

Télédétection et analyse statistique de la dynamique de la végétation dans un contexte de variabilité climatique sur le bassin versant du Bouregreg (Maroc)

ZAMBLE ARMAND TRA BI¹, ZUELI KOLI BI², TELESOPHORE YAO BROU³,
GIL MAHE⁴ & ANAS EMRAN⁵

*1 Université d'Artois / Institut de la Recherche pour le Développement / Institut de Géographie Tropicale de l'Université d'Abidjan Cocody, Avenue de l'école de police, 22 BP 940, Abidjan 22
zambtra@yahoo.fr*

2 Institut de Géographie Tropicale de l'Université d'Abidjan Cocody, Avenue de l'école de police, 22 BP 744 Abidjan 22

*3 Institut de la Recherche pour le Développement / Université de la Réunion, 15 rue René Cassin 97715 Saint Denis
Message cedex 9 BP 7115, Réunion*

4 Institut de la Recherche pour le Développement (IRD) / Université Mohamed V-Agdal Rabat, 15 rue Abou Derr 10000 Agdal-Rabat, BP 8967 Rabat-Agdal, Maroc

5 Institut Scientifique / Université Mohammed V-Agdal Rabat, Avenue Ibn Battouta, BP 703 Rabat-Agdal, Maroc

Resume Le bassin versant du Bouregreg appartient aux zones écologiques favorables du plateau central nord-ouest du Maroc. Ce bassin versant est un espace de céréaliculture pluviale. En outre, ce bassin fait partie des espaces pastoraux favorables du royaume. A l'instar de tout le Maghreb, le pays connaît depuis le milieu des années 70 et le début des années 1980, des conditions pluviométriques de plus en plus aléatoires. Ces variations pluviométriques sont caractérisées par des baisses notables des quantités pluviométriques et une récurrence des épisodes de sécheresse. Cette étude met en lumière la nature de l'évolution spatio-temporelle de la masse végétale dans le bassin de 1980 à 2009, dans ce contexte de crise pluviométrique. A partir de statistiques sur les séries chronologiques constituées des valeurs de NDVI (Normalize Difference Vegetation Index) des pixels des images de la NOAA de 1982 à 2009, l'étude constate une forte régression de la végétation pendant la période estivale. Mais l'analyse de régression entre cette dynamique végétale et la pluviométrie fait ressortir un impact des précipitations sur la végétation pendant les saisons humides, ce qui amène à conclure que des facteurs autres que les précipitations sont responsables de la forte baisse de la végétation en été.

Mots clef NDVI; NOAA; test de tendance; bassin versant; pluviométrie; végétation

Remote sensing and statistical analysis of the dynamics of vegetation in a climate variability context on the Bouregreg watershed (Morocco)

Abstract Bouregreg watershed belongs to the favourable ecological zone of Morocco's central northwest plateau. This watershed is a rainfed area that is marginal for cereal cultivation. Also, this zone belongs to the favourable pastoral areas of that kingdom. The country, like the whole of the Maghreb, since the mid-1970s and beginning of the 1980s, has had more random rainfall conditions. These rainfall changes are marked by substantial declines and greater recurrence of droughts. This study highlights the nature of the spatio-temporal phytomass dynamics in this rainfall crisis, in the watershed from 1982 to 2009. From statistics of time series of NDVI pixel values of NOAA images for this period, the study finds a sharp decline in vegetation during the summers. But regression analysis between the rainfall and vegetation finds instead an impact of the rainfall on the wet seasons. It leads to the conclusion that factors other than precipitation are responsible for the sharp decline in vegetation.

Key words NDVI; NOAA; trend test; watershed; rainfall; vegetation

INTRODUCTION

Le Maroc a axé dès l'indépendance, sa politique de développement économique sur le secteur agricole. L'orientation de sa politique agricole s'est appuyée sur le double constat que cette agriculture demeure techniquement traditionnelle d'une part, et d'autre part qu'elle est dépendante des contraintes climatiques. Ainsi, pour moderniser ce secteur, une politique d'irrigation a été lancée avec pour objectif d'atteindre "le million d'hectare irrigué" en l'an 2000. La politique d'irrigation s'est appuyée sur les caractéristiques physiques des régions agro-écologiques du Maroc (régions présentant une certaine homogénéité en termes de forme de relief, sols et substrats, précipitations et périodes végétatives) (Akesbi, 2006; Badraoui, 2006). Le bassin versant du Bouregreg restera une zone en marge de cette politique d'irrigation, compte tenu de ses caractéristiques hydrogéologiques défavorables. Cependant, bien que l'objectif du million d'hectare irrigué soit atteint aujourd'hui, l'agriculture pluviale représente encore près de 90% de la

surface agricole utile (SAU) du royaume (Narjisse, 2006). En outre, en dépit de conditions naturelles fragiles, les secteurs d'agriculture pluviale favorable comme le bassin du Bouregreg connaissent des pressions agricoles et pastorales de plus en plus importantes (ce bassin appartenant à la zone humide du Maroc). Les activités agricoles s'étendent désormais aux espaces défavorables à forte pente et à sol fragile. La dégradation de l'espace est accentuée par une pression pastorale 5 fois supérieure à la normale (Laouina, 2003; Berraho, 2006). La dépendance entre la pluviométrie et la conduite des activités agricoles et pastorales est devenue d'autant plus grande que le pays connaît d'importantes variations climatiques marquées par des baisses de plus de 15% des quantités pluviométriques depuis le milieu des années 1970. Les différentes mesures d'atténuation des effets de la variation pluviométrique conduisent aujourd'hui à une dégradation des sols et de la couverture végétale du bassin. Les études visant à mettre en relief les problèmes environnementaux de dégradation des sols et du couvert végétal ont, dans la plupart des cas, confondu le bassin du Bouregreg avec les bassins voisins qui bien qu'appartenant à la même zone agro-écologique, bénéficient de la politique d'irrigation. Ou alors, ces études se sont limitées à des sous bassins de cet espace (Laouina, 2003; Laouina *et al.*, 2004; Aderghal *et al.*, 2011). A travers cette étude, il est ainsi question d'analyser statistiquement les informations fournies par les images de télédétection de basse résolution spatiale corrélées à la variabilité pluviométrique. Le but final de cette étude est de mieux connaître l'influence des variations pluviométriques sur la dégradation du couvert végétal. Les images d'indice de végétation de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) et de MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sont ainsi étudiées sous leur aspect statistique pour la période de 1982 à 2009.

DONNEES ET METHODES

Site de l'étude

Le bassin versant du Bouregreg est situé au centre-nord-Ouest du royaume du Maroc. C'est un bassin méditerranéen localisé entre les parallèles 32°50' et 34°30'N et les méridiens 5° et 7°O. D'une superficie de 9800 km², il est limité au Nord et au Nord-Est par le bassin du Sébou, au Sud et au Sud-Est par celui d'Oum Er-Rbia, à l'Ouest et au Nord-Ouest par les bassins côtiers de Casablanca et l'Océan Atlantique. Le bassin versant du Bouregreg est drainé par trois artères hydrologiques principales: l'oued Bouregreg, l'oued Grou et l'oued Korifla. Les conditions pédo-climatiques du bassin du Bouregreg façonnent une végétation majoritairement sclérophylle (Fig. 1).

Les données de l'étude

Les images de basse résolution spatiale utilisées pour cette étude sont des images d'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Les images de base sont fournies par les capteurs AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de la NOAA et Terre de MODIS. Ces images de basse résolution présentent l'intérêt de permettre d'analyser à un rythme temporel fin la dynamique saisonnière et interannuelle de la couverture végétale ou l'évolution des conditions climatiques et hydriques de développement de la végétation. Les images NOAA utilisées pour cette étude sont des images de 8 km de résolution spatiale et de 15 jours de résolution temporelle. Elles sont issues du programme GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies). La série s'étend, dans le cas présent, de 1982 à 2006, soit 600 images. Cette série est complétée par les images de MODIS sur la période de 2007 à 2009. Une étude détaillée est aussi faite à partir des images MODIS sur la série chronologique de 2000 à 2009 en conservant sa résolution d'origine. Les images de NDVI de MODIS (fournies par le site de MODIS) sont de résolution spatiale de 250 m et de résolution temporelle de 16 jours. Il est alors important, pour associer les deux séries (MODIS et NOAA), d'harmoniser leur résolution. Les images MODIS ont ainsi été ramenées à des résolutions de 8 km. Ces deux catégories d'images sont corrigées, notamment pour les effets atmosphériques, géométriques et radiométriques.

Les séries pluviométriques utilisées sont des séries mensuelles de 5 stations principales (Rabat-Salé, Khouribga, Kasba Tadla, Ifrane et Meknès) pour 1980–2009. Les données pluviométriques sont fournies par la Direction de la météorologie nationale (DMN).

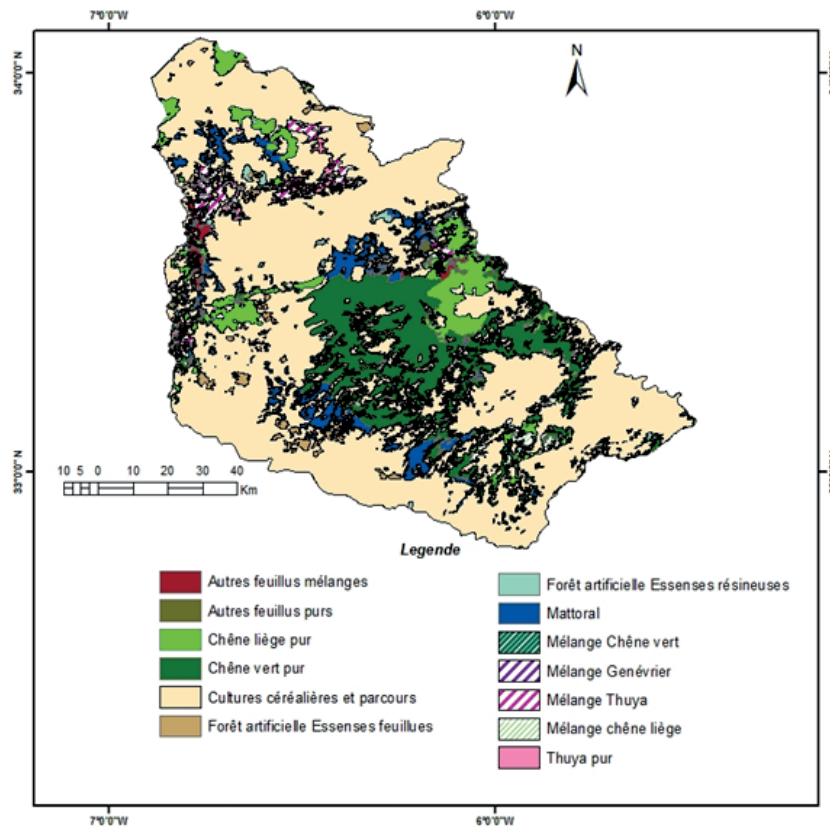


Fig. 1 Principaux types de végétation du bassin du Bouregreg. Source: CERGEO.

Approche méthodologique

Une analyse spatiotemporelle de la dynamique de la végétation a été réalisée à travers l'analyse statistique de l'indice de végétation NDVI pour 1982–2009. Les séries statistiques ont alors été étudiées par la méthode de régression simple avec les séries pluviométriques. Cependant l'analyse de chacune des deux catégories de données (NDVI et pluviométrie) obéit à une méthodologie particulière. Les indices de végétation sont, en effet, des outils permettant :

- l'analyse de la masse végétale verte couvrant un sol ;
- la description de l'état phénologique de la couverture végétale ;
- la prévision des récoltes ;
- l'inventaire des cultures par segmentation de l'indice ;
- l'évolution de la couverture végétale à l'échelle continentale (Caloz & Collet, 2001).

Dans le cas présent, il est question de l'analyse de la masse végétale de 1982–2009 ainsi que de l'état phénologique de cette végétation de 2000–2009. Pour ce faire, les images d'indice de végétation qui sont compilées pour cette série temporelle de façon mensuelle sont extraites sous forme de fichier texte et exportées dans un tableur Excel (Fig. 2). On obtient pour un mois donné un tableau avec 184 colonnes et 28 lignes représentant les valeurs de chaque pixel d'une image, à la même position chaque année. Ainsi, à chaque colonne est appliqué un test de tendance pour connaître la dynamique de la végétation dans cet espace de 8 km² de 1982–2009. Le test de tendance choisi est celui de Mann-Kendall (avec saisonnalité). Ce choix est motivé par la robustesse prouvée du test d'une part (Kundzewicz & Robson, 2004; Yue & Pilon, 2004; Chaouche *et al.*, 2010; Lopez & Leynet, 2011) et d'autre part parce qu'il est non-paramétrique. La détection de rupture dans les séries de chaque pixel se fait par l'intermédiaire du test non paramétrique de Pettitt sur la base du même critère de choix que celui de Kendall (Lubès-Niel *et al.*, 1998). Pour un mois donné, chaque résultat, pour chaque pixel, est marqué dans une table attributaire de la grille extraite de l'image NOAA.

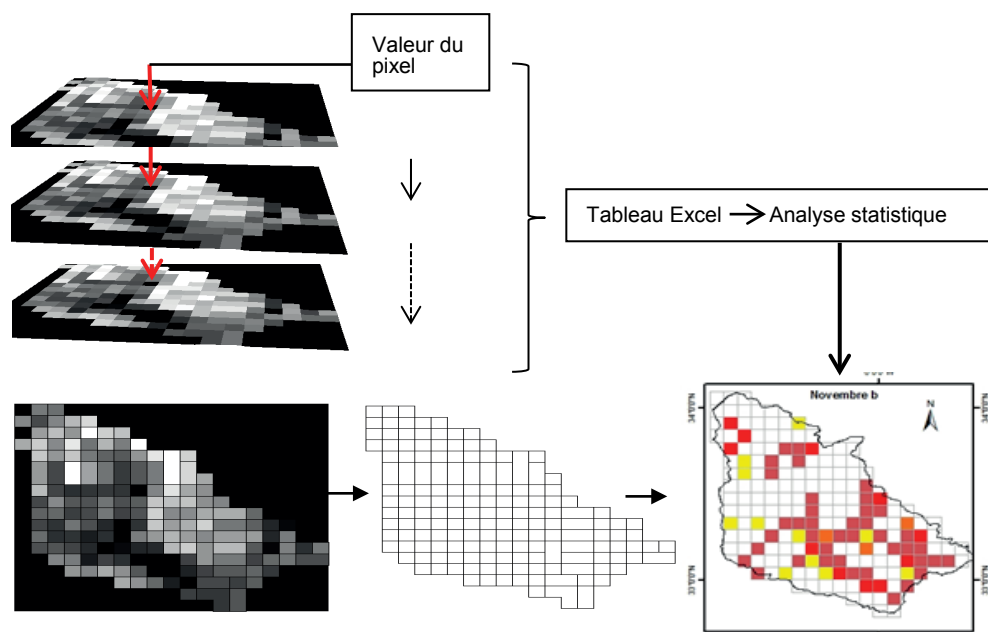


Fig. 2 Schéma récapitulatif de la méthode d'analyse des données NDVI de NOAA.

Les stations pluviométriques utilisées pour l'analyse sont situées pour la plupart dans des zones bioclimatiques assez différentes. C'est le cas de la station d'Ifrane avec une moyenne annuelle de plus de 800 mm contre moins de 300 mm pour la station de Khouribga. Ainsi, au niveau pluviométrique, le bassin est soumis à différentes influences, et pour l'analyse de la régression entre pluviométrie et végétation, ce bassin est divisé en espaces d'influence autour de chaque station pluviométrique par l'intermédiaire d'un diagramme de poids de Voronoï (Fig. 3) (Dong, 2008).

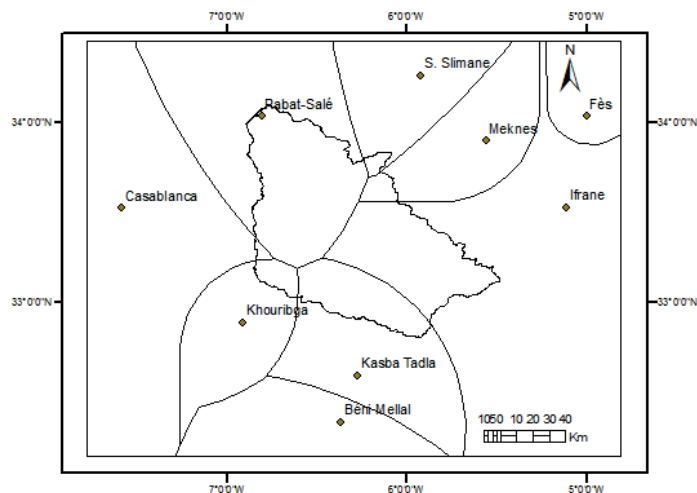


Fig. 3 Aire d'influence de chaque station pluviométrique principale.

RESULTATS

Dynamique spatiotemporelle de la végétation de 1982 à 2009

L'évolution de la masse végétale annuelle de 1982 à 2009 montre, de façon générale, une baisse globale de cette végétale, avec une pente négative de -75% . Le coefficient de variation moyen d'une année à l'autre est d'environ 10% . Le minimum de la série se situe en 1995 et le maximum en 2009. La variation interannuelle de la végétation est le reflet d'une variation intersaisonnière de la couverture végétale. Pour apprécier cette variation d'une saison à l'autre, l'année peut être

organisée en saison culturale, la plus arrosée (septembre à mai) et en saison “non culturale” (juin à août). Ainsi l’analyse de la dynamique générale de la végétation d’une saison culturale à l’autre fait apparaître une masse végétale qui stagne avec toutefois une pente positive (Fig. 4). Le test de tendance indique à 96.7% qu’il n’existe pas de tendance dans la série chronologique du NDVI. Le coefficient de variation moyen de la masse végétale de 1982 à 2009 de la saison humide est d’environ 11%. Les variations entre des saisons culturales successives peuvent être importantes. La saison culturale de plus faible masse végétale de la série est l’année 1994–1995. Celle-ci contraste avec l’année 1997–1998 (année de plus forte masse végétale de la série) dans un écart de 60.52%. Les périodes de transition entre deux saisons humides (de juin à août) présentent une dynamique temporelle très différente de celles des saisons humides de 1982 à 2009 (Fig. 4). La pente d’évolution temporelle de la masse végétale sur la période est, en effet, négative. Cette évolution de la végétation à la baisse est confirmée par le test de tendance de Mann-Kendall: il existe une tendance négative avec une confirmation de 99%. Le coefficient de variation inter-annuel moyen de la végétation reste toutefois sensiblement proche de celui de la saison humide. Il est de 9.70%. L’année de plus basse activité végétale est, à cet effet, l’année 2005. A l’opposé, le début de la série (1982) reste l’année de la plus forte activité végétale de la série, ce qui exprime une baisse importante dans le temps de la couverture végétale du bassin du Bouregreg en période estivale. Cette dynamique de la végétation est confirmée par des analyses au niveau des séries à l’échelle temporelle de 15 jours (Tableau 1). Effectivement, de la deuxième quinzaine de mai à la première quinzaine de juillet (avec un niveau de significativité alpha de 90%), la végétation connaît une tendance évolutive négative. Cette tendance qui commence en mai à l’aval du bassin, finit par gagner tout le bassin au mois de juillet, la zone des forêts de chêne en amont restant relativement épargnée (Fig. 5). Le calcul du test de d’homogénéité de Pettitt sur la série chronologique du NDVI des saisons de transition entre deux saisons humides, fait ressortir qu’il existe une rupture dans la série. A 99% selon le test, une rupture est intervenue en 1999 dans la série. La baisse de la masse végétale est évaluée à 13% entre les séries de 1982–1999 et 1999–2009.

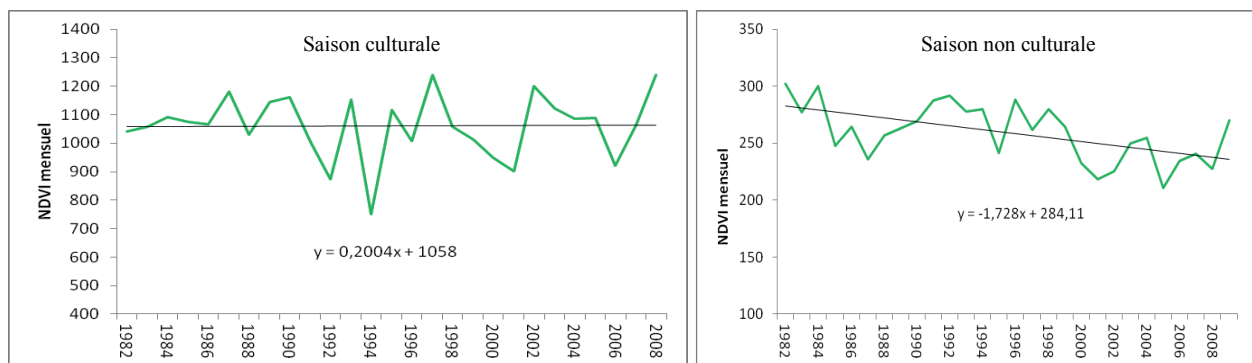


Fig. 4 Evolution interannuelle de la végétation du bassin du Bouregreg selon les saisons.

Analyse de la relation entre variabilité climatique et dynamique végétale du bassin

La répartition spatiale de la pluviométrie indique un gradient Nord-Sud et Est-Ouest. Le Nord-Ouest enregistre des quantités voisines de 500 mm contre environ 800 mm dans le Nord-Est du bassin. La partie Sud, moins pluvieuse, connaît une pluviométrie voisine de 300 mm. La dynamique temporelle de la pluviométrie de 1982 à 2009 permet de diviser l’espace du bassin en deux pôles:

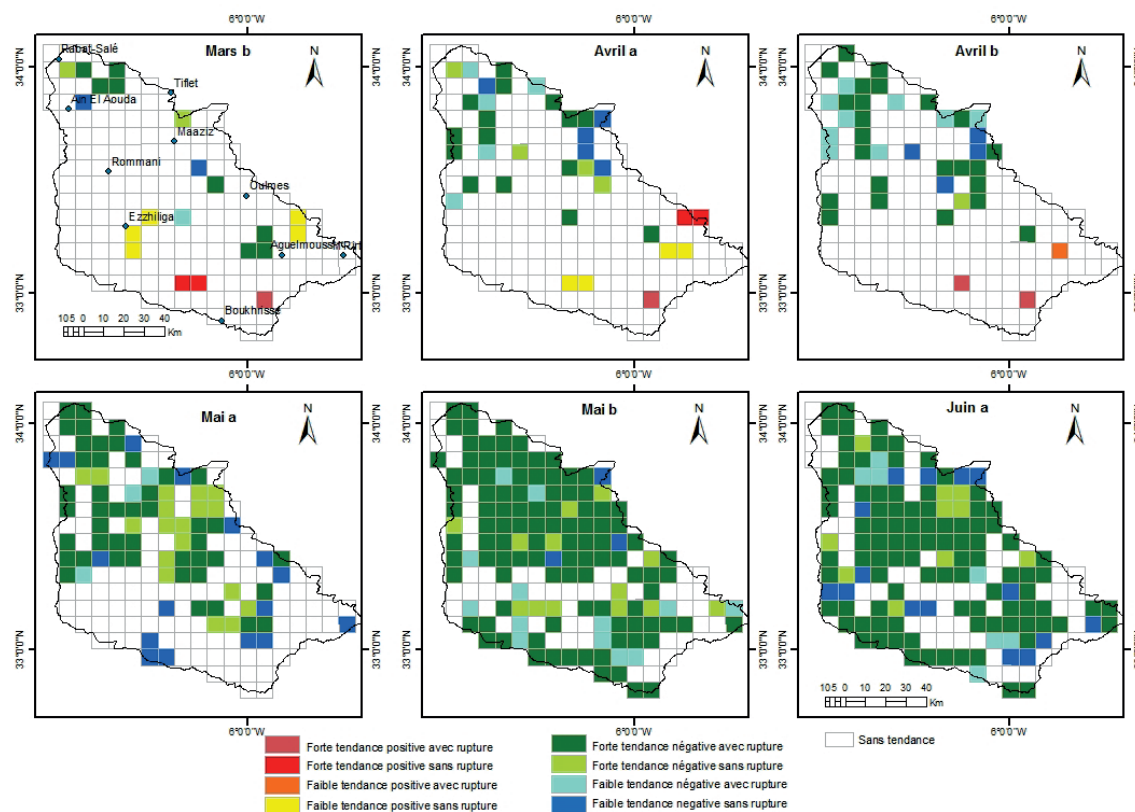
- Les espaces dont la pente d’évolution des quantités pluviométriques annuelles est positive. Ce sont les zones de Rabat, Khouribga et Kasba;
- Les espaces dont la pente d’évolution de la pluviométrie est négative. Il s’agit des espaces couverts par les stations de Meknès et d’Ifrane.

L’analyse de tendance par le test de Mann-Kendall fait ressortir que seule la station de Meknès confirme une baisse notable des quantités pluviométriques. Cependant, aucune station ne

Tableau 1 Statistiques récapitulatives de l'évolution temporelle du NDVI par quinzaine.

Stat	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév						
Moy.	0.207	0.202	0.205	0.208	0.244	0.274	0.312	0.348	0.387	0.416	0.446	
Min	0.147	0.112	0.103	0.151	0.14	0.185	0.211	0.231	0.213	0.236	0.228	
Max	0.27	0.257	0.321	0.319	0.344	0.382	0.446	0.513	0.531	0.569	0.59	
Coef.var	13.32	15	20.97	19.51	18.82	18.55	23.26	20.6	19.77	19.97	20.86	
Kendall τ	0.034	0.09	0.228	0.254	0.286	0.116	0.169	0.233	0.233	0.302	0.222	
S	13	34	86	96	108	44	64	88	88	114	84	
P-value	0.87	0.659	0.261	0.212	0.145	0.568	0.415	0.234	0.242	0.129	0.264	

Stat	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août						
Moy.	0.472	0.477	0.468	0.436	0.385	0.337	0.289	0.254	0.235	0.219	0.215	0.207
Min	0.229	0.2	0.19	0.251	0.262	0.235	0.203	0.196	0.187	0.184	0.149	0.171
Max	0.629	0.62	0.611	0.577	0.584	0.472	0.448	0.319	0.281	0.254	0.322	0.26
Coef.var.	20.45	19.59	20.57	19	22.81	18.99	16.74	12.85	10.57	8.73	14.96	11.09
Kendall τ	0.074	0.005	-0.09	-0.10	-0.25	-0.42	-0.42	-0.43	-0.34	-0.06	0.026	0.106
S	28	2	-32	-36	-94	-160	-160	-164	-130	-22	10	40
P-value	0.716	0.989	0.669	0.629	0.2	0.028	0.032	0.027	0.081	0.778	0.905	0.595

**Fig. 5** Evolution spatio-temporelle de la végétation de la deuxième quinzaine du mois de mars à la première quinzaine du mois de juin (NOAA 1982–2009).

connaît de rupture de série. Les coefficients de variation interannuelle de la pluviométrie restent assez importants et généralement supérieur à 60% (Tableau 2). L'analyse mensuelle de la dynamique de la pluviométrie indique que les mois de février à mai présentent des évolutions à la baisse des quantités pluviométriques contrairement aux mois de septembre-octobre et décembre. Les mois de la saison estivale ne connaissent pas de réel changement au niveau pluviométrique, ce qui contraste avec la dynamique observée au niveau de la végétation de 1982 à 2009. Pour confirmer cette hypothèse, on a effectué une régression linéaire de la végétation en fonction de la

pluviométrie. Un intervalle de deux semaines sépare les données pluviométriques de celle de la végétation comparée. Cet intervalle correspond au temps de réponse de la végétation. Ainsi, le Tableau 2 confirme que l'observation à la baisse de la végétation en période estivale n'est pas directement liée à la dynamique pluviométrique. Par contre, l'évolution de la végétation pendant les saisons humides de 1982 à 2009 est à un certain degré influencée par les quantités pluviométriques. Les coefficients de corrélation parfois important justifient les constats selon lesquels les productions agricoles sont très dépendantes des variations climatiques dans le bassin. Dans la moitié Ouest du bassin (Rabat), les variations pluviométriques sont responsables d'environ 20% de la dynamique végétale. Dans la moitié Est, cette proportion est plus importante.

Tableau 2 Récapitulatif de la régression linéaire entre la pluviométrie et la végétation de 1982 à 2009 pour les espaces d'influence climatique de Rabat et d'Ifrane au niveau du bassin.

	Régression	Février	Mars	Avril	Juin	Juillet	Novembre
Rabat	coef. corrélation	0.44	0.48	0.45	0.14	0.14	0.32
	coef. détermination	0.20	0.23	0.20	0.02	0.02	0.125
	Stat. Pluviométrie						
	Coef. var.	82	76	69	201	197	81
Ifrane	coef. corrélation	0.34	0.65	0.55	0.43	0.29	0.06
	coef. détermination	0.11	0.42	0.30	0.18	0.08	0.05
	Stat pluviométrie						
	Coef. var	71	69	73	117	108	69

DISCUSSION ET CONCLUSION

La dynamique spatio-temporelle de la masse végétale de 1982 à 2009 au niveau du bassin du Bouregreg présente un bassin en pleine mutation. En effet, les mois les plus humides de l'année (décembre à février) connaissent une hausse de l'activité végétale, même si cette hausse n'est pas statistiquement significative. Ce gain de végétation est lié à une concentration de l'activité agricole pendant cette période. Au contraire de ces mois, la période de mai à juillet connaît des tendances notables à la baisse de la masse végétale. Cette forte tendance à la baisse est marquée par une rupture en 1999. L'analyse de la régression linéaire entre cette dynamique végétale et l'évolution des quantités pluviométriques de 1982 à 2009, permet de comprendre que la pluviométrie n'est pas directement responsable de cette forte baisse de la végétation. Cependant, de façon indirecte, cette baisse est due aux effets cumulés de sécheresses récurrentes observées au niveau du Maroc depuis les années 1980. En effet, les recherches précédentes (Laouina, Aderghal) expliquent cette dynamique végétale par deux facteurs que sont l'urbanisation galopante de la bande côtière atlantique marocaine, et la pression pastorale qui s'accroît dans les espaces humides du Maroc suite aux sécheresses. Ce constat reste inquiétant d'autant plus que les zones humides connaissent à leur tour les baisses pluviométriques les plus importantes du royaume.

REFERENCES

- Aderghal, M., Laouina, A., Chaker, M. & Machouri, N. (2011) Evaluation des projets de lutte contre la dégradation des terres, la commune des Sehou, Maroc. Communication au séminaire *Politiques, programmes et projets de lutte contre la désertification, quelles évaluations?* CSFD, 29-30 juin 2011, Montpellier 01-22. http://www.csfd-desertification.org/pdf_csfd/seminaire-juin-2011/session-4/S4-Aderghal_et_al_CSFD_Juin2011.pdf. Accessed 5 February 2013.
- Akesbi, N. (2006) Evolution et perspectives de l'agriculture marocaine. *Rapport thématique, 50 ans de développement humain au Maroc et perspectives pour 2025 GT3*. <http://doc.abhatoo.net.ma/doc/IMG/pdf/GT3-3.pdf>. Accessed 5 February 2013.
- 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*. http://www.cndwebzine.hcp.ma/cnd_sii/IMG/pdf/connaissance_et_utilisation_des_ressources_en_sol_au_maroc.pdf. Accessed 5 February 2013.
- Berraho, A. (2006) Biodiversité et équilibre écologique *rapport thématique, 50 ans de développement humain au Maroc et perspectives pour 2025 GT8-4*. <http://www.svt.ac-aix-marseille.fr/eedd/coopint/bibliogr/biodiversitequilibreecologiques.pdf>. Accessed 5 February 2013.
- Caloz, R. & Collet, C. (2001) *Précis de télédétection vol. 3: traitement numérique d'image de télédétection* Presse Universitaire du Québec et AUPELF-UREF.

- Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E., Salas D. & Caballero Y. (2010) Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change *C.R. Geosciences* 342, 234–243.
- Dong, P. (2008) Generating and updating multiplicatively weighted Voronoi diagrams for point, line and polygon features in GIS. *Computers & Geosciences* 34, 411–421.
- Kundzewicz, Z. W. & Robson, A. J. (2004) Change detection in hydrological records – a review of the methodology. *Hydrol. Sci. J.* 49(1), 7–19.
- Laouina, A. (2003) Transformation agraire et option agro-environnementales au Maroc. In: *Local Resources and Global Trades: Environments and Agriculture in the Mediterranean Region*, 143–157, CIHEAM-IAHB. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a57/04001965.pdf>. Accessed 5 February 2013.
- Laouina, A., 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, 65–77.
- 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*. http://doc.abhatoo.net.ma/DOC/IMG/pdf/ecosystemes_agricoles_et_pastoraux-2.pdf. Accessed 5 February 2013.
- Lopez, B. & Leynet, A. (2011) Evaluation des tendances d'évolution des concentrations en polluants dans les eaux souterraines: revue des méthodes statistiques existantes et recommandations pour la mise en œuvre de la DCE. *Rapport BRGM/RP-59515-FR*. http://www.onema.fr/IMG/pdf/2011_032.pdf. Accessed 5 February 2013.
- Lubès-Niel, H., Masson, J.M., Paturel, J.E. & Servat, E. (1998) Variabilité climatique et statistique, Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. des Science de l'eau* 11(3), 383–408.
- Yue, S. & Pilon, P. (2004) A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection, *Hydrol. Sci. J.* 49(1), 21–37.