

Dynamique de L'occupation du sol et Statistiques Agricoles sur le bassin Versant du Bouregreg au Maroc Land Covers Dynamic and Agricultural Statistics on the Bouregreg Watershed in Morocco

Activités Agricoles et Environnement dans le bassin Versant du Bouregreg

GOUSSOT Emmanuelle

*Institut de Recherche pour le Développement (IRD)
Laboratoire Hydro Sciences
Montpellier, France, 16 rue Claude Bernard F-75231 Paris Cedex 05
E-mail: 080102@agroparistech.fr*

BROU Yao Téléphore

*Institut de la recherche pour le développement (IRD)
Université de la Réunion
15 rue René Cassin 97715 Saint Denis Messag cedex 9 BP 7115
Tel: +33692042091
E-mail: broutelesphore@yahoo.fr*

LAOUINA Abdellah

*Université Mohamed V, FLSH, CERGEO
Chaire UNESCO-GN, BP 1040 Rabat-Agdal, Maroc
Tel: 212 5 37 710198
E-mail: laouina.abdellah@gmail.com*

CHAKER Miloud

*Université Mohamed V, FLSH, CERGEO, Chaire UNESCO-GN
BP 1040 Rabat-Agdal, Maroc
Tel: 212 5 37 710198
E-mail: mchaker2@caramail.com*

EMRAN Anas

*Institut Scientifique / Université Mohammed V-Agdal
Avenue Ibn Battouta BP 703 Rabat-Agdal Maroc
Tel: +212 537774550
E-mail: emran@israbat.ac.ma*

MACHOURI Nadia

*Université Mohamed V, FLSH, CERGEO, Chaire UNESCO-GN
BP 1040 Rabat-Agdal, Maroc
Tel: 212 66 08 21 23, fax: 212 5 37 77 20 68
E-mail: nadachouri@yahoo.fr*

MAHE Gil

Institut de la Recherche pour le Développement (IRD)
Université Mohammed V-Agdal Rabat
15 rue Abou Derr 10000 Agdal-Rabat, BP 8967 Rabat-Agdal Maroc
Tel: +212 662 179 530, Fax: +212 537 672 743
E-mail: gil.mahe@ird.fr

Mohamed SFA

Université Mohamed V, FLSH, CERGEO
Chaire UNESCO-GN, BP 1040 Rabat-Agdal, Maroc
Tel: 212 5 37 710198
E-mail: sfa1274@yahoo.fr

TRA BI Zamblé Armand

Corresponding Author, Université Alassane Ouattara
Département de Géographie, 01 BPV 18 Bouaké 01
Tel: +225 47 20 64 15
E-mail: Zambtra@yahoo.fr

Résumé

Les paysages du bassin versant du Bouregreg ont évolué sous l'effet direct et indirect de facteurs climatiques, pendant les épisodes de sécheresses qui ont touché le pays depuis le début des années 1980. Dans ce contexte, cette étude évalue la dynamique de l'occupation du sol sur l'ensemble du bassin versant (9970 km²) entre 1985 et 2007 à partir de données satellitaires (images Landsat). La méthodologie s'appuie sur l'utilisation de la télédétection et des SIG pour analyser la dynamique des grandes classes d'occupation du sol de la zone d'étude. Ces classes concernent les parcelles agricoles, la végétation naturelle, les sols nus, les surfaces en eau et les zones urbanisées. Les cartes d'occupation du sol ont été produites à partir d'une classification supervisée par maximum de vraisemblance. Elles permettent de mettre en évidence une baisse substantielle du couvert forestier au détriment d'une expansion de cultures céréalières. En outre, les sols dénudés connaissent-ils une augmentation notable de 1985 à 2007. Enfin, le bassin est marqué par une urbanisation continue de la zone littorale. Les observations comparées aux statistiques agricoles confirment cet état de fait. Aussi, l'analyse des rendements des céréales permet-elle de constater une dégradation de la productivité des sols. La chute des rendements est également en forte corrélation avec l'évolution de la pluviométrie, dans un bassin où l'agriculture est essentiellement pluviale.

Motsclés: images LANDSAT, Bouregreg, agriculture, végétation, statistiques

Abstract

The landscapes of the Bouregreg watershed evolved under the effect of climatic factors through the episodes of drought which affect the country since the beginning of the 80s. In this context, the present study evaluates the land cover dynamic at the catchment

scale between 1985 and 2007 based on satellite data (Landsat images). Our methodology uses remote sensing technique which allowed us to characterize and to study the evolution of different classes on the study area, that is to say agricultural plots, natural vegetation, bare ground, water and urban areas. Land cover maps were produced using a maximum likelihood classification. They highlight a progression of the urban areas of almost 54% as well as important fluctuations of agricultural land, natural vegetation and bare ground because of climatic variations and the development of human activities. Thereafter, these observations are compared to data resulting from agricultural statistics which confirm the results obtained from satellite data processing.

Keywords: LANDSAT images, Bouregreg, agriculture, vegetation, statistics

Introduction

Le bassin versant du Bouregreg est l'un des principaux bassins du Maroc. De par sa situation géographique, et la qualité de ses terres, il a connu au cours des décennies 1950 à 1990, une forte croissance démographique qui s'est accompagnée de modifications du paysage.

Espace à vocation agricole, le bassin est soumis à de multiples formes d'agressions résultant de l'action combinée du climat, pendant les périodes de sécheresse récurrentes depuis les années 1980, et des interventions humaines, écologiquement inadéquates et responsables de la déstabilisation du milieu, en particulier de la couverture pédologique. L'évolution de ces facteurs a progressivement rendu le milieu vulnérable aux processus d'érosion, affectant ainsi le milieu agricole (chute des rendements sur les terres les plus dégradées) et environnemental (fragilisation des sols et recrudescence de l'érosion) (Laouina *et al.*, 2004). Les conséquences sont multiples mais touchent essentiellement le développement socio-économique de la région, déjà affecté par les problèmes issus de l'exode rural. Le bassin était classé 13^{ème} sur les 22 bassins versants prioritaires de la stratégie nationale d'aménagement des bassins versants (AGRO CONCEPT, 1994).

L'objectif principal de notre étude est d'analyser l'évolution de l'occupation du sol sur le bassin versant du Bouregreg au cours des années 1985 à 2007, et de la comparer aux données provenant des statistiques agricoles.

La connaissance de l'occupation du sol constitue en effet une information très importante pour la caractérisation d'une région et pour l'élaboration de plans destinés à une meilleure gestion des terres. Elle donne une illustration de la « confrontation continue entre la société et son milieu » (Burel et Baudry, 1999), exprimant à un instant donné un état de ces relations qui impliquent des structures changeantes dans le temps et l'espace.

Elle implique l'utilisation de données de télédétection, avec l'imagerie satellitaire à haute résolution, permettant de suivre finement la dynamique de l'occupation du sol et, par la suite, les pressions environnementales.

Afin de répondre à l'objectif de ce travail et ainsi permettre une bonne compréhension de l'évolution du paysage dans la région, nous présenterons tout d'abord la zone étudiée et la méthodologie appliquée avant de procéder à l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol à travers les changements spatiaux. Ces résultats seront ensuite mis en relation avec des données statistiques et climatologiques précises afin de comprendre les tendances observées.

Zone D'étude

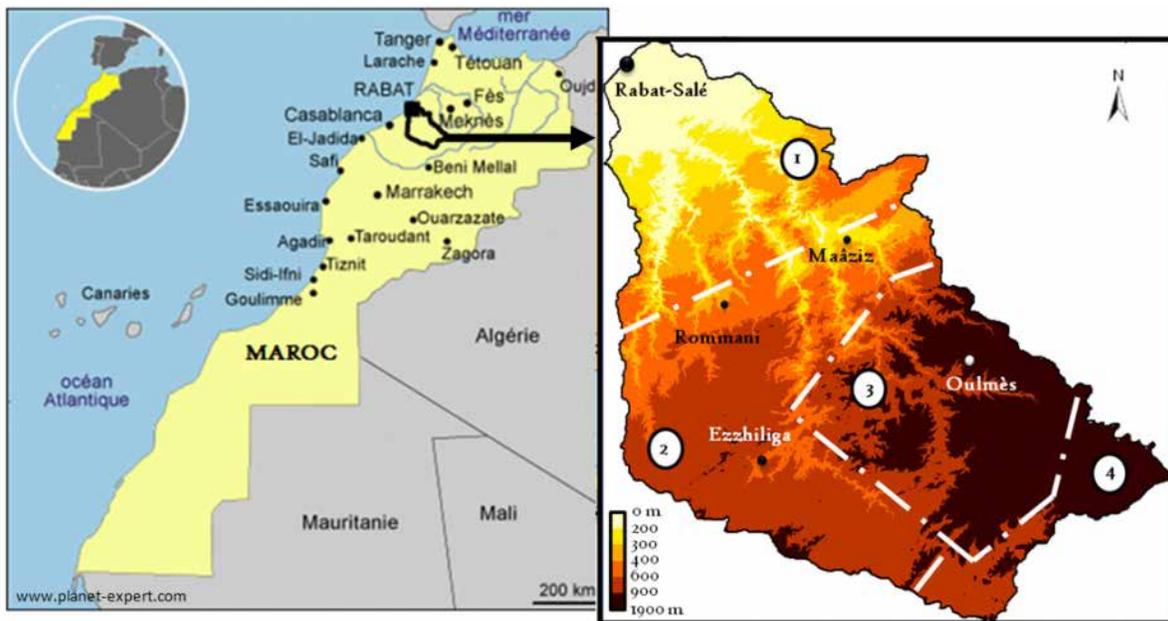
Le bassin versant du Bouregreg couvre une superficie d'environ 9 970 km² (figure 1). Il est bordé au Nord par le bassin de Sebou, au Sud par celui de l'Oum Er Rbia et s'ouvre vers l'Ouest sur l'océan

Atlantique. D'un point de vue administratif, il s'étend sur la région de Rabat-Salé-Zemmour-Zaër, et partiellement sur quatre provinces : Rabat, Khémisset, Khouribga et Khénifra.

Le Bouregreg s'étire sur 240 km de long et son débit est en moyenne de 23 m³/s. Il prend sa source dans le massif du Moyen-Atlas et se jette dans l'océan Atlantique suivant un tracé orienté vers le nord-nord-ouest (MEMEE, 2012). Le réseau hydrographique du bassin versant du Bouregreg se compose de deux principaux oueds à savoir :

- L'oued Bouregreg, proprement dit qui draine une superficie de 3, 830 km², qui correspond à la partie Nord-est du bassin ;
- L'oued Grou et ses affluents, Korifla et Akreuch qui drainent la partie Sud-ouest, d'une superficie totale de 5, 760 km².

Figure 1: Situation géographique du bassin versant du Bouregreg
Figure 1: Bouregreg watershed location



Les écoulements de surface, de régime intermittent, sont caractérisés par une grande variabilité aussi bien dans le temps que dans l'espace. Les apports d'eau du bassin sont étroitement liés aux précipitations. Ils sont importants en période de crues et quasiment nuls pendant la saison sèche. Les analyses statistiques montrent que 80 à 90% des apports d'eau annuels sont produits entre décembre et avril et les 10% restant sont observés en dehors de cette période (figure 2). Le potentiel en eau global du bassin du Bouregreg est évalué à 680 Mm³ par an. Le contexte hydrogéologique défavorable du bassin du Bouregreg, constitué essentiellement de formations géologiques imperméables d'âges primaire, est à l'origine de l'absence de nappes d'eau souterraines potentielles. Ce cadre hydrogéologique fait donc que les ressources en eau sont essentiellement utilisées pour l'alimentation en eau potables et pour la production hydroélectriques, d'où un bassin caractérisé essentiellement par une agriculture pluviale soumise aux aléas climatiques (<http://www.water.gov.ma/>). Le climat régit la répartition spatio-temporelle de la ressource hydrique (figure 3) et influence ainsi l'occupation du sol, et ce notamment au niveau des zones agricoles et forestières. Il se distingue sur le bassin par une saison humide, d'octobre à avril, durant laquelle ont lieu 90% des épisodes pluvieux, et une saison sèche, de mai à septembre.

Figure 2: Diagramme pluviométrique de Rabat (Aval du bassin) et Khouribga (amont sud du bassin) : 1980-2007

Figure 2: Rainfall pattern of Rabat (downstream of the basin) and Khouribga (south upstream of the basin)

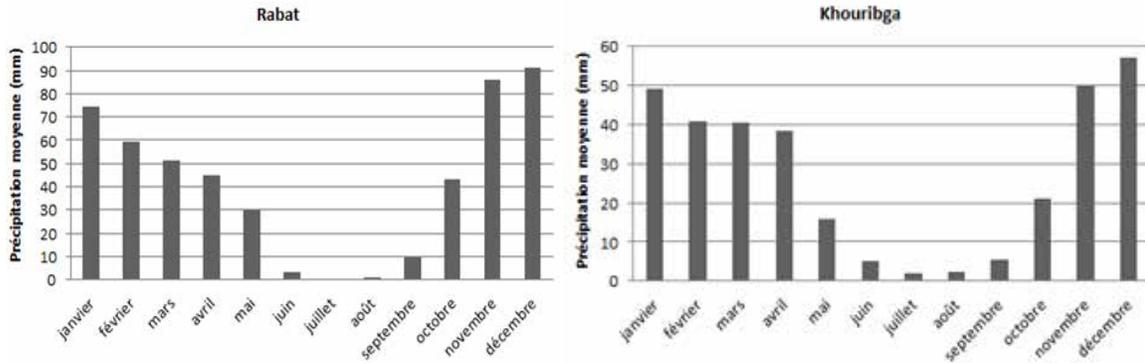
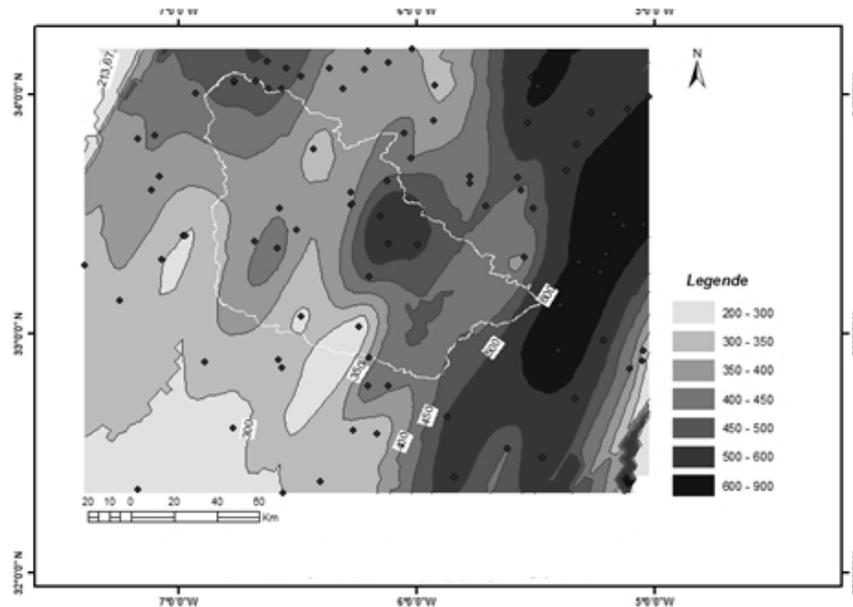


Figure 3: Variation spatiale de la pluviométrie moyenne annuelle (1980-2000)

Figure 3: Spatial variation of annual rainfall average



Au niveau du relief, l'altitude du bassin s'échelonne du niveau zéro de la mer (ouest) à 1627 m (est), avec 50% de la superficie comprise dans la fourchette d'altitude 500 à 1000 m. Le bassin est composé de quatre grands ensembles (Beudet, 1969) :

- le Palier inférieur, ou la Basse Meseta (1), constitué de plateaux de faible altitude (inférieure à 500 m) qui s'inclinent en pente douce vers l'océan,
- le Palier intermédiaire (2) composé de plateaux compris entre 600 et 900 m d'altitude, soulignés par des crêtes schisto-quartzitiques dominant les dépressions de Tiddas, Maâziz et Rommani,
- le Haut pays (3), caractérisé par la présence de hauts plateaux situés entre 1000 m et 1330 m d'altitude et des vallées encaissées,
- une zone de Dépression orientale (4), adossée au Haut pays et le séparant du Moyen Atlas, constituée de plaines entaillées par les grands oueds qui y naissent, du Bouregreg et du Grou.

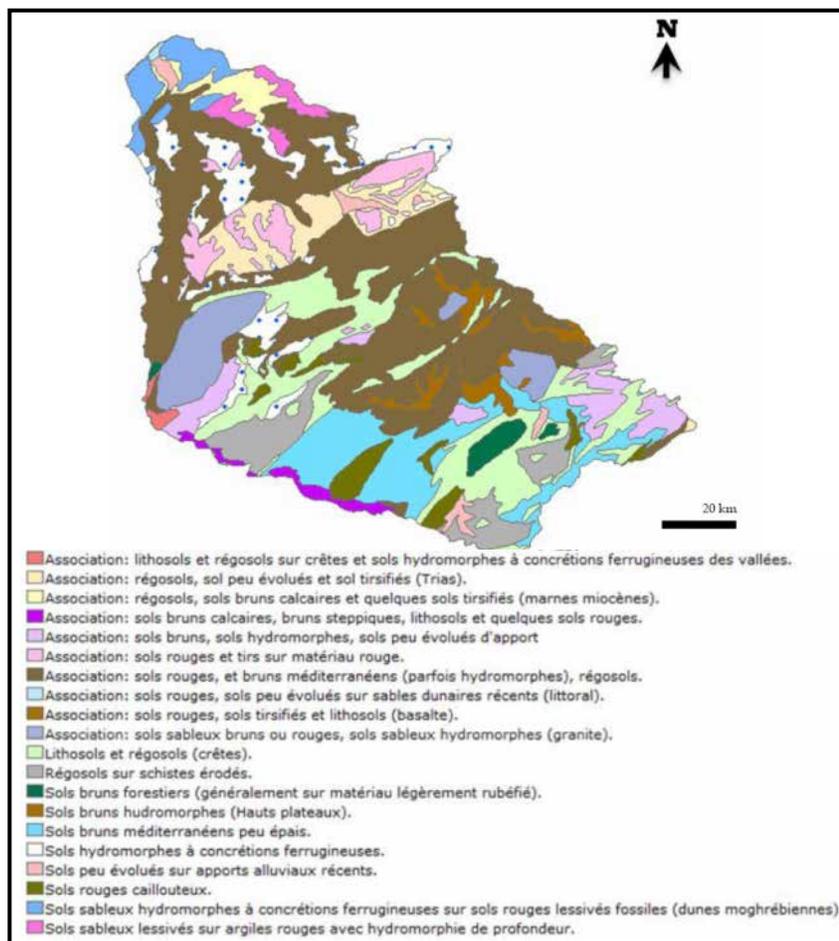
D'un point de vue pédologique (figure 4), on observe la prédominance de trois types de sols, développés pour la plupart sur des formations schisteuses (Bensalah, 2008):

- les sols peu évolués d'érosion, caractérisés par un faible degré d'altération ;
- les sols bruns forestiers dont la profondeur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres d'épaisseur ;
- les sols rouges fersiallitiques, caractérisés par leur richesse en oxydes de fer libre.

Au niveau des formations d'argiles rouges et de basaltes, on note aussi la présence de sols tirsifiés riches en argiles gonflantes, essentiellement sur les terrains plats et dans les dépressions telles que Rommani, et de sols isohumiques sur les bas plateaux.

Le bassin du Bouregreg compte une population de 2, 37 millions d'habitants (HCP, 2004), dont plus de 80% est urbanisée. Le secteur agricole, en rassemblant près de 14% des actifs, est parmi les premières sources de revenu de la majorité de la population du Bouregreg. La Surface Agricole Utile (SAU) est de 519 558 ha, les deux-tiers étant consacrés aux céréales (DPA, 1996). On trouve aussi des légumineuses et des cultures fourragères. La plupart d'entre elles sont cultivées en bour (cultures pluviales) et dépendent de ce fait essentiellement des précipitations. L'élevage, le plus souvent extensif et pratiqué sur parcours, est également très répandu dans le bassin versant.

Figure 4: Carte pédologique du bassin du Bouregreg
Figure 4: Soil map of the Bouregreg watershed



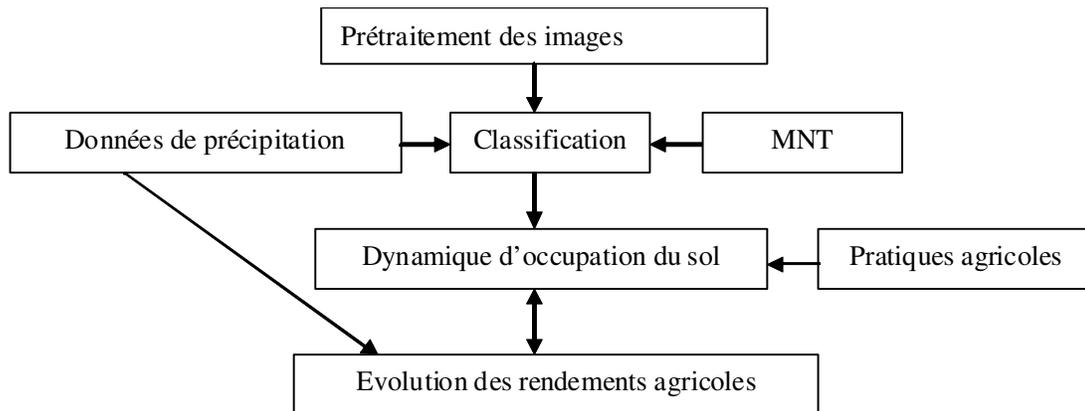
Matériel et Méthode

La méthodologie suivie au cours de ce travail (*figure 5*) repose sur l'utilisation de données satellitaires, topographiques, agronomiques ainsi que sur des mesures et des observations effectuées sur le terrain. Ces données ont ensuite été intégrées et analysées à l'aide d'outils de télédétection et de Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettant de cartographier la zone d'étude.

Trois images satellitaires de Landsat couvrant l'ensemble du bassin versant du Bouregreg ont été utilisées : TM 1985 (15 avril 1985, *path and row* 201.37 et 202.36), ETM+ 2000 (15 mars 2000, *path and row* 202.36) et TM 2007 (11 mars 2007, *path and row* 201.37). Ces trois images correspondent à la période printanière (maximum de l'activité végétale) et représentent les seules scènes couvrant le bassin dans son entièreté sur la période de 1980 à 2007 en saisons humides. Les données statistiques issues du recensement général agricole de 1996 et les résultats des campagnes agricoles des provinces de Khouribga et de Rabat de 1980 à 2007 ont aussi été analysés (DPA, 1996), ainsi que les données climatiques (pluviométrie mensuelle) de 1980 à 2007 (DMNM, 2011), pour quelques stations du bassin.

Les données cartographiques de base du bassin (contours, réseau hydrographique, MNT), sont tirées de la base de données SIEREM (Boyer *et al.*, 2006) mise à jour dans le cadre du programme SIGMED (Mahé, 2012).

Figure 5: Schéma de la méthodologie générale de l'étude
Figure 5: Diagram of the general methodology of the study



Prétraitement des Images Satellites Landsat

La classification des images a été précédée de deux opérations à savoir : un prétraitement des images et une reconnaissance des objets sur le terrain par photographie et GPS (Global Positioning Système). Les images Landsat téléchargées étant orthorectifiées, le prétraitement a concerné la correction atmosphérique de ces images et leur réprojection dans le système local (Maroc zone 1, système Lambert conique conforme, datum Merchich).

Des néo-canaux sont ensuite créés afin d'augmenter la lisibilité des données en rehaussant certaines caractéristiques ou propriétés moins évidentes dans l'image originale, montrant ainsi plus clairement des éléments de la scène. Il s'agit notamment des différents degrés de couverture végétale du bassin. Deux indices sont donc créés à savoir l'indice de végétation normalisé (NDVI) et l'indice normalisé d'humidité (INH) (Jae-Dong, 2004 ; DeAlwis *et al.*, 2007)

Enfin, la comparaison de l'image Landsat avec une image SPOT5 (2, 5 m de résolution spatiale), l'utilisation de Google Earth ainsi que les espaces échantillonnés à partir du GPS ont permis d'identifier avec certitude les espaces de végétation naturelle et cultivée, les sols nus, les surfaces en eau et les zones urbanisées.

Etude de la Zone : Création des Cartes D'occupation du Sol en 1985, 2000, 2007 à Partir

D'images Landsat

Dans cette étude, la méthode utilisée est la classification supervisée par « maximum de vraisemblance », basée sur une approche statistique (Randriamanga, 2009 ; Timoulali et Medouri, 2000). Avant de réaliser l'opération de classification, il est nécessaire d'étudier la séparabilité des signatures spectrales des objets échantillonnés pour éviter les confusions interclasses. Le tableau 1 indique un exemple de la séparabilité des classes d'objets pour l'image de 2007. Il en ressort l'existence de confusions relativement importantes entre les classes d'objets de cultures et les forêts. A des degrés moindres, de légères confusions existent entre les sols nus (Forêt et matorral) et les autres classes. La validation post-classification fait ressortir cette réalité. Les coefficients kappa sont respectivement de 78% en 1985, 75% en 2000 et 82% en 2007(les objets sont bien classifiés dans 82% des cas)

Les différentes classes d'objets sont regroupées enfin selon leur proportion localisée sur des pentes fortes ou des pentes faibles (au niveau topographique). Les précipitations étant agressives dans cette région, le facteur topographique combiné à l'action humaine agit en accélérateur de transformation du paysage (Laouina, 1997).

Tableau 1: Tableau de séparabilité des classes d'occupation du sol

Table 1: table of separability of classes of land

Classified Data	Eau	Zone urbai	Forêt	Zones humi	Cultures	Sols nus	Row Total
Eau	96.60	0.00	0.11	0.13	0.00	0.00	1741
Zone urbai	1.41	97.24	0.22	0.00	0.20	1.47	8051
Forêt	1.46	0.06	85.75	2.79	11.44	0.00	67899
Zones humi	0.00	0.00	0.21	96.57	0.58	0.00	9988
Cultures	0.23	1.32	12.49	0.50	86.01	0.00	74004
Sols nus	0.29	1.37	1.23	0.00	1.76	98.53	2426
Column Total	1707	7944	68705	9736	75881	136	164109

Après avoir validé les cartes d'occupation du sol, nous réalisons une étude du changement du mode d'occupation du sol entre 1985 et 2007. Cette étude du changement analyse par SIG les différences statistiques et spatialisées de chaque classe des images de 1985, 2000 et 2007.

Par la suite, afin de comprendre l'origine des changements observés, les données pluviométriques sont analysées. L'accent est plus particulièrement mis sur les dates auxquelles les images satellites ont été acquises, soit en 1985, en 2000 et en 2007. De plus, au vu de l'importance de la place de l'agriculture dans le bassin, les différences observées seront confrontées aux données issues des campagnes agricoles réalisées dans la région et collectées auprès des institutions locales. L'objectif est ici de confirmer les résultats obtenus pour chaque classification d'image et les tendances qui en découlent dans le temps.

Résultats et Discussion

Des mutations Marquées du Paysage

L'analyse de la dynamique des classes d'occupation du sol (figures 6, 7 et 8) met en relief les évolutions suivantes :

- Une baisse des superficies forestières ;
- Une hausse des surfaces agricoles irriguées ou localisées en zones humides ;
- Une hausse des surfaces occupées par des sols nus ou presque nus ;
- Une urbanisation importante de la zone littorale.

Figure 6: Graphique d'évolution des classes d'occupation du sol
Figure 6: Classes of land graphic evolution

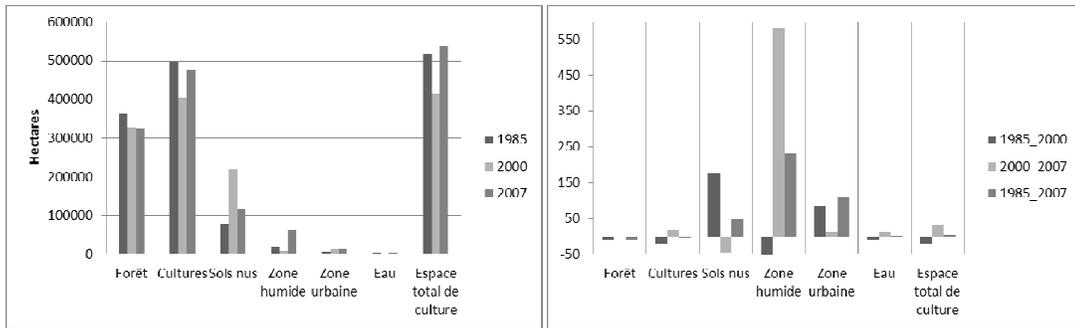


Figure 7: Occupation du sol dans le bassin versant du Bouregreg
Figure 7: Land use in the Bouregreg watershed

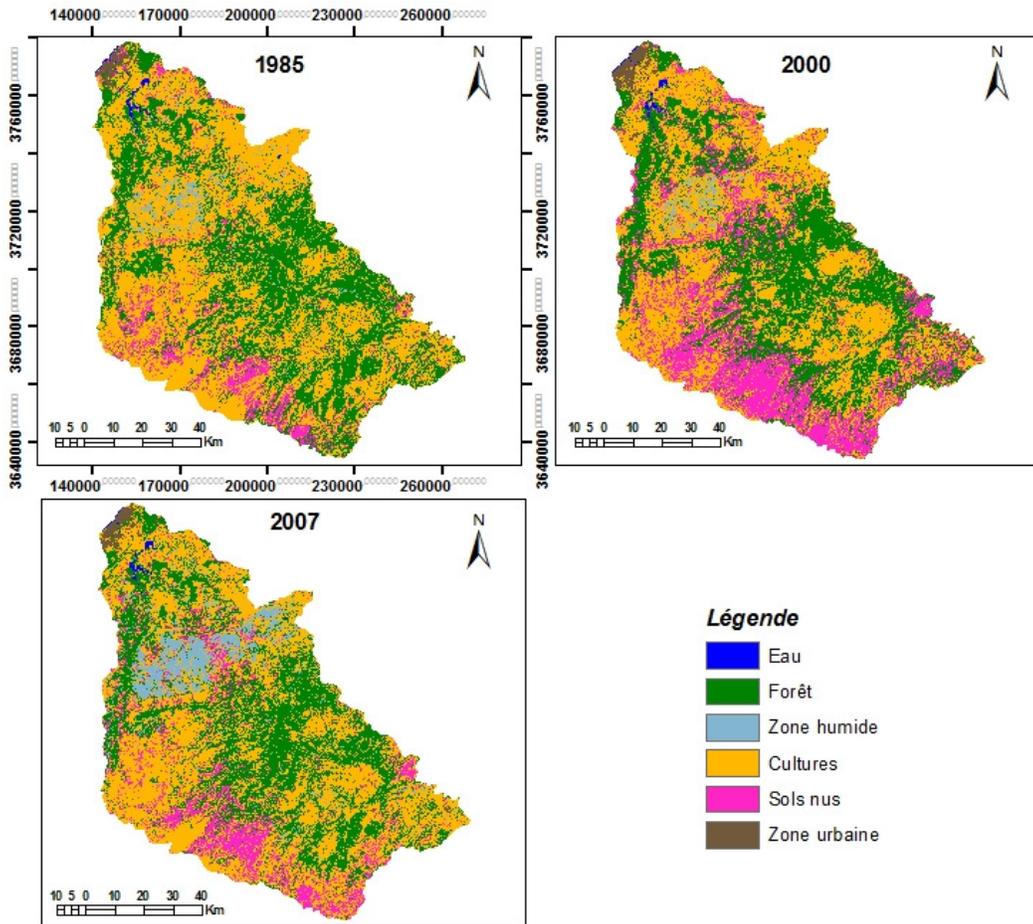
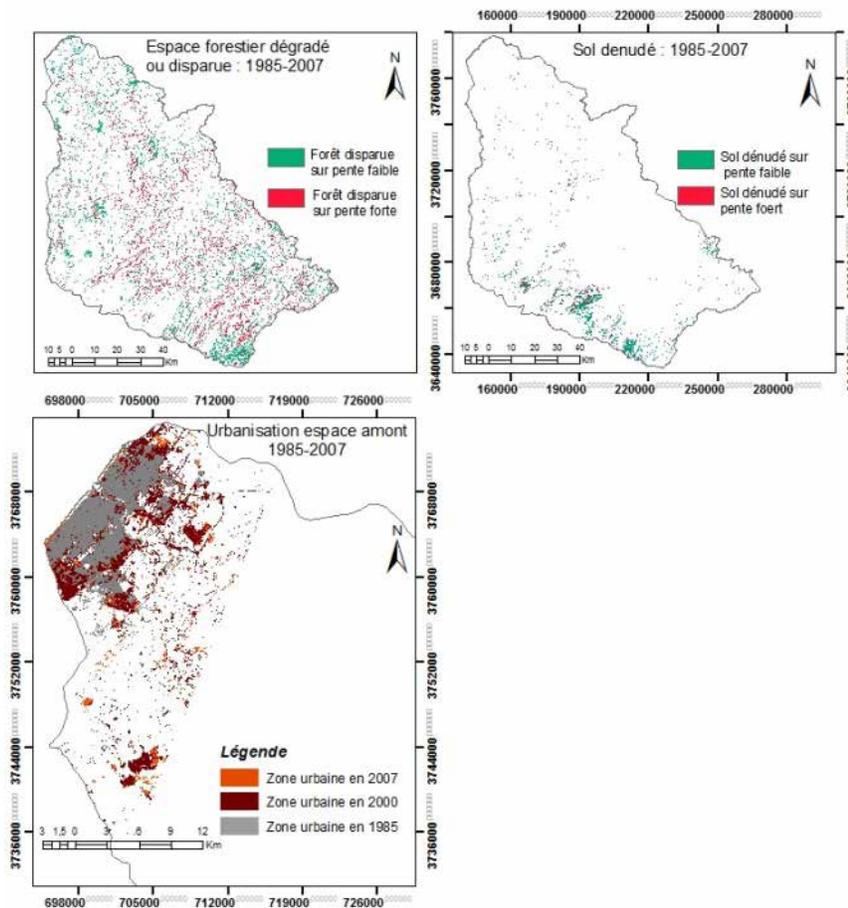


Figure 8: Synthèse de la dynamique d'occupation du sol de 1985 à 2007
Figure 8: Synthesis of land use dynamics from 1985 to 2007



Une Dégradation des Surfaces Forestière

Les statistiques des classes représentant les surfaces forestières sur les images de 1985, 2000 et 2007 indiquent une baisse de 4% entre 1985 et 2000 et de 1% entre 2000 et 2007, soit un total de 35000 ha. L'observation des cartes de la figure 7 et 8 permet de constater que les espaces les plus marqués par une disparition du couvert forestier sont localisés sur les marges des îlots de forêt et sur les terrains à forte pente (45% des surfaces forestières disparues sont situées sur des pentes de plus de 10°). Les cartes d'occupation du sol enseignent également que sur l'ensemble du bassin, la qualité de la densité du couvert forestier est aussi affectée.

Une Hausse des Superficies Agricoles Irriguées ou Localisées en Zones Humides

Les statistiques des classes d'images de 1985, 2000 et 2007 indiquent une hausse de 4% (44 000 ha) des surfaces agricoles localisées sur des espaces humides. Toutefois, l'image de 2000 indique une situation moins humide que celles des années 1985 et 2007 (-1% entre 1985 et 2000). L'observation des autres surfaces agricoles (cultures en zone non humide) indique une baisse de 4% (23000 ha). La baisse est particulièrement importante entre 1985 et 2000 (-10%). Ces espaces de culture en zones humides ou irriguées sont localisés au centre du bassin. Les statistiques combinées de l'ensemble des espaces de culture (zones humides et non humides) indiquent cependant un gain de 21000 ha en 2007 par rapport à 1985. Aussi, 45% des surfaces agricoles sont-elles localisées sur des pentes topographiques fortes.

Un bassin Aux Sols de Plus en Plus Dénudés

La proportion du bassin gagnée par des espaces aux sols de plus en plus dénudés est passée de 8% en 1985 à 22% en 2000 pour se réduire à 12% en 2007. Ce qui représente pour l'intervalle 1985-2000 une hausse des sols nus de 4%. Les cartes d'occupation (figure 7 et 8) du sol indiquent que les espaces les plus marqués par ce phénomène sont localisés dans le Sud-est du bassin et, à un degré moindre, au centre et à l'aval du bassin. 32% des sols nus de 1985 à 2007 se localisent sur des pentes fortes, augmentant ainsi les risques d'érosion hydrique des versants des vallées.

L'observation des classes d'occupation du sol en 2000 amène à l'hypothèse d'un mois de février et/ou mars relativement plus sec que celui des années 1985 et 2007.

Une Urbanisation de la Zone Littorale

La zone littorale constitue le principal espace urbanisé du bassin. De 1985 à 2007, cet espace a connu une croissance de 1%, selon les cartes d'occupation du sol des images LANDSAT (figure 8). Ce qui est en réalité très en dessous de la proportion d'évolution réelle de cet espace car l'expansion urbaine s'est densifiée dans les espaces périphériques.

La dynamique des rendements en sens contraire d'un gain important de superficies agricoles conduit à des causes liées d'une part à la pluviométrie et d'autre part à la qualité des sols.

Des Transformations du Paysage Liées à la Fois à L'activité Agricole et au Climat

L'agriculture marocaine est techniquement traditionnelle et dépendante des contraintes climatiques (Barakat et Handouffe, 1998 ; Akesbi, 2006 ; Badraoui ; 2006, Narjisse, 2006 ; Jlibene et Balaghi, 2009). Les espaces d'agriculture pluviale comme le bassin versant du Bouregreg couvrent 90% de la SAU du Maroc et sont dominés à 70% par la céréaliculture (Jouve et al., 1995 ; Narjisse, 2006). Ces espaces d'agriculture pluviale demeurent des zones fragiles quant à leur mise en valeur agricole. Deux espaces ont été choisis pour illustrer l'évolution comparée de la pluviométrie et de l'occupation du sol. Il s'agit de :

- L'espace de Rabat à l'aval du bassin, représentant une des parties les plus arrosées de ce bassin ;
- L'espace de Khouribga à l'amont du bassin (partie Sud-est), représentant les parties les moins arrosées du bassin.

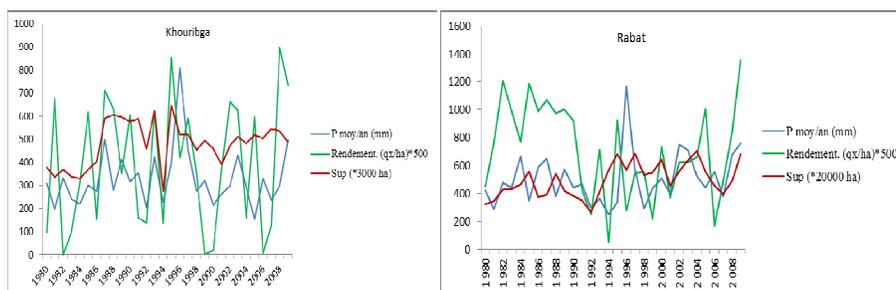
Les graphiques de la figure 9, analysés sur la période 1980-2007 permettent de faire les constats généraux suivants :

- L'augmentation notable des superficies cérésières ;
- L'augmentation sensible de la pluviométrie ;
- La baisse remarquée des rendements agricoles.

La Chute des Rendements en Contradiction Avec une Hausse des Superficies Cérésières

Les superficies occupées par les principales céréales du bassin (orge, blé dur et blé tendre) connaissent une augmentation significative de 1980 à 2007 (figure 9), même si le test de tendance de Mann-Kendall ne met en relief cette réalité qu'avec un niveau de significativité de 90% à Rabat. Il s'agit d'une hausse moyenne de 56% (9000 ha) à Rabat et de 26% (33000 ha) dans la province de Khouribga. Les cartes d'occupation du sol traduisent cette évolution statistique, les espaces de production cérésière correspondent aux classes de cultures, zones humides et parfois les sols nus. Cependant contrairement à un accroissement des superficies agricoles, il est remarqué une baisse des rendements cérésières de 1980 à 2007. Au niveau des deux espaces échantillons, la baisse moyenne du rendement est d'environ de 27% pour la zone de Rabat (en considérant une régression linéaire, ce qui n'est pas la fonction réelle définissant l'évolution des rendements) et de 4% pour la zone de Khouribga.

Figure 9: Evolution des statistiques agricoles et de la pluviométrie dans le bassin
Figure 9: Evolution of agricultural statistics and rainfall in the Bouregreg watershed



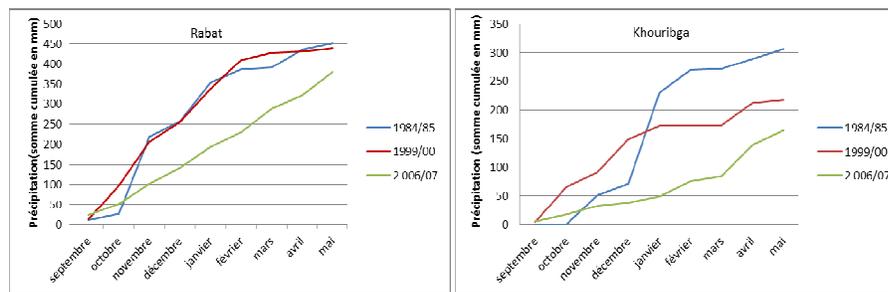
Variabilité Pluviométrique et Baisse du Rendement des Céréales

L'analyse statistique comparée de l'évolution de la pluviométrie moyenne annuelle et des rendements indique, en première observation, des dynamiques contraires sur l'ensemble de la série chronologique. En effet, de 1980 à 2007, la pluviométrie moyenne annuelle s'est accrue de 10% à Rabat et de 2% à Khouribga, pendant que les rendements sont marqués par des baisses. Cependant, en divisant la série en segments homogènes, il apparaît une corrélation entre l'évolution des deux facteurs (pluviométrie et rendement). Ainsi à Rabat, pendant la période 1980-1994, une baisse moyenne de la pluviométrie de 11% correspond à une baisse moyenne de rendement de 26%. La période 1995-2007 est marquée par une baisse pluviométrique moyenne de 21% pour une baisse de rendement de 2%. A Khouribga, la période 1980-1994 est caractérisée par une hausse pluviométrique moyenne de 11% équivalent à un gain moyen de rendement de 14%. Quant à la période 1995-2007, elle est marquée par une baisse moyenne de la pluviométrie de 31% contre une baisse de rendement de 34%.

Les analyses précédentes des classes d'occupation du sol ont conduit à l'hypothèse d'un printemps moins pluvieux en 2000 qu'en 1985 et 2007. Les observations des quantités pluviométriques pendant ces trois années n'expliquent pas en première approche cette situation. En effet, les totaux pluviométriques moyens pendant les saisons humides (septembre-mai) sont de 452 mm en 1984/1985, de 440 mm en 1999/2000 et de 380 mm en 2006/2007 à Rabat. Ce schéma d'évolution est le même pour Khouribga, à savoir 306 mm, 217 mm et 165 mm pour respectivement 1984/1985, 1999/2000 et 2006/2007. Les années 1984/1985 et 1999/2000 peuvent être considérées comme normales relativement à la moyenne pluviométrique de la région. Cependant, l'observation des productions céréalières annuelles correspondant à ces quantités pluviométriques amène à comprendre que, plus que la quantité pluviométrique totale annuelle, c'est la répartition mensuelle de cette pluviométrie qui influence la production finale et donc l'occupation du sol exprimée par l'image satellite. En effet, l'exemple de Khouribga présente une production annuelle de céréale de 689500 qx en 1984/1985, de 14600 qx en 1999/2000 et de 20900 qx en 2006/2007. Ainsi, bien que la campagne 1999/2000 ait été plus pluvieuse que celle de 2006/2007, les productions céréalières sont moins importantes. Dans le bassin du Bouregreg, le développement cyclique des céréales comprend trois grandes phases correspondant aux périodes de « levée-tallage » (décembre-janvier), de « montaison-épiaison » (février-mars) et de « floraison-maturité » (avril-mai). Les besoins en eau seront plus élevés durant la seconde phase au cours de laquelle on assiste à une accumulation rapide de la biomasse. Or cette étape coïncide avec une augmentation de la température. C'est donc surtout durant cette période que la sécheresse aura des conséquences néfastes sur les rendements. Les courbes de la figure 10 permettent de comprendre qu'en 1999/2000, les mois de janvier à mars ont été sec (séquence horizontale de la courbe). Ceci explique la mauvaise campagne céréalière et les constats faits au niveau de la classification de l'image de mars 2000.

L'hypothèse de la dégradation de plus en plus importante de la qualité des sols est déduite des observations de terrain ainsi que du fait qu'en dépit d'une augmentation des superficies et d'années pluvieuses souvent normales, les rendements soient restés constants ou soient en baisses (Laouina, 1997, 2010).

Figure 10: Détection de périodes sèches (segments horizontaux) dans les années agricoles
Figure 10: Detection of dry periods (horizontal segments) in agricultural years



Discussion

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol à partir des images de Landsat sur le bassin du Bouregreg présente le désavantage d'être de faible répétitivité temporelle. Les images ne couvrent souvent pas de longues périodes notamment la décennie 1990 où se situe à la fois l'année agricole la plus humide (1995/1996) de la série et l'une des années les plus sèches (1994/1995). Les analyses de la dynamique de l'occupation du sol, à partir d'images NOAA, SPOT végétation ou MODIS, combinées à des images de haute résolution spatiale permet de saisir de façon fine les interactions entre activités humaines, la variation du climat et la dynamique de l'occupation du sol. En outre, la méthode de classification par maximum de vraisemblance est inadaptée pour ce bassin qui est accidenté dans sa moitié, ceci d'autant plus que les confusions sont souvent importantes entre les espaces humides et la végétation dense sur les versants orientés vers le Nord. Cela explique d'ailleurs qu'en utilisant une méthode de classification par arbre de décision, Tra Bi (2013) aboutit à des résultats plus détaillés avec des proportions de changement plus important. Tous les travaux réalisés sur ce bassin, à partir de la télédétection, aboutissent à la même conclusion d'une transformation du paysage liée à la pluviométrie et aux activités agropastorales. Gil et al., (2012), Tra Bi et al., (2013), Tra Bi (2013), à partir de la combinaison d'images à multiples échelles constatent ainsi, une baisse plus importante du couvert forestier du bassin de 1980 à 2009 (environ 59000 ha), principalement durant l'été. La disparition de la végétation forestière se fait au détriment de cultures céréalières et de pâturages. En outre, l'évolution à la hausse des sols nus est liée à une forte dégradation des versants dénudés due à ces activités. L'espace Sud-est du bassin (espace de Khouribga) représente la zone de plus forte pression pastorale du bassin. Ainsi, la présence de sols nus en forte proportion dans cette partie du bassin est généralement l'expression d'une dégradation de l'espace, même si historiquement la faible couverture végétale de cet espace pourrait être liée à d'autres causes (Beudet, 1979). Aussi, l'histoire agraire du bassin marquée par la confiscation des meilleures terres agricoles, pendant la colonisation, et l'absence de réformes agraires véritable aujourd'hui, est-elle à l'origine de cultures sur les versants et donc de dégradation de ces espaces.

Conclusion

Au cours de la période de 1980 à 2007, les paysages du bassin versant du Bouregreg ont évolué sous l'effet de facteurs naturels (pluviométrie et relief) et anthropiques (activités agropastorales et urbanisation). Les changements les plus notables touchent les espaces agricoles dont les superficies augmentent au détriment d'une destruction de la végétation forestière. Ces espaces agricoles sont aussi marqués par une occupation de plus en plus importante des versants en pente forte et d'une dégradation des sols. La diminution de la qualité du sol combinée à une évolution défavorable de la pluviométrie de 1980 à 2007 est à l'origine d'une baisse marquée des rendements agricoles. La recherche de nouvelles terres plus productives accroît en retour la pression sur les forêts et la durée des jachères. La méthode de classification par maximum de vraisemblance utilisée pour cette étude montre certaines limites liées

à la mauvaise cartographie des espaces marqués par des contrastes de versants, notamment les espaces orientés vers le nord et donc plus humides. Il est également impossible d'apprécier les changements spatiaux dans leur évolution temporelle fine à partir de ces images de Landsat, d'où l'importance d'une continuité de cette étude avec une utilisation d'images de résolution temporelle élevées (les images de basse et de moyenne résolution spatiale).

Références

- [1] AGRO CONCEPT, 1994, *Plan national d'aménagement des bassins versants, Rapport de synthèse, Phase II*. Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols, Rabat, Maroc.
- [2] Akesbi N. (2006) Evolution et perspectives de l'agriculture marocaine *rapport thématique, 50 ans de développement humain au Maroc et perspectives pour 2025 GT3*
- [3] Badraoui M., (2006) Connaissance et utilisation des ressources en sol au Maroc *rapport thématique, 50 ans de développement humain au Maroc et perspectives pour 2025 GT8-3*
- [4] Barakat, F., Handoufe, A., 1998. Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. *Sécheresse* 9, 201–208
- [5] Beaudet G, 1969. *Le plateau central marocain et ses bordures. Étude géomorphologique*. Thèse es-Sciences, Université Mohamed V, Rabat, Maroc.
- [6] Beaudet G. (1979). Un problème géographique : les aires asylvatiques du Maroc Central. In *Méditerranée, Troisième série, Tome 35, 1-2-1979. L'homme et son milieu naturel au Maghreb*. pp. 9-14.
- [7] Bensalah N, 2008. *Indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion en vue d'une gestion durable des eaux et sols (BV de Bouregreg S.S)*. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Département de Géographie, Rabat, Maroc
- [8] Boyer JF, Dieulin C, Rouché N, Crès A, Servat E, Paturel JE, *et al.*, 2006. SIEREM: an environmental information system for water resources. In: S Demuth, A Gustard, E Planos, F Scatena et E Servat, eds, *Water Resource Variability: Processes, Analyses and Impacts*, Proc. Of the 5th FRIEND World Conference, La Havana, Cuba, IAHS Publ. 308, 19-25.
- [9] Burel F et Baudry J, 1999. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Editions TEC & DOC, Paris, Lavoisier.
- [10] DeAlwis, D. A., Easton, Z. M., Dahlke, H. E., Philpot, W. D., & Steenhuis, T. S. (2007). Unsupervised classification of saturated areas using a time series of remotely sensed images. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions Discussions*, 4(3), 1663-1696.
- [11] DMNM, 2011. Direction de la Météorologie Nationale du Maroc. Pluies journalières de 1972 à 2009 pour les stations d'Aguibat Ezziar, de Ain Loudah, de Lalla Chafia, d'Ouljet Haboub, de Rabat-Salé, de Ras El Fathia, de Sidi Jabeur, de Tsalat. Casablanca, Maroc.
- [12] DPA, 1996. Recensement Général Agricole. Direction de la Planification Agricole et de l'Economie. Régions Rabat-Salé-Zemmours-Zaers, Maroc.
- [13] FAO, 2010. Calendrier cultural : <http://www.fao.org/agriculture/seed/cropcalendar/welcome.do>
- [14] Mahé G., Emran A., Brou Y. T., Tra Bi Z. A. (2012), impact de la variabilité climatique sur l'état de surface du bassin versant du Bouregreg (Maroc), *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.84 No.3 (2012), pp.417-425
- [15] Girard MC et Girard CM, 1999. *Traitement des données de télédétection*. Collection Technique et Ingénierie, Paris, Dunod.
- [16] HCP, 2004. Recensement Général de la population et de l'habitat de 2004. Royaume du Maroc, Haut Commissariat au Plan.
- [17] Jae-Dong J., 2004, Evaluation of thermal-water stress of forest in southern Québec from satellite images, Thèse de doctorat de l'Université Laval
- [18] Jouve A.M., Belghazi S., Khelfache Y., (1995) La filière des céréales dans les pays du Maghreb : constance des enjeux, évolution des politiques. *Options Méditerranéennes*, B, 14, 1995, 167-

192. OAA/FAO, 1999. Le caractère multifonctionnel de l'agriculture et des terroirs. *Conférence Maastricht, Pays Bas, 1999*, 1-14pp
- [19] Jlibene M et Balaghi R, 2009. Le risque sécheresse en agriculture pluviale. Cas des céréales. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA*, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 181: 1-6.
- [20] Laouina, A., Nafaa, R., & Watfeh, A. (1997). Occupation des sols et dégradation des terres, le cas de la Mamora et de ses bordures. *Méditerranée*, 86(1-2), 45-51
- [21] Laouina A, Coelho C, Ritsema C, Chaker M, Nafaa R, Fenjiro I, *et al.*, 2004. Dynamique de l'eau et gestion des terres dans le contexte du changement global, dans le bassin du Bouregreg (Maroc). *Sécheresse* 15 (1): 65-77.
- [22] MA, 2010. Campagnes agricoles de 1980 à 2009. Provinces de Rabat et de Khémisset. Ministère de l'Agriculture, Rabat.
- [23] Mahé G, 2012. SIGMED et MEDFRIEND, approches complémentaires pour une recherche régionale au Maghreb. *Séminaire scientifique international du programme SIGMED*, Institut Scientifique, Université Mohamed V-Agdal, 11 mai 2012, Rabat, Maroc.
- [24] MEMEE, 2012. Le Bassin Hydraulique du Bouregreg. Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Royaume du Maroc. http://www.water.gov.ma/userfiles/file/5_Bouregreg-d%C3%A9f.pdf
- [25] Narjisse H., (2006) les écosystèmes agricoles et pastoraux : état des lieux et voix d'évolution, *50 ans de développement humain au Maroc et perspectives 2025*
- [26] Randriamanga S, 2009. Télédétection, SIG et gestion des sols à Madagascar : le cas des Hautes Terres centrales. *Journées d'Animation Scientifique de l'AUF*, Alger Novembre 2009.
- [27] Timoulali Y et Medouri A, 2000. *Principes, méthodes et application de la télédétection. Publications de l'Organisation islamique pour l'éducation, les sciences et la culture - ISESCO.*
- [28] Tra Bi Z. A., Koli Bi Z., Brou Y. T., Mahé G., Emran A., (2013), télédétection et analyse statistique de la dynamique de la végétation dans un contexte de variabilité climatique sur le bassin versant du Bouregreg, *climate and land-surface changes in hydrology, proceedings of H01, AIHS-AIPSO-AISPEI, Gothenburg, Sweden, july 2013 (IAHS Publ. 359, 2013)*
- [29] Tra Bi Z.A., (2013), étude 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 doctorat de l'Université d'Artois