

# Les aménagements agricoles de l'Anti-Atlas: De l'abandon aux risques de dégradation des sols et du patrimoine paysager

M. SABIR<sup>1</sup>, M. NAIMI<sup>2</sup>, S. HOSSAYNI<sup>1</sup>

(Reçu le 06/04/2021; Accepté le 28/07/2021)

## Résumé

L'Anti-Atlas occidental, montagne du Sud-Ouest marocain, est sujet à un exode rural intense depuis plusieurs décennies. Ainsi les terrasses agricoles aménagées depuis plusieurs siècles sur les versants des vallées sont abandonnées et dégradées. Les risques de ruissellement et d'érosion deviennent importants aussi bien à l'amont qu'à l'aval (crues éclairées, inondations, engorgement des barrages). L'objectif de ce travail est d'introduire cette problématique. Les états des lieux ont été décrits dans les terroirs de Tizerkine et Timzemzit, commune M'Zal, province Chtouka-Ait Baha. Après caractérisation des états de surface des sols des terrasses, l'importance de l'érosion et le risque de ruissellement ont été évalués en fonction de l'âge d'abandon. L'érosion a été appréciée par l'estimation du «facteur de surface du sol, FSS» de la méthode PAP/CAR et le taux d'infiltration a été mesuré par la méthode des doubles anneaux. Les résultats ont montré que l'abandon des terrasses a conduit à la réduction de la couverture végétale à la surface du sol, à la diminution de son ouverture (croûte de battance) et à la compaction du sol. Les différences sont significatives dès la première année et le risque de ruissellement a été élevé. Une année d'abandon fait perdre à la surface du sol 40% de sa capacité d'infiltration. Au bout de 5 ans, l'infiltration a été réduite au 1/3. Les murs de soutènement des terrasses se sont détériorés progressivement avec l'âge de l'abandon. Plus de la moitié (57 %) de la surface des versants aménagés en terrasses a subi une érosion hydrique modérée à élevée, et des formes d'érosion sévères ont déjà été présentes. Plus de 11% des surfaces ont été fortement dégradées après 20 ans d'abandon. Par conséquent l'amont des bassins versants risque de perdre ses terres et ses paysages et l'aval risque de connaître des crues et des inondations dévastatrices. Le patrimoine paysager constitué par ces versants aménagés est en train de se perdre. Donc une attention particulière doit être accordée à ces paysages pour mieux comprendre leurs fonctionnements socio-économique et agro-écologique et pour mieux les réhabiliter et les conserver. L'introduction par exemple, du paiement pour services environnementaux (PSE) pourrait aider à réhabiliter les terrasses agricoles de l'Anti-Atlas.

**Mots clés:** Terrasses, Abandon, Dégradation, Capacité d'infiltration, Érosion, Anti-Atlas, Maroc

## Agricultural development of the Anti-Atlas: From desertion to risks of soil degradation and landscape heritage

### Abstract

The Western Anti-Atlas Mountains, located at the South-west of Morocco, have been prone to intense rural migration for several decades. As a consequence, the agricultural terraces built for several centuries on valley walls have been abandoned and degraded. The risks of runoff and erosion are becoming significant both at the upstream and the downstream (flash floods, dam silting). The objective of this work is to introduce this issue. The state of the art was described in the terroirs of Tizerkine and Timzemzit, commune of M'Zal, province of Chtouka-Ait Baha. Following the characterization of soil surface conditions of the terraces, the status of erosion and the risk of runoff were appraised according to the age of terrace abandonment. Erosion was appreciated by estimating the "soil surface factor, SSF" of PAP/CAR method and the infiltration rate was measured using double rings method. The results showed that the abandonment of terraces has led to the reduction of surface vegetation cover, the decrease of surface openings (soil sealing) and to soil compaction. The differences are significant as of the first year and the risk of runoff was high. A year of abandonment caused the soil surface to lose 40% of its infiltration capacity. At the end of 5 years abandonment, the infiltration rate has been reduced to 1/3. The retaining walls of terraces deteriorated gradually with the age of abandonment. More than half (57 %) of the surface of valley walls terraces experienced moderate to high water erosion, and severe forms of erosion have already been present. More than 11% of the surface has been strongly degraded after 20 years of abandonment. Therefore watershed upstream risks to lose its soils and its scenery, and the downstream are likely to suffer devastating floods. Landscape inheritance made up of these arranged valley walls are being lost. Thus a meticulous attention must be given to these landscapes to better understand their socio-economic and agro-ecological functioning and to better rehabilitate and preserve them. For instance, the introduction of payment for environmental services (PES) could help to rehabilitate the agricultural terraces of the Anti-Atlas.

**Keywords:** Terraces, Abandonment, Degradation, Infiltration capacity, Water erosion, Anti-Atlas, Morocco

## INTRODUCTION

L'Anti-Atlas est caractérisé par ses versants arides aménagés en terrasses par les populations ancestrales. Des vallées jusqu'au sommet, sur des pentes de 40 à 60% s'étendent des terrasses en gradins soutenues par des murettes (Ziyadi, 2001). Cependant, les pertes en sol dans cette chaîne de montagne sont élevées (AEFCS, 1995; Naimi *et al.*, 2005; Ouabderh, 2014). L'arganeraie dégradée s'observe sur de vastes étendues, ce qui accentue le processus de désertification (Benabid, 2000; Bouabid *et al.*, 2010). Les aléas climatiques caractéristiques de cette région aride et le contraste économique entre le milieu urbain et rural

ont progressivement conduit à un exode rural massif des populations jeunes vers les grandes villes intérieures du pays (Casablanca, Marrakech, Laâyoune) et vers l'Europe (France, Belgique, Allemagne, Hollande) (Fattet, 2017; Charef *et al.*, 2009).

Ainsi, de vastes versants aménagés en gradins sont délaissés. Du fait de leur abandon, les terrasses se dégradent progressivement et leur rôle de conservation des sols et des eaux est de moins en moins assuré. Les terrasses abandonnées, dont le muret de soutènement est effondré, montrent une compaction systématique d'origine anthropique et climatique des horizons pédologiques superficiels

<sup>1</sup> École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc

<sup>2</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

(Humbert, 2003; Besson, 2017). Cette compaction entraîne une diminution de l'infiltration et donc une augmentation du ruissellement (Sabir, 1994). Ces terrasses à parcelles arables sont ainsi menacées à court terme par l'amplification des phénomènes d'érosion. Pour les populations en amont, les conséquences sont la réduction des surfaces cultivées, la dévalorisation de l'eau d'irrigation, la diminution de la productivité agricole et l'augmentation de la violence des crues compromettant les projets de développement agricole durable. Dans une logique avale, cet état de fait provoque l'engorgement prématuré des barrages nécessaires à l'irrigation des cultures intensives des plaines du Souss-Massa (Ziyadi, 2001).

Cette région, pourtant au cœur de l'arganeraie endémique du Maroc, n'a pas connu beaucoup d'études pour comprendre l'effet de l'abandon des terrasses sur le fonctionnement hydrologique des sols et des bassins versants. Aussi cette étude se focalise sur les terroirs de deux villages «Tizerkine» et «Timzemzit» représentatifs de l'Anti-Atlas occidental, à 7 km au sud du centre «Souk El Arba des Aït Baha». L'objectif principal porte sur l'étude des effets de l'abandon des terrasses sur les états de surfaces, le comportement hydrologique des sols et le développement des formes de l'érosion. Les états de surfaces et les comportements hydrologiques des sols des terrasses encore labourées et des terrasses abandonnées depuis 1 an, 2 ans, 5 ans et 20 ans ont été comparés.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Présentation de la zone d'étude

Les terroirs de «Tizerkine» et «Timzimzit», formant la même communauté ethnique, culminent respectivement à 735 et 715 m (Figure 1). Les terroirs s'étendent sur un relief accidenté avec des pentes de 40 à 60%. Le substratum géologique est un complexe de deux ensembles à caractéristiques distinctes: des roches éruptives altérées, friables et sensibles à l'érosion et un substrat dur marginal de quartzite et de basalte.

Le complexe pédologique appartient à celui des flancs du Jbel Lkist. Les sols dominants sont les sols peu évolués anthropiques. La texture est limono-sableuse et les sols sont battants. Les sols s'encroûtent après les premiers événements pluvieux souvent orageux en fin d'automne-début hiver. La pluviométrie annuelle moyenne au niveau de la station d'Aït Baha est de 211 mm avec un coefficient de variation de 54% sur 39 ans (1980-2018). La température moyenne annuelle est de 25°C avec un minimum de 5°C et un maximum de 36,8°C. Le régime pluviométrique est de type Hiver-Automne-Printemps-Été avec un indice de Martonne de 6 mm/°C. Le climat est alors aride et caractérisé par une variabilité inter et intra-annuelle importante (Driouech, 2010).

La végétation est de type steppique, xérophile et thermophile (Benabid, 2000). Les formations pâturées à arganier (*Argania spinosa*) présentent une densité moyenne de 40 arbres par hectare et sont caractérisées par une quasi-absence de la strate arbustive et herbacée. On constate néanmoins la présence de sous-bois d'arganiers à association d'euphorbes cactéoïdes. Les cultures extensives sont assez courantes et principalement constituées d'orge.

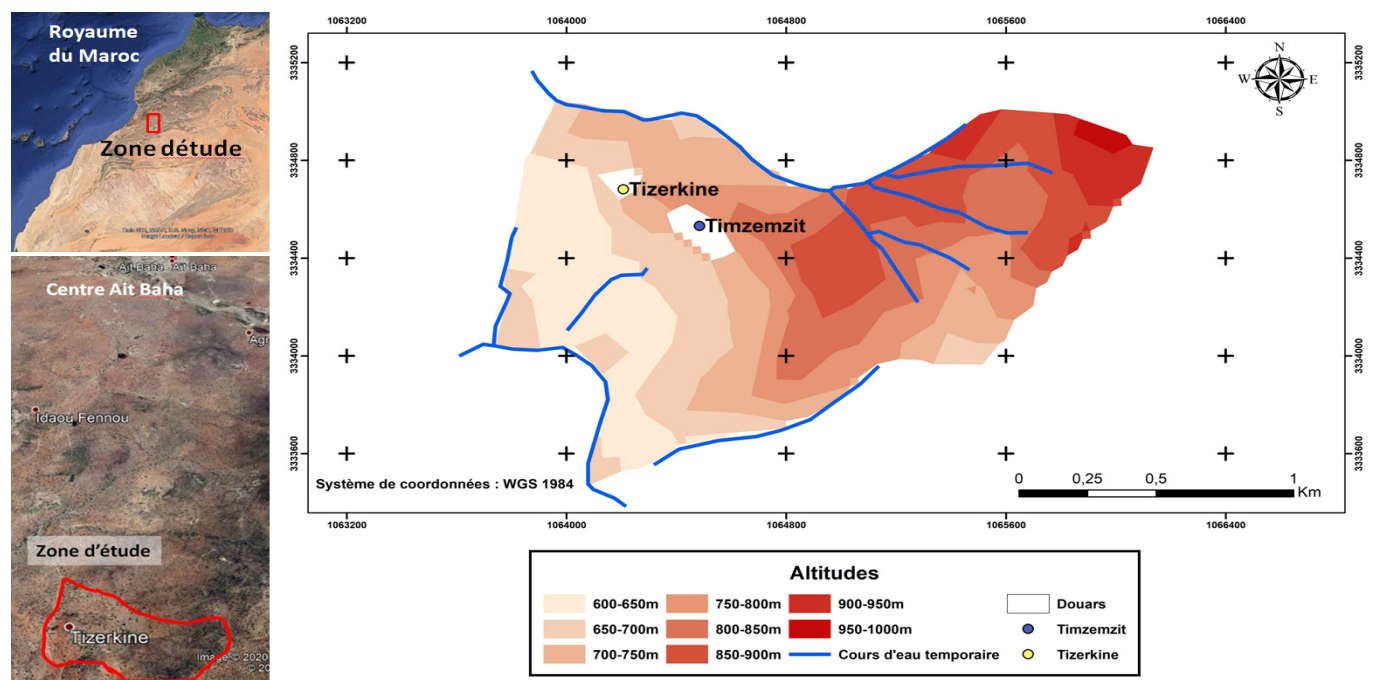
### Cartographie de la dégradation des terrasses

#### Phase préliminaire

L'observation des signes de dégradation des murettes de soutènement en pierre et les discussions avec la population, ont permis déterminer l'âge d'abandon des différentes terrasses. Ceci nous a permis de définir 5 classes d'âge d'abandon (Tableau 1).

**Tableau 1: Classes d'âge d'abandon des terrasses dans les terroirs de Tizerkine et Timzemzit**

Classe	État des terrasses	Nombre d'années d'abandon
1	Bon	0
2	Moyen	1
3	Dégradées	5
4	Très dégradées	10
5	Effondrées	> 20 ans



**Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude: terroirs de Tizerkine et Timzemzit**

### Cartographie de l'état de dégradation des terrasses

Vingt (20) transects ont été répartis sur les terroirs des deux villages tenant compte de l'hétérogénéité paysagère du milieu. Avec un groupe de paysans volontaires et connaissant leurs terroirs, on a procédé à la description des terrasses et à la détermination de leurs âges d'abandon le long de ces transects et sur les versants avoisinants. L'usage d'un GPS a servi à la localisation spatiale de ces informations. La photo-interprétation a fourni les données nécessaires pour délimiter les terrasses de même âge d'abandon. Le report des données sur fond topographique au 1/50 000<sup>ème</sup> par logiciel SIG a permis d'extrapoler les données nécessaires à la caractérisation du phénomène d'abandon et d'appréhender l'ampleur de la détérioration des terrasses.

### Caractérisation des états de surface des sols

Les états de surface ont été caractérisés par la méthode des points-quadra. Sur chaque terrasse, autour des sites de mesure de l'infiltration, trois transects de 1 m ont été installés aléatoirement. L'état de la surface a été caractérisé tous les 2 cm : surface ouverte SO (présence de mottes, galeries, cailloux libres), surface fermée SF (croûte de battance, cailloux piégés dans la matrice du sol), surface couverte SC (végétation, litière, cailloux libres) et surface nue SN. Chaque transect de 1 m donne 50 points d'observation. Les paramètres de l'état de surface sont exprimés en %. La compaction de la surface du sol a été appréciée par la résistance à la pénétration (PEN kg/cm<sup>2</sup>), mesurée par un pénétromètre de poche sur 10 points autour de chaque site de mesure de l'infiltration. La PEN exprime la résistance du sol à la pénétration d'un cylindre en acier de 5 mm de diamètre et 5 mm de hauteur. Autour de chaque site, trois échantillons de sol ont été prélevés par un cylindre de 7,5 cm de diamètre et 7,5 cm de hauteur pour déterminer la densité apparente du sol (da g/cm<sup>3</sup>) (Blake and Hartge, 1986). L'ensemble de ces paramètres permettent de caractériser les états de surface des sols en termes de couverture, fermeture et compaction, en fonction de l'âge de l'abandon des terrasses. Ces paramètres affectent en particulier la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol, l'apparition du ruissellement et donc l'érosion des sols.

### Effets de l'abandon des terrasses sur le processus d'infiltration de l'eau dans le sol

La méthode des doubles anneaux concentriques (diamètre interne de 20 cm) a été utilisée pour mesurer la capacité d'infiltration (if mm/h) des horizons pédologiques superficiels (Bouwer, 1986). La méthode consiste à suivre la hauteur d'eau qui s'infiltré dans le sol à l'intérieur du cylindre interne pendant 45 mn avec un pas de temps de 5 mn (jusqu'à stabilisation). La valeur de l'infiltration finale (constante) est souvent atteinte vers 30 - 35 mn. Le cylindre externe permet d'éviter l'infiltration latérale dans le cylindre interne; l'eau est supposée circuler verticalement.

Les tests d'infiltration ont été réalisés sur deux terrasses pour chacun des états: terrasses encore exploitées, terrasses abandonnées depuis 1 an, terrasses abandonnées depuis 5 ans, terrasses abandonnées depuis 10 ans et terrasses abandonnées depuis au moins 20 ans. Ce qui fait un total de 10 terrasses. Sur chacune des terrasses, trois répétitions du test d'infiltration ont été réalisés. L'infiltration finale a été calculée comme étant la moyenne des deux dernières mesures (40 et 45 minutes).

### Impact de la dégradation des terrasses sur le processus d'érosion

L'évaluation qualitative de l'érosion a été faite par l'estimation du «facteur de surface du sol» (FSS). Le FSS, variant de 0 à 100, est un indice qui évalue l'état de dégradation d'un versant (parcelle) par l'érosion hydrique (PAP/CAR, 1978; Faleh et Maktite, 2014). L'opération consiste à faire des observations sur la parcelle et à affecter des valeurs aux degrés des facteurs liés au processus d'érosion. Ceci permettra de classer les parcelles par degré d'érosion : mouvement du sol, litière de surface, pierres de la surface du sol, témoins de l'érosion, modèle de l'écoulement, ravines, ravins.

Pour chaque classe d'âge d'abandon et de dégradation, deux estimations du facteur «FSS» ont été effectuées sur deux terrasses. Le calcul du facteur «FSS» est effectué en sommant les valeurs attribuées aux différents facteurs de l'érosion. Les degrés d'érosion associés sont résumés dans le tableau 2.

**Tableau 2: Degré d'érosion en fonction du facteur surface du sol (FSS) (PAP/CAR, 1978)**

FSS	Degré d'érosion
0-20	Stable
21-40	Faible
41-60	Modéré
61-80	Critique
91-100	Sévère

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### Abandon des terrasses dans les terroirs de Tizerkine et Timzimzit

Dans tout le territoire de Tizerkine - Timzemzit (~284 ha), seul 24,9% des terrasses sont entretenus et encore utilisés pour une production végétale assez faible et très irrégulière (grains et paille des céréales, fruits d'arganier) (Figure 2, Tableau 3). Le reste étant abandonné, avec 3,3% des terrasses abandonnés en 2017-2018, 12% abandonnés il y a 10 ans, 56,2% abandonnés depuis au moins 20 ans. Ceci est expliqué en partie par les sécheresses récurrentes qu'a connues le Maroc depuis les années 1960 et notamment dans l'Anti-Atlas. En effet, les sécheresses ont été intenses depuis les années 1960 et continuent à l'être jusqu'à nos jours. En 1961, les précipitations n'étaient que 68 mm, ce qui représente un niveau très bas (28,4%) des précipitations moyennes (Driouech, 2010; Ed-Daoudi, 2014).

La cartographie des terrasses abandonnées montre que le délaissement des terres agricoles a été progressif dans le temps et dans l'espace. La réduction des activités agricoles dans les terroirs de ces villages en particulier et dans l'Anti Atlas en général, a commencé depuis l'indépendance et avec le départ des colons qui ont encouragé les ouvriers de la région à émigrer en France. Devant cette hostilité agro-écologique de la région, l'émigration vers l'Europe s'est accentuée durant les années 60 et 70 pour la recherche d'emploi et vers les grandes villes du Royaume à la recherche d'opportunités commerciales. Charef *et al.* (2009) ont observé que, le développement socioéconomique (agriculture intensive et tourisme) de la plaine du Souss-Massa depuis 1980, a accentué encore plus l'émigration des jeunes à la recherche d'opportunités d'emplois et d'activités de commerce. Par conséquent la montagne s'est dépeuplée en faveur de la plaine et des villes.



Avec la réduction flagrante de la main d'œuvre dans les terroirs de ces villages (départ des jeunes), les terrasses les plus éloignées des villages ont été abandonnées en premier. Progressivement dans le temps, seules les terrasses proches des habitations sont encore entretenues et utilisées pour produire des céréales pour la consommation humaine et animale. Les familles encore sur place ne le sont que pour assurer la propriété des terres. Les grands travaux, comme l'entretien des murs de terrasses et le curage des matfia (citernes d'eau), sont assurés par la main d'œuvre occasionnelle venant d'autres régions arides comme «Kalaâ des Sraghna» et «R'hamna».

**Tableau 3: Évolution des superficies des terrasses abandonnées dans les terroirs de Tizerkine et Timzemzit**

Âges d'abandon des terrasses	Surface (ha)	%
Encore exploitées (2017-2018)	70,7	24,9
Abandonnées depuis 1 an	9,4	3,3
Abandonnées depuis 5 ans	11,1	3,9
Abandonnées depuis 10 ans	33,1	11,7
Abandonnées depuis au moins 20 ans	159,7	56,2
Total	284,0	100,0

L'abandon des terrasses n'est donc pas un phénomène récent dans cette région. Mais ce n'est qu'actuellement que les conséquences néfastes sur les sols et le paysage commencent à apparaître. Ce constat confirme les observations faites par plusieurs auteurs dans la région (Kosmas *et al.*, 2015; Boselli *et al.*, 2020). En effet, ces auteurs ont montré que l'abandon des terrasses date du début du siècle dernier (les années 1930) et qu'il est la conséquence des forces motrices socio-économiques (émigration, absence de communication inter-générationnelle) que naturelles (sécheresse, manque d'eau). Cette situation conduit à la dégradation des terres et à la perte d'un patrimoine culturel important.

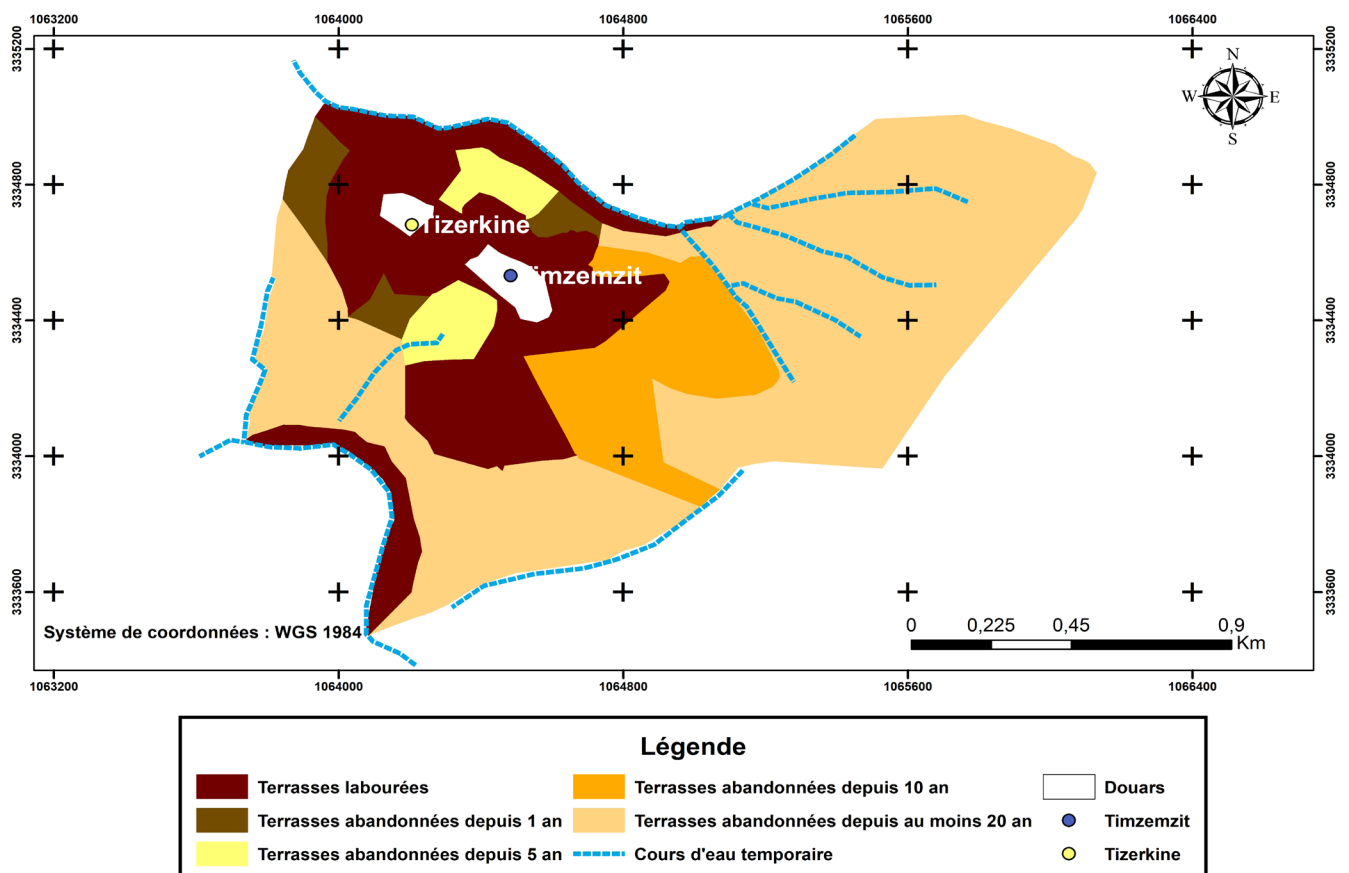
#### Effets de l'abandon des terrasses sur les états de surfaces des sols

Les observations de terrain (Tableau 4) montrent que l'abandon des terrasses contribue fortement et rapidement dès la première année à la détérioration de la qualité des états de surface des sols. En effet, l'absence du travail du sol (labour à l'araire), d'épierrage et de fertilisation (apport de fumier) entraîne, d'une part, une réduction de l'ouverture de la surface et de sa couverture végétale, et d'autre part, la compaction de la couche superficielle (7,5 cm) et

**Tableau 4: Évolution de l'état de surface du sol selon l'âge d'abandon des terrasses dans les terroirs de Tizerkine, Anti Atlas**

Âges d'abandon des terrasses	Valeurs moyennes de l'état de surface du sol								
	SO %	s	SC %	s	PEN kg/cm <sup>2</sup>	s	da g/cm <sup>3</sup>	s	
Encore exploitées	75,8 a	20,4	55,6 a	5,5	1,0 a	0,1	1,1 a	0,1	
Abandonnées depuis 1 an	54,3 b	31,6	36,4 b	6,7	1,2 b	0,2	1,1 a	0,1	
Abandonnées depuis 5 ans	25,3 c	8,5	19,6 c	2,4	1,7 c	0,1	1,3 b	0,2	
Abandonnées depuis 10 ans	12,4 d	5,3	20,3 c	5,2	1,6 c	0,2	1,3 b	0,1	
Abandonnées depuis au moins 20 ans	11,5 d	4,0	15,2 c	3,2	1,7 c	0,2	1,4 b	0,2	

SO: Surface ouverte; SC: Surface couverte; PEN: résistance à la pénétration; da: densité apparente du sol; s: écart type. a, b, c, d: valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=5\%$ ).



**Figure 2: Cartographie de l'âge d'abandon des terrasses au niveau des terroirs de Tizerkine et Timzemzit**





*Versant aménagé en terrasses près des villages*



*Terrasses exploitées*



*Terrasses abandonnées depuis 10 ans*



*Terrasses abandonnées depuis 20 ans*



*Terrasses abandonnées depuis 50 ans*

*Figure 3: États des terrasses dans les terroirs de Tizerkine et Timzemzit*



la formation d'une croûte de battance. Cette dernière peut atteindre des épaisseurs de 2 à 3 mm. En effet, les sols à texture limoneuse ou limono-sableuse, dominants, sont vulnérables à la battance induites par les gouttes de pluie. Les agrégats de surface sont peu cohérents et la surface perd facilement sa structure. Par conséquent la couche dense et constituée de particules fines en surface impacte négativement la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol (Sabir, 1994; Augéard *et al.*, 2005).

Les différences sont significatives entre les terrasses encore exploitées et celles abandonnées dès la première année d'abandon. En effet, l'abandon des terrasses pendant une année contribue à la réduction de l'ouverture de la surface du sol (-28,4%) et de la couverture végétale (-34,5%). L'abandon favorise la compaction (+20%). Au bout de 10 années d'abandon, ces effets deviennent plus prononcés. En effet l'ouverture et la couverture de la surface sont réduites de 83,6% et 63,5% Respectivement. La compaction de la surface devient encore plus élevée, puisque la résistance à la pénétration et la densité apparente de la surface augmentent respectivement de 60% et 18,2%. Ces résultats confirment ceux trouvés par Aziki (1983). Ballais (1990) et Hubert (2003) ont montré que l'abandon des terrasses contribue à la perte progressive de la qualité agronomique des sols. Les sols non ou peu travaillés deviennent «glacés en surface» aux yeux des paysans. Ils emmagasinent moins d'eau et la productivité des cultures s'effondre.

Selon ces résultats, l'abandon des terrasses atteint le maximum de ses effets néfastes sur la qualité de la surface des sols dès la 5<sup>ème</sup> année. Aussi les différences ne sont plus significatives entre 5, 10 et 20 ans d'abandon pour l'ouverture, la couverture végétale et la compaction de la surface.

#### Effet de l'abandon des terrasses sur la capacité d'infiltration des sols

Les résultats (Tableau 5) permettent d'affirmer que lors de l'abandon d'une terrasse, la capacité d'infiltration finale de la couche superficielle du sol chute de 57,06% dès la première année ( $\alpha=5\%$ ) et de 79,16% au bout de cinq années. Après les cinq premières années d'abandon, la capacité d'infiltration continue à diminuer mais non significativement. Ceci montre que la réduction de la capacité d'infiltration des sols des terrasses abandonnées est intimement liée aux effets sur la qualité de la surface du sol. La réduction de la couverture végétale et de l'ouverture de la surface ainsi que sa compaction conduisent à la diminution de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol. Plusieurs auteurs, entre autres Sabir *et al.* (2004), Al Karkouri *et al.* (2009) et Brou *et al.* (2013), ont montré que dans les zones arides, la capacité d'infiltration d'un sol est gouvernée par son état de surface. La réduction de la couverture végétale et la fermeture de la surface du sol (croûte de battance) et

sa compaction sont les facteurs principaux de la chute de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Al Karkouri (2003) et Tribak *et al.* (2012) ont montré dans le Rif, à climat semi-aride et sur substrats marneux, que l'abandon des terrasses conduit à l'augmentation et la fréquence du ruissellement et donc à l'apparition de formes d'érosion ravinantes sur les versants en pente.

Les tests d'infiltration au double anneau démontrent que la compaction du sol est importante durant les cinq premières années d'abandon. La capacité d'infiltration finale diminue de plus de la moitié par rapport à une terrasse encore exploitée. Le volume occupé par la porosité du sol est de moins en moins important avec la durée de l'abandon. Au-delà de cinq années d'abandon, la compaction du sol atteint son maximum et n'évolue plus significativement.

La figure 4 montre l'évolution de la capacité d'infiltration (mm/h) de l'eau dans le sol en fonction du temps pour les différents âges d'abandon étudiés. On constate que l'abandon des terrasses réduit, en plus de la capacité d'infiltration finale, le volume d'eau infiltré de manière drastique. La vitesse d'infiltration se stabilise dès la 25<sup>ème</sup> minute pour une année d'abandon à un taux très faible par rapport aux terrasses encore exploitées. Pour les terrasses d'âge d'abandon de 5 ans, le palier est atteint dès la 10<sup>ème</sup> minute. Encore plus impactée pour les âges 10 et plus de 20 ans, la vitesse d'infiltration atteint le palier à 5 minutes avec une valeur très faible de l'ordre de 60 mm/h. Ces réductions de la vitesse d'infiltration sont expliquées par les changements dans les états de surface des sols des terrasses abandonnées: fermeture la surface, compaction, moins de végétation et de litière. Les terrasses abandonnées sur de grandes surfaces seraient les facteurs déterminants les crues de plus en plus éclaires, intenses et fréquentes dans cet environnement montagnoux de l'Anti-Atlas.

La fermeture de la surface du sol et sa compaction suite à l'abandon des terrasses réduisent la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol sur les versants et se traduisent sans aucun doute par l'augmentation du ruissellement responsable du déclenchement de l'érosion hydrique. La dégradation des versants, dont les terrasses sont abandonnées, est donc inévitable.

Aux alentours de la zone d'étude, les terrasses sont abandonnées pour la plupart depuis plus de 20 ans. A l'échelle du bassin versant, l'infiltration est alors considérablement diminuée au profit du ruissellement. Le comportement hydrologique de celui-ci peut être entièrement modifié et mériterait d'être étudié quantitativement.

Cela confirme que le maintien des activités agricoles (labour, fumure, cultures) sur les terrasses et leur entretien améliorent leurs capacités à absorber, stoker l'eau de pluies et à produire moins de ruissellement. De ce fait, le gouvernement marocain, avec l'appui du PNUD, a développé un

**Tableau 5: Évolution de la capacité d'infiltration moyenne finale (if) en fonction de l'âge d'abandon des terrasses au niveau des terroirs de Tizerkine et Timzemzit**

Ages d'abandon des terrasses	if (mm/h)	Ecart type (mm/h)	Coefficient de variation (%)
Encore exploitées	301,8 a	105,8	35,1
Abandonnées depuis 1 an	129,6 b	28,9	22,3
Abandonnées depuis 5 ans	62,9 c	14,9	23,7
Abandonnées depuis 10 ans	60,9 c	12,5	20,5
Abandonnées depuis au moins 20 ans	58,3 c	10,6	18,2

A, b, c: valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ( $\alpha=5\%$ )

mécanisme de payement pour les services écosystémiques (PSE) sur la base de l'entretien et la plantation (amandiers) des terrasses dans l'Anti-Atlas occidental (PNUD, 2019).

**Processus érosif et dégradation des sols des terrasses abandonnées**

Les résultats obtenus par la méthode qualitative (PAP/CAR, 1978) montrent que, plus l'âge d'abandon d'une terrasse, est grand plus le processus d'érosion est actif. Ainsi une terrasse avec une murette en bon état aura un degré d'érosion stable. Le stade initial du processus érosif sur les terrasses dont le muret est dégradé, est caractérisé par l'apparition de taches blanches et une distribution éparse et non développée des fragments rocheux. Le ruissellement diffus apparaissant sur les terrasses abandonnées délave la surface du sol et évacue les éléments fins et la matière organique. Les pierres apparaissent et deviennent nombreuses en surface. Par conséquent, en seulement 5 ans d'absence d'entretien, une terrasse peut montrer déjà un degré d'érosion, mais faible. Au bout de 20 ans, les signes d'érosion (accumulation de pierres, abrasion de la couche superficielle du sol, rigoles) doublent d'intensité et on atteint un

stade d'érosion modéré. L'érosion linéaire devient active par l'intermédiaire de rigoles pouvant évoluer en ravines dues à la concentration du ruissellement. Au final, après 50 ans d'abandon le facteur de surface du sol «FSS» est multiplié par 5, et l'intensité du processus érosif parvient à un stade critique caractérisé par la présence fréquente de ravines. Certains versants dont les terrasses à l'abandon sont transformés en badlands.

La confrontation des résultats de la méthode PAP/CAR avec la cartographie des âges d'abandon des terrasses (Figure 2) permet d'affirmer à l'échelle des terroirs étudiés que:

- 16% des versants aménagés sont exposés à un faible degré d'érosion;
- 46% des versants aménagés sont exposés à un degré d'érosion modéré;
- 11% des versants aménagés sont exposés à un degré d'érosion critique.

L'abandon des terrasses augmente à court terme le processus d'érosion sur les versants. Avec l'âge, le ruissellement devient de plus en plus important, se concentre davantage et acquiert des forces érosives plus fortes. Des rigoles se

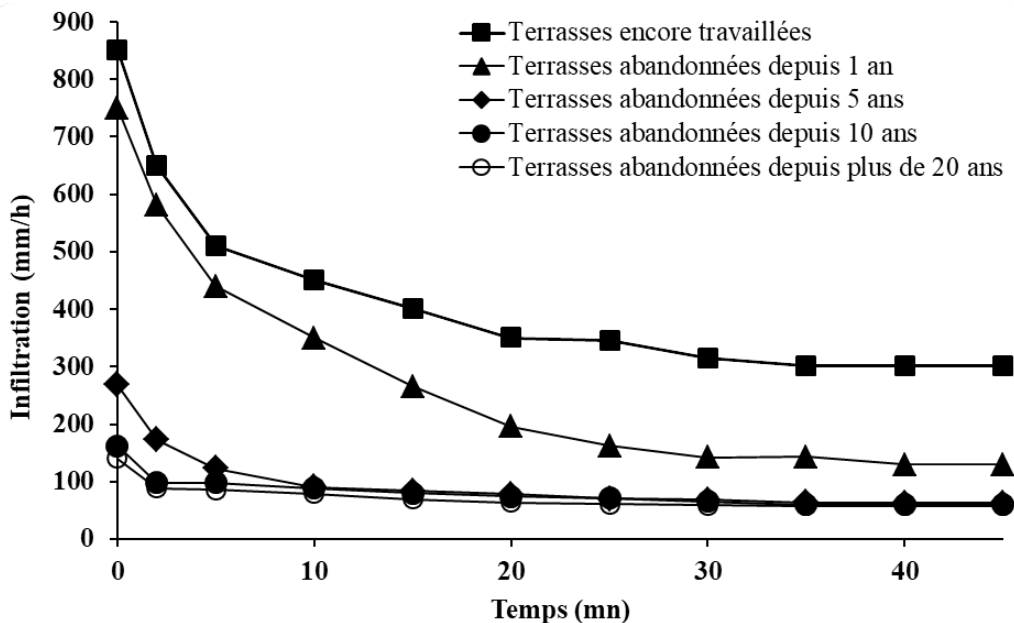


Figure 4: Courbe d'infiltration de l'eau dans le sol selon l'âge d'abandon des terrasses dans les terroirs de Tizerkine et Timzemzit

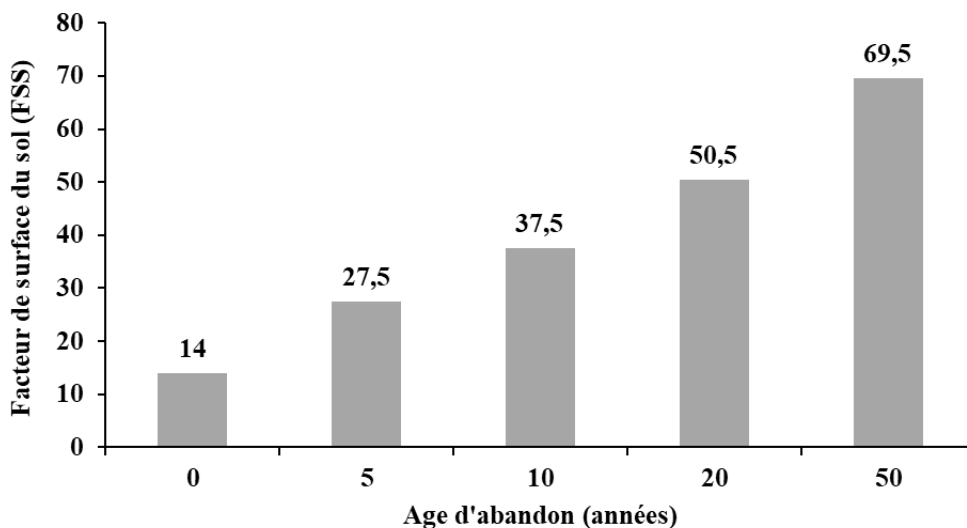


Figure 5: Évolution moyenne du facteur FSS en fonction des années d'abandon des terrasses au niveau des terroirs de Tizerkine et Timzemzit

creusent et s'élargissent avec le temps et surtout au milieu et à la base des versants abandonnés. Les murs de soutènement des terrasses se dégradent de plus en plus avec l'âge d'abandon à cause du ruissellement qui se crée des chemins avec la pente. Les pierres sont disloquées et des brèches de circulation d'eau se forment. Avec le manque d'entretien, les murs des terrasses jouent de moins en moins leur rôle de conservation des sols et des eaux.

L'utilisation du facteur la surface du sol (FSS) a démontré les conséquences de la réduction d'infiltration sur le phénomène érosif dû au ruissellement au niveau des terrasses abandonnées. Pour les terrasses abandonnées depuis 5 et 10 ans, le degré d'érosion est faible, mais le phénomène existe. Actuellement, 56% des versants aménagés sont constitués de terrasses abandonnées depuis au moins 20 ans, et le degré d'érosion est modéré. Si aucune mesure n'est prise pour lutter contre ce phénomène d'abandon, les sols seront bientôt menacés par un degré d'érosion critique, comme c'est illustré par les 11 % de versants occupés par des terrasses abandonnées depuis une cinquantaine d'années.

De manière générale, la végétation joue un rôle important dans la conservation des sols (Roose, 1994; Labreuche, 2009). Or, au niveau de la zone d'étude, il y a très peu de végétation spontanée sur les terrasses abandonnées. Cela peut être expliqué en premier lieu par les conditions d'aridité limitant le développement végétatif. Mais aussi par l'appauvrissement du sol dû à l'exploitation des terres depuis plusieurs générations. L'absence de couverture végétale expose le sol à la battance des pluies, à l'action abrasive d'un ruissellement important et par conséquent à un risque d'érosion élevé.

La perte du potentiel agricole au niveau des terrasses compromet fortement le développement rural. En effet, la dégradation des ressources naturelles (eau, sol, végétation) est un facteur de découragement de la population qui favorise l'exode rural et par la même occasion l'abandon des terrasses.

## CONCLUSION

L'évaluation des impacts de la dégradation des terrasses sur le phénomène d'infiltration d'une part et sur le processus d'érosion d'autre part est critiquable. En premier lieu l'estimation du facteur de surface du sol (FSS) est qualitative alors que l'érosion mériterait d'être étudiée quantitativement pour plus de pertinence. En second lieu, l'hétérogénéité d'un sol a tendance à dissimuler la diminution de la capacité d'infiltration finale.

Cette étude constitue en quelque sorte une introduction à la problématique de la dégradation des terres. L'Anti-Atlas occidental, sujet à un exode rural intense, connaît depuis plusieurs décennies un phénomène d'abandon des terres agricoles situées sur des versants aménagés en terrasses depuis des temps immémoriaux. Cette situation abouti à leur dégradation progressive et les risques de ruissellement et d'érosion deviennent importants aussi bien à l'amont (perte de terre agricoles et de paysage) qu'à l'aval (crues brusques, inondations, envasement des barrages).

Cette étude a eu comme objectif principal d'introduire cette problématique. L'état des lieux a été décrit dans les terroirs des villages de Tizerkine et Timzemzit. L'importance de l'érosion (dégradation des terrasses) ainsi que le risque d'apparition du ruissellement ont été qualifiés selon l'âge d'abandon des terrasses (encore exploitées, 1, 5, 10 et >20 ans). L'état de surface a été décrit par la méthode des points-

quadra, la capacité d'infiltration a été mesurée par la méthode des doubles anneaux et l'érosion a été étudiée par l'estimation du facteur de surface du sol de la méthode PAP/CAR.

Il en ressort qu'à l'échelle de cette zone aride, seul le quart des terrasses est encore entretenu autour des habitations et utilisé pour une agriculture vivrière. Le reste étant abandonné. Actuellement 56,2 % des versants aménagés sont constitués de terrasses abandonnées il y a au moins depuis 20 ans.

La description des états de surface a montré que l'abandon des terrasses réduit drastiquement l'ouverture et la couverture végétale de la surface des sols et augmente sa fermeture et sa compaction. Les différences sont significatives après uniquement une année d'abandon.

Les mesures d'infiltration ont montré qu'une année d'abandon est suffisante pour que la surface du sol perde 40% de sa capacité d'infiltration. Au bout de 5 ans, les versants perdent plus des 2/3 de leur capacité d'infiltrer l'eau. Les risques de ruissellement et d'érosion deviennent importants. L'amont risque de perdre ses terres et ses paysages et l'aval est menacé par des crues et des inondations dangereuses.

De point de vue dégradation des terrasses des versants, 16% sont exposés à un faible degré d'érosion; 46% sont exposés à un degré d'érosion modéré; et 11% sont sujets à un degré d'érosion critique. L'abandon des terrasses a conduit à leur dégradation et la manifestation de formes d'érosion relativement intenses est déjà sentie. Le patrimoine que constituent ces versants aménagés est en train de se perdre.

Cette étude devra être poursuivie par d'autres travaux pour mieux (1) comprendre le fonctionnement socio-économique de ces espaces aménagés, autre fois peuplés et productifs, et (2) appréhender et maîtriser les effets de ces aménagements et de leur abandon sur les risques de ruissellement et d'érosion sur l'ensemble des zones en pentes de l'Anti-Atlas. A travers ces études, des possibilités de réhabilitation et d'aménagement pourraient être dégagées. Le gouvernement marocain, avec l'appui de ses partenaires internationaux (PNUD), a lancé un projet de mise en place de mécanismes pour le paiement des services écosystémiques (PSE) assurés par ces versants aménagés en vue de leur réhabilitation.

Ces espaces patrimoniaux nécessitent une attention particulière pour leur réhabilitation et leur conservation. On peut avancer que les espaces non encore abandonnés (~25%) peuvent être préservés. Le renforcement des liens inter-générationnels par la formation et l'éducation (scolarisation), la promotion du savoir-faire local, la recherche de nouvelles variétés adaptées au changement climatique (moins exigeantes en eau), et la mise en place d'un mécanisme de solidarité, comme le paiement pour les services écosystémiques, entre la montagne productrice d'eau et la plaine utilisant cette ressource essentielle pour la durabilité des systèmes agricoles intensifs orientés vers l'exportation de fruits et légumes. Le rôle des femmes est très important dans la gestion de ces paysages. Il doit être renforcé en favorisant leur émancipation. Ces paysages font partie de la réserve de biosphère «Arganeraie» (RBA). Ils pourraient constituer un laboratoire de recherche et de formation. La communauté scientifique et la société civile ont beaucoup à apporter dans ces zones montagneuses et patrimoniales. La création de musées du patrimoine culturel dans la RBA prévus par l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et l'Arganeraie (ANDZOA) est une opportunité à exploiter.



## RÉFÉRENCES

- AEFCS, (1995). Programme National d'Aménagement des Bassins Versants (PNABV). Administration des Eaux et Forêts et la Conservation des Sols, Rabat.
- Al Karkouri, J. (2003). Dégradation du milieu naturel dans le bassin versant de Béni Boufrah (Rif Central, Maroc): Analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et de modélisation spatiale. Thèse de Doctorat d'état ès lettres. Université Mohamed V. Rabat, Maroc. 392 p.
- Al Karkouri, J., Laouina, A., Roose, E., Sabir, M. (2009). Capacité d'infiltration et risques d'érosion des sols dans la vallée des Béni Boufrah, Rif central (Maroc). *Bulletin Réseau Erosion*, 21: 342-53.
- Augeard, B., Kao, C., Chaumont, C., Vauclin, M. (2005). Mechanisms of surface runoff genesis on a subsurface drained soil affected by surface crusting: A field investigation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30:598-610.
- Aziki, S. (1983). L'agriculture irriguée et l'aménagement d'un espace rural méridional marocain en pleine mutation: le cas de Souss-Aval. Thèse de 3ème Cycle de Géographie, Université d'Aix Marseille 2, 387 p.
- Ballais, J.L. (1990). Terrasses de culture et Jessours du Maghreb oriental, In: Méditerranée, Revue géographique des pays méditerranéens, Tome 71, n° 3-4, séminaire «l'agriculture en terrasses sur les versants méditerranéens; histoire, conséquences sur l'évolution du milieu», Aix-en-Provence, pp. 51-53.
- Benabid, A. (2000). Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, 360 p.
- Besson, F. (2017). Diagnostic et analyse des techniques traditionnelles de gestion des sols et de la fertilité dans l'Anti-Atlas occidental: cas de deux douars Tizerkine et Timzemzit. Mémoire de fin d'étude, Option Génie Environnement, Université Saint Jérôme, Saint Etienne, France. 78p.
- Blake, G.R., Hartge, K.H. (1986). Bulk density. Methods of soil analysis: part I. Physical and mineralogical methods. *Agronomy Monograph* no. 9 (2<sup>nd</sup> ed.). Am. Soc. of Agronomy, Soil Sc. Soc. of America.
- Boselli, V., Ouallali, A., Briak, H., Houssni, M., Kassout, J., El Ouahrani, A., Michailidi, E.M. (2020). System dynamics applied to terraced agroecosystems: The Case study of Assaragh (Anti-Atlas Mountains, Morocco). *Water*, 12:1693.
- Bouabid, R., Rouchdi, M., Badraoui, M., Diab, A., Louafi, S. (2010). Assessment of Land Desertification Based on the MEDA-LUS Approach and Elaboration of an Action Plan: The Case Study of the Souss River Basin, Morocco. Secretary of State for Water and Environment. Rabat, Morocco.
- Bouwer, H. (1986). Intake rate: cylinder infiltrometer. Methods of soil analysis: part I. Physical and mineralogical methods. *Agronomy Monograph* no. 9 (2<sup>nd</sup> ed.). Am. Soc. of Agronomy, Soil Sc. Soc. of America.
- Brou, Y.T., Emram, A., Laouina, A., Chaker, M., Coupleux, S., Boujrouf, S. (2013). Changement des états de surface, précipitations automnales et vulnérabilité des sols dans le bassin versant du Bouregreg au Maroc. *Revue des sciences de l'eau*, 26: 81-87.
- Charef, M., Amsidder, A., Achaba, A., El Achmit, J., Zefzaf, A., Lacroix, T. (2009). La migration des jeunes de la région Souss Massa: Perceptions, déterminants et développement. Observatoire Régional des Migrations, Espaces et Société (ORMES). Université Ibn Zohr, Agadir. 88p.
- Driouech, F. (2010). Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique: descente d'échelle et incertitudes. Thèse de doctorat, Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace (SdU2E), INP Toulouse, Université de Toulouse. 164p.
- Ed-Daoudi, S. (2014). Évolutions et changements des extrêmes pluviométriques au niveau de la zone Souss-Massa-Draa (Maroc): l'aspect sécheresse. Mémoire de fin d'étude. Master Eau et Environnement. Département des Sciences de la Terre. Faculté des Sciences et Techniques, Marrakech. 99 p.
- Faleh, A., Maktite, A. (2014). Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode PAP/CAR et SIG en amont du barrage Allal El Fassi, Moyen Atlas (Maroc). *Papeles de Geografía*, 59-60: 71-82.
- Fattet, M. (2017). Diagnostic des terrasses comme technique paysanne de gestion des ressources en eau dans l'Anti-Atlas occidental: cas de deux douars Tizerkine et Timzemzit. Mémoire de fin d'étude, Option Génie Environnement, Université Saint Jérôme, Saint Etienne, France. 85p.
- Humbert, A. (2003). L'Anti-Atlas : une montagne paysanne moribonde ?, In: Crises et mutations des agricultures de montagne, Actes du colloque international de Clermont-Ferrand (12-13 décembre 2002) en hommage au professeur Christian Mignon, CERAMAC, Clermont-Ferrand, pp. 61-72.
- Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C.A., Salvati, L. (2015). An exploratory analysis of land abandonment drivers in areas prone to desertification. May 2015. *Catena*, 128: 252-261.
- Labreuche, J. (2009). Impacts sur la structure du sol: Les sols protégés par la couverture végétale. *Perspectives Agricoles*, 357: 37-42.
- Maksoudi, B. (2001). Conception d'une méthode d'évaluation des techniques de la lutte anti-érosive et essai limite dans la région de Fès-Boulemane. Mémoire de 3<sup>ème</sup> Cycle, École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc. 112 p.
- Naimi, M., Tayaa, M., Ouzizi, S. (2005). Cartographie des formes d'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc). *Sécheresse*, 16: 79-82.
- Ouabderh, S. (2014). Étude hydrologique de l'Oued Ighzer El Arba au niveau de la commune de Drarga, plaine de Souss. Mémoire de fin d'étude. Master Sciences et Techniques: Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux. Faculté des sciences et techniques, Fès, Maroc, 38p.
- PAP/CAR, (1998) Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP-8/PP/GL.1. Split, Centre d'Activités Régionales pour le Programme d'Actions Prioritaires (PAM/PNUe), en collaboration avec la FAO. 1998. pp xii+72
- PNUD, (2019). Une Approche d'Économie Circulaire pour la Conservation de l'Agro-biodiversité dans la Région du Souss Massa Draa au Maroc EC-SMD. Rapport de mise en œuvre du projet. Programme des Nations Unies pour le Développement, Rabat, Maroc.
- Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique FAO*, 70: 420 p.
- Sabir, M. (1994). Impact du pâturage dans un milieu aride sur les caractéristiques physiques et hydrologiques d'un sol brun calcaire (Aarid, Haute Moulouya, Maroc). Thèse es Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- Sabir, M., Barthès, B., Roose, E. (2004). Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du rif occidental (Maroc). *Sécheresse*, 15:105-110.
- Tribak, A., El Garouani, A., Abahrour, M. (2012). L'érosion hydrique dans les séries marneuses tertiaires du Pré-Rif Oriental: agents, processus et évaluation quantitative. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 1:47-52.
- Ziyadi, M. (2001). Vivre dans les montagnes arides ou subarides: l'aménagement des pentes dans l'Anti-Atlas central et occidental (Maroc). Thèse de doctorat en géographie. Centre d'études et de recherche sur les paysages. Faculté des lettres et sciences humaines. Université Nancy 2, France. 428 p.