



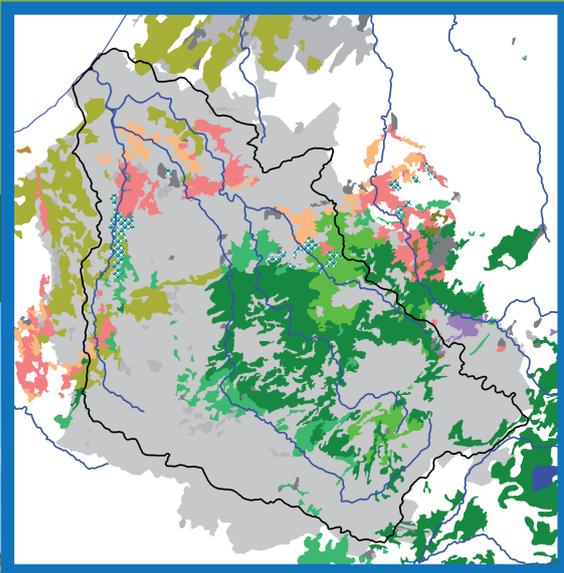
CERGéo

ARGDT



Gestion durable des terres

Proceedings de la Réunion multi-acteurs, sur le bassin du Bouregreg
28 mai 2013



Coordination : Abdellah Laouina et Gil Mahé



Publication de l'Association de Recherche en Gestion Durable des Terres « ARGDT »,
CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat, 2013
Dépôt légal : 2014 MO 1259
ISBN : 978 - 9954 - 33 - 482 - 9
Imprimerie : FOLIO - Témara

Association de Recherche en Gestion Durable des Terres « ARGDT »

Gestion durable des terres

Proceedings de la Réunion multi-acteurs, sur le bassin du Bouregreg 28 mai 2013

Coordination
Abdellah Laouina et Gil Mahé

2013

Fonds Documentaire IRD
Cote : A*63311 Ex:

SOMMAIRE

Préface	3
Le bassin versant du Bouregreg, caractéristiques géographiques, <i>A. Laouina</i>	5
Evolution des débits liquides et solides du Bouregreg, <i>G. Mahé, H. Benabdelfadel, C. Dieulin, M. Elbaraka, M. Ezzaouini, K. Khomsi, N. Rouche, M. Sinan, M. Snoussi, A. Tra Bi, A. Zérouali</i>	21
Evolution des évènements chauds rares dans les bassins versants de Tensift et Bouregreg (Maroc) et identification des types de temps synoptiques associés, <i>K. Khomsi, G. Mahé, M. Sinan, M. Snoussi</i>	37
Premiers résultats des mesures d'érosion ravinatoire sur les versants lacustres du barrage Sidi Mohamed ben Abdellah (Maroc) et perspectives de recherche, <i>V. Maleval</i>	53
Cartographie de la gestion durable des terres, dans la commune des Sehoul, (Maroc Atlantique), approche WOCAT – LADA – DESIRE, <i>J. Al Karkouri, A. Laouina, M. Sfa, K. Naimi</i>	63
Changement agropastoral et dégradation des terres dans le plateau Sehoul, <i>M. Chaker, A. Laouina, M. El Marbouh</i>	85
Mesures de la végétation et des états de surface du sol pour l'évaluation du fonctionnement hydrologique, application aux techniques de CES dans la commune des Sehoul, <i>N. Machouri, A. Laouina, M. Chaker</i>	103
Echelles d'évaluation de la dynamique des terres et de leur gestion, du territoire social au bassin-versant expérimental, <i>A. Laouina, M. Chaker, M. Aderghal, N. Machouri, J. Al Karkouri</i>	119
Management of gullied areas in the atlantic plateaus of the Bouregreg watershed, Morocco <i>A. Laouina, M. Chaker, M. Aderghal, J. Al Karkouri, N. Machouri & M. Sfa</i>	147

بالعربية

تقييم السلوك الهيدرودينامي للأراضي بالأوساط شبه الجافة، نموذج الحوض التجريبي "حنانات"، جنوب جماعة السهول

3

Evaluation du comportement hydrologique des terres en milieu semi-aride, à l'échelle du bassin expérimental de Hannanat, sud de la commune de Sehoul,

هدانة الرداد

PREFACE

Le programme SIGMED, financé par l'AUF et soutenu par l'IRD, ainsi que par plusieurs partenaires, dont le Laboratoire HydroSciences Montpellier, l'ENSH Blida, l'Université d'Artois, l'Université Mohammed V-Agdal, l'Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia, la Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau du Maroc, l'Ecole Hassania des Travaux Publics de Casablanca, la Direction de la Météorologie Nationale du Maroc et l'Agence Nationale de Ressources Hydrauliques d'Alger, a eu pour objectif au Maroc, l'étude de la relation entre les activités humaines, les transferts d'eau et le transport de sédiments dans le bassin-versant du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah (Bouregreg) ; ce programme vient de se terminer à la fin de l'année 2013.

Les résultats attendus étaient de plusieurs ordres :

- la synthèse et l'approfondissement des connaissances scientifiques sur l'hydrologie et les transports solides du Bouregreg, la spatialisation des variables liées à l'érodibilité des sols, les relations homme/climat/environnement et les liens avec l'envasement de la retenue du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah ;

- le renforcement des liens inter-universitaires ;

- l'intégration des équipes impliquées dans des structures scientifiques internationales ;

- la formation d'étudiants en thèse et en master.

Ce projet a fait référence à des objectifs du Plan Bleu (2005) pour relever les défis du développement durable en Méditerranée : conserver sols et paysages, mieux valoriser les ressources en eau, revaloriser les liens sociétés-environnement, et développer une recherche multidisciplinaire ouverte au dialogue.

Ce projet a permis à un groupe de chercheurs de disciplines complémentaires de faire progresser les connaissances sur des thématiques encore peu suivies et peu quantifiées à l'échelle nationale. Pourtant, dans un contexte de changement climatique et des pratiques agricoles, d'augmentation de la population et des besoins en eau, une meilleure connaissance de la variabilité des flux solides en fonction des aménagements et de l'occupation du sol est indispensable, pour l'application de politiques plus efficaces de réduction de la dégradation des terres et des risques hydrologiques et donc pour mieux répondre à l'objectif de développement durable.

Ce projet a été l'occasion de tisser et développer des liens entre plusieurs équipes de recherche universitaires, des grandes Ecoles de formation d'ingénieur, des équipes de Services Techniques Nationaux, au cours d'une dizaine de rencontres qui ont jalonné le programme, et au cours de séjours dans les différents pays, Maroc, Algérie et France. Les diverses investigations scientifiques ont été le support de la formation de très nombreux étudiants en Licence, Ingénieur, Master, Magistère et Doctorat, et ont donné lieu à un grand nombre de publications scientifiques.

Avant de conclure le programme SIGMED, les acteurs de ce projet au Maroc et les partenaires associés aux activités, ont tenu à organiser, le 28 mai 2013, au CERGéo à Rabat, un séminaire sur le bassin versant du Bouregreg, avec pour objectifs de :

- partager les résultats de recherche sur ce bassin,
- faire une mise au point sur le bassin et identifier les pans de connaissance à explorer,
- mener une analyse comparative des méthodes d'investigation utilisées,
- connaître l'avis de tous les acteurs du programme et des partenaires associés sur ces résultats et sur les domaines de recherche qui leur semblent les plus importants à étudier dans le futur,
- présenter l'architecture d'un nouveau programme de recherche, sur l'étude de la contribution des bassins versants élémentaires dominant la retenue du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah, dans l'envasement que connaît cette retenue et, dans ce cadre identifier des actions majeures de terrain à mener et les sources de financement possibles au Maroc ou à l'international.

Plusieurs chercheurs et des étudiants de master et de doctorat ont pris part à cette journée de séminaire et enrichi le débat qui a suivi les interventions. Plusieurs d'entre eux ont rédigé des communications que nous reproduisons ici dans ce volume de proceedings¹ que l'Association de Recherche en Gestion Durable des Terres, logée au CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Rabat, s'est portée volontaire pour publier. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de nos remerciements.

Abdellah Laouina et Gil Mahé

¹ Seuls deux articles ont pu être édités en quadrichromie ; nous nous en excusons auprès des auteurs et des lecteurs.

LE BASSIN VERSANT DU BOUREGREG, CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES

Abdellah LAOUINA¹

Le bassin versant du Bouregreg, étudié dans le cadre du projet SIGMED et l'un des principaux bassins versants marocains, dispose d'importants atouts pour son développement, mais les ressources naturelles y sont soumises à des pressions croissantes. Il couvre une superficie d'environ 9 970 km² et s'étend, d'un point de vue administratif, essentiellement sur la région de Rabat-Salé-Zemmour-Zaër et, partiellement sur deux provinces externes, Khouribga et Khénifra.

Les plateaux et massifs Zaër, Zemmour et Zaïan correspondent pratiquement au Plateau central marocain et à ses marges, immédiatement au S de la plaine du Gharb, à l'W du Saïs de Meknès et de la vallée du Beht, au N du plateau de Khouribga et à l'E de la Chaouïa.

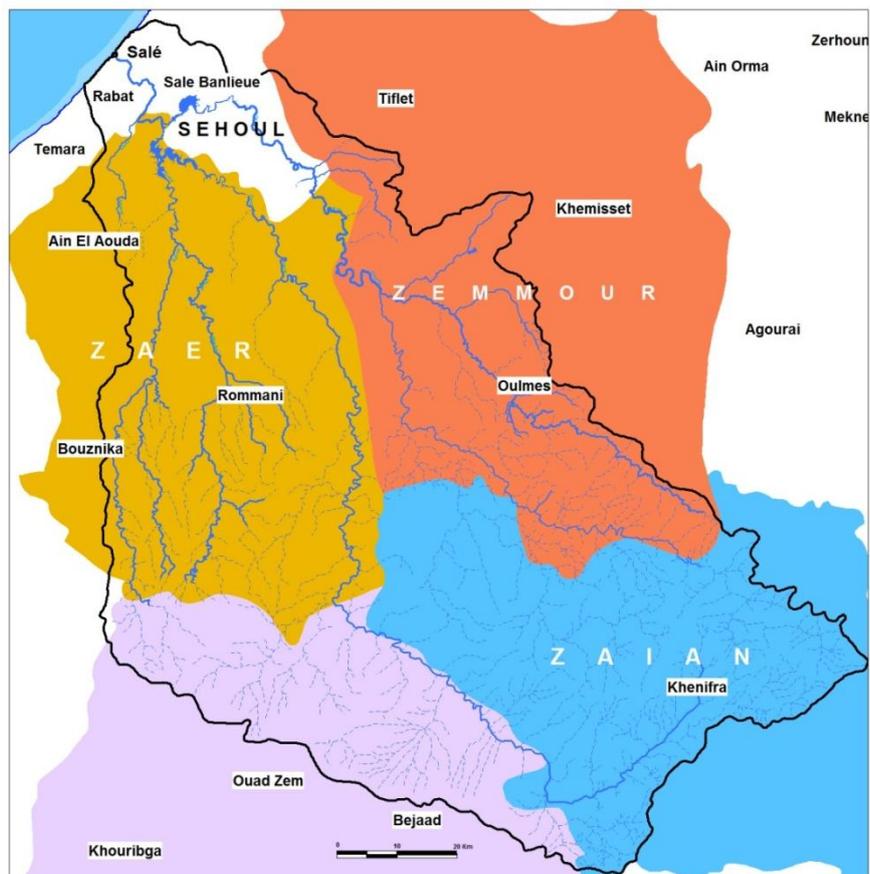


Fig. 1 : Les groupes humains du bassin du Bouregreg

¹ CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UM5A, Rabat

C'est un bassin intermédiaire entre les deux principaux bassins versants du Maroc, le Sebou et l'Oumrbia et est bordé dans la zone littorale à l'W par les petits bassins des oueds côtiers (Yquem, Cherrat, N'Fifikh et Maleh). Mais, contrairement au Sebou et à l'Oumrbia, le bassin versant du Bouregreg limite pratiquement l'utilisation de ses eaux à l'alimentation en eau potable et ne dispose que de très peu de terres irriguées. C'est en fait un domaine de transition entre deux régions agricoles fondamentales au Maroc, la Chaouïa à l'W et les plaines et collines du Sebou et de ses affluents à l'E. La fonction pastorale y a toujours dominé, ce qui explique l'extension des forêts et des parcours et l'installation assez récente des populations, car le bassin a été particulièrement marqué par les flux migratoires et, notamment ce grand mouvement des tribus, qui a touché l'ensemble du Maroc central depuis le XVIème siècle.

Dans le classement des 22 bassins versants prioritaires de la stratégie nationale d'aménagement des bassins versants (HCEFLD, 1994), le Bouregreg a été classé 13^{ème}, ce qui tendrait à signifier que son aménagement ne semble pas urgent à réaliser. C'est pourquoi il est resté à l'écart des grandes opérations de lutte contre l'érosion que le Maroc a menées après son indépendance.

Pourtant, ses terres fragiles, pour des raisons lithologiques et topographiques, subissent une forte tendance à la dégradation et à l'extension des processus d'érosion hydrique et de transports solides. Les problèmes de dégradation des terres se sont même aggravés, avec une extension des surfaces érodées, ce qui appauvrit les sols, réduit les productions agricoles et le potentiel d'alimentation des rares nappes d'eau.

I- Caractéristiques physiques du bassin versant

Le bassin versant du Bouregreg est constitué de plateaux, aux vallées fortement encaissées, avec des rebords plus ou moins découpés en croupes et collines et de moyennes montagnes dans le haut pays. Son altitude est comprise entre le niveau de la mer et le point culminant du Jbel Mtourzgane, à 1726 m, avec la moitié de sa surface étagée entre 500 et 1000 m.

Il est divisé en quatre grandes unités géomorphologiques (Beaudet, 1969) :

- la Dépression orientale, au pied du Moyen Atlas, constituée de couloirs et bassins schisteux, dominés par des barres et crêtes quartzitiques appalachiennes, où naissent le Bouregreg et le Grou.
- le Haut pays, caractérisé par l'encaissement accusé de ses vallées et par des crêtes culminantes, au dessus et des hauts plateaux du Telt, Ment et Oulmès, situés entre 1000 et 1300m d'altitude.
- le Palier intermédiaire composé de plateaux compris entre 600 et 900 m d'altitude, soulignés par des crêtes schisto-quartzitiques appalachiennes séparant des dépressions et reliefs en creux, comme le large affleurement granitique d'Ezzhiliga.
- le Palier inférieur constitué de plateaux de moyenne à faible altitude (inférieure à 500 m) qui s'inclinent en pente douce vers l'océan. Les oueds, dont l'encaissement est important et la vallée souvent étroite, au milieu de croupes d'incision, s'élargissent

dans des sections en matériel tendre de marnes du Miocène supérieur (Maaziz, Sehou) formant ainsi des plaines élargies.

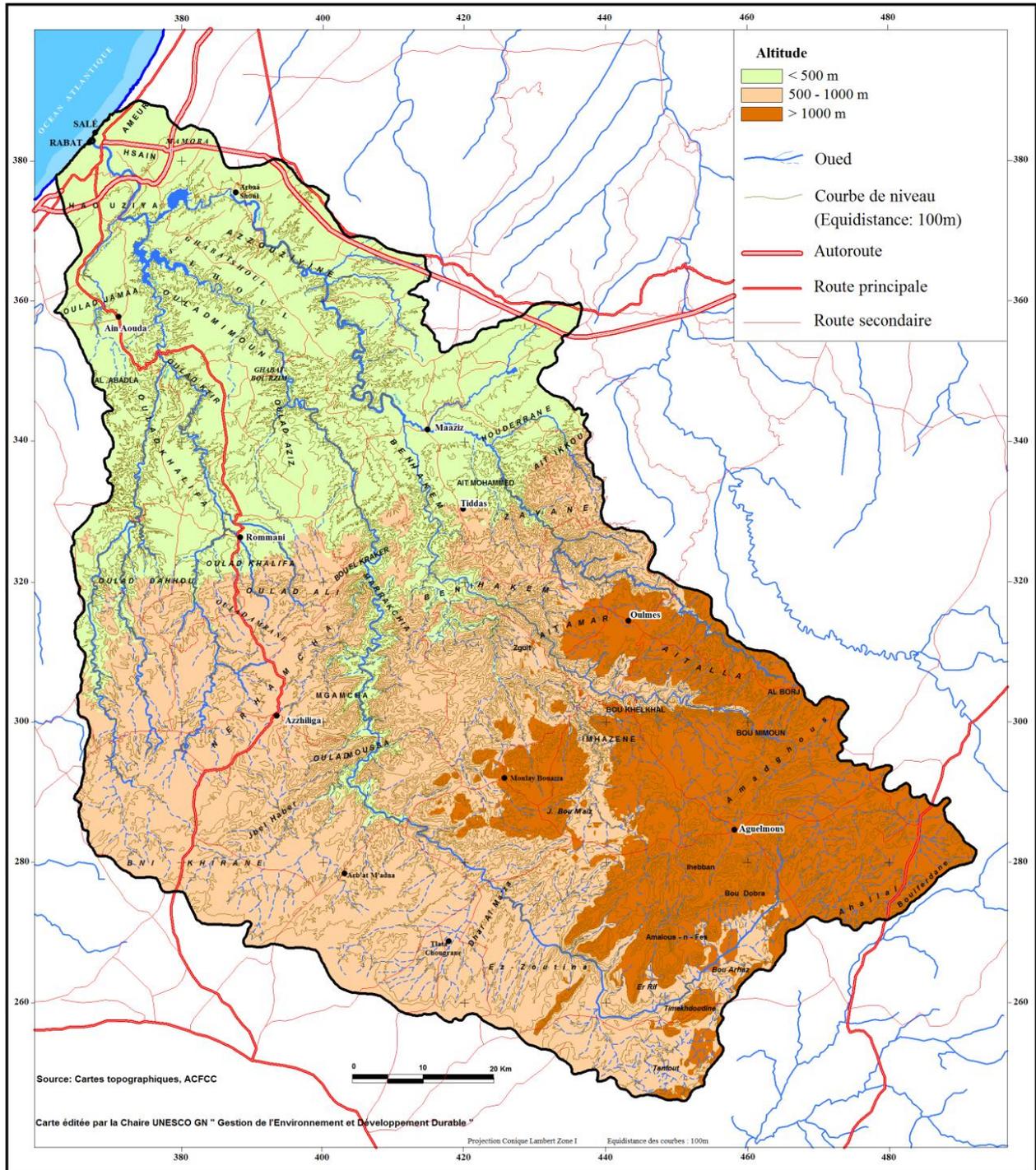


Fig. 2 : Le relief du bassin versant du Bouregreg²

Le bassin versant du Bouregreg est essentiellement constitué de formations géologiques d'origine sédimentaire, datant du paléozoïque et il comporte plusieurs batholites granitiques et de larges affleurements de roches métamorphiques. Il appartient au Plateau central marocain, grand massif hercynien s'étendant sur 150km d'Est en Ouest, du Moyen-Atlas à la Basse-

² La cartographie du bassin, établie par A. Laouina, a été redessinée et mise en page par M. Sfa, au CERGéo.

Chauïa, et sur 100 km du Nord au Sud, du Gharb et bas pays Zemmour au plateau des Phosphates. Cette vaste surface a été plissée, traversée par des roches intrusives et métamorphisée lors de l'orogénèse hercynienne, puis arasée par l'érosion au Permien et durant le Trias, puis partiellement recouverte par des dépôts du Secondaire avec notamment des argiles rouges salifères triasiques, accompagnées par des basaltes fortement altérés (Beaudet, 1969). Ces formations du début du Secondaire ne se retrouvent que dans un vaste synclinorium, orienté ENE – WSW, à la hauteur de Rommani et de Maaziz.

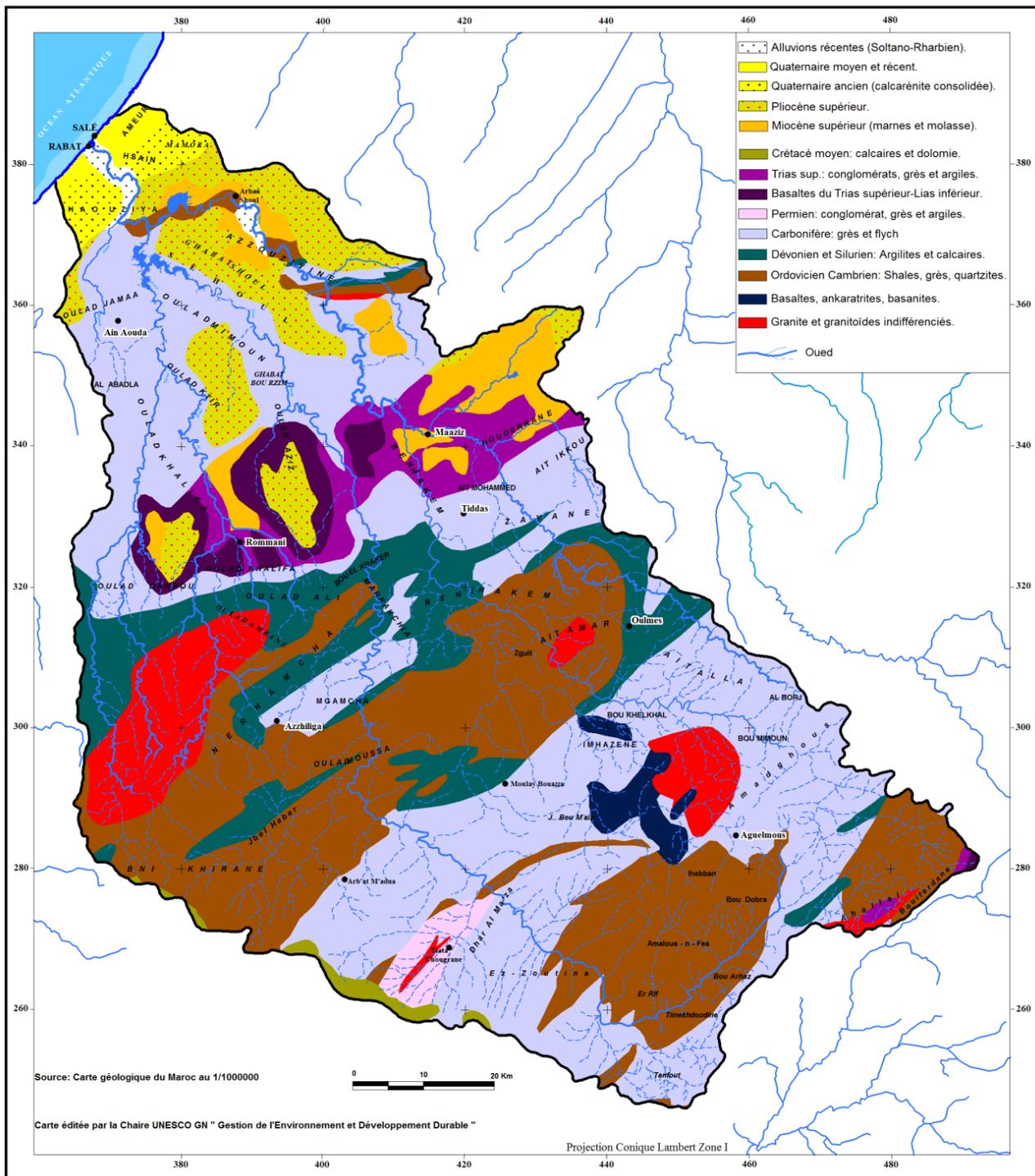


Fig. 3 : Carte géologique du bassin du Bouregreg

Du fait de cette évolution paléogéographique, le bassin-versant présente une grande diversité lithologique avec une nette prédominance de formations schisteuses, gréseuses et quartzitiques. Les granites, calcaires et basaltes s'étendent quant à eux sur de plus faibles surfaces (Beaudet, 1969).

Le socle primaire intensément plissé lors de l'orogénie hercynienne a été entièrement aplani à l'aube du Trias. L'évolution tectonique qui a suivi a permis à l'érosion de sculpter un relief de dissection poussé dans le massif ancien à tendance au soulèvement où, en plus de plans d'érosion sommitaux des plateaux du Ment, Telt et Oulmès, dominés par quelques reliefs résiduels, tel le Mtourzguène, on peut remarquer un relief en creux d'érosion différentielle de type appalachien, dans les séries différenciées de quartzite et schiste et des vallées encaissées aux rebords découpés en croupes dans les séries de flysch plus homogènes.

La partie nord du bassin-versant a fonctionné comme golfe marin au Messinien et au Pliocène. La subsidence messinienne a permis le dépôt de marnes épaisses dans la région des Sehoul et à proximité de Rabat ; dans ce matériel, la vallée du Bouregreg a creusé de larges bassins séparés par des gorges dans les sites moins subsidents où affleure le socle plus résistant. La calcarénite pliocène des plateaux littoraux passe vers l'intérieur à des épandages sablo-caillouteux, sur lesquels se sont développés des sols rouges. Des complexes de cordons côtiers parallèles à la mer, sont issus de cycles sédimentaires littoraux et dunaires et sont responsables de la surface ondulée de la meseta atlantique, en émergence progressive depuis le Miocène.

Les sols

Le bassin versant du Bouregreg offre une large gamme de sols. En effet, l'hétérogénéité du substrat géologique, le caractère différencié du relief, les oppositions climatiques et l'inégal recouvrement de la végétation expliquent la diversité des sols et leur équilibre, souvent précaire. Trois grands types de sols dominant :

- des sols peu évolués d'érosion, caractérisés à la fois par un faible degré d'altération et par l'ablation de leurs horizons de surface ; c'est le faciès pédologique dominant dans les terrains en pente, au couvert végétal dégradé ;
- des sols fersiallitiques, développés sur les calcarénites plio-quadernaires, dans la meseta littorale, sur les épandages des bas plateaux Zaër et Zemmour et sur des terrains granitiques et gréso-schisteux en montagne, sous forêt de chêne liège ou de chêne vert ; les sols rouges des plateaux littoraux ont été façonnés lors des phases humides quadernaires et se sont formés sur des complexes de cordons côtiers parallèles à la côte actuelle.
- des sols bruns forestiers, développés dans des sites subhumides, à couvert forestier fourni et conservé et dont la profondeur peut atteindre 0.8 à 1m ;

Dans la bande littorale, les sols fersiallitiques dérivent de l'altération en milieu méditerranéen des complexes de calcarénites plio-quadernaires (dépôts marins et éoliens). La décalcification crypto-karstique a été différenciée (formation de poches et lapiés) en fonction de la nature chimique et minéralogique de la calcarénite et de la position des sites (crête de plage ou crête

dunaire, versant, fond de dépression. Les insolubles de la calcarénite (quartz et minéraux altérables) ont fourni la matrice et le squelette des sols. Le sable est un élément majeur de ces sols et explique l'importance des phénomènes de dégradation ultérieurs (notamment le remaniement éolien).

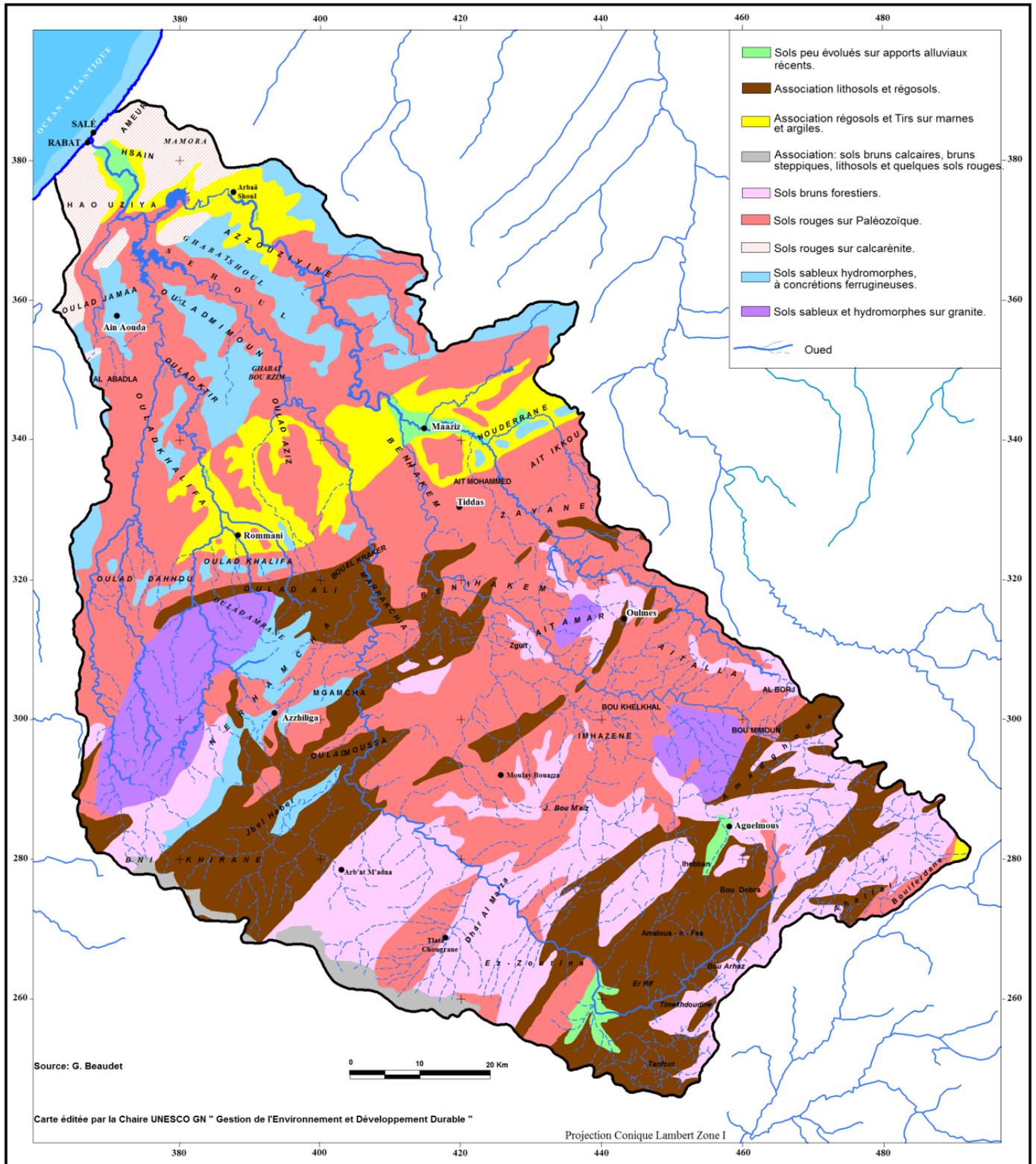


Fig.4 : Les sols du bassin du Bouregreg

Le calcaire est présent dans les sols, dans les sites d'altération réduite (sols minces ou amincis, larges têtes de lapiés, flancs de certaines poches) . Il est par contre absent des sites bien drainés, notamment au sein des sols argilo-sableux épais et au milieu des poches karstiques. Sur les versants, les sols formés sur le plateau sont remaniés à l'état de colluvions, épaissies vers l'aval.

Les formations du plateau présentent un profil composé de deux grands ensembles, une formation sablo-argileuse rouge homogène ou différenciée en horizons et une formation de sables beiges, constante.

Une discontinuité souligne le passage de l'horizon rouge à l'horizon de sables beiges dans tous les profils. Les plateaux ont connu des phases de remaniement de leurs sols, avec des cas de troncature et de rajeunissement ou au contraire des cas de recouvrement et de fossilisation.

L'assèchement du milieu au Würm (datation par thermoluminescence) et l'éclaircissement du couvert végétal ont entraîné un remaniement éolien généralisé, opérant sur les horizons sableux superficiels, liés au lessivage des sols rouges. L'humidification holocène et la recolonisation végétale ont permis la reconstitution d'un horizon humifère stable, sous le couvert de la subéraie (horizon gris).

La pression actuelle sur la forêt et la dégradation qui l'affectent menacent à nouveau de désertification ce milieu fragile, présentant un capital de matériel sableux remarquable, emmagasiné dans les épaisses formations de « sables beiges », considérées par les pédologues comme horizons A2 des profils de sols rouges de la Mamora. La dégradation des sols par effet du ruissellement de surface est effective et prend la forme de rigoles à action massive de transport, sur versants même de pente faible, sur parcelles fraîchement labourées notamment. La dégradation éolienne est encore plus manifeste dans les larges parcelles défrichées au sein de la Mamora, en période de sécheresse notamment.

Climat

Dans ce domaine atlantique, l'influence de l'océan est très nette, en particulier, dans les bas plateaux, avec des amplitudes assez modérées ; dans le domaine plus continental, les moyennes hivernales tournent autour de 10° et celles de l'été, autour de 26°. La région d'Oulmès possède même des caractères de moyenne montagne subhumide.

Les différentes zones climatiques (classification d'Emberger) correspondent grosso modo aux principales unités géomorphologiques du bassin versant :

- La région de Rabat reçoit en moyenne près de 500 mm de pluie et enregistre une température moyenne annuelle de 18°, ce qui classe cette région en zone à climat subhumide.
- La partie centrale du bassin, soit le palier inférieur et intermédiaire, enregistre une pluviométrie moyenne d'environ 400 mm et une température moyenne de 17°C ; cette zone est de climat semi-aride.

- La partie Sud-Est du bassin au niveau d'Aguelmous, de M'rirt et de Khénifra correspond à la dépression orientale soumise à un climat de moyenne montagne continentale, avec plus de 400 mm/an et une température moyenne de 15°C mais aussi un réchauffement considérable au fond des vallées en été. Cette évaporation exacerbée la classe en zone aride.
- Le Haut pays d'Oulmès, entre 700 et 1627 m d'altitude est une zone de moyenne montagne continentale, avec une pluviométrie qui dépasse 600 mm et une température moyenne annuelle de 15°C, ce qui le classe en zone subhumide.

L'eau

Le Bouregreg a un débit moyen de 23 m³/s, avec des pointes enregistrées de 1 500 m³/s en période de crue. Il prend sa source dans la dépression orientale du Plateau central (Beaudet, 1969), au pied du Moyen-Atlas et n'est donc pas alimenté par des sources karstiques qui auraient assuré un débit de base plus important et plus régulier ; mais la traversée des divers paliers étagés de la Meseta, en direction du littoral atlantique, lui assure quand même une alimentation assez correcte par les eaux de ruissellement et quelques suintements à partir des petites nappes localisées dans les altérites développées sur les substrats divers, formés de roches sédimentaires, granitiques et métamorphiques de la meseta.

- Les eaux du bassin, dont le potentiel annuel est de 720 Mm³, proviennent pour la plupart des eaux de surface qui fournissent 690 Mm³, mais aussi des eaux souterraines, pour environ 30 Mm³. Le barrage de SMBA retient la totalité des eaux de ce bassin et régularise 245 Mm³ dont 80 pour l'agglomération de Rabat-Salé.
- Le réseau hydrographique est assez développé. Il s'articule autour de deux principales rivières : l'oued Bouregreg, qui draine une surface de 3 830 km² au Nord-Est du bassin, et l'oued Grou et ses affluents (Korifla et Akreuch), qui drainent une surface de 5 760 km², au Sud-Ouest du bassin.
- Les apports d'eau sont étroitement liés au régime pluviométrique qui présente une très grande variabilité saisonnière entre les périodes de crues (de décembre à avril avec un maximum en février) durant la saison des pluies et les périodes d'étiage à quasi-tarissement lors et surtout en fin de saison sèche.

Les ressources en eau souterraines sont uniquement présentes dans le bas plateau littoral (nappe de la Mamora, des Sehoul et de Témara). L'aquifère est constitué par les calcarénites plio-quaternaires. Cette eau sert pour l'alimentation urbaine et pour l'irrigation des jardins.

-La nappe de Témara : D'une superficie de 350 km² et avec un potentiel de 11 Mm³/an, elle se caractérise par un bilan légèrement déficitaire et une diminution de son aire d'alimentation, suite à l'extension de l'urbanisation.

-Nappe de la Mamora : L'infiltration est estimée à environ 170 Mm³/an, alors que les prélèvements sont évalués à 105 Mm³/an.

-Nappe des Sehoul : C'est une extension de la nappe de la Mamora, avec une superficie de 200 km², mais une moindre épaisseur de la couche réservoir ; son bilan est fortement déficitaire.

La végétation

La forêt occupe 26% de la superficie totale de la région de Rabat-Salé, mais connaît un processus important de dégradation du fait de l'abus du droit d'usage, des prélèvements illicites pour la ville et pour la carbonisation, des incendies et de la surexploitation pastorale.

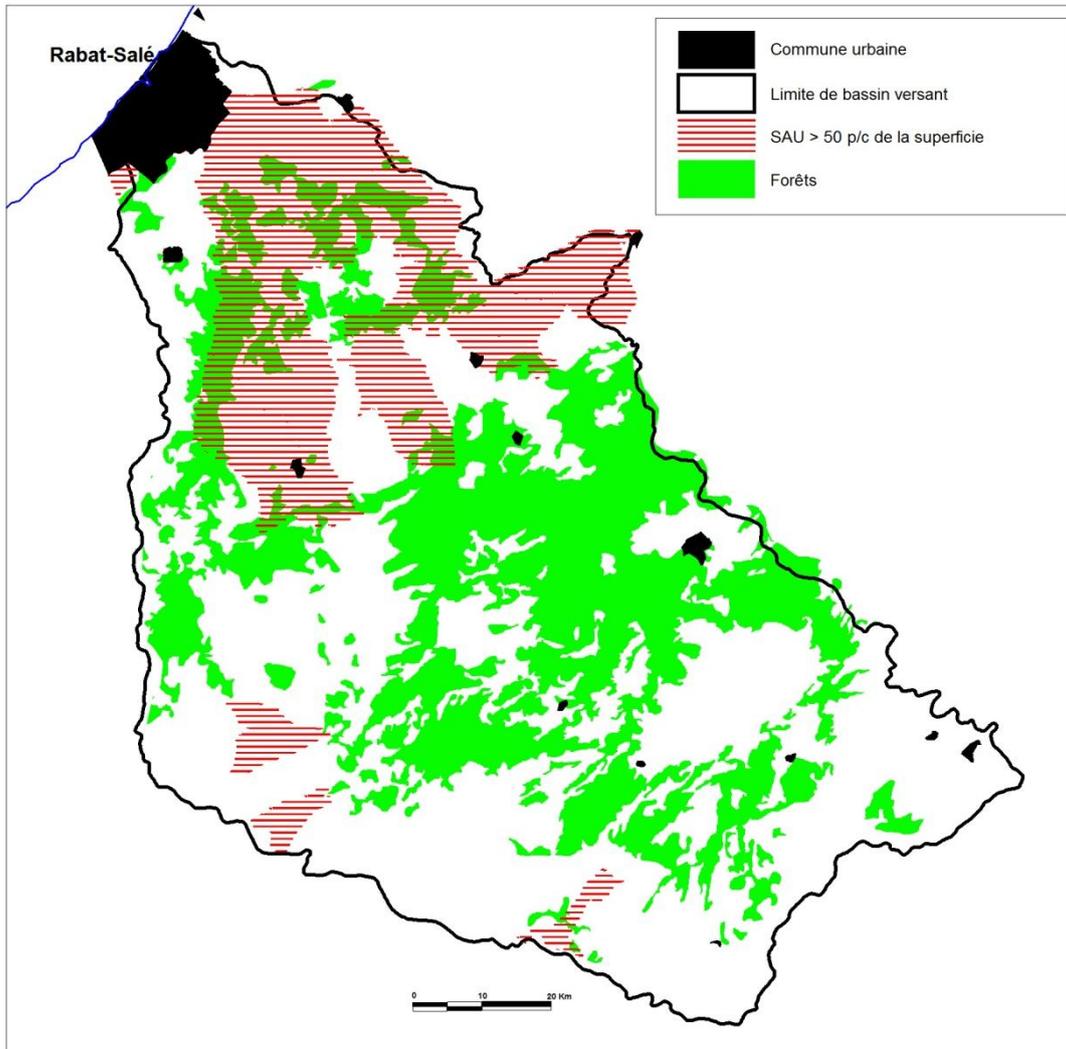


Fig. 5 : Distribution de la SAU et de la forêt dans les communes du bassin versant

La région est riche en biodiversité sur le plan des écosystèmes et des espèces ; mais elle a perdu beaucoup de ses qualités naturelles suite à la mise en culture des secteurs humides où une flore originale et endémique se développait. Le bassin versant du Bouregreg recèle une importante diversité paysagère et floristique et comprend notamment deux sites d'intérêt biologique et écologique, la forêt d'El Harcha et le plateau Ment. Sa caractéristique principale est l'importance du couvert forestier, aussi bien en plaine (Mamora) qu'en montagne. Les espèces dominantes sont le chêne liège et le chêne vert, dans les positions subhumide et semi-aride ; en zone à tendance aride, ces espèces sont remplacées par le thuya et l'oléastre.

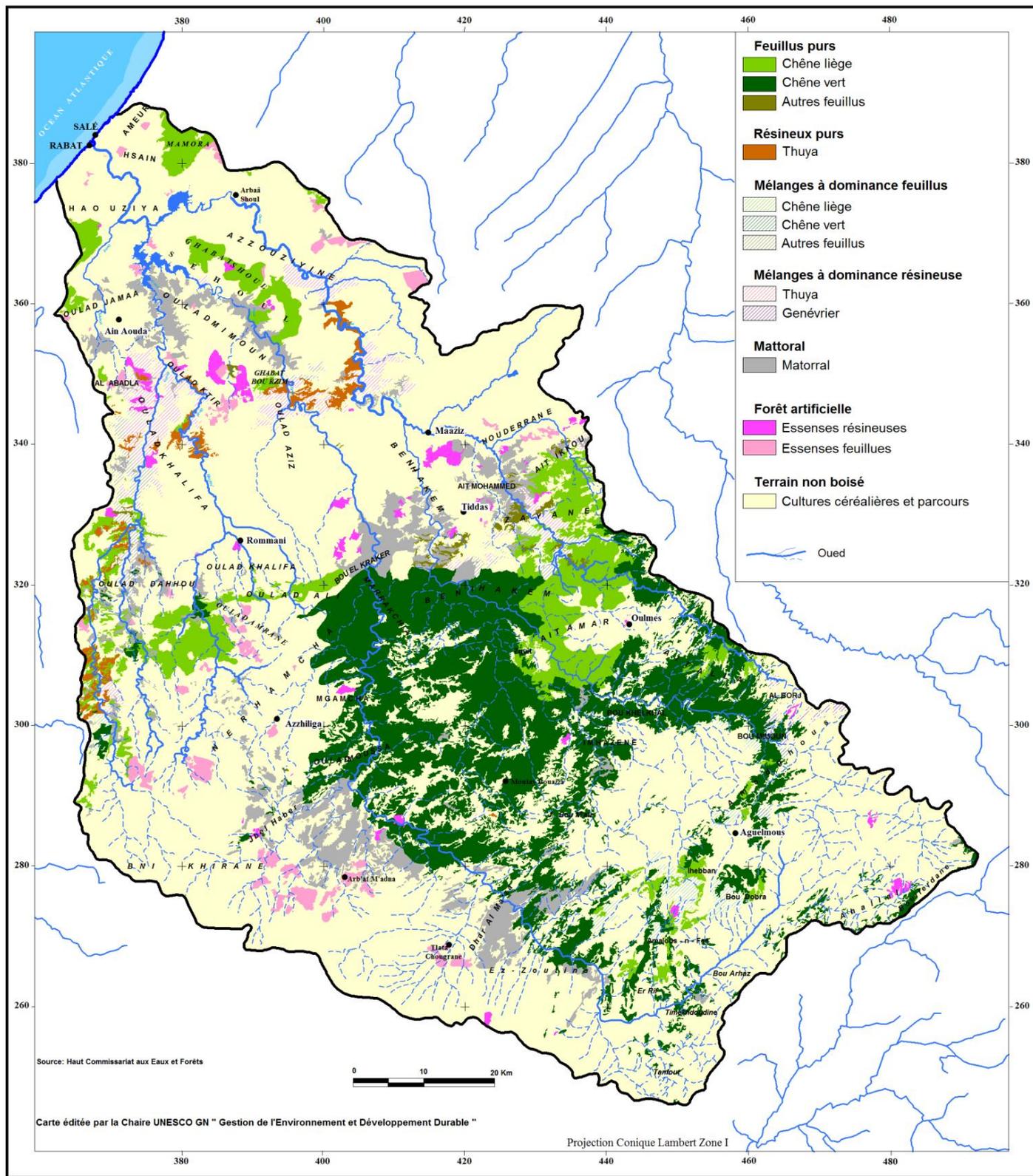


Fig. 6 : Les types de couverts forestiers dans le bassin du Bouregreg

II- Caractéristiques humaines et utilisation des terres

Selon le recensement de la population de 2004, le bassin versant du Bouregreg compte une population de 2,37 millions d'habitants. Plus de 80% d'entre eux, soit environ 1,89 millions, sont urbanisés et vivent dans des centres urbains tels que Rabat, Salé et Khémisset tandis que 20%, soit environ 480 000h, vivent en zone rurale dans des petites communes et des douars tels que Aït Belkacem et Moulay Driss Aghbal.

La répartition de cette population sur le bassin est largement influencée par les caractéristiques géomorphologiques du bassin. Le haut pays montre des densités nettement plus faibles, comparées à celles du palier inférieur ou de la limite SW du bassin versant. Mais c'est le pays Zemmour qui montre les concentrations les plus fortes.

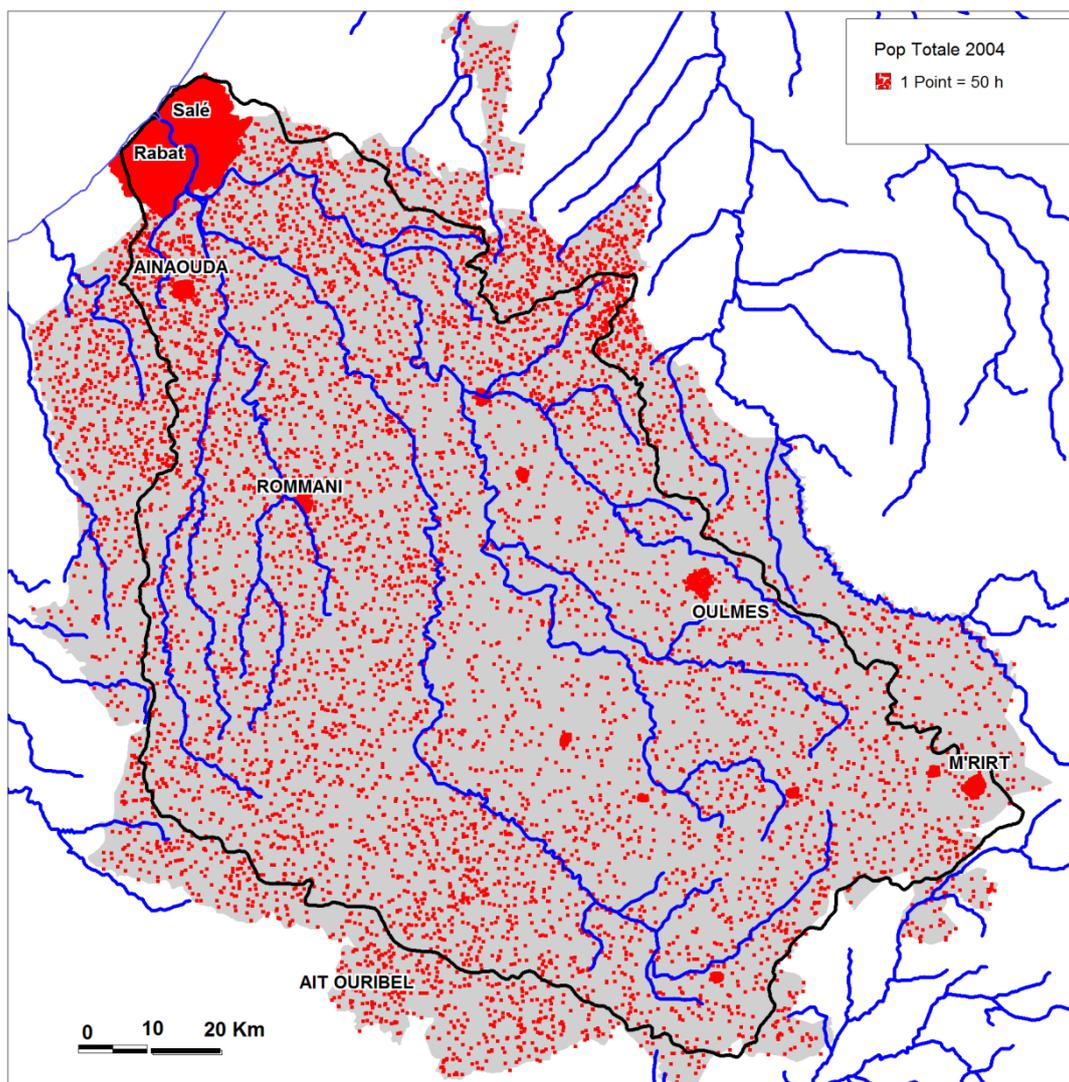


Fig. 7 : Distribution de la population (en gris, les communes couvrant le bassin versant)

La SAU (surface agricole utile) couvre plus du tiers de la superficie des communes dans le palier inférieur du plateau central et en direction du SW. Mais c'est dans le pays Zemmour et

dans certaines communes des Zaër, qu'elle atteint les taux les plus élevés, avec plus de la ½ de la superficie.

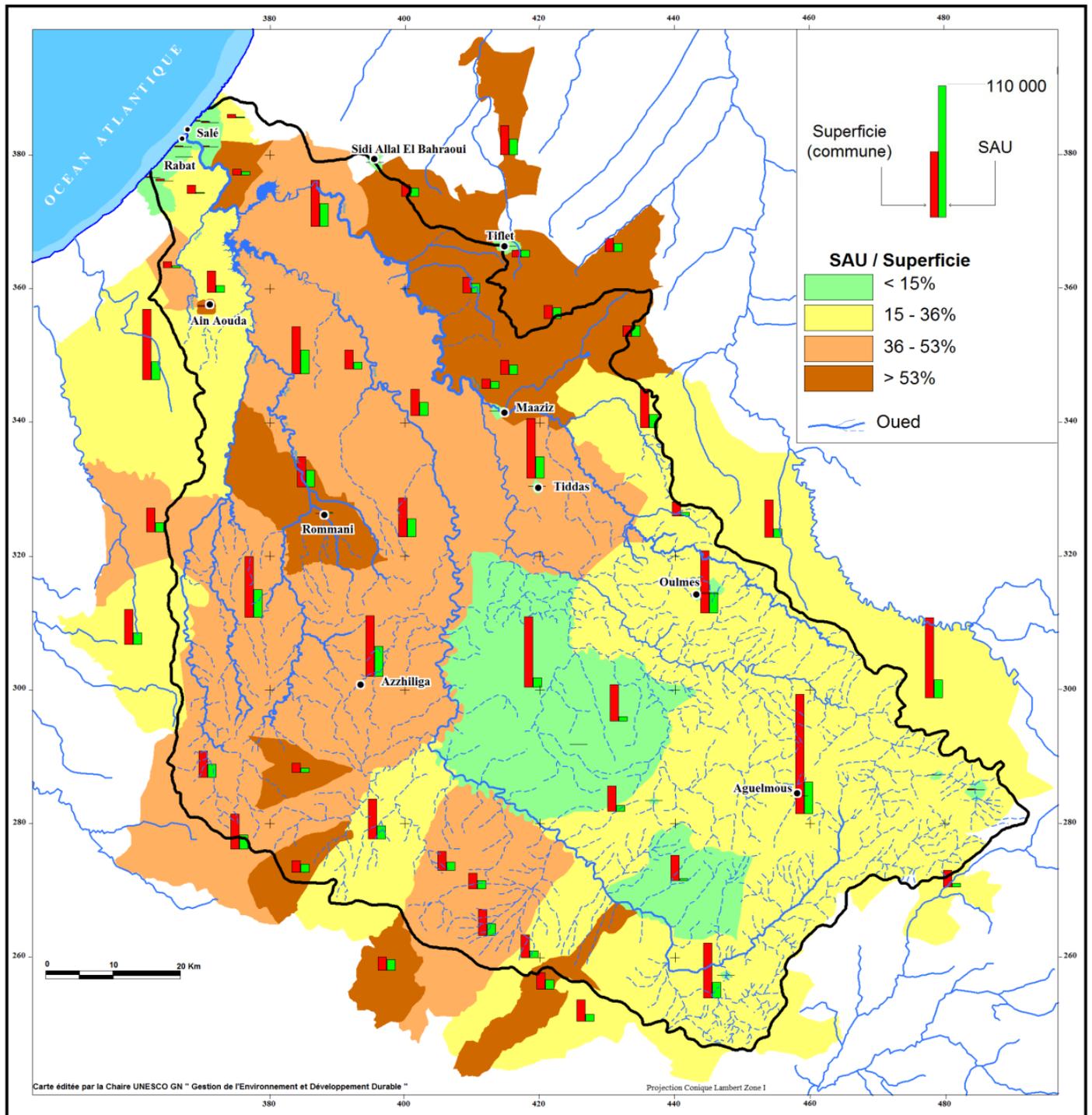


Fig. 8 : Extension des communes et part de la SAU en % de la superficie

Partout la céréaliculture domine très nettement. Seules les communes du palier inférieur montrent une certaine diversité des cultures pratiquées, avec notamment une certaine présence des légumineuses, du maraîchage, des plantations fruitières et des cultures fourragères ; par

contre, dans les communes du Haut pays et du SW, on voit grandir la part de la jachère, à côté des céréales.

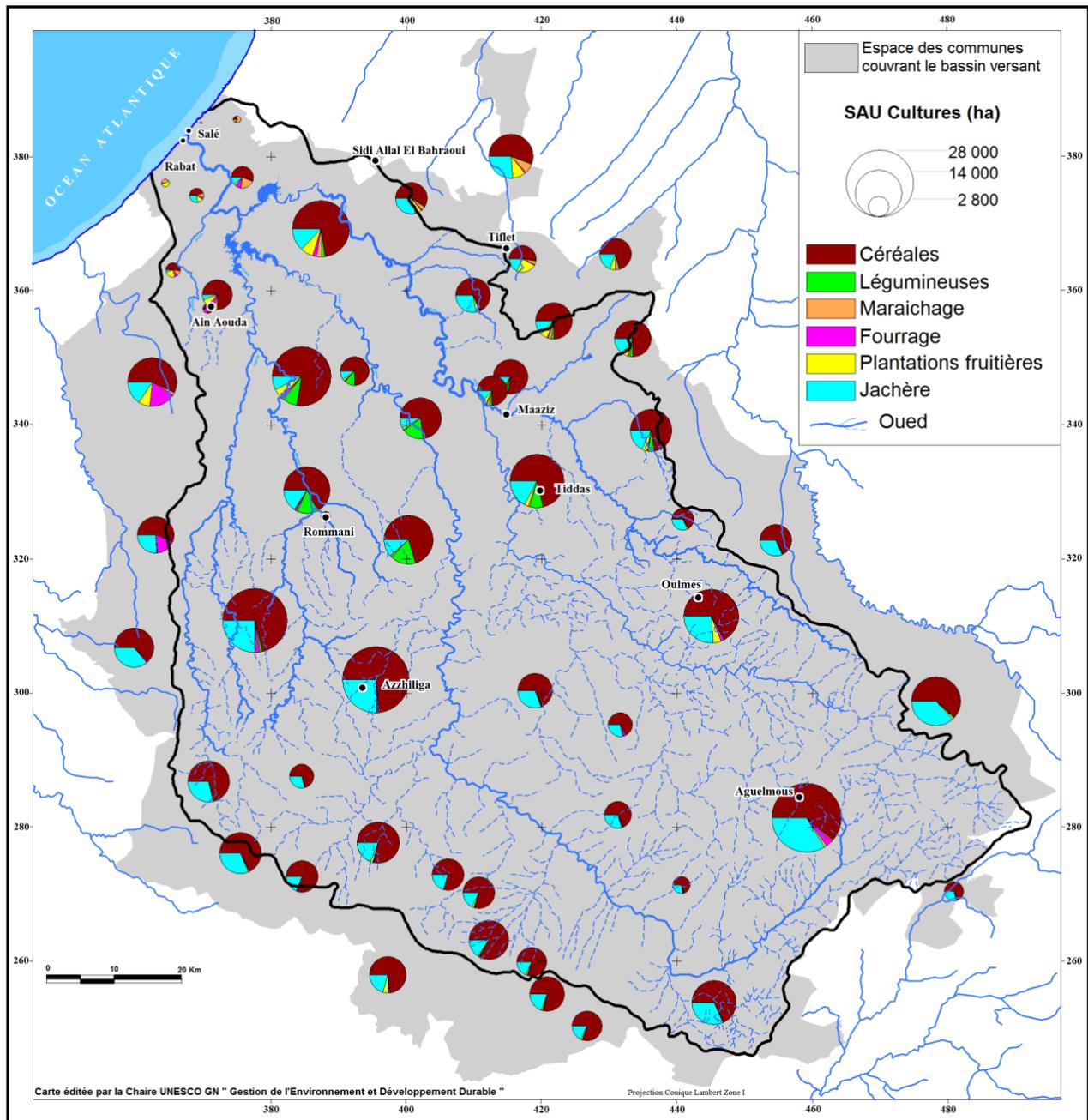


Fig. 9 : Types de cultures dans les communes du bassin du Bouregreg

La part de l'agriculture irriguée (fig. 10) est très faible dans le bassin du Bouregreg, malgré la présence d'une grande retenue de barrage. Mais il s'ajoute au fait que cette retenue est localisée très en aval, le fait que ses eaux sont destinées entièrement à l'alimentation en eau potable de plusieurs agglomérations du littoral atlantique entre Kénitra et Casablanca.

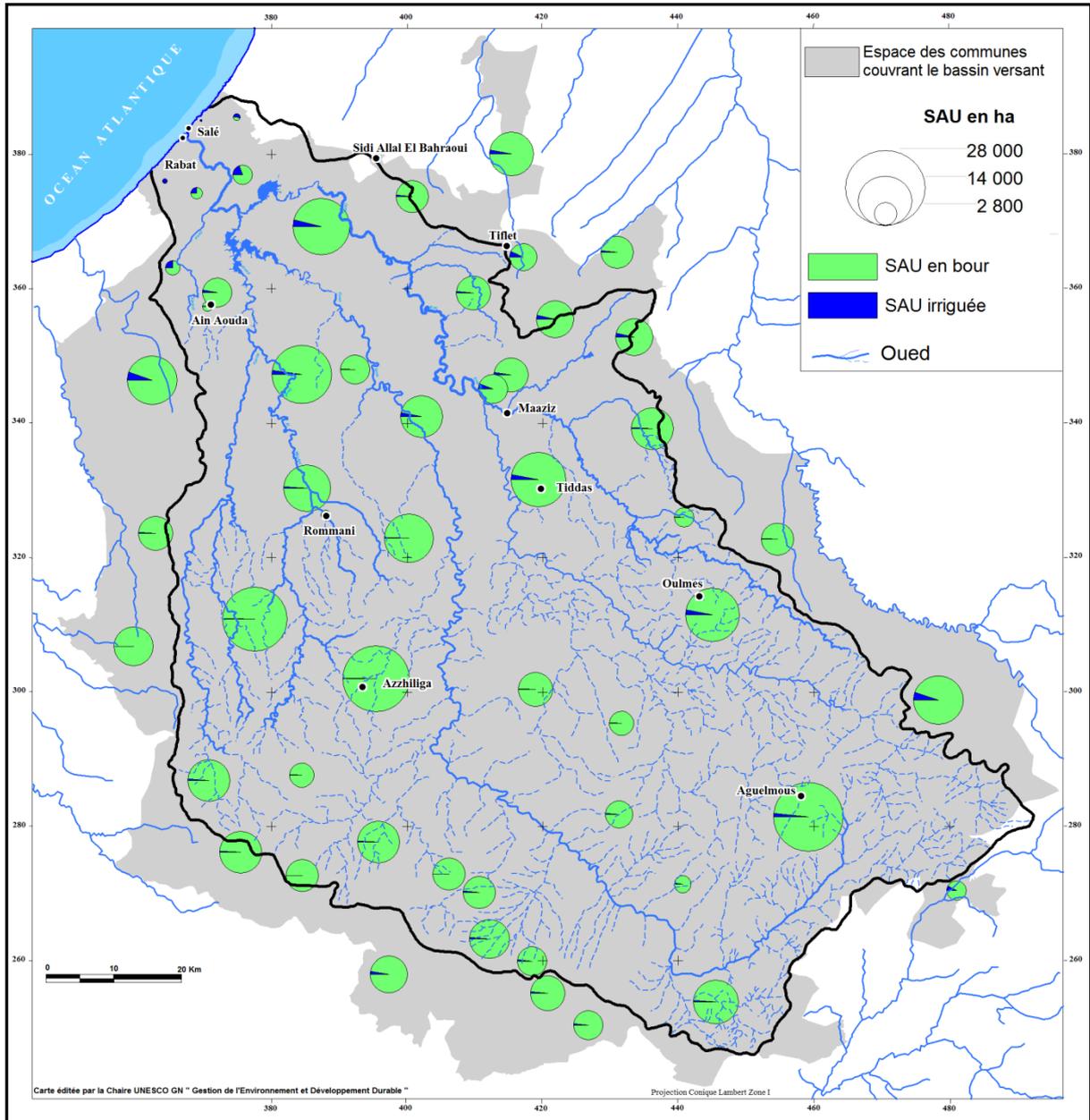


Fig. 10 : La part de l'irrigation dans l'activité agricole

En ce qui concerne l'élevage, sa part dans l'économie du bassin versant est prépondérante et de larges surfaces cultivées, le sont essentiellement pour assurer au bétail une part du fourrage nécessaire. Le reste est directement prélevé sur les couverts végétaux naturels ou sur les jachères. Les troupeaux sont fournis en nombre, ce qui pose le problème du surpâturage, notamment dans les terres les plus vulnérables des collines du palier moyen et supérieur. Les caprins, rares dans le bas pays, notamment chez les Sehoul et les Zemmour, représentent une bonne part des troupeaux du haut pays et des terres plus arides du SW. Par contre les bovins, dont les besoins en fourrage riche sont plus élevés, sont surtout présents dans la frange septentrionale du bassin versant. Le palier inférieur et le palier intermédiaire sont partagés entre deux tribus berbères, les Zaër et les Zemmour, qui y exercent l'agriculture et l'élevage.

Le Haut pays et la Dépression orientale sont quant à eux surtout occupés par les Zaïan, le contexte d'un système agro-sylvo-pastoral.

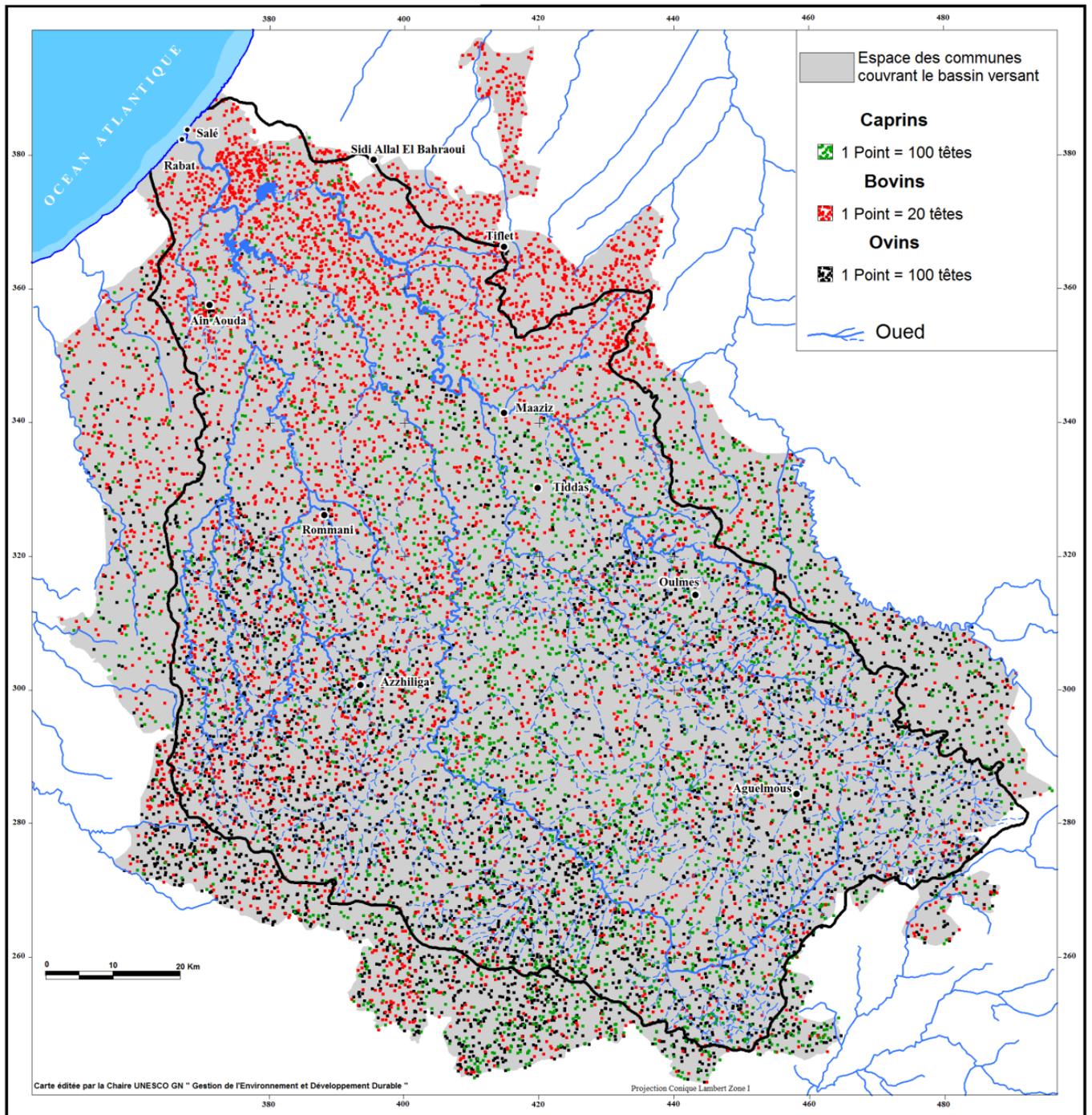


Fig. 11 : Distribution du troupeau dans les communes du bassin du Bouregreg

Conclusion

Les travaux sur le bassin versant du Bouregreg, développées à l'occasion du projet SIGMED, ont parmi leurs conclusions, posé la question d'une contradiction entre les bilans d'apports

solides enregistrés dans les stations hydrométriques du cours moyen du Bouregreg et du Grou, globalement assez modérés et les manifestations de dégradation observées dans le palier inférieur et notamment sur les abords immédiats de la retenue du barrage SMBA.

L'historique de l'occupation des versants de vallées dans la basse meseta atlantique est une clé majeure pour comprendre cet état des choses. Les populations ont investi les versants aux conditions difficiles poussés par la mise en culture des plateaux et par l'adoption de règles strictes de l'usage des forêts précieuses de chêne liège ou de thuya. Le matorral a subi alors les effets du surpâturage, ce qui explique l'extension des formes de dégradation. La colonisation agraire étrangère du 20^{ème} siècle a elle aussi joué un rôle dans ce processus de glissement de l'agriculture et de densification du pâturage sur les versants.

Les travaux sur le bassin, dans le cadre de SIGMED et d'autres projets, notamment DESIRE, ont visé la détermination des zones critiques, requérant une intervention prioritaire, dans un contexte de changement climatique et d'augmentation de la pression humaine sur les ressources naturelles. Le but ultime est la proposition de modes de gestion durable des terres, sur la base d'une évaluation hydrologique d'efficience et économique de faisabilité et de viabilité. Ils constituent la matière des contributions publiées dans cet ouvrage et qui ont été présentées lors de la réunion multi-acteurs organisée au CERGéo, le 28 mai 2013.

Bibliographie

- Aderghal M 1993. Le Massif d'Oulmès et ses bordures : évolution agraire et organisation de l'espace dans le pays Zaïan – Zemmour (Maroc du Nord Ouest). Thèse de Doctorat en Géographie, Université Montpellier III (France)
- Aderghal M., Watffeh A., Tailassan M., Nafaa R. & Al Karkouri J. (2007) : Les techniques de CES dans le Plateau Central, le haut pays d'Oulmès in GCES au Maroc, Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 151-164
- Antari E. (2007) : Mesure du ruissellement et de l'érosion des terres dans le micro-bassin versant Matlaq et essai de modélisation (Région de Rabat, Maroc). Thèse de Doctorat. Université Mohammed V Agdal, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Rabat, 218p.
- Beudet G. 1969, Le Plateau central marocain et ses bordures. Etude géomorphologique. Rabat, 478 p.
- Ghanem H. (1981); Contribution à la connaissance des sols du Maroc. Genèse et répartition des sols des régions des Zaers, de la basse Chaouia et des Shouls (Méséta marocaine). Cahiers de la Recherche Agronomique n° 37 et 38, INRA, Rabat.
- Laouina A., Coelho C., Ritsema C., Chaker M., Nafaa R., Fenjiro I., Antari M., Ferreira A. & Van Dijck S. (2004) : Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc), Sécheresse, vol. 15, n° 1, p. 66-77.
- Laouina, C. Coelho, C. Ritsema, M. Chaker, R. Nafaa, M. Antari, A. Ferreira et S. van Dijck (2006) : La différenciation spatiale des comportements des terres dans le micro-bassin de Matlaq (région de Rabat, Maroc, Zeit. für Geomorph., suppl. vol. 143, p. 127-141.

EVOLUTION DES DEBITS LIQUIDES ET SOLIDES DU BOUREGREG

Gil MAHE¹, Hamid BENABDELFADEL², Claudine DIEULIN¹, Meryem ELBARAKA¹, Mohamed EZZAOUINI³, Kenza KHOMSI⁴, Nathalie ROUCHE¹, Mohamed SINAN⁵, Maria SNOUSSI⁶, Armand TRA BI⁷, Abdelaziz ZEROUALI³

Résumé

Au Maroc l'Oued Bouregreg draine le ruissellement du centre nord du pays depuis le Moyen Atlas vers l'Atlantique. Ses eaux sont stockées dans la retenue du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah en amont de Rabat, pour desservir en eau douce un bassin de population de près de 8 millions d'habitants jusqu'à Casablanca. Depuis la création du barrage en 1974 la population a beaucoup augmenté et les pluies ont diminué à partir de 1979. Ceci a entraîné la surélévation de la digue pour augmenter la capacité de la retenue du barrage en 2006. Un second souci est le comblement de la retenue par les sédiments, phénomène d'ampleur modérée sur le Bouregreg, mais qui mérite d'être quantifié dans un environnement socio-économique et climatique changeant. Les résultats présentés ici concernent l'évolution des pluies, des débits et des transports solides. Ils ont été obtenus dans le cadre du programme SIGMED (approche spatialisée de l'impact des activités agricoles sur les transports solides et les ressources en eau de grands bassins versants), financé par l'AUF et l'IRD.

Mots clés : Bouregreg ; Maroc ; SIGMED ; sédiments ; barrage ; pluie ; débit

INTRODUCTION

Dans le cadre du projet SIGMED, qui propose une approche Spatialisée de l'Impact des activités agricoles au Maghreb sur les transports solides et les ressources en Eau De grands bassins versants (Mahé *et al.*, 2013a), l'oued Bouregreg a été choisi pour développer l'étude pluri-disciplinaire au Maroc. Le Bouregreg est l'un des cinq grands fleuves marocains par le débit et la taille, il présente la particularité d'être barré à 18 km de son embouchure par le très grand barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah, de plus d'un milliard de m³, qui dessert les deux plus grandes agglomérations du Maroc Rabat-Salé et Casablanca pour un bassin de population de plus de 8 millions d'habitants. Il est indispensable de connaître l'évolution des ressources en eau disponibles pour ce barrage, dans un environnement climatique changeant. De plus, dans un contexte méditerranéen semi-aride (Driouech *et al.*, 2010) depuis la baisse des pluies de 1979 (Singla *et al.*, 2010), et une augmentation des événements extrêmes (Khomsi *et al.*, 2012), les conditions de l'érosion et du transport solide ont été modifiées. Les premiers résultats du programme SIGMED ont clairement montré également l'impact des activités humaines sur l'environnement et les conditions d'érosion (Mahé *et al.*, 2013b ; Laouina *et al.*, 2010) mais il reste pour le moment difficile de quantifier les parts anthropiques et climatiques des modifications récentes des dynamiques érosives sur le bassin. Cette étude présente

¹ HydroSciences Montpellier, France, [Contact : gil.mahe@ird.fr](mailto:gil.mahe@ird.fr)

² Direction de la recherche et de la Planification de l'Eau, Rabat, Maroc

³ Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia, Ben Slimane, Maroc

⁴ Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc

⁵ Ecole Hassania des Travaux Publics, Casablanca, Maroc

⁶ Université Mohammed 5, Rabat, Maroc

⁷ Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

(SIGMED). Il reçoit, le long de son parcours près de Ras Ennouala à 25 km de l’océan atlantique, l’oued Grou et, à 18 km de l’aval de sa confluence l’oued Akrech caractérisé par un régime variable et un débit très faible.

Depuis 1974, le cours de la rivière de Bouregreg a été modifié par le Barrage de Sidi Mohammed ben Abdallah. A 18 km de l’embouchure, le barrage constitue le principal dispositif existant en matière de mobilisation des eaux de surface du bassin. Il est alimenté par les oueds : Bouregreg, Grou et Korifla (Figure 2). Il assure l’alimentation en eau potable de toute la région de Rabat, de Salé et de Casablanca. Le barrage est d’une hauteur de 97,5m. Depuis sa création, sa capacité en eau était de 446 millions de m³, mais, après les travaux de surélévation du barrage en 2006 (Figure 3), celle-ci est passée à 1025 millions de m³. Cette surélévation a également permis de porter la hauteur du barrage de 97,5 à 105 m (d’après le site du ministère de l’Energie, des Mines, de l’Eau et de l’Environnement). Comme tous les barrages situés en Afrique du nord, le barrage SMBA connaît d’énormes problèmes d’envasement qui sont estimés de l’ordre de 2,5 Mm³/an, ce qui correspond à une dégradation spécifique annuelle de 370t/km²/an (Lahlou, 1986). Le bassin contient également sept barrages collinaires : Aird, Ait Lamrabtia, Bouknadel, Mahrouk et N’khila à El Khémisset, Ain Tourtoute, et Tskrame à Khénifra.

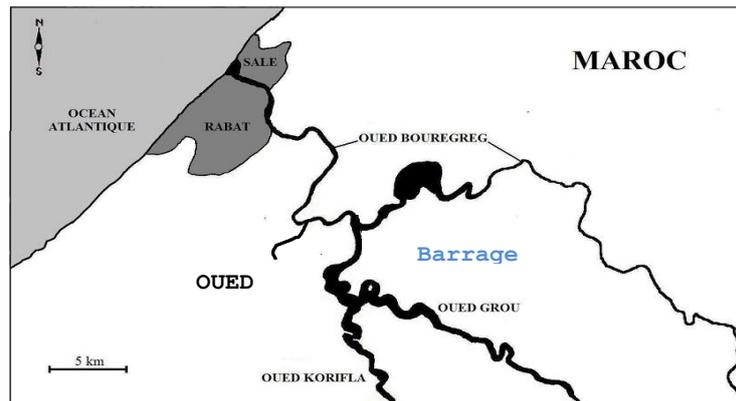


Fig.2 : Le barrage Sidi Mohammed Ben Abdallah et les principaux oueds affluents



Fig.3 : Photo des travaux de surélévation du barrage SMBA (2006), source : ABHBC (Rabat, Maroc)

Au total, 10 stations hydrologiques dont une automatique et six autres équipées de postes d'annonce de crues, permettent de contrôler les écoulements de surface, générés au niveau du bassin du Bouregreg et de ses affluents. Ces écoulements, de régime intermittent, sont caractérisés par une grande variabilité aussi bien dans le temps que dans l'espace.

Le climat du bassin est du type semi aride, subissant les effets de l'altitude, de l'extension en latitude et de son ouverture sur la façade atlantique.

La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 760 mm au poste d'Oulmès, contre 450 mm à Rabat, et un minimum vers 350 mm dans le sud du bassin. La saison pluvieuse s'étend d'octobre à avril, pendant laquelle la quasi – totalité des épisodes pluvieux sont observés et qui produisent une pluviométrie cumulée de l'ordre de 90% de la pluviométrie annuelle. La saison sèche quant à elle s'étend du mois de Mai à Septembre et se distingue par la rareté des pluies qui ne dépassent guère 10 % de la pluie annuelle.

Les températures moyennes annuelles oscillent au niveau du bassin entre 15° et 18° C sur la côte et 15° et 17° en zone de montagne. Des maxima supérieurs à 45° par vent de Chergui sont parfois observés.

Le contexte hydrogéologique défavorable du bassin du Bouregreg, constitué essentiellement de formations géologiques imperméables d'âge primaire, est à l'origine de l'absence de nappes d'eau souterraines potentielles.

Les formations géologiques de type cristallines ou métamorphiques ne donnent qu'une faible charge dissoute et en suspension, mais il y a de larges étendues schisteuses fournissant des suspensions, en plus des altérations et colluvions qui fournissent des apports importants, ce qui n'exclut pas des problèmes d'érosion marqués surtout dans les zones d'accumulations alluviales et dans la partie aval du bassin à sédiments néogènes.

Selon le recensement de 1994, le bassin du Bouregreg compte une population de l'ordre de 1.985.000 habitants, dont 21% sont des ruraux, soit environ 424.000 habitants.

EVOLUTION DES TEMPERATURES

Le but de cette partie est de suivre l'évolution de la fréquence des situations météorologiques locales rares et très rares entre 2005 et 2009 et de déterminer les types de temps associés à ces situations en 2009, sur le bassin du Bouregreg. Les événements extrêmes sont responsables de phénomènes érosifs intenses, et le changement climatique en cours devrait provoquer un plus grand nombre de situations météorologiques extrêmes dans la région (Driouech *et al.*, 2008). L'étude est effectuée à partir des données journalières de température maximale et minimale, enregistrées entre 2005 et 2009 sur 40 stations du réseau synoptique de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Maroc et traitées par saison et par région en se basant sur 25 régions climatiquement homogènes (Khomsî *et al.*, submitted).

Les situations rares des températures maximales (minimales) sont choisies selon la méthode de la moyenne des maxima (minima). Les situations très rares sont distinguées par la méthode de la moyenne plus/moins deux fois l'écart type, l'étude de leur fréquence est réalisée durant les années 2005 à 2009, alors que l'étude des types de temps associés n'a été réalisée que pour l'année 2009.

L'évolution des températures maximales et minimales est irrégulière et diffère selon la saison et la région. Les événements rares de température maximale de l'été sont plus fréquents en 2005 et 2009, leurs températures s'écartent de la moyenne de la saison de 7,4°C pour l'ensemble du pays. La région de Larache (côte atlantique nord) est la plus touchée par cette hausse et la région d'Essaouira (côte atlantique sud) la moins concernée. Les événements rares de température minimale de l'hiver sont enregistrés pendant les années 2006 et 2008. La région de Sidi Slimane (plaine du Gharb, nord du Maroc) est la plus touchée par la baisse des températures. En ce qui concerne les types de temps, les événements rares de température maximale résultent le plus souvent d'un « temps perturbé de sud-ouest », de « l'axe dorsale sur le Maroc » ou du « front quasi-stationnaire marocain » alors que les événements liés aux températures minimales résultent généralement de « la décharge d'air polaire continental » (Khomsi *et al.*, 2013).

PLUIES

Sur la période 1926-1927 à 2005-2006 entre 4 et 5 stations sont disponibles sur le bassin ou ses environs proches (Rabat-Salé, Kasba-Tadla, Kenitra, Oued Zem et Khouribga). La moyenne interannuelle à ces stations est de 447 mm. Mais pour ne pas donner trop de poids à la région côtière, la station de Kénitra n'est pas utilisée et seule celle de Rabat-Salé sert dans les calculs sur cette période longue. La moyenne est donc de 410 mm par an. L'évolution des pluies annuelles, calculées sur la période de septembre de l'année n à août de l'année n+1, est assez variable dans le temps (figure 4), et ne présente pas de rupture nette dans la série, bien que la période de la fin des années 70 voit diminuer les valeurs moyennes interannuelles de façon substantielle et prolongée, sans que cette rupture atteigne toutefois l'ampleur de celle qui est observée ailleurs dans le pays. Sur la série des valeurs moyennes annuelles calculées sur la période 1976-1977 à 1999-2000 à partir d'environ 40 stations chaque année, l'allure al courbe de variation reste globalement identique, mais on constate que souvent les amplitudes sont sensiblement différentes, et surtout un pic beaucoup plus élevé en 1996-1997.

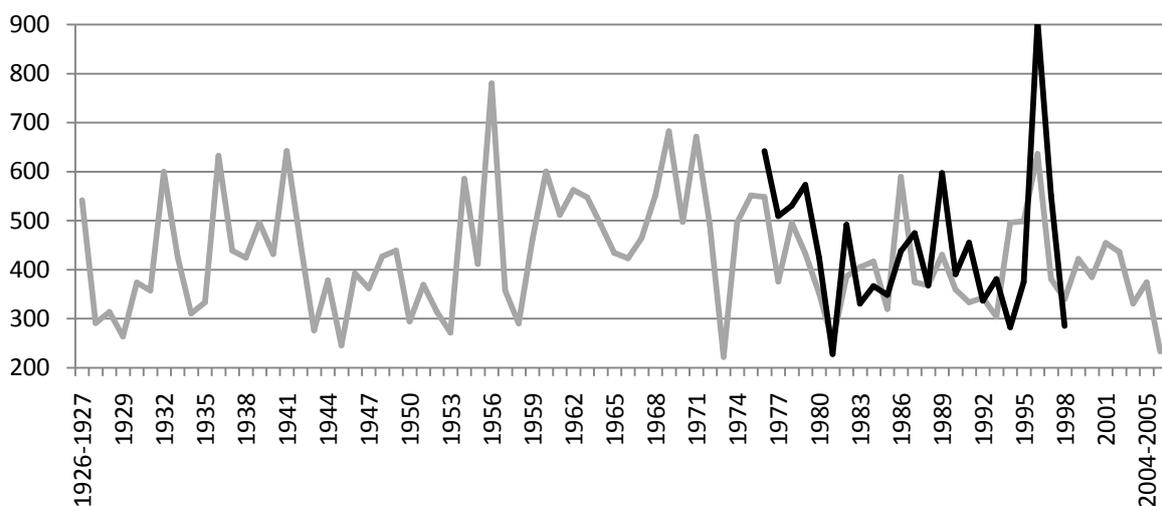


Fig. 4 : Evolution des pluies annuelles sur le bassin du Bouregreg entre 1926-1927 et 2005-2006 (gris) et 1976-1977/1999-2000 (noir)(septembre à août) (mm).

Sur le jeu de données long, mais avec 4 stations seulement pour le calcul, le régime de pluie mensuel est centré sur décembre, avec un pic secondaire vers février-mars. Les mois de juillet-août sont les plus secs (figure 5, bleu). Le calcul avec 40 stations régionales sur un intervalle de temps plus petit fait ressortir une saisonnalité un peu différente, avec un pic de pluie centré sur janvier, et des pluies beaucoup plus fortes en janvier et février, et un peu moins fortes en novembre et décembre..

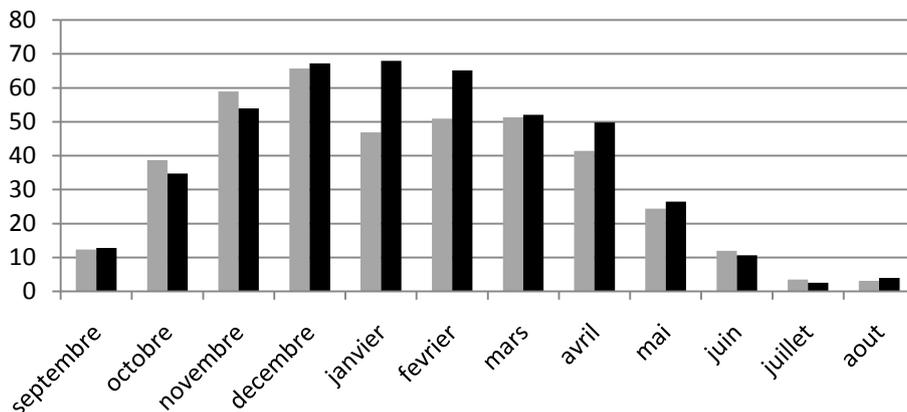


Fig. 5 : Evolution des pluies mensuelles moyennes sur le bassin du Bouregreg entre 1926-1927 et 2005-2006 (gris) et sur la période 1976-1977/1999-2000 (noir) (septembre à août) (mm).

Pour aucun mois on ne constate de rupture nette dans les séries de pluies, bien que le signal interannuel présente un léger affaissement du total annuel.

Il est possible de collecter un beaucoup plus grand nombre de stations sur la période 1976-2000 (environ 40 stations fonctionnelles) qui couvre mieux l'intégralité du bassin du Bouregreg et devrait donc représenter de meilleure manière l'évolution de la pluie sur le bassin en prenant en compte plus finement tous les hétérogénéités locales de la répartition de la pluie. Le graphique correspondant à l'évolution des pluies sur cette période est surimposé à la figure 4.

Selon le nombre de stations utilisées pour étudier les pluies annuelles et mensuelles sur la bassin du Bouregreg le total annuel peut varier de 10% environ, le régime mensuel être sensiblement différent, et l'amplitude de certains signaux annuels être très différente. Cependant l'allure générale de la variabilité reste très proche et il n'y a pas de signe évident de rupture, contrairement à la plupart des autres régions du Maroc (Singla *et al.*, 2010)

DEBITS

Débits liquides

Les débits liquides sont disponibles sur de longues chroniques depuis 1971 jusqu'en 2008 à plusieurs stations dont les deux principales sur l'oued Grou à Sidi Jabeur (3110 km²) et sur l'OUED Bouregreg à Lalla Chafia (3230 km²). Il n'y a pas de station avec de longue chronique sur l'oued Korifla, et il faut noter que la station ancienne de Dar Es Soltane sur le Bouregreg a été noyée suite à la mise en eau du barrage SMBA en 1974.

Sur la figure 6 se trouvent les débits annuels à la station de Sidi Jabeur de 1971-1972 à 2008-2009, calculés sur l'année hydrologique allant de septembre à août (bleu). On note depuis 1981-1982 des débits annuels plus faibles que durant les années 70, mais également un fort maximum en 1996-1997, déjà repéré dans la littérature comme étant une année de forte anomalie NAO favorable à la pluie au Maroc (Khomsis *et al.*, 2012), et également le très fort débit en 2008-2009 correspondant au début d'une courte période de pluies et débits élevés. A la station de Lalla Chafia sur l'oued Bouregreg (rouge) la variabilité est proche de celle de Sidi Jabeur, mais avec quelques différences notables : durant les années 70 le débit à Lalla Chafia est régulièrement beaucoup plus élevé qu'à Sidi Jabeur, sans que l'on puisse trouver une explication, et ensuite en 1990-1991 la différence est de nouveau élevée, peut-être due à un problème de traduction des mesures.

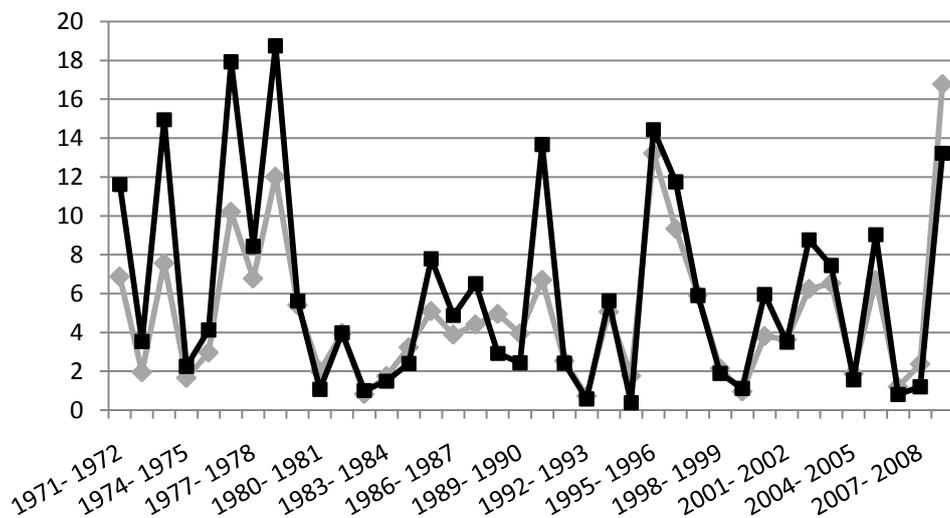


Fig. 6 : Evolution des débits annuels sur le bassin de l'oued Grou à Sidi Jabeur entre 1971-1972 et 2008-2009 (gris) et l'oued Bouregreg à Lalla Chafia (noir) (septembre à août) (m³/s).

A la station de Sidi Jabeur l'écoulement moyen annuel de l'oued Grou est de 4,9 m³/s (155 millions de m³ par an), et celui de l'oued Bouregreg à la station de Lalla Chafia le débit est de 6,1 m³/s pour un volume annuel de 192 millions de m³. Ceci est dû à des pluies un peu plus élevées sur la partie nord du bassin occupée par l'oued Bouregreg.

Les régimes mensuels des deux affluents présentent la même saisonnalité (figure 7), mais un démarrage plus lent sur le nord et l'oued Bouregreg entre septembre et novembre, puis des débits plus forts à Lalla Chafia à partir de décembre, avec un pic plus fort de près de 60% en février. Il est assez difficile d'expliquer simplement cette différence de régime mensuel. On peut tenter de donner quelques premiers éléments qui pourraient être en jeu, comme la plus forte dénudation des états de surface sur le bassin de l'oued Grou, situé plus au sud et plus sec que le bassin du Bouregreg, et donc sans doute susceptible à des ruissellement plus élevés dès le début de la saison des pluies. Ensuite le pic plus élevé en février correspond à des pluies mensuelles plus élevées dans le nord du bassin. Les débits d'étiage très faibles indiquent une très faible réserve souterraine et corrélativement certainement une très faible recharge.

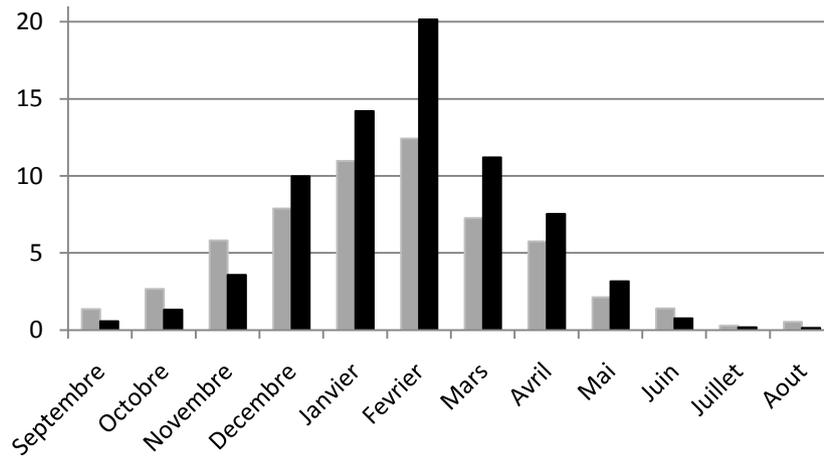


Fig. 7 : Evolution des débits mensuels sur le bassin de l'oued Grou à Sidi Jabeur entre 1971-1972 et 2008-2009 (gris) et l'oued Bouregreg à Lalla Chafia (noir) (septembre à août) (m^3/s).

La surface cumulée des deux oueds étudiés est d'environ 6340 km², soit les deux tiers de la surface totale du bassin à l'embouchure. Si l'on rajoute un tiers de volume écoulé par le reste du bassin (environ 350 millions de m³ par an), au débit non mesuré, on obtient un volume théorique écoulé annuel de près de 530 millions de m³, soit un peu moins que les chiffres moyens que l'on trouve dans la littérature (Marghich, 2004; Lahlou, 1971, par exemple), mais cela peut être due en partie à la période de calcul postérieure à la baisse des pluies au Maroc vers 1979-1980.

Les régimes mensuels sont très différents avant et après la date du changement de régime de pluie interannuel en 1980 (figure 8). Les débits des deux oueds baissent très significativement dès février et jusqu'en mai, avec des pointes de crue beaucoup plus faibles depuis la sécheresse, et avancées d'un mois sur l'oued Grou en janvier au lieu de février. La perte de débit est plus importante sur l'oued Bouregreg que sur l'oued Grou. L'année 2008-2009 a été sortie du calcul car les pluies et les débits ont de nouveau atteint des valeurs élevées, et l'objectif sur la figure 8 est de bien montrer le changement de régime entre les périodes sèches et humides.

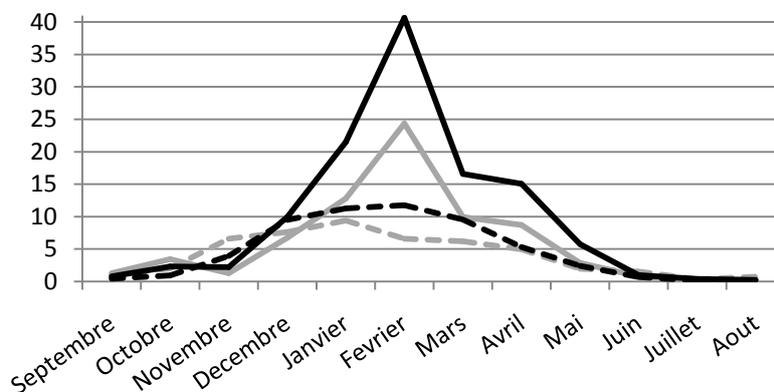


Fig. 8 : Evolution des débits mensuels sur le bassin de l'oued Grou à Sidi Jabeur (gris) et l'oued Bouregreg à Lalla Chafia (noir) (septembre à août) (m^3/s), pour deux périodes : de 1971-72 à 1979-80 (trait plein) et de 1980-81 à 2007-08 (trait pointillé) (m^3/s).

Le régime des pluies mensuelles sur les deux périodes avant et après la sécheresse (figure 9) montre une diminution sensible surtout entre février et avril sur l'ensemble du bassin, bien qu'à l'échelle interannuelle il n'apparaisse pas de signe évident de rupture dans la série. La période de calcul avant sécheresse est différente de celle des débits, car les données disponibles sont plus longues (moyenne des 4 stations de longue durée), mais le résultat est le même qu'avec les 40 stations sur la période plus courte, avec des pluies en février et mars un peu plus élevées sur la période courte 1976-1981. La différence annuelle de pluie entre les deux périodes est de près de 10%.

Pour les débits les signaux de rupture sont un peu plus visibles que pour les pluies (tableau 1) puisqu'on observe des ruptures pour plusieurs mois dès la fin des années 70.

Transports solides

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu en zone méditerranéenne, touchant particulièrement les pays du Maghreb dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol. En Algérie, l'ampleur de ce phénomène est considérable. L'agressivité des pluies conjuguées à une absence de protection végétale, l'alternance de périodes sèches et humides, la fragilité des formations géologiques et l'action anthropique, entraînent l'envasement des retenues des barrages (Remini *et al.*, 2009).

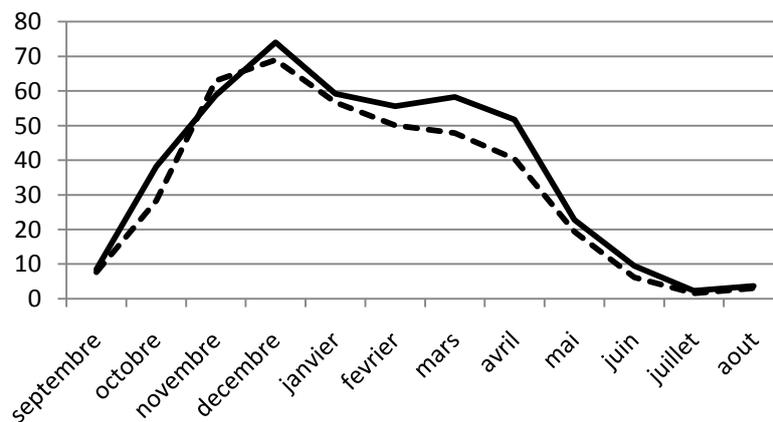


Fig. 9 : Evolution des pluies mensuelles sur le bassin du Bouregreg entre 1926-1927 et 1979-1980 (trait plein) et 1980-81/2005-2006 (tireté)(septembre à août) (mm).

Les données de transport solide sont issues des prélèvements ponctuels irréguliers réalisés par la Direction Nationale de l'Hydraulique sur le Bouregreg. Au Maroc les tonnages exportés peuvent être très élevés dans les oueds de la région nord des montagnes du Rif, avec des valeurs dépassant 5000 t/km².an (Lahlou, 1994). Sur l'oued Bouregreg les mesures ponctuelles de concentration en matières en suspension, effectuées par la Direction de l'Hydraulique, et leur transformation en débits solides, sont décrites par Elbaraka (2011). Contrairement à l'Algérie, peu de mesures existent.

Avant la construction du barrage 2 années de mesures assez complètes ont permis de calculer une érosion spécifique de 185 t/km².an pour le sous-bassin de l'Oued Bouregreg à la station de Dar Es Soltane (3800 km²), noyée depuis par le barrage SMBA (Lahlou, 1971 ; 1986). Les données les plus récentes proviennent de mesures de concentrations effectuées

ponctuellement par la direction de l'hydraulique entre 1978 et 1983. L'absence de suivi régulier des flux solides aux trois affluents majeurs au barrage SMBA, qui constituent le Bouregreg, ne permet pas de donner une valeur précise au taux d'abrasion, mais à partir des valeurs ponctuelles disponibles celui-ci se situe pour chaque affluent autour de 50 t/km².an, soit un ordre de grandeur cohérent avec les mesures de Lahlou.

	Période	Normali té	Buishand	Lee et Heghinian	Pettitt				Segmentation		Conclusion
					99%	95%	90%	Date			
Lalla Chafia	09/1971- 08/2009	x	-	-	Oui	Oui	Oui	mai- 80	Oui	Fev-79, Mars- 79	rupture probable en Mars-1979 confirmée par l'annuel
Sidi Jabeur	09/1971- 08/2009	x	-	-	Non	Non	Non	-	Oui	Oct-76, Jan-77, Dec-78, Jan-79, nov-95, Dec- 95, nov-08, jan-09	Pas de rupture

Tab. 1 : ruptures probables dans les séries de débits mensuels des deux stations de Lalla Chafia sur l'oued Bouregreg et Sidi Jabeur sur l'oued Grou, selon plusieurs tests statistiques disponibles dans Khronostat (IRD).

Afin de contourner ce problème de suivi aux stations, nous avons étudié les données issues des campagnes bathymétriques. Les volumes d'eau mesurés diminuent entre les relevés bathymétriques de 1985 et de 2009 à la cote de 55 m, d'environ 80 millions de m³ (figure 10).

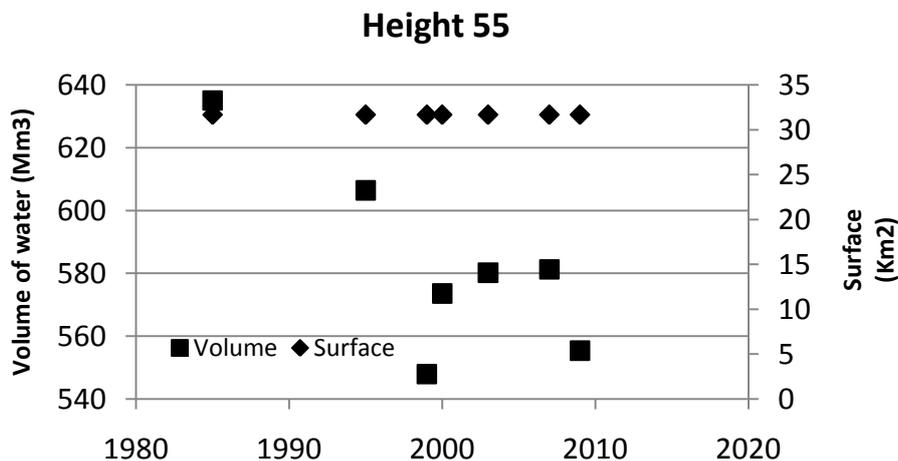


Fig. 10 : Volume d'eau du barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah sur le Bouregreg au Maroc entre 1985 et 2009 à la cote 55 m (en millions de m³). La surface ne varie pas, mais le volume d'eau diminue régulièrement (El Baraka, 2011).

Bien que le barrage ait été surélevé en 2006, nous utilisons la cote maximale de 55 m pour pouvoir comparer les hauteurs avant et après rehaussement. Cependant le relevé de 1999 est très douteux, et d'autres incertitudes sont probables. Il faut donc prendre ces résultats au conditionnel. La direction de l'hydraulique recommande de réduire de 20% le volume de vase

pour obtenir un équivalent en matière sèche, soit un total d'environ 66 millions de m³. Le taux d'abrasion sur le bassin du Bouregreg entre 1985 et 2009 est donc d'environ 270 t/km².an, ce qui semble trop élevé par rapport à la valeur donnée par Lahlou pour 1970. Cependant il n'est pas exclu que le taux d'érosion ait fortement augmenté au cours des dernières décennies du fait de l'augmentation de la dégradation des sols.

EROSION

Il ressort de l'étude des transports solides et de l'envasement du barrage une incertitude sur la nature précise des apports en sédiments au barrage : quel est la quantité de matières en suspension (MES) qui transite par chaque affluent ? Quelle est la part de sédiments du barrage provenant des rivières et celle provenant des berges immédiates du barrage ? L'envasement dans le barrage est bien modéré, comparativement à ce qui peut être observé dans d'autres barrages du Maroc, notamment dans le Rif. Mais plusieurs éléments sont à prendre en compte pour ré-estimer l'importance d'étudier plus finement l'envasement de ce barrage. En premier lieu ce barrage alimente en eau potable la grande agglomération de Rabat-Témara-Casablanca, soit un bassin d'environ 8 millions de personnes, dont la consommation en eau ne cesse de croître ; il est donc important de bien évaluer un risque futur de pénurie, s'il existe. Ensuite, en lien avec le premier aspect, la qualité de l'eau du barrage est également un facteur déterminant à suivre. Or on ne connaît pas tout des relations qui peuvent exister entre la nature des MES et la qualité de l'eau ; un changement dans la dynamique et la nature des MES pourrait peut-être entraîner des modifications des équilibres physico-chimiques, et par suite du fonctionnement biologique de la retenue. Enfin, et ce n'est pas la moindre interrogation, l'équipe du CERGéo a bien montré, au cours de nombreuses études (Laouina *et al.*, 2010 ; Machouri et équipe CERGéo, 2012), que les ravinements profonds observés sur de nombreuses berges avaient été réactivés récemment –il y a quelques décennies tout au plus-, entraînant la perte de quantités considérables de terre arable, vers la retenue. Cette dynamique érosive intense à l'œuvre sur les berges du barrage peut-elle menacer rapidement la réserve utile du barrage ? Un manque de quantification de ce phénomène ne permet pas actuellement de statuer sur l'importance de l'apport sédimentaire direct des berges vers la retenue. Le CERGéo a également montré qu'il existe une relation étroite entre l'évolution de l'occupation socio-économique de l'environnement et les processus de ravinement. Il s'agit comme bien souvent, d'une combinaison entre le changement climatique et un changement d'usage des sols et des activités agricoles. Le principe simplifié est le suivant : l'extension de la « grande » agriculture, en partie depuis la colonisation, a modifié l'usage des sols sur les plateaux, diminuant la couverture végétale naturelle vers une plus grande dénudation saisonnière liée aux cultures intensives. Les petites exploitations rurales ont été repoussées vers les seules régions disponibles, les bords de plateau, où l'espace agricole insuffisant a entraîné le développement de l'élevage extensif, en particulier sur les pentes/berges de la retenue du barrage. Quelles ont été les conséquences de ces changements en termes de processus d'écoulement et d'érosion ? L'hypothèse proposée par le CERGéo serait que dans un premier temps sur les plateaux la diminution de la végétation naturelle entraîne une diminution des freins naturels à l'écoulement. Ainsi lors des pluies les écoulements atteignent des vitesses de surface plus élevées. Ces écoulements ont donc un potentiel d'arrachage des particules de sol plus important, qui entraîne une accélération de la dénudation des sols sur les

plateaux. En arrivant sur les hauts de pente, le potentiel érosif des écoulements est donc plus élevé. Dès les premières pentes des berges ceci a pour conséquence d'augmenter également l'érosion sur les hauts de pente. Il faut savoir que le risque d'érosion augmente avec la charge érosive, il y a donc un double effet : l'augmentation de la vitesse d'écoulement et celle de la charge solide s'ajoutent sur le risque érosif. Ces écoulements arrivent sur des pentes occupées depuis plusieurs décennies soit par des zones de cultures, pour les pentes les plus faibles – souvent les hauts de pente d'ailleurs- et par des troupeaux, ce qui fragilise la maigre couverture végétale restante, et de ce fait augmente la susceptibilité à l'érosion des sols sur ces pentes. Les écoulements ainsi formés atteignent des vitesses très élevées et le ravinement se développe très rapidement. Ce mécanisme est amplifié depuis les années 80 par une sécheresse naturelle qui a exercé sur la végétation une pression négative très importante également.

Grâce à la télédétection spatiale il est possible de calculer le risque de dégradation des sols, en suivant une méthode connue (Medalus), qui allie indicateurs anthropiques et physiques (Tra Bi, 2013). Le résultat est une carte du risque de dégradation des terres (Figure 11), qui peut être utile pour la planification.

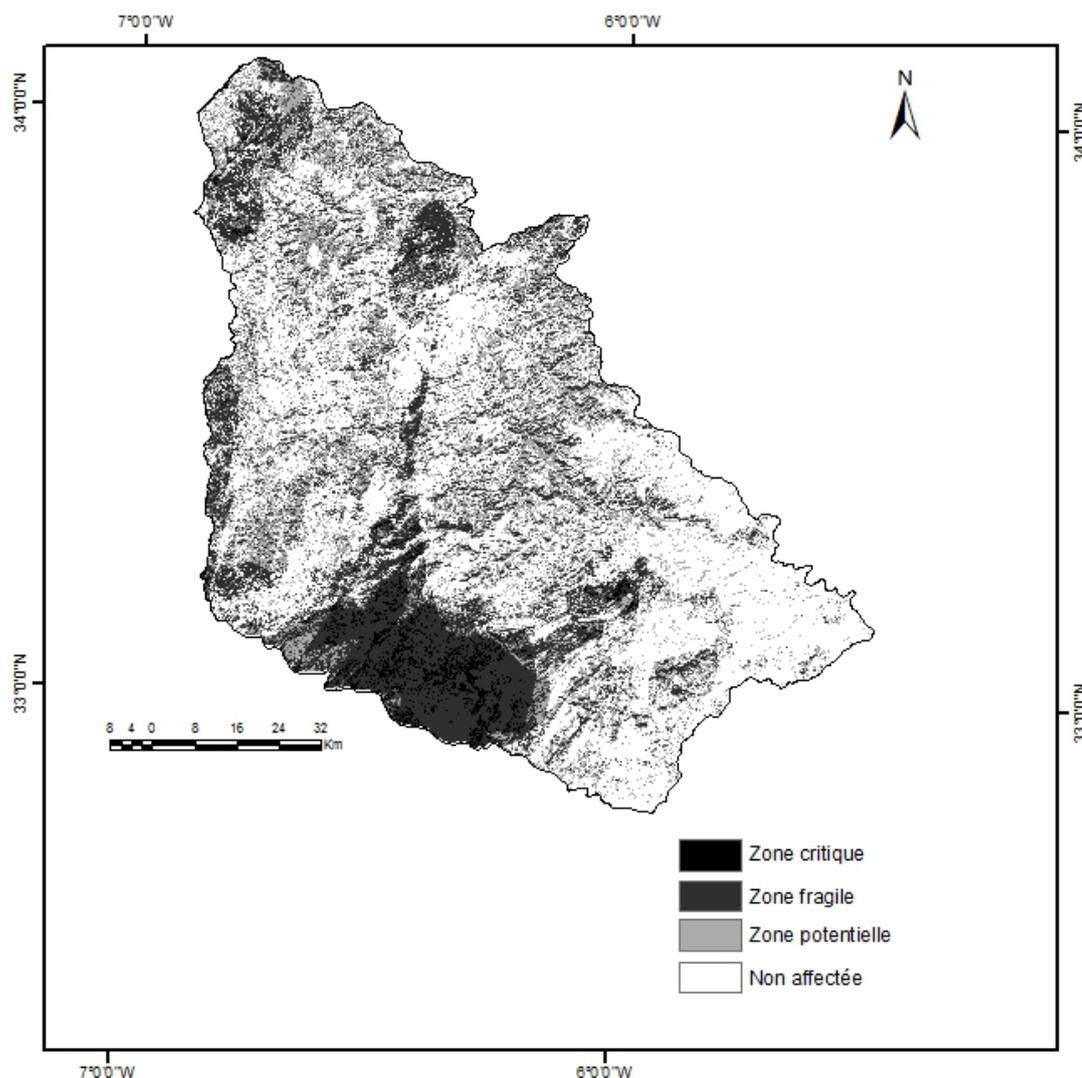


Fig. 11 : Carte de risque de dégradation des terres, selon la méthode Medalus (Tra Bi, 2013).

On connaît donc mieux aujourd'hui certains des mécanismes majeurs à l'œuvre concernant l'érosion et le transport de sédiments vers la retenue du barrage SMBA. Pour autant nous ne connaissons toujours pas les quantités mises en jeu.

CONCLUSION

Les résultats obtenus commencent à être assez nombreux. Les pluies, les débits et les températures sont assez bien connus sur le Bouregreg et ses principaux affluents. Les séries de températures présentent des ruptures faibles mais une modification de la fréquence d'occurrence de certains événements extrêmes chauds et froids, en liaison avec l'apparition plus fréquente ou plus prolongée de certains types de temps caractéristiques. Les séries de pluie annuelles ne varient que peu sur le long terme, mais laissent entrevoir un impact vers une baisse légère du total annuel d'environ 10% à partir de 1980, et jusqu'en 2008-2009. Le régime mensuel a aussi été légèrement modifié avec des pluies un peu plus faibles en février et mars après la sécheresse. L'impact de cette petite baisse des pluies –en comparaison de diminutions plus importantes observées ailleurs au Maroc- est plus important sur les débits annuels qui présentent une rupture en 1979-1980 et un changement de régime mensuel très significatif, traduits par une baisse des débits mensuels de printemps, plus forte au nord qu'au sud.

Depuis 2008-2009 quelques années de meilleure pluviométrie sur le bassin ont entraîné une augmentation des débits également, sans que l'on puisse dire si les événements extrêmes un peu plus fréquents sont significativement plus nombreux.

L'étude des transports solides s'est avérée plus difficile que prévu, car les données ponctuelles disparates de mesures de matières en suspension (MES) ne peuvent pas être aisément traduites en bilan annuel, ni même saisonniers de MES. Les chiffres partiels issus des données collectées indiquent une érosion spécifique entre 150 et 250 t/km².an, ce qui est cohérent avec les mesures du début des années 70 sur le Bouregreg. Les données les plus récentes semblent indiquer une augmentation de cette valeur durant les dernières décennies, ce qui pourrait être relié à une augmentation de la susceptibilité à l'érosion des sols du bassin, sous l'effet conjugué des forçages climatiques et anthropiques. Les données diachroniques de bathymétrie sur le lac de retenue du barrage SMBA présentent également des incertitudes qui ne permettent pas de corroborer avec suffisamment de précision les valeurs ponctuelles de MES.

L'étude des MES depuis les affluents principaux du Bouregreg et une meilleure exploitation des données de bathymétrie pourront permettre ultérieurement de tirer un meilleur profit des données existantes, mais il sera nécessaire de disposer de mesures récentes complémentaires pour affiner les estimations de transports et dépôt de MES.

D'autre part l'érosion en provenance des berges immédiates du barrage SMBA semble avoir nettement augmenté depuis quelques décennies, sans que cela ne soit quantifiable à l'heure actuelle. Pour pouvoir estimer la dynamique à l'œuvre et les quantités mises en jeu, et estimer le risque actuel d'accélération de l'envasement du barrage, une nouvelle approche a été initiée pour calculer les volumes érodés en provenance des ravines des berges immédiates du barrage (Maleval et Crouzevialle, soumis). Cette approche doit être encore développée dans les prochaines années, pour répondre à plusieurs problèmes méthodologiques.

Comment estimer l'érosion en provenance de toutes les ravines le long de toutes les berges – qui représentent au moins 150 km linéaires ? Une approche couplant mesures au sol, typologie, et utilisation d'images satellite haute résolution est envisagée.

Une fois identifiées toutes les ravines, comment savoir quel était la partie du ravinement qui pré-existait à la construction du barrage ? Il y a là un risque de surestimation du volume érodé apporté au barrage. Ce risque peut-être en partie contourné par une meilleure connaissance de la dynamique érosive et des quantités érodées mises en jeu dans les mécanismes érosifs actuels.

Dernier écueil : suite au rehaussement du barrage dans les années 2000, une partie des ravines a été noyée. Elle est donc soustraite aujourd'hui à l'estimation qui pourra être faite des longueurs de ravines mesurées actuellement, et donc cela constitue un facteur de sous-estimation des volumes érodés, qui seront mis en relation avec un volume total érodé dans le barrage prenant compte ces apports précédent le rehaussement. Il faudra donc inventer une technique d'estimation des volumes potentiellement érodés à partir des parties noyées des ravines, à partir par exemple de la hauteur moyenne d'envoyage.

REMERCIEMENTS

Ce projet est financé par l'AUF-MeRSI 59113PS005 et l'IRD/HydroSciences Montpellier, et a bénéficié de soutiens de l'AIRD, de l'UNESCO (FRIEND), du CRASTE-LF/Rabat, de la DMN et de la DRPE du Maroc, de l'Agence du Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia à Ben Slimane, de l'Université Mohamed V-Agdal à Rabat, et des Instituts Français de Rabat, Alger et Tunis.

REFERENCES

- Beudet, G. (1969) Le plateau central marocain et ses bordures : étude géomorphologique. Thèse de Lettres. Imprimerie française, Rabat.
- Driouech, F., Déqué, M. & Mokssit, A. (2008) Numerical simulation of the probability distribution function of precipitation over Morocco. *Climate Dyn.* Springer. DOI 10.1007/s00382-008-0430-6.
- Driouech, F., Déqué, M. & Sanchez-Gomez, E. (2010) Weather regimes—Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation. *Global and Planetary Change*, 72, 1-2, 1-10.
- El Baraka, M. (2011) *Etude des transports solides sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc)*. Mémoire de Master 2, Hydrosciences Montpellier, Université Montpellier 2.
- Khomsi, K., Mahe, G., Sinan, M., Snoussi, M., Cherifi, R., Nait Said, Z. (2012) Evolution des événements chauds rares et très rares dans les bassins versants du Tensift et du Bouregreg (Maroc) et identification des types de temps synoptiques associés. In: *From prediction to prevention of hydrological risk in Mediterranean countries* (E. Ferrari & P. Versace, Sci. Eds), 4th international Workshop on Hydrological extremes MEDFRIEND group, University of Calabria; EdiBios, Cosenza, Italia; 169-182.
- Khomsi, K., Mahe, G., Sinan, M., Snoussi, M. (2013) Hydro-climatic variability in two Moroccan watersheds: A comparative analysis of temperature, rain and flow regimes. In: *Climate and land surface changes in hydrology* (E. Boegh, E. Blyth, D.M. Hannah, H. Hisdal, H. Kunstmann, B. Su, K.K. Yilmaz, Eds.), IAHS Publ. 359, 183-190.
- Khomsi, K., Mahe, G., Sinan, M., Snoussi, M. & Trambly, Y. (submitted) Evolution of rare events of extreme temperature in Morocco and related synoptic weather types. *Submitted to Regional and Environmental Change*.
- Khronostat (-) Logiciel de tests statistiques de ruptures dans des séries chronologiques. IRD, France. <http://www.hydrosciences.fr>

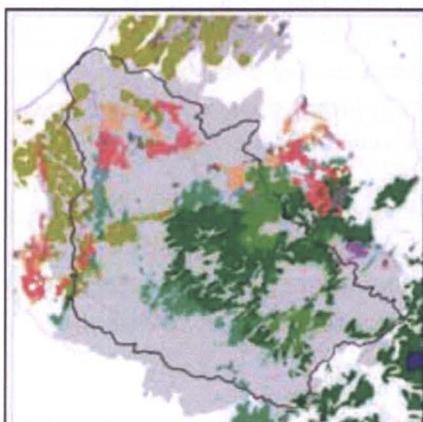
- Laouina, A., Aderghal, M., Al Karkouri, J., Chaker, M., Machmachi, I., Machouri, N. & Sfa, M. (2010) Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres, le cas du secteur Sehoul, région atlantique, Maroc. *Sécheresse*, 21, 4, 309-316.
- Lahlou, A. (1971) *Etude du transport solide à la station Dar Es Soltane sur l'oued Bouregreg*. Rapport de travaux du service GDE : gestion des eaux, Ministère des travaux publics et des communications, Direction de l'hydraulique, Rabat, Maroc.
- Lahlou, A. (1986) Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc, *Revue des Science de l'Eau*, 6, 337-356.
- Lahlou, A. (1994) *Envasement des barrages au Maroc*. Editions Wallada, Casablanca, Maroc.
- Machouri, N. et équipe CERGéo (2012) Comment réussir le défi de lutte contre l'érosion des terres et la dégradation des ressources naturelles. Cas des Shouls, plateau du Maroc Atlantique. *Communication à l'atelier scientifique international de Relizane, Algérie*, programme SIGMED, juin 2012.
- Mahe, G., Aderghal, M., AlKarkouri, J., Benabdelfadel, H., Bensafia, D., Brou, T., Chaker, M., Chikhaoui, M., Coupleux, S., Crouzevialle, R., Dieulin, C., Emran, A., Ezzaouini, M., Goussot, E., Hallouz, F., Khomsi, K., Laouina, A., Machouri, N., Maleval, V., Meddi, M., Nging, M., Planchon, O., Remini, B., Rouche, N., Saadi, H., Sfa, M., Sinan, M., Snoussi, M., Taïbi, S., Toumi, S., Tra Bi, A., Yahiaoui, S., Zerouali, A. (2013a). Etude de l'évolution de l'occupation du sol sur deux grands bassins d'Algérie et du Maroc, et relation avec la sédimentation dans les barrages. In: *Considering hydrological change in reservoir planning and management*, (A. Schumann, V.B. Belyaev, E. Gargouri, G. Kucera, G. Mahe, Eds), IAHS Publ. 362, 115-124.
- Mahe, G., Aksoy, H., Brou, Y.T, Meddi, M., Roose, E. (2013b) Relationships between man, environment and sediment transport: a spatial approach. *Revue des Sciences de l'Eau*, 26, 3, 235-244.
- Maleval, V., Crouzevialle, R. (soumis). Les apports sédimentaires directs au lac Sidi Mohammed Ben Abdallah par le biais du réseau ravinatoire (Maroc). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*.
- Marghich, A. (2004) *Le bassin versant de Bouregreg (Maroc central) : étude hydrologique, hydrogéologique et hydrochimie des eaux*. Thèse, Université Sidi Mohammed ben Abdellah, Fès, Maroc.
- Remini, B., Leduc, C. & Hallouche, W. (2009). Évolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. *Sécheresse*. 20, 1, 96-103
- Singla, S., Mahé, G., Dieulin, C., Driouech, F., Milano, M., El Guelai, F.Z. & Ardoin-Bardin, S. (2010) Evolution des relations pluie-débit sur des bassins versants du Maroc. In: *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010), IAHS Publ. 340, 679-687.
- Tra Bi, A.Z. (2013) *Etude de l'impact des activités anthropiques et de la variabilité climatique sur la végétation et les usages des sols, par utilisation de la télédétection et des statistiques agricoles, sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc)*. Thèse de l'Université d'Artois à Arras (France) et de l'Université Houphouët Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

RÉUNION MULTI-ACTEURS, SUR LE BASSIN DU BOUREGREG,

Avancement des travaux de recherche sur le bassin et perspectives

28 mai 2013

CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Campus Al Irfane, Rabat



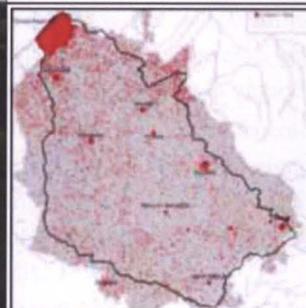
La végétation du bassin du Bouregreg

Programme

Gil Mahé : Résultats acquis et en cours dans SIGMED
 Abdellah Laouina : Présentation du bassin-versant du Bouregreg
 Kenza Khomsi : L'évolution des extrêmes climatiques et hydrologiques
 Mohamed Sabir : Utilisation du sol et dynamique hydrique
 Anas Emran : l'utilisation d'imagerie spatiale haute résolution pour le suivi du développement des zones urbaines dans le bassin du Bouregreg
 Véronique Maleval : Mesures d'érosion sur les berges et versants de la retenue du barrage SMBA
 Machouri : Mesures de la végétation pour l'évaluation du fonctionnement d'un bassin versant
 Miloud Chaker et al. : Processus d'évolution agro-pastorale et effet sur la dynamique des milieux
 M. Aderghal, M. Chaker, S. Coupleux, I. Khalifa, I. Lahoucein : Mobilité, variation des structures du peuplement, changement de l'affectation des terres, enseignements tirés d'une enquête exploitation dans trois sites du bassin du Bouregreg.
 Mostafa Antari : L'étude d'un micro-bassin et ses enseignements pour l'analyse du grand bassin du Bouregreg
 Abdellah Laouina et al. : L'approche de démonstration en vue de l'adoption de pratiques de gestion durable des terres dans les Sehoul, le processus DESIRE

Objectifs

- partager les derniers résultats de recherche sur le bassin du Bouregreg,
- faire une mise au point et identifier les pans de connaissance à explorer,
- mener une analyse comparative des méthodes d'investigation utilisées,
- connaître l'avis de tous les acteurs du programme et des partenaires associés sur ces résultats et sur les domaines de recherche qui leur semblent les plus importants à étudier dans le futur,
- Concevoir l'architecture d'un nouveau programme de recherche.



Population du bassin du BR

Affiche de la journée d'études sur le Bouregreg du 28 mai 2013

EVOLUTION DES EVENEMENTS CHAUDS RARES DANS LES BASSINS VERSANTS DE TENSIFT ET BOUREGREG (MAROC) ET IDENTIFICATION DES TYPES DE TEMPS SYNOPTIQUES ASSOCIES

Kenza KHOMSI¹, Gil MAHE², Mohamed SINAN³ & Maria SNOUSSI⁴

RÉSUMÉ

La position géographique et la diversité des reliefs font du Maroc un contexte fertile à la diversité des situations météorologiques. Calvet et Legoff (1977) y ont recensé 16 types de temps.

Le Maroc est régulièrement soumis à des épisodes météorologiques globaux et convectifs, de longue ou courte durée. Il ne semble pas être épargné des situations météorologiques extrêmes qui font le souci ultime de tous les prévisionnistes.

Le but de ce travail est de suivre l'évolution de la fréquence des situations météorologiques chaudes locales rares et très rares dans deux bassins versants du Maroc (Tensift et Bouregreg) et de déterminer les types de temps synoptiques associés en 2009.

L'étude est effectuée à l'aide des données journalières des températures maximales enregistrées sur les stations de Marrakech et Safi (Tensift) et Kasba Tadla et Rabat Salé (Bouregreg). Les situations rares et très rares des températures maximales sont choisies selon la méthode de seuillage par les quantiles 95% et 99%.

Ce travail montre qu'au cours de la période entre 1983 et 2009, les stations de Tensift enregistrent plus d'événements rares et très rares pendant la saison froide alors que les stations de Bouregreg enregistrent plus d'événements pendant la saison chaude.

Les événements chauds rares d'un jour dans le bassin de Tensift tendent à la hausse pendant la saison froide, les autres séries ne présentent aucune tendance significative.

L'absence de tendance est remarquée également pour tous les événements chauds rares et très rares de trois jours ou plus.

En ce qui concerne les types de temps, les événements très rares de température maximale résultent le plus souvent du « régime d'Est de type Chergui » pendant la saison chaude et du « temps perturbé de sud-ouest » pendant la saison froide.

ABSTRACT

The geographical position and the diversity of reliefs make of Morocco a fertile context for the variety of meteorological situations. Calvet and Legoff (1977) have identified 16 various weather types in their study in the country.

Morocco is regularly subjected to global or convective and long or short meteorological episodes. It does not seem to be spared from extreme meteorological events that are the ultimate concern of all forecasters.

The aim of this work is to follow the frequency of hot local rare and very rare meteorological situations in two Moroccan watersheds (Tensift and Bouregreg) and to determine the related weather types in 2009.

The study is realized using daily data of maximum temperature, recorded in the stations of Marrakech and Safi (Tensift) and Kasba Tadla and Rabat-Salé (Bouregreg). The rare and very rare situations of maximum temperatures are chosen according to the peaks over thresholds (95th and 99th percentiles) method.

This work shows that during the period between 1983 and 2009, the stations of Tensift recorded more rare and very rare events during the cold season while the Bouregreg stations recorded more events during the hot season. Hot rare events of one day in the basin of Tensift tend to the increase during the cold season; the other series show no significant trend.

The insignificance of trend is also noticed for all rare and very rare hot events of three days or more.

Regarding weather types, the rare events of maximum temperature often result from the "Chergui East Regime" in the hot season and the "southwest disturbed weather", in the cold season.

¹ Ingénieur météorologiste en PhD, FSR-Rabat-Maroc

² Directeur de Recherche, IRD, Université Mohamed V-Rabat-Maroc

³ Directeur Adjoint Chargé de la Recherche, EHTP, Casablanca-Maroc

⁴ PES, Université Mohamed V-Rabat-Maroc

1. INTRODUCTION

À travers ses quatre rapports, l'IPCC a toujours tiré la sonnette d'alarme sur le réchauffement climatique global et son impact sur le dérèglement du climat par la modification des régimes des températures et des précipitations. (IPCC, 1990, 1995, 2001, 2007).

Dans le rapport de 2007 (IPCC, 2007) il est prévu, avec un degré de confiance élevé, une hausse très probable de la fréquence des événements extrêmes des températures, des vagues de chaleur et des épisodes de fortes précipitations.

Les déclarations de l'IPCC à propos des événements extrêmes des températures et des précipitations ont fait de l'étude des changements globaux et régionaux de ces derniers un centre d'intérêt de la recherche scientifique récente.

En effet, les analyses de l'évolution de ces événements par des méthodes paramétriques et non paramétriques sont devenues de plus en plus fréquentes et un intérêt particulier est prêté à l'étude de l'évolution des types de circulations synoptiques qui en sont à l'origine (Haylock, 2004).

Haylock (2004), Joly (2009) et Boudevillain (2009) ont étudié les événements des précipitations intenses et leur interaction avec la dynamique synoptique en utilisant un seuillage par quantile ; leurs études ont intéressé l'Europe et la zone méditerranéenne.

Nasrallah (2004) a utilisé la même démarche pour analyser les vagues de chaleur et les événements chauds, très chauds et extrêmement chauds au Koweït durant la saison chaude.

Au Maroc, zone parmi les plus vulnérables aux changements climatiques (Agoumi, 2003), les études sur les événements extrêmes restent peu nombreuses. Ce travail a pour but d'identifier les événements rares et très rares de température maximale sur deux bassins versants du Maroc : Tensift et Bouregreg, de suivre l'évolution de leur fréquence et de déterminer les types de temps synoptiques associés. L'analyse a impliqué une méthode de seuillage par quantile et a été réalisée sur les saisons chaude et froide indépendamment.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. DONNÉES ET ZONE D'ÉTUDE

Cette étude couvre deux bassins versants du Maroc : Tensift et Bouregreg (figure1). Elle utilise les températures maximales, enregistrées par les stations synoptiques installées dans les deux bassins versants, ces stations appartiennent à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN-Maroc).

Le bassin versant du Bouregreg occupe la presque totalité du plateau central marocain. Il s'agit d'une association de plans monotones, de gorges profondes et de bassins cloisonnés de crêtes aigües sur une surface de 9656 km²(Marghich, 2004). L'altitude y varie de 0 à 1627 m (Jbel Mtourzgane) et 50 % de sa superficie se situe entre 500 et 1000 m (SIGMED, 2009). Son climat est semi-aride et la distribution des précipitations moyennes annuelles y est de l'ordre de 400 mm sur la région côtière et de 760 mm à côté d'Oulmès.

Le bassin versant de Tensift s'étale sur une superficie de 19 400 km². Son climat est caractérisé par l'influence de l'Atlantique qui diminue d'autant plus qu'on s'éloigne vers l'intérieur. La zone du bassin de Tensift Est est influencée par la présence du relief et notamment le haut Atlas. Les

précipitations y sont en général modestes. Le total annuel ne dépasse pas 350 mm (à l'exception de la zone de montagnes où elle peut atteindre 500 à 600 mm). Le nombre de jours de pluie par an oscille entre 25 et 50 pour les zones côtières et la plaine du Haouz, et entre 45 et 70 dans la zone de montagne (CID, 2004).

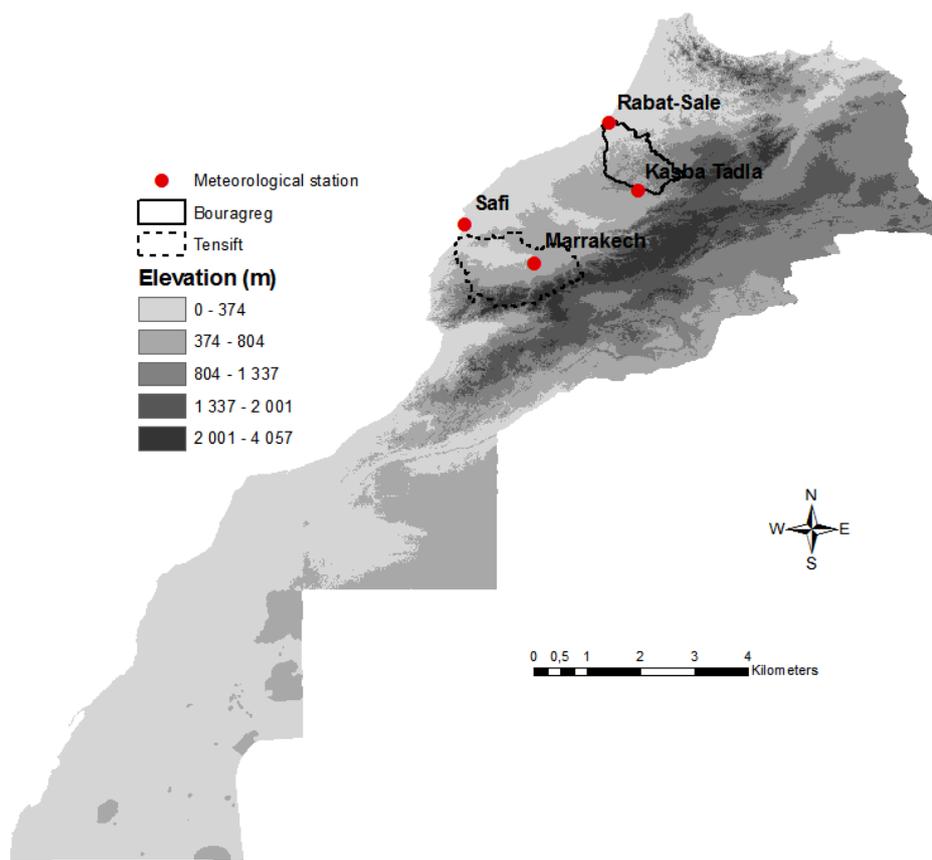


Figure 1. : Position géographique des bassins versants du Bouregreg et du Tensift

Dans l'objectif d'identifier et d'analyser les événements extrêmes de température sur les bassins versants étudiés, les séries chronologiques des températures maximales enregistrées par les stations synoptiques du Bouregreg et du Tensift ont été utilisées. Ces stations sont : Rabat-Salé sur la côte et Kasba Tadla au SE du bassin du Bouregreg ; et pour le Tensift il s'agit de Safi sur la côte et Marrakech au centre (figure 1 & tableau1).

Station	Bassin versant	Longueur de la série
Rabat-Salé	Bouregreg	1950-2009
Kasba Tadla	Bouregreg	1983-2010
Safi	Tensift	1955-2010
Marrakech	Tensift	1941-2010

Tableau 1:Longueurs des séries chronologiques des températures journalières maximales

Afin d'analyser l'évolution des situations synoptiques liées aux événements extrêmes identifiés en 2009, l'étude a impliqué les cartes journalières d'analyse en surface issues du modèle Al Bachir. Ces cartes présentent le champ de pression au niveau de la mer à 00heure et sont fournies par la DMN pour l'année 2009.

2.2. CHOIX DES SAISONS ET ETUDE DES TENDANCES

Dans le but de traiter les données des températures et d'identifier les événements extrêmes chauds, rares et très rares selon la saison chaude et froide indépendamment, les diagrammes ombro-thermiques, élaborés selon les moyennes mensuelles et annuelles des températures et précipitations enregistrées par les stations synoptiques de Rabat Salé, Kasba Tadla, Safi et Marrakech ont été analysés.

Selon Bagnouls et Gaussen (1953,1957), un mois sec est un mois qui a une pluviométrie moyenne en millimètres égale ou inférieure au double de sa température moyenne ($P \leq 2T^\circ$).

Pour les besoins de ce travail, la variable $X = P - 2T$ est considérée, P et T étant respectivement les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations et des températures enregistrées dans chaque station des quatre postes synoptiques étudiés.

Sur le diagramme ombro-thermique, les mois où la courbe de la variable X est au-dessus de l'axe des abscisses constituent la saison chaude, les mois où la variable est en dessous forment la saison froide, et les mois d'intersection entre la courbe et l'axe sont les périodes de transition.

Les chroniques des températures maximales ont été soumises au test non paramétrique de Mann-Kendall qui sert à la détection des tendances (Lubès-Niel, 1998). Ce test, utilisé avec un niveau de confiance de 95%, a été appliqué également pour analyser l'évolution de la fréquence des événements rares et très rares identifiés.

2.3. IDENTIFICATION DES EVENEMENTS RARES ET TRES RARES DES TEMPERATURES MAXIMALES

Une façon de caractériser les événements des températures intenses consiste à recenser tous les événements de forte température à l'aide des seuils d'échantillonnage qui ne sont que des quantiles tirés de la distribution des données étudiées. La méthodologie pour définir les événements extrêmes du climat en se basant sur les valeurs des quantiles permet de prendre en considération le caractère régional présent dans les séries chronologiques (Li, 2010).

Aussi, pour chacune des quatre séries des températures maximales, les quantiles 95 % et 99 % ont été calculés et en utilisant le critère de dépassement de ces seuils, il a été possible d'isoler les événements rares et très rares des quatre distributions. Un jeu d'événements significatifs a été alors constitué pour des valeurs dépassant le quantile 95% et un autre jeu regroupant des événements plus intenses correspondant à des températures maximales au-delà du quantile 99 %.

La démarche ci-dessus a été appliquée pour la saison chaude et froide indépendamment et les notions suivantes ont été formalisées :

- Un événement rare d'un jour : une journée qui a enregistré une température maximale supérieure au quantile 95 %;

- Un évènement très rare d'un jour : une journée qui a enregistré une température maximale supérieure ou égale au quantile 99 %;
- Un évènement rare de 3 jours ou plus : une succession de 3 évènements rares ou plus ;
- Un évènement très rare de 3 jours ou plus : une succession de 3 évènements très rares ou plus.

2.4. IDENTIFICATION DES SITUATIONS SYNOPTIQUES LIEES AUX EVENEMENTS TRES RARES EN 2009

Les épisodes très rares des températures se produisent généralement dans un contexte météorologique de large échelle. Ce travail cherche à caractériser ce contexte.

Suite à sa situation géographique et à son orographie escarpée, le Maroc se trouve sous l'influence de l'Atlantique, de la Méditerranée et du Sahara ; il subit également l'effet du relief. Ces différents facteurs influencent son climat à l'échelle globale comme locale.

Une étude faite par Knippertz (2003) sur les données des pressions au niveau de la mer (SLP) enregistrées au cours des hivers (DJF) de la période entre 1930 et 1998, a montré que le Maroc est dominé par des situations anticycloniques (41,7%) ; les situations d'Est (SE, E, NE) sont également fréquentes alors que les situations de Sud et de Sud-Ouest ne se produisent pas assez souvent.

Driouech(2010) a montré, à l'aide des hauts géopotentiels au niveau 500hPa (Z500) des hivers (DJ F) de la période entre 1958 et 2001, que le Régime Zonal (ZO) est dominant (34 %), suivi par la Cellule de Blocage (BL) (25 %), la Dorsale Anticyclonique (AR) (23 %) et l'Anticyclone de Greenland (GA) (18 %).

Le présent travail a impliqué les résultats de l'étude réalisée par Calvet et Legoff (1977), sur les cartes de la pression en surface (SPL). Cette étude distingue deux types de circulations : zonale et méridionale et seize types de temps dont cinq correspondent à la circulation d'été et des périodes voisines (figure 2 à 6) : le régime d'Est de type Chergui ; la perturbation mauritanienne lente ; l'axe de dorsale sur le Maroc ; le front quasi-stationnaire marocain ; et le régime des queues de fronts froids ; et onze correspondent à la circulation d'hiver et des périodes voisines (figure 7 à 17) : le temps perturbé de SW ; le temps perturbé de NW ; le temps perturbé de Nord ; le temps perturbé de NE ; la décharge d'air polaire continental sec et subsident ; le talweg étroit de N à NE ; la perturbation d'Ouest accélérée ; la cyclogenèse sur le SW de l'Espagne (perturbation de Nord) ; la perturbation de Nord Ouest ; la perturbation de Sud Ouest ; et la cyclogenèse sur l'Est des Baléares.

Après l'identification des évènements chauds très rares enregistrés en 2009, les cartes de surface correspondant à leurs situations synoptiques ont été étudiées et confrontées aux seize types de temps déterminés par Calvet et Legoff. Ceci a permis d'identifier les types de temps responsables des évènements des températures très rares en 2009 et de s'informer sur leur fréquence.

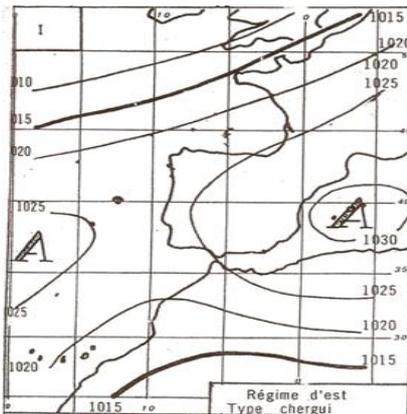


Figure 2 : Le régime d'Est de types Chergui

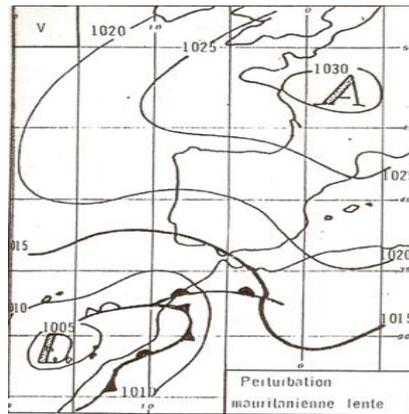


Figure 3 : La perturbation mauritanienne lente

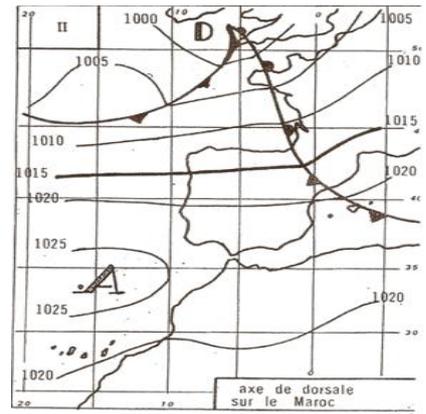


Figure 4 : L'axe de dorsale sur le Maroc

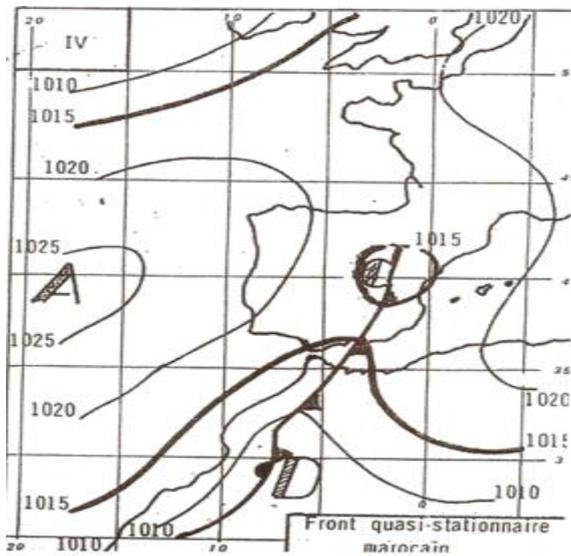


Figure 5: Le front quasi-stationnaire marocain

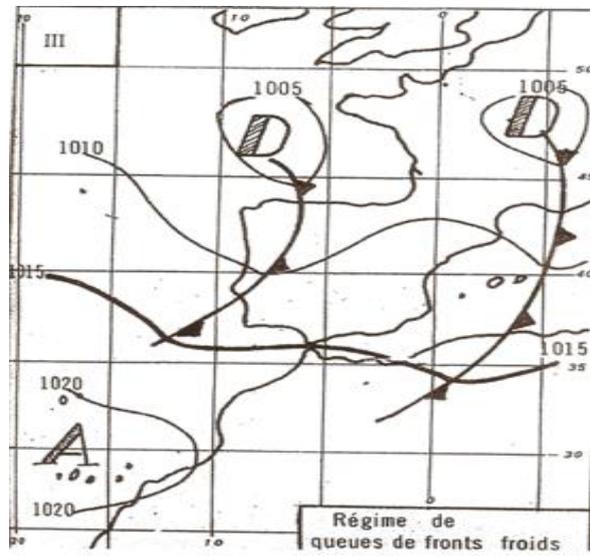


Figure 6: Le régime des queues de fronts froids

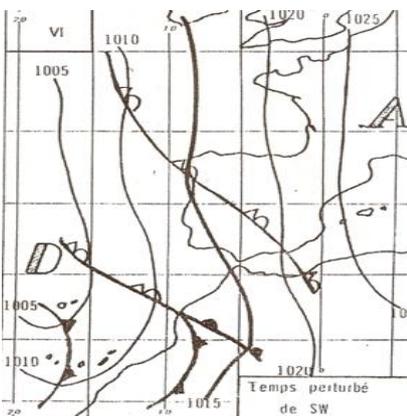


Figure 7: Le temps perturbé de SW

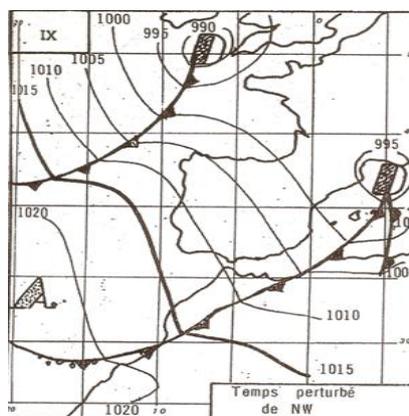


Figure 2: Le temps perturbé de NW

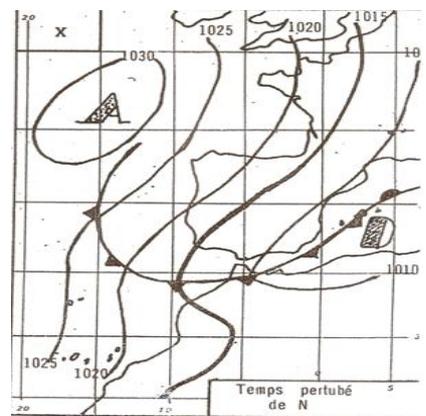


Figure 3: Le temps perturbé de N

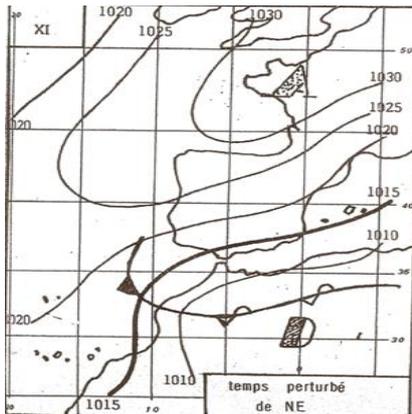


Figure 10: Le temps perturbé de NE

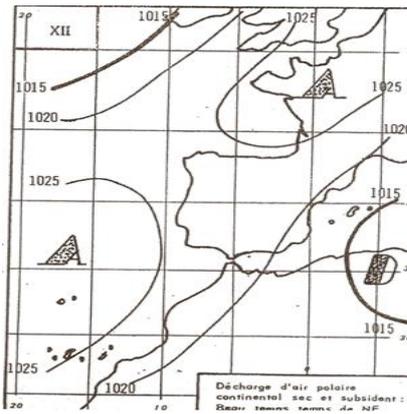


Figure 4: La décharge d'air polaire continental sec et subsident

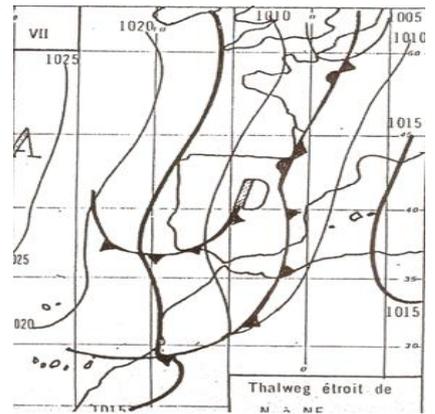


Figure 5: Le talweg étroit de N à NE

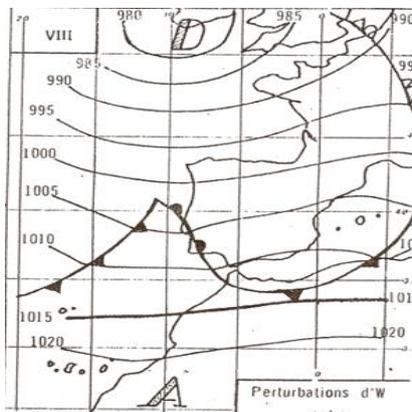


Figure 6: La perturbation d'Ouest accélérée

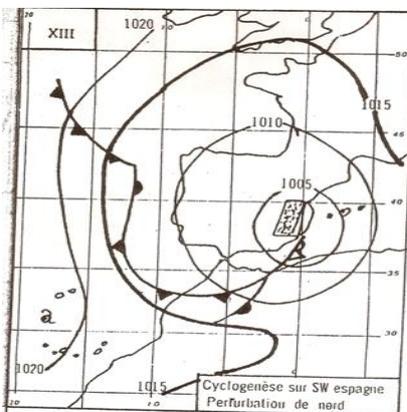


Figure 7: La cyclogénèse sur le SW de l'Espagne (perturbation de Nord)

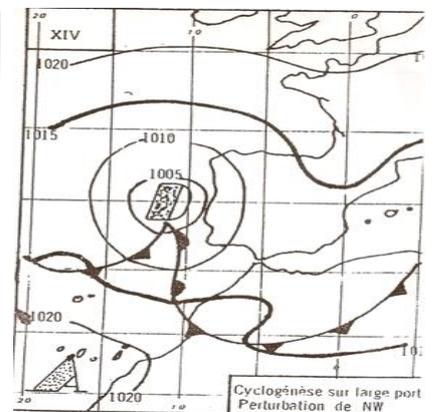


Figure 8: La perturbation de Nord Ouest

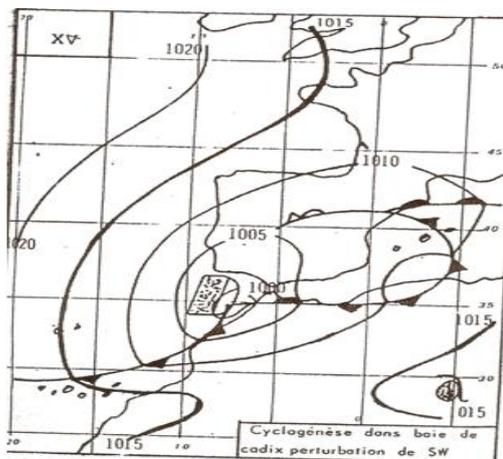


Figure 9: La perturbation de Sud Ouest

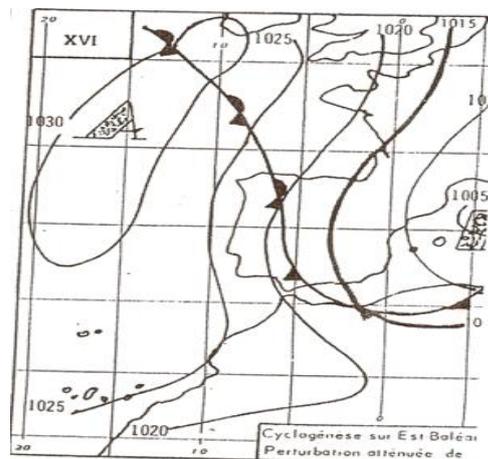


Figure 10: La cyclogénèse sur l'Est des Baléares.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce travail étudie les chroniques des températures maximales journalières enregistrées par les stations synoptiques des bassins versants du Bouregreg (Rabat-Salé & Kasba Tadla) et du Tensift (Safi & Marrakech) dans l'objectif d'identifier les événements chauds rares et très rares. Pour le besoin spécifique du traçage du diagramme ombro-thermique, il implique les températures et précipitations moyennes annuelles calculées par station synoptique. Il fait également appel aux cartes de pression en surface afin d'identifier les situations synoptiques responsables des événements chauds très rares en 2009.

3.1. EVOLUTION DES TEMPERATURES MAXIMALES SELON LES SAISONS

La figure 18 présente le diagramme ombro-thermique des stations synoptiques étudiées.

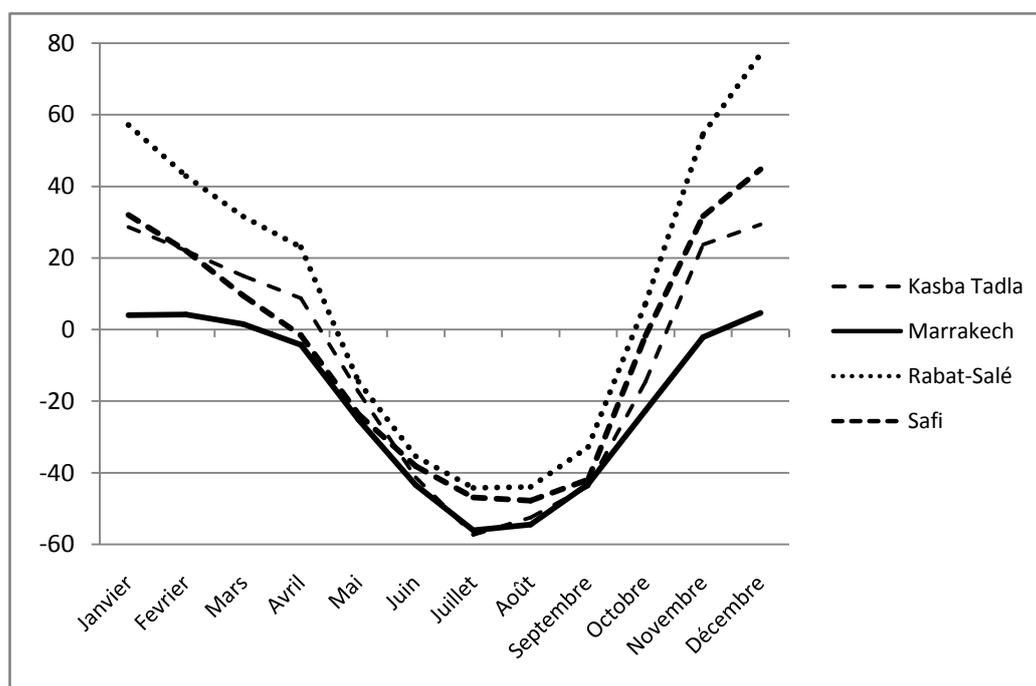


Figure 11: Diagramme ombro-thermique des stations de Kasba Tadla, Marrakech, Rabat-Salé et Safi

Les saisons sont déterminées comme suit :

- Les mois où les courbes se trouvent au-dessus de l'axe des abscisses forment la saison froide : (décembre, janvier, février,) pour Marrakech, (novembre, décembre, janvier, février, mars) pour Kasba Tadla et Safi, et (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril) pour Rabat Salé.
- Quand les courbes se trouvent au-dessous de l'axe des abscisses, on énumère les mois de la saison chaude : (avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre) pour Marrakech, (mai, juin, juillet, août, septembre) pour Kasba Tadla et Safi, et (juin, juillet, août, septembre) pour Rabat salé.
- Les mois d'intersection des courbes avec l'axe des abscisses sont des mois de transition : (mai et octobre) pour Rabat Salé, (avril et octobre) pour Kasba Tadla et Safi, et (mars et novembre) pour Marrakech.

Afin d'uniformiser l'étude et faciliter l'inter-comparaison des résultats obtenus sur les saisons et les bassins versants étudiés, les saisons froides ont été définies, pour toutes les stations, comme contenant les mois suivants : novembre, décembre, janvier et février et les saisons chaudes, les mois de juin, juillet, août et septembre.

Les graphes des figures 19 à 22, présentent l'évolution des séries chronologiques des températures maximales moyennes annuelles des stations de Safi et Marrakech pendant la saison froide, et de Kasba Tadla et Rabat Salé pendant la saison chaude. Les autres graphes ne sont pas présentés.

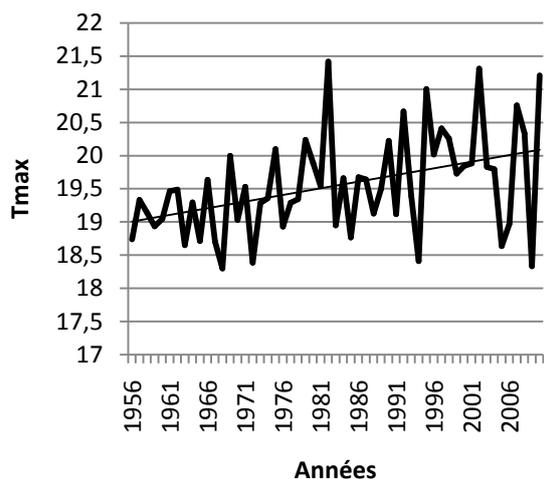


Figure 19 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Safi (Tensift) pendant la saison froide

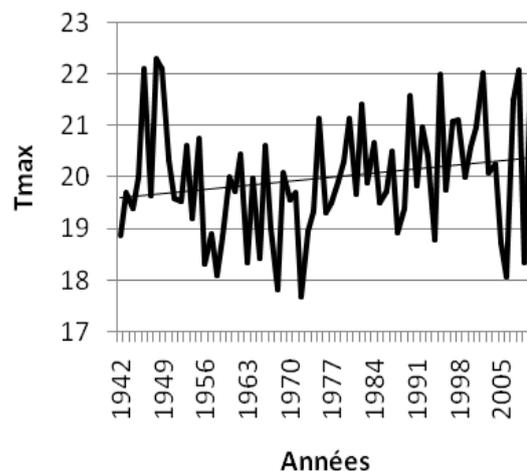


Figure 20 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Marrakech (Tensift) pendant la saison froide

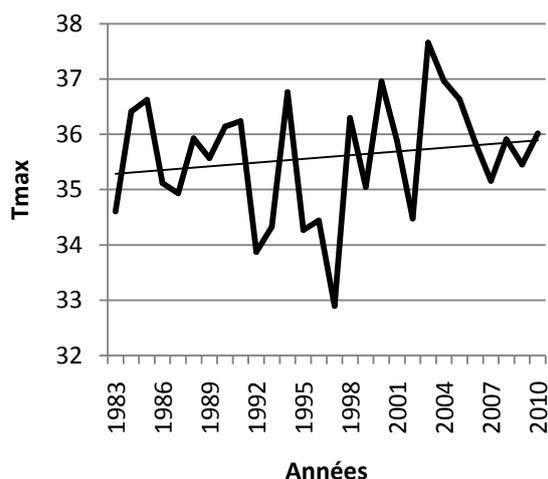


Figure 12 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Kasba Tadla (Bouregreg) pendant la saison chaude.

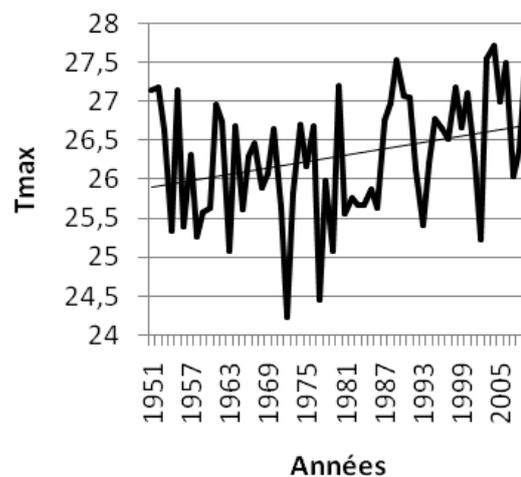


Figure 22 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Rabat-Salé (Bouregreg) pendant la saison chaude.

Selon le test de Mann-Kendall pour la saison froide, des tendances positives sont constatées sur les trois distributions de Marrakech, Safi et Rabat Salé. La distribution enregistrée sur Kasba Tadla (Bouregreg) ne présente aucune tendance significative.

Au cours de la saison chaude, seules les températures maximales de la station de Rabat-Salé (Bouregreg) présente une tendance positive, confirmée par le test de Mann-Kendall. Ce dernier n'a décelé aucune tendance significative pour les trois autres stations.

Le tableau 2 synthétise ces résultats.

Station	Evolution des températures maximales moyennes annuelles	
	Saison Froide	Saison Chaude
Rabat-Salé	Positive	Positive
Kasba Tadla	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative
Safi	Positive	Pas de tendance significative
Marrakech	Positive	Pas de tendance significative

Tableau 2: Résultats du test de Mann-Kendall pour l'étude de l'évolution des températures maximales moyennes annuelles par station et par saison

3.2. ÉVOLUTION DE LA FREQUENCE DES EVENEMENTS RARES ET TRES RARES DES TEMPERATURES MAXIMALES JOURNALIERES

Les évènements rares et très rares des températures maximales journalières enregistrées par les stations synoptiques des bassins versants du Tensift et du Bouregreg ont été identifiés par saison à l'aide du seuillage par les quantiles 95 % et 99 %. Les figures 23 et 24 présentent le seuillage de ces évènements pour les stations de Marrakech pendant la saison chaude et Safi pendant la saison froide. Les évènements des autres stations ne sont pas présentés.

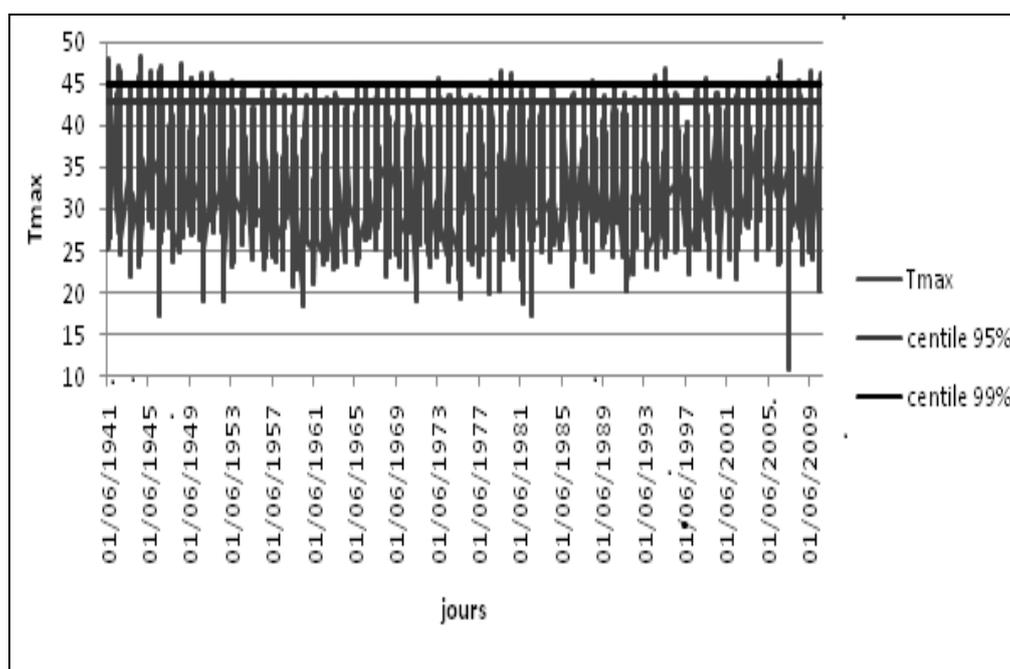


Figure 133 : Seuillages des évènements chauds rares et très rares des températures maximales journalières de Marrakech au cours de la saison chaude

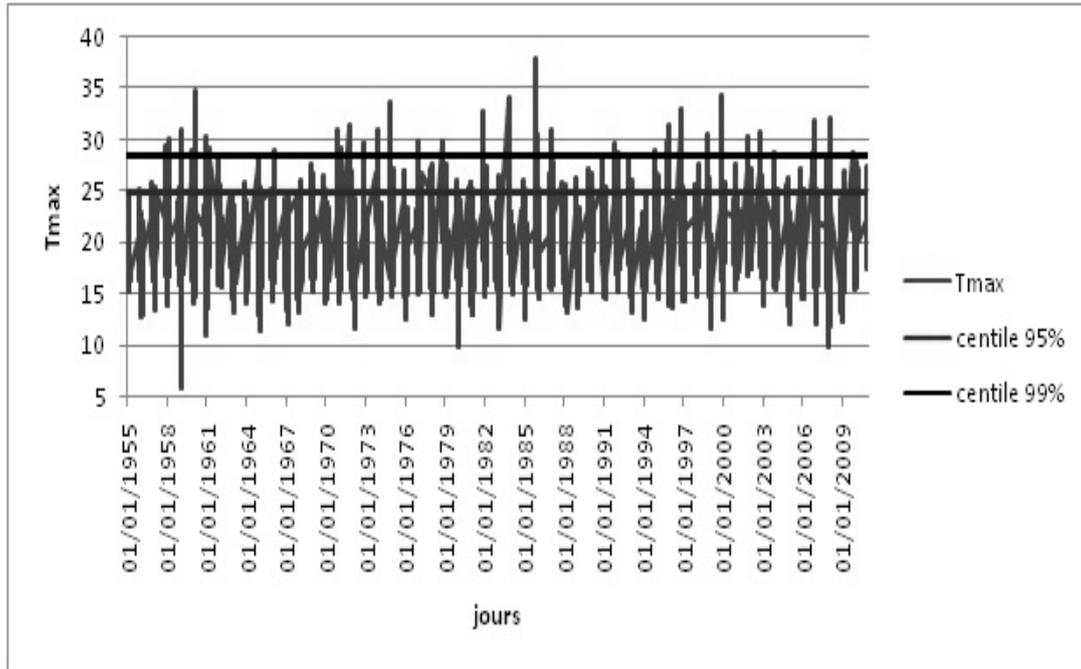


Figure 24 : Seuillages des évènements chauds rares et très rares des températures maximales journalières de Safi au cours de la saison froide

Le seuillage effectué ci-dessus a permis d'obtenir deux nouvelles distributions par station et par saison. La 1ère concerne des évènements chauds intenses et rares dépassant le quantile 95% et une deuxième contient des évènements très rares plus intenses qui dépassent le quantile 99 %. Le tableau 3 présente l'effectif des évènements chauds rares et très rares recensés par station et par saison de 1983 à 2009, période commune de disponibilité des données entre les quatre stations de mesure.

Station	Effectif des évènements rares chauds entre 1983 et 2009		Effectif des évènements très rares chauds entre 1983 et 2009	
	Saison Froide	Saison Chaude	Saison Froide	Saison Chaude
Rabat-Salé	181	163	37	37
Kasba Tadla	136	176	34	38
Safi	187	155	42	30
Marrakech	227	160	48	21

Tableau 3: Effectifs des évènements rares et très rares entre 1983 et 2009

Au cours de la saison froide, les stations de Tensift (Safi et Marrakech) enregistrent plus d'évènements chauds rares et très rares que les stations du Bouregreg. Ceci s'inverse totalement au cours de la saison chaude quand les stations du Bouregreg enregistrent le plus d'évènements. Le tableau 3 ne montre aucune influence du caractère côtier ou intérieur de la station sur les évènements identifiés.

3.2.1. Évolution des évènements chauds rares et très rares d'un jour

Un évènement rare (très rare) d'un jour est un jour avec une température maximale supérieure au quantile 95 % (99 %).

Les graphes des figures 25 à 28 présentent l'évolution de la fréquence annuelle des évènements rares et très rares d'un jour dans les stations de Marrakech et Safi pendant la saison froide et Kasba Tadla et Rabat Salé pendant la saison chaude. Les autres graphes ne sont pas présentés.

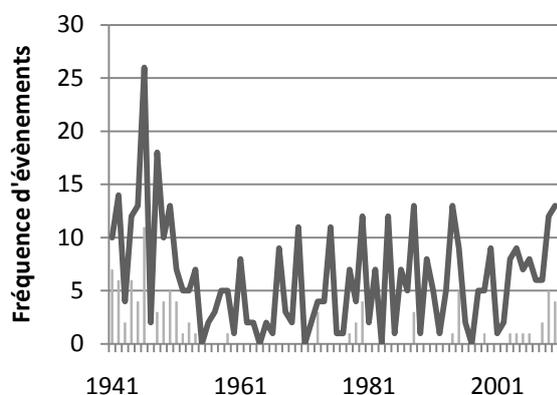


Figure 14: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Marrakech pendant la saison chaude

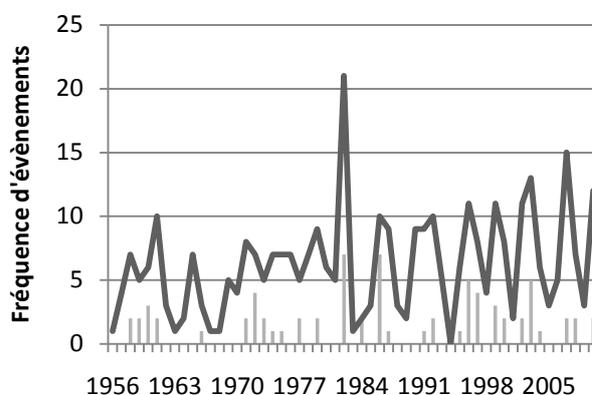


Figure 15: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Safi pendant la saison froide

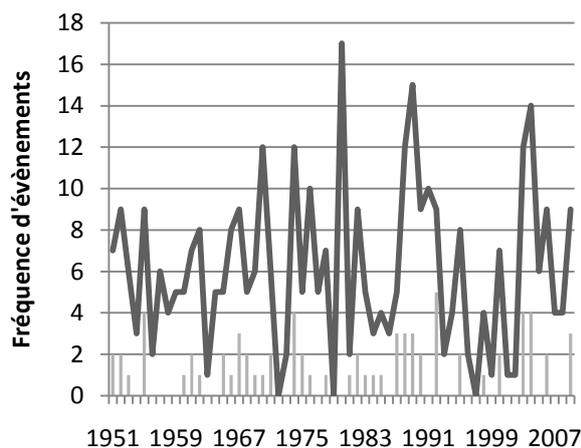


Figure 2716: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Rabat-salé pendant la saison chaude

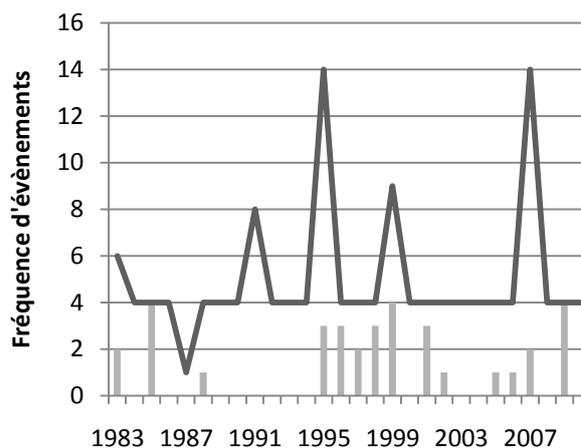


Figure 2817: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Kasba Tadla pendant la saison froide

Le tableau 4 présente les résultats de l'application du test de tendance de Mann-Kendall sur les séries des fréquences des évènements rares et très rares identifiées dans les quatre stations pendant les deux saisons.

Selon le test de Mann-Kendall :

- Les évènements chauds rares d'un jour dans le bassin de Tensift tendent à la hausse pendant la saison froide.
- Les évènements très rares d'un jour enregistrés par la station de Kasba Tadla au cours de la saison chaude tendent à la hausse alors que ceux de Marrakech tendent à la baisse.

Station	Evènements rares		Evènements très rares	
	Saison Froide	Saison Chaude	Saison Froide	Saison Chaude
Rabat-Salé	Pas de tendance significative			
Kasba Tadla	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Tendance positive
Safi	Tendance positive	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative
Marrakech	Tendance positive	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Tendance négative

Tableau 4: Tendance des évènements chauds rares et très rares d'un jour

3.2.2. Evolution des évènements rares et très rares de trois jours ou plus

Un évènement rare (très rare) de trois jours ou plus est une succession de trois évènements rares (très rares) ou plus. Au sens de Mann-Kendall, aucune tendance significative n'est constatée sur ces évènements rares de trois jours ou plus. L'occurrence des évènements très rares de trois jours ou plus reste non significative pour toutes les stations.

Les résultats obtenus ci-dessus montrent qu'au cours de la saison froide, les températures maximales ont augmenté dans trois stations des quatre étudiées. Les stations du bassin de Tensift ont enregistré plus d'évènements chauds dont la fréquence tend vers la hausse.

Au cours de la saison chaude, seule les températures maximales de la station de Rabat-Salé tendent vers la hausse ; aucune tendance significative n'est enregistrée pour les autres stations. Les stations du Bouregreg enregistrent plus d'évènements chauds que les stations du Tensift.

Généralement, les changements dans la variabilité d'un climat local peuvent être influencés par les changements de la circulation atmosphérique à large échelle. Le Maroc fait partie de la région méditerranéenne qui reste particulièrement sous l'effet de la NAO (North Atlantic Oscillation) et la MO (Mediterranean Oscillation). Khomsi et al. (2013) ont montré l'existence d'un lien statistique significatif entre l'évolution des épisodes chauds d'été et la MO sur les zones internes du Maroc. Une corrélation significative a été également trouvée entre la NAO et les épisodes chauds de Rabat-Salé.

En effet, au cours de la saison froide, la NAO est dans sa phase négative, les perturbations s'engouffrent vers le Nord Afrique, apportant ainsi des pluies sur la région. Les types de temps résultants peuvent adoucir le climat et diminuer la fréquence des épisodes chauds au Nord du Maroc. Alors qu'au cours de la saison chaude, la NAO est généralement en phase positive, une augmentation de cet indice renforce les vents d'Ouest sur l'Afrique du Nord. Ces vents devenant plus chauds suite à l'augmentation de la température de la surface de la mer affectent d'abord la station de Rabat-Salé située sur la trajectoire des mouvements cycloniques et puis, probablement, le Nord du pays dont fait partie le Bouregreg. Aussi, l'augmentation de l'indice MO provoque l'infiltration sur le pays, des masses d'air chaudes depuis la méditerranée. Ces infiltrations peuvent occasionner des épisodes chauds.

De toutes façons, la mesure dont les indices NAO et MO seront influencés par le réchauffement global reste, jusqu'à nos jours méconnue.

Cet article n'intègre pas les indices de circulation à l'échelle planétaire, toutefois il s'intéresse, dans le paragraphe qui suit à l'étude de l'importance des flux locaux anticycloniques dans l'occurrence des événements chauds très rares identifiés sur les deux zones d'étude.

3.3. IDENTIFICATION DES SITUATIONS SYNOPTIQUES ASSOCIEES CHAUDS TRES RARES D'UN JOUR EN 2009

Au cours de l'année 2009, les stations étudiées ont enregistré un total de 27 événements chauds très rares d'un jour. La distribution de ces événements par station et saison est présentée par le tableau 5.

Station	Saison froide	Saison chaude
Safi	2	3
Marrakech	6	5
Rabat Salé	2	3
Kasba Tadla	4	2

Tableau 5: Distribution des événements très rares d'un jour enregistrés en 2009 par station et saison

Du fait du caractère global des situations synoptiques de grande échelle, les stations étudiées sont souvent concernées par le même événement chaud. Le calcul de la fréquence des types de temps synoptiques (tableau 6) a été réalisé en éliminant les événements chauds redondants.

Type de temps	Fréquence	
	Saison Froide	Saison Chaude
Le régime d'Est de type Chergui	0	7
Le front quasi-stationnaire marocain	0	1
Le temps perturbé de SW	6	0
La cyclogénèse sur l'Est des Baléares	1	0

Tableau 6 : Fréquence des types de temps associés aux événements chauds très rares en 2009

Au cours de l'année 2009, les stations côtières ont enregistré le même nombre d'événements très rares d'un jour pendant les deux saisons (Tableau 5). La station de Marrakech a enregistré le maximum d'événements très rares pendant les deux saisons. Le régime d'Est de type Chergui, classé comme régime d'été par Calvet et Legoff(1977), est le régime synoptique responsable de la majorité des événements chauds très rares en 2009 pendant la saison chaude alors que le temps perturbé du sud-ouest, considéré comme régime d'été, en est le responsable pendant la saison froide.

4. CONCLUSION

Comme conséquences au changement climatique récent, l'IPCC prévoit une hausse très probable de la fréquence des événements extrêmes des températures et des vagues de chaleur. Cette

hausse peut probablement concerner le régime des températures des stations synoptiques du Maroc.

Ce papier présente une étude de l'évolution des températures maximales moyennes et des événements chauds rares et très rares sur quatre stations du réseau synoptique de la Direction de la Météorologie Nationale du Maroc. Ces stations appartiennent à deux bassins versants différents : Marrakech et Safi du bassin du Tensift et Kasba Tadla et Rabat-Salé du bassin du Bouregreg.

Ce travail est réalisé en utilisant une méthode d'échantillonnage basée sur les quantiles 95 % (pour les événements rares) et 99 % (pour les événements très rares) et appliquée sur les chroniques des températures maximales enregistrées par les stations de mesures étudiées. La nature et la fréquence des types des temps synoptiques associés aux événements très rares identifiés en 2009 sont également traitées.

Le test de Mann-Kendall qui sert à détecter les tendances montre une hausse des températures maximales moyennes dans le bassin du Tensift accompagnée d'une hausse des événements chauds rares d'un jour au cours de la saison froide. Les événements très rares ne présentent aucune tendance significative.

Pendant la saison chaude, les températures maximales moyennes de Rabat-Salé tendent à la hausse alors que celles des autres stations ne présentent aucune tendance significative. L'absence de tendance est également remarquée pour les événements rares des deux bassins versants. Les événements très rares de Kasba Tadla tendent à la hausse alors que ceux de Marrakech tendent à la baisse.

L'occurrence des événements très rares de trois jours ou plus n'est pas significative et aucune tendance n'est décelée sur les événements rares de trois jours au plus.

La comparaison entre la fréquence des événements rares et très rares, dans les bassins versants du Tensift et du Bouregreg entre 1983 et 2009 montre qu'en saison froide, les stations du Tensift enregistrent plus d'événements chauds rares et très rares alors que celles du Bouregreg enregistrent plus au cours de la saison chaude.

Concernant les types de temps, « le régime d'Est de type Chergui » et « le temps perturbé de SW » sont les types de temps à l'origine de la majorité des événements très rares de la saison chaude et froide respectivement.

REFERENCES

- Agoumi, A. (2003). Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques: Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en oeuvre.
- Boudevillain, B., Argence, S., Claud, C., Ducrocq, V., Joly, B., Joly, A., et al. (2009). Cyclogenèses et précipitations intenses en région méditerranéenne : origines et caractéristiques. *La Météorologie*, 18-28.
- Calvet, C. & Legoff, Y. (1977). Classification des types de temps au Maroc.
- CID. (2004). Etude d'actualisation des ressources en eau de surface de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique du Tensift. Rabat.
- Driouech, F., Déqué, M. & Sánchez-Gómez, E. (2010). Weather regimes—Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation. *Global and Planetary Change*, 1-10.
- Gausson, H. & Bagnouls, F. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. Université de Toulouse, Faculté des Sciences.

- Gausson, H. & Bagnouls, F. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Geogr*, 46 , 193-220.
- GIEC (1995). (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), Climate Change 1995 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Genève: GIEC, 1995.
- GIEC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental EC. Publié sous la direction de J. McCarthy, O. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White. Genève, Suisse, 13-16 février 2001.
- Haylock, M.R. & Goodess, C. (2004). Interannual variability of european extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 759-776.
- IPCC (1990). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment [Houghton, J.T., G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 365 pp.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds)]. Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Joly, B., Nuissier, O., Ducrocq, V. & Joly, A. (2009). Mediterranean synoptic scale ingredients involved in heavy precipitations events triggering over southern France: a clustering approach.
- Khomsî, K., Mahe, G., Sinan, M., Snoussi, M. & Tramblay, Y. (en revision en 2013). Evolution of rare events of extreme temperature in Morocco and related synoptic weather types. Submitted to Regional Environmental Change.
- Knippertz, P., Christoph, M. & Speth, P. (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics* , 67-88.
- Li, Z., Fen-li, Z., Liu, W.-Z. & Flanagan, D. C. (2010). Spatial distribution and temporal trends of extreme temperature and precipitation events on the Loess Plateau of China during 1961-2007. *Quaternary International* , 92-100.
- Lubès-Niel, H., Masson, J. M., Paturel, J. E. & Servat, E. (1998). Variabilité climatique et statistiques: étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau* , 383-408.
- Marghich, A. & Kerchaoui, S. (2004). Le bassin versant du Bouregreg (Maroc central): Etudes hydrologique, hydrogéologique et hydrochimie des eaux. Fes.
- Nasrallah, H. A., Nieplova, E. & Ramadan, E. (2004). Warm season extreme temperature events in Kuwait. *Journal of Arid Environments* , 357-371.
- SigMed.(2009). Information about Bouregreg, Retrieved 06 12 2009, from SIGMED: http://armspark.msem.univ-montp2.fr/sigmed/index.asp?menu=doc_list

PREMIERS RESULTATS DES MESURES D'EROSION RAVINAIRE SUR LES VERSANTS LACUSTRES DU BARRAGE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH (MAROC) ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Véronique MALEVAL¹

Présentation

Tout plan d'eau créé par le barrage d'un cours d'eau réceptionne des sédiments issus de la dégradation spécifique de leur bassin versant. Ces sédiments débouchant dans les lacs via le réseau hydrographique, s'accumulent, en partie, dans l'ensemble de la cuvette lacustre (Maleval et Jigorel, 2002). Dans le cas d'environnements favorables (versants lacustres pentus et constitués de roches peu résistantes, couverture végétale très ouverte, climat et activités humaines agressifs), il se produit des apports en sédiments directement aux lacs, sans transiter par le réseau hydrographique (Maleval *et al.*, soumis). Ces apports proviennent de l'action mécanique des vagues sur les littoraux lacustres, érosion pouvant entraîner des glissements de terrain dans le lac, mais aussi de l'érosion en nappe se produisant sur les versants lacustres et de l'érosion ravinaire liée au ruissellement concentré des eaux pluviales. Ce dernier type d'apport direct au lac se faisant par le creusement de tout un ensemble de multiples ravines parfois très ramifiées, apparaît véritablement dans le paysage comme le phénomène le plus spectaculaire (Valentin *et al.* 2005), façonnant de nouveaux modelés dans le relief. Si l'objectif général de cette étude est l'évaluation de ces apports particuliers directs, l'objectif de cet article est une réflexion sur l'évaluation des apports par ravinement car, compte tenu de la grande variabilité des taux de ravinement (El Khalili *et al.*, 2011) rencontrés dans la littérature scientifique, selon Poesen *et al.* (2003), leur contribution dans les pertes en sol est forte ; pour Naimi *et al.* (2003), elle est substantielle ; et prédominante pour Oostwoud Wijdenes *et al.* (2000) ainsi que pour De Vente *et al.* (2005) (*in* El Khalili *et al.*, 2011). Ainsi, selon les terrains ravinés et le type de ravine, la contribution à l'envasement d'une retenue peut atteindre, voire dépasser, 30 % (Naimi *et al.*, 2003). Pour cette raison, un intérêt croissant leur est porté (Menendez-Duarte *et al.*, 2007) que ce soit dans le sud de la France, en Italie, en Espagne, au Portugal ou dans les pays maghrébins. Au terme de l'étude, l'ensemble des données complétera celles des volumes sédimentaires issus du BV et entrants dans le lac par les cours d'eau. En effet, les évaluations des dépôts lacustres pouvant être sous estimées, minimisent le comblement inéluctable d'une retenue d'eau. Pourtant, la connaissance de la totalité des apports conditionne la connaissance de la capacité utile et de la durée de vie d'un réservoir, point important dans le cadre de retenues d'eau pour l'alimentation en eau de villes en pays méditerranéens où la demande ne cesse de croître. Ainsi, l'évaluation de l'érosion par ravinement fait partie intégrante du processus de gestion de l'eau et des sédiments lacustres.

¹ Enseignant-chercheur, Université de Limoges (France), GEOLAB UMR 6042 - CNRS

Description du site et du programme de recherche

Le barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah, retenue d'eau exclusivement destinée à l'alimentation en eau potable et industrielle de la bande littorale comprise entre Rabat-Salé et Casablanca au Maroc, fait l'objet de cette recherche. Créé en 1974 en amont de la capitale marocaine, sur le Bouregreg, un des principaux fleuves marocains, le SMBA est installé sur les bas plateaux atlantiques à surface plane correspondant aux terroirs villageois de Sidi Bettache et du Rharb.

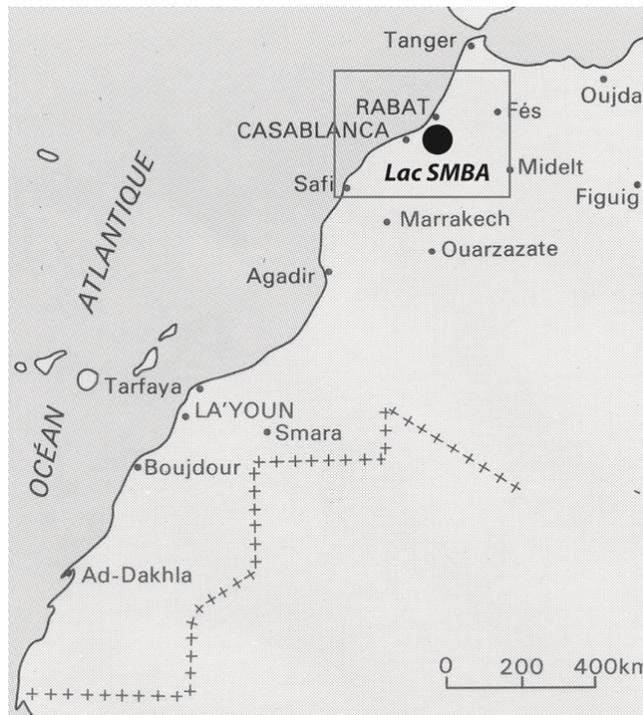


Fig. 1 : Localisation du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah

En raison de ses trois tributaires, le Bouregreg et ses affluents, les oueds Grou et Korifla, le lac a en plan, à l'altitude de 55 m², niveau normale de remplissage depuis 2006³, une morphologie digitée et une vaste superficie de 31,3 km² pour un périmètre littoral de 196 km. Son volume d'eau maximal de 1 025 Mm³ (443 Mm³ avant 2006) permet la régularisation annuelle de 340 Mm³ d'eau potable. Le SMBA présente les particularités d'un lac situé en zone méditerranéenne semi-aride : alimentation à 90 % en moyenne pendant la saison pluvieuse⁴ (décembre à avril), faible couvert végétal des pentes littorales (touffes de doums et d'asphodèles principalement), vitesse annuelle d'envasement modérée comparée à beaucoup d'autres barrages marocains, car selon l'ABHBC⁵ une capacité d'environ 2,50 Mm³ serait perdue chaque année ; les deux premières particularités ayant un rôle certain dans le modelage de ravines par l'érosion hydrique.

² Altitude donnée par la lecture de la carte topographique Sidi Azzouz au 1 : 25 000, 2006, ANCFCC, Rabat.

³ Les travaux de surélévation du barrage ont été achevés en juillet 2006, pour faire face à la demande en eau croissante et au déficit prévisible à l'horizon 2020 en matière d'AEP.

⁴ La pluviométrie annuelle moyenne du bassin du Bouregreg est de 400 mm ; la température, 18°C. la pluviométrie annuelle au SMBA est de 475 mm en moyenne.

⁵ Agence de Bassin Hydraulique du Bouregreg et de la Chaouia.

Parce que ce type d'érosion cause des dommages dans de nombreuses régions du monde, il est devenu une des préoccupations majeures des programmes internationaux d'aides (Gning, 2012). Pour cette raison il est au centre d'une des thématiques du programme SIGMED (Approche Spatialisée de l'Impact des activités agricoles au Maghreb sur les transports solides et les ressources en Eau De grands bassins versants ; 2010-2013) par l'axe conservation des sols et des paysages, l'agriculture représentant un secteur déterminant dans l'économie marocaine.

Méthodes d'étude

Le traitement géomatique

Préalablement au travail de terrain, pour connaître les différents types de versants lacustres et établir une typologie des morphologies ravinaires, différentes sources et bases de données ont été traitées et croisées au sein d'un SIG : Modèle Numérique de Terrain (ASTER GDEM V2), image satellite panchromatique haute résolution (QuickBird), photographies aériennes (2009, 1/20 000). Le calcul des courbes de niveau et des pentes a permis d'établir, tout autour du lac, l'emprise des versants lacustres, aire de répartition des ravines (Maleval *et al.*, soumis). Trois sites ont ensuite été choisis dans cette aire en fonction de paramètres morphométriques et environnementaux. Enfin, au sein de ces sites, des micro-bassins versants de ravines ont été isolés dans le but de les mesurer sur le terrain. L'objectif est de déterminer des "modèles ravinaires" pour les appliquer à la totalité des ravines du SMBA (ravines cartographiées grâce à une image satellite).

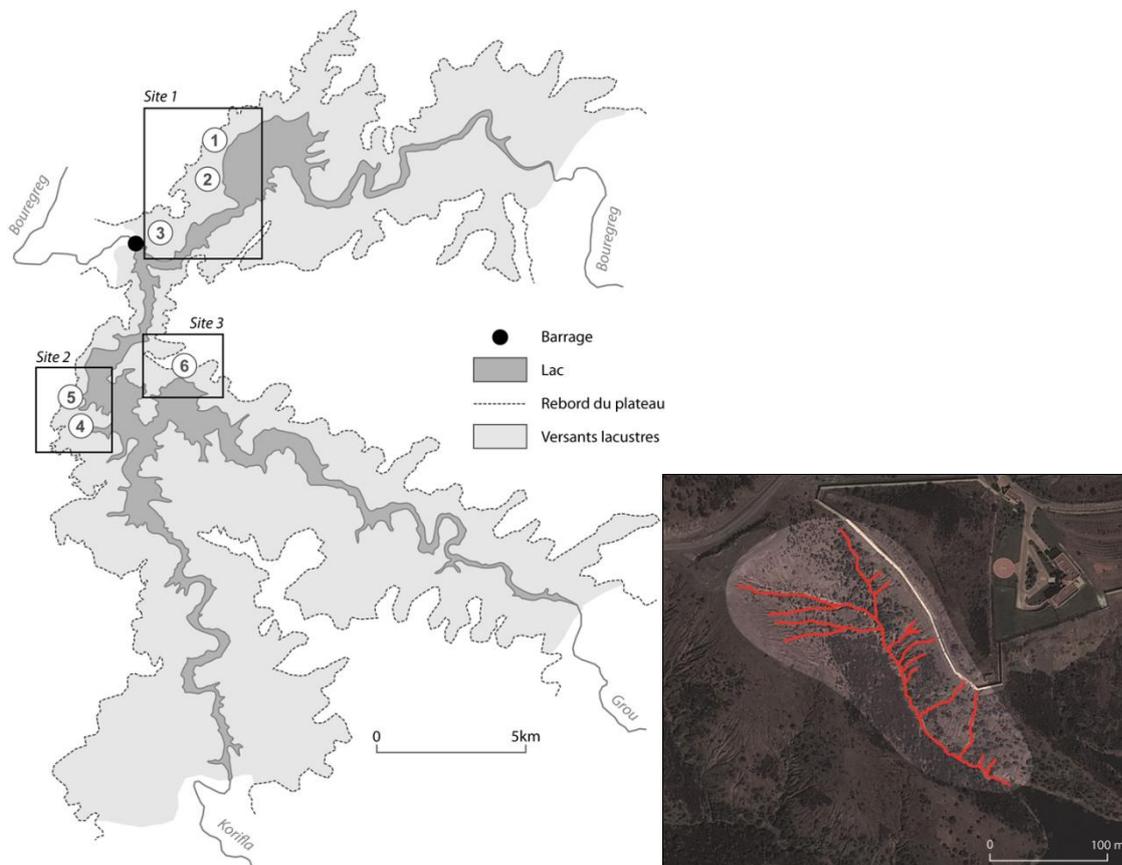


Fig. 2 : L'emprise des versants lacustres et les sites de mesures (R. Crouzevialle, 2013) ; Exemple de micro-bassin versant (site 2 ④).

Le travail de terrain

En tant que géographes, la connaissance de l'érosion ravinaire au sens large est le résultat d'un travail de terrain. Il a été mené à ce jour lors de 2 missions de courte durée (une semaine par mission), en avril et septembre 2012, sur trois sites dont l'accès a été facilité par un zodiac⁶. Additionnés aux photographies et observations de terrain, les relevés ont porté sur les ravines des micro-bassins versants ; ce modèle d'érosion créé par le ruissellement concentré forme des chenaux parallèles ou convergents, affectant les versants aux pentes supérieures à 15 % (Gning, 2012). La ravine est une rigole de plus de 50 cm de profondeur⁷ ne pouvant être effacée par les techniques culturales traditionnelles (Roose, 1994 *in* Mohsine, 2009). Parfois, leurs dimensions atteignent de considérables profondeurs pouvant transformer le paysage en badlands (Laouina, 1998, Laouina *et al.*, 1993, Coelho *et al.*, 2002).



Photographies 1 et 2 : Ravines très creusées sur les versants lacustres du site 3 (clichés V. Maleval et M. Gning, avril 2012).

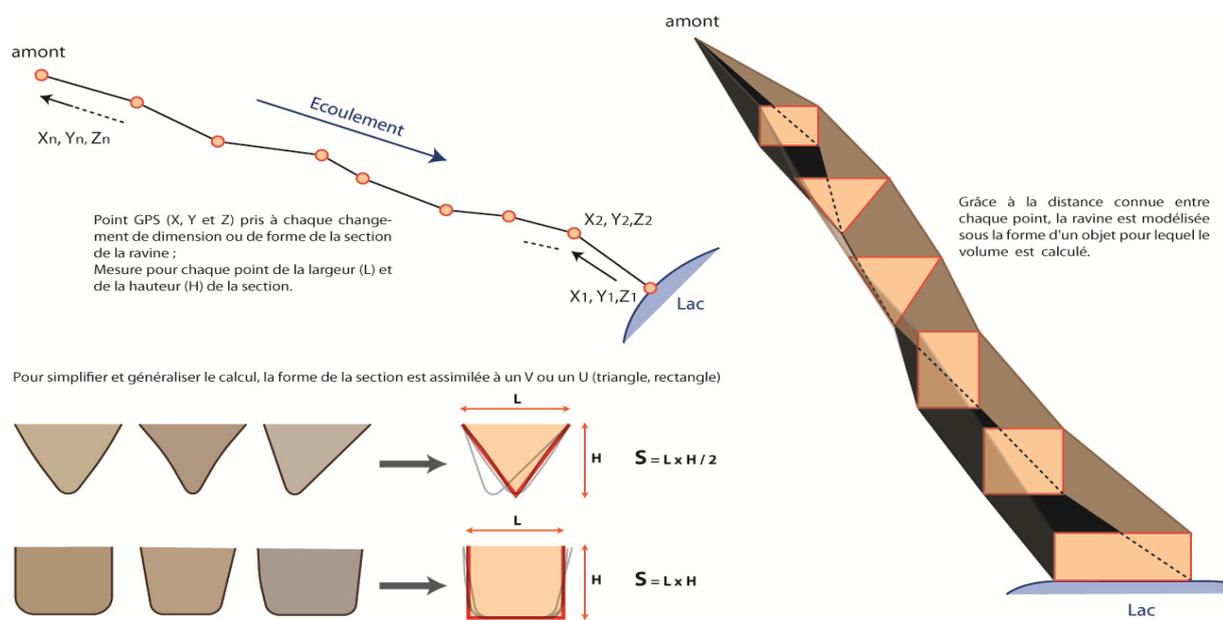


Fig. 3 : Méthode de modélisation et de calcul (R. Crouzevialle, V. Maleval, 2012).

⁶ Zodiac prêté par l'ABHBC, gestionnaire du barrage. En l'absence de bateau, l'accès serait compliqué et dangereux en raison du caractère souvent très pentu des versants lacustres.

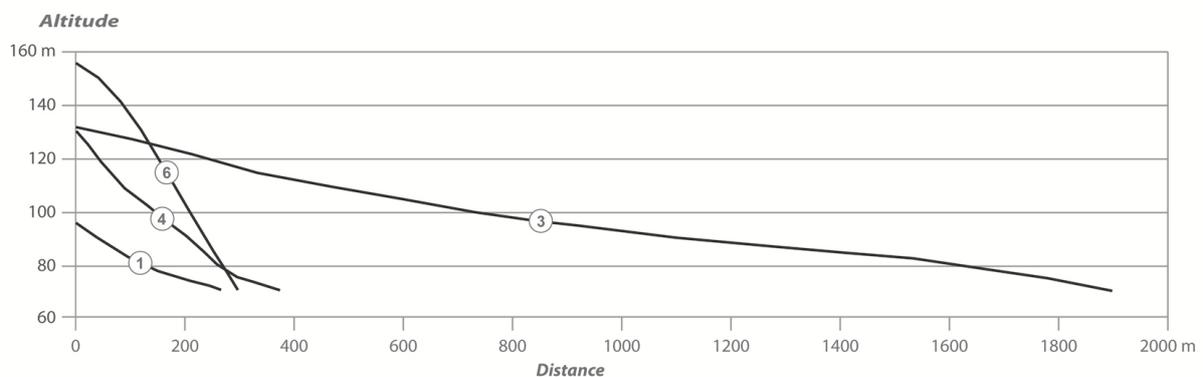
⁷ Selon la nomenclature des lignes d'écoulement de la FAO (1994), les modèles de quelques cm de profondeur sont des griffes, de plus de 10 cm, des rigoles (Roose, 1994 *in* Mohsine, 2009).

La méthode a consisté à relever grâce à un GPS le développement longitudinal des ravines par une série de points géoréférencés (X,Y et Z), enregistrés à chaque changement de dimension ou de forme de la section de ravinement ; pour chaque point, la forme de la section (un U ou un V) est notée puis sa largeur et sa hauteur sont mesurées à l'aide d'un double décimètre ou d'un télémètre laser de terrain. Cette méthode déjà utilisée au Maroc par Naimi *et al.* (2003) et Gning (2012) ainsi qu'en Tunisie par El Khalili *et al.* (2011), permet de modéliser les ravines et de calculer leur volume.

Résultats

Ampleur de l'érosion

Chaque versant lacustre ayant sa morphologie ravinatoire propre, les résultats partiels de l'étude ont permis de mettre en évidence 2 types de versants correspondants à deux modèles ravinaires en lien avec leur nature lithologique et pédologique ainsi que leur pente (Maleval *et al.*, soumis).



Numéro du site	1	3	4	6
superficie du BV (ha)	21	130	6	2
pente moyenne du BV (°)	6	5	14	25
volume de la ravine (m ³)	2121	12504	32033	1575
Rapport volume érodé/superficie BV	101	96	5339	788

Fig. 5 et 6 : Profils des ravines étudiées ; volume des ravines étudiées rapporté à la taille de leur bassin versant (in Maleval *et al.*, soumis)

- Sur le versant nord de la plus grande cuvette lacustre du SMBA, premier site (profils 1 et 3), les ravines ont un long développement longitudinal avec ou sans ravine affluente, de profondeur et largeur raisonnables⁸ correspondant à une érosion limitée (100 m.ha⁻³environ). En effet, ce versant présente de douces pentes généralement enherbées en lien avec sa lithologie tendre : alluvions et colluvions déposés sur la formation marneuse de Salé (marnes grises).

⁸Cette morphologie particulière se retrouve également à proximité de la digue, en rive droite.



Photographies 3 et 4 : Ravine 1 et 2 sur le rivage nord du site 1 (clichés V. Maleval et M. Gning, avril 2012, in Maleval *et al.*, soumis).

- Sur les versant ouest et est du bassin occidental, deuxième et troisième sites (profils 4 et 6), les ravines, moins longues, sont très ramifiées et d'une profondeur et largeur parfois conséquentes. Ces versants à la pente assez forte et portant parfois une végétation buissonnante, sont taillés dans des sédiments détritiques d'âge carbonifère correspondant à des pélites à nodules ferrugineux de la formation de l'oued Korifla. Le volume érodé des ravines peut être considérable, parfois supérieur à $5000 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-3}$ correspondant au dépôt tendre (concavité basale) fortement remobilisé lors d'épisodes pluvieux intenses.



Photographies 5 et 6 : Vue générale de versants lacustres ravinés du bassin occidental (site 3) ; ravine 4 très ramifiée du site 2 (clichés V. Maleval, sept. et avril 2012, in Maleval *et al.*, soumis).

Facteurs

L'érosion hydrique des sols est un problème majeur dans les milieux semi-arides où la végétation est très clairsemée. Au Maroc, cette érosion est liée à l'action conjuguée de la déforestation des reliefs, du surpâturage, de la mauvaise conduite des travaux agricoles (Boutkhil *et al.*, 2004 ; Gning, 2012) ainsi qu'à la nature torrentielle des précipitations, ce qui à l'avenir pourrait être encore plus marqué car les scénarios d'évolution liés au dérèglement climatique prévoient une augmentation des événements intenses (Giorgi et Lionello, 2008). Dans ce contexte, le ravinement, signe du déséquilibre entre le milieu et son exploitation, est lourd de conséquences : la destruction du paysage original laisse place à un paysage totalement balaféré et inutilisable ; le sol, véritable patrimoine agricole, support de l'agriculture, est érodé, poussant la population rurale à l'exode ; enfin, les produits érodés participent à l'envasement des retenues, problème majeur qui réduit en permanence et

rapidement, la capacité de stockage en eau douce des lacs destinés à l'AEP (Snoussi *et al.*, 2002, Remini et Hallouche, 2004) comme c'est le cas pour le SMBA.

Conclusion- Perspectives

Compte tenu de l'extrême densité ravinaire tout autour du lac, ces premiers résultats semblent montrer que les ravines sont capables de livrer une quantité importante de matériaux à la cuvette lacustre. Pour confirmer ou infirmer cette première hypothèse et afin de prolonger le programme SIGMED (terminé fin 2013) qui met à disposition différents résultats, un projet pluridisciplinaire portant sur la question de l'érosion des versants littoraux lacustres combinée à celle des relations avec les activités humaines et le changement climatique est en cours de montage, regroupant des chercheurs de divers organismes scientifiques du Maroc et de France. L'approche pluridisciplinaire est réellement porteuse de valeur ajoutée, tant on a pu constater l'imbrication fine entre les activités humaines et les conséquences sur la vulnérabilité à l'érosion.

Au vu des résultats recherchés, ceux du bilan sédimentaire du lac SMBA, la méthodologie à mettre en œuvre dans le futur programme pour acquérir les données relatives aux origines des sédiments est multiple ; si la connaissance des apports allochtones, issue en partie des conclusions de SIGMED, devra être affinée par la mise en place d'un suivi régulier sur au moins 2 ans avec l'aide de l'ABHBC, celle des apports autochtones sera issue de plusieurs méthodes de terrain :

- Pour l'acquisition des apports sédimentaires totaux au lac, deux méthodes permettront d'obtenir de bons résultats :
 - l'utilisation de la stratabox embarquée sur un bateau permettra une analyse détaillée des dépôts en termes notamment de profondeur, épaisseur et nature.
 - La pose de sédimentomètres au fond de la cuvette lacustre du SMBA couplée à des carottages, permettra de connaître les rythmes intra-annuels et la nature de la sédimentation.



Photographies 7 et 8 : la stratabox est utilisée par Rachid Nedjai, professeur à l'Université d'Orléans ; un sédimentomètre ou piège à sédiments (photo V. Maleval, 2002)

- Pour l'acquisition des apports littoraux, la méthode d'estimation du ravinement des versants lacustre est celle présentée dans la première partie de cet article avec cependant un travail de photogrammétrie supplémentaire consistant à prendre, à des périodes différentes, des photographies des ravines référentes, à l'aide d'une perche, pour les modéliser. La méthode d'estimation du recul du trait de côte passera par une observation des différents modelés du rivage en lien avec les niveaux d'eau successifs et par une instrumentation légère (comme des piquets de bois) du rivage de façon à connaître la vitesse moyenne de l'érosion et le volume érodé depuis l'année de relèvement du niveau lacustre. Ces résultats seront affinés grâce à l'utilisation de la dendrochronologie et de la télédétection laser.

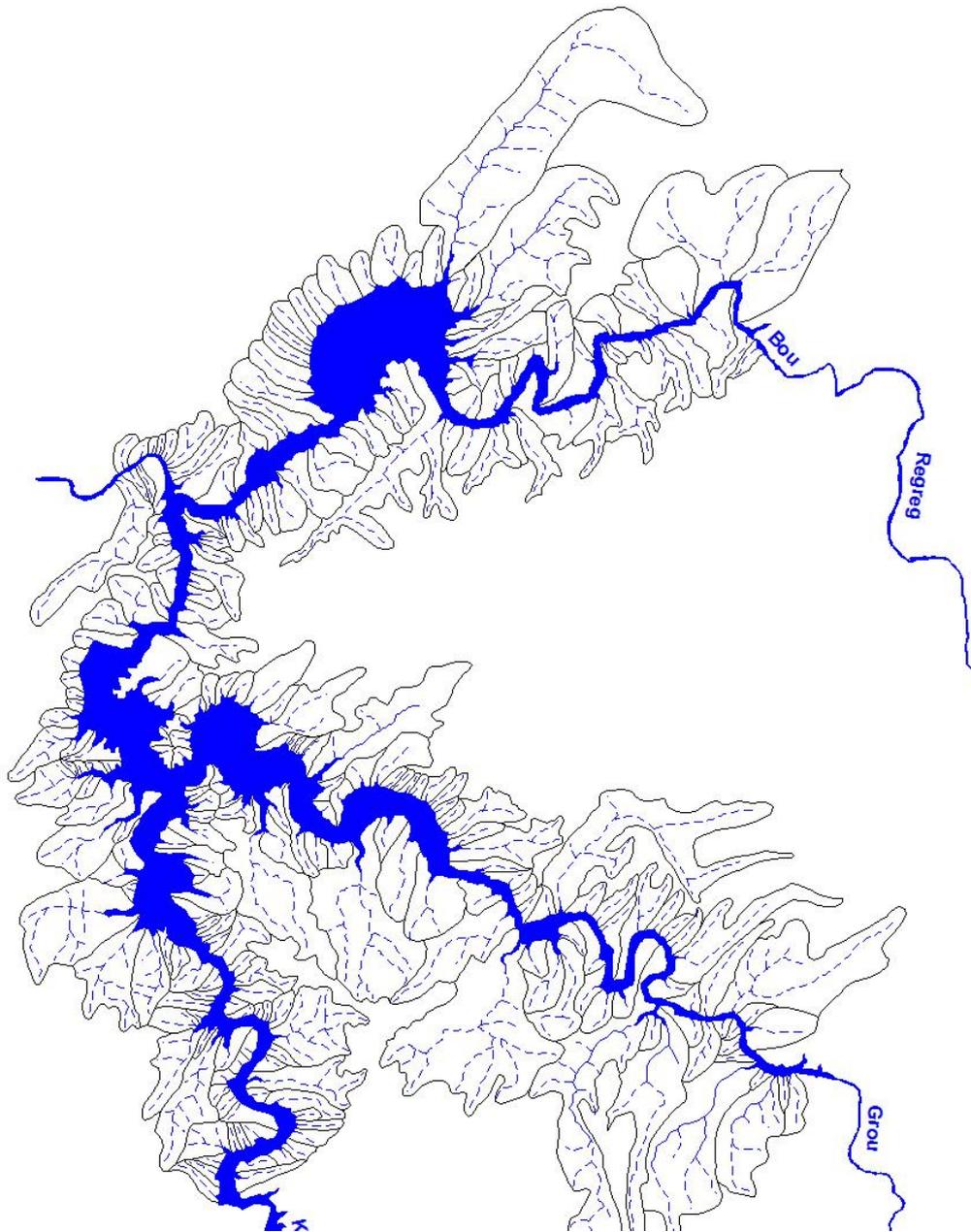


Fig. 7 : Espace et unités d'un projet futur : les micro-bassins affluents de la retenue Sidi Mohammed ben Abdellah

- Enfin, pour obtenir un véritable bilan sédimentaire pour le SMBA, les apports biogènes seront déduits par simple calcul grâce à la connaissance des volumes littoraux érodés et des apports totaux au lac.

Dans la mesure où peu de services nationaux font un suivi régulier des transports solides par les rivières et des apports solides dans les retenues d'eau, ce programme pluridisciplinaire dans son ensemble permettra d'apporter plus de connaissances et des solutions nouvelles adaptées au problème de l'érosion et de l'envasement des barrages, au moins dans la région du barrage SMBA. *In fine*, l'objectif est la réelle connaissance de l'origine des sédiments pour choisir et mettre en œuvre les bonnes mesures de remédiation. En effet, si les apports de proximité se trouvaient en quantité importante, voire majeure, il ne serait pas nécessaire d'agir sur l'ensemble du bassin versant du Bouregreg pour juguler substantiellement le comblement de la retenue ; cela représenterait une économie certaine.

Remerciements

L'auteur tient à remercier les membres de l'IRD à Rabat ainsi que l'équipe du programme SIGMED, tout particulièrement Gil MAHE, directeur de recherches à l'IRD, et Claudine DIEULIN, ingénieure d'études à l'IRD, pour leurs contributions scientifique, administrative et logistique. Un grand merci également à Abdellah Laouina, professeur à l'Université Mohammed V Rabat-Agdal, sans qui cette publication n'aurait pas vu le jour, ainsi qu'à toute l'équipe d'enseignants chercheurs du CERCEO de cette même université.

Bibliographie

- Boutkhil, M., Mazour, M., Mededjel, M., Hamoudi, A. & Roose, E. (2004). Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 15, 1, 96-104.
- Brou Yao, T. (2012). Variabilité climatique, changement d'occupation du sol et vulnérabilité des paysages. Communication au séminaire du Centre Jacques Berque, SIGMED, Rabat, 26 mars 2012.
- Coelho, C.O.A., Laouina, A., Ferreira, A.J.D., Naciri, R., Chaker, M., Nafaa, R., Carvalho, T.M.M., Boulet, A.K. & Pereira, J.B.P. (2002). Forest and grazing impacts on hydrological and erosional processes in Southern Portugal and Northern and Central Morocco. *Man and soil at the Third Millennium*, Geofoma Ediciones, Logroño, pp. 1255-1264.
- Giorgi, F. & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63 (2-3), 90-104.
- Gning, M. (2012). Caractérisation et quantification de l'érosion temporaire en milieu cultivé dans quelques périmètres du Projet Arboriculture Fruitière (MCA-Maroc). Travail de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, IAV Hassan II, Rabat, Royaume du Maroc, 60 p.
- El Bouqdaoui, K., Aachib, M., Blaghen, M. & Kholtei, S. (2008). Modélisation de l'écoulement de la nappe de Berrechid (Maroc). *La Houille Blanche*, 2, 69-75, DOI: 10.1051/lhb:2008019.
- El Khalili, A., Raclot, D., Habaeib, H. & Lamachère, J.M. (2011). Factors and processes of permanent gully evolution in a Mediterranean marly environment (Cape Bon, Tunisia). *Hydrological Sciences Journal*, 15 p. + figures.
- Laouina, A. (1998), Land degradation in Mediterranean Environments on the world. Nature and extent, causes and solutions. Wiley, pp. 91-108.
- Laouina, A., Chaker, M., Naciri, R. & Nafaa, R. (1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional. *BAGF*, Paris, pp. 384-398.
- Maleval, V. & Crouzevialle, R. (soumis). Les apports sédimentaires directs au lac Sidi Mohammed Ben Abdallah par le biais du réseau ravinaire (Maroc). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*.
- Maleval, V. & Jigorel, A. (2002). La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux, massif d'Ambazac, Limousin, France. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°4, p. 307-320.
- Menéndez-Duarte, R., Marquínez, J., Fernández-Menéndez, S. & Santos, R., (2007). Incised channels and gully erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and geomorphic setting. *Catena*, 71 (2), 267-278.

- Mohsine, Y. (2009). Application du magnétisme de l'environnement pour la caractérisation de l'état d'évolution et/ou de dégradation des sols. Application aux sous-bassins versants de Mezguida et Ait Azzouz de Bouregreg. Thèse de doctorat, Université Mohammed V Agdal, Faculté des sciences, Rabat, pp. 1-58.
- Naimi, M., Tayaa, M., Ouzizi, S., Choukra-Ilha, R. & Kerby, M. (2003). Dynamique de l'érosion par ravinement dans un bassin versant du Rif occidental au Maroc. *Sécheresse*, 14(2), pp. 95-100.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G. & Valentin, C., (2003). «Gully erosion and environmental change: importance and research needs». *Catena*, 50, 91-133.
- Remini, B. & Hallouche, W. (2004). La sédimentation dans les barrages algériens. *La Houille Blanche*, 1, 60-64.
- Snoussi, M., Haida, S. & Imassi, S. (2002). Effects of the construction of dams on the water and sediment fluxes of the Moulouya and the Sebou Rivers, Morocco. *Regional Environmental Change*, 3, 1-3, 5-12.
- Valentin, C., Poesen, J. & Li, Y., (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63, 132–153.

CARTOGRAPHIE DE LA GESTION DURABLE DES TERRES, dans la commune des Sehoul, (Maroc Atlantique) Approche WOCAT – LADA - DESIRE

Jamal AL KARKOURI¹, Abdellah LAOUINA², Mohammed SFA², Kacem NAIMI³

Résumé

Une bonne politique de gestion des ressources naturelles nécessite au préalable une évaluation globale et spatialisée de l'état des lieux. Il s'agit d'identifier les différents types d'occupation et d'utilisation des sols et leur tendance d'évolution, les divers types de dégradation des terres, leur degré et rythme d'évolution et enfin les stratégies et techniques de conservation des sols existantes et leur degré d'efficacité. Le but de cet effort est de mieux comprendre les phénomènes de dégradation et de mieux concevoir et asseoir les réponses à donner en prenant en compte la diversité des situations qui se présentent et la multiplicité des niveaux d'échelles.

L'application de l'approche d'évaluation globale WOCAT - LADA- DESIRE de portée internationale, au cas de la commune des Sehoul a permis de réaliser une bonne analyse de la situation sur la base d'une rétrospective et d'un travail de terrain moyennant une enquête globale. Le résultat concerne les aspects suivants :

L'occupation et l'utilisation des terres, à ce niveau, l'approche a relevée la persistance d'un système de production hérité qui s'articule autour de l'élevage sous sa forme extensive mais qui subit lentement des changements dus à l'intervention de l'Etat, principalement.

La dégradation des terres est attestée par un recul important du couvert végétal accompagné d'une baisse au niveau de la biomasse et de la biodiversité. Cette situation facilite le travail du ruissellement et son corollaire l'érosion hydrique qui prend de l'importance au niveau spatial et change localement d'intensité.

La conservation des sols, la zone ne montre pas une grande richesse en techniques relatives à cet aspect, mais il a été identifiée que les stratégies agricoles existantes, comportent une dimension de conservation.

L'approche appliquée est bien structurée, elle a permis d'appréhender multiples aspects de la gestion des ressources naturelles et a débouchée sur des résultats encourageants, mais sa mise en œuvre demande un travail d'équipe et une marge de temps assez large.

Mots clés : approche d'évaluation, Lutte contre la dégradation, ressources naturelles, utilisation des sols, techniques de conservation des sols.

Abstract

A proper policy of natural resources management requires prior a global and spatialised assessment of the current situation. This means identifying the various types of soil occupation and use and their evolution tendency, the diverse types of land degradation, their level and rhythm of evolution and finally the strategies and existing techniques of land preservation and their degree of efficiency. The purpose of this effort is to better understand the phenomena of land degradation and to better conceive and base the answers to be given by taking into account the diversity of the situations that arise and the multiplicity of the scales levels.

The application of the global assessment approach WOCAT-LADA-DESIRE allowed, in the case of the municipality of Sehoul, performing an effective analysis of the situation on the basis of a retrospective and of a field work by means of a global investigation. The result concerns the following aspects:

The land occupation and the land use, at this level, the approach recovered the obstinacy of an inherited system of production which articulates around the breeding under its extensive shape but which undergoes slow changes due mainly, to the State intervention.

The land degradation is revealed by an important setback of the vegetation cover followed by a reduction at the level of the biomass and of the biodiversity. This situation facilitates the work of the streaming and its corollary water erosion which becomes more important at the spatial level and changes the intensity locally.

The soils preservation, the zone does not show wealthy techniques relative to this aspect, but it was identified that the existing agricultural strategies, contain a dimension of preservation.

The applied approach is well structured, it allowed to dread multiple aspects of the management of the natural resources and resulted in encouraging results, but its implementation requires a team of work and enough time.

¹ Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Kénitra

² CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat

³ Insp

Introduction

L'évaluation et la cartographie de l'état de dégradation des terres constituent une étape indispensable avant l'engagement de toute politique de prévention, de restauration ou de protection des terres. Cela demande une approche globale structurée, basée sur des données adéquates, fiables, et des connaissances à jour. Le présent travail, expose les résultats d'une recherche/action menée par l'équipe marocaine du projet DESIRE⁴ sur la dégradation des terres dans la commune rurale des Sehoul (plateaux atlantiques marocains). Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'un projet international dont l'objectif est de formuler des alternatives prometteuses en termes de gestion et de stratégies de conservation des terres dans plusieurs sites dégradés du monde. Parmi les axes de travail définis par ce projet, la cartographie constitue une composante et un outil privilégié notamment pour la représentation et l'analyse spatiale des différents aspects de la problématique de désertification. Elle se base sur une approche globale de cartographie de la dégradation et de la gestion durable des terres conçue et défini grâce à la convergence des travaux du Projet LADA⁵, du réseau WOCAT⁶ et du projet DESIRE. Le but de cet effort est de mieux comprendre les phénomènes de dégradation et de mieux concevoir et asseoir les réponses à donner en prenant en compte la diversité des situations qui se présentent et la multiplicité des niveaux d'échelles.

L'application de l'approche WOCAT - LADA- DESIRE au cas de la commune des Sehoul est passée par quatre étapes principales:

- 1) exploitation des données existantes sur le milieu naturel et le contexte socio-économique (cartes, images satellitales, archives, statistiques),
- 2) actualisation de l'information sur le terrain par le biais d'enquêtes moyennant les questionnaires WOCAT et des mesures in-situ,
- 3) organisation et intégration de l'information dans un SIG (Système d'information géographique) ; plusieurs attributs ont été définis autour des quatre axes suivants : le système d'utilisation des terres, les types de dégradation et la conservation des eaux et des sols
- 4) spatialisation de l'information en utilisant comme unité de base, le système d'utilisation des terres (LUS).

Les résultats de ce travail se sont concrétisés par la constitution d'une base de données s'articulant autour :

- des systèmes d'utilisation du sol, leur évolution dans le temps, soit en termes de superficie ou d'intensité d'exploitation,
- les types de dégradation des terres qui les affectent et les tendances qui caractérisent leur intensité et leur extension,
- les types de technologies de conservation mises en œuvre et leur impacts sur les écosystèmes ainsi que leur évolution en terme d'efficacité,

⁴ Projet européen « DESIRE : Desert Remediation »

⁵ Projet LADA (évaluation de la dégradation des terres dans les zones sèches)

⁶ WOCAT (panorama mondiale des approches et technologies de conservation)

- enfin les types de recommandations d'intervention proposées qui peuvent prendre l'aspect d'une adaptation au problème, d'une prévention, d'une atténuation ou encore d'une réhabilitation.

1. Méthodologie

1.1. Exploitation des données existantes

Le travail s'est appuyé d'abord sur plusieurs travaux et documents antérieurs, principalement les suivants :

- études réalisés sur le Maroc atlantique: Beudet 1967, Laouina et Lazarev 2009, Lezne 1959-1966, Nafaa 1997, Watfeh 1996 .
- études réalisées sur la zone des Sehou: Ghoulimi 1999, Antari 2007,
- photos-aériennes mission 1976 et image satellitales Google-earth 2000.
- recensement générale agricole 1996
- divers recensements de la population : 1960, 1971, 1982, 1994, 2004.
- diverses cartes topographiques et thématiques régionales ou locales.

1.2. Actualisation de l'information sur le terrain

Ensuite des travaux de terrain ont été effectués, ils ont pris les diverses formes suivantes :

- reconnaissance des changements spatiaux qui se sont opérés dans la région en comparant l'état actuel des lieux (obtenu à l'aide d'observations in situ) à l'état qui prévalait dans les années 1970 et 2000 (en utilisant les photos aériennes et les images Google-earth).
- mesures in-situ pour cerner le comportement hydrodynamique superficiel des sols en fonction des différents types d'utilisation des terres. Ces mesures ont concerné diverses techniques ayant une composante conservatoire de l'eau et du sol dans diverses parcelles forestières, pastorales et agricoles. Il s'agit d'une évaluation environnementale qui a porté sur :
 - i) le recouvrement végétal du sol : densité, espèces, disposition, précocité, intercalations
 - ii) l'état de surface du sol : indicateurs physiques de tassement, de degré d'ouverture, de compacité, d'encroûtement;
 - iii) la matière organique du sol, structuration et fertilité ;
 - iiii) la dynamique de l'eau : infiltration, recharge de la nappe, ruissellement et perte en sol, qualité de l'eau et effets hors site;
- enquête détaillée, moyennant des entretiens avec des exploitants, des techniciens de l'agriculture et des eaux et forêts, ainsi qu'avec des élus de la commune de Sehou. Cette enquête a été réalisée en utilisant les questionnaires WOCAT L'objectif de ce réseau est de documenter, évaluer et intégrer des approches et des techniques réussies en matière de protection des sols et des eaux dans les systèmes d'utilisation des terres à travers le monde et contribuer ainsi à la gestion durable des terres.

Les fondements méthodologiques de l'approche WOCAT sont les suivants :

- évaluer des cas réussis de gestion durable des terres ;

- intégrer des aspects aussi bien socio-économiques que biophysiques dans le processus d'évaluation ;
- fournir un cadre standardisé permettant la comparaison et le partage des expériences au-delà du niveau local ;
- utiliser conjointement des connaissances des spécialistes et des utilisateurs des terres comme source de données.

Le réseau WOCAT a développé un package de trois questionnaires standardisés, dont le Questionnaire cartographie QM) qui nous intéresse ici et qui évalue l'état réel de la dégradation des terres et les superficies atteintes effectivement et les réalisations en termes de gestion durable des terres (GDT). Il utilise une unité de spatialisation qui est le Système d'Utilisation des Terres (SUT) pour procéder à divers calculs sur :

- l'évolution surfacique de ces systèmes et les tendances en termes d'intensité d'utilisation ;
- les types de dégradation des terres, leur degré d'évolution, leur intensité et les causes directs et indirectes qui sont à leur origine ;
- les types de techniques de conservation de sols utilisés et leur efficacité.

1.2. Spatialisation de l'information

Le système d'utilisation des terres (LUS) est considéré comme l'unité de base de l'évaluation et de cartographie. C'est aussi l'unité de base de la spatialisation de l'information. Cette unité est décrite comme une combinaison entre le type de couverture végétale et le type d'utilisation des terres. Elle est caractérisée par des attributs (biophysiques et socio-économiques) liés à l'utilisation et aux pratiques d'utilisation des terres qui sont les principales causes de la dégradation des terres.

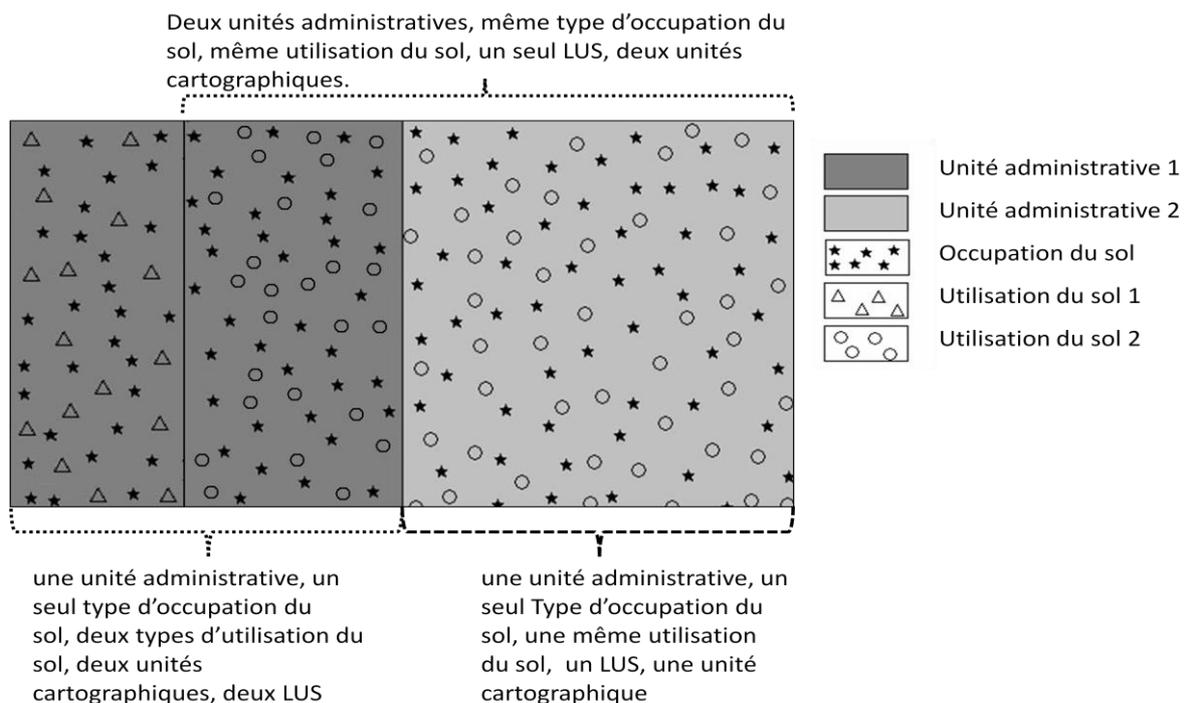


Figure 1. Différentes unités spatiales d'analyse

Les unités LUS (Hanspeter L. et al. 2008) en combinaison avec des unités administratives permettent d'évaluer les tendances et l'évolution dans le temps de la dégradation et des pratiques de conservation des terres. Chaque LUS au sein d'une unité administrative constitue une unité cartographique unique à laquelle sont rattachées des informations sur la dégradation et la conservation des terres. In fine, chaque unité cartographique dispose d'un seul LUS clairement défini, mais le même LUS peut se rencontrer dans d'autres unités administratives et constituer de ce fait des unités cartographiques supplémentaires (fig.1).

1.3. Organisation et intégration de l'information dans un SIG

Le questionnaire WOCAT sur la cartographie de la gestion durable des terres constitue la composante géographique de WOCAT. En reliant les informations obtenues dans ce questionnaire à un Système d'Information Géographique (SIG), une évaluation de ce qui se pratique est fournie, ce qui permet de produire des cartes et de faire des calculs de superficies concernant les divers aspects de la CES. Ce questionnaire sur la Cartographie (QM) est complémentaire des deux autres questionnaires sur les Technologies (QT) et les Approches (QA) de CES. La combinaison de ces trois questionnaires fournit un panorama puissant sur les activités de CES d'un pays, d'une région ou au niveau mondial.

L'information collectée est organisée sous forme d'attributs autour de quatre axes suivants :

Tableau1. Structure de la base de données (axes et attributs)

Axe	Attributs
système d'utilisation des terres	- socio-économiques (densité démographique, indicateur de pauvreté, type / groupe de culture dominante, type de bétail, irrigation à petite échelle, niveau d'intrant, taille de l'exploitation, droit foncier et organisation). - biophysiques (pente, type de sol, disponibilité de l'eau du sol, altitude, régime de température)
types de dégradation	- types de dégradation des terres, - étendue actuelle, - degré actuel de dégradation, - taux de dégradation, - causes directes, - causes indirectes de la dégradation, - impacts sur les fonctions des écosystèmes.
conservation des eaux et des sols	- nom de la technologie, - groupes de conservation - pratiques de conservation - objectif: prévention, atténuation et / ou réhabilitation - tendance d'efficacité des Technologies de CES - impact sur les fonctions des écosystèmes
recommandations des experts	- type de réponse, - remarques.

Les attributs sont intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) qui permet de les restituer sous formes de cartes et d'effectuer divers calculs sur différents aspects de la dégradation et de la conservation des terres.

2. Le milieu d'étude : la commune des Sehoul

La commune des Sehoul constitue la limite septentrionale du plateau central marocain. Elle est traversée au nord par l'oued Bouregreg et limitée au Sud par son affluent, l'oued Grou.

Administrativement elle fait partie de la Préfecture de Sala Al jadida qui elle-même fait partie de la région de Rabat- Salé- Zemmour-Zaër (fig. 2).

La commune compte 19 706 habitants et 3304 ménages (recensement 2004), répartis en 36 douars soit 6 districts (Jiahna, Oulad Aziz, Jouaneb, Azzouzyine, Ouled Aïssa, Ouled Alouane). Malgré la proximité des grands centres urbains de Rabat et Salé, le taux d’analphabétisme reste élevé (63,9% avec 50% pour les hommes et 79,3% pour les femmes, les taux d’activités masculin et féminin assez faibles (respectivement 60% et 14,6%) et la pauvreté concerne 40% de la population totale. Par ailleurs, cette proximité des grands centres urbains favorise l’émigration et donc limite l’offre de la main d’œuvre pour l’agriculture.

La superficie totale de la commune (environ 39000 ha) est répartie entre la SAU (22000 ha soit 56,4%), la subéraie (10500 ha soit 27%) et les terrains de parcours et incultes (4508 ha soit 12%). De surface plane, légèrement inclinée du Sud-est vers le Nord-ouest, cet espace est partagé entre un bioclimat de type méditerranéen subhumide près de l’atlantique et semi aride à l’hiver tempéré à l’intérieur du plateau. Les précipitations moyennes annuelles de l’ordre de 500 mm (station de Rabat) varient considérablement d’une année à l’autre.

La prédominance des sols argilo-sableux pauvres en matière organique et la présence d’une subéraie de chêne liège occupant plus du tiers de la superficie de la commune ont depuis longtemps déterminé sa vocation pastorale. L’activité de l’élevage faisait partie intégrante d’un système sylvo-agro-pastoral basé sur la complémentarité des terroirs. Elle s’adaptait avec une céréaliculture extensive basée principalement sur l’orge et le blé. Les éleveurs semi-nomades effectuaient des déplacements de transhumance saisonnière à l’échelle locale et régionale.

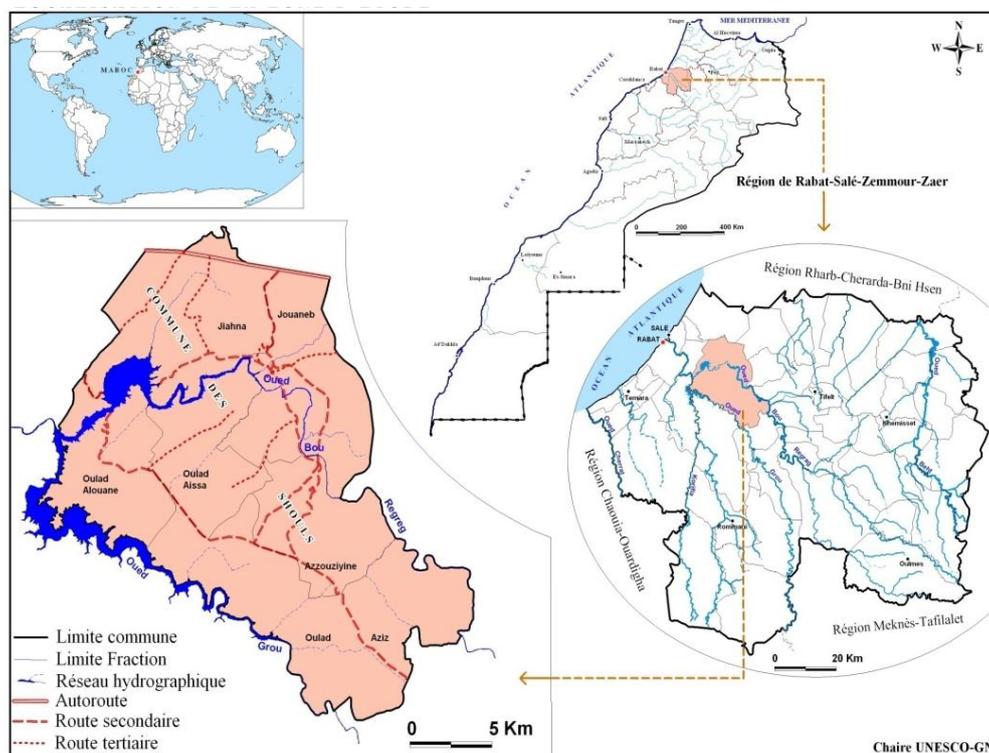


Figure 2. Localisation de la commune des Sehoul

Avec la sédentarisation des semi-nomades et la privatisation des terres et leur mise en valeur par des interventions diverses, les modes d'élevage et de gestion des terres ont changé vers des systèmes complexes, généralement peu soucieux du devenir des ressources locales. Ce changement dans le mode de gestion a induit une dégradation des terres attestée par le recul du couvert végétal naturel et le développement des signes d'érosion hydrique.

3. Résultats

3.1. Systèmes d'utilisation des terres (LUS)

Pour définir les systèmes d'utilisation des terres, l'équipe a procédé à une identification spatialisée des quatre principaux types de couvertures du sol qui marquent le paysage de la commune qui sont: terres cultivées, forêt, terres incultes et eaux. Les terres cultivées occupent 60% de la superficie totale de la zone étudiée, les terrains forestiers, avec 26% de superficie, arrivent en deuxième position et les terres incultes et parcours occupent 12%. Le reste est investi par les eaux superficielles soit sous formes d'oueds, de lacs de la retenue ou de dayas. La prise en compte conjointe de l'utilisation du sol et du type de couverture a permis de dégager plusieurs systèmes d'utilisation des terres. Au total 10 LUS ont été identifiés (fig. 3) et se répartissent en 48 unités cartographiques en fonction de leur combinaison avec les unités administratives. Autour de ces unités s'organise la base de données qui comporte quatre niveaux d'informations dont le premier est dédié à la description des LUS (leurs évolution en terme de superficie et d'intensité d'utilisation, les types d'utilisation du sol qui les composent et les différentes caractéristiques biophysiques et socio-économiques qui les caractérisent).

Ces systèmes ont été forgés au fil du temps. Le chêne-liège de la forêt Mamora-Sehoul constitue un écosystème hérité de l'optimum Holocène. Il couvre actuellement une superficie de 8,1 ha, qui correspond à près de 21 % du territoire de la commune. De nombreux facteurs ont contribué à sa dégradation et à sa destruction. Les effets négatifs des phénomènes physiques, notamment la tendance au réchauffement des températures, ont été renforcés par l'action de l'homme et de ses animaux (mise en culture, pression sur le bois de feu, surpâturage, écimages, ébranchages...). Les formations végétales y sont diversifiées mais dominées par le chêne-liège (57 % de la surface totale de la forêt). 46 % des couverts de chêne-liège sont denses, 21 % ont une densité moyenne et 30 % sont dans un état clair ou dispersé; seulement 3 % est mélangée avec des essences secondaires. Même si les Eaux et Forêt assurent la gestion de la forêt, celle-ci est soumise à plusieurs formes d'utilisation, en plus de l'exploitation du liège qui est organisée par l'Administration et exécutée par les entreprises; la forêt constitue un espace de pâturage et une ressource importante de bois de feu pour les habitants riverains.

L'économie des Sehoul est intégrée dans un système agro-sylvo-pastoral qui s'appuie sur trois composantes: les terres de culture, les parcours et la forêt. Les terres de culture sont presque exclusivement réservées à la céréaliculture dont la production est avant tout consacrée à l'entretien du bétail. Comparé aux autres régions agricoles, le niveau technique des travaux agricoles n'est pas élevé et la production en céréales reste très dépendante des variations climatiques.

La trame paysagère de la commune des Shoul réserve encore une place au parcours même si leur superficie a largement régressé et leur état actuel est dégradé (détérioration physique et biologique). En fait les parcours subissent les mêmes aléas que la céréaliculture, notamment en cas d'année sèche où leur production fourragère diminue sensiblement.

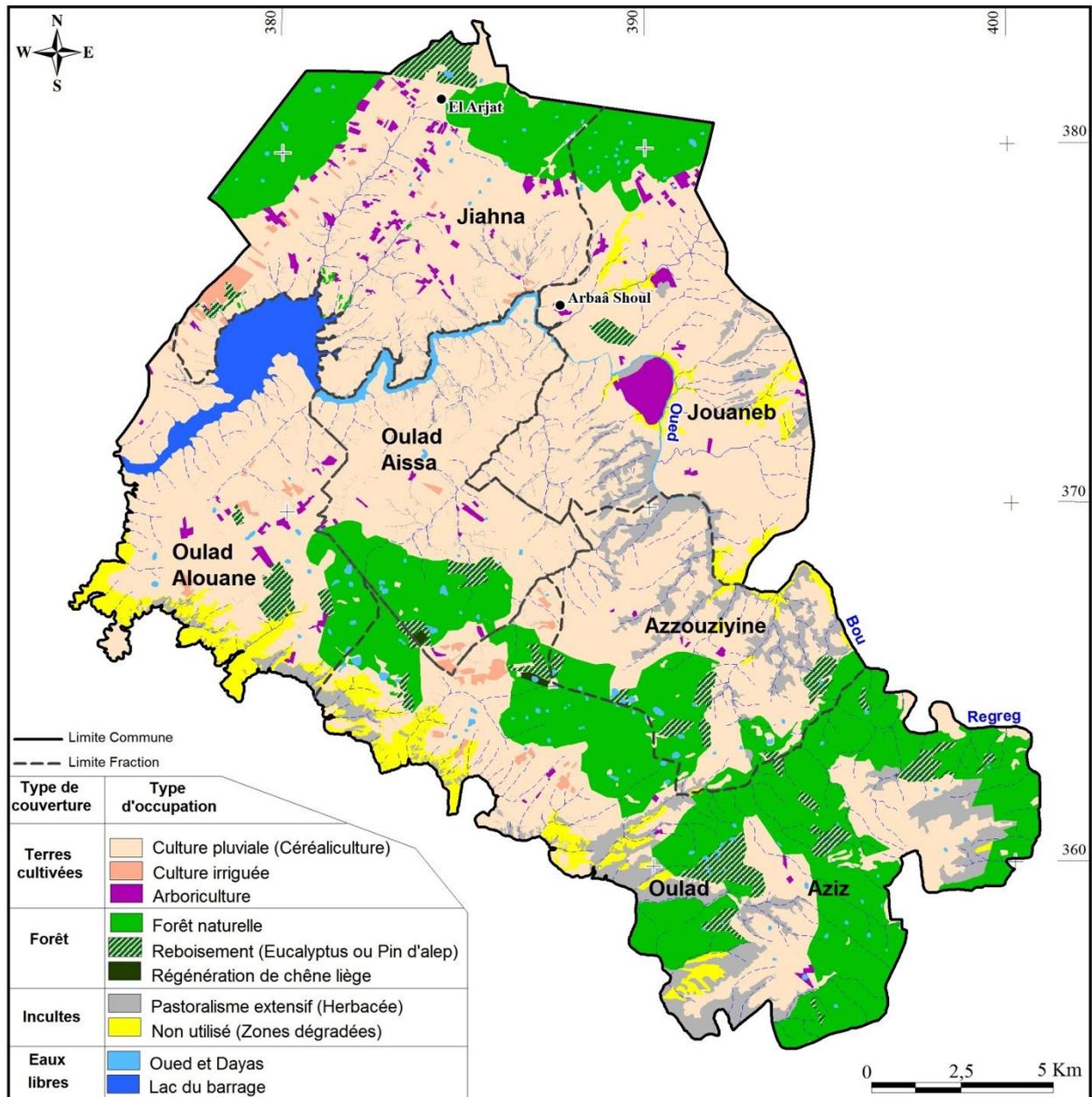


Figure 3. Systèmes d'utilisation des terres

3.2. Tendances d'évolution des LUS en termes de superficie

Les changements de superficie d'utilisation des terres peuvent être un facteur important dans l'évaluation de la dégradation des sols et des activités de conservation. Cependant, la dynamique en termes de superficie des LUS est très difficile à cerner dans ses détails. L'approche globale de

cartographie de la dégradation et de la gestion durable des terres proposée ne permet pas de connaître la nature du changement ni sa cause ni de suivre le devenir de chaque catégorie des superficies qui ont changé. Elle évalue les changements survenus (fig. 4) selon cinq classes (entre la classe -2 de diminution supérieure à 10% et la classe 2 d'augmentation supérieure à 10%).

La cartographie multidate des LUS (fig. 5) menée dans la commune des Sehoul sur la base d'une interprétation des photos aériennes (mission 1976) et de l'image satellitale de Google-Earth datée de 2007 fait ressortir un bilan positif pour la plupart des types d'utilisation (fig. 4) ; en ce qui concerne les cultures irriguées la superficie a été multipliée par 2.5, l'arboriculture a progressé de 13% par rapport à la situation de 1976, la culture pluviale (24 %), terrains incultes (31.7%) et les reboisements (65.3%), les parcelles de régénération forestière (30%). Par contre, la forêt naturelle de chêne liège et les les parcours ont enregistré des bilans négatifs respectivement de -11.5 et -67% par rapport à la situation de 1976.

L'évolution négative de l'espace forestier est à mettre en relation avec les lourdes pressions humaines et les pesanteurs physiques (notamment la variabilité climatique). Les reboisements ont manifestement progressé, mais le rythme de cette progression reste en deçà des besoins. Les efforts de régénération du chêne liège ne semblent pas avoir d'impact encore et la part de l'échec est importante, vraisemblablement en relation avec le non respect de la mise en défens par les riverains. En relation avec la pression démographique, la superficie des terres de culture pluviale a été poussée au maximum, et des tentatives d'irrigation commencent à prendre place dans le paysage agraire de la commune. L'arboriculture commence aussi à gagner du terrain mais des échecs ont été relevés. Les parcours perdent du terrain au profit des terres de culture pluviale et en revanche gagnent sur les espaces en pente et marginaux.

Par ailleurs, les évolutions enregistrées tant négatives que positives sont supérieures à 10%, ce qui signifie un rythme de changement élevé si l'on se réfère aux normes de la méthode WOCAT-LADA-DESIRE. Seule l'arboriculture enregistre une évolution positive inférieure à 10 ce qui indique un rythme d'évolution modéré.

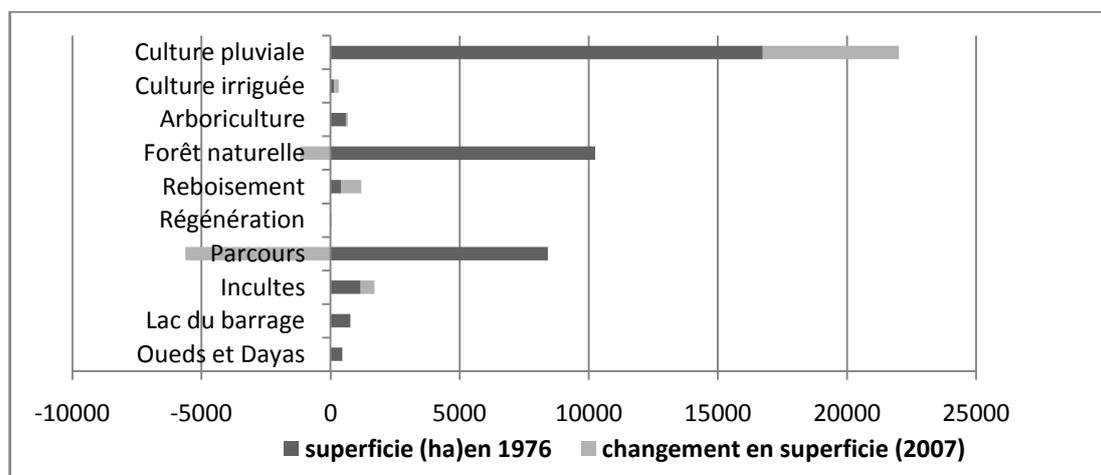


Figure 4. Tendence d'évolution des LUS en termes de superficie

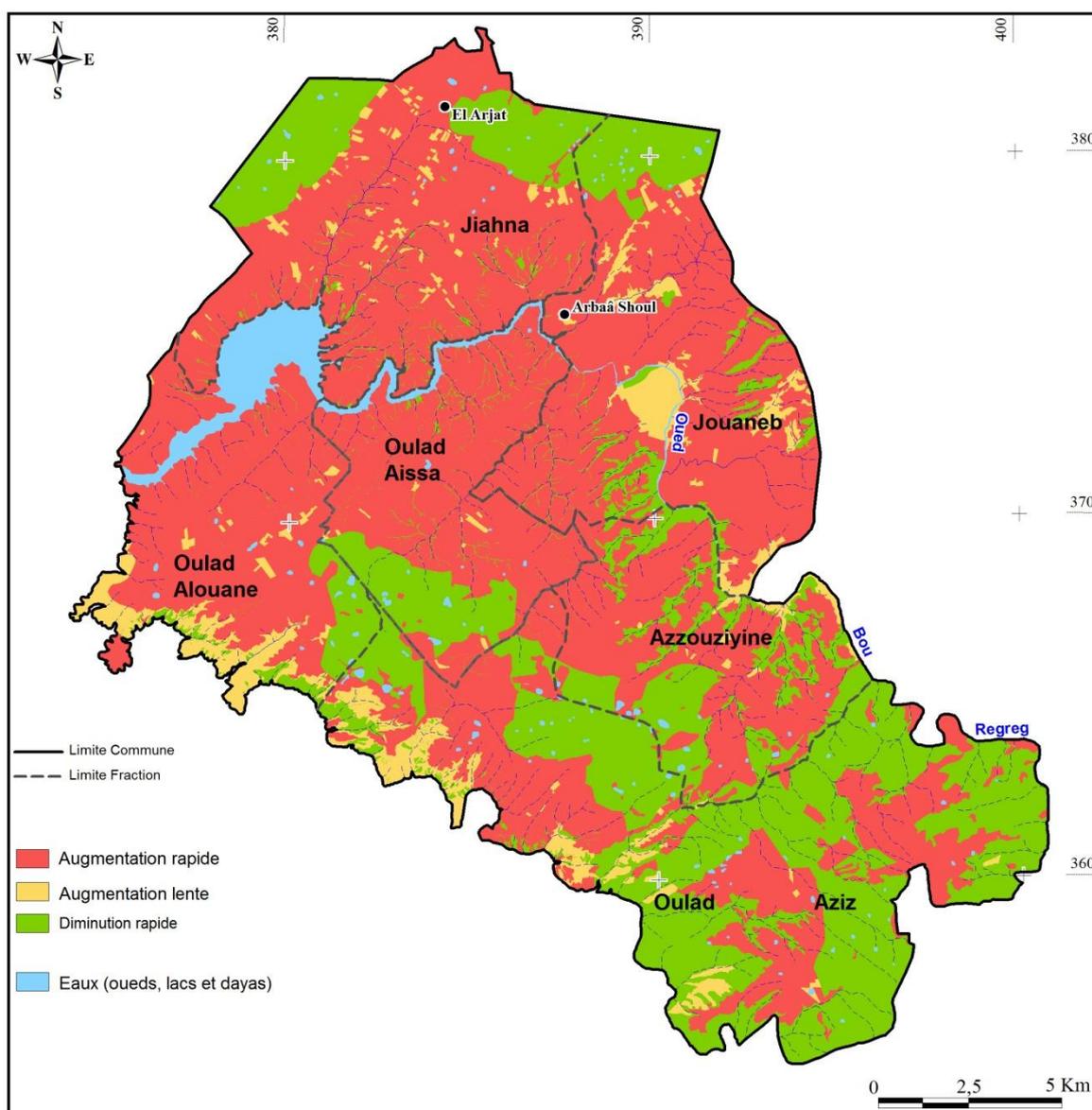


Figure 5. Spatialisation des tendances d'évolution des LUS en termes de superficie

3.3. Dégradation des terres

Le défrichement de la forêt dans les plateaux du Maroc atlantique, notamment dans les Sehou, a été suivi par une mise en valeur des terres centrée sur la culture des céréales. Celle-ci n'a pas été en mesure d'offrir aux sols la même protection que leur procurait la forêt, notamment par la fourniture de la matière organique nécessaire à leur stabilité structurale.

La monoculture céréalière qui a prévalu pendant des années a été ainsi à l'origine de la dégradation des sols qui sont devenus pauvres en nutriments et de ce fait n'assurent qu'un rendement faible et sont devenus au fil du temps de plus en plus vulnérables vis-à-vis des processus d'érosion.

La pression animale qui a augmenté récemment, notamment, en raison de l'association entre les habitants locaux et les investisseurs de la ville de Rabat a exacerbé cette situation de dégradation. Le surpâturage sur des sols initialement dégradés mène à la diminution de leur perméabilité et donc à l'augmentation du risque de ruissellement. A long terme, ces terres deviennent improductives et sont abandonnées. Ceci entraîne une exacerbation de la dynamique du ruissellement et sa résultante le ravinement, qui prend de plus en plus d'ampleur.

L'érosion par ravinement est généralement considérée comme un indicateur de désertification. Elle est à l'origine d'une diminution des fonctions du sol et même de sa disparition. Le ravinement est une source majeure de sédiments. A titre de comparaison dans le microbassin versant de Matlaq, commune des Sehoul (Antari, 2007) les rigoles peuvent canaliser 136t/ha en 1mois alors que l'érosion en nappe enlève un peu moins de 2 t/ha/an sur des parcelles expérimentales.

3.3.1. Types de dégradation des terres

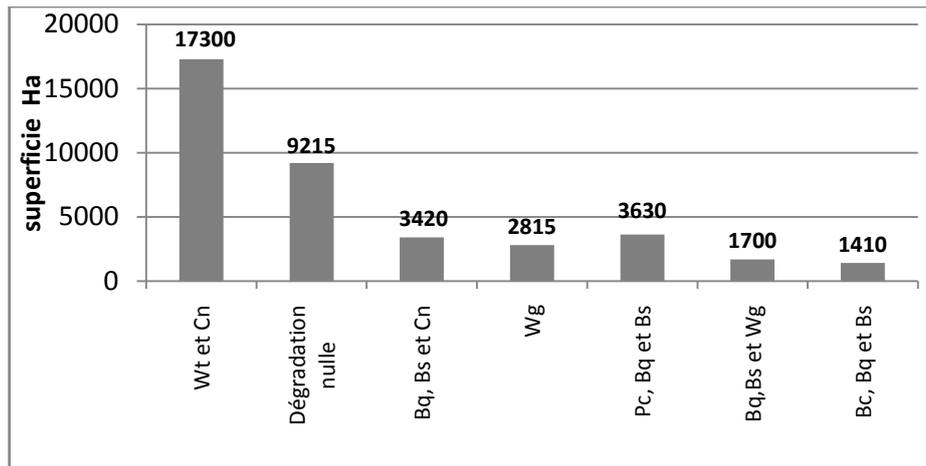
L'approche WOCAT-LADA-DESIRE cherche à identifier l'étendue et le degré de la dégradation actuelle des terres, en se focalisant sur les principales formes, en termes d'étendue et / ou d'impact. Si plusieurs situations se présentent, l'accent est mis sur les types majeurs plutôt que sur des sous-types. Du point de vue cartographique, dans le cas où différents types de dégradation affectent une même zone au sein d'un LUS, trois types au maximum peuvent être représentés. Les autres attributs tels que l'étendue, le degré, etc. devront être indiqués pour l'ensemble des trois types de dégradation et non pour chacun d'eux.

Dans la région des Sehoul sept types majeurs de dégradation, concernant surtout le sol et le couvert végétal ont été identifiés (fig. 6 et 7) à partir de l'analyse d'image satellitale et des investigations menées sur le terrain.

La répartition de ces types de dégradation en termes de superficie se présente de la façon suivante: 24% de la superficie totale sont épargnés par les différents phénomènes de dégradation. L'érosion superficielle, qui l'emporte sur tous les autres types, concerne 44% des terrains de la zone étudiée, les terrains affectés par l'effet combiné de l'érosion superficielle et la dégradation chimique représentent 9%, également 9% des terrains sont en proie à une triple dégradation, recul du couvert végétal, baisse de biomasse et diminution de la biodiversité, le reste de la superficie totale sont atteints par diverses combinaisons de types de dégradation. Ceci montre que la dynamique de dégradation est complexe et peut prendre plusieurs aspects en même temps et dans une même portion d'espace.

L'analyse des types des dégradations en fonction des LUS fait ressortir les faits suivants (fig. 8) :

- Les terres de culture pluviale sont affectées principalement par l'érosion hydrique superficielle (Wt). Son ampleur et son intensité diffère selon que les terres sont travaillées ou laissées en jachère ou en friche. Dans les terres labourées, le ruissellement est globalement moins important, que dans les friches. Les pertes en terres, mesurées par simulation des pluies (Antari, 2007), varient de 184g/m² sur sol fraîchement labouré à 1,42 g/m² sur sol en friche. Ces terres sont également, en proie à une surexploitation par la monoculture céréalière extensive et de ce fait affectées par une importante dégradation chimique (Cn). Une superficie de 4717 hectares est épargnée par la dégradation.



Wt : érosion superficielle et griffes ; Wg : ravinement ; Pc : tassement du sol Cn : dégradation chimique ; Bc : recul du couvert végétal ; Bq : baisse de biomasse Bs : baisse de biodiversité
 Figure 6. Dégradation des terres en termes de superficie

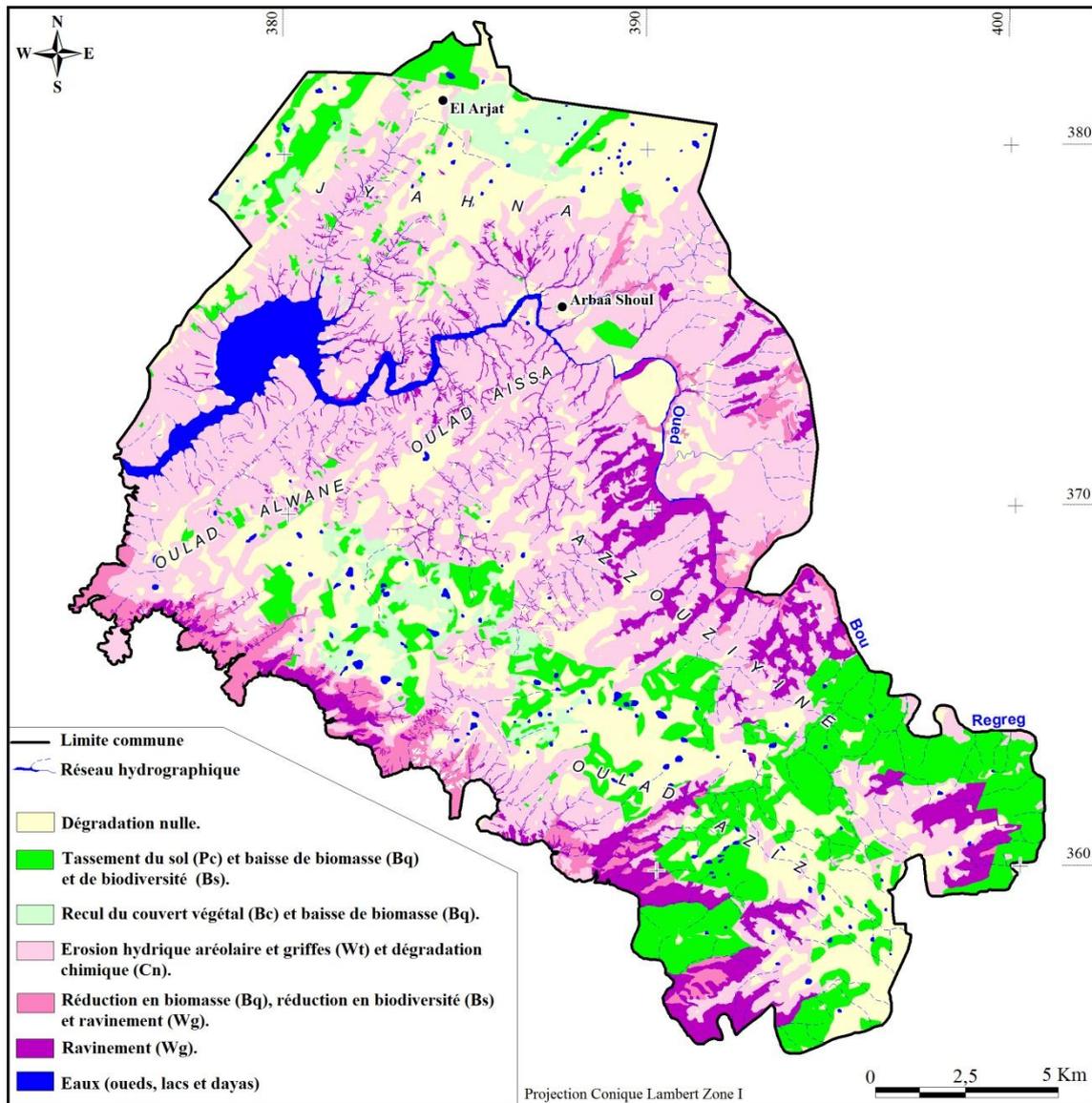


Figure 7. Types de dégradation des terres

- la forêt naturelle de chêne liège est impactée par une combinaison de types de dégradation qui se manifeste essentiellement sous formes de i) recul du couvert végétal (le chêne liège espèce, originellement prédominante a régressé et a laissé champs libre à la prolifération d'espèces secondaires, arbustives, essentiellement le ciste-et herbacées annuelles et envahissantes) cette forme de dégradation est donc accompagnée d'une baisse de biomasse (Bq) et d'un recul de la biodiversité (Bs), ii) tassement du sol (Pc), en relation avec la forte fréquentation du bétail, accompagnée d'une baisse de biomasse (Bq) et de biodiversité (Bs) liée aux transformations au niveau du faciès écologique de la forêt. Une superficie de 4717 hectares semble bien stable.

- les parcours, généralement surpâturés, à cause de l'augmentation de l'effectif du bétail mais surtout à cause du rétrécissement de leurs superficies au profit de la céréaliculture, sont affectés par une réduction en biomasse (Bq) et en biodiversité (Bs) et par le ravinement (Ws). Ce dernier est en relation avec le piétinement répété du sol par le troupeau qui provoque son tassement et sa compaction et favorise ainsi le ruissellement et augmente le risque de l'incision.

- les reboisements, souvent, sous forme d'*eucalyptus*, ne permettent pas le développement d'une diversité biologique (Bs) et favorise le ruissellement aréolaire (Wt)

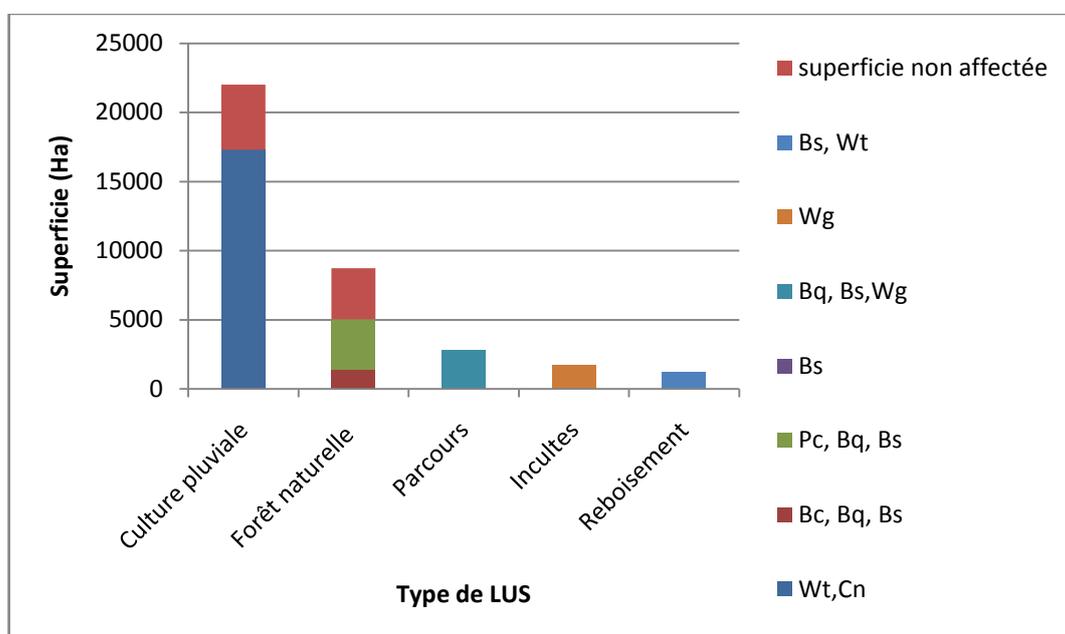


Figure 8. Types de dégradations en fonctions des LUS

-enfin les terres incultes, abandonnées sont investies par le ravinement (Wg).

Cette distribution des types de dégradation en fonction des LUS ne doit pas occulter le rôle des facteurs physiques dans la dynamique de dégradation que connaît la zone des Sehou, notamment l'érodabilité des sols.

3.3.2. Degré de dégradation

Le degré de dégradation d'une terre est défini dans l'approche LADA-WOCAT-DESIRE comme l'intensité du processus de dégradation de cette terre. Parmi les indicateurs utilisés pour mesurer le degré de dégradation, l'on peut citer : le taux de perte du sol, le taux de perte de nutriments et de matières

organiques, la diminution relative de la capacité de maintien de l'humidité du sol, le changement de la couverture végétale, la baisse de la nappe phréatique etc. Pour estimer le degré de dégradation, quatre catégories qualitatives ont été définies :

1 : faible : Quelques indications de dégradation sont visibles, mais le processus est encore dans sa phase initiale. Il serait encore facile de stopper les dommages et de les réparer avec un minimum d'effort.

2 : Modéré : La dégradation est apparente mais le contrôle et la totale réhabilitation du sol sont encore possibles avec des efforts considérables.

3 : Fort : Des signes évidents de dégradations sont visibles. Les changements de propriétés des terres sont importants et leur restauration est très difficile dans des limites de temps raisonnables.

4 : Extrême : les dégradations vont au-delà d'une restauration possible.

Dans le cas où un type de dégradation présente différents degrés de dégradation au sein d'un même système d'utilisation des terres dans une unité cartographique, le type en question peut être fractionné (par exemple, Wt-1: étendue 10%, degré 4, Wt-2: étendue 40%, degré 1).

De manière générale, la dégradation des terres présente de faibles degrés sur près de 24% des terres des Sehoul ; 66% des terres sont affectées à un degré moyen, 11% présentent des manifestations d'une dégradation de fort degré et près de 5% sont affectées par une dégradation extrême (figure 9).

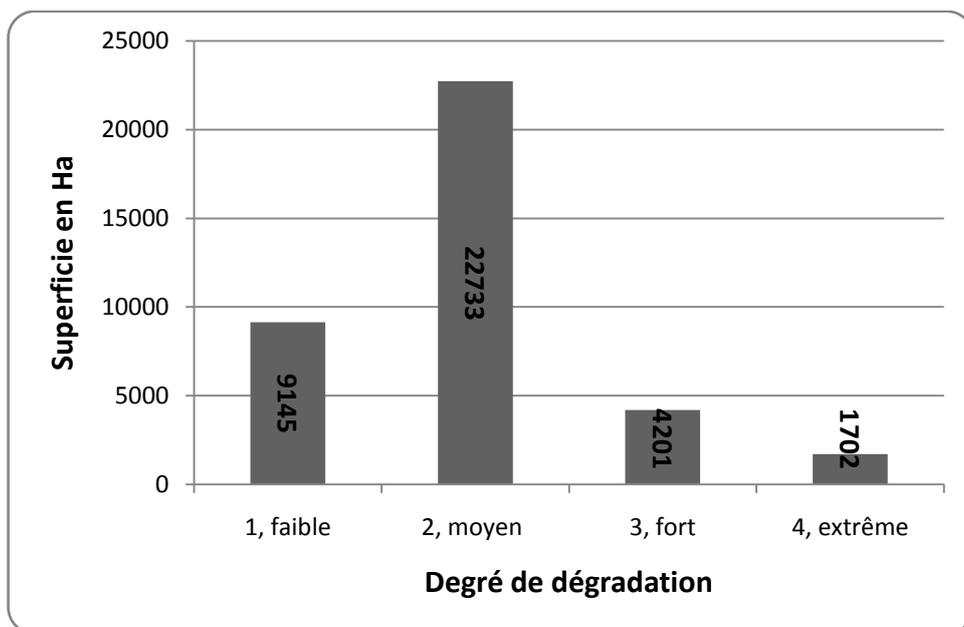


Figure 9. Répartition des superficies en fonction du degré de dégradation des terres

Spatialement (fig. 10), du point de vue degré de dégradation, quatre zones se distinguent dans les Sehoul : les versants de l'oued Grou au sud, qui présentent un extrême degré de dégradation, cette situation est en relation avec des conditions physiques favorables (fortes pentes, assises géologiques friables (schistes), sols pauvres) et une pression anthropique forte (surpâturage à cause du rétrécissement des parcours). La deuxième zone marquée par un degré fort de dégradation coïncide avec les terres qui servent encore de parcours, elles occupent une position marginale par rapport aux terres de cultures ou aux massifs forestiers dont elle dérive. La troisième zone affectée par une dégradation moyenne est scindée en deux parties, l'une, située au nord est occupée par le chêne liège qui annonce la forêt de Mamora qui s'étend

encore plus au nord. Ce secteur est très fréquenté par les populations du fait de sa proximité de la ville de salé, il est aussi affecté à un degré moindre par le surpâturage. L'autre s'étend au sud, elle comprend un secteur forestier et un autre exploité en céréaliculture. Celui-ci se caractérise par des sols argilo-sableux, pauvres en matière organique (Rmel, Hamri), donc très fragiles et peu favorable à l'activité qui s'y développe. Le secteur forestier quant à lui souffre d'une surexploitation et une diminution notable de la biomasse et de la biodiversité. La quatrième zone s'individualise par un degré faible de dégradation qui est en relation avec des sols relativement plus favorables (Fersialisols) à l'exploitation agricole et avec une topographie plane dans l'ensemble.

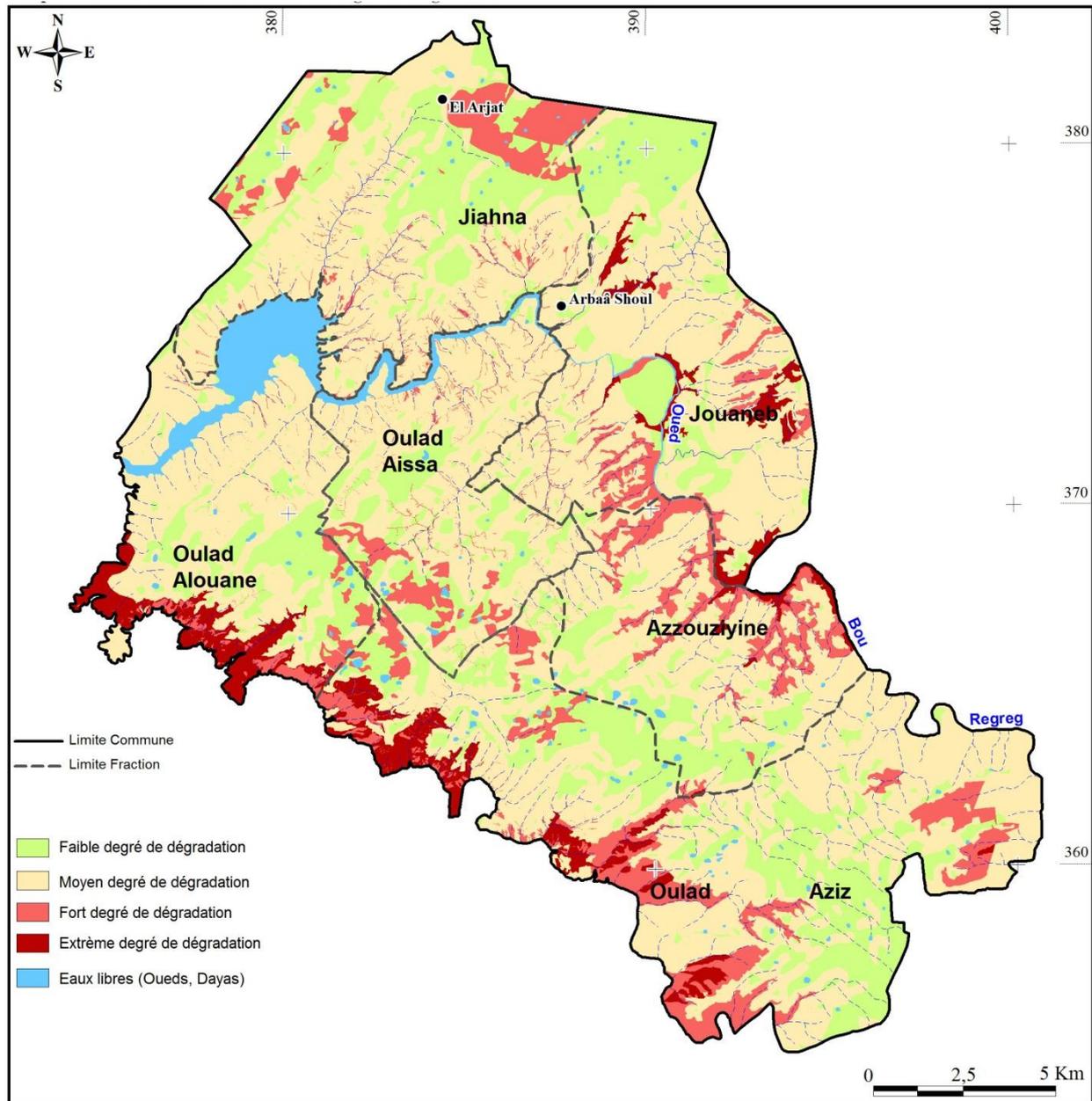


Figure 10. Répartition des terres en fonction du degré de dégradation

Dans le détail (fig. 11), les plus grandes superficies affectées par la dégradation concernent les terres de culture pluviale et la forêt naturelle (chêne liège). Cependant le type de dégradation diffère puisqu'il s'agit de l'effet combiné de l'érosion superficielle et de dégradation chimique des sols dans le premier cas

et l'impact combiné du recul de la couverture végétale, de la baisse de biomasse et de la diminution de la biodiversité dans le deuxième cas. Les parcours sont affectés par une forte dégradation sous forme de baisse de biomasse et de tassement des sols à cause du piétinement du troupeau une partie de ces terres montre des formes d'incisions. Les terres incultes sont la proie d'une intense érosion par ravinement. Les reboisements, quant à eux, sont affectés sur près de 70% de leurs superficies par degré de dégradation moyen sous forme de baisse de biodiversité. Les autres LUS (arboriculture, culture irriguée, parcelles de régénération de chêne liège) sont les moins affectées par la dégradation.

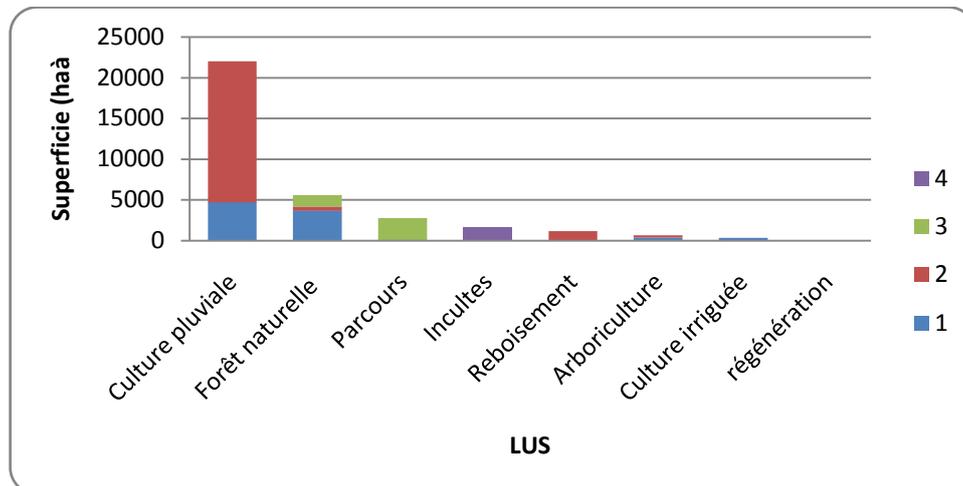


Figure 11. Degré de dégradation des terres en fonction des LUS

3.3.3. Cadence de la dégradation

Alors que le degré de la dégradation indique un état statique, la cadence de dégradation renseigne sur la vitesse de l'évolution de dégradation. Une zone fortement dégradée peut être parfaitement stable à l'heure actuelle, alors que d'autres zones, actuellement peu dégradées peuvent présenter une vitesse élevée de dégradation. L'identification de l'évolution de la dégradation peut révéler des situations d'amélioration (à travers des mesures de conservation de l'eau et des sols, par exemple). Le taux de dégradation est estimé sur une période de dix ans pour éviter le poids des évolutions irrégulières. Six classes de tendance sont définies, elles se répartissent entre 3 et -3 comme classes extrêmes, respectivement, d'augmentation ou de diminution de la dégradation. 0 représente l'état statique (fig. 12).

En fait, il est très difficile de cerner la cadence de dégradation comme conçu par l'approche LADA-WOCAT-DESIRE puisque dans une même unité cartographique on peut détecter deux dynamiques différentes, par exemple le reboisement en *Eucalyptus* qui augmente la protection du sol, favorise en même temps le ruissellement et a des effets négatifs sur la biodiversité et sur les réserves hydriques. L'irrigation favorise l'évolution du sol mais a un effet négatif sur la nappe phréatique. Il en ressort que les estimations de la cadence de dégradation des terres ne reflètent pas la réalité complexe du terrain, cependant, ils permettent d'avoir une idée globale des tendances d'évolution de la dégradation dans un secteur donné.

Dans les Sehouls la tendance à la dégradation l'emporte sur les évolutions positives. Près de 60% de la superficie de la zone étudiée est affectée par une dégradation qui augmente à rythme lent, 27% du total reste inchangée, 11% des terres connaît une dégradation à un rythme moyen à rapide et enfin 5% du total seulement enregistre une amélioration c'est-à-dire une diminution de la dégradation mais à un rythme lent et dans les meilleurs cas à un rythme modéré.

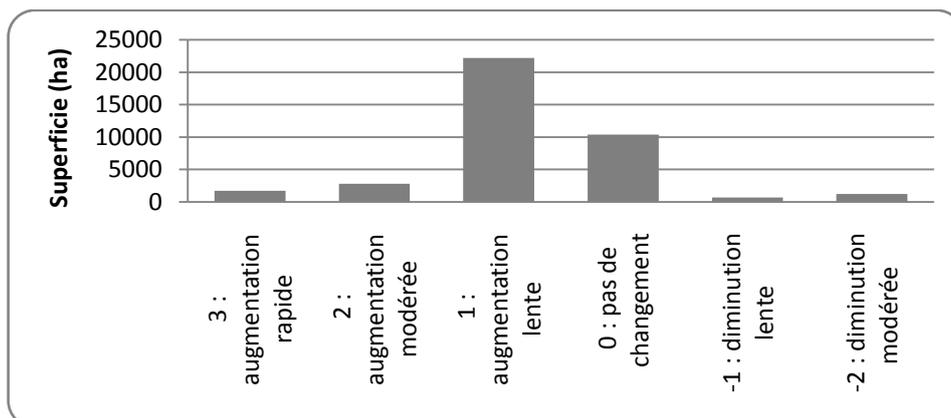


Figure 12. Cadence de la dégradation

Les rythmes de dégradation des terres diffèrent en fonction des conditions physiques et de l'utilisation du sol (fig.13). Dans les LUS de culture pluviale qui se trouvent en général sur la surface plane du plateau la tendance à la dégradation est insignifiante (pas de changement) ou bien lente, la même chose se remarque dans le secteur forestier. Dans les parcours et les incultes qui occupent une position marginale et se trouvent sur de fortes pentes aux sols squelettiques ou très faiblement évolués, le rythme de la dégradation est soit modéré soit rapide alors que les secteurs de reboisement, les parcelles de régénération de chêne liège, les parcelles irriguées et les champs plantés d'arbres fruitiers connaissent un redressement de situation à des rythmes différents, diminution modérée de la dégradation pour les deux premiers et lente pour les deux derniers.

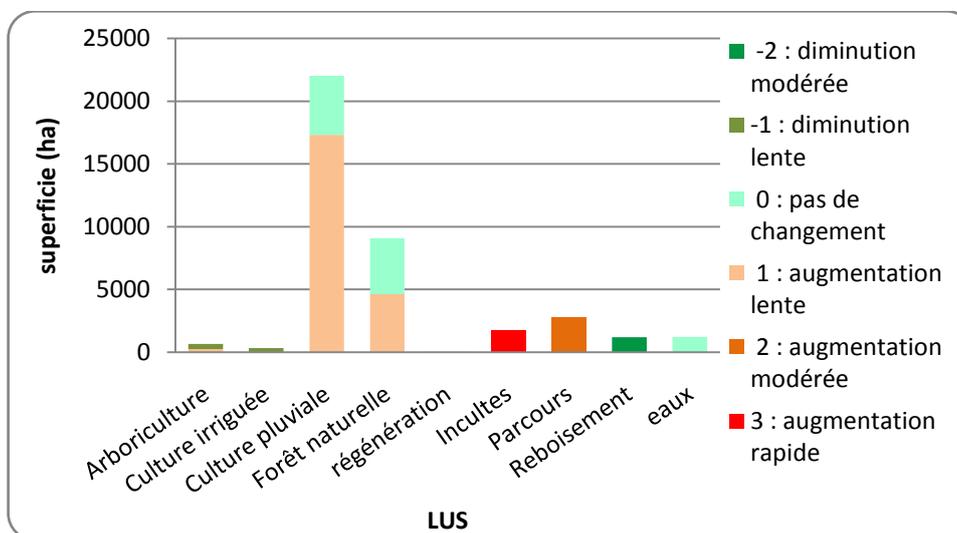


Figure 13. Cadence de la dégradation en fonction des LUS

3.4. Conservation des eaux et des sols

Les techniques de conservation des eaux et des sols comme réponse au problème de dégradation des terres, ne semble pas marquer le paysage de la commune des Sehoul, à l'instar d'une grande partie des plateaux du Maroc atlantique.

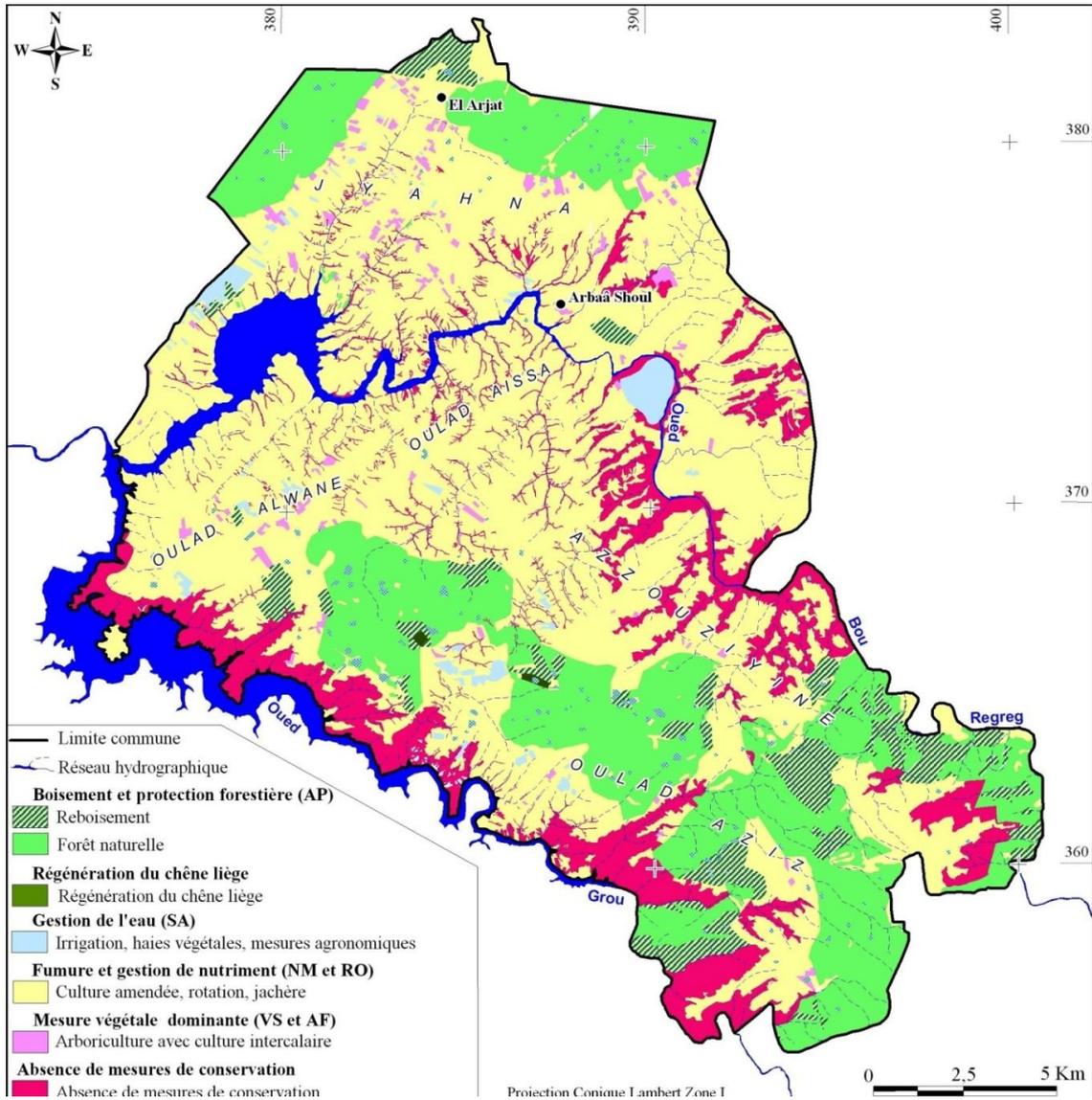


Figure 14. types de techniques de conservation des eaux et des sols

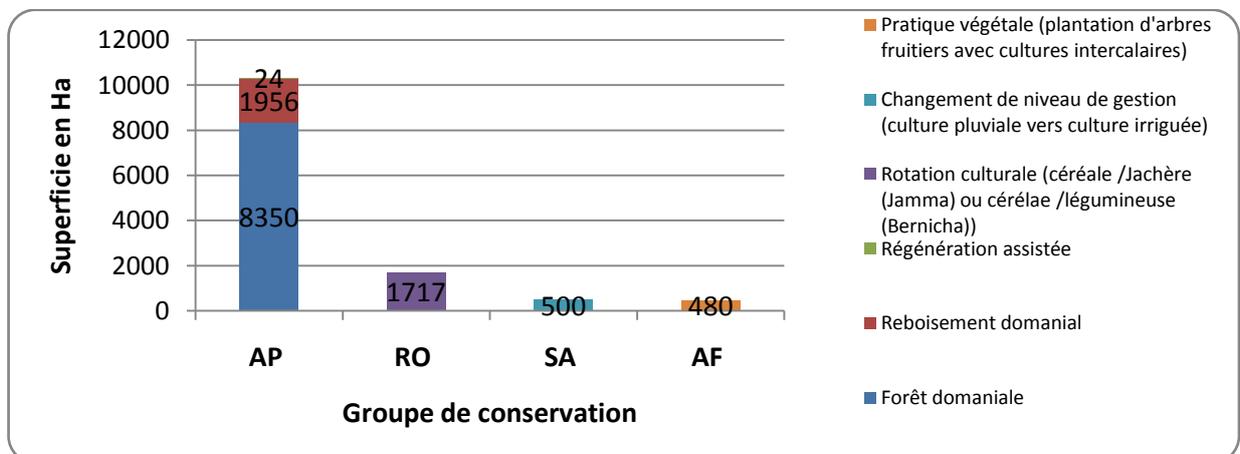


Figure 15. Répartition des superficies en fonction des types de techniques de conservation des eaux et des sols

Pourtant le souci de sauvegarde de l'environnement est présent dans les pratiques agropastorales des populations qui ont pendant longtemps utilisés des terroirs complémentaires en alternance.

Actuellement, on relève sur le terrain plusieurs techniques de conservation des eaux et des sols , les unes ont été initiés par l'Etat, c'est le cas, par exemple, des travaux de reboisement en eucalyptus et de régénération assistée du chêne liège menés par les Eaux et Forêts dans les subéraies de la région, ou des actions menés dans le cadre du projet de mise en valeur bour (PMVB) de la commune des Shoul. Les autres initiatives sont individuelles et concernent l'introduction des légumineuses dans la rotation culturale, la pratique de l'arboriculture et de l'irrigation. Cependant toutes ces initiatives restent limitées dans l'espace et demandent à être améliorées et étendues à d'autres secteurs.

La collecte de l'information sur ces différentes techniques rencontrées dans les Shouls, a été faite à l'aide du questionnaire Wocat sous ces trois formes (technologie, approches et cartographie). Plusieurs attributs ont été défini : nom de la technologie, son groupe de conservation, types de pratiques de conservation qui la définissent (agronomique, végétale, structure physique, mode de gestion), objectif de sa mise en œuvre (prévention, atténuation et/ou réhabilitation des terres dégradées), son extension, la dégradation ciblée par la technologie, son efficacité, son impact sur les fonctions des écosystèmes, date de sa mise en œuvre. La reconnaissance sur le terrain des différentes pratiques et techniques de conservation des sols et des eaux a été suivie par un travail de cartographie (fig. 14) à l'aide des photos satellitales fournies par Google Earth.

La méthode LADA-WOCAT-DESIRE rassemble les différentes technologies de conservation des eaux et des sols sous formes de groupes. Dans les Shoul les quatre groupes identifiés sont consignés dans le tableau 2. Si la dimension de conservation comme objectif pour les techniques introduites par l'état est souvent déclarée, elle ne l'est pas autant pour les initiatives individuelles.

Tableau 2. Répartition des superficies (Ha) en fonction des types de techniques de conservation des eaux et des sols

	Arboriculture	Culture irriguée	Culture pluviale (Céréiculture)	Forêt naturelle de chêne liège	Forêt naturelle de chêne régénération	Reboisement (Eucalyptus ou Pin d'Alep)	Total Ha
AP				8350	24	1956	10330
RO			4717				4717
SA		500					500
AF	480						480
Total	480	500	4717	8350	24	1956	16027

Les interventions de l'Etat ont été menées soit par les services des Eaux et Forêts notamment dans le cadre de la sauvegarde et de la restauration des forêts, soit par les services de l'agriculture, dans le cadre de projets spécifiques notamment le projet de mise en valeur bour des Sehoul (PMVB) lancé, entre 2002 et 2005.

La principale préoccupation des responsables des eaux et forêts a été de remplacer les superficies dégradées de la forêt par des essais de régénération assistée du chêne liège ou par le reboisement de quelques sites par l'eucalyptus ou le pin.

Au sein du projet PMVB, la composante conservation des ressources naturelles consistait à promouvoir de nouvelles stratégies culturales, notamment la plantation des oliviers et la vigne et la mise en place de structures de protection contre le développement des ravins.

Les initiatives individuelles ont succédé à un régime ancestral de gestion des ressources naturelles dit localement « Khalt » et qui consistait à exploiter en alternance différents terroirs (jachère, chaumes, parcours collectifs et forestiers). Ces initiatives ne sont pas essentiellement basées sur les principes de conservation des eaux et des sols mais comporte un certain souci de sauvegarde. Il s'agit des stratégies suivantes :

- rotation culturale avec adoption d'une sole de légumineuses alimentaires ou fourragères,
- clôtures biologiques en cactus sur les parcelles en pente,
- changement de la culture pluviale vers la culture irriguée
- adoption de l'arboriculture fruitière,
- intensification limitée de l'élevage.

Cependant ces initiatives restent encore localisées et n'occupent qu'une partie limitée des terres agricoles qui continuent à être cultivées en céréales (85% de la superficie de la commune des Sehoul) principalement.

Conclusion

L'approche cartographique LADA-WOCAT-DESIRE mise à profit dans cette étude consolide les acquis dans le domaine des études de la dégradation et de la gestion durable des terres pour les raisons suivantes :

- C'est une méthodologie qui évalue à la fois la dégradation et la gestion durable des terres. Elle se base sur un modèle normalisé D-P-S-I-R (forces motrices (Drivers) – Pressions – état (State) – Impacts – Réactions) et de portée internationale. Les approches les plus utilisées jusqu'à présent évaluent séparément, l'un ou l'autre des deux aspects de la dégradation des sols.
- L'approche utilise un package de trois questionnaires détaillés développé par le réseau WOCAT, un Questionnaire cartographie (mapping) (QM), un questionnaire technologie (QT) et un questionnaire approche (QA). Certes le processus de collecte de l'information semble être long mais il peut être adapté aux différentes situations qui peuvent se présenter à l'étude.
- Comme nouvel outil d'analyse, elle utilise le système d'utilisation des terres (LUS) comme unité de base de l'évaluation et de la spatialisation de l'information. Cette unité bien définie, puisque c'est une combinaison de l'occupation du sol et de son utilisation, permet d'évaluer spatialement différents aspects de la dynamique de dégradation et de la gestion durable des terres. Mais elle présente des limitations notamment lorsqu'il s'agit de cerner la cadence de dégradation, puisque dans une même unité cartographique on peut détecter des dynamiques différentes voir contradictoires, difficiles à représenter dans une même unité cartographique.

- L'approche se base sur une rétrospective d'utilisation du sol étalée sur 10 ans, ce qui permet de suivre les mutations spatiales dans la zone étudiée sauf que les résultats sont exprimés sous forme de moyennes ce qui peut occulter les phénomènes extrêmes.

- L'approche est facilement couplée aux nouvelles technologies (SIG) puisque l'information collectée est initialement organisée sous forme d'attributs autour des quatre axes suivants : le système d'utilisation des terres, les types de dégradation, la conservation des eaux et des sols et recommandations des experts.

Enfin il importe de signaler que La méthodologie cartographique utilisée est plutôt intéressante pour les grandes étendues (échelle régionale). A l'échelle locale elle doit être adaptée et nuancée pour qu'elle soit acceptable.

L'application de cette approche à la commune des Sehoul a fait ressortir une certaine diversité des LUS qui la composent et la relative dynamique qui la caractérise malgré la monotonie topographique qui donne une fausse impression d'immobilité.

Malgré la situation de cette commune à une vingtaine de kilomètres de la capitale du Maroc Rabat, la vie n'y semble pas être fortement influencée par cette proximité. Le système de production continue à être dominé par une activité pastorale héritée qui se base en grande partie sur le pacage dans la forêt limitrophe. L'activité agraire a, quant à elle, connu un certain développement, notamment, en superficie et en techniques utilisées, mais elle est restée traditionnelle au niveau des spéculations pratiquées, en relation avec l'élevage (céréales utilisées comme fourrage). Ceci n'a pas empêché les agriculteurs les plus avertis de pratiquer des cultures irriguées et de planter des arbres fruitiers. Cette dernière activité, quoique très encouragée par l'état, ne concerne que des superficies restreintes.

Ce système de production a eu pour conséquence une dégradation multiforme des ressources naturelles ; les impacts diffèrent selon les types de LUS concernés. Dans les LUS forestiers, la dégradation se manifeste par le recul du couvert végétal à cause d'une sur-utilisation du bois et des unités fourragères gratuites, par les douars limitrophes ou par le tassement du sol dû à une fréquentation excessive par le bétail ; ces deux formes de dégradation sont accompagnées d'une réduction en biomasse et en biodiversité. Les LUS cultivés, en particulier les terres de culture pluviale sont impactées par une dégradation chimique des sols en relation avec la pratique d'une monoculture à base de céréales ; en plus ces LUS sont proie à une activité de ruissellement aréolaire qui évolue en griffes très dommageables aux horizons superficielles des sols. Dans les terres incultes, la dégradation est plus manifeste et se développe sous forme de ravinement intense sur les terres plus ou moins abandonnés et sous forme de tassement des sols, de réduction de biodiversité et de biomasse sur les terres réservées au pacage. Ce même système de production n'a pas suscité l'intérêt des agriculteurs aux techniques de conservation des sols, c'est pour cette raison qu'on remarque peu de structures physiques dédiées à cette fin, même si les stratégies agricoles existantes comportent une certaine dimension de conservation.

Par ailleurs, la proximité de Rabat semble influencer implicitement la dynamique foncière dans la commune. Celle-ci joue actuellement le rôle d'un espace rural périurbain convoité par les chercheurs d'opportunités d'investissement. Les terres agricoles les plus fertiles et les sites

stratégiques en termes de potentialités touristiques, sont de plus en plus vendues aux citoyens. Cette tendance accentue le relâchement des agriculteurs par rapport au travail agricole.

Références bibliographiques

- Antari E. 2007.** Mesure du ruissellement et de l'érosion des terres dans le micro-bassin versant Matlaq et essai de modélisation (Région de Rabat, Maroc). Thèse de doctorat, université Mohammed V Agdal, faculté des lettres et des sciences humaines, Rabat,
- Direction régionale des eaux et forêts du Nord-Ouest à Kénitra, 2001.** Etude d'aménagement de la forêt de Shoul, Procès verbal d'aménagement (Volume1). Service provincial des eaux et forêts de Rabat,
- Ghoulimi. S. 1999.** Les communes rurales et les problèmes de développement local. Cas de la commune des Sehoul. Thèse du DES. Géographie humaine.
- Hanspeter L., Godert V. L., Freddy N., Gudrun S. 2008.** Un questionnaire pour la cartographie de la dégradation et de la gestion durable des terres. CDE/WOCAT, FAO/LADA, ISRIC.
- Haut Commissariat aux Eaux et Forêt. 2001.** Etude d'aménagement de la forêt de Shoul, Procès verbal d'aménagement (Volume1). Direction régionale des eaux et forêts du Nord-Ouest à Kénitra. Service provincial des eaux et forêts de Rabat, rapport interne.
- Laouina A. et G. Lazareve. 2009.** Atlas de l'Agriculture marocaine, Editions du MAPM et du CGDA,
- Laouina A. 2007.** La gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, essai de distribution spatiale. In: Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc. Publications du Pôle de Compétences RELOR et de la Chaire UNESCO-GN, FLSH, Rabat. pp. 7-48.
- Laouina A., Aderghal M., Al Karkouri J., et al. 2010.** The efforts for cork oak forest management and their effects on soil conservation, the Shoul plateau, Rabat region, Morocco. Forest System, 19, 2.
- Lesne M. 1958.** Les Zemmour. Evolution d'un groupement berbère, Rabat 462 p.
- Lesne M. 1966.** Les Zemmours : Essai d'histoire tribale. Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée .
- Machouri N. 2005.** Potentialités pastorales et systèmes d'exploitation des zones forestières et périforestières. Evaluation en vue de l'élaboration d'une stratégie de développement durable participatif. Thèse de doctorat. Option: Gestion de l'environnement et développement durable. UFR. Chaire UNESCO-GN, Univ Mohammed V, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Rabat et Université Ca' Foscari, Venise, Italie. p. 444.
- MADRPM, 2006.** Étude de l'analyse des sols dans le périmètre de mise en valeur en bour de sehoul: évaluation de la fertilité des sols et fertilisation des cultures. Rapport 2: Résultats d'analyses, interprétations et recommandations. Edition Définitive. 33 pp.
- Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et des Eaux et Forêts 2000.** Projet de mise en valeur en bour de Shoul. Rapport définitif,
- Nafaa R., 2002.** Dynamique du milieu naturel de la Mamora. Paléo-environnements et évolution actuelle de la surface. Thèse de doctorat. Université Hassan II, Mohammedia, Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Mohammedia. Série Thèses No 3, 321 pp.
- Wafeh A., Nafaa R., Aderghal M., Al karkouri J., Tailassan M. 2007.** La durabilité des ressources en terre et en eau, dans le contexte des transformations agraires dans les plateaux du Sahel Atlantique de la Mamora et du Gharb (en Arabe) in GCES au Maroc. Public Fac Let Sc Hum Rabat, pp. 17-30

CHANGEMENT AGROPASTORAL ET DEGRADATION DES TERRES DANS LE PLATEAU SEHOUL

Miloud CHAKER¹, Abdellah LAOUINA¹ & Mohamed EL MARBOUH¹

Résumé

Durant les dix dernières années, dans le plateau Sehou, l'érosion a tendance à passer de l'état de formes saisonnières et discrètes, à des formes devenant de plus en plus permanentes. Sur le plan spatial, la dégradation s'étend des terres marginales, naturellement fragiles, aux terres considérées comme étant stables. C'est ainsi qu'une enquête à l'échelle des fractions de la commune, a été menée pour mettre en évidence l'impact de l'évolution récente des activités agropastorales sur ce milieu.

A part le ravinement, la plupart des paysans n'arrivent pas à percevoir les autres indicateurs de dégradation de leurs terres. Ainsi, malgré la déclaration de baisse des rendements, la forte mécanisation des travaux agricoles, le recul de la jachère et l'augmentation de l'achat du fourrage, les paysans continuent à ne jeter la responsabilité que sur les caprices du climat.

Cette étude montre que l'érosion est un processus lent, discret dans ses formes et ses processus et ne peut être réellement perçue par les paysans que lorsque les formes deviennent pérennes et difficiles à combler par le simple labour. Il est donc nécessaire que la vulgarisation et la recherche appliquée, accompagnent les paysans pour qu'ils se familiarisent avec la connaissance du cycle de l'eau, des nutriments et de la matière organique et ce n'est qu'à cette condition que l'approche participative peut avoir un effet pour la gestion durable des terres.

ملخص: التغيير الرعي-زراعي في هضبة "السهول" وتدهور الأراضي

خلال العقد الماضي، اتضح من خلال دراسة هضبة السهول على أن مظاهر التعرية أصبحت تنتقل من الأشكال الموسمية والمتسكرة إلى أشكال دائمة. كما تبين على أن تدهور الأراضي يمتد تدريجياً من الأراضي الهامشية الهشة بشكل طبيعي، إلى أراضي كانت تعتبر مستقرة. ولتقصي الحقائق، أجرينا استمارة على مستوى فحدات جماعة السهول، سعياً وراء إبراز إسهام التحولات الرعيزراعية في تدهور هذا الوسط.

وبصرف النظر عن ظاهرة التخديد، فمعظم المزارعين غير قادرين على إدراك المؤشرات الأخرى الدالة عن تدهور أراضيهم. وبالتالي فعلى الرغم من إعلانهم عن تراجع المحاصيل، و عن المكننة المتزايدة للأشغال الزراعية، وتراجع مساحة الأراضي المستريحة وارتفاع تكاليف شراء الأعلاف، فلا يزال المزارعون يحملون المسؤولية "للسماء" وحدها في كل حالات التدهور والاختلال.

وتبين هذه الدراسة على أن التعرية هي عملية بطيئة، متسكرة النظم والأشكال، وبالتالي يصعب إدراكها فعلاً من قبل المزارعين إلا عندما تستفحل و تصبح أشكالها دائمة وصعبة الردم بعمليات الحرث. ولذا فمن الضروري أن يرقى الإرشاد من جهة و البحوث التطبيقية من جهة أخرى إلى مرافقة المزارعين قصد التعرف على دورة المياه والمخصبات و المواد العضوية، إذ أن ذلك قد نستطيع من خلال المقاربة التشاركية تحقيق التدبير المحافظ والمستدام للأراضي.

¹ Equipe de la Chaire UNESCO-GN, CERGeo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UM5A, Rabat

Abstract

During the past decade, the Sehoul plateau, erosion tends to change from seasonal and discrete forms, to more permanent ones. Spatially, degradation extends from marginal lands, naturally fragile to the areas considered as stable. Thus, a wide survey of the sections of the commune was conducted to highlight the impact of recent developments on these agro-pastoral areas.

Aside from the gully forms, most farmers are unable to perceive the other indicators of the degradation of their lands. Thus, despite the declaration of declining yields, high mechanization of farming, the decline in fallow and increased the purchase of fodder, farmers continue to throw the responsibility on the climate variations.

This study shows that erosion is a slow process, discrete forms and processes and cannot be actually perceived by farmers when the forms become permanent and difficult to fill by simply plowing. It is therefore necessary that the extension and applied research, accompanying farmers to familiarize themselves with the knowledge of the water cycle, the nutrients and organic matter and it is only at this stage that the participatory approach can serve for sustainable land management.

Introduction

A l'échelle du bassin versant du Bouregreg, la dégradation des terres ne cesse de s'aggraver, passant d'une érosion plus ou moins discrète, sous forme de griffes saisonnières et perte de fines par le ruissellement aréolaire, à une érosion concentrée, évoluant rapidement en champs de ravines et de ravins, difficiles à combler (Beaudet, 1969 ; Laouina et al. 2004, 2006 ; Mahe et al., 2013).

Les tentatives de spatialiser les formes et processus de dégradation des terres, en fonction des données des conditions naturelles et de la pression anthropique restent difficiles à réaliser. En fait, sous les mêmes conditions naturelles, les phénomènes et processus érosifs peuvent rapidement varier, d'un transect à l'autre. Sur des versants de pente et d'exposition équivalentes, avec les mêmes caractéristiques des sols et des formations superficielles, l'érosion peut être très variée dans ses formes et ses processus (Nafaa, 1993 ; 2002).

Il reste donc difficile de mettre en évidence les facteurs majeurs responsables de la dégradation de ces terres (Antari, 2007). La fragilité naturelle est-elle le facteur principal déclenchant les processus érosifs et quelle est la contribution des facteurs anthropiques dans leur aggravation ?

La fragilité naturelle est souvent accentuée par des actions anthropiques (Ghoulimi, 1999), dont les effets restent difficiles à identifier tant qu'on ne travaille pas à grande échelle. Dans cet article, nous allons conduire l'analyse à l'échelle des fractions de la commune de Sehoul, en nous basant particulièrement sur les résultats d'une enquête socio-économique à laquelle ont participé des étudiants du master « Dynamique des ressources naturelles et développement durable », promotion 2010-2012. L'enquête a concerné 5 fractions de la commune de Sehoul, avec comme but principal, l'évolution du système agropastoral, en comparant la situation actuelle et celle d'il y a une dizaine d'années auparavant. En nous basant sur les résultats obtenus et sur d'autres recherches de terrain, nous essayons ainsi de mettre en relation les transformations des activités agropastorales avec la dégradation des terres.

Etant donné que les transformations des activités agropastorales semblent être différentes d'une fraction à l'autre, en fonction des conditions naturelles et particulièrement en relation avec l'accessibilité et le degré d'ouverture sur le milieu citadin, il nous a semblé important de

chercher des corrélations entre la réactivation actuelle des processus érosifs et la nature des pratiques agricoles et pastorales dominantes.

Pour ce faire, trois axes importants ont été étudiés, i) l'ampleur et les caractéristiques de la dégradation actuelle des terres ; ii) Les pratiques agropastorales favorisant la dégradation des terres à l'échelle des fractions ; iii) la discussion des résultats et les perspectives d'évolution.

I- Ampleur et localisation des phénomènes érosifs dans la commune de Sehoul

I-1- Les phénomènes érosifs actuels

L'ampleur de l'érosion varie d'une portion de terre à l'autre, dans une même unité géographique. A titre d'exemple, nous localisons sur un même versant des portions anciennement érodées, où les ravines sont plus évasées et dont les rebords sont adoucis ; par contre, on peut passer rapidement à des ravines fraîchement incisées, aux rebords verticaux, dans des matériaux encore friables. Ces ravines sont moins larges, ne dépassant pas quelques dizaines de centimètres, alors que la profondeur évolue rapidement, pour atteindre 1 à 1,5m. Entre les vieilles ravines qui ont tendance à s'estomper et les nouvelles évoluant en badlands, des portions de terre, encore unies, peuvent subsister et sont soit labourées ou pâturées, conservant un certain couvert naturel.



Photo 1 : De vieilles ravines, mordant dans le substrat (à droite) ; au centre, des ravines récentes .

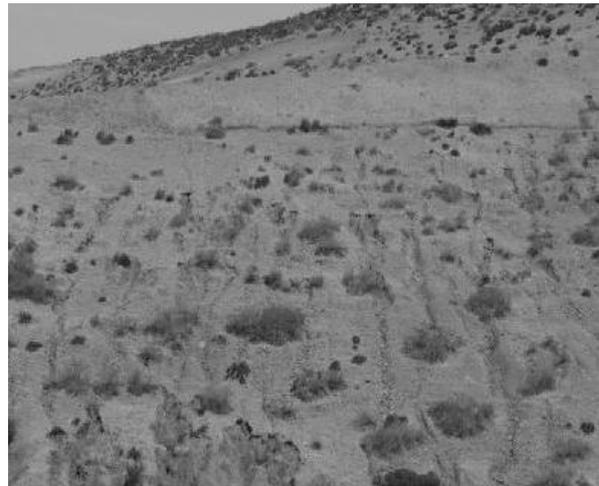


Photo 2 : Amont du versant, non raviné, défriché et mis en culture, au dessus d'une section ravinée

L'étude du profil pédologique sur ces versants, montre que l'épaisseur du sol varie d'une forme d'érosion à l'autre. Les vieilles ravines aux flancs adoucis sont inscrites dans les matériaux de la base du profil et sont jonchées d'éléments grossiers, alors que les particules fines ont été emportées par érosion en nappe. Par contre, entre les ravines vives, le profil pédologique est conservé, constitué de l'altération de la roche en place et des colluvions plus ou moins riches en matière organique. La granulométrie de ces colluvions montre que les processus de creep et de tassement qui ont contribué à leur mobilisation sur les versants, étaient relativement peu agressifs, ce qui a permis l'atterrissement des fines sur des épaisseurs importantes, même sur des portions aux pentes relativement fortes.

En sub-surface, les matériaux sont relativement plus grossiers, avec une courbe cumulative à tendance logarithmique alors qu'en profondeur, les matériaux fins représentent plus de 80% (fig. 1). En réalité nous sommes devant une même formation colluviale, homogène au départ, déposée dans des conditions à tendance biostasique ; sa partie supérieure a subi un nouveau remaniement et un tri des éléments fins. Ces versants qui ont pu conserver des altérations et des formations colluviales assez fines sur des pentes relativement fortes, connaissent actuellement un déséquilibre avec perte de capacité de rétention d'eau, du fait de pratiques agropastorales inadéquates qui ont favorisé le déclenchement du ruissellement.

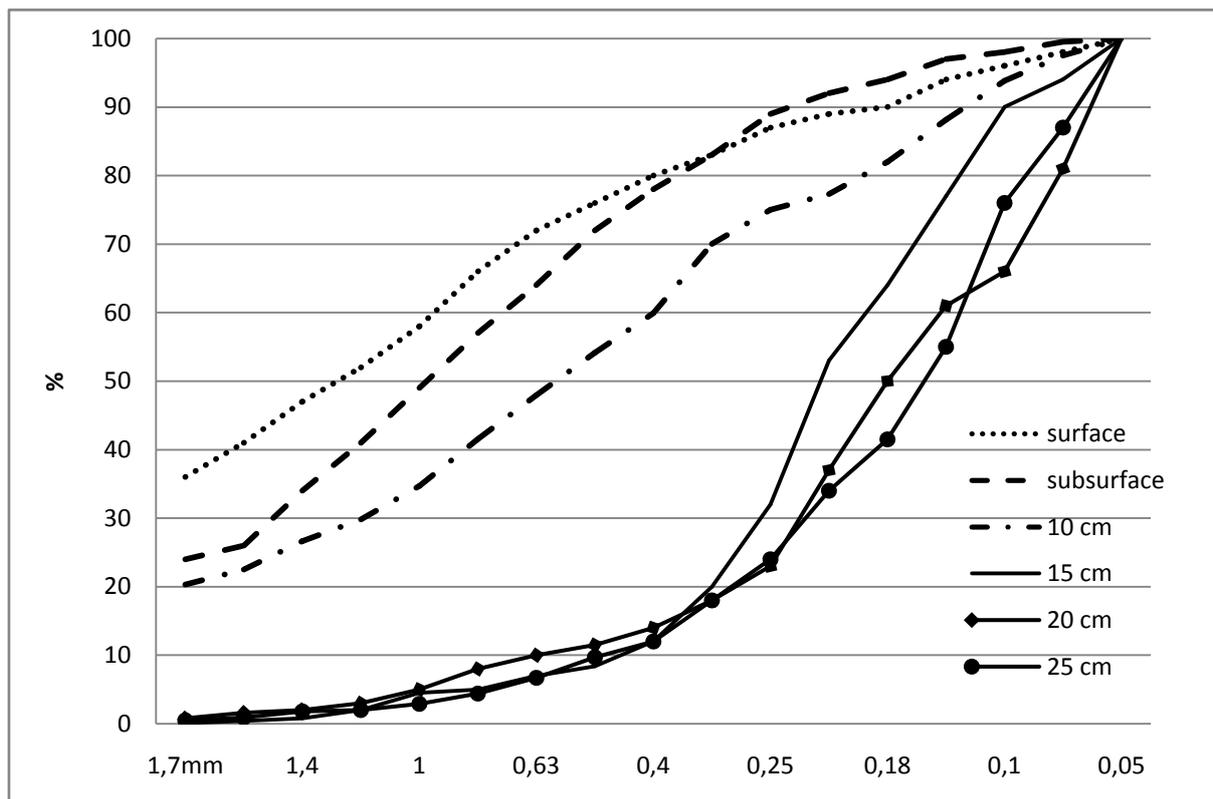


Fig. 1 : Variation de la granulométrie de la surface (courbes cumulatives 1 à 3) et vers le bas du profil (4 à 6)

Les ravines fraîches sont sculptées dans un matériel friable, d'où les effondrements en masse sur les rebords des berges. Ces formations qui peuvent être tassées en surface, par l'effet de battance, restent meubles et perméables en profondeur. C'est pourquoi l'incision est souvent perçue par les paysans comme étant le produit d'un seul événement pluviométrique. Des phénomènes de soutirage peuvent se produire dans ce matériel de mélange et expliquer des départs de ravins sous forme de reculées.

Le changement du comportement hydrologique, en passant d'un ruissellement peu agressif, à des ruissellements concentrés, pourrait être expliqué essentiellement par l'évolution des états de surface (Laouina et al. 2006 ; 2010). Avec la réduction de l'écran végétal, la réduction de la matière organique en surface, la destruction des agrégats et la constitution des croûtes en surface, l'infiltration est fortement ralentie, ce qui explique le déclenchement de rigoles qui évoluent rapidement dans les colluvions friables et épaisses.

Sur certains versants relativement plus humides exposés au Nord, les processus érosifs évoluent localement par mouvements en masse. Le phénomène se produit après la mise en culture, suivie par le passage répété des troupeaux. Sur les versants plus arides, les sols sont décapés, laissant apparaître en surface l'encroûtement calcaire sur marne (photo 4).



Photo 3 : Evolution localisée par mouvements de masse, dans des positions favorables



Photo 4 : fort décapage du sol et affleurement d'encroûtements calcaires

Dans les bas-fonds de vallons, qui constituaient auparavant des réceptacles où atterrisaient les fines arrachées aux versants, on assiste à l'encaissement des chenaux. Dans ces vallons et dépressions, aux fonds plats, le comportement hydrologique actuel, suite à la dégradation des sols, non seulement ne permet plus l'atterrissement des sédiments arrachés aux versants avoisinants, mais en plus déplace l'héritage du quaternaire qui s'y est accumulé, du fait d'incisions évoluant rapidement en ravins profonds (photos 5 et 6).



Photo 5 : Incision de ravins dans les bas fonds

Les paysans expliquent la dégradation de ces bas fonds concaves, considérés autrefois comme zones stables, par des événements pluviométriques exceptionnels. Rares sont ceux qui incriminent la gestion de l'ensemble de la séquence, en constatant que le ruissellement prend

ses origines sur le plateau et les convexités de bordure, où les terres sont tassées, appauvries en matière organique et amincies par le ruissellement aréolaire (Watfeh et al. 2007).



Photo 6 : Surpâturage et incision des chenaux

La perception des paysans a été analysée à travers une enquête, afin de la cerner et la spatialiser en tenant compte de la diversité des formes de dégradation des terres, d'une part et de l'évolution récente des activités agropastorales ayant contribué à l'aggravation des processus érosifs d'autre part.

I-2- Degré de perception de la dégradation des terres par les paysans

Dans le cadre de l'enquête menée, certains parmi les paysans ont une perception pertinente des processus de la dégradation des terres. Parmi eux, un berger, dépassant les 60 ans, mais qui n'a cessé de sillonner les différents terroirs de Sehoul avec son troupeau, nous a déclaré qu'il est particulièrement inquiet de la dégradation actuelle des terres, car « l'érosion a achevé la chair et travaille actuellement dans l'os ». Un autre paysan, dépassant 85 ans, a déclaré « ma terre est fatiguée, comme moi ». Actuellement, « la terre a besoin qu'on lui donne, pour qu'elle puisse nous rendre », nous déclare un jeune paysan, licencié. Mais la majorité des paysans expliquent le ravinement par un prétendu excès de pluie et par contre la mauvaise récolte par le manque d'eau, en responsabilisant le « ciel » dans les deux cas.

A l'échelle des différentes fractions de la commune, autour de 20% des foyers, ont été touchés par l'enquête qui a abordé divers indicateurs de la dégradation des terres, que les paysans sont capables d'observer.

Fractions	Jyahna	Jwaneb	Oulad Aissa	Oulad Alouane	Oulad Aziz
Apparition de rigoles	5	9	7	25	71
Baisse des rendements	65	91	25	11	5
Dureté du sol et mauvaise levée	15	0	25	7	10
Changement de couleur du sol	5	0	4	0	0
Pas de signe de dégradation	10	0	39	57	14

Tab.1 : Degré de perception en %, chez les paysans enquêtés, des indicateurs de dégradation des terres

Globalement 23% des foyers affirment que leurs terres se dégradent par la constitution de rigoles. Ce phénomène de dégradation concerne essentiellement la fraction d'Oulad Aziz, où effectivement les rebords du Grou sont fortement ravinés. Par contre, à Jyahna, seuls 5% des propriétaires trouvent que leurs terres se dégradent par le processus de rigoles.

Pour le suivi des rendements durant les 10 dernières années, 40 % des paysans trouvent que les rendements baissent d'une façon continue. Sur le plan spatial, on constate que les fractions Jyahna et Jwaneb, qui ne souffrent pas d'érosion concentrée, enregistrent une forte baisse des rendements chez plus de 65% des paysans enquêtés (fig. 2).

Dans la fraction Ouled Aziz où l'érosion par rigole touche 71% des foyers, les rendements restent relativement stables puisque uniquement 5% des paysans ont déclaré une baisse de ceux-ci. Pour le changement de couleur du sol, un signe d'appauvrissement en matière organique ou d'affleurement des encroûtements calcaires du fait du décapage des sols, seulement 1,8% des enquêtés ont observé cette évolution.

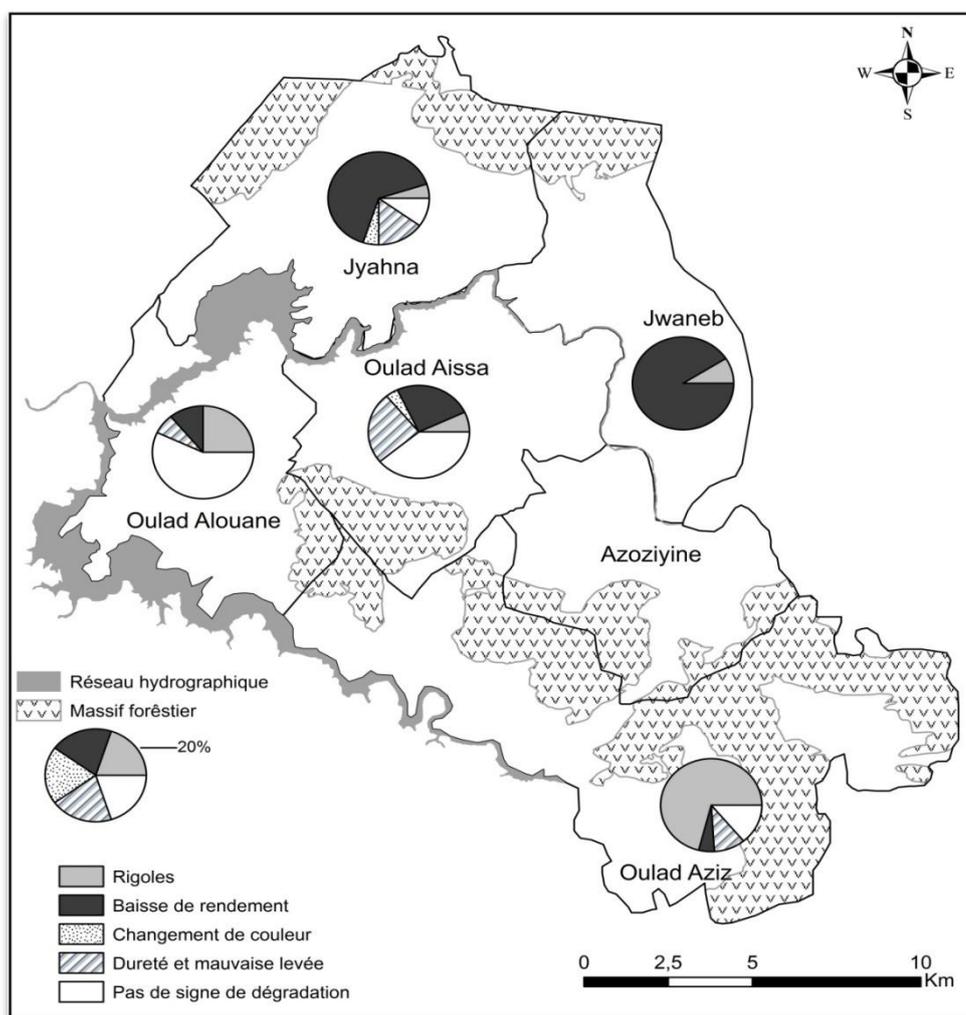


Fig. 2 : Spatialisation des indicateurs de dégradation des terres dans les fractions Sehoul

De même, la dureté des sols et la mauvaise levée sous l'effet des croûtes de battance, n'est enregistrée que chez 11,4% des cas. L'absence de signes de dégradation a été déclarée chez

24% des chefs de foyers enquêtés. Les terres des Ouled Alouane sembleraient aussi être les mieux conservées, puisque 57% des enquêtés n'ont pas observé de signe de dégradation dans leurs terres et seulement 11% parmi eux ont affirmé la baisse des rendements durant les 10 dernières années.

Admettant que la perception des paysans est fondée, nous avons entrepris de chercher des liens entre le degré de dégradation des terres et les formes de leur occupation.

II- Evolution des activités agropastorales et effet sur la dégradation des terres

II-1- Intervention de l'Etat pour améliorer les pratiques agricoles et d'élevage.

La commune Sehoul, proche de l'agglomération de Rabat-Salé, a profité de l'intervention de l'Etat, particulièrement à travers le Projet de Mise en Valeur des Terres en Bour (PMVB), entre 2002 et 2005. Cette intervention se base sur la stratégie d'amélioration des revenus et des conditions de vie des populations, grâce au développement des activités agropastorales et à la préservation des ressources naturelles. Ce projet a visé un espace de 24600 ha de terres agricoles et une population de 20000 habitants et une enveloppe budgétaire de 136,8MDH. Il avait en principe comme but, l'intervention de l'Etat, à titre démonstratif, par des actions limitées dans l'espace et dans le temps, alors que les paysans n'ont pas cessé de réclamer la généralisation des interventions dans toutes les fractions. 72% des enquêtés ont déclaré qu'ils n'ont pas été concernés par les actions physiques de ce projet qui se répartissent selon les fractions comme suit :

	Par puits ou séguia	Par plantation	Par puits et plantation	Non bénéficiaires (%)
Jyahna	5	-	-	95
Oulad Aissa	7	7	4	82
Oulad Alouane	4	7	-	89
Oulad Aziz	47	15	9	29
Jwaneb	-	-	-	100

Tab 2. Répartition, selon les fractions, des propriétaires ayant bénéficié du projet PMVB (%)

Les actions physiques retenues par les paysans sont essentiellement la subvention pour le creusement de puits, la construction de séguia et des plantations fruitières, particulièrement l'olivier. La fraction d'Ouled Aziz a été le centre d'intérêt du projet. Mais il faut admettre que d'autres actions de vulgarisation ont été pratiquées localement et ont été plus largement disséminées. Il s'agit des actions agronomiques, comme l'introduction des légumineuses fourragères dans la rotation des cultures, l'amélioration génétique dans l'élevage des bovins et la plantation fruitière. Il est donc difficile de limiter l'impact positif, en termes de conservation des ressources naturelles et d'amélioration des pratiques agropastorales, aux fractions touchées par les actions physiques du Projet. La fraction Ouled Aziz, qui a relativement bénéficié du PMVB, est celle où l'érosion par rigoles est la plus répandue, touchant 70% des exploitations étudiées. Mais c'est la fraction qui enregistre le plus faible taux en termes de baisse des rendements durant les 10 dernières années (5% des exploitations

enquêtées). Cette baisse des rendements est déclarée par contre dans la fraction Jwaneb, avec 91% des cas, et chez les Jyahna, avec 70% des cas touchés par l'enquête, alors que ces deux fractions sont les plus accessibles, les plus ouvertes sur le milieu citadin et les plus proches du Centre Technique d'agriculture (CT). Ces résultats contradictoires montrent qu'il est difficile de corrélérer le degré de dégradation observée par les paysans et la baisse déclarée des rendements.

III-2- Taille des propriétés, degré de mécanisation et recul de la jachère

Sur le plan de l'assiette foncière, on note une homogénéité dans la taille moyenne des propriétés qui varie globalement de 5 à 7ha, d'une fraction à l'autre.

	Taille moyenne (ha) des propriétés
Jyahna	5,6
Oulad Aissa	6,7
Oulad Alouane	5,1
Oulad Aziz	7,5
Jwaneb	6,6

Tab 3. Taille moyenne de la propriété foncière par fraction (résultat d'enquête)

Les pratiques agropastorales exercées dans les différentes fractions ne sont pas influencées par la différence de taille des propriétés. La moyenne ne doit pas cacher le fait que 10% de la population vit sans terre et constitue une ceinture de pauvreté autour et aux dépens de la forêt. Il faut aussi mentionner l'existence de grandes exploitations qui, elles mêmes n'ont pas changé de comportement en terme de conservation des eaux et des sols.

Pour ce qui concerne l'évolution de la mécanisation des travaux agricoles et l'éventuel impact sur la dégradation des terres, l'enquête révèle qu'actuellement, seulement 19% des terres sont encore labourées par traction animale, contre 59%, il y a 10 ans, soit une augmentation de 40%. L'évolution par fraction est représentée par le tableau et la figure ci-dessous :

	Labour au tracteur		Récolte avec moissonneuse	
	En 2013	Il y a 10ans	En 2013	Il y a 10ans
Jyahna	96,5	25	91	23
Oulad Aissa	82	17	37	0
Oulad Alouane	69	46	60	54
Oulad Aziz	71	61	38	41
Jwaneb	85	56	83	65

Tab 4. Evolution de la mécanisation des travaux agricoles (en % des terres cultivées).

La fraction Jyahna a enregistré une forte mécanisation du labour, passant de 25% des terres au début du 21^{ème} siècle, à 96,5% en 2013. La mécanisation de la récolte de céréales est passée de 23% des terres à 91% en 2013. Ce constat contredit la déclaration de baisse des rendements chez 70% des paysans enquêtés.

Ouled Alouane est la fraction qui a enregistré le plus faible taux de mécanisation de la céréaliculture, puisque plus de 31% des terres sont encore labourées par traction animale et 40% sont récoltées manuellement. Dans cette fraction, 57% des paysans ont déclaré l'absence de signes de dégradation dans leurs terres alors que la baisse des rendements n'a été déclarée que par 11% des paysans enquêtés.

Dans la fraction Ouled Aissa, la mécanisation des travaux agricoles a rapidement évolué, puisque toutes les récoltes étaient faites manuellement au début du siècle, contre 37% actuellement. Le labour au tracteur concerne 80% des terres, contre seulement 17%, il ya 10 ans.

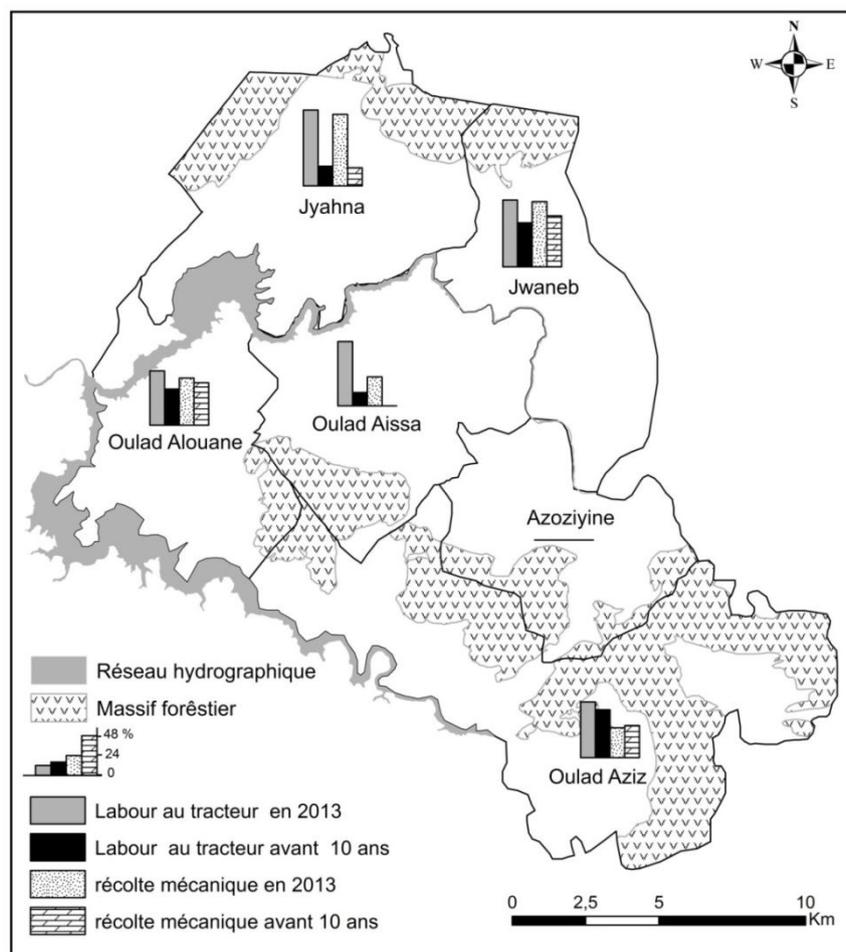


Fig. 3 : Degré de mécanisation des travaux agricoles dans les fractions de Sehoul

Dans la fraction Jwaneb, 91% des paysans constatent que les rendements de leurs terres ne cessent de baisser, alors que la mécanisation du labour et de la récolte était déjà avancée au début du siècle ; cette mécanisation précoce serait-elle à l'origine de la forte baisse des rendements ? C'est aussi la fraction où 100% des jeunes déclarent souhaiter émigrer et où tous les paysans confirment que les terres se dégradent.

Il faut aussi constater que la superficie moyenne mise en jachère varie d'une fraction à l'autre et passe d'une moyenne/foyer de 0,4 ha à Jwaneb à 3 ha à Ouled Aziz (Fig 4).

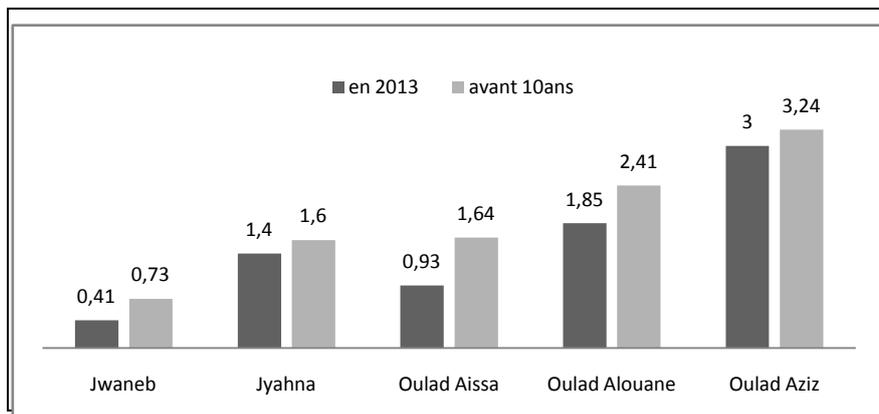


Fig. 4 : Superficie moyenne mise en jachère (ha/foyer) actuellement et au début du siècle

Durant la dernière décennie, la superficie moyenne mise en jachère a reculé de 21%, passant d'une moyenne globale par foyer de 1,9 ha vers la fin du siècle dernier, à 1,5 ha en 2013. Les fractions les plus touchées sont celles de Jwaneb et de Ouled Aissa.

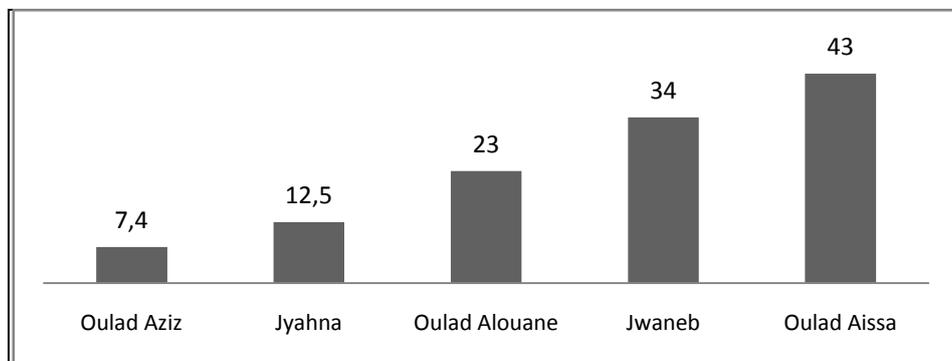


Fig. 5 : Recul de la superficie mise en jachère durant la dernière décennie (en %)

En fait, la moyenne des terres mises en jachère, ne reflète pas les contrastes existants, puisque les valeurs par foyer varient entre 0,25 et 26ha (fig 6). Jwaneb qui déclare le taux le plus élevé d'indicateurs de dégradation des terres, est la fraction qui met en repos la plus faible superficie des terres/exploitation.

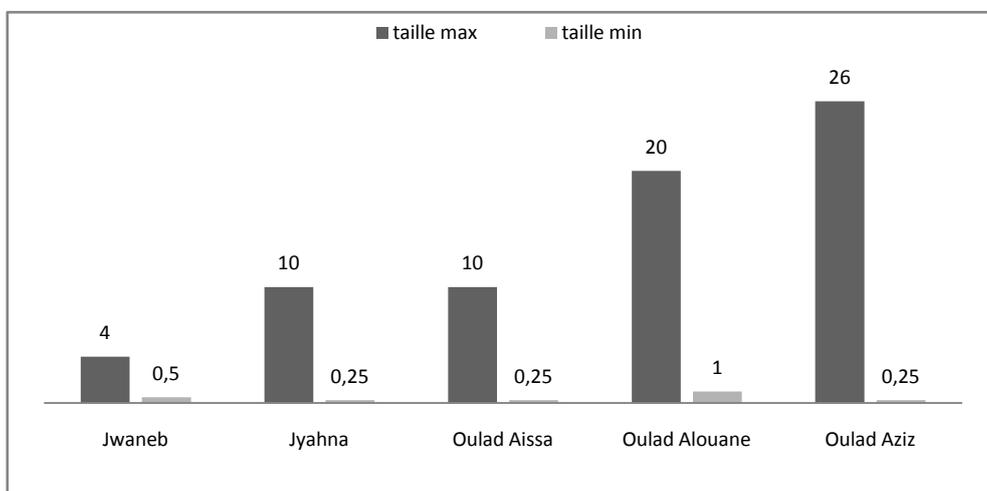


Fig. 6 : Tailles maximale et minimale des superficies mises en jachère (en ha/foyer en 2013)

III-3- Chute des rendements céréaliers et des revenus agricoles

En comparant les revenus réalisés par la vente des produits céréaliers en particulier, entre la situation actuelle et celle du début du siècle, on remarque une forte disparité entre les fractions de la commune.

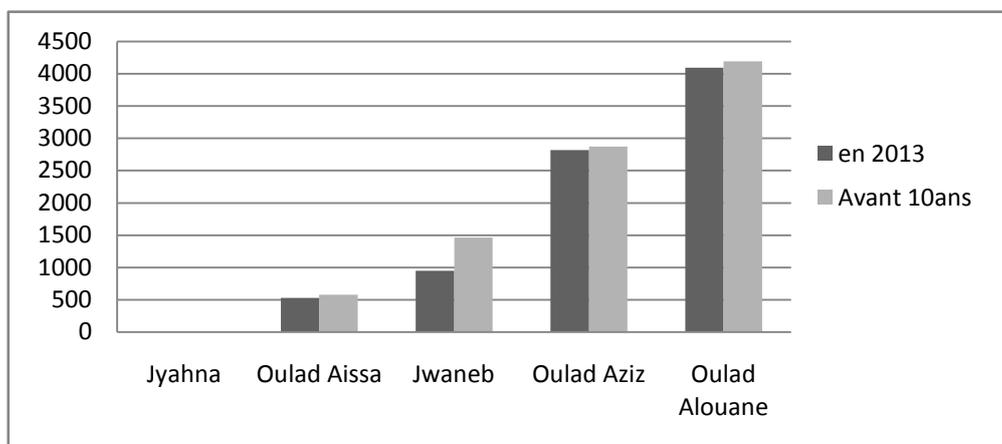


Fig. 7 : Evolution des revenus moyens/foyer/fraction, réalisés par la vente des produits agricoles (en dh)

La fraction Jyahna n'arrive pas à produire un surplus céréaliier à vendre sur le marché. Ouled Aissa n'arrivent à mettre sur le marché, depuis déjà le début du siècle, que de petites quantités, ne dépassant pas une valeur moyenne de 500 dh/foyer/an. Jwaneb n'arrivent plus à mettre sur le marché les mêmes quantités vendues, il y a 10 ans. Ouled Alouane, suivis par Ouled Aziz, sont ceux qui arrivent à mettre le plus de produits céréaliers sur le marché.

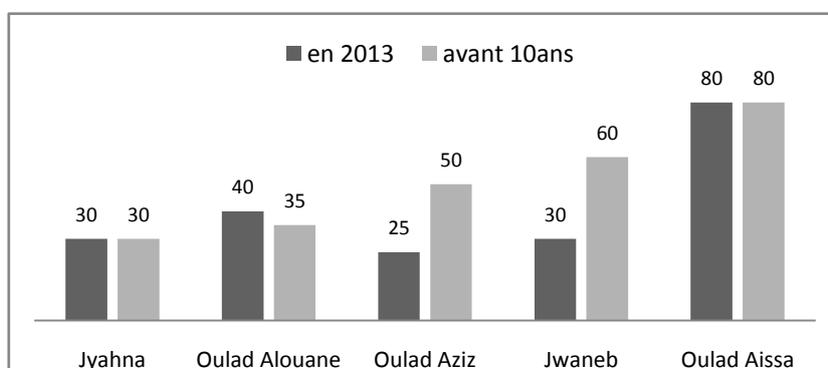


Fig. 8 : Evolution des rendements maximum d'orge/foyer/fraction (qt/ha)

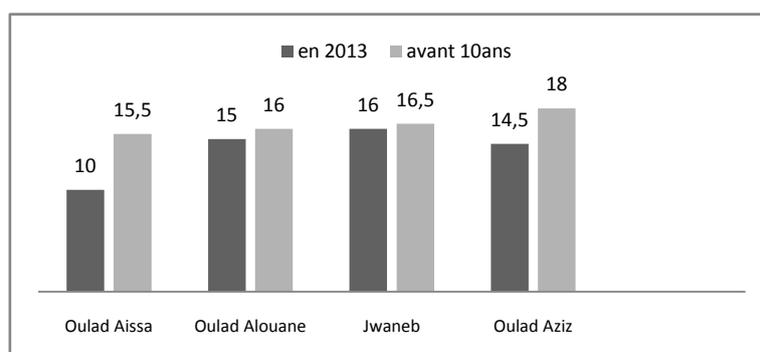


Fig. 9 : Evolution des rendements maximums de blé/foyer/fraction (qt/ha)

La figure montre que toutes les fractions ont connu une baisse, plus ou moins importante des surplus agricoles vendus sur le marché, malgré la hausse relative des prix des céréales ces dernières années. Cette situation s'explique en partie par une chute des rendements et donc de la production, du fait de la dégradation des terres ; elle pourrait s'expliquer aussi par une augmentation des besoins des foyers, même si la démographie ne le confirme pas.

La chute déclarée des rendements maximum d'orge, dans les différentes fractions, montre que les meilleurs rendements ont été réalisés par Ouled Aissa. Par contre à Ouled Aziz et à Jwaneb, le rendement maximal a chuté de 50%, durant cette dernière décennie. Pour le blé, la chute des rendements maximums reste relativement faible. (fig 9).

En fait, Ouled Aziz et Ouled Alouane, grands vendeurs de céréales, sont ceux qui ont déclaré une faible baisse des rendements de leurs terres, comme indicateur de dégradation; mais ce sont eux qui gardent le plus de terres en jachère.

L'évolution démographique est en train de connaître une petite régression en termes d'effectif, en passant entre 1994 et 2004, de 19959 à 19706 hab., soit une baisse moyenne annuelle de l'ordre de -0,1%, du fait de la migration vers les villes en particulier. Il ne s'agit donc pas d'une grande augmentation locale de la consommation des produits agricoles. Par contre, il serait important d'étudier l'impact de l'activité pastorale sur l'augmentation de la demande locale en produits céréaliers.

III-4- le coût du fourrage et le revenu réalisé par l'activité pastorale.

Il est difficile d'évaluer exactement le coût de l'élevage et les bénéfices réalisés dans la commune Sehoul. Il s'agit d'un mode d'élevage semi intensif, puisque d'une saison à l'autre, comme d'une année à l'autre, les animaux passent incessamment de l'étable au parcours extensif et à la vaine pâture. Ils ne sont nourris à l'étable que lors des moments difficiles ou pour l'engraissement. D'une fraction à l'autre, la facture de l'achat de fourrage et le bénéfice réalisé de la vente des animaux, sont très différents.

	Coût moyen du fourrage/foyer/an		Coût moyen du fourrage par UPB/fraction	
	En 2013	Début du siècle	En 2013	Début du siècle
Jyahna	15080	5440	341	75
Oulad Aissa	12271	3085	133	35
Oulad Alouane	14883	11902	273	248
Oulad Aziz	1247	9916	190	157
Jwaneb	14315	12363	241	151

Tab. 5 : Evolution du coût du fourrage/foyer et par UPB/an (en dh)

A l'exception de la fraction de Ouled Aziz qui a enregistré une baisse importante du coût déclaré du fourrage, depuis le début du siècle, passant de 9916 DH/foyer à 1247, toutes les autres fractions ont vu la facture du fourrage augmenter jusqu'à plus de 4 fois. La forte augmentation est enregistrée chez Ouled Aissa, suivis par Jyahna. Cette augmentation de la

charge fourragère est-elle due à la dégradation des parcours naturels gratuits, ou au rétrécissement de la vaine pâture du fait de la multiplication des clôtures autour des terrains mis en culture ?

Au début du siècle, Ouled Aissa et Jyahna, ne dépensaient pour l'achat du fourrage qu'entre 35 et 75 dh/UPB/an, ce qui revient à dire que le troupeau s'alimentait d'abord à partir des unités fourragères considérées comme gratuites, c'est-à-dire le fourrage forestier, celui des rares parcours collectifs et celui tiré par voie de vaine pâture des terres agricoles elles-mêmes (jachères, chaumes, etc.) ; par contre, en 2013 le coût a quadruplé, du fait de la réduction des unités fourragères gratuites, avec l'extension des plantations fruitières, mises en défens, la multiplication des clôtures, particulièrement autour des fermes des propriétaires citadins. On peut aussi évoquer les mauvaises récoltes et la baisse de la production de fourrage et donc la nécessité de combler le déficit par l'achat d'aliments de complément.

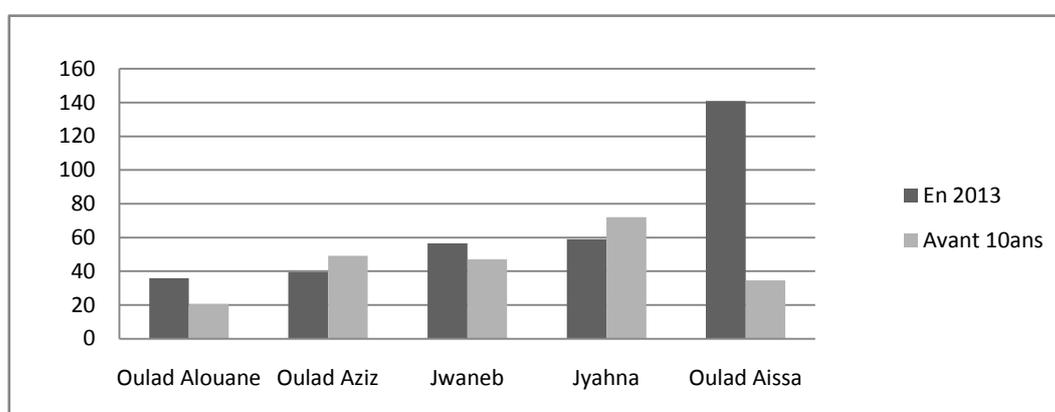


Fig. 10 : Evolution du revenu moyen annuel de l'activité pastorale (en milliers de dh)

L'enquête révèle aussi que le nombre d'ovins vendus a régressé en moyenne de 32%, alors que la vente de bovins a augmenté de 14%, durant les 10 dernières années. Il s'agit là d'une tendance importante du fait que l'élevage ovin et caprin reste extensif, alors que l'élevage de bovins nécessite la stabulation et l'achat de fourrage durant les phases difficiles de l'année. Cette transformation peut donc contribuer partiellement à réduire le surpâturage et notamment l'effet du piétinement sur les sols des parcours.

IV- Discussion des résultats et perspectives d'évolution

La mise en évidence de l'impact des activités agropastorales, sur la dégradation des terres, en se basant sur le savoir et la perception des paysans, semble être un exercice difficile à réussir. Cependant cette tentative révèle des tendances et perspectives importantes. En vue de corrélérer les résultats des quelques éléments étudiés, nous avons dressé le tableau ci-dessous (tab 6), englobant le degré de dégradation des terres, telle que perçue par les paysans, la taille des propriétés, le degré de mécanisation des travaux agricoles, le coût du fourrage acheté et les revenus obtenus de la vente du surplus des produits agricoles, céréaliers en particulier, et ceux réalisés par la vente du bétail.

A l'échelle des fractions étudiées, la moyenne des réponses positives concernant la présence de l'un des indicateurs de dégradation des terres est de 20%. Jwaneb est la fraction la plus touchée alors qu'elle occupe le 3^{ème} rang en termes de coût du fourrage/animal et de revenus réalisés par la vente des produits agricoles et du cheptel. Cette dégradation avancée n'a donc pas eu d'effet direct sur la production. Par contre, la fraction d'Ouled Alouane qui a déclaré le plus faible degré d'érosion, a réalisé le plus haut revenu de la vente des produits agricoles, ce qui signifie une bonne corrélation entre la conservation des terres et la production agricole ; pourtant, les revenus drainés par la vente du cheptel sont très faibles.

En 2013	Degré de dégradation des terres (%)	Taille propriété (ha)	labour mécanisé 2013 (%)	coût fourrage/UPB (dh/an)	Vente des surplus de l'agriculture en 2013 (dh/foyer)	Revenu élevage en 2013 (dh/foyer)
Jyahna	23	5,6	96,5	341	0	59030
Oulad Aissa	15	6,7	82	133	500	140928
Oulad Alouane	10	5,1	69	273	4000	35907
Oulad Aziz	21	7,5	71	190	2750	39533
Jwaneb	25	6,6	85	241	950	56536

Tab. 6 : Tableau récapitulatif : degré de dégradation des terres, mécanisation et revenus moyens réalisés

Ainsi, en analysant les fractions des Sehoul, cas par cas, nous n'avons pas pu dégager une relation directe entre le degré de dégradation des terres et l'importance des activités agropastorales. L'activité pastorale, à elle seule, ne peut être viable ; les sols se dégradent du fait de l'élevage extensif de plus en plus vulnérable du fait des aléas climatiques. La céréaliculture pluviale, elle aussi, ne peut être viable que si elle est recyclée dans le cheptel.

Le revenu moyen annuel des exploitations enquêtées est de 66640 Dh, dont 88% proviennent de la vente du bétail. Cependant, il ne faut pas oublier qu'une bonne partie des récoltes céréalières et des légumineuses fourragères est recyclée dans l'alimentation du cheptel. Ainsi, l'activité d'élevage ne peut être performante qu'en synergie avec la production agricole. Par contre, jamais les rendements céréaliers ne pourraient atteindre les niveaux nécessaires pour assurer aux paysans les revenus que leur procure aujourd'hui l'élevage.

Les perspectives d'évolution ne peuvent être orientées que vers l'agropastoralisme, avec une bonne gestion de l'eau et de la fertilité des sols. Pour ce faire, les approches d'intervention doivent s'orienter, non seulement vers une bonne connaissance du savoir faire local et sa prise en compte, mais particulièrement l'accompagnement des paysans pour les aider à comprendre les cycles et les différents processus de la dégradation des ressources (Aderghal et al. 2012), à travers la compréhension du cycle de l'eau et des nutriments. Une bonne connaissance du fonctionnement du milieu peut motiver les paysans à instaurer une gestion réellement conservatoire des terres.

Le phénomène de la migration des jeunes est très important dans cette perspective. Plus de 50% d'entre eux, souhaitent migrer en ville. A Jwaneb, tous les jeunes enquêtés sont dans ce cas. Ce départ massif des jeunes va priver la commune de ses potentialités humaines, d'où la difficulté de transmettre le savoir-faire local et de reconstituer la communauté Sehoul. La déperdition enregistrée dans le système éducatif est l'un des problèmes à solutionner d'urgence pour assurer une qualification aux jeunes.

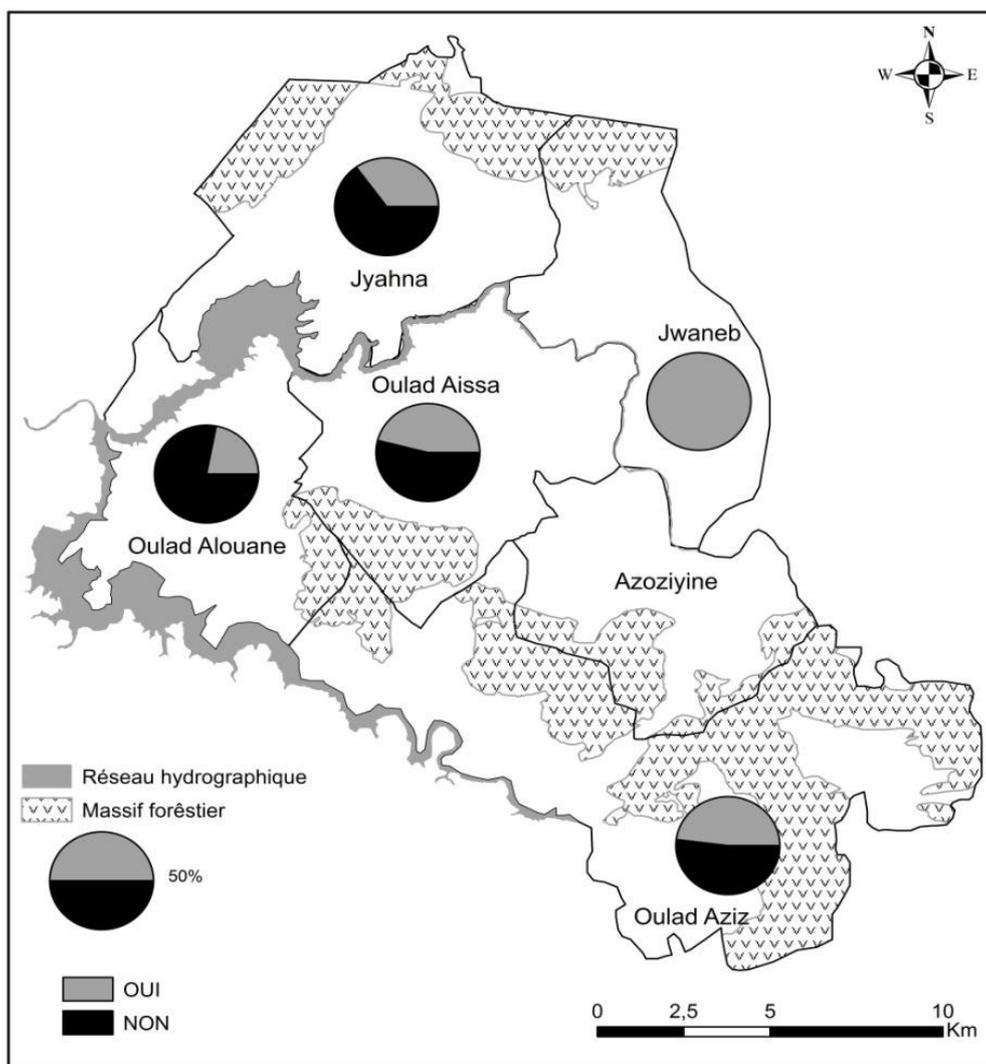


Fig. 11 : Souhait de migration des jeunes Sehoul

Conclusion

Durant la dernière décennie, l'activité agricole a connu des transformations importantes, particulièrement en termes de techniques. En effet, le labour mécanisé touche actuellement une moyenne de 80% des terres, alors que la traction animale était dominante. Cette forte mécanisation a eu un effet direct sur le recul des superficies gardées en jachère. Par contre, il est difficile de chercher à corréliser le degré de dégradation des terres et la baisse des rendements avec le degré de mécanisation. La sélection des semences, la préparation de la terre et la fertilisation chimique, évoluent quoique timidement. Par contre, les pratiques de l'activité pastorale, n'ont pas connu le même rythme d'évolution. Mis à part le recours à la

technique de complémentation durant la période de soudure, la conduite d'élevage reste traditionnelle, comptant sur la vaine pâture et la taille du cheptel, au lieu de viser l'amélioration de sa qualité et de sa productivité.

L'impact de ces nouvelles transformations sur la dégradation des terres, est difficile à apprécier, du fait de l'absence de données statistiques récentes. Par ailleurs, les multiples facteurs physiques et humains interfèrent pour aboutir soit à une simple usure des sols, qui reste discrète et donc peu perceptible pour les paysans soit à une aggravation des processus, aboutissant à des formes de dégradation plus inquiétantes. Il reste donc difficile d'isoler les facteurs qui ont réellement initié la dégradation des terres.

La leçon tirée de cette étude est d'admettre que l'érosion est un processus évolutif, lent et qui est nourri par plusieurs facteurs à la fois. En effet, nous avons constaté que les terres se dégradent autant dans un contexte de techniques et pratiques traditionnelles ou modernes. L'essentiel est d'identifier les pratiques qui permettent une meilleure gestion de l'eau, de la matière organique et de la fertilité du sol pour permettre l'équilibre du système et l'amélioration des rendements, à l'échelle de la parcelle.

La deuxième leçon tirée de cette recherche, c'est que la plupart des paysans ont des difficultés à percevoir la dégradation des terres et sont donc incapables de mettre en œuvre un processus de gestion conservatoire ; il faut donc qu'ils assimilent le cycle de l'eau, des nutriments et de la matière organique dans le sol. Il est donc nécessaire d'accompagner ces paysans par des recherches-actions et par une vulgarisation basée sur des démonstrations mesurables grâce à plus d'implication des techniciens de l'agriculture. Ce n'est qu'à la suite de ces acquisitions que les comportements peuvent réellement évoluer pour que l'approche participative puisse rendre service à la gestion durable des terres.

Bibliographie

- Aderghal M., Watffeh A., Tailassan M., Nafaa R. & Al Karkouri J. (2007) : Les techniques de CES dans le Plateau Central, le haut pays d'Oulmès in GCES au Maroc, Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 151-164
- Aderghal M., Chaker M. et Laouina A. 2012, Evaluation des projets de lutte contre la dégradation des terres : la commune des Sehoul (Maroc), Sécheresse vol. 23, n83, p. 211 -218
- Antari E., (2007) : Mesure du ruissellement et de l'érosion des terres dans le micro-bassin versant Matlaq et essai de modélisation (Région de Rabat, Maroc). Thèse de Doctorat. Université Mohammed V Agdal, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Rabat, 218p.
- Ghoulimi. S., (1999) Les communes rurales et les problèmes de développement local. Cas de la commune des Sehoul. Thèse du DES. Géographie humaine, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohamed V-Agdal Rabat
- Laouina A., Chaker M., Naciri R. et Nafaa R. (1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen: le cas du Maroc septentrional; Bull. Ass. Géogr. Franç., Paris, 5, p. 384-398.
- Laouina A., Coelho C., Ritsema C., Chaker M., Nafaa R., Fenjiro I., Antari M., Ferreira A. & Van Dijck S. (2004) : Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc), Sécheresse, vol. 15, n° 1, p. 66-77.
- Laouina A., C. Coelho, C. Ritsema, M. Chaker, R. Nafaa, M. Antari, A. Ferreira et S. van Dijck (2006) : La différenciation spatiale des comportements des terres dans le micro-bassin de Matlaq (région de Rabat, Maroc, Zeit. für Geomorph., suppl. vol. 143, p. 127-141.

- Laouina A., Aderghal M., Al Karkouri J., Chaker M., Machmachi I., Machouri N., Sfa M. (2010) : Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres, le cas du secteur Sehoul, région atlantique, Maroc. *Sécheresse*, 21, 4, 309-316.
- Mahe, G., Aderghal, M., AlKarkouri, J., Benabdelfadel, H., Bensafia, D., Brou, T., Chaker, M., Chikhaoui, M., Coupleux, S., Crouzevialle, R., Dieulin, C., Emran, A., Ezzaouini, M., Goussot, E., Hallouz, F., Khomsi, K., Laouina, A., Machouri, N., Maleval, V., Meddi, M., Nging, M., Planchon, O., Remini, B., Rouche, N., Saadi, H., Sfa, M., Sinan, M., Snoussi, M., Taibi, S., Toumi, S., Tra Bi, A., Yahiaoui, S., Zerouali, A. (2013). Etude de l'évolution de l'occupation du sol sur deux grands bassins d'Algérie et du Maroc, et relation avec la sédimentation dans les barrages. In: *Considering hydrological change in reservoir planning and management*, (A. Schumann, V.B. Belyaev, E. Gargouri, G. Kucera, G. Mahe, Eds), IAHS Publ. 362, 115-124.
- Nafaa R.(1993). Mesure de l'érosion hydrique superficielle sur les versants de la Mamora; Travaux du Lab.de Géomorph, Rabat, n°2, p.20-29.
- Nafaa, R. 2002. Dynamique du milieu naturel de la Mamora. Paléo environnements et évolution actuelle de la surface. Thèse de Doctorat, Université Hassan II, Mohammedia. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Mohammedia. Série Thèses No 3, 321 p.
- Wafteh A., Nafaa R., Aderghal M., Al Karkouri J. & Taïlassan M. (2007): La durabilité des ressources en terre et en eau, dans le contexte des transformations agraires dans les plateaux du Sahel Atlantique de la Mamora et du Gharb (en Arabe) in GCES au Maroc, Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 17-30

MESURES DE LA VEGETATION ET DES ETATS DE SURFACE DU SOL POUR L'EVALUATION DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE Application aux techniques de CES dans la commune des Sehoul

Nadia MACHOURI¹, Abdellah LAOUINA¹ et Miloud CHAKER¹

Résumé

Dans cet article, nous avons procédé à l'évaluation du fonctionnement hydrologique des différentes occupations du sol, à travers l'utilisation d'une méthodologie pluridisciplinaire, dans le but d'estimer les capacités et les limites de diverses techniques de conservation des eaux et des sols dans l'atténuation du processus de désertification dans la commune de Sehoul.

Abstract

In this paper, we evaluated the hydrological functioning of the various land uses, through the use of a multidisciplinary methodology, in order to assess the capabilities and limitations of various water and soil conservation techniques in mitigating desertification process in the Sehoul commune.

Introduction

Malgré les multiples efforts déployés pour l'amélioration du bien être de la population de la commune de Sehoul, particulièrement dans le cadre du Projet de Mise en Valeur des terres en Bour (PMVB 2002- 2005) et le plan d'Horticulture dans le cadre du plan Maroc vert, il faut dire que les terres ne cessent de se dégrader, à la fois dans les parcours et dans les terres de cultures.

C'est pourquoi nous essayons dans cet article de contribuer à mettre en évidence les techniques, les pratiques et les formes d'occupation des terres, les plus prometteuses en termes d'amélioration des états de surface, permettant de régulariser le fonctionnement hydrologique, l'augmentation des rendements, des potentialités fourragères et la conservation de la biodiversité.

Pour ce faire, plusieurs mesures ont été effectuées, des mesures sur le terrain (de la végétation, de simulation de pluie, mesure du ruissellement et des états de surface du sol) et au laboratoire (la détermination de la production fourragère de la végétation, fertilité et stabilité de la structure des sols).

En fonction des formes d'occupation des terres, ces mesures ont été faites sous différents faciès de la forêt de chêne liège, dans des terrains de parcours, dans des terres agricoles et dans des parcelles plantées, particulièrement en olivier.

Les résultats de cette recherche peuvent permettre aux décideurs et aux acteurs locaux d'identifier les pratiques et techniques conduisant à la mise en place d'une gestion

¹ CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UM5A, Rabat

conservatoire du milieu et de développement durable de la commune de Sehoul qui fait partie du Bassin versant de Bouregreg (Fig. 1).

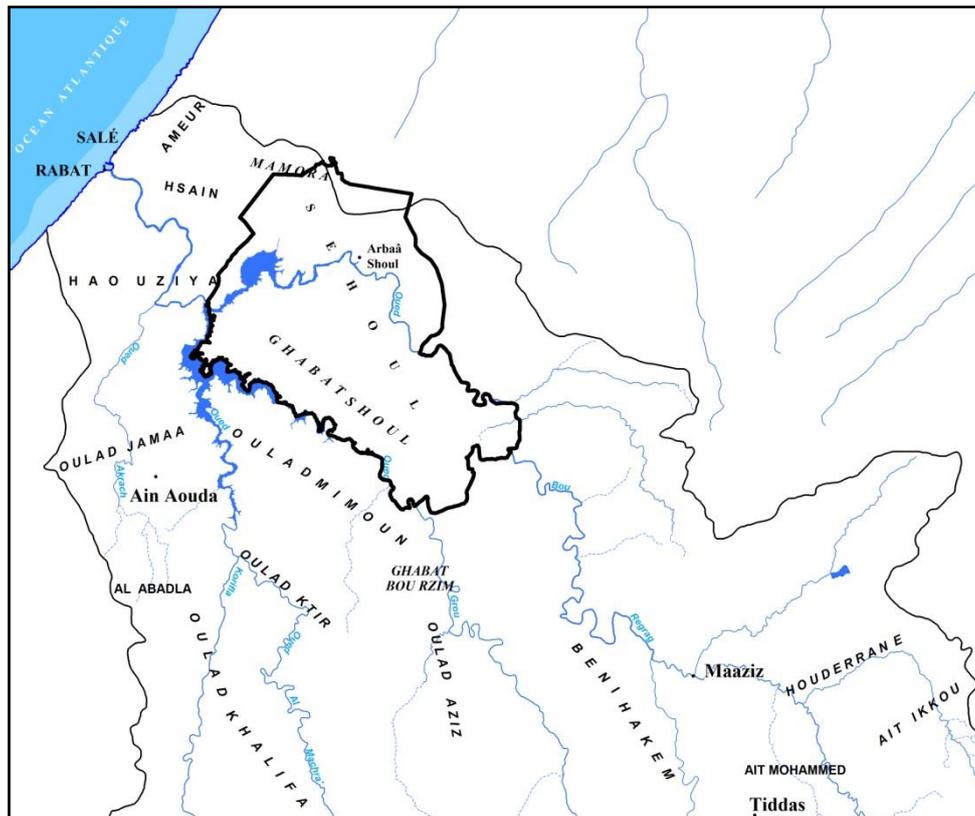


Fig. 1 : Situation de la zone d'étude, au sein des bas plateaux du bassin du Bouregreg

1- MATERIELS ET METHODES

1-1- SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

L'utilisation des terres de la commune est intégrée dans un système agro-sylvo-pastoral qui s'appuie sur 3 composantes (Fig. 3, Al Karkouri & al., dans ce volume, p. 57):

- l'espace forestier : forêt de chêne liège, de thuya, de matorral ou d'espèces plantées ;
- les terres de cultures : culture pluviale, culture irriguée et arboriculture;
- les terres de parcours hors forêts et anciens terrains abandonnés.

1-1-1- Sites d'échantillonnage dans les terrains forestiers

Les mesures ont été réalisées dans la forêt de Sehoul, limitée au Nord et Nord- Est par l'Oued Bouregreg, au Sud et Sud-Ouest par l'Oued Grou, à l'Est et à l'Ouest par les terrains agricoles des communes rurales de Sehoul, Moulay Idriss Aghbal et Ain Aouda.

La forêt est formée de trois cantons, Ain Khechba, Sidi Azzouz et Dar Saboune. Les formations végétales qui les constituent sont très diversifiées mais sont nettement dominées par le chêne-liège (57,33% de la superficie totale de la forêt).

Les 8 Sites d'échantillonnage sont situés en totalité au niveau du canton de Sidi Azouz où se localisent la majorité des placettes de régénération et de plantation. Ces 8 sites sont répartis comme suit (Tabl.1):

- 4 Sites situés dans des parcelles de chêne liège naturel de différentes densités (dense, normal, clair et épars),
- 2 Sites situés dans des parcelles de régénération assistée du Chêne liège,
- 2 Sites situés dans des parcelles de plantation artificielle d'Eucalyptus et de Pin.

Tabl. 1 : Répartition des sites d'échantillonnage dans la forêt de Schoul

Types de peuplements	Sites d'échantillonnage	Code
Chêne liège naturel	1- Chêne liège dense	CL Dense
	2- Chêne liège normal	CL Normal
	3- Chêne liège clair	CL Clair
	4- Chêne liège épars	CL Epars
Régénération assistée de Chêne liège	5- Régénération assistée de chêne liège mise en défens, âgée de 4ans en 2008	Reg1.MD
	6- Régénération assistée de chêne liège, ouverte au pâturage, âgée de 10ans en 2008	Reg2.OP
Reboisement artificiel	7- Reboisement d'eucalyptus	Eu
	8- Reboisement de pin	Pin

1-1-2- Sites d'échantillonnage au niveau des terrains agricoles

Dans les terrains agricoles, les mesures ont été réalisées dans **13 sites** d'échantillonnage

- 8 Sites situés sous cultures pluviales répartis comme suit :

Tabl. 2 : Répartition des sites d'échantillonnage sous cultures pluviales

Type de rotation	Culture précédente (2007)	Culture actuelle (2008)	Code
Légumineuses /Céréale	Fève	Blé	Fève/Blé
Céréale /Légumineuses	Blé	Fève	Blé/Fève
	Blé	Pois chiche	Blé/Pois chiche
Céréale/Céréale	Maïs	Blé	Maïs/Blé
	Avoine	Blé	Avoine/Blé
	Orge	Mais	Orge/Mais
Monoculture	Orge	Orge	Orge/Orge
	Blé	Blé	Blé/Blé

- 2 Sites situés au niveau de l'arboriculture
- 1 Site situés au niveau de cultures fourragères
- 2 Sites situés au niveau de la jachère

Tabl.3 : Sites d'échantillonnage dans les parcelles d'arboriculture, cultures fourragères et jachères

Utilisation du sol	Sites d'échantillonnage	Code
Arboriculture	parcelle d'olivier de 7 ans	Olivier 7ans
	parcelle d'olivier de 15 ans	Olivier 15ans
Cultures fourragères	Culture de lupin	Lupin
Jachère	Jachère d'un an	Jachère (1an)
	jachère ancienne (10 ans)	Jachère (10ans)

1-2-METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée est pluridisciplinaire, il s'agit de la réalisation de mesures sur le terrain (de la végétation, de simulation de pluie, mesure du ruissellement et des états de surface du sol) et au laboratoire (la détermination de la production fourragère de la végétation, fertilité et stabilité de la structure des sols), avec les phases suivantes :

- mesures quantitatives de la végétation, notamment du recouvrement et de la phytomasse aérienne des strates herbacées, arbustives et arborées, ainsi que de la diversité floristique;
- mesures qualitatives de la végétation pour la détermination de la production fourragère grâce à la réalisation d'analyses chimiques des matières minérale et organique, matière grasse, cellulose brute, matière azotée totale et la détermination de la digestibilité in vitro de la matière organique;
- analyse des sols et étude des processus physiques en cours, par observation de terrain, simulation des pluies, mesure du ruissellement sur parcelles expérimentales sous pluie naturelle et mesure d'infiltration;
- mesures des états de surface du sol, notamment l'humidité du sol, la cohésion du sol, la résistance à la pénétration, la pierrosité et le taux des surfaces encroûtées;
- mesures de la structure et fertilité des sols : le carbone organique, la matière organique et l'azote total.

1-3- METHODE D'ECHANTILLONNAGE

Les mesures ont été réalisées, durant la période mars-avril, lors de deux campagnes de mesure, la première en 2008 et la deuxième en 2009.

Le nombre des échantillons réalisés diffère selon le paramètre de mesure, le type d'utilisation du sol et la surface de la parcelle, alors que leur répartition est effectuée d'une manière aléatoire. L'exécution du relevé s'effectue chaque fois que l'on observe un changement de la végétation, de la pente, de l'exposition et de la nature de l'unité morpho-pédologique.

2- RESULTATS ET DISCUSSION

2-1- Domaine forestier : La technique de régénération du chêne liège

La forêt de Sehoul constitue un support fondamental pour le bétail, le pâturage en forêt étant une pratique ancestrale pour la population de la zone. Sa contribution dépend des conditions climatiques, de la saison et aussi de l'état de dégradation; son rôle devient plus déterminant pendant les années de soudure où la forêt reste le seul refuge des troupeaux. Malgré l'importance économique que revêt l'élevage dans la formation du revenu des ménages, il reste exclusivement traditionnel, caractérisé par l'exploitation du milieu naturel avoisinant, en particulier la forêt (Laouina et al., 2010a).

Les déplacements se font quotidiennement avec retour en fin de journée à l'exploitation. En effet, la durée de séjour en forêt de Sehoul est de 300 jours/an (EAFS, 2001). Alors que pour la

forêt d'Oued Tifsassine (Benslimane), la durée est de 245 jours/an (Machouri, 2005). Dans les douars usagers de la forêt de Sehoul, la pratique de l'association est un phénomène très courant. En effet, 12% des éleveurs déclarent avoir des contrats d'association avec des propriétaires d'origine citadine (EAFS, 2001). Ce qui constitue une entrave au développement de l'exploitation agricole familiale car les revenus tirés de l'association sont soustraits de la forêt pour s'ajouter aux revenus des citadins.

Le cheptel pâture dans la forêt de Sehoul constitue une charge pastorale qui dépasse de loin la charge d'équilibre. Cette charge pastorale représente l'une des principales causes de dégradation dans la mesure où elle entraîne la réduction considérable d'espèces végétales et animales du fait de la perturbation profonde qui touche leurs biotopes. Le coefficient de surpâturage, au niveau de la forêt de Sehoul est de 63%. Ce coefficient est largement supérieur à celui de la forêt d'El Harcha qui est de 42% (EAFS, 2001) et de la moyenne nationale (environ 35%).

Les signes de la dégradation de la forêt sont apparents. On peut constater l'ampleur du phénomène du dépérissement de quelques pieds d'arbres, des blessures et d'attaques parasitaires. De même, la dominance du ciste et de l'asphodèle, la diminution de l'abondance des espèces végétales et animales, la détérioration de la structure forestière et l'absence de régénération naturelle sont autant de manifestations de l'état de destruction de la vigueur et de l'intégrité de la forêt qui constitue un axe central pour toute initiative du développement de la zone.

L'absence de régénération naturelle du chêne liège pourrait être attribuée à différents facteurs, la pression très forte du parcours, le ramassage des glands, les prélèvements ligneux excessifs. En plus l'état dégradé des arbres ne permet pas de donner des fruits de qualité avec un pouvoir germinatif performant.

Devant cette situation les services forestiers, n'ont pas tardé à prendre des mesures d'urgence, en particulier l'intensification des travaux de la régénération assistée du Chêne liège (environ 100ha), dans les zones où cette espèce noble peut se reproduire.

Les résultats de l'évaluation ont montré que la régénération assistée de chêne liège présente plusieurs avantages sur le plan environnemental :

-Elévation du taux de recouvrement de la végétation herbacée

Les résultats du recouvrement moyen des herbacées, de la litière, et du sol nu obtenus par la méthode point quadrat montrent qu'au niveau de la parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens (Reg1.MD), on enregistre le recouvrement des herbacées le plus important, en moyenne de 70% de la surface du sol en 2008 et 82% en 2009. Et on enregistre le taux de sol nu le plus faible comparé aux valeurs des autres faciès de la forêt (seulement 1% du recouvrement total en 2008).

Au niveau de la parcelle Reg2.OP, ouverte au pâturage, le recouvrement des herbacées est plus bas, mais reste plus important (67,5% en 2008 et 76,5% en 2009), comparé aux autres parcelles de chêne liège ; le recouvrement moyen des herbacées dans la parcelle de chêne liège épars ne dépasse pas 21%.

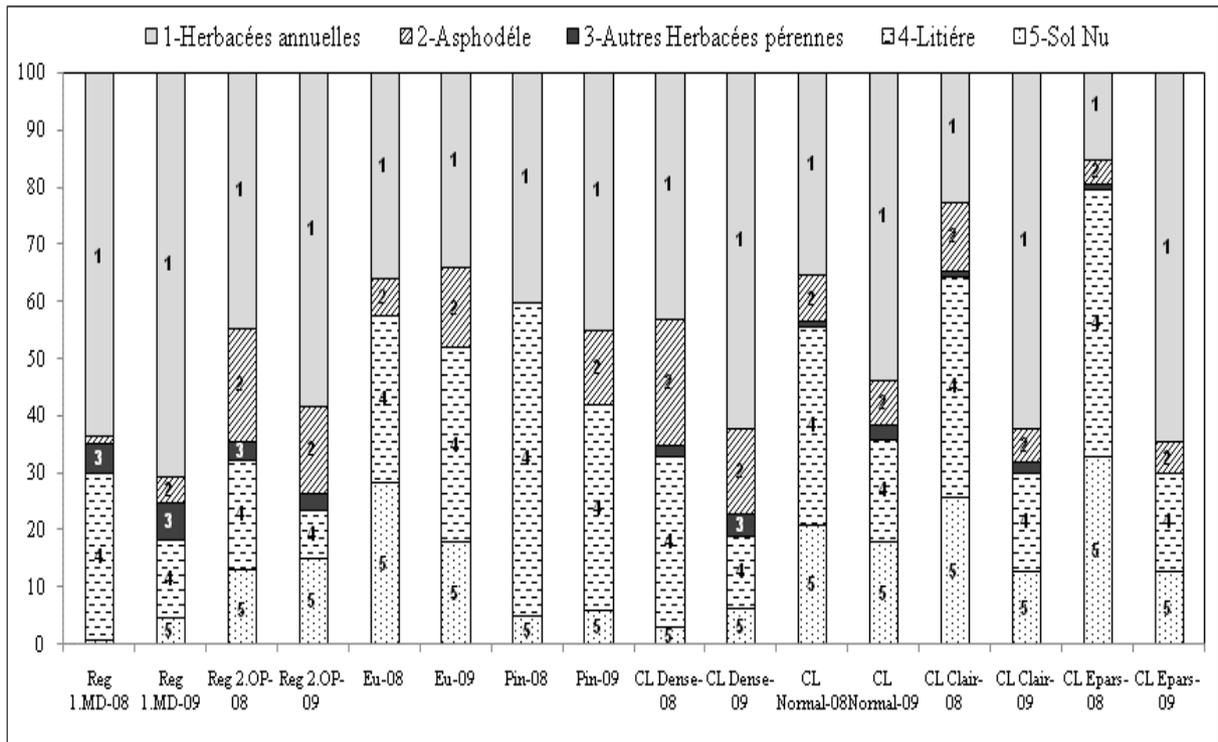


Fig. 2 : Recouvrement moyen des herbacées, de la litière et du sol nu dans la forêt de Sehoul (résultats de 2 mesures en avril 2008 et avril 2009)

- Augmentation du taux des herbacées pérennes

La parcelle de régénération mise en défens est la plus riche en espèces pérennes autres que l'asphodèle; ces espèces représentent 5% de la surface du sol, alors qu'elles ne représentent que 3% au niveau de la parcelle de régénération ouverte au pâturage et ne dépassent pas 1% dans la parcelle de Chêne liège normal (Fig. 2).

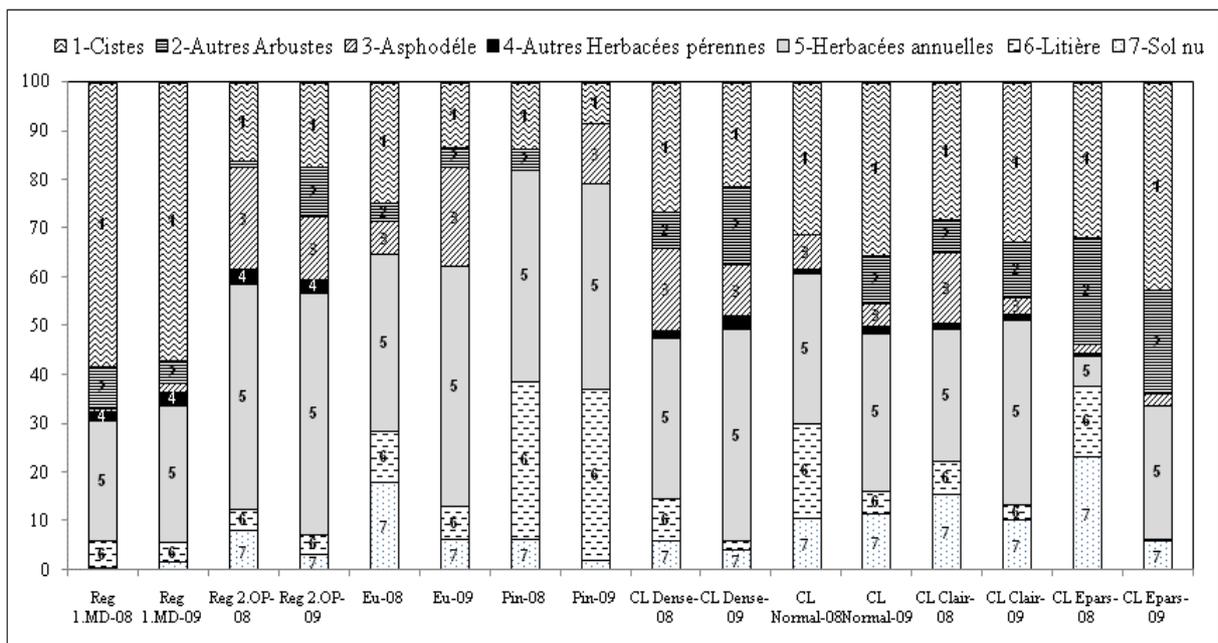


Fig. 3 : Recouvrement moyen des arbustes, des herbacées, de la litière et du sol nu dans la forêt de Sehoul (avril 2008 et avril 2009)

Ces résultats montrent qu'il y a une amélioration de la qualité de la végétation herbacée et signifient aussi que pendant la saison d'automne, le sol est protégé par cette végétation pérenne.

- Amélioration de la qualité fourragère du tapis herbacé

L'asphodèle est une espèce envahissante nitrophile et indicatrice de surexploitation du parcours forestier. On enregistre au niveau de la parcelle Reg1.MD le recouvrement le plus faible de l'asphodèle (seulement 1,4% du recouvrement total du sol en 2008). Alors que dès l'ouverture au pâturage, le recouvrement de l'asphodèle remonte à 20%, presque autant que dans la parcelle de chêne liège naturel.

-Réduction du taux de recouvrement des arbustes envahissants (Cistes)

Les résultats du recouvrement moyen des arbustes (Fig. 3), obtenus par la méthode d'interception linéaire montrent que le recouvrement des cistes est le plus faible dans la parcelle de régénération (seulement 17% de la surface du sol en 2009), alors qu'il atteint 42% dans le chêne liège épars.

-Augmentation de la biodiversité floristique

Du fait du caractère moins envahissant des cistes dans la parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens, le nombre d'espèces végétales devient plus important, soit 25 espèces/m². La parcelle Reg2.OP ouverte au pâturage, renferme 20 espèces/m², ce qui est important en comparaison avec le Chêne liège normal, clair et épars qui renferment respectivement 18, 19 et 16 espèces/m². Dans la parcelle de reboisement d'Eucalyptus et de Pin on enregistre le nombre le plus faible d'espèces, respectivement 13 et 14 espèces/m².

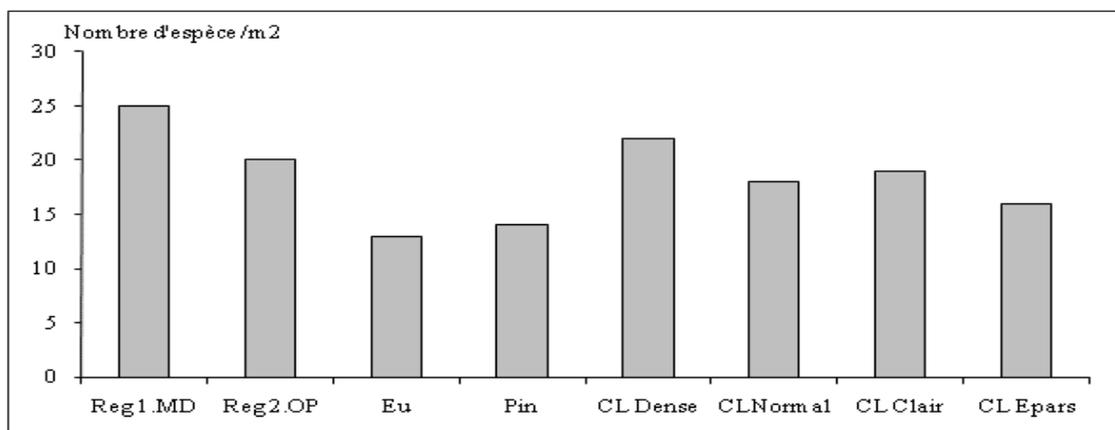


Fig. 4 : Biodiversité floristique au niveau de la forêt de Sehoul

- Augmentation de la biomasse végétale

La phytomasse totale (Herbacées+Arbustes) mesurée au niveau de la parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens Reg1.MD, est de 6619 KgMV/ha. Une bonne partie de cette phytomasse soit 68,5% (4537 KgMV/ha) est produite par les herbacées.

Dans la parcelle de régénération ouverte au pâturage, la phytomasse des herbacées est réduite à 2567 KgMV/ha, mais reste importante, en comparaison avec la parcelle de chêne liège épars où on enregistre seulement 466 KgMV/ha.

Au niveau de la parcelle de reboisement de Pin, on enregistre la phytomasse des herbacées la plus faible (250 KgMV/ha). Mais le taux très élevé de la litière (55% de la surface du sol) contrebalance celui de la strate herbacée et réduit le facteur érosif.

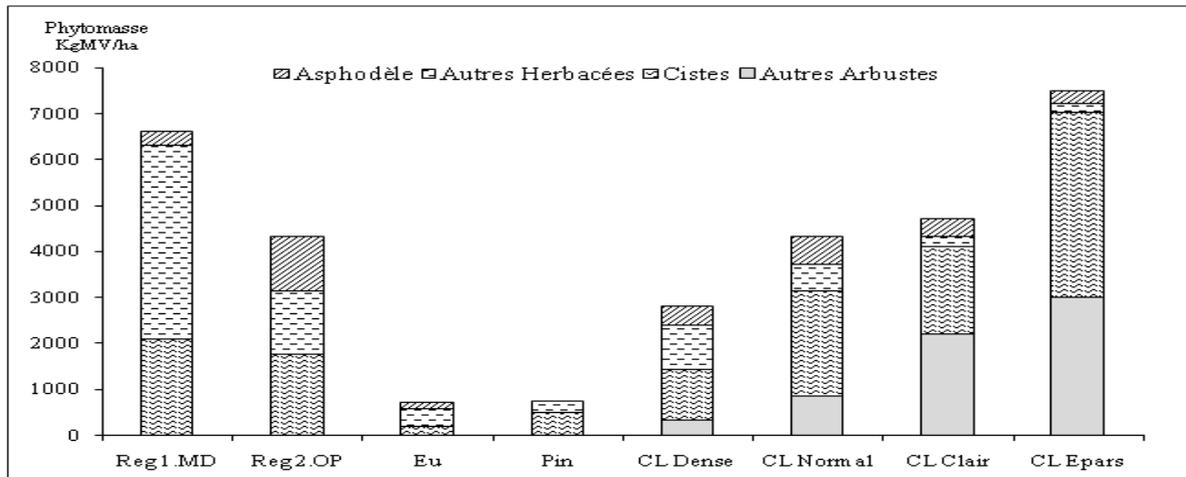


Fig. 5: La phytomasse totale des herbacées et des arbustes dans la forêt de Sehoul

-Amélioration des états de surface du sol

Dans la parcelle de régénération assistée de chêne liège mise en défens on enregistre le taux d'humidité le plus important (26,16%) alors qu'au niveau la parcelle de régénération ouverte au pâturage (Reg2.OP) ce taux ne dépasse pas 18.

-Amélioration de la fertilité du sol

Les teneurs importantes en matière organique, carbone organique et azote total au niveau de la parcelle de régénération (Reg1.MD), favorisent l'activité microbienne, ce qui permet une bonne structuration du sol et favorise l'infiltration. Après l'ouverture de la mise en défens, on remarque que ces teneurs deviennent plus faibles mais restent comparables à celles enregistrées au niveau de la parcelle de Chêne liège épars.

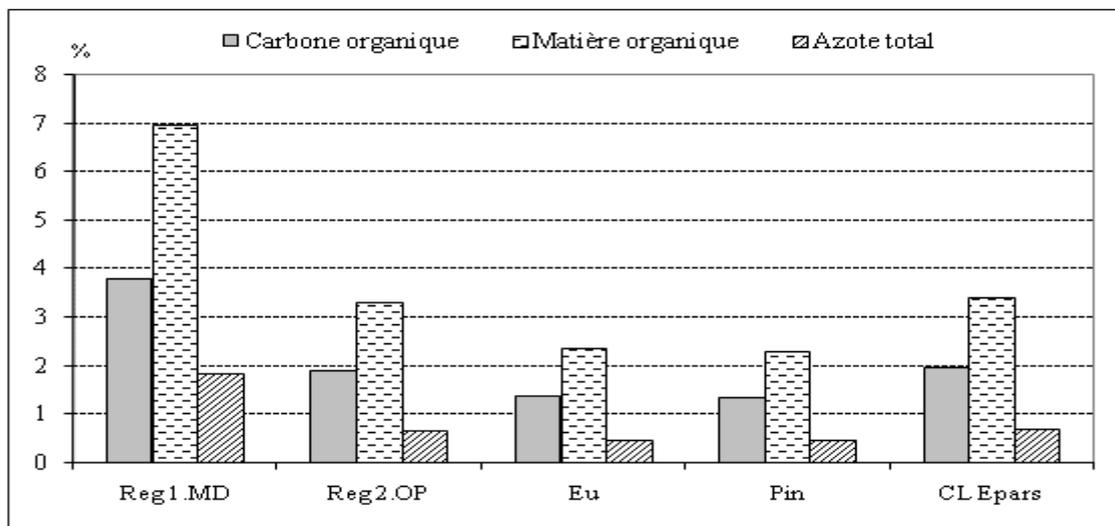


Fig.6 : Fertilité et matière organique du sol dans la forêt de Sehoul

- Infiltration, ruissellement et perte en terre

Dans la parcelle de régénération de chêne liège mise en défens, le taux d'infiltration initiale est 5 fois plus élevé que dans la forêt ouverte au pâturage. Au niveau de cette dernière il y a un refus de l'infiltration par hydrophobie, d'où le déclenchement fréquent du ruissellement et son possible débordement sur les terres agricoles avoisinant la forêt dégradée.

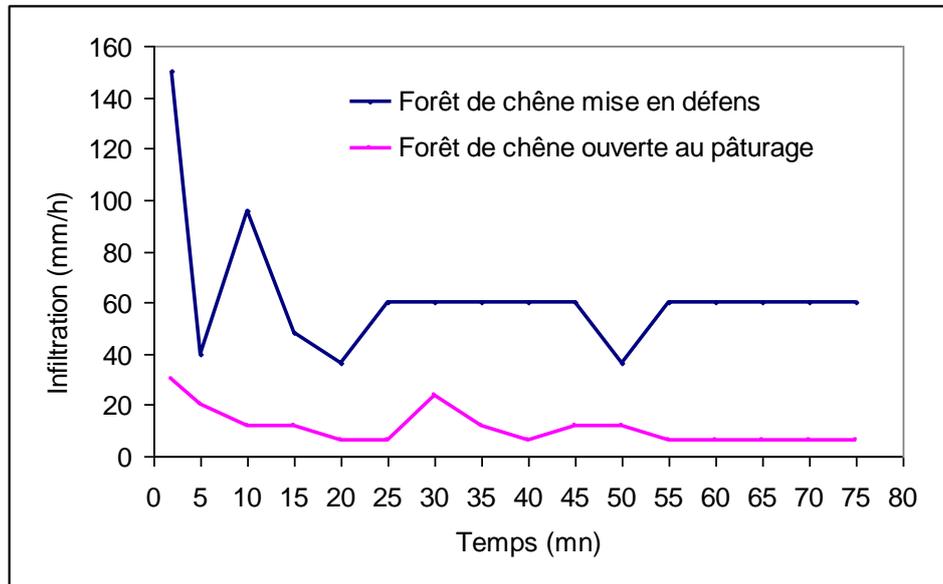


Fig.7 : Evolution de l'infiltration (avril 2008)

Le ruissellement se manifeste dès les six premières minutes dans la parcelle de régénération de chêne liège ouverte au pâturage (Fig.8), alors que la parcelle mise en défens (Reg1.MD) n'a pas ruisselé même après 60 min de simulation.

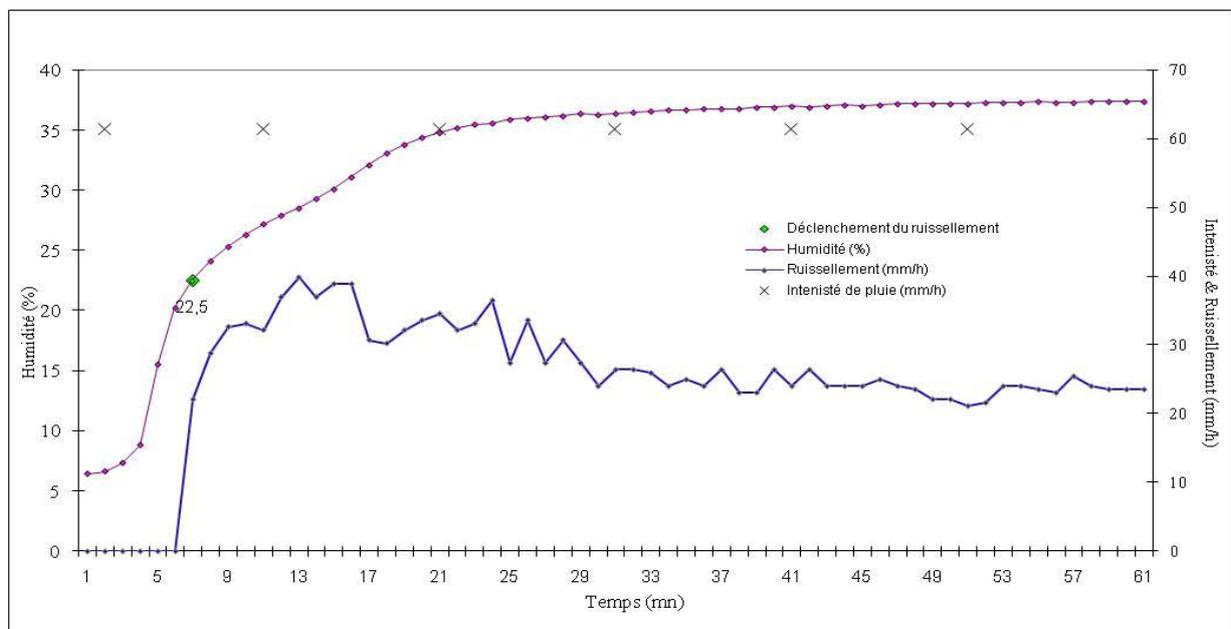


Fig.8 : Courbes du ruissellement et de l'humidité dans la parcelle de régénération de chêne liège ouverte au pâturage, lors d'une simulation de pluie de 65 mm/h d'intensité

Le coefficient de ruissellement atteint 18 % au niveau de la parcelle de régénération de chêne liège ouverte au pâturage (Reg 2.OP), alors qu'il ne dépasse pas 2% au niveau du chêne liège naturel. Le taux d'érosion est accentué par le parcours puisque le tassement du sol du fait du piétinement des troupeaux venus des douars limitrophes a été enclenché dès que cette parcelle a été récemment ouverte au pâturage après 9 ans de mise en défens qui avaient permis le développement d'un recouvrement important des herbacées (76,5%).

2-2-Les rotations culturales céréales / légumineuses dans le bour

La rotation culturale constitue une évolution positive dans le système de culture céréalier, dans une logique d'utilisation optimale du capital terre. Sur le plan environnemental, les indicateurs de structure du sol, de recouvrement végétal et de fertilité donnent un certain avantage en matière d'équilibre des terres là où est pratiquée la rotation culturale.

-Accroissement de la protection du sol en lui procurant une meilleure couverture végétale

Dans les champs de céréales du plateau Oulad Aziz, à la suite d'un précédent de légumineuses, le recouvrement végétal du sol atteint plus de 65%, alors que dans les champs de monoculture, ce recouvrement ne dépasse pas 52%.

-L'amélioration de la fertilité du sol

La rotation avec des légumineuses favorise la fixation d'azote dans le sol ; le taux de matière organique s'améliore aussi progressivement.

Tabl. 4 : Le taux de matière organique et d'azote dans différents types de rotation

Type de rotation	Culture précédente	Culture actuelle	Taux de matière organique (%)	Taux d'azote (%)
Légumineuses /Céréale	fève	Blé	2,21	0,11
Céréale/Légumineuses	blé	fève	1,12	0,06
Céréale/Céréale	maïs	Blé	1,6	0,08
Monoculture	Orge	Orge	1,0	0,05

- Ruissellement et perte en terre

Au cours de la simulation, la parcelle de rotation Légumineuses/ Céréale, le ruissellement s'est déclenché après 65min de simulation (Fig.9). Alors qu'au niveau de la parcelle Céréale/Céréale le ruissellement s'est déclenché dès les dix premières minutes de simulation (Fig.10).

Le déclenchement tardif de ruissellement dans la rotation légumineuses/Céréale, est lié essentiellement à la rugosité de surface, du fait de la façon culturale qui multiplie les ruptures de pente et les formes de remblais, ce qui réduit la longueur de pente locale ; le taux de recouvrement du blé du fait de la fertilisation naturelle joue un rôle important dans l'atténuation du ruissellement à travers l'interception de l'énergie cinétique des gouttes de pluie.

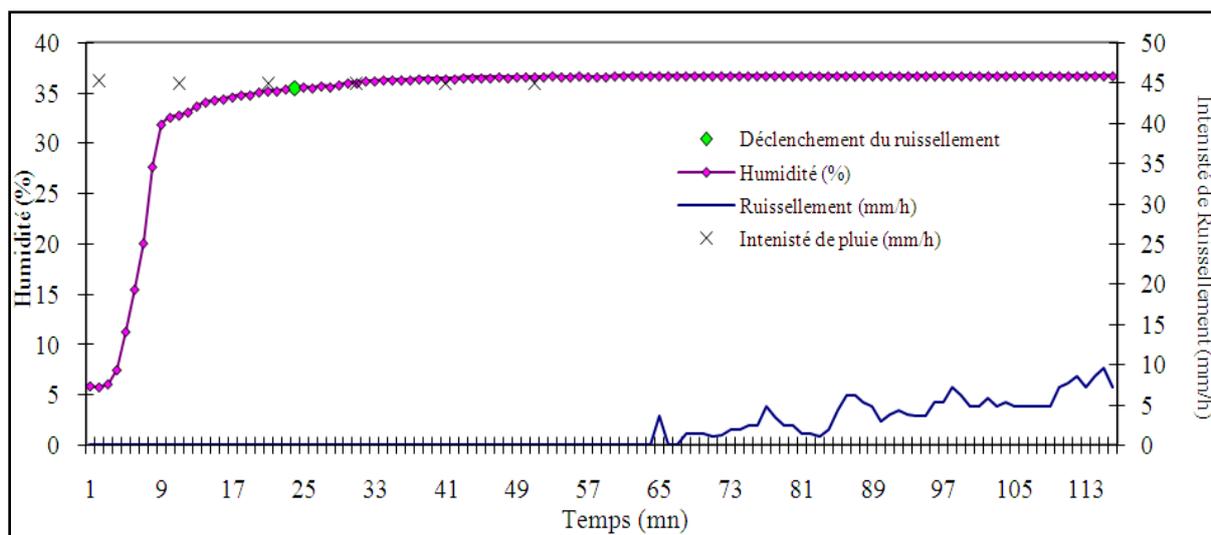


Fig.9 : Evolution du ruissellement et de l'humidité dans la parcelle de rotation fève/blé tendre

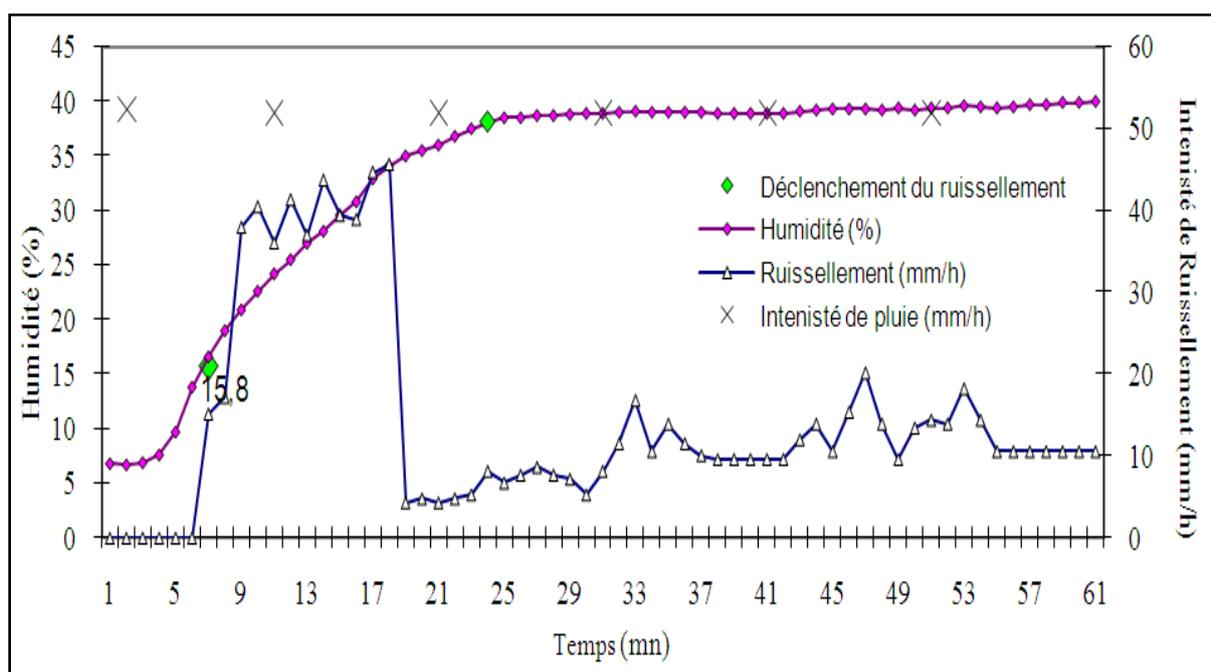


Fig.10: Evolution du ruissellement et de l'humidité dans la parcelle de rotation blé/avoine

Le coefficient de ruissellement dans la parcelle fève/blé tendre est de l'ordre de 2,5%, alors qu'il atteint 8,6% dans la parcelle de rotation blé/avoine. Ceci peut être expliqué par la présence de la croûte de battance qui occupe tout l'espace malgré l'existence d'un couvert végétal dense d'avoine.

Tab. 5 : Perte en terre dans différents types de rotation

Type de rotation	Culture précédente	Culture actuelle	Coefficient Ruissellement en %	Taux d'érosion (g/h/m ²)
Légumineuses/ Céréale	Fève	Blé tendre	2,5	0,42
Céréale/Céréale	Blé	Avoine	8,6	1,92

2-3- Les rotations culturales céréales / légumineuses fourragères, exemple du lupin

Le lupin montre une parfaite adéquation avec les milieux fragiles par ses caractéristiques biologiques et constitue une aubaine pour les agriculteurs de la commune de Sehoul du fait qu'il peut être à la fois utilisé comme fourrage vert, comme moyen de lutte contre la dégradation et de régénération des sols et enfin comme produit rentable via sa commercialisation.

-Une meilleure couverture végétale

Par son feuillage dense le lupin permet un bon recouvrement du sol, plus d'infiltration et une réduction de ruissellement. Le recouvrement des herbacées dans la parcelle de lupin atteint 65%, alors qu'il ne dépasse pas 49% dans la jachère d'un an, 38% dans la jachère de 10ans et seulement 24% dans les reliquats de matorral dégradé.

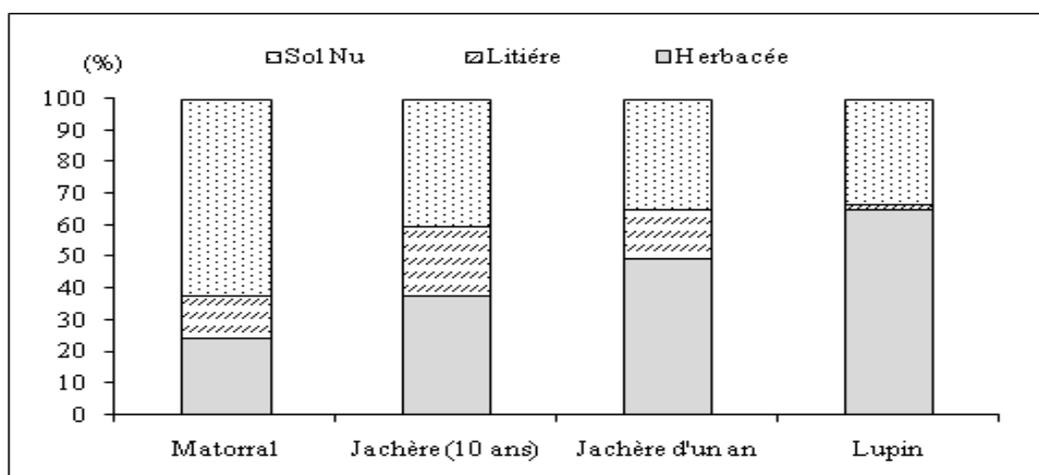


Fig.11 : Recouvrement du sol

-Augmentation du taux de matière organique dans le sol

Au niveau de la parcelle de lupin, le taux de la matière organique atteint 1,46%, supérieur au taux enregistré dans les parcelles de jachère, d'avoine et d'orge, mais inférieur à la jachère de 10 ans. Le lupin, plante nitrophile, enrichit par ailleurs le sol en azote.

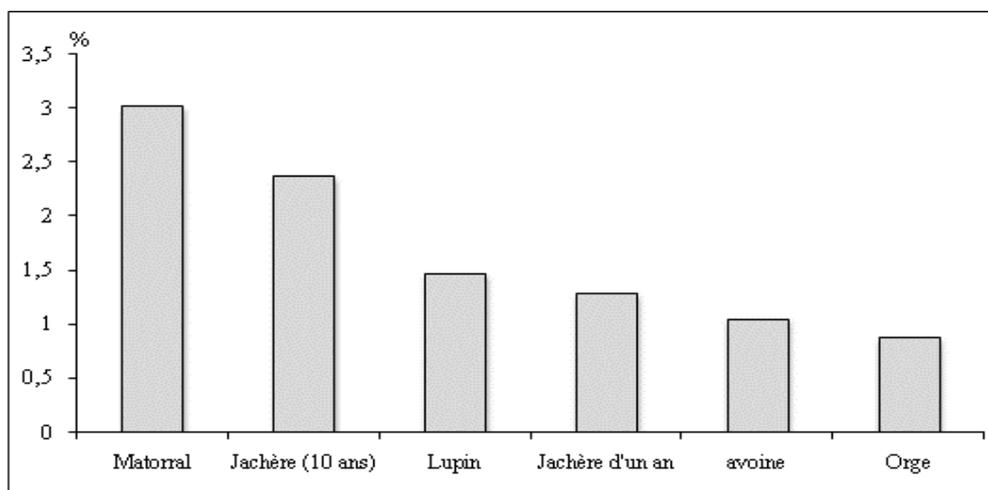


Fig.12 : Taux de matière organique dans le sol

-Augmentation de la production fourragère

Comparé à d'autres cultures fourragères le lupin permet une amélioration en production fourragère et en phytomasse. On y enregistre la phytomasse d'herbacées la plus importante (34275KgMV/ha), contre 18583 KgMV/ha dans la parcelle d'orge, culture fourragère la plus répandue dans la région.

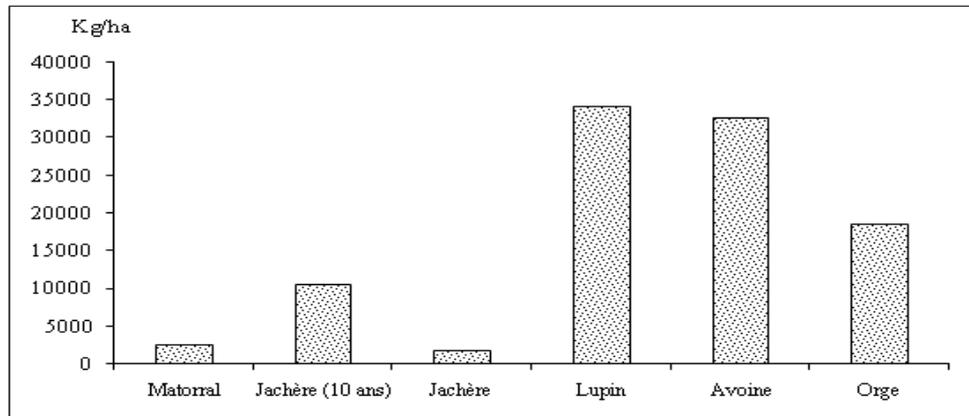


Fig.13 : Phytomasse verte

- Réduction du ruissellement

Le lupin joue un rôle important dans la conservation des eaux et sol, il améliore nettement le drainage du sol puisque les champs cultivés en lupin ruissellent moins que les autres occupations du sol. Les mesures sur micro-parcelles, sous pluie naturelle indiquent que pour les mêmes événements pluvieux la parcelle cultivée de lupin ruisselle beaucoup moins que les parcelles de blé, jachère ou friche et beaucoup moins que le sol nu caillouteux.

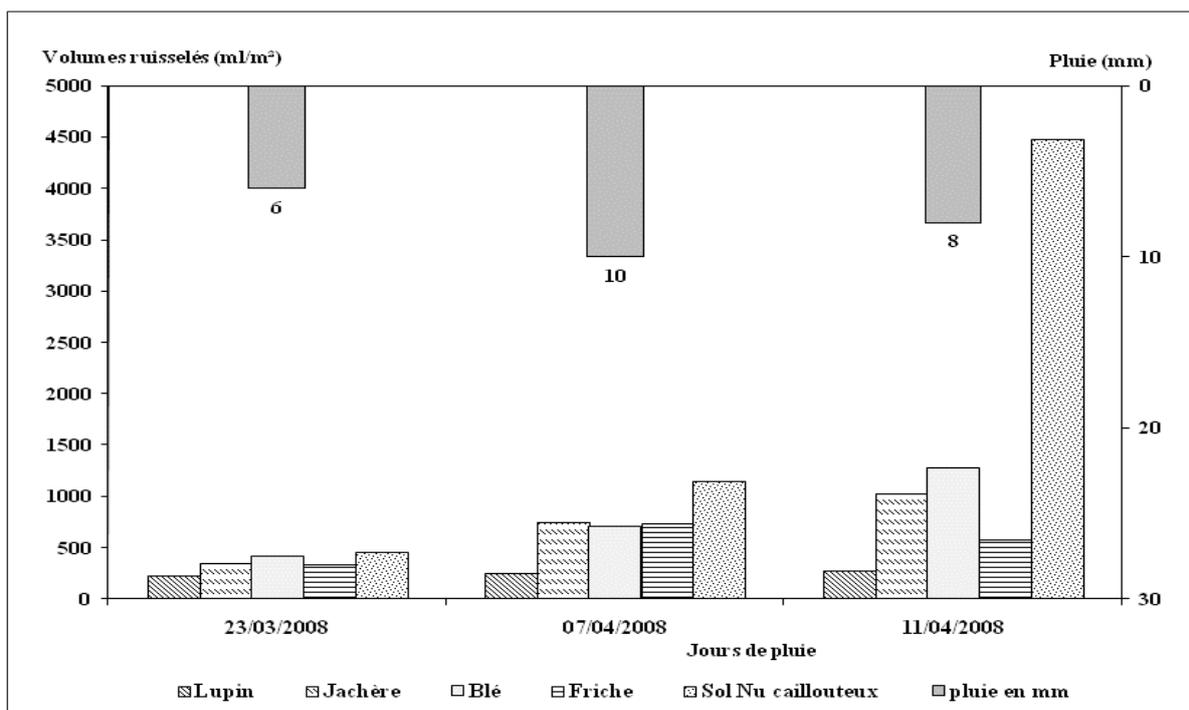


Fig.14 : Résultats de mesure sur parcelle sous pluie naturelle

2-4-L'arboriculture pluviale associée à une culture annuelle (exemple : l'oléiculture)

L'oléiculture est une activité culturale encore timide au niveau de Sehou, comparativement aux zones montagnardes ou aux périmètres irrigués qui connaissent une dynamique oléicole très importante. Mais, une évolution remarquable s'opère aujourd'hui, suite à des facteurs multiples notamment l'influence des capitaux investis depuis les villes avoisinantes, la multiplication des fermes d'origine citadine et l'intervention de l'Etat (subventions et encadrement technique).

Dans la commune Sehou, l'olivier est la deuxième espèce fruitière plantée derrière la vigne. Il est soit cultivé seul, soit en association avec d'autres espèces fruitières. Dans le cadre du projet de mise en valeur en bour (PMVB), il a été recommandé de le planter en intercalation et en ligne, dans des champs de cultures annuelles, d'une part pour améliorer la productivité de ces champs et dans une perspective de CES.

L'arboriculture pluviale associée à une culture annuelle présente plusieurs avantages :

-Amélioration de l'état de surface du sol

Au niveau de la parcelle d'olivier de 15 ans, le taux d'humidité dépasse le taux enregistré dans la céréaliculture seule. Ceci peut être expliqué par le recouvrement important des arbres qui atteint 65% dans la parcelle plantée il y a quinze ans.

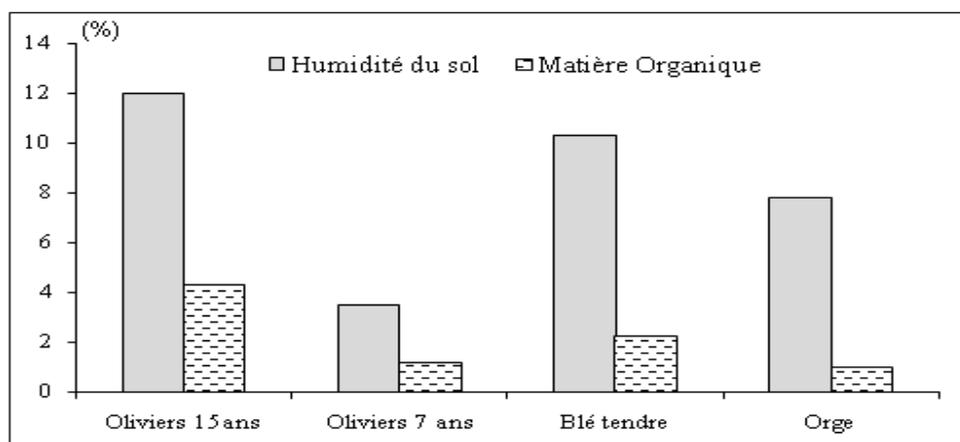


Fig.15 : Taux d'humidité du sol et taux de la matière organique

-Amélioration de la structure du sol

Au niveau de la parcelle d'olivier de 15 ans, on a enregistré le taux de matière organique le plus important (4,31%), dépassant ainsi le taux enregistré dans les parcelles de céréaliculture et de légumineuses. Ceci peut être expliqué par l'apport régulier du fumier et la présence des feuilles des arbres.

- Réduction du ruissellement et amélioration de l'infiltration

Au niveau de la parcelle d'avoine le ruissellement s'est déclenché dès les dix premières minutes, alors que la parcelle d'olivier n'a pas ruisselé après 60min de simulation. Ceci s'explique essentiellement par le procédé de plantation (alignement des arbres), l'installation des impluviums qui jouent le rôle de petits réservoirs captant une partie de l'eau ruisselée,

mais aussi par le labour en courbes de niveau favorisant l'infiltration et par l'arrêt du tassement que provoquait le troupeau dans les champs et la conservation de résidus de culture dans les espaces non pâturés séparant les lignes d'arbres.

3- CONCLUSION

L'évaluation des pratiques actuellement existantes dans la région de Sehoul aboutit à un certain nombre de recommandations en termes de viabilité et de pertinence.

Dans la régénération assistée de chêne liège, le coût élevé de mise en place et les contraintes sociales de parcours font que les opérations de régénération restent de l'ordre de l'expérimentation, sur de toutes petites surfaces. Or, c'est réellement à ce jour, la seule technique de réhabilitation possible pour le chêne liège, du fait du vieillissement de la formation et de l'absence totale de régénération naturelle par semis.

La pratique de la rotation culturale contribue à la conservation de l'eau et à l'amélioration de la structure du sol et de sa stabilité structurale ainsi que l'amélioration de sa fertilité. En plus la rotation permet l'accroissement de la protection du sol et la réduction de la perte en terre. Les légumineuses fourragères contribuent à l'alimentation du bétail. L'intérêt du lupin est double car son apport en protéines est élevé et il permet la valorisation des terres légères, en raison de sa capacité à pousser sur les sols dégradés; les reliquats azotés valorisent la culture suivante.

La rotation culturale a aussi des avantages économiques, notamment la diversification de la gamme des cultures pratiquées, ce qui offre la possibilité de réduire le risque des mauvaises récoltes, l'amélioration du niveau de rendement des céréales en grain et en paille et la baisse des quantités d'engrais utilisés.

L'arboriculture : est une technique de CES qui ne peut être favorable en terme de protection et conservation des sols qu'après plusieurs années d'installation (plus de 7ans); par ailleurs elle peut présenter un conflit avec le pâturage qui donne un revenu immédiat, quoique en baisse continue.

L'olivier a aussi un impact bénéfique sur la population locale, à travers l'apport en fruits, en huile et en bois. Il contribue à l'amélioration des conditions sociales, des revenus et de la nutrition, dans un milieu semi-aride où la nappe phréatique est une ressource limitée, souvent tout juste suffisante pour l'approvisionnement en eau potable. C'est donc une alternative intéressante pour la diversification de la production. Mais l'arboriculture pose le problème de sa compétition avec les activités pastorales, tradition première de la région. Elle suppose la mise en place de clôtures coûteuses métalliques ou en figuier de barbarie. Le besoin en fumier pour fertiliser l'arboriculture oriente par ailleurs, vers la stabulation du troupeau.

Références bibliographiques

Aderghal M., Chaker M., et Laouina A. (2012). Evaluation des projets de lutte contre la dégradation des terres : la commune des Sehoul (Maroc), Séchresse vol.23, n°83, p.211-218.

- EAFS, 2001. Etude d'aménagement de la forêt de Sehoul 2001. Procès verbal d'aménagement (Volume 1). Direction régionale des eaux et forêts du Nord-Ouest à Kénitra, Service provincial des eaux et forêts de Rabat.
- Laouina A., Coelho C., Ritsema C., et al (2004). Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le Contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc). *Sécheresse* 2004; vol.15, n°1, p. 66-77.
- Laouina A. (2007). La gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, essai de distribution spatiale. In : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc*. Rabat : Pôle de Compétence RELOR /Chaire UNESCO-GN, FLSH.
- Laouina A. (2010) Conservation des eaux et des sols au Maroc, la prise en compte de la diversité géographique, *Norois*, 214, 85-99.
- Laouina A., Aderghal M., Al Karkouri J., Antari M., Chaker M., Laghazi Y., Machmachi I., Machouri N., Nafaa R., Naïmi K., Nouira A., Sfa M. (2010a). The efforts for cork oak forest management and their effects on soil conservation, the Sehoul plateau, Rabat region, Morocco. *Forest System*, 19, 2, p.263-277.
- Laouina A., Aderghal M., Al Karkouri J., Chaker M., Machmachi I., Machouri N. & Sfa M. (2010b). Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres, le cas du secteur Sehoul, région atlantique, Maroc. *Science et changement planétaire/Sécheresse*. Volume 21, Numéro 4, 309-316.
- Machouri N., (2005). Potentialités pastorales et systèmes d'exploitation des zones forestières et périforestières. Evaluation en vue de l'élaboration d'une stratégie de développement durable participatif. Thèse de Doct, Option : Gestion de l'Environnement et Développement Durable. Chaire UNESCO-GN. Univ. M^{ed} V, FLSH. Rabat et Univ. de Ca' Foscari. Venise. Italie.2005 ; pp. 444.
- Machouri N., et Laouina A., (2008). Les phénomènes d'érosion dans les espaces forestiers et périforestiers: entre fragilité naturelle, actions anthropiques et techniques de gestion forestière. Actes de la rencontre scientifique sur «L'érosion anthropique au Maroc: Méthodes d'étude, extension et processus». Groupe Pars Géo 14, Université Ibn Tofail, FLSH, Kenitra. p. 83-94
- Machouri N., Nafaa R., Laouina A., (2008). Problématique de dégradation des subéraies atlantiques Marocaines. Les deuxièmes Assises de la Recherche Forestière: Réhabilitation des forêts de chêne liège. *Annales de Recherche Forestière au Maroc*. Tome (spécial) 39. pp 74- 84
- Machouri N., (2009) : Les subéraies marocaines face aux changements climatiques et actions anthropiques. Actes du du 14^{ème} colloque international du SIFEE «Changement climatique et Evaluation environnementale» Niger (Niamey), Publication du SIFEE et IEPF- Canada. Collection évaluations environnementales, volume 8.
- Mahe G., Benabdelfadel H., Brou T., Chaker M., Coupleux S., Crouzevialle R., Dieulin C., Djilali B., Emran A., Ezzaouini M., Goussot E., Hallouz F., Khomsi K., Laouina A., Machouri N., Maleval V., Meddi M., Planchon O., Remini B., Saadi H., Sfa M., Sinan M., Snoussi M., Taïbi S., Toumi S., trabi A., 2013. Occupation du sol sur deux grands bassins d'Algérie et du Maroc, transport sédimentaire et barrages. Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management Proceedings of H09, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 362, 2013).
- Ministère de l'agriculture du développement rural et des Eaux et Forêts (MADREF), 2002. Projet de Mise en Valeur en Bour (PMVB) de la commune de Sehoul (Rapport).

ECHELLES D'ÉVALUATION DE LA DYNAMIQUE ET DE LA GESTION DES TERRES¹, du territoire social au bassin-versant expérimental

**Abdellah LAOUINA², Miloud CHAKER², Mohamed ADERGHAL²,
Nadia MACHOURI² & Jamal Al KARKOURI³**

Résumé

L'analyse et l'explication des processus nécessite des analyses et mesures à diverses échelles et l'intégration de méthodologies diverses. La mesure hydrologique, pour être corrélée efficacement à des processus agronomiques par exemple, nécessite d'être conduite à l'échelle de micro-bassins versants expérimentaux ; par contre l'analyse sociale des changements mérite d'être appréhendée à l'échelle d'un territoire plus étendu. L'approche multi-scalaire emboîtée a l'avantage de permettre sur un même ensemble spatial, de mener des évaluations qui se complètent, afin de dégager des perspectives d'aménagement.

A l'échelle d'un petit bassin, correspondant grosso modo à la taille d'une fraction tribale (quelques km²), la méthode de recherche se fonde sur l'observation et la mesure de paramètres de surface du sol, des paramètres de végétation dans diverses parcelles forestières, pastorales et agricoles et la description des techniques agricoles ou forestières, l'analyse de leur environnement et leur évaluation en termes de conservation de l'eau et du sol. C'est à cette échelle homogène qu'est conduite l'analyse sociale.

A l'échelle d'un micro-bassin versant (moins de 100 ha), le travail se fonde sur la mesure des pluies avec un pluviographe précis, doté d'un data logger enregistreur. Le ruissellement est enregistré au débouché, sur un déversoir équipé d'un limnigraphe avec data logger. A ce format, des expérimentations agrologiques et de gestion des terres peuvent être menées, en synergie avec les mesures hydrologiques, pour en évaluer l'effet.

A l'échelle d'une région de plus grande taille, une commune par exemple, la caractérisation des paramètres physiques et de l'utilisation des terres, intégrées dans un modèle physique, combiné à un modèle économique, permet de tirer des conséquences de recommandations d'aménagement, par la méthode de remontée d'échelle.

Abstract

The analysis and explanation of the processes require analysis and measurements at various scales and integration of various methodologies. Hydrological measurement, to be correlated effectively with agronomic processes for example, needs to be taken to the micro-scale experimental watersheds; while the social change analysis should be understood at the level of a larger territory. The multi-scalar approach fitted to the advantage of allowing a same spatial region to conduct assessments that complement, in order to identify development opportunities.

At the scale of a small catchment, corresponding to the size of a tribal fraction (a few km²), the research methodology is based on the observation and measurement of surface parameters of soil, vegetation parameters in various forestry, pastoral and agricultural plots and the description of agricultural and forestry techniques, analysis of their environment and their evaluation in terms of water and soil conservation.

At the scale of a micro-watershed (less than 100 ha), the work is based on the measurement of rainfall with an accurate rain gauge, with a data logger recorder. Runoff is recorded downstream, over a weir with a water level recorder with data logger. In this format, the agrological experiments and land management can be carried out in synergy with hydrological measurements, to assess the effect of management.

At the scale of a larger region, the one of the Sehoul commune, the characterization of physical parameters and land use, integrated into a physical model, combined with an economic model allows us to draw the consequences of recommendations development, by the upscaling method.

¹ Cet article a bénéficié des travaux de terrain de deux doctorants, Issam Machmachi et Hadana Reddad et de l'appui technique et cartographique de Mohammed Sfa, Kacem Naïmi et de Issam Machmachi.

² Equipe de la Chaire UNESCO-GN, CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, UM5A, Rabat.

³ Equipe de la Chaire UNESCO-GN, Professeur à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Kénitra

Introduction

Afin de réussir le défi de lutte contre la dégradation des terres et des ressources naturelles, pouvant mener à des situations de crise et à la désertification, il est important que la dynamique de l'eau et des terres soit analysée avec précision (Laouina, 1998 ; Laouina & al., 1993) et que des aménagements pour répondre à cette dynamique, en fonction des conditions du milieu, soient conçus puis adoptés et appropriés par les acteurs locaux, grâce à la démonstration, à la fois de leur efficacité environnementale et de leur efficacité en terme de développement (Roose, 1994).

Pour cela, il faut identifier, dans chaque territoire et avec la participation des acteurs locaux, les stratégies existantes ou potentielles, de gestion des terres, comportant une dimension de conservation des eaux et des sols, les évaluer sur les plans économique, social et écologique, selon un protocole fiable et unifié, intégrant à la fois les impacts immédiats et ceux sur le long terme (Aderghal & al., 2012 ; Roose, 1994 ; Schwilch & al., 2012 ; WOCAT, 2012). On pourra alors voir se concrétiser, chez les exploitants, une conscience capable de choisir puis adopter durablement, les stratégies les mieux adaptées au contexte local (Wafteh & al., 2007).

Ce travail doit obligatoirement se faire à petit format (Antari, 2007). L'analyse et l'explication des processus nécessite des mesures à diverses échelles et intégrer des méthodologies diverses. La mesure hydrologique, pour être corrélée efficacement à des processus agronomiques par exemple, nécessite d'être conduite à l'échelle de micro-bassins versants expérimentaux ; par contre l'analyse sociale des changements mérite d'être appréhendée à l'échelle d'un territoire plus étendu. L'approche multi-scalaire emboîtée a l'avantage de permettre sur un même ensemble spatial, de mener des évaluations qui se complètent, afin de dégager des perspectives d'aménagement.

1-Méthodologie

Dans le cadre du programme de recherche international DESIRE « DESERT REMEDIATION », financé par l'Union Européenne, l'équipe marocaine⁴ a lancé en 2007, un projet pilote de recherche / développement sur le territoire de la commune des Sehoul (Fig. 1), un espace proche de la capitale, mais où se conjuguent à la fois, une situation de déficit en terme de développement humain et un état critique de dégradation des ressources expliquant, en partie, la tendance à l'abandon de larges terrains.

Le projet DESIRE a visé, à travers l'identification des déficits en terme de développement et des processus de dégradation des ressources naturelles qui leur sont liés, à mettre en place, en partenariat avec les acteurs locaux, notamment les paysans, des actions socio-économiques et d'environnement, capables de relever à la fois les défis de la marginalité et de la désertification.

Cette approche participative (Schwilch & al., 2012) doit assurer l'acceptabilité et la faisabilité des techniques de conservation et de gestion et en même temps garantir l'efficacité de ces techniques, démontrée sur des bases scientifiques et à différentes échelles.

⁴ Equipe marocaine du projet européen DESIRE, Chaire UNESCO-GN, CERGéo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Univ. Mohammed V, Rabat

En effet, et pour assurer un minimum d'implication des acteurs locaux, les stratégies de production existantes ont été identifiées en partenariat avec les groupes d'acteurs, pour évaluer leur efficacité environnementale et leur intérêt économique. Puis, des actions pilotes ont été sélectionnées par les acteurs locaux, et ont été testées localement, à l'échelle d'exploitations appartenant à des agriculteurs volontaires. Cette expérimentation a été conduite, en vue de s'assurer des avantages écologiques, économiques et sociaux de ces actions simples et faciles à reproduire, et pour faciliter leur adoption progressive par d'autres exploitants. La démarche était que ces alternatives soient appliquées à très petit format, suivies et modélisées, dans un objectif de démonstration. L'une des composantes de cette démonstration a été le «monitoring participatif», réalisé avec la contribution des paysans impliqués eux-mêmes.

Les résultats sont traduits en recommandations pour de bonnes pratiques de gestion des eaux et des terres et un aménagement environnemental adéquat et ont été disséminés au travers d'un atelier final regroupant les divers acteurs. Par la suite, les résultats du suivi et de ces modèles ont été extrapolés à l'échelle d'une région, grâce à l'usage d'indicateurs auparavant définis, puis intégrés dans une vision combinant les aspects socio – économiques et environnementaux.

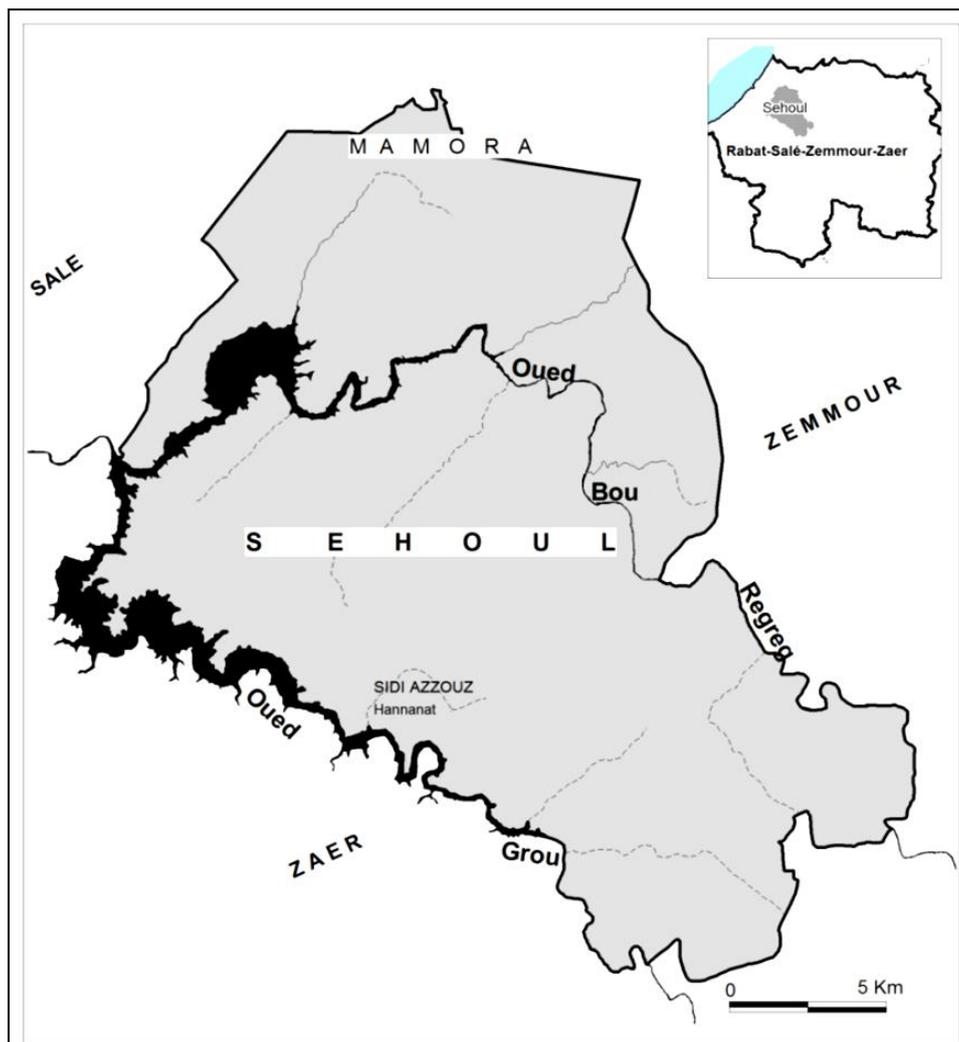


Fig. 1 : Croquis de localisation

Caractérisation des sols et des états de surface et évaluation des pratiques

La méthode de recherche s'est fondée sur l'observation et la mesure, dans le bassin de Sidi Azzouz (fig. 2, 3, 4), au SW du plateau Sehoul, de paramètres de surface du sol, la récolte de données climatiques de stations, des mesures de la végétation dans diverses parcelles forestières, pastorales et agricoles (Beaudet, 1969 ; Ghanem, 1978 ; MADPRM, 2006).

L'évaluation a visé la description des techniques agricoles ou forestières, ayant une composante conservatoire de l'eau et du sol, l'analyse de leur environnement et de leurs caractéristiques :

- Recouvrement végétal du sol : densité, espèces, disposition, précocité, intercalations ;
- Etat de surface du sol : indicateurs physiques de tassement, de degré d'ouverture, de compacité, d'encroûtement ;
- Matière organique du sol, structuration et fertilité ;
- Dynamique de l'eau : infiltration, recharge de la nappe, ruissellement et perte en sol, qualité de l'eau et effets hors-site ;
- Environnement humain et utilisation des terres : démographie, foncier, niveau de richesse, part de l'Agriculture dans le revenu, accès aux services et équipements ;
- Rentabilité économique de la technologie: comparaison des frais et des bénéfiques en terme de rendement et de diversification, avec et sans la technologie, rentabilité par rapport aux coûts de mise en place initiaux et de maintenance ;
- Effets socioculturels : renforcement des institutions, amélioration des connaissances, bien-être des populations.

Ces observations et mesures ont été appliquées à un certain nombre de pratiques et de techniques de gestion, en suivant assez scrupuleusement la méthode préconisée par WOCAT (WOCAT, 2007 ; 2012) et sur un nombre d'échantillons suffisant pour une certaine représentativité.

Mesures hydrologiques et expérimentation de nouvelles formes de gestion des terres

La mesure des pluies a été réalisée avec un pluviographe doté d'un data logger enregistrant des basculements suite à 0.25 mm de pluie. Le ruissellement est enregistré au débouché du micro-bassin versant de Hannanat (fig. 2), sur un déversoir en V, équipé d'un limnigraphe à pression enregistrant les valeurs de pression toutes les 10mn, par comparaison de la pression de l'air, dans un premier baromètre et celle cumulée de l'air et de l'eau en écoulement dans un second baromètre placé immédiatement en amont du déversoir.

« L'upscaling » à l'échelle d'un territoire communal

Pour les décisions d'aménagement d'une part et dans le but de tenir compte des réalités sociales qui ne se décomposent pas à des échelles territoriales trop petites, il est obligatoire, après l'analyse fouillée et la conduite de mesures précises sur des échantillons, de procéder à une remontée d'échelle pour produire des recommandations au format d'une unité territoriale homogène, mais suffisamment étendue (Coelho & al, 2002). Dans le cas d'espèce, suite aux mesures du micro-bassin de Hannanat et aux évaluations au format de la fraction de Sidi Azzouz, il a fallu procéder à la prise en compte de l'espace de la commune des Sehoul, pour

laquelle un diagnostic a déjà été établi, afin que ces recommandations puissent concerner une entité territoriale institutionnellement reconnue.

La construction de scénarios sur la base de degrés variables de pression sur les ressources et de variation des paramètres physiques des divers types de terrains, en extrapolant les résultats des évaluations faites à petit format dans les bassins de Hannanat et de Sidi Azzouz, à celui de la commune des Sehoul, a permis de dégager des tendances spatiales de dégradation en fonction des options d'aménagement qui peuvent être retenues.

2-L'évaluation à l'échelle du territoire de Sidi Azzouz

2-1- Caractérisation des milieux

Le territoire de Sidi Azzouz correspond à peu près à un bassin versant qui se situe à la bordure sud de la commune de Sehoul (Maroc atlantique central), sur la rive droite de l'oued Grou et à une cinquantaine de kilomètres au sud-est de la ville de Rabat. Il est situé à la limite sud de la forêt de Sehoul et relève, sur le plan administratif, de la commune rurale de Sehoul, région de Rabat-Salé-Zemmour-Zaër (figure1).

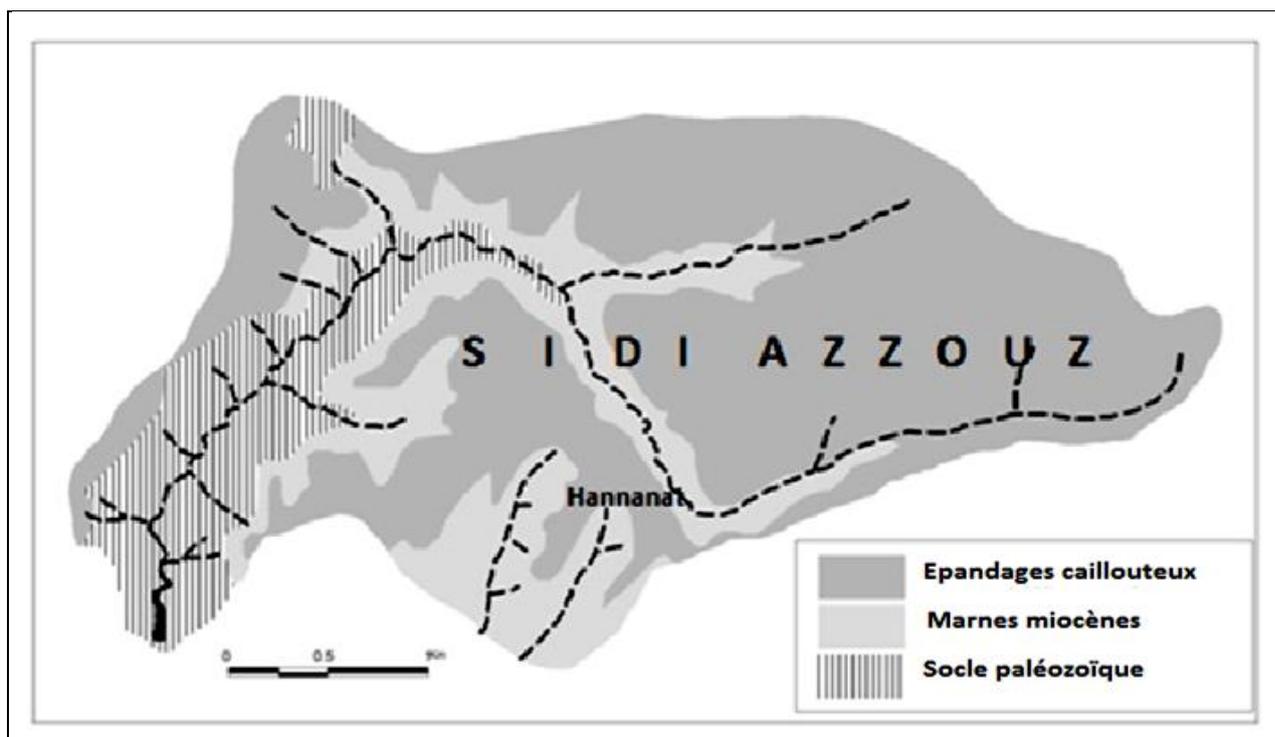


Fig. 2 : Carte géologique simplifiée du bassin de Sidi Azzouz et du micro-bassin Hannanat

Le relief est constitué de vallons peu encaissés en amont, de plus en plus incisés à mesure que l'on s'approche de l'oued Grou ; la superficie approximative est de 9,73 km² (fig.2 et 3).

Les sols fauves (Beudet G., 1969, Ghanem, 1978), tour à tour sableux, argileux ou caillouteux supportent la forêt de chêne liège en amont et des cultures dans les parties

évasées, puis des parcours dégradés sur les plus fortes pentes d'aval. Le cours d'eau de Sidi Azzouz s'entaille brutalement de 160m, dans le socle paléozoïque, après un parcours d'environ 4km sans incision, dans le Mio-quaternaire (fig. 2).

Le socle hercynien (15% de la surface) est représenté par des schistes et quartzites cambriens et des calcaires dévoniens, couverts en discordance par la formation mince de la molasse de base et les marnes messiniennes (21% du bassin-versant). L'ensemble est coiffé, sur environ 6 km², par l'épandage pliocène, constitué de dépôts rouges à cailloutis que l'on retrouve remaniés, dans les colluvions qui tapissent les versants et même certains fonds de vallons.

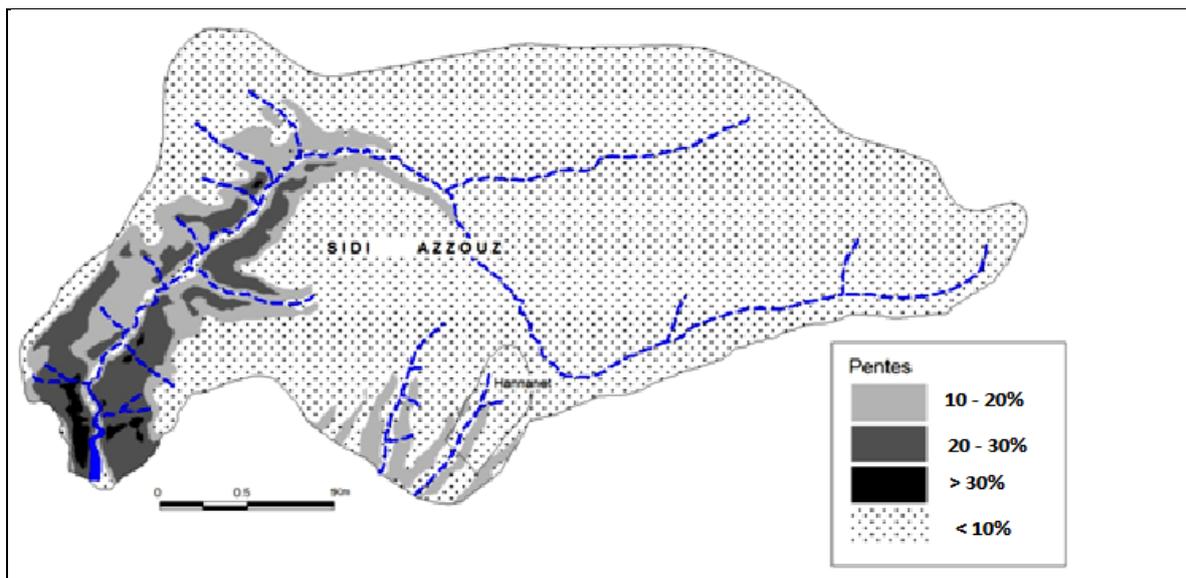


Fig. 3 : Carte des pentes du bassin de Sidi Azzouz

Le bassin de Sidi Azzouz se subdivise en 3 parties (fig. 3) : une partie amont (79% de la surface) à pentes généralement douces, une partie moyenne, sur 11% de la surface, à pentes moyennes (< de 20%) et une partie aval à pentes fortes (localement >30%). C'est dans cette partie aval à pentes raides et sols peu évolués ou minéraux bruts que les manifestations érosives sont les plus importantes.

Dans la partie moyenne et aval, aux pentes raides, les versants orientés vers le nord sont nettement différenciés car ils portent un couvert végétal plus fourni et des sols plus développés.

Quatre grandes unités pédologiques (fig. 4) ont été délimitées (CPCS, 1978) :

- Sols isohumiques et calcimagnésiques, à caractères plus ou moins vertiques,
- Sols fersiallitiques, à horizon sableux superficiel conservé ou érodé,
- Sols hydromorphes,
- Sols minéraux bruts et peu évolués d'érosion.

Les sols fersiallitiques, issus d'une altération dans des conditions méditerranéennes humides, avec des saisons contrastées, représentent l'unité la plus importante avec 45% de la superficie

totale du bassin. Leur charge caillouteuse assez élevée peut atteindre 90% en surface, surtout là où le ruissellement en nappe a emporté les éléments fins des horizons supérieurs. Sous forêt, ils présentent des horizons de surface plus épais et non perturbés. La teneur en matière organique de l'horizon de surface est assez faible, de l'ordre de 0,8% sous culture et de 1.2% sous forêt.

Les sols hydromorphes occupent généralement les replats et les zones de dayas, au dessus de dalles ferrugineuses épaisses ; ils couvrent près de 27% de la surface.

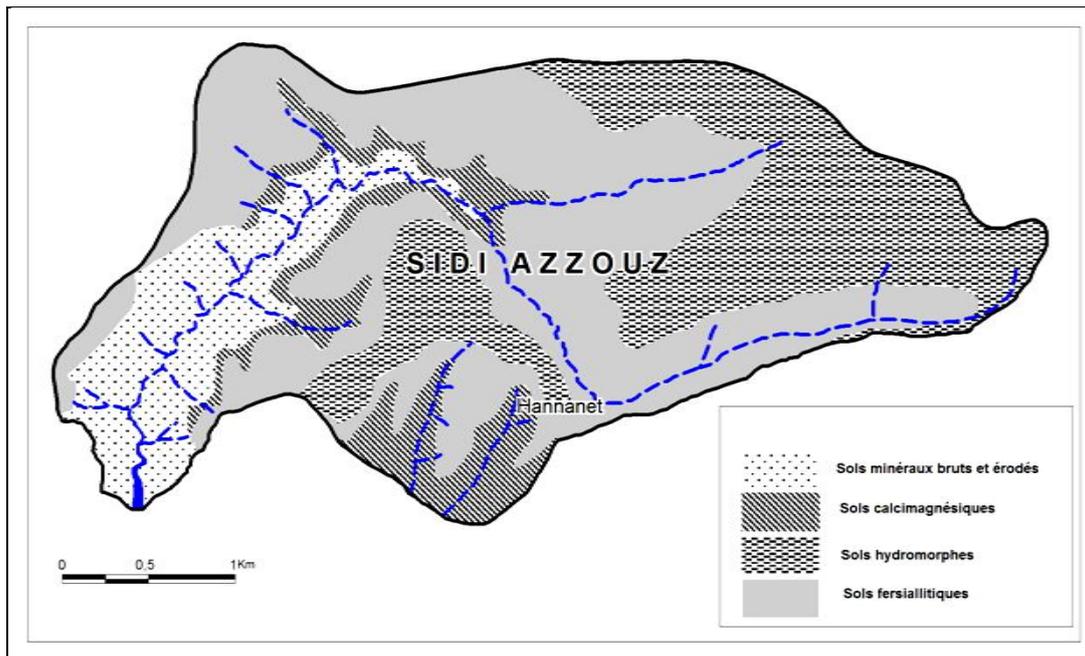


Fig. 4 : Les sols du bassin de Sidi Azzouz

Les sols calcimagnésiques occupent 10% de la superficie, se développent sur les marnes sableuses du Messinien et se caractérisent par un profil calcaire différencié, avec en profondeur, un encroûtement, parfois induré. Leur teneur en matière organique reste assez faible, de l'ordre de 1,3 %.

Les sols peu évolués sont développés sur des pentes moyennes et représentent souvent d'anciens sols fersiallitiques ou calcimagnésiques érodés et tronqués, sur les versants. Ils occupent environ 11% de la superficie du bassin.

Les sols minéraux bruts se limitent aux versants de vallées à pentes fortes (9% de la superficie) et à végétation dégradée (Ghanem, 1978). Ils se caractérisent par un profil peu différencié, à texture caillouteuse (débris de schistes et éclats quartzitiques).

Dans les Sehoul, l'abondance des galets est un trait marquant des sols fersiallitiques qui se sont développés sur des épandages fluviaux plioquaternaires. Sur les versants, la pierrosité à la surface du sol augmente du fait de l'érosion sélective des éléments fins qui s'accumulent au pied du versant, offrant ainsi un sol plus épais et moins caillouteux en surface (Ph 1).



Photo 1 : La très forte pierrosité de la surface des sols

Au niveau des ravines, le ruissellement emporte les galets de différentes tailles et les accumule au pied du versant, formant ainsi des cônes de déjection.

L'horizon de surface limoneux ou limono-sableux est rapidement saturé d'eau à cause de l'imperméabilité de l'horizon argileux sous-jacent. Sur les versants, où l'horizon de surface est souvent décapé, le ruissellement de surface se déclenche plus rapidement. Par contre, sur les pieds de versants qui reçoivent les éléments fins et les galets arrachés en amont, l'infiltrabilité est plus importante.

Pour l'étude du climat, les données utilisées sont les enregistrements de la station forestière d'Aïn Harcha (X 391,590 ; Y 362,450), proche du bassin de Sidi Azzouz et celle d'Aguibat Ziar (X 387,950 ; Y 374,100), située à environ 12 km vers le nord. Ces données, fournies par l'Agence de Bassin Hydraulique de Bouregreg et par la station forestière d'Aïn Harcha, couvrent la période 1978-2007, mais avec quelques discontinuités. Sur une période de 24 ans, les valeurs annuelles inférieures à 450mm représentent 82% des enregistrements à Aïn Harcha et 78% à Aguibat Ziar (Tabl. 1).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	année
Aïn Harcha	7.62	32.31	67.10	54.43	54.25	48.15	42.32	30.10	12.62	6.36	0.13	0.33	355.7
Aguibat Ziar	5.40	31.70	57.30	64.80	58.80	51.60	46.30	43.70	20.50	5.60	0.30	0.70	384.5

Tabl. 1 : Les précipitations à Aïn Harcha et Aguibat Ziar

A la station de SMBA (Barrage de Sidi Mohammed ben Abdallah, sur le Bouregreg), la température moyenne annuelle est de 20.3°C (moyenne 2004-2008). La moyenne des températures minimales est de 14.6 °C, alors que celle des températures maximales est de 27.2°C.

2-2- Evaluation des pratiques

Dans ce bassin, le travail de l'équipe, en plus de la caractérisation des milieux, a consisté dans l'évaluation des pratiques existantes de gestion des terres et des ressources naturelles afin d'y déceler les moindres indicateurs de conservation des sols et des eaux, pour essayer de bâtir dessus, une stratégie de gestion durable.

Le point de départ a été la typologie des pratiques existantes, sur la base d'une cartographie des formes d'utilisation des terres et d'enquêtes sociales et historiques (voir la cartographie des systèmes d'utilisation des terres⁵, article de Al Karkouri et al., dans ce volume). Les enquêtes permettent d'analyser comment se sont développées ces pratiques. Ce travail a été réalisé dans le cadre de travaux de mémoires de recherche⁶. Un premier atelier, en juin 2007, a permis d'établir un diagnostic des problèmes relatifs à l'interface sol/eau/couvert végétal, tels qu'ils sont perçus par la population locale et d'autres acteurs et une analyse des systèmes et techniques agraires et de leurs impacts en termes de dégradation de la surface. Une première ébauche des options d'aménagement a pu être esquissée, avec une liste d'acteurs potentiels pouvant collaborer pour leur mise en place et leur maintenance.

L'atelier a révélé que la perception des perturbations des cycles de l'eau et de la biomasse, la détermination des facteurs qui en sont la cause et des effets qu'ils engendrent, ainsi que les solutions de dépassement proposées ou déjà pratiquées, dépendent de la position sociale de chaque acteur et du rapport qu'il entretient avec la terre. Les agriculteurs sont directement concernés par les conséquences de la dégradation des terres sur leur activité, sans que cela ait engendré la mise en œuvre de principes de lutte qui les auraient tous mobilisés. C'est un groupe traversé par d'énormes inégalités en termes de capital d'exploitation et de statut d'exploitant.

Pour cela, malgré le contexte caractérisé par l'ampleur des phénomènes érosifs, les pratiques antiérosives développées par les populations locales restent modestes et insuffisantes. Il semble que la dominance de l'activité pastorale, a largement incité les paysans à garder leurs champs ouverts, pour permettre le déplacement des animaux d'un champ à l'autre, sans obstacle.

Pour effectuer une évaluation objective et approfondie des technologies mises en place et de l'approche adoptée, dans les opérations d'aménagement et de conservation des eaux et des sols, l'outil WOCAT «World Overview of Conservation Approaches and Technologies» a constitué un soutien précieux (Tabl. 2). Cette évaluation a comporté des entretiens avec les exploitants et avec les techniciens et des travaux de mesure de l'efficacité en termes de conservation des eaux et des sols et de résultats économiques et sociaux.

⁵ Cartographie réalisée par Sfa et Naïmi, grâce à l'exploitation des images de Google Earth et de photos d'avion, de 1976 et 2007.

⁶ Etudiants de doctorat et du master de la Chaire UNESCO-GN « Gestion de l'environnement et développement durable »

Evaluation des impacts de la technologie

Avantages socio-économiques			Bénéfices écologiques				
+	+	+	Diversification de la production	+	+	+	Augmentation de la recharge en nutriments
+	+		Augmentation des rendements	+	+		Augmentation du taux de matière organique
+	+		Réduction des dépenses et baisse des inputs	+	+		Réduction de la perte en sol
+			Augmentation de la disponibilité fourragère	+	+		Augmentation de la biodiversité des plantes
+	+	+	Amélioration des revenus de l'exploitation	+	+	+	Amélioration de l'humidité du sol

Tabl.2: Exemple de table de la base de données WOCAT, les effets de la rotation culturale

Des équipes de recherche ont travaillé sur le terrain, avec la participation de doctorants et d'étudiants de master, en vue de l'évaluation de l'état de dégradation, des facteurs humains responsables, des techniques d'aménagement existantes et de leurs effets économiques et écologiques (Laouina & al., 2002). Les services agricoles et forestiers ont fortement contribué dans ces recherches, en alimentant les jeunes chercheurs en informations techniques précises, notamment dans les domaines de l'agronomie, du génie agricole et hydraulique, de la foresterie, de la biodiversité et de l'élevage.

Dans l'espace forestier, l'évaluation a porté sur les essais de régénération du chêne liège, avec des mises en défens plus ou moins respectées, comparés au comportement de la forêt plus ou moins dégradée ou aux plantations d'eucalyptus ou de pin. La comparaison montre tout l'intérêt de cette régénération qui permet, sur le court terme, un bon recouvrement du sol en plantes à riche apport fourrager, ce qui améliore le comportement hydrologique et renforce la biodiversité en espèces et, sur le long terme, un recouvrement arboré producteur de liège, de bois et de fourrage.

Dans les terres de culture, le système de monoculture céréalière a été comparé avec des systèmes améliorés, comportant une rotation avec des légumineuses alimentaires ou fourragères ou bien la plantation en ligne, d'arbres fruitiers. La diversification de la production, l'amendement des sols, la culture en ligne perpendiculairement à la pente, la création d'obstacles vis-à-vis du ruissellement et l'amélioration de l'interception des pluies sont autant de critères qui renforcent les chances de succès économique, social et environnemental des techniques mises en place.

A travers ce travail d'évaluation, on peut déceler dans le système actuel, au sein de quelques parcelles, des prémices de lutte contre la dégradation et de restauration de la fertilité des sols. Mais l'intensification demeure marginale, si on considère les superficies très réduites qui lui sont allouées. En majorité, les cultures sont en bour, du fait de la rareté de l'eau utilisable (eau de la nappe phréatique). Les possibilités financières dont disposent les exploitants les plus performants leur ont permis d'introduire des innovations techniques qui se résument, pour les terres bour, dans l'amélioration de la pratique des légumineuses fourragères (lupin) et pour les terres irriguées dans la pratique de l'irrigation localisée et l'orientation du système de production vers l'arboriculture et les cultures maraîchères. Mais, cette extension de l'irrigation exerce une pression sur les ressources en eau souterraine de la nappe des Sehou, actuellement à la limite de l'équilibre.

L'élevage reste par contre extensif et ne montre pas de réelles tendances vers la stabulation et la spécialisation. Globalement, l'évaluation montre que l'alternative réside dans l'extension

des cultures fourragères four, comme moyen de développement et d'intensification de l'élevage, dans un contexte où la jachère et la vaine pâture tendent à disparaître. Ces cultures fourragères s'adaptent assez bien aux terres assez dégradées et peuvent permettre de les réhabiliter, si la technique culturale est menée avec les précautions nécessaires pour éviter les effets négatifs des événements à pluies intenses.

Mais, il n'y a malheureusement pas encore d'évolution claire du système, dans un sens d'intégration de l'élevage, en compensation du recul de la jachère. C'est dans ce créneau que l'on pourrait voir se développer de larges parties de la commune des Sehou, notamment les espaces les plus vallonnés et donc les plus menacés de dégradation. Plusieurs systèmes de gestion agro-pastorale sont possibles, basés sur une évolution vers l'intensification. Les céréales fourragères sont déjà en progrès rapide, du fait de la multiplication des clôtures et de l'effet que cela a sur la vaine pâture, que l'on peut juger condamnée à disparaître. Mais ces céréales précoces sont précédées par un labour mécanisé qui fragilise les sols en pente ; d'où l'extension des griffes d'érosion. Les légumineuses fourragères (lupin) sont adaptées à la région et aux sols dégradés, mais elles couvrent très peu de surfaces. Reste à tester des espèces arbustives fourragères, à planter en ligne, le long des courbes de niveau, pour disposer de ressources durables et en même temps protectrices pour le sol et les autres espèces végétales.

Après ce travail d'évaluation des techniques et des approches agraires, un second atelier a été organisé, en 2008, avec les acteurs locaux et des techniciens externes, en vue de la sélection des options efficaces et prometteuses, pour la Conservation des Eaux et des Sols (CES) dans la région. Au cours de cet atelier, les résultats de l'évaluation avec l'outil WOCAT ont été validés par les divers acteurs et partenaires, suite à de longues discussions. Il fallait par la suite opérer une sélection et un classement des options les plus prometteuses sur les deux plans de lutte contre la dégradation et d'avantages économiques et socioculturels substantiels.

Pour réaliser le classement de ces options, 12 critères ont été définis :

- des critères économiques (coûts et frais de production et de mise en place de la CES; rendements agricoles; production animale; revenus),
- des critères écologiques (rétention de l'eau dans le sol; densité du couvert végétal; fertilisation; réduction de la perte en sol),
- des critères socioculturels (cohésion sociale/organisation de la population; création d'emplois; valorisation du foncier; réduction du temps de travail et disponibilité pour d'autres activités).

Pour chaque indicateur, les participants ont attribué un score spécifiant l'efficacité et l'intérêt de l'option considérée. La phase du scoring a permis d'engager à nouveau des discussions sur la validité de chaque option par rapport aux différents critères. On a pu alors procéder de manière commune à la classification des options et choisir les plus performantes.

Le processus de scoring a abouti au choix de la technique des bandes enherbées, combinées avec les cultures annuelles (en rotation avec fourrage et/ou légumineuses) comme étant la meilleure option dans le contexte des Sehou. L'option céréalière en rotation, accompagnée d'efforts en terme de réduction des travaux du sol, en vue d'améliorer le profil hydrique des sols (comme l'action de mulching et de labour réduit) a été appréciée aussi bien par les

techniciens que par les agriculteurs présents à l'atelier. Le rajout d'arbres fruitiers en ligne a aussi été bien noté. Pour les terrains dégradés par le ruissellement, l'option retenue est celle de la mise en défens et du traitement des ravines par plantation d'arbustes fourragers sur la totalité du versant raviné.

Le travail en atelier semblait convaincant, aux yeux de l'équipe de recherche, mais il ne suffisait pas pour entraîner une réelle adhésion des exploitants et permettre le lancement d'actions effectives, adoptant les principes retenus. C'est pourquoi l'équipe a jugé bon de débiter une opération d'expérimentation, dans le contexte d'un terrain de petit format, un micro-bassin versant, inclus dans le territoire de Sidi Azzouz.

3- L'expérimentation de nouvelles techniques : le micro bassin de Hannanat

Pour passer à l'application des choix opérés lors du deuxième atelier, l'équipe de recherche a débuté une opération d'expérimentation et de suivi sur le terrain (fig. 5) de certaines parmi les options sélectionnées. Cette décision d'action, à une échelle expérimentale, a eu pour but fondamental de démontrer par la pratique qu'il est possible à la fois de promouvoir les ressources humaines locales, de mettre en place avec les moyens du bord, des techniques faciles d'amélioration des procédés agro-pastoraux et de faire le suivi des opérations de gestion des terres, pour s'assurer de l'efficacité et de la pertinence de ce qui a été aménagé.

Nous avons identifié un terrain propice à ces actions ; il s'agit du micro bassin versant de Hannanat, au dessus de l'oued Grou, au SW des Sehoul (fig. 5, Photos 2 et 3).

3-1-Mesure hydrologique

Un processus de mesure hydrologique (pluviographe, déversoir avec limnigraphe à pression) a été installé, grâce à l'appui de partenaires de l'IRD⁷. On a alors entamé des mesures pédologiques (humidité des sols, états de surface), dans le but de disposer d'une situation de $t = 0$, à comparer avec les mesures suivantes et pouvoir réaliser des évaluations d'efficacité, sur le moyen terme. Le travail de terrain a été réalisé dans le cadre de mémoires de recherche d'étudiants de master et de licence.



Photo 2 : Le bassin-versant de Hannanat (au 1^{er} plan), tributaire des gorges du Grou (au fond)



Photo 3 : Le déversoir en V

⁷ Le dispositif a été mis en place par le doctorant Issam Machmachi, en 2008, avec l'appui de....., ingénieur de l'IRD détaché alors au Maroc.

Les pluies enregistrées ont montré des cas isolés d'intensités importantes avec un maximum en 30mn de 90mm/h et des situations de pluies répétitives, le long d'une période qui peut s'étaler sur plus d'1 mois, avec des recrudescences d'intensité. Au niveau de l'exutoire du micro bassin, les réponses peuvent être immédiates. L'allure des limnigrammes, en dents de scie (fig. 6), témoigne d'une succession d'évènements hydrologiques de courtes durées. La concentration solide a été estimée à partir d'échantillons pris au cours de l'averse, avec un pas de temps de 5 min et montre des cas de turbidité relativement élevée (Photos 4 et 5).

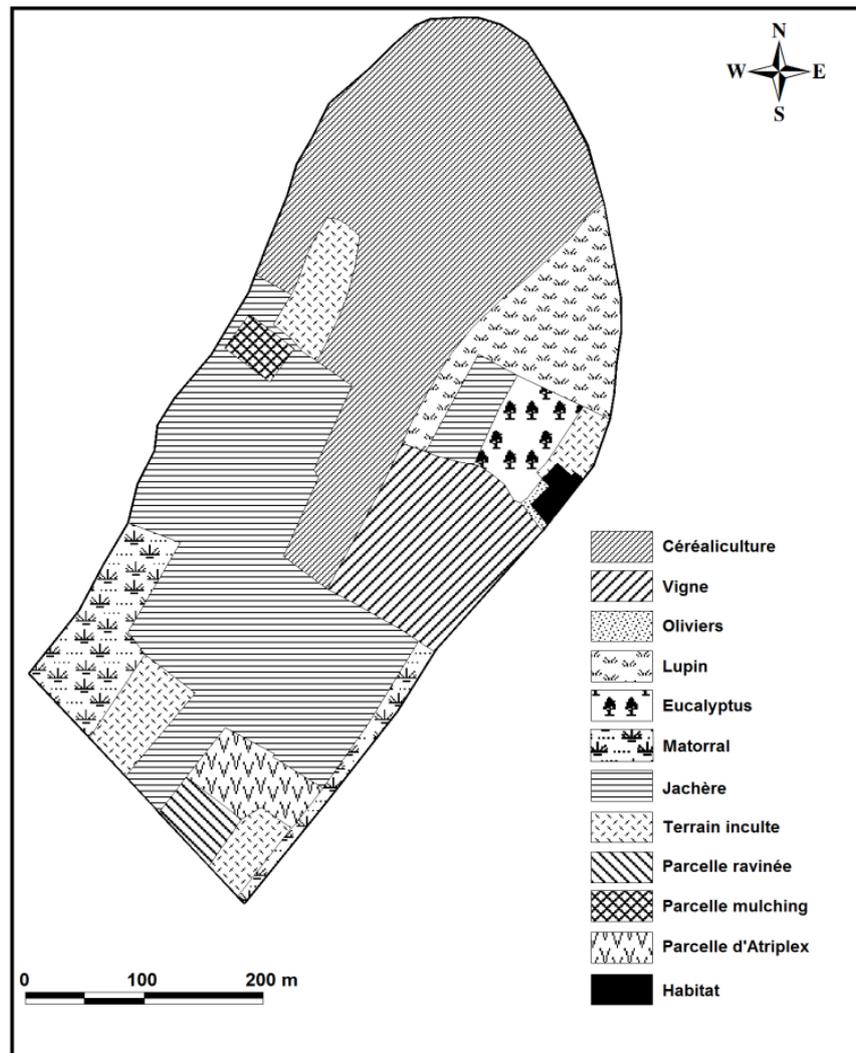


Fig. 5 : Carte de l'utilisation du sol du bassin

Le bilan hydrologique mesuré au cours de l'année 2008 – 2009 indique un coefficient de ruissellement de près de 10%, pour une hauteur pluvieuse de 727 mm. Parmi les 36 événements pluvieux de l'automne, 22 ont généré du ruissellement ; la probabilité a un peu baissé en hiver, avec 31 sur 51 et encore plus au printemps qui n'a enregistré qu'un seul événement d'écoulement sur 9 épisodes pluvieux.



Photo 4 : Déversoir comblé suite à une crue



Photo 5 : Envasement du limnigraphe à pression

Les crues automnales se caractérisent par des écoulements importants, avec en particulier le débit de 469 l/s, enregistré le 1/12/09 à 21:46 (fig. 6). Le coefficient de ruissellement a atteint un maximum de 54%. Le temps de réponse du bassin aux averses est parfois très court (7 à 10 min), lors des fortes intensités. Ces crues présentent un risque élevé pour la stabilité du sol puisqu'elles surviennent sur des sols nus ou faiblement couverts par la végétation (moins de 30% de recouvrement dans les jachères). Le reste du sol, notamment celui qui vient d'être labouré, est exposé à l'impact direct des gouttes de pluie, provoquant ainsi un détachement des particules du sol facilement emportées par les eaux de ruissellement ; ces résultats concordent avec ce qui avait été décrit lors d'une étude antérieure dans le micro bassin de Matlaq quelques kilomètres plus au Nord (Antari, 2007 ; Van Dijck & al., 2006).

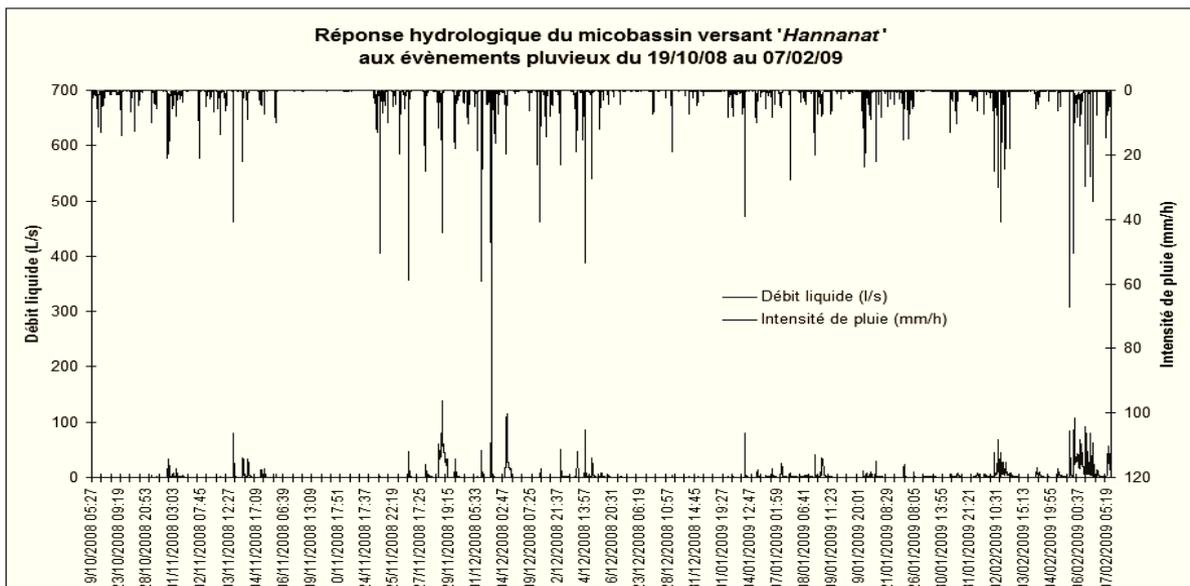


Fig. 6 : Pluies et ruissellement en automne et en hiver (2008-09)

Les observations faites sur le terrain lors d'évènements pluvieux montrent que le ruissellement se déclenche en premier lieu sur les parcelles incultes et la jachère pâturée, au sol dégradé et fortement tassé. Mais le détachement de sol y reste modeste, sauf là où ce ruissellement d'amont alimente des ravins assez profonds, lieux d'une érosion maximale. Les terrains fraîchement labourés sont les moins résistants ; ils favorisent l'infiltration en cas de pluie modérée, mais fournissent de grosses quantités de matériel lorsque les pluies acquièrent de l'intensité.

Les évènements pluvieux d'hiver ont été en général moins intenses que ceux de l'automne, mais leur durée est plus longue. Les crues sont plus complexes et se caractérisent par des débits de pointe moyens et une succession de pics d'écoulement étalés suite à des pluies plus durables. Le ruissellement a atteint un max de 26.5% mais la moitié des crues d'hiver présente un coefficient de ruissellement inférieur à 5%. Le facteur de la couverture végétale (entre 60 et 75% pour les céréales) permet une bonne infiltration de l'eau.



Photo 6 : L'opposition des versants de Hannanat : Ravinement dans le versant du premier plan, et fonctionnement de griffes après une série d'évènements pluvieux, sur le versant en face

3.2. Expérimentation et monitoring

Dans un cadre balisé, celui d'un micro-bassin au fonctionnement connu, il est possible de suivre l'effet d'un aménagement, sur une période suffisante, pour en apprécier l'efficacité et les retombées. Dans ce bassin dominé par les terres de culture annuelle, la menace de dégradation est très présente. On peut y déceler deux stades évolutifs que révèle le comportement des exploitants.

-Lorsqu'un terrain commence à perdre son potentiel productif, il est délaissé à la jachère prolongée, dans le but de lui faire retrouver une certaine fertilité du sol, mais le terrain reste fortement visité par le troupeau, ce qui exagère l'effet de dégradation, par consommation rapide du maigre couvert végétal annuel.

-Quand le terrain est plus gravement atteint, notamment lorsque plusieurs ravins s'y incisent, le comportement habituel est l'abandon. La recolonisation par la végétation pérenne ne peut se faire, du fait de la baisse du niveau de l'eau dans le sol (Naïmi & al., 2003 ; Poesen & al., 2003 ; Valentin & al., 2005).

C'est pourquoi l'expérimentation et le monitoring ont concerné deux dispositifs potentiels de Conservation des Eaux et des Sols, la conservation des terres céréalières, en voie de dégradation et la réhabilitation des terrains ravinés. Dans les deux cas, le dispositif prévoit en premier la mise en défens, pour éviter les effets du parcours (Ph 6, 7, 8).



Ph 7 : Versant en amont de Hannanat, au sol dégradé, laissé en jachère prolongée, mise à part la parcelle d'expérimentation



Ph. 8 : Versant en aval du bassin Hannanat, raviné et pâturé, où la parcelle clôturée est plantée d'atriplex

3.2.1. La réhabilitation des terrains ravinés

Le but est double, la réduction de l'érosion ravinante et la reconstitution d'un couvert végétal à valeur fourragère ; la méthode de suivi a permis de comparer l'évolution de deux espaces ravinés, l'un mis en défens et planté et l'autre non.

Dans le secteur raviné (ravines de 100 m de longueur en moyenne, 0.5 à 1.5 m de profondeur et 1 à 3 m de largeur), 5000 m² ont été clôturés et plantés d'atriplex. Les plants ont été mis en place, en lignes selon les courbes de niveau, par des ouvriers recrutés sur place ; la parcelle, plantée en totalité d'amont en aval, y compris l'espace non raviné supérieur, a été mise en défens (Ph 8).

Depuis lors, un suivi par des mesures et observations directes des états de surfaces, de la biomasse et de la biodiversité a été effectué. Le taux de réussite des plants est encourageant, car il dépasse 90%. Il faut signaler que ce taux de réussite ne pouvait être atteint sans une

irrigation d'appoint durant les 2 premiers mois et sans la clôture qui a assuré d'une façon efficace la mise en défens.

Tous les indicateurs montrent qu'au bout de 2 ans de mise en défens, le développement de la biomasse et les trous des arbustes, ont parfaitement favorisé l'infiltration et le début d'extinction des ravines. On remarque aussi l'augmentation de la phytomasse (multipliée par 4, comparée à la parcelle ravinée non traitée et par 2.5, comparée à la jachère pâturée), le meilleur recouvrement du sol par les herbacées (87% au printemps, dans la parcelle traitée, comparé à 57% dans la parcelle témoin) et la diversification des espèces végétales composant le tapis herbacé (27 espèces d'herbacées/m² au printemps 2010 contre seulement 10 dans la parcelle témoin). On enregistre l'accroissement du potentiel fourrager de la parcelle (0,56 UF/Kg de matière sèche, soit 71% de plus que la parcelle témoin). La qualité fourragère est aussi améliorée ; la teneur en matière azotée totale est passée de 34 à 190kg/ha de la parcelle témoin à la parcelle plantée et mise en défens et le taux de la cellulose brute est passée de 63 à 210 kg/ha.

Les caractéristiques physiques du sol ont aussi été améliorées ; la parcelle d'atriplex enregistre les taux les plus élevés, en termes d'humidité (taux mesurés au TDR supérieur à 7,8%, dans la parcelle d'atriplex, après plusieurs jours secs au printemps, alors que le sol des parcelles voisines est complètement asséché) et les plus faibles en termes de compactage. Les sols ont donc une capacité d'infiltration plus grande, ce qui permet la diminution du ruissellement. La conséquence de ces améliorations est observable au niveau des ravines qui présentent déjà des signes de cicatrisation (Ph. 8), avec des berges qui s'émoussent du fait que le ruissellement s'atténue, d'où le comblement progressif des fonds des ravines et leur stabilisation relative. Par contre, en dehors de la clôture, les ravines sont toujours vives, aux berges redressées suite à des arrachements récents ; d'où la difficulté de leur recouvrement par la végétation. Les fonds des ravines non traitées sont alors nettement nettoyés et incisés lors des épisodes de ruissellement important.

Sur le plan économique, les inputs de mise en place de la parcelle sont très élevés, comparés aux gains, qu'il est d'ailleurs difficile d'estimer avec précision. Globalement, ce n'est qu'au bout de 7 ans que les outputs pourraient égaliser les frais d'installation et d'entretien.

A l'instar des autres régions du Maroc, de nombreuses recherches ont démontré que cet arbuste se caractérise par une grande productivité de la biomasse et par sa résistance au stress hydrique. Ainsi, en climat semi aride, une densité de 1000 plantes/ha, peut produire jusqu'à 1250 kg MS/ha, soit 200 kg de protéines brutes/ha, 3ans après plantation.

Sur le plan environnemental, l'atriplex est utilisé pour restaurer les sols même dans des cas où la salinité atteint des valeurs élevées. De même, son système racinaire assure une bonne protection des terres contre l'érosion hydrique et éolienne. Les coupes annuelles de l'arbuste fournissent, en plus du fourrage, du bois de cuisine. C'est ainsi que ses effets bénéfiques sur l'environnement sont rapidement identifiés par les paysans eux-mêmes.

Par contre, sur les plans de digestibilité et d'appétibilité, les éleveurs ont constaté que l'atriplex ne peut jouer qu'un rôle de complémentation pour d'autres sources fourragères ; c'est ainsi que notre but est d'arriver à convaincre les éleveurs d'introduire cet arbuste en

bandes dans les terres de céréales fourragères. Tout le problème sera alors d'alterner l'usage des bandes selon l'intérêt que l'on peut tirer de chacune et selon les menaces de dégradation à éviter pour chacune. Cette action va être aussi un moyen pour réduire le labour dans le sens de la pente et ainsi freiner les processus érosifs.

Les paysans Sehoul disposent par ailleurs du cactus opuntia, plante adaptée pour la conservation des sols et la réhabilitation des ravins.

3.2.2. La conservation des terres céréalières marginales

Dans ces terres, la mise en culture prolongée, dans des conditions de vulnérabilité du sol entraîne la dégradation par perte de substance et de fertilité. Les façons culturales sont en cause, notamment le labour qui fragilise le sol. La proposition a donc été l'amélioration des techniques de gestion de la terre, par la conservation des chaumes en été (mulching pour l'automne), la réduction du tassement des sols par le bétail et la réduction des travaux du sol. Deux champs comparables ont été suivis à cet effet, sur deux campagnes agricoles (Ph 7).

L'expérience de mulching, associé à un labour minimum, a été réalisée sur une petite partie d'un large champ de Hannanat qui a porté l'année 2008-09 une culture d'orge conventionnelle et qui n'a plus été cultivé depuis, malgré la succession de deux bonnes années. La décision du paysan s'explique par la chute des rendements du fait de la dégradation du sol, sur ce versant orienté vers le SE.

Des TDR avec data logger ont été implantés à l'intérieur de cette partie du champ expérimental et en dehors ; le champ a été soumis à un pâturage direct et rapide de moutons sur l'orge presque sèche, fin mai 2009 ; après ce passage des moutons, la partie du champ identifiée a été enceinte d'un grillage, pour éviter la consommation ultérieure des chaumes restantes ; cela a permis d'analyser l'effet de ce mulch après les premières pluies. En automne, le champ enclos a connu, sur sa moitié, un semis direct, la première année, puis un labour minimal la deuxième année alors que la seconde moitié a subi, les deux campagnes, un labour conventionnel au tracteur ; nous avons alors obtenu l'effet cumulé des deux techniques, le mulching et le labour minimal, dans la 1^{ère} moitié du champ et celui du mulching seul, dans la deuxième. La comparaison a aussi concerné le terrain en jachère environnant, pâturé en continu.

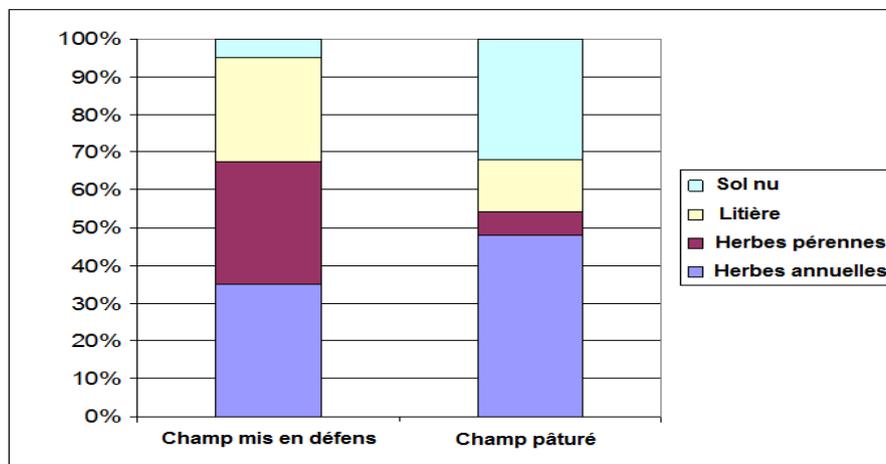


Fig. 7 : Recouvrement végétal du sol dans le champ pâturé et le champ mis en défens

Comparé au terrain pâturé de l'environnement immédiat, le champ mis en défens conserve un couvert végétal protecteur tout l'été ; en automne, les premières pluies donnent une infiltration plus importante dans le champ couvert et plus de ruissellement dans les champs pâturés. C'est ce qui explique la rapide croissance végétale dans le champ de mulch et donc un meilleur recouvrement végétal, constaté en décembre, avant l'arrivée des grandes pluies d'hiver (fig. 7).

La pratique améliorée de la culture, avec le semis direct après traitement à l'herbicide et utilisation d'un semoir à attelage animal, explique le résultat positif en termes d'humidité du sol (fig. 8) et de reconstitution de sa stabilité organique.

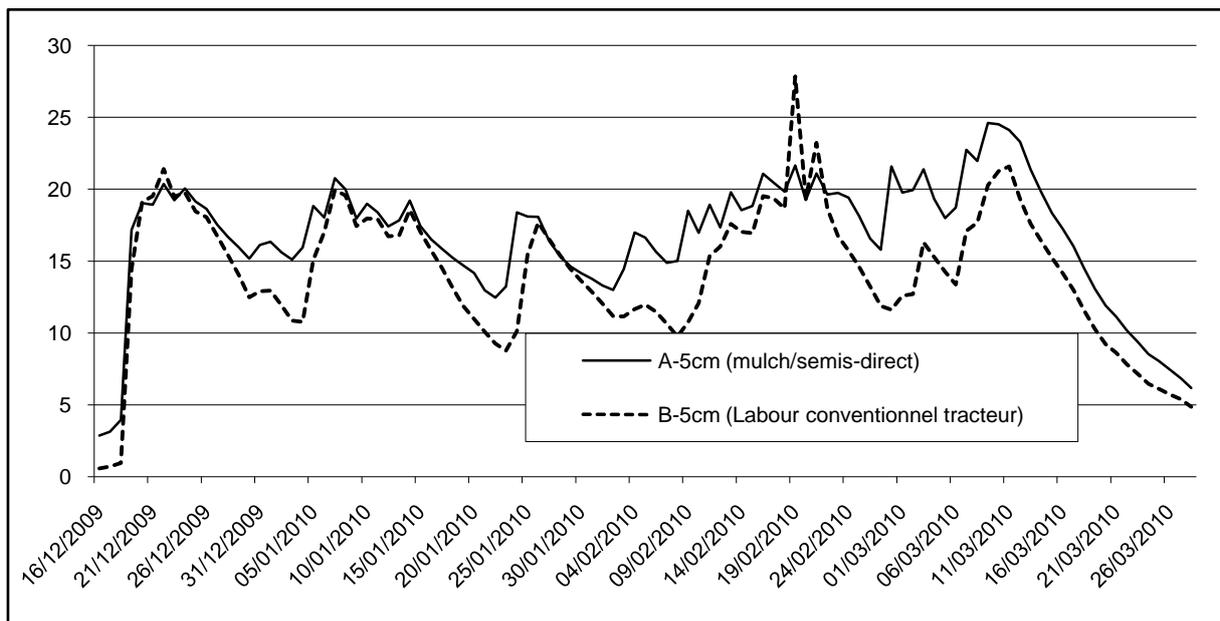


Fig. 8 : Taux d'humidité du sol en %, à 5cm de profondeur, en 2009-10.

L'essai n'a pourtant pas été concluant en l'année 2009-10, car le semoir à attelage n'enfouit pas suffisamment les graines, du fait qu'il agit sur un terrain très rocailleux ; le passage sur les galets laisse une bonne partie des graines à la surface, ce qui a facilité leur consommation par des oiseaux de passage.

Malgré cela, la récolte a été meilleure dans la portion du semis direct, non consommée par les oiseaux, comparée au résultat du labour conventionnel.

Après deux ans d'expérimentation, les résultats récoltés montrent que cette technique n'est pas réellement adaptée aux terres marginales, caillouteuses et en pente forte.

Dans les deux expérimentations, l'adoption de la technique par les paysans et quel que soit le degré de réussite sur le terrain, exige beaucoup de persévérance. Elle exige en fait qu'une réponse soit fournie à l'attente réelle des acteurs locaux : en quoi l'agriculture répond-elle effectivement à leurs besoins fondamentaux et peut-elle garantir une réelle amélioration de leurs conditions d'existence ? Si pour obtenir des résultats sur le long terme, essentiellement

en termes de réduction de l'érosion et de réhabilitation des sols, il faut en passer par autant d'efforts, les paysans des Sehoul sont prêts à discuter, mais pas du tout à agir en conséquence.

C'est sur ce constat que l'équipe de recherche a pensé qu'il valait mieux arrêter les tentatives de négociation, en vue d'une adhésion pour les approches proposées. Mais il est quand même nécessaire de mettre à la disposition des décideurs, un tableau plus convaincant des possibilités offertes à l'aménagement des terres et cela en réalisant une analyse spatialisée des options possibles, à l'échelle d'un territoire plus vaste, celui de la commune des Sehoul.

4-Remontée à l'échelle du territoire communal des Sehoul

La question se pose de la représentativité des recherches menées, notamment les évaluations de techniques agraires par la méthode WOCAT et les expérimentations mises en place. Celles-ci concernent des terrains limités en extension et n'ont duré qu'un temps assez réduit. Par ailleurs le problème est de transférer ce que produit la recherche dans le domaine de l'application sur le terrain. Les différentes alternatives offertes ne sont pas toutes réalisables par l'exploitant moyen et encore moins par les petits agriculteurs, ce qui signifie la difficulté de dissémination de ces expériences, même si certaines ont fait leurs preuves chez d'autres exploitants. Il est donc nécessaire, si l'on veut convaincre les décideurs d'appuyer ou initier des initiatives de gestion durable des terres, de ne pas présenter des résultats d'analyses à petit format et au contraire de travailler à l'échelle d'une unité territoriale suffisamment vaste pour que des acteurs représentatifs prennent en charge les propositions formulées et que celles-ci aient valeur de couvrir à la fois des espaces étendus et une répétitivité d'exploitations en nombre suffisant.

En croisant les données physiques de base et l'utilisation des terres, au format de la commune des Sehoul, par référence aux résultats des analyses à petit format (bassin de Sidi Azzouz, micro-bassin Hannanat), il est possible de dégager une répartition spatiale des potentiels de gestion durable des terres et des risques de dégradation.

PESERA, "Pan-European Soil ERosion Assessment" modèle d'évaluation des risques d'érosion des sols (<http://www.geog.leeds.ac.uk/groups/pesera>) propose une méthodologie pour estimer le risque d'érosion des sols à l'échelle régionale. La base physique du modèle, qui se base sur le détail du relief, l'érodibilité du sol et ses propriétés hydrauliques, le type de couvert végétal et d'utilisation du terrain et sur les caractéristiques climatiques de la région, offre la possibilité d'améliorer les prédictions de dégradation des terres. A partir d'une synthèse des caractéristiques d'un pixel et de celles des pixels environnants, un mode de fonctionnement hydrique est généré (taux de ruissellement et intensité) et donne lieu à une estimation des matériaux solides véhiculés ou déposés et donc à la simulation d'une lame d'érosion moyenne de chaque cellule d'une carte Raster.

Le scénario de base, à partir des données mesurées à l'échelle de la région, est représentatif d'une moyenne de fonctionnement climatique et d'une combinaison des données du relief, du sol et de l'utilisation des terres et donc du degré et de la nature du recouvrement végétal.

Cette carte de base montre un risque plus élevé sur les versants raides, le long des grandes vallées, notamment le long du Grou, au SW. Par contre, les plateaux, aux sols plus épais, sont nettement moins vulnérables.

La production de biomasse peut être corrélée à ces conditions d'érosion. Les taux les plus élevés de production sont enregistrés dans les forêts et les plus bas sur les versants les plus dégradés. Mais, même dans les forêts, la production de biomasse reste assez faible, du fait des prélèvements pastoraux.

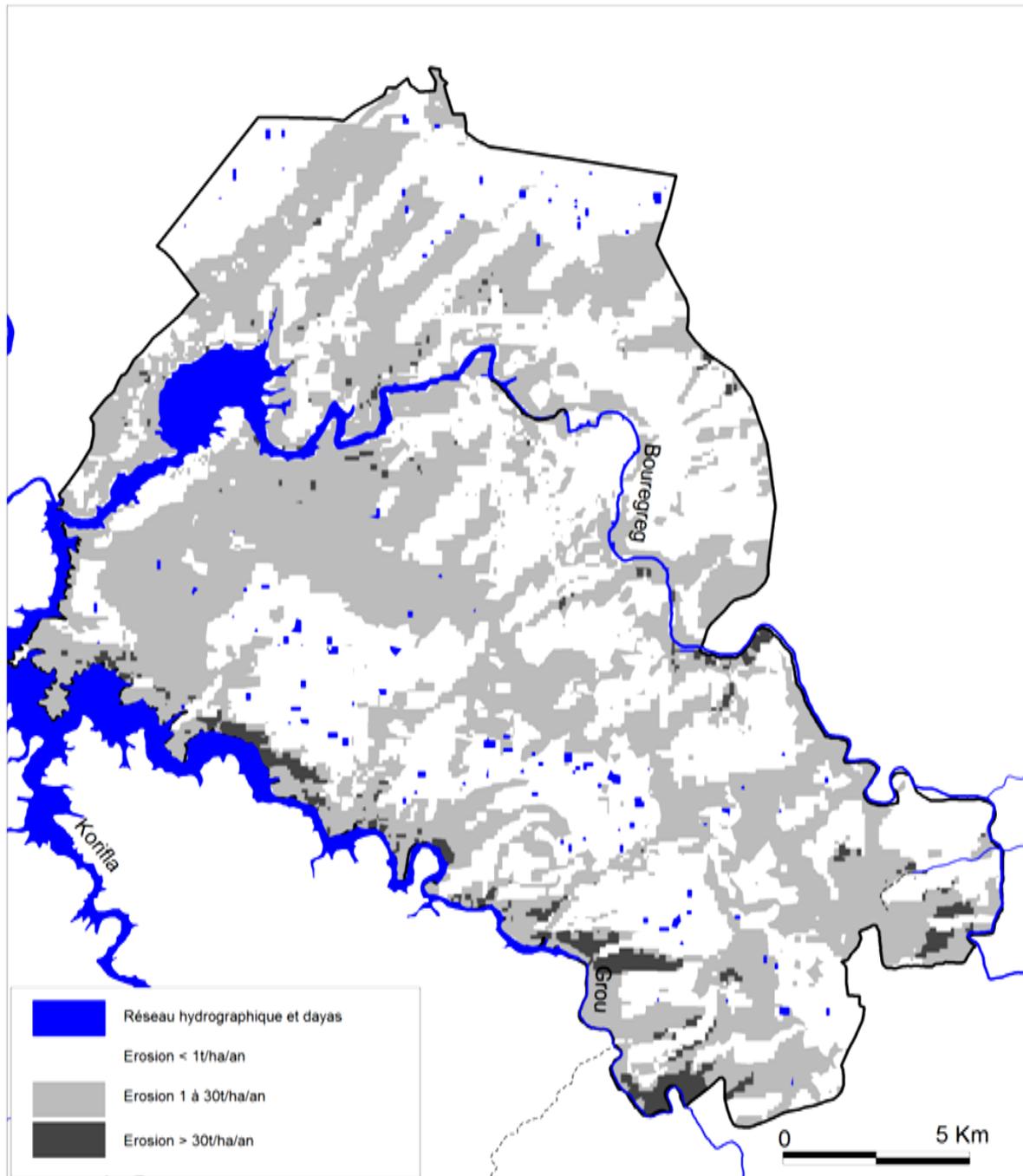


Fig. 9 : Carte des taux d'érosion hydrique, générée par le modèle PESERA

L'analyse avec PESERA (Kirkby, 2008), du taux d'érosion (fig. 9) et de la production de biomasse, combinée à une couverture par télédétection de photos aériennes, identifiant notamment les chenaux de ravinement, permet de distinguer :

- des terrains peu menacés, soit du fait de leur topographie et de leurs sols stables, soit de leur couverture végétale protectrice,
- des terrains agro-pastoraux vulnérables et menacés de dégradation, en l'absence d'une stratégie de gestion durable,
- des terrains érodés, souvent ravinés, du fait de la pente et de la fragilité des terrains.

Disposant de cette carte de base (fig. 9), il est donc possible, suite à la simulation des effets possibles d'une stratégie de gestion durable (changement des pratiques, introduction de nouvelles techniques, de nouvelles cultures), d'évaluer les gains en termes de réduction de la dégradation, à une échelle régionale et donc de répondre aux besoins des décideurs qui ne sauraient se contenter d'évaluations expérimentales à l'échelle locale. Grâce à l'utilisation de modèles complémentaires, par exemple le modèle DESMICE (Desertification Mitigation Cost Effectiveness), il est possible de chiffrer le coût des opérations d'aménagement comparé aux gains escomptés en terme de réduction de la dégradation.

DESMICE est un modèle socio-économique qui est combiné avec PESERA pour évaluer la viabilité économique des technologies d'atténuation de la dégradation des terres. Il faut disposer de données d'entrée, notamment celles de la base WOCAT- QT (Questionnaire Technologie, Tabl. 2).

La modélisation avec DESMICE tient compte des inputs consentis pour la réalisation de l'aménagement, en termes d'heures de travail de mise en place et de maintenance, ainsi que d'investissements initiaux et d'entretien. Il tient compte aussi des effets directs comme la perte de sol de surface, l'effet sur la texture et la structure, la perte de nutriments ou l'incision de ravins et des effets off site comme les dommages subis par les équipements lors des crues, l'eutrophisation et la perte de capacité des réservoirs. Le QT de la technologie est censé avoir documenté toutes ces rubriques et avec le détail nécessaire. Le modèle reprend ces données et estime pour chaque cellule, d'abord si cette technologie en question constitue un aménagement recommandé, car adapté à son contexte physique, ensuite si cet aménagement potentiel est intéressant et rentable à un délai qui n'est pas trop long.

Dans un premier temps, le modèle cherche à définir les espaces d'applicabilité de la technique de gestion des eaux et des sols (fig. 10). Dans le cas des Sehou, la technique expérimentée à Hannanat, de la mise en défens combinée avec la plantation d'arbustes fourragers a visiblement donné de bons résultats en termes d'atténuation de la dégradation, notamment celle par incision des ravins, avec comme corollaire un effet aval fondamental de limitation de l'envasement de la retenue. Cette technique a été jugée valable à répliquer sur tous les terrains pratiquement dénudés, sur pente forte et au sol dégradé. La technique pourrait faire chuter le taux d'érosion, dans les terres les plus dégradées de $>50\text{t/ha/an}$ à < 20 , alors que le gain en biomasse, beaucoup plus lent à acquérir, notamment sur les versants les plus vulnérables, pourrait valoir 10 fois le taux actuel mais après une période de 15 ans au moins.

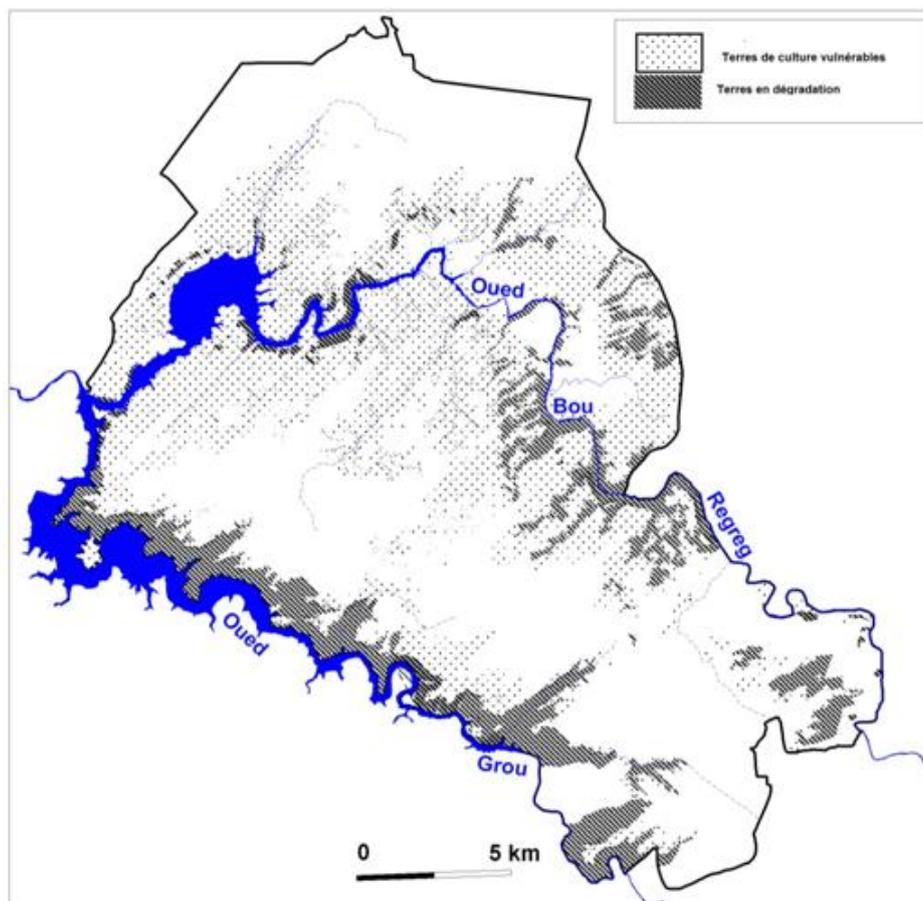


Fig. 10 : Terres vulnérables et terres en dégradation

Mais le modèle DESMICE permet aussi de calculer les inputs et outputs de l'aménagement proposé. L'investissement pour 1ha de mise en défens et de plantation d'arbustes fourragers coûte actuellement près de 28000 dh. Mais vu le caractère retardé de l'effet de gain économique - environ 15 ans, pour atteindre un taux de production de biomasse à la fois protectrice et intéressante sur le plan de l'intensification de l'élevage - il faut dire que sans réduction des coûts supportés par les exploitants, pour la mise en place de la technologie, la réalisation de cet aménagement restera déficitaire et donc peu reproductible à une échelle qui permettrait de faire ressentir un changement à l'échelle de la région.

Pour obtenir cette réduction du coût de mise en place, il faudrait que des subventions soient versées aux exploitants désireux de s'investir dans cet aménagement. Ces subventions sont légitimes, en raison des services environnementaux rendus par les paysans, lorsqu'ils adoptent des techniques de gestion durable des terres et permettent alors la réalisation d'effets positifs in situ et en aval. Mais il est aussi possible d'abaisser le coût, si ces opérations d'aménagement sont conduites dans un contexte de solidarité entre les paysans ; leur association permettra au moins de réduire très fortement le coût d'installation des clôtures de mise en défens. On peut même penser qu'une décision collective de réduire la vaine pâture dans ces terres aménagées permettra d'éviter l'obligation de clôturer pour garantir la mise en

défens. Ainsi, au moins le 1/3 des dépenses calculées lors de l'expérimentation, pourrait être défalqué du coût de mise en place effective.

Les effets pourraient être les suivants, en plus de la restauration des terres aménagées :

- un moindre besoin en fourrage forestier et de chaumes lorsque la productivité des terres aménagées aurait atteint l'équilibre recherché ;

- un effet hors site très important, avec la réduction de la vitesse d'envasement du réservoir Sidi Mohammed ben Abdellah.

Conclusion

Les terres de la commune des Sehou, destinées à la production de denrées énergétiques, fourragères et alimentaires, végétales et animales voient leur utilisation intégrée dans un système agro-sylvo-pastoral qui s'appuie sur 3 composantes : les terres de cultures, les parcours et la forêt. Même si l'efficacité économique de ce système est contestable, il continue à être privilégié, sur le plan social et comporte quelques aspects positifs sur le plan environnemental. Pour les familles démunies, l'importance de la céréaliculture réside avant tout dans le fait qu'elle permet, à moindre coût, l'entretien du troupeau qui dispose en plus, des parcours en forêt.

Avec les rendements actuels, les revenus générés parviennent rarement à assurer l'équilibre budgétaire des exploitations. L'élevage subit les mêmes aléas, en cas d'année sèche, puisqu'il souffre à la fois de la rareté du couvert herbacé des jachères, des parcours et de la forêt et de la faible production des cultures fourragères en bour et des chaumes.

L'environnement des Sehou, caractérisé par l'ampleur du phénomène érosif et de la dégradation des terres, notamment sur les versants les plus raides n'a pas incité les populations à mettre en place des aménagements antiérosifs. On peut déceler certains aspects de lutte anti-érosive et de restauration de la fertilité des sols, dans la rotation culturale avec adoption de la sole légumineuse ou fourragère, dans les parcours tournants pour fertiliser les sols, sans trop les dégrader, dans les clôtures biologiques sur certaines parcelles en pente, comme dans le labour dans le sens des courbes de niveau, etc. Mais, la charge animale a plutôt augmenté et donc, les risques de dégradation des terres par piétinement et surpâturage se sont accentués, ce qui contredit totalement ce qui semble être une conscience environnementale paysanne et une sensibilité pour la problématique de dégradation.

L'intensification par l'adoption de l'arboriculture fruitière, le maraîchage ou l'élevage stabulé est effective pour certaines exploitations, mais elle demeure réservée à des lots de terrain particuliers, sur des superficies très réduites. Les possibilités financières dont disposent les exploitants les plus performants leur ont permis d'introduire des innovations techniques qui se résument, pour les terres bour, dans l'adoption d'une sole de légumineuse ou de fourrage, et pour les terres irriguées dans la pratique de l'irrigation localisée et l'orientation du système de production vers l'arboriculture et les cultures maraîchères. Mais, cette extension de l'irrigation exerce une pression sur les ressources en eau souterraine de la nappe des Sehou, actuellement à la limite de l'équilibre.

Les exploitants Sehoul continuent à pratiquer un élevage extensif très dépendant de la forêt. Le recours à cet espace devient encore plus grand dans le contexte actuel marqué par l'extension des clôtures et des terres arboricoles, entravant la mobilité du troupeau. La présence continue sur les parcours forestiers se traduit par un effet de surpâturage. Les efforts de restauration de la forêt se résument dans des opérations de mise en défens, de plantation d'espèces à croissance rapide et des essais de régénération du chêne liège. Ces derniers sont sans doute les plus intéressants, du fait de leur impact positif durable sur la restauration du sol et de la biodiversité, mais aussi les plus coûteux à brève échéance. C'est pourquoi ils restent limités à ce que l'on peut assimiler à des expérimentations.

En majorité, les cultures sont en sec, du fait de la rareté de l'eau utilisable (eau de la nappe phréatique). Dans la céréaliculture, les itinéraires techniques mis en œuvre font appel aussi bien à l'araire ou la charrue métallique, tirées par un attelage, qu'aux moyens mécaniques motorisés. Deux contraintes rendent difficile la généralisation de la mécanisation, la mise en culture des terres en pente, sur des versants inaccessibles et la taille réduite des propriétés familiales.

L'évolution constatée récemment dans le système agricole des Sehoul concerne surtout la régression de la part de la jachère, ce qui ne peut pas être interprété comme un progrès vers plus d'intensification, car les cultures fourragères et les légumineuses, indicateurs réels d'intensification n'occupent que des superficies très réduites; les légumineuses qui permettent la diversification des productions et participent à la reconstitution de la fertilité des sols ne couvrent que 1% de la superficie agricole. La pratique de la rotation des cultures est donc loin d'être généralisée.

Il n'y a pas non plus d'évolution du système dans un sens d'intégration de l'élevage, en compensation du recul de la jachère. Or, c'est dans ce créneau que l'on pourrait voir se développer de larges espaces de la commune des Sehoul. Les céréales fourragères sont déjà en progrès rapide, du fait de la multiplication des clôtures et de l'effet que cela a sur la vaine pâture, condamnée à disparaître. Les légumineuses fourragères (lupin) sont aussi adaptées à la région. Reste à tester des espèces arbustives fourragères associées aux céréales, à planter en ligne, le long des courbes de niveau, pour disposer de ressources durables et en même temps protectrices pour le sol et les autres espèces végétales.

L'arboriculture reste marginale, avec notamment la vigne et l'olivier. La vigne est une culture adaptée aux plateaux aux sols sableux. Mais, le faible recouvrement du sol ne permet pas de l'étendre aux pentes soumises à la menace d'érosion. L'olivier est d'introduction récente dans la commune, mais les superficies qui lui sont réservées ne cessent d'augmenter. L'olivier a tendance à conquérir les versants peu dégradés ; associé à un effort de gestion de l'eau de ruissellement, grâce à l'aménagement de dispositifs de collecte de cette eau, il peut être réellement prometteur pour la région.

L'effet positif des techniques mises en place à l'échelle expérimentale est évident. Dans les ravines de Hannanat, on a à la fois une décroissance du degré d'érosion, un certain accroissement de la biomasse, quoique lent et en perspective d'avenir un profit économique que l'on pourra tirer de la fourniture de fourrage et de l'effet aval sur l'envasement et donc les disponibilités en eau pour la région côtière.

Mais, pour assurer l'adoption des techniques proposées, il y a un fort besoin en subventions, car, sans réduction du coût d'installation, ces techniques sont condamnées, alors que, avec un coût 50% moins élevé, ces techniques seraient profitables pour les terres dégradées. Ces subventions devraient être comptabilisées comme rétribution pour le service écologique offert par l'adoption de ces aménagements. Les terres dégradées et ravinées doivent donc être intégrées dans une vision globale d'aménagement du bassin versant

Des efforts mutualisés pourraient servir de base pour des changements profonds dans les systèmes d'exploitation des terres et de gestion des ressources, dans le cadre de projets de développement à concevoir avec tous les acteurs.

Pour la promotion de cette agriculture de région fragile dans un objectif de durabilité, une vision sur le long terme doit être obligatoirement au centre des préoccupations, intégrant les dimensions de fertilité des sols, de biomasse, de biodiversité, de disponibilité et de qualité de l'eau. Pour cela, il faut identifier, dans chaque territoire agricole et avec la participation des acteurs locaux, les stratégies agricoles existantes ou potentielles, comportant une dimension de conservation des eaux et des sols, les évaluer sur les plans économique, social et écologique, selon un protocole fiable et unifié, intégrant à la fois les impacts immédiats et ceux sur le long terme. On pourra alors voir se concrétiser, chez les exploitants, une conscience capable de choisir durablement, les stratégies les mieux adaptées au contexte local.

Il est tout aussi urgent de favoriser de nouvelles dispositions juridiques qui peuvent permettre efficacement la mise en œuvre des réformes et des aménagements : amener les agriculteurs à produire plus de fourrages, construire des étables et passer à la stabulation des animaux. En raison de la situation de pauvreté, il faut imaginer des projets alternatifs et une organisation de pâturage, afin de réduire les prélèvements sur les ressources forestières. Il s'agit donc de mettre en place des nouvelles réformes et concevoir de nouveaux rapports à la ressource.

Bibliographie

- Aderghal M., Chaker M. et Laouina A. 2012, Evaluation des projets de lutte contre la dégradation des terres: la commune des Sehoul (Maroc), Sécheresse vol. 23, n83, p. 211 -218
- Antari M., 2007, Mesure du ruissellement et l'érosion des terres dans le micro-bassin versant Matlq et essai de modélisation (région de Rabat. Maroc) Thèse de doctorat université Mohammed. V ; FLSH, Rabat, 230p.
- Beudet G. 1969, Le Plateau central marocain et ses bordures. Etude géomorphologique. Rabat, 478 p.
- CPCS, (1967) : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols. Classification des sols. Grignon (France), Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 87p.
- Coelho, C.O.A., Laouina, A., Ferreira, A.J.D., Naciri, R., Chaker, M., Nafaa, R., Carvalho. T.M.M., Boulet, A.K., Pereira, J.B.P., (2002), Forest and grazing impacts on hydrological and erosional processes in Southern Portugal and Northern and Central Morocco. *Man and soil at the Third Millennium*, GeoformaEdiciones, Logroño, pp. 1255-1264.
- Ghanem, (1981) Contribution à la connaissance des sols au Maroc, genèse, classification et répartition des sols des régions des Zaer, basse Chaouia et des Sehoul. *Les Cahiers de recherches agronomique*, n°37 et 38, INRA, Rabat
- Ghoulimi. S., (1999) Les communes rurales et les problèmes de développement local. Cas de la commune des Sehouls. Thèse du DES. Géographie humaine, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohamed V-Agdal Rabat

- Kirkby MJ; Irvine BJ; Jones RJA; Govers G; PESERA Team (2008) The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I. - Model rationale and implementation, *EUR J SOIL SCI*, **59**, pp.1293-1306
- Laouina, A. (1998), Land degradation in Mediterranean Environments on the world. Nature and extent, causes and solutions. Wiley, pp. 91-108.
- Laouina, A., Chaker, M., Naciri, R., Nafaa, R. (1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional. BAGF, Paris, pp. 384-398.
- Laouina A., Aderghal M., Al Karkouri J., Chaker M., Machmachi I., Machouri N., Sfa M. (2010) : Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres, le cas du secteur Sehoul, région atlantique, Maroc. *Sécheresse*, 21, 4, 309-316.
- MADPRM, 2006. Étude de l'analyse des sols dans le périmètre de mise en valeur en bour de sehoul : Evaluation de la fertilité des sols et fertilisation des cultures. Rapport 2: Résultats d'analyses, interprétations et recommandations. Edition Définitive. 33 p.
- Nafaa, R. 2002. Dynamique du milieu naturel de la Mamora. Paléo environnements et évolution actuelle de la surface. Thèse de Doctorat, Université Hassan II, Mohammedia. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Mohammedia. Série Thèses No 3, 321 p.
- Naimi, M., Tayaa, M., Ouzizi, S., Choukra-Ilha, R., Kerby, M. (2003). Dynamique de l'érosion par ravinement dans un bassin versant du Rif occidental au Maroc. *Sécheresse*, 14(2), pp. 95-100.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., &Valentin, C., (2003). «Gully erosion and environmental change: importance and research needs». *Catena*50, 91-133.
- ROOSE Eric, 1994, Introduction à la gestion et la conservation des eaux et du fumier et la fertilité des sols (bulletin pédologique de la FAO N°70, 420 p.)
- Schwilch, G., Laouina, A., Chaker, M., Machouri, N., Sfa M., Stroosnijder, L. 2013: Challenging conservation agriculture on marginal slopes in Sehoul, Morocco, *Renewable Agriculture and Food Systems*,
- Schwilch G., Bachmann F., Valente S., Coelho C., Moreira J., Laouina A., Chaker M., Aderghal M., Reed M. Santos P.: A structured multi-stakeholder learning process for sustainable land management, *Journal of Environmental Management* 107 (2012) 52-63
- Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y., (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63, 132–153.
- Van Dijk, S.J.E., Laouina, A., Carvalho, A.V., Loos, S., Schipper, A. , Van der Kwast, J. , Nafaa, R., Antari, M. , Rocha, A. , Borrego, C. and Ritsema, C.J. (2006) : Desertification in northern Morocco due to the effects of climate change on groundwater recharge (Rabat region, Morocco), *Proceedings of the Conference on "Desertification in the Mediterranean region, a security issue"*, Kepner, Rubio, Mouat & Pedrazzini eds, 549-577, Springer, Netherlands.
- Wafteh A., Nafaa R., Aderghal M., Al Karkouri J. & Taïlassan M. (2007): La durabilité des ressources en terre et en eau, dans le contexte des transformations agraires dans les plateaux du Sahel Atlantique de la Mamora et du Gharb (en Arabe) in GCES au Maroc, Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 17-30
- WOCAT. 2007. Where the Land is Greener: Case Studies and Analysis of Soil and Water Conservation Initiatives Worldwide. Centre for Development and Environment, Institute of Geography, University of Bern: Bern.
- WOCAT - DESIRE, 2012 : Desire for greener land, Options for Sustainable Land Management in Drylands, 225p.



CHANGEMENT DES ÉTATS DE SURFACE, PRÉCIPITATIONS AUTOMNALES ET VULNÉRABILITÉ DES SOLS DANS LE BASSIN VERSANT DU BOUREGREG AU MAROC

Land cover changes, autumn rainfall and soil vulnerabilities in the Bouregreg watershed in Morocco

YAO TÉLESPHORE BROU¹, ANAS EMRAMF, LAOUNA ABDELLAH¹, MILLOUD CHAKER²,
SYLVIE COUPLEUX⁴, SAÏD BOUJROUF²

¹Université de La Réunion, UMR ESPACE-DEV (IRD, UM2, UAG, UR), BP7151,
97460 Saint-Denis cedex 9, La Réunion, France.

²Université Mohamed V, Institut Scientifique de Rabat, Avenue Ibn Battouta, B.P. 703 Rabat-Agdal Maroc

³Université Mohamed V, Équipe DESIRE, Chaire UNESCO-GN, Rabat, 3, avenue Ibn Battouta, B.P. 1040 Rabat, Maroc

⁴Université d'Artois, EA 2468 DYRT, B.P. 665, 62030 Arras Cedex, France

⁵Université Cadi Ayyad, Département de géographie, Avenue Abdelkrim Khattabi, B.P. 511, 40000, Marrakech, Maroc

Reçu le 17 octobre 2011, accepté le 28 décembre 2012

RÉSUMÉ

Localisé dans la région de Rabat-Salé-Zemour, le bassin versant du Bouregreg est un espace essentiellement pastoral dans ses parties intérieures montagneuses et une zone agropastorale en aval. Les dynamiques paysagères observées sur ce bassin versant, à l'instar de la plupart des bassins versants du Maroc atlantique, sont marquées par une densification des zones de cultures dans les plaines et de leur extension sur les versants. La classification supervisée des images Landsat de 1987 et 2006 a permis de mettre en évidence l'évolution de l'occupation du sol. Sur l'ensemble du bassin versant, entre 1987 et 2006, 15 % des surfaces boisées ont été transformées en espaces agricoles. La prise en compte de la morphologie du bassin versant permet de mettre en évidence la fragilité des paysages agricoles. En effet, près de 39 % des surfaces cultivées sont situées sur des pentes de 5 à 10 % et près de 24 % sur les pentes de 10 à 20 %.

Ces terres de culture présentent une quasi-absence de végétation durant la période de préparation des sols et de semis. L'archivage et le suivi à l'échelle saisonnière des NDVI (indice de végétation normalisé) décennaux du capteur Spot végétation sur la période 2001-2009 révèlent un allongement de la période au cours de laquelle les sols sont quasi-dénudés durant les années de sécheresses exceptionnelles.

Par ailleurs, l'analyse de la série pluviométrique de la station de Rabat met en évidence une modification du régime des pluies automnales à partir de 1999, marquée notamment par une tendance à l'accroissement des hauteurs de pluie en octobre. Cette situation est susceptible d'accélérer la vulnérabilité des sols dénudés (à pentes fortes) à l'érosion pluviale, notamment à l'occasion d'années particulièrement sèches comme ce fut le cas en 2003 et 2007.

Mots clés : État de surface, NDVI, variabilité climatique, érosion, télédétection, Bouregreg

Auteur pour correspondance :
Téléphone : 00 33 6 92 04 20 91
Courriel : yao.brou@univ-reunion.fr

ISSN : 1718-8598

Revue des Sciences de l'Eau 26(2) (2013) 81-87

Article de l'équipe SIGMED, paru dans la revue Sciences de l'Eau, 2013

MANAGEMENT OF GULLIED AREAS IN THE ATLANTIC PLATEAUS OF THE BOUREGREG WATERSHED, MOROCCO

A. Laouina¹, M. Chaker¹, M. Aderghal¹, J. Al Karkouri², N. Machouri¹ & M. Sfa¹

Abstract

With the objective of gullied slopes management on the north banks of the Oued Grou valley, in the Sehoul commune, the option was to plant *Atriplex halimus*, a fodder shrub adapted to semi-arid environments, on degraded lands. The experimental plot corresponds to a strongly gullied old fallow. The gullies are parallel and start at the middle of the slope and extent to upland by retreat of their head. Each gully is 2 to 4m large and 1 to 2m deep. Downstream, the gullies loose their depth and deposit fans composed of material eroded upstream, before they join the channel of Hannanet, which has the tendency to incise its bed (more than 4m deep) inside colluviums made of sand, clay and pebbles.

This paper presents an evaluation of this SLM (sustainable land management) technique, to assess its effect in term of soil protection and vegetation restoration.

The monitoring concerned several parameters, the covering of the herbaceous vegetation, its biomass and the floristic biodiversity, the fodder production, the soil surface in term of moisture, resistance to penetration, cohesion, rate of pebbles and of the encrusted parts. In addition, we made observations on the gullies transversal profile and on the steepness of the banks.

The results of the monitoring during 2 years show that the *Atriplex* technique, for correction of the gullies, presents several advantages:

- Increase of the covering rate by herbaceous plants and of the degree of the soil protection,
- Improvement of the quality of the herbaceous vegetation, with an increase of the permanent species,
- Improvement of the floristic biodiversity, of the vegetation biomass and of the quality of fodder,
- Increase of the fodder production, from 127 fodder units per ha to 694, which represents a rate of 72%.
- Improvement of the soil surface, with a higher soil moisture and a weaker compaction.

The observations made during the intense episodes of rain of the winters 2010 and 2011 show that in the atriplex plot more rain infiltrates and less runoff is generated. This process appears through the profiles of the gullies, which already show less steepness and more sharp banks.

The soil management by atriplex plantation offers a good opportunity for both, fodder production and soil conservation. The main factor responsible of this trend is the plot fencing during the phase of atriplex growing and herbaceous recovering. Less animal pressure on the vegetation cover and on the soil is then the solution for gullies cicatrization and for ecosystem stability.

The regional analysis demonstrates the difficulty to extent this kind of management and the constraints, which face the management. The participatory approach adopted before the experimentation was not enough to avoid these constraints. It is why the social context should be more understood to prevent the difficulties we faced.

Résumé

Dans l'objectif d'aménagement des versants ravinés des rebords de la vallée du Grou, dans la commune des Sehoul, l'option a été de planter des arbustes d'*atriplex halimus*, plante fourragère adaptée aux terres dégradées sous environnement semi-aride. La parcelle expérimentale correspond à un versant en friche, fortement raviné. Des ravins parallèles apparaissent en section moyenne du versant et enregistrent un recul de tête important. Chaque ravin, de 2 à 4m de large et 1 à 2m de profondeur, diminue en profondeur vers l'aval et dépose un cône de déjection constitué du matériel emporté en amont, avant de rejoindre le chenal de Hannanet qui incise son lit sur plus de 4m de profondeur dans des colluvions de sable, argile et cailloux.

L'article évalue cette technique d'aménagement des terres et ses effets en termes de protection du sol et de restauration du recouvrement végétal.

Le suivi a concerné plusieurs paramètres, le recouvrement herbacé, la biomasse, la diversité floristique, la production fourragère, l'état de surface du sol en termes d'humidité, de résistance à la pénétration, cohésion, taux d'éléments grossiers et d'encroûtement du sol. En plus, ont été faites des observations et mesures sur le profil des ravines.

¹ DESIRE Moroccan team, Mohamed V University, Faculty of Human sciences, CERGéo, Chaire UNESCO-GN.

² DESIRE Moroccan team, Ibn Tofail University, Faculty of Human sciences.

1. Introduction

Under semi arid conditions, the erosion by superficial runoff, concerns more than 80% of the slopes, but contributes only for a weak part of the global soil loss (Heusch, 1970, Debazac & Robert, 1973). The beginning of the streaming concentration, under the aspect of rills and gullies, constitutes a fundamental step in the slopes degradation (Kalman, 1976). Its main danger occurs when those concentrated streams start and carry the maximum of soil exportation. We pass from a discreet and continuous transport to a massive exportation that impregnates the landscape. The danger is still looming ahead as long as the rill exists, because it canalizes water immediately downstream, and can transform itself, in case of excess of precipitation, into a deeper and more active gully (Poesen & al., 2003).

There is no unique scenario; the sorts of rills and gullies vary according to local and general conditions; the thresholds of their appearance are more or less heightened; their evolution is more or less exaggerated; the reasons of their appearance can be purely natural or in relation to a determinant anthropic factor. But, in any case, it seems clear that we are dealing with dangerous phenomena that can lead to a disastrous evolution of the slopes.

In the Maghreb (Conacher & Sala, Eds, 1998), the poor quality of soils explains their potentially high erodibility (Coelho & al., 2002). The reduction of organic matter and vegetation cover, results in soil compaction and higher overland flow generation, in the overgrazed areas, whilst in the ploughed areas, erosion yield is often higher. In semi-arid environments, out of the fragile mountainous regions, the traditional land management systems, involving a combination of agriculture, animal husbandry and forestry, produce moderate amounts of overland flow and soil erosion rates. It is the case of the Atlantic plateaus of Morocco. Poverty and the absence of traditions of the resources protection do not lead to investment in adaptive management strategies (Aderghal & al., 2007, Watfeh & al., 2007).

In this area, the *Quercus suber* forest seems to be the more conservative land use, compared to pastures and crops. Under the forest, are recorded smaller overland flow amounts, inferior to 10% of rainfall. An increase of grazing pressure leads to significantly higher overland flow amounts (Coelho & al., 2000; 2003) and, erosion is significantly enhanced.

Outside of the forest, the traditional use concerns both agriculture (cereal production) and grazing by mobile flocks around and inside the forests. Both agriculture and grazing have an important responsibility in the natural vegetation degradation and retreat (Eaux et Forêts, 1998, Nafaa, 2002, Roose, 1994). It is in these areas that gullies show their maximal extension.

In the framework of the DESIRE project, the Moroccan team applied an experiment, with the aim of demonstrating the potential of degraded lands rehabilitation

2. Definition of the research question and hypothesis

For the assessment of existing land management techniques, the Moroccan DESIRE team used the WOCAT Questionnaires (WOCAT, 2007) and field measurements of vegetation and soil surface, in addition to laboratory analysis of soil fertility and organic matter. The results were presented to the local stakeholders within a participative workshop for the selection of promising technologies to be adopted in which participated the farmers, the local technicians, the elected officials and associations. Eight of the discussed options were classified, based on

12 economic, ecological and socio-cultural criteria. The participants were invited to score the options and the farmers had a predominant role in term of scoring. Their choice was for the conservation of the current system, prevailing in the Atlantic plateaus of Morocco, based on cereals and grazing. They also recommended to introduce a minimum of innovations, and to minimize the effort necessary to implement these innovations. This choice can be explained by the scarcity of water resources in this area and the great variability of rainfall, in addition to the proximity of Rabat, which represents a large range of other jobs for the rural population and the possibility for urban investment in land. That is why the farmers gave privilege to the solution of fodder shrub strips, because, with this technique, cereals remain dominant on the slopes, and because the strips may serve as a fodder complement.

For the slopes affected by gullies and rills, the choice was for to avoid mechanic correction and to implement a dense plantation of fodder shrubs, like *atriplex halimus*, along the contours, with the will that these degraded areas can rapidly be restored and become productive and less eroded.

The team of research applied this recommended action. In the gullied plot of the Hannanet catchment, were planted Atriplex shrubs, inside a fenced area; these shrubs constitute bands with a distance of 6m in between and a density of about 760 shrubs/ha; the rate of success was about 89%; the shrubs were irrigated every 20 days, during the four first summer months. In winter 2011-12, the field was opened to grazing, 2 years and a half, after its plantation.

The choice for Atriplex results from the fact that this shrub is able to grow and reproduce under conditions of rainfall between 100 and 400 mm of rain per year. Thanks to its strength and its hardiness, the plant grows vigorously even after being cut and grazed. The main objective becomes to improve the pastoral productivity. The second objective is the reduction of runoff and sediment yield.

3-Presentation of the field study site

The Sehoul Plateau, located between the Mamora forest in the north, and the Grou valley in the south, is a part of the Palaeozoic Atlantic Meseta. Despite its location in favourable parts of Morocco in terms of climatic conditions, it consists of marginal land with both a high poverty and important indicators of degradation.

On the surface of the plateaus, the Pliocene and Pleistocene calcarenites have been deeply weathered and furnished a thick Fersiallitic soil (CPCS, 1967) in which processes of leaching have occurred and produced a sandy superficial horizon which represents a fragile material, stabilised by the organic matter, but threatened by runoff and wind erosion, in case of vegetation cutting.

Two big valleys and their tributaries incise this plateau, the Bouregreg and the Grou, which join, 15km far from the Atlantic Ocean. The incision reveals the geologic material composed of Miocene marls on top of Palaeozoic shale and sandstone. On the slopes, the successive quaternary cycles produced colluviums and soils, themselves submitted to erosion and deposition downstream, and along the valleys, by superficial runoff and channels more or less incised. The outcrops of these colluvial materials show the complexity of the dynamics, which occurred during the recent Pleistocene and the Holocene.

In spite of the transformations in the agricultural system, we observe the resistance of the grazing activity and an overgrazing situation inside and out of the forests. The reduction of the lands reserved for grazing explains the concentration of herds on narrow pastures, with less possibility of movement. The fodder balance assessment remains negative, because, almost 50 % of the needs are brought from the market or induce practices, ending in an overgrazing of the forest, the pastures and of the cultivations residues (Van Dijck & al., 2006). The animal pressure increased recently, particularly because of the association between local residents and investors from the neighboring cities.

The Hannanet experimental site represents a small catchment, with large area covered by annual crops or fallow, representing the normal local land use in this area. The plots are located on slopes of about 15 %, covered by red sandy colluviums, mixed with stones, removing the deeply weathered material of an old fluvial terrace, on top of the Mio-Pliocene marls. Erosion on slopes often washed the fine material and let to the concentration of stones on the surface. In these areas, water erosion keeps the form of sheet runoff, due to the high stoniness, in spite of the fragility of the soil, often compacted and crusted. Annual rainfall is about 480 mm, during a single rainy season from October to May.

In the annual cultivations (cereals, beans, lupine...), the soil is ploughed by animal traction or mechanically. Grazing during summer consumes the whole residues. In September, the soil is completely bare; it is why, sheet erosion exports important amounts of material. Some small plots conserved the matorral cover, composed of *chamaerops humilis*, *Oleaster* and *Lentiscus* and the original thick calci-magnesian soil on the marls, which passes to a fersiallitic soil on top of the hills. Some other plots, cultivated during successive years, are now abandoned to long-term fallow, because their advanced state of degradation let to the wide ablation of their soil by sheet and rill wash in certain cases, or to incision and the development of gullies in others (fig. 1).

4-Description of the gullied slope in Hannanet catchment

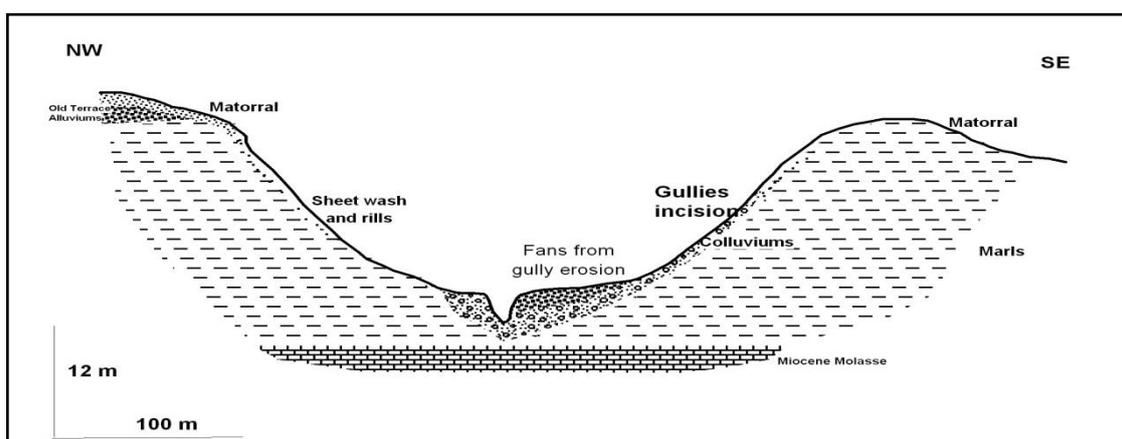


Fig. 1: Transect of the Hannanet catchment

The gullied slope has a transversal rectilinear profile (fig. 1), regulated since its convex summit, up to a large bed where is located a deeply incised talweg. Lengthwise too (fig. 2), the profile is rectilinear enough, without sufficient incisions to develop the possibility of hierarchy of gullies,

inside colluvial materials of less than 2m thick. The hill slope is complex, constituted, in spite of its planity, of a succession of sections, in consequence of an old phasis of colluvial deposition, which filled the depressed zones, between marls outcrops. The more or less thick colluvial filling is composed of silts from marls, sand and quartzite pebbles, from the old terrace. On the colluviums, a weakly evolved soil was developed. This paleo-morphology is going to guide the posterior evolution and namely the depth of the gullies, in accordance with the substratum.

The slope (fig. 2) shows longitudinal gullies and discontinuous holes, opened sometimes downstream. Those scars, reminding the effect of piping, indicate the action of the hypodermic streaming within the inferior horizon, the richest one in clay. They also indicate the appearance of sub superficial water in saturated places and its contribution to the superficial runoff. The concentrated deep and parallel gullies are separated by inter-gullies, where the thickness of the colluvial material is totally preserved. The surface of the inter-gullies is affected by areolar runoff, responsible of a superficial loss of fine particles; the surface is then, covered by a gravel paving. Each gully maintains a rigid transversal profile, with vertical banks and narrow talweg (fig. 2). The consistency of the colluviums enables the verticality of the banks, which fall down after particular events with a high intensity of rain. It is the reason why we find soil blocs in the gully bottom, swept away by the following events. That is also the reason of extension of the gullies, both upstream and laterally. For the scars which appear at the middle section of the slope, the extension is also downstream, until the concavity which leads to the colluvial fans developed up to the main channel. All the gullies become superficial when they reach this level. Downstream, the gullies deposit fans composed of material eroded upstream, before they join the channel of Hannanet, which has the tendency to incise its bed (more than 4m deep) inside colluviums made of sand, clay and beds of pebbles.

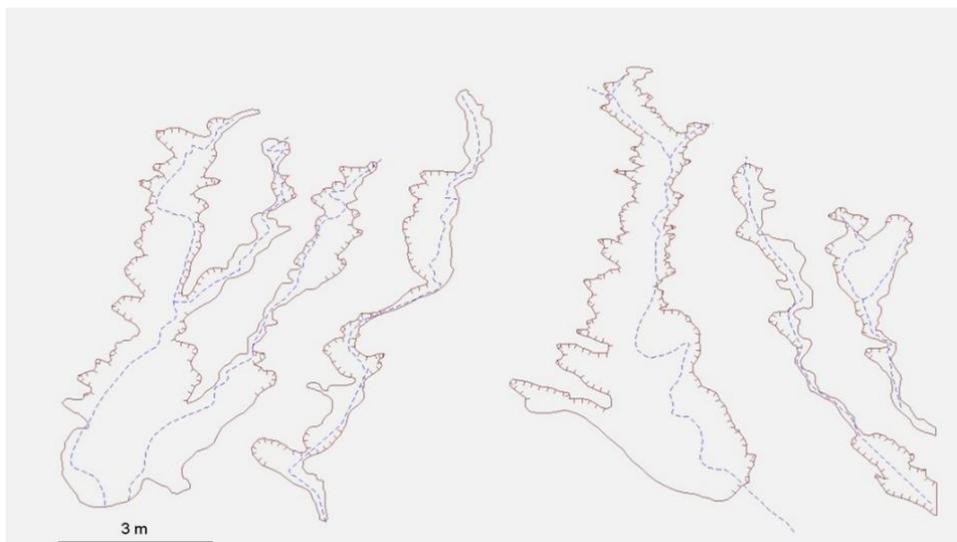


Fig. 2: Extension and forms of the gullies before management

On the facing slope (fig. 1), sheet erosion was responsible for the denudation of the slope and the outcrop of marls. Down of the plot covered by a remnant matorral, with a thick soil, the marls appear, coloured by removed soil, from upstream. The continuous cultivation of this

steep part of the slope led to the complete denudation and the abandon of this area, facing the South East, to grazing. Rills are responsible of this sweeping on the quasi-totality of the slope. The process corresponds to the passage of less powerful sheet-shaped streaming to rills. At that moment, the swift dragging of materials is linked to the incision of water veins. Later, the rill stabilizes itself in accordance with a certain water flow (Kalman, 1976), and the erosion becomes very low. However, water is evacuated forthwith and then presents, for the downstream the danger of the floods accelerated formation. Those rills originate in the middle part of the slope and spread upstream only in case of durable rain, able to saturate the soil in depth and in case of thick material, easy for incision.

5- Hypothesis

About the origin of gullies

In the Sehou, 80% of agricultural land is still occupied by rainfed grain, tilled by disc plows, responsible of the destruction of the structure of these silty soils. Coinciding with the autumnal rains, mechanized tillage promotes the formation of crusts capping, leading to increased runoff. In fact, even lands kept fallow are not immune to compaction because they are severely grazed during the wet season. After the stubble, all lands are trampled and denuded by overgrazing, resulting in the infiltration process dysfunction.

The small incisions (less than 30 cm deep) are ephemeral and erasable by plowing; they appear especially in autumn and early winter, following the first rainfall. They may start on slight slopes and are generally concentrated in their middle section. The phenomenon affects particularly the leached fersiallitic soils developed on the surface of the plateau and the colluviums, which remove, on the slopes, the silts and fine sands developed upstream.

The gullies developed on slopes are of medium size and evolve particularly on southern exposure. Their extent is on soils slightly evolved, in case of thick colluviums.

The channels of the valleys' bottoms are larger, created by more concentrated and energetic flow inside the massive accumulation of sediments from hillsides.

The spatial distribution of incisions, all sizes combined, seems to be conditioned by the physical environment, including topography and lithology; but in detail it is the surface characteristics, associated with different forms of land use that control their occurrence and development.

Hypothesis on possible means of land rehabilitation

In the Sehou, farmers are particularly fearful of gullies, which make ploughing increasingly difficult and lead to abandon the land for grazing. Sheet erosion has negative impact on soil fertility, but it remains discreet, less daunting to farmers who give more priority to gullied areas in the rehabilitation and land restoration process. As soon as the gully appears, farmers try to mitigate it by intervening directly on its channel. In the plots near houses, the gullies are often transformed into a dumping area receiving all sorts of waste. In the cropping plots open to grazing, the rehabilitation efforts are often not successful due to the grazing effect. In areas less frequented by animals, some farmers have tried to reduce gullies by planting trees such as ficus or eucalyptus.

Given the scarcity of rock outcrops, the local population has not developed the techniques of walls and check dams widely practiced in other regions of Morocco. It is why, the local know-how in term of attenuation of gullies appears to be ineffective. Trees planted directly in the channels are quickly diverted by the flow.

The state project PMVB tried to remedy the problems of erosion by improved agricultural practices, livestock management and planting fruit trees. Between 2002 and 2005, this project contributed to raise awareness through campaigns and direct experiments with new techniques and practices. The gabions technique tested in some gullies remains costly and inefficient.

The experimental planted and fenced plot of 5000m² size, applied in the framework of the DESIRE project, corresponds to an old fallow strongly gullied. After plantation, the plot was fenced in April 2009. The fencing and the non-grazing decision has as objective to improve the vegetation cover by the reduction of the biomass withdrawal and by the less compaction of the soil. This was intended to improve the rate of biodiversity, to offer richer and more varied grass fodder, in addition to the fodder from the shrubs, to retain water in the soil, reduce the runoff and the drainage basin of the gullies.

6- Methodology

The monitoring methodology is based on the follow-up of the types of land use behaviour, by comparison between several plots, a plot of land still covered by original matorral, the plots continuously cropped with cereals, the plots with rotation cereals / beans or cereals / lupine, the plots abandoned to long term fallow, after deep soil degradation and the gullied plot.

This monitoring concerned several parameters:

- the covering of the herbaceous vegetation, its biomass and the floristic biodiversity, vegetation and crop characteristics (height, cover fraction) by the point quadrat method, mulch cover fraction (Daget Ph. et Poissonnet J., 1971; Gounot M., 1969);
- evaluation of the fodder production: mineral part, organic part, fat, nitrogen matter, cellulose, and digestibility in vitro of the organic matter;
- Agronomical activities of the farmer and yield assessment;
- Soil surface assessment : % of crusted parts, roughness, cohesion using a TORVAN, penetration resistance with a penetrometer, soil moisture with portable TDR probe (0-6 cm depth), infiltration rate, using double ring infiltrometer,
- Observations on the gullies transversal profile and on the steepness of the banks; erosion features (gully density and dimensions)
- Meteorological and discharge measurement, on the Hannanet watershed, and the neighbouring areas, with a V-nodge on the main channel, follow-up of overland flow on plots and rain simulation.

7- Results

The dynamics on the slopes and in the channel

The measuring of the superficial runoff on slopes enables to understand the thresholds from which the process gives way to an erosion tending to concentrate in more or less deep streams. The runoff coefficient (Cr) on slopes varies between 0 and 30%; however, most often, it remains largely inferior to 10% (Laouina & al., 1993, Nafaa, 2002). If we consider the results

of moderately rainy periods, it is obvious that the superficial streaming remains globally weak, but during a very wet period, the results may go up very strongly. It is in the Mda basin, in the Prerif hills (Heusch, 1970) that were recorded the highest figures with a Cr equivalent to 30% and erosion, which overtakes 54t/ha/year. Those massive exportations show the qualitative operated change, consisting in the overstepping of a threshold; the plots that signal so high rates are all scratched or affected by gullies.

The episodes with a strong intensity give a more important runoff, in Mamora, 10km north to the Hannanet catchment (Nafaa, 1993). The highest Cr was recorded in the rainy period of the beginning of April 1992, that interfered with a high intensity, whereas the soil has not been enough wiped up, after the rains of the end of March. The intense rains on an already saturated ground are the most dangerous situations and give rise to immediate streaming, while on a dry soil, the runoff starts only after a rainy peak ranging from 18 to 20mm.

It seems that it is the continuous rain, responsible of the saturation of the superficial horizons, which accounts for the strongest values of suspended load. On the other hand, the intense and brief rains, accompanied with a high Cr, allow only a moderate concentration. In the Rif mountain, in the Mokrisset area (Laouina & al., 1993), the rains of winter 1991 (635mm in January and February) allowed the apparition of saturation phenomena in located sites. This was responsible for the formation of scars, that correspond to small mud flows (scars of about 2 to 3cm deep, 20 to 30cm large and 15m long). The scars, which appear, at the middle of the Hannanet slope can be interpreted in the same way. The thickness of the colluviums and their content in clay explains both the generation of the initial scars and the possibility for their deep and large extension.

The infiltration measurements in various plots of the Hannanet catchment show that grazing is a fundamental factor of infiltration reduction (Laouina & al., 2004, 2006). Both in forest areas and in cultivated lands, grazing explains the compaction of the soil and the rapid generation of runoff.

The rain simulations showed the high rate of overland flow in the bare land with important stoniness and in the degraded pasture, submitted to overgrazing.

The hydrologic behavior (Antari, 2007) confirms this tendency for rapid generation of runoff in the grazed plots, but with a variation between seasons. In autumn, the flood hydrograph shows a fast response. The peak discharges correspond to a runoff coefficient superior to 54%. In winter and spring, the peak discharge and the runoff coefficient are low, compared to the autumnal period (less than 5%). During the intense rain events, is recorded high content of suspended load.

	Overland flow rate (Cr %)	Erosion (g/m ²)
Bare and stony Fersiallitic soil	25	205
Fallow on calci-magnesian soil	9	55
Pasture on calci-magnesian soil	18	38

Table 1: Overland flow and erosion on slopes submitted to overgrazing

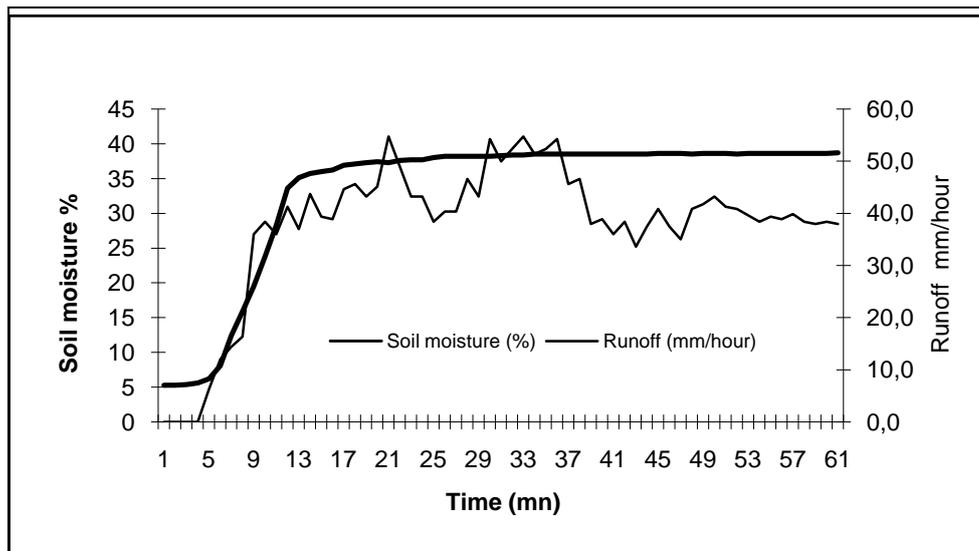


Fig. 3: Rain simulation during 1 hour, on a degraded red soil

The effect of the fencing and atriplex plantation

The assessment of this effect was made by the comparison between the restored plot, which correspond to an old cropping field, today abandoned after its incision by gullies, managed by our team, by fencing and plantation of Atriplex fodder shrubs, the non-managed part of the gullied plot and a field in fallow, not yet gullied.

In the plot treated by Atriplex plantation, we noted rapid change in the evolution of surface characteristics. This result was actually initiated by both the fencing and the creation of water traps around the shrubs, which helped water retention and increase of soil moisture. The results of the monitoring during 2 years show that the protection of the slope affected by gullies and rills by fencing and fodder shrubs plantation has several advantages:

- Increase of the covering rate by herbaceous plants from 57% in the gullied field to 87% in the restored plot, during spring.
- Improvement of the quality of the herbaceous vegetation, with a 3 times increase of the permanent species, after one year.
- Improvement of the floristic biodiversity: in the Atriplex plot, the number of species is 2 times the one in the non protected slope.
- Increase of the vegetation biomass: the total palatable biomass has increased from 360 kg/ha to 1235, after management.
- Improvement of the quality of fodder: the rate of nitrogen matter increased from 34 to 190 kg/ha and the rate of cellulose from 63 to 211 kg/ha.
- Increase of the fodder production, from 127 fodder units per ha to 694, which represents a rate of 72%.
- Improvement of the soil surface: In the atriplex plot is recorded a higher soil moisture than in the non protected slopes, and a weaker resistance to penetration as well as a lower cohesion. Compared with control plots, the observations and the moisture measurements by TDR showed that the soil becomes increasingly open and permeable. We can directly observe strong soil disturbance caused by restored biological activity, allowing aeration and soil amendment with organic matter, which made the soil less compacted and encrusted.

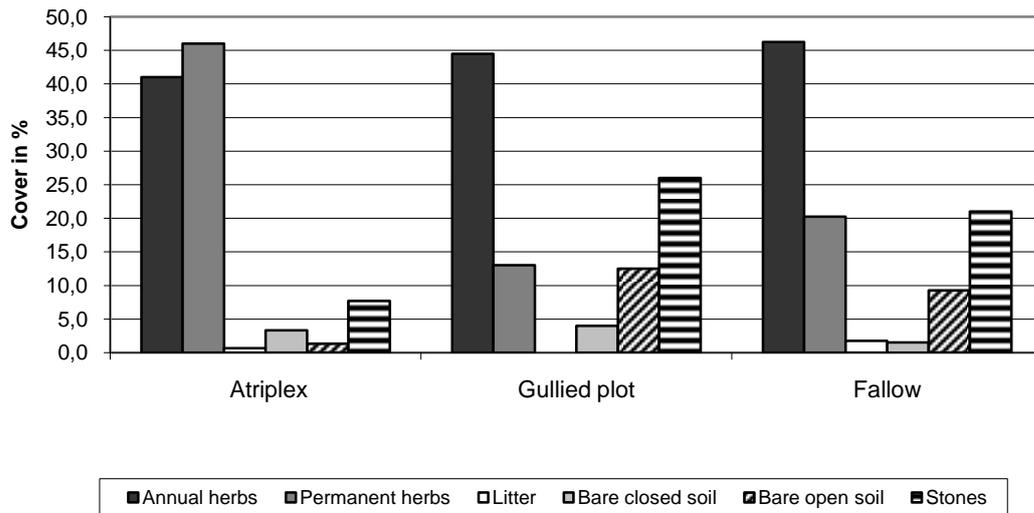


Fig. 4: Comparison of 3 plots in term of soil cover composition

-The observations made during the intense episodes of rain of the winter 2010 show that in the atriplex plot more rain is infiltrated and less runoff is recorded. This process appears through the profiles of the gullies which already show less steepness and more sharp banks.

-The morphometric measurements show an important extension of the area occupied by each gully in the non fenced slope, while in the managed field, the tendency is for the cicatrisation of the gullies, the loss of steepness of the banks and the growing of vegetation in the channels. As opposed to gullies located in the control plot, which are considerably cleaned and straightened on their edges, the gullies in the planted plot are increasingly mitigated. Edges continue to provide sediments by both creep and micro landslide, but these materials move over short distances, consequently filling the channel.

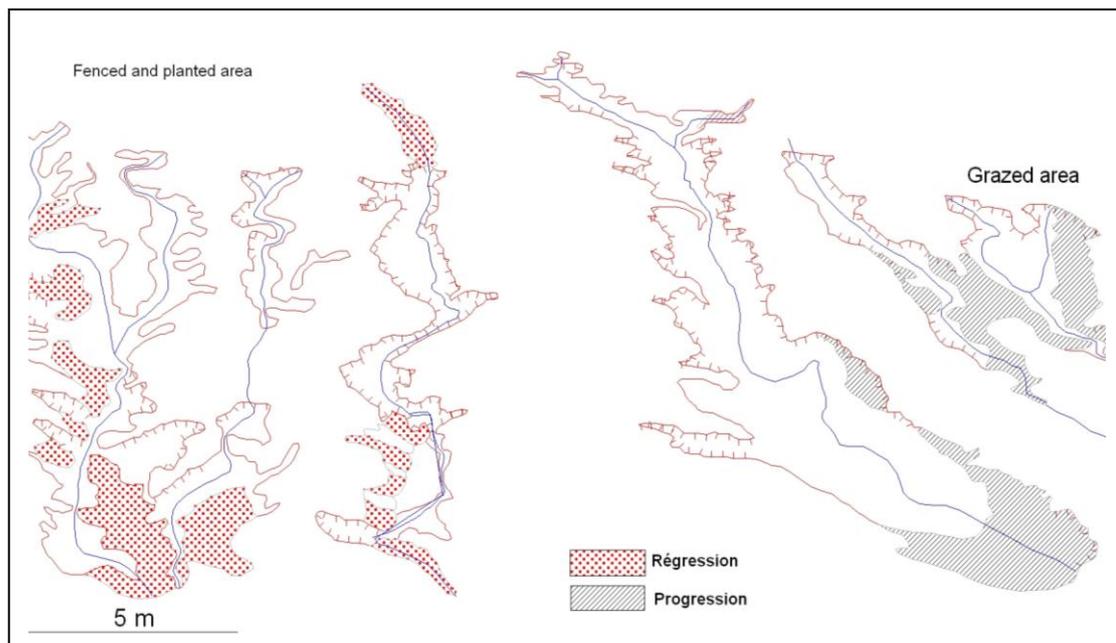


Fig. 5: Progress and retreat of the gullies in the managed plot and in the grazed area

In the long run, the *Atriplex* planted along strips, can contribute to improved fodder potential, higher water retention, and more organic matter. Thus, an eventual generalization of *Atriplex* plantation associated with rainfed grain will significantly contribute to surface evolution, thereby reducing both runoff and land degradation.

8- Discussion: Regional analysis of the possibilities of management and constraints

The proposed technology of gullies control is adapted for two types of land in the commune of Sehoul :

- the already degraded slopes, originally covered by matorral, made of trees and shrubs, and uses as a grazing area,

- middle gradient slopes (4-20%), used for annual crops, threatened by runoff and sheet erosion, but also by rill incision and local formation of gullies, in some unfavourable locations.

But, many constraints face this choice of management. These constraints derive from social evolution of the population during the last 60 years, with the regression of demographic growth and mainly the rapid transformation of the rural structure of families to a new kind of farmers, more interested by what they can earn during their frequent movements to the city than by their own traditional agriculture. Due to the penetration of urban investment, direct overgrazing and indirect effect related to mismanagement of land for fodder production, operate massive damages to the vegetation cover and to the soil. It is why the SLM behavior, approaches and techniques have a very low rate of chance for success, without a deep change in term of land ownership, law constraints, agrarian structures, relations between the city and its vicinity, etc.

Scenarios were built, based on various rates of land management inside the fragile environments, vulnerable to degradation by runoff and erosion. These scenarios try to integrate the concept of SLM into the current system of livestock to make this system, progressively evolve towards intensification, more income and less land degradation. The proposed changes are not easy to apply. At first, at the level of the farms, we must consider the private character of property, the dispersion of the plots and the various state and forms of degradation. At the level of the whole territory, many agro-sylvo-pastoral combinations are possible. But, in what measure is this vision practicable? Can we recommend a specialization of certain lands in grazing and others in farming, without rethinking the restructuring of the fragmented plots? This calls agreements between farmers and new landowners, coming from the city. The choice for planting gullied plots with *atriplex* demonstrated, during 2 years of monitoring, its effective potential for land rehabilitation, fodder supply of the cattle and for evolution towards a new semi-intensive breeding. But, how to encourage the farmers to invest in this effort of planting? What would become the role of the domanial forest, which would be in this perspective, less used for grazing and devoted for new activities?

As the cost investment reaches about 2500 euros/ha, after 6 years, the financial balance remains negative and the technology needs a long time horizon to be profitable; it is then not acceptable for land users, without a state subsidy, in order to reduce the cost supported by them. The fencing has an effect of eliminating the free displacement of flocks and then the free grazing; at the same time, it increases the pressure on the remnant fields not fenced, the forests and the

fallow for example. The fencing represents a large part of the investment cost. In case of a concerted action, fencing larger fields than the individual plots could reduce the costs; but it needs coordination between land users.

The positive effects of the technology are evident: it generates a five times decrease of the erosion rate; it increases the biomass from 10 to 25 times after 10 years implementation and then an economic profit on the long term. It reduces the need for stubble from the croplands and for forest grazing and then it improves the croplands and the forests environments. It has also an off site hydrological effect, by the decrease of reservoir siltation, due to gullies cicatrisation.

But there is a need for subsidies, as a payment for Ecosystem service and coordination to ensure the adoption and the extension of the technology and we can consider that without reduction of the costs, the technology is condemned.

At the opposite, the integration of the whole resources (forests, pastures and croplands) can make each resource profit from the management of the other resources

The rehabilitation of the degraded land by the engagement of the government in subsidizing part of the inputs can elevate the awareness among the people to maintain the SLM technologies. The change in hydrological behaviour of the surface and improved water balance on and off-site, the densification of the vegetation cover and the improvement of the fodder quality and quantity will permit to accept temporary fencing when necessary, due to the enrichment of the herbs by control of the period of grazing and of the number of animals.

The awareness about gullies and the behaviour of the population differs from the productive areas, where the birth of a gully represents an immediate threat and induces an immediate and individual intervention and the non productive lands, mainly the abandoned ones, where no action is made to prevent the gullies extension. In the pastures, on steep slopes, the gullies management should suppose a social organisation and a community intervention. The experience of the DESIRE project and the failure of the will of restoration extension is related to these factors all together: the cost, the absence of subsidies, the weak consideration of the value of the steep slopes lands and the absence of community organisation.

9- Conclusions

The natural resources of the Sehoul commune deserve to be valued, what requires the conception of a strategy of socio-economic development and management. The recommendation thus is to prepare an integrated project indicating the possible tracks for the rehabilitation of the strongly degraded lands and the development of soils threatened by degradation, in case of continuation of the current system characterized by over-consumption (options of plantation, fencing, modification of the practices of cultivation and sowing).

The strategy of farmers is influenced by the two main traditional activities, annual crops for food production and livestock for immediate income. For most farmers, these two activities remain vital, because they complement each other, but no one can be viable on its own. Both suffer from over-harvesting and over-grazing, leading to severe land degradation.

The stakeholders meetings showed the importance of bringing solutions to this degradation trend which threatens both the environment and the farmers' income. The choice for more integration between croplands and pastures represents the less costly and the most profitable option, because livestock profits now from all the resources and from all types of land use and represents the first objective of land exploitation.

The farmers are more concerned by their immediate income than by sustainability and by the long term effects; it is then necessary to alleviate their level of conscience and at the same time make the remediation techniques profitable and have a real effect on their income. The selected actions must be simple and easy to reproduce, in order to facilitate their gradual adoption by other farmers.

Incentives to land users are recommended to exclude grazing and to plant fodder shrubs in order to prevent soil erosion and stabilize gully formation. At the same time, bold political decisions are needed to reverse the trend and challenge of natural resource degradation and desertification. It is also urgent to identify new legal contexts that can enable effective implementation of reforms and improvements.

Bibliography

- Aderghal M., Watffeh A., Tailassan M., Nafaa R. & Al Karkouri J. (2007) : Les techniques de CES dans le Plateau Central, le haut pays d'Oulmès in GCES au Maroc, Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 151-164
- Antari E. (2007) : Mesure du ruissellement et de l'érosion des terres dans le micro-bassin versant Matlaq et essai de modélisation (Région de Rabat, Maroc). Thèse de Doctorat. Université Mohammed V Agdal, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Rabat, 218p.
- Coelho, C., Sala, M., Gonzales del Tanago, M., Laouina, A., Hamza, A., Regaya, K., Ferreira, A., Carvalho, T., Chaker, M., Nafaa, R., Naciri, R., Boulet, A., Reina, L., and Bernia, S. 2000. Effects of land use and land management practices changes on land degradation under forest and grazing ecosystems. Final synthesis report, Project ERBIC18- CT97-0147 (MEDCHANGE).
- Coelho, C.O.A., Laouina A., Ferreira A.J.D., Nacira R., Chaker M., Naafa R., Carvalho T.M.M., Boulet A.-K., Pereira J.B.P., 2002. Forest and grazing impacts on hydrological and erosional processes in Southern Portugal and Northern and Central Morocco. *Man and soil at the Third Millennium*, Geoforma Ediciones, Logroño, 1255-1264.
- Coelho, C.O.A., Laouina, A., Ferreira, A.J.D., Chaker, M., Nafaa, R. Fenjiro, I., Antari, M. and van Dijck, S. : 2003, Hydrological response and bed load transport at two small catchments in the *Quercus suber* natural distribution region. First results. Montado/Dehesa Symposium, Cáceres,
- Conacher A. et Sala M., Eds., Land degradation in Mediterranean environments of the world, Wiley, 1998, 491 p.
- Daget Ph. et Poissonnet J., 1971. Une méthode d'analyse phytocéologique des prairies. Critères d'application. Ann. Agronomique N°22.
- Debazac, E. et Robert, P. 1973. Recherches relatives à la quantification de l'érosion.
- Gounot M., 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Eds masson et C^{ie}. Paris.
- Heusch, B. 1970. "L'érosion dans le Prérif: une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prérif occidental". Annales des recherches forestières, 12.
- Kalman, R. 1976. "Etude expérimentale de l'érosion par griffes". Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, Vol 13 (5), pp. 395-406.
- Laouina A., Chaker M., Naciri R. et Nafaa R.(1993). L'érosion anthropique en pays méditerranéen: le cas du maroc septentrional; Bull. Ass. Géogr. Franç., Paris, 5, p. 384-398.
- Laouina A., Coelho C., Ritsema C., Chaker M., Nafaa R., Fenjiro I., Antari M., Ferreira A. & Van Dijck S. (2004) : Dynamique de l'eau et Gestion des terres dans le contexte du changement global, analyse agro-hydrologique dans le bassin du Bouregreg (Maroc), Sécheresse, vol. 15, n° 1, p. 66-77.

- Laouina, C. Coelho, C. Ritsema, M. Chaker, R. Nafaa, M. Antari, A. Ferreira et S. van Dijck (2006) : La différenciation spatiale des comportements des terres dans le micro-bassin de Matlaq (région de Rabat, Maroc, *Zeit. für Geomorph.*, suppl. vol. 143, p. 127-141.
- Laouina A., Aderghal M., Al Karkouri J., Chaker M., Machmachi I., Machouri N., Sfa M. (2010) : Utilisation des sols, ruissellement et dégradation des terres, le cas du secteur Sehoul, région atlantique, Maroc. **Sécheresse**, 21, 4, 309-316.
- Nafaa R.(1993). Mesure de l'érosion hydrique superficielle sur les versants de la Mamora; Travaux du Lab.de Géomorph, Rabat, n°2, p.20-29.
- Nafaa, R. 2002. Dynamique du milieu naturel de la Mamora. Paléoenvironnements et évolution actuelle de la surface. Thèse de Doctorat, Université Hassan II, Mohammedia. Publications de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Mohammedia. Série Thèses No 3, 321 pp.
- Poesen J., Nachtergaele J., Verstraeten G. & Valentin (2003): Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *Catena* 50, 91– 133
- Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bull. Pédol. FAO. N°70, 420 p.
- Van Dijck, S.J.E., Laouina, A., Carvalho, A.V., Loos, S., Schipper, A. , Van der Kwast, J. , Nafaa, R., Antari, M. , Rocha, A. , Borrego, C. and Ritsema, C.J. (2006) : Desertification in northern Morocco due to the effects of climate change on groundwater recharge (Rabat region, Morocco), Proceedings of the Conference on "Desertification in the Mediterranean region, a security issue", Kepner, Rubio, Mouat & Pedrazzini eds, 549-577, Springer, Netherlands.
- Wafteh A., Nafaa R., Aderghal M., Al Karkouri J. & Taïlassan M. (2007): La durabilité des ressources en terre et en eau, dans le contexte des transformations agraires dans les plateaux du Sahel Atlantique de la Mamora et du Gharb (en Arabe) in GCES au Maroc, Public. Fac. Let. Sc. Hum. Rabat, p. 17-30
- WOCAT (2007): Where the land is greener – case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. Liniger HP, Critchley W, Associate Editors: Gurtner M, Schwilch G, Mekdaschi Studer R. CTA, FAO, UNEP and CDE, Bern

جمعية البحث في التدبير المستدام للأراضي

Association de Recherche en Gestion Durable des Terres (ARGDT)

مشروع جمعوي من أجل

تنشيط وترقية البحث العلمي وتكوين الأطر في مختبر الجغرافيا الطبيعية

بمركز الأبحاث والدراسات الجغرافية،

كلية الآداب و العلوم الإنسانية، جامعة محمد الخامس، أكدال

يشكو تقدم البحث العلمي وتكوين الأطر العليا في مختبر الجغرافيا الطبيعية من خصائص:

- خصائص في الموارد البشرية الشابة، التي تابعت التكوين العالي في البحث العلمي والقادرة على تسلم مقاليد الاستمرار في تنشيط البحث العلمي في التخصصات المنضوية تحت التسمية العامة "الجغرافيا الطبيعية".
- خصائص في الوسائل المادية لتحمل النفقات اليومية للعمل الميداني والتجريب في الميدان والتنشيط في المختبر وتقديم التعويض المنصف لكل من يسهر على هذه الأعمال.

ولرفع هذين العائقين، اقترح فريق من المختبر إنشاء جمعية مكونة من باحثين أساسا، ينتمون للتخصص المذكور، لهم هدف موحد وهو تشجيع البحث العلمي والمساهمة في تكوين الأطر العليا، وذلك بقيامهم بالبحث عن الوسائل المادية الضرورية لهذا الهدف، وبانتقاء أجود العناصر الشابة من أجل تكوينها التكوين الرصين، الكفيل بالرفع من قدراتها وبلوغها المستوى الضروري للمساهمة في الفرق العلمية الوطنية والدولية.

تمثل هذه الجمعية استمرارا للمجهودات التي قام بها كرسي اليونسكو- غ. ن. "تدبير البيئة و التنمية المستدامة" وتعمل إلى جانب الفريق العلمي للمختبر كما تضم زملاء من خارج المختبر، يساهمون في التكوين و في مشاريع البحث و كذلك في مجهود التعريف بالمختبر و منجزاته و مشاريعه، رغبة في نشر المعطيات الضرورية للحصول على التمويل الضروري و المساندة اللازمة. كما يتكفل هذا التنظيم الجديد بمجهود ربط الاتصالات قصد التعريف بالوجه المشرق للبحث العلمي و التكوين العالي بكلية الآداب و العلوم الإنسانية بالكلية.

وقد أنشأت هذه الجمعية خلال جمع عام عقد يوم الجمعة 8 فبراير 2013 بكلية الآداب و العلوم الإنسانية بالرباط حضره فريق البحث بالمختبر و الزملاء الذين ساهموا إلى جانب هذا الفريق في مشاريع بحث و تكوين، خلال السنوات الأخيرة، و طلبة في سلك الدكتوراه هم حاليا في طور التكوين.

ويتألف مكتب الجمعية من: محمد صابر، نادية مشوري، قاسم النعامي، محمد اصفى، محمد السعيد، الميلود شاكر و عبد الله العويبة.

- AL Karkouri Jamal, 2003, Dégradation du milieu naturel dans le bassin versant de Béni Boufrah (Rif central - Maroc): analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et de modélisation spatiale, Thèse de doctorat d'Etat. Université Mohamed V, Rabat, 392p.
- Antari M., 2007, Mesure du ruissellement et l'érosion des terres dans le micro-bassin versant Matlq et essai de modélisation (région de Rabat. Maroc) Thèse de doctorat université Mohammed. V ; FLSH, Rabat, 230p.
- Beudet G. 1969, Le Plateau central marocain et ses bordures. Etude géomorphologique. Rabat, 478p.
- Benjamin B., Pascal Z., Zachée B., & Roose E., 1996, Evolution des états surface et influence sur le ruissellement et l'érosion des sols ferrugineux tropicaux sableux du nord Cameroun soumis a diverses techniques culturelles, Réseau Erosion ; Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p 59-77.
- Figueiredo T. de, 1996, Influence de la Pierrosité superficielle sur l'érosion d'un sol franc-limoneux : résultats d'une expérimentation de simulation, Réseau Erosion Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p 98-108.
- Haddadj D., Gascuel-Oudou C., Cros-Cayor S., & Curmi P., 1996, Rôle des caractéristiques physiques des sols sur la distribution spatiale du ruissellement le long du versant, Réseau Erosion Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p 78-86.
- Janeau J.L, Jerome G. Leroux Y., Prat C. Quantin P. & Zebrowski C., 1996, Evolution des états surface des « TEPETATES » cultivés, Horizons indures de sols volcaniques du Mexique ; Impact sur le ruissellement et l'érosion, (YILOU BURKINA FASO), Réseau Érosion; Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p 33-46.
- Kambou N. Frédéric, & Zougmore Robert B, 1996, Evolution des états surface d'un « Zipellé » soumis a différentes techniques de restauration des sols, (YILOU BURKINA FASO), Réseau Erosion Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p 19-32.
- Laouina A, 2007, La gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc : essaie de distribution spatiale, Actes des JSIRAUF, Hanoi.
- Laouina A., 1998, Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull Réseau Erosion, 18 : 33-53.
- Laouina A., 2006, Gestion durable des ressources naturelles et de la biodiversité au Maroc ; Prospective « Maroc 2030 », Royaume du Maroc ; Haut Commissariat au Plan, Rabat.
- Laouina, A., Chaker M., Nafaa R. et Naciri R., les terres de parcours forestiers et steppiques au Maroc processus de dégradation et impact sur le ruissellement et l'érosion, la chaire UNESCO-Gas Natural, Gestion de l'Environnement et du Développement Durable, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Mohammed V, BP 1040, Rabat (Maroc).
- Ludwig B., Auzel A.V., Boiffin J., Papy F., King D., & Chadoeuf J., (1996), Etats de surface, structure hydrographique et érosion en rigole de bassins versants cultivés du Nord de la France, Réseau Erosion Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p152-168.
- MUSY A. & HIGY C, « Hydrologie ; une science de la nature », collection géner l'environnement, ouvrage publiée à l'internet ; Google livre.
- ROOSE Eric, 1994, Introduction à la gestion et la conservation des eaux et du fumier et la fertilité des sols (bulletin pédologique de la FAO. Site Web.
- Roose E., 1996, Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Réseau Erosion ; Bulletin 16: p87-97.
- Roose E., Sarrailh J-M., 1989, Erodibilité de quelques sols tropicaux, vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelle, Cahier ORSTOM. Pédologie, no 1-2: Montpellier, France .: p282-296.
- Roose E., Smolikowski B., 1997, Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes: monocylindre et 2 simulateurs de pluies. Application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert, Réseau Erosion ; Bulletin 17, ORSTOM,
- Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologie, de la FAO, N°070: 420p.
- Roose E., 1996, Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. ; Réseau Erosion ; Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France. : p87-97.
- Sabir M., Merzouk A., Berkate O., & Roose E., 1996, Effet de la maximisation du pâturage sur certaines caractéristiques de la surface et la perméabilité du sol dans un milieu steppique marocain, AARIDE (Haute Moulouya), Réseau Erosion ; Bulletin 16, ORSTOM, Montpellier, France .:p47-57.
- Romain A., 2009, Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol ; Mise au point d'un indicateur de ruissellement, Thèse de doctorat ; Université de Strasbourg, 209p.

ويظهر أن السيل السطحي في الأراضي التي بها تغطية نباتية دائمة كالماطورال أو الغابة أقل خطورة بالمقارنة مع أراضي البوار المتدهورة والتي لم يغيرها بعد غطاء نباتي كثيف. أما في الحقول المزروعة، فإن الحرث يزيد من إمكانية تسرب الماء في التربة ما دامت بنيتها منفتحة و خشونة السطح مرتفعة. لكن ضياع التربة يكون أهم في الأراضي المحروثة ويمكن أن يتعدى فيها 20 إلى 30 مرة ما يضيع في أراضي البوار (عنثري 2003).

أما بالنسبة لمعامل السيل فقد يتعدى 50% بأراضي البوار الدائم مقابل 11% بالأراضي المحروثة. ويحدث السيل في الغالب نتيجة انغلاق سطح التربة بفعل الاندكاك وتشبع القشرة السطحية ونادرا ما يكون نتيجة تشبع عميق للتربة (عنثري 2003).

4. خلاصة

يعرف حوض حنانات دينامية تعرية مائية مهمة، يعكسها تباين السلوك الهيدرودينامي للأراضي حسب اختلاف استعمالات أراضي من جهة، وأساليب استعمال الأرض من جهة ثانية. بالإضافة إلى أن التصرف الهيدرولوجي للحوض النهري يختلف من فترة لأخرى فخلال فصل الخريف وبداية الشتاء تحدث أوقات فيض فجائية تتميز بارتفاع سريع لمستوى الماء ولا يستغرق الفيض خلالها إلا مدة قليلة، مما يعني أن التربة لم تدخر كمية مهمة من الماء. أما خلال فصل الشتاء والربيع تكون درجة تغطية السطح مرتفعة مما يجعل أوقات الفيض أقل حدة مما يدل على أن التربة استطاعت أن تستوعب كميات مهمة من المياه تضمن نمو النباتات وتغذيتها.

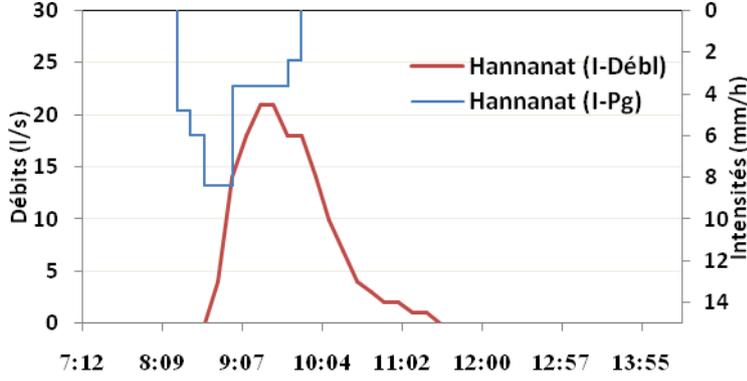
وتجدر الإشارة كذلك إلى توفر ظروف ملائمة لتكوين السيل السطحي بهذا الحوض وخاصة منها المتعلق بالظروف الطبيعية وخصائص الوسط (عدوانية الأمطار ضعف التغطية العشبية، النسبة المرتفعة لبنية سطح التربة المنغلقة،...).

تقييم السلوك الهيدرولوجي لهذه الوحدة الطبيعية المتجانسة طبيعيا والمختلفة في استعمالات الأراضي يجعلنا نخرج بتصور شمولي حول الدينامية الهيدرولوجية للأراضي بالمجالات المنحدرة، وتتجلى هذه الدينامية في تراجع السفوح عن طريق تفاقم مظاهر التعرية المائية وبالتالي تراجع إمكانات الأراضي بيئيا واقتصاديا بالمجالات المشابهة لهذا الحوض النهري.

لائحة المراجع

- Al Karkouri J., Laouina A., Roose E., Sabir M., 2000, Capacité d'infiltration et risques d'érosion des sols dans la vallée des Béni Boufrah- Rif central (Maroc), Réseau Erosion ; Bulletin 20 : p 342-356.
AL Karkouri J., Watfeh A., Aderghal M., Techniques de conservation de l'eau et des sols dans une Zone semi aride méditerranéenne du Rif central (Vallée de Béni Boufrah). Maroc, Bull. Réseau Erosion: p 56-80.

نموذج فيض 14 مارس 2011:



- كمية الأمطار خلال اليوم: 16.4 mm؛
- الكثافة القصوى: 8,4 mm/h؛
- مدة الاستجابة: 30 mn؛
- الصبي النوعي الأقصى: 21 l/s؛
- الصبيب الخاص: 1.1 l/s/ha؛
- الصبيب الاجمالي: 94.8 m³؛
- معامل الجريان: 7%؛

شكل 5: مبيان فيض يوم 2011/03/14



شكل 6: توضع حمولة ضعيفة ودقيقة العناصر خلال فيض 2011/03/14

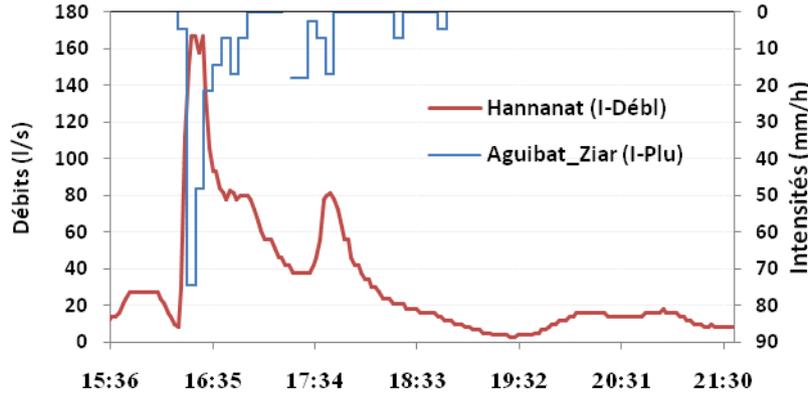
وقد أظهرت نتائج الدراسة بأن الحوض يعرف تطورا سلبيا يتجلى من خلال تراجع إمكانات الأراضي (الخصوبة، ادخار الماء...)، وتزايد دينامية التعرية المائية حيث تنتشر أشكال مختلفة من الانجراف بدءا من الأشكال البسيطة لبتن التربة إلى التعرية الخطية (التخديد). وترتبط هذه الدينامية بعدة عوامل منها ما له علاقة بظروف الوسط الطبيعي (قوة الانحدار، عدوانية المناخ، طبيعة التربة ذات النسيج الطمي - حصوي وقلّة المادة العضوية) مما يخلف ظروف عدم استقرار التربة ومنها ما هو متعلق بالسلوكات الزراعية (طرق وأدوات الحرث، واستعمال التربة).

وقد سمحت نتائج تحليل العلاقة بين الأمطار والصبيب وقياسات حالة السطح التي أجريت على مجموعة من المشارات الصغيرة بالحوض، من تحديد تغايرية واضحة في استجابات التربة اتجاه الأحداث المطرية حسب نوعية استعمال التربة من جهة وحسب درجة التغطية النباتية من جهة ثانية وحسب قابليتها لإنتاج التعرية المائية من جهة ثالثة.

أما بالنسبة لمعامل الجريان والكمية السائلة التي ينتجها الحوض، فإنها تصبح أيضا قليلة بالمقارنة مع أوقات فيض الخريف وبداية الشتاء، التي غالبا ما يتجاوز فيها معامل الجريان 10% ويقل عن هذه النسبة وسط الشتاء وخلال الربيع، فمثلا وصل حجم الماء يوم 25 دجنبر 2009 حوالي 265 م³ أي 14% كمعامل للجريان مقابل حوالي 95 م³ أي 7% في يوم 14 مارس 2010).

يتبين كذلك على أن الجريان غالبا ما ينتج عن السيل المباشر على السفوح نظرا لوجود انحدارات مهمة، وأن حدوث أوقات الفيض مرتبط في أغلب الأحيان بأمطار عنيفة ومركزة تتعدى نفاذية التربة التي توجد عند عتبات جد ضعيفة نظرا لغلبة الطمي في التربة وسرعة تكوين قشرة التضارب إضافة إلى وجود العناصر الخشنة من حصى وحصيم مدفونة في سطح التربة مما يخلف إمكانيات للتقليل من التسرب وبالتالي زيادة السيل السطحي .

نموذج فيض 25 دجنبر 2009 كمية الأمطار خلال اليوم: 23.2 mm



- العنف الأقصى: 74.4 mm/h
- مدة الاستجابة: 5 mn
- الصبيب النوعي الأقصى: 162.3 l/s
- الصبيب الخاص: 812 l/s/ha
- الصبيب الاجمالي: 254.6 m³
- معامل الجريان: 14%

شكل 3: مبيان فيض 2009/12/25



شكل 4: توضع مواد خشنة في المجرى عند القطاع الثلاثي يوم 10 أكتوبر 2010

يقع حويض "حنانات" (20 هكتارا) جنوب الجماعة القروية السهول/عمالة سلا ، حيث يوجد على بعد 50 كلم جنوب شرق مدينة الرباط، وهو عبارة عن مسيل فرعي موسمي ذو شكل مستطيل يتميز بوحدة تصريف مائي ذات توجيه شمالي شرقي - جنوبي غربي صوب واد كرو. يتميز الوسط الطبيعي للحوض ببنية جيولوجية يهيمن فيها الحث الميسيني والثست الأولي وتغلف سطحه تربات ضعيفة التطور وغنية بالمواد الخشنة من حصى وحصيم. يخضع الحوض لمناخ شبه جاف، ويبلغ متوسط التساقطات المطرية حوالي 425 مم في السنة لكنه يعرف تبايرية كبيرة على جميع المستويات.

3. خصائص السلوك الهيدرودينامي للأرضي

يتميز السلوك الهيدرودينامي للأراضي باختلافات كبيرة يعكسها إلى حد ما تصرف الأحواض النهرية، فمن خلال القياسات التي همت هيدرولوجية حوض حنانات، لوحظ أن تصرف الحوض يختلف من فصل لآخر، وبشكل تدريجي حيث سجل خلال الفترة الممتدة ما بين 2009 و 2010 وبداية السنة 2011 العشرات من فترات الفيض تميزت بمجموعة من الاختلافات حسب ترددها، مدة الاستجابة والتركز والصعود (جدول 1).

جدول 1: خصائص السلوك الهيدرولوجي للحوض النهري حنانات

أوقات الفيض	التردد	مدة الاستجابة	مدة التركيز	مدة الصعود
الخريف	متوسط	سريعة	قصيرة	سريعة
الشتاء	مرتفع	متوسطة	متوسطة	متوسطة
الربيع	متوسط	بطيئة	طويلة	بطيئة

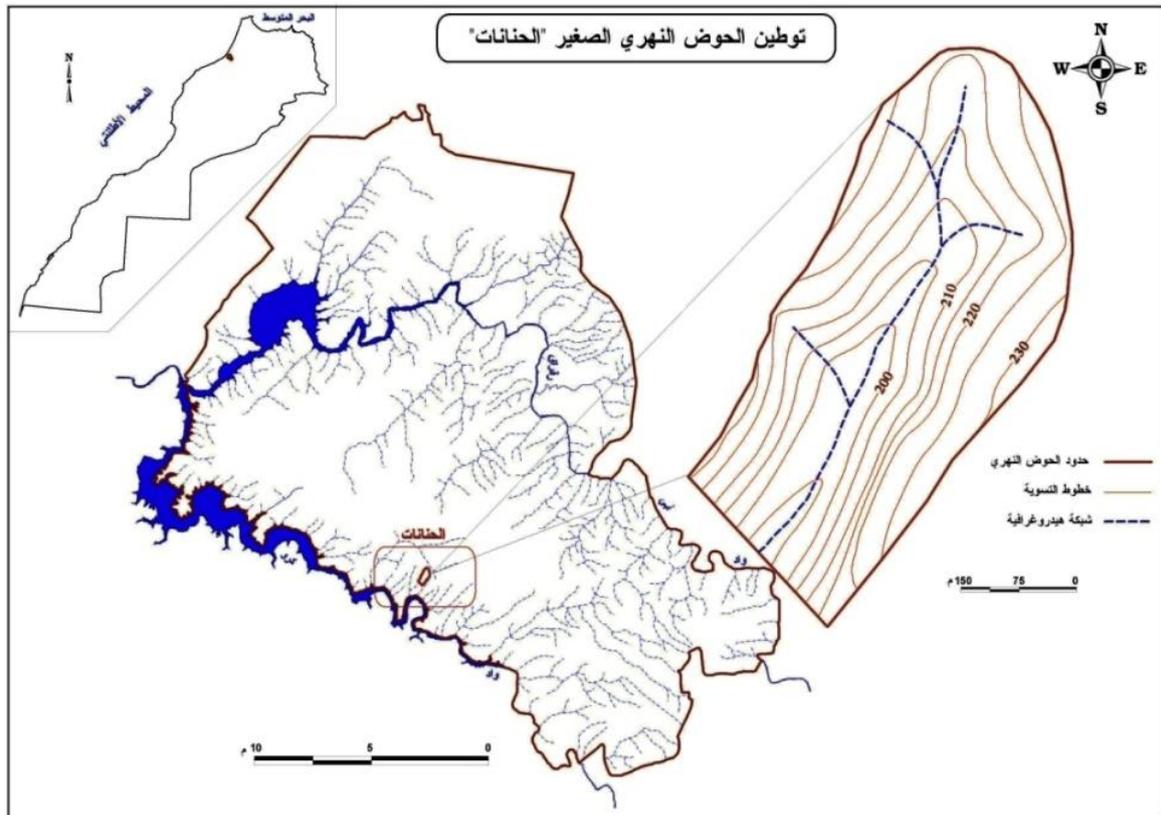
تحليل السلوك الهيدرولوجي للحوض بين 2009 و 2011 يظهر تركزا مرتفعا لأوقات الفيض في أشهر الخريف أي في الوقت الذي تكون فيه خصائص السطح مواتية للسيل ونسبة الأمطار العنيفة مرتفعة. وقد تبين من خلال دراسة البيانات الهيدرولوجية لأوقات الفيض الخريفية بأن هذه الأخيرة تتميز بصعود فجائي وسريع لعلو المياه يمتد ما بين 5 و 10 دقائق بعد تسجيل أعلى عنف مطري والذي يمكن أن يتجاوز 70 مم/ساعة. ويصل الصبيب الأقصى عدة عشرات من اللترات في الثانية (165 لتر/ث، يوم 25 دجنبر 2009). وخلال فصلي الشتاء والربيع تحدث أوقات فيض، خاصة في شهري فبراير ومارس لكنها تكون أقل أهمية لأن ظروف الوسط تكون غير ملائمة لحدوث السيل السطحي (ارتفاع درجة التغطية النباتية). إذ أن الصبيب اللحظي لا يكاد يتعدى بضع عشرات من اللترات في الثانية (21 لتر/ث، يوم 14 مارس 2011).

المرحلة الأولى: وهي مرحلة أخذ القياسات مباشرة من الميدان، فبالنسبة للمعطيات الجوية تأخذ أسبوعياً، أما بالنسبة للمعطيات الهيدرولوجية المتعلقة بعلو الماء فنأخذها بعد أي حدث مطري مهم، وذلك لإزالة المواد التي تكون قد ترسبت في فتحة القطاع المشيد أو عند عاليته المباشرة. أما بالنسبة لمعطيات حالة السطح فنأخذها بتردد مستمر كل شهر.

المرحلة الثانية: وهي مرحلة معالجة المعطيات المحصل عليها من الميدان، حيث يتم معالجة المعطيات الهيدرولوجية بواسطة برامج متخصصة (برنامج HOBOWare ويستعمل لتحميل المعطيات من الميدان واستخراج علو الماء، وبرنامج Hydraccess وبواسطته نستخرج كل المعطيات المتعلقة بالصبيب). أما بالنسبة لمعطيات حالة السطح فيتم معالجتها بواسطة برنامج Excel عبر حساب الجموع والمتوسطات.

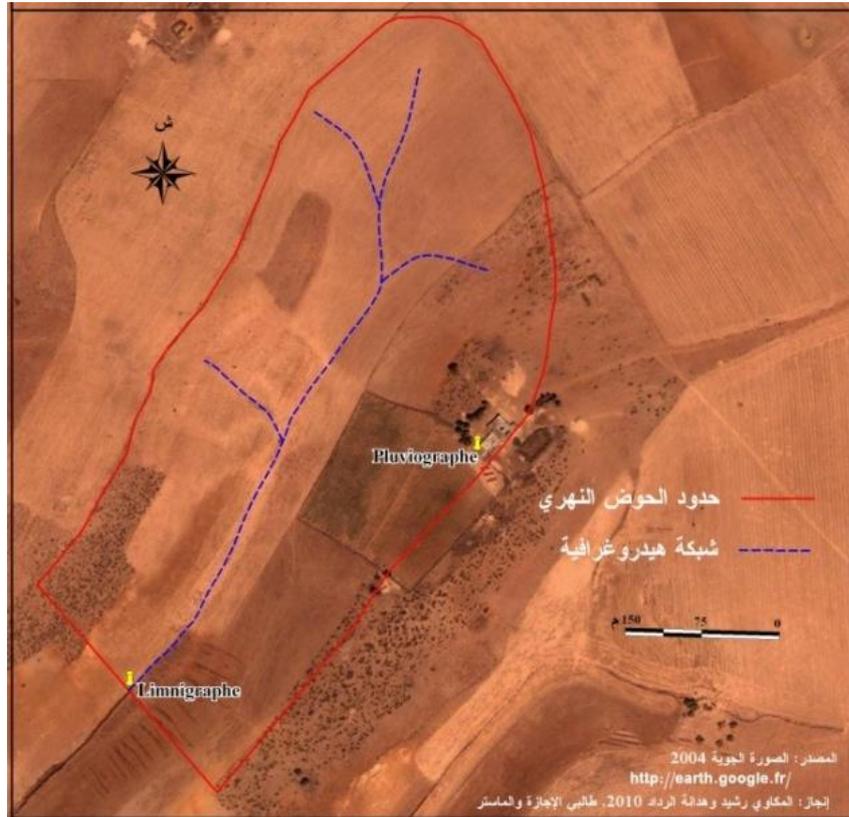
المرحلة الثالثة: إنجاز بيانات هيدرولوجية (مطر - صبيب)، وأخرى متعلقة بتطور حالة السطح، بغية تسهيل المقارنة الزمنية والمجالية.

2. تقديم الحوض التجريبي



شكل 2: توطين حوض الحنانات وشكله الطبغرافي

- محطة مناخية لرصد كل العناصر المناخية ومنها قياس معدل الأمطار (Pluviographe مطار مسجل).
- محطة هيدرولوجية لقياس علو المياه Liminigraphe à pression وذلك بقياس ضغط الهواء والماء وعبر معادلة رياضية يستخرج ارتفاع الماء ثم صيبب الحوض .



شكل 1: صورة جوية للحوض النهري "خانات"

ب- قياس الحالة المائية للتربة؛ رطوبة التربة السطحية لـ 6 سنتم بواسطة آلة خاصة TDR ؛

ج- قياس تغطية التربة : التغطية العشبية والحصوية ؛

د- قياس خصائص التربة : قابلية التربة للتجزئ والاختراق وخشونة السطح؛

ويتم إجراء هذه القياسات على مستوى كل المشارات التي تغطي حوض الخانات، ويتردد شهري مستمر. ولكي تكون القياسات أكثر تعبيراً ومصداقية فإنه تأخذ 9 نقط للقياس موزعة على كل مساحة المشاركة.

ويتطلب جمع المعطيات وتحليلها مجموعة من المراحل المتسلسلة والمتزامنة في بعض الأحيان، وهي

:

مقدمة

تقوم مجموعة البحث والتكوين كرسي اليونسكو غ-ن بتتبع قياسات ميدانية متعددة، تهم الجانب الهيدرودينامي لمجموعة من المشارات مختلفة الاستعمال داخل حوض نهري تجريبي، وذلك اعتمادا على أدوات تقنية متخصصة وعلى مقارنة قياسية دقيقة إلى حد ما ومرتدة زمنيا ومكانيا².

يشكل حوض الحانانات الذي يمتد على مساحة 20 هكتارا، موضوع الدراسة منذ سنة 2008، وذلك بغية معرفة الدينامية الهيدرولوجية التي يعرفها هذا المجال ووقعها على الموارد الترابية والمائية خصوصا، علما أن هذا الموقع يوجد ضمن نظام مناخي شبه جاف يتميز بعدم انتظام الأمطار، عدوانيتها، وتركزها الزمني، وفي مقابل ذلك ينضاف إلى هذه الهشاشة، تأثير أساليب استعمال الأرض التي رغم تنوعها، مازالت تعرف هيمنة الزراعات الحولية البورية، تساهم إلى حد كبير في الدينامية البيئية التي يعرفها الحوض .

الهدف العام : تقييم السلوك الهيدرودينامي للأرضي والعوامل التي تتحكم في تفسير التغيرات التي تطرأ على حالة سطح التربة، وذلك اعتمادا على معطيات ومؤشرات علمية دقيقة.

الأهداف الفرعية

- رصد السلوك الهيدرولوجي اعتمادا على نماذج تحلل العلاقة بين التساقط والصبوب.
- تفسير نمط هذا السلوك بمؤشرات تغيرحالة سطح التربة.
- تقييم سلوك الأراضي إزاء تصرف الحوض النهري.

1. منهج وأدوات العمل

من أجل معرفة دقيقة بالجانب الهيدرولوجي لهذا الحوض فقد تم إقامة محطة ميطيورولوجية لقياس العناصر المناخية من حرارة وتساقطات وأخرى هيدرولوجية لقياس علو المياه السائلة عند مخرج الحوض (القطاع الثلاثي المشيد³). كما يتم متابعة عملية قياسات مظاهر حالة سطح التربة من رطوبة وتغطية نباتية وخصائص التربة ، في عدة مشارات وبشكل متردد كل شهر.

ويمكن تقسيم هذه القياسات إلى عدة أنواع، وهي:

أ- قياس الميزانية المائية : الأمطار والصبوب فالحوض النهري حنانات مجهز ب:

² انظر أطروحة العنتري التي همت الحوض التجريبي المطلق

³ تم تشييد المحطتين من طرف طالب الدكتوراه عصام المشماسي سنة 2007، الذي تتبع القياسات وحللها خلال سنة، قبل أن يتخلى عن المشروع الذي تتبعه بعده مؤلف هذا المقال.

تقييم السلوك الهيدرودينامي للأراضي بالأوساط شبه الجافة

نموذج الحوض التجريبي " حنانات"، جنوب جماعة السهول

هدانة الرداد¹

ملخص

تؤكد مختلف الدراسات والأبحاث بالمناطق المتوسطة ذات المناخ شبه الجاف على هشاشة أوساطها الطبيعية وحساسيتها الكبيرة اتجاه مظاهر التوازن والاختلال. وخلال العقود الأخيرة أصبحت الأراضي الزراعية تطرح مشاكل هيدرولوجية كثيرة مرتبطة أساسا بالتعرية المائية، فالسيل الغشائي يهدد بإفقار التربة وبتدها والسيول المركز يخلق خدات عميقة يمكن أن تتطور إلى أساحل، وبالتالي نكون أمام تدهور لا رجعي يصعب ترميمه.

ويمثل حوض "الحنانات" وحدة تجريبية صغيرة تقع بمجال شبه جاف يتكون من سفوح متوسطة الانحدار تغلفها توضعات سطحية وأثرية ضعيفة التطور ذات نسبة مهمة من المواد الخشنة. ويمتد هذا الحوض التجريبي على مساحة 20 هكتارا، وهو حوض مؤقت الجريان، يصرف مياهه باتجاه واد كرو. وتتميز التساقطات بهذا المجال بعد انتظامها وعدوانيتها الكبيرة.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم السلوك الهيدرودينامي للحوض التجريبي من خلال الاعتماد على مقارنة تكيمية تعتمد على قياسات متعددة ومدققة داخل مشاركات زراعية-رعوية. هذه القياسات همت الميزانية المائية وحالة سطح التربة (رطوبة التربة، بنية سطح التربة، درجة تغطية السطح، خشونة السطح...).

وقد أظهرت نتائج البحث أن الحوض النهري يعرف دينامية هيدرولوجية متغيرة حسب الفصول ونمط استعمال الأرض حيث أنه في بداية موسم التساقطات تكون جل الأرض الفلاحية عارية مما يخلق ظروفا ملائمة لحدوث سيل سطحي يحمل معه كميات مهمة من المواد الدقيقة والمخصبة، نتيجة تزايد حدة التعرية المائية خلال هذه الفترة الخريفية، أما خلال الموسم الربيعي فإن معامل الجريان ينقص بسبب كثافة التغطية النباتية ويكون بذلك فقدان الأراضي للمواد أقل مما كان في الفترة الخريفية. وبالتالي يمكن القول أن لتظافر العوامل الطبيعية (عدوانية المناخ، طبيعة التربة، الانحدار...) والسلوكات الزراعية (طرق الحرث، نوع المزروعات، الرعي المكثف) الدور الرئيسي في تقادم تدهور الأراضي بهذا المجال العطوب.

Résumé

Les recherches dans les régions méditerranéennes semi-arides ont insisté sur la vulnérabilité des terres. Les espaces agricoles posent des problèmes hydrologiques en relation avec l'érosion par ruissellement aréolaire qui appauvrit les sols et par ravinement qui crée des incisions profondes pouvant évoluer en badlands, difficiles à corriger.

Le micro-bassin Hannanat constitue une unité d'expérimentation située en milieu semi-aride, sur pentes moyennes couvertes par des colluvions et des sols peu évolués, riches en éléments grossiers. Ce bassin de 20ha a un écoulement temporaire en direction du Grou. Les pluies sont irrégulières et agressives.

Cette recherche vise à évaluer le comportement hydrologique du bassin, avec quantification basées sur des mesures répétitives sur parcelles, couvrant le bilan d'eau des sols et leur état de surface (structure, rugosité, recouvrement).

Les résultats ont montré un comportement hydrologique très variable selon les saisons et les modes d'utilisation. En début de saison des pluies, sur sols nus, le ruissellement est favorisé, capable d'emporter de grosses quantités de matériel, notamment des produits fins et fertiles. Par contre, au printemps, le coefficient de ruissellement s'affaiblit du fait de la densité de recouvrement végétal ; l'érosion est ainsi freinée.

¹ طالب مسجل بالدكتوراه، تحت إشراف أ. عبد الله العويبة

التدبير المحافظ للأراضي

منشور اليوم الدراسي عن حوض بورقراق

28 ماي 2003

من تنسيق عبد الله العوينة و جيل ماهي



ج ب د د أ
جمعية البحث في التدبير المستدام للأراضي

مركز البحث الجغرافي



التدبير المستدام للأراضي

نشر أبحاث اليوم الدراسي عن حوض بورقراق
28 ماي 2013

تنسيق عبد الله العوينة وجيل ماهي

