

# GESTION DES EAUX ET DES TERRES ET PHENOMENES DE DEGRADATION DANS LES COLLINES DE KSAR EL KEBIR, MAROC.

**Abdellah LAOUINA<sup>1</sup>, Rachida NAFAA<sup>2</sup>, Celeste COELHO<sup>3</sup>, Miloud CHAKER<sup>1</sup>,  
Teresa Carvalho<sup>3</sup>, Anne-Karine Boulet<sup>3</sup> & Antonio Ferreira<sup>3</sup>**

(1) Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, BP 2122, Ryad, 10104  
Rabat, Maroc. Tél 212 7 771893, Fax 212 7 772068, E. mail : [laouina@acdim.net.ma](mailto:laouina@acdim.net.ma)

(2) Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, Mohammédia, Maroc.

(3) Departamento de Ambiente e Ordenamento, Université d'Aveiro, Portugal.

**Résumé :** Dans les collines de Ksar el Kébir, sur des versants aux pentes moyennes, le ruissellement et la perte en sol sont importants quelle que soit l'utilisation des terres. Les transformations culturelles, avec l'extension de la SAU et l'introduction des cultures industrielles favorise l'exagération des formes. Dans les parcours fortement dégradés, seules les portions ayant conservé une certaine couverture végétale, ont résisté au ruissellement. Devant les prélèvements excessifs sur le couvert végétal naturel, on peut conclure que la dégradation des parcours collectifs, constitue une menace réelle et persistante pour les terres de parcours elles-mêmes et pour les terres céréalières situées en aval. Les ruissellements excessifs expliquent aussi la baisse des nappes phréatiques et l'assèchement des puits. Une bonne protection des terres et des ressources signifie dans ces milieux, avant tout, une gestion rationnelle des eaux. Cet objectif pourra alors s'intégrer dans une optique plus générale des communautés humaines.

**Mots clés :** Maroc, Collines de Ksar el Kébir, Ruissellement, Dégradation des terres, Protection des ressources, Gestion rationnelle des eaux.

**Abstract :** In The hills of Ksar el Kebir, on middle slope, overlandflow and soil loss are important whatever land use may be. Cultural transformation with the agricultural surfaces extension, and the introduction of industrial cultures, fosters forms exaggeration.

In the grazing areas, strongly deteriorated, only portions which have preserved a certain vegetation held out against overlandflow.

Faced to the excessive appropriations on the natural vegetation, we conclude that the collective grazing lands defacement constitutes a real and persistent threat for the pasture lands themselves, as well as for cerealar lands situated below. Excessive streaming explain also the phreatic sheet decrease and the well drying. A good protection of land resources signifies in those environments, above all, a rational management of water. This aim would then combine with a more general human communities optic.

**Key word :** Morocco, hills of Ksar el Kebir, overlandflow, land degradation, resources protection, water rational management.

## **Introduction :**

Des recherches sur la gestion de l'eau et des terres sont conduites par une équipe d'enseignants<sup>1</sup> et d'étudiants. Le domaine d'observation et d'expérimentation sélectionné est situé sur le piémont rifain dans la région de Ksar el Kébir et englobe les communes de Tatoft et Bou Jédiane<sup>2</sup>.

Les thèmes sont centrés sur la gestion de l'eau sur les versants (aspects agronomiques, humidité des sols, l'infiltration, les problèmes de drainage et de ruissellement, problèmes de déficit ou d'épuisement et la gestion de la rareté, les moyens de promouvoir l'économie de l'eau), la gestion des sols et des ressources végétales, la gestion des axes hydrographiques, et la protection contre les crues et les destructions. L'objectif du travail mené dans la région de Ksar el kébir vise le développement des communautés rurales, en initiant des actions pour profiter au maximum des eaux de pluie, dans le but de dépasser les situations de pénurie d'eau et disposer aussi bien d'eaux d'irrigation que d'eau potable. Ces actions doivent aussi permettre d'éviter les destructions et les dégradations de qualité des eaux.

## **1- Les systèmes agraires et de gestion des eaux et des terres et leur évolution**

### **1-1- Problématique générale :**

Dans le cadre du système agraire du Prérif, la moyenne montagne, sur les bordures de laquelle se concentrent de gros douars est caractérisée par la variété de ses terroirs, plus riches en eau immédiatement disponible et à l'abri des calamités naturelles ; elle représente un milieu favorable, que contredit la situation sociale actuelle. Les terroirs physiques de ces milieux se caractérisent par la complexité de leur agencement spatial qui aboutit à la différenciation de plusieurs niches écologiques. La végétation est par ailleurs largement modifiée par l'homme et l'activité de pâturage (Direction des eaux et Forêts, 1978).

Les rapports homme-environnement avant la colonisation découlent des possibilités offertes, caractérisées par une pression démographique déjà élevée et l'obligation de gérer des ressources diverses, mais limitées, ce qui obligeait à un comportement de sauvegarde que la communauté adoptait, grâce à un effort collectif d'organisation et de contrôle (Laouina, 1995). La gestion de l'espace était menée dans une perspective de lutte permanente pour assurer une certaine stabilité et éviter la pénurie : il fallait affronter le manque d'eau et en même temps maîtriser les excès.

Lorsque les territoires des tribus ont été amputés, une réelle mutation de l'espace s'en est suivie. L'espace des communautés a été fortement réduit suite aux prélèvements de terrain en plaine et à l'acquisition par le terrain forestier d'un statut domaniale. L'éclatement des groupes qui s'en est suivi a abouti à des comportements individuels non respectueux des ressources.

Dans ces milieux d'activité agro-sylvo-pastorale, la problématique de la gestion de l'eau et des terres se pose en terme de prise en compte globale des problèmes de développement des communautés humaines. Dans ces milieux difficiles il est nécessaire de gérer la ressource de manière efficace, en prévision des situations des années sèches, pendant lesquelles les sources sont taries, la baisse des niveaux des puits maximale alors que les sols asséchés prennent en masse et réduisent les rendements. Les situations des moments d'humidité excessive ne sont pas moins difficiles, avec une dégradation hydrique des terres et entraînement des semences, des crues pouvant donner des destructions d'infrastructures, des cultures et de l'habitat (Avenard, 1995). Ces crues peuvent être générées aussi bien par de grandes vallées organisées avec des apports d'eau de grand volume sur une période assez longue que par de minuscules bassins-versants en cas de pluies concentrées (flash-floods dévastateurs en vies humaines et animales surtout). Les modes d'érosion sont très variés, dans l'espace comme dans le temps; les phénomènes de faible fréquence et de forte magnitude sont les plus agressifs, car ils causent en même temps une ablation généralisée et une forte concentration hydrologique, responsable de destructions sévères en aval. Le dernier problème est celui de la dégradation de la qualité des eaux, car sur les terres agricoles, l'utilisation d'engrais génère une pollution azotée des nappes d'eau. Par ailleurs, la moindre concentration humaine entraîne des rejets directs dans le réseau hydrographique ou dans la nappe.

Dans ces milieux complexes, les problèmes se posent différemment et corrélativement, les objectifs d'aménagement peuvent sembler contradictoires. Une bonne gestion de l'eau a d'abord pour objectif de relever sa disponibilité au niveau des racines afin d'accroître la biomasse tout en réduisant le ruissellement aréolaire, responsable de crues en aval et d'ablation des sols (Arabi et Roose, 1989, Arabi, 1991). Mais, elle doit aussi viser la diversion des surplus d'eau afin d'éviter la saturation des sols et le fonctionnement des processus de glissement, tout en protégeant les drains dans le but de réduire les risques générés par le ruissellement concentré.

Dans les cas habituels, le ruissellement en nappe peut être important ; il alimente le débit des ravins où se réalise une érosion concentrée importante. L'objectif est de réduire ce ruissellement dévastateur en aval, même si d'habitude il peut rester modéré dans le champ lui-même (Heusch, 1970). La réduction du ruissellement et des pertes en terre sur terres agricoles a ainsi l'impact indirect d'amélioration des rendements et de la production ; elle suppose donc des aménagements des techniques culturales, l'augmentation de la densité du couvert végétal par apport d'engrais et emploi de semences sélectionnées. Cela signifie la nécessité de passer d'une agriculture de subsistance à une agriculture de marché, ce qui sous-entend l'équipement des terroirs, la construction d'infrastructures, le conditionnement des produits agricoles.

Les aménagements fonciers, comme l'aménagement du versant en terrasses, en murettes en sections séparées par des talus enherbés visent le même but. Mais il faut déterminer dans quelles conditions ces techniques sont efficaces. L'accroissement de production lié à la réduction du ruissellement et de la perte en terre représente sans doute une réalité, mais cela suppose de rechercher le coût/efficacité de ces aménagements sur la perte en terre et sur les rendements.

### **1-2- La région étudiée :**

Le site d'étude correspond à une région marginale, caractérisée par une exploitation double de la forêt de chêne liège et des terres agricoles et pastorales périphériques. Il est par ailleurs proche d'une région agricole en plein développement. La région de Ksar el Kébir (Communes de Tatoft et de Bou Jedyane) à la limite des premières crêtes numidiennes, représente une zone de contact entre la basse montagne rifaine couverte par la forêt de chêne liège et des collines utilisées comme terres agricoles et pastorales. Des transformations agricoles et rurales importantes sont en train de se dérouler, en fonction de la proximité de la ville (Ben Attou, 1992) et d'un périmètre de grande hydraulique. Ces évolutions sont susceptibles d'avoir des impacts environnementaux, notamment sur la dynamique des eaux et la stabilité des terrains.

Sur ce piémont du Rif, en milieu sub-humide méditerranéen, malgré l'abondance des pluies, certaines contraintes physiques entravent les efforts déployés par les paysans et posent le problème de la modicité et de l'irrégularité des rendements agricoles, en plus de ceux de la gestion de l'eau et de la dégradation des terres avec acuité. Dans la région, les douars sont groupés sur des sommets rocheux des collines marno-calcaires, dominant les fonds des dépressions vouées à la céréaliculture. Cette localisation s'explique autant par la volonté de profiter des suintements issus des bancs calcaires que par la crainte des situations d'excès d'eau ou d'inondation sur les basses pentes et les bas-fonds. Les agriculteurs de la région souffrent particulièrement de l'irrégularité des pluies, puisque les sols et les cultures sont fortement endommagés par l'érosion lors des pluies excessives d'une part et par les sécheresses d'autre part.

Pour surmonter les déficiences hydriques, il est nécessaire de bien gérer les eaux pluviales pour répondre aux besoins des populations et du cheptel.

Depuis quatre ans, un suivi des terres agricoles nous a montré que les paysages agraires de la région sont souvent endommagés par des griffes, des ravinements, des foirages qui ne cessent de se développer. Non seulement on assiste à une perte du capital sol, mais les cultures de certaines années sont condamnées également.

L'aléa climatique frappe doublement les cultures en sec, notamment les céréales, les cultures oléagineuses et les betteraves :

-D'abord en cas de retard des pluies, les sols marneux asséchés deviennent compacts et prennent en masse, à la suite d'une humectation passagère, empêchant ainsi la levée.

-Les pluies diluviennes hivernales s'abattent concentrées dans le temps ; le sol est saturé en surface, notamment car il présente des caractéristiques fortes de battance ; le ruissellement s'organise rapidement, dès que les premiers centimètres du sol sont humectés, emportant les sols et les graines des champs fraîchement labourés.

-Au printemps, mais parfois dès février, la sécheresse prématurée frappe de nouveau et assèche les cultures ; les plantes acquièrent un aspect chétif, jaunâtre, alors qu'à la surface du sol, une grille de fissures se développe, condamnant l'extension du système racinaire ; le cycle de croissance végétale et de fructification se trouve avorté.

La dynamique environnementale est bien perçue par les habitants de la région. Cette perception des processus physiques est basée sur une observation quotidienne, de l'extension des ravines, de la menace de transformation du ruissellement aréolaire en griffes et rigoles, de la corrélation entre la perte en sol et en graines d'une part et le rendement de l'année.

Mais dans ces régions de basse montagne humide, certains aspects de l'environnement sont peu pris en compte dans la stratégie paysanne de gestion de l'espace et des ressources, contrairement à ce que l'on remarque dans les montagnes atlasiques ou dans les oasis :

-La gestion de l'eau sur les versants : il y a moyen d'économiser l'eau de pluie, constituer des réserves, faire mieux profiter les cultures et en même temps réduire les risques de crues et du ruissellement, grâce à une meilleure rétention des précipitations.

-La gestion de la fumure et des résidus de culture, pour une amélioration de la structure du sol et de sa porosité et la réduction du ruissellement. En fait, il n'y a pas d'intégration de la culture et de l'élevage et ainsi, le fumier est mal ou pas du tout utilisé.

### **1-3- Description du paysage et du système agraire :**

En liaison avec une occupation ancienne, tout le paysage collinaire est utilisé (El Ayachi, 1988). Sur les pentes assez fortes, les cultures vivrières sont mêlées aux plantations d'oliviers (souvent des oléastres greffés). Mise à part la forêt domaniale (matorral arboré), la plupart des terres sont privées (*melk*). Les cultures céréalières couvrent environ 60% des terres. Les jachères servent de terrains de parcours d'hiver, alors qu'en été, les troupeaux sont conduits sur les chaumes. Lors des sécheresses prolongées, le matorral voisin devient la ressource unique.

Sur les pentes faibles, aux sols plus épais, la betterave, les légumineuses et le tournesol se développent, car leur culture est relativement encouragée par l'Etat. Ils peuvent être pratiqués même dans des petites parcelles. La plupart des paysans ont une ou deux parcelles destinées à ce type de production. Ces cultures industrielles en sec (*bour*) ont été introduites dans la région depuis plus de 15 ans.

Dans les années 1960 et 70, la région a bénéficié des actions menées dans le cadre du programme DERRO. En plus de chantiers pour ouvrir des pistes, ce programme a mené plusieurs actions de lutte contre l'érosion (banquettes fruitières, notamment). Dès 1975, mais surtout dans les années 80, le Projet Loukkos a visé la modernisation de l'agriculture par la création du périmètre du Loukkos. Les collines aux sols vertiques ont alors été décrétées zones de *bour* industriel tandis que la zone montagneuse devait recevoir des interventions forestières de défense et de restauration des sols. Le barrage Al Makhazine a permis de régulariser les eaux du Loukkos à l'aval, mais les habitants de la région collinaire ont continué de souffrir de la pénurie d'eau ; l'exode rural s'est même renforcé.

Les basses collines n'ont pas beaucoup évolué et n'ont été que très partiellement intégrées dans les aménagements de la région. De gros problèmes menacent la durabilité du système et des ressources naturelles, notamment celui de la marginalisation de cet espace de contact. Les perspectives futures de développement sont incertaines face à la libéralisation du marché.

La surface agricole se répartit entre 9300 ha de terres privées, 4394 ha de terres *jmaa* (collectives) et 670 ha de terres *Habous* (*biens religieux*). Le morcellement des terres constitue une contrainte majeure ; les parcelles lointaines sont souvent délaissées. Le nombre moyen de parcelles dans une exploitation est de 5 parcelles, mais peut dépasser 10. La distance peut atteindre une dizaine de km, par rapport au *douar*. 85% des terres privées sont exploitées en faire-valoir direct et 15% dans le cadre d'*al moucharaka*, (association) ou *Almougharassa* (association concernant les plantations fruitières).

Lors de l'aménagement du périmètre irrigué du Loukkos, les basses montagnes marneuses et marno-calcaires ont été annexées au projet afin de justifier la création d'une sucrerie mixte (betterave et canne). L'introduction de la betterave a été pratiquement forcée ; mais petit à petit cette culture a intéressé tous les paysans. En 1997/98, à la suite du désengagement de l'Etat et des dommages causés par les pluies diluviennes de 1996 qui ont emporté les plants de betterave, 78% des cultivateurs qui pratiquaient la betterave, ont refusé de continuer.

Devant l'incertitude des rendements des cultures, l'élevage constitue une soupape de sécurité pour équilibrer le budget familial. Il s'appuie sur deux ressources fourragères : les parcours des espaces collectifs des collines encore couvertes de végétation et la forêt de la montagne voisine. Le parcours collectif est constitué d'une strate de palmiers nains, de lentisques et d'oléastres fortement surpâturés et d'une strate herbacée vivace et annuelle (graminées, légumineuses). Ces pâturages occupent des versants entiers délaissés à proximité des douars, parfois à cause de leurs sols médiocres.

L'élevage s'appuie aussi sur les sous-produits des cultures (pailles, feuillages, chaumes, jachères etc.). L'alimentation du cheptel est assurée à 30% par les parcours et à 70% par les surfaces cultivées. Ce type d'élevage entrave les améliorations techniques comme le labour précoce (besoin en parcours sur les chaumes jusqu'à leur épuisement total) ; l'introduction des cultures printanières (tournesol) provoque d'ailleurs des modifications fourragères en réduisant l'espace des jachères pâturées.

L'impact du surpâturage sur l'environnement est évident, car il aboutit à une diminution de la végétation pérenne et à son remplacement par des annuelles peu appréciées. Les sols des parcours sont de plus en plus exposés au ruissellement et à l'érosion. La recharge des aquifères souffre aussi de la croissance du ruissellement.

Néanmoins, l'élevage joue un rôle social important, car il compense l'insuffisance des revenus provenant des cultures. Pendant les deux années agricoles difficiles (1997 et 1998), le cheptel n'a pas beaucoup évolué : 94% des habitants n'ont pas acheté de bovins, et 92% n'ont pas acheté d'ovins. En l'an 2000, à la suite des pluies de printemps, l'amélioration de la qualité des parcours a incité les paysans à acheter des ovins et à grossir leurs troupeaux, au moment où on a observé la chute des prix de bétail à travers tout le pays concerné par la sécheresse.

Le bois de feu reste la source d'énergie principale ; les prélèvements de bois de lentisque et d'oléastre sont importants ; malgré l'imprécision des réponses, on constate sur le terrain que le prélèvement dégrade fortement les ressources végétales.

## **2- Processus de dégradation des terres, observations et mesures.**

### **2-1- L'observation des formes et des processus**

La région de Tatoft est un terrain à substrat marneux, avec des sols vertiques, dans lesquels s'inscrivent de nombreuses ravines d'érosion. Les sols des sites étudiés sont essentiellement argilo-limoneux. La part des argiles dépasse 50%, les limons constituent une bonne partie de la texture avec 35%. Ces sols sont donc lourds et peu perméables. Leur humectation se fait par pénétration de l'eau le long des fentes de rétraction, alors que l'imprégnation interne prend du temps, à cause de la forte présence des argiles ; mais une fois le seuil de saturation atteint, la porosité est pratiquement fermée et l'imperméabilité acquise car l'eau est retenue dans les micro-pores. La saturation apparaît lorsque la capacité d'infiltration est stabilisée. Par contre l'assèchement entraîne la formation d'une forte fissuration jusqu'à l'altérite.

Le profil pédologique est peu différencié. On peut distinguer des horizons de types A(B)CR alors que dans les vallons, les sols deviennent vertiques et plus épais à cause de l'accumulation colluviale de fines : ils dépassent parfois 1,5 m d'épaisseur. Les sols lourds, argilo-limoneux, de faible pierrosité ont une structure battante malgré la forte teneur en calcaire actif.

Tableau n° 1 : Les caractéristiques physiques du sol

	Sites	Argile %	Limon fin %	% Limon grossier	Sable fin %	% Sable grossier	% Mat. Organique
Tatcult 1	Parcours	56.8	29.2	3.2	4.3	6.5	1.89
Tatcult2	Céréales	54.5	27.3	8.4	5	4.7	2.32
Tacult3	Jachère	56.3	25.9	9.4	4.5	3.9	3.27
Tatcult 4	Jachère	50.9	27.7	10.2	5.5	5.7	0.71
Bakparc.1	Jachère Parcours	56.1	29.2	5.7	3.3	5.9	1.07
Bakparc 2	Parcours	60.8	27.3	10.2	5.5	5.7	0.71
Biar	Parcours très dégradés	25.2	42.7	14	7.5	10	1.3

La formation du ruissellement sur les pentes est commune sur ces sols ; elle est à l'origine de la genèse et de l'évolution de formes d'érosion allant jusqu'au ravinement, sur les sols cultivés, les jachères et les parcours. Les ravinements évolués existent depuis longtemps dans les zones de parcours, alors que les ravinements récents, observés dans les terres agricoles, paraissent être le résultat d'une dynamique nouvelle, à mettre en relation avec les changements agraires, à savoir la mécanisation des travaux agricoles et la mauvaise gestion des matières organiques (absence de restitution des résidus).

L'analyse des processus a été effectuée en se basant sur l'observation directe des empreintes marquées dans le paysage, tout en les confrontant aux résultats de mesures sous pluies simulées.

Plusieurs sites ont été analysés, en plus des observations plus générales :

- un ravinement sur terre labourée, au nord du centre urbain de Tatoft,
- une terre en jachère depuis 6 ans, au SW du bassin d'Adir el Baghla,
- une ravine de fond de vallon,
- des ravinements généralisés dans les parcours dégradés de Bakkara et d'El Biar.

Dans les deux premiers cas, il semble que les ravines se sont constituées suite à des pluies durables, ayant abouti à des situations de saturation et d'engorgement profond.

Le dépassement des capacités d'infiltration peut être à l'origine du ruissellement (Muxart et al., 1990); c'est le cas des terrains sans sol dans les bad-lands ; dans ces terres très dégradées, le ruissellement est immédiat et son taux ne varie pas avec le temps. C'est aussi le cas des terres mécaniquement tassées, du fait du piétinement dans les couloirs entre les buttes de doum ou sur les terrassettes de "pieds de vaches". La formation de pellicules de surface peut aussi causer ce genre de situation. Un rôle essentiel est alors joué par le couvert végétal, ce qui sous-entend une grande différenciation selon les saisons. Le sol en profondeur n'est pas saturé.

Selon le couvert végétal et l'état de surface, le front d'humectation varie. Dans les parcours à doum en touffes, le ruissellement se concentre entre celles-ci, notamment dans les zones tassées ; mais les touffes jouent aussi le rôle de barrages. Dans les jachères, les plantes annuelles permettent au ruissellement de s'organiser plus facilement. Par contre, sur sol labouré, la différenciation est à échelle plus réduite ; les mottes supérieures fondent et les particules tapissent les creux ; l'accumulation d'argiles et de limons imperméabilise ces creux, surtout après formation de croûtes sédimentaires (de 1 à 30 mm).

### Formes et types de ravinements

Une différenciation fondamentale est à introduire entre ravines élémentaires de versant et ravines à bassin de réception, localisées dans les vallons à épaisses accumulations colluviales. Les premières sont des ravines de petite taille, presque toujours linéaires, situées sur des versants. La longueur de pente (ampleur de l'incision du réseau hydrographique) joue un rôle important dans la vigueur d'encaissement des ravines et leur densité. Les secondes présentent un bassin d'alimentation avec un réseau ramifié ; elles se situent dans des formations colluviales épaisses, correspondant à des vallons

anciens, comblés de sédiments. Il ne s'agit souvent pas de formes récentes, même si elles ont pu être réactivées récemment. La morphologie et les formations superficielles héritées jouent un rôle fondamental dans la localisation et le développement des ravines (Roose, 1994).

Il est nécessaire de différencier le rôle du ruissellement de surface issu des terrains amont de celui du ruissellement hypodermique ressortant des matériaux colluviaux. Les suintements d'eau sous les sols existent. Ils expliquent des phénomènes de tunnelling et des reculées ; mais c'est surtout lors des phases de ruissellement en nappe ou en rigoles depuis l'amont que les ravines sont actives : phénomènes de chute et de recul de tête. Mais il n'empêche que les formes de ravines nées en aval et remontant tout un versant sont rares. La dynamique générale est plutôt issue d'amont, mais avec des points où l'incision s'exagère, suivis par des ré-affleurements d'eau en surface. Les ruptures de pente jouent à ce propos un rôle important.

- Le ruissellement né à la surface du sol est forcément lié à des états de surface ; on l'obtient dans les champs cultivés au milieu de l'hiver, après la succession des pluies d'automne qui suivent la période de labour ; on l'observe aussi dans les jachères et les terres de parcours, avec la double action de l'effet de la battance sur sol nu et celui du piétinement des animaux.

Ces différents terrains ruissellent lors de certains événements hydrologiques : des traces ont été observées sur le terrain dans les parcours et jachères, mais aussi dans les champs cultivés, notamment dans la betterave en ligne. Mais la fréquence d'occurrence du ruissellement à impact élevé est faible, selon les affirmations des populations locales.

Le ruissellement de surface, lorsqu'il prend assez d'importance, peut finir par se concentrer et acquérir une certaine énergie érosive, capable de creuser la terre et de former des ravines. Cette énergie érosive augmente en principe avec la pente ; on a d'ailleurs remarqué qu'il existait une relation fréquente entre les ruptures de pente, les talus de solifluxion, les entailles profondes des vallées et la localisation des ravines les plus incisées. Par contre les convexités sommitales sont plus stables. Mais les ravines ne sont pas exclusives des pentes fortes. On les retrouve beaucoup plus en pente régulière ou dans les concavités de bas de pente, à l'aval d'un large impluvium. L'alimentation des ravines est assurée par ce ruissellement, qui laisse des traces en amont, et qui assure un allongement des entailles par érosion régressive. Nous avons noté aussi que les rigoles évoluent en ravines après une certaine longueur de pente, de l'ordre de 50 m, et que le ravinement est favorisé par les formes concaves des versants.

-L'écoulement hypodermique, au contact des formations superficielles et de la roche en place est souvent de faible profondeur, à cause de l'aspect squelettique des sols. Cet écoulement lent est drainé par les ravines les plus profondes ; son affleurement lui confère une vitesse et une énergie qu'il n'avait pas en situation interne ; il opère alors une érosion axiale latérale par sapement des berges, responsable du profil transversal à fond large et plat sous des berges verticales. Ce phénomène double interne puis externe s'exagère lorsqu'il existe dans la formation des matériaux solubles, tels le gypse. Les phénomènes de suffosion peuvent alors jouer un rôle important. C'est le cas à proximité du douar de Bakkara où des tunnels sont prolongés par des ravines à l'air libre.

Dans les vertisols, l'écoulement hypodermique est limité à la phase première de l'humectation, tant que les fissures sont ouvertes. Dès la fermeture du réseau de fissuration, l'eau ne peut plus progresser qu'à très faible vitesse. Les rigoles servent alors de drain évacuant les eaux du sol avant d'évoluer en véritables ravines.

Dans les terres cultivées, la semelle de labour joue le rôle de niveau de base pour la circulation du ruissellement hypodermique et de niveau de soutirage de matériel. Cet écoulement et cet appauvrissement de sub-surface est suivi de l'effondrement du matériel superficiel et de la constitution de rigoles discontinues.

Des relais entre les deux types de processus ont été observés. Sur le versant de la colline faisant face au douar de Tatoft, le ruissellement diffus ou en griffes, dans le parcours d'amont passe dans le champ, à l'occasion des ruptures de pente à des ravines élémentaires. Le même ruissellement se transforme en rigoles dans la concavité d'aval. Les sous-écoulements jouent un rôle cumulatif dans

l'alimentation de la ravine, à cause de l'épaississement du sol, dans cette section concave. Le cours de la ravine du collège de Tatoft montre une succession de sections de ravinement, de tunnels, de creux de piping et de phénomènes de réinfiltration. Ainsi, les ravines nées du ruissellement évoluent aussi par drainage de nappe alors que les berges verticales des ravines de soutirage s'émousent sous l'effet de la gravité. La destruction de la berge débute à la jonction de l'horizon de sol verticale (50 à 80cm) et de la roche en place plus ferme. La stabilisation est assurée lorsque ces berges sont colonisées, ainsi que le lit, par la végétation naturelle.

Dans les terres labourées, comme dans la jachère, l'évolution des ravines est accentuée non seulement par les événements pluviométriques déclenchant le ruissellement, mais aussi par le recul des berges pendant les phases sèches, sous l'effet de la fissuration et de l'effondrement des blocs de sol en pans entiers dans le lit de la ravine. Ces éboulis seront évacués lors des grosses averses ultérieures par la suite. Ainsi, les ravines peuvent avoir des profils en V dans les cas où l'encaissement se fait essentiellement dans la roche mère tendre altérée et en U, dans les cas où la ravine n'est taillée que dans le sol, profondément fissuré.

Il existe au moins deux générations de formes de ravinement et de dégradation des terres : des ravines anciennes, mais évoluant de manière discrète, localisées dans les sites de dégradation particuliers, comme les "drailles" et des ravines "juvéniles" inscrites en coup de scie dans le paysage. Les pistes fréquentées en permanence par le troupeau, à la sortie des douars, sont des formes de dégradation extrême avec roche marneuse subaffleurante, au milieu de petites buttes de doum; mais l'exportation actuelle de matériel n'y est pas maximale. L'autre génération est celle des ravines élémentaires nées récemment. Il faut signaler l'importance des événements pluviométriques particuliers. Ainsi, l'essentiel des formes nouvellement incisées (jeunes ravines) date de l'épisode 1996-97. Depuis, certaines formes ont tendance à s'émousser, ce qui confirme la faible fréquence de ces phénomènes d'incision profonde. Les pluies de janvier - février 1996 et celles de décembre - janvier 1996-97, étaient des pluies "de saturation", c'est à dire des pluies continues et fortes causant une imprégnation profonde et des érosions importantes; elles initient notamment le creusement de rigoles et de ravines. La saturation progresse d'aval vers l'amont de versants même si la nappe des sols continue à se drainer vers le bas, mais à une vitesse inférieure à celle des apports (cumul des pluies et du lessivage oblique). Sous pluies plus fortes, le ruissellement d'amont n'arrive plus à s'infiltrer en section moyenne; il y a alors organisation continue et le ruissellement d'amont rejoint le talweg. Ce sont les moments les plus dangereux pour les sols comme pour l'évolution du relief.

Une séquence de versant peut être analysée. Les colluvions s'épaissent vers l'aval, alors qu'en amont, sur le sol dégradé, le ruissellement est initié; il s'infiltrer vers l'aval dans le matériel épais. Plus en aval, dans les vallons, l'écoulement se fait à partir du drainage des colluvions et de la roche altérée.

Dans la zone des parcours plusieurs terrains peuvent être distingués :

- L'amont convexe à sol argileux structuré et restes de couvert végétal en touffes, non saillantes au milieu d'un couvert herbeux couvrant, représente le terroir le mieux conservé;
- Les milieux dégradés conservent un sol en buttes alors que la marne altérée affleure dans les couloirs empruntés par les animaux et par le ruissellement; cependant, les simulations montrent que la marne effritée permet une certaine infiltration;
- Les bad-lands à roche saine affleurante sont des zones de ruissellement, mais pas de profonds changements; ils représentent le stade ultime après l'enlèvement des dernières touffes.
- Des versants colluviaux à sol argileux remanié, déjà mis en culture, puis abandonnés constituent des terrains soumis à l'effet de piping et de ravinement régressif, issu de l'aval, c'est à dire des ravines de vallons,
- Celles-ci s'encaissent dans les colluvions et donnent une zone d'entaille, de tassement, de piping et de départ de nouvelles ravines vers les versants.

L'abandon d'un terrain cultivé à la jachère prolongée favorise la constitution de ravines en extension. Alors que le labour permet de fermer les griffes naissantes et même d'émousser les ravines en y rejetant une masse de terre, alors que la dégradation des berges réduit la pente transversale. Dans les terres fréquemment labourées (cas du site au N de Tatoft), les ravines ne cessent d'évoluer sous l'effet

du labour, et se transforment en simples ondulations transversales de la surface. Dès 1999, les ravines, aux berges adoucies sont déjà labourées, soit 4 ans après leur formation.

Par contre, dans la jachère continue (6ans), les formes de ravinement semblent s'accroître ; le lit de la ravine est nettoyé par les écoulements de faible intensité et les berges ravivées, à cause du non rejet de matériel par la charrue, à l'intérieur du lit. Seuls les processus colluviaux agissent pour émousser le profil. La jachère continue et les terres abandonnées peuvent donc être fortement incisées, évoluant dans ces milieux de simples rigoles à des ravines et ravins profonds.

## **2-2 Etude diachronique des formes d'érosion (fig. 1).**

L'étude est basée sur l'analyse des photographies aériennes de la mission du 8/5/1986, en comparaison avec l'observation directe de la situation actuelle sur le terrain.

### **L'occupation des sols :**

En 1986, les douars étaient encore groupés, alors que nous assistons depuis, à l'éclatement de l'habitat et à l'apparition de maisons en dur isolées, en particulier le long des axes routiers et des pistes. Cette dispersion est accompagnée de l'ouverture de nouveaux chemins.

Au niveau du paysage agricole, l'analyse des photos de 1986 montre que la jachère est pratiquée, beaucoup plus qu'elle ne l'est actuellement ; le labour est déjà mécanisé dans certains champs. Mais les cultures industrielles n'ont été introduites que plus tard.

Les versants exposés au Nord, aux sols plus frais et plus humides, sont souvent arborés (olivier et figuier), alors que ceux du Sud sont réservés aux cultures céréalières.

### **La dégradation des terres :**

-En relation avec le tracé Sud-Est, Nord-Ouest des collines, une nette opposition des versants entre les faces Sud où des traces de ravinement sont mieux exprimées que sur les versants exposés au Nord qui présentent même des petites formes de solifluxion.

-Le couvert végétal naturel des parcours collectifs des basses collines, semble être déjà fortement dégradé en 1986. La nappe de palmier nain est piétinée, sillonnée par les passages d'animaux. A l'exception des haies vives entourant les jardins du douar de Bakkara, seuls quelques vallons, assez éloignés des douars, portent encore quelques arbustes de lentisque. Des ravines existent déjà en 1986, en particulier autour des douars et le long des axes quotidiennement fréquentés par le bétail.

-Les lits des vallons qui débouchent des parcours sont fortement incisés et montrent une forte dynamique du ruissellement. Par contre, les sous-bassins, totalement cultivés, ne montrent pas de fortes incisions ou de sapement des berges. Le transfert de l'eau et de matière se font donc de manière différente, dans les sous-bassins pâturés ou ceux mis en culture, même si les conditions naturelles sont comparables.

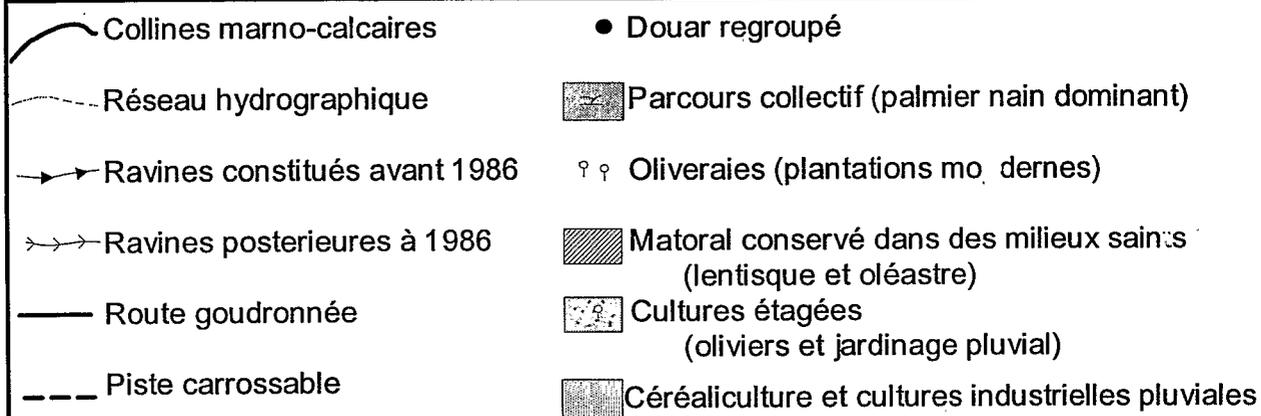
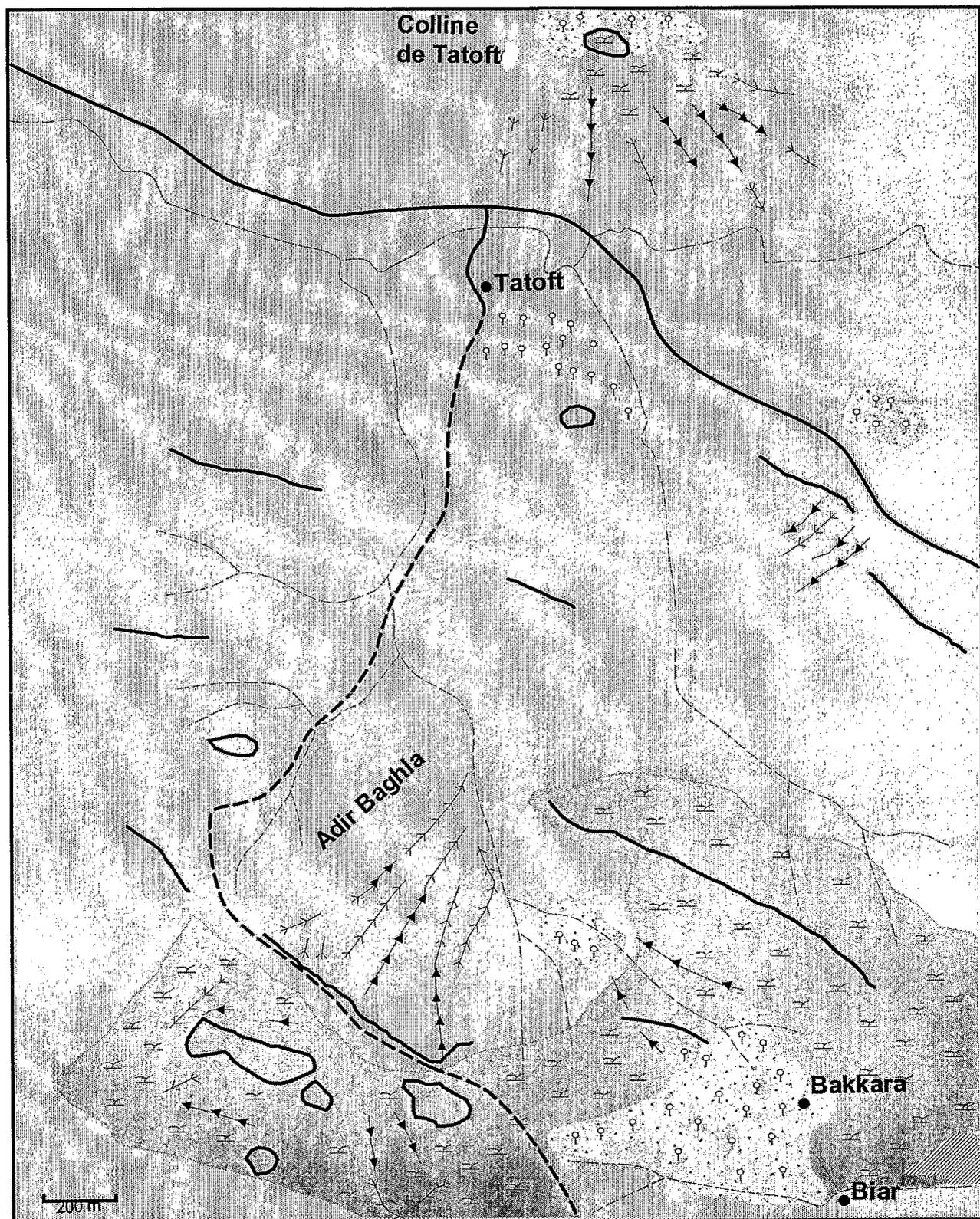
### **Le ravinement :**

La question est de voir si les ravinements récents, enregistrés dans les terres agricoles, sont le résultat d'une dynamique nouvelle, qui pourrait être mise en relation avec les changements qu'a connus le paysage agricole, à savoir la mécanisation des travaux agricoles, le recul de la jachère et la surcharge pastorale ou bien ces formes de dégradation ont-elles toujours existé, et commencent à prendre actuellement des aspects plus prononcés ?

Deux sites sont présentés, le ravinement sur terre labourée, face au centre de Tatoft et le ravinement sur une grande parcelle en jachère depuis 6 ans. Dans les deux échantillons, il faut remarquer non seulement la longueur de pente, mais aussi la continuité du parcellaire sans rupture (la parcelle en question à Tatoft est une terre collective). Dans les deux échantillons, les griffes s'organisent en bassin de réception à l'amont en pente forte et au sol squelettique ; la rupture de pente coïncide avec une forte accumulation de colluvions ; c'est là que les eaux se concentrent en ravines. Vers l'aval, le ravinement s'estompe.

La colline marno-calcaire se présente toujours sous la forme de parcours collectif. Les rigoles y sont bien développées. En 1986, le parcours était très dégradé et constituait le départ des ravines qui incisaient les champs labourés à l'aval. Le haut de versant a été aménagé en banquettes fruitières par le Derro. Cette intervention a provisoirement canalisé l'eau dans une ravine principale, devenue le déversoir des eaux du versant. Les autres ravines du champ labouré se trouvaient ainsi isolées de leur bassin d'alimentation.

Fig 1: Tatoft: Forme d'organisation du paysage agraire et érosion ravinante



La récente reprise d'érosion ravinante dans la parcelle de culture s'explique à la fois par le comblement des fossés des banquettes et leur effacement presque total du paysage, mais aussi par les pluies particulières de 1996. Ainsi, les anciens bassins d'alimentation des ravines se sont réactivés pour alimenter les ravines des parcelles labourées.

Les collines totalement labourées ne montrent pas de ravines actives, à l'inverse des collines pâturées. Les ravines actuelles s'inscrivent dans des paléo-chenaux, constituant des axes privilégiés pour la concentration du ruissellement et le drainage des eaux hypodermiques.

La grande parcelle en jachère, au SW du bassin d'Adir el Baghla constitue, elle aussi, une terre indivise, sans bourrelets. En 1986, la parcelle n'est que localement et faiblement ravinée. Sur le tracé de la grande ravine actuelle, on ne peut observer que quelques courts tronçons érodés discontinus. L'arrêt du labour durant 6 ans, pour des raisons de contestation judiciaire et la présence continue des animaux, ont abouti à l'accentuation du ruissellement et l'évolution rapide des ravines.

Les ravines se sont constituées suite à des pluies durables ayant abouti à des situations de saturation et d'engorgement profond. Les écoulements hypodermiques responsables des premières traces de creusement ont pu affleurer et s'organiser en filets d'eau capables d'inciser le sol saturé. Le même événement initiait des rigoles sur les versants amont ; celles-ci ont alimenté les incisions en formation en aval et assuré la continuité des chenaux.

Dans les terres fréquemment labourées, au N de Tatoft, les ravines ne tardent pas à évoluer en larges ondulations sous l'effet du labour. Dès 1999, les ravines, aux berges émoussées sont déjà labourées, ce qui réduit d'autant leur netteté. Par contre, dans la jachère continue, les formes de ravinement semblent s'accentuer, du moment que le lit est bien nettoyé par le ruissellement modéré alors que les berges vives, évoluent à la fois sous l'effet de la pluie et de la gravité.

On peut donc conclure que dans les parcours dégradés et dans les terres agricoles abandonnées (ou en jachère durable), le transfert de l'eau et de matière se font essentiellement par ruissellement superficiel lors des situations normales ; le ravinement peut alors continuer à s'accentuer. Par contre, dans les terres labourées, les écoulements hypodermiques jouent un rôle important et permettent la recharge de la nappe phréatique. Le labour réduit les entailles et favorise l'infiltration dans les griffes d'amont. Mais durant les saisons fortement humides, la saturation des sols peut aboutir à des arrachements qui donnent rapidement naissance aux griffes et ravines importantes qui vont être estompées dès le labour suivant.

### **2-3- L'expérimentation par simulation de pluie<sup>3</sup>.**

Il était important pour les différents terrains de déterminer leur contribution à l'écoulement en analysant par simulation de pluies le comportement de chacun. Les données recueillies ne confirment pas toutes les observations.

Le protocole de recherche<sup>4</sup> associe des travaux à échelles spatiales variées, de l'échantillon, à la micro-placette expérimentale; il juxtapose aussi des techniques variées, avec des observations en conditions naturelles et des évaluations sous pluie simulée<sup>5</sup>. Il s'agit également d'aboutir par ces mesures à classer les terrains testés par rapport à leur aptitude à générer du ruissellement et d'élaborer une certaine spatialisation des processus hydrodynamiques.

L'analyse du fonctionnement du ruissellement et de l'infiltration a aussi pour objectif, de proposer une adaptation des cultures, des techniques et du calendrier agricole en vue de surmonter les problèmes liés aux aléas pluviométriques (irrégularité et déphasage fréquent de l'année agricole par rapport à la saison humide qui menace les rendements agricoles des céréales et de la betterave, en particulier).

L'impact des pluies sur l'érosion des terres et sur leur productivité peut être parfois catastrophique. Cependant, les risques peuvent être relativement différents d'un terroir à l'autre comme d'une parcelle à l'autre et surtout de l'amont à l'aval d'une même parcelle d'exploitation. Du fait du relief ondulé, les sols des dépressions sont plus épais et conservent mieux l'humidité, alors que sur les collines le

dessèchement est rapide. Les deux terroirs réagissent différemment vis-à-vis des pluies. Le risque varie aussi en fonction des cultures pratiquées dans chaque site.

### L'humidité initiale des sols :

Dans les parcours comme dans les cultures, le taux de l'humidité du sol est très faible au début des simulations effectuées en saison sèche. Par contre quand le sol est humide (novembre 1998 et janvier 2000) cette humidité est élevée. La présence de la végétation contribue à l'assèchement du sol par effet d'évapotranspiration.

Tableau.2 : Humidité initiale des sols en %, selon les campagnes de mesures

	Novembre 1998	Septembre 1999	Octobre 1999	Janvier 2000
<b>Les parcours</b>				
Bak.parc1 et 2	entre 9 et 13	entre 8.3 et 18	-	27.7 et 32.7
Biar.parc.1,2,3	-	-	entre 5.3 et 14.8	entre 19.2 et 36.5
Tatparc1	6.7	7	-	29.7
<b>Les cultures</b>				
Tatcult2	5	4	-	34.6
Tacult3	3.2	4.6	-	30.2
Tatcult4	6.2	4.3	-	31.4

Dans les parcours au sol décapé, où les marnes altérées affleurent en surface, les sols prennent en masse en saison de pluies et se fissurent en profondeur en saison sèche. Ainsi, après 4 mois de sécheresse (septembre 99), ou 3 à 4 semaines sans pluie (novembre 98) ou une pluie antérieure proche (octobre 99), les sols sont fortement asséchés sur les 5 premiers centimètres.

La différence réside dans le réseau de fissures, profond et dense à la fin de l'été, ce qui signifie un assèchement qui atteint les horizons inférieurs. La première pluie a donc peu de chances de donner du ruissellement, puisque le réseau de fissures permet de véhiculer l'eau rapidement en profondeur, mais aussi en lessivage oblique, le long de la pente, ce qui permet une exportation interne de matériaux, tant que les fissures sont ouvertes. Les phénomènes de suffosion peuvent ainsi s'expliquer.

**La pluie d'imbibition** : elle est déduite à partir du commencement de la simulation (To) jusqu'au temps (Td) de déclenchement du ruissellement. Elle permet de déterminer les seuils de pluies nécessaires pour déclencher le ruissellement.

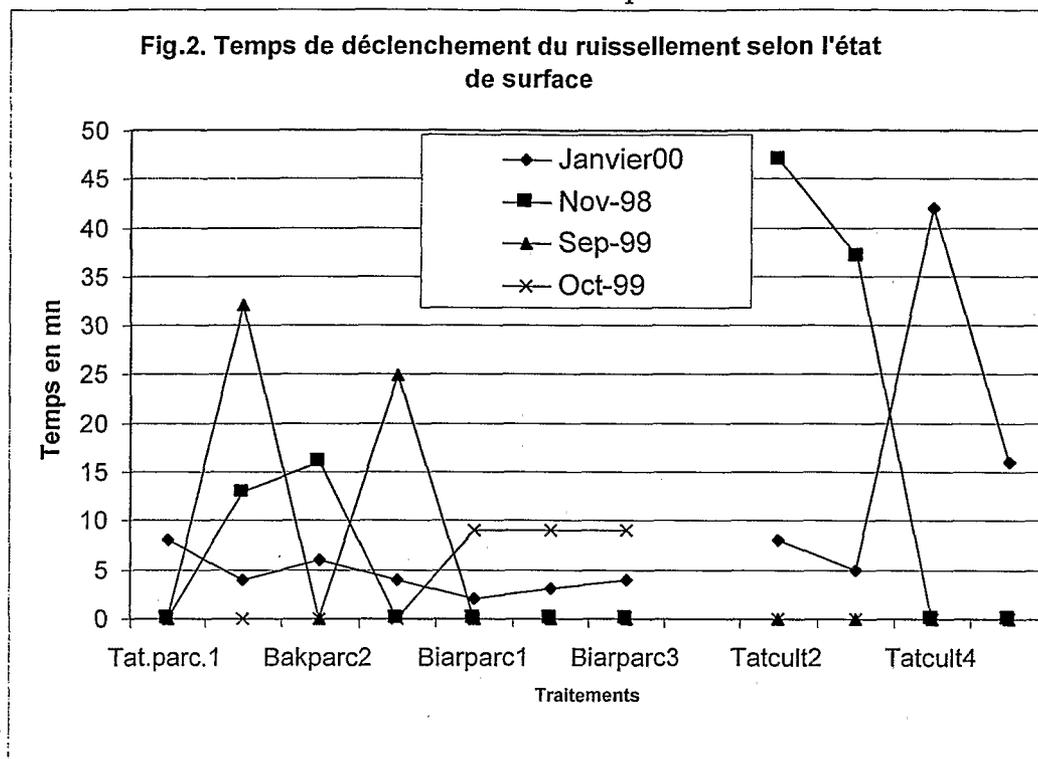
Elle permet d'apprécier la réaction du sol durant les premiers moments des précipitations. Pendant cette phase des flaques d'eau se forment pour se rejoindre les unes aux autres au moment du déclenchement du ruissellement. La pluie d'imbibition varie selon l'état de surface (fissuration, encroûtement) le type d'utilisation (labour, jachère ou parcours et selon l'humidité précédente qui paraît déterminante notamment si on compare l'automne et l'hiver où le sol est saturé, comme on peut le constater dans les exemples suivants.

Tableau n° 3. Pluies d'imbibition

Parcelles	Novembre 1998	Janvier 2000	Mars 2000
<b>Parcours</b>			
Bakparc1	10.79 mm	3.32 mm	
Bakparc.2	13.28 mm	4.9 mm	
Tatparc.1	>60 mn, pas de ruissellement	6.6 mm	
Biarparc entre touffes de doums	7.5 mm	2 mm	4.4 mm (à côté sous le palmier nain pas de ruissellement)
<b>Cultures</b>			
Tatcult.2	39 mm	6.7 mm	
Tatcult.3	31 mm	4mm	
Tatcult.4	>60 mn, pas de ruissellement	35 mm	

### L'humidité au moment du déclenchement du ruissellement :

Dans les terrains de parcours, il n'y a pas de règle, car l'humidité du déclenchement du ruissellement varie fortement. L'humidité maximale ne s'établit qu'après le commencement du ruissellement. Ceci est dû à l'état de surface de la parcelle, avec la présence d'une pellicule de battance ou d'une zone de tassement qui initie un ruissellement précoce. Par contre dans les terres de cultures, le déclenchement du ruissellement est lié à l'acquisition de l'humidité maximale (fig. 2).



### Evolution de l'humidité (fig. 3 et 3 bis).

A partir d'un taux initial assez faible en général, l'humidité progresse de manière différenciée selon le site de simulation et selon l'utilisation du sol (tassement, piétinement, fissuration, continuité ou effritement de la pellicule...).

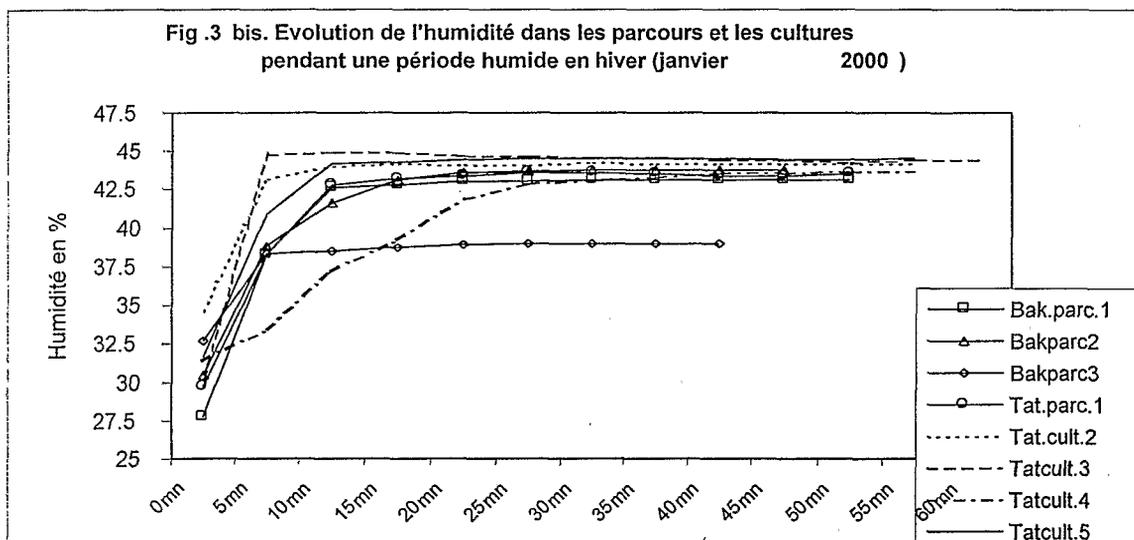
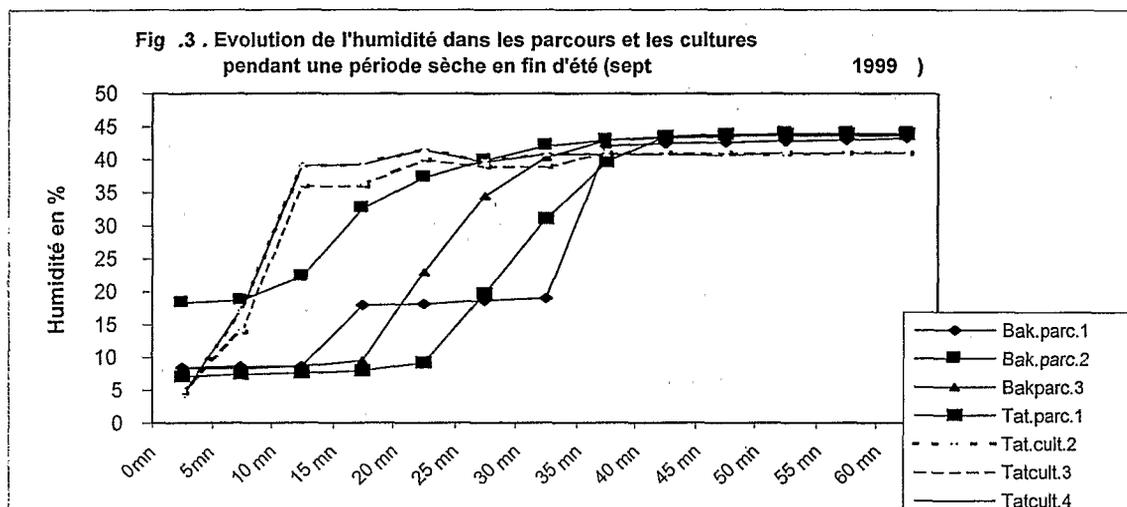
Le taux maximal d'humidité tourne autour de 37 à 43% pour ces sols fortement argileux et à capacité de rétention assez forte. Ce taux maximum est atteint en moyenne après 30 à 40 mn d'une pluie de 50 mm/h d'intensité. En général, l'humidification maximale est plus tardive, à la suite d'un assèchement prolongé et profond.

Cependant, d'une saison à l'autre, comme d'une forme d'utilisation du sol à l'autre, la vitesse de l'humidification des sols varie parfois de façon très importante.

En novembre 1998, dans les terres de parcours, l'humidité initiale est faible, mais l'humidification du sol a évolué rapidement dès la 5ème mn, pour se stabiliser à un plafond de 39% à 25 mn. Les fentes de retrait sont en partie fermées. Par contre, les mesures effectuées dans les mêmes parcelles, à la mi-septembre, montrent que l'humidité n'a évolué qu'après 15 mn de simulation, du fait de la pénétration profonde le long des macro-pores, pour atteindre 40% après 35 mn. Ainsi, la première pluie d'octobre a joué un rôle important car elle a permis l'évolution rapide de l'humidité des sols, une activité biologique précoce ayant probablement favorisé l'aération du sol et assuré l'infiltration et une bonne imprégnation dans les 5 premiers centimètres du sol.

Les parcours tassés en hiver et au printemps, mais peu fréquentés en été car les animaux sont conduits dans les chaumes, gardent leur croûte de battance, non effritée, ce qui retarde l'humidification du sol

et favorise le déclenchement des ruissellements importants, dès les premières pluies automnales. En comparaison, dans les milieux steppiques (SABIR 1992, SABIR et al., 1995), où l'activité biologique n'est pas toujours importante pour aérer le sol et réactiver l'infiltration, ce sont alors les pieds des animaux qui peuvent effriter la croûte de battance et permettre une bonne pénétration de l'eau. En janvier 2000, dans les parcours, l'humidité est élevée (32 à 35%) et sa stabilisation entre 37 et 43% et ceci dès la 10ème mn. Le comportement des parcelles est relativement semblable quand le sol est déjà humide (fig. 3bis).



L'évolution de la courbe de l'humidité a été semblable dans les cultures, avec une montée rapide vers la 10ème mn jusqu'à 43-45%. Après cela la courbe de l'humidité devient constante de la même façon dans les 3 parcelles. Après la longue sécheresse estivale, l'évolution de l'humidité est rapide et la pénétration de l'eau aisée, sans aucun cas de déclenchement de ruissellement dans les chaumes et la jachère. Dans une parcelle de betterave travaillée à la sape le jour de simulation, l'humidité est restée pratiquement stable. En hiver, le sol reste humide à l'intervalle des pluies (entre 30 et 35%), quelle que soit la culture, même si des fentes de retrait apparaissent du fait de l'insolation forte (fig. 3bis).

### Le seuil de déclenchement du ruissellement

La capacité d'infiltration du sol varie au cours du temps, elle commence à faiblir pendant la simulation quand la surface du sol est en voie d'imprégnation. Elle dépend dans son évolution des vides à l'intérieur du sol, de la capacité de gonflement de l'argile et de l'état d'assèchement du sol.

Tableau n°4: Seuils d'humidité au déclenchement du ruissellement (en %)

	Novembre 1998	Septembre 1999	Octobre 1999	Janvier 2000
<b>Les parcours</b>				
Bak.parc1 et 2	entre 34 et 40	39	-	37 et 40
Biar.parc.1,2,3	-	-	entre 30 et 32	35.7 et 41
Tatparc1	-	-	-	41
<b>Les cultures</b>				
Tatcult2	38.3	-	-	43.9
Tacult3	42	-	-	44.8
Tatcult4	-	-	-	43.4

Ceci se traduit sur la durée de l'infiltration avant le déclenchement du ruissellement. Le refus d'infiltration diffère non seulement en fonction des formes d'utilisation des terres, mais aussi d'une saison à l'autre. Dans un certain nombre de cas la pluie simulée de 50mm/h n'a pas déclenché le ruissellement, tout au long des 60 minutes. Deux sites n'ont ruisselé ni après la première pluie d'automne, ni après la longue sécheresse estivale, mais ont fourni de l'eau de ruissellement en hiver. D'autres sites ont ruisselé au milieu de l'automne, à un moment où le sol était humidifié en profondeur (quoique asséché en surface), mais n'ont pas donné de ruissellement lors de la première pluie de septembre. Certains sites dans les parcours dégradés ont enfin ruisselé dès la première pluie de septembre.

Les parcours assez bien conservés et certains terrains cultivés, laissés en chaumes n'ont pas initié de ruissellement en été et en automne. Les autres terrains cultivés ont ruisselé en novembre, (à la suite de 40 minutes de pluie environ) et quelques minutes après la stabilisation de l'humidité ; mais n'ont pas ruisselé à la fin de l'été. Ainsi, le déclenchement du ruissellement n'est pas toujours en relation avec la saturation du sol, du moment que le phénomène peut se produire très tôt, avant que la courbe d'humidité plafonne et avant que le front d'humidification dépasse 5 à 10 cm de profondeur. Là encore le compactage des sols et les différents états de surface doivent être pris en compte.

Dans les terres céréalières, les deux milieux ayant provoqué un ruissellement, sont le labour récent et les chaumes de l'année.

Dans les chaumes le ruissellement a été très irrégulier d'un intervalle de temps à l'autre alors que, dans le labour récent, le ruissellement a été plus régulier et de plus en plus important avec la progression de la simulation. Le phénomène peut s'expliquer par la constitution d'une croûte de battance, qui devient vers la fin de l'expérimentation consistante et généralisée sur la surface de la placette récemment labourée, ce qui augmente régulièrement les volumes de l'eau de ruissellement. Par contre, dans les chaumes, la constitution de petits barrages par les débris organiques, peuvent expliquer, en partie, l'irrégularité que connaît le ruissellement.

Dans les parcours le ruissellement s'est déclenché dans plus de 80% des mesures effectuées. Ce sont les sols ayant conservé une bonne partie de leur couvert végétal naturel qui ont initié le moins le ruissellement. Par contre, tous les parcours au sol nu ou relativement décapé, connaissent des ruissellements importants. Ainsi, ils peuvent être considérés comme source importante de la dégradation des terres céréalières situées en aval, comme ils peuvent engendrer des crues importantes (COSANDEY 1994).

Si la capacité d'infiltration dépend en principe, de l'humidité initiale du sol, le ruissellement est plus tardif en saison sèche, sauf dans les parcours dégradés et dénudés, où la pellicule de battance et le tassement du sol génèrent rapidement le ruissellement.

#### **Le coefficient du ruissellement**

Il est très élevé dans les parcours quand la simulation se fait entre les touffes de palmier nain et particulièrement sur sol humide, comme en janvier 2000, le maximum atteint est de 82%, mais les valeurs habituelles varient entre 30 et 50%. Dans les cultures, le ruissellement est important quand le sol est très humide (40%) ; la présence de la végétation n'a pas atténué le ruissellement, mais sur une touffe de doum, près une heure de simulation sur un cercle de 0.24 m<sup>2</sup>, la pluie de 50 mm/h n'a pas

provoqué de ruissellement. Quand le sol est desséché, comme en septembre 1999, le CR n'a pas dépassé 4% entre les touffes.

En comparant les CR dans les parcours dégradés et dans les cultures, il est évident que les premiers sont des terrains producteurs de ruissellement à cause du tassement du sol dénudé.

La différenciation réside aussi dans l'évolution antérieure à la précipitation :

- La pluie de septembre, à la suite d'un assèchement estival profond et d'une fissuration du sol a donné de faibles volumes de ruissellement. L'essentiel de la pluie précipitée a pénétré par les fissures (front d'humidification très irrégulier) et a même laissé quelques prismes asséchés à proximité de la surface. Seuls les parcours très dégradés de Bakkara, au sol encroûté, ont dépassé un demi-litre d'eau ruisselé (sur 7.5 litres précipités).

-La simulation de novembre 1998, 3 semaines après les légères pluies du début de l'automne, a généré du ruissellement sur la majorité des sites (10% de la précipitation dans les parcours de Bakkara et 12% dans les terres cultivées),

-La simulation d'octobre 1999, successive à d'importantes précipitations a généré un ruissellement important dans les parcours d'El Biar, atteignant un maximum de 33% du volume précipité.

-En janvier 2000, après un automne et un début d'hiver pluvieux, toutes les parcelles ont produit de forts volumes d'eaux ruisselées.

### L'infiltration finale :

Elle signifie la différence entre le volume de ruissellement en fin de simulation et le volume d'eau de la chute lors des 5 dernières minutes de la simulation ; elle est un bon indicateur de l'engorgement du sol. Elle varie selon l'utilisation du sol, notamment le couvert végétal. En mars 2000 sur le même sol, une parcelle sous palmier nain n'a pas ruisselé, alors que dans le même site, un terrain dénudé entre les touffes a généré du ruissellement dès la 6ème minute de la simulation.

Tableau n°5. Infiltration finale en mm

parcelles	Novembre 1998	Janvier 2000	Mars 2000
<b>Parcours</b>			
Bakparc.1	2.16	0.8	
Bakparc.2	3.9	0.7	
Tatparc.1	4 mm	1.4	
Biarparc.1	3.16	00	0.8
<b>Cultures</b>			
Tatcult.2	00	1.9	
Tacult.3	4	1.6	
Tatcult.4	4 mm	2.16	

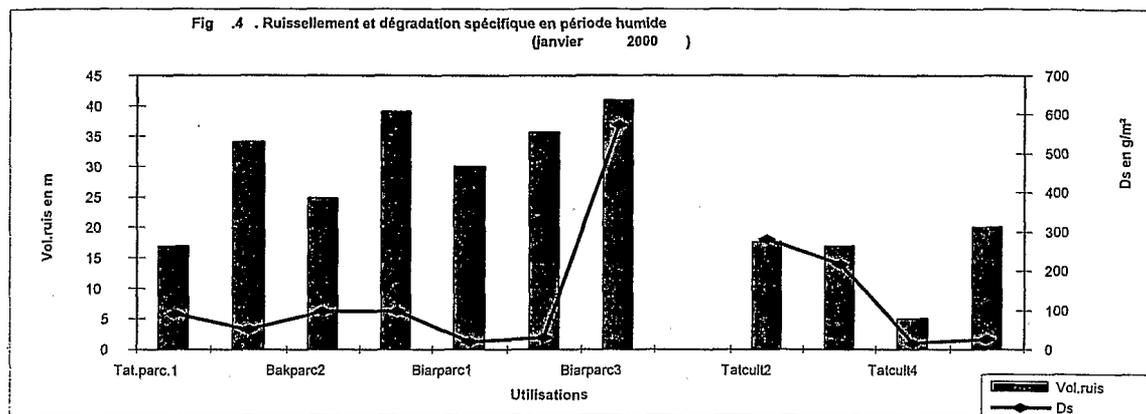
Dans les parcelles qui n'ont pas ruisselé, l'infiltration finale est de 4mm. Par contre, là où l'infiltration finale est égale à 0, le sol est complètement engorgé, tous les vides ont été colmatés par l'eau, le refus de l'eau est absolu.

### La concentration en sédiments et la dégradation spécifique

La turbidité est forte dans les parcelles de cultures et dans les chaumes de l'année (maximum de 82g/l). Dans les conditions de sécheresse, les parcours fournissent peu de sédiments, alors qu'en janvier, une forte dégradation est enregistrée. La situation d'hiver pluvieux montre qu'une fois le sol marneux imprégné, à la suite d'une succession de chutes de pluie, le ruissellement et la dégradation spécifique deviennent considérables aussi bien dans les parcours que dans les cultures. Par contre en période sèche (septembre et octobre 1999, fig. 4), le ruissellement tarde ou ne se fait que sur les terres tassées des parcours qui peuvent enregistrer des volumes de ruissellement important mais avec une turbidité parfois insignifiante.

Les parcours dégradés déjà humectés en profondeur par les pluies d'octobre ont fourni un ruissellement important, mais à très faible charge solide (moins de 4g/l). Mais vu l'importance du volume ruisselé, la perte en sol varie entre 19 et 153g/m<sup>2</sup> ; la valeur maximale a été enregistrée dans

les parcours au sol le plus dégradé, laissant affleurer la marne altérée. La turbidité des ruissellements de fin d'été a été très faible, en raison de la compacité du sol asséché (au maximum 1g/l). Dans les terres de cultures c'est le labour récent qui a enregistré la perte en sol la plus élevée (297 g/m<sup>2</sup>). La turbidité n'est pas en corrélation avec le volume ruisselé et varie indépendamment de ce critère. (fig. 4) ; Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par des mesures de l'érosion sur parcelles de 100 m<sup>2</sup> dans d'autres milieux marocains (Laouina, 1993 ; LAOUINA et al., 1993 ; NAFAA 1997, CHAKER 1997).



## Conclusion :

La région de collines et basses montagnes de Ksar el Kébir avec son contexte lithologique défavorable, mais un climat sub-humide irrégulier subit plusieurs effets de dégradation. Les parcours dégradés et les terres cultivées connaissent des processus tout aussi dangereux quoique différents en terme d'occurrence et de magnitude. Les parcours devraient être reconstitués, avec une pérennité et une amélioration de la couverture végétale. L'agriculture sur pente devrait obéir à des techniques de conservation très rigoureuses pour éviter le ruissellement et ses effets destructeurs.

Malgré le fort assèchement du sol, les parcours ont fourni un ruissellement relativement important, quoique peu chargé dans les situations normales. Des collines destinées au pâturage collectif part une importante quantité des eaux superficielles qui ruissellent en aval. Des interventions d'aménagement doivent cibler ces parcours. Les réactions à la pluie ne sont pourtant pas égales. Le degré de tassement explique la rapidité du déclenchement. Mais en ce qui concerne le volume ruisselé, c'est le taux de couverture qui représente le critère important et l'humidité initiale. En plus de l'aménagement pastoral, une petite hydraulique peut être envisagée, comme la construction de réceptacles à l'aval de ces collines afin d'emmagasiner de l'eau d'abreuvement.

Sur les pentes affectées par le ruissellement, des techniques culturales adaptées aux conditions de pente et aux moyens économiques des paysans peuvent permettre de réduire les risques, notamment l'entretien d'un état de surface rugueux et couvert, une bonne gestion de la biomasse, de la fertilité et de la matière organique, pour une gestion efficace de l'eau et pour assurer le maximum d'infiltration.

Dans ces milieux épisodiquement secs, connaissant de gros problèmes d'eau potable, il faudrait aussi pouvoir récolter des eaux d'écoulement à la fois pour en profiter et pour permettre l'absorption totale et la dispersion de l'énergie du ruissellement (talus enherbés, haies vives, cordons de pierres).

Les grandes vallées, comme les piémonts peuvent être épisodiquement affectés par des crues catastrophiques ; l'oued Ouarour, en particulier peut être très dangereux ; la bonne gestion des eaux sur les pentes constitue un préalable à tout aménagement de protection.

La dégradation des terres et des ressources résulte de la rupture d'un équilibre fragile entre l'écosystème et les activités humaines. C'est pourquoi une approche intégrée est nécessaire pour comprendre les processus et pour trouver des mesures pour inverser la tendance et pour prévoir les scénarios probables pour une amélioration de l'écosystème et du revenu de la population.

L'intégration de la connaissance scientifique, de l'expérience des intervenants locaux (Administration, acteurs économiques) et des pratiques de la population, doit être constamment prise en considération (Roose 1994). Car, la promotion de la participation des communautés humaines, à travers d'une part l'expérience acquise et d'autre part la démonstration sur le terrain auprès des populations de la réalité des processus de dégradation des terres permettent d'obtenir une véritable prise en compte des visions de la population dans les choix d'aménagement, notamment dans un domaine vital tel que la gestion de l'eau. Ceci vise à éviter les échecs souvent constatés dans les programmes de conservation qui concernent à la fois l'environnement et les conditions de vie (niveau de vie des populations).

### **Bibliographie :**

- ARABI M. et ROOSE E., 1989 : Influence du système de production et du sol sur l'érosion; ruissellement en nappe en milieu méditerranéen montagnard. Bulletin du Réseau Erosion, Montpellier.
- ARABI M., 1991 : Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen, à Médéa, Algérie. Thèse de Doctorat, 1991, Université Joseph Fournier - Grenoble I, p. 269.
- AVENARD J.M., 1995 : Dynamique érosive et action humaines dans le Prerif (Maroc). Réseau Erosion .Bull. n°15, pp. 395-407.
- Ben Attou.M., 1992. Larache et Ksar El Kébir : leur rôle dans l'organisation régionale, tome 1, Doctorat en géographie. Université François Rabelais. Tours.
- CHAKER M., 1993 : La dégradation du couvert végétal dans le massif de Boukhouali. Processus et impact sur l'équilibre du milieu ; Maroc oriental. Actes du 2ème Congr. géogr. Afr., Rabat-Agadir, 19-24 avril, pp. 87- 101.
- CHAKER M., 1997 : Processus de dégradation des terres et désertification dans les pays d'El AIOUN -TANECHERFI. Maroc oriental; Méditerranée, N° 1-2, pp. 5-14.
- COSANDEY C. 1994 : Forêts, pâturages et crues en moyenne montagne méditerranéenne. Réseau Erosion. Bull. n° 14, pp. 490-501.
- Direction des Eaux et Forêts : Rapport de l'Aménagement de la Forêt d'Ahl Serif (1978-1998). /SCET. Service de l'Aménagement et de l'Inventaire mars 1978. Rabat
- EL AYACHI M.1988. - Le militantisme des Jbala. Tanger tome 3 : systèmes sociaux et économiques des montagnes.
- HEUSCH, B., 1970: L'érosion dans le Prerif: une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prerif occidental". Annales des recherches forestières, 12, p. 9-176.
- HEUSCH B., 1995 : Pourquoi la banquette CES diminue les rendements et augmente l'érosion ? Réseau Erosion. Bull., 15., pp. 317- 328.
- LAOUINA A., 1993 : L'érosion en milieu méditerranéen : une crise environnementale ? Mise au point sur l'érosion des sols à travers l'exemple des versants des collines et des montagnes du nord du Maroc. Actes du 2ème Cong. Géogr. Africains . Rabat- Agadir , pp. 191-219.
- LAOUINA A., CHAKER M., NACIRI R. et NAFAA R., 1993 : L'érosion anthropique en pays méditerranéen. Le cas du Maroc septentrional. Bull. Ass. Géogr Français, Paris, pp. 383-398.
- LAOUINA A., 1995 : La montagne marocaine : Protection des ressources et développement socio-économique. Rabat, FLSH, série Colloques et Séminaires n° 50, pp. 145-160.
- MUXART T., COSANDEY C. & BILLARD A., 1990 : L'érosion sur les hautes terres du Lingas, un processus naturel, une production sociale ; Mémoires et Documents de Géographie, Nouv. Collect., Presses du CNRS, Paris, 148 p.

NAFAA R., 1997 : Dynamique du Milieu Naturel de la Mamora et ses bordures, Paléoenvironnements et Dynamique Actuelle. Thèse du Doctorat d'Etat ès Lettres, FLSH., Rabat. 275p.

ROOSE E., 1994 : Introduction à la GCES. Bull. FAO. Pedol. N° 7 : 420p.

SABIR M., 1992 : Impact du parcours sur les caractéristiques physiques et hydrodynamiques du sol. Atelier national pour la définition d'un programme de recherche sur l'aménagement intégré des bassins-versants. M.A.R.A. , Rabat, p.14 .

SABIR M., MERZOUK A., BERKAT O. et ROOSE E., 1995 : Effet de la maximisation du pâturage sur certaines caractéristiques de la surface et la perméabilité du sol dans un milieu steppique marocain, aride (Haute Moulouya), Réseau Erosion, Bull. 16, pp. 47- 57.

---

<sup>1</sup> Ce projet relatif à la région de Ksar est initié par une équipe de chercheurs de la Chaire Unesco-Gas naturel de l'Université de Rabat. Il est réalisé en partenariat avec les Universités d'Aveiro, de Barcelone, de Madrid et l'Institut agronomique de Tunis, dans le cadre d'un programme financé par l'Union européenne et coordonné par l'Université d'Aveiro. Ce projet est conduit avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural et du Ministère chargé des Eaux et Forêts, en plus d'autres partenaires locaux.

<sup>2</sup> Ce travail a énormément profité d'une excursion de deux jours effectuée en mars 2000 et à laquelle ont participé Claude Cosandey et Tatiana Muxart du CNRS-Meudon et Eric Roose de l'IRD-Montpellier. Ces collègues, par leurs propositions et les discussions qu'ils ont animées ont beaucoup fait pour la finalisation de ce travail.

<sup>3</sup> La méthodologie expérimentale se base sur un dispositif simple, constitué d'un mini-simulateur de pluie sur des micro-parcelles expérimentales, un pénétromètre pour évaluer la résistance du sol, un scisomètre pour évaluer la résistance mécanique au cisaillement, un TDR pour suivre l'humidité du sol avant et durant la simulation des pluies.

<sup>4</sup> Plusieurs campagnes de mesures ont été effectuées en novembre 1998 (en hiver), septembre 1999 (à la fin de l'été et après 5 mois de sécheresse continue), octobre 1999 (début de l'automne) et janvier 2000 (en plein hiver et après une succession de pluies). Les terres des sites expérimentaux se divisent en deux catégories : les parcours (conservés (Tatparc 1), dégradé Bakparc1 et bakparc2), très dégradés (Les parcours de Biar) et les cultures (labour : Tatcult2, chaume (Tatcult3), cultures mécanisées (Tatcult4, Tatcult5 : la bettrave ou le tournesol).

La simulation dure 60minutes, l'intensité pluviale est de 50mm/h, la surface de la microparcelle est de 0.24 cm<sup>2</sup>.

<sup>5</sup> L'équipe a commencé en novembre 1998 des mesures d'humidité, d'infiltration, de ruissellement sous pluie simulée. L'intérêt de ces mesures est de déterminer des paramètres, tels le seuil de déclenchement du ruissellement, en fonction de l'intensité de la pluie et les caractéristiques érosives des différents terrains sous différentes utilisations, pratiques et états de surface.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Laouina, A.; Nafaa, R.; Coelho, C.; Chaker, M.; Carvalho, T.; Boulet, A. K.; Ferreira, A. - Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kébir, Maroc, pp. 256-274, Bulletin du RESEAU EROSION n° 20, 2000.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)