique progressive, qui peut être réalisée « à temps perdu ».

Les cordons sont très durables, à condition

d'assurer leur surélévation périodique (cf. §3 ci-dessus) ainsi que, le cas échéant (assez rarement), la réparation d'éventuelles brèches créées par le passage des animaux ou par le ruissellement lors de pluies exceptionnelles.

Du point de vue des contraintes foncières, les cordons de pierre peuvent être réalisés (là où la pierrosité est suffisante ; cf. section ci-dessus) :

- Soit sur des parcelles d'une largeur suffisante permettant le travail du sol en courbes de niveau, entre les cordons ;

- Soit grâce à l'organisation concertée, entre agriculteurs voisins, de la mise en place du réseau de cordons continus couvrant de façon efficace et suffisamment ordonnée l'ensemble des parcelles d'un même versant, sans entraver les différentes opérations culturales ;
- Soit, le cas échéant, après des opérations de remembrement concerté.

La prise en compte de ces contraintes facilitera leur mise à l'échelle (cf. §8).

Par ailleurs, le seul inconvénient des cordons de pierre, au niveau de l'exploitation, consisterait en leur emprise au sol, même si celui-ci ne correspond, sur les pentes les plus fortes, qu'à 10% de la parcelle aménagée (et beaucoup moins sur les pentes plus faibles). Il s'agit toutefois d'un inconvénient mineur, eu égard aux avantages évoqués ci-dessus puisque le facteur limitant de la production agricole n'est pas la superficie, mais la disponibilité en eau verte (disponible pour les cultures) et la qualité et la profondeur des sols.



7. Coûts et bénéfices

La confection initiale des cordons avec de la pierre ramassée sur place nécessite, en fonction de la pente (et donc de la densité du réseau), de 8 à 20 jours de travail à l'hectare.

Leur surélévation progressive nécessite annuellement, pendant 5 à 10 années, une moyenne de 4 à 10 jours de travail à l'hectare.

Les cordons de pierre permettent une amélioration immédiate des rendements agricoles due à la meilleure infiltration des eaux de pluie et qui s'accentuera progressivement au cours des années par la rétention des éléments fertiles du sol. Cette amélioration est estimée à 10% à 30% en année de bonne pluviométrie, à de l'ordre de 40%

à 70% en année moyenne et peut aller jusqu'à 250% en année sèche. Le taux de rentabilité de l'aménagement des cordons de pierre est, selon les hypothèses retenues pour ces augmentations de rendement, de l'ordre de 15% à 50%. Par exemple, une céréale avec un rendement moyen de 13 quintaux à l'hectare peut à terme et en année moyenne voir son rendement augmenté de l'ordre de 5 quintaux, ce qui donne lieu à une rentabilité de l'aménagement de 22%.

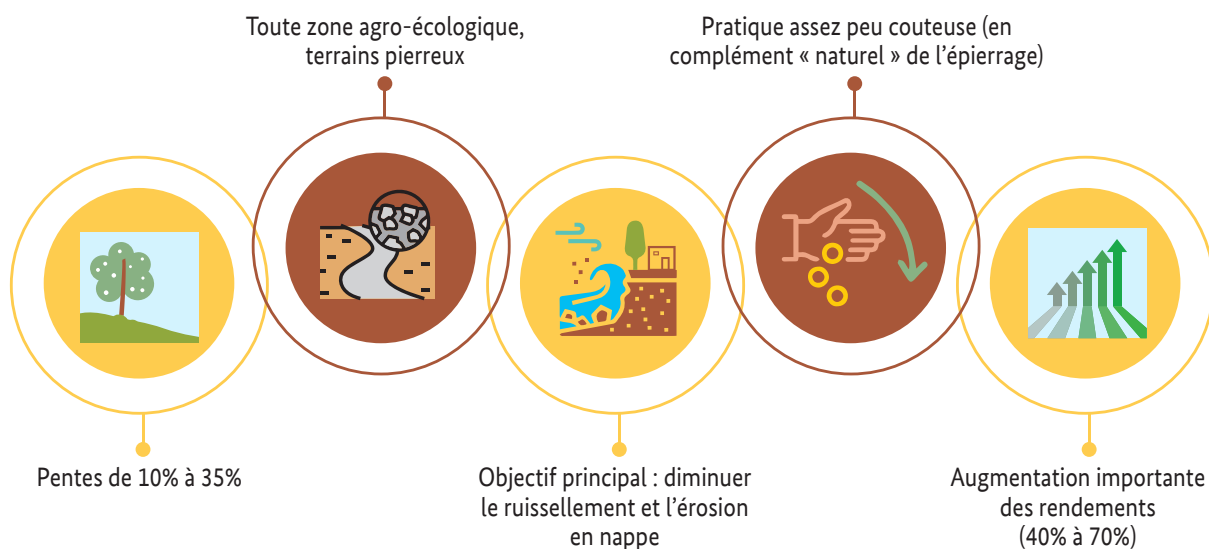


8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de cette pratique très efficace et durable peut être promue par le biais des activités suivantes à mettre en œuvre par les services techniques :

- L'information des agriculteurs (y compris par des visites/échanges de terrain) ;
- L'animation des activités de concertation évoqués au §6 ci-dessus ;
- L'accompagnement technique et la formation des agriculteurs (y compris au traçage des courbes de niveau), à assurer par les techniciens de terrain ;
- Sur des sites favorables (cf. section 1 ci-dessus) mais où cette pratique n'est pourtant pas connue des agriculteurs, réalisations de démonstration ;
- L'établissement de cahiers de charge techniques (comportant le cas échéant, là où nécessaire, des spécificités locales) à destination des agriculteurs ;
- La conception et la mise en œuvre volontariste d'un système de subventions pour la confection des cordons de pierre par les agriculteurs (subventions faibles en comparaison avec l'exécution en entreprise, mais suffisamment motivantes pour les agriculteurs).

Les cordons en pierres sèches



Références de la Fiche « Les cordons en pierres sèches »

Élément	Référence/source
Page 1 – Photo 1	Perceptions et déterminants des techniques de conservation de l'eau et des sols au Nord-ouest du Bénin, J. EGAH et autres, dans Science et Technique, Revue Burkinabé de recherche, Spécial hors-série n° 5 – Janvier 2020
Page 1 – Figure 1	Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), E. Roose, Bulletin pédologique de la FAO n° 70, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 1994 (Section « Les structures de dissipation de l'énergie du ruissellement » du Chapitre 5 « L'érosion en nappe ou stade initial de l'érosion hydrique »)
Page 2 – Figure 2	Aménagement en courbes de niveau pour la conservation des sols en champs paysans – Annexe : Manuel technique 9 du « Guide pour la gestion et la Conservation des Ressources Naturelles », Institut d'Économie Rurale/Japan International Research Center for Agricultural Sciences, décembre 2012



§2 et §4 – Données sur les effets et impacts des cordons de pierre au niveau de la parcelle

Sources variées synthétisées :
 Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc - Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes, E. Roose et alia, IRD, Marseille, 2010
 Bonnes pratiques de conservation des eaux et des sols, Contribution à l'adaptation au changement climatique et à la résilience des producteurs au Sahel, GIZ/BMZ, 2014
 Fonctionnement hydraulique des cordons pierreux isohypses, Cas de Bidi (province du Yatenga, Burkina Faso), I. Coulibaly, décembre 1993
 Lutte anti-érosive et amélioration de la productivité du sol par l'aménagement de cordons pierreux, Fiche technique, R. Zougmore et Z. Zida, INERA SARIA, 2000
 Rentabilité économique de la combinaison des mesures de conservation des eaux et des sols avec la gestion des nutriments en zone semi-aride du Burkina Faso, R. Zougmore et autres, Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), mai 2006
 La pratique de la gestion durable des terres - Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne, Terra Africa, WOCAT, 2011
 Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel, J. VLAAR, UAW-Wageningen/CIEH Burkina Faso, 1992
 Erosion et lutte anti-érosive sur parcelles de culture dans la région de Bidi, Burkina Faso. Mémoire de Maîtrise de géographie, Université de Ouagadougou, A. Traoré, 1991
 Rapport de l'étude pilote d'évaluation de l'impact des recherches en GRN en zone sahélienne de l'Afrique de l'Ouest, F. LOMPO et S. OUEDRAOGO, CORAF, 2006

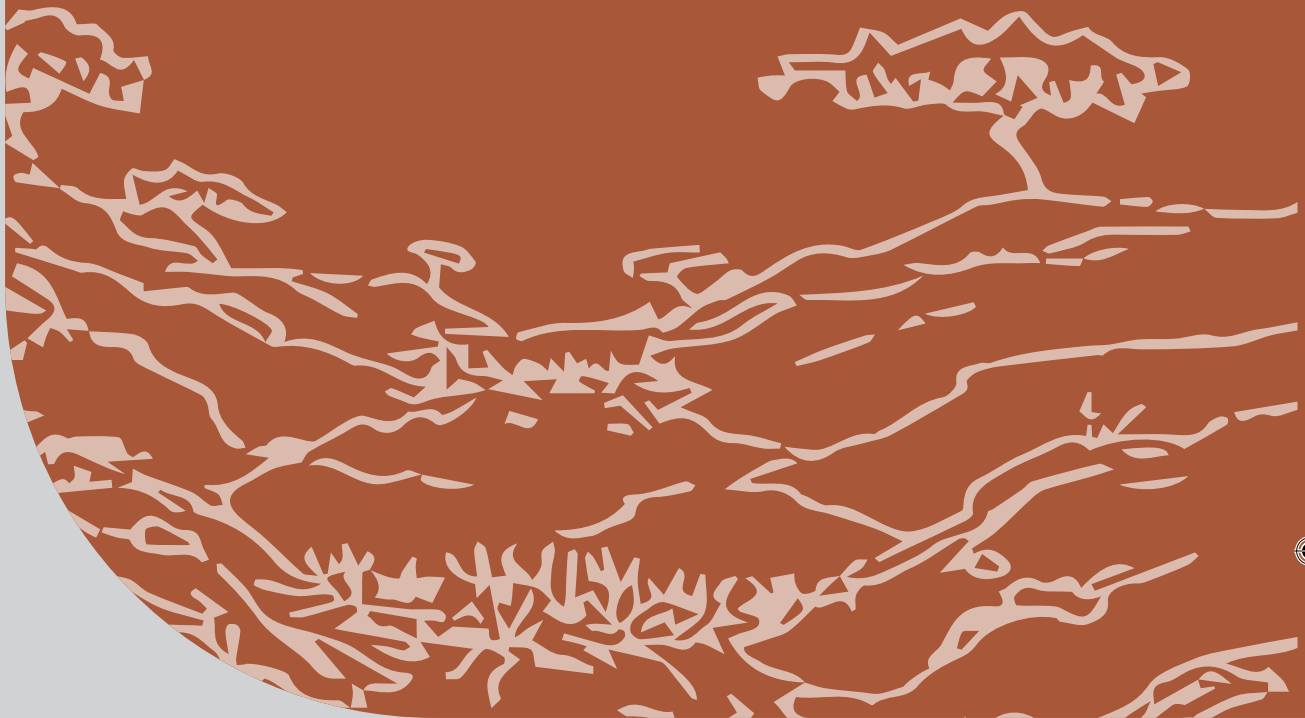
§5 – Données sur les impacts physiques des cordons de pierre au niveau du bassin versant

Etude d'ABV de l'Oued Zroud/Jbel Semama, Bergaoui et Albergel, Bulletin du Réseau Erosion n° 20, 2000

§7 – Rentabilité de l'aménagement des cordons de pierre

Simulations du consultant

Stabilisation des ravines



Troisième Catégorie :
Les bonnes pratiques axées
sur une intervention Mixte



1. Description

Un ravin est une dépression allongée dans le terrain environnant, assez profonde et généralement étroite, avec des berges en pente assez forte. Cette forme d'érosion est créée par le ruissellement concentré des eaux en provenance de l'amont. Dans de nombreux bassins versants, les ravins font partie de l'écosystème «naturel», même en bon état, mais leur formation est d'autant plus active que le couvert végétal des terrains situés à leur amont est dégradée. Les photos 1 et 2 montrent des exemples de ravins en Tunisie centrale. Sur le plan foncier en Tunisie, s'agissant de voies d'eau faisant partie du réseau hydrographique, les ravins font partie, en principe, du domaine public de l'état.



Photo 1 et 2 : Exemples de ravins observés sur le bassin versant du Merguellil

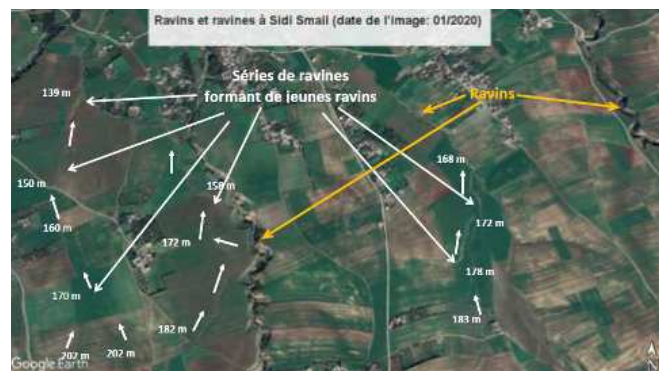


Figure 1 : Ravinement dans le bassin versant de la Mejerda au niveau du secteur de Sidi Smail

Dans les milieux anthropisés que sont les agrosystèmes, la formation et le surcreusement actifs des ravins résultent généralement du défrichement et de la mise en culture d'espaces forestiers, et cela en l'absence d'aménagements ou de pratiques visant à maîtriser le ruissellement des eaux de pluie. Les ravins y font alors partie du paysage agricole, sont plus ou moins végétalisés naturellement et sont exploités par les populations riveraines en tant que parcours, ainsi que pour la collecte du bois de chauffe et de produits forestiers non ligneux.

Cependant, avec la pression anthropique sans cesse croissante, le surpâturage conjugué à l'absence de mesures de correction sur les terrains situés à l'amont et au niveau des ravins eux-mêmes, ces derniers connaissent divers processus d'érosion :

- Le surcreusement de leurs berges et de leur fond ;
- La remontée des têtes de ravins par érosion régressive.

Ces formes d'érosion aggravent la dégradation des terrains adjacents tout en produisant de grands volumes de sédiments constituant une part importante de l'envasement des barrages. La stabilisation des ravins consiste en l'établissement de dispositifs végétaux et/ou mécaniques qui :

- Interceptent et ralentissent les écoulements des eaux de pluies ruisselées en provenance de l'amont ;
- Provoquent le dépôt des sédiments transportés

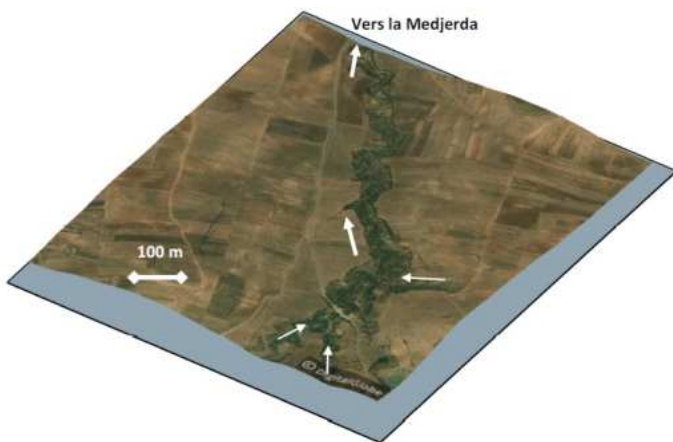


Figure 2 : Un ravin type dans le bassin versant de la Mejerda au niveau de Sidi Smail

- Créent de petites terrasses ou gradins tout au long de la partie du ravin traité ;
- Stablisent ainsi le fond et les berges des ravins. Ces dispositifs (présentés plus en détail au §.3 ci-dessous) ont leur utilité dans toutes les zones des 2 régions concernées par le projet ProSol.



2. Effets physiques visés

Les pratiques de stabilisation des ravins situés en dehors du parcellaire cultivé visent notamment :

- La réduction de la vitesse et des débits de pointe des écoulements dans les ravins ;
- La diminution du surcreusement des ravins par la stabilisation de leurs profils (profondeur et largeur) ;
- La diminution du transport solide vers l'aval ;
- L'amélioration de l'infiltration des eaux et de l'alimentation de la nappe phréatique ;
- L'amélioration du couvert végétal des surfaces occupées par les ravins.



3. Détails techniques

La stabilisation des ravins revêt un caractère plus ou moins complexe selon leur physionomie qui varie en fonction de leurs caractéristiques physiques respectives telles que :

- La superficie du bassin versant situé à leur amont ;
- Leur pente en long ;
- Leur profondeur et leur largeur ;
- La pente de leurs berges ;
- La nature de leurs substrats (fond de ravin et berges) ;
- Leur emplacement dans l'agro-écosystème (terrains naturels, terroir agricole).

La stabilisation des ravins peut recourir aux techniques suivantes:

- La végétalisation en niveaux successifs avec des dénivelés qui seront fonction de la pente en long du ravin ; cette végétalisation est particulièrement efficace dans le cas de ravins relativement larges, peu profonds et présentant des pentes en long faibles à moyennes (cf. figure 3). Les végétaux (herbacées, arbres, arbustes) plantés en travers du ravin permettront, grâce au dépôt des sédiments piégés, la formation de terrasses ou gradins, qui contribueront à la



Figure 3 : Végétalisation des ravins par des barrières végétales



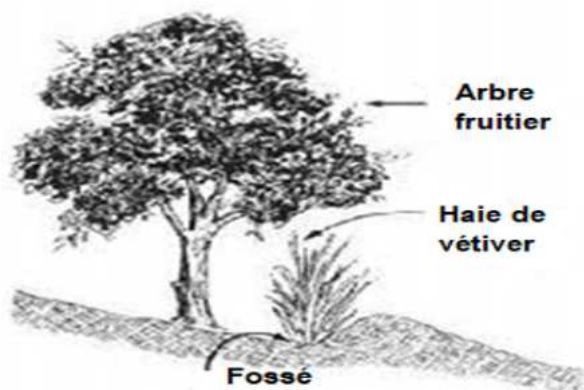


Figure 4 : Végétalisation multiusage (ici : fruitière) derrière la barrière végétale

stabilisation des berges et du fond du ravin (cf. figure 3). Ces terrasses pourront se végétaliser spontanément ou faire l'objet de plantations, pour lesquelles il est recommandé d'utiliser des combinaisons appropriées d'espèces à buts multiples (espèces semi-forestières, fruitières, fourragères, aromatiques), permettant de combiner les effets physiques de stabilisation du ravin avec l'intérêt économique de la végétation mise en place (cf. figure 4) ;

- La confection d'ouvrages de protection mécanique, tels que des seuils en gabion, en pierres sèches ou en fascines. A chaque fois que cela est possible, ces seuils seront consolidés par végétalisation (figure 5). Tout comme dans le cas de la technique précédente, ces ouvrages consolidés permettront de former des terrasses qui pourraient être mises en valeur par des plantations.

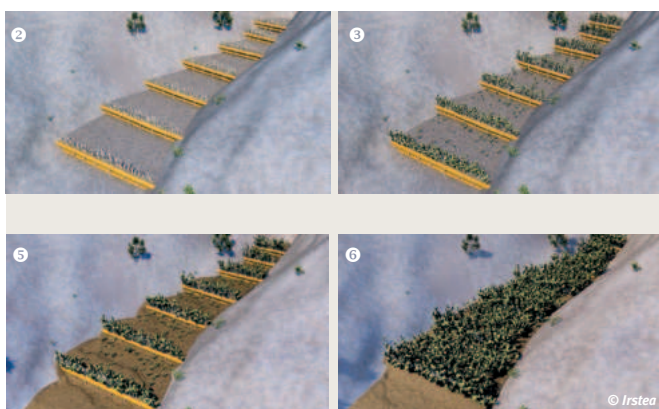


Figure 5 : Consolidation de seuils en fascines par des barrières végétales

En ce qui concerne les barrières végétales, il est recommandé d'utiliser des plantes herbacées pérennes telles que le diss (*Ampelodesmos mauritanicus*), l'*Andropogon* sp, le vétiver (*Chrysopogon zizanioides*), qui sont faciles à installer, peu coûteuses et qui produisent les effets recherchés à court terme.



4. Avantages au niveau de l'exploitation

Bien que la stabilisation des ravins soit effectuée le plus souvent en dehors des parcelles agricoles elles-mêmes, la gestion concertée des réalisations dans ce domaine permettra aux agriculteurs concernés de bénéficier des avantages engendrés par la stabilisation des berges (protection contre la diminution de la superficie des parcelles cultivées ou surfaces pastorales jouxtant les ravins) et par la valorisation des végétaux utilisés (biomasse ligneuse, unités fourragères, productions fruitières, miel, plantes aromatiques et médicinales, ...).



5. Avantages « hors exploitation »

Les principaux avantages hors exploitation (donc au niveau des bassins versants où se trouvent les ravins traités) de la stabilisation des ravins sont les suivants :

- La diminution de l'envasement des barrages et des dégâts de crue à l'aval des ravins traités ;
- L'effet puits de carbone et d'atténuation du changement climatique (séquestration du carbone par la biomasse aérienne et souterraine subséquente à la végétalisation des ravins) ;
- La restauration d'une certaine biodiversité floristique et faunistique et l'amélioration de la qualité écosystémique des paysages.

Stabilisation des ravines

Le tableau ci-dessous résumé l'ensemble des avantages de la stabilisation des ravins hors du parcellaire cultivé.

Résumé des principaux avantages, sur et hors exploitation, de la stablisation des ravins hors du parcellaire cultivé		
	Sur exploitation	Hors exploitation
Augmentation du revenu agricole grâce à des productions diverses		
Diminution de l'envasement des barrages (*)		
Diminution des dégâts de crue à l'aval (*)		
Atténuation du changement climatique (*)		
Amélioration de la biodiversité et de la qualité écosystémique des paysages		

■ Avantage faible ■ Avantage moyen ■ Fort avantage

(*) Avantages les plus directement liés au changement climatique

6. Conditions de mise en œuvre et de durabilité

La stabilisation des ravins qui, pour la plupart, relèvent du domaine public, est une pratique assez courante en Tunisie, conduite le plus souvent par les services techniques de l'état (DGACTA et services forestiers). Sa réalisation nécessite une collaboration suffisamment étroite entre les services techniques compétents et les riverains concernés. Dans la pratique, la réalisation des aménagements de stabilisation des ravins requiert :

- L'information et la sensibilisation des riverains concernés (éleveurs, agriculteurs, ...) ;
- L'identification des sous-bassins versants ou unités paysagères à traiter en concertation avec ces derniers ;
- L'organisation de la mobilisation des parties prenantes concernées (agriculteurs et leurs organisations : GDA- et/ou associations ; en effet, le plus souvent la stabilisation des ravins concerne plusieurs agriculteurs mettant en valeur les terrains jouxtant ces ravins) ;
- La conduite des études techniques préalables avec l'appui des services techniques concernés. Ces études devront permettre :

- De faire un diagnostic approfondi de la dynamique hydraulique et d'érosion des terroirs concernés (vitesse d'évolution des ravins, structure du réseau hydrographique, lithologie, ...) ;
- De procéder à une planification participative et concertée qui portera sur le choix des ravins à traiter, les options de traitement à adopter (notamment végétalisation et/ou traitement mécanique), les espèces végétales à utiliser, la contribution des différentes parties prenantes à la réalisation, à l'entretien et à la gestion des aménagements (y compris le partage des avantages qui seront générés par les aménagements).

La stabilisation des ravins ne présente pas d'inconvénients majeurs en dehors de son coût, surtout pour ce qui est des ouvrages physiques. Eu égard aux effets et avantages évoqués au §.2 et §.4 ci-dessus, cette pratique demeure intéressante. En définitive, l'efficacité et la durabilité de cette pratique dépendront largement de sa conception initiale qui doit accorder une attention toute particulière à la qualité de la végétalisation en termes de diversification des espèces et de pertinence de celles-ci avec les besoins et demandes réels des riverains.

Enfin, l'acceptabilité de la stablisation des ravins par les agriculteurs est également essentiellement fonction de l'importance des enjeux qu'elle représente pour les exploitations limitrophes (gravité du creusement des berges qui diminue la superficie des parcelles ; valorisation des végétaux utilisés pour la stablisation des ravins).



7. Coûts et bénéfices

S'agissant d'une pratique relativement complexe recourant généralement à plusieurs types d'aménagement et dont les configurations possibles couvrent un éventail assez large de situations de terrain et d'options de traitement des ravines, il n'est pas possible de donner une estimation précise de son coût.

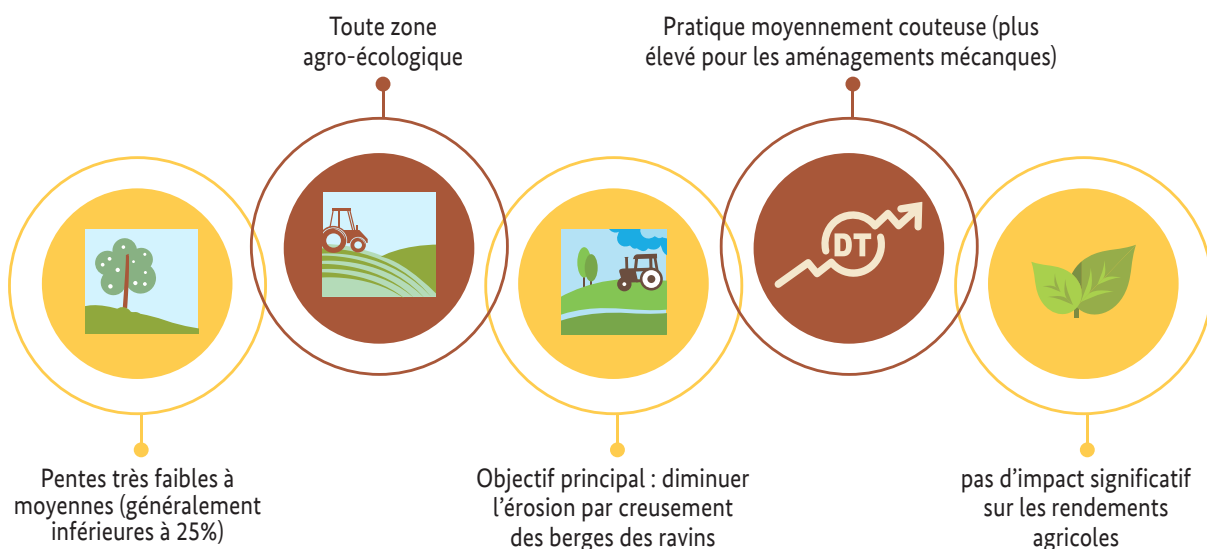
Il en est de même pour leur avantages/impacts au niveau des sites traités et à l'aval, qui varient très largement, essentiellement en fonction des terrains et/ou des infrastructures à protéger. L'analyse coût/ avantage devra donc être réalisée pour chaque intervention envisagée, en tenant compte de l'ensemble de ces spécificités et options d'aménagement.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de cette pratique nécessitera notamment :

- L'élaboration d'une typologie et d'une hiérarchisation des sites susceptibles d'être traités, en tenant compte des critères pertinents, notamment en termes d'impacts en aval, mais aussi en termes d'impacts locaux pour les riverains ;
- La conduite d'une campagne de journées d'information et de sensibilisation des agriculteurs sur l'intérêt de la stablisation des ravins dans les sites choisis ;
- L'élaboration participative de plans d'aménagement des sites concernés (cf. §.6) en impliquant à la fois les riverains en amont et en aval , notamment quant à leur implication en matière de gestion des aménagements en termes d'entretien des ouvrages et dispositifs à mettre en place ;
- L'élaboration d'un manuel/guide pratique détaillé à l'usage des techniciens/animateurs de terrain, incluant un procédurier de réalisation des tâches techniques et organisationnelles évoqués au § 6 ci-dessus.



Stabilisation des ravines



Références de la Fiche « Stabilisation des ravines »

Élément	Référence/source
Figure 1 et 2	Houda BOUDHRAA : Modélisation pluie-débit à base géomorphologique en milieu semi-aride rural tunisien : association d'approches directe et inverse. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. IRESA/INAT, 2007. http://docplayer.fr/88694235-These-de-doctorat-en-sciences-agronomiques.html
Images 1 et 2	Elaboration par le consultant sur la base d'une image Google Earth.
Figure 3	How to control gully erosion : https://www.indiawaterportal.org/articles/how-control-gully-erosion
Figure 4	Le vétiver – Une haie contre l'érosion. Banque Mondiale Washington, D.C. Première édition 1987 (https://www.vetiver.org/TVN_french%20vetiver-2.pdf).
Figure 5	Utilisation innovante du génie végétal pour le contrôle de l'érosion et de la sédimentation à l'échelle du territoire de la Durance - L'ingénierie écologique en appui aux fonctions de régulation des écosystèmes n°28, Sciences Eaux & Territoires n°16 – 2015
1. Description	https://www.aquaportail.com/definition-6107-ravinement.html Freddy REY et Frédéric BERGER : Interactions végétation-érosion et génie écologique pour la maîtrise de l'érosion en montagne. CEMAGREF. Grenoble/Unité de recherche Ecosystèmes et Paysages Montagnards (https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/Rey-Berger-2.pdf); Éric Roose, Mohamed Sabir, Mourad Arabi, Boutkhil Morsli and Mohamed Mazour. Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. p 43-69. (https://doi.org/10.4000/physio-geo.2319). Nolwenn Bougon, Thomas Eglin, Flavien Poinçot : Les sols dans les politiques publiques : une lente implantation in « Espaces naturels », n°72 octobre 2020 Jim. Ritter, 2018: Fiche technique : L'érosion du sol – Causes et effets (http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.htm). FAO : Ouvrages et méthodes de correction de ravins par Burchard H. Heede /Station Expérimentale des Forêts et Parcours des Montagnes Rocheuses/Service Forestier des Etats-Unis. https://www.fao.org/3/AD071F/AD071f12.htm
2. Effets physiques visés	Synthèse du consultant à partir de différentes sources mentionnées.
3. Détails techniques	
4. Avantages/impacts niveau exploitation	
5. Avantages/impacts hors exploitation	
6. Conditions de mise en œuvre	



Références diverses

https://wocatpedia.net/images/d/d9/Solofo_Raharinaivo_%282008%29_-_Les_techniques_de_Correction_des_ravines_et_de_Stabilisation_des_Lavaka_.pdf;
La lutte contre l'érosion des sols dans les régions de grandes cultures (https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/Erosion_sol/Erosion-sol.htm).
https://wocatpedia.net/wiki/Les_techniques_de_Correction_des_ravines_et_de_Stabilisation_des_Lavaka
<https://www.clicours.com/cours-mecanique-correction-mecanique-des-ravins/>
<https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/Rey-Berger-2.pdf>
[https://agroforesterie-bassinsversants.ht/IMG/pdf /lilin_choix_techniquespourletraitementdesravines.pdf](https://agroforesterie-bassinsversants.ht/IMG/pdf/lilin_choix_techniquespourletraitementdesravines.pdf)





Techniques améliorées de végé- talisation pérenne



Troisième Catégorie :
Les bonnes pratiques axées
sur une intervention Mixte

Techniques améliorées de végétalisation pérenne



1. Description

Les pratiques améliorées de végétalisation pérenne, qui concernent les milieux subhumide et semi-aride, voire aride, recourent essentiellement à :

- L'utilisation à grande échelle de matériel végétal (espèces et variétés fruitières est pastorales) rustique et notamment résilient par rapport à la sécheresse (et le cas échéant par rapport à certains ravageurs ou maladies), tout en étant suffisamment intéressant du point de vue économique ;
- L'utilisation de la technique de mise en place directe des jeunes plants de ligneux (au lieu de la préparation de plants en pépinière suivie de leur transplantation), ce qui favorise un meilleur enracinement des arbres et arbustes (meilleur taux de reprise et développement racinaire plus important).

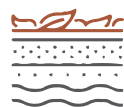
Dans le contexte de la gestion durable des terres agricoles (GDTA), ces pratiques sont particulièrement importantes pour la réussite des différentes autres pratiques de GDTA, qui sont basées sur la végétalisation pérenne. Ceci aussi bien pour les plantations en plein (vergers de protection et de production et plantations pastorales) que pour les bandes végétalisées, les haies et la végétalisation des ravines, des ravins, des cordons de pierre et des bases des murettes.

Ceci est valable dans les conditions spécifiques (techniques et socio-économiques, y compris les types d'exploitation – petites, moyennes ou grandes – concernés) correspondantes à chacune de ces pratiques (conditions décrites dans les autres fiches BP correspondantes).

En effet, la meilleure rusticité des arbres et

arbustes installés contribue aussi bien à améliorer les taux de réussite technique des plantations que leur intérêt économique pour les agriculteurs et les rendent ainsi plus attractifs pour les agriculteurs, qui restent encore fréquemment sceptiques par rapport à leur adoption/appropriation.

L'intérêt de ces pratiques sera de plus en plus grand, pour devenir crucial, au cours des années et décennies à venir, à cause du changement climatique (CC), qui rendra l'installation et le développement et des arbres et arbustes de plus en plus difficiles et en affectera l'intérêt économique, mais auquel les pratiques améliorées de végétalisation pérenne permettent de s'adapter.



2. Effets physiques visés

Les **effets physiques directs** visés par les pratiques améliorées de végétalisation sont les suivants :

- De meilleurs taux de réussite/survie des dispositifs végétalisés mis en place (vergers en plein, en bandes ou en haies ; bandes végétalisées, arbustes fourragers, végétalisation des ravins/ravines ; cultures pluriétages et agroforesterie ; végétalisation des aménagements mécaniques – levées de terre, cordons, ...¹) ;
- Un meilleur développement végétatif de ces dispositifs ;
- Une meilleure longévité/durabilité des arbres et arbustes mis en place.

Comme évoqué ci-dessus, les **effets physiques indirects et finaux** de ces pratiques, en termes des GDTA, concernent le renforcement voire la viabilité de l'ensemble des effets des diverses

1. Le système des banquettes biologiques à base de vétiver s'appuie sur une pratique de végétalisation améliorée, de par le fait que le vétiver est un végétal rustique et que sa mise en place se fait facilement par boutures issues de sa multiplication végétative.



autres pratiques de GDTA : diminution de l'érosion, de la dégradation des caractéristiques physiques et chimiques du sol, du ruissellement, du ravinement, de la torrencialité des écoulements (crue) et de l'envasement des barrages.



3. Détails techniques

En dépit de l'importance grandissante de la résilience des arbres et arbustes à utiliser dans le cadre de la GDTA, les pratiques visant à améliorer cette résilience sont très peu documentées, d'une façon générale, et plus particulièrement pour les arbustes pastoraux (cf. §8 ci-dessous). Les informations ci-dessus résument les quelques références documentaires dispersées et peu nombreuses ainsi que certaines informations personnelles à disposition, pour les principales pratiques concernées. Les informations techniques ci-dessous, forcément limitées, concernent quelques exemples bien connus et/ou particulièrement pertinents dans le présent contexte.

a. L'installation directe en place des arbres et arbustes.

L'installation directe des arbres et arbustes peut se faire soit par semis, soit par multiplication végétative (bouturage, marcottage, ...), chaque mode pouvant être suivi de greffage en place. Cette installation directe des arbres ou arbustes a les avantages suivants :

- Absence de risques physiques pour les plants ni de problèmes logistiques liés à l'arrachage et au transport des plants de la pépinière au site de plantation ;
- Faible coût de production des plants ;

- Opérations pouvant être réalisées en grande partie par les agriculteurs eux-mêmes ;
- Meilleur enracinement des arbres ou arbustes ;
- Plus grande résistance à la sécheresse.

Le semis en place : exemple de l'amandier.

L'intérêt de la reproduction et la mise en place de l'amandier par semis direct est signalé dès 1952 par Evreinoff : « Le semis de l'amandier peut être effectué directement en place, procédé à ne pas négliger, parce que l'amandier n'aime pas la transplantation (un arbre transplanté a forcément le pivot détruit) et presque obligatoire pour la culture sèche sous climat aride, lorsqu'il est impossible d'arroser les jeunes arbres et que la plantation devient toujours une opération délicate. En plus, cette méthode donne des arbres plus vigoureux, plus tolérants au manque d'eau, avec des rendements intéressants et une alternance moins accentuée². L'amandier à amandes amères est plus résistant au capnode, certaines variétés s'étant montrées complètement résistantes ».



Photo 1: Amandiers mis en place par semis direct (Oulad Lahcen, Maroc)

Le semis en place s'effectue à l'automne (après trempage des amandes pendant 2 à 3 jours) en poquet de 3 amandes amères distantes de 10 cm, la pointe en bas, recouvertes de 5 à 10 cm de bonne terre et repérées par un jalon. On retient la pousse la mieux constituée et on greffe à œil

2. Ceci est confirmé par M. LAKHDAR, Agriculteur et technicien agricole à Oujda (Maroc), qui a comparé 2 de ses propres vergers mis en place en même temps, l'un par plantation de plants de pépinière et l'autre par greffage sur amandier de semis. En dépit de « l'avance initiale » de 2 à 3 années des amandiers provenant de la pépinière, le verger issu du semis direct d'amandes amères est moins exigeant en eau, tout en étant plus vigoureux et 30% plus productif (enquête de terrain personnelle, 2010).



dormant en fin d'été/début automne, en vue de l'obtention de la variété souhaitée.

Un semis direct à Oulad Lahcen (province de Taza, Maroc), en milieu semi-aride (indice de Martonne = 16,5) où le taux de réussite des plantations de plants produits en pépinière à la même période (2006) a été de l'ordre de 10 à 15% seulement, a connu un taux de réussite de 98% par semis direct dans de petits impluvia avec des bourrelets renforcés par des pierres et qui seront agrandis au fur et à mesure de la croissance des arbres).

Le greffage en place de jeunes amandiers de semis direct âgés de 2 ans, à Tanant (province d'Azilal, Maroc) a connu un taux de réussite en première année de 85%.

Multiplication végétative avec mise en place direct : exemple de l'olivier.

Cette pratique de multiplication de l'olivier permet de reproduire des arbres aux caractéristiques identiques à celles de l'arbre « mère » sur lequel le matériel végétal a été prélevé. Elle ne nécessite donc pas le greffage. Le matériel végétal proviendra de l'oléastre. Différents types de multiplication peuvent être utilisés : le bouturage de rameaux (pratique la plus courante), le marcottage, qui est très facile à réaliser ou la plantation de drageons (ou souquets), tous à partir d'individus de la variété à installer.

La bouture sur rameaux ligneux se fait par plantation, à la fin de l'hiver, d'un rameau ligneux le plus droit possible, d'au minimum 50 cm et incisé sur 10 cm à la base pour faciliter l'émission des racines, en les enterrant au deux-tiers dans une terre fine, bien tassée et tenue humide pendant plusieurs semaines.

Le semis en place : exemple du caroubier.

Le semis se fait directement en place à l'automne (graines fraîches qui germent facilement) ou à la fin de l'hiver (après scarification), dans

un mélange de tourbe et de sable à 4 cm de profondeur, couvert d'un léger mulch et tenu humide. Le caroubier étant un arbre dioïque, il faudra le greffer (de préférence en écusson ; cf. photo 2), sur portegreffe jeune ; le cas échéant en couronne sur des porte-greffes plus âgés) non seulement pour des raisons de choix variétal, mais aussi afin d'assurer que le verger ait la proportion voulue de pied femelles. Ce greffage peut se faire aussi bien sur sujets issus de semis naturel que sur sujets semés par l'homme

Le semis en place : exemple de l'olivier.

Le semis direct en place, suivi de greffage à l'anglaise (délicat), peut également être utilisée pour la pour l'olivier, même si cette pratique est plus difficile que la mise en place directe par bouturage.

b. Les principales espèces fruitières rustiques.

En Tunisie, comme dans toute la Méditerranée, le changement climatique va obliger les agriculteurs à adapter leurs pratiques en plantant des arbres fruitiers les plus rustiques possibles. Parmi ceux-ci figurent l'amandier, l'olivier et le caroubier issus de semis (cf. ci-dessus).

Un autre exemple est le jujubier, qui est en raison de sa grande rusticité et de l'existence de variétés productives à grands fruits est une espèce très



Photo 2 : Caroubier issu de semis naturel greffé en écusson

Techniques améliorées de végétalisation pérenne

intéressante pour les régions à climat subhumide, subaride et même aride. Le jujubier est greffé sur *Ziziphus lotus*, soit sur des pieds déjà en place naturellement et préparés par sélection de brin, soit sur de jeunes pieds de 6 mois à 1 an, issu



Photo 3 : Jujubier «Li» à très gros fruits



Photo 4 : Pistacia vera greffé sur lentisque



Photo 5 : Récolte de fourrage d'acacia

du semis en place de graines ou de marcottage, drageonnage ou bouturage.

Les variétés productives sont nombreuses, en provenance de l'Inde ou surtout de Chine (variétés à grand fruit – 70 fruits/kg – « Mushing Hong », « Sui Men » et « Lang » ou la variété « Li » à très gros fruits – 35 fruits/kg- au kg).

D'autres espèces rustiques à intérêt économique sont le câprier (pouvant être multiplié par bouturage ou semis en place), l'arganier et le pistachier greffé en place sur lentisque.

c. Les espèces pastorales rustiques.

Il existe un assez large éventail d'arbres et arbustes à vocation pastorale rustiques qui, tout en assurant une ressource fourra gère pour le cheptel et ayant d'autres intérêts et utilisations (mellifères, aromatiques, boisénergie, ...) fournissent une protection des sols contre l'érosion hydrique et éolienne, réduisant l'aridité du milieu (ombre, diminution du ratio « évaporation/transpiration et de l'albédo) et en constituant un habitat pour la faune.

La plupart de ces espèces peuvent se multiplier par semis après scarification superficielle du sol. Elles incluent (liste pas exhaustive) plusieurs acacias (*albida*, *radiana*, *gummifera*), *periploca angustifolia*, *rhys tripartitum*, *retama raetam*, *rhaxterium suaveolens*, *salsola vermiculata* et *argyrolobium uniflorum*.



4. Avantages/impacts au niveau de l'exploitation

Les pratiques de végétalisation améliorée :

- Contribuent à la meilleure réussite voire à la faisabilité des différentes pratiques de GDTA qui recourent à la végétalisation, notamment dans le contexte de sécheresse accrue suite au

changement climatique, auquel ces pratiques permettent donc de s'adapter ;

- A ce titre, elles renforcent l'ensemble des effets et impacts de ces pratiques (dont notamment la diminution du ruissellement et de l'érosion, l'amélioration de la fertilité des sols et de la biodiversité cultivée, ainsi que l'augmentation des productions et des revenus agricoles).



5. Avantages/impacts «hors exploitation»

Au titre de leur contribution à la réussite des différentes pratiques de GDTA, les pratiques de végétalisation améliorée contribuent, au niveau des bassins versants, à la diminution du ravinement et des dégâts de crue à l'aval et de l'envasement des barrages ainsi que, de façon globale, à la lutte contre le changement climatique (adaptation et atténuation ; cf. §1 ci-dessus) et à la sécurité alimentaire.

Le tableau ci-dessous résume l'importance des pratiques améliorées de végétalisation pour la réussite des autres pratiques de GDTA.

Résumé des principaux avantages indirects et directs, sur et hors exploitation, des pratiques de végétalisation améliorée		
	Sur exploitation	Hors exploitation
Diminution de l'érosion et préservation de la fertilité des parcelles protégées		
Infiltration de l'eau dans le sol, amélioration du bilan hydrique ("eau verte") (*)		
Amélioration des rendements		
Augmentation du revenu agricole		
Adaptation au changement climatique (sécheresse, ETP accrue, pluies torrentielles) (*)		
Diminution du ravinement (*)		
Diminution des inondations et des dégâts de crue (*)		
Réduction de l'envasement des lacs collinaires et retenues des barrages		

■ Avantage faible

■ Avantage moyen

■ Fort avantage

(*) Principaux avantages liés à l'adaptation au changement climatique



6. Conditions de mise en œuvre, durabilité et inconvénients

Les différentes pratiques améliorées de végétalisation sont des pratiques matures. Elles ne nécessitent pas une technicité poussée, peuvent être réalisées par les agriculteurs eux-mêmes, l'ont été traditionnellement et le sont encore par certains. Elles peuvent être mises en œuvre

dans tout contexte (sur terrains privés, collectifs ou étatiques) sur les terrains pour lesquels il a été décidé de recourir à la végétalisation. Une fois bien comprises, elles sont facilement appropriées par les agriculteurs.

Toutefois, elles ne sont actuellement plus couramment pratiquées en Tunisie (pas plus que dans les autres pays du Maghreb) et nécessitent des actions de promotion ciblées volontaristes (cf. §8).

Techniques améliorées de végétalisation pérenne



7. Coûts et bénéfices

Les pratiques de mise en place directe des arbres fruitiers ont un coût très inférieur aux pratiques actuelles de plantation de plants/scions issus de pépinière.

A titre d'exemple, le semis direct d'amandier (évoqué au §3) a permis d'éviter l'achat de plan, le creusement du trou de plantation (sol seulement ameubli superficiellement), tout en obtenant une réussite quasitotale, contre un taux d'échec élevé pour la plantation de scions. Etant donné que le coût de la semence (amande en coque) plus le coût du greffage en place représentent environ 35 % du coût d'un scion d'amandier produit en pépinière, et que la préparation du sol pour le semis en place ne représente qu'environ 10% du coût de la plantation du scion, le semis direct suivi de greffage revient 4 fois moins cher que la plantation d'un scion.

Or, le taux de réussite est jusqu'à 8 fois plus élevé pour le semis direct que pour la plantation des scions (cf. § 3 ci-dessus, en conditions agroécologiques difficiles ; ce rapport peut-être de seulement de 2,5 dans des conditions plus favorables). Par conséquent, le coût de mise en place d'un amandier par semis direct est environ 10 à 32 fois moindre que celui de la plantation de scions.

Que ce soit dans l'optique d'autoréalisation paysanne de ces pratiques ou en régie, le coût des pratiques améliorées de végétalisation est donc très faible par rapport à celui des pratiques actuelles.

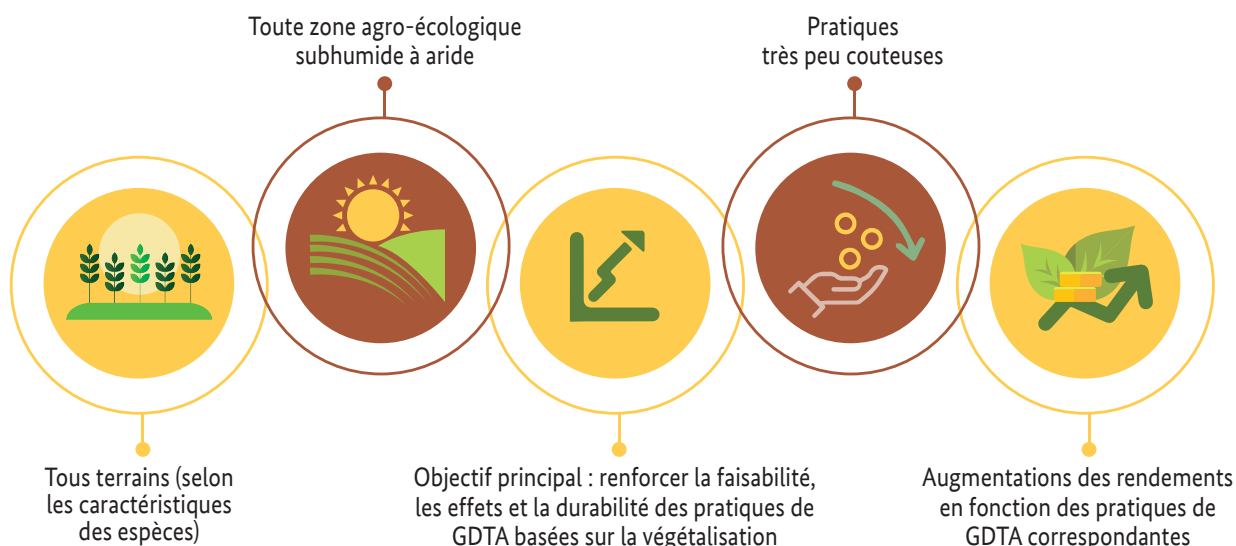
A l'avantage que représente ce faible coût d'installation des arbres par semis direct, il convient d'ajouter les autres bénéfices économiques et environnementaux, tels qu'évoqués aux §4 et §5 ci-dessus.



8. Recommandations pour la mise à l'échelle

La mise à l'échelle de ces pratiques cruciales peut être promue par le biais de :

- L'information des agriculteurs sur ces pratiques matures actuellement connues ;
- La réalisation puis l'évaluation participative d'opérations pilotes de mise en place de vergers, plantations pastorales et autres végétalisations « de CES » recourant à la pratique de mise en place directe des plants et aux espèces résilientes connues ;
- L'identification systématique d'espèces fruitières et pastorales résilientes supplémentaires (par rapport à celles énumérées ci-dessus) ;
- La recherche de références supplémentaires en matière de techniques de végétalisation améliorées (notamment pour ce qui est des espèces pastorales) permettant d'atteindre de meilleurs taux de réussite de l'installation ainsi qu'une meilleure résilience des plantes installées ;
- L'établissement de cahiers de charge techniques (comportant le cas échéant, là où nécessaire, des spécificités locales) à destination des agriculteurs ;
- Sur la base des résultats obtenus :
 - La conception et la mise en œuvre volontariste d'un système de subventions en vue de promouvoir l'autoréalisation à grande échelle par les agriculteurs ;
 - L'identification et la sélection d'agriculteurs particulièrement motivés pour la mise en œuvre des pratiques confirmées ;
 - L'accompagnement rapproché des agriculteurs (information, formation, encadrement, suivi, évaluation participative) dans les premières réalisations à grande échelle en situation réelle d'exploitation.



Références de la Fiche « Techniques améliorées de végétalisation pérenne »

Élément	Référence/source
Les modalités de multiplication/mise en place des arbres fruitiers en vue de leur meilleure résilience	• Les porte-greffes des arbres fruitiers adaptés aux conditions marocaines, Transfert de technologie en agriculture - https://www.agrimaroc.net/2018/05/22/les-porte-greffes-des-arbres-fruitiers-adaptes-aux-conditions-marocaines/2/ • L'amélioration du jujubier par greffage, Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Wageningen, Pays Bas • Comment semer un olivier, Rustica Jardinage, septembre 2012 • Bouturer l'olivier, Rustica Jardinage, mai 2012 • L'olivier, Wikipedia - L'encyclopédie libre, https://fr.wikipedia.org/wiki/Olivier • Quelques observations biologiques sur l'Amandier, V. Evreinoff, Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée / Année 1952 / 359-360 / pp. 442- 459 • Analyse interne des impacts du projet DRI-GRN dans le nord du Maroc - Rapports partiels par sous-programme, Chapitre 5 Analyse des impacts du sous-programme 2 « ABV » du projet DRI-GRN au niveau de ses 3 zones d'intervention dans la province de Taza, Août 2008
Espèces fruitières résilientes	• Tunisie : le caroubier, arbre d'avenir pour les agriculteurs du pays ? - Afrique économie, septembre 2021 - https://www.rfi.fr/fr/podcasts/afrique-%C3%A9conomie/20210905-tunisie-le-caroubier-fruit-d-avenir-pour-les-agriculteurs-du-pays • Agriculture : Le caroubier peut rapporter gros à l'économie tunisienne, Abdelhamid Khaldi, INGRES, TAP 16 novembre 2012 • Le jujubier et sa culture, P. MUNIER, Fruits, mai 1973, vol. 28, n°5, p. 377-388
	Planter en conditions arides et salines, désertiques et/ou sahéliennes - Ben-jamin LISAN, Plant a tree, juillet 2014

Techniques améliorées de végétalisation pérenne

Espèces fourragères arbustives résilientes

- Les arbustes fourragers exotiques - Leur intérêt pour la réaffectation des terres dégradées des régions arides et désertiques tunisiennes, M. ZAAFOURI et alia, Instituts des Régions Arides de Gabès et Médenine/ CNRS/CEFE/ORSTOM, 1995
- Gestion durable des terres en Tunisie - Bonnes pratiques agricoles, Plantation d'arbustes fourragers, H. TAAMALLAH, FAO/LADA/WOCAT/ ACTA, juin 201
- Des acacias pour sauver les terres arides de Tunisie, S. GRIRA, Les Observateurs-France 24, mars 2017
- Place et rôle des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-arides de la Tunisie, Nefzaoui A., Chermiti A., Fourrages et sous-produits méditerranéens, CIHEAM, Zaragoza, 1991
- Possibilités et limites de l'installation d'arbustes fourragers en vue de l'amélioration pastorale des régions steppiques du Maroc Oriental : résultats préliminaires, M. BAUMANN, projet GTZ « Culture et plantes fourragères », INRA, Rabat, non datée
- La valeur nutritive des principales ressources fourragères utilisées en Algérie. 2-Les arbres et arbustes fourragers, S. KADI et N. ZIRMI-ZEMBRI, Livestock Research for Rural development, Hal 01742651, 2016

Photo 1 – Semis direct amandier Oulad Lahcen

Comparaison des taux de réussite et coûts pour le semis direct et du greffage de l'amandier et la plantation de scions (\$7)

Analyse interne des impacts du projet DRI-GRN dans le nord du Maroc - Rapports partiels par sous-programme, Chapitre 5 Analyse des impacts du sous-programme 2 « ABV » du projet DRI-GRN au niveau de ses 3 zones d'intervention dans la province de Taza, Août 2008

Photo 2 – Caroubier issu de semis naturel greffé en écusson

Les réalisations du projet PDRZM, Le Maroc Vert, Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, PDRZM-Agricoland, 2019
<https://www.pdrzm-azilal.ma/realisations/filiere-caroubier/>

Photo 3 – Jujubier « Li »

<https://www.ebay.fr/itm/294252045943> (site commercial)

Photo 4 – Pistachier greffé

Les fruitiers rares – Les Jardins de l'Espérance, Maurice Chaudière, 2002

Photo 5 – Récolte d'acacia fourrager

Acacias for all – Little Jenaina/GIZ/CORP/AHK (site commercial d'entreprise sociale)



Handwriting practice area with horizontal dotted lines.





Handwriting practice area with 20 horizontal dotted lines.





Handwriting practice area with horizontal dotted lines.

