



EXPLICATION DU COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE DU BASSIN DE LA MACTA PAR LA RÉOLUTION DU PARAMÈTRE D'UN MODÈLE HYDROLOGIQUE BASÉ SUR L'EXPRESSION DE SCHREIBER

EXPLAINING THE HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF THE MACTA BASIN BY SOLVING THE PARAMETER OF A HYDROLOGICAL MODEL BASED ON SCHREIBER'S EXPRESSION

BAAHMED D.¹, OUDIN L.²

⁽¹⁾ Université Djillali Liabès, Labratoire de Génie Civil et Environnement de
Sidi Bel Abbés.

⁽²⁾ UPMC Univ Paris 06, UMR 7619 Sisyphe, Case 105, 4 place Jussieu, F-
75005 Paris, France.

baahmed78@yahoo.fr

RESUME

Ce travail a pour but de simuler les débits des sous-bassins étudiés de la Macta en utilisant une version modifiée du modèle hydrologique pluriannuel de Schreiber afin de déterminer l'évolution de l'indice climatique en fonction de l'indice d'aridité. L'optimisation du paramètre du modèle nous permettra de déterminer dans quelle mesure le climat explique les tendances sur les chroniques de débits annuels. En effet, l'évolution de l'indice d'aridité en fonction de l'indice climatique dans la 1^{er} et la 2^{ème} sous période des séries de débits démontre le rôle du comportement climat sur le comportement hydrologique, ainsi l'influence des autres facteurs. Une modélisation hydrologique pluriannuelle à l'aide de la formule de Schreiber montre sur la période entre 1975 et 2005 une variation du paramètre de la formule de Schreiber et la définition de sa valeur optimale sera en fonction de l'Erreur Quadratique Moyenne (RMSE) qui va être utilisé dans la modélisation hydrologique des bassins.

Mots-clés : Balance hydrologique, modèle hydrologique, Schreiber, RMSE, indice d'aridité, indice d'écoulement.

ABSTRACT

This work is also intended to simulate the flows of the studied Macta sub-basins by using a modified version of Schreiber's multi-year hydrological model to determine the evolution of the climate index as a function of the aridity index. Optimizing the parameter of the model will allow us to determine the extent to which the climate explains the trends in annual flow chronicles. Indeed, the evolution of the aridity index as a function of the climatic index in the 1st and the 2nd sub-period of flow series demonstrates the role of climate behavior on hydrological behavior and the influence of other factors. A multi-year hydrological modeling using Schreiber's formula shows a variation of the parameter of the Schreiber formula between 1975 and 2005 and the definition of its optimal value will depend on the mean squared error (RMSE). which will be used in hydrological modeling of basins.

Keywords: Water balance, Hydrological model, Schreiber, RMSE, Aridity index, Flow index.

INTRODUCTION

Les modèles hydrologiques sont parmi les outils qui tentent de répondre aux questions qui se posent quant au comportement hydrologique. Certains modèles ont fait preuve d'une robustesse dans les domaines de la prévision de crues jusqu'à l'évaluation des ressources en eaux (Perrin et al., 2007)

La simulation du débit à l'exutoire d'un bassin versant est indispensable pour de nombreuses applications d'ingénierie et de gestion de la ressource en eau, telles que le dimensionnement et la gestion d'ouvrages, la prévision des crues ou des étiages, la détection d'impacts à travers les modèles hydrologiques ayant pour but de représenter la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant (Mouelhi, 2003).

Ce travail évoque la modélisation pluie-débit aux pas de temps pluriannuel par un modèles conceptuel Génie Rural à un paramètre GR1A développé par (Kabouya, 1990; Mouelhi, 2003; Perrin et al., 2007), au départ ce modèle est dérivé des modèles se basant sur la formule (Turc, 1953) mais pour des raison de complexité mathématique nous avons utilisé la formule de Schreiber (1903)

(Baahmed et al., 2015; Oudin, 2004) la modélisation se fera au pas de temps interannuel

Nous allons présenter la variation du paramètre de la formule de Schreiber et la définition de sa valeur optimale en fonction du RMSE qui va être utilisé dans la modélisation hydrologique de nos bassins.

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE ET DONNEES UTILISEES

Présentation de a zone d'étude

Le bassin versant de la Macta est le plus grand bassin du nord-ouest Algérien. Il couvre une superficie de 14389 km² (Figure n°1), formé de deux principaux affluents "Mekerra" à l'ouest et "Hammam" à l'est. L'altitude est distincte avec une plaine jusqu'à littorale au nord et montagneuses dans la partie atteignant une altitude de 1455 m. Le bassin versant présente des contextes climatiques variés, le nord du bassin versant étant un climat méditerranéen tandis que la partie sud présente des caractéristiques climatiques arides. Les précipitations annuelles moyennes pour la période 1930-2002 vont de 230 mm dans la partie sud à 550 mm dans la partie nord du bassin versant (Laborde, 1995).

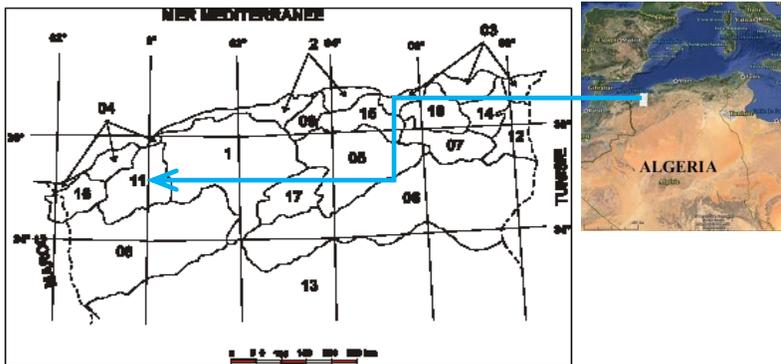


Figure 1 : Le bassin versant de la Macta

Compte tenu de cette variabilité spatiale dans le climat de la région, plusieurs sous-bassins ont été utilisés pour analyser la sensibilité relative des eaux de ruissellement aux paramètres climatiques. Le tableau 1 présente les principales caractéristiques hydroclimatiques des bassins versants étudiés, qui décrivent relativement bien les divers contextes climatiques du bassin de Macta.

Les données utilisées

Les données de débit ont été utilisées aux pas de temps annuels et pluriannuels, à partir de la base de données journalière disponible. Après avoir délimité les bassins versants de ces stations hydrométriques, on a estimé les quantités moyennes de précipitations annuelles à l'échelle des bassins versants à partir du réseau pluviométrique mensuel qui consistait en 68 pluviomètres situés à l'intérieur ou à proximité des sous-bassins considérés. Les données pluviométriques manquantes sur chaque station ont été estimées en utilisant les données des stations environnantes, et la technique du polygone de Thiessen (Thiessen, 1911) a été suivie pour obtenir des estimations spatiales de la pluviométrie pour chacun des ensembles de 1975 à 2005.

Les données sur la température de l'air à l'échelle du bassin ont été tirées des ensembles de données interpolées (Willmott and Robeson, 1995) produites par l'Université du Delaware (Willmott and Matsuura, 2005). Une vérification de la température de l'air observée pour la station de Ghriss, et la forte corrélation entre les données d'observation et de réanalyse suggère que cet ensemble de données quadrillé à long terme représente avec précision les changements de température de la région. Comme les modèles de bilan hydrique utilisaient préférentiellement les estimations de l'évapotranspiration potentielle, une simple équation mensuelle basée sur la température a été utilisée dans cette (Oudin et al., 2005, 2010)

METHODE

Modèle du bilan hydrologique

Considérant le bassin comme un système fermé, le bilan hydrologique pourrait s'exprimer ainsi :

$$P - ET - Q - DS = 0 \quad (1)$$

Ou P : précipitation, ET : l'évapotranspiration, Q : débit et DS la variation de stockage d'eau du bassin versant. Étant donné que pour un grand pas de temps, la variation de stockage de l'eau de drainage devient négligeable, est généralement exprimée comme suit :

$$ET = P - Q \quad (2)$$

Et sa forme adimensionnelle est :

$$\frac{ET}{P} = 1 - \frac{Q}{P} \quad (3)$$

Les modèles dits bilan visent à proposer une formulation du terme de gauche de l'équation **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**; ils s'appuient généralement sur l'évapotranspiration potentielle (ETP) et les estimations prennent la forme suivante :

$$\frac{ET}{P} = f\left(\frac{PE}{P}\right) \quad (4)$$

Ou bien en considérant l'équation 3 pour être valide :

$$\frac{\hat{Q}}{P} = 1 - f\left(\frac{PE}{P}\right) \quad (5)$$

Un grand nombre de modèles de bilan existe, l'équation Budyko (1974) étant le plus couramment utilisé parmi eux. Bien que simples, ces modèles sont largement utilisés pour étudier la sensibilité de l'écoulement à la variabilité climatique (Dooge et al., 1999; Arora, 2002 ; Gardner, 2009). Lorsque le modèle est appliqué sur de grands échantillons de bassins versants, les études rapportent généralement peu de différences significatives en termes d'efficacité dans l'estimation de l'écoulement annuel moyen (voir e.g. Arora, 2002; Mouelhi et al., 2006), en particulier lorsqu'un paramètre libre est ajouté dans les formulations originales (Oudin et al., 2008).

Dans ce chapitre, nous avons choisi de concentrer notre analyse sur la simple équation Schreiber (1904), Qui peut être exprimée de façon adimensionnelle comme suit :

$$\frac{\hat{Q}}{P} = \exp\left(-\theta \frac{PE}{P}\right) \quad (6)$$

Ou $\frac{\hat{Q}}{P}$ le coefficient d'écoulement calculé au pas de temps de 3 ans, $\frac{PE}{P}$ est l'indice d'aridité de 3 ans, i.e. le rapport de l'évapotranspiration potentielle (PE) sur la précipitation de 3 années consécutives.

Ces deux rapports sont calculés sur des périodes de 3 ans et θ est un paramètre libre qui est obtenu par régression sur chaque bassin versant. θ est un paramètre nécessaire pour obtenir des simulations de $\frac{\hat{Q}}{P}$, la formule originale de Schreiber ($\theta=1$) donne de grands écarts pour certains bassins.

La modélisation de la réponse des bassins versants arides est une difficulté bien connue en hydrologie et nous avons rencontré quelques problèmes classiques

sur les sous-bassins de la Macta lors de l'application du modèle Schreiber. Les rôles importants des crues extrêmes qui peuvent influencer largement les variations annuelles de débit, le fait que l'aquifère est probablement assez profond, ce qui signifie certainement que l'initialisation du modèle nécessite une période de temps assez longue et enfin, les incertitudes relativement importantes des données pour certaines périodes (en particulier pendant les troubles politiques au cours des années 1990). Par conséquent, le choix du modèle (et son pas de temps) était une question épineuse et nous avons finalement décidé d'utiliser un modèle à grand pas de temps pour faire face en partie avec le grand effet mémoire de l'aquifère profond. Cela semble un compromis raisonnable, mais ce choix exclut la possibilité de représenter les épisodes extrêmes (crues et étiages).

Pour cela nous avons mis en place les bornes de l'intervalle du paramètre dans la formule de Schreiber qui correspond à l'intervalle RMSE dans lequel nous pourrions avoir la valeur θ optimisé correspondant aux valeurs RMSE minimales obtenues. Le choix de cette formule dans notre modèle conceptuel est la facilité de sa linéarisation. En outre dans sa thèse, Mouelhi (2003) a obtenu des critères de performance relativement meilleurs par rapport à d'autres formules.

Les résultats de validation du modèle par le θ optimal dans l'expression de Schreiber dans les deux parties de la chronique sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Résultats du calage/validation sur les deux parties des séries de débit.

Code Bassin	Calage avant 1990				Calage après 1990			
	θ opt	RMSE opt	RMSE val	Δ RMSE (val-opt)	θ opt	RMSE opt	RMSE val	Δ RMSE (val-opt)
0506	1,8	8,58	8,58	0	1,8	1,16	1,16	0
1003	1,7	3,37	6,75	3,38	1,4	4,47	5,53	1,06
1127	1	34,69	34,69	0	1	46,23	46,23	0
1201	1,3	12,76	18,17	5,41	1	8,05	12,33	4,28
1220	1	18,21	18,21	0	1	31,04	31,04	0
1302	1,1	5,69	5,69	0	1,1	5,86	5,86	0
1403	1,5	4,23	8,63	4,4	2	0,54	2,41	1,87
1412	1,2	22,01	25,27	3,26	1,4	5,15	11,01	5,86
1425	1	24,43	24,43	0	1	23,92	23,92	0

θ optimisée : est le paramètre optimisé ; RMSE : est l'erreur moyenne quadratique en divisant les séries de débit en deux parties avant et après 1990.

Calage et validation du modèle à base de l'expression de Schreiber

La première étape consiste à caler le modèle sur la première partie des séries de débit et valider sur la deuxième partie ; la seconde étape est l'inverse. Les résultats dans le tableau 1 nous montrent que le paramètre varie autour de 1 et en moyenne les deux paramètres calés dans les deux étapes sont proches avec un écart pour le paramètre θ validé. Pour RMSE, en moyenne il n'y a pas un grand écart, dans certains cas l'efficacité du modèle est moins observée surtout lors du calibrage sur la première étape à l'ouest du bassin.

Sachant que l'expression originale de Schreiber a pour paramètre θ égal à 1, dans notre travail, nous avons constaté que le paramètre varie autour de 1 par contre les valeurs de RMSE obtenue dans le cas de certains bassins sont loin d'être représentables.

Nous avons pris la valeur de θ (paramètre du modèle) optimisée à travers le modèle calé dans la première période ensuite elle sera utilisée dans le calcul des débits simulés dans la deuxième période.

Dans le tableau nous allons suivre l'évolution des indices d'aridité calculés à partir des débits observés et des débits simulés entre la première période et la deuxième période par le principe de Budyko (Budyko and Miller, 1974).

L'évolution des indices d'écoulement Q/P en fonction des indices d'aridité ETP/P dans les bassins entre les deux périodes prises en compte (1975-1990 ; 1990-2000); avec les bornes de l'enveloppe des indices d'aridité observés,

Tableau 2 : Emplacement des indices d'écoulement en fonction des indices d'aridité, 'IC' : intervalle de confiance, '+' appartient à IC, '-' : en dehors de IC.

Bassin	Antérieur			Postérieur		
	Dessous I.C.	Dans I.C.	Dessus I.C.	Dessous I.C.	Dans I.C.	Dessus I.C.
0506	-	+	-	+	-	-
1003	-	+	-	-	+	-
1127	-	+	-	-	+	-
1201	-	+	-	-	+	-
1220	-	+	-	+	-	-
1302	-	+	-	-	+	-
1403	-	+	-	+	-	-
1412	-	+	-	+	-	-
1425	-	+	-	-	+	-
Somme	0	9	0	4	5	0

Nous constatons que dans la deuxième période, 5 sous bassins restent dans IC et les autres sont au-dessous, ce qui veut dire que sur cet ensemble il y a une évolution vers la baisse qui n'est pas expliquée par la variabilité climatique.

Pour en savoir plus, nous avons analysé la différence entre les indices d'écoulement antérieurs et postérieurs observés en fonction de la différence entre les indices d'écoulement antérieurs et postérieurs (cf. Figure 2-a), les résultats indiquent que la plus part des bassins ont leur écart de l'indice d'écoulement observé supérieur à l'écart de l'indice d'écoulement simulé, les autres indiquent l'inverse : plus les points s'approchant de la bissectrice plus le comportement climatique est dominant.

Afin d'avoir plus de précision, nous utilisons le rapport $\frac{Q/P|_{Post}-Q/P|_{Ant}}{Q/P|_{Ant}}$ observé en fonction de $\frac{Q/P|_{Post}-Q/P|_{Ant}}{Q/P|_{Ant}}$ simulé nous obtiendrons les résultats ci-après (cf. Figure 2-b), les bassins proches de la bissectrice implique que le comportement hydrologique évolue uniquement par celui du climat.

La plus part sont nettement supérieurs à la bissectrice qui signifie une forte évolution à la baisse des débits et les autres montrent une faible évolution à la baisse des débits.

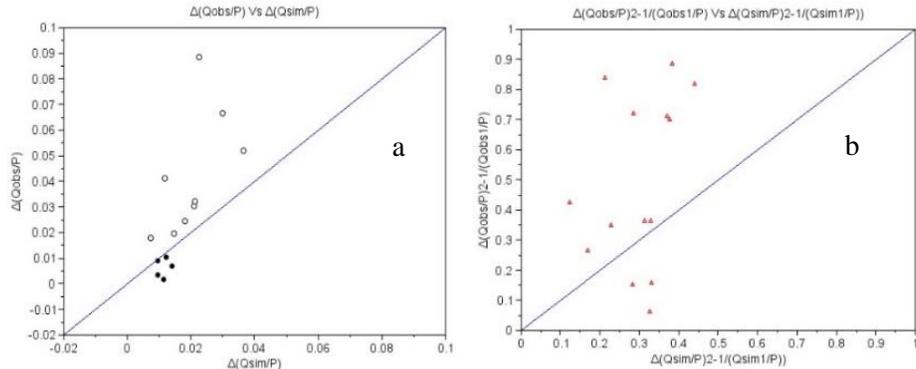


Figure 2 : a) Quantification du rôle du climat dans la baisse du débits. // l'écart de l'indice d'écoulement observé en fonction de l'écart de l'indice d'écoulement simulé. $\Delta(Q/P)$ observé en fonction $\Delta(Q/P)$ simulé. "○" : sous bassins au-dessus de la bissectrice, "●" : sous bassins au-dessous de la bissectrice. b) Proportionnalité de l'origine de l'évolution du comportement hydrologique des sous bassins versants. " Δ " $\frac{Q/P|_{Post}-Q/P|_{Ant}}{Q/P|_{Ant}}$ observé en fonction $\frac{Q/P|_{Post}-Q/P|_{Ant}}{Q/P|_{Ant}}$ observés.

DISCUSSION.

Malgré le rôle important du climat sur la variabilité du débit, beaucoup d'autres causes d'origine anthropique peuvent influencer les chroniques de débit. L'effet du changement climatique sur les écoulements annuels moyens peut être l'objet d'une recherche à travers l'utilisation des modèles de bilan hydrologique empirique tels que les modèles de Budyko et de Schreiber (Marchandise, 2007).

Nous avons évalué la pertinence de ce modèle pour simuler les variations des débits observés dans les bassins versants situés en Algérie. , actuellement une baisse importante dans les écoulements annuels moyens au cours des trois dernières décennies, Puisque la demande évaporatoire a augmenté ces trois dernières décennies. Les variations climatiques annuelles ne suffisent pas à expliquer la baisse des débits observés puisque généralement le débit observé est inférieure au débit simulé par le modèle de bilan hydrologique, donc d'autres causes de cette baisse peuvent être étudiées.

L'activité anthropique influence probablement la baisse de débit observé par l'utilisation de l'eau qui a probablement augmenté considérablement au cours des trois dernières décennies, et du moment qu'aucune donnée quantitative sur le prélèvement d'eau est disponible, cela ne permet pas d'appréhender cette question.

Le changement des régimes saisonniers du climat, notamment les pluies d'hiver, pourraient aussi avoir influencé la baisse des débits. Cela ne peut être évalué par les modèles du bilan hydrologique classique avec un pas de temps de 3 ans ; par conséquent, les autres modèles doivent être utilisés à un pas de temps plus fin, mais la qualité des données hydrométriques au pas de temps plus fins rend l'application de ces modèles difficile. Le raffinement des modèles basés sur le bilan hydrologique qui tiennent compte des autres entrées comme la saisonnalité des pluies (Potter et Zhang, 2009) peuvent également être utilisé pour régler ce problème de manière plus raisonnable.

CONCLUSION

Un grand nombre de modèles de bilan existe, l'équation de Schreiber (1904) étant la plus couramment utilisée parmi eux (Mouelhi, 2003). Bien que simples, ces modèles sont largement utilisés pour étudier la sensibilité de l'écoulement à la variabilité climatique (Dooge et al., 1999; Arora, 2002 ; Gardner, 2009). Lorsque le modèle est appliqué sur de grands échantillons de bassins versants,

les études rapportent généralement peu de différences significatives en termes d'efficacité dans l'estimation de l'écoulement annuel moyen (voir e.g. Arora, 2002; Mouelhi et al., 2006), en particulier lorsqu'un paramètre libre est ajouté dans les formulations originales (Oudin et al., 2008).

L'indices de climat et d'écoulement sont calculés sur des périodes de 3 ans dont θ est un paramètre libre qui est obtenu par régression sur chaque bassin versant, la formule originale de Schreiber ($\theta = 1$) donne de grands écarts pour certains bassins.

La modélisation de la réponse hydrologique des bassins arides est une difficulté connue en hydrologie, nous avons rencontré quelques problèmes classiques sur les sous-bassins de la Macta lors de l'application du modèle Schreiber cela est dû aux rôles importants des crues extrêmes qui peuvent influencer largement les variations annuelles de débit,

Le choix du modèle dérivé du génie rural GR, à base de la formule de Schreiber (1904) au pas de temps interannuel qui égal à 3, ans a permis d'éclaircir la réponse hydrologique du bassin de la Macta qui est fortement influencée par le climat imposé dans la région durant ces dernières années, selon le principe de Budyko (1974) l'activité anthropique peut être mise en question, pour ce faire une étude hydrogéologique de la région pourra nous aider un mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin de la Macta.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAAHMED, D., OUDIN, L., and ERRIH, M. (2015). Current runoff variations in the Macta catchment (Algeria): is climate the sole factor? *Hydrological Sciences Journal* Vol.60, Issue 7-8, pp.1331–1339.
- BUDYKO, M.I., and MILLER, D.H. (1974). *Climate and life*, 508 pp (Academic press New York), San Diego, California, USA.
- KABOUYA, M. (1990). Modélisation pluie-débit aux pas de temps mensuel et annuel en Algérie septentrionale. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud Orsay, France, 347 p.
- LABORDE, J.P. (1995). Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du nord. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 8, pp.37 - 46.
- MARCHANDISE, A. (2007). Modélisation hydrologique distribuée sur le Gardon d'Anduze; étude comparative de différents modèles pluie-débit, extrapolation de la normale à l'extrême et tests d'hypothèses sur les processus hydrologiques, Montpellier : MSc Thesis, Université Montpellier II, France.

- MOUELHI, S. (2003). Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de Doctorat, Univ. Paris VI, ENGREF, France, 323 p.
- LOUDIN, L. (2004). Recherche d'un modèle d'évaporation potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Mémoire de thèse CEMAGREF/ENGREF, France, 495 p.
- LOUDIN, L., HERVIEU, F., MICHEL, C., PERRIN, C., ANDREASSIAN, V., ANCTIL, F., and LOUMAGNE, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, Vol 303, Issue 1-4, pp.290–306 .
- LOUDIN, L., KAY, A., ANDRÉASSIAN, V., and PERRIN, C. (2010). Are seemingly physically similar catchments truly hydrologically similar? *Water Resources Research*, Vol.46, Issue 11, W11558, doi: 10.1029 / 2009WR008887.
- PERRIN, C., MICHEL, C., and ANDRÉASSIAN, V. (2007). Modèles hydrologiques du génie rural (GR), Rapport, Edition CEMAGREF France.
- THIESSEN, A.H. (1911). Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, Vol. 39, Issue 7, pp.1082–1089.
- TURC, L. (1953). Le bilan d'eau des sols : Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement, Institut National de la Recherche Agronomique 1955, p. 252.
- WILLMOTT, C.J., and MATSUURA, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance, *Climate Research*, Vol.30, Issue 1, pp.79-82.
- WILLMOTT, C.J., and ROBESON, S.M. (1995). Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature, *International Journal of Climatology* Vol. 15, Issue 2, pp.221–229.