



VI. LUTTE CONTRE L'ÉROSION HYDRIQUE

Devant ces problèmes préoccupants d'érosion, les populations développent, en générale, deux types d'attitude:

* Les paysans sont principalement concernés par la dégradation de la productivité de leurs champs : ils cherchent à adapter leur système de production pour optimiser la productivité de leur terre et de leur travail. La formation de rigoles (griffes d'érosion linéaire décimétriques) et de ravines (rigoles profondes de plus de 50 cm que les façons culturales ne peuvent effacer) est un indicateur d'un mauvais fonctionnement du système de production. Les paysans tentent de reboucher les rigoles et les ravines par le travail de la surface du sol, mais ils maîtrisent rarement les problèmes techniques posés par la réhabilitation des ravines. La plupart des études sur l'érosion dans les champs cultivés concernent l'érosion en nappe et en rigoles et leur spatialisation est basée sur l'équation universelle des pertes en terre (USLE de Wischmeier et Smith, 1978) laquelle tente de prévoir à long terme (> 20 ans) l'érosion en nappe et rigoles en fonction de l'érosivité des pluies, du sol, de la pente et du système de culture.

* En revanche, les populations urbaines et les consommateurs d'eau sont plus intéressés par la qualité des eaux, les problèmes de transfert de boues lors des orages, de pollutions des nappes d'eau en aval et les inondations par les effluents en provenance des champs cultivés dans les rivières poissonneuses et les lacs. En générale, l'État charge les ingénieurs des services publics de surveiller les forêts et les eaux douces contre toutes ces pollutions.

VI.1. Les évolutions historiques des stratégies de la conservation des eaux et du sol

Toutes les sociétés rencontrent des problèmes de dégradation du milieu par divers types d'érosion et ont tenté d'y porter remède par des stratégies traditionnelles adaptées aux pressions foncières, en aménageant les eaux de surface pour améliorer la productivité des sols et stabiliser les versants. Leur abandon ne signifie pas leur manque d'efficacité antiérosive mais plutôt une évolution du milieu socio-économique.

VI.1.1. Les stratégies traditionnelles de lutte anti-érosive

a/ La culture itinérante sur brûlis est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre. Cette stratégie ne s'applique que sur des terres peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré).

b/ Les terrasses en gradins et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres: se sont développées 2 000 ans avant J.-C., en Asie. Ces terrasses sont apparues là où la population est dense, les terres cultivables rares et le travail bon marché. Comme ces aménagements exigent un gros effort pour la construction des terrasses (700 à 1 200 hommes.jours/ha), pour l'entretien des talus et la restauration de la fertilité des sols remués, il faut que la production soit rentable ou vitale. Ces améliorations foncières ne sont acceptées que là où les paysans n'ont plus d'autre choix pour subsister (pressions foncières, militaires,

religieuses ou économiques) ou pour produire des cultures particulièrement rentables.

Ce sont les aménagements les plus connues et les plus utilisées par les agriculteurs. Ce sont des constructions qui arrivent à casser la pente. Ces terrasses tirent leur nom de la forme qu'elles donnent au versant lorsque celui-ci est totalement aménagé. Les successions de terrasses prennent en effet la forme d'un escalier ou de gradins. Ces terrasses, accrochées au versant, doivent s'adapter à la pente de celui-ci : lorsque la pente augmente les terrasses rétrécissent tandis que le mur (ou le talus) de soutènement prend de la hauteur.

On distingue, parmi ces terrasses, celles qui sont soutenues par un mur et celles qui sont soutenues par un talus.



Figure 1.22. Une vue de versants aménagés par des terrasses soutenues par a/ des talus et par b/ des murs en pierre.

Il existe plusieurs possibilités pour construire ce type de terrasses. Cela dépend de la profondeur du sol, de l'espace disponible et de la quantité de cailloux présents sur le terrain.

c/ les billons, les cultures associées et l'agroforesterie

Dans cette rubrique, nous allons plus détailler le type d'aménagement par billons.



Figure 1.23. Vue sur des billons.

Les caractéristiques de billons

- Les billons sont des petits cordons en terre: selon les courbes de niveau
- Ils ont une hauteur comprise entre 0,2 et 0,4 m.
- Leur largeur à la base est variable, et peut parfois atteindre 0,9 m.
- Ils sont utilisés sur des pentes faibles. Ils sont généralement construits avec une pente très légère (2 à 3 %), qui permet l'écoulement d'une cuvette à l'autre.
- Il y a divers types de billons : des billons simples et des billons cloisonnés. Les billons cloisonnés sont des petites cuvettes de 2 à 10 m² entourées par des billons de terre. Les billons peuvent également être consolidés en pierres quand la parcelle se situe dans le lit d'un oued.
- Ils donnent une rugosité au sol, ce qui facilite l'infiltration et ralentit le ruissellement. Ce type d'équipement sous forme de billons permet l'infiltration d'une quantité maximale d'eau : cela permet donc la culture de nombreuses espèces. Les espèces nécessitant un apport important d'eau sont cultivées dans les cuvettes (la luzerne par exemple), et les espèces les plus résistantes à la sécheresse sont semées sur les billons (le maïs par exemple).



Les objectifs d'installer des billons

1. Augmenter l'infiltration de l'eau.
2. Diminuer la vitesse du ruissellement grâce à la rugosité apportée par ces éléments (et donc une diminution de la quantité de sol arrachée).

Condition d'application / Localisation / Coût :

- Les billons et billons cloisonnés sont utilisés sur des pentes faibles (< 12 %, et souvent proche de 3 %).
- Pour une réalisation à la main, il faut compter 10 à 15 HJ (homme jour) de travail d'ouvriers qualifiés.
- Pour une construction mécanisée, il suffira de 1 à 2 heures par ha de travail suivant la pente (White House).

Conception :

- La réalisation des billons se fait traditionnellement à la charrue tirée par deux bêtes. Elle se fait suivant les courbes de niveau afin d'économiser le travail des bêtes.
- Sur les parcelles maraîchères, le travail se fait exclusivement à la main (utilisation de la houe). Les billons sont construits avec la volonté de conduire l'eau de cuvettes en cuvettes

Suivi et Entretien:

- Les billons nécessitent un entretien quotidien:

- Etant composés uniquement du sol :

- Ils sont sensibles aux forts orages et aux crues (notamment dans le lit des oueds). Leur entretien consiste en la restructuration des billons les plus affaissés

- Ils sont sensibles au désherbage des cuvettes dans les parcelles maraîchères.

Avantages :

- + Augmentation et stabilisation des rendements par unité de surface cultivée.
- + Concentration de l'eau dans des cuvettes longitudinales, rectangulaires, losangiques,... ce qui favorise l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol.
- + Ralentissement du ruissellement par une augmentation de rugosité du sol due aux billons.
- + Double culture possible dans le fond des cuvettes et sur les billons suivant l'exigence des plantes en eau.

Inconvénients

- + Possibilité de favoriser le ravinement si les billons ne sont pas réalisés rigoureusement selon les courbes de niveau.
- + Sensibilité forte aux excès d'eau dus aux orages ou aux crues.
- + Difficulté de réalisation sur des pentes supérieures à 12 %

d/ Les alignements de pierre et les murettes combinés à l'entretien de la fertilité par la fumure organique : Les murettes sont des petits murs construits en pierres sèches (sans ciment ni enduit) selon les courbes de niveau. Elles permettent à la fois de débarrasser les parcelles des pierres qui handicapent leur valorisation, de réduire le ruissellement et sa vitesse et de piéger les sédiments transportés. Sur les pentes moyennes à fortes, on aboutit rapidement à des terrasses progressives du fait de l'érosion hydrique et mécanique. Elles constituent des ouvrages de LAE par la cassure de l'énergie du ruissellement mais aussi d'amélioration des terres (humidité, profondeur) et donc de la productivité des sols. Elles sont plus adaptées aux pentes fortes (>15 %).



Figure 1.24. Exemple de murettes.

VI.1.2. Les stratégies modernes d'équipement hydraulique

a/ La restauration des terrains en montagne (RTM) : Développée en France à partir des années 1850. Elle a pour but de reboiser les terres dégradées de montagne et de corriger les torrents, de protéger les vallées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par l'érosion et des crues dévastatrices.

b/ La conservation de l'eau et des sols (CES) : Elle a été créée aux Etats-Unis lors de la crise de 1930. Cette stratégie vise à conseiller les paysans et à leur fournir un appui technique et financier pour lutter contre la dégradation spectaculaire des terres des grandes plaines agricoles (des nuages de poussière, provoqués par l'érosion éolienne, étaient capables d'obscurcir le ciel en plein jour). La CES vise à maintenir en plus de la capacité de production des terres, aussi la protection de la qualité des eaux si indispensable aux citoyens. Les nuisances à l'aval coûtent bien plus cher et forcent l'Etat à réagir. Cela justifie les efforts considérables de l'Etat pour aider techniquement et financièrement les paysans (plus ou moins volontaires selon les régions) à aménager leurs terres.

c/ La défense et restauration des sols (DRS) : qui consiste entre autres à revégétaliser l'amont des bassins-versants, stabiliser les ravines, restaurer la productivité des terres et protéger les barrages de

l'envasement. Cette stratégie a été développée par les forestiers dans les années 1940-1980 autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pénuries d'eau, à l'envasement rapide des barrages (en 30 à 50 ans) et à la dégradation des équipements et des terres. La DRS est née d'un mariage de raison entre la RTM des forestiers (reboisement des hautes vallées, correction torrentielle) et la CES des agronomes (banquettes plantées d'arbres fruitiers). Pour les forestiers, il s'agissait avant tout de mise en défens des terres dégradées par la culture et le surpâturage, de reboïster les hautes vallées pour restaurer par les arbres la capacité d'infiltration des sols dégradés.



Figure 1.25. DRS en pente sur bassin versant.

d/ La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) : est une stratégie participative visant à mieux gérer les ressources en eau, en biomasse et en nutriments. Cette approche a été nommée « Land husbandry » par les anglophones et « Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols » (GCES) en français. Elle tient comme principe que les aménagements antiérosifs ne peuvent être durables sans la participation paysanne, cette stratégie tient compte de la façon dont les ruraux perçoivent les problèmes de dégradation des sols et propose l'intensification de la productivité des terres pour faire face à la croissance démographique.

VI.2. Les mesures de lutte contre le ruissellement et l'érosion des sols

Les méthodes antiérosives sont des techniques qui agissent en modifiant le trajet de l'agent d'érosion et en réduisant sa force. En voici quelques exemples de mesures de lutte les plus utilisées et qui vont être traités

dans cette partie selon le plan suivant:

*** Amélioration de la structure du sol**

*** Création d'obstacles au ruissellement**

Couverture permanente du sol

Rideaux

Banquettes

Levées de terre

Fossés de protection

Terrasses

Captation des eaux de ruissellement

1. Exutoires naturels

2. Exutoires artificiels

a/ Les bandes d'arrêt enherbées

b/ Les haies vives

c/ Les cordons de pierres (stone bonds)

d/ Les murettes de pierres sèches (stone walls)

e/ Les Bassins de sédimentation et de contrôle du débit

*** Protection des pentes contre l'érosion**

a/ travaux selon courbes de niveau

b/ culture en bandes alternantes

*** Correction torrentielle**

1. Cas des petites ravines

2. Cas des grosses ravines

*** Amélioration de la structure du sol**

Le renforcement de la résistance du sol à l'entraînement par l'eau passe par l'amélioration de la stabilité de sa structure grâce à des amendements humifères, des amendements calcaires qui stabilisent les complexes argilo-humiques et par des bonnes pratiques de gestion du sol (mise en défens, rotations des cultures, travail approprié du sol, ... etc.).

*** Création d'obstacles au ruissellement**

Couverture permanente du sol

- La végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluies, elle ralentit les filets d'eau superficiels et favorise ainsi l'infiltration.

- La couverture végétale peut être faite de végétaux vivants ou morts.

- Couverture vivante: les cultures d'hiver évitent de laisser le sol à nu après le labour; il peut s'agir de culture dont le cycle végétatif commence à la fin de l'automne (blé d'hiver) ou de cultures spécifiques qui seront labourées au printemps et enfouies comme engrais vert (ray grass).

En zone montagnarde, on peut procéder à la végétalisation des badlands pour les sols sensibles à l'érosion par ravinement généralisé. L'installation d'une végétation à croissance rapide tels que *Eucalyptus*, *Acacia*, pins, *Atriplex*, laurier rose, cactus, etc. assure une amélioration de la couverture du sol et son enrichissement en matière organique.



Figure 1.26. Végétalisation de badlands par *Eucalyptus camaldulensis* et pin d'Alep sur banquettes au Maroc.

- Débris végétaux: les pailles, les cannes de maïs, peuvent être incorporées superficiellement (*mulching*). Les fragments de rameaux produits par la taille de la vigne peuvent être laissés sur le sol.



Paille



Cannes de maïs

Mulching

Le rôle de la Végétation dans la protection contre l'érosion se résume en:

- L'interception des gouttes des pluies permet la dissipation de l'énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash".
- Les plantes ralentissent les eaux de ruissellement par la rugosité qu'elles donnent au terrain
- Elle augmente la cohésion du sol par son système racinaire

Rideaux

Un rideau se forme à la limite d'un champ en pente quand le labour est fait parallèlement à cette limite. Des broussailles, puis des arbres y poussent et s'opposent au ruissellement et à l'entraînement du sol.



Banquettes

Ce sont des levées de terre de faible hauteur (0.50 m) établies selon les courbes de niveau; elles sont

généralement plantées par des arbres permettant de valoriser les surfaces marginales, de fixer les ouvrages et améliorer l'infiltration. Elles sont utilisées en DRS. Elles sont des petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de la plus grande pente, dans le but est de remodeler une parcelle. Le talus à l'amont de la banquette dépasse rarement 1 mètre de haut. La largeur de la terrasse varie entre 0.5 et 2.5 mètres. S'il s'agit d'éléments de banquette, la longueur est comprise entre 4 et 10 mètres.

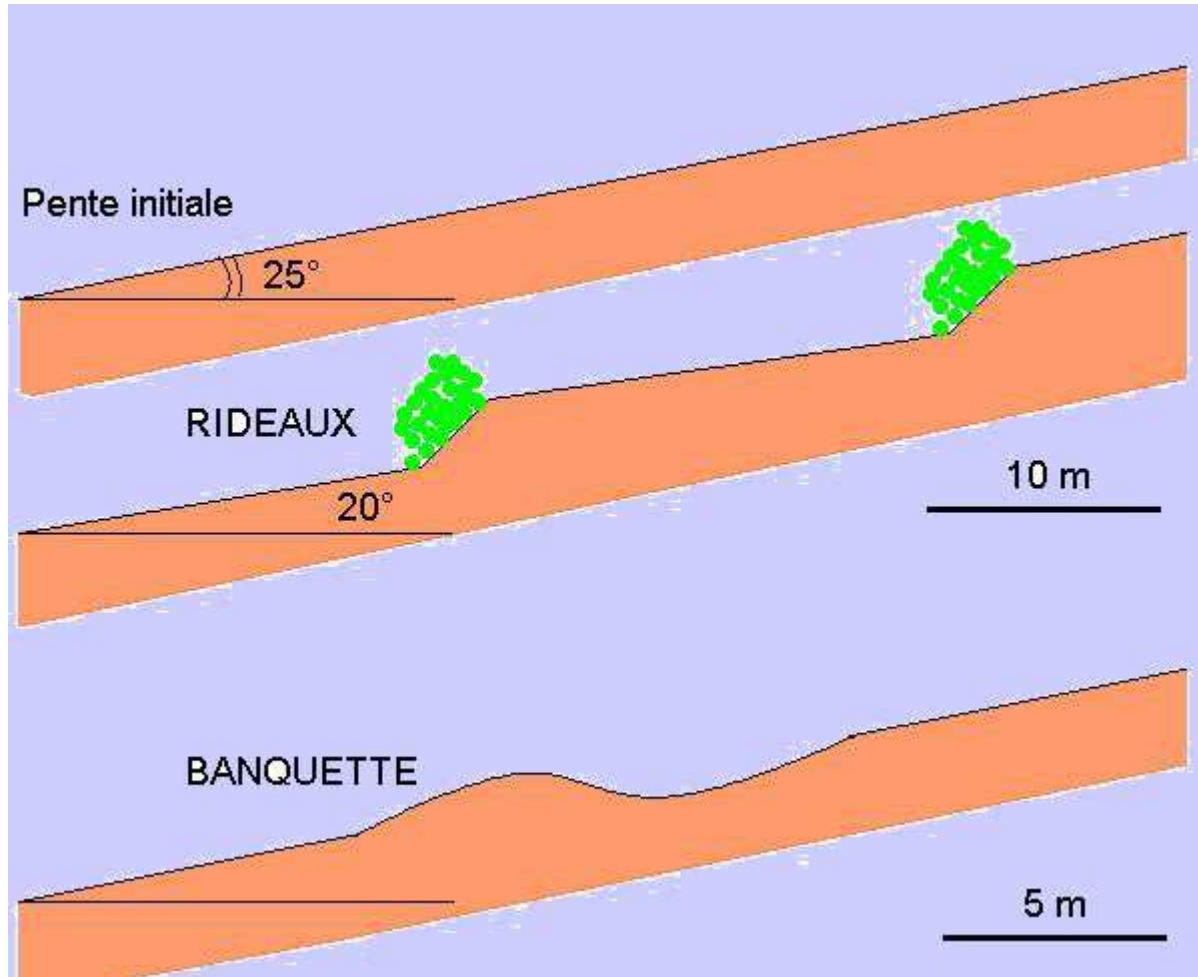


Figure 1.27. Des coupes transversales de Rideaux et de banquettes.



Banquettes continues avec des plantations forestières

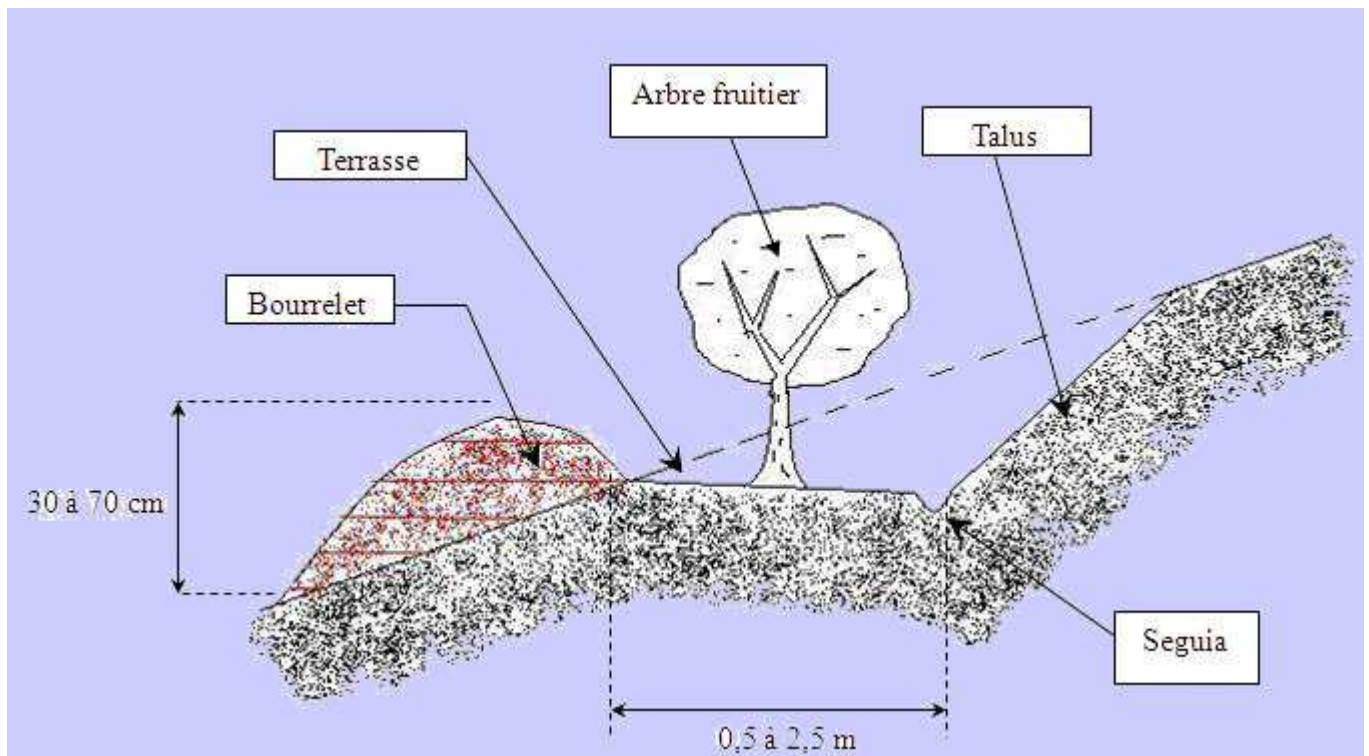
Banquettes continues avec des oliviers



Figure 1.28. Plantations fruitières et forestières sur banquettes.

Conception :

- Construire des petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, dans le but de remodeler une parcelle.
- Ces ouvrages sont très souvent couplés avec la plantation d'arbre fruitier (dominance de l'olivier, suivi du figuier, rosacées, grenadier, etc.).



Coupe transversale d'une banquette associée à un fruitier.

Conditions d'application / Localisation / Coût:

- Cette technique s'applique sur les pentes faibles à moyennes (< 30 %), et sur des sols relativement profonds.
- En réalité, les paysans les construisent sur des pentes très fortes (60%) et avec des espacements très courts (1 à 2 m).
- Le coût par mètre linéaire, comprenant la plantation d'un fruitier (olivier ou figuier), se situe généralement autour d'un HJ
- Si les plantations associées se font par l'Etat, il est important de sélectionner des espèces qui suscitent l'intérêt des populations locales. Cela permet une bonne intégration dans le système d'exploitation et garantit le suivi et l'entretien par le propriétaire et donc une durabilité à moindre coût.

Suivi et entretien

- Etant peu consolidés, ces ouvrages doivent faire l'objet d'un suivi attentif.
- Un contrôle est nécessaire après chaque averse.
- Même s'il s'agit d'aménagements de l'Etat, l'entretien doit être fait par le propriétaire bénéficiaire.

Il doit veiller au maintien du bourrelet et du talus et s'occuper des arbres mis en place. Le suivi de l'espèce fruitière dépend de l'intérêt des populations.

Levées de terre: ce sont des banquettes plus importantes (jusqu'à 1,80 m de hauteur); elles sont plantées d'arbres.

Fossés de protection:

Ces fossés sont creusés en amont du terrain à protéger pour intercepter les eaux de ruissellement. Ils sont enherbés. Ils débouchent dans un exutoire adéquat.

Les fossés sont construits, perpendiculairement à la plus grande pente, sur les versants pentus (40 à 60%) afin de valoriser les terres de montagne. Par leur disposition le long des courbes de niveau, ils permettent de réduire le ruissellement, améliorer le stockage d'eau dans le sol et favoriser la production fruitière.

Terrasses :

On les trouve sur les versants et dans les fonds des vallées, entre les lits des oueds et le début des fortes pentes. La construction se fait sur les sols profonds afin d'éviter d'aller dans la roche mère. Il n'est pas recommandé de les construire sur les pentes faibles (10 %) du fait de leur coût prohibitif. Elles ont aussi pour but de créer une SAU supplémentaire utilisable pour les cultures vivrières qui sont associées souvent à des plantations d'arbres fruitiers.



Figure 1.29. Les oliviers sur terrasse.

Dans cette section, nous allons aborder deux types de terrasses: les terrasses qui sont soutenues par des murs en pierres sèches et celles qui sont soutenues par le talus.

Terrasses soutenues par des murs en pierres sèches

Description:

- Cette technique s'applique aux pentes moyennes à fortes, où la charge caillouteuse est importante.
- Les murs sont alignés suivant les courbes de niveau et dont l'espacement augmente quand la pente diminue.
- Les dimensions des murs:

Hauteur: de 1 à 3 m

Base: de 0,4 m à 0,8 m

Longueur peut dépasser plusieurs dizaines de mètres.

- La dimension de la terrasse entre deux murs:

Largeur: de 3 m à 15 m;

- Souvent, cette technique est couplée à un système d'irrigation.

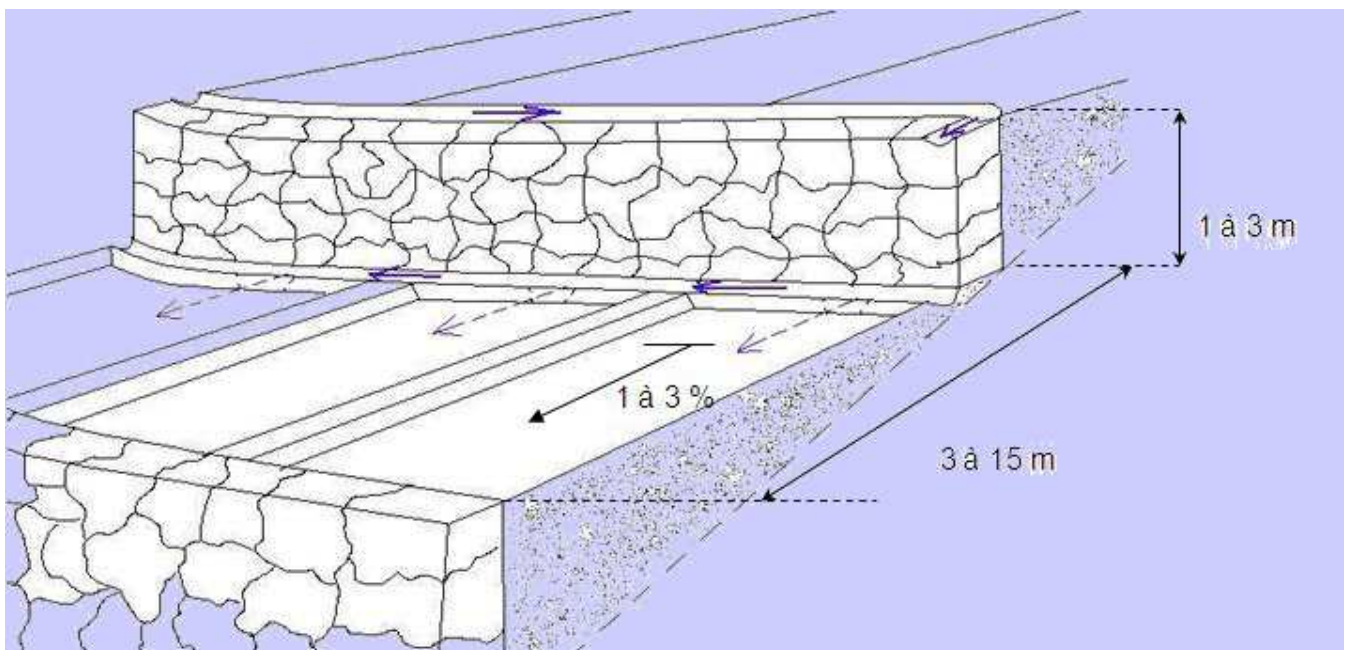


Figure 1.30. Schéma descriptif d'une terrasse irriguée.

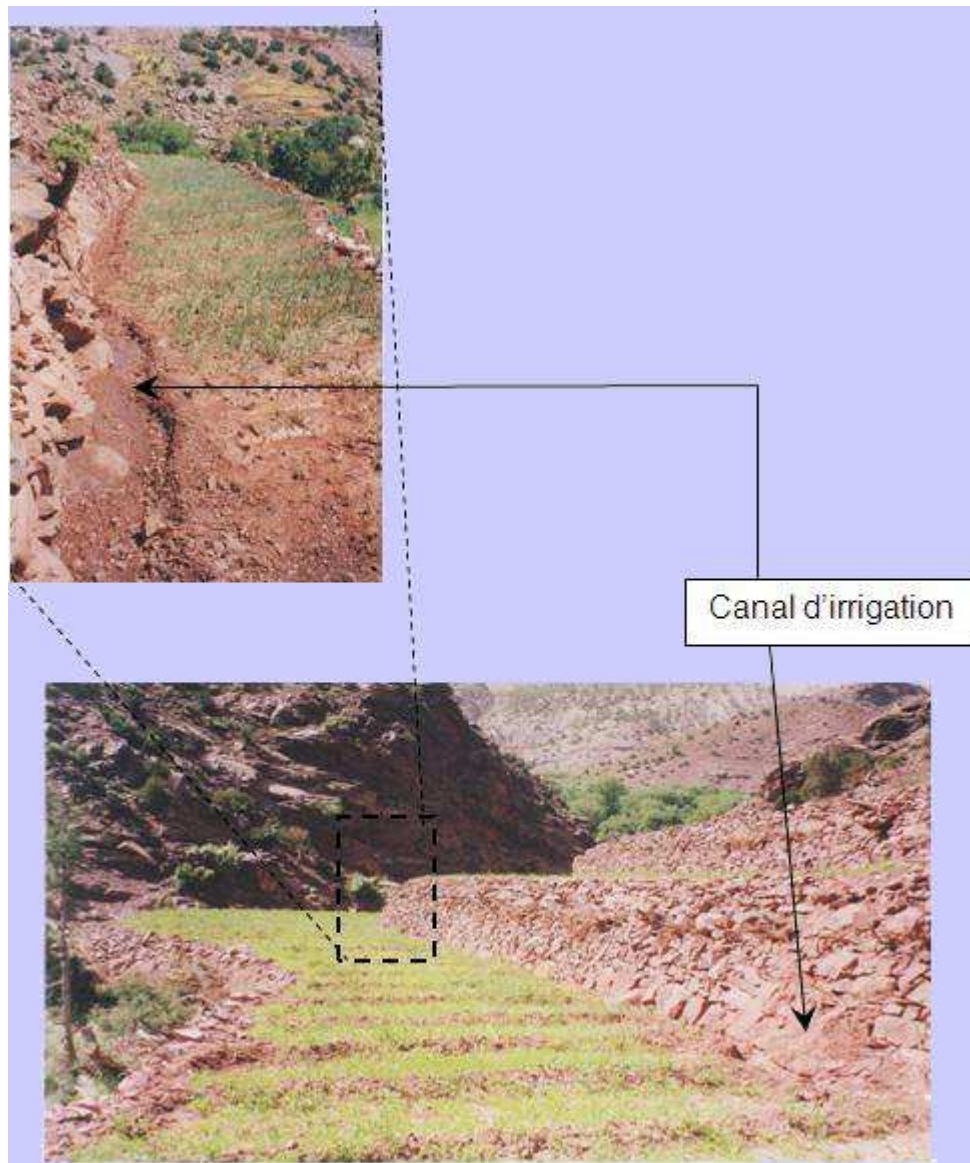


Figure 1.31. Aménagement en terrasse associé à un système d'irrigation.

Condition d'application / Localisation / Coût

- La construction de ce type de terrasses dépend de:
 - la profondeur du sol,
 - l'espace disponible
 - la quantité de cailloux présents sur le terrain
- Elles sont conçues pour les terrains à pentes fortes
- Selon les conditions de travail (disponibilité en pierre, les difficultés du terrain) : un mur de 1,2 mètres de hauteur et d'une longueur entre 1 et 5 m exige 1HJ.

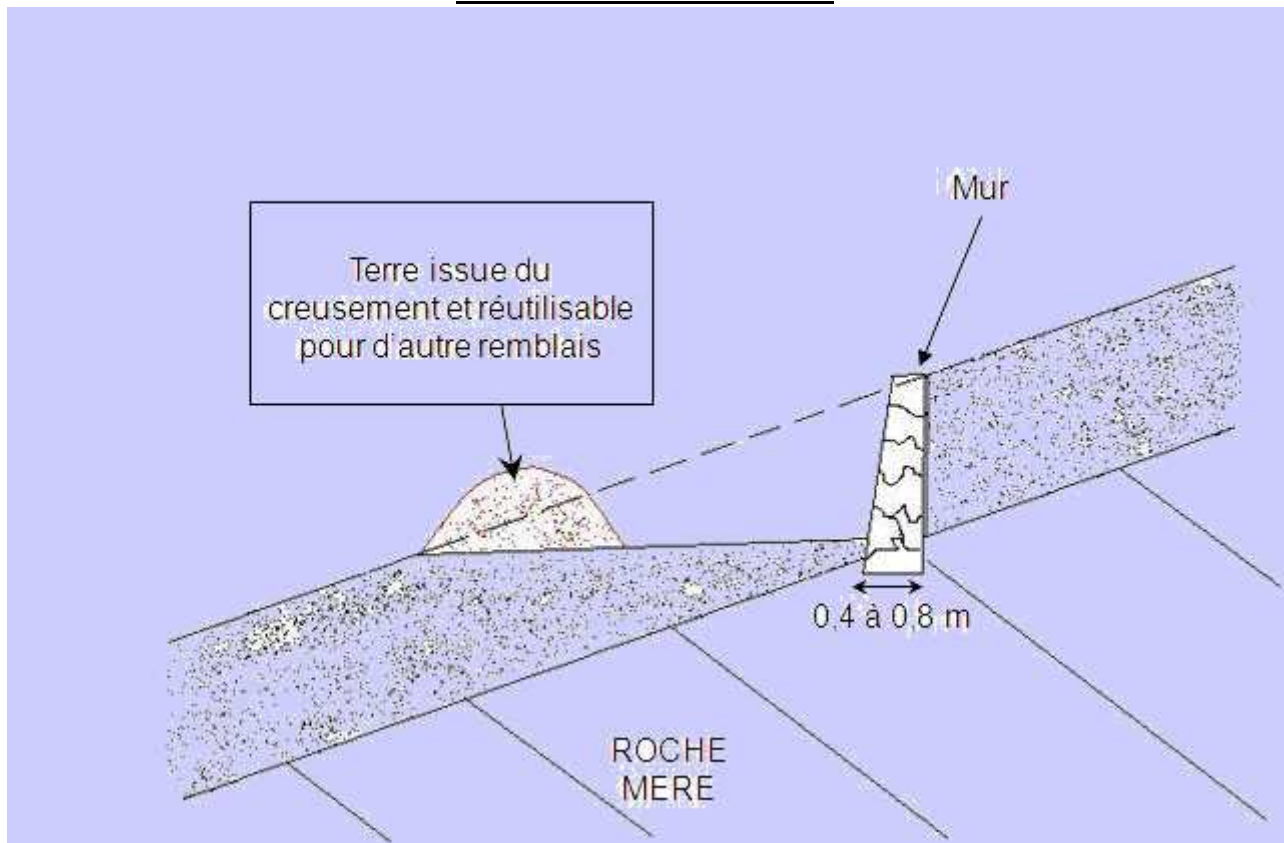
Conception

Il y a plusieurs manières d'aménager des terrasses selon les conditions de la zone considérée. La première méthode est de construire le mur et d'apporter le remblai et la terre, à l'aide de la traction animale, depuis les fonds de vallée. Cependant, si la profondeur du sol le permet, la pente peut être entaillée ; ceci permet

de limiter les volumes de remblais et de disposer de terres.



Construction d'une terrasse.



Coupe transversale d'une terrasse en construction.



Terrasses construites sur berge et consolidées par des murs en pierres sèches.

Suivi et entretien

- Les travaux d'entretien sont très faibles voir inexistants.
- Lors des premières années, il faut porter une attention particulière aux points sensibles de la construction comme le sommet et les extérieurs.
- Après de fortes précipitations, surveiller les décrochements ou les éboulements provoqués par ruissellement.

Terrasses soutenues par des talus

Description

- Les terrasses sont confectionnées selon les courbes de niveau
- Ces talus ont généralement une hauteur comprise entre 1 et 2,5 m suivant la pente du versant
- La dimension de la terrasse:

Largeur: 4 à 10 m
- Les talus peuvent être laissés à nu sur les sols peu érodables et peu pentus.
- Les talus sont plantés d'herbacées ou d'arbres fruitiers sur les versants pentus et sensibles à l'érosion.



Terrasses en Haut Atlas (Maroc)

Selon des courbes de niveau



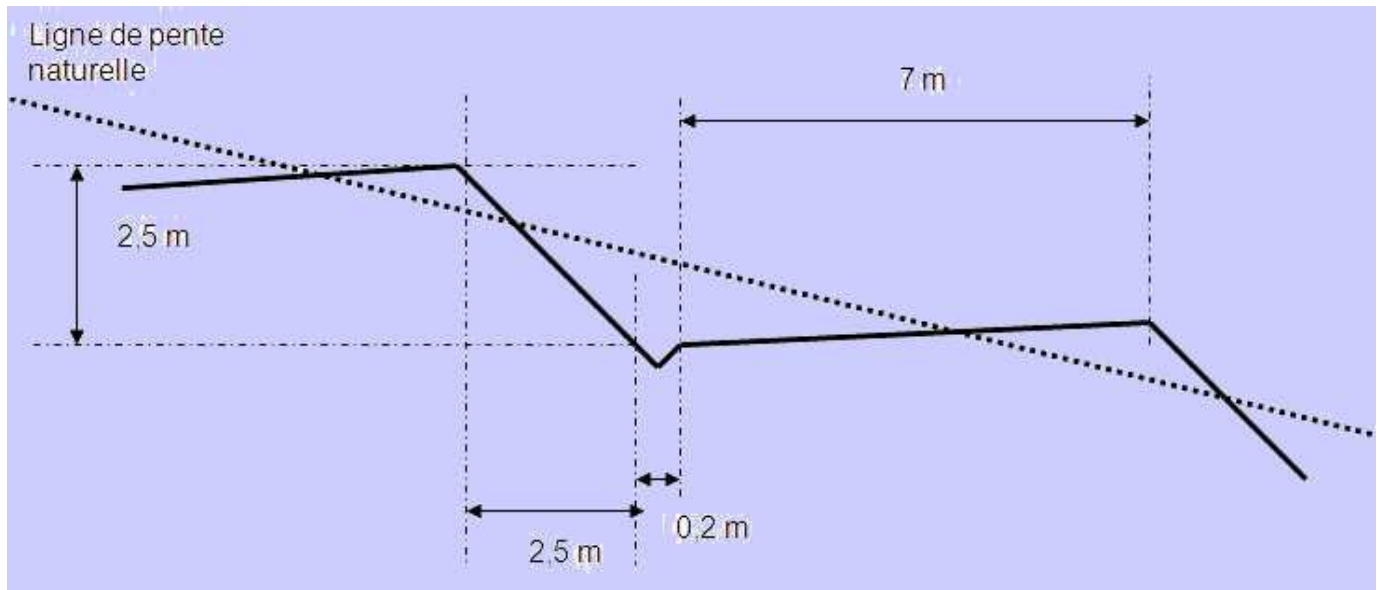
Une vue sur des terrasses soutenues par des talus dans la zone de culture du safran (Siroua au sud du Maroc).

Condition d'application / Localisation / Coût

- La construction se fait sur des sols profonds afin d'éviter d'atteindre la roche-mère lors du terrassement
- Il n'est pas recommandé de les construire sur des pentes inférieures à 12 % du fait de leur coût

prohibitif

- Sur des pentes > à 30 %, la surface cultivable perdue devient trop importante pour rentabiliser cette technique. Alors mieux vaut se tourner vers des terrasses soutenues par des murettes de pierres)
- Le coût est assez important: pour réaliser entre 4 et 6 mètres de talus, il faut 1HJ.



Coupe transversale schématique des terrasses avec talus.

Suivi et entretien

- Ces talus requièrent en général peu d'entretien, surtout s'ils sont plantés en herbe ou en arbres
- Il est nécessaire d'entretenir le sillon au pied du talus, afin de permettre le drainage et l'évacuation des eaux excédentaires pendant les orages
- Il faut entretenir les billons ou billons cloisonnés si la parcelle en est pourvue
- Les paysans doivent laisser une marge d'au moins 50 centimètres entre le bord du talus et le dernier labour.

Avantages des terrasses

- Permet de valoriser les terrains en pente
- Bonne infiltration et maintien des sols fertiles (terres arables) grâce à la contre-pente, ce qui induit des rendements importants
- Ouvrages massifs résistants aux orages si le labour est bien réalisé (résistance accrue par une consolidation avec des pierres)
- Entretien peu important et faible nécessité de matériaux de construction en cas des terrasses sur talus.

Inconvénients des terrasses

- Technique qui demande beaucoup d'investissement pour sa mise en place (parfois besoin d'ouvriers extérieurs)
- Perte en superficie cultivable mais possibilité d'y planter des arbres
- Doit suivre les courbes de niveau

- La pente maintenue sur les terrasses doit être très faible
- Risque d'effondrement du talus si le labourage est mal réalisé
- Seules les pentes comprises entre 12 et 30 % assure une rentabilité à l'ouvrage.

Captation des eaux de ruissellement

Les exutoires servent à recueillir les eaux de ruissellement apportées par les ouvrages de canalisation.

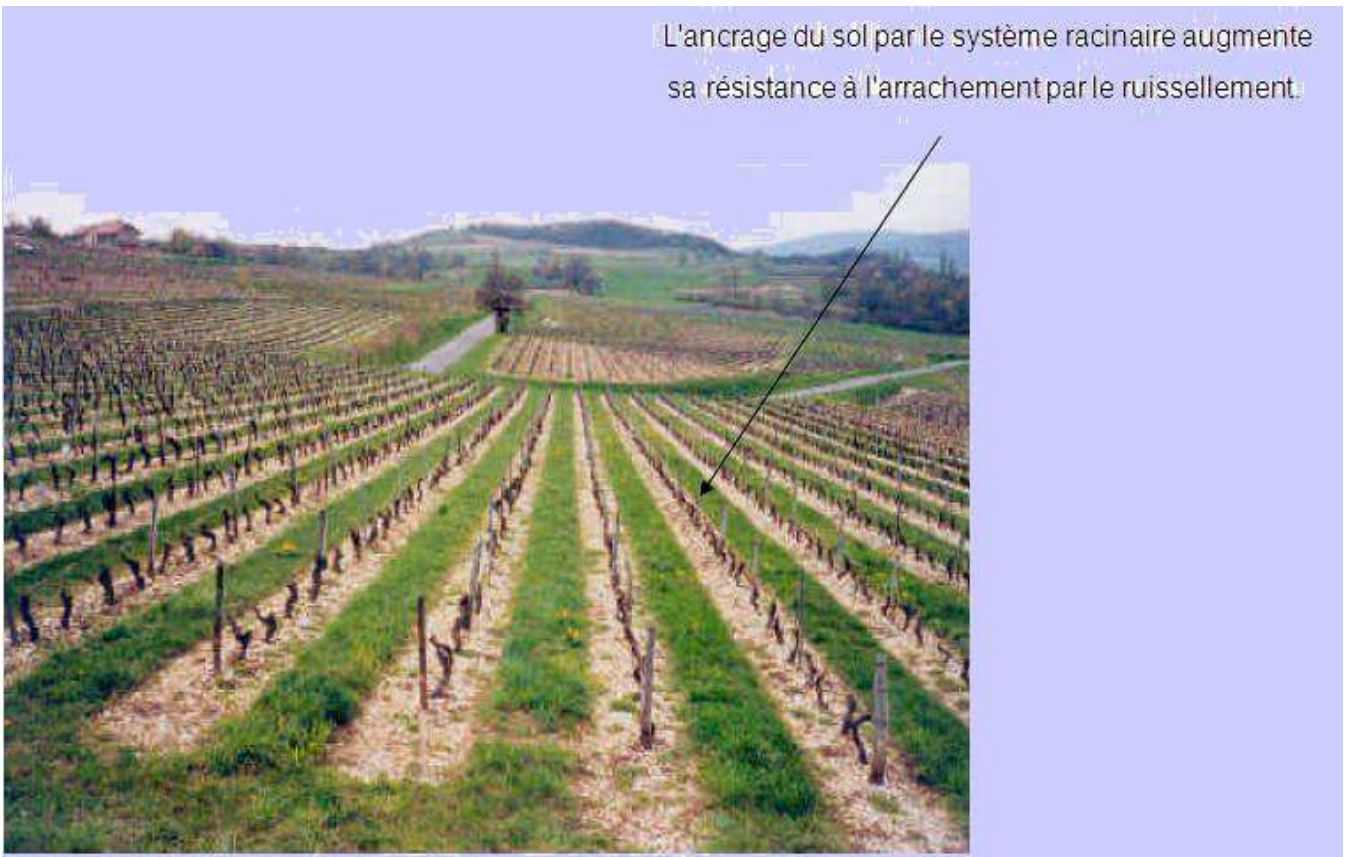
1. Exutoires naturels: ce sont des prairies permanentes installées dans des dépressions pouvant être fauchées ou pâturées, des bois ou taillis sur pente faible composés d'espèces à fort pouvoir de pompage (peupliers, saules...), des petits ravins à couvert végétal...



Exutoire naturel sous forme de petit ravin au travers duquel de la végétation est installée.

2. Exutoires artificiels:

a/ Les bandes d'arrêt enherbées : peuvent réduire le ruissellement de 30 ou 60 % par rapport au témoin et l'érosion de 30 et jusqu'à 10 % du témoin (Roose et Bertrand, 1971).



L'enherbement des inter-rangs (Photo de Le Bissonnais).

L'enherbement des inter-rangs est une pratique culturale qui s'est développée comme moyen de conservation des sols et de l'eau. L'ancrage du sol par le système racinaire augmente sa résistance à l'arrachement par le ruissellement.

A la place de l'enherbement, on peut utiliser Plusieurs matériaux entre les inter-rangs tels que : composts d'ordures ménagères, pailles, écorces. Le choix s'effectue en fonction des ressources locales disponibles et d'impacts tels ceux sur le réchauffement du sol, le risque de gelées printanières, l'apport d'azote lors de la minéralisation de la matière organique, le risque de développement de parasites et le risque de pollution des sols par les métaux lourds.

La bande enherbée peut de jouer un double rôle : elle permet de lutter à la fois contre l'érosion et contre les pollutions des cours d'eau par les produits phytosanitaires d'origines agricoles et le ruissellement des matières en suspension.



Les « bandes enherbées » protègent l'eau et jouent éventuellement un rôle important de corridor biologique.



Exutoire artificiel sous forme de bande enherbée.

b/ Les haies vives : constituées de deux à trois lignes d'herbes ou d'arbustes plantés en quinconce et qui fonctionnent également comme des micro-barrages perméables très efficaces.

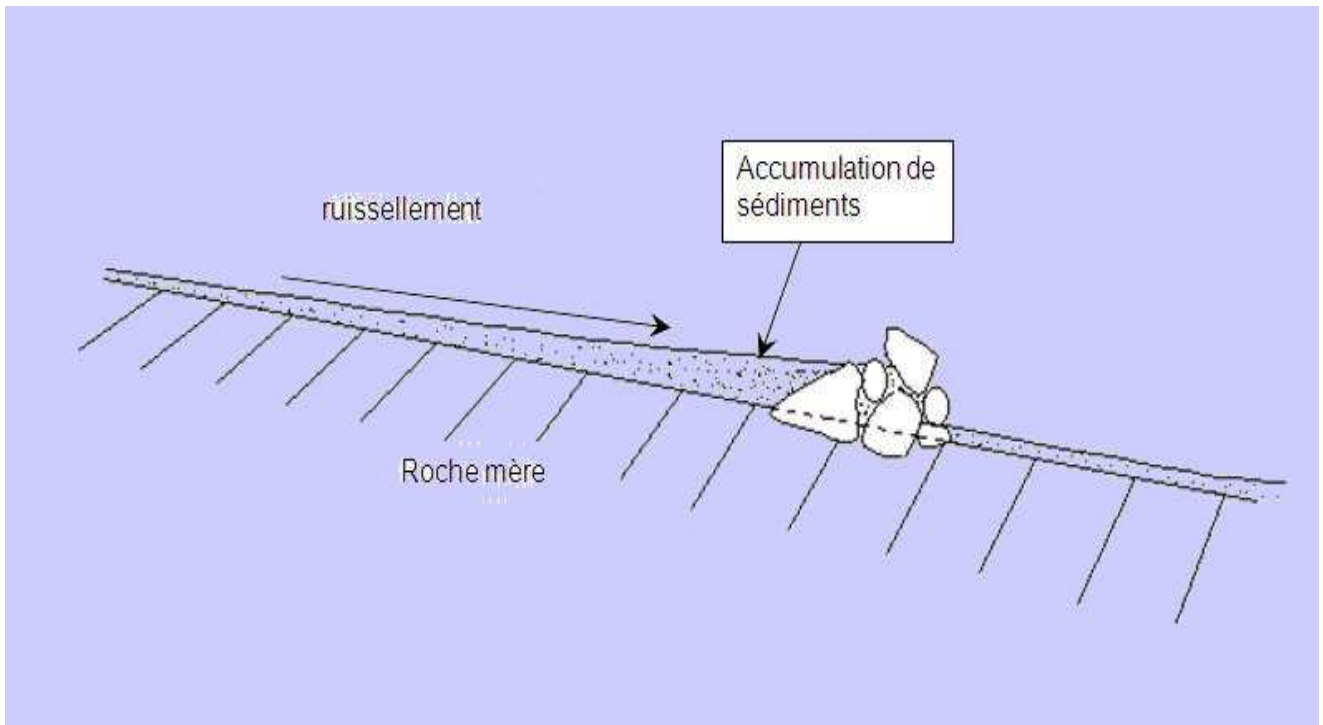


Figure 1.32. Haies vives renforçant le cordon de pierre.

c/ Les cordons de pierres (stone bonds) : Il s'agit de deux à trois niveaux de pierres rangées en courbe de niveau de façon à se renforcer l'une l'autre. Ces cordons de pierres ralentissent le ruissellement, l'évalent en nappes de telle sorte qu'il s'infiltré en moins d'une heure, provoquant ainsi la sédimentation successive des sables, des agrégats puis des particules fines humifères, lesquelles vont former une croûte de sédimentation. Seul l'excédent des eaux passe au-dessus du premier niveau de pierres.

Description

- Cette technique consiste à épierrer la parcelle et à regrouper les pierres de façon à obtenir une petite rangée (2 à 3 niveaux) alignée suivant les courbes de niveau.
- Les Grès et les calcaires conviennent bien à ce type de construction.
- Les dimensions:
 - La base: varie entre 0,4 et 0,8 m
 - La hauteur: 0,3 à 1 m
 - La longueur: les plus longs peuvent dépasser 40 m.
- L'espacement entre deux cordons diminue lorsque la pente de la parcelle augmente.



Évolution d'un cordon pierreux.

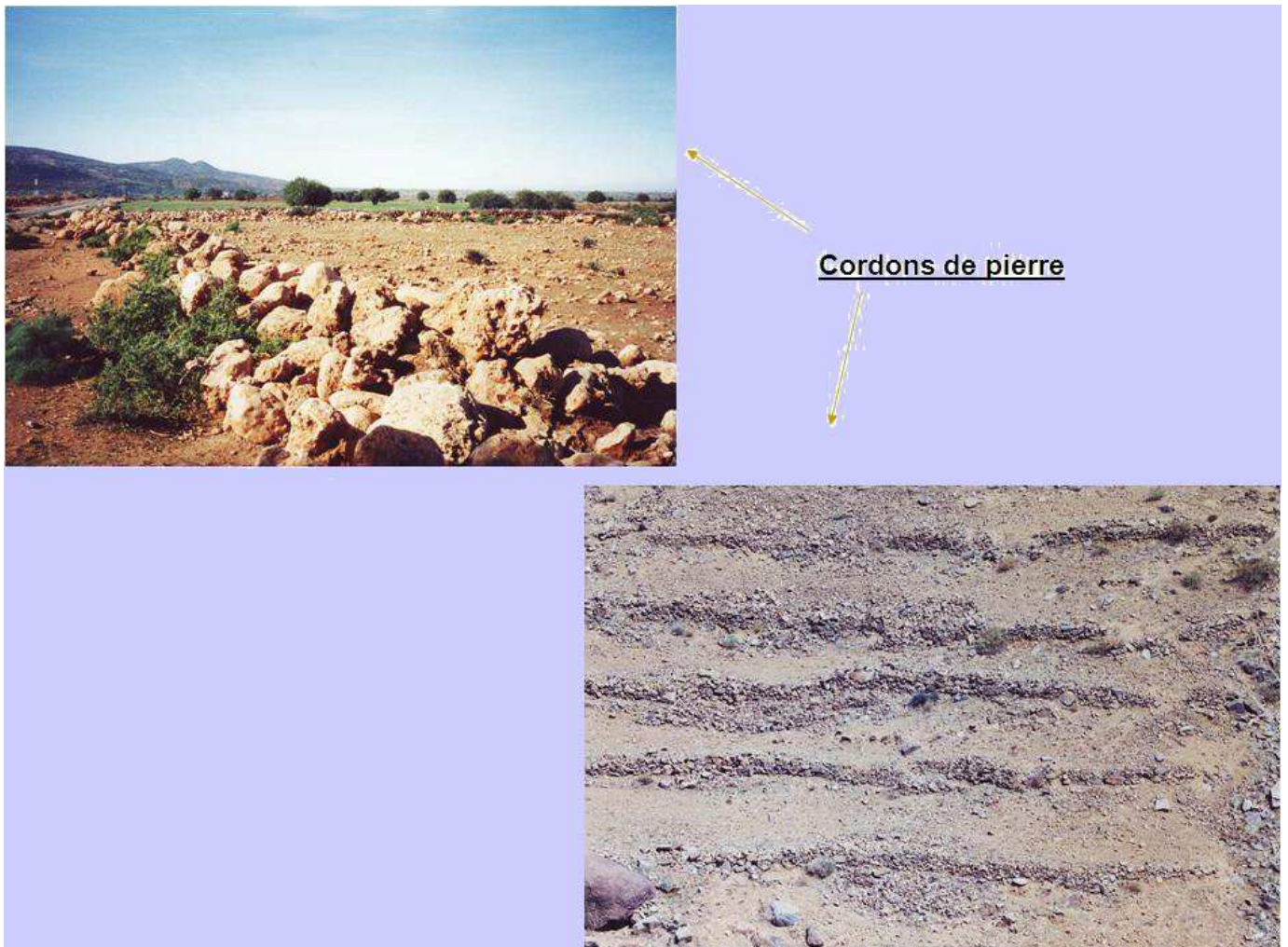


Figure 1.33. Cordons de pierre.



Cordons de pierres suivant les courbes de niveau.

Condition d'application / Localisation / Coût

- Cette technique est favorisée par les versants pierreux, où la disponibilité et la proximité en matière première rendent son transport facile.
- Ils sont applicables sur des pentes assez moyennes et faibles (< 30 %), où les effets modérés de l'érosion garantissent la pérennité du système.
- Le rendement journalier est d'environ 16 mètres/homme, pour un cordon d'une hauteur de 0,7 m.


Conception

- La conception est manuelle en disposant les pierres en lignes pour obtenir un cordon
- La construction de telle structure est progressive
- Lorsque la terre est au sommet du cordon, le propriétaire l'élève à nouveau.
- Pour rendre le cordon plus solide, le paysan peut utiliser un appui avec des souches hautes laissées en place.



Figure 1.34. Epierrage et ramassage des pierres autour des gros blocs évoluant en cordons le long des courbes de niveau (vue de près).

Pour une meilleure consolidation de ce type d'aménagement, les paysans utilisent des souches végétales afin d'assurer une bonne stabilité de ces cordons de pierre comme le montre la photo suivante:


 Souches végétales

Éléments de cordon soutenus par des souches.

Suivi et entretien

- Suivi quand c'est nécessaire
- Les alignements pierreux sont sensibles aux forts épisodes orageux qui peuvent les déstructurer et provoquer leur effondrement : Les travaux d'entretien sont donc tributaires des aléas climatiques et de la solidité de la construction.

Avantages

- Valorisation des produits de l'épierrage.
- Maintien de la SAU et préservation de la productivité.
- Facile à mettre en place.
- Diminution du ruissellement et amélioration de l'infiltration.
- Construction souple et progressive.
- Technique ancestrale, largement répandue et intégrable par les populations locales.
- Consolidation biologique naturelle.

Inconvénients

- Nécessite des pierres à proximité.
- Infiltration insuffisante lorsqu'une pente est maintenue.
- Doit suivre les courbes de niveau.
- Doit couvrir la totalité de la pente.
- Besoin de beaucoup de pierres à proximité pour étendre l'aménagement.
- Construction sensible dans les zones orageuses.

d/ Les murettes de pierres sèches (stone walls) : Il s'agit d'un mur construit soigneusement en empilant des pierres plates calées par de petits fragments de roche. On en trouve fréquemment dans les massifs montagneux gréseux. Pour construire un muret de pierres sèches, il faut d'abord creuser une

tranchée en courbe de niveau jusqu'à un horizon cohérent, mettre en place, au fond et sur la paroi de la tranchée, un filtre drainant constitué d'une couche de sable et de gravier.



Figure 1.35. Murettes.

Conception

- Les murettes sont des structures plus stables que les cordons et donc plus adaptées aux pentes faibles et moyennes (5 - 30%).
- Elles demandent une conception et une construction plus élaborée que les cordons.
- Elles sont plus pérennes que les cordons.
- Elles sont souvent continues là où les pierres sont abondantes.
- Les écartements entre les murettes sont très variables et sont plus étroits pour les fortes pentes.
- La longueur des murettes peut concerner la largeur de tout le versant.
- Les pierres sont empilées soigneusement, mais sans ordre particulier: les grosses doivent être mélangées aux minces pour assurer une bonne stabilité.
- Les dimensions de la murette:
 - La base: 50 à 60 cm
 - La largeur supérieure: 40 à 50 cm.
 - La hauteur: 40 à 50 cm.

Coût de construction

- Il varie en fonction de la disponibilité des matériaux. De plus, une murette est plus compliquée à

construire étant donné que ce n'est pas un simple empilement de matériaux. Pour une murette de 1 m de hauteur, un homme réalisera à peu près 1 ou 2 m par jour.



Des murettes dans la zone sud Marocain.



Terrasses avec murettes sur chemins.



Une vue de près sur une murette.

e/ Les Bassins de sédimentation et de contrôle du débit : sont des ouvrages fréquemment réalisés pour empêcher l'érosion des berges et l'érosion en ravins. Ils arrêtent l'érosion causée par un écoulement concentré mais sont inefficaces contre l'érosion en nappe. Également connus sous le nom de « terrasses en canaux », ces bassins servent en quelque sorte de réservoirs aux eaux de crues pour les petits bassins versants. Il empêche l'érosion des terres situées en aval en contrôlant le débit de pointe de l'écoulement du bassin versant.



Figure 1.36. Rétention de l'eau et du sol par un bassin de sédimentation et de contrôle du débit.

Le bassin de sédimentation et de contrôle du débit peut jouer le même rôle qu'une voie d'eau gazonnée dans un système du travail conservatoire du sol. Ces bassins qui peuvent être des lacs collinaires peuvent jouer plusieurs rôles dont le plus important est de protéger les infrastructures hydrauliques (barrages) situées en aval.

Conception

Avant de concevoir les bassins de sédimentation et de contrôle du débit, il faut :

- étudier la topographie du terrain
- identifier les types de sols, les caractéristiques du bassin versant et la place de l'exutoire.

Avantages

- Diminuer l'impact de l'érosion des terres situées en aval.
- Limiter la concentration des flux et le ravinement des terres
- Réduire la pollution et l'envasement des cours d'eau situés en aval.
- les sédiments se déposent au lieu d'être transportés par l'eau de ruissellement.

Inconvénients

- Les réseaux de bassins de sédimentation et de contrôle du débit doivent être soigneusement conçus par des personnes compétentes avant d'être construits.



Lac collinaire dans la région nord Marocain installé pour contrer le problème d'envasement d'un barrage en aval.

*** Protection des pentes contre l'érosion**

a/ travaux selon courbes de niveau: culture en courbes de niveau (action de cultiver la terre en suivant le relief plutôt que la pente). En ce faisant, on oriente la rugosité du sol due aux mottes et aux petits creux, on les oriente perpendiculairement à la pente de telle sorte que l'on ralentit au maximum la nappe d'eau qui

pourrait ruisseler. Ce procédé utilisé comme moyen de conservation des sols et de l'eau, n'est efficace que sur les pentes faibles ne dépassant pas 4%. Sur ces pentes, les travaux selon les courbes de niveau suffisent pour contrecarrer l'érosion en nappe (sheet erosion) que l'on ne perçoit pas toujours dans ses débuts.



Cultures parallèles aux courbes de niveau.

b/ culture en bandes alternantes: « strip cropping » (action d'alterner en bandes étroites des cultures labourées, perpendiculairement à une longue pente. C'est un procédé de culture en bandes parallèles (le plus souvent parallèles aux courbes de niveau) qui est utilisé lorsque la pente augmente et que le labour selon les courbes de niveau ne suffit pas pour arrêter l'érosion. On peut distinguer deux types de bandes alternantes : les bandes alternantes selon les courbes de niveau et les bandes alternantes transversales continues. La largeur des bandes dépend de la pente, de la perméabilité du sol et de son érodibilité.



Bandes alternantes.

*** Correction torrentielle**

Elle s'applique au ravinement et aux torrents. Les torrents sont des cours d'eau à régime spasmodique, à pente forte et qui travaillent dans des matériaux faciles à affouiller. Ils provoquent beaucoup de dégâts et menacent les villages, les champs cultivés, les voies de communication, etc

Bien que limitée dans l'espace, l'érosion en ravine est importante par les volumes de terre mis en jeu, et

par les risques qu'elle fait courir à la stabilité des ouvrages situés en amont. De plus, les ravines servent fréquemment d'exutoires aux eaux évacuées par un réseau de diversion.

La conception d'une installation de lutte contre le ravinement comporte trois étapes :

1. L'inspection du ravin pour déceler les causes de l'érosion : Quels changements ont-ils pu se produire qui ont aggravé le problème? Le lit du ravin cache-t-il une source?
2. L'estimation du débit maxima de l'eau se déversant dans le ravin. Ce débit est fonction de la topographie du bassin versant, de sa superficie, de sa végétation, du type de sol et de la capacité du bassin de retenue des eaux. Cette étape fait appel à des compétences techniques.
3. La mesure approximative de la longueur et de la pente du ravin. Une fois muni de ces renseignements, on peut passer au choix de l'installation de lutte contre le ravinement.

1. Cas des petites ravines

L'activité des petites ravines est très variable d'une région à l'autre en fonction du stade de dégradation atteint.

Dans cette section, nous allons aborder les différentes de mesure pour lutter contre les petits ravins à savoir la correction par la fixation biologique et par des diguettes en pierre sèche.

Correction par fixation biologique

La fixation biologique par implantation d'une végétation arborée ou herbacée peut constituer une armure défendant les bas-fonds. Ces types d'aménagement a deux objectifs majeurs à savoir premièrement l'amélioration de la productivité agricole ou forestière et deuxièmement la réduction du débit solide et la régularisation des écoulements. L'outil de base est un seuil placé en travers de la ravine et constitué par du matériel végétal vivant.

Objectif :

- Valorisation des terrains où le ravinement commence à réduire la SAU et donc diminuer la productivité
- Limitation de l'élargissement et du creusement des ravins.

Conception / Description / Coût :

- La végétation (herbes annuelles ou pérennes, arbustes et arbres) est plantée ou laissée pousser naturellement au fond et sur les berges des ravins. C'est un vrai pansement biologique des plaies qu'avaient ouvert l'érosion du sol.
- Il s'agit souvent de végétation naturelle maintenue à une grande densité (chêne vert, lentisque, oléastre, laurier rose, Tamarix, herbes, etc.) sur les fonds et les berges des ravins.
- Parfois, - on peut planter des arbres fruitiers ou arbustes sur les berges : olivier, figuier, vigne, agave, cactus, etc.
 - ou planter des arbres à forte densité d'Acacia cyanophylla, d'Eucalyptus, de pin, d'agave,

d'Atriplex, de laurier rose, de Tamarix, de rétama, de cactus, etc.

- Dans les zones défrichées et érodées, ces ravins végétalisés, naturellement ou artificiellement, constituent une sorte d'oasis linéaires.
- Le coût est très variable. A titre indicatif, pour le cas du Maroc, 100 ml de ravin végétalisé coûte entre 3000 à 6000 dh.



Figure 1.37. Ravin végétalisé (Maroc).

Correction par des diguettes en pierres sèches

Par ailleurs, l'utilisation des petits seuils en pierres sèches peut jouer un rôle provisoire dans la correction de ravinement avant la mise en place des seuils biologiques par de la végétation. Ces seuils peuvent créer par leur atterrissement un milieu favorable à l'installation des plants.

Objectif :

Il permet d'éviter le creusement du sol et l'agrandissement des ravines et rigoles de petites dimensions aboutissant à des ravins et rigoles de grandes dimensions (50 cm de large et 20 à 30 cm de profondeur) que le ruissellement non contrôlé avait entaillé, endommageant les parcelles et réduisant la SAU céréalière.

Conception / Description / Coût :

- Les pierres sont collectées et transportées sur la parcelle à traiter. Les emplacements sont localisés en fonction de l'ouverture de la ravine et la présence de souche sur les berges.
- Les pierres sont déposées sur le sol sans architecture spéciale et on continue à construire la diguette jusqu'à une hauteur qui dépasse de 10 à 15 cm du niveau initial du sol avant l'incision par érosion.
- Les espacements varient de 2 à plus de 20 m selon l'importance de la ravine, la disponibilité en pierres et la pente du versant.
- Le volume du travail est fonction de l'état de ravinement du champ et de la disponibilité des pierres.

- Les paysans estiment un rdt de 6 ml/HJt.

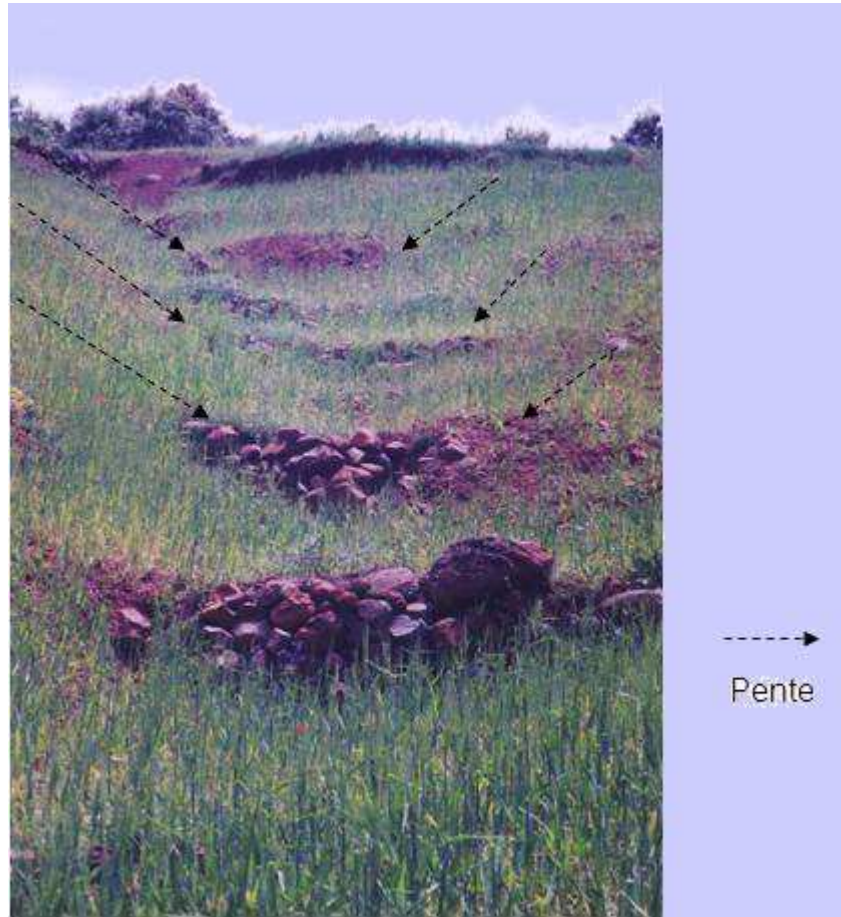


Figure 1.38. Ravin aménagé dans un champ de céréale : seuils en pierres sèches.

2. Cas des grosses ravines

Souvent on a recours au traitement par génie mécanique. Ce type d'aménagement peut avoir deux objectifs:

a/ Stabiliser le profil en long de la ravine dans les secteurs où la tendance générale est au surcreusement. Ces ouvrages retiennent surtout la partie du versant qui serait peu à peu descendue dans la ravine (par sapement de berges et par glissement) si l'incision s'était poursuivie. Ils arrêtent l'érosion régressive au niveau de la ravine ainsi traitée. L'objectif n'est donc pas ici de retenir beaucoup de sédiments, mais de limiter l'approfondissement de la ravine.

b/ Retenir les sédiments dans les sections en transit où l'incision est faible.

Les principes généraux de l'aménagement des grosses ravines sont les suivants:

- Les barrages doivent avoir une grande durée de vie puisque la végétation ne pourra pas venir prendre immédiatement le relais. Ce seront des ouvrages en dur: en gabions mais surtout en maçonnerie de grosses pierres au mortier de ciment.

- La végétation joue un rôle important même si les barrages sont ici la partie centrale de l'aménagement. La végétalisation des atterrissements, sauf dans la partie centrale du canal laissée libre pour faciliter l'écoulement des crues:

- consolide les atterrissements, leur donne une pente plus forte, ce qui se traduit par un volume d'alluvions stockés supérieur;
- canalise et recentre les écoulements et évite ainsi les sapements de berges et le contournement des ouvrages;
- suivant le choix des espèces utilisées produit du bois, du fourrage ou des fruits dans un milieu par ailleurs peu propice aux cultures annuelles compte tenu de la torrencialité.

- Les ouvrages doivent s'appuyer les uns sur les autres, l'écartement étant calculé en tenant compte de la pente de compensation, c'est à dire de la pente observée au fond des ravines sur le terrain où l'on ne constate ni arrachement, ni sédimentation. Le principe de la correction en escalier doit être respecté si l'on veut assurer la pérennité de l'aménagement. Un écartement trop important ou la destruction d'un ouvrage compromet à terme la stabilité de tous les ouvrages supérieurs. En effet l'érosion régressive est particulièrement rapide lorsqu'une masse d'alluvions tapisse le lit de la ravine. Lorsque l'écartement entre les ouvrages est trop important, la base d'un barrage est affouillée, le coût de l'opération est élevé (reprise de la maçonnerie en sous-oeuvre, construction d'un contre-barrage). Il est donc économiquement plus rentable de déterminer l'écartement entre les ouvrages de telle façon que le risque d'affouillement soit minimisé.

Lorsque l'objectif est de stabiliser le profil, il faut traiter les sections où l'incision joue réellement un rôle. Dans ce cas, il suffit souvent d'installer des ouvrages de taille modeste pour cesser cette incision. Lorsque l'objectif est de stocker des sédiments, on intervient généralement plus à l'aval dans des sections à pentes faibles, ce qui permet de retenir un volume d'alluvions plus important pour une même hauteur d'ouvrage. Cet objectif conduit à donner une hauteur plus importante aux ouvrages.

Les travaux de correction torrentielle décrits constituent une technologie à la fois coûteuse et fragile. Le coût est lié à l'emploi de matériaux durables (gabion et maçonnerie) et à la nécessité de dimensionner largement les ouvrages pour leur permettre de résister aux diverses contraintes et risques (chocs de gros blocs, cisaillement des berges instables, etc...).

La fragilité provient de ce que la destruction d'un ouvrage provoque souvent la ruine des ouvrages situés en amont sous l'effet de l'érosion régressive.

Les barrages en gabions

Objectif:

- Réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.
- Ils sont utiles pour la correction des ravins à largeur importante.

Description / coût:

- Ce sont des seuils en pierres sèches empilées dans des caisses de grillage métallique galvanisé dites gabions.
- Ils sont implantés dans les lits de ravins.

- Les gabions sont recommandés pour les sols argileux ou argilo-limoneux.
- Les gabions ont les dimensions suivantes: 1m de largeur, 1m de hauteur et 1 à 4 m de longueur.



Mur en gabions, construit par l'Etat (Tizgui au Maroc).

Correction par des seuils en maçonnerie

- Les ravins développés sur les formations calcaires ou marno-calcaires souffrant d'érosion active par entailles linéaires sont traités mécaniquement par des seuils en maçonnerie en attendant une végétalisation de leurs fonds, berges et impluviums.
- Le but des paysans est de limiter leur évolution et éviter la généralisation du ravinement sur la parcelle.
- Elle consiste à réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.

Description:

- Ce sont des seuils en maçonnerie, qui forment des barrages implantés transversalement dans les lits des ravins.
- Ils se prêtent pour la correction des ravins très larges.
- Les dimensions de l'alignement pierreux peuvent varier de 0.2 – 0.7 m pour la base et de 0.5-1.5 m pour la hauteur. La longueur peut aller jusqu'à 10 m.
- En amont des alignements le ravin peut être fixé par des plantations (fruitières, forestières,...etc) qui bénéficient de l'infiltration de l'eau sur les terrasses formées.

Conception / Description / Coût :

- Quand le ravin s'étend sur une grande distance le long du versant, on installe une série de seuils à des intervalles plus ou moins réguliers pour limiter l'action du ruissellement et faire atterrir les sédiments.
- L'entretien est fondamental pour la pérennité des ces ouvrages.
- Ces barrages ne doivent jamais être très élevés (2 à 3 m).
- Ils ne devront pas être établis dans les terrains très argileux.
- Les coûts de réalisation se situent au niveau des travaux de creusement, du transport des pierres et de la construction du mur.
- Le coût moyen est de 600 à 1000 dh/m³.



Figure 1.39. Seuil édifié sur l'affluent Tighzirt au Maroc et comblé par la charge solide des crues.



Un zoom sur un seuil construit en maçonnerie sur un ravin dans la région rifaine au Maroc.



Série de seuils en maçonnerie.

L'originalité de la démarche des traitements des ravines est non seulement de bloquer l'érosion linéaire qui creuse les ravines, de stocker quelques dizaines de m³ de sédiments derrière les petits seuils, mais c'est aussi de valoriser l'eau stockée entre les sédiments captés derrière les seuils.

DIX REGLES POUR L'AMENAGEMENT DES RAVINES (par Roose, 1994):

1. Tant qu'on n'a pas **amélioré l'infiltration sur le bassin versant**, il ne faut pas tenter de reboucher la

ravine (sinon elle trouvera un autre lit), mais prévoir un canal stable capable d'évacuer les débits de pointe de la crue décennale (au minimum).

2. L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement en 1 à 6 ans, mais il doit concerner tout le bassin dès la première année. La fixation biologique d'une ravine vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisé par différents types de seuils; si on inverse l'ordre, les plantes sont emportées avec les terres lors des crues.

3. L'emplacement des seuils doit être choisi avec soin selon l'objectif visé. Si on cherche seulement à rehausser le fond de ravine pour que les versants atteignent la pente d'équilibre naturel, il faut choisir un verrou, une gorge étroite où de nombreux seuils légers pourront s'appuyer sur des versants solides.

Si on cherche à fixer le maximum de sédiments ou à récupérer des espaces cultivables, il faut choisir les zones à faible pente, les confluents de ravines secondaires, les versants évasés et construire de gros ouvrages-poids qui seront rehaussés progressivement.

4. L'écartement entre les seuils est fonction de la pente du terrain. Le déversoir aval doit être à la même altitude que la base du seuil amont, à la pente de compensation près (1 à 10 % selon la nature du fond de ravine) qui peut s'observer sur place (zone stable sans creusement ni sédimentation). Dans un premier temps on peut doubler cet écartement et construire les seuils intermédiaires dès que la première génération de seuil est comblée de sédiments: **stabiliser immédiatement les sédiments** piégés avec des plantes basses dans l'axe d'écoulement et des arbres sur les versants.

5. Pour éviter la pression hydrostatique des coulées, il vaut mieux drainer les seuils (grillage, chicanes ou pierres libres).

6. Les seuils doivent être ancrés dans le fond et les flancs de ravine (tranchée de fondation) pour éviter les renards et contournements. Au contact entre le sol limono-argileux et les pierres des seuils, il faut prévoir une couche filtrante de sable et de gravier pour éviter que les **sous-pressions** n'entraînent les particules fines et la formation de renards.

7. Le courant d'eau doit être **bien centré dans l'axe de la ravine** par les ailes du seuil, plus élevées que le déversoir central. Ce déversoir doit être renforcé par de grosses pierres plates + cimentées ou par des ferrailles pour résister à la force d'arrachement des sables, galets et roches qui dévalent à vive allure au fond des ravines.

8. L'énergie de chute de l'eau qui saute du déversoir doit être amortie par une bavette (enrochement, petit gabion, grillage + touffes d'herbes) ou par un contre-barrage (cuvette d'eau) pour éviter les renards sous le seuil ou le basculement du seuil.

9. Tenir le bétail à l'écart de l'aménagement: il aurait vite fait de détruire les seuils et de dégrader la végétation. En compensation, on peut permettre des prélèvements de fruits, de fourrages et plus tard de bois, en échange de l'entretien de l'aménagement.

10. L'aménagement mécanique n'est terminé que quand on a éteint les sources de sédiments, stabilisé les têtes de ravine et les versants. La végétalisation doit alors se faire naturellement si on a atteint la pente

d'équilibre, mais on peut aider la nature en couvrant rapidement les sédiments (herbe) et en les fixant à l'aide d'arbres choisis pour leurs aptitudes écologiques et leur production. Il faut passer de la simple gestion des sédiments à la valorisation des aménagements.

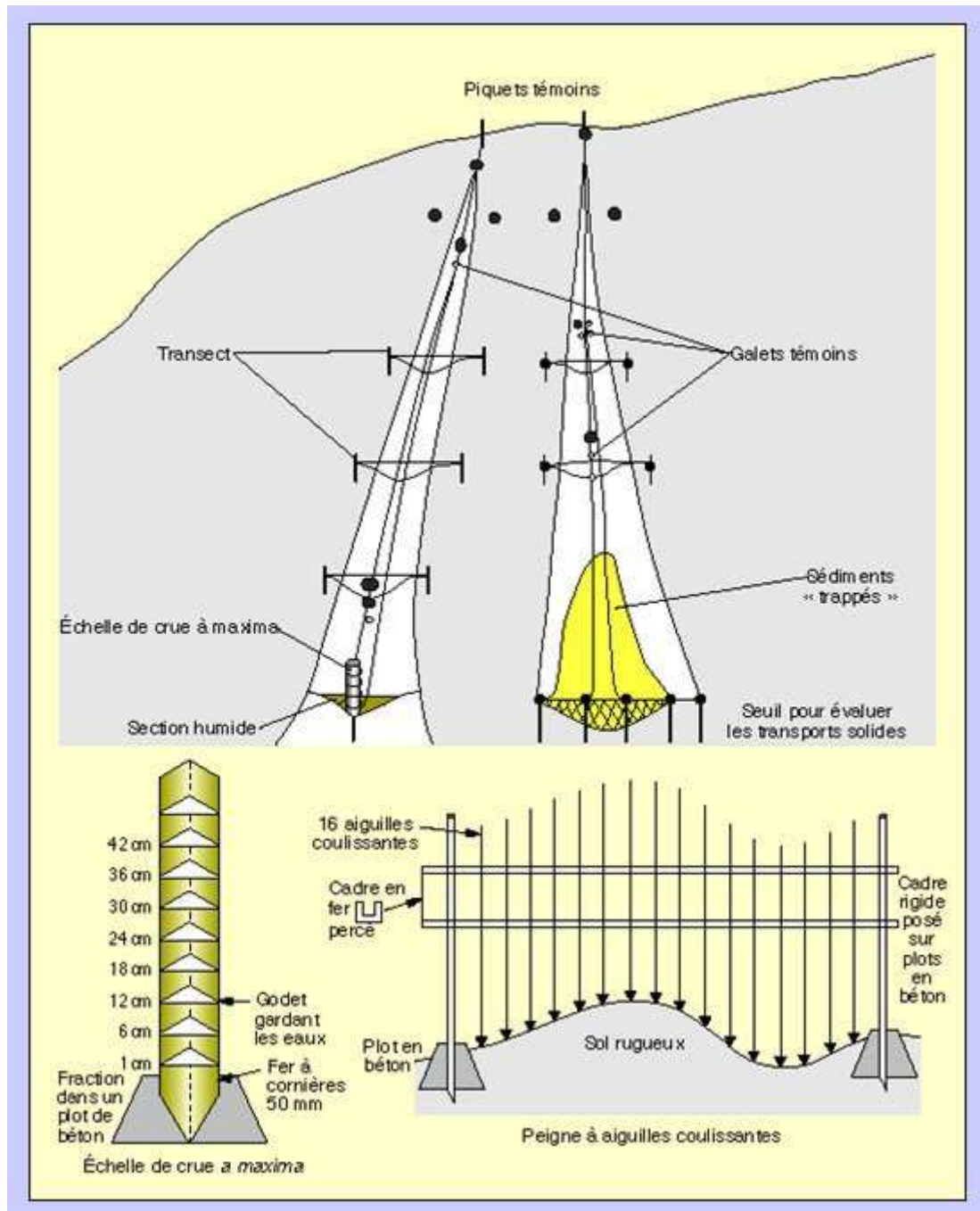


Figure 1.40. Méthodes simples d'étude du ravinement en Algérie (Roose, 2000).

- Piquets de fer à béton de 12 mm torsadé de 80 cm de long, témoins du volume creux ;
- échelle de crue gardant le témoin de la hauteur maximale en crue ;
- galets colorés mesurés, pesés, servant à estimer la vitesse maximale atteinte en crue ;
- peigne à aiguilles coulissantes pour évaluer la rugosité de la surface du sol ;
- seuils pour évaluer les sédiments « trappés ».

VI.3. L'intégration de l'approche participative dans la planification des programmes de lutte antiérosive

- Souvent, la population est généralement la ressource non sollicitée
- Sans l'action participative rien de durable ne sera achevé
- Il faut intégrer la population locale et ce,
 - * en commençant par la reconnaissance des traditions et du savoir faire des paysans
 - * en identifiant les besoins de la population ainsi que les contraintes et les potentialités du milieu

Il est important que les projets de la lutte antiérosive soient flexibles et s'ajustent aux priorités paysannes quant à l'unité d'intervention. La lutte anti-érosive réalisée par des paysans sur leur propre terrain et selon leur initiative propre est généralement bien entretenue. Cependant, l'aménagement du territoire demeure sous l'emprise de l'état qui dispose en plus des ingénieurs compétents, des moyens suffisants pour mener des actions tels que la reforestation des montagnes, l'aménagement des rivières, la stabilisation des zones de glissements de terrain et la correction torrentielle. Actuellement, la RTM et la CES restent des stratégies valables mais qui devraient tenir compte des intérêts des paysans.

