

# CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS AFFECTANT LES PATURAGES SUR LE BILAN ET LA QUALITE DE L'EAU AU MAROC : LA CHAINE DU RIF, ETUDE DE CAS

**T**out comme la gestion inappropriée des pâturages, le changement inopportun d'utilisation des sols peut entraîner des conséquences importantes sur l'hydrologie, la qualité de l'eau et d'autres secteurs de l'environnement. De tels impacts ont été évalués et constatés sur la chaîne marocaine du Rif, caractérisée par un climat rude, un sol rocailleux et une pression humaine de plus en plus forte sur les forêts et les pâturages. L'augmentation du ruissellement et de l'érosion des sols et une moyenne des dépôts sédimentaires dépassant les 4 000t/km<sup>2</sup>/an sont aujourd'hui les symptômes de la non-pérennité d'un système agricole, forestier et pastoral qui gagne toute la chaîne du Rif. Un programme expérimental de suivi à long terme des bassins-versants et un système d'aide à la décision reposant sur des SIG a été mis en place sur la partie occidentale de la chaîne du Rif afin d'étudier l'impact de l'extension des terres cultivées et de la dégradation des pâturages sur l'hydrologie et la qualité de l'eau. Les résultats obtenus ont confirmé l'hypothèse d'une réponse hydrologique à la dégradation des terres et ont fourni des modèles de simulation nécessaires à son suivi et à son évaluation. La plupart des paramètres et processus affectant l'hydrologie des bassins-versants et la qualité de leur eau sont dynamiques et varient selon le lieu. Ainsi, on a intégré la technologie des SIG et de la télédétection aux modèles, bases de données et autres systèmes d'informations afin de créer un système d'aide à la décision adapté à une gestion adéquate des bassins-versants.

## INTRODUCTION

Le Maroc est un pays qui offre plus de ressources pour le pastoralisme que pour l'agriculture. Il dispose d'environ 65,5 millions d'hectares de pâturages, ce qui représente plus de 85% de la superficie de ce pays. Les prairies naturelles fournissent jusqu'à 35% des besoins en nourriture de ses 26 millions de têtes de bétail. Le plan national stratégique de développement des pâturages, le NRDS (IAV-USU, 1993), a divisé les prairies naturelles en 10 zones pastorales appelées systèmes environnementaux et présentant une flore d'une grande diversité (plus de 4000 espèces pastorales). Pour chaque système environnemental, l'étude a démontré et quantifié le rôle important joué par les pâturages dans la production des ressources fourragères. Malgré leur potentiel de production relativement élevé, ces systèmes environnementaux ont été soumis à de fortes contraintes naturelles et anthropiques qui limitent leur productivité et touchent l'environnement : sécheresses fréquentes et périodiques, politique inappropriée de gestion des troupeaux et d'usage des terres (bases de données, outils, etc.) et pression humaine due au surpâturage et aux cultures. L'étude du NRDS a permis de connaître les processus de dégradation des terres et des ressources ainsi que leur importance. Elle a souligné que les pressions sur les prairies naturelles n'ont cessé d'augmenter depuis les vingt dernières années, et qu'elles menacent l'équilibre des écosystèmes pastoraux. On estime qu'environ 8,3 millions d'hectares sont gravement dégradés, principalement dans la zone Nord-Est, l'écosystème de l'*Argania spinosa* et les zones sahariennes et sub-sahariennes. Cette tendance à la dégradation provient d'un pâturage intensif mais aussi du fait que les terres sont collectives, ce qui débouche souvent sur une dégradation ou une précarisation des prairies naturelles.

L'épuisement du couvert végétal des pâturages et la mise en culture croissante des pâturages des systèmes environnementaux arides et semi-arides de faible rendement (principalement dans les zones situées au Nord-Est) (IAV-USU, 1993) et les zones accidentées de forêts et de taillis montagneux (le Rif et le pré-Rif au Nord) conduisent à la dégradation physique des terres à cause de l'érosion des sols (Merzouk & Dhman, 1998). Les chercheurs qui étudient l'hydrologie des forêts et des pâturages ont établi que l'infiltration des eaux de pluie diminue et que le ruissellement de surface augmente au fur et à mesure que l'état des pâturages se détériore. L'augmentation du ruissellement de surface sur des sites dégradés entraîne l'aggravation de l'érosion des sols et des rives des ruisseaux et l'augmentation des apports de sédiments (Hanson et al., 1970 ; Gifford, 1978 ; Sabir, 1994). Le NRDS et le plan national de gestion des bassins-versants (MADRP, 1996) ont reconnu que les pâturages marocains représentaient un élément majeur de la plupart des zones montagneuses et que si l'on diminuait le ruissellement grâce à la gestion des pâturages, le bilan de l'eau et la qualité des réservoirs en seraient améliorés. Ces deux plans stratégiques nationaux ont nécessité d'importants programmes de recherche

afin d'aider les responsables du développement des pâturages et des bassins-versants à définir et quantifier les relations ou les effets du changement d'utilisation des sols sur l'hydrologie et la qualité de l'eau.

En Amérique du Nord, la présence de sédiments dans l'eau a été reconnue comme un polluant au même titre que les déchets industriels, les effluents des égouts et autres formes de pollution. En Afrique du Nord, région où les grands lacs de barrage jouent un rôle stratégique parce qu'ils fournissent de l'eau potable, cette source de pollution est un souci majeur. La communauté des chercheurs marocains doit fournir des données précises sur cette source de pollution et plus encore, démontrer que la mise en œuvre des programmes de gestion des pâturages et des bassins-versants destinés à contrôler l'érosion et les déplacements de sédiments permettra d'atteindre ses buts de préservation des sols et de l'eau et d'amélioration de leur qualité. Bien qu'on ait établi les causes de la dégradation des pâturages et du bilan de la qualité de l'eau, le Maroc manque encore d'études sur le terrain. Le présent article tente d'évaluer l'expérience menée dans la partie occidentale de la chaîne du Rif et d'appeler à continuer les recherches afin de recueillir davantage de données quantitatives pour pouvoir concevoir des programmes plus efficaces permettant d'obtenir des pâturages durables. L'évaluation de la dégradation des pâturages et de l'impact de leur réhabilitation sur l'hydrologie des bassins-versants est difficile et nécessite des méthodes de modélisation complexes ainsi que l'utilisation de nouvelles technologies comme la télédétection et la géomatique (Sample et al., 1994 ; Kouraimi, 1997). L'un des objectifs de notre étude était de développer une telle approche pour l'environnement pastoral marocain.

## CADRE DE L'ETUDE

La région située au Nord-Ouest du Maroc (la chaîne du Rif) est classée zone de pastoralisme de premier plan dans l'étude du NDRS. Elle présente les plus fortes précipitations et la plus grande humidité des sols, et par conséquent sa productivité est supérieure. Outre les principales contraintes naturelles (topographie accidentée et sols plus sensibles à l'érosion), les pâturages de cette zone ont été soumis à une pression humaine croissante qui menace le système pastoral et les ressources en eau. En fait, les montagnes du Rif alimentent des barrages très importants (Wahda, Ibn Battouta, Nakhla, Smir, 9 novembre, etc.) qui ont un intérêt stratégique pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable. Avec une perte annuelle de terre oscillant entre 2000 et 6000 tonnes/km<sup>2</sup>, l'érosion des sols est un problème environnemental et économique de premier plan qui menace la pérennité des barrages et des terres agricoles dans la chaîne du Rif. L'appauvrissement du couvert végétal naturel causé par le surpâturage a accéléré les processus de ruissellement et d'érosion des sols. C'est pourquoi l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV) a décidé en 1977 d'équiper le premier bassin-versant expérimental dans cette région : le bassin-versant de Tleta.

Ce bassin-versant est situé en aval du barrage Ibn Battouta (40 Mm<sup>3</sup>, 1977), à égale distance des villes de Tanger et de Tétouan (Figure 1). Ce bassin-versant de 180 km<sup>2</sup> est arrosé en fonction des variations saisonnières par l'Oued Sania, affluent de l'Oued Mharher qui coule vers l'Océan Atlantique. C'est un bassin-versant avec de hautes chaussées de retenue, dont le point culminant est situé à 600 m, tandis que l'altitude la plus basse à proximité du bassin-versant est d'environ 40 m ; il présente donc un relief très accidenté et des pentes très raides. La nature litho-stratigraphique générale de la chaîne du Rif est bien représentée par ce bassin-versant, en particulier par la domination de formations géologiques très sensibles à l'érosion, composées de flysch, de calcaire et de marnes. Ici, les lithosols et régosols se sont développés sur des grès ; les pentes sont le plus souvent marneuses et offrent peu de résistance à l'érosion de l'eau. Le climat dominant sur cette zone est méditerranéen, avec des étés chauds et des hivers doux. Le bassin-versant reçoit en moyenne 750 mm de précipitations par an, concentrées sur la période d'octobre à janvier. L'érosion due aux pluies, causée par de fréquents orages de grande intensité et de courte durée, est importante : le facteur R de l'Equation Universelle de Perte de Sol est évalué autour de 200 MJ mm/ha-h-an (Dhman, 1995). En 1977, l'agriculture, les pâturages et la forêt occupaient respectivement 48%, 42% et 2% du bassin-versant. Les deux tiers du bassin-versant sont actuellement plantés de céréales, sans qu'aucune mesure de préservation des sols n'ait été prise. Ceci est le résultat d'une évolution constante : les pentes à l'origine couvertes de chênes-lièges ont été déboisées, d'abord pour être utilisées comme pâtures permanentes (végétation de type garrigue), puis petit à petit comme zones cultivées.

Tous les facteurs d'érosion des sols sont aggravés dans ce bassin-versant très sensible à l'érosion, et le processus de dégradation des terres menace lourdement la productivité de ces terres déjà bien limitée et la capacité de stockage du barrage Ibn Battouta. La dernière étude bathymétrique du dépôt de sédiments a montré un taux

annuel de 47,2 T/ha/an (Merzouki, 1992). Ce barrage a été conçu au début des années 70, sur la base de prévisions annuelles d'un taux inférieur à 22,0 T/ha/an (Laabdi, 1977). Le plan de gestion du bassin-versant préconisé en 1977 avait pour but de réduire ce taux à moins de 20 T/ha/an. Malheureusement, ce programme n'a jamais été mis en œuvre ; au cours des vingt dernières années le bassin-versant a donc subi des changements d'utilisation des sols ne correspondant pas à sa capacité. Ce bassin-versant expérimental a servi de lieu d'observation de ces changements et de leurs impacts et a récemment été doté d'une station agri-météorologique et de suivi du niveau des eaux situé sur le barrage Saboun (Merzouk et al., 1998).

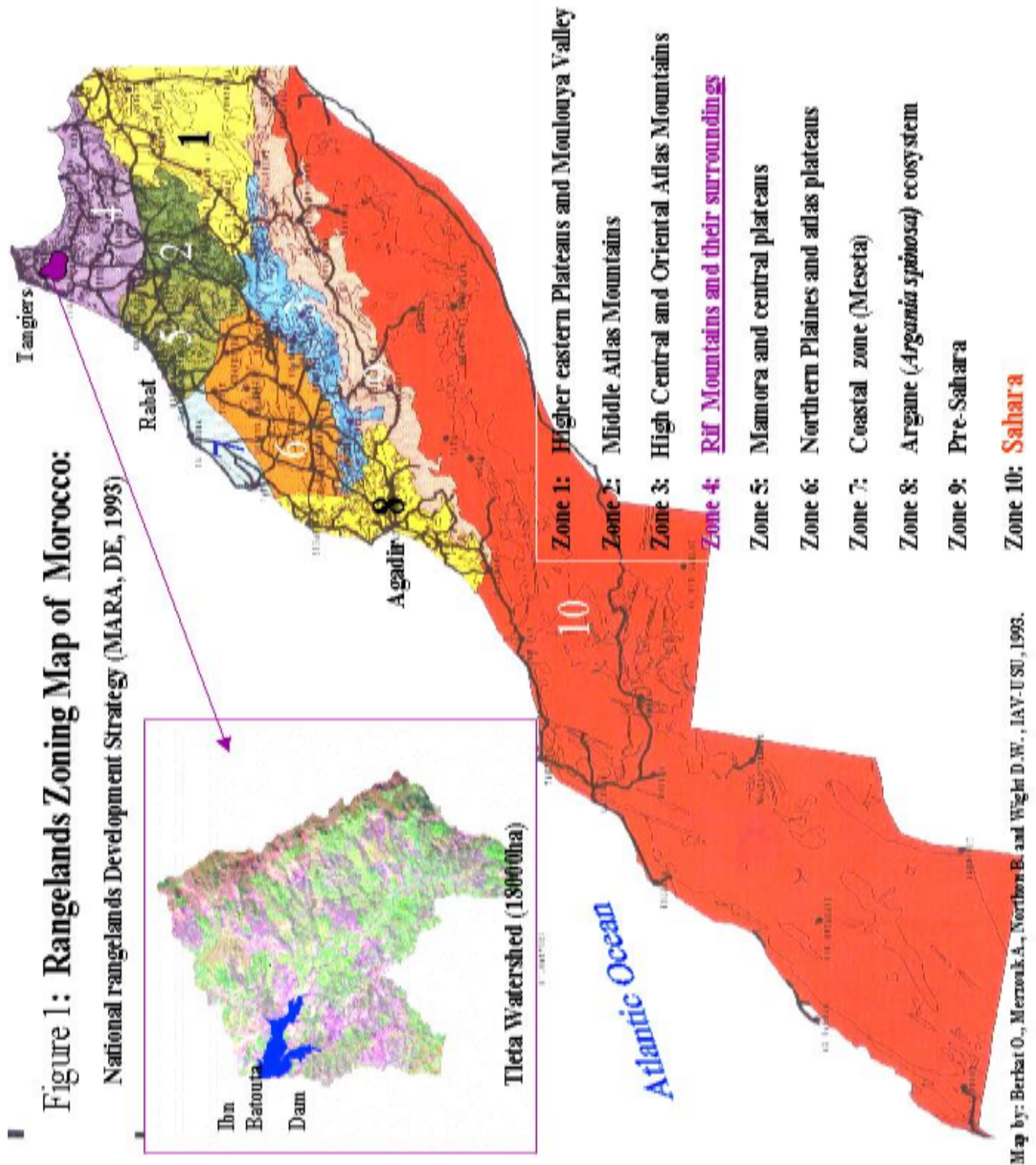


Figure 1 - Situation de la zone étudiée sur la carte nationale de répartition des zones de pâturages  
 Cette carte a été dressée par recouplement de cartes existantes  
 (bio-climat, systèmes agri-pastoraux, types de sol, relief, géologie et découpages administratifs)  
 à partir du SIG établi pour le NRDS en 1993

## METHODES

Ce programme de recherche à long terme visait à connaître l'hydrologie d'un bassin-versant typique du Rif afin d'obtenir des informations permettant de faciliter la prise de décision à partir de bases scientifiques, toujours en ce qui concerne le développement de l'agriculture et des pâturages. De nombreuses études (mémoires de maîtrise et thèses de doctorat) ont été menées depuis 1977 par l'IAV (DSS, 1997) afin d'étudier chaque élément du bilan hydrologique et sédimentaire du bassin-versant de Tleta. Différentes méthodes et moyens de modélisation ont été utilisés à l'échelle du site, de la chaîne et du bassin-versant.

Pour obtenir les mesures à l'échelle du site, on a utilisé des infiltromètres double-anneau, des disques et un simulateur de précipitations (parcelle d'1 m<sup>2</sup>) ; on a également pris en compte les caractéristiques du sol et de la végétation (Ahyoud, 1977 ; Merzouk, 1985 ; Sabir 1994 ; Mossadak, 2000). Ces infiltromètres ont été efficaces et pratiques ; ils ont permis d'obtenir les taux d'infiltration relative et de ruissellement potentiel entre les sites et d'analyser la variabilité spatiale. Au niveau du bassin-versant, les données concernant le ruissellement et le dépôt de sédiments ont été fournies par la station du barrage Ibn Battouta. Les sites et les points de prélèvement étaient généralement situés sur des parcelles représentant les principaux types d'utilisation des sols (forêt, garrigue, « erme » – formation arbustive basse correspondant au stade final de dégradation – et terre cultivée), ainsi que leurs zones de transition. L'analyse spatio-temporelle de l'utilisation des terres et du couvert végétal a été réalisée et cartographiée au moyen de photographies aériennes (missions de 1976 et 1986) et d'images satellitales (HRV/SPOT en 1996 et 1998 et TM/Landsat en 1996). La productivité et la qualité des pâturages du bassin-versant de Tleta ont été évaluées et cartographiées. La capacité de production de ces pâturages a été déterminée et comparée aux taux de charge en bétail utilisés dans le bassin-versant (Mejjati Alami et al., 2000). Les informations sur l'utilisation et le couvert des sols obtenues à partir de cartes numériques existantes, de données satellitales, d'études sur le terrain et d'autres données ont été exploitées pour attribuer à chaque unité de terre (pixel de 30mx30m) une valeur (CN= curve number value) représentant les caractéristiques hydrologiques originales de cette parcelle (groupe hydrologique), l'état de sa surface au niveau des infiltrations (bon ou mauvais état), le type de culture, et les pratiques de préservation susceptibles d'avoir des conséquences sur l'infiltration. La valeur globale (CN) obtenue pour le bassin-versant a été utilisée pour estimer le ruissellement selon la méthode du Service de Préservation des Sols (Chow et al., 1988). La même base de données sur l'utilisation et le couvert des sols a servi à attribuer une valeur C à chaque unité de sol (30mx30m). C'est ce paramètre C qui décrit le couvert végétal par rapport au facteur d'érosion dans le cadre de l'équation universelle de perte de terre (RUSLE) telle que modifiée par Renard et al., 1996. Notre étude a utilisé ce modèle d'érosion empirique et a été distribuée afin d'évaluer l'impact des changements temporels d'utilisation des sols sur le dépôt de sédiments, et ce, pour différents types d'utilisation des sols. Bien sûr, la complexité de la dynamique des pâturages requiert une modélisation prenant en compte les différentes interactions dans le temps des activités des exploitants de ces sols et des nombreuses contraintes physiques et socio-économiques.

Le dépôt de sédiments du réservoir d'Ibn Battouta est lié à une pollution due à des matières organiques et aux principaux nutriments végétaux (azote (N), phosphore (P), potassium (K) responsables du développement d'algues et par conséquent, de la dégradation de la qualité de l'eau. On a évalué la présence de matières organiques, d'azote, de phosphore et de potassium au sein des sédiments présents dans le réservoir et dans les eaux de ruissellement (Merzouk, 1986).

Les systèmes d'informations géographiques (SIG) qui sont très largement utilisés pour l'évaluation de l'hydrologie et des bassins-versants se sont montrés bien adaptés à cette étude (Ramsey et al., 1999). Le SIG-Tleta a été développé et contient toutes les données nécessaires au modèle dynamique de changement d'utilisation des sols et aux modèles distribués de simulation du ruissellement et de l'érosion.

## RESULTATS

Ce programme de recherche à long terme a permis d'obtenir un grand nombre d'informations et de données nécessaires à la compréhension du comportement hydrologique du bassin-versant de Tleta et de sa réponse aux changements d'utilisation des sols survenus au cours des vingt dernières années. Ce programme a réussi à maintenir ses activités dans le bassin-versant de Tleta et à les étendre à d'autres bassins-versants (Sabir, 1994 ; Tayaa, 1999). Le présent article fait état des principaux résultats qui ont permis d'expliquer et de quantifier les

effets de la dégradation des pâturages ainsi que les modifications du bilan hydrique et de la qualité de l'eau et des sols du bassin-versant.

## Dynamique d'utilisation des sols

La carte de l'utilisation et du couvert des sols du bassin-versant de Tleta a été établie en 1977, à partir de l'interprétation de photographies aériennes (1/20000) et d'une étude sur le terrain. Elle a été réalisée dans le cadre d'une étude précise pour le plan de gestion des bassins-versants mis en œuvre par les Eaux et Forêts une fois la construction du barrage terminée (DEFCS, 1977). La carte a été numérisée et intégrée dans le SIG-Tleta, et des statistiques ont été calculées pour chaque unité d'utilisation des sols. Ceci a montré que la moitié du bassin-versant était plantée de céréales, tandis que l'autre moitié était encore couverte de forêts et de l'écosystème dénommé « matorral » composé de garrigue, principalement de *Pistacia lentiscus*, *Olea europea*, *Calycotome villosa*, *Chamaerops humilis* et autres espèces méditerranéennes (*Erica* et *Cistus*). Ces garrigues ont servi de pâturages. Quatre principaux types d'utilisation et de couvert des sols ont été différenciés et utilisés pour légèrer la carte : cultures, garrigues/forêts, sol nu et garrigues basses (« erme »). Ce dernier type représente le stade avancé de dégradation du couvert végétal naturel et est principalement composé de *Chamaerops humilis* (Doum) et *Asphodelus microcarpa* ainsi que de quelques variétés annuelles. La Figure 2 montre la carte d'utilisation des sols de 1976. Les images-satellite SPOT-XS de juillet 1990 ont été interprétées et ont permis de dresser une carte d'utilisation des sols en utilisant un algorithme de maximum de probabilité et des informations de terrain. La carte obtenue a été comparée en 1991 aux données de terrain et s'est avérée exacte à 82% (Dhman, 1995). La carte de la Figure 2 montre l'augmentation considérable des zones cultivées (63%) qui s'est produite en vingt ans.

La carte d'utilisation des sols basée sur les images Landsat-TM obtenues le 28 mars 1996 montre que les deux tiers de la zone du bassin-versant sont actuellement cultivées (Figure 2). Le recouplement informatique des cartes (pixel par pixel) dans un SIG a permis d'effectuer une analyse précise des changements par couples d'images (1976-1990 et 1976-1996). Par recouplement, on a obtenu des tableaux indiquant la fréquence à laquelle les types d'utilisation des sols ont changé. Les surfaces cultivées ont augmenté de 30% de 1976 à 1996, au détriment des garrigues qui représentent le premier stade après la forêt (Dhman, 1995). La technique informatique de différenciation d'images a permis d'obtenir la carte de la zone mise en culture depuis 1977. Le recouplement de cette carte avec la carte des pentes (DEM) a montré que l'extension des cultures avait surtout touché les pentes les plus raides. Cet empiètement des cultures de céréales non-irriguées sur des terres de plus en plus pentues et de rendement de plus en plus faible est le principal problème touchant le développement des bassins-versants dans la chaîne du Rif. Mallyani (1988) a établi le même ordre de grandeur en ce qui concerne le changement d'utilisation des sols (1% par an de la surface totale) (transformation de forêts ou de garrigues naturelles en cultures) observé de 1963 à 1987 sur un bassin-versant proche.

Ce taux alarmant de conversion des pâturages naturels de montagne en zones cultivées est le résultat de nombreux facteurs socio-économiques et politiques. L'élément principal est l'acquisition du droit de propriété sur une zone de forêts non encore délimitée, collective et appartenant à l'état. La suppression totale du couvert protecteur de la surface des sols expose ceux-ci aux pluies d'automne, torrentielles et dévastatrices. Ce qu'il est important de démontrer aujourd'hui, c'est que l'extension des cultures sans aucune mesure de préservation conduit à l'augmentation du ruissellement et de l'érosion des sols. Il est formellement établi que ce type de changement d'utilisation des sols appauvrit les terres et la qualité des pâturages des collines du Rif.

## Dégradation des sols

Le sol est le principal élément de l'écosystème des pâturages et sa stabilité est un critère majeur de détermination de la santé et de la durabilité de ces pâturages (FAO, 199 ?). Le surpâturage et la culture de ces prairies naturelles affectent les paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol. Dans les zones arides et semi-arides, c'est la dégradation des conditions hydrologiques de surface qui importe en premier lieu, car elle est liée à la dégradation de la végétation. Dans le cas du bassin-versant de Tleta, les changements de végétation tels que le passage d'une forêt de chênes-lièges à une zone de garrigue (« matorral »), à des formations arbustives basses (« erme ») ou même à un sol nu puis cultivé, affectent le régime hydrologique des sols car ils modifient les conditions de surface, et entraînent : la baisse des taux d'infiltration, ce qui touche la végétation

car celle-ci dépend de l'humidité des sols, et ce qui implique également une diminution du remplissage de la nappe aquifère ; un ruissellement moins régulier : de fortes inondations brutales sont suivies de périodes de faible débit ou même de débit nul ; l'augmentation de l'érosion des sols et du transport de sédiments, ce qui cause de sérieux problèmes de sédimentation dans les réservoirs de surface.

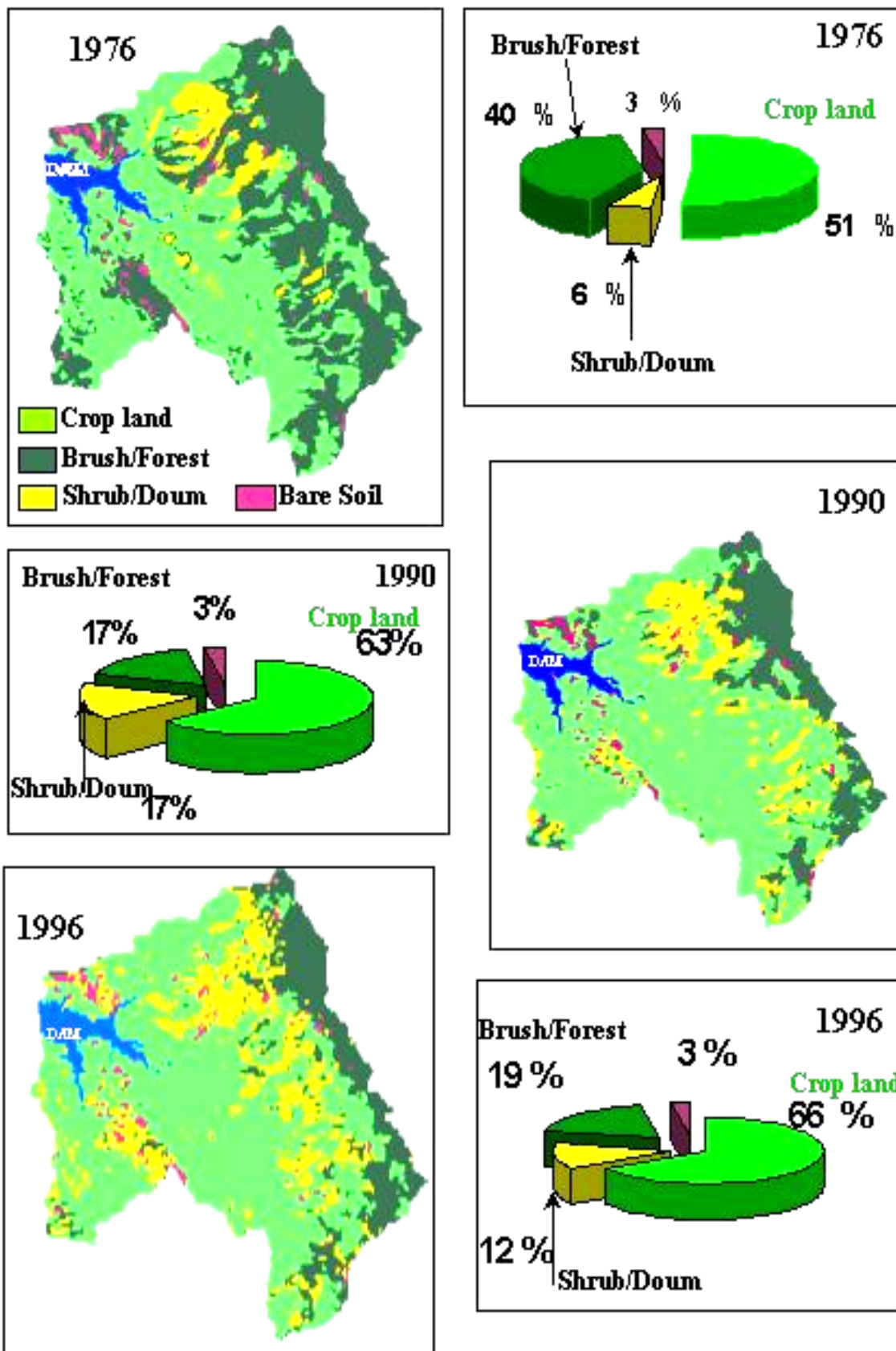


Figure 2: Shifting land use pattern and the vegetal cover depletion in the Telata watershed between 1976 and 1996.

Figure 2 - Changements d'utilisation des sols et dégradation du couvert végétal dans le bassin-versant de Telata de 1976 à 1996

Le résultat des trois thèses effectuées par des étudiants de l'IAV/ENFI (Ahyoud, 1978 ; Sabir, 1994 ; Chalrhami, 1998) a clairement démontré que, dans les pâturages, l'infiltration diminuait au fur et à mesure de l'appauvrissement du couvert végétal dû au surpâturage et à la fauche. Les tests effectués par infiltromètre double anneau ont établi que le taux initial d'infiltration ( $f_0$ ) pour un site planté de forêt (F) était considérablement plus important que celui d'un site de garrigue (M) ou d'« erme » (H), respectivement dans une proportion de 7,4 et 8%. Le site M (« matorral ») est considéré comme une zone de garrigue modérément dégradée, soumise à un pâturage permanent. Le couvert végétal boisé représente 41,3% des sites étudiés et est principalement composé de *Olea europea L.*, *Calycotome villosa*, *Pistacia lentiscus L.*, et autres palmiers nains dispersés (*chamaerops humilis*). Le site H constitue une zone très pâturée soumise à un pâturage collectif continu, et qui représente généralement un stade de transition de la garrigue à la culture. Sur ce type de site, les palmiers nains dominent. Une différence marquée a également été établie en ce qui concerne les taux d'infiltration finale et la conductivité saturée. Les courbes des taux moyens d'infiltration obtenus pour divers types de sols et de pentes du bassin-versant de Tleta ont confirmé la diminution nette et parfois drastique des taux d'infiltration finale au fur et à mesure que l'on passe d'une garrigue modérément pâturée (« matorral ») à une garrigue très pâturée (« erme » composée de palmiers nains) puis à une terre cultivée. Il se produit une imperméabilisation et il se forme une croûte sur les sols de l'« erme » de même que sur ceux des terres cultivées. La Figure 3 montre une courbe typique d'infiltration relative.

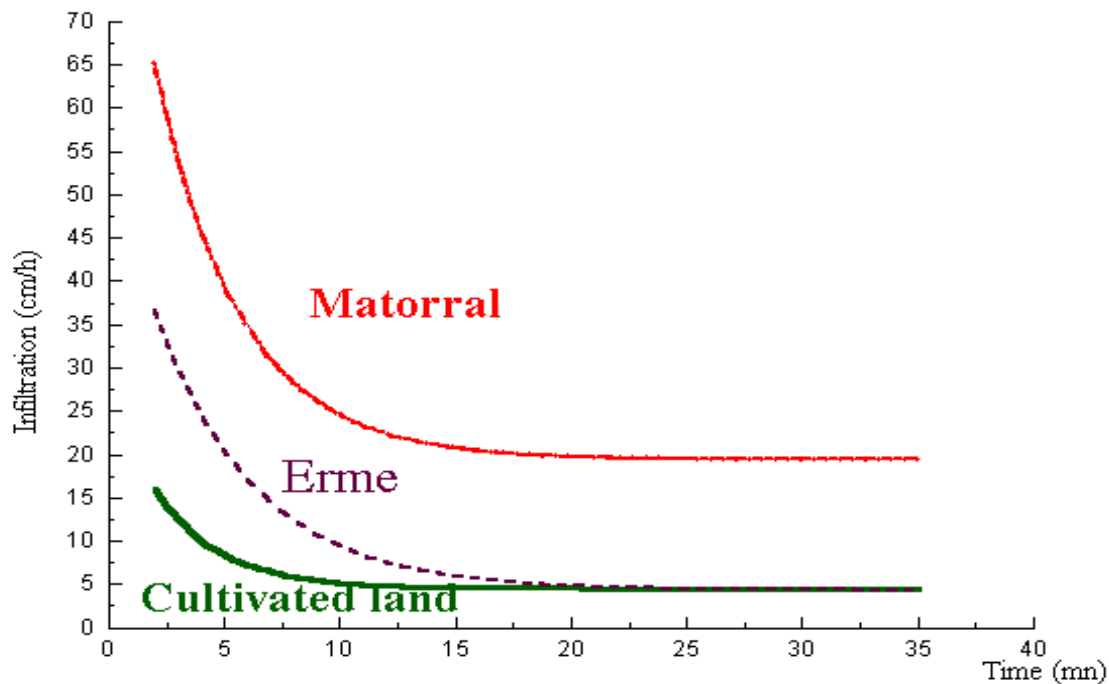


Figure 3 : Comparative infiltration rates for Matorral, Erme and cultivated land in the Tleta watershed.

Figure 3 - Taux d'infiltration comparés pour les zones de garrigue (« matorral »), d'« erme » et de cultures dans le bassin-versant de Tleta

Le piétinement des animaux affecte également les caractéristiques de la surface des sols. Dans un autre bassin-versant (la Moulouya), Sabir (1994) a utilisé un simulateur de précipitations et un infiltromètre double anneau pour montrer que le piétinement des troupeaux compacte le sol, perturbe sa structure et rend ses pores instables. Pour un taux de chargement en bétail de 0, 1, 2, 3, 4, 8 et 12 unités d'animaux/ha/an, la perméabilité du sol est respectivement de 193, 186, 169, 154, 140 et 137 mm/h. Cette même tendance a été observée dans le bassin-versant de Tleta. Ces effets négatifs sur l'hydrologie tendent à augmenter proportionnellement au nombre de têtes de bétail, ce qui entraîne une perte de ruissellement accrue. Pour une unité de terre couverte de « matorral », le taux optimal de chargement en bétail a été évalué à 1,3 unités d'animaux/ha/an (Mejjati Alami,

et al., 2000), alors que les taux actuels sont quatre fois supérieurs à ce seuil (Kouraimi, 1997). Cette surexploitation des terres concerne surtout l'automne et l'hiver, saisons durant lesquelles la surface du sol est très vulnérable aux impacts des pluies et du ruissellement. C'est pourquoi il est recommandé de rétablir un couvert végétal dense et de gérer correctement les activités de pâturage dans le cadre de tous les plans de réhabilitation de bassins-versants.

D'autres aspects de la dégradation des sols, comme la profondeur du sol ou la perte de matières organiques et de nutriments sont en cours d'étude dans la chaîne du Rif.

## **Effets des changements d'utilisation des sols sur le bilan hydrique et l'apport de sédiments**

Actuellement, il n'existe pas d'historique de données suffisant sur le ruissellement sur les parcelles expérimentales représentant divers types d'utilisation des sols et de niveau de dégradation des pâturages. La modélisation a donc été la façon la plus appropriée de simuler et d'évaluer les impacts potentiels de la dégradation des pâturages sur l'hydrologie et les processus d'érosion dans un bassin-versant du Rif. On a utilisé des données référencées spatialement sur l'utilisation et le couvert des sols et cartographiées à des dates différentes pour simuler des modèles hydrologiques et d'érosion représentant les effets de la dynamique d'utilisation des sols sur les schémas hydrographiques de ruissellement et le dépôt de sédiments. L'hypothèse était que si la dégradation des pâturages se poursuivait et si ces pâturages devenaient des terres cultivées, la période de niveau maximum des eaux diminuerait tandis que le volume total de ruissellement et le dépôt global de sédiments augmenteraient. Ces facteurs représentent les deux principales perturbations subies par le bilan et la qualité de l'eau, à considérer dans le cadre de la protection de l'environnement.

La réponse hydrologique a été évaluée selon la formule très largement adoptée du Service de Préservation des Sols (SCS, 1972), basée sur les valeurs de la courbe de ruissellement (CN). Cette méthode a attribué à chaque cellule de terre (pixel du SIG-Tleta) une valeur qui représente les caractéristiques hydrologiques originales du sol (groupe hydrologique établi à partir de la base de données géoréférencée sur les sols), l'état de sa surface (bon ou mauvais) en ce qui concerne l'infiltration (mesure des propriétés hydrauliques du sol), le type de culture (carte de l'utilisation et du couvert des sols), et la mise en œuvre de moyens de préservation susceptibles d'affecter l'infiltration (inexistants dans le cas du bassin-versant de Tleta). La Figure 4 montre les valeurs de CN utilisées pour les quatre principaux types d'utilisation des sols dans le cadre des quatre groupes hydrologiques (A, B, C & D). Plus la valeur du CN est élevée, plus le pourcentage de pluie qui ruissellera est important : on constate par conséquent que la dégradation des pâturages du « matorral » en « erme » ou en culture sans mesures de protection augmente le ruissellement. Les deux couches principales du SIG, le sol et la végétation, ont été utilisées pour dresser une carte des CN, à partir de laquelle on a déduit une valeur de CN pour chaque unité de sol afin d'en calculer le ruissellement. Des thèses exposent les détails de cette base de données basée sur le SIG et les modèles SCS (Dhman, 1995, Ezzine, 1998). La carte des CN obtenue pour l'état d'utilisation des sols de 1996 a montré que les 60% de l'aire du bassin-versant avaient une valeur de CN supérieure à 90, 35% entre 80 et 90, et seulement 5% inférieure à 80. La situation de 1976, période à laquelle le « matorral » et les forêts étaient plus denses et les cultures moins étendues, a montré un taux de ruissellement potentiel inférieur, avec seulement 48 % de la surface du bassin-versant ayant une valeur de CN supérieure à 90, 32% entre 80 et 90 et 22% inférieure à 80. Des simulations d'événements isolés, de même que les schémas hydrographiques annuels, ont confirmé que cette transformation de l'utilisation des sols entraînait en moyenne une diminution de 20% de la durée du ruissellement maximum et une augmentation de la profondeur du ruissellement total pour les mêmes précipitations observées en 1977 et 1996.

La même approche multirate (1977 & 1996) de simulation d'érosion des sols sur le bassin-versant de Tleta a été utilisée en appliquant l'équation universelle modifiée de perte de sol (RUSLE). Celle-ci a été largement utilisée au Maroc par les chercheurs et les forestiers régionaux dans le cadre des programmes de gestion des bassins-versants (Dhman, 1995). Des cartes numériques représentant les facteurs d'érosion des sols du modèle RUSLE ont été dressées à partir du SIG-Tleta. Ce modèle basé sur un SIG a évalué la perte de sol brute en tonne/ha/an pour chaque cellule de terre. La répartition du taux de perte de sol brute a alors été cartographiée pour le bassin de Tleta en utilisant d'abord le couvert des sols de 1996 (Facteur C, Figure 4). Un taux d'apport distribué (DR) utilisé par Dhman (1995) a permis au SIG d'estimer le taux de production de sédiments à partir de la carte de perte de sol brute. La valeur moyenne calculée pour le taux DR a été de 13%, ce qui est très



estimé en 1977 et de ces valeurs, les nutriments végétaux totaux déposés dans la retenue ont été quatre fois supérieurs au montant total d'engrais utilisés par les agriculteurs du bassin-versant. Avec la dégradation des pâturages, le dépôt de sédiments a augmenté et par-là, les risques de pollution. A cause de la production de sédiments récente (1996) de 47,2 tonnes/ha/an, la charge de nutriments arrivant dans le réservoir est très élevée et pratiquement au-delà de ce qu'il peut tolérer. L'étude a démontré qu'en doublant quasiment le dépôt de sédiments, la dégradation des pâturages accompagnée de l'absence de mesures pour la protection des sols a contribué à doubler la pollution de l'eau dans la retenue Ibn Battouta. Un système de suivi rapproché et précis est en cours d'installation dans le sous-bassin-versant de Saboun (Merzouk et al., 1998).

## CONCLUSION

L'évaluation de la dégradation des terres et la quantification de ses effets sur le bilan de l'eau dans un bassin-versant sont des facteurs essentiels pour comprendre correctement les mécanismes impliqués et prendre les mesures adéquates pour protéger les bassins-versants et permettre la mise en valeur durable des pâturages. Cette étude présente les résultats qui décrivent et évaluent les effets relatifs de la dégradation des pâturages et de l'empiétement des cultures sur l'hydrologie et l'érosion des sols d'un bassin-versant représentatif du Rif. Elle a démontré l'utilité de l'intégration des technologies de télédétection et des SIG pour le suivi précis de la dynamique d'utilisation des sols dans les montagnes des régions méditerranéennes. Les techniques de différenciation des images numériques ont été utilisées pour localiser les forêts et garrigues qui ont été mises en cultures au cours des vingt dernières années dans le bassin-versant de Tleta (Maroc). Ainsi, la forêt dense, la forêt clairsemée, le « matorral » dense (garrigue) et le « matorral » clairsemé (bouquets de végétation arbustive) ont diminué de 31% entre 1977 et 1996. Le déboisement, la mise en culture et le surpâturage sont les principales causes de ce changement.

L'analyse des réponses hydrologiques du bassin-versant (infiltration, ruissellement et dépôt de sédiments) a révélé que ces réponses étaient liées à la dégradation des pâturages. La rapidité de la dégradation du bassin-versant est également liée à la sensibilité de la terre. Ces effets ont été déduits d'une analyse spatiale et quantitative effectuée en utilisant les modèles courants d'hydrologie (SLS) et d'érosion des sols (RUSLE). Ces modèles basés sur des SIG ont été utilisés pour simuler la vitesse de dégradation des sols du bassin-versant de Tleta au cours des vingt dernières années. En effet, le modèle RUSLE a facilement été mis en relation avec le SIG-Tleta et utilisé pour estimer la perte de sol et le dépôt de sédiments pour chaque carte d'utilisation des sols (1977, 1990 et 1996). Grâce à l'intégration SIG-RUSLE, on a pu constituer des grilles élaborées et des fonctions de modélisation qui ont permis d'appliquer les modèles à l'évaluation des impacts. Malgré la concordance satisfaisante entre les prévisions sur les dépôts de sédiments et les apports réellement constatés, d'autres études sont nécessaires pour évaluer plus précisément les effets de la dégradation des pâturages au niveau de l'exploitation agricole et également pour préciser les paramètres du modèle correspondant à l'environnement de la chaîne du Rif (C, K, LS, P et CN). Le SIG prototype développé pour le bassin-versant de Tleta sera un puissant outil d'aide à la décision quand on lui aura ajouté des fonctionnalités d'analyse socio-économique. Les gestionnaires de pâturages et les responsables du développement des bassins-versants pourront l'utiliser pour analyser les divers scénarios de gestion possibles et leurs conséquences, afin de formuler des recommandations pour entreprendre les actions appropriées. ◆

Contact :

**Merzouk<sup>1</sup> A., Alami<sup>1</sup> M.M., Berkat<sup>1</sup> O. et Sabir<sup>2</sup> M.**

<sup>1</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP : 6202-Instituts, Rabat, Maroc

<sup>2</sup> Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI), Tabriquet, Salé, Maroc

E-mail : merzouk@mtds.com

## Références

- Ahyoud, A., 1978. Etude de l'infiltration relative dans le bassin-versant du Tleta. L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat. Mémoire de troisième cycle, 168 pp.
- Mejjati Alami, M., A. Merzouk et O. Berkat. 2000. Cartographie et diagnostic du niveau de production des écosystèmes pastoraux du Rif occidental (Bassin-versant Telata) à l'aide de l'imagerie spectrale. Pp 177-182.

- In : La télédétection Optique et Radar et la géomatique pour la gestion des problèmes environnementaux. A. Bennari, Editeur, Canadian cataloguing in Publication Data, ISBN 0-968690-0-X
- Chalrhami H., 1998. Etude comparative de l'infiltration relative en fonction des utilisations des terres et des types de sols dans le bassin-versant de Tleta (Tangérois). Mémoire de fin d'études de l'Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé. 120 pp.
- Chow, V.T., D.R. Maidment, and L.W. Mays, 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, Inc.
- DEFCS, 1977. Schéma d'aménagement du bassin-versant de Tleta. Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Rabat. 123 pp + 6 cartes .
- Dhman, H., 1995. Etablissement d'un SIG pour la cartographie de l'érosion des sols : Application au bassin-versant de Tleta. ENFI, Salé. Mémoire de troisième cycle, 125pp.
- Ezzine, H., 1998. Comparaison de trois modèles d'érosion en utilisant des techniques géomatique s: Application au bassin-versant de Tleta. L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat. Mémoire de troisième cycle, 98 pp+CR-Rom.
- Gifford, G.F., 1978. Use of infiltration coefficients as an aid in defining hydrological impacts of range management schemes. *J. Range Manage.*, 31(2):115-117.
- Hanson e, C. L., Khlman, A.R., Erickson, C.J. and Lewis, J.K., 1970. Grazing effects on runoff and vegetation on western South Dakota rangeland. *J. range Manage.*, 23(6) :415-420.
- IAV-USU (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et Utah State University), 1993. Stratégie nationale de développement de l'élevage et des parcours. Rapport de la Phase I de l'étude effectuée pour la Direction de l'Elevage du Ministère de l'Agriculture et de la mise en valeur Agricole, Rabat, Maroc.
- MADRP-MECEP, 1996. Plan National d'Aménagement des bassins-versants. Ministère d'Etat Chargé des Eaux et Forêts. Rabat. Rapport principal.
- Merzouk, A. and H. Dhman, 1998. Shifting land use and its implication on sediment yield in the Rif mountains (Morocco). *Advances in GeoEcology* 31, 33-340.
- Merzouk, A., 1988. L'érosion hydrique des sols déprécie leur productivité. *ATTABEA, Revue des Naturalistes Enseignants*, 55 /87-88 : 56-65.
- Merzouk, A. Alami M.M., Albergel, J., Benyounes A.. 1998. Procès Verbal d'installation du bassin-versant expérimental du barrage collinaire Saboun (Tangérois). Document Technique N°1 du programme Hydromed. Rabat. 20 pages.
- Merzouki, T., 1992. Diagnostic de l'envasement des grands barrages marocains. *La Revue Marocaine du Génie Civil*, 38 : Avril, 1992.
- Moussadek Rachid, 2000. Caractérisation hydrodynamique des sols du bassin-versant Saboun. L'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, rabat. Mémoire de troisième cycle, 108 pp.
- Ramsey, R.D., Black, T.A., Edgley, E., and Yorgason, N..1999. Use of GIS and Remote sensing to map potential Columbian sharp-tailed Grouse Habitat in southern Idaho. A final report to the USDI/BLM, Malad field Station, Idaho. Task O. 06 AA N°:1422-D910-A3-0210.
- Renard, K.G., Foster, G.R. Weesies, G.A., MCCool, D.K. and Yoder, D.C.. 1996. Predicting soil erosion by water : A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), USDA/ARS.AG Handbook #703. Washington, D.C.
- Sabir M., 1994. Impact du pâturage sur les caractéristiques de l'état de surface et les propriétés hydrologiques du sol dans un milieu pastoral aride : Aarid (Haute Moulouya). Thèse de doctorat es-sciences agronomiques, IAV Hassan II, Rabat, Maroc.
- Sample, V. Alaric editor. 1994. Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management. Island Press, Washington D.C.
- Soil Conservation Service (SCS) 1972. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. USDA-SCS. Washington, D. C., 112 p.
- Tayaa, M., 1999. L'érosion dans le bassin-versant de l'oued Nakhla. Rapport technique pour le projet pilote de contrôle de l'érosion des sols dans le bassin-versant de l'oued Nakhla. Ministère de l'Environnement, Rabat.