

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCTATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES

DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE de MAGISTER

Option : **Océanologie/Climatologie**

Présenté par : **AMIRAT Lydia**

Thème :

**Etude des variabilités climatiques sur la côte Algérienne :
incidence sur les températures de surface de la mer dans le bassin
algérien.**

Soutenue le 02 Juillet 2014

Président du Jury : Prof. Rachid SEMROUD

Examinatrice : Prof. Fouzia HOUMA-BACHARI

Examineur : Dr. Mokhtar GUERFI

Invité : M. Hocine DICHE (ONM)

Promotrice : Prof. Ferial LOUANCHI

Remerciements

Au cours de ce travail d'initiation à la recherche, j'ai pu bénéficier du soutien et de l'appui de nombreuses personnes que je tiens à remercier ici.

Je présente toute ma gratitude à ma promotrice Mlle Ferial LOUANCHI, pour la confiance qu'elle m'a accordé, pour la qualité de son encadrement et pour l'aide et le soutien sans faille qu'elle m'a apporté tout au long de cette thèse. J'ai été à la fois très heureuse et honorée d'avoir travaillé avec elle.

Je suis également reconnaissante à Monsieur Djamel BOUCHERF, directeur du Centre National de la Climatologie à l'Office Nationale de la Météorologie (ONM), pour sa précieuse aide en matière de données, d'apprentissage et de conseils dans le domaine de la climatologie.

Merci à toute l'équipe de l'ONM, particulièrement à Monsieur Hocine DICHE qui m'a permis de m'adapter rapidement.

Je remercie également l'ensemble des membres du jury qui ont bien voulu évaluer ce travail.

Sommaire

Résumé en français.....	I
Résumé en arabe.....	II
Résumé en anglais.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	VIII
Abréviations.....	IX

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I. Généralités.

I.1- Climat.....	2
------------------	---

I.2- Réchauffement climatique.....	2
------------------------------------	---

I.3- Variabilité naturelle du climat	3
--	---

I.3.1- L'oscillation nord-atlantique NAO.....	3
---	---

I.3.2- L'oscillation australe ENSO.....	5
---	---

I.4- Evénements climatiques extrêmes.....	8
---	---

I.4.1- Sécheresse, pluies intenses.....	9
---	---

I.4.2- Vague de chaleur, vague de froid.....	11
--	----

I.4.3- Lien entre réchauffement climatique et événements météorologiques extrêmes.....	11
---	----

I.5- Climat Algérie du Nord.....	13
----------------------------------	----

Chapitre II. Matériel et méthodes

Introduction.....	16
-------------------	----

II.1- Matériel.....	16
---------------------	----

II.1.1- Choix et localisation des stations.....	16
---	----

II.1.2- Données utilisées.....	17
--------------------------------	----

II.1.2.1- Précipitations et températures.....	17
II.1.2.2- Anomalies du climat (NAO, ENSO et réchauffement global).....	18
II.1.2.3- Température de surface de la mer (SST).....	18
II.2- Méthodes de calculs.....	19
- Calculs utilisés pour la pluviométrie.....	19
- Calculs utilisés pour la Température.....	19
- Calcul des écarts types.....	20
- Calcul de l'amplitude de la température (ΔT).....	20
- Calcul des anomalies.....	20
- Régressions et corrélations linéaires.....	24
- Test de significativité.....	24
 Chapitre III. Résultats et discussion.	
III.1. Climat de la bordure côtière algérienne et son évolution.....	26
III.1.1- Evolution des moyennes climatiques.....	26
III.1.2- Type de climat de la bordure côtière algérienne.....	28
III.2- Variabilité interannuelle et décennale.....	30
III.3- Relations entre anomalies du climat de la côte algérienne avec les indices globaux du climat.....	61
III.3.1- Réchauffement climatique.....	61
III.3.2- L'oscillation Nord Atlantique NAO.....	65
III.3.3. L'oscillation Australe ENSO.....	66
III.4- Température de surface de la mer (SST).....	69
Conclusion.....	78
Références bibliographiques.....	80
Annexes.....	88

Résumé

Dans le contexte du changement climatique, il est nécessaire d'affiner les informations relatives à l'évolution du climat dans un pays, susceptible d'être négativement impacté par le réchauffement global, comme l'Algérie.

La première partie de ce travail concerne l'étude des tendances et évolutions observées sur le climat Côtier Algérien à travers un certain nombre d'indices climatiques. Outre la forte variabilité interannuelle, saisonnière et mensuelle des précipitations et des températures depuis le début des années 1970, la distribution des précipitations et des températures sur les stations côtières algériennes ont bien connu un changement au cours de la période 1950-2010. Ce changement, consistant en une évolution vers des conditions plus sèches et plus chaudes, a coïncidé avec une augmentation des températures du réchauffement global. Nous avons pu déterminer la dépendance des variabilités climatiques de la côte algérienne avec les variabilités globales du climat telles que l'oscillation Nord Atlantique, NAO ou le phénomène El-Niño/Oscillation Australe (ENSO). Cependant, les relations directes de cause à effet sont relativement faibles.

La deuxième partie de ce travail, porte sur les variations de température de surface de la mer (SST) dans le bassin algérien sur la période 1950-1999 et leurs relations éventuelles à l'indice de réchauffement global. Notre étude a permis de mettre en évidence que selon la zone du bassin algérien (est – centre ou ouest) et selon la saison, les tendances observées ne sont pas les mêmes. Ainsi le réchauffement des eaux de surface est observé en hiver et au printemps. Cette tendance au réchauffement est reliée de façon significative aux indices du réchauffement global.

Mots clés : changement climatique, climat Algérie, pluviométrie, température, réchauffement global, NAO, ENSO, SST, bassin Algérien.

ملخص

في اطار ظاهرة التغير المناخي, من الضروري اثبات المعلومات المتعلقة بالتطورات المناخية لبلد معرض للتأثيرات السلبية لظاهرة الاحتباس الحراري مثل الجزائر.

الجزء الاول من هذا البحث يتعلق بدراسة الاتجاهات والتطورات الملاحظة على مستوى مناخ الساحل الجزائري من خلال عدد من المؤشرات المناخية.

اضافة الى التقلبات الموسمية و الشهرية لهطول الامطار ودرجات الحرارة في بداية السبعينات, توزيع هطول الامطار ودرجات الحرارة على المحطات الساحلية الجزائرية قد عرف تغييرا خلال الفترة ما بين 1950 و2010.

لقد تزامن هذا التغيير المتمثل في التطور الى ظروف أكثر جفافا ودفء مع ارتفاع في درجات الحرارة العالمية.

اثبتت تحاليل التغيرات الجوية مثل NAO و ENSO بان تكوين ال NAO لا يؤثر على نظام هطول الأمطار ودرجات الحرارة على المحطات الساحلية الجزائرية وان تكوين ال ENSO لا يفسر الا نسبة ضئيلة من التقلبات.

اما الجزء الثاني, من خلال تحليل الاتجاهات الحرارية لظاهرة الاحتباس الحراري والاتجاهات الحرارية التابعة للحوض الجزائري, فقد تبين عن وجود علاقة وثيقة بين هذين الميزتين بصفة مباشرة مع التأثيرات المرصودة على البيئة البحرية, بما في ذلك الكائنات البحرية.

كلمات البحث: تغير المناخ, مناخ الجزائر, هطول الأمطار, درجة الحرارة, الاحترار العالمي, NAO, ENSO, SST, الحوض الجزائري.

Abstract

In the context of climate change, it's appropriate to refine the information about climate change in a country, which can have negatives impacts like Algeria.

The first part of this research affects the study of climate evolution and trends of coastal Algerian climate through climate index. Beyond the high annual and seasonal and monthly variability of precipitations and temperatures since the last decades (1970), the distribution of precipitations and temperatures in the Algerian coastal stations changed between 1950 and 2010. This change consists on a climate more dry and warm and it coincides with the increasing of global warming. The analysis of atmospheric variations like NAO and ENSO allowed confirming that the configuration of NAO and ENSO hadn't a high influence on the precipitations and temperature system of Algerian coastal stations.

The second part of this research are the analysis of global warming thermic trends (SST) in the Algerian basin between 1950-1999 and their relations with the global warming index; this study showed that in the Algerian basin according to the area (east, center or west) and according to the season, observed trends are not the same for the seasons. These trends are in relation with global warming.

Key-Words: climate change, Algerian climate, pluviometry, temperature, global warming, NAO, ENSO, SST, Algerian basin.

Liste des figures

Figure 1 :	Représentation schématique de la circulation géostrophique associée à la NAO (Cassou, 2004)	04
Figure 2 :	Schéma récapitulatif des deux phases de l'Oscillation Nord Atlantique (Cassou, 2004)	04
Figure 3 :	Zones de l'oscillation Australe ENSO (Bourrel et al., 2011)	06
Figure 4 :	L'oscillation australe dans des conditions normales, El Niño et La Nina	07
Figure 5 :	Anomalies climatiques observées en 2008	10
Figure 6 :	Distribution des tendances linéaires dans le volume des précipitations annuelles entre 1901 et 2005 et tendances mondiales linéaires de températures entre 1979 et 2005 (IPCC, 2007)	12
Figure 7 :	Influence des changements climatiques sur la fréquence des évènements extrêmes (OCCC, 2003)	13
Figure 8 :	Répartition spatiale des précipitations (mm) sur le Nord de l'Algérie entre 1942 à 2004 (Medjrab, 2005)	14
Figure 9 :	Répartition spatiale de la température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie (Boucherf, 2010)	15
Figure 10 :	Localisation des stations	16
Figure 11 :	Division de la zone d'étude en grilles régulières (Boudjakdji, 2008)	18
Figure 12 :	Moyennes climatiques de janvier à décembre de températures (C°) à : (a) Annaba, (c) Alger et (e) Oran et de pluviométrie (mm) à : (b) Annaba, (d) Alger et (f) Oran	27
Figure 13 :	Moyennes climatiques de janvier à décembre de températures (C°) à : (a) Béjaïa et (c) Béni-Saf et de pluviométrie (mm) à : (b) Béjaïa et (d) Béni-Saf	28
Figure 14:	Distribution temporelle des températures moyennes annuelles (C°) et des pluies annuelles (mm) aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f)	31
Figure 15 :	Distribution temporelle des températures moyennes annuelles (C°) et des pluies annuelles (mm) aux stations de Béjaïa (a et b) et de	32

Béni-Saf (c et d)

- Figure 16 :** Anomalies des températures et des précipitations annuelles par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2012 33
- Figure 17 :** Les anomalies (ITS) les plus chaudes et les plus froides à Annaba (a), Béjaïa (b), Alger (c), Oran (d) et Béni-Saf (e) 34
- Figure 18 :** Les anomalies (IPS) les plus humides et les plus sèches à Annaba (a), Béjaïa (b), Alger (c), Oran (d) et Béni-Saf (e) 35
- Figure 19 :** ITS et IPS de la saison DJF à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatologique 1950-1980 38
- Figure 20 :** ITS et IPS de la saison MAM à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 39
- Figure 21 :** ITS et IPS de la saison JJA à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 40
- Figure 22 :** ITS et IPS de la saison SON à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatique 1950-1980. 41
- Figure 23 :** ITS et IPS des mois de janvier par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010 50
- Figure 24 :** ITS et IPS des mois de février par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010. 51
- Figure 25 :** . ITS et IPS des mois de mars par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010. 52
- Figure 26 :** . ITS et IPS des mois d'avril par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010. 53

Figure 27 : ITS et IPS des mois de mai par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.	54
Figure 28 : ITS des mois de juin par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a), Alger (b) et Oran (c) entre 1950 et 2010.	55
Figure 29 : ITS des mois de juillet par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a), Alger (b) et Oran (c) entre 1950 et 2010.	55
Figure 30 : ITS des mois d'aout par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a), Alger (b) et Oran (c) entre 1950 et 2010.	56
Figure 31: . ITS et IPS des mois de septembre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.	57
Figure 32 : ITS et IPS des mois d'octobre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.	58
Figure 33 : ITS et IPS des mois de novembre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.	59
Figure 34 : ITS et IPS des mois de décembre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.	60
Figure 35 : Indice de réchauffement global de l'air	62
Figure 36 : ITS et IPS à Annaba (a), Béjaïa (b), Alger (c), Oran(d) et Béni-Saf (e) entre 1950 et 2010	64
Figure 37 : Indices de la NAO moyennés sur les mois d'hiver de 1950 à 2010	65
Figure 38 : MEI (Multivariate ENSO Index) de 1950 à 2010	67
Figure 39 : Températures de surface de la mer dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c) pendant les saisons DJF, MAM, JJA et SON	71
Figure 40 : ITS de surface de la mer en DJF des bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c)	72

Figure 41 : ITS de surface de la mer en MAM dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c)	73
Figure 42 : ITS de surface de la mer en JJA dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c)	74
Figure 43 : ITS de surface de la mer en SON dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c)	75
Figure 44 : ΔT (C°) des trois régions Est (a), Centre (b) et Ouest (c) avec leurs courbe tendance.	77

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Localisation des stations	17
Tableau 2 :	Période d'étude	17
Tableau 3 :	Classes de sévérité (Mckee et <i>al.</i> , 1993)	22
Tableau 4 :	Indices de De Martonne	23
Tableau 5 :	Types de climats, selon l'indice d'aridité de De Martonne, au niveau des stations d'Annaba, Alger et Oran durant les décennies 1950-1960, 1960-1970, 1970-1980, 1980-1990, 1990-2010 et 1950-2010	29
Tableau 6 :	Types de climats, selon l'indice d'aridité de De Martonne, à Bejaïa durant les décennies 1968-1977, 1978-1987, 1988-1997, 1998-2002 et 1968-2002	29
Tableau 7 :	Types de climats, selon l'indice d'aridité de De Martonne, à Béni-Saf durant les décennies 1976-1985, 1986-1995, 1996-2002 et 1976-2002	29
Tableau 8 :	Coefficients de corrélation du réchauffement global sur les stations de la côte algérienne.	63
Tableau 9 :	Coefficients de corrélation de la NAO sur les stations de la côte algérienne	66
Tableau 10 :	Coefficients de corrélation d'ENSO sur les stations de la côte algérienne	68
Tableau 11 :	Coefficients de corrélation du réchauffement global sur les bassins de la côte algérienne	70
Tableau 12 :	Coefficients de Corrélation entre les anomalies de la SST (SSTA) et les indices de la NAO.	76
Tableau 13 :	Coefficients de Corrélation entre les anomalies de la SST (SSTA) et les indices d'ENSO.	76

Abréviations

DGE : Direction Générale de l'Environnement.

DJF : Décembre-Janvier-Février.

ENSO : Oscillation Australe.

GIEC : Groupe d'Experts Inter-Gouvernemental sur les Changements Climatiques.

GES : Gaz à Effet de Serre.

IPS : Indice des Précipitations Standardisé.

ITS : Indice des Températures Standardisé.

JJA : Juin-Juillet-Aout.

MAM : Mars-Avril-Mai.

MEI: Multivariate ENSO Index.

NAO : Oscillation Nord Atlantique.

NAO⁻ : Phase négative de l'Oscillation Nord Atlantique.

NAO⁺ : Phase positive de l'Oscillation Nord Atlantique.

NAO_I : Indice de l'Oscillation Nord Atlantique.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration.

OCCC : Organe Consultatif pour les Changements Climatiques.

OMM : Organisation Météorologique Mondiale.

ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique.

ONM : Office Nationale de la Météorologie.

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement.

SO_I : Indice de l'Oscillation Australe.

SON : Septembre-Octobre-Novembre.

SST : Sea Surface Température.

SSTA : Sea Surface Temperature Anomalies.

WWF : World Wild Life Fund.

Introduction

Introduction

Prévoir la variabilité du climat est un défi pour les climatologues. Or détecter si des événements rares sont en train de devenir plus fréquents et plus intenses est intrinsèquement compliqué car pour qu'une statistique soit significative, elle doit en effet reposer sur une longue série de données (Goubanova, 2007).

C'est au niveau des températures que le signal le plus probant existe. On assiste ainsi, depuis 1950, à la fois à un accroissement de fréquence des épisodes les plus chauds et à un allongement de la durée des vagues de chaleur. En ce qui concerne les précipitations, depuis les années 1950, il y a un accroissement des pluies les plus intenses (Beniston et *al.*, 2004).

Du fait de l'appartenance de l'Algérie au bassin Méditerranéen ; la rend très vulnérable au changement climatique. La question est difficile : quel sera le nouveau régime des précipitations, la nouvelle répartition annuelle des températures (Benabadji et *al.*, 200).

Il y'a donc un risque réel d'amplification de phénomènes tels que les vagues de chaleurs, les inondations, la sécheresse, les vagues de froid et les crues. C'est pour cette raison que leur étude est nécessaire à plusieurs titres. Il s'agit en effet d'être en mesure de s'adapter aux évolutions multi-échelles des nombreux paramètres et phénomènes climatiques, mais aussi de les mettre en relation avec les nombreux domaines avec lesquels ils interagissent (Boucherf, 2010).

Afin de contribuer à l'affinement des connaissances relatives aux variabilités climatiques et leurs extrême en Algérie ; il est important de décrypter leurs variations en fréquence et en intensité, notamment l'aspect pluviométrique et thermique et de voir s'il y a effectivement une tendance liée au réchauffement climatique.

Les objectifs de ce travail sont :

- L'analyse de la variabilité du climat de certains sites côtiers (interannuel et décennal) et leur lien avec le climat global et ses anomalies comme la NAO et ENSO,
- L'analyse des événements extrêmes des sites du nord de l'Algérie (vagues de chaleur, vagues de froid, précipitations intenses) et leurs classification,
- L'analyse des éventuels liens existant entre les indices thermiques du réchauffement global et les variations de températures de surface de la mer.

Chapitre I.
Généralités

Chapitre I. Généralités.

I.1- Climat

Le climat, par définition est la suite des états de l'atmosphère dans leurs successions habituelles. Les propriétés qui caractérisent le climat sont thermiques (température de l'air, de la mer, des continents et des régions gelées), cinétiques (vents et courants océaniques, associés aux mouvements verticaux) (National Research Council, 1975 in Boucherf, 2010).

La référence à l'état stable est appelé normale climatologique ou moyenne climatique (Frich, 2002) et les variations autour de cet état stable sont appelées les anomalies climatiques, déterminant la variabilité du climat en un lieu donné (Goubanova, 2007).

La variabilité climatique prend en considération les échanges de chaleur et d'humidité avec la surface, température, humidité et vent de la basse atmosphère. Par conséquent, dans les études climatiques, il est nécessaire de considérer non seulement les effets des facteurs internes et de leur évolution mais également les interactions complexes entre l'atmosphère, les différents réservoirs et les facteurs externes (Frich, 2002).

I.2- Réchauffement climatique

L'homme a toujours su s'adapter, par l'exploitation des ressources naturelles desquelles il tire de l'énergie et se nourrit. Par ses activités, il altère la composition chimique de l'atmosphère, en rejetant de façons croissante et ininterrompue des gaz à effet de serre (GES). Ces gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O), naturellement présents dans l'atmosphère, contribuant à retenir la chaleur (Goubanova, 2007) et permettant ainsi à la planète de se maintenir à une température moyenne de 15°C. Sans eux, elle avoisinerait les -18°C et rendrait impossible toute forme de vie. C'est l'effet de serre " naturel " (GIEC, 2007).

L'augmentation de la concentration des gaz à effets de serre est largement attribuable aux activités humaines (tel que l'emploi de combustibles fossiles, l'agriculture...) et occasionne un réchauffement de l'atmosphère et de la surface terrestre (Frei et *al.*, 2001), ce qui provoque un déséquilibre du bilan énergétique terrestre, avec un chauffage additionnel de 2,65 W/m² (forçage positif) (Goubanova, 2007). La rupture de cet équilibre a eu lieu vers la moitié des années 1990 (Alexandersson et *al.*, 2000 in Mattulla et *al.*, 2007).

I.3- Variabilité naturelle du climat

I.3.1- L'oscillation nord-atlantique NAO

Aux latitudes moyennes et hautes de l'hémisphère Nord, en particulier pendant la saison froide (de novembre à avril), il existe un régime prédominant et récurrent de la variabilité atmosphérique ; il s'agit de l'oscillation nord-atlantique (NAO) (OMM, 2007).

L'oscillation nord atlantique est une redistribution de masse dans l'atmosphère alimentée par une différence de pression entre une zone de basse pression centrée sur l'Islande (dépression) et une zone de haute pression située à proximité des Açores (anticyclone) (WWF, 2000).

L'organisation météorologique mondiale a défini un indice (NAOI) normalisé conçu pour donner des informations quantitatives concernant la variabilité de cette oscillation sur diverses échelles temporelles. Le calcul de cet indice s'appuie sur la différence de la pression de l'air en surface entre les Açores et l'Islande (Hurrell, 2003) (figure 1). L'oscillation est en phase positive lorsque l'indice est positif, et inversement (OMM, 2007). On parle de phase positive de l'oscillation nord atlantique (NAO^+) quand les deux centres d'action sont simultanément intensifiés (différence de pression maximale) et de phase négative (NAO^-) lorsqu'ils sont simultanément affaiblis (anticyclone des Açores et dépression islandaise faible) (Cassou, 2004). Un indice NAO positif se manifeste par des vents forts et rapides d'ouest-sud-ouest balayant l'océan Atlantique (Meddi et *al.*, 2009); l'Europe du Nord est généralement soumise à des conditions chaudes, humides et venteuses, et l'Europe du Sud et le bassin méditerranéen ainsi que l'Afrique du Nord connaissent un régime sec et calme (OMM, 2007).

Par contre un indice NAO négatif, a des effets inverses. Avec une différence de pression réduite entre le Portugal et l'Islande, des vents d'ouest faibles et des perturbations qui passent plus au sud, apportant des pluies sur les régions méditerranéennes (figure 2) (Meddi et *al.*, 2009).

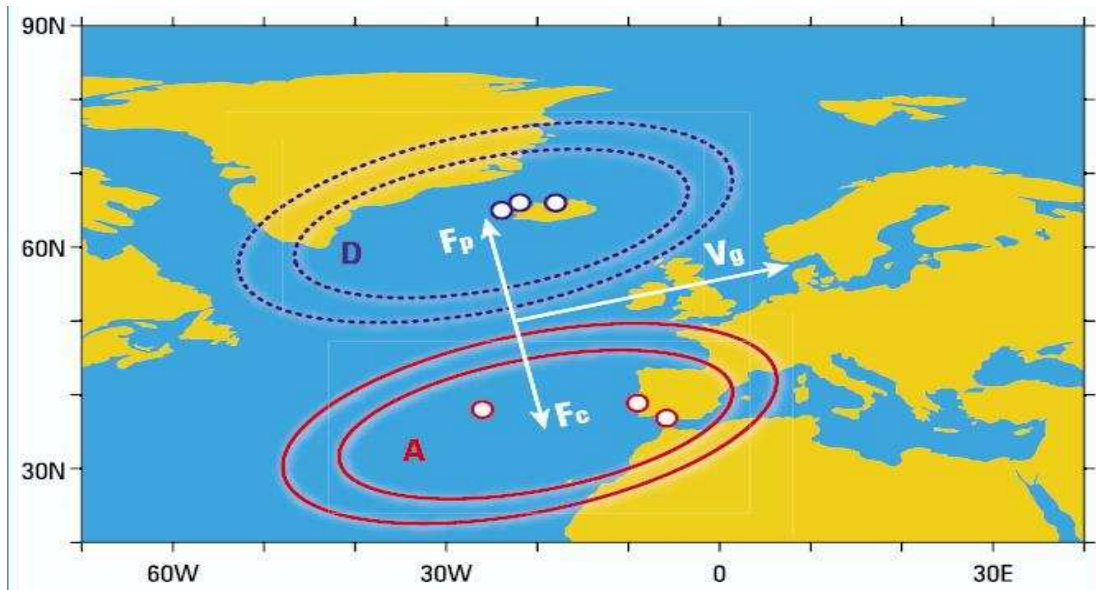


Figure 1. Représentation schématisée de la circulation géostrophique associée à la NAO. F_p désigne la force de pression, F_c la force de Coriolis et V_g le vent géostrophique parallèle aux lignes isohypses (hausse de la pression en trait plein rouge, chute de la pression en trait pointillé bleu). Les sites classiques pour le calcul de l'indice NAO sont repérés par des points de couleur (rouge pour les Açores, bleu pour l'Islande) (Cassou, 2004).

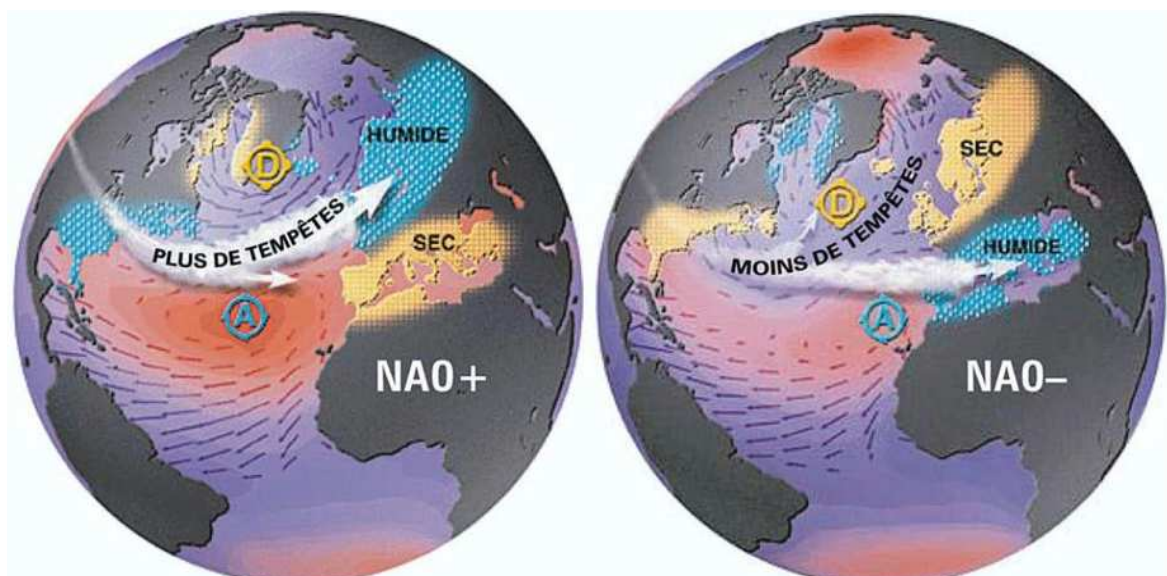


Figure 2. Récapitulatif des deux phases de l'oscillation nord-atlantique (NAO) (Cassou, 2004).

I.3.2- L'oscillation australe (ENSO)

A l'origine, le terme El Niño désignait un courant côtier chaud, présent le long des côtes du Pérou et du Chili au mois du décembre vers Noël (d'où El Niño- L'Enfant Jésus) et qui apportait des poissons "miraculeux" aux formes et couleurs inhabituelles dans ces régions aux eaux côtières plutôt froides. Tous les deux à sept ans, ce courant chaud persistait plusieurs mois avec pour conséquence la rupture de la chaîne alimentaire côtière et la mort ou la migration de nombreuses espèces de poissons (Boulanger, 2001). De plus, ce réchauffement affecte grandement les intempéries locales (Edward, 2004).

Le phénomène El Niño/Oscillation Australe (ENSO) est le mode de variabilité climatique majeur des Tropiques de par la taille du bassin Pacifique où il se développe et ses impacts tropicaux et extratropicaux (Ropelewski et Halpert, 1987) ; il s'agit d'un mode couplé océan (El Niño)-atmosphère (Boulanger, 2001).

Le terme Oscillation Australe a été introduit par Walker (1923) in Boulanger (2001) pour décrire la renverse du système des hautes et basses pressions couvrant le bassin Pacifique à l'échelle pluriannuelle (Boulanger, 2001).

L'Indice d'Oscillation Australe SOI (Southern Oscillation Index), représente la différence des anomalies de pression entre Tahiti (Polynésie française) et Darwin (Australie) (Boulanger, 2001) ; Les autres indices qui caractérisent l'ENSO sont ceux qui mesurent les anomalies de température de la surface de l'Océan (connus comme SST) ; ces indices sont mesurés dans différentes régions de l'Océan Pacifique équatorial (figure 3) :

Niño 1+2 (0-10°S) (90°W-80°W),

Niño 3 (5°N-5°S) (150°W-90°W),

Niño 4 (5°N-5°S) (160°E-150°W),

Niño 3, 4 (5°N-5°S) (170°W-120°W) (Bustamante, 2009).



Figure 3. Zones ENSO (NOAA, 2011)

Le phénomène ENSO se décompose en deux phases: la phase négative dite El Niño est un évènement chaud tandis que la phase positive dite La Niña est un évènement froid (Ropelewski et Halpert, 1996) (figure 4).

En conditions normales, les Alizés soufflent sur le Pacifique équatorial provoquant un upwelling (remontée des eaux froides de sub-surface vers la surface) le long de l'équateur, la thermocline se rapproche de la surface et refroidit ainsi les eaux de surface. De plus, ces vents d'Est repoussent les eaux chaudes dans le Pacifique ouest qui est le siège d'une intense activité convective. Alors que l'air chaud et humide s'élève, il perd peu à peu son humidité et sa chaleur et est entraîné en altitude par des vents d'Ouest. Puis il subside dans le Pacifique Est et les régions sèches adjacentes d'Amérique du Sud. Cette circulation atmosphérique est dite cellule de Walker (Boulangier, 2001) (figure 4).

En période El Niño, les eaux chaudes du Pacifique Ouest s'étendent à travers l'ensemble du bassin équatorial, entraînant avec elles les régions de convection. L'évènement atteint un pic d'amplitude en général au mois de décembre puis décroît peu à peu. Il peut être suivi parfois d'un épisode La Niña dont les caractéristiques sont principalement celles d'un renforcement du cycle saisonnier avec une intensification des Alizés et une langue d'eau froide équatoriale pénétrant plus à l'Ouest de sa position normale (Boulangier, 2001) (figure 7).

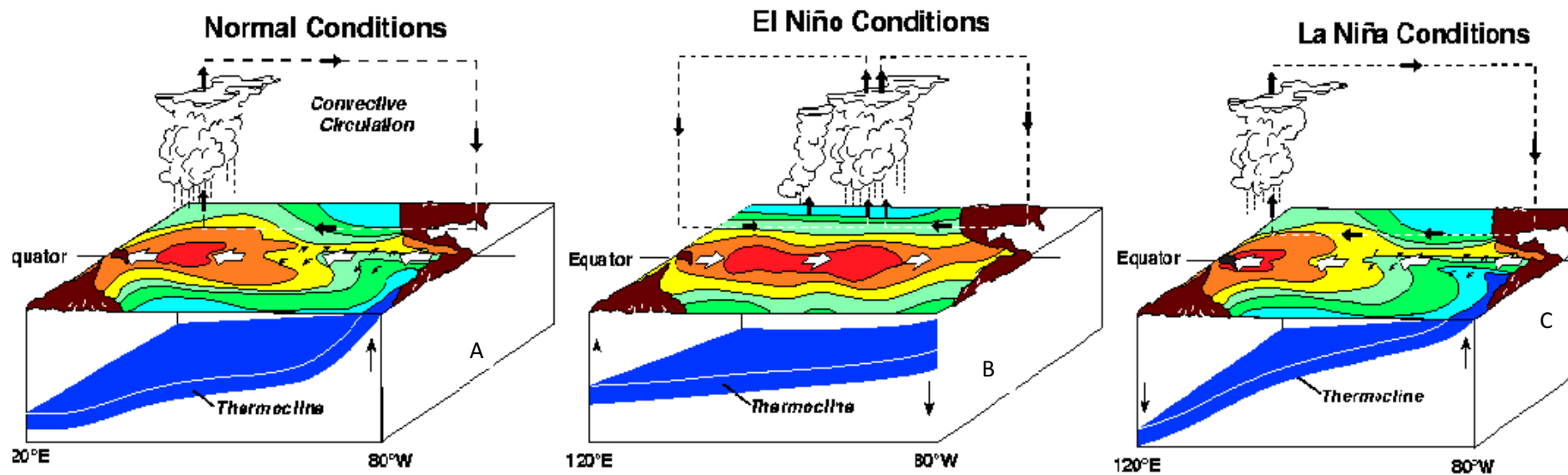


Figure 4. L'oscillation australe dans toutes ses conditions. (a) : les conditions normales « Circulation convective de Walker ». (b) : el niño La diminution des alizés perturbe le cycle de Walker et laisse l'eau chaude se répandre plus à l'Est. (c) : La Niña : renforcement des vents étire la zone couverte par la circulation de Walker et la renforce (<http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino-home.html#>).

I.4- Evénements climatiques extrêmes

Les variations du climat en un lieu donné sont appelées « anomalies climatiques » (Goubanova, 2007). Ces anomalies climatiques qui ont lieu au cours d'une année (comme par exemple en 2008 (Figure 5)), montrent des types d'événements variés sur toute la surface de la Terre : sécheresses, inondations, canicules, tempêtes, vagues de froid et de chaleur, pluies intenses, chutes de neige... (Goubanova, 2007).

Il y a deux types d'événements : les événements de grande échelle comme les vagues de chaleur, les fortes précipitations ou les sécheresses qui concernent de vastes régions sur une longue durée, et les événements plus localisés et relativement brefs, comme les tempêtes, les cyclones tropicaux et les orages (ONERC, 2005).

Tous ces différents types d'événements climatiques peuvent représenter des écarts importants à la normale climatologique, et être qualifiés comme extrêmes (OCCC, 2003).

D'après Beniston et Stephenson (2004) la définition des événements climatiques extrêmes, repose sur 3 différentes notions qui sont :

- la rareté du phénomène, il faut alors raisonner en termes de fréquence d'occurrence de l'événement ;

- l'intensité du phénomène, On doit alors raisonner en termes de dépassement de certains seuils ;

- l'impact que peut avoir ce phénomène en s'appuyant sur les dégâts socio-économiques qu'il peut engendrer.

Roy (2009) suggère un quatrième paramètre qui est :

- La durée du phénomène : ex. les inondations, sécheresses ou vagues de chaleur/froid.

D'après le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2007) : « Un phénomène climatique extrême est un phénomène qui est rare dans le cadre de sa distribution de référence statistique à un endroit spécifique. Les définitions de « rare » varient, mais un phénomène climatique extrême serait normalement aussi rare ou plus rare que le 10^{ème} ou 90^{ème} percentile ».

I.4.1- Sécheresse, pluies intenses

Selon Hushke (1959), du point de vue météorologique, la sécheresse est une longue période extrêmement sèche, pendant laquelle le manque d'eau perturbe gravement l'équilibre hydrologique d'une région. Il s'agit donc d'un déficit marqué ou une faible distribution des précipitations par rapport à la normale climatique (Khaldi, 2005).

Ces définitions soulignent trois caractéristiques:

- Absence de pluies ou de l'humidité.
- L'anormalité du déficit (par rapport à des valeurs statistiques de références : Moyennes, Normales, Médianes....)
- La durée prolongée de ce déficit.

Selon Groisman et al (2005), un évènement pluvieux est un évènement intense lorsque son intensité est supérieure de 1 % à la normale ou la moyenne climatique et il est très intense lorsqu'il est supérieure de 10% à la moyenne ou la normale climatique.



Significant Climate Anomalies and Events in 2008

Average global temperature 8th warmest on record. Increase in global temperature approximately 0.5°C since 1880.

Figure 5. Anomalies climatiques les plus significatives observées en 2008
(<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2008/ann/ann08.html>)

I.4.2- Vague de chaleur, vague de froid

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), une vague de chaleur est « un réchauffement important de l'air ou une invasion d'air très chaud sur un vaste territoire généralement de quelques jours à quelques semaines, sans pour autant y associer de seuils spécifique en raison de la grande diversité des climats locaux (Bessemoulin et *al.*, 2004).

Une vague de froid est une chute brutale des températures avec une invasion d'air glacial dans un endroit donné pendant une période d'au moins 5 jours où les températures sont largement en dessous des normales pour un lieu donné (Bessemoulin et *al.*, 2004).

I.4.3- Lien entre réchauffement climatique et événements météorologiques extrêmes

La question revient toujours à savoir s'il y a un lien entre les événements extrêmes et les changements climatiques. Les événements extrêmes sont-ils devenus plus fréquents et/ou plus intenses en raison des changements climatiques?

Alexandersson et *al* (2000), Groisman et *al* (2005), Webster et *al* (2005) et Alexander et *al* (2006), constatent que l'évolution du climat au cours des cinquante dernières années est marquée par un réchauffement exceptionnel, a été accompagnée par des changements dans les différents types de phénomènes extrêmes (figure 6). Les changements principaux peuvent être résumés ainsi :

- Augmentation du nombre des vagues de chaleur et des nuits chaudes ;
- Augmentation de l'étendue des régions affectées par des sécheresses ;
- Augmentation de l'intensité et de la durée des tempêtes tropicales depuis 1970 ;
- Variations de la circulation atmosphérique, en particulier de la NAO ;
- Augmentation du nombre d'événements de précipitations intenses aux latitudes moyennes.

Il semblerait que la fréquence et l'intensité des événements extrêmes puissent réagir de façon particulièrement sensible au réchauffement global (Fellous et *al.*, 2007), mais la compréhension des processus physiques ne permet pas pour le moment de déterminer si un événement extrême est provoqué par un facteur spécifique (Goubanova, 2007), et ceux pour deux raisons :

- les événements extrêmes sont généralement dus à une combinaison de facteurs,
- de nombreux événements extrêmes se produisent couramment, même lorsque le climat ne change pas (GIEC, 2007).

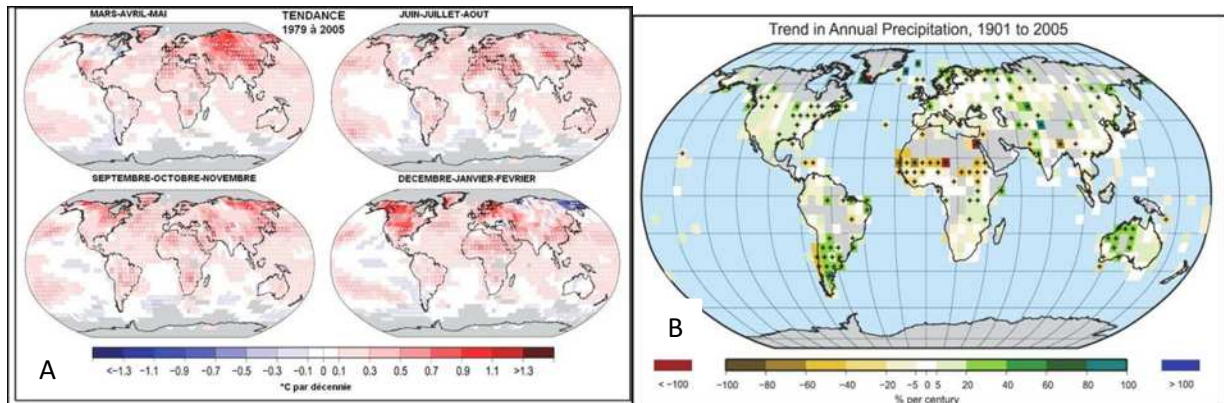


Figure 6. (A) : Tendances mondiales linéaires de températures au cours de la période 1979-2005 par saison estimées à la surface. (B) : Distribution des tendances linéaires dans le volume des précipitations annuelles sur les terres dans la période 1901-2005 (% par siècle). Les zones grisées indiquent qu'une insuffisance de données empêche de donner une tendance fiable. Le gris indique les secteurs où les données sont incomplètes (GIEC, 2007).

L'augmentation de la température favorise l'évaporation de l'eau, ce qui fournit davantage de chaleur latente dans l'atmosphère (Goubanova, 2007). Cette chaleur atmosphérique ou océanique, constitue un stock d'énergie qui se libère au cours des phénomènes violents (Jouzel et *al.*, 2004). Cette énergie pourrait donc, d'une part agir sur la dynamique des systèmes météorologiques tels que les zones de basse pression (Lambert et *al.*, 2006). D'autre part, cette situation peut donner naissance à de fortes rétroactions sur le cycle hydrologique (Allen et *al.*, 2002). Dans le cadre de ces raisonnements physiques très simples, il y a donc quelques raisons de supposer que le régime des événements extrêmes puisse changer (Goubanova, 2007).

Deuxièmement, certains effets statistiques font que les changements climatiques pourraient se manifester de façon plus prononcée dans la fréquence des extrêmes que dans les événements météorologiques "normaux" (OCCC, 2003) (figure 7).

Les effets de ce déplacement sur la fréquence des événements extrêmes sont particulièrement prononcés: il fait beaucoup plus souvent extrêmement chaud et beaucoup plus rarement extrêmement froid. Les changements relatifs sont peu perceptibles pour les températures se situant dans la moyenne (OCCC, 2003).

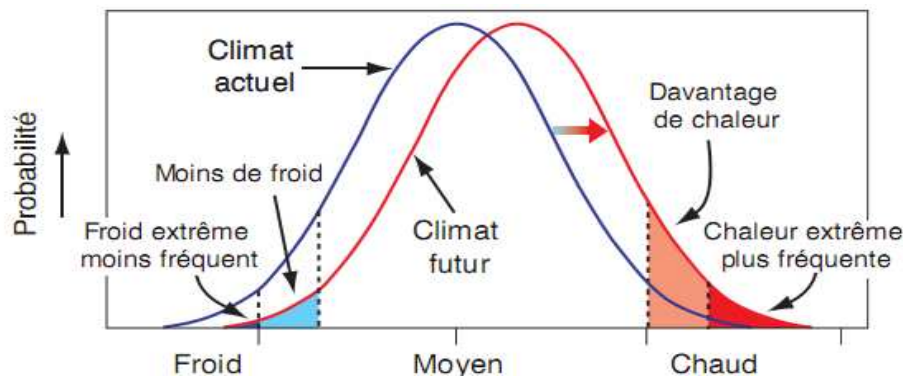


Figure 7. Influence possible des changements climatiques sur la fréquence d'événements extrêmes dans le cas des extrêmes de températures. La courbe bleue est la distribution statistique des températures actuelles. Les températures sont souvent dans la moyenne; il fait rarement extrêmement froid (surface bleue sous la courbe) ou extrêmement chaud (surface rouge sous la courbe). Avec les changements climatiques, la distribution de la température pourrait se décaler vers les températures plus hautes (courbe rouge). (OCCC, 2003)

Le réchauffement de la surface terrestre devrait donc accentuer ces phénomènes. Aux USA le nombre de jours de très fortes précipitations a augmenté de 20%. Une augmentation importante est également perceptible sur l'Europe. Cette tendance a même été constatée dans des régions qui globalement s'assèchent : Italie, Afrique du Sud, le centre du Mexique, Sibérie, Japon et Russie (Jouzel et *al.*, 2004, Easterling et *al.*, 2000; Groisman et *al.*, 1999; Iwashima et *al.*, 1993).

I.5- Climat de l'Algérie du Nord

En Algérie comme en tout point habité de la Terre, le climat modèle le mode de vie des populations et des cultures. Les auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat Nord Algérien au climat méditerranéen (Benabadji et *al.*, 2000) sous l'influence conjuguée de la mer, du relief et de la latitude (Seltzer, 1946).

La partie nord de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen qui est un climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale avec un hiver relativement froid et pluvieux, allant en moyenne de septembre à mai et un été chaud et sec (Benabadji et *al.*, 2000). La pluviométrie annuelle atteint 400 mm à l'ouest, 700 mm au centre et 1 000 mm à l'est pour le littoral (figure 8) (Meddi et *al.*, 2009, 2001, 2002) et un été très chaud et très sec, tempéré seulement en bordure de mer (Benabadji et *al.*, 2000).

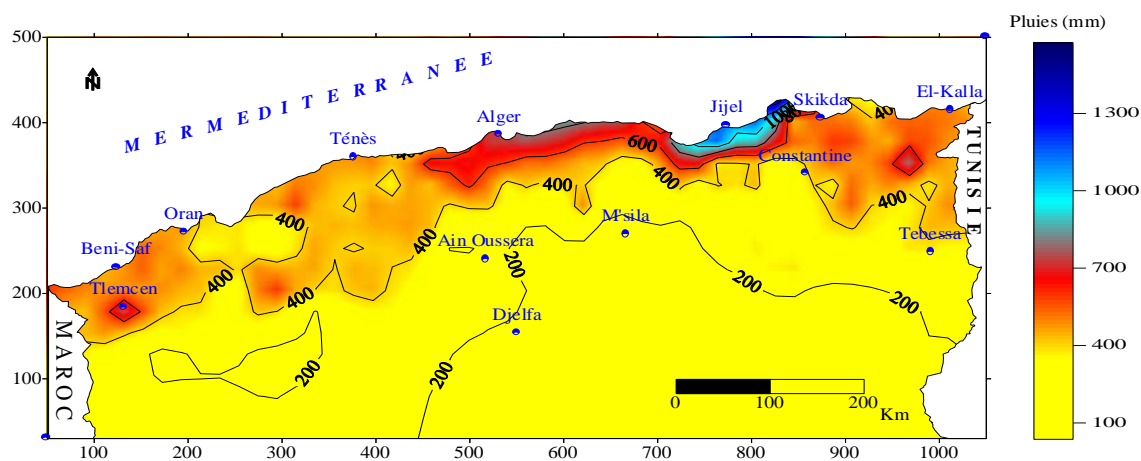


Figure 8. Répartition spatiale des précipitations (mm) sur le Nord de l'Algérie (1942-2004) (Medjrab, 2005).

Le caractère aride et semi-aride du pays s'explique en grande partie par le climat à travers la circulation générale atmosphérique, les grands ensembles géographiques du pays et la latitude. La position et intensité de la circulation générale de l'atmosphère est caractérisée en surface par l'Anticyclone de Sibérie, des Açores, et la dépression d'Islande et en altitude par des courants de vents forts (Jet Front Polaire et Jet Subtropical) (Boucherf, 2008).

La dorsale anticyclonique, fréquente sur l'ensemble Maroc-Espagne en automne et au printemps, empêche l'occurrence des pluies. Les masses d'air humides viennent plus du Nord-Ouest ou du Nord que d'Ouest et donnent les pluies (DGE, 2001).

Cette disparité entre l'Est et l'Ouest est une caractéristique du climat Nord Algérien. La région Ouest est peu arrosée, contrairement à la partie Est qui est bien arrosée (PNUD, 2009). Le Nord-Ouest, comme Oran, bénéficie d'un climat méditerranéen classique marqué par une sécheresse estivale, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé. L'anticyclone subtropical recouvre la région oranaise pendant près de quatre mois. Les faibles précipitations (294 mm de pluie) et leur fréquence (72,9 jours par an) sont aussi caractéristiques de ce climat (DGE, 2001). Quant à l'Est, il est caractérisé par des orages abondants de courtes durées pendant la période allant du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, c'est le cas pour la région d'Annaba (Benabdesselam et *al.*, 2009).

L'Algérie, de même que les pays méditerranéens appartient à une région très vulnérable aux fluctuations climatiques. C'est une zone montrant une importante variabilité climatique et des cycles annuels forts ; elle est donc soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuée par des périodes de sécheresse (PNUD, 2009) ; cette variabilité rend

plus difficile la détection d'un changement climatique (Boucherf, 2008) ; toutefois on constate que la pluviosité limitée en zone côtière est particulièrement exposée aux effets négatifs du réchauffement climatique, elle montre une tendance à la baisse depuis la fin des années soixante-dix (Boucherf, 2008).

Quant aux études qui ont abordé la question de la variabilité des températures (figure 9) (Seltzer, 1938, ANRH, 2003, Kerrad et *al.*, 2007 in Boucherf, 2010) et ont déduit que le changement des tendances climatiques s'est produit autour de la fin des années 1970 (Boucherf, 2010) ; Les températures ont tendance à augmenter depuis plus de deux décennies sur la partie nord de l'Algérie. Le réchauffement a été de l'ordre de 0.5°C (Boucherf, 2008).

Il y a donc une constatation de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des conditions sèches. Les scientifiques estiment que des événements extrêmes tels que les pluies et les orages comme ceux qui ont caractérisé les régions de Bab El Oued (2001) et Ghardaïa (2008), les vagues de chaleur de l'été 2003 et de l'automne 2004 et 2006 seront de plus en plus fréquents, violents et dangereux. Le XXI^e siècle sera caractérisé par une augmentation des températures, de l'ordre de 4°C (pour l'Algérie il est prévu une augmentation de l'ordre de 1° C à 1,5° C à l'horizon 2020 et une diminution des pluies de l'ordre de 15 à 20% (GIEC, 2007).

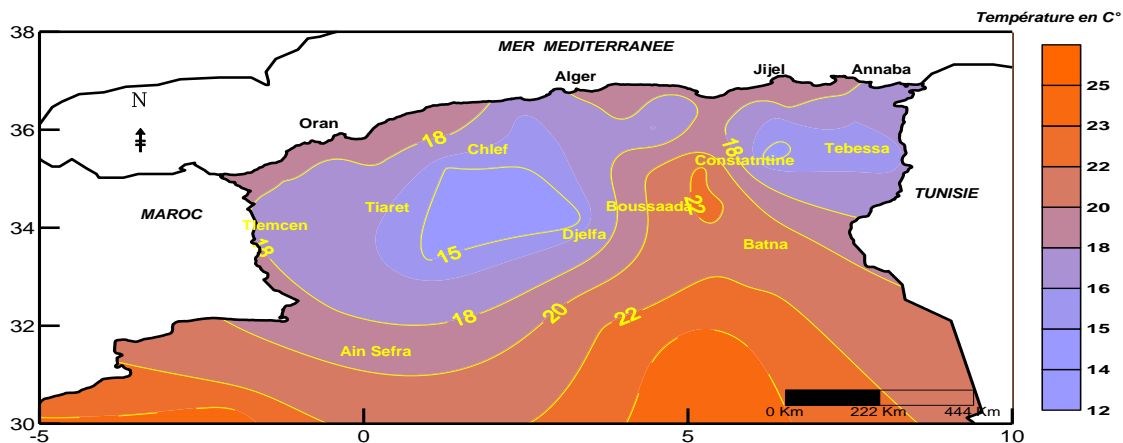


Figure 9. Répartition spatiale de la température moyenne annuelle sur le Nord de l'Algérie pour la période 1950-2005 (Boucherf, 2010).

Chapitre II.

Matériel et méthodes

Chapitre II. Matériel et méthodes

Introduction

Situé au Nord du continent Africain, l'Algérie s'ouvre sur la mer Méditerranée, avec un total d'environ 1200 km de côte.

L'appartenance de l'Algérie au bassin méditerranéen fait qu'elle bénéficie, dans sa partie Nord d'un climat de type méditerranéen. Rappelons que le bassin Méditerranéen se trouve sous l'influence de la branche descendante de la circulation de Hadley en été et des flux d'ouest de l'océan Atlantique en hiver (Bolle, 2002). C'est une zone de transition dans laquelle les systèmes extratropicaux et tropicaux sont en concurrence influençant l'occurrence d'évènements climatiques modulés par le voisinage de la mer Méditerranée. De ce fait l'Algérie peut être assez vulnérable aux changements climatiques.

II.1- Matériel

II.1.1- Choix et localisation des stations

Outre le critère de la disponibilité des séries de données avec le moins de lacunes possibles, le choix de ces stations est justifié par le fait qu'elles couvrent relativement bien la zone côtière qui est en même temps la zone la plus humide du pays.

Le travail est effectué sur 05 stations côtières algériennes pour la pluviométrie ; deux stations à l'Est (Annaba et Bejaïa), une au centre (Dar El Beida : Alger) et deux autres à l'Ouest (Oran et Béni-Saf) (figure 10).

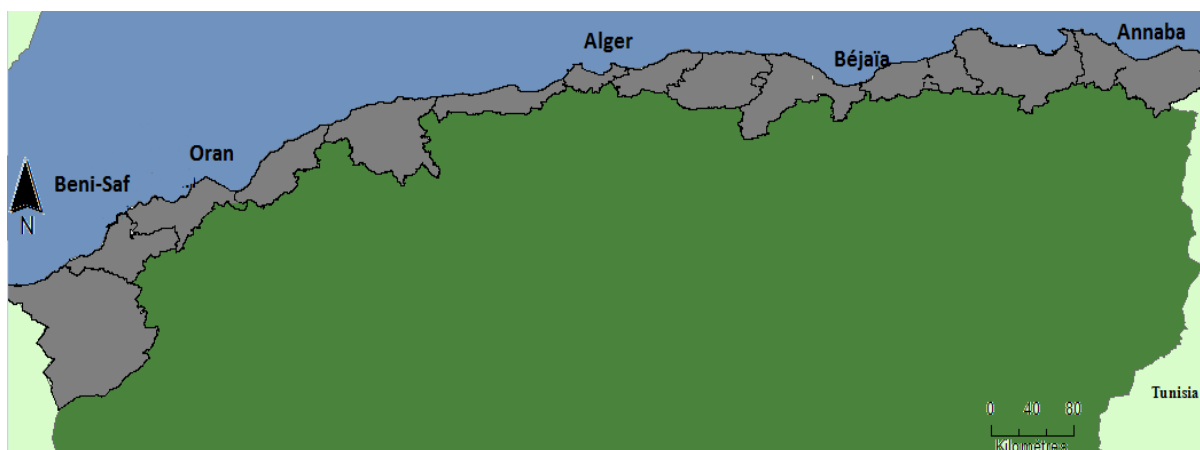


Figure 10. Localisation des stations.

Le tableau 1 représente les cinq stations, leurs coordonnées géographiques et leurs altitudes.

Le tableau 1. Localisation des stations.

Station	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
Annaba	07°48 E	36°50 N	3
Bejaïa	05°04 E	36°43 N	2
Alger	03°13 E	36°41 N	25
Oran	00°36 W	35°38 N	90
Béni-Saf	01°21 W	35°18 N	68

II.1.2- Données utilisées

Nous avons choisis 5 stations sur les 15 autres stations côtières algérienne car l'étude de l'évolution de la fréquence des événements climatiques est limitée par une contrainte : il faut des séries longues et homogènes. Plus le phénomène est rare, plus la série doit être longue. La répartition des pluies et des températures sur la côte algérienne s'appuie essentiellement sur des mesures faites pendant une période de 34 ans minimum.

II.1.2.1- Précipitations et températures

La période d'étude de la pluviométrie (mm) et la température des cinq stations de la côte algérienne est comprise entre 1950 et 2010 pour les stations d'Annaba, Alger et Oran ; concernant la période d'étude de la pluviométrie des stations de Bejaïa et de Béni-Saf ; elles sont comprises entre 1968 à 2010 pour Bejaïa et 1976 à 2010 pour Béni-Saf (tableau 2) et leurs période d'étude de la température est comprise entre 1968 à 2002 pour Bejaïa et 1976 à 2002 pour Béni-Saf (tableau 2).

Ces données météorologiques nous ont été fournies par l'Office National de la Météorologie (ONM).

Tableau 2. Période d'étude.

Station	Période d'étude	
	pluviométrie	température
Annaba	1950-2010	1950-2010
Bejaïa	1968-2010	1968-2002
Alger	1950-2010	1950-2010
Oran	1950-2010	1950-2010
Béni-Saf	1976-2010	1976-2002

II.1.2.2- Anomalies du climat (NAO, ENSO et réchauffement global)

Les données des anomalies climatiques sont publiées par la NOAA (National Oceanic and atmospheric administration, USA).

Les indices mensuels de l'Oscillation Nord Atlantique (NAOI) entre 1950 et 2012 sont disponibles sur : (www.cpc.noaa.gov).

Les indices d'ENSO sont aussi disponibles sur: (www.cpc.ncep.noaa.gov).

Les sources de données des températures globales de l'air de surface sont disponibles sur : (www.ncdc.noaa.gov).

II.1.2.3- Température de surface de la mer (SST)

Le but étant d'analyser les tendances des indices saisonniers thermiques du bassin Algérien et les comparer aux tendances des indices thermiques saisonniers du réchauffement global, pour cela nous avons moyenné les données issues des climatologies marines réalisées par Boudjadjji (2008) sur trois régions : Est, Centre et Ouest ; les cases sélectionnées sont les cases : 13, 14, 11, 12, 3, 4 et 10 (figure 11)

Ces données étaient issues au départ de la base de données de climatologies mensuelles de Boudjadjji., 2002 ; ces données couvrent en mensuel de janvier 1955 à décembre 1999.

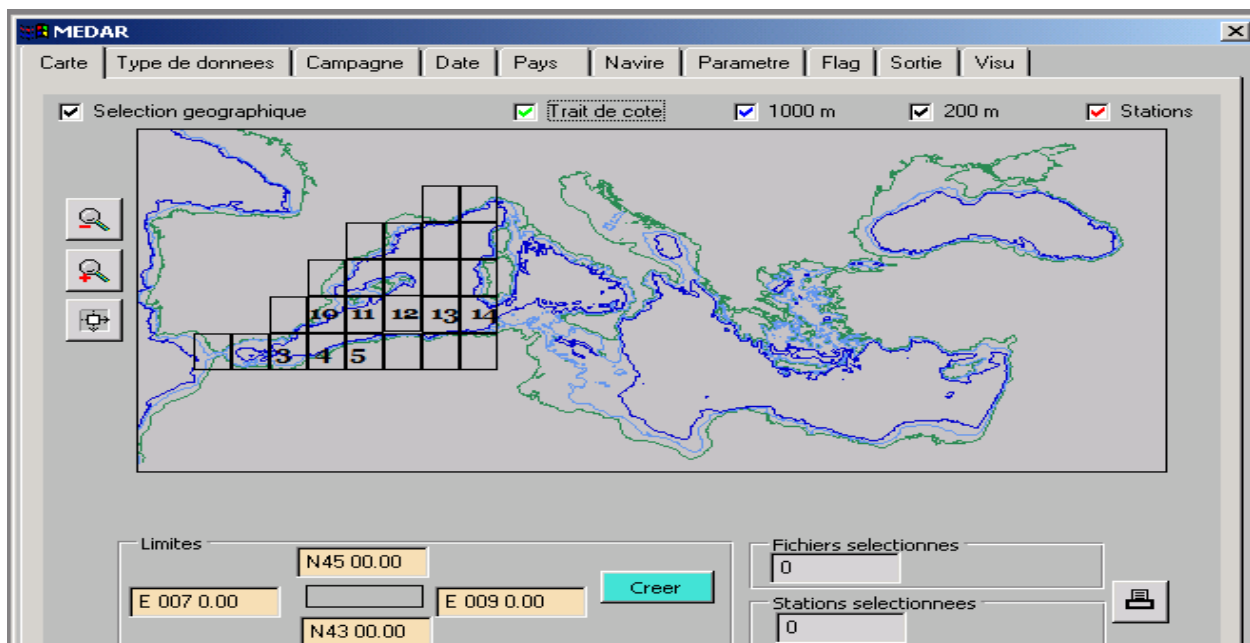


Figure 11. Division de la zone d'étude en grille régulière (Boudjadjji, 2008)

II.2- Méthodes de calculs

- **Calculs utilisés pour la pluviométrie**

• **Cumul annuel**

Représente la somme des cumuls mensuels en millimètre.

$$X_i = \sum_{j=1}^{12} X_{(i,j)} \text{ (mm)} \quad (1)$$

Où : i : année

j : mois

X_i : cumul annuel (mm)

$X_{(i,j)}$: Précipitations (mm) du mois j pendant l'année i.

• **Cumul saisonnier**

Représente la somme des cumuls des mois de la saison en millimètre.

$$X_{ijk} = \sum_{n=i}^k X_{(n,m)} \text{ (mm)} \quad (2)$$

Où : m : année de la saison étudiée

n : mois de la saison

X_{ijk} : Cumul de la saison ijk (mm)

$X_{(n,m)}$: Cumul du moi n pendant l'année m (mm).

- **Calculs utilisés pour la Température**

• **Climatologie moyenne annuelle**

Le but étant de reconstruire une année moyenne climatique représentant une période donnée (en général 30 ans).

Pour se faire, la climatologie est réalisée de 1950 à 1980 et qui sert de base de référence pour les calculs d'anomalies pour les stations d'Annaba, Alger et Oran. Cette étude n'est pas applicable aux stations de Béjaïa et Béni-Saf en raison du manque de données.

La climatologie des températures moyennes est représentée par la somme des températures moyennes annuelles de l'année i et du mois j, divisé par 12 en degré celsius.

$$\bar{\bar{T}} = \bar{T}_i / n$$

$$\bar{\bar{T}} = \sum_{j=1}^{12} T_{(i,j)} / 12 \times n \quad (3)$$

Où : \bar{T}_i : Température moyenne de l'année i (°C)

12 : représente le nombre de mois dans l'année

T_i : Température du mois j pendant l'année i (°C).

\bar{T} : Moyenne des températures moyennes (°C).

- Calcul des écarts types

Représente la moyenne quadratique des écarts par rapport à la moyenne.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Où : σ : écart type.

x_i : Température moyenne (C°) ou pluviométrie (mm) pendant l'année i

\bar{x} : Températures moyennes (C°) ou pluviométrie moyenne (mm)

n : nombre d'années ou longueur de la série.

- Calcul de l'amplitude de la température (ΔT)

L'amplitude de la température se calcule par une simple différence entre les températures moyennes de la saison JJA et les températures moyennes de la saison DJF. Elle est notée ΔT et s'exprime en ° Celsius.

$$\Delta T = SST_{JJA} - SST_{DJF} \quad (5)$$

Où : ΔT : différence de température entre la saison JJA et DJF (C°)

SST JJA : température moyenne de surface de la mer en JJA (C°)

SST DJF : température moyenne de surface de la mer en DJF (C°).

- Calcul des anomalies

• Anomalie des précipitations standardisées annuelles (IPS):

Calculée à partir de la différence entre les précipitations de l'année i et les précipitations moyennes, divisé par l'écart type.

$$IPS = (p_i - p_m) / \sigma \quad (6)$$

Où : P_i : Précipitation de l'année i (mm)

P_m : Précipitation moyenne (mm)

σ : Ecart-type (mm).

- **Anomalies de températures standardisées annuelles (ITS) :**

Calculée à partir de la différence entre les températures moyennes de l'année i et les climatologies moyennes annuelles, divisé par l'écart type.

$$ITS = (T_i - T_m) / \sigma \quad (7)$$

Où : T_i : Température moyenne de l'année i (°C)

T_m : Climatologie moyenne annuelle (°C)

σ : Ecart-type (°C).

- **Anomalies des précipitations et des températures saisonnières standardisées (IPS et ITS):**

Nous avons calculé l'anomalie des précipitations et des températures saisonnières standardisées pour toutes les saisons : décembre-janvier-février (DJF), mars-avril-mai (MAM), juin-juillet-aout (JJA) et septembre-octobre-novembre (SON).

Les anomalies des précipitations saisonnières standardisées sont calculées à partir de la différence entre les précipitations de la saison i et les précipitations moyennes saisonnières, divisé par l'écart type.

Les anomalies des températures saisonnières standardisées sont calculées à partir de la différence entre les températures moyennes de la saison i et les climatologies moyennes saisonnières, divisé par l'écart type.

$$IPSs = (p_i - p_m) / \sigma \quad (8)$$

Où : $IPSs$: Anomalie des précipitations saisonnières standardisées.

P_i : Précipitation de la saison i (mm)

P_m : Précipitation moyenne (mm)

σ : Ecart-type (mm).

$$ITSs = (T_i - T_m) / \sigma \quad (9)$$

Où : $ITSs$: Anomalie des températures saisonnières standardisées.

T_i : Température moyenne de la saison i (°C)

T_m : Climatologie moyenne saisonnière (°C)

σ : Ecart-type (°C).

Les classes de sévérité sont définies arbitrairement par Mckee et *al.* (1993) comme l'illustre le tableau suivant :

Tableau 3. Classes de sévérité (Mckee et *al.*, 1993).

Valeurs d'IPS et ITS	Classes pluies	Classes températures
Plus de 2.0	Extrêmement humide	Extrêmement chaud
De 1,5 à 1,99	Très humide	Très chaud
De 1,0 à 1,49	Modérément humide	Modérément chaud
De -0,99 à 0,99	Proche de la normale	Proche de la normale
De 1,0 à -1,49	Modérément sèche	Modérément froid
De -1,5 à -1,99	Sévèrement sèche	Sévèrement froid
Moins de - 2.0	Extrêmement sèche	Extrêmement froid

- **Calcul des anomalies annuelles des températures de surface de la mer (ITS) :**

Les anomalies annuelles des températures de surface de la mer sont calculées en effectuant la différence entre les températures moyennes de l'année i et les climatologies moyennes annuelles, divisé par l'écart type.

$$ITS = (T_i - T_m) / \sigma \quad (10)$$

Où : T_i : Température moyenne de l'année i (°C)

T_m : Climatologie moyenne annuelle (°C)

σ : Ecart-type (°C).

- **Calcul des anomalies saisonnières des températures de surface de la mer (SST)**

Les anomalies saisonnières des températures de surface de la mer sont calculées en effectuant la différence entre les températures moyennes de la saison i et les climatologies moyennes saisonnières, divisé par l'écart type.

$$ITS_s = (T_i - T_m) / \sigma \quad (11)$$

Où : ITSs : Anomalie des températures saisonnières standardisées.

T_i : Température moyenne de la saison i (°C)

T_m : Climatologie moyenne saisonnière (°C)

σ : Ecart-type (°C).

- **Indice de De Martonne**

Cet indice est considéré comme un indice de sécheresse (Moisselin et *al.* 2002), se base à la fois sur les précipitations et la température annuelles et se calcule en fcomme suit :

$$I = P / (T_m + 10) \quad (12)$$

I : Indice de De Martonne (mm/°C)

T_m : Température moyenne annuelle (°C)

P : Cumul des précipitations annuelles en mm.

De Martonne a classifié les climats selon les valeurs de l'indice I . Plus l'indice I est élevé, plus le climat est humide et plus I est faible plus le climat est aride (tableau 4).

Tableau 4. Indices de De Martonne.

Indice	Type de climat
0-5	Hyperaride
5-10	Aride
10-20	Semi-aride
20-30	Sub-humide
30-55	Humide

- **Régressions et corrélations linéaires**

- **Traçage des courbes et corrélations linéaires**

L'obtention du coefficient de corrélation linéaire se fait par la méthode qui suit : On trace une courbe de régression linéaire entre les deux paramètres quantitatifs X et Y afin d'avoir des informations sur la liaison entre ces deux variables par un nuage de point et elle peut être modélisée par une fonction de type :

$$Y = a X + b \quad (13)$$

Représentée graphiquement par une droite.

Où : X et Y : variables.

b: ordonnée a l'origine (valeur de Y si X=0).

a : pente (variation moyenne de la valeur de Y pour une augmentation d'une unité de X).

Le coefficient de corrélation est compris entre +1 et -1 ; plus il s'éloigne du zéro, meilleure est la corrélation et lorsqu'il est proche ou égal à zéro la relation entre X et Y n'est pas linéaire.

$$R = \frac{cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (14)$$

Où : R : coefficient de corrélation.

cov_{xy} : Covariance de xy.

σ_x : Écart type de x.

σ_y : Écart type de y.

- Test de significativité

Nous avons effectué un test de comparaison des indices (test t) qui suit une loi de Student.

Nous testons nos hypothèses à un taux de sécurité de 90%, selon la formule notée ci-dessous :

$$T = \frac{|X_a - Y_b|}{\sqrt{\frac{\sigma_a^2}{n_a} + \frac{\sigma_b^2}{n_b}}} \quad (15)$$

Où : T : l'écart réduit, dans ce cas on compare sa valeur absolue au nombre 1.64.

X_a et Y_b : moyennes respectives des variables A et B.

σ_a^2 et σ_b^2 : variances respectives des variables A et B.

n_a et n_b : nombres d'observations respectives des variables A et B.

La valeur absolue de T est donc comparée à la valeur 1.64 :

- Si $T < 1.64$: nous pouvons affirmer que la différence entre les deux paramètres est non significative à un taux de sécurité de 90 %, donc il existe un lien étroit entre les deux paramètres et ils évoluent dans le même sens.

- Si $T > 1.64$: nous affirmons que la différence est significative, il n'y a aucun lien entre les paramètres, ils évoluent donc différemment.

Chapitre III.

Résultats et discussion

Chapitre III. Résultats et discussion.

III.1. Climat de la bordure côtière algérienne et son évolution

Dans ce sous chapitre, nous verrons l'évolution des moyennes climatiques de températures et de pluviométrie dans le but de les comparer et de voir si éventuellement il y a une augmentation des températures et des précipitations par rapport à la période de référence. Nous verrons aussi, si les cycles annuels, saisonniers et mensuels moyens ont changé.

III.1.1- Evolution des moyennes climatiques

Sur la base des données mensuelles de température et des cumuls mensuels de précipitation, nous avons établi deux (02) moyennes climatologiques, la première couvrant la période 1950-1980 qui nous permet d'établir une climatologie de la température de l'air et des précipitations à chaque station de janvier à décembre, la seconde de 1981-2010 pour les 3 stations où ces données sont disponibles (Alger, Annaba et Oran) pour voir éventuellement si cette moyenne à changer et de combien?

La figure 12 montre l'évolution des températures et des précipitations des 3 stations (Annaba, Alger et Oran) du climat moyen.

Comparativement aux cumuls moyens, calculés sur la période 1950-1980, des stations d'Annaba, Alger et Oran, on observe une diminution des précipitations hivernales et ce pour Alger et Oran de 6 % et 3 % respectivement, à Annaba le contraire se produit c'est-à-dire que les pluies diminuent de 4 % par rapport à la moyenne climatologique de 1950-1980; par contre les températures ont tendance à augmenter entre 1981-2010, par rapport à la moyenne climatologique de référence à Annaba et Alger et à Oran de 6 % , 6% et 5 % respectivement (figure 12).

La figure 13, montre l'évolution des températures et des précipitations de janvier à décembre des stations de Béjaïa et Béni-Saf.

Compte tenu de la période d'étude qui est de 30ans maximum, nous ne pouvons avoir deux moyennes climatologiques, toutefois, on note que les températures les plus élevées se produisent pendant les mois de juillet, aout et septembre à Béjaïa et Béni-Saf et concernant les précipitations, on remarque que les mois les plus pluvieux sont décembre et janvier à Béjaïa et novembre à Béni-Saf (figure 13).

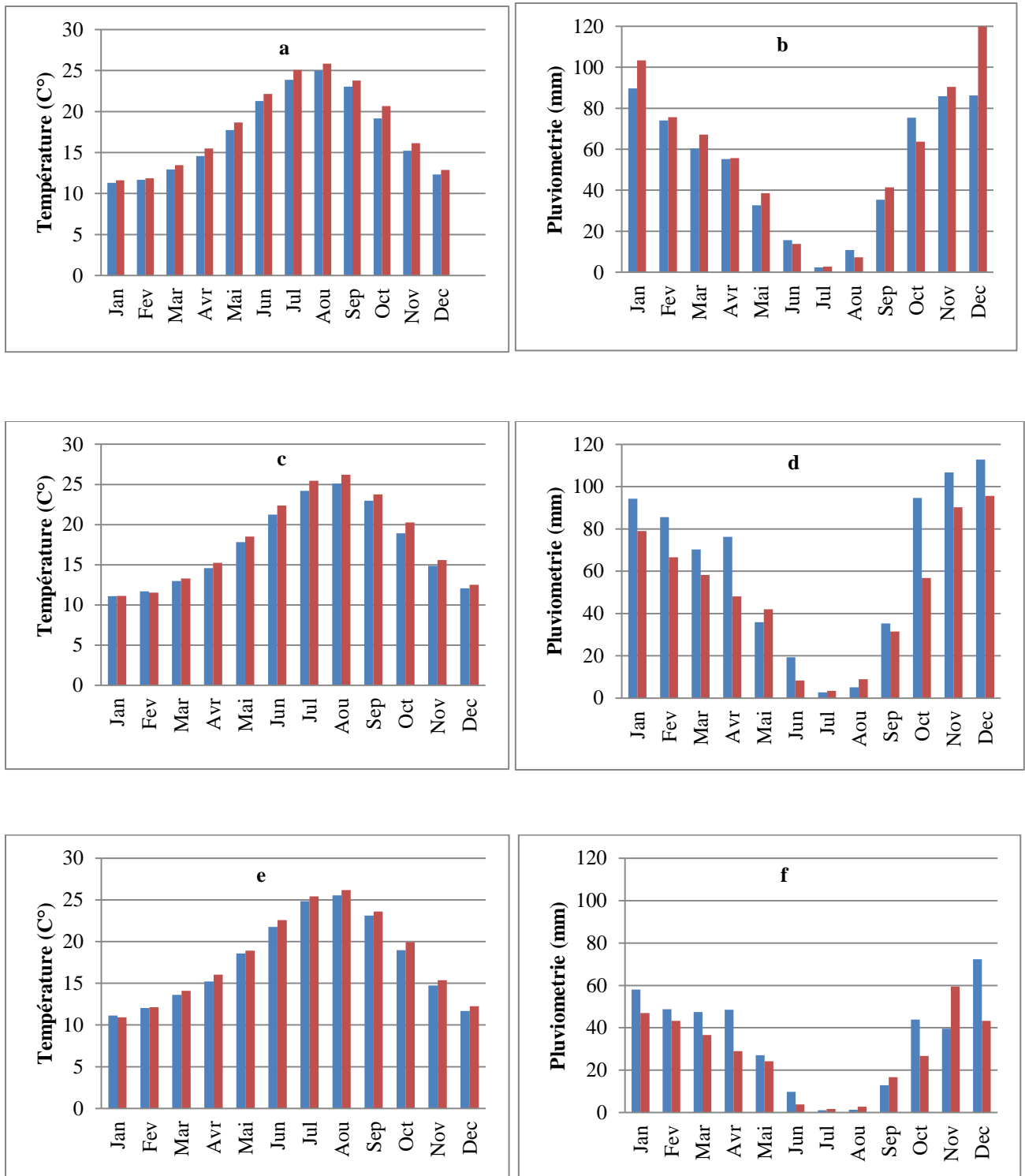


Figure 12. Moyennes climatiques de janvier à décembre de températures (C°) à : Annaba (a), Alger (c) et Oran (e) et de pluviométrie (mm) à : Annaba (b), Alger (d) et Oran (f).

En bleu : Température/pluviométrie entre 1950-1980.

En rouge : Température/pluviométrie entre 1981-2010.

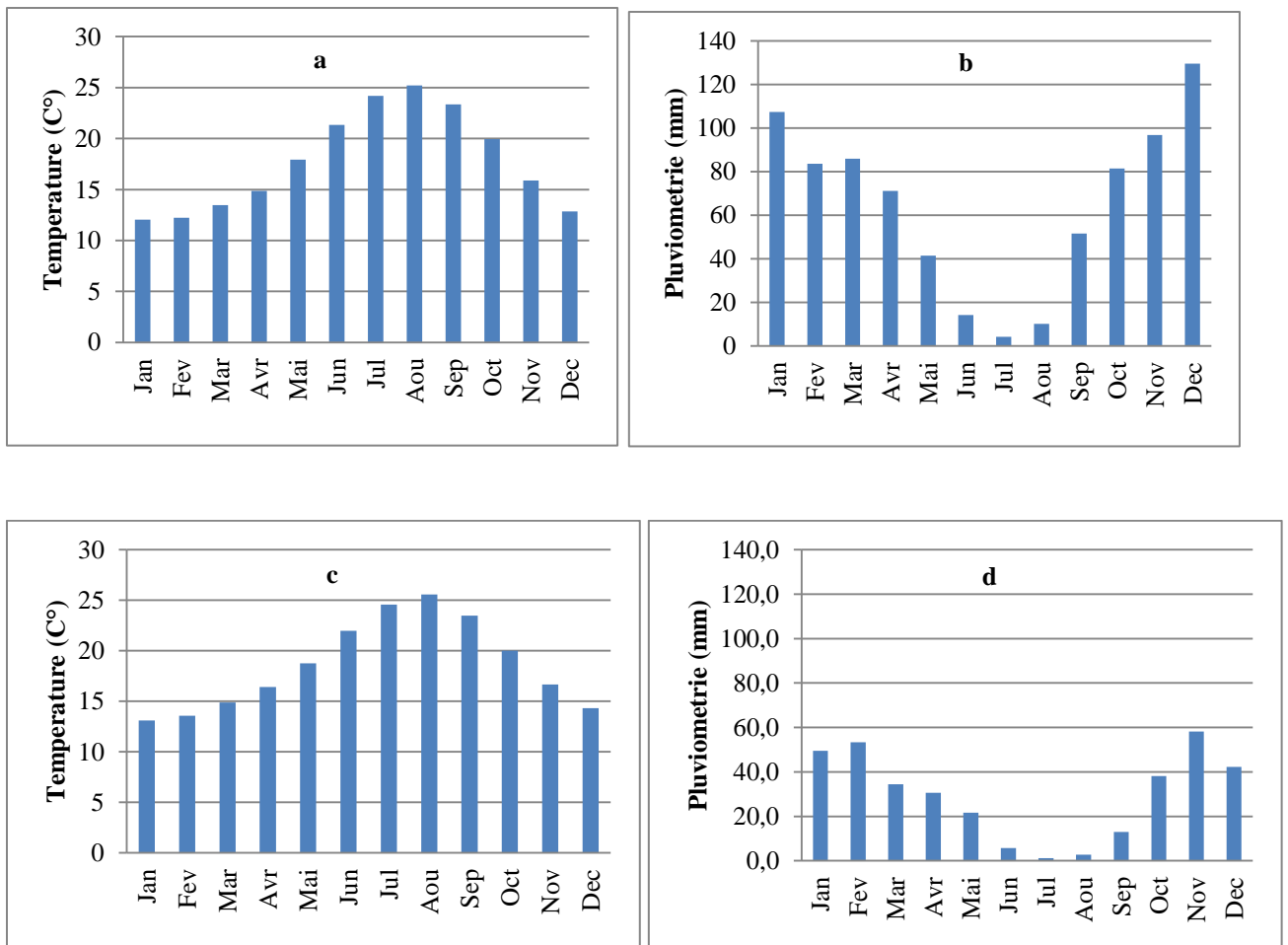


Figure 13. Moyennes climatiques de janvier à décembre de températures (C°) à : Béjaïa (a) et Béni-Saf (c) et de pluviométrie (mm) à : Béjaïa (b) et Béni-Saf (d).

III.1.2- Type de climat de la bordure côtière algérienne

Nous abordons la classification des types de climat de la bordure côtière à l'aide de l'un des indices d'aridité les plus connus ; l'indice d'aridité de De Martonne (Beltrando et Chemery, 1995).

Les tableaux 5, 6 et 7 montrent les tendances de l'indice de De Martonne pour les 05 stations météorologiques ainsi que les types de climats au début et à la fin de cette période. Les régions à climat Sub-humide sont Annaba, Bejaïa et Alger et les régions à climat Semi-aride sont Oran et Béni-Saf.

Les différents types de climat calculés durant les différentes, ne montrent aucun changement dans le type de climat, les tendances restent relativement stables avec un certain caractère de variabilité pour les valeurs des indices.

En effet, on remarque un indice plutôt élevé à Annaba entre 1950-1960 qui tend vers une diminution les années suivantes. A Alger, il y a une diminution de la valeur de l'indice entre 1980-2002 qui est de l'ordre de 22 mm/°C par an.

Tableau 5. Types de climats, selon l'indice d'aridité de De Martonne, au niveau des stations d'Annaba, Alger et Oran durant les décennies 1950-1960, 1960-1970, 1970-1980, 1980-1990, 1990-2010 et 1950-2010.

Stations	Type de climat	Décennies						
		1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	1950-2010
Annaba	Indice (mm/°C/an)	27	20	22	25	23	23	23
	Type de climat	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide
Alger	Indice (mm/°C/an)	27	25	29	23	20	20	24
	Type de climat	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide
Oran	Indice (mm/°C/an)	16	14	15	11	12	13	13
	Type de climat	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride

Tableau 6. Types de climats, selon l'indice d'aridité de De Martonne, à Bejaïa durant les décennies 1968-1977, 1978-1987, 1988-1997, 1998-2002 et 1968-2002.

Stations	Décennies				
Béjaïa	1968-1977	1978-1987	1988-1997	1997-2002	1968-2002
Indice (mm/°C/an)	31	29	25	24	27
Type de climat	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide	Sub-humide

Tableau 7. Types de climats, selon l'indice d'aridité de De Martonne, à Béni-Saf durant les décennies 1976-1985, 1986-1995, 1996-2002 et 1976-2002.

Stations	Décennies			
Béni-Saf	1976-1985	1986-1995	1996-2002	1976-2002
Indice (mm/°C/an)	12	12	11	12
Type de climat	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride	Semi-aride

III.2- Variabilité interannuelle et décennale

La distribution des précipitations à Annaba et Bejaïa montre une évolution vers des conditions plus sèches, où le nombre d'années à déficit pluviométrique sont plus importantes que le nombre d'années excédentaires. On note à Annaba une période représentant un déclin des précipitations entre 1960 et 1981, caractérisée par de fréquentes sécheresses (figures 14 a et 15 a).

La distribution des précipitations à Alger et Oran ont connu un changement au cours de la période 1950 à 2010 ; montrant une évolution vers des conditions plus sèches, où le nombre d'années à déficit pluviométrique sont plus importantes que le nombre d'années excédentaires et ce à partir de 1970 (figure 14 b et d).

La distribution des précipitations de la station de Béni-Saf montre qu'au cours de la période 19676-2010, il y a une alternance entre les années excédentaires et déficitaires (figure 15 c) avec toutefois une diminution de l'intensité des précipitations à partir de 1990.

La distribution des températures de la station d'Annaba, de Bejaia et d'Alger montrent une évolution vers des conditions plus chaudes, où le nombre d'années chaudes sont plus importantes que le nombre d'années froides et ce à partir des années 1980 pour Annaba et Bejaia et 1990 pour Alger (figures 14 b, d et 15 b).

La distribution des températures moyennes de la station d'Oran et de Béni-Saf, montrent une évolution vers des conditions plus chaudes, où le nombre d'années chaudes sont plus importantes que le nombre d'années froides, on remarque une alternance entre les périodes chaudes et froides (figure 14 f et 15 d).

En prenant en compte les indices par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 des températures et des précipitations, on obtient la figure 16.

On observe une augmentation des indices thermiques à Annaba à partir des années 1980, passant des années très chaudes à des années extrêmement chaudes, on note toutefois, l'apparition d'années sévèrement froides entre 1950 et 1980.

Concernant les indices thermiques, on observe à Alger et Oran des années proches de la normale entre 1960 et 1985 et au-delà de 1985 les années deviennent extrêmement chaudes à Alger et à Oran c'est à partir des années 2000.

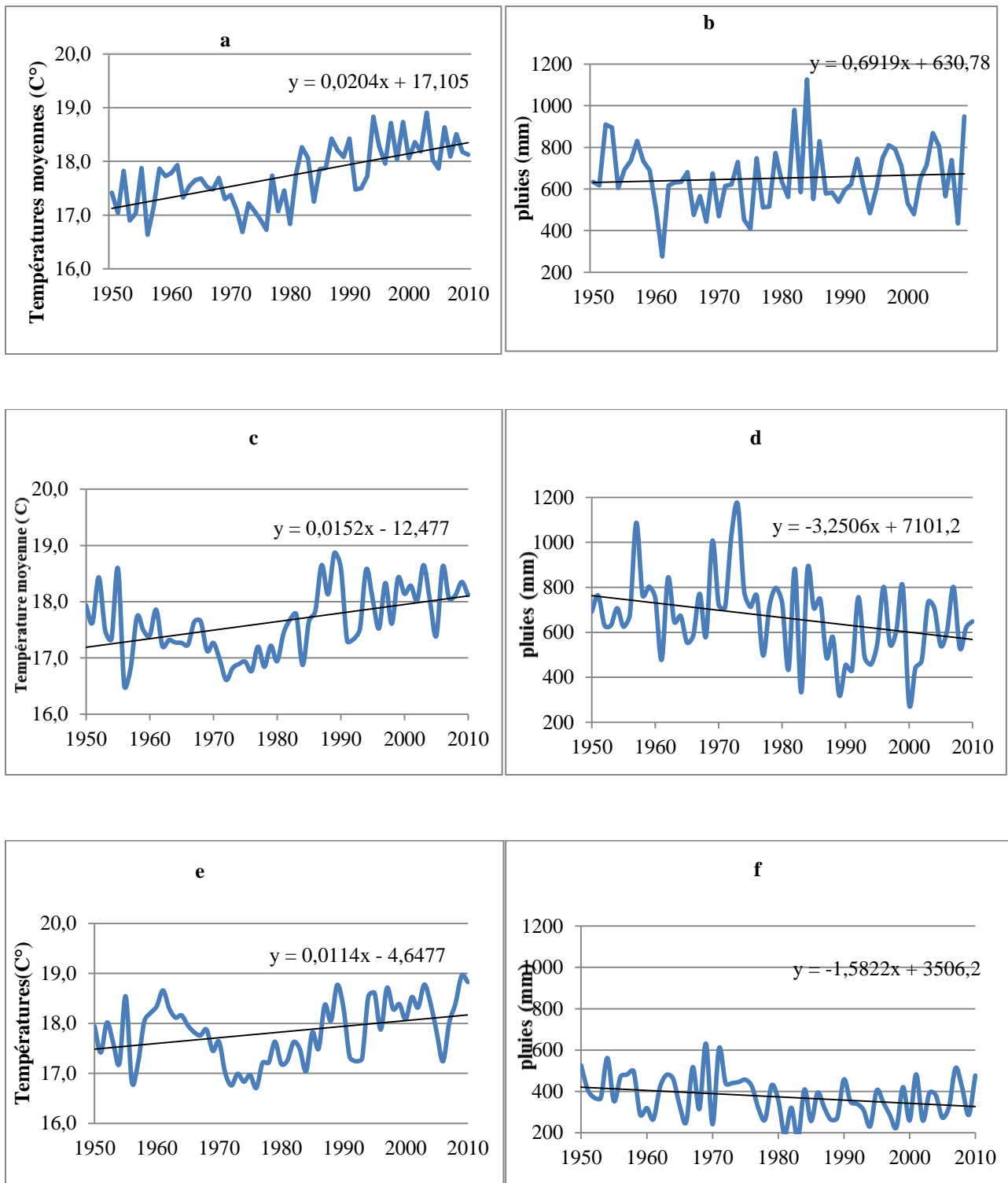


Figure 14. Distribution temporelle des températures moyennes annuelles (C°) et des pluies annuelles (mm) aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f).

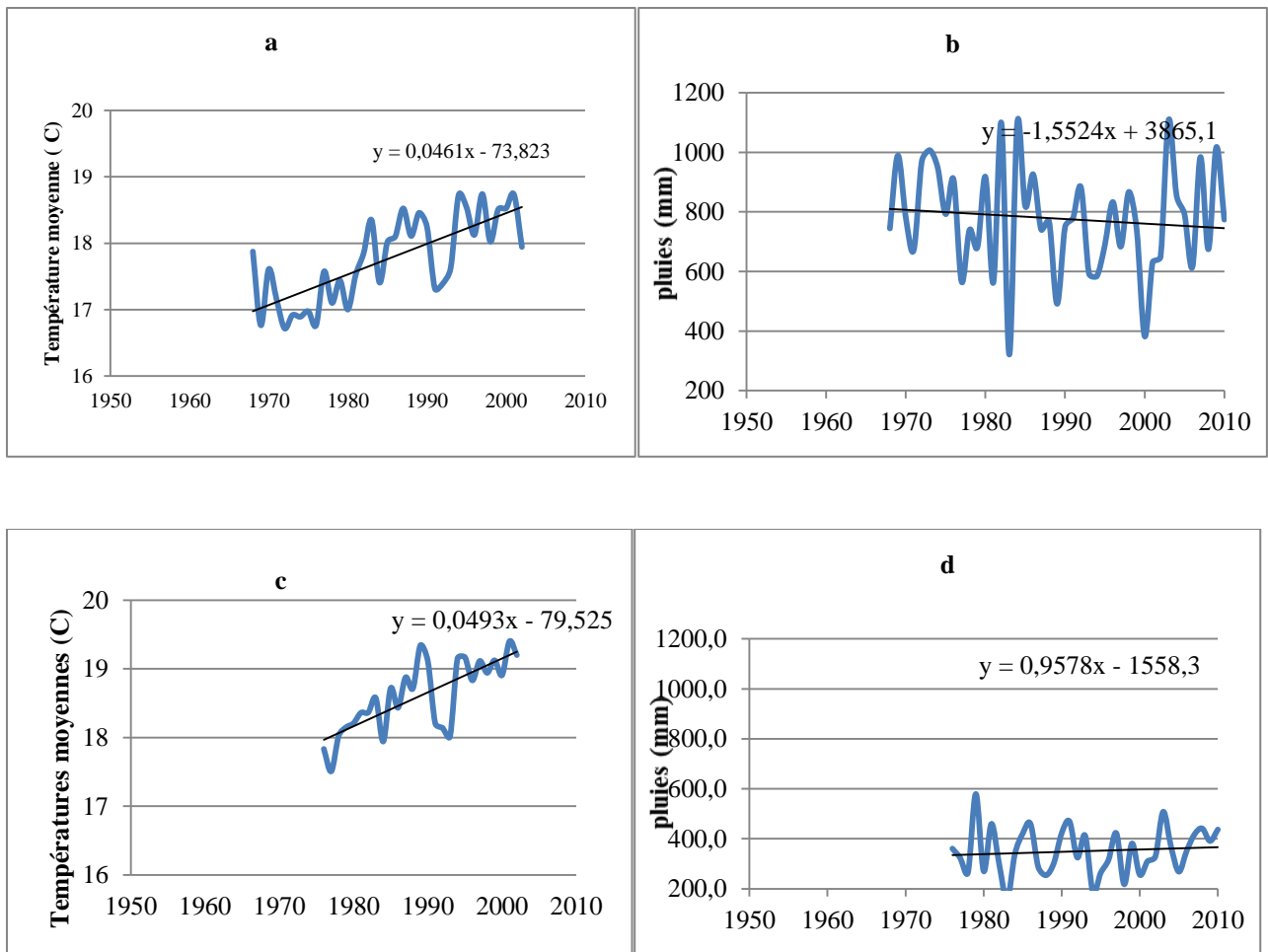


Figure 15. Distribution temporelle des températures moyennes annuelles (C°) et des pluies annuelles (mm) aux stations de Béjaïa (a et b) et de Béni-Saf (c et d).

A l'échelle annuelle les résultats peuvent être résumés dans des tableaux (annexe 1, tableaux 1, 2, 3 et 4)

A partir de ces tableaux nous avons effectués des histogrammes (figures 17 et 18) résumant ainsi les anomalies les plus intenses et les plus fréquentes pour les températures et les précipitations.

Les anomalies montrent une augmentation des ITS en fréquence et en intensité à toutes les stations à partir des années 1980, il fait donc plus chaud (figure 17) et les IPS augmentent à Annaba et les pluies sont fréquentes ; par contre à Alger et Béni-Saf les évènements pluvieux diminuent à partir des années 1980 en fréquence et en intensité (figure 18).

La température augmente sur la côte algérienne, il fait donc plus chaud et les précipitations diminuent à Alger et Béni-Saf où il fait plus sec et augmentent à Annaba où il fait plus humide.

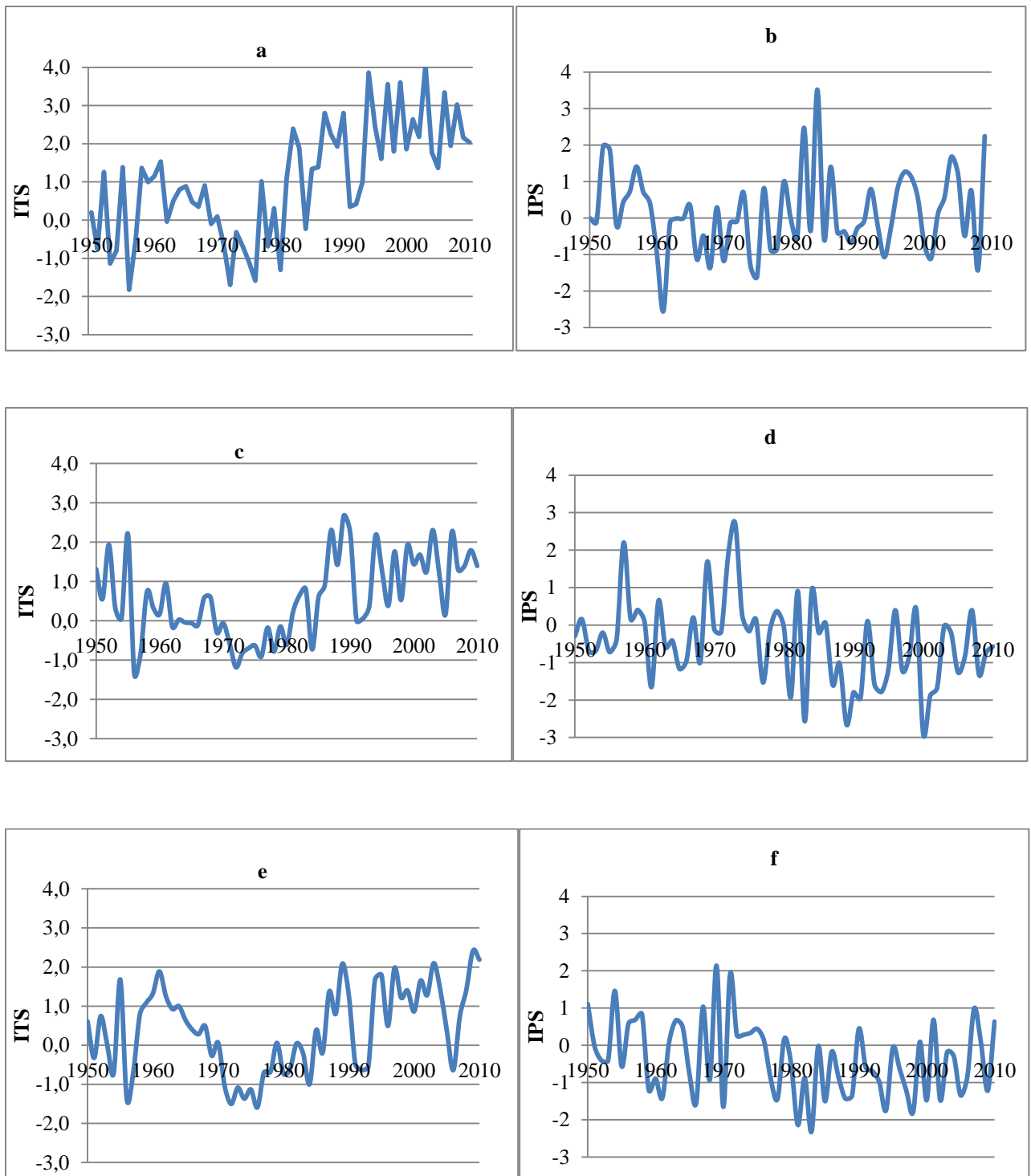


Figure 16. Anomalies des températures et des précipitations annuelles par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2012.

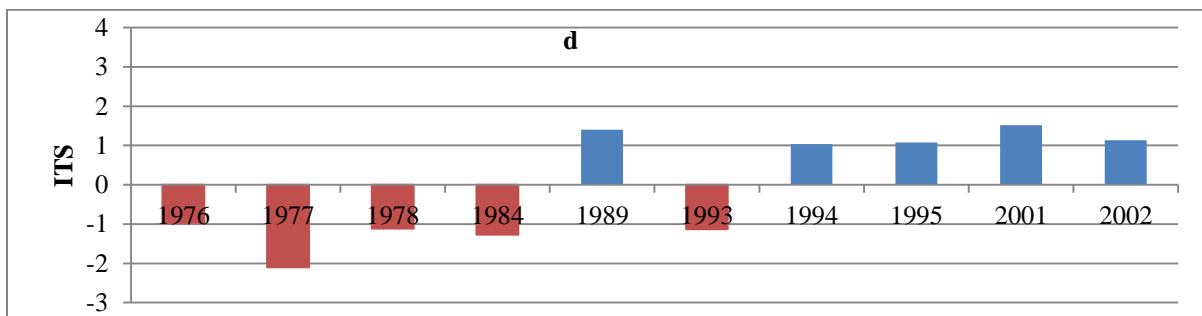
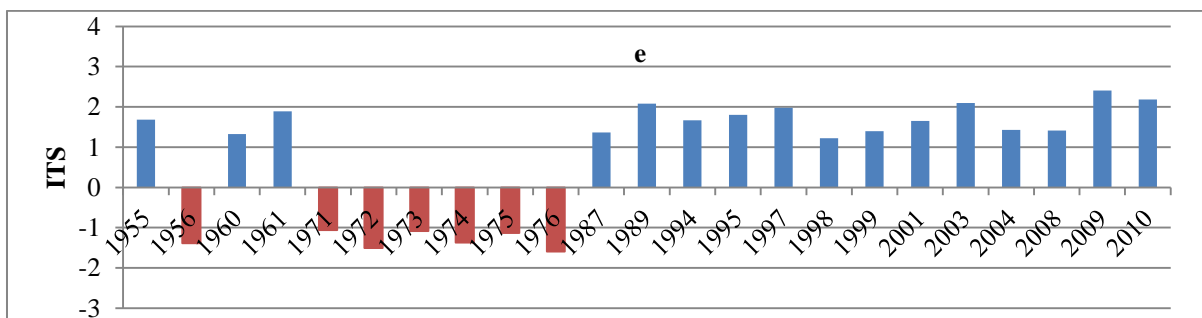
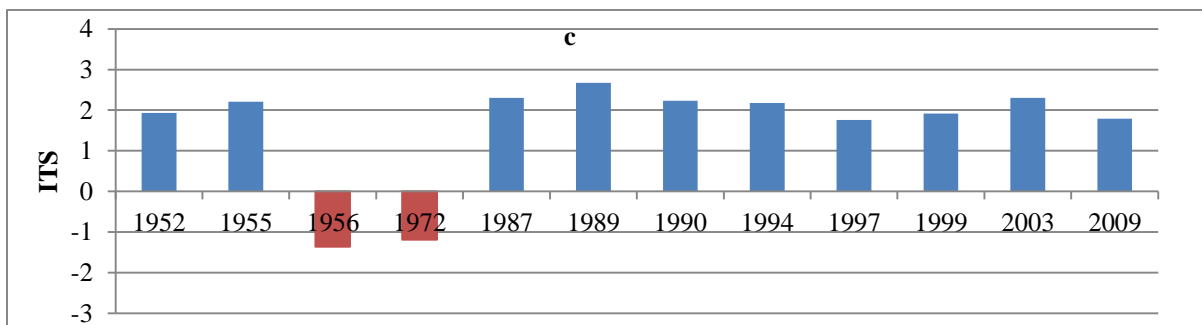
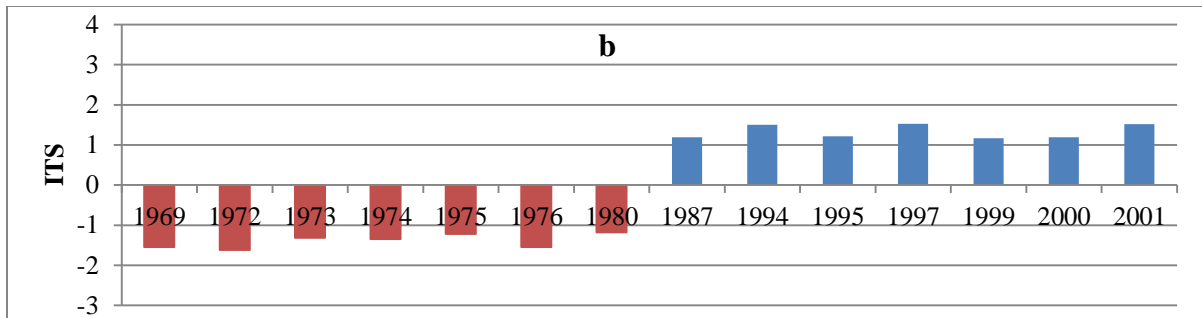
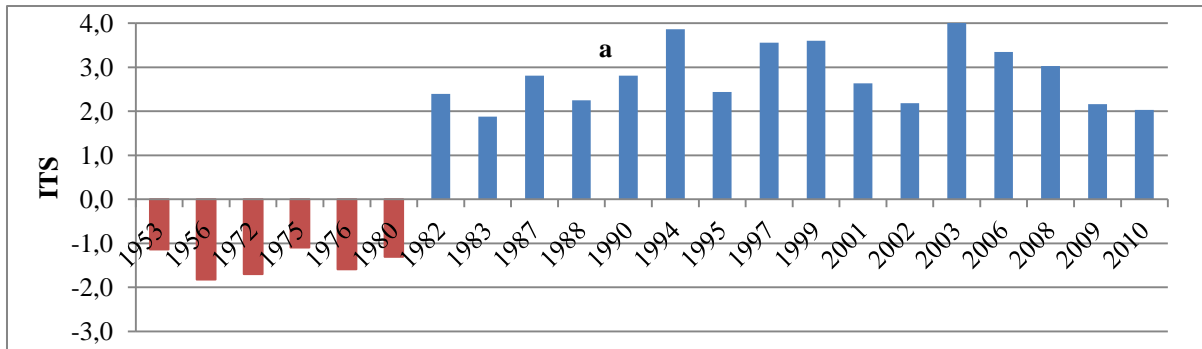


Figure 17. Les anomalies (ITS) les plus chaudes et les plus froides à Annaba (a), Béjaïa (b), Alger (c), Oran (d) et Béni-Saf (e).

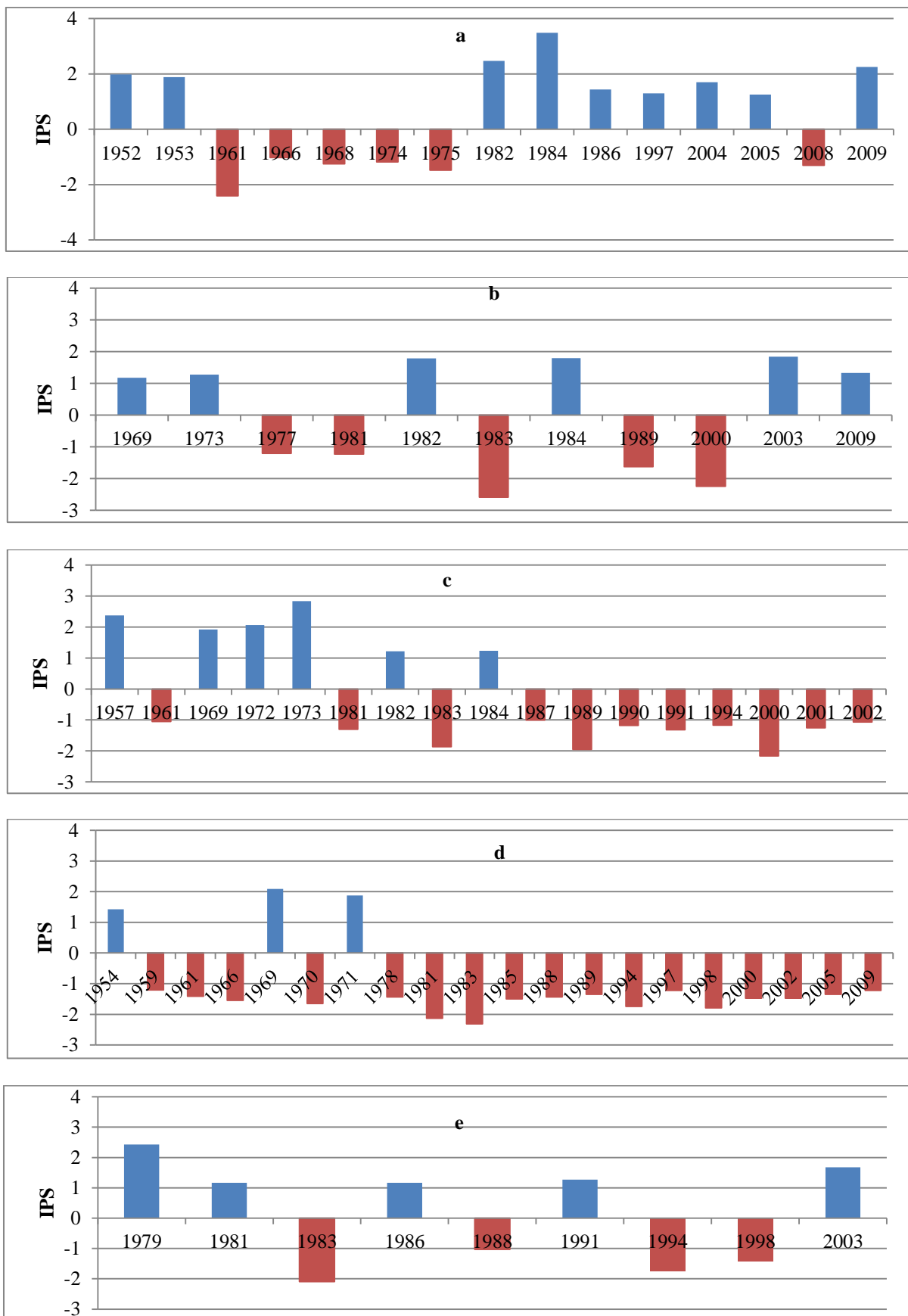


Figure 18. Les anomalies (IPS) les plus humides et les plus sèches à Annaba (a), Béjaïa(b),Alger (c), Oran (d) et Béni-Saf (e).

Tendance des ITS et IPS de la saison DJF

En hiver, les anomalies thermiques indiquent une tendance à la hausse des températures à toutes les stations. A Annaba, il y a beaucoup plus d'années modérément chaudes à extrêmement chaudes, à Alger, il y a beaucoup plus d'années très chaudes à extrêmement chaudes, où trois périodes sont notés : 1950-1961 et 1986-2002, qui représentent deux périodes chaudes et la période 1962-1985 représentant une période froide. A Oran les années chaudes sont plus intenses et plus fréquentes que les années froides, on observe une période chaude allant de 1990 à 1998 (figure 19).

Concernant les IPS, on observe à Annaba une hausse des précipitations; où les années modérément sèches à sévèrement sèches sont plus nombreuses. A Alger et Oran, on note la baisse des pluies malgré l'alternance entre années déficitaires et excédentaires à Oran et beaucoup d'années modérément sèches à sévèrement sèches (figure 19).

Tendances des ITS et IPS de la saison (MAM)

Les anomalies thermiques du printemps montrent une augmentation des pluies aux 3 stations avec une évolution vers des conditions plus chaudes. On note trois périodes : la première s'étend de 1950 à 1969 ; où les saisons sont proches de la normale, la deuxième période s'étend de 1970 à 1989, où les saisons sont froides et la dernière période va de 1990 à 2010 où les saisons deviennent chaudes (figure 20).

Les IPS de la saison MAM indiquent une augmentation des pluies à Annaba et à Alger avec une alternance entre les saisons humides-très humides et sèches-sévèrement sèches à Annaba ; par contre, à Oran, on observe une diminution des précipitations ; toutefois comme à Alger, les indices de la station d'Oran montrent une alternance entre les saisons très humides-extrêmement humides et les saisons modérément sèches-extrêmement sèches (figure 20).

Tendance des ITS de la saison (JJA)

Les ITS de la saison d'été à Annaba, Alger et Oran montrent une évolution vers des conditions plus chaudes qui est visible à partir des deux dernières décennies ; où la fréquence des événements chauds augmente (figure 21).

Tendances des ITS et IPS de la saison (SON)

Les ITS de la saison d'automne montrent une évolution vers des conditions plus chaudes à toutes les stations. A Annaba, on observe deux périodes distinctes : 1950-1979 ; pendant lesquelles les saisons sont sévèrement froides et 1980-2010 ; où les saisons sont extrêmement chaudes.

A Alger, on note une période où les saisons sont froides (1975 à 1979). A Oran, on observe deux périodes, la première est comprise entre 1950-1982, où les saisons sont modérément chaudes a extrêmement froides et la deuxième période est comprise entre 1983 et 2010, où les saisons sont très chaudes (figure 22).

Concernant les IPS de la saison automnale, on observe une diminution des précipitations aux trois stations, à Annaba les saisons pluvieuses diminuent en intensité et augmentent en fréquence, à Alger, on note deux périodes déficitaires ou les saisons sont modérément sèches (1985-2010) à sévèrement sèches (1960-1968) et à Oran, entre 1972-1998 les saisons sont modérément sèches (figure 22).

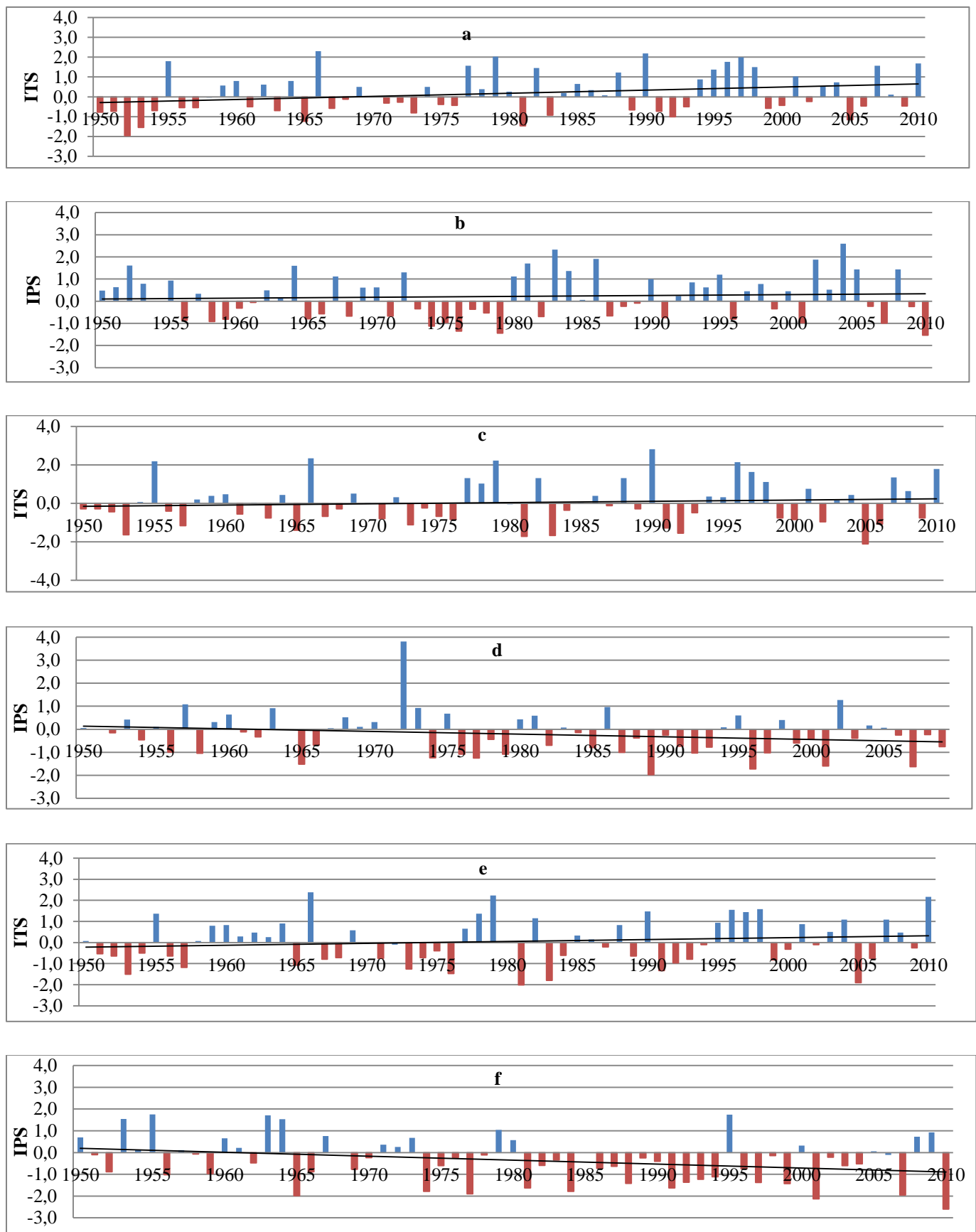


Figure 19. ITS et IPS de la saison DJF à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatologique 1950-1980.

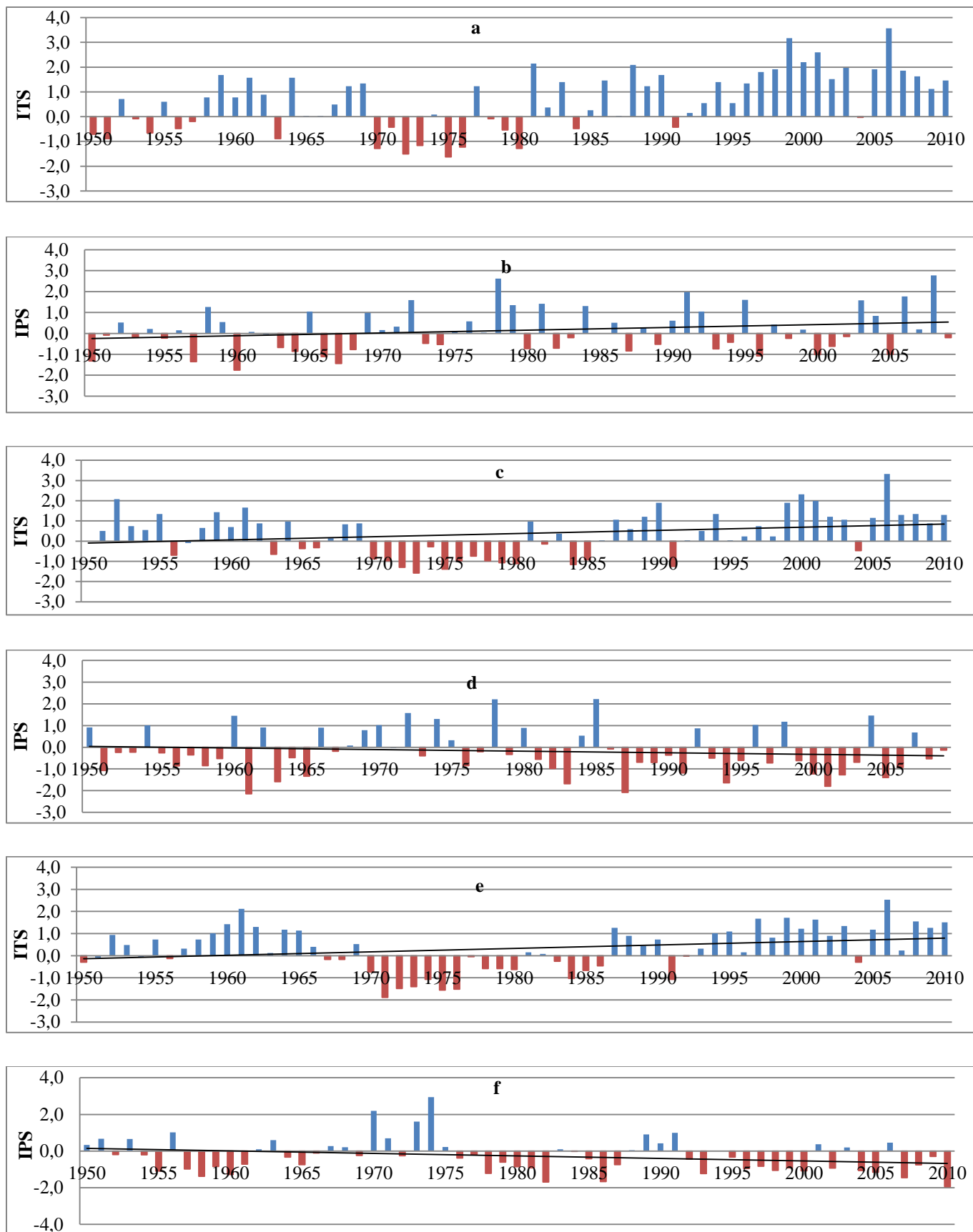


Figure 20. ITS et IPS de la saison MAM à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatique 1950-1980.

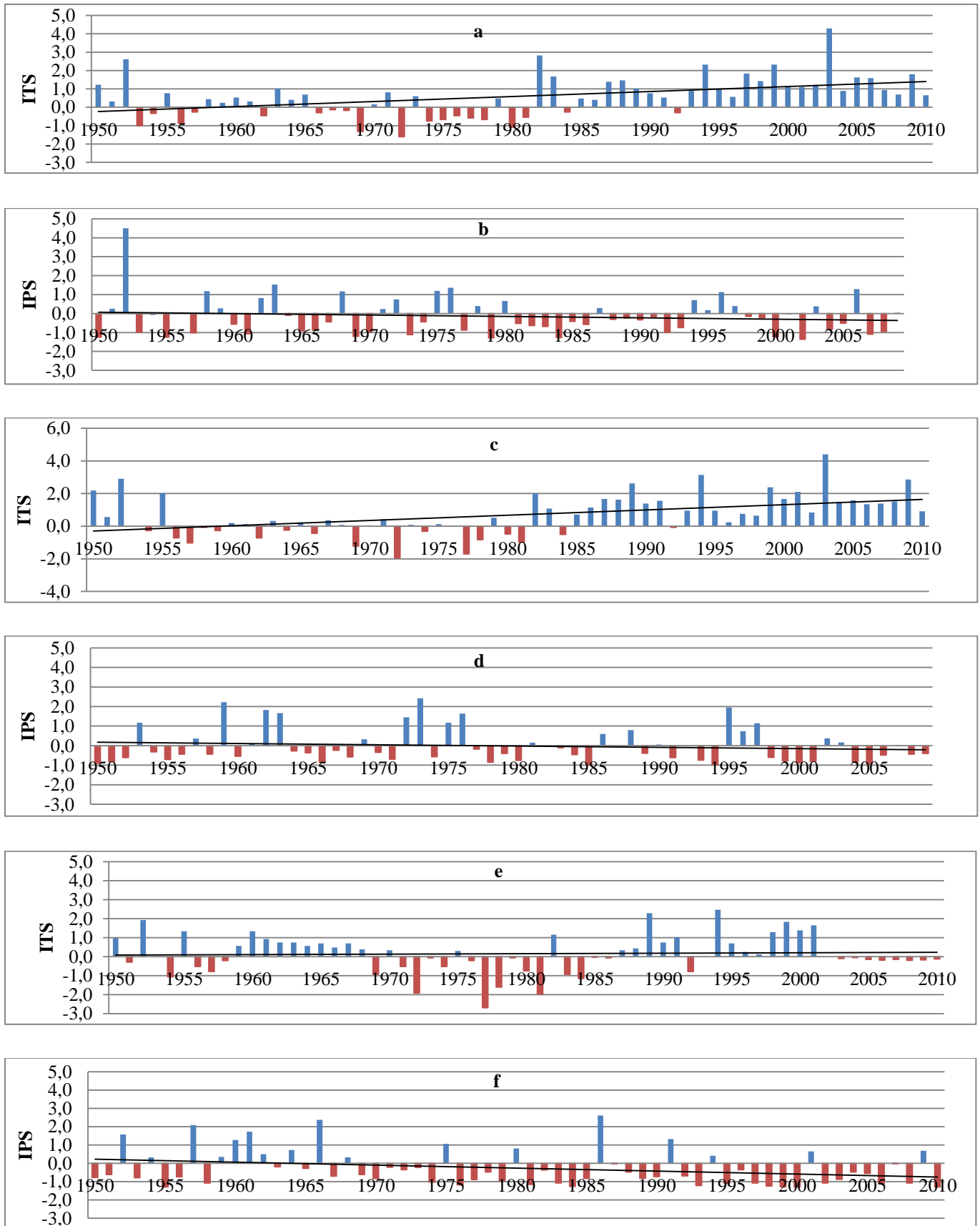


Figure 21. ITS et IPS de la saison JJA à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatique 1950-1980.

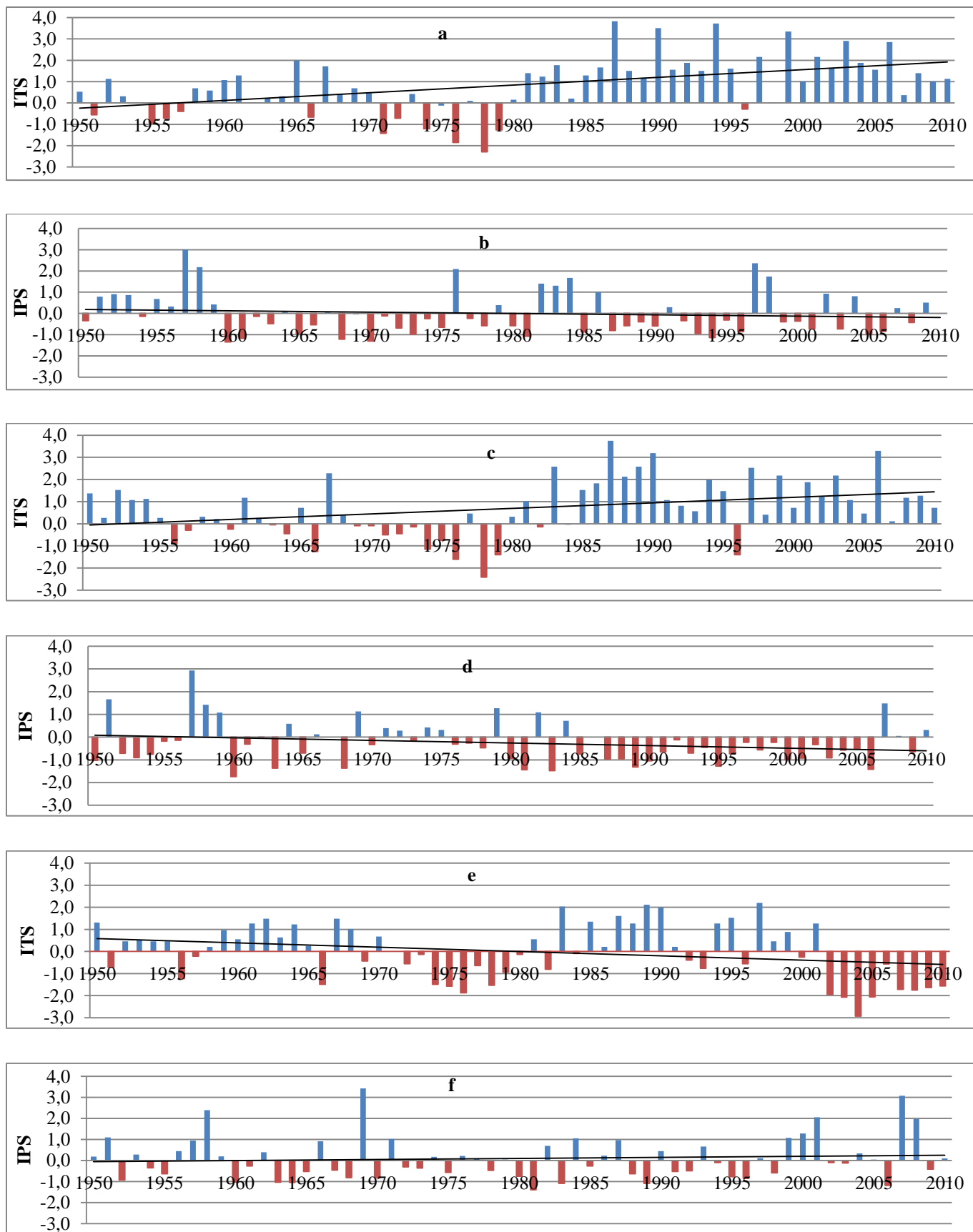


Figure 22. ITS et IPS de la saison SON à Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950-2010, par rapport à la moyenne climatique 1950-1980.

Nous avons sélectionnés les ITS et IPS des saisons d'été et d'automne pour avoir les épisodes les plus chauds-plus secs et les saisons d'automne, d'hiver et de printemps pour avoir les épisodes les plus humides-plus froids, en raison de leurs valeurs élevés et basses (annexe 2, tableaux 5 à 13).

En terme d'intensité, les stations Est et Centre sont plus humides que les stations Ouest et en terme de fréquence (annexe 2, tableaux 10 et 11), les années excédentaires sont plus importantes que les années déficitaires, dans toutes les stations et à toutes les saisons (annexe 2, Tableaux 10, 11, 12 et 13).

Concernant les saisons chaudes, on remarque une augmentation des ITS en fréquence et en intensité à partir des années 1980 à toutes les stations (annexe 2, tableaux 5 et 6) et une diminution des saisons froides en termes de fréquence (annexe 2, tableaux 7, 8 et 9).

Tendances des ITS et IPS des mois de Janvier

Les ITS des mois de janvier de 1950 à 2010 à la station d'Annaba indiquent une augmentation de l'intensité des séquences chaudes malgré l'apparition de séquences froides, à Alger et Oran, on observe des mois chauds plus fréquents et plus intenses que les mois froids (figure 23 a, c et e).

Les mois de janvier très chauds a extrêmement chauds à Annaba sont fréquents pendant les années 1990 et les séquences sévèrement froides à extrêmement froides diminuent en fréquence, par contre à Alger, les mois froids sont importants pendant les années '50, puis ils disparaissent jusqu'en 2000 avec une diminution de l'intensité de ces événements (figure 23 a et c).

Les IPS des mois de janvier de 1950 à 2010 à Annaba indiquent une légère augmentation des précipitations avec beaucoup plus d'années excédentaires ; par contre à Alger et Oran, l'inverse se produit ; il y a une diminution des épisodes pluvieux, nous remarquons que les mois déficitaires sont plus fréquents mais d'une intensité moindre à Alger et d'une intensité plus importante que les épisodes secs (figure 23 b, d et f).

Les mois de janvier très humides à extrêmement humides sont importants en terme de fréquence et d'intensité, en prenant la période comprise entre 1950 à 2010, on note qu'à Alger elles ont lieux une fois par décennie ; Concernant les séquences sévèrement sèches à extrêmement sèches, elles sont d'une même intensité et d'une fréquence moindre à Annaba (figure 23 b et d).

Tendance des ITS et IPS des mois de Février

Entre 1950 et 2002, ITS des mois de février à la station d'Annaba, indiquent qu'il y a une alternance entre les mois froids et chauds avec une diminution des mois froids après 1965, toutefois comme à Alger, les mois froids sont plus intenses que les mois chauds et à Oran, on note une augmentation de l'intensité des mois chauds et une diminution de leur fréquence (figure 24 a, c et e).

Entre 1950 et 2010, les IPS des mois de février à la station d'Annaba, indiquent que les mois excédentaires sont plus intenses que les mois déficitaires. Aux stations d'Alger et Oran, les indices climatiques calculés pour les mois de février de 1950 à 2010, indiquent une légère baisse des précipitations, les mois déficitaires sont plus fréquents et moins intenses que les mois excédentaires (figure 24 b, d et f).

Tendance des ITS et IPS des mois de Mars

Les ITS des mois de mars à Annaba et Oran entre 1950 à 2010, indiquent une légère hausse des températures, avec une intensité et une fréquence plus importante des séquences froides. À Alger, les indices calculés pendant la période 1950-2010, montrent une alternance entre les mois froids et les mois chauds avec une fréquence importante des mois froids entre 1960 et 1990 (figure 25 a, c et e).

Les séquences très chaudes à extrêmement chauds des mois de mars à Annaba et Oran augmentent en fréquence et en intensité à partir de 1990 à raison d'un mois chaude par décennie. A Alger, ils ont une fréquence importante pendant les années 1950 avec 2 événements chauds par décennie. Entre 1960 et 1990, on note une période d'accalmie. Après 1990, réapparition des événements chauds avec un effet cyclique de 10 ans (figure 25 a, c et e).

À Annaba, on remarque que les mois sévèrement froids à extrêmement froids ont une fréquence qui augmente entre 1953 et 1976. A Alger, ils apparaissent entre 1966 à 1984 avec une fréquence et une intensité et à Oran, la période comprise entre 1971 et 1985 représente la période où les mois froids sont très importants en termes de fréquence malgré la diminution de leur intensité (figure 25 a, c et e).

Les IPS des mois de mars à Annaba indiquent une légère hausse des précipitations, avec une intensité plus importante et une fréquence moindre des événements excédentaires. À Alger et

Oran, les mois de mars excédentaires sont en légère baisse, il y a plus de mois déficitaires (figure 25 b, d et f).

Les séquences très humides à extrêmement humides des mois de mars à Annaba augmentent en fréquence pendant les années 1980, à Alger et Oran, ils apparaissent à partir des années 1970, elles ont une fréquence d'à peu près 10 ans (figure 25 b, d et f).

Tendance des IPS et ITS des mois d'Avril

Les ITS des mois d'avril à Annaba indiquent une tendance à la hausse des températures où l'intensité des mois chauds est plus importante que celle des mois froids et la fréquence des mois froids est plus importante que celle des mois chauds. A Alger, on note une alternance entre les mois froids et les mois chauds, où l'intensité des mois chauds est plus importante.

À Oran les indices des mois d'avril montrent une tendance à la hausse des températures, on note une période froide de 1967 à 1991 (figure 26 a, c et e).

Les mois sévèrement froids à extrêmement froids à Annaba apparaissent entre 1972 jusqu'en 1980, avec une fréquence et intensité qui augmente pendant cette période. A Alger, il y a une augmentation de l'intensité et une diminution de la fréquence des événements chauds. Pour les anomalies des mois chauds à Oran, on remarque une baisse de l'intensité des séquences chaudes et une fréquence marquée pendant les années '60 et '80 (figure 26 a, c et e).

Les IPS des mois d'avril à Annaba entre 1950 et 2010 indiquent une tendance à la hausse des pluies dont l'intensité est plus importante pour les mois excédentaires ; le contraire se produit à Alger et Oran où les épisodes pluvieux sont plus intenses et moins fréquents que les épisodes secs (figure 26 b, d et f).

Tendance des ITS et IPS des mois de mai

Les ITS des mois de mai à Annaba de 1950 à 2010 indiquent une tendance à la hausse des températures avec une intensité plus importantes des mois chauds et une fréquence plus marquée pour les mois froids. A Alger, on observe une hausse des températures, où les mois froids sont plus intenses que les mois chauds et à Oran, on observe trois périodes bien distinctes : 1950-1968 et 1992-2002 où les mois chauds sont plus importants que les mois froids et 1968-1992 (figure 27 a, c et e).

Les mois sévèrement froids à extrêmement froids augmentent en fréquence et en intensité à Annaba entre 1954 et 1991 avec un effet cyclique d'environ 10 ans. À Alger, on remarque qu'avant et après les années 70 les mois froids ne sont pas d'une grande intensité et à Oran, on note leur présence entre 1972 et 1991 avec une intensité égale et une fréquence plus importante pendant les années '70 (figure 27 a, c et e).

Les anomalies pluviométriques mois de mai à Annaba de 1950 à 2010 indiquent une tendance à la hausse des pluies avec une intensité et une fréquence plus importantes des mois excédentaires pour ces dernières décennies. A Alger, il y a légère hausse des précipitations entre 1950 et 2010, où les mois excédentaires sont plus intenses que les mois déficitaires et à Oran, on observe une alternance des mois humides et des mois secs ; on remarque que l'intensité des mois humides est plus importante que celle des mois secs (figure 27 b, d et f).

Tendance des ITS des mois de juin

Les ITS des mois de mai à Annaba, Alger et Oran, montrent une évolution vers des conditions plus chaudes ; à Annaba, on note que les mois chauds restent plus intenses que les mois froids ; à Alger, les événements chauds sont plus intenses et les mois froids plus fréquents que les mois chauds avec une période de froid comprise entre 1957 et 1980 et à Oran, on observe une période de froid allant de 1967 à 1981 (figure 28 a, b et c).

En analysant les mois chauds à Annaba, on remarque une diminution de l'intensité des mois chauds et une augmentation de leur fréquence à partir des années '80. A Oran, on remarque une diminution de l'intensité et une augmentation de la fréquence des températures. Après cette période on note une diminution de la fréquence des mois chauds (figure 28 a, b et c).

Tendance des ITS des mois de juillet

Les mois de juillet à Annaba entre 1950 et 2002, indiquent une tendance à la hausse des températures avec une intensité plus marquée des mois chauds. A Alger, on note que les mois de juillet chauds sont plus intenses que les mois de juillet froids (figure 29 a et b).

Les anomalies calculés pour les mois très chauds à extrêmement chauds à Annaba et Alger, indiquent une augmentation de l'intensité des températures entre 1965 et 1983 avec une fréquence plus marquée pendant les années '80 (figure 29 a et b).

Tendance des ITS des mois d'aout

Entre 1950 et 2010, les ITS des mois d'aout à Annaba indiquent une alternance entre les épisodes chauds et froids avec une intensité plus importante des mois chauds et une et une fréquence plus marquée par les mois froids. À Alger, on remarque une évolution vers des conditions plus chaudes entre 1950 et 2010, avec plusieurs périodes : 1950-1959 représentant une période proche de la normale, 1959-1971, représentant une période d'alternance entre les mois chauds et les mois froids, 1972-1984, qui représente une période de froid et 1985-2010, où il y a augmentation des mois chauds en termes de fréquence et d'intensité. À Oran, on observe une tendance à la hausse des températures, on note trois périodes bien distinctes : 1950-1971, représentant les mois d'aout proches de la normale, 1972-1986, représentant une période de froid et 1987-2010, où l'on note une augmentation des mois chauds (figure 30 a, b et c).

Pour les mois d'aout chauds à Annaba, on remarque l'apparition des mois chauds à partir des années '70, on note trois pics élevés entre 1971 et 1999. A Alger, les mois chauds augmentent en fréquence et en intensité entre 1971 et 1999 et varient entre les épisodes très chauds à extrêmement chauds (figure 30 a et b).

Tendance des ITS et IPS des mois de septembre

À Annaba et Alger, les ITS calculés pour la période comprise entre 1950 et 2010, mettent en évidence deux périodes, la première allant de 1950 à 1984, où on remarque une alternance entre les mois froids et chaudes à Annaba et une augmentation des séquences froides à Alger, avec des mois froids plus intenses que les mois chauds ; la deuxième période va de 1985 à 2010, où on remarque une augmentation des événements chauds en fréquence et en intensité pour les deux stations. A Oran, on observe des séquences froides plus fréquentes que les mois chauds et les mois chauds sont plus intenses que les mois froids (figure 31 a, c et e).

Pour les mois de septembre très chauds à extrêmement chauds à Annaba, ils apparaissent à partir des années fin '80 avec une fréquence importante pendant les années'90. A Alger, on note une diminution de la fréquence et l'intensité des mois très chauds et extrêmement chauds, dont les pics apparaissent pendant les années 60 et 90 et à Oran, on remarque une période où les mois chauds sont intenses et fréquents : 1987-1991 (figure 31 a, c et e).

L'analyse des séquences froides indiquent qu'ils apparaissent à Annaba en 1970. À Alger, on remarque une diminution des événements froids, avec une fréquence élevée pendant les

années '60 et '70 et à Oran, on note leur apparition en 1965 et 1972, avec une légère augmentation de l'intensité de ces événements qui sont de l'ordre de -1.6 et -1.8 (figure 31 a, c et e).

L'analyse des IPS Entre 1950 et 2010 à Annaba, montrent qu'il y a une alternance entre les mois secs et humides, avec une augmentation des mois humides en intensité et une fréquence plus importante des mois secs on note une période entre 1964 à 1996, où tous les mois sont proches de la normale. A Alger, les mois humides sont plus intenses que les mois secs et les mois secs beaucoup plus fréquents et à Oran, on note une augmentation de l'intensité des mois excédentaires entre 1950 et 2010 avec une fréquence plus marquée pour les mois secs (figure 31 b, d et f).

Pour les mois de septembre très humides à extrêmement humides à Annaba augmentent légèrement en terme d'intensité et diminuent en fréquence et intensité à Alger et à Oran ils augmentent en fréquence et en intensité (figure 31 b, d et f).

Tendance des ITS et IPS des mois d'octobre

Les ITS des mois d'octobre à Annaba, Alger et Oran indiquent une augmentation des températures avec une fréquence plus importante des mois chauds.

Les séquences chaudes à Annaba apparaissent dans les années '80 avec une fréquence importante à raison de deux événements chauds intenses par décennie. A Alger, ils apparaissent en 1987 et sont fréquents pendant les années '80, puis diminuent à partir des années '90 à raison d'un événement chaud par décennie et à Oran, les séquences très chaudes à extrêmement chaudes, augmentent en fréquence et intensité entre 1997 et 2001 (figure 32 a, c et e).

Concernant les mois froids à Annaba et Alger, ils ont une intensité qui diminue et une fréquence qui augmente entre 1963 et 1978 pour Annaba (figure 32 a et c)

Les IPS des mois d'octobre à Annaba, Alger et Oran indiquent un déclin des précipitations avec une fréquence plus importante des années déficitaires (figure 32 b, d et f).

Tendance des ITS et IPS des mois de novembre

Les anomalies thermiques calculés pour les mois de novembre à Annaba et Alger indiquent une augmentation des mois chauds, malgré une intensité plus importante des mois froids à

Annaba et à Alger, les épisodes froids et chauds sont d'une même intensité et d'une fréquence plus importante pour les épisodes froids, on note une période particulièrement froide allant de 1955 à 1979. À Oran les anomalies des mois de novembre, mettent en évidence deux périodes : 1950-1979, représentant une période froide où les mois froids sont intenses et fréquents et 1980-2010, représentant une période chaude où les mois chauds sont plus fréquents et plus intenses (figure 33 a, c et e).

Les indices des mois froids à Annaba, mettent en évidence une période de froid allant de 1956 à 1978 avec une hausse de la fréquence des mois froids, les classes de sévérité sont comprises entre sévèrement froides à extrêmement froides. On observe une période de froid à Alger allant de 1956 à 1979 avec une fréquence plus marquée pendant les années '70, l'intensité des mois froids varie selon les années et à Oran, on note une baisse de l'intensité et une augmentation des fréquences des mois froids, passant par une période de froid entre 1956 et 1976 (figure 33 a, c et e).

Les IPS des mois de novembre à Annaba et Alger, indiquent une légère baisse des pluies, le contraire se produit à Oran ; où les mois excédentaires sont plus intense et moins fréquents que les mois déficitaires (figure 33 b, d et f).

A Annaba, on observe un déclin de l'intensité des mois humides et une fréquence qui augmente après les années 1990. A Alger, les mois humides mettent sont fréquents pendant les années '50 et '70, à raison de deux événements par décennie, par la suite une diminution de la fréquence des événements et à Oran, on note une hausse de l'intensité des précipitations et concernant la fréquence de ces événements pluvieux, ils apparaissent chaque décennie entre 1960 et 2000 ; à partir des années 2000, on observe une augmentation dans l'intensité des séquences humides (figure 33 b, d et f).

Tendance des ITS et IPS des mois de décembre

Entre 1950 et 2010, les anomalies de température des mois de décembre à Annaba indiquent une alternance entre les températures et froids, toutefois ; on observe une augmentation des séquences chaudes. À Alger et Oran, on remarque une évolution vers des conditions plus chaudes, avec une fréquence plus importante des mois froids et une intensité des mois chauds plus marquée pour Alger et une augmentation de la fréquence et l'intensité des mois chauds, les mois froids sont fréquents mais d'une intensité moindre ; une période très chaude est observée entre 1978 et 2002 pour Oran (figure 34 a, c et e).

Les mois de décembre chauds à Annaba et Alger, montrent une baisse de leur l'intensité. A Oran, on observe une période où les mois sont particulièrement chauds entre 1981 et 2010, avec une fréquence importante pendant les années '80 (figure 34 a, c et e).

Entre 1950 et 2010, les IPS des mois de décembre à Annaba indiquent une alternance entre les épisodes pluvieux et secs, toutefois on observe une augmentation des séquences humides. À Alger, on remarque une évolution vers des conditions plus sèches avec plusieurs périodes : 1950-1980, où il y a alternance entre les mois très humides à extrêmement humides et sévèrement secs et 1981-2010, où il y a un déclin des mois humides en termes de fréquence et d'intensité et à Oran, on observe une baisse de la fréquence et l'intensité des mois de décembre excédentaires, les mois secs sont fréquents mais d'une intensité moindre ; deux périodes distinctes sont remarquées : 1950 à 1980, où la fréquence et l'intensité des événements est importante, après 1980, ces événements diminuent (figure 34 b, d et f).

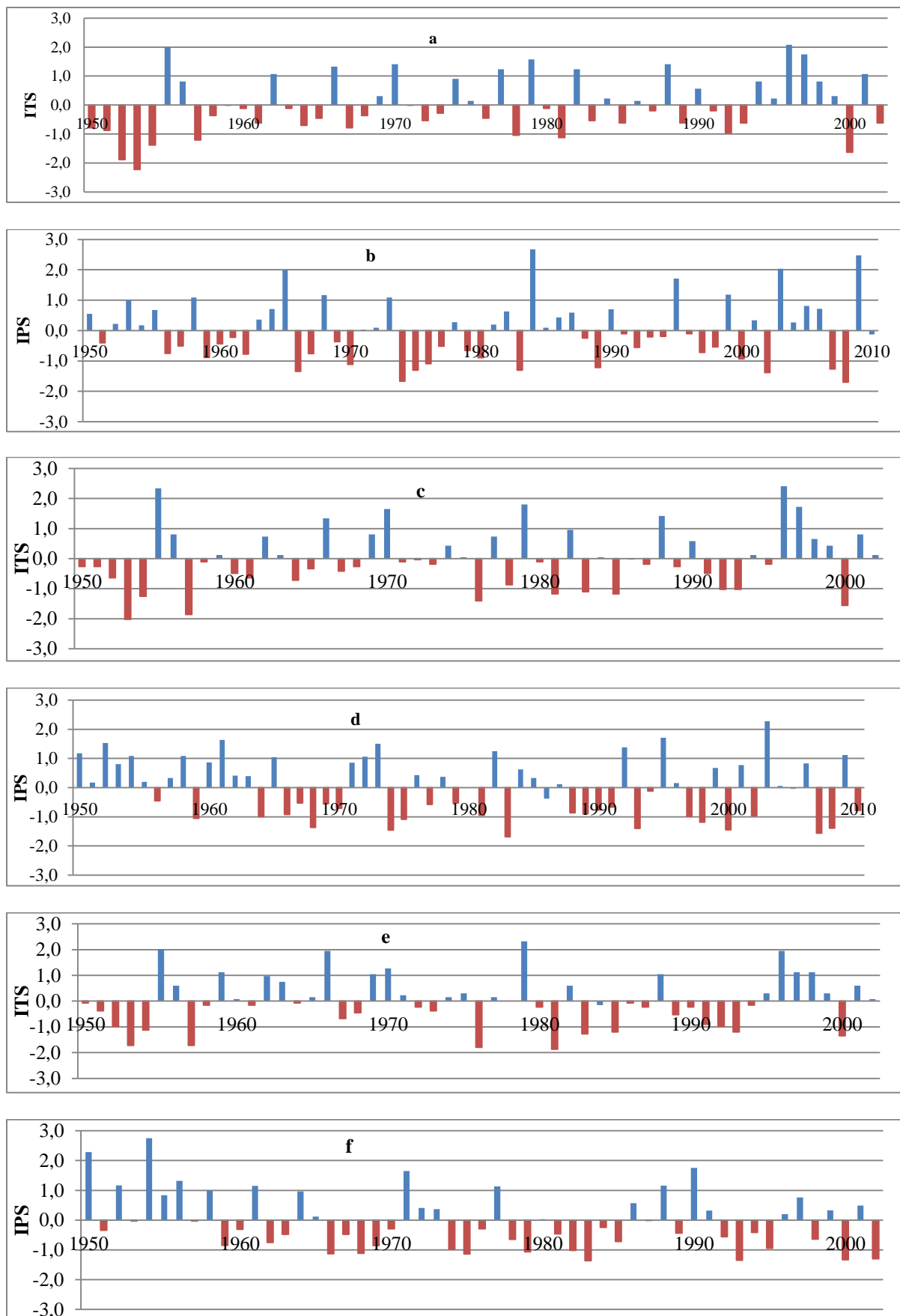


Figure 23. ITS et IPS des mois de janvier par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

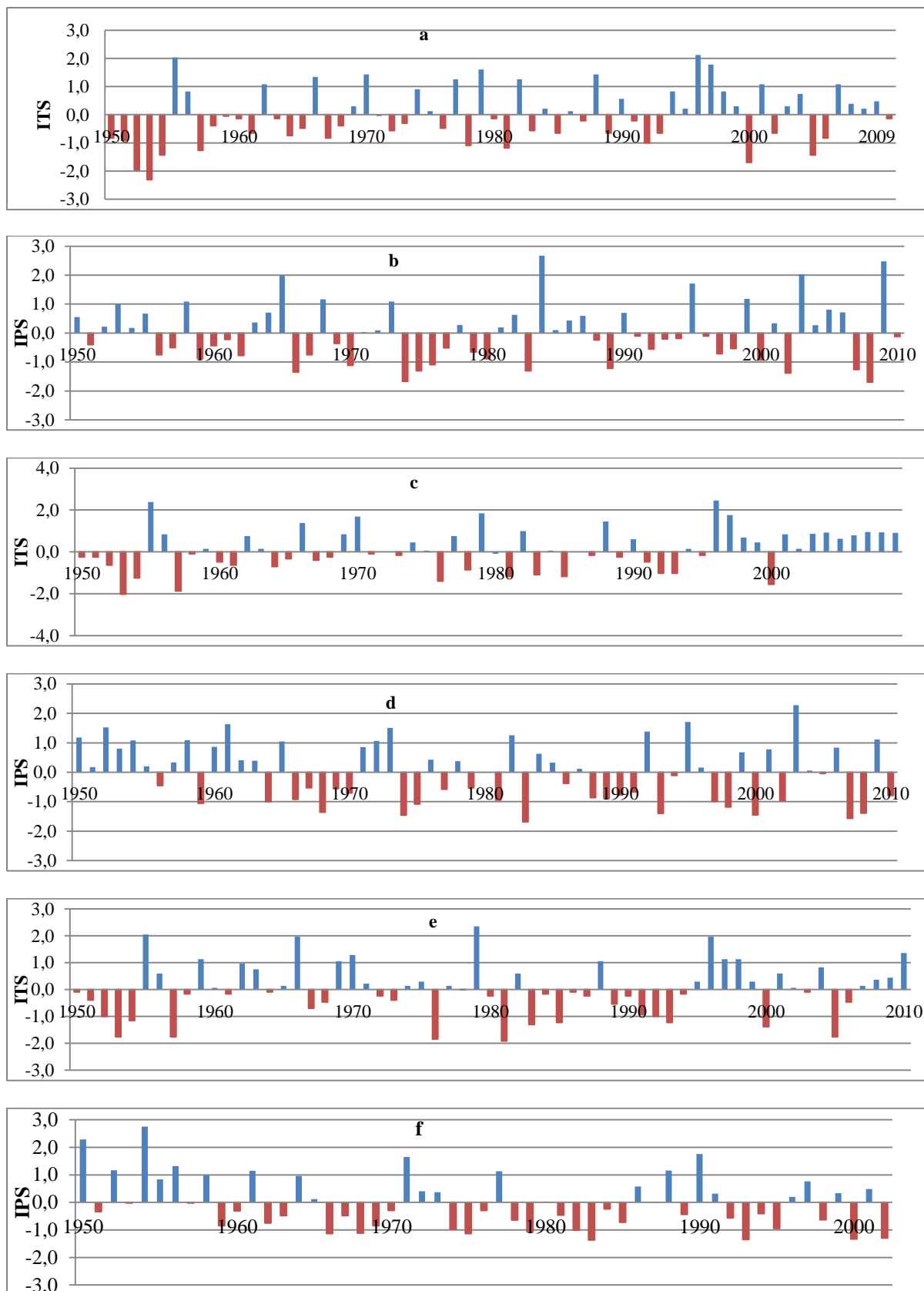


Figure 24. ITS et IPS des mois de fevrier par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

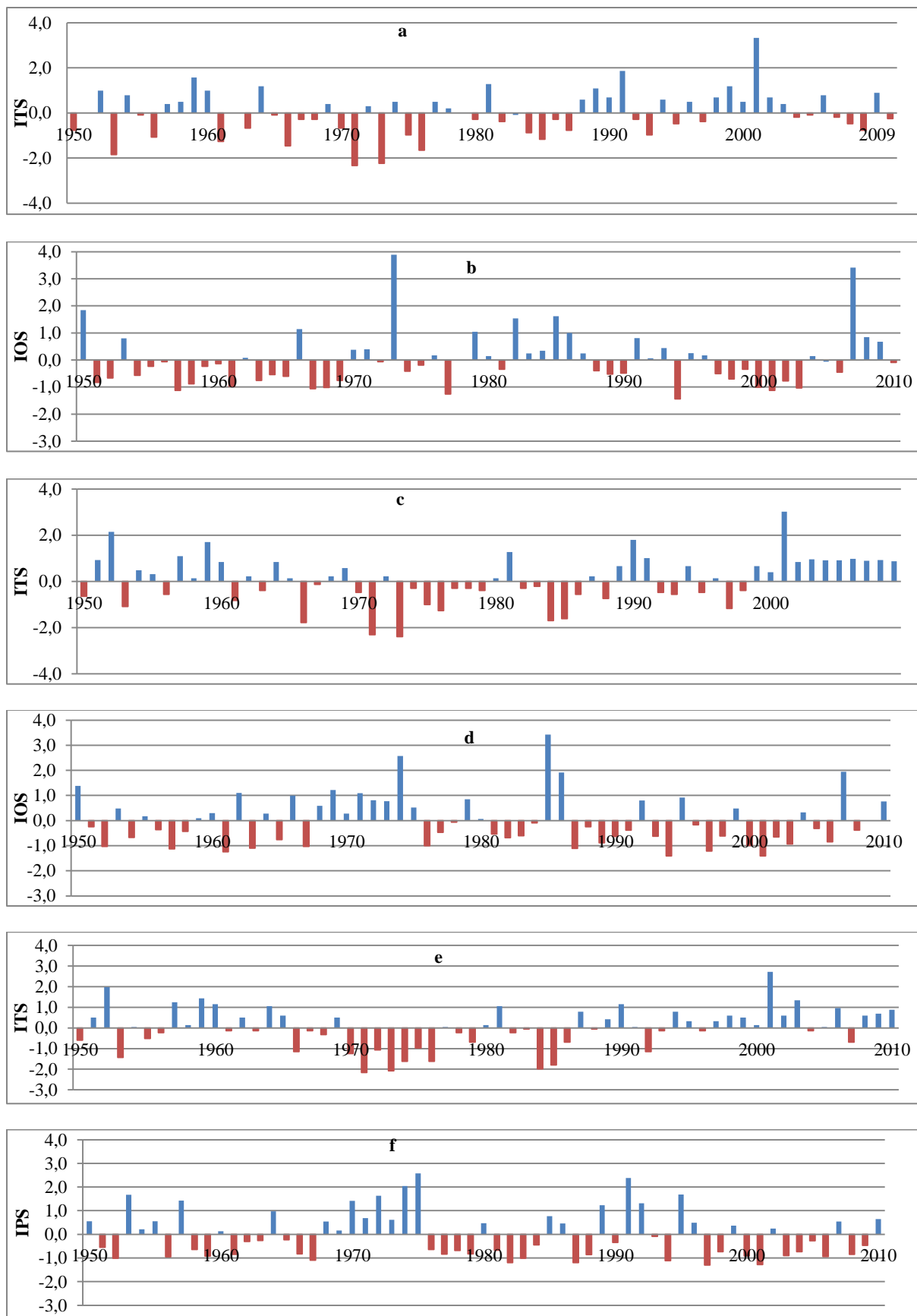


Figure 25. ITS et IPS des mois de mars par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

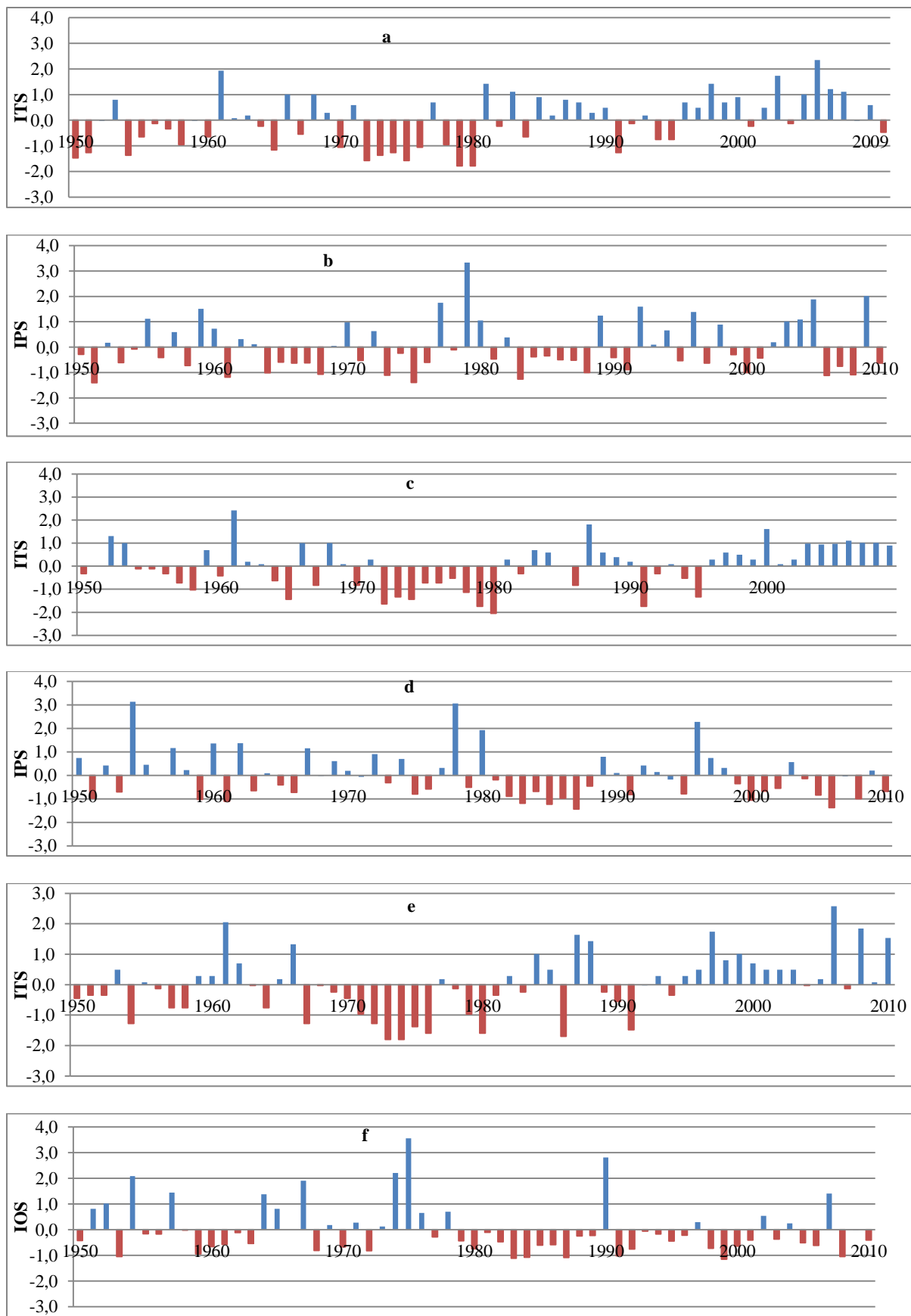


Figure 26. ITS et IPS des mois d'avril par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

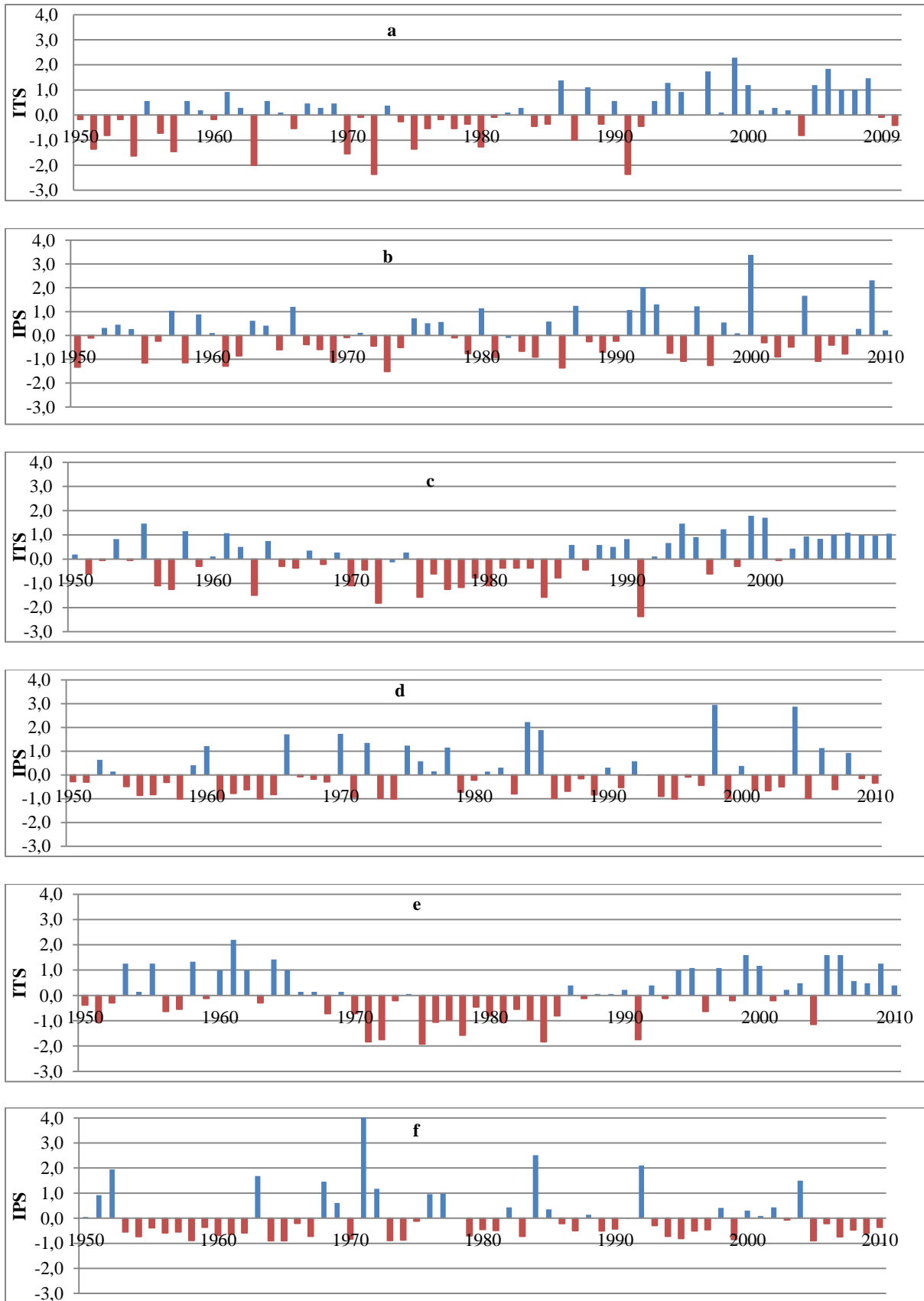


Figure 27. ITS et IPS des mois de mai par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

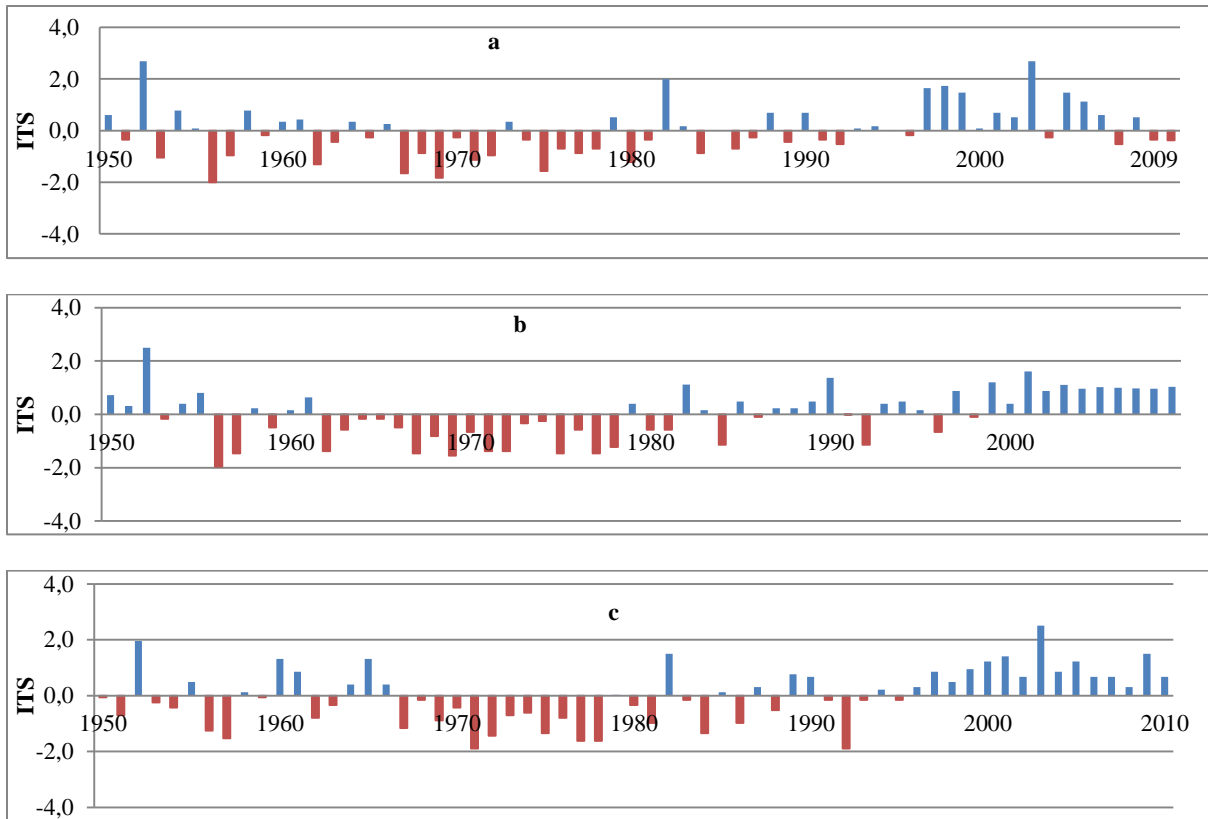


Figure 28. ITS des mois de juin par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a), Alger (b) et Oran (c) entre 1950 et 2010.

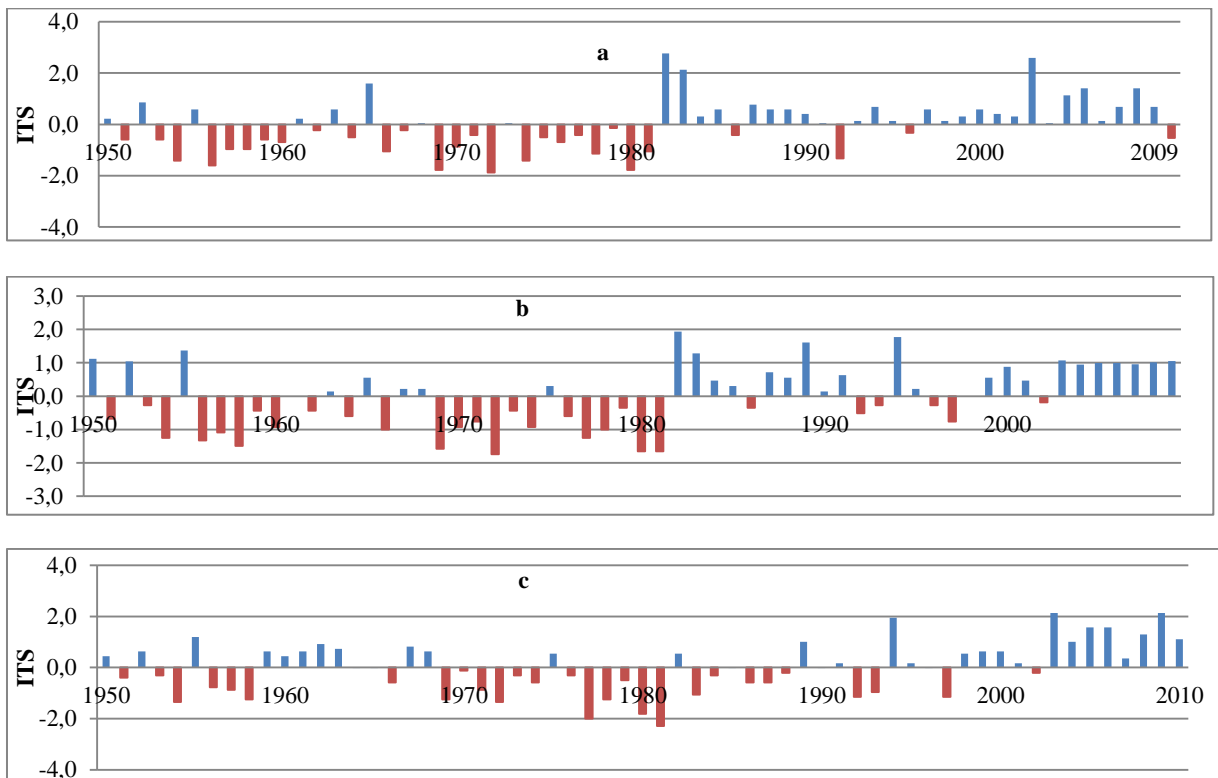


Figure 29. ITS des mois de juillet par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a), Alger (b) et Oran (c) entre 1950 et 2010.

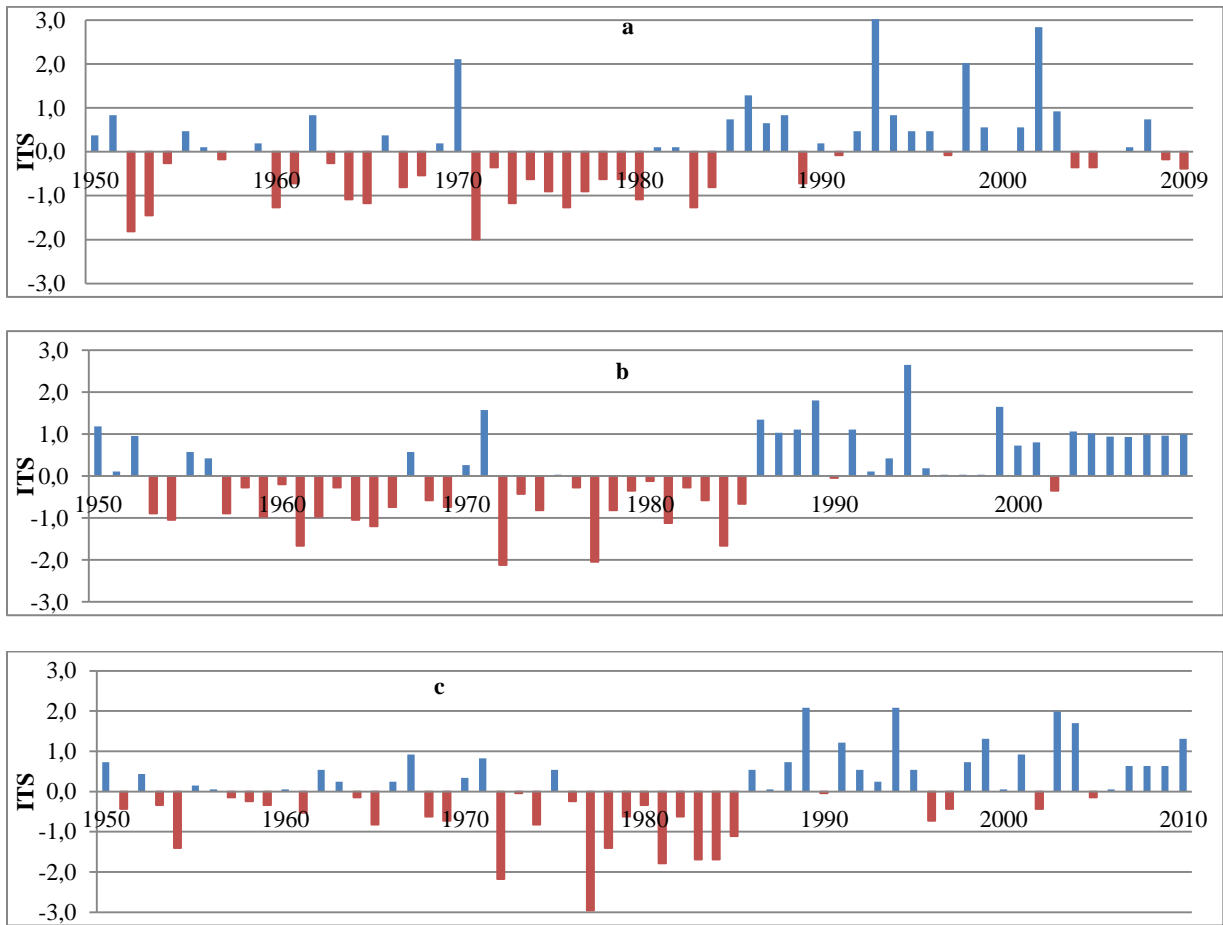


Figure 30. ITS des mois d'aout par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a), Alger (b) et Oran (c) entre 1950 et 2010.

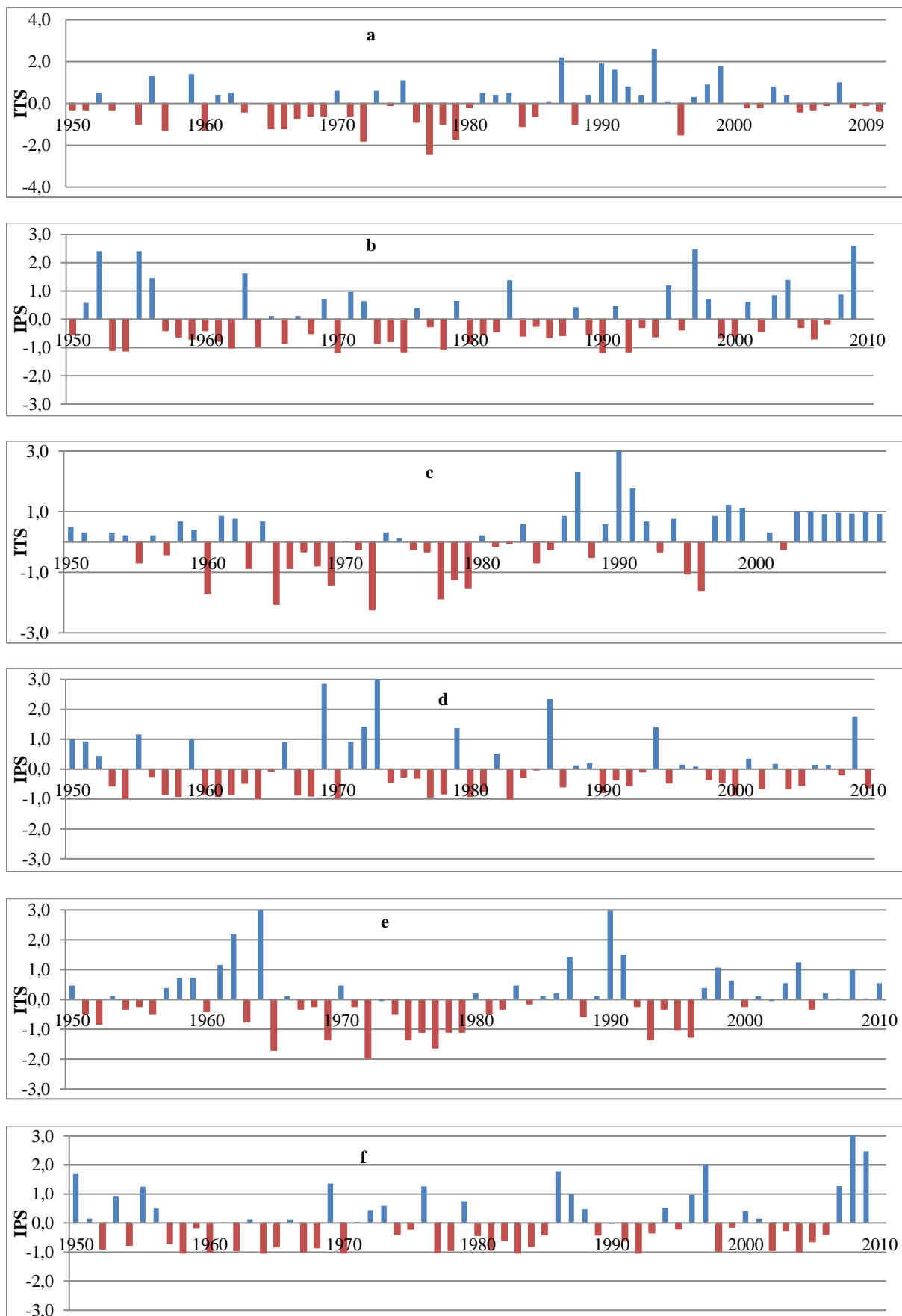


Figure 31. ITS et IPS des mois de septembre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

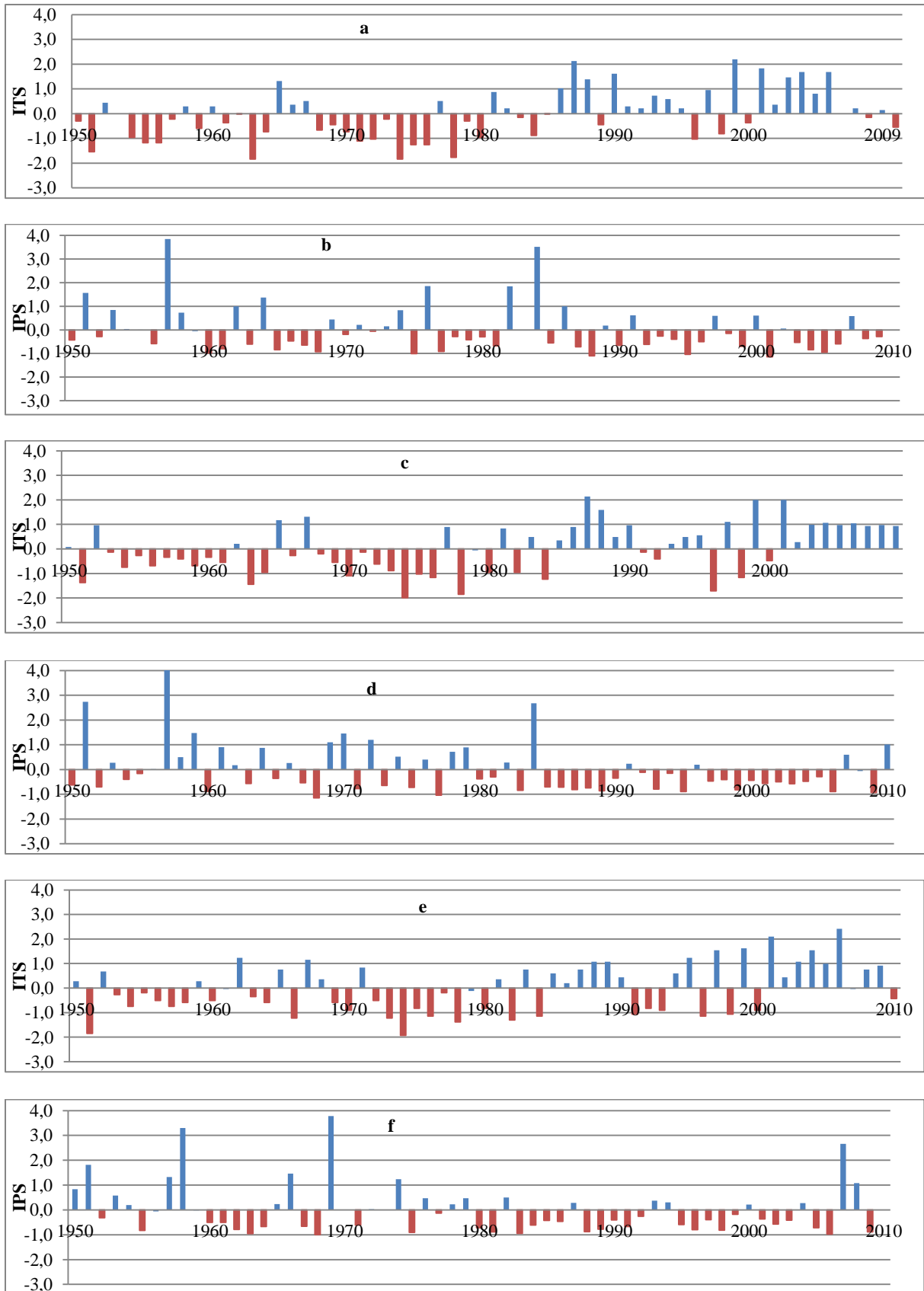


Figure 32. ITS et IPS des mois d'octobre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

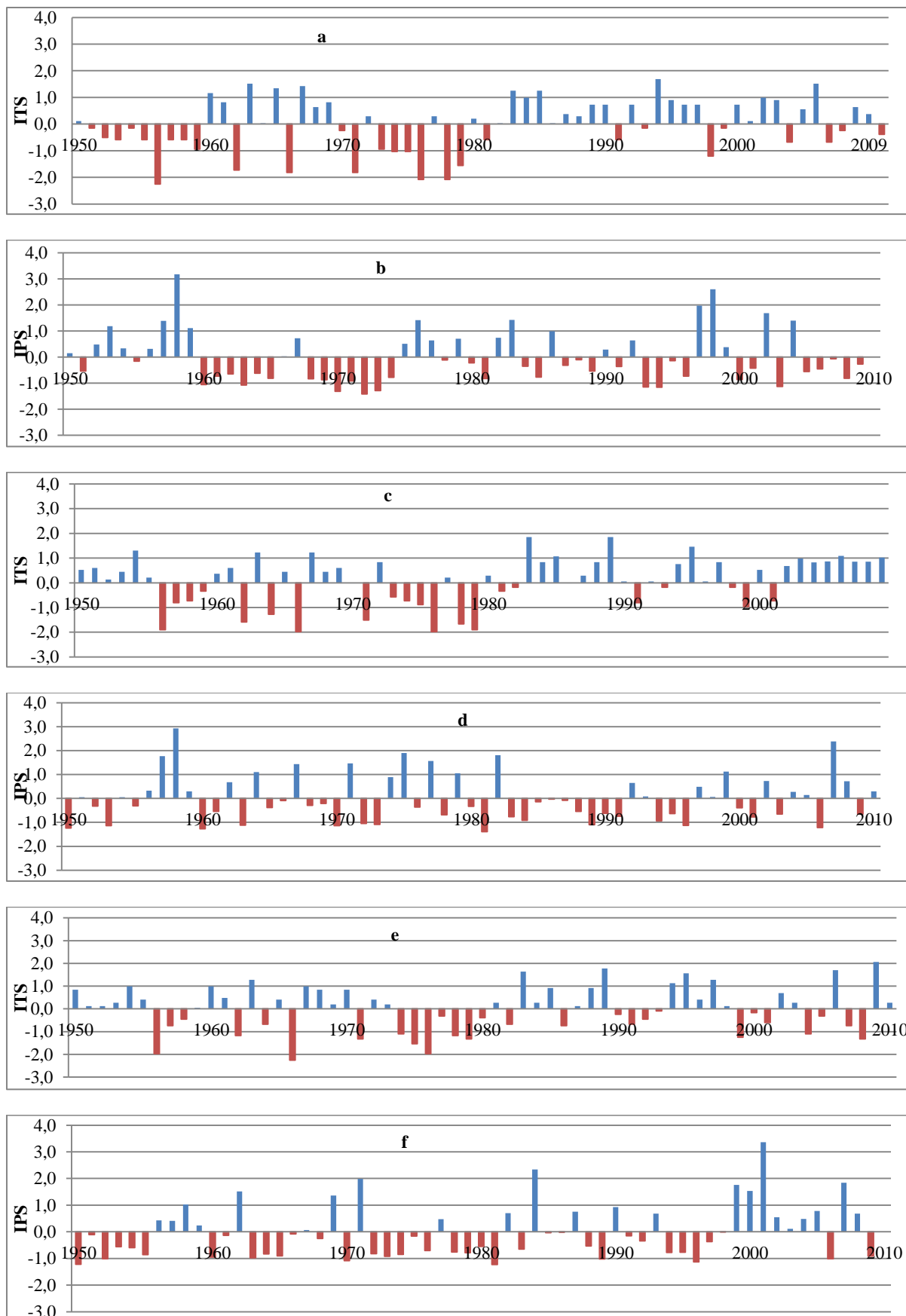


Figure 33. ITS et IPS des mois de novembre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

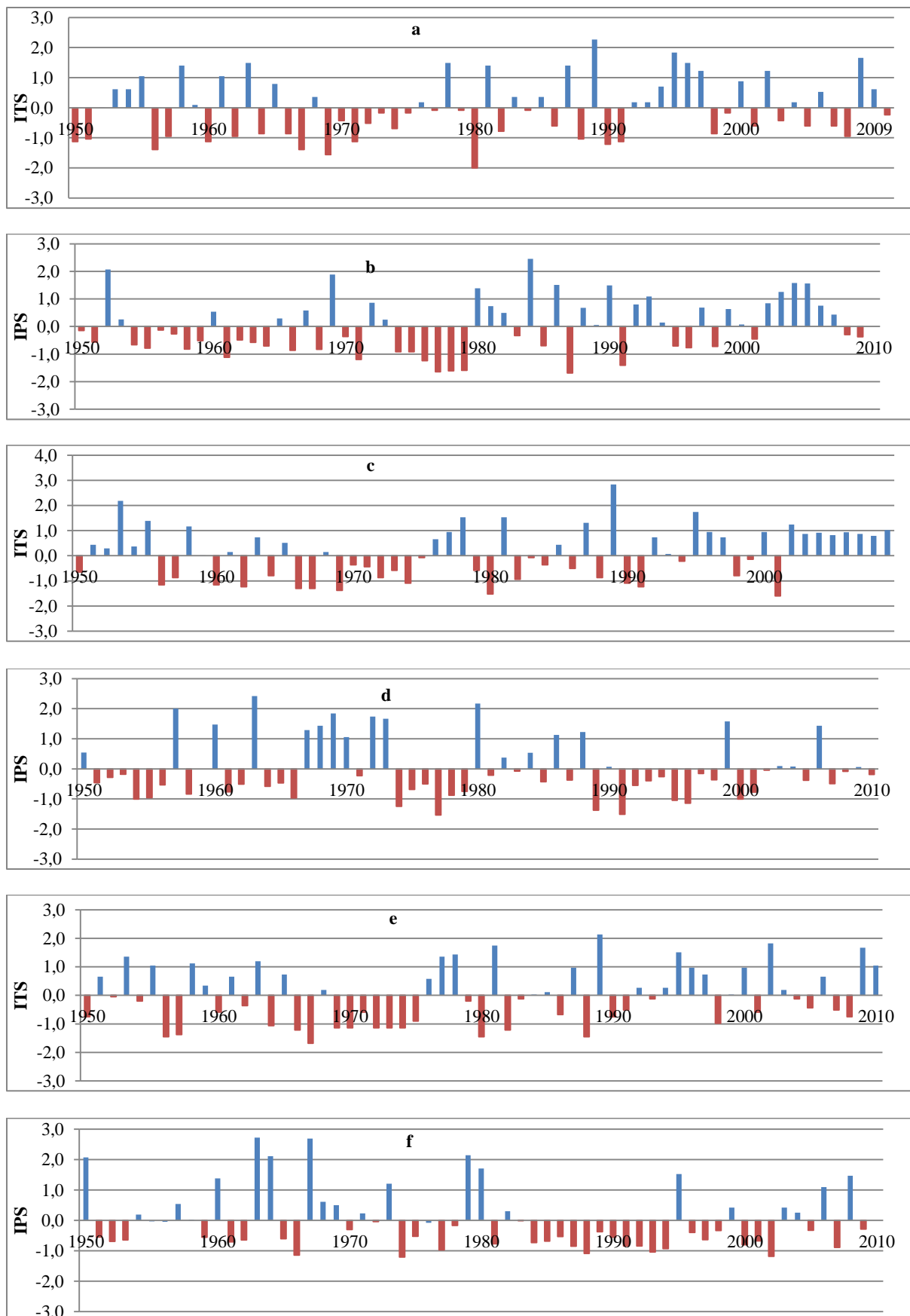


Figure 34. ITS et IPS des mois de décembre par rapport à la moyenne climatique 1950-1980 aux stations d'Annaba (a et b), Alger (c et d) et Oran (e et f) entre 1950 et 2010.

Discussion

Au cours de cette analyse nous nous sommes focalisés sur l'évolution et les tendances observées sur le climat de la bordure du littoral algérien entre 1950 et 2010 au moyen d'indices pluviométriques et thermiques ; les principaux résultats peuvent être résumés dans les points suivants :

- A l'échelle annuelle, la pluviométrie est caractérisée par une forte variabilité entre 1980 et 2010 avec une intensification de la fréquence et de l'intensité des événements humides.
- Depuis les années 1975, le littoral algérien connaît de fréquentes périodes de sécheresse d'une intensité variable ; certains auteurs s'accordent pour dire que cette rupture a effectivement eu lieu à la fin des années 1970 (Boucherf, 2010).
- Les saisons montrent une augmentation de l'intensité des pluies d'une fréquence moindre et concernant les températures, on remarque une nette augmentation à toutes les saisons vers la fin des années 1970.
- A l'échelle mensuelle, on note une baisse des précipitations hivernales particulièrement celles des mois de janvier et février avec une augmentation des températures et ce pour toutes les stations.
- Selon les indices de standardisation obtenus, on observe une évolution vers des conditions plus sèches et plus chaudes avec une augmentation de l'intensité des événements depuis les années 1970.

III.3- Relations entre anomalies du climat de la côte algérienne avec les indices globaux du climat

III.3.1- Réchauffement climatique

Hensen et *al* (2005) proposent un indice de changement climatique calculé à partir des mesures de températures et de précipitations à une hauteur de 2 m car ils représentent les indicateurs les plus fiables en raison des longues séries de données disponibles, ce qui nous permet d'avoir plus de chances de révéler des changements possibles (Hensen et *al.*, 2005).

Lorsque l'indice est positif, cela signifie qu'il y a un réchauffement ; par contre les valeurs négatives montrent qu'il s'agit d'un refroidissement.

La figure 35, montre l'anomalie combinée de température annuelle depuis 1880 qui est à la hausse depuis 1930 et à partir de 1970 à la très forte hausse. Les indices du réchauffement global sont généralement en dessous de zéro avant 1940. Entre 1930 et 1940 les indices restent constants. A partir des années 1950, les anomalies augmentent de manière exponentielle. Les années 1998, 2006, 2007 et 2010 représentent les années les plus chaudes avec des indices de l'ordre de 0.82, 0.74, 0.84 et 0.92.

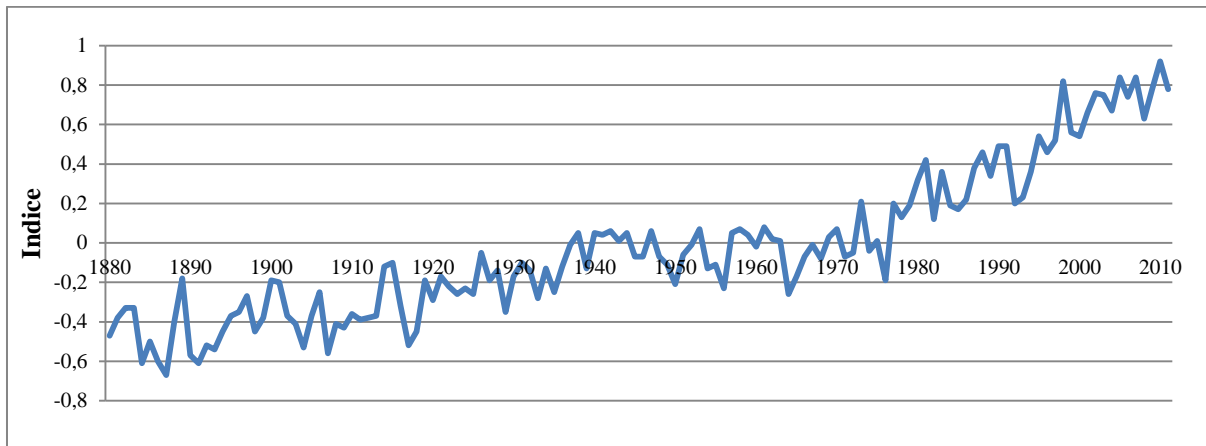


Figure 35. Indice de réchauffement global de l'air (www.ncdc.noaa.gov).

A toutes les stations (figure 36), on observe une augmentation des anomalies en fonction de l'augmentation de l'indice du réchauffement global avec une diminution des anomalies pluviométriques pendant cette période, ce qui prouve le lien étroit existant entre le réchauffement global et l'augmentation des températures ainsi que la diminution des pluies de ces dernières décennies (l'augmentation des températures globales a un impact à l'échelle régionale de la côte nord algérienne). Il existe généralement une bonne concordance entre les résultats obtenus et les résultats de différents auteurs. Goubanova (2007) suggère que l'augmentation des extrêmes climatiques est la réponse à l'augmentation des gaz à effet de serre et que le bassin Méditerranéen et les pays qui l'entourent subiront un climat plus chaud avec moins de précipitation totale, mais plus d'événements de précipitations extrêmes.

Nous avons recherché la significativité des corrélations testées à un taux de sécurité de 90 % entre le réchauffement global et les anomalies des stations de la côte algérienne. Les valeurs les plus significatives sont reportées dans le tableau 8 et le reste des corrélations sont dans l'annexe 3, tableau 14.

On remarque que les corrélations entre les IPS des stations côtières et les indices du réchauffement global sont significatives que pour Béni-Saf, par contre les ITS des stations et celles du réchauffement global, indiquent qu'il y a un lien étroit entre la température de toutes les stations et le réchauffement global.

Le réchauffement global expliquerait en grande partie l'augmentation des températures sur les stations du nord de l'Algérie.

Tableau 8. Coefficients de corrélation du réchauffement global sur les stations de la côte algérienne.

	Station	Réchauffement global
Pluviométrie	Béni-Saf	0.43
Température	Annaba	0.76
	Béjaïa	0.68
	Alger	0.63
	Oran	0.52
	Béni-Saf	0.72

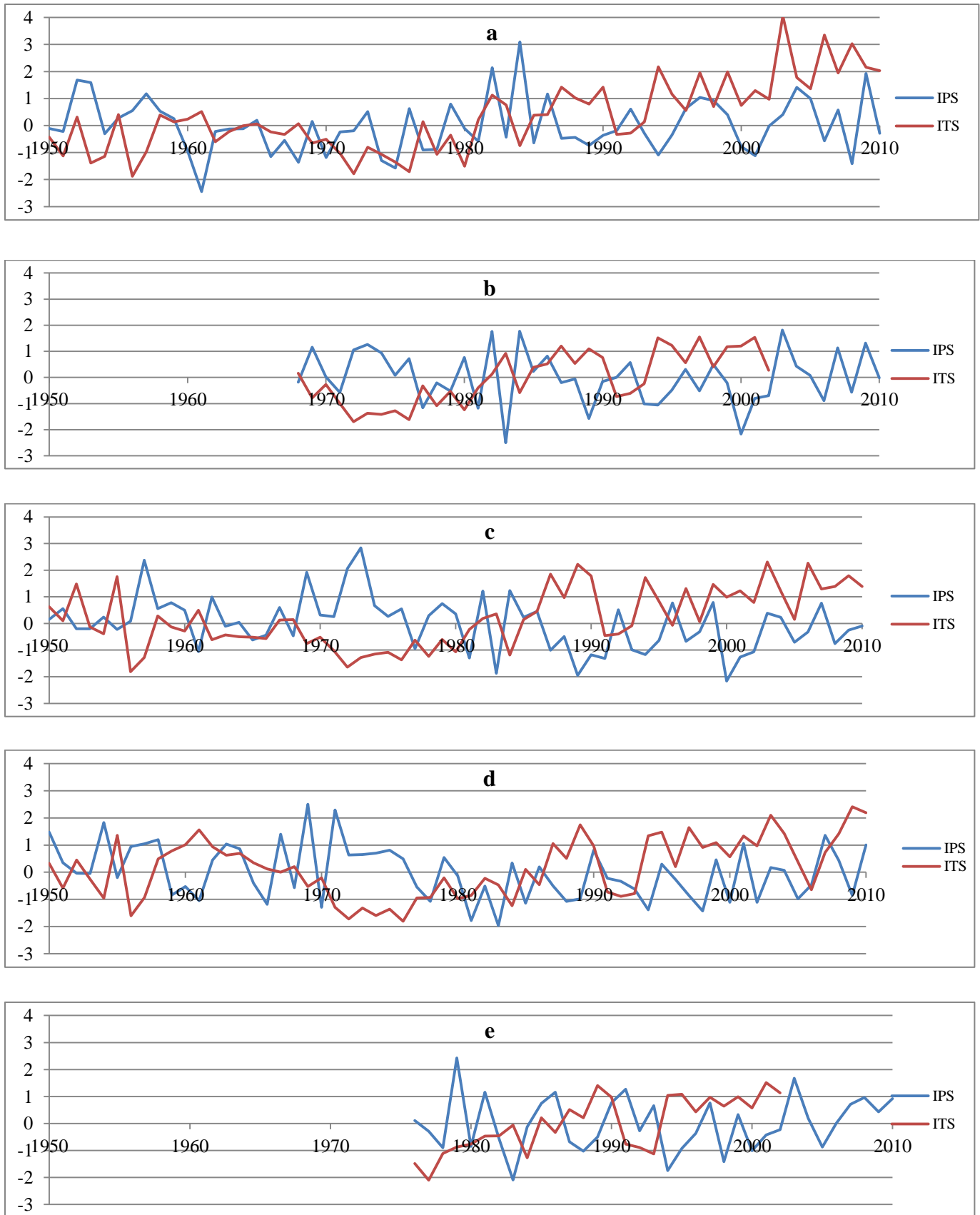


Figure 36. ITS et IPS à Annaba (a), Béjaïa (b), Alger (c), Oran (e) et Béni-Saf (d) entre 1950 et 2010.

III.3.2- L'oscillation Nord Atlantique NAO

L'Oscillation Nord Atlantique (NAO) influence le climat de la Méditerranée par sa circulation atmosphérique et océanique (Lamb et Pepler, 1987 ; Metaxas *et al.*, 1991; Kutiel et Kay, 1992; Cullen et De Menocal, 2000 (*in* Marshall *et al.*, 2001)).

L'indice NAO se calcule en faisant la différence de pression entre l'Islande et les Açores. Si cette différence est forte (puissant anticyclone des Açores, forte dépression d'Islande) l'indice NAO est fortement positif, engendrant des conditions plus froides et plus sèches sur la côte algérienne. Si cette différence est faible (faible anticyclone des Açores, anticyclone d'Islande) l'indice NAO est fortement négatif aboutissant ainsi à des conditions plus chaudes et plus humides (Cassou, 2004).

Les plus grandes variations de l'indice ont lieu d'une année à l'autre, on observe clairement des périodes de plusieurs années où l'indice est plutôt positif (1980-1995), et d'autres où il est plutôt négatif (1950-1971). L'indice révèle de brusques changements, comme par exemple entre 1995 et 1996 ; on note que ces 10 dernières années il est plutôt négatif (2000-2010) (figure 37).

A partir des corrélations obtenues entre la pluviométrie et la température des stations Nord algériennes et la NAO, nous avons effectués des tests de significativité.

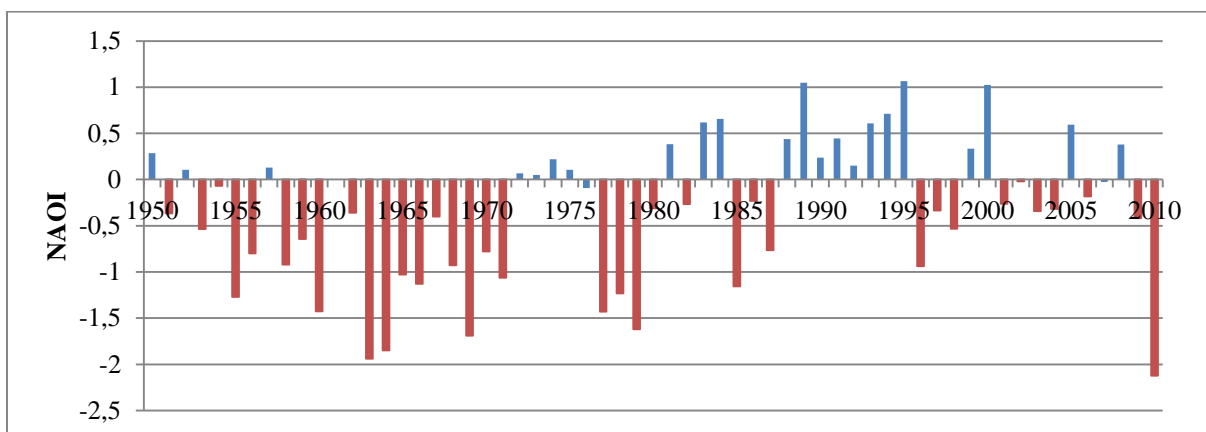


Figure 37. Indices de la NAO moyennés sur les mois d'hiver de 1950 à 2010 (www.cpc.noaa.gov).

Le tableau 9 représente les coefficients de corrélations testés à un taux de sécurité de 90 % sur la NAO et les différentes stations de la côte algérienne. Les valeurs les plus significatives

sont reportées dans le tableau 9 et le reste des corrélations sont reportées dans l'annexe 4, tableau 15.

Les corrélations obtenues entre les indices de la NAO et les IPS des stations de Béjaïa, Alger, Béni-Saf et Oran sont liés étroitement à un taux de significativité de 90%. Ce qui implique que la NAO joue un rôle non négligeable sur la pluviométrie des stations de Béjaïa, Alger, Oran et Béni-Saf, en DJF ils évoluent dans le même sens c'est-à-dire que lorsque l'indice de la NAO est positif, les pluies diminuent sur la côte et lorsqu'il est négatif, les pluies augmentent. Concernant les ITS et les indices de la NAO, on remarque que ce lien n'existe que pour les stations de Béjaïa et de Béni-Saf.

La configuration de la NAO possède une importance non négligeable dans la variabilité des précipitations et des températures des stations côtières Algériennes.

Tableau 9. Coefficients de corrélation de la NAO sur les stations de la côte algérienne.

	Station	Saison	NAOI
Pluviométrie	Béjaïa	DJF	0.25
		MAM	-0.38
	Alger	DJF	0.11
		MAM	-0.23
	Béni-Saf	DJF	-0.25
		MAM	0.13
	Oran	DJF	-0.13
		MAM	0.13
Température	Béjaïa	DJF	-0.41
		MAM	0.25
	Béni-Saf	DJF	-0.52
		MAM	0.22

III.3.3. L'oscillation Australe ENSO

Plusieurs auteurs lient les cycles naturels du climat Méditerranéen à El-Niño Southern Oscillation (ENSO) : Ropelewski et Halpert, 1987 ; Kiladis et Diaz, 1989 ; Rodo *et al.*, 1997 ; Price *et al.*, 1998 ; Turkes, 1998 ; Arpe *et al.*, 2000 ; Nazemosadat et Cordery, 2000 (*in* Mariotti *et al.*, 2002).

Pour l'Algérie, les travaux antérieurs (Matari et al, 1995) ont montré que la sécheresse observée durant les vingt dernières années particulièrement dans la région ouest est influencée par le phénomène ENSO.

L'indicateur de la variation de pression est le SOI (Southern Oscillation Index). Le phénomène ENSO se décompose en deux phases: la phase négative dite El Niño est un évènement chaud tandis que la phase positive dite La Niña est un évènement froid (Ropelewski et Halpert, 1991).

Les autres indices qui caractérisent l'ENSO sont ceux qui mesurent les anomalies de température de la surface de l'Océan (connus comme SST), mentionnés dans le premier chapitre. Enfin il existe un autre indice qui est le MEI (Multivariate ENSO Index), calculé à partir des valeurs des six variables (figure 38).

Au cours des 40 dernières années, El Niño ont affecté la côte sud-américaine. La plupart ont coïncidé avec une augmentation de la température de l'eau de la mer. Mais les plus violents, comme celui de 1982-1983 ou celui de 1997-1998, ont non seulement laissé leur empreinte sur la vie marine et le climat local, mais aussi sur des conditions climatiques à l'échelle de la planète.

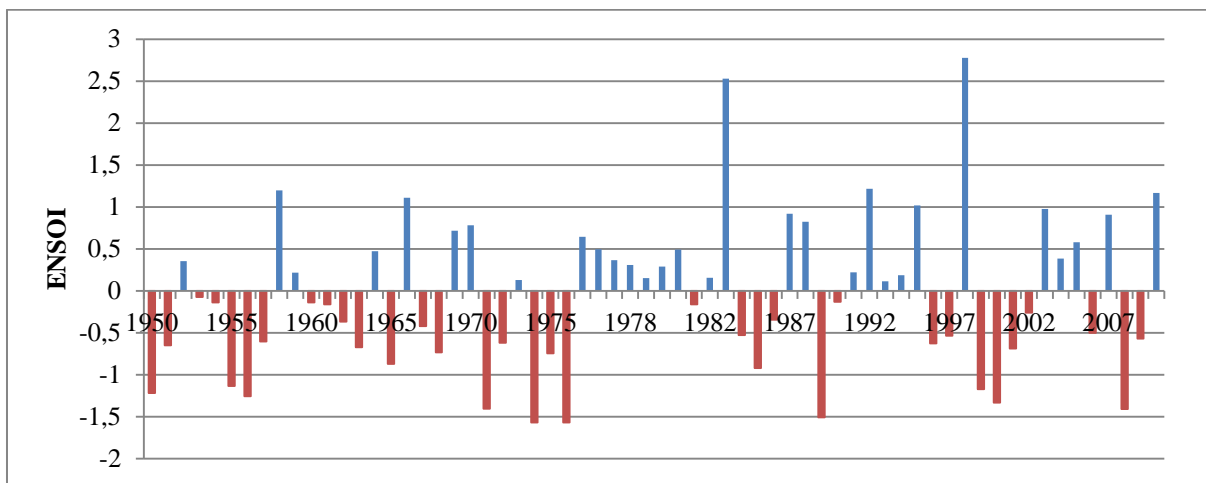


Figure 38. MEI (Multivariate ENSO Index) de 1950 à 2010 (www.cpc.ncep.noaa.gov).

le tableau 10 représente les coefficients de corrélations testés à un taux de sécurité de 90 % sur les indices d'ENSO et les différentes stations de la côte algérienne, le reste des corrélations sont portées dans l'annexe 5, tableau 16. Les valeurs les plus significatives sont représentées en gras. Les résultats obtenus, nous permettent de supposer une probable influence du phénomène ENSO sur les températures de la station d'Oran.

Tableau 10. Coefficients de corrélation d'ENSO sur les stations de la côte algérienne.

	Station	Saison	ENSO 3	ENSO 3.4
Température	Oran	MAM	0.42	0.42

Discussion

Les résultats confirment que la configuration de la NAO et d'ENSO ont une importance non négligeable sur la variabilité des précipitations et des températures sur la côte algérienne. La configuration du réchauffement global a une importance fondamentale et dominante sur les variations du climat des stations côtières algériennes qui coïncide avec les périodes de sécheresses et de pluies intenses. Donc l'augmentation des événements extrêmes est une manifestation du changement climatique à l'échelle planétaire ainsi que cela a déjà été récemment suggéré par Rodo et al (1997). Les causes de cette augmentation sont essentiellement dues à l'effet de serre qui a fortement augmenté à cause de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz qui se traduit par l'émission dans l'atmosphère de molécules à base de carbone (CO₂, monoxyde de carbone...). De même, la déforestation se traduit par l'introduction plus ou moins directe dans l'atmosphère du carbone qui était stocké dans les arbres. Les halocarbures, les hexafluorures de soufre (SF₆), l'ozone troposphérique (O₃) sont de nouveaux gaz produits par l'homme.

De plus, la concentration des principaux gaz à effet de serre (en dehors de la vapeur d'eau) augmentant plus vite qu'au milieu du XVIIIe siècle, la part de responsabilité des activités humaines dans la tendance au réchauffement de la Terre augmente et devient le facteur prépondérant (Ba, 2005).

Les indicateurs montrent une augmentation du réchauffement climatique de 1975 à ce jour, Cette augmentation est principalement due à l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère (Delworth et al., 1999). L'augmentation de CO₂ est incontestablement due à l'activité humaine ; Elle constitue une menace pour le climat et, de surcroît, pour les océans en raison du processus d'acidification qu'elle provoque (Puget et al., 2010).

III.4- Température de surface de la mer (SST)

Nous avons établi des courbes (figure 39) montrant l'évolution des SSTA des trois bassins : Est, Centre et Ouest afin de voir la variabilité temporelle des trois zones pendant les saisons DJF, MAM, JJA et SON.

Les SSTA de la saison d'hiver ont tendance à augmenter dans les trois bassins : Est, Centre et Ouest, on observe une augmentation des températures à partir des années 1970 dans le bassin Est, 1990 dans le bassin Centre et 1975 dans le bassin Ouest (figure 39).

On note que les températures de surface de la mer de la saison MAM ont tendance à augmenter dans le bassin Est et Ouest et diminuent au Centre.

Cette augmentation apparaît à partir des années 1990 dans le bassin Est et 1970 dans le bassin Ouest (figure 39).

Les SSTA de la saison d'été montrent une tendance à la hausse des températures dans les bassins Est et Centre, visible à partir des années 1960 pour le bassin Est et 1980 pour le bassin Centre, par contre on note une diminution des SST dans le bassin Ouest visible à partir des années 1970 (Figure 39).

En automne, les températures de surface de la mer du bassin algérien augmentent à partir des années 1985 dans le bassin Est, 1970 dans le bassin et 1980 dans le bassin Ouest (figure 39).

Les figures 40, 41, 42 et 43 montrent l'évolution des anomalies de la SST dans chaque zone et à toutes les saisons (SSTA).

En DJF, dans le bassin Est, Centre et Ouest, on observe une augmentation des SSTA à partir des années 1970, de modérément froides à modérément chaudes dans le bassin Est, modérément froide à proche de la normale dans le bassin Centre et de modérément chaudes à très chaudes dans le bassin Ouest (figure 40).

Pour la saison MAM, on note, dans le bassin Est, Centre et Ouest une augmentation des anomalies ; dans le bassin Est, on passe de saisons modérément froides à modérément chaudes, au niveau du bassin Centre et Ouest, on passe des saisons modérément froides à proche de la normale (figure 41).

Les anomalies de la saison JJA, au niveau du bassin Est, montrent une augmentation des anomalies, évoluant vers des étés extrêmement chaudes ; dans le bassin Centre, on évolue vers des conditions très chaudes et à l'Ouest, on passe à des étés modérément chauds (figure 42).

Les anomalies calculés en SON au niveau du bassin Algérien indiquent une augmentation de la sévérité des indices thermiques à partir des années 1980 et évoluant vers des saisons chaudes à l'Est et très chaudes au Centre et à l'Ouest (figure 43).

Nous avons recherché la significativité des corrélations testées à un taux de sécurité de 90 % entre le réchauffement global et les anomalies des bassins de la côte algérienne. Les valeurs les plus significatives sont représentées dans le tableau 11 ; c'est-à-dire que ces paramètres évoluent ensemble. On remarque dans le tableau 11 que les corrélations entre les anomalies des bassins et les indices du réchauffement global sont toutes significatives, il y a donc un lien étroit entre les anomalies et le réchauffement global.

Le réchauffement global expliquerait en grande partie l'augmentation des températures sur zones du bassin algérien.

Tableau 11. Coefficients de corrélation du réchauffement global sur les bassins de la côte algérienne.

R	Est	Centre	Ouest
SST	0,19	0,28	0,13

Discussion

L'augmentation de la température dans le bassin algérien est indéniable, ce qui a pour conséquence une augmentation de la concentration en oxygène dans l'atmosphère et une diminution dans les eaux. Par conséquent, la teneur en ions H⁺ dans la mer ainsi que le taux de respiration des animaux marins augmentent réduisant d'autant plus la concentration en oxygène dans l'eau et augmentant dès lors l'acidité des milieux marins. Ceci engendre alors le déclin des habitats des espèces d'eau froide et la difficulté pour certaines de demeurer (coraux, organismes coquilliers, etc.) (Milano, 2009). Cette modification du milieu marin touche également des espèces phytoplanctoniques, c'est le cas des coccolithophores

Qui est recouvert de petites plaques de carbonates de calcium est à la base de la chaîne alimentaire, donc si ce type de plancton est touché par l'augmentation de la température, c'est toute la biodiversité marine qui pourrait en subir les conséquences.

De plus, l'augmentation de la température influe sur l'augmentation du niveau de la mer (Pethick, 2001), la circulation atmosphérique et océanique (Harley *et al.*, 2006 ; Scavia *et al.*, 2002). Il existe donc un lien étroit entre l'augmentation de la température et entre la diminution des sels nutritifs, du matériel particulaire. En plus de cet impact notable sur la physico-chimie du milieu, il y a aussi une dynamique commune entre la variabilité climatique et les concentrations en chlorophylle a, témoignant d'un risque de répercussion sur le compartiment biologique (composition de la biocénose et abondance des espèces) (Beaugrand *et al.*, 2013).

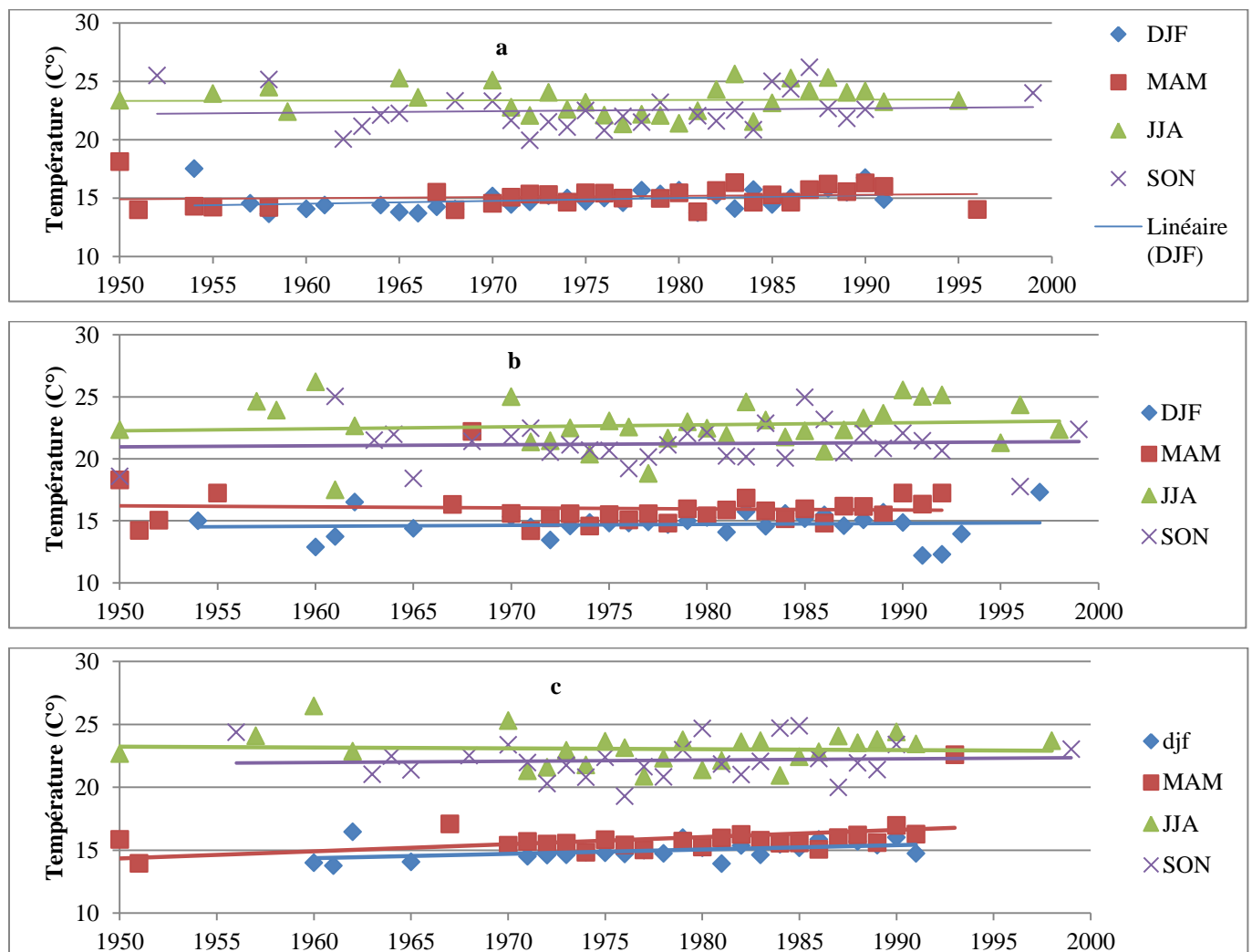


Figure 39. Températures de surface de la mer dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c) pendant les saisons DJF, MAM, JJA et SON.

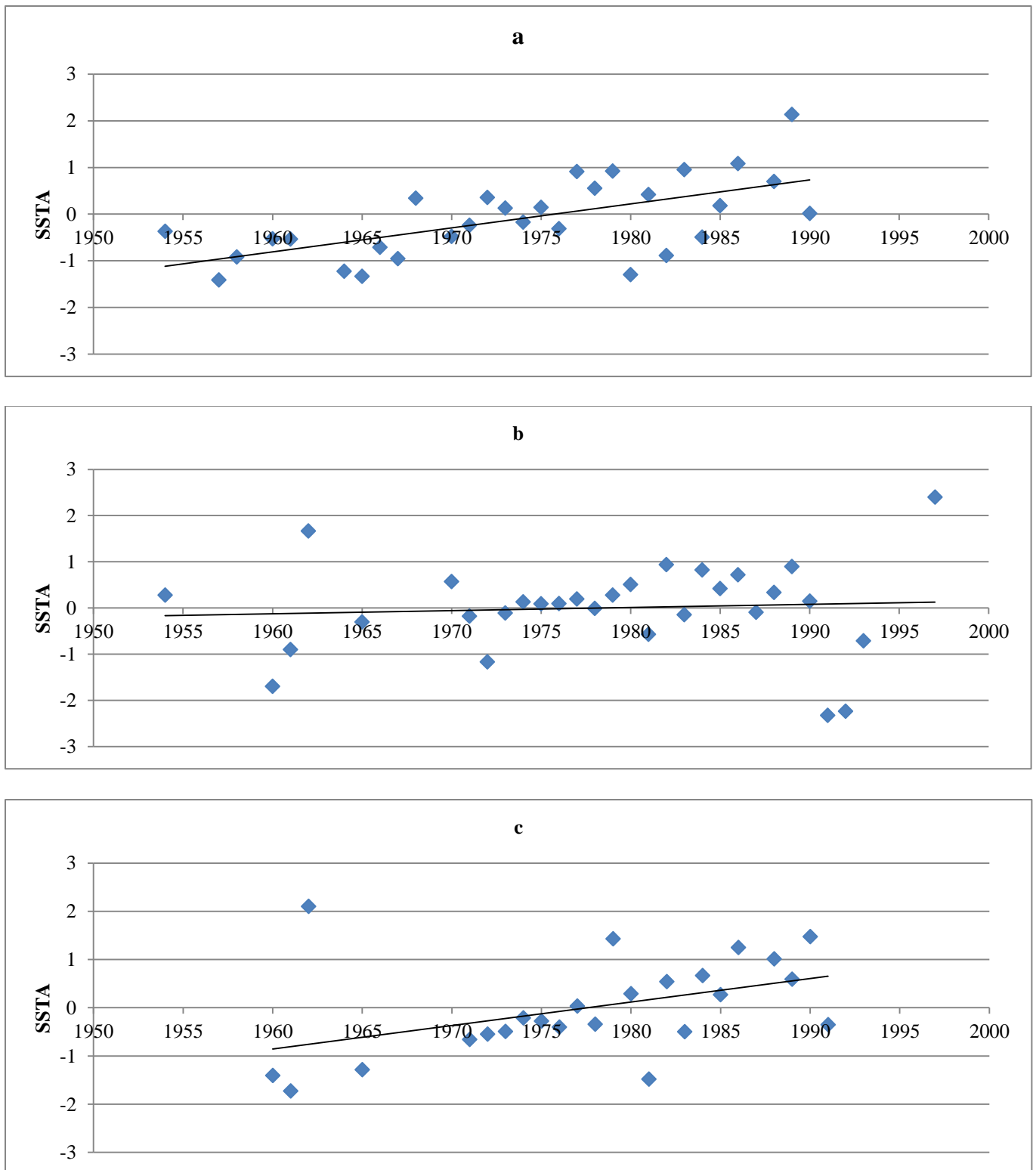


Figure 40. ITS de surface de la mer en DJF des bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c).

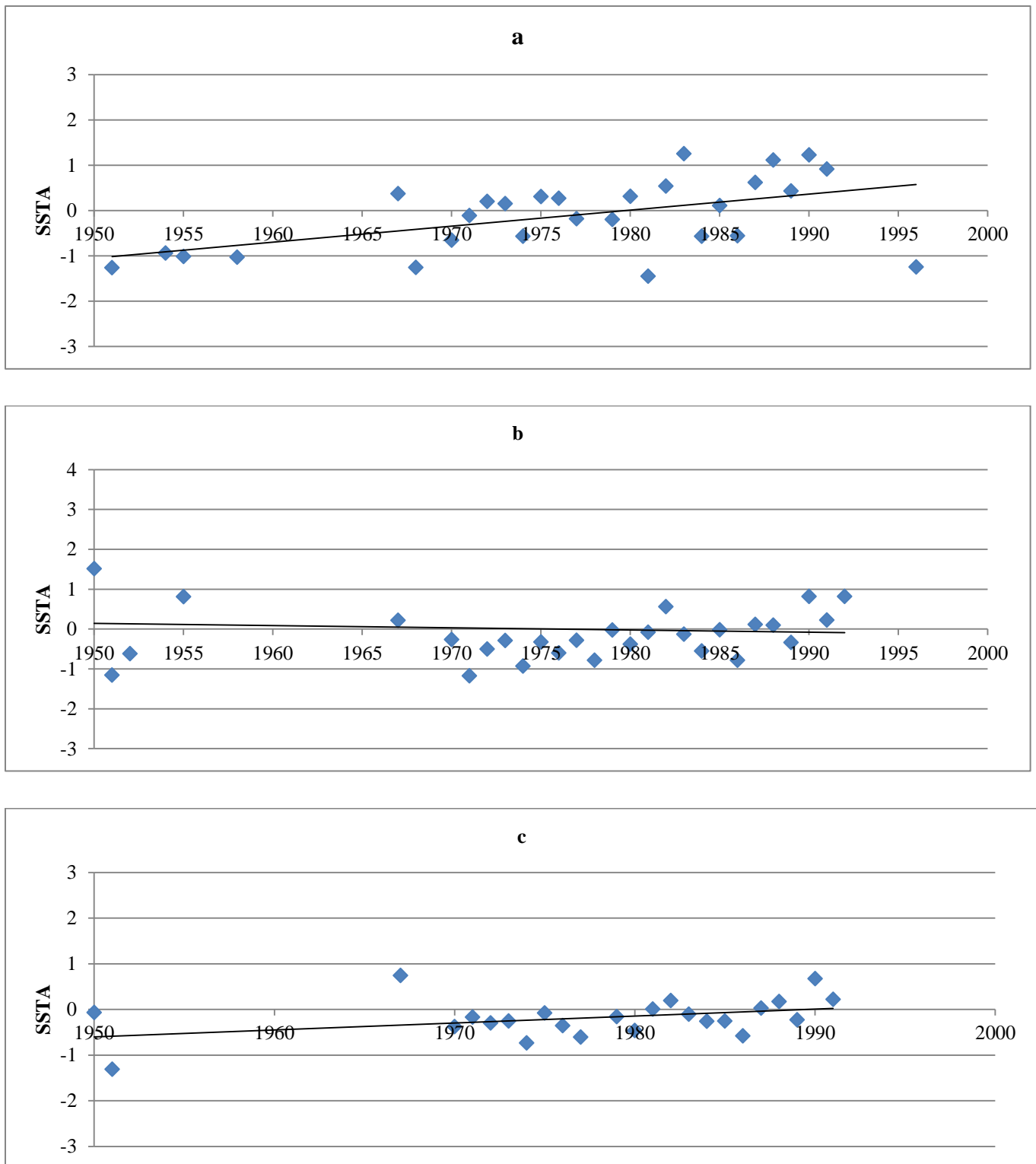


Figure 41. ITS de surface de la mer en MAM dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c).

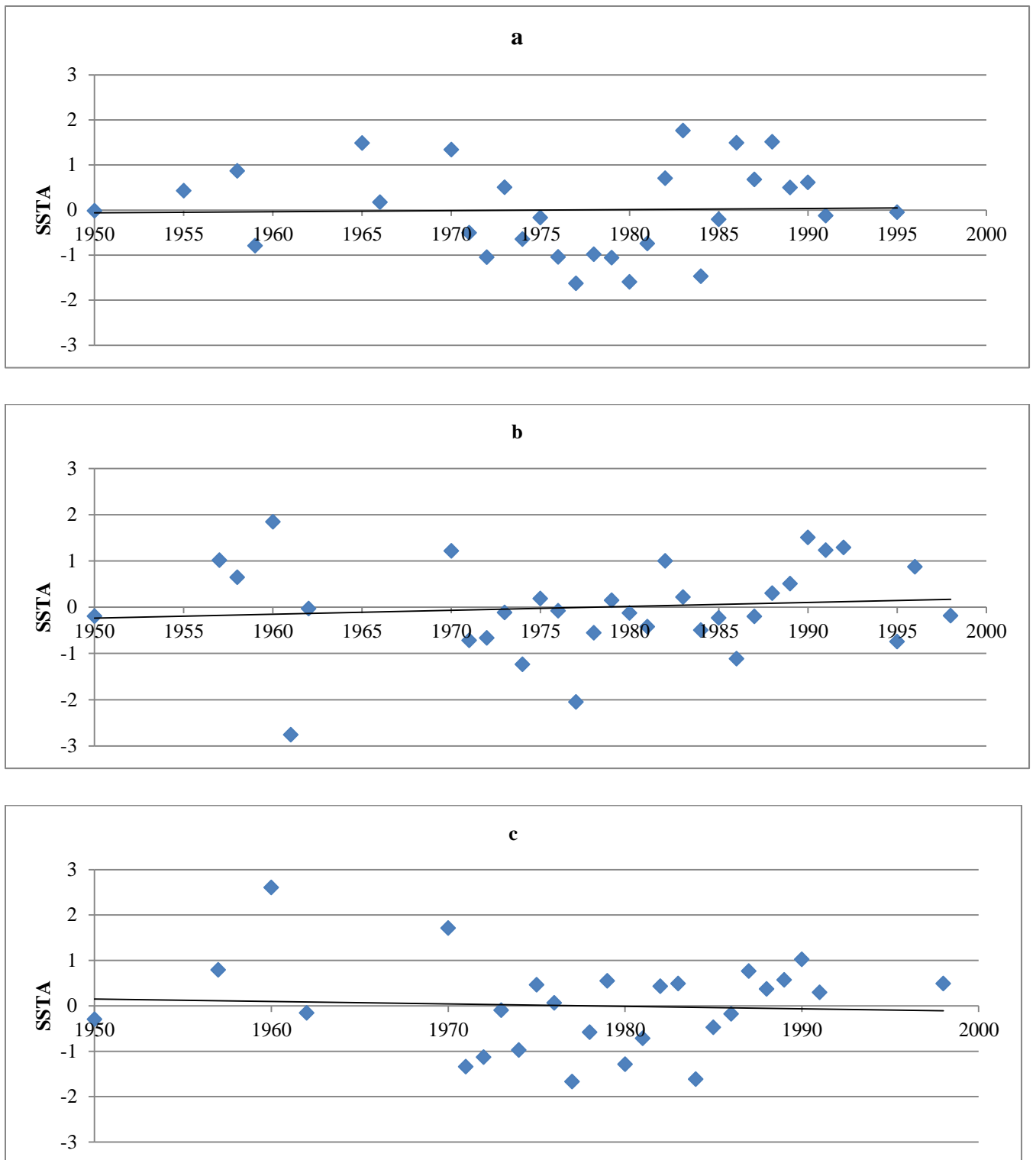


Figure 42. ITS de surface de la mer en JJA dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c).

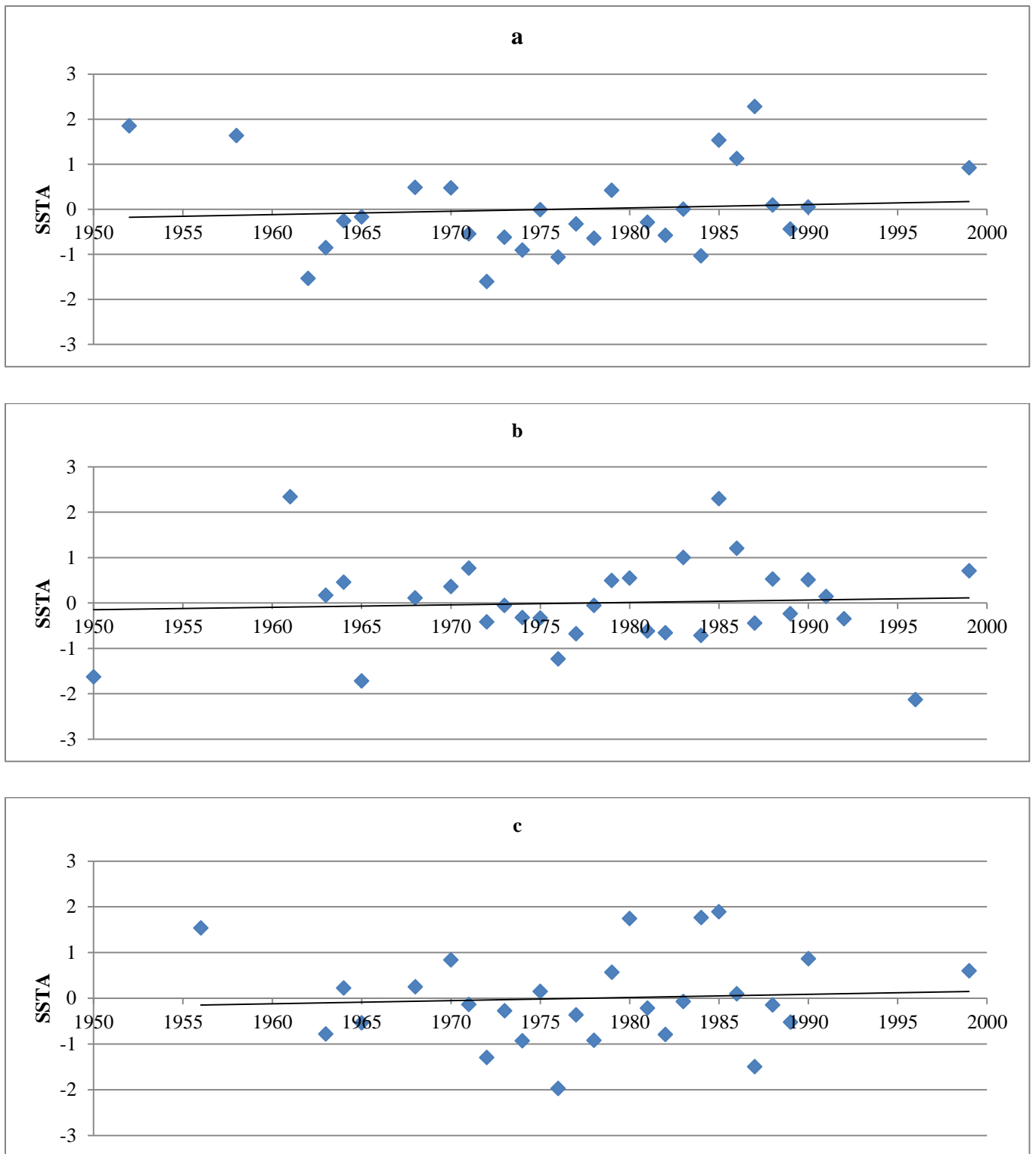


Figure 43. ITS de surface de la mer en SON dans les bassins Est (a), Centre (b) et Ouest (c).

Nous avons recherché la significativité des corrélations testées à un taux de sécurité de 90 % entre les SSTA des trois zones du bassin algérien et les indices de la NAO et ENSO.

Les valeurs les plus significatives sont représentés dans les tableaux 12 et 13. On remarque que les corrélations sont toutes significatives, il y a donc une influence de la NAO et de ENSO sur le bassin algérien.

Tableau 12. Coefficients de Corrélation entre les anomalies de la SST (SSTA) et les indices de la NAO.

Zone	Saison	NAO
Est	DJF	0,34
	MAM	0,39
	JJA	0,13
Centre	DJF	-0,06
	MAM	-0,09
	JJA	0,01
Ouest	DJF	0,07
	MAM	0,19
	JJA	-0,08

Tableau 13. Coefficients de Corrélation entre les anomalies de la SST (SSTA) et les indices d'ENSO.

Zone	Saison	ENSO
Est	MAM	0,31
	JJA	0,29
	SON	0,34
Centre	MAM	0,01
	JJA	0,12
	SON	0,21
Ouest	MAM	0,18
	JJA	0,25
	SON	0,04

Nous avons calculés les ΔT (C°) de chaque zone dans le but de vérifier s'il y a tropicalisation.

La figure 44 représente les résultats obtenus.

A l'Est et à l'Ouest, on remarque la diminution du ΔT (C°) qui ne s'applique pas pour le centre. On observe trois périodes distinctes dans les zones Est et Ouest : la première s'étend

jusqu'en 1970 où les ΔT (C°) sont élevés, la deuxième période s'étend de 1970 à 1980, au cours de laquelle les ΔT (C°) diminuent pour ré-augmenter au-delà des années 1980.

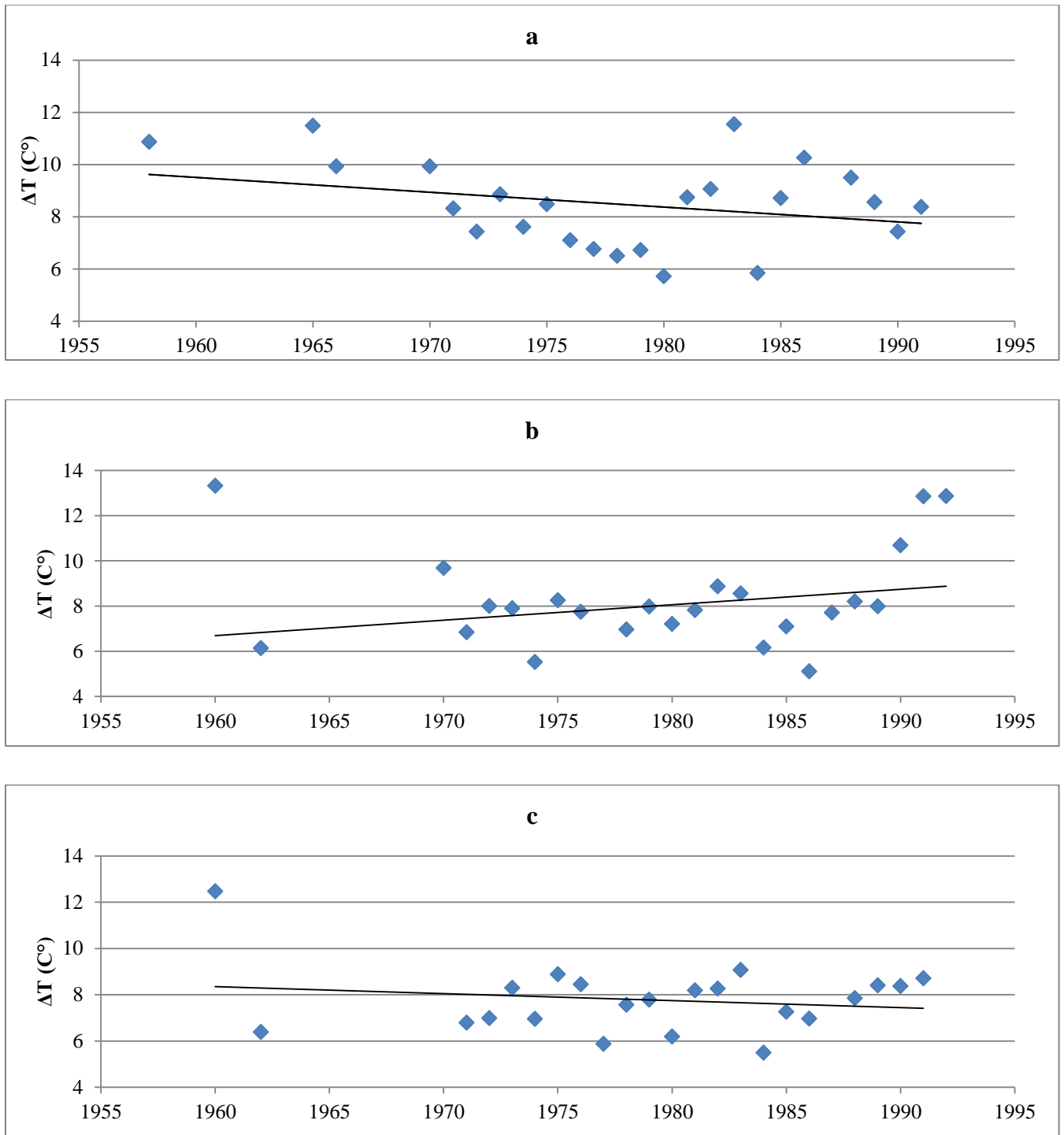


Figure 44. ΔT (C°) des trois régions Est (a), Centre (b) et Ouest (c) avec leurs courbe tendance.

Conclusion

Conclusion

Au cours de ce mémoire nous avons tenté d'approfondir notre connaissance sur la nature statistique et physique des températures et des précipitations et sur leur réponse aux indices climatiques. Nous nous sommes concentrées sur les stations côtières Algériennes qui sont particulièrement vulnérable à la variation et changement du climat ; Nous avons tenté aussi de comprendre le lien existant entre les crues des oueds et la pluviométrie des stations côtières et de voir le rapport entre les indices thermiques du réchauffement global et celles du bassin Algérien ; Ce qui nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- A l'échelle annuelle, la pluviométrie est caractérisée par une forte variabilité entre 1980 et 2010 avec une intensification de la fréquence et de l'intensité des événements humides.
- Depuis les années 1975, le littoral algérien connaît de fréquentes périodes de sécheresse d'une intensité variable.
- L'analyse des saisons montre une augmentation de l'intensité des pluies d'une fréquence moindre et concernant les températures, on remarque une nette augmentation à toutes les saisons vers la fin des années 1970.
- A l'échelle mensuelle, on note une baisse des précipitations hivernales particulièrement celles des mois de janvier et février avec une augmentation des températures.
- la distribution des précipitations et des températures sur les stations côtières algériennes ont bien connu un changement au cours de la période 1950-2010. Ce changement, consistant en une évolution vers des conditions plus sèches et plus chaudes, qui coïncide avec une augmentation des températures du réchauffement global.
- L'analyse des variations atmosphériques tels que la NAO et ENSO, nous a permis confirmer que la configuration de la NAO influe de manière minimale sur le régime des précipitations et des températures des stations côtières Algériennes et que la configuration d'ENSO n'explique qu'au minimum deux ou trois changements.

- l'analyse des tendances thermiques du réchauffement global et celles du bassin Algérien, nous a permis de déceler une relation étroite entre ces deux paramètres, en relation directe avec les conséquences observées sur le milieu marin.
- L'analyse des indices des variations atmosphériques avec les anomalies des trois zones du bassin (Est, Centre et Ouest), nous permet de confirmer que la NAO et ENSO influent sur les régimes du bassin algérien,
- L'analyse des variations de températures dans les bassin algériens , indique une diminution de ces indices, ceci confirme un phénomène de tropicalisation.

Les relations entre les fluctuations climatiques fluctuations à l'échelle régionale surtout dans la région du Sud méditerranéen sont peu étudiées comparativement aux interactions avec le continent Européen. Ces relations méconnues doivent être mises en évidence et étudiées afin de prévenir les éventuelles conséquences d'un tel changement sur la biodiversité, l'économie et le développement durable des régions.

Références
Bibliographiques

Bibliographie

- Alexander, L., Zhang, X., Peterson, T., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., and Vazquez Aguirre, J., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 111 : D05109 :doi :10.1029/2005JD006290.1-36.
- Alexandersson, H., Tuomenvirta, H., Schmith, T., Iden, K., 2000. Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Climate Research*. 14, 71-73.
- Allen, M. R., Ingram, W.J., 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature*. 419, 224-232.
- Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Ramis, C., Homar, V., Romero, R., Michaelides, S., Manes, A., 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*. 29, NO. 0, 10.1029/2001GL013554.1-4.
- Ba, M. 2005. Les indices du réchauffement climatique. Ifen. *Les données sur l'environnement*. N°112, 1-4.
- Beaugrand, G., Goberville, E. 2013. Conséquences des changements climatiques en milieu océanique. *Revue Sciences de l'environnement*. DOI : 10.4000/vertigo.10173. 97-109.
- Beltrando, Chemery. 1995. Dictionnaire du Climat. Ed. Larousse. Références. ISBN 2-03-720233-4, 331.
- Benabadi, N., 1995. Etude phyto-écologique des steppes à *Artemisia herba-alba* Asso. et à *Salsola vermiculata* au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse doct. Etat Es-Sci. Tlemcen. 1-280.

- Benabadji, N., Bouazza, M., 2000. Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso dans l'Oranie (Algérie occidentale). *Revue des Sciences et Changement de la Planète*. Paris. Vol. 11. N° 2. 109-115.
- Benabadji, N., Bouazza, M., 2000. Quelques Modifications Climatiques Intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie Occidentale). *Revue des Energies Renouvelables*. N°3.117-125.
- Benabdesselam, T., Hammar, Y., 2009. Estimation de la réponse hydrologique d'un bassin versant urbanisé. *European Journal of Scientific Research*. ISSN 1450-216X. Vol.29. No.3. 334-348.
- Beniston, M., Stephenson, D B., 2004. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Science Direct. Global and Planetary Change*. 44,1-9.
- Bessemoulin, P., Bourdette, N., Courtier, P., Manach, J., 2004. La canicule de 2003 en France et en Europe. *La météorologie*. 46. 25- 33.
- Bolle H.J., 2002. Mediterranean Climate: Variability and Trends. ISBN 978-3540438380. Springer-Verlag. 1-320.
- Bouazza, M.,1995. Etude phyto-écologique des steppes à *Stipa tenacissima* L. et à *Lygeum spartum* L. au Sud de Sebdou (Oranie-Algérie). Thèse doct. Es. Sci. Tlemcen. 1-275.
- Boucherf, D., 2008. Évaluation du risque climatique actuel et futur en Algérie. ONM (*Office National de la Météorologie*). 56 : 4-7.
- Boucherf, D., 2010. Etude spatio-temporelle et prévision saisonnière des températures sur le Nord de l'Algérie. Thèse. Magister. Opt. Climatologie, Environnement et Développement Durable. USTHB. Algérie. 148+Annexes.

- Boudjakdji, M., 2008. Contribution à l'étude de la biogéochimie du carbone dans le bassin Algéro-Provençal. Thèse. Magister. ENSSMAL. Opt. Environnement et écosystèmes littoraux. 1-98.
- Boulanger, JP., 2001. Le phénomène climatique El Niño/Oscillation Australe (ENSO). Le climat de la Terre : le système Terre, une approche physique globale. Ecole d'Oléron.1-38.
- CASSOU, C., 2004. Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation Nord Atlantique. *Météorologie théorique. La Météorologie*. N° 45. 1-32.
- Chaumont., M., Paquin, C., 1971. Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500.000 Alger, *Société Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*. 1-4.
- Delworth, T.L., Mahlman,J.D., Knutson, T.R. 1999. Changes in heat index associated with CO₂ induced global warming. *Climatic Change*. N° 43. 369–386.
- DGE (Direction Générale de l'Environnement)., 2001. Communication nationale initiale. Ministère de l'Aménagement Du Territoire et de l'Environnement. Projet National Alg/98/G31. 131 : 4-5.
- Easterling, D. R., et al., 2000. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81, **417–425**.
- Edwards, M. and Richardson, A.J., 2004, Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430 : 881-884.
- Fellous,J.L., Gautier, C., 2007. Comprendre le réchauffement climatique. Ed. Odile Jacob sciences. 288 : 39.
- Frei, C., Schär, C., 2001. Detection probability of trends in rare events: theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. *Journal of Climate*. 14, 1568– 1584.

- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A., Peterson, T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th century. *Climate Research*, N°19. 193-212.
- GIEC (Groupe d'Expert Intergouvernemental sur les Changements Climatiques)., 2007. Résumé à l'intention des décideurs. In: Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. Cambridge University Press, Cambridge, UK et New York, NY, USA. 1-18 .Lien: <http://www.ipcc.ch>.
- Goubanova, K., 2007. Une étude des événements climatiques extrêmes sur l'Europe et le bassin Méditerranéen et de leur évolution future. Thèse. Doctorat. Opt. Sciences de l'environnement. Pierre Marie Curie. Paris 6 (France).110+ Annexes.
- Groisman, P., et al., 1999. Changes in the probability in heavy precipitation :Important indicators of climatic change. *Climatic Change*. 42, 243– 283.
- Groisman, P., Knight, R., Easterling, D., Hegerl, G., Razuvaev, V., 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*. 18, 1326-1350.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy,R., Lo, K., Lea, DW., 2005. Global temperature change. *Natural Academic Science*. U. S. A. N°103. Vol 14. doi:10.1073/pnas.0606291103. 288-293.
- Hansen, J.,Sato, MKI., Glascoe, J., Ruedy, R. 1998. A common sense climate index: Is climate changing noticeably?. *Natural Academic Science*. N° 95. 4113-4120. A verifier??
- Harley, C.D.G. et al., 2006, The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology letters*. N° 9. 228-241.
- Hurrell, J., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M. 2003. An overview of the north atlantic oscillation. *The North Atlantic Oscillation : Climatic Significance and Environmental Impact*. American Geophysical Union, Washington, D.C. 1-35.

-Huschke R. E., 1959. [ed.], Glossary of meteorology, *American Meteorological Society*, Boston.1-638.

-Iwashima, T., Yamamoto, R., 1993. A statistical analysis of the extreme events: Long term trend of heavy daily precipitation. *Journal of Meteorological Society of Japan*. 71.

-Jouzel, J., Debroise, A., 2004. Le climat : un jeu dangereux. *Dernières nouvelles de la planète*. Ed Dunod. Paris. Collection. Quai des sciences. 220 : 137-138.

-Khaldi, A., 2005. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". Thèse. Doctorat. Opt. Hydrogéologie. Oran. Algérie. 229 : 13-14.

-Lambert, S., Fyfe, J., 2006. Changes in winter cyclone frequencies and strength simulated in enhanced greenhouse warming experiments : results from the model participating in the IPCC diagnostic exercise. *Climate Dynamics*. Vol 26. 713-728.

-Le-Houerou, H., Claudin, J., Pouget, M., 1977. Etude bioclimatique des steppes algériennes avec une carte bioclimatique au 1/1000.000. *Bulletin Social histoire naturelle afrique du Nord*. 36-40.

-Mariotti, A., Zeng, N., Lau, K.M., 2002. Euro-Mediterranean rainfall and ENSO_a seasonally varying relationship. *Geophysical Research Letters*. Vol. 29, GL014248.17-32.

-Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R., Hurrell, J., Scavia, D., Field, J.C., Boesch, D.F., Buddemeier, R.W., Burkett, V., Cayan, D.R., Fogarty, M., Harwell, M., Howarth, R.W., Mason, C., Reed, D.J., Royer, T.C., Sallenger, A.H., Titus, Mccartney, M., Saranavan, R., Visbeck, M., 2001. North Atlantic climate variability: Climate Change Impacts on U.S. *Coastal and Marine Ecosystems*. Estuaries, 25(2) : 149-164.

-Matari, A., Kerrouche, M., Bousid, H., Douguedroit, A., 1995. Sécheresse dans l'ouest algérien . *publications de l'association internationale de climatologie*. Vol 12. 79.

- Matulla, C., Schöner, W., Alexandersson, H., Von Storch, H., Wang, X. L., 2007. European storminess: late nineteenth century to present. *Dynamique du climat*. DOI 10.1007/s00382-007-0333-y. 1-6.
- McKee, TB., Doesken, NJ., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology. *American Meteorological Society*, Boston. 1-225.
- Meddi, H., 2001. Quantification des précipitations : application au nord-ouest algérien- méthodologie Pluvia. Mémoire de magister. Mascara. 2001.
- Meddi, H., Meddi, M., 2009. Étude de la persistance de la sécheresse au niveau de sept plaines algériennes par utilisation des chaînes de Markov (1930-2003). *Courrier du Savoir*. N°09.39-48.
- Meddi, H., Meddi, M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Eau et zones arides. *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Vol 20. N° 1. DOI : 10.1684/sec.2009.0169.57-65.
- Meddi, M., Hubert, P., 2003. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie. *Hydrology of the Mediterranean and semiarid Regions*. IAHS. 278 : 1-7.
- Meddi, M., Humber, J., 2001. Variabilité pluviométrique dans l'ouest algérien durant les cinq dernières décennies. *Publication de l'Association internationale de climatologie*. 13 : 266-74.
- Meddi, M., Meddi, H. ; 2002. Sécheresse météorologique et agricole dans le nord-ouest de l'Algérie. Deuxième colloque méditerranéen sur l'eau et l'environnement. Alger. 1-9.
- Medjrab, A., Henia, L., 2005. Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale. *Revue Géographie de l'Es/ Climat Sécheresse et canicule*. 1-12.
- Milano M. 2009. Les changements climatiques en Méditerranée et les impacts prévisibles sur les ressources en eau. Rapport de stage master 2. Département des sciences de la terre et de

l'eau et de l'environnement. Option Sciences de l'eau dans l'environnement continental(SEEC). 81.

-Moisselin, J-M., Schnider, M., Canellas, C., Mestre, O. 2002. Les changements climatiques en France au XXe siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitation. *La Météorologie*, N°38. 368-372.

-OCCC (Organe consultatif sur les changements climatiques), 2003. Evénements extrêmes et changements climatiques .Hohmann,R., Pfister, C., Frei, C. Berne. 1-94.

-OMM (Organisation Météorologique Mondiale), 2007. *Nouvelles du climat mondial*. Genève. Suisse. N° 31. ISBN 92-63-20949-9. 1-12.

-ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique),2005. Changement climatique : la nature menacée en France ? En savoir plus et agir. Coéd. RAC-France. FNE. WWF. LPO. *Greenpeace. Onerc*. Paris. France. 1-107.

-Pethick, J., 2001, Coastal management and sea-level rise. *Catena*, 42(2-4) : 307-322.
phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology*. Vol. 2. 1863–1898.

-PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), 2009. Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. 1-17.

-Puget, J.L., Blanchet, R., Salençon, J. 2010. Le changement climatique. Institut de France. *Accad.* 637–640.

-Rodo, X., Baert, E., Comin,FA., 1997. Variations in seasonal rainfall in southern Europe during present century: Relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Nino–Southern Oscillation. *Climate Dynamic* . N°13. 275–284.

-Ropelewski, CF., Halpert, MS.,1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Nino Southern Oscillation. *Journal of World Weather*. N° 115. 2352–2362.

-Ropelewski, CF., Halpert, MS.,1991. Surface temperature patterns associated with the southern oscillation. 1-13.

-Roy, P., 2009. Analyse et validation des extrêmes et de la variabilité des températures et de la précipitation du modèle régional. Maitrise. Opt. Sciences de l'atmosphère. UQAM. Canada. 5 : 1-124.

-Seltzer, P., 1946. Le climat de l'Algérie. Université d'Alger .Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Ed. Carbonel. 1-220.

-Stewart, P., 1975. Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage vert. *Bulletin Social histoire naturelle afrique du Nord*. Vol 65. N° 12. 239-245.

-Webster, P. and *al.*,, 2005. Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment. *Science*. 309. 1844-1846.7

Annexes

Annexe 1. Récapitulatif des IPS et ITS des années les plus chaudes, plus froides, plus humides et plus sèches à Annaba, Béjaïa, Alger, Oran et Béni-Saf.

Tableau 1. Résumé des IPS des années les plus humides.

Station	Années	Cumul Annuel (mm)	IPS
Annaba	1952	909	2,0
	1953	896	1,9
	1982	980	2,5
	1984	1127	3,5
	1986	830	1,4
	1997	810	1,3
	2004	868	1,7
	2009	948	2,3
Bejaia	1969	989	1,2
	1973	1008	1,3
	1982	1099	1,8
	1984	1100	1,8
	2003	1108	1,8
	2009	1017	1,3
Alger	1957	1087	2,4
	1969	1006	1,9
	1972	1031	2,1
	1973	1169	2,8
	1982	882	1,2
	1984	885	1,2
Oran	1954	562	1,4
	1969	631	2,1
	1971	609	1,9
	1979	579	2,4
Béni-Saf	1981	460	1,2
	1986	460	1,2
	1991	470	1,3
	2003	508	1,7

Tableau 2. Résumé des IPS des années les plus sèches.

Station	Années	Cumul Annuel (mm)	IPS
Annaba	1961	276	-2,4
	1975	410	-1,5
	2008	435	-1,3
Béjaia	1977	566	-1,2
	1983	321	-2,6
	1989	491	-1,6
	2000	382	-2,2
Alger	1961	478	-1,1
	1983	333	-1,9
	1989	319	-1,9
	1990	455	-1,2
	2000	281	-2,2
Oran	1966	252	-1,5
	1970	241	-1,7
	1981	191	-2,1
	1983	172	-2,3
	1985	257	-1,5
	1994	231	-1,7
	1998	226	-1,8
Béni-Saf	1983	154	-2,1
	1988	254	-1,0
	1994	186	-1,7
	1998	218	-1,4

Tableau 3. Résumé des ITS des années les plus chaudes.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1982	18,27	2,4
	1987	18,43	2,8
	1988	18,21	2,2
	1990	18,43	2,8
	1994	18,83	3,9
	1995	18,28	2,4
	1997	18,72	3,6
	1999	18,73	3,6
	2001	18,36	2,6
	2002	18,18	2,2
	2003	18,91	4,1
	2006	18,63	3,3
	2008	18,51	3,0
	2009	18,18	2,2
2010	18,13	2,0	
Bejaia	1987	18,53	1,2
	1994	18,73	1,5
	1997	18,74	1,5
	2000	18,53	1,2
	2001	18,73	1,5
Alger	1952	18,43	1,9
	1955	18,59	2,2
	1987	18,65	2,3
	1989	18,87	2,7
	1990	18,61	2,2
	1994	18,58	2,2
	1997	18,33	1,8
	1999	18,43	1,9
	2003	18,65	2,3
2009	18,35	1,8	
Oran	1961	18,66	1,9
	1989	18,77	2,1
	1995	18,61	1,8
	1997	18,71	2,0
	2003	18,78	2,1
	2009	18,95	2,4
	2010	18,83	2,2
Béni-Saf	1989	19,34	1,4
	2001	19,40	1,5

Tableau 4. Résumé des ITS des années les plus froides.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1953	16,90	-1,1
	1956	16,63	-1,8
	1972	16,68	-1,7
	1975	16,92	-1,1
	1976	16,73	-1,6
	1980	16,83	-1,3
Bejaia	1969	16,76	-1,5
	1972	16,72	-1,6
	1973	16,92	-1,3
	1974	16,89	-1,3
	1975	16,98	-1,2
	1976	16,77	-1,5
	1980	17,00	-1,2
Alger	1956	16,51	-1,4
	1972	16,61	-1,2
Oran	1956	16,83	-1,4
	1971	17,01	-1,1
	1972	16,76	-1,5
	1973	16,99	-1,1
	1974	16,83	-1,4
	1975	16,97	-1,1
	1976	16,71	-1,6
Béni-Saf	1976	17,83	-1,0
	1977	17,51	-2,1
	1978	18,03	-1,1
	1984	17,94	-1,3
	1993	18,02	-1,1

Annexe 2. Récapitulatif des IPS et ITS des saisons les plus humides, plus sèches, plus chaudes et plus froides aux stations d'Annaba, Béjaia, Alger, Oran et Béni-Saf.

Tableau 5. Anomalies les plus chaudes en JJA.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1952	25,5	2,6
	1982	25,7	2,8
	1994	25,3	2,3
	1999	25,3	2,3
	2003	26,9	4,3
Bejaia	1994	25,3	1,8
Alger	1950	25,4	2,2
	1952	26,0	2,9
	1955	25,2	2,0
	1982	25,2	2,0
	1989	25,7	2,6
	1994	26,2	3,1
	1999	25,5	2,4
	2001	25,3	2,1
	2003	27,2	4,4
2009	25,9	2,9	
Oran	1952	25,5	1,9
	1989	25,7	2,3
	1994	25,9	2,5
Béni-Saf	1989	25,3	1,6
	1999	25,3	1,6

Tableau 6. Anomalies les plus chaudes en SON.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1965	20,4	2,0
	1987	21,5	3,8
	1990	21,3	3,5
	1994	21,4	3,7
	1997	20,5	2,2
	1999	21,2	3,3
	2001	20,5	2,2
	2003	20,9	2,9
	2006	20,9	2,9
Béjaia	1987	21,7	2,1
Alger	1967	20,4	2,3
	1983	20,6	2,6
	1987	21,4	3,7
	1988	20,3	2,1
	1989	20,6	2,6
	1990	21,0	3,2
	1997	20,6	2,5
	1999	20,4	2,2
	2003	20,4	2,2
	2006	21,1	3,3
Oran	1983	20,5	2,0
	1989	20,6	2,1
	1990	20,5	2,0
	1997	20,7	2,2
Béni-Saf	1990	21,3	1,5

Tableau 7. Anomalies les plus froides en DJF.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1952	10,1	-2,0
	1953	10,4	-1,5
Béjaia	1981	10,6	-1,7
	1991	10,8	-1,5
Alger	1953	10,3	-1,6
	1981	10,2	-1,7
	1983	10,2	-1,7
	1992	10,3	-1,6
	2005	9,9	-2,1
Oran	1953	10,2	-1,5
	1981	9,8	-2,0
	1983	10,0	-1,8
	2005	9,9	-1,9
Béni-Saf	1981	11,8	-2,0
	1983	12,2	-1,6

Tableau 8. Anomalies les plus froides en MAM.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1972	14,2	-1,5
	1975	14,1	-1,6
Béjaia	1972	14,3	-1,5
	1973	14,2	-1,6
	1975	14,2	-1,6
Alger	1973	14,0	-1,6
Oran	1971	14,3	-1,9
	1975	14,5	-1,6
	1976	14,6	-1,5
Béni-Saf	1976	15,2	-2,1

Tableau 9. Anomalies les plus froides en SON.

Station	Année	Température moyenne (C°)	ITS
Annaba	1976	18,0	-1,9
	1978	17,7	-2,3
Béjaïa	1976	18,1	-1,8
	1978	17,7	-2,1
	1979	18,3	-1,5
Alger	1976	17,9	-1,6
	1978	17,3	-2,4
Oran	1976	17,5	-1,9
	2002	17,4	-1,9
	2003	17,3	-2,1
	2004	16,6	-2,9
	2005	17,3	-2,1
	2007	17,6	-1,7
	2008	17,6	-1,7
Béni-Saf	1976	18,6	-1,7
	1977	18,4	-2,0
	1978	18,7	-1,5

Tableau 10. Anomalies les plus humides en DJF.

Station	Année	Cumul (mm)	IPS
Annaba	1983	474	2,3
	1986	434	1,9
	2002	430	1,9
	2004	499	2,6
Béjaïa	1973	630	2,4
	1981	538	1,7
Alger	1972	718	3,8
	1953	282	1,5
Oran	1955	296	1,8
	1963	293	1,7
	1964	281	1,5
	1995	295	1,7

Tableau 11. Anomalies les plus humides en MAM.

Station	Année	Cumul (mm)	IPS
Annaba	1978	300	2,6
	1991	262	2,0
	2006	250	1,8
	2008	309	2,8
Béjaïa	1970	414	2,8
	1985	341	1,8
	1998	316	1,5
	2007	321	1,6
Alger	1972	293	1,6
	1978	340	2,2
	1985	340	2,2
Oran	1970	260	2,2
	1973	223	1,6
	1974	308	2,9
Béni-Saf	1988	183	2,3
	1990	158	1,7
	1991	153	1,6

Tableau 12. Anomalies les plus sèches en SON.

Station	Année	Cumul (mm)	IPS
Béjaïa	1992	88	-1,6
	2006	70	-1,8
Alger	1960	42	-1,7
Béni-Saf	1983	30	-1,5
	1989	28	-1,6
	2006	25	-1,6

Tableau 13. Anomalies les plus sèches en JJA.

Station	Année	Cumul (mm)	IPS
Annaba	2002	0,1	-1,4
Oran	1955	0	-1,3
	1999	0	-1,3
	2000	0	-1,3
	2010	0	-1,3

Annexe 3. Tableau des corrélations du réchauffement global.

Tableau 14. Coefficients de corrélation du réchauffement global sur les stations de la côte algérienne.

	Station	Réchauffement global
Pluviométrie	Annaba	0.12
	Bejaia	-0.12
	Alger	-0.34
	Oran	-0.29
	Béni-Saf	0.43
Température	Annaba	0.76
	Béjaïa	0.68
	Alger	0.63
	Oran	0.52
	Béni-Saf	0.72

Annexe 4. Tableau des corrélations de la NAO.

Tableau 15. Coefficients de corrélation entre les indices de la NAO et les ITS et IPS des stations d'Annaba, Bejaia, Alger, Oran et Béni-saf pendant les saisons DJF et MAM.

	Station	Saison	NAOI
Pluviométrie	Annaba	DJF	0,004
		MAM	0,006
	Béjaïa	DJF	0,063
		MAM	0,144
	Alger	DJF	0,012
		MAM	0,053
	Oran	DJF	0,017
		MAM	0,017
	Béni-Saf	DJF	0,063
		MAM	0,017
Température	Annaba	DJF	0,116
		MAM	0,017
	Béjaïa	DJF	0,168
		MAM	0,063
	Alger	DJF	0,144
		MAM	0,032
	Oran	DJF	0,221
		MAM	0,000
	Béni-Saf	DJF	0,270
		MAM	0,048

Annexe 5. Tableau des corrélations d'ENSO

Tableau 16. Coefficients de détermination entre les indices El niño, la Nina et les indices de pluviométrie, température des stations d'Annaba, Bejaia, Alger, Oran et Béni-saf pendant les saisons MAM, JJA et SON.

	Station	Saison	ENSO1+2	ENSO 3	ENSO 4	ENSO 3.4	LNSO 1+2	LNSO 3	LNSO 4	LNSO 3.4
Pluviométrie	Annaba	MAM	0,036	0,001	0,033	0,004	0,006	0,02	0,005	0,013
		JJA	0,06	0,041	0,007	0,021	3,00E-06	0,001	0,01	2,00E-05
		SON	0,001	0	0,012	0,012	0,016	0,028	0,037	0,036
	Bejaia	MAM	0,058	0,05	0	0,023	0,013	0,042	0,066	0,05
		JJA	0,024	0,069	0,063	0,062	0,126	0,095	0,001	0,056
		SON	0,008	0,001	0	0,005	0,03	0,066	0,045	0,083
	Alger	MAM	0,022	0,054	0,046	0,048	0,15	0,14	0,141	0,044
		JJA	0,032	0,081	0,004	0,055	0,005	0,002	0,013	6,00E-05
		SON	0,005	0,018	0,045	0,027	0,039	0,007	0,005	0,004
	Oran	MAM	0,109	0,085	0,187	0,104	0,013	0,005	0,005	0,01
		JJA	0,046	0,047	0,028	0,055	0	0,005	0,028	0,016
		SON	0,06	0,11	0,116	0,094	2,00E-08	0	0,021	0,007
	Béni-Saf	MAM	0,029	0,111	0,198	0,131	0,018	0,01	0,024	0,008
		JJA	0,047	0,002	0	0,009	0,006	0,029	0,061	0,043
		SON	0,001	0,006	0,083	0,055	0	0,016	0,033	0,021
Température	Annaba	MAM	0,006	0,023	0,141	0,068	0,022	0,003	0,044	0,003
		JJA	0,001	0,022	0,011	0,013	0,026	0	3,00E-06	0,003
		SON	0,003	0,009	0,04	0,022	0,059	0,119	0,048	0,086
	Alger	MAM	6,00E-07	0,112	0,131	0,156	0,008	0,01	0,027	0,006
		JJA	0,142	0,099	0,138	0,14	0,046	0	0,015	0,063
		SON	0,029	0,057	0,041	0,072	0,041	0,048	0,003	0,012
	Oran	MAM	0,064	0,177	0,118	0,182	0,189	0,061	0,288	0,112
		JJA	0,001	0,002	0,049	0,026	0,042	0,039	0,084	0,044
		SON	0,095	0,037	0	0,019	0,071	0,034	0,091	0,036