

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/333951187>

ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA PERTINENCE D'UN INDICE DE SECHERESSE EN RELATION AVEC LE RISQUE INCENDIES EN TUNISIE

Conference Paper · July 2017

CITATION

1

READS

380

3 authors, including:



Chiraz Belhadj Khedher
Université de la Manouba

13 PUBLICATIONS 234 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Florent Mouillot
Research Institute for Development

155 PUBLICATIONS 7,061 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

ANALYSE SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA PERTINENCE D'UN INDICE DE SECHERESSE EN RELATION AVEC LE RISQUE INCENDIES EN TUNISIE

BELHAJ KHEDHER Chiraz ⁽¹⁾, EL MELKI Taoufik. ⁽²⁾ MOUILLOT Florent ⁽³⁾

*(1) U.R. Géomatique et Géosystèmes, Université de La Manouba (Tunisie), FSHST-IRD Tunisie
[chiraz_belhadj@yahoo.fr]*

(2) U.R. Géomatique et Géosystèmes, Université de La Manouba (Tunisie), [lmlkitfik@gmail.com]

*(3) CEFE, UMR 5175, CNRS-Université de Montpellier-Université Paul-Valéry Montpellier-EPHE-IRD
[florent.mouillot@ird.fr]*

Résumé : *L'objectif de ce papier est de tester la pertinence de l'utilisation d'un indice de sécheresse (Drought Index : DI) basé sur le bilan hydrique journalier des écosystèmes forestiers pour estimer le risque d'incendie en Tunisie. Celle-ci se caractérise par un gradient climatique latitudinal très contrasté ; allant du méditerranéen humide au nord, au saharien au sud. Pour réaliser cet objectif, la base de données nationale de référence des incendies de forêts fournie par la DGF a été corrigée en premier lieu. Des sous-estimations des surfaces brûlées allant jusqu'à 70% ont été observées pour certains incendies. Ensuite, les surfaces incendiées BA (Burned Areas) ont été corrélées au pas de temps mensuel avec l'indice de sécheresse « DI » pour chaque gouvernorat. L'indice s'est révélé performant quant à la description de la saisonnalité des surfaces incendiées sur l'ensemble du couvert forestier de Tunisie. La relation BA/DI s'est cependant avérée différente pour chaque gouvernorat, et corrélée à la surface forestière pour indice générique valable sur le gradient climatique Tunisien.*

Mots-clés : *incendies, Tunisie, indice de sécheresse, modélisation.*

Abstract : *Spatial and temporal analysis for the relevance of a drought index for fire risk assessment in Tunisia. We tested the relevance of using a generic drought index based on the daily water balance of ecosystems to estimate the seasonal fire risk in Tunisia, offering a contrasting climatic gradient from the Mediterranean sub-humid to the semi-arid. We initially corrected the reference fire database provided by the Tunisian forest services and in which we have identified an underestimation up to 70% of burned surfaces. We then correlated the monthly burned areas (BA) with the drought index for each governorate. We have shown the relevance of this index to describe the seasonality of burned areas on the entire climate gradient in Tunisia, and identified the local forest cover as an indicator of the slope of the relationship between BA and DI as a generic fire risk index for the Tunisian climate gradient.*

Key words: *fire, Tunisia, Drought indices, modelling.*

Introduction

La Tunisie se localise à la marge sud de l'aire bioclimatique tempérée, et se caractérise par un gradient bioclimatique latitudinal très contrasté allant de l'étage méditerranéen humide à l'étage saharien au sud. Son climat présente une saison sèche centrée sur le trimestre estival, de plus en plus sévère et longue vers le sud du pays. Dans ce contexte climatique, les incendies de forêts affectent de manière récurrente les ressources forestières du pays. Les incendies de forêts sont contrôlés par l'état hydrique de la végétation, par les conditions météorologiques au moment de l'incendie, par le volume disponible du combustible (biomasse), par la continuité du couvert végétal et par des facteurs anthropiques variés. Nous proposons dans cette étude une analyse régionale du risque incendie en Tunisie à partir d'une nouvelle base de données spatialement explicite et corrigée, et de tester la variabilité de la relation sécheresse/incendie dans cette zone de transition à partir d'un indice fonctionnel empirique de sécheresse.

1. Matériel et Méthode

1.1. Base de données incendies et climatiques

La Direction Générale des Forêts de Tunisie effectue un recensement systématique des incendies sur tout le territoire du pays depuis 1985. Chaque événement est caractérisé par sa localisation (gouvernorat, délégation, secteur et lieu-dit), sa superficie en hectares, des

indications concernant la cause effective/probable de son déclenchement, et sa date/heure. La première tâche effectuée a été de géolocaliser les incendies sur une carte topographique et de vérifier et corriger les surfaces référencées à partir d'une analyse des images landsat.

Les informations de précipitation et température journalières sont issues de l'Institut National de la Météorologie (INM) de Tunis.

1.2 Méthodologie

Parmi les indices de sécheresse existants dans la littérature (Dai, 2010), l'indice journalier de Linacre (1973) a été retenu parce qu'il est basé sur l'évapotranspiration potentielle ET_0 , la précipitation ainsi que sur la réserve utile AWC du sol pour prendre en compte les dimensions climatiques et édaphiques de la sécheresse.

L'évapotranspiration potentielle ET_0 est obtenue selon la formule de Priestley-Taylor (package 'Sirad', intégré dans R cran, avec la constante de Priestley Taylor = 0.26) à partir des valeurs du rayonnement net R_n , et de la température moyenne du jour. Le rayonnement net est calculé à partir de la constante solaire $C_s=1369m^{-2}$ à l'aide des packages Rcran 'Solar' et 'Insol' selon la chaîne de processus proposée par Kumar et al. (1997), puis de l'interception par l'atmosphère calculé à partir des T_{min} et T_{max} selon la formule de Hargreaves (Allen et al., 1998). Le rayonnement net Rn est finalement estimé pour un albédo choisi à 0.2.

Le modèle de bilan hydrique journalier de Linacre (1973) estime l'évapotranspiration réelle du jour i (ETR_i) d'un sol selon l'équation (1) :

$$ETR_i = \min[AET_{max} * (W_{i-1}/AWC)^2, ET_{0i}] \text{ (eq 1)}$$

avec $\min[A,B]$ représentant la valeur minimum entre A et B, AET_{max} : transpiration maximum fixée à 5 mm (cf mesures de transpiration sur forêt de chêne liège en Tunisie Chakroun et al. 2014); W_i =teneur en du sol (en mm) au jour i ; AWC: teneur en eau disponible du sol (en mm); ET_{0i} : évapotranspiration potentielle du jour i . La teneur en eau du sol au jour i (W_i) est ensuite calculée selon l'équation 2 (Boulant et al. 2008):

$$W_i = \min [FC, W_{i-1} + P_i - ETR_i] \text{ (eq 2)}$$

avec FC la teneur en eau du sol à capacité au champs (en mm), W_i : la teneur en eau du sol au jour i , P_i la précipitation au jour i (en mm), et ETR_i l'évapotranspiration réelle au jour i .

La teneur en eau disponible du sol AWC pour la Tunisie a été choisie à 400 mm pour les terrains fertiles du Nord de la Tunisie (Ben Hassine et al. 2003, Zribi et al. 2015) et 200 mm pour les zones de la dorsale plus rocailleuses et FC à 800mm et 400mm respectivement.

Afin de tester la relation « sécheresse-risques d'incendies » en Tunisie, la saisonnalité mensuelle de l'indice de sécheresse $DI_i=1-W_i/AWC$ (=0 lorsque W_i est à la capacité au champs FC, et =1 lorsque W_i est au point de flétrissement) a été corrélée avec la saisonnalité des surfaces incendiées (après correction) issues de la base de données DGF, et ceci pour chaque gouvernorat. De même, la corrélation linéaire entre les surfaces totales incendiées annuelles par gouvernorat et la somme annuelle des intensités journalières de la sécheresse D_i comme indicateur de risque a été testée. L'ensemble des analyses a été effectué par analyse des corrélations linéaires avec le logiciel libre R cran, fonction 'lm'.

2. Résultats

2.1 Surfaces incendiées par gouvernorat en Tunisie : 1985-2010

La figure 1A représente la première carte des surfaces incendiées corrigées et géoréférencés pour la Tunisie à partir des informations DGF, et représente la distribution du risque incendie

sur le pays. La figure 1B représente plus en détail la variabilité interannuelle des surfaces incendiées en Tunisie au cours de la période 1985-2010. La surface incendiée moyenne est de 1480 ha/an et 804 ha/an pour toute la Tunisie sur les périodes 1985-2000 et 2000-2010 à partir de la base de données DGF. Après corrections, nous obtenons 1788 ha/an pour la période 1985-2000 et 1330 ha/an pour la période 2000-2010, soit une augmentation de 20% et 70% par rapport aux données officielles. Les gouvernorats les plus affectés sont Jendouba (JE), El Kef (KF), Zaghouan (ZA) et Siliana (SI). La variabilité interannuelle est importante avec une superficie maximale en 1995 de 6800ha, l'année 2000 avec 4500ha obtenue après corrections et largement sous estimée par la DGF.

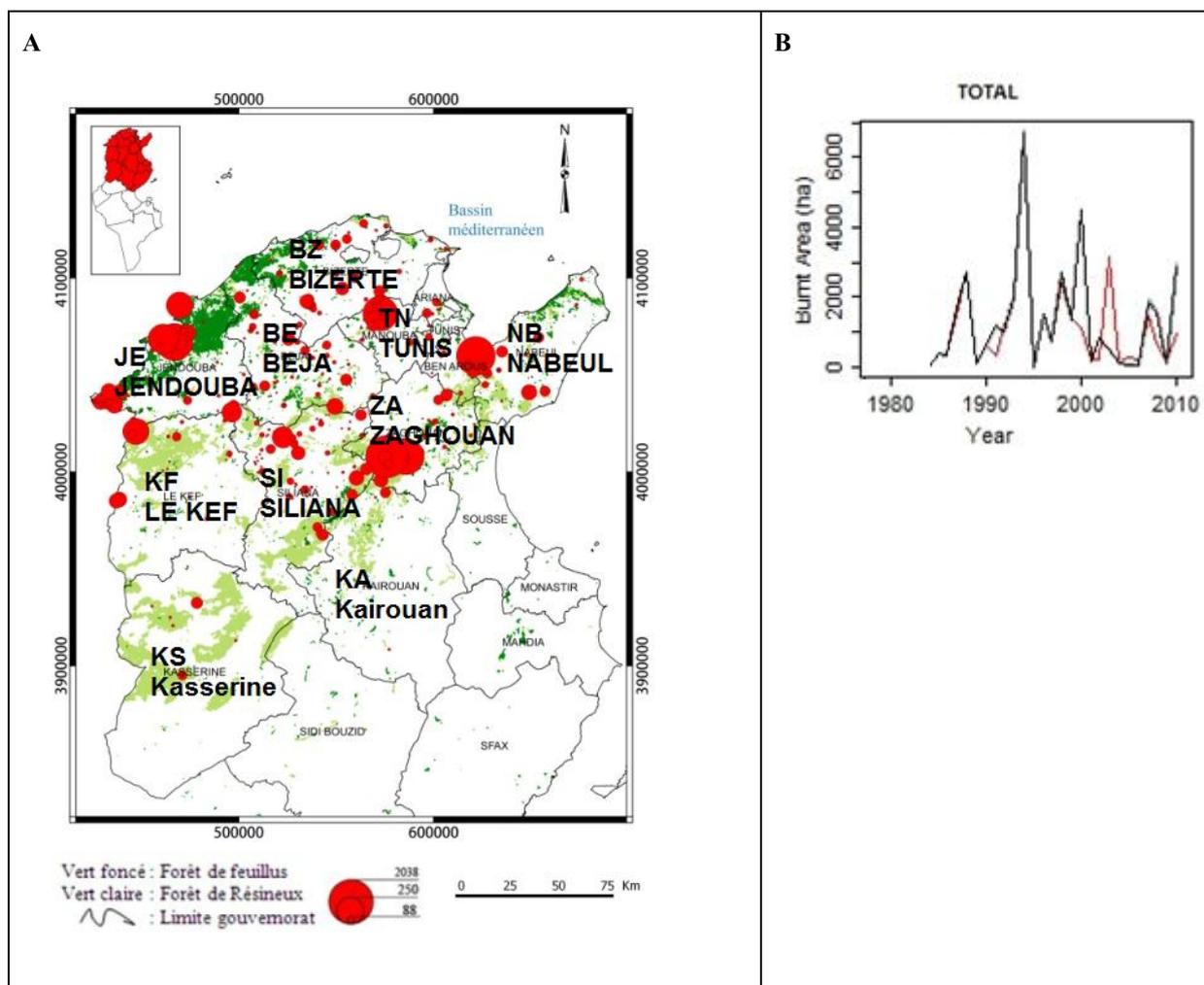


Figure 1: A) carte de la distribution nationale des incendies en Tunisie pour la période 1985-2010. Chaque cercle rouge représente un incendie >10ha dont la taille est proportionnelle à sa surface. B) Surfaces incendiées annuelles (en ha) sur l'ensemble de la Tunisie (Total). Source: Base de données DGF (ligne rouge). Surfaces corrigées par analyses d'images landsat (ligne noire)

2.2 Saisonnalité de la sécheresse et des incendies

La figure 2 représente la distribution saisonnière des surfaces incendiées pour chaque gouvernorat ainsi que la variabilité journalière de l'intensité de la sécheresse estimée par l'indice DI. Les surfaces incendiées sont plus importantes pendant les mois de sécheresse pour les jours pendant lesquels $DI > 0.4$, un seuil identique pour tous les gouvernorats. Pour les gouvernorats situés plus au sud (Siliana SI, Kasserine KS, Kairouan KA, Nabeul NB, Zaghouan ZA), la sécheresse démarre en moyenne entre les jours n° : 90 et 120 de l'année (1 Avril-1er Mai) et prend fin au jour n° 260 (20 sept) soit une durée totale de 4 à 5,5 mois. Plus

au nord (gouvernorats de Jendouba JE, Beja BE, Le Kef KF et Bizerte BZ) la sécheresse démarre vers le jour n° 120-180 (1er Mai-1 Juillet) et prend fin au jour n°250 (10 sept), soit une durée totale de 2 à 4 mois. Nous remarquons que la saison des incendies est incluse dans la période de sécheresse supérieure à $DI=0.4$ (ligne horizontales grises figure 2), avec une période des feux plus réduite (juillet aout) dans les gouvernorats du nord par rapport aux gouvernorats du sud (juin-septembre).

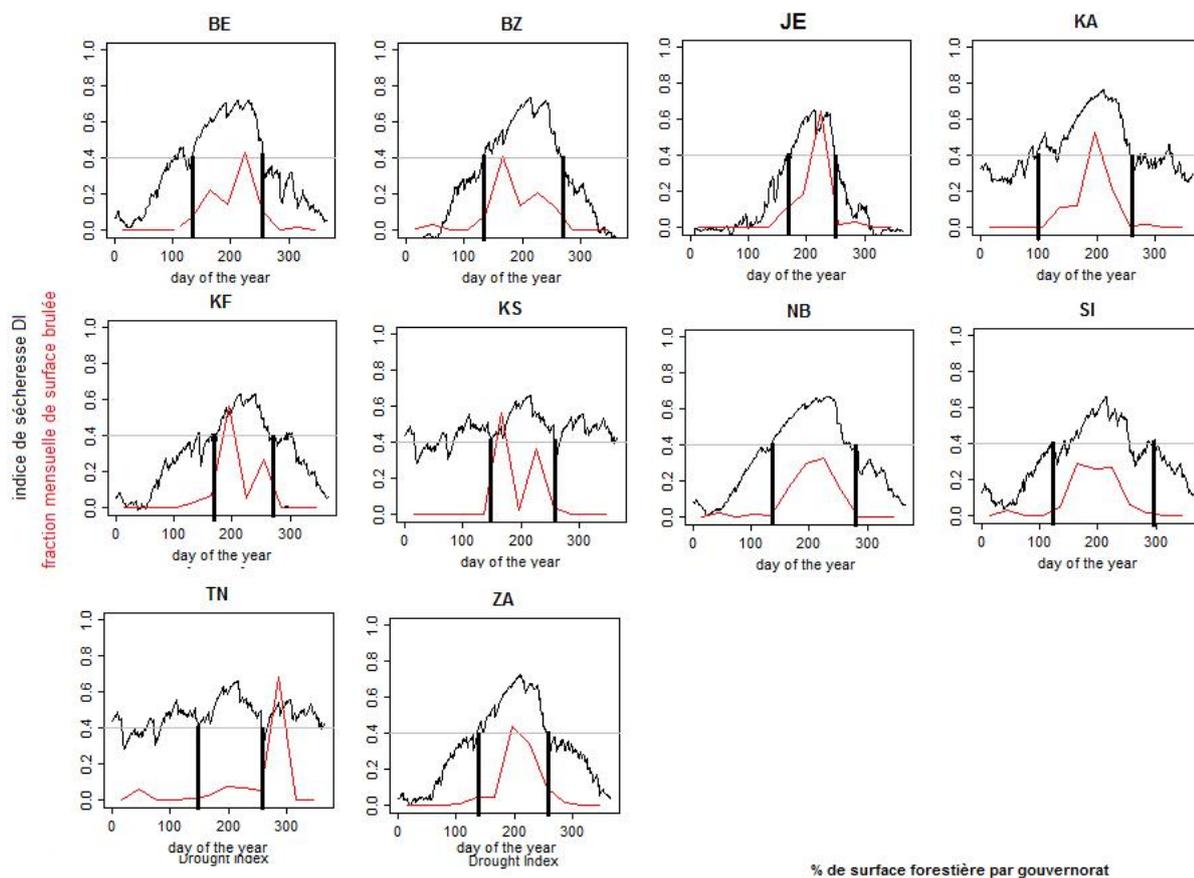


Figure 2: Variabilité saisonnière de l'indice de sécheresse (DI, ligne noire) et des surfaces incendiées (fraction mensuelle de la surface incendiée totale de l'année, ligne rouge) pour chacun des gouvernorats calculée sur la moyenne saisonnière de la période 1985-2010. La ligne horizontale grise représente le seuil de $DI=0.4$ et les lignes noires verticales représentent les bornes de la périodes pour lesquelles $DI>0.4$.

2.3 Relation sécheresse/incendie sur le gradient climatique

La figure 3 représente, pour chaque gouvernorat, la corrélation linéaire entre l'indice de sécheresse DI mensuel et les pourcentages mensuels de surface forestière incendiée. Nous observons que pour tous les gouvernorats, aucune surface incendiée n'est enregistrée lorsque $DI<0.4$. Une fois ce seuil dépassé, nous observons pour les $DI>0.4$, une corrélation significative (p -value <0.1 pour JE, TN, KF, KS et BZ, p -value <0.05 pour BE, SI KA, NB et ZA) entre DI et la fraction de surface forestière incendiée mensuelle pour tous les gouvernorats. Cependant, nous observons que la pente des régressions entre DI et le pourcentage de surface forestière incendiée n'est pas constante entre gouvernorats. Les pentes les plus importantes sont enregistrées pour JE, BE et ZA. Nous obtenons une corrélation linéaire significative ($p<0.05$, $R^2=0.63$) entre les pentes de la corrélation surface incendiée/DI pour chaque gouvernorat obtenues en figure 2, et les pourcentages du gouvernorat occupé par de la forêt ou maquis. En conclusion, plus un gouvernorat est occupé par de la forêt ($P_{\text{forêt}}$

grand), plus la fraction de surface forestière incendiée pour un même indice sécheresse est importante. Nous obtenons un modèle générique pour le risque mensuel de surface incendiée en Tunisie (équation 3)

$$BA(ha) = S_{foret} * (0.034 + 10^{(0.07 * P_{foret})}) * (DI - 0.3) \text{ quand } DI > 0.4 \text{ (Eq 3)}$$

$$BA(ha) = 0 \text{ quand } DI < 0.4$$

avec DI: indice de sécheresse de Linacre [0-1]; P_{foret} : Pourcentage d'occupation du sol par la forêt [0-100]; S_{foret} : Surface forestière (en ha); BA: surface incendiée (en ha)

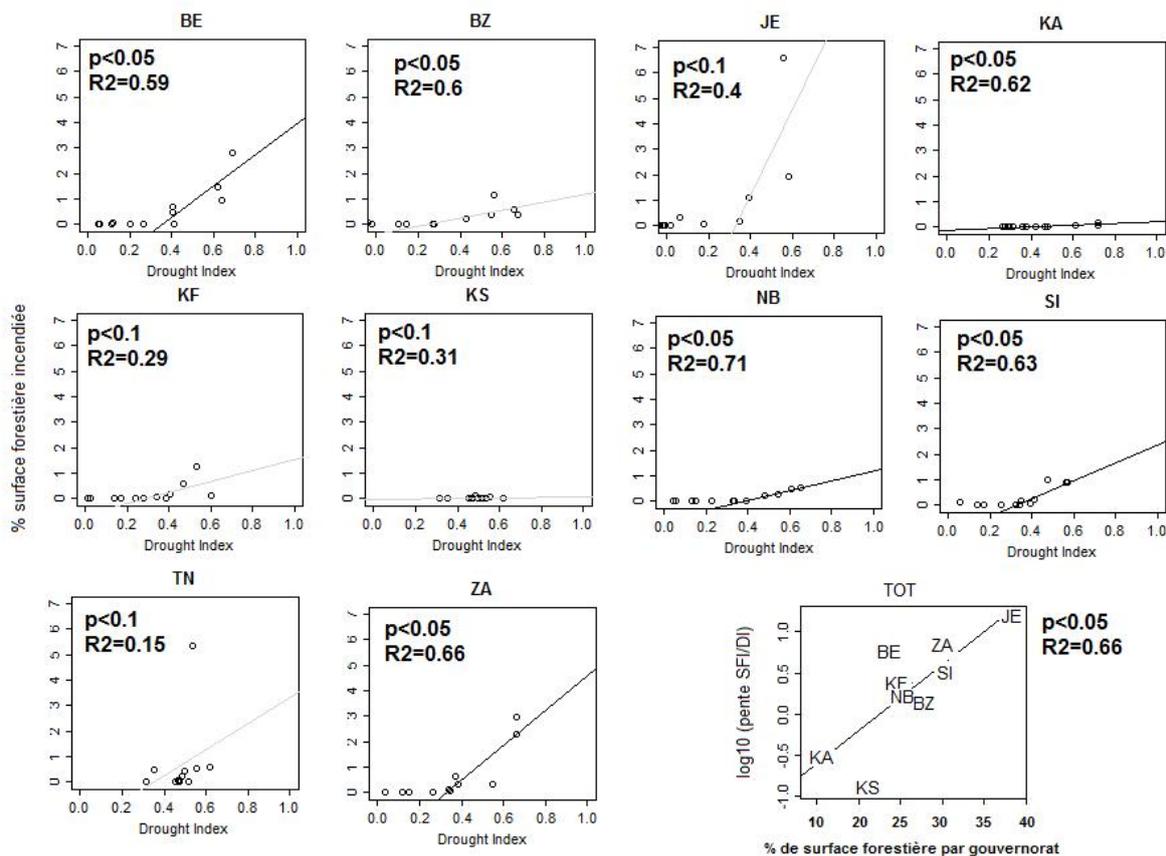


Figure 3: Corrélations entre l'indice de sécheresse mensuel (drought index DI) et le pourcentage de surface forestière incendiée (%) mensuelle pour chaque gouvernorat de Tunisie. Les droites de corrélation grises représentent les corrélations ayant un p-value < 0.1 et noires une p-value < 0.05 pour les valeurs de DI > 0.4. La corrélation entre les pentes des régressions pour chaque gouvernorat et le pourcentage de surface forestière dans chaque gouvernorat est aussi représentée. JE: Jendouba, TN: Tunis, KF: el Kef, KS: Kasserine, BE: Beja, BZ: Bizerte, SI: Siliana, KA: Kairouan, NB: Nabeul, ZA: Zaghouan.

3. Discussion

Notre analyse régionale des surfaces incendiées en Tunisie utilise une base de données corrigée et réévaluée sur la base d'informations historiques d'images landsat. Nous avons montré une sous estimation de 70% des surfaces incendiées enregistrées par les services nationaux depuis 2000, notamment lors du référencement des grands incendies. Les informations brutes de la DGF ont généralement été utilisées pour les analyses nationales du risque incendie en Tunisie (Sebei 2015 ; Abdelmoula, 2013 ; Chriha et Sghari, 2013), et nous suggérons l'utilisation de notre mise à jour pour les futures analyses. Le référencement erroné des surfaces incendiées est un phénomène courant (Pereira et al., 2011 ; Short, 2015 ; Husson, 1985) dû aux investigations rapides sur le terrain ou à une volonté politique de minimiser la

divulgarisation des dommages (Kasischke et al. 1999). Les apports de la télédétection haute résolution (en accès libre) et les méthodes semi automatiques de traitement du signal (Koutsias et al. 2013) permettent maintenant une analyse efficace des surfaces incendiées, ainsi que leur localisation précise.

A partir de cette base de données corrigée, nos résultats ont montré que la saisonnalité de la sécheresse calculée par notre indice DI était un bon indicateur de la période d'incendies pour chaque gouvernorat, avec l'avantage de prendre en compte les informations climatiques et édaphiques contrastées de la Tunisie. Les gouvernorats les plus au sud observent une sécheresse précoce et une saison des incendies précoce, tandis que les gouvernorats du nord observent une période de sécheresse courte et une saison des feux proportionnellement plus courte. Cependant, nous avons aussi montré une modification de la relation sécheresse/surface incendiée en fonction du pourcentage de couvert forestier. Le gradient de sécheresse seul ne peut donc pas être utilisé comme indicateur régional du risque incendie en Tunisie. Le pourcentage de surface forestière est apparu comme un bon indicateur correctif, où les surfaces forestières plus importantes peuvent générer une continuité du couvert plus importante facilitant la propagation des incendies. Pour une estimation du risque journalier, les variables de température, humidité de l'air et de vitesse du vent devront être considérées. Nous pouvons donc recommander notre indice climato-édaphique simple de sécheresse pour une estimation de la variabilité saisonnière et interannuelle des surfaces incendiées en Tunisie pour une première approche. La sécheresse est le principale facteur de contrôle du risque incendie en Méditerranée, et nous obtenons des coefficients de corrélation (R^2 entre 0.3 et 0.7) similaires à ceux obtenus en Europe Méditerranéenne et USA (Urbieta et al. 2015). La disponibilité de la biomasse combustible sur ce gradient climatique sont aussi à explorer plus avant, ainsi que les aspects humains, les différents systèmes forestiers de la Tunisie n'ayant pas la même importance économique de service écosystémique, de mise en réserve, ni de tensions sociales pouvant conduire à des mises à feu plus ou moins importantes.

Bibliographie

- Abdelmoula K., 2013. Etude de la régénération du chêne liège après incendie en Tunisie. *Journées d'étude sur la réhabilitation des subéraies incendiées et reboisements*. 16-17 Janvier 2013. Tlemcen (Algerie).
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration —guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization*. Rome.
- Boulant N., Kunstler G., Rambal S., Lepart J. 2008. Seed supply, drought and grazing determine spatio temporal patterns of recruitment for native and introduced invasive pines in grasslands. *Diversity and distribution*, **14**, p 862-874.
- Chakroun H., Mouillot F., Nasr Z., Nouri M., Ennajah A., Ourcival J.M. 2014. Performance of LAI-MODIS and the influence on drought simulation in a Mediterranean forest. *Ecohydrology*, 7(3), p. 1014-1028.
- Chriha S., Sghari J., 2013. Les incendies de forêt en Tunisie. Séquelles irréversibles de la révolution de 2011. *Méditerranée* 2/2013, **121**, 87-93 p.
- Dai A., 2010. Drought under global warming, a review. *Wiley interdisciplinary reviews. Climate change*.
- Husson A., 1985. Télédétection des incendies de forêt en Corse entre 1973 et 1980. *Méditerranée*, **54**(1), p.53-59
- Kasischke E S., Bergen K., Fennimore R., Sotelo F., Stephens G., Janteos A., Shugart H.H., 1999. Satellite imagery gives clear picture of Russia's Boreal forest fires. *EOS Eath Space Science News* **80** (13), p.141-147.
- Koutsias N., Pleniou M., Mallinis G., Nioti F., Sifakis N.I., 2013. A rule based semi automatic method to map burned areas : exploring the USGS historical landsat archives to reconstruct recent fire history. *Int. J. Remote Sensing*, **34** (20), p. 7049-7068.
- Kumar L., Skidmore A.K., Knowles E., (1997) Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *International Journal of Geographical Information Science*, **11**(5), p. 475-497.

- Linacre E.T., 1973. A simpler empirical expression for actual evapotranspiration rates – a discussion. *Agricultural Meteorology*, **11**, p. 451-452.
- Pereira M.G., Malamud B.D., Trigo R.M., Alves P.I., 2011. The history and characteristics of the 1980-2005 Portuguese rural fire database. *Natural hazards and earth system sciences*. **11**(12), p. 3343-3358.
- Sebei S., 2015. Le degré météorologique du risque incendie de forêt (DMRIF) : méthode d'évaluation du risque d'incendie en Tunisie. *Actes du XXVIIIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Liège (Belgique), 1-4 juillet 2015, p. 212-217.
- Urbietta IR, Zavala G., Bedia J., Gutierrez J.M., San Miguel Ayanz J., Camia A., Keeley J.E., Moreno JM. 2015. Fire activity as a function of fire weather seasonal severity and antecedent climate across spatial scales in southern Europe and Pacific western USA. *Environmental Research Letters* 10(11): 114013/
- Zribi L., Mouillot F., Gharbi F., Ourcival J.M., Hanchi B., 2015. Warm and fertile sub humid conditions enhance litterfall to sustain high soil respiration fluxes in a Mediterranean Cork Oak Forest. *Forests* **6**(9), p. 2918-2940.