

ÉTUDE DES VARIATIONS CLIMATIQUES AU SUD DU MAROC ET DES DÉBITS DE PROJET, CAS DU "BASSIN D'OUED OUM LAACHAR"

Abdelali SEBBAR¹, Youssef DARARI¹, Mostafa BADILOU¹

¹*Direction de la Météorologie Nationale (DMN), BP 8106-Casa Oasis; Bd Mohamed Taïb Naciri Hay Hassani, Casablanca. Maroc. sebbar202@gmail.com*

Résumé : Lors des trois dernières décennies, les inondations qui ont touché l'Afrique du Nord, ont été marquées par des intensités et des extensions très remarquées. Dans ce cadre, nous nous proposons, d'étudier la variabilité climatique de la région sud du Maroc et de prédéterminer les débits maximums dans le bassin d'oued Oum Laachar à la ville de Guelmim, qui a vécu des inondations catastrophiques en 2014. Ainsi, d'une part, nous allons identifier les différentes configurations climatiques de la zone étudiée sur la période 1980-2014 et d'autre part, une analyse quantitative et tendancielle des régimes pluviométrique et thermique, sera effectuée. Enfin, pour prédéterminer les débits de projet du bassin d'oued Oum Laachar, nous allons appliquer la méthode rationnelle.

Mots clés : Sud Maroc ; climat ; débit ; inondation.

Abstract: Study of climatic variations in southern Morocco and flow associated with the project, case of the "Oum Laachar river basin". During the last three decades, the floods that have affected North Africa have been marked by intensities and very noticeable extensions. In this context, we propose to study the climatic variability of the southern region of Morocco and to predetermine the maximum flows in the Oum Laachar river basin in the city of Guelmim, which experienced catastrophic floods in 2014. Thus, on the one hand, we will identify the different climatic configurations of the area studied over the period 1980-2014 and on the other hand, a quantitative and trend analysis of the rainfall and thermal regimes will be carried out. Finally, to predetermine the maximum flows of the Oum Laachar river basin, we will apply the rational method.

Key words: South Morocco; climate; discharge; flood

Introduction

Les études portant sur la caractérisation du climat sont nécessaires pour évaluer les contraintes liées aux différents types de climats au regard des disponibilités en eau et de ses conséquences sur l'agriculture et le développement en général (Sebbar et al., 2012). Dans ce cadre, on se propose de caractériser dans la première partie de cette étude le climat de la partie méridionale du Maroc sur la période 1980-2014 à travers l'étude des paramètres précipitations et température, facteurs principaux qui influencent le climat. On étudie également la variabilité annuelle des précipitations et on essaye aussi de déceler des tendances au niveau des stations étudiées. En deuxième partie, on aborde un cas pratique avec la ville de Guelmim qui a subi les conséquences d'un événement météorologique extrême, les inondations du mois de Novembre 2014. L'étude consistera en la prédétermination des débits de projets dans le Bassin de l'Oued Oum El Achar grâce à la méthode rationnelle

1. Zone d'étude et base de données

1.1. Zone d'étude

On s'intéresse dans cette étude à la partie sud du Maroc située, entre les parallèles 20° et 31° nord et limitée par les reliefs de l'Atlas au nord, l'océan Atlantique à l'ouest, la Mauritanie au sud et l'Algérie à l'est. Cette région se caractérise par un régime pluviométrique très variable, qui décroît du nord au

sud, (300 à 15 mm) (Sebbar et *al.*, 2011). La moyenne annuelle de la température varie entre 17 °C le long des côtes et 25 °C ailleurs. Toutefois il convient de signaler que les températures maximales quotidiennes dépassent les 40 °C. L'altitude varie environ de 0 à 4000 m (figure 1).

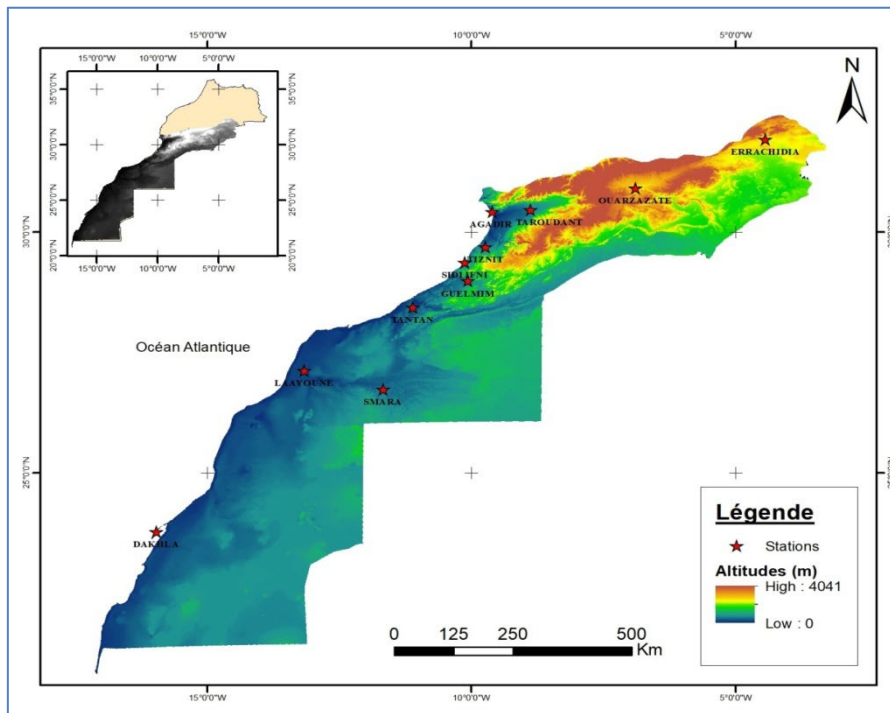


figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.2. Base de données

Les données utilisées (tableau 1) dans notre étude proviennent de la Direction de Météorologie Nationale, elles se composent des cumuls pluviométriques journaliers et des températures maximales et minimales journalières de 11 stations météorologiques représentées sur la figure 1. Le pourcentage des données manquantes varie entre 0 et 0,6 %. Elles ont été comblées par la méthode de (Laborde et Mahaous, 1998). L'homogénéité des séries a été vérifiée à l'aide de logiciel Anclim (Stépànek, 2005) par l'approche relative à la méthode d'Alexandersson.

Tableau 1: Caractéristiques des stations étudiées (Cv : coefficient de variation)

Station	Latitude	Longitude	Altitude	Période	Moyenne annuelle Des pluies en (mm)	Cv (%)
LAAYOUNE	27°10' N	13°13' O	63,0 m	1976 - 2014	56.0	59.9
SIDI IFNI	29°22' N	10°11' O	50,0 m	1975 - 2014	149.4	50.0
DAKHLA	23°43' N	15°56' O	12,0 m	1980 - 2014	28.6	94.2
ERRACHIDIA	31°56' N	04°24' O	1037,2 m	1973 - 2014	126.3	47.5
AGADIR INZEGANE	30°23' N	09°34' O	18,0 m	1960 - 2014	260.3	52.9
TAROUDANT	30°30' N	08°49' O	264,0 m	1992 - 2014	247.9	56.2
OUARZAZATE	30°56' N	06°54' O	1136,0 m	1960 - 2014	121.3	45.4
TIZNIT	29°41' N	09°44' O	260,0 m	1989 - 2014	167.9	56.0
GUELMIM	29°01' N	10°03' O	300,0 m	1992 - 2014	125.6	57.9
TANTAN	28°26' N	11°09' O	199,0 m	1975 - 2014	107.0	49.8
SMARA	26°44' N	11°41' O	110,0 m	2004 - 2014	40.9	63.7

2. Le zonage climatique

L'objectif d'un zonage climatique est d'obtenir un découpage d'une région en zones à l'intérieur desquelles le comportement climatique est similaire vis-à-vis des paramètres étudiés. Ainsi, nous avons employé deux méthodes : La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) et l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Le tableau de données contient 10 lignes et 26 colonnes, la colonne 1 étant réservée pour le nom de la station, les 25 colonnes qui suivent correspondent aux valeurs des variables quantitatives suivantes :

Latitude, Longitude et Altitude; nombre moyen annuel de jours de pluie; cumul annuel des précipitations ; les moyennes des cumuls mensuelles des précipitations ; les moyennes des cumuls saisonniers ; les moyennes annuelles des températures maximale et minimale ; la température maximale du mois le plus chaud (M) et la température minimale du mois le plus froid (m)

Pour l'application de la CHA nous avons choisi la distance euclidienne comme type de dissimilarité, et la méthode de Ward comme critère d'agglomération. De manière objective, la meilleure classification correspond à la première coupe, elle donne trois classes puisqu'elle maximise la distance entre les classes (figure 2a). Mais la meilleure classification est celle correspondante à la deuxième coupe qui donne lieu à 4 classes. En parallèle, nous avons utilisé une ACP rotative de type VARIMAX qui permet d'obtenir une structure plus facile à analyser.

D'après le critère de Cattell, il faut retenir deux composantes principales. Le premier axe factoriel F1 exprime 46.6 % d'information, le deuxième axe F2 exprime 34.4 %, soit au total, 81 % d'information. L'examen du cercle de corrélation (figure 2b) montre que l'axe D1 peut être interprété comme étant l'axe de la période humide de l'année. En effet les saisons d'hiver, d'automne et de printemps et les mois de février, novembre, décembre, janvier, mars et avril sont fortement corrélés avec cet axe (corrélation supérieure à 0,8).

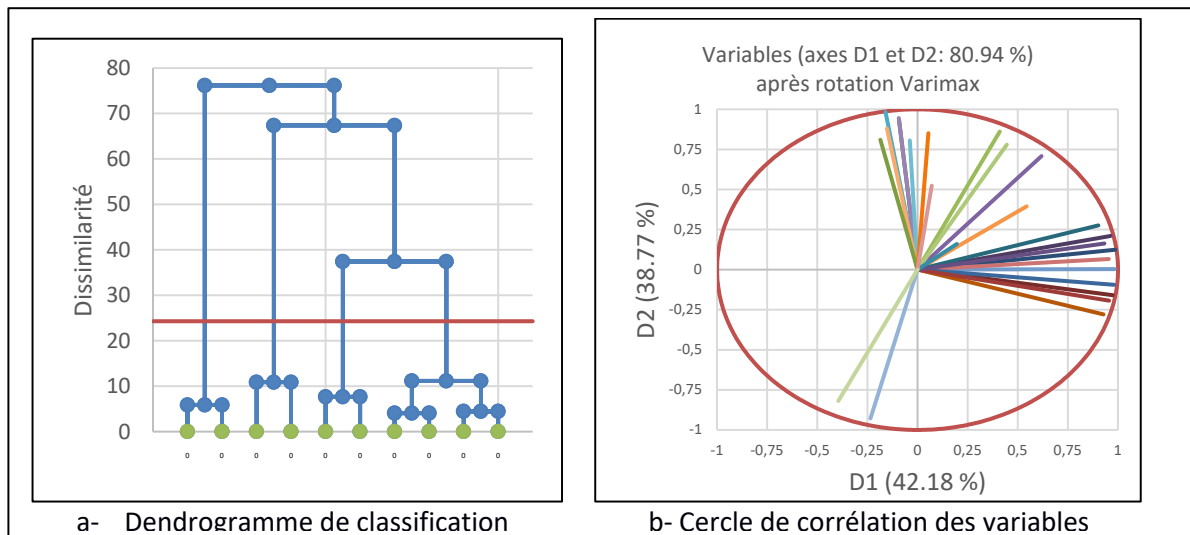


figure 2 : Résultats de CHA et ACP Varimax

Quant à l'axe D2, les variables M (température du mois le plus chaud), T_{\max} longitude, Altitude et cumuls pluviométriques de la période chaude sont fortement corrélés avec cet axe alors que les variables m (température du mois le plus froid) et T_{\min} (température maximale moyenne) sont fortement anti-corrélés avec ce même axe, donc cet axe peut être interprété comme étant l'axe représentatif de la température. Le même raisonnement peut être suivi avec l'axe D2 dans lequel les

stations d'Errachidia et Ouarzazate se montrent fortement corrélées car ces stations enregistrent les records de température maximale ainsi que minimale ($M > 38^{\circ}\text{C}$ et $m < 2^{\circ}\text{C}$). Ceci est dû à l'éloignement par rapport à la mer. L'océan Atlantique joue en effet un rôle très important dans la régulation de la température. Ce raisonnement rejoint l'interprétation déjà donnée à l'axe D2. Le tableau 2, résume les 4 classes auxquelles on a abouti à l'aide du zonage à travers l'ACP et la CHA.

Tableau 2: Classes retenues et étalons

Numéro de la	Stations de la classe	Région représentée par la classe
1	Taroudant et Agadir-Inzegane	Souss
2	Tan-Tan, Guelmim, Tiznit et Sidi-Ifni	Piedmont de l'Anti atlas
3	Dakhla et Laâyoune	Région côtière sud
4	Ouarzazate et Errachidia	région pré-désertique

3. Caractérisation du climat de la zone d'étude

L'étude des type du climat caractéristique d'une région se fait sur la base du calcul des indices climatiques (ou bioclimatiques). Pour des raisons liées à nos latitudes, nous avons procédé au calcul de deux indices climatiques à savoir l'indice d'Emberger (Q_2) et celui de De Martonne (I_d). Le premier se base sur les pluies annuelles (P) et les températures du mois le plus chaud (M) et celle du mois le plus froid (m), avec $Q_2 = \frac{P}{\frac{M-m}{2} * (M+m)}$ tandis que le deuxième se base sur les pluies annuelles (P) et la température moyenne annuelle (T) avec $I_d = \frac{P}{T+10}$.

La figure 3, nous permet d'identifier trois types de climats, qui varient du nord vers le sud ou l'est. Ainsi, la partie nord-ouest de la zone bénéficie d'un climat semi-aride, tandis que la partie sud se caractérise par deux autres types de climats : l'aride et le Saharien.

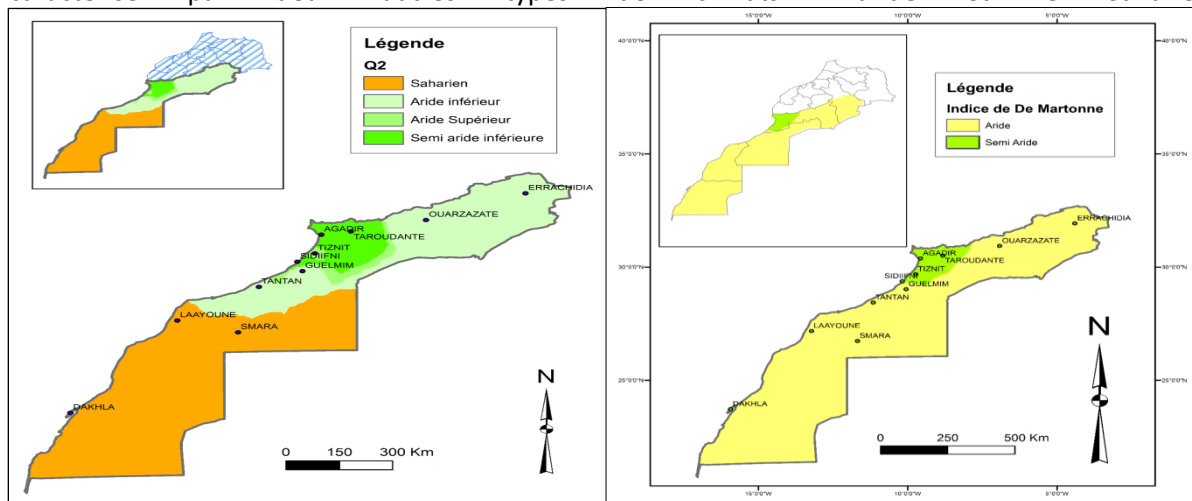


figure 3 : Cartes de la répartition des climats selon l'indice d'Emberger et celui de DE Martonne

4. Etude des tendances

Pour étudier la significativité des tendances annuelles des précipitations, des températures maximales et minimales annuelles, nous avons employé le test non paramétrique de Mann-Kendall au seuil de 95%.

Le tableau 3, regroupe les résultats obtenus. Il ressort que la majorité de ces stations signalent une tendance à la hausse des pluies annuelles et des températures T_{\max} et T_{\min} . Ainsi, les tendances des séries des températures maximales et minimales montrent que la plupart des stations ont connu une

hausse significative sur la période 1980-2014. Toutefois, il faut signaler que la station de Dakhla fait exception en enregistrant des tendances non significatives de baisse de T_{max} . Quant aux précipitations, pour la majorité des stations leurs tendances ont montré une situation de hausse des précipitations non significatives à l'exception des stations de Guelmim et Errachidia qui enregistrent, une tendance à la hausse significative. Ces résultats vont dans le même sens que ceux publiés par Nouaceur et al. (2012) en Mauritanie située au sud du Maroc.

Tableau 3 : Résultats du test Mann Kendall
(-) : tendance à la baisse ; (+) : tendance à la hausse N.S : Non Significative

Station	Pente pluies	P _{value} pluies	Significativité	Pente T _{max}	P _{value} T _{max}	Significativité	Pente T _{min}	P _{value} T _{min}	Significativité
Agadir-Inzegane	+0,92	0,92	N.S	+0,05	0,01	significative	+0,07	0,01	significative
Dakhla	+0,27	0,27	N.S	-0,02	0,19	N.S	-0,02	0,49	N.S
Guelmim	+1,90	0,04	Significative	+0,05	0,07	N.S	+0,05	0,04	significative
Laâyoune	-0,50	0,30	N.S	+0,04	0,01	significative	+0,04	0,01	significative
Ouarzazate	+0,44	0,56	N.S	+0,05	0,01	significative	+0,02	0,03	significative
Errachidia	+2,10	0,08	N.S	+0,05	0,01	significative	+0,05	0,01	Significative
Sidi-Ifni	-0,10	0,95	N.S	+0,02	0,19	N.S	+0,03	0,02	Significative
Tan-Tan	+0,20	0,88	N.S	+0,04	0,01	significative	+0,01	0,39	N.S
Taroudante	+2,50	0,22	N.S	+0,05	0,05	significative	+0,04	0,02	significative
Tiznit	+2.20	0,16	N.S	+0,06	0,01	significative	+0,04	0,01	significative

5. Evaluation des débits de projets du bassin versant d'Oum El Achar à Guelmim

La plaine de Guelmim fait partie de l'Anti Atlas occidental. Elle se présente comme une cuvette limitée au nord par les plateaux de Lakhsass, et par les chaînons du massif d'Ifni, au sud par le Jbel Taïssa. Grâce aux outils d'analyse hydrologique d'ARCGIS, on a pu délimiter le bassin de l'Oued Oum El Achar et générer le réseau hydrographique du bassin, ainsi que ces caractéristiques géomorphologiques (figure 4 et tableau 4).

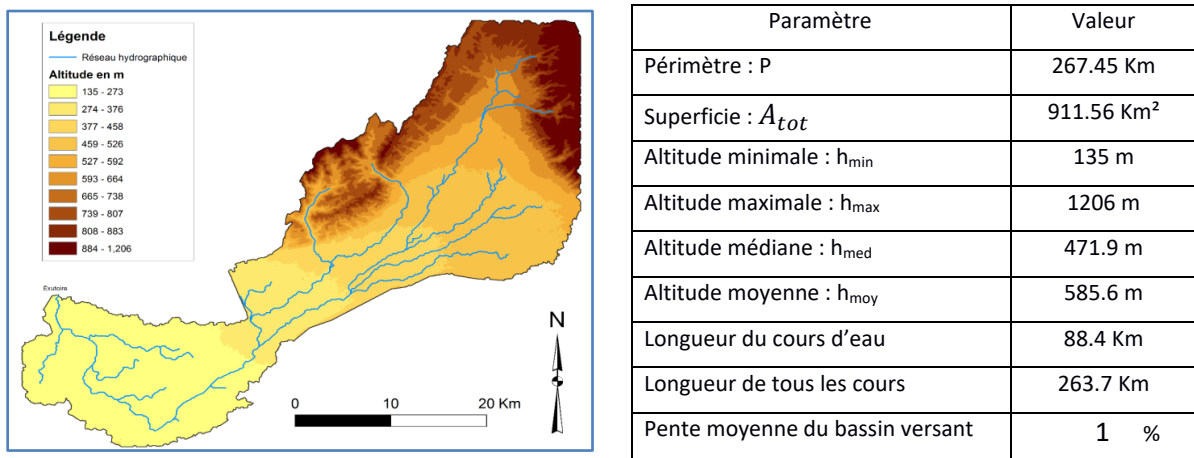


figure 4 et tableau 4 : Caractéristiques géométriques du bassin de l'Oued Oum El Achar

5.1 Prédétermination de la crue du projet

Dans un projet de barrage, la crue désigne l'élévation du niveau des eaux contre laquelle on veut se prémunir. Sa détermination est basée sur la détermination de la fréquence d'occurrence de la plus grande crue décennale, centennale voire millénaire selon l'importance du projet. Il est donc nécessaire de déterminer le débit de la crue dont on a choisi la période de retour. Pour notre cas nous avons utilisé la méthode rationnelle pour l'estimation des débits qui est une méthode hydrométéorologiques (Oesbordes, 1974).

$Q_{max} = \frac{C_r \times I(t_c, T) \times S}{3.6}$ où : C_r est le coefficient d'écoulement moyen, qui représente le rapport entre la

hauteur d'eau ruisselée à la sortie d'une surface considérée (dite "pluie nette") et la hauteur d'eau précipitée, t_c est le temps de concentration du bassin, $I(t_c, T)$ en mm/h représente l'intensité de la pluie moyenne maximale au cours de t_c et de période de retour T , S est la superficie du bassin en Km^2 , Q_{max} est calculé en m^3/s . La seule inconnue est $P(T, 24h)$ qui est la pluie maximale journalière correspondante à T , si on le détermine on peut calculer l'intensité et déduire le débit. De même pour l'ajustement de l'échantillon on a eu recours au logiciel Hyfran par la loi de Gumbell, puisque le but de ce paragraphe comme on vient de le signaler est la détermination d'une loi de probabilité qui s'adapte aux données de pluies maximales dont on dispose. Ces données sont supposées Indépendantes et Identiquement distribuées. L'axe des ordonnées représente les valeurs des observations alors que l'axe des abscisses représente les valeurs des fréquences empiriques associées aux observations.

L'application de la méthode rationnelle a généré les résultats du tableau 5. Il ressort que, la ville de Guelmim est sujette à des inondations lors des années à venir. Ainsi, une anticipation de la part des décideurs politiques est nécessaire.

Tableau 5 : Valeurs de $P(T, 24h)$, des débits Q_{max}

Période de retour T en années	$u(T)$	$P(T, 24h)$ en mm	Q_{max} en m^3/s
100	4.60	58.72	181.48
50	3.90	52.62	162.64
20	2.97	44.49	137.50
10	2.25	38.21	118.08
5	1.50	31.65	97.83
3	0.90	26.44	81.72
2	0.37	21.76	67.25

Conclusion

La région sud du Maroc est caractérisée par un climat qui varie du saharien au semi-aride, une tendance à la hausse des températures significative, pas de tendance significatives des précipitations. Ces résultats concordent avec ceux du rapport du GIEC 2021 (Coste et *al.*, 2021). D'où la nécessité d'une étude plus approfondie pour adapter l'écosystème de cette zone vulnérable aux changements climatiques.

Bibliographie

Coste JF, Coursimault A, Brissaud F, Bongrand J., & Chauvin D. 2021 : Les prévisions du GIEC. Changement climatique EDP Sciences, 21-24.

GIEC, 2007: Impacts adaptation and vulnerability, Summary for policymakers, Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change.

Kendall SM., Stuart A., 1943: The Advanced theory of statistics, Charles Griffin Londres, Volume 3, 585 p.

Laborde J., Mouhous N., 1998 : Notice d'installation du logiciel HYDROLAB. Nice : Equipe de gestion et valorisation de l'environnement

Nouaceur Z., Laignel B. & Dieppois B., 2012 : Évaluation des récents changements climatiques sur le littoral atlantique mauritanien. Actes du XXVe colloque de l'AIC, Grenoble, 583- 58

Oesbordes M., 1974 : Réflexions sur les méthodes de calcul des réseaux urbains d'assainissement pluvial». Thèse de docteur-ingénieur, Université de Montpellier. 224 p

Sebbar A., Fougrach H., Hsain M. et Badri W., 2012 : Etude des variations climatiques de la région Centre du Maroc, Actes du colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Grenoble, 709-714.

Sebbar A., Fougrach H., Hsain M., Saloui A., Badri W., 2011 : Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935 – 2004), Sécheresse, Volume 22, 139-148.