



## AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Le Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz –Fès – annonce que

Mr **HAKAM Oualid**

Soutiendra : le **Mercredi 14/06/2023 à 10H00**

Lieu : **Centre des Etudes Doctorales - USMBA – Amphi 2**

Une thèse intitulée :

**Modélisation climatique et indices de suivi et d'évaluation de la sécheresse agrométéorologique : cas du bassin Bas Sebou, Nord-Ouest du Maroc**

En vue d'obtenir le **Doctorat**

**FD : Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable**

**Spécialité : Géosciences et Ressources Naturelles**

Devant le jury composé comme suit :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr El FALEH El Mâti	Faculté des Sciences, Meknès	PES	Président
Pr DRIDRI Abdallah	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Rapporteur & Examineur
Pr TALEB Abdeslam	Faculté des Sciences et Techniques, Mohammedia	PES	Rapporteur & Examineur
Pr LABBASSI Kamal	Faculté des Sciences, El Jadida	PES	Rapporteur & Examineur
Pr AIT BRAHIM Yassine	Institut International de Recherche en Eau(IWRI), Université Mohammed VI Polytechnique - Benguerir	PES	Examineur
Pr ONGOMA Victor	Institut International de Recherche en Eau(IWRI), Université Mohammed VI Polytechnique - Benguerir	PES	Examineur
Pr LOUAYA Abdelkarim	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PESA	Invité
Pr BOUSHABA Abdellah	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Invité
Pr BAALI Abdennasser	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Directeur de thèse



## Résumé :

Le bassin Bas Sebou a la particularité de se situer au Nord du Maroc à la limite de l'influence d'Oscillation Nord-Atlantique (ONA) et sous l'influence océanique en présentant vers l'Est les effets du degré de continentalité. Il présente aussi des atouts pour jouer un rôle important dans la vie socio-économique est dominée par l'agriculture et aussi pour expliquer les impacts des changements climatiques vécus ces dernières décennies. La série chronologique des données climatiques dominée par les précipitations pendant l'hiver et le printemps en ayant tendances au cours des mois de décembre et mars déterminées par le test de Mann-Kendall. L'ONA et l'OM ont manifestement présenté leur influence modérée à forte sur les précipitations en mettant l'action sur l'ONA comme potentiel causant la variabilité des précipitations en utilisant la technique FOE. À partir des données climatiques (1984-2016) principalement celles des précipitations et températures et en tenant compte des limites et avantages de chaque indice de sécheresse, les quatre indices dont l'indice de précipitations standardisé (SPI) basé sur les précipitations uniquement, l'indice d'évapotranspiration des précipitations standardisé (SPEI), l'indice de reconnaissance de la sécheresse (RDI) et l'indice de gravité de la sécheresse de Palmer auto-calibré (sc-PDSI) inclua l'évapotranspiration potentielle (PET), il a été confirmé que le SPI est plus le adapté pour détecter la durée et l'intensité de la sécheresse, en particulier dans les régions à climat subhumide. Toutefois, le SPI sous-estime les changements de sécheresses en ne prenant pas en compte le paramètre de PET. Les quatre indices ont montré des tendances similaires sur la période étudiée, bien que le sc-PDSI ait tendance à surestimer les conditions de sécheresse en raison de sa sensibilité aux températures et précipitations. Enfin, l'utilisation des indices SPI et SPEI pour l'analyse des tendances saisonnières a montré des tendances significatives, avec une augmentation de la température indiquant un réchauffement accru en été et une diminution des précipitations en hiver. Ces tendances sont liées aux oscillation Nord-Atlantique et oscillation Méditerranéenne, qui sont fortement influencées par les systèmes cycloniques de l'Atlantique Nord-Est et qui favorisent la cyclogenèse méditerranéenne.

En utilisant les indices de télédétection et météorologiques afin d'évaluer la sécheresse agricole et la santé de la végétation d'une part et de chercher la relation entre le rendement des céréales et la sécheresse d'autre part, il a été montré que la santé des cultures depuis le début du 21ème siècle a diminué et que les rendements céréaliers ont présenté une forte réaction vis-à-vis de la variabilité interannuelle de la sécheresse. Les indices de sécheresse basés sur la température ont été plus corrélés et plus sensibles au rendement céréalier que les indices basés sur les précipitations, ce qui suggère que le rendement est plus sensible aux changements de température qu'à l'humidité. Pour prédire ces rendements, les modèles empiriques à l'échelle provinciale en utilisant des données multi-sources, y compris des indices basés sur la télédétection et des données météorologiques et les algorithmes d'apprentissage automatique tels la régression linéaire multiple, le réseau neuronal artificiel et la forêt aléatoire ont démontré que la combinaison de données issues de différentes sources a conduit à de meilleurs résultats comparativement aux modèles basés sur une seule source. En effet, les modèles exploitant les algorithmes de RF et d'ANN ont permis de prédire les rendements des céréales dès les mois d'hiver, avec des mesures statistiques satisfaisantes ( $0.7 < R^2 < 0.8$  et  $0.3 < RMSE < 0.5$  t. ha-1).

## Mots clés :

Changements climatiques ; Indices de sécheresse ; Indices climatiques ; Indices de télédétection ; Rendement céréalier ; Algorithmes d'apprentissage automatique ; Bassin Bas Sebou ; Maroc.



## CLIMATE MODELLING AND INDICES FOR MONITORING AND EVALUATING AGROMETEOROLOGICAL DROUGHT: THE CASE OF THE BAS SEBOU BASIN, NORTHWESTERN MOROCCO

### Abstract :

Lower Sebou Basin has the particularity of being located in the North of Morocco at the limit of the influence of the North Atlantic Oscillation (NAO) and under the oceanic influence, presenting towards the East the effects of the degree of continentality. It also has the potential to play an important role in the socio-economic life of the region, which is dominated by agriculture, and also to explain the impacts of climate change experienced in recent decades. The climate data time series dominated by precipitation during winter and spring with trends during December and March determined by the Mann-Kendall test. The NAO and OM clearly showed their moderate to strong influence on precipitation by putting the action on NAO as a potential cause of precipitation variability using the FOE technique. Based on climate data (1984-2016) mainly precipitation and temperature data and taking into account the limitations and advantages of each drought index, the four indices including the Standardized Precipitation Index (SPI) based on precipitation only, the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), The reconnaissance drought index (RDI) and the self-calibrated Palmer Drought Severity Index (sc-PDSI) including potential evapotranspiration (PET), it was confirmed that the SPI is more suitable for detecting the duration and intensity of drought, especially in sub-humid climate regions. However, the SPI underestimates drought changes by not taking the PET parameter into account. All four indices showed similar trends over the study period, although the sc-PDSI tends to overestimate drought conditions due to its sensitivity to temperature and precipitation. Finally, the use of the SPI and SPEI indices for seasonal trend analysis showed significant trends, with an increase in temperature indicating increased warming in summer and a decrease in precipitation in winter. These trends are linked to the North Atlantic Oscillation and the Mediterranean Oscillation, which are strongly influenced by cyclonic systems in the North East Atlantic and which favour Mediterranean cyclogenesis.

Using remote sensing and meteorological indices to assess agricultural drought and vegetation health on the one hand, and to investigate the relationship between cereal yield and drought on the other, it was shown that crop health since the beginning of the 21st century has declined and that cereal yields have shown a strong response to inter-annual drought variability. Temperature-based drought indices were more correlated and sensitive to cereal yields than precipitation-based indices, suggesting that yields are more sensitive to changes in temperature than to moisture. To predict these yields, province-wide empirical models using multi-source data, including indices based on remote sensing and meteorological data, and machine learning algorithms such as multiple linear regression, artificial neural network, and random forest, showed that combining data from different sources led to better results compared to models based on a single source. Indeed, the models exploiting the RF and ANN algorithms were able to predict grain yields as early as the winter months, with satisfactory statistical measures ( $0.7 < R^2 < 0.8$  and  $0.3 < RMSE < 0.5$  t. ha<sup>-1</sup>).

### Key Words :

Climate change; Drought indices; Climatic indices; Remote sensing indices; Cereal yields; Machine learning algorithms; Lower Sebou Basin; Morocco.