

EVOLUTION DES EVENEMENTS CHAUDS RARES DANS LES BASSINS VERSANTS DE TENSIFT ET BOUREGREG (MAROC) ET IDENTIFICATION DES TYPES DE TEMPS SYNOPTIQUES ASSOCIES

Kenza KHOMSI¹, Gil MAHE², Mohamed SINAN³ & Maria SNOUSSI⁴

RÉSUMÉ

La position géographique et la diversité des reliefs font du Maroc un contexte fertile à la diversité des situations météorologiques. Calvet et Legoff (1977) y ont recensé 16 types de temps.

Le Maroc est régulièrement soumis à des épisodes météorologiques globaux et convectifs, de longue ou courte durée. Il ne semble pas être épargné des situations météorologiques extrêmes qui font le souci ultime de tous les prévisionnistes.

Le but de ce travail est de suivre l'évolution de la fréquence des situations météorologiques chaudes locales rares et très rares dans deux bassins versants du Maroc (Tensift et Bouregreg) et de déterminer les types des temps synoptiques associés en 2009.

L'étude est effectuée à l'aide des données journalières des températures maximales enregistrées sur les stations de Marrakech et Safi (Tensift) et Kasba Tadla et Rabat Salé (Bouregreg). Les situations rares et très rares des températures maximales sont choisies selon la méthode de seuillage par les quantiles 95% et 99%.

Ce travail montre qu'au cours de la période entre 1983 et 2009, les stations de Tensift enregistrent plus d'événements rares et très rares pendant la saison froide alors que les stations de Bouregreg enregistrent plus d'événements pendant la saison chaude.

Les événements chauds rares d'un jour dans le bassin de Tensift tendent à la hausse pendant la saison froide, les autres séries ne présentent aucune tendance significative.

L'absence de tendance est remarquée également pour tous les événements chauds rares et très rares de trois jours ou plus.

En ce qui concerne les types de temps, les événements très rares de température maximale résultent le plus souvent du « régime d'Est de type Chergui » pendant la saison chaude et du « temps perturbé de sud-ouest » pendant la saison froide.

ABSTRACT

The geographical position and the diversity of reliefs make of Morocco a fertile context for the variety of meteorological situations. Calvet and Legoff (1977) have identified 16 various weather types in their study in the country.

Morocco is regularly subjected to global or convective and long or short meteorological episodes. It does not seem to be spared from extreme meteorological events that are the ultimate concern of all forecasters.

The aim of this work is to follow the frequency of hot local rare and very rare meteorological situations in two Moroccan watersheds (Tensift and Bouregreg) and to determine the related weather types in 2009.

The study is realized using daily data of maximum temperature, recorded in the stations of Marrakech and Safi (Tensift) and Kasba Tadla and Rabat-Salé (Bouregreg). The rare and very rare situations of maximum temperatures are chosen according to the peaks over thresholds (95th and 99th percentiles) method.

This work shows that during the period between 1983 and 2009, the stations of Tensift recorded more rare and very rare events during the cold season while the Bouregreg stations recorded more events during the hot season. Hot rare events of one day in the basin of Tensift tend to the increase during the cold season; the other series show no significant trend.

The insignificance of trend is also noticed for all rare and very rare hot events of three days or more.

Regarding weather types, the rare events of maximum temperature often result from the "Chergui East Regime" in the hot season and the "southwest disturbed weather", in the cold season.

¹ Ingénieur météorologiste en PhD, FSR-Rabat-Maroc

² Directeur de Recherche, IRD, Université Mohamed V-Rabat-Maroc

³ Directeur Adjoint Chargé de la Recherche, EHTP, Casablanca-Maroc

⁴ PES, Université Mohamed V-Rabat-Maroc

1. INTRODUCTION

À travers ses quatre rapports, l'IPCC a toujours tiré la sonnette d'alarme sur le réchauffement climatique global et son impact sur le dérèglement du climat par la modification des régimes des températures et des précipitations. (IPCC, 1990, 1995, 2001, 2007).

Dans le rapport de 2007 (IPCC, 2007) il est prévu, avec un degré de confiance élevé, une hausse très probable de la fréquence des événements extrêmes des températures, des vagues de chaleur et des épisodes de fortes précipitations.

Les déclarations de l'IPCC à propos des événements extrêmes des températures et des précipitations ont fait de l'étude des changements globaux et régionaux de ces derniers un centre d'intérêt de la recherche scientifique récente.

En effet, les analyses de l'évolution de ces événements par des méthodes paramétriques et non paramétriques sont devenues de plus en plus fréquentes et un intérêt particulier est prêté à l'étude de l'évolution des types de circulations synoptiques qui en sont à l'origine (Haylock, 2004).

Haylock (2004), Joly (2009) et Boudevillain (2009) ont étudié les événements des précipitations intenses et leur interaction avec la dynamique synoptique en utilisant un seuillage par quantile ; leurs études ont intéressé l'Europe et la zone méditerranéenne.

Nasrallah (2004) a utilisé la même démarche pour analyser les vagues de chaleur et les événements chauds, très chauds et extrêmement chauds au Koweït durant la saison chaude.

Au Maroc, zone parmi les plus vulnérables aux changements climatiques (Agoumi, 2003), les études sur les événements extrêmes restent peu nombreuses. Ce travail a pour but d'identifier les événements rares et très rares de température maximale sur deux bassins versants du Maroc : Tensift et Bouregreg, de suivre l'évolution de leur fréquence et de déterminer les types destemps synoptiques associés. L'analyse a impliqué une méthode de seuillage par quantile et a été réalisée sur les saisons chaude et froide indépendamment.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. DONNÉES ET ZONE D'ÉTUDE

Cette étude couvre deux bassins versants du Maroc : Tensift et Bouregreg (figure1). Elle utilise les températures maximales, enregistrées par les stations synoptiques installées dans les deux bassins versants, ces stations appartiennent à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN-Maroc).

Le bassin versant du Bouregreg occupe la presque totalité du plateau central marocain. Il s'agit d'une association de plans monotones, de gorges profondes et de bassins cloisonnés de crêtes aigües sur une surface de 9656 km²(Marghich, 2004). L'altitude y varie de 0 à 1627 m (Jbel Mtourzgane) et 50 % de sa superficie se situe entre 500 et 1000 m (SIGMED, 2009).Son climat est semi-aride et la distribution des précipitations moyennes annuelles y est de l'ordre de 400 mm sur la région côtière et de 760 mm à côté d'Oulmès.

Le bassin versant de Tensift s'étale sur une superficie de 19 400 km². Son climat est caractérisé par l'influence de l'Atlantique qui diminue d'autant plus qu'on s'éloigne vers l'intérieur. La zone du bassin de Tensift Est est influencée par la présence du relief et notamment le haut Atlas.Les

précipitations y sont en général modestes. Le total annuel ne dépasse pas 350 mm (à l'exception de la zone de montagnes où elle peut atteindre 500 à 600 mm). Le nombre de jours de pluie par an oscille entre 25 et 50 pour les zones côtières et la plaine du Haouz, et entre 45 et 70 dans la zone de montagne (CID, 2004).

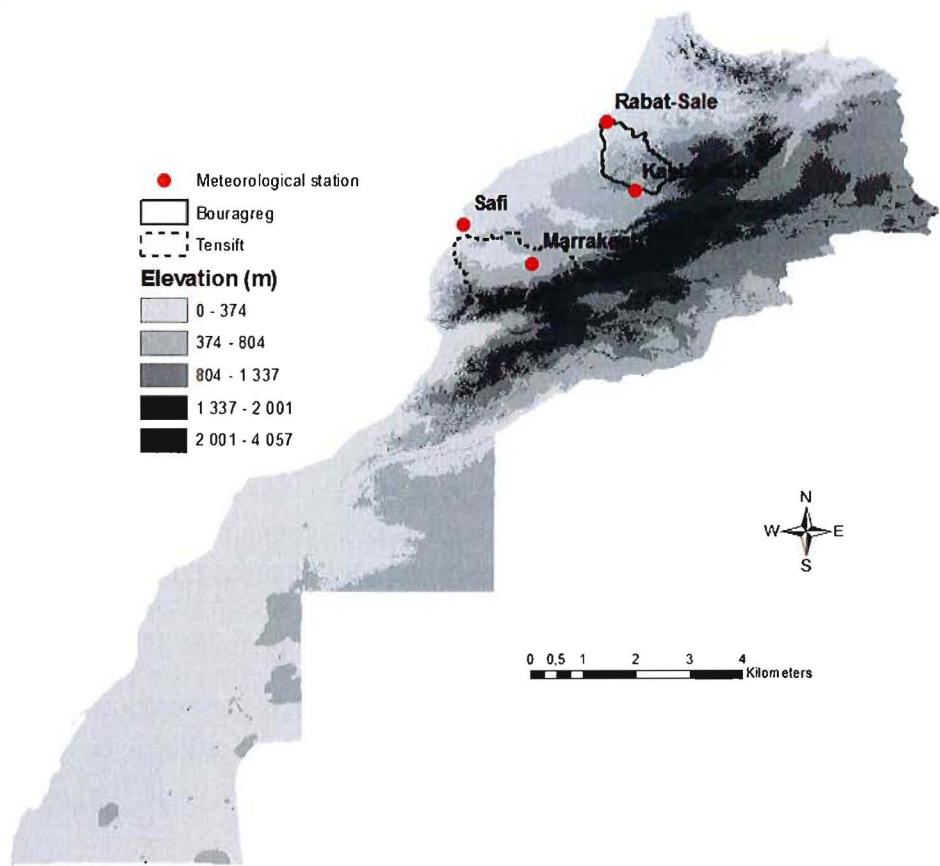


Figure 1. : Position géographique des bassins versants du Bouregreg et du Tensift

Dans l'objectif d'identifier et d'analyser les événements extrêmes de température sur les bassins versants étudiés, les séries chronologiques des températures maximales enregistrées par les stations synoptiques du Bouregreg et du Tensift ont été utilisées. Ces stations sont : Rabat-Salé sur la côte et Kasba Tadla au SE du bassin du Bouregreg ; et pour le Tensift il s'agit de Safi sur la côte et Marrakech au centre (figure 1 & tableau1).

Station	Bassin versant	Longueur de la série
Rabat-Salé	Bouregreg	1950-2009
Kasba Tadla	Bouregreg	1983-2010
Safi	Tensift	1955-2010
Marrakech	Tensift	1941-2010

Tableau 1:Longueurs des séries chronologiques des températures journalières maximales

Afin d'analyser l'évolution des situations synoptiques liées aux événements extrêmes identifiés en 2009, l'étude a impliqué les cartes journalières d'analyse en surface issues du modèle Al Bachir. Ces cartes présentent le champ de pression au niveau de la mer à 00heure et sont fournies par la DMN pour l'année 2009.

2.2. CHOIX DES SAISONS ET ETUDE DES TENDANCES

Dans le but de traiter les données des températures et d'identifier les événements extrêmes chauds, rares et très rares selon la saison chaude et froide indépendamment, les diagrammes ombro-thermiques, élaborés selon les moyennes mensuelles et annuelles des températures et précipitations enregistrées par les stations synoptiques de Rabat Salé, Kasba Tadla, Safi et Marrakech ont été analysés.

Selon Bagnouls et Gaussen (1953,1957), un mois sec est un mois qui a une pluviométrie moyenne en millimètres égale ou inférieure au double de sa température moyenne ($P \leq 2T^\circ$).

Pour les besoins de ce travail, la variable $X = P - 2T$ est considérée, P et T étant respectivement les moyennes mensuelles et annuelles des précipitations et des températures enregistrées dans chaque station des quatre postes synoptiques étudiés.

Sur le diagramme ombro-thermique, les mois où la courbe de la variable X est au-dessus de l'axe des abscisses constituent la saison chaude, les mois où la variable est en dessous forment la saison froide, et les mois d'intersection entre la courbe et l'axe sont les périodes de transition.

Les chroniques des températures maximales ont été soumises au test non paramétrique de Mann-Kendall qui sert à la détection des tendances (Lubès-Niel, 1998). Ce test, utilisé avec un niveau de confiance de 95%, a été appliqué également pour analyser l'évolution de la fréquence des événements rares et très rares identifiés.

2.3. IDENTIFICATION DES EVENEMENTS RARES ET TRES RARES DES TEMPERATURES MAXIMALES

Une façon de caractériser les événements des températures intenses consiste à recenser tous les événements de forte température à l'aide des seuils d'échantillonnage qui ne sont que des quantiles tirés de la distribution des données étudiées. La méthodologie pour définir les événements extrêmes du climat en se basant sur les valeurs des quantiles permet de prendre en considération le caractère régional présent dans les séries chronologiques (Li, 2010).

Aussi, pour chacune des quatre séries des températures maximales, les quantiles 95 % et 99 % ont été calculés et en utilisant le critère de dépassement de ces seuils, il a été possible d'isoler les événements rares et très rares des quatre distributions. Un jeu d'événements significatifs a été alors constitué pour des valeurs dépassant le quantile 95% et un autre jeu regroupant des événements plus intenses correspondant à des températures maximales au-delà du quantile 99 %.

La démarche ci-dessus a été appliquée pour la saison chaude et froide indépendamment et les notions suivantes ont été formalisées :

- Un événement rare d'un jour : une journée qui a enregistré une température maximale supérieure au quantile 95 %;

- Un évènement très rare d'un jour : une journée qui a enregistré une température maximale supérieure ou égale au quantile 99 %;
- Un évènement rare de 3 jours ou plus : une succession de 3 évènements rares ou plus ;
- Un évènement très rare de 3 jours ou plus : une succession de 3 évènements très rares ou plus.

2.4. IDENTIFICATION DES SITUATIONS SYNOPTIQUES LIEES AUX EVENEMENTS TRES RARES EN 2009

Les épisodes très rares des températures se produisent généralement dans un contexte météorologique de large échelle. Ce travail cherche à caractériser ce contexte.

Suite à sa situation géographique et à son orographie escarpée, le Maroc se trouve sous l'influence de l'Atlantique, de la Méditerranée et du Sahara ; il subit également l'effet du relief. Ces différents facteurs influencent son climat à l'échelle globale comme locale.

Une étude faite par Knippertz (2003) sur les données des pressions au niveau de la mer (SLP) enregistrées au cours des hivers (DJF) de la période entre 1930 et 1998, a montré que le Maroc est dominé par des situations anticycloniques (41,7%) ; les situations d'Est (SE, E, NE) sont également fréquentes alors que les situations de Sud et de Sud-Ouest ne se produisent pas assez souvent.

Driouech(2010) a montré, à l'aide des hauts géopotentiels au niveau 500hPa (Z500) des hivers (DJ F) de la période entre 1958 et 2001, que le Régime Zonal (ZO) est dominant (34 %), suivi par la Cellule de Blocage (BL) (25 %), la Dorsale Anticyclonique (AR) (23 %) et l'Anticyclone de Greenland (GA) (18 %).

Le présent travail a impliqué les résultats de l'étude réalisée par Calvet et Legoff (1977), sur les cartes de la pression en surface (SPL). Cette étude distingue deux types de circulations : zonale et méridionale et seize types de temps dont cinq correspondent à la circulation d'été et des périodes voisines (figure 2 à 6) : le régime d'Est de type Chergui ; la perturbation mauritanienne lente ; l'axe de dorsale sur le Maroc ; le front quasi-stationnaire marocain ; et le régime des queues de fronts froids ; et onze correspondent à la circulation d'hiver et des périodes voisines (figure 7 à 17) : le temps perturbé de SW ; le temps perturbé de NW ; le temps perturbé de Nord ; le temps perturbé de NE ; la décharge d'air polaire continental sec et subsident ; le talweg étroit de N à NE ; la perturbation d'Ouest accélérée ; la cyclogenèse sur le SW de l'Espagne (perturbation de Nord) ; la perturbation de Nord Ouest ; la perturbation de Sud Ouest ; et la cyclogenèse sur l'Est des Baléares.

Après l'identification des évènements chauds très rares enregistrés en 2009, les cartes de surface correspondant à leurs situations synoptiques ont été étudiées et confrontées aux seize types de temps déterminés par Calvet et Legoff. Ceci a permis d'identifier les types de temps responsables des évènements des températures très rares en 2009 et de s'informer sur leur fréquence.

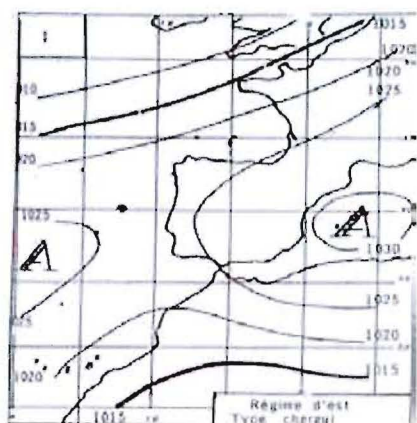


Figure 2. : Le régime d'Est de types Chergui

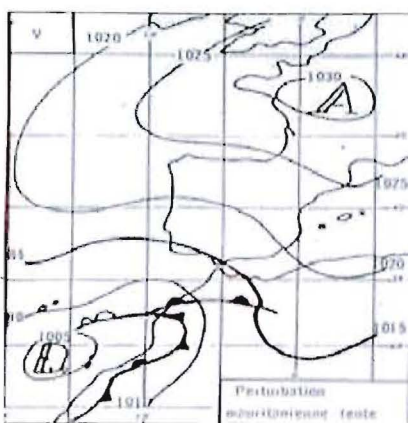


Figure 3. : La perturbation mauritanienne lente

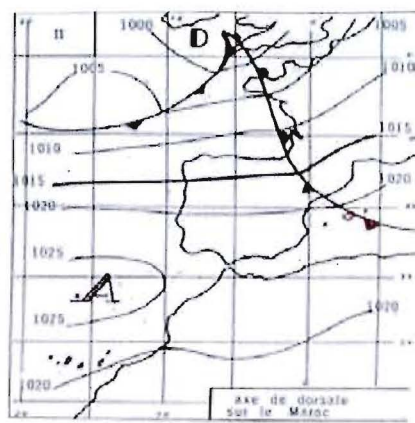


Figure 4.: L'axe de dorsale sur le Maroc

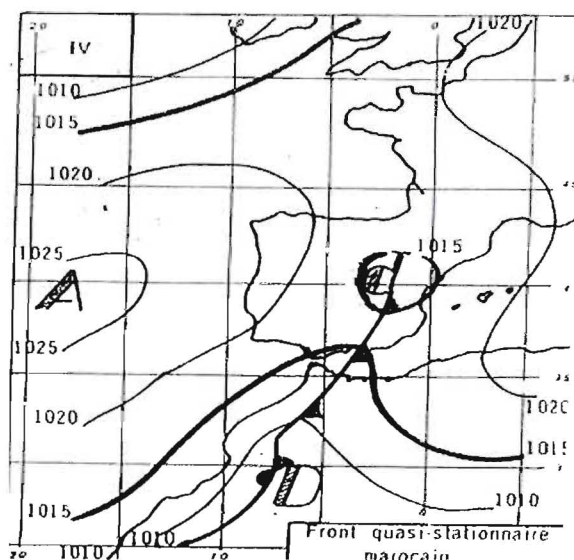


Figure 5: Le front quasi-stationnaire marocain

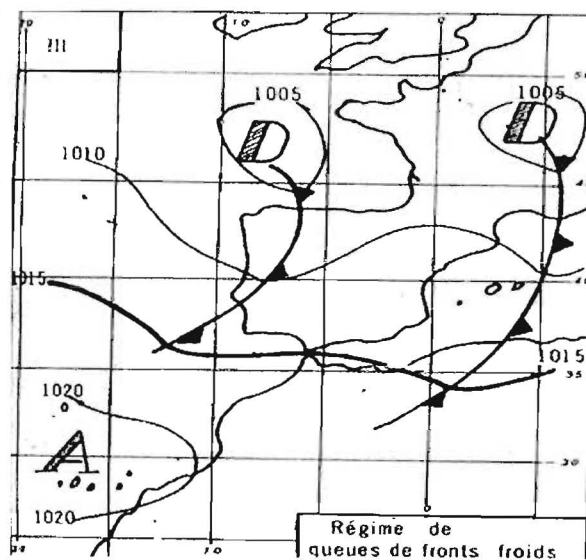


Figure 6: Le régime des queues de fronts froids

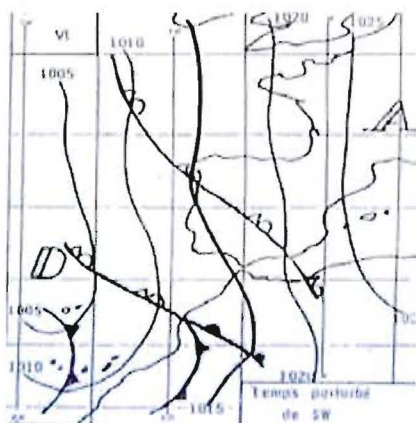


Figure 7: Le temps perturbé de SW

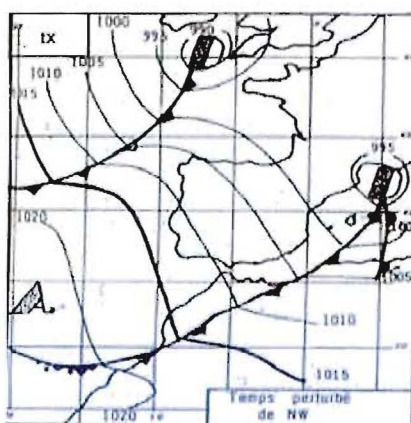


Figure 2: Le temps perturbé de NW

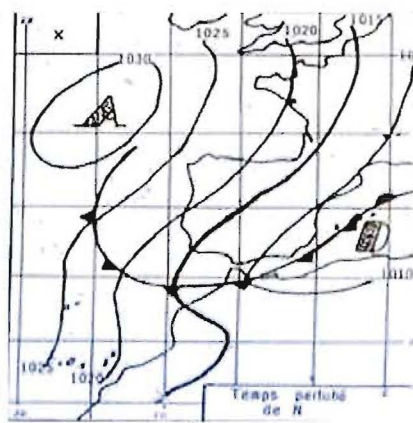


Figure 3: Le temps perturbé de N

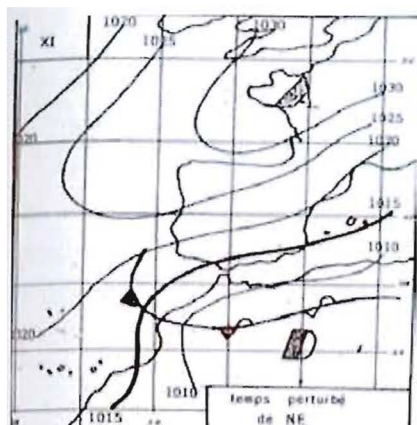


Figure 10: Le temps perturbé de NE



Figure 4: La décharge d'air polaire continental sec et subsident

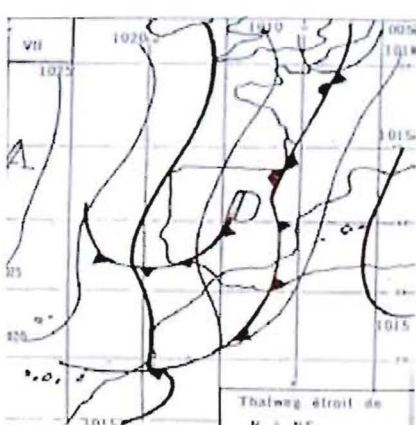


Figure 5: Le talweg étroit de N à NE

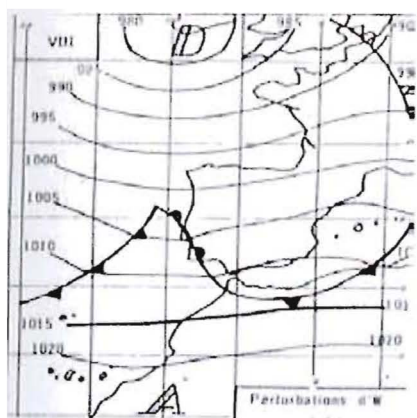


Figure 6: La perturbation d'Ouest accélérée



Figure 7: La cyclogenèse sur le SW de l'Espagne (perturbation de Nord)

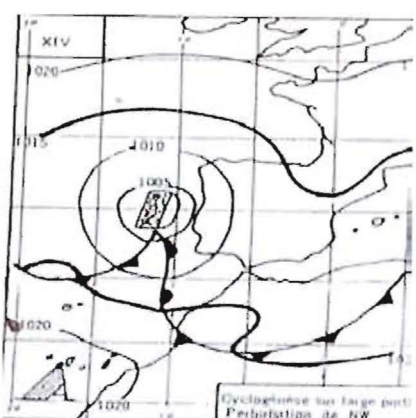


Figure 8: La perturbation de Nord Ouest

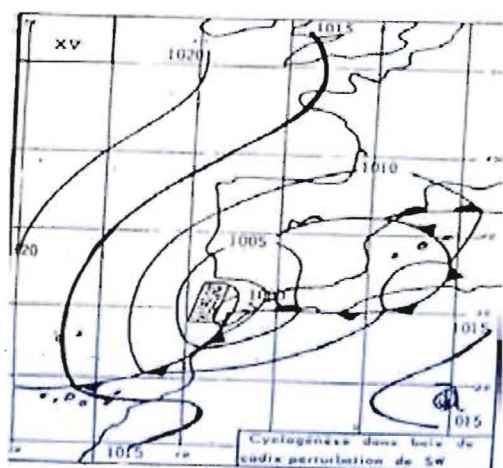


Figure 9: La perturbation de Sud Ouest

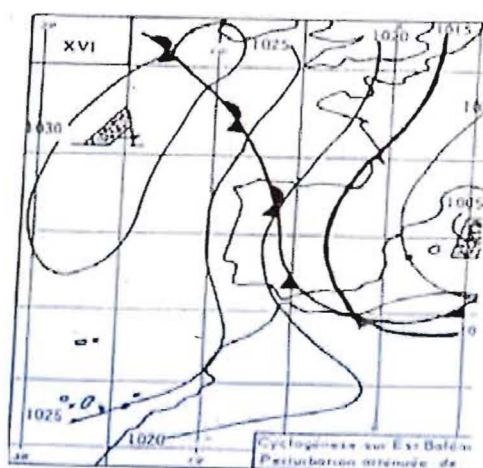


Figure 10: La cyclogenèse sur l'Est des Baléares.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Ce travail étudie les chroniques des températures maximales journalières enregistrées par les stations synoptiques des bassins versants du Bouregreg (Rabat-Salé & Kasba Tadla) et du Tensift (Safi & Marrakech) dans l'objectif d'identifier les événements chauds rares et très rares. Pour le besoin spécifique du traçage du diagramme ombro-thermique, il implique les températures et précipitations moyennes annuelles calculées par station synoptique. Il fait également appel aux cartes de pression en surface afin d'identifier les situations synoptiques responsables des événements chauds très rares en 2009.

3.1. EVOLUTION DES TEMPERATURES MAXIMALES SELON LES SAISONS

La figure 18 présente le diagramme ombro-thermique des stations synoptiques étudiées.

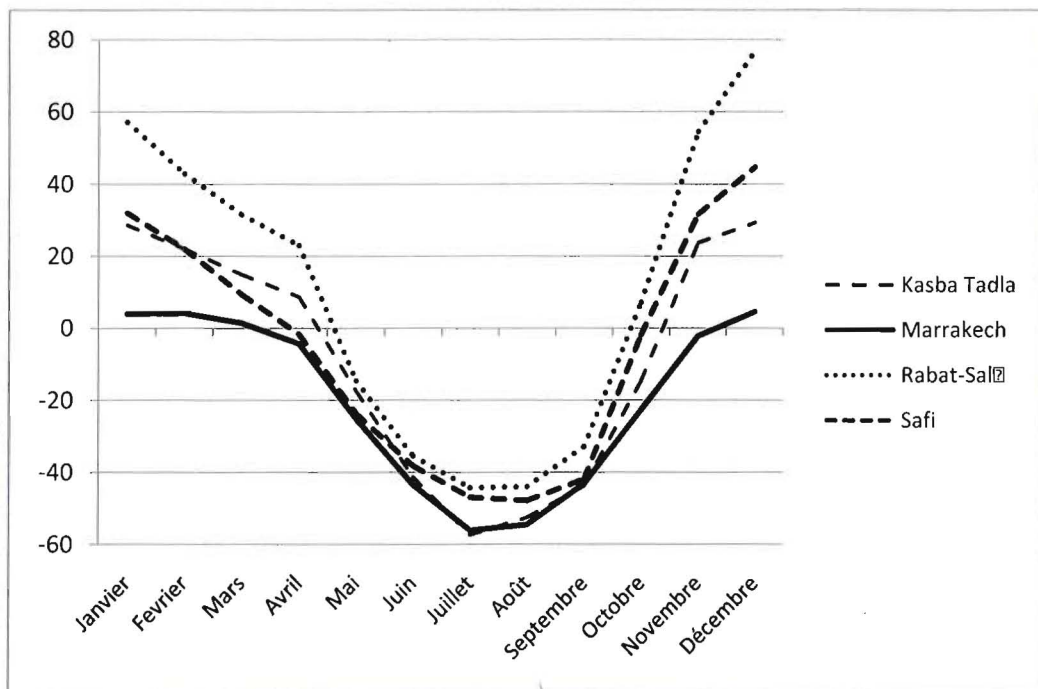


Figure 11: Diagramme ombro-thermique des stations de Kasba Tadla, Marrakech, Rabat-Salé et Safi

Les saisons sont déterminées comme suit :

- Les mois où les courbes se trouvent au-dessus de l'axe des abscisses forment la saison froide : (décembre, janvier, février,) pour Marrakech, (novembre, décembre, janvier, février, mars) pour Kasba Tadla et Safi, et (novembre, décembre, janvier, février, mars, avril) pour Rabat Salé.
- Quand les courbes se trouvent au-dessous de l'axe des abscisses, on énumère les mois de la saison chaude : (avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre) pour Marrakech, (mai, juin, juillet, août, septembre) pour Kasba Tadla et Safi, et (juin, juillet, août, septembre) pour Rabat salé.
- Les mois d'intersection des courbes avec l'axe des abscisses sont des mois de transition : (mai et octobre) pour Rabat Salé, (avril et octobre) pour Kasba Tadla et Safi, et (mars et novembre) pour Marrakech.

Afin d'uniformiser l'étude et faciliter l'inter-comparaison des résultats obtenus sur les saisons et les bassins versants étudiés, les saisons froides ont été définies, pour toutes les stations, comme contenant les mois suivants : novembre, décembre, janvier et février et les saisons chaudes, les mois de juin, juillet, août et septembre.

Les graphes des figures 19 à 22, présentent l'évolution des séries chronologiques des températures maximales moyennes annuelles des stations de Safi et Marrakech pendant la saison froide, et de Kasba Tadla et Rabat Salé pendant la saison chaude. Les autres graphes ne sont pas présentés.

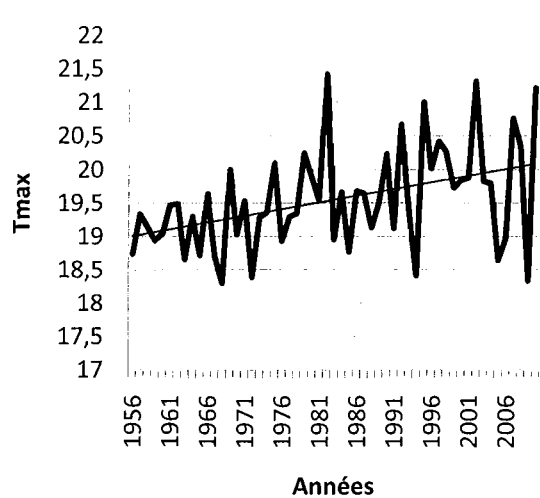


Figure 19 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Safi (Tensift) pendant la saison froide

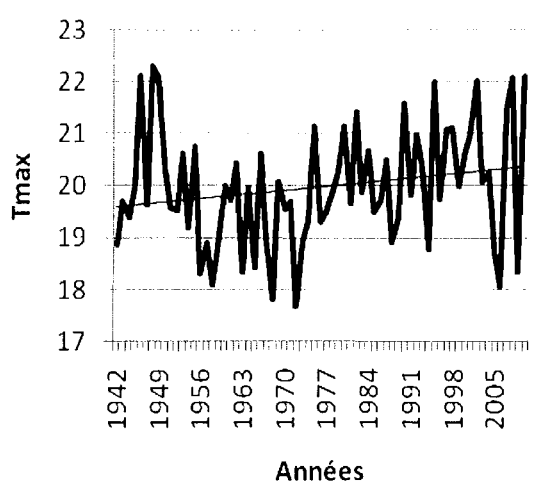


Figure 20 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Marrakech (Tensift) pendant la saison froide

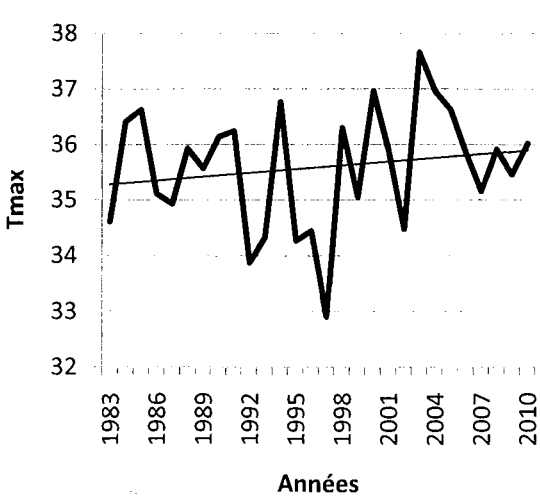


Figure 12 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Kasba Tadla (Bouregreg) pendant la saison chaude.

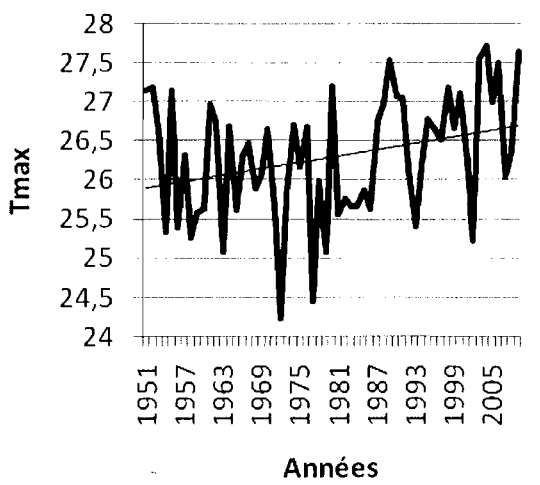


Figure 22 : Evolution des Températures maximales moyennes annuelles de la station de Rabat-Salé (Bouregreg) pendant la saison chaude.

Selon le test de Mann-Kendall pour la saison froide, des tendances positives sont constatées sur les trois distributions de Marrakech, Safi et Rabat Salé. La distribution enregistrée sur Kasba Tadla (Bouregreg) ne présente aucune tendance significative.

Au cours de la saison chaude, seules les températures maximales de la station de Rabat-Salé (Bouregreg) présente une tendance positive, confirmée par le test de Mann-Kendall. Ce dernier n'a décelé aucune tendance significative pour les trois autres stations.

Le tableau 2 synthétise ces résultats.

Station	Evolution des températures maximales moyennes annuelles	
	Saison Froide	Saison Chaude
Rabat-Salé	Positive	Positive
Kasba Tadla	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative
Safi	Positive	Pas de tendance significative
Marrakech	Positive	Pas de tendance significative

Tableau 2: Résultats du test de Mann-Kendall pour l'étude de l'évolution des températures maximales moyennes annuelles par station et par saison

3.2. ÉVOLUTION DE LA FREQUENCE DES EVENEMENTS RARES ET TRES RARES DES TEMPERATURES MAXIMALES JOURNALIERES

Les évènements rares et très rares des températures maximales journalières enregistrées par les stations synoptiques des bassins versants du Tensift et du Bouregreg ont été identifiés par saison à l'aide du seuillage parles quantiles 95 % et 99 %. Les figures 23 et 24 présentent le seuillage de ces évènements pour les stations de Marrakech pendant la saison chaude et Safi pendant la saison froide. Les évènements des autres stations ne sont pas présentés.

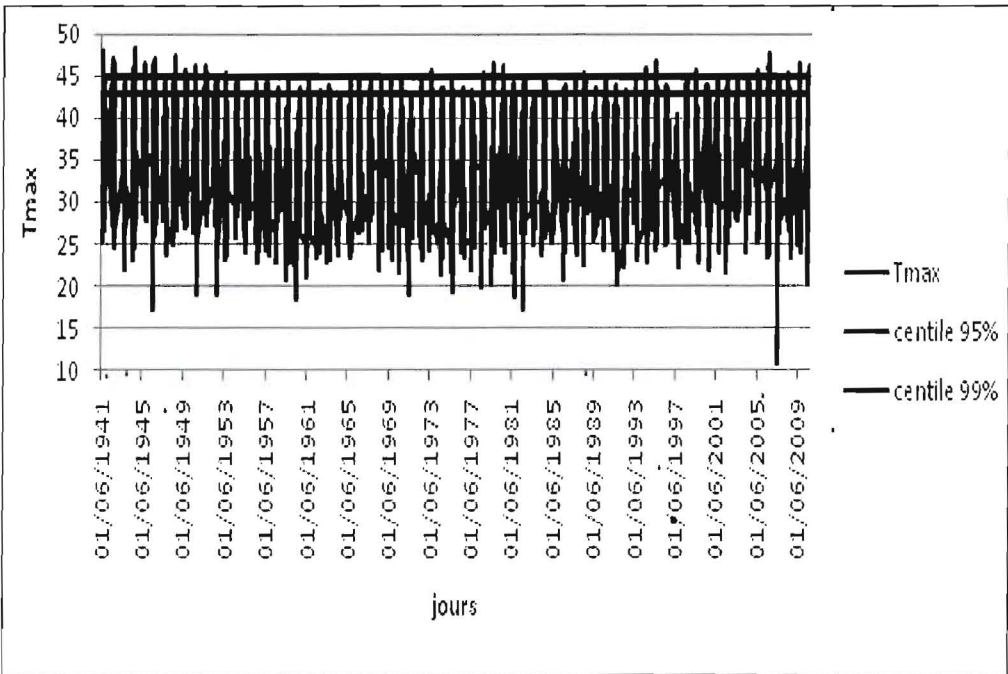


Figure 133 : Seuillages des évènements chauds rares et très rares des températures maximales journalières de Marrakech au cours de la saison chaude

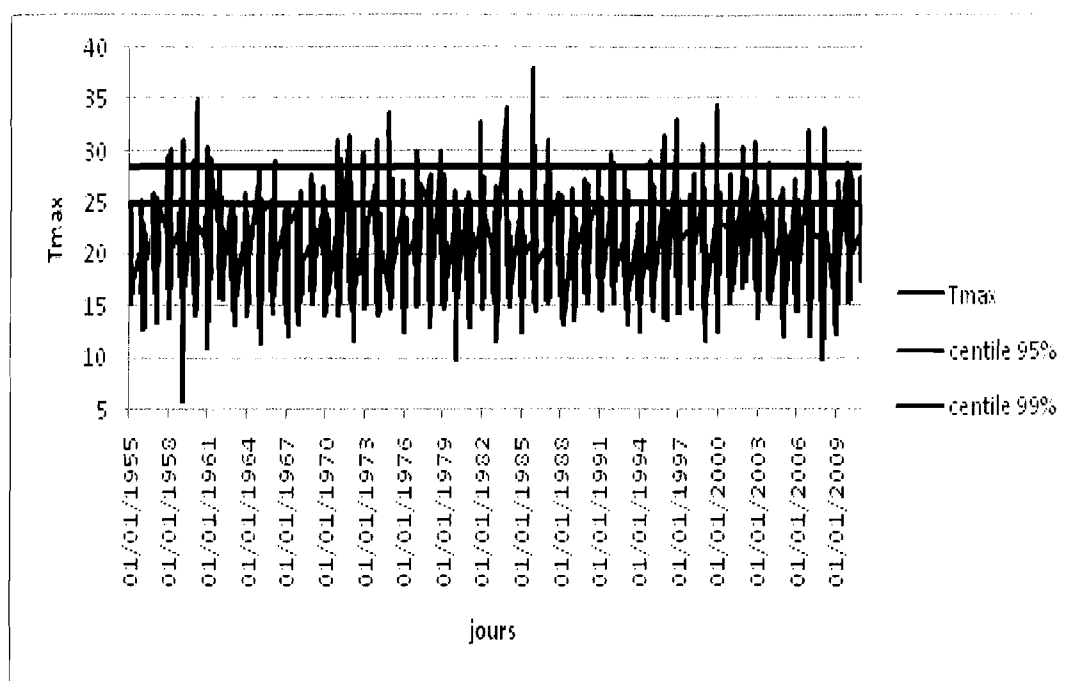


Figure 24 : Seuillages des évènements chauds rares et très rares des températures maximales journalières de Safi au cours de la saison froide

Le seuillage effectué ci-dessus a permis d'obtenir deux nouvelles distributions par station et par saison. La 1ère concerne des évènements chauds intenses et rares dépassant le quantile 95% et une deuxième contient des évènements très rares plus intenses qui dépassent le quantile 99 %. Le tableau 3 présente l'effectif des évènements chauds rares et très rares recensés par station et par saison de 1983 à 2009, période commune de disponibilité des données entre les quatre stations de mesure.

Station	Effectif des évènements rares chauds entre 1983 et 2009		Effectif des évènements très rares chauds entre 1983 et 2009	
	Saison Froide	Saison Chaude	Saison Froide	Saison Chaude
Rabat-Salé	181	163	37	37
Kasba Tadla	136	176	34	38
Safi	187	155	42	30
Marrakech	227	160	48	21

Tableau 3: Effectifs des évènements rares et très rares entre 1983 et 2009

Au cours de la saison froide, les stations de Tensift (Safi et Marrakech) enregistrent plus d'évènements chauds rares et très rares que les stations du Bouregreg. Ceci s'inverse totalement au cours de la saison chaude quand les stations du Bouregreg enregistrent le plus d'évènements. Le tableau 3 ne montre aucune influence du caractère côtier ou intérieur de la station sur les évènements identifiés.

3.2.1. Évolution des évènements chauds rares et très rares d'un jour

Un évènement rare (très rare) d'un jour est un jour avec une température maximale supérieure au quantile 95 % (99 %).

Les graphes des figures 25 à 28 présentent l'évolution de la fréquence annuelle des évènements rares et très rares d'un jour dans les stations de Marrakech et Safi pendant la saison froide et Kasba Tadla et Rabat Salé pendant la saison chaude. Les autres graphes ne sont pas présentés.

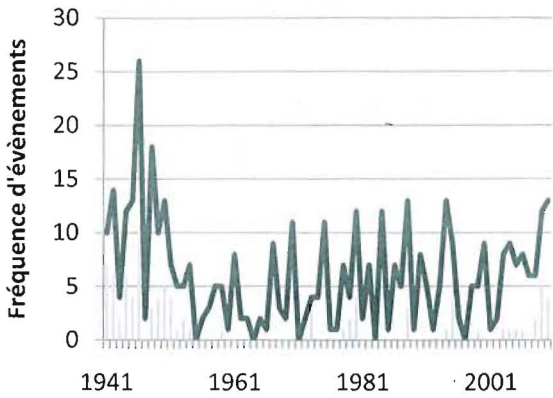


Figure 14: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Marrakech pendant la saison chaude

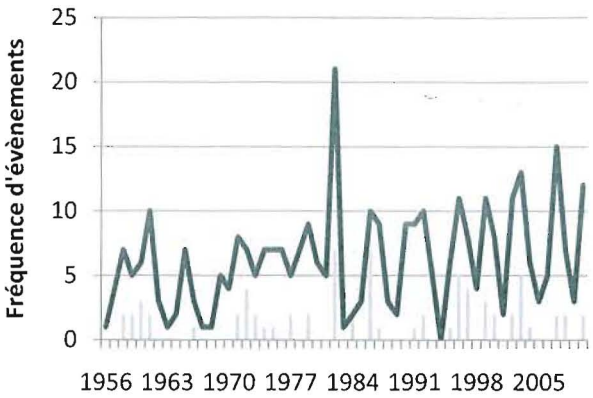


Figure 15: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Safi pendant la saison froide

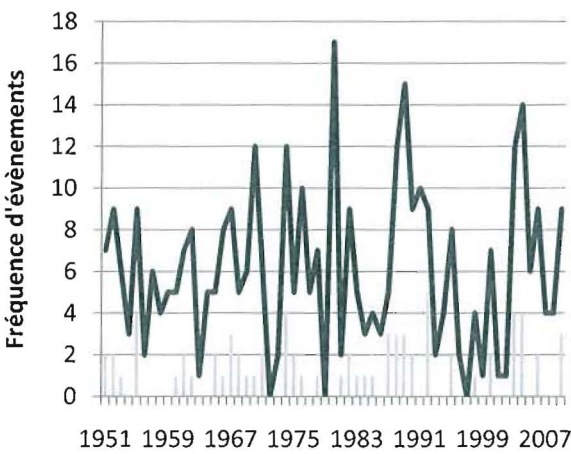


Figure 2716: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Rabat-salé pendant la saison chaude

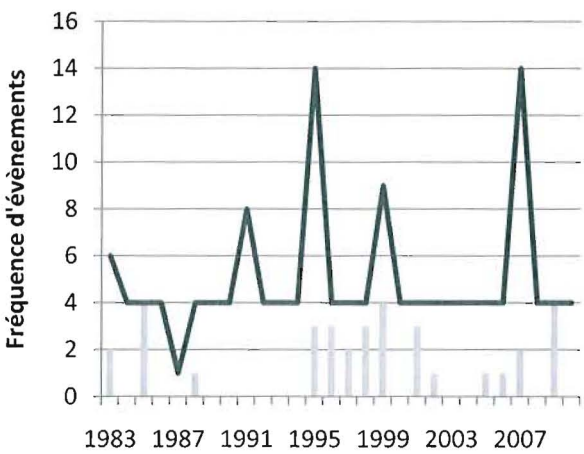


Figure 2817: Événements chauds rares (gris foncé) et très rares (gris clair) d'un jour dans la station de Kasba Tadla pendant la saison froide

Le tableau 4 présente les résultats de l'application du test de tendance de Mann-Kendall sur les séries des fréquences des évènements rares et très rares identifiées dans les quatre stations pendant les deux saisons.

Selon le test de Mann-Kendall :

- Les évènements chauds rares d'un jour dans le bassin de Tensift tendent à la hausse pendant la saison froide.
- Les évènements très rares d'un jour enregistrés par la station de Kasba Tadla au cours de la saison chaude tendent à la hausse alors que ceux de Marrakech tendent à la baisse.

Station	Evènements rares		Evènements très rares	
	Saison Froide	Saison Chaude	Saison Froide	Saison Chaude
Rabat-Salé	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative
Kasba Tadla	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Tendance positive
Safi	Tendance positive	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative
Marrakech	Tendance positive	Pas de tendance significative	Pas de tendance significative	Tendance négative

Tableau 4: Tendance des évènements chauds rares et très rares d’un jour

3.2.2. Evolution des évènements rares et très rares de trois jours ou plus

Un évènement rare (très rare) de trois jours ou plus est une succession de trois évènements rares (très rares) ou plus. Au sens de Mann-Kendall, aucune tendance significative n’est constatée sur ces évènements rares de trois jours ou plus. L’occurrence des évènements très rares de trois jours ou plus reste non significative pour toutes les stations.

Les résultats obtenus ci-dessus montrent qu’au cours de la saison froide, les températures maximales ont augmenté dans trois stations des quatre étudiées. Les stations du bassin de Tensift ont enregistré plus d’évènements chauds dont la fréquence tend vers la hausse.

Au cours de la saison chaude, seule les températures maximales de la station de Rabat-Salé tendent vers la hausse ; aucune tendance significative n’est enregistrée pour les autres stations. Les stations du Bouregreg enregistrent plus d’évènements chauds que les stations du Tensift.

Généralement, les changements dans la variabilité d’un climat local peuvent être influencés par les changements de la circulation atmosphérique à large échelle. Le Maroc fait partie de la région méditerranéenne qui reste particulièrement sous l’effet de la NAO (North Atlantic Oscillation) et la MO (Mediterranean Oscillation). Khomsi et al. (2013) ont montré l’existence d’un lien statistique significatif entre l’évolution des épisodes chauds d’été et la MO sur les zones internes du Maroc. Une corrélation significative a été également trouvée entre la NAO et les épisodes chauds de Rabat-Salé.

En effet, au cours de la saison froide, la NAO est dans sa phase négative, les perturbations s’engouffrent vers le Nord Afrique, apportant ainsi des pluies sur la région. Les types de temps résultants peuvent adoucir le climat et diminuer la fréquence des épisodes chauds au Nord du Maroc. Alors qu’au cours de la saison chaude, la NAO est généralement en phase positive, une augmentation de cet indice renforce les vents d’Ouest sur l’Afrique du Nord. Ces vents devenant plus chauds suite à l’augmentation de la température de la surface de la mer affectent d’abord la station de Rabat-Salé située sur la trajectoire des mouvements cycloniques et puis, probablement, le Nord du pays dont fait partie le Bouregreg. Aussi, l’augmentation de l’indice MO provoque l’infiltration sur le pays, des masses d’air chaudes depuis la méditerranée. Ces infiltrations peuvent occasionner des épisodes chauds.

De toutes façons, la mesure dont les indices NAO et MO seront influencés par le réchauffement global reste, jusqu'à nos jours méconnue.

Cet article n'intègre pas les indices de circulation à l'échelle planétaire, toutefois il s'intéresse, dans le paragraphe qui suit à l'étude de l'importance des flux locaux anticycloniques dans l'occurrence des événements chauds très rares identifiés sur les deux zones d'étude.

3.3. IDENTIFICATION DES SITUATIONS SYNOPTIQUES ASSOCIEES CHAUDS TRES RARES D'UN JOUR EN 2009

Au cours de l'année 2009, les stations étudiées ont enregistré un total de 27 événements chauds très rares d'un jour. La distribution de ces événements par station et saison est présentée par le tableau 5.

Station	Saison froide	Saison chaude
Safi	2	3
Marrakech	6	5
Rabat Salé	2	3
Kasba Tadla	4	2

Tableau 5: Distribution des événements très rares d'un jour enregistrés en 2009 par station et saison

Du fait du caractère global des situations synoptiques de grande échelle, les stations étudiées sont souvent concernées par le même événement chaud. Le calcul de la fréquence des types de temps synoptiques (tableau 6) a été réalisé en éliminant les événements chauds redondants.

Type de temps	Fréquence	
	Saison Froide	Saison Chaude
Le régime d'Est de type Chergui	0	7
Le front quasi-stationnaire marocain	0	1
Le temps perturbé de SW	6	0
La cyclogenèse sur l'Est des Baléares	1	0

Tableau 6 : Fréquence des types de temps associés aux événements chauds très rares en 2009

Au cours de l'année 2009, les stations côtières ont enregistré le même nombre d'événements très rares d'un jour pendant les deux saisons (Tableau 5). La station de Marrakech a enregistré le maximum d'événements très rares pendant les deux saisons. Le régime d'Est de type Chergui, classé comme régime d'été par Calvet et Legoff(1977), est le régime synoptique responsable de la majorité des événements chauds très rares en 2009 pendant la saison chaude alors que le temps perturbé du sud-ouest, considéré comme régime d'été, en est le responsable pendant la saison froide.

4. CONCLUSION

Comme conséquences au changement climatique récent, l'IPCC prévoit une hausse très probable de la fréquence des événements extrêmes des températures et des vagues de chaleur. Cette

hausse peut probablement concerner le régime des températures des stations synoptiques du Maroc.

Ce papier présente une étude de l'évolution des températures maximales moyennes et des événements chauds rares et très rares sur quatre stations du réseau synoptique de la Direction de la Météorologie Nationale du Maroc. Ces stations appartiennent à deux bassins versants différents : Marrakech et Safi du bassin du Tensift et Kasba Tadla et Rabat-Salé du bassin du Bouregreg.

Ce travail est réalisé en utilisant une méthode d'échantillonnage basée sur les quantiles 95 % (pour les événements rares) et 99 % (pour les événements très rares) et appliquée sur les chroniques des températures maximales enregistrées par les stations de mesures étudiées. La nature et la fréquence des types des temps synoptiques associés aux événements très rares identifiés en 2009 sont également traitées.

Le test de Mann-Kendall qui sert à détecter les tendances montre une hausse des températures maximales moyennes dans le bassin du Tensift accompagnée d'une hausse des événements chauds rares d'un jour au cours de la saison froide. Les événements très rares ne présentent aucune tendance significative.

Pendant la saison chaude, les températures maximales moyennes de Rabat-Salé tendent à la hausse alors que celles des autres stations ne présentent aucune tendance significative. L'absence de tendance est également remarquée pour les événements rares des deux bassins versants. Les événements très rares de Kasba Tadla tendent à la hausse alors que ceux de Marrakech tendent à la baisse.

L'occurrence des événements très rares de trois jours ou plus n'est pas significative et aucune tendance n'est décelée sur les événements rares de trois jours au plus.

La comparaison entre la fréquence des événements rares et très rares, dans les bassins versants du Tensift et du Bouregreg entre 1983 et 2009 montre qu'en saison froide, les stations du Tensift enregistrent plus d'événements chauds rares et très rares alors que celles du Bouregreg en enregistrent plus au cours de la saison chaude.

Concernant les types de temps, « le régime d'Est de type Chergui » et « le temps perturbé de SW » sont les types de temps à l'origine de la majorité des événements très rares de la saison chaude et froide respectivement.

REFERENCES

- Agoumi, A. (2003). Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques: Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en oeuvre.
- Boudevillain, B., Argence, S., Claud, C., Ducrocq, V., Joly, B., Joly, A., et al. (2009). Cyclogenèses et précipitations intenses en région méditerranéenne : origines et caractéristiques. *La Météorologie*, 18-28.
- Calvet, C. & Legoff, Y. (1977). Classification des types de temps au Maroc.
- CID. (2004). Etude d'actualisation des ressources en eau de surface de la zone d'action de l'agence du bassin hydraulique du Tensift. Rabat.
- Driouech, F., Déqué, M. & Sánchez-Gómez, E. (2010). Weather regimes—Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation. *Global and Planetary Change*, 1-10.
- Gausson, H. & Bagnouls, F. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. Université de Toulouse, Faculté des Sciences.

- Gausсен, H. & Bagnouls, F. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Geogr*, 46 , 193-220.
- GIEC (1995). (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), Climate Change 1995 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Genève: GIEC, 1995.
- GIEC (2001). Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du Groupe Intergouvernemental EC. Publié sous la direction de J. McCarthy, O. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken et K.S. White. Genève, Suisse, 13-16 février 2001.
- Haylock, M.R. & Goodess, C. (2004). Interannual variability of european extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 759-776.
- IPCC (1990). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment [Houghton, J.T., G.J. Jenkins, and J.J. Ephraums (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 365 pp.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds)]. Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Joly, B., Nuissier, O., Ducrocq, V. & Joly, A. (2009). Mediterranean synoptic scale ingredients involved in heavy precipitations events triggering over southern France: a clustering approach.
- Khomsi, K., Mahe, G., Sinan, M., Snoussi, M. & Tramblay, Y. (en revision en 2013). Evolution of rare events of extreme temperature in Morocco and related synoptic weather types. Submitted to Regional Environmental Change.
- Knippertz, P., Christoph, M. & Speth, P. (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics* , 67-88.
- Li, Z., Fen-li, Z., Liu, W.-Z. & Flanagan, D. C. (2010). Spatial distribution and temporal trends of extreme temperature and precipitation events on the Loess Plateau of China during 1961-2007. *Quaternary International* , 92-100.
- Lubès-Niel, H., Masson, J. M., Paturel, J. E. & Servat, E. (1998). Variabilité climatique et statistiques: étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau* , 383-408.
- Marghich, A. & Kerchaoui, S. (2004). Le bassin versant du Bouregreg (Maroc central): Etudes hydrologique, hydrogéologique et hydrochimie des eaux. Fes.
- Nasrallah, H. A., Nieplova, E. & Ramadan, E. (2004). Warm season extreme temperature events in Kuwait. *Journal of Arid Environments* , 357-371.
- SigMed.(2009). Information about Bouregreg, Retrieved 06 12 2009, from SIGMED: http://armspark.msem.univ-montp2.fr/sigmed/index.asp?menu=doc_list