

Caractérisation des précipitations intenses sur le Nord de l'Algérie

Arezki BOUAZIZ¹ Aissa LOUIFI¹

Abstract

Le bassin méditerranéen marque la transition entre les régions subtropicales semi-arides et les régions de moyenne latitude et il est classé par le dernier rapport du GIEC comme une zone très sensible aux aléas climatiques. Sa situation géographique et sa topographie particulière fait qu'il est exposé à de fortes pluies et de fréquentes inondations principalement durant l'automne. Ce travail a pour objectif de caractériser la variabilité spatiale des précipitations intenses sur le nord de l'Algérie et d'identifier les indicateurs pertinents qui permettraient de mieux décrire leur origine en utilisant les relations entre les précipitations intenses et la dynamique atmosphérique. Les résultats obtenus sont très encourageants et rejoignent les constatations de certaines études effectuées sur la Méditerranée. Il semble que les précipitations intenses de grande échelle observées sur le Nord de l'Algérie sont contrôlées par un thalweg d'altitude dont la forme conditionne l'intensité des précipitations ; une anomalie de très haute altitude alimentée en fortes humidités en basses couches est nécessaire à l'installation d'un temps avec précipitations exceptionnelles. Les modèles statistiques classiques issus de la théorie des valeurs extrêmes, ont été adaptés. Ces modèles ont montré une grande efficacité pour estimer les quantiles rares des séries de précipitations extrêmes.

Keywords

pluviométrie extrême, régionalisation, théorie des valeurs extrêmes

¹ Office National de la Météorologie (DEM-ONM), Dar El Beida, Alger

*Correspondant: bouaziz.arezki1495@gmail.com

Contents

1	Introduction	1
2	Méthodologie	2
2.1	Choix des stations et les données de précipitation	2
2.2	Étude d'homogénéité des séries	2
2.3	Validation et contrôle de qualité des données par RCLIMDEX-extraqc	2
2.4	Régionalisation climatique	2
2.5	L'Analyse en composantes principales (ACP) . . .	3
2.6	Analyse factorielle discriminante AFD	3
	Classification ascendante hiérarchique (CAH)	
3	Climatologie des précipitations intenses	4
3.1	Caractérisation spatiale des précipitations intenses	4
3.2	Fréquence mensuelle d'événements de précipitations intenses	5
3.3	Classement des événements fortement précipitants	6
4	Structures pluviométriques intenses sur le Nord du pays et dynamique atmosphérique associée	6
4.1	Analyse du champs de géopotentiel à 500hPa . .	6
4.2	Analyse du champs de tourbillon potentiel (PV) à 330 °K	9
4.3	Analyse du champs de l'humidité à 925 hPa . .	11

5	Conclusion	17
	References	17

1. Introduction

Le bassin méditerranéen est classé par les météorologues et les climatologues comme une zone très sensible aux aléas climatiques et exposé d'une manière fréquente à des fortes pluies et inondations. Il marque la transition entre les régions subtropicales semi-arides et les régions de moyenne latitude.

Le premier type de systèmes précipitants donnant de forts cumuls sur le pourtour méditerranéen est produit par des perturbations dynamiques des moyennes latitudes. Ces systèmes de grande échelle peuvent prendre, au moins localement et temporairement, un caractère convectif avec le développement, notamment au niveau du front froid, de cellules de convection profonde noyées dans la masse de la perturbation dynamique. Ces systèmes fortement précipitants de grande échelle se développent au sein d'une masse d'air perturbée, dans un environnement très dynamique.

Ces systèmes précipitants de grande échelle ne couvrent généralement pas toute la hauteur de la troposphère. Houze (1993) précise qu'ils se limitent dans les zones directement affectées par le forçage dynamique et frontal, essentiellement dans la moitié basse de la troposphère.

Le deuxième type est lié à des systèmes perturbés qui prennent naissance sur l'Atlantique Nord et qui représentent un danger potentiel pour le bassin Méditerranéen notamment les régions de l'ouest de la Méditerranée. Lorsque

les conditions synoptiques s'y prêtent, des situations de blocage peuvent s'installer sur l'Europe occidentale et des précipitations continues et abondantes peuvent s'abattre sur de vastes étendues à l'intérieur des terres. Notre travail vise à rechercher une signature dynamique à l'origine des événements de précipitations intenses sur le Nord du pays. Nous allons caractériser la variabilité spatiale des précipitations intenses et identifier les indicateurs pertinents qui permettraient de mieux décrire leur origine en utilisant les relations entre les précipitations intenses et la dynamique atmosphérique depuis 1985.

2. Méthodologie

2.1 Choix des stations et les données de précipitation

Après le contrôle préalable de la qualité, de la disponibilité et de la densité des données d'observation fournies par le réseau de l'ONM situé au nord du pays, nous avons retenu 27 stations représentées dans le tableau 1 et qui couvrent notre période d'étude qui s'étale du 1985 à 2015, soit 31 ans de données pour les précipitations quotidiennes. Malheureusement pour certaines stations on ne dispose que des données de totaux annuels et mensuels. Les séries des données pluviométriques dont nous disposons possèdent des lacunes à des taux variant de 0.06 à 2.24 % comme le montre le tableau 1.

Afin de restituer les données manquantes, nous avons appliqué les trois possibilités suivantes :

- Remplacer la valeur manquante par celle de la station la plus proche ;
- Remplacer la valeur manquante par la moyenne des stations voisines. Cette méthode est utilisée lorsque les précipitations moyennes annuelles de la station à compléter ne diffèrent pas de plus de 10% des précipitations moyennes annuelles aux stations de référence.
- Remplacer la valeur manquante par la méthode de régression. Pour que cette méthode soit efficace, il faut que la régression soit linéaire et que le coefficient de corrélation soit élevé.

2.2 Étude d'homogénéité des séries

Nous avons examiné l'homogénéité de nos séries de données afin de calculer les normales et moyennes climatologiques.

En ce qui concerne les normales et moyennes climatologiques,

les problèmes d'homogénéité qui nécessitent une attention particulière sont toutes les modifications apportées aux lieux d'observation, aux procédures d'observation, y compris les changements d'heures, aux types d'instruments utilisés, l'exposition des instruments dans le temps et au traitement des données.

Table 1. Pourcentage des données pluviométriques manquantes

Stations	Valeur manquantes %
Ain sefra	0
Benisaf	0
El bayedh	0
Maghnia	0
Mascara	0
Mechria	0
Oran	0
Saida	0
Tlemcen	0
Batna	0.06
Constantine	0
Alger	0
Miliana	0
Chlef	2.24
Bisekra	0.54
Djelfa	1.42
Msila	0.55
Skikda	2.17
Tébessa	1.95
BBA	0.33
Bejaia	1.9
Mostaganem	0
Sidi belabess	0
Tiaret	0.93
Sétif	0.59
Jijel	1.03
Annaba	0.9

2.3 Validation et contrôle de qualité des données par RClimDex-extraqc

Nous avons utilisé le logiciel RClimDex [1] afin d'identifier et corriger si possible les valeurs climatiques quotidiennes incorrectes qui peuvent nuire à l'évaluation des tendances calculées à partir des indices climatiques et conserver les valeurs extrêmes qui font parties des variations naturelles climatiques.

Ce processus du contrôle effectué par ce logiciel a permis de constater que certaines valeurs de précipitations quotidiennes ont été signalées comme des valeurs extrêmes représentées par un pic pour certaines stations durant certaines périodes.

Ainsi, nous avons affiché dans le tableau 2 les quantités de précipitations signalées par RClimDex comme valeurs douteuses :

2.4 Régionalisation climatique

Pour distinguer et interpréter les différents régimes de pluie et leur distribution géographique nous avons utilisé trois techniques complémentaires[2]: l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle Discriminante (AFD)

Table 2. Les valeurs douteuses de précipitations signalées par RClimDex.

Stations	Quantité de précipitations en mm
Miliana	156.7
Ain sefra	113.4
Skikda	135.9
BBA	110.9
Mostaganem	112.2
Djelfa	91.9
DEB	115.5
Constantine	97.8
Tebessa	99.1
Benisaf	92

et la classification hiérarchique ascendante (CHA). Nous avons utilisé les données mensuelles des précipitations des 27 stations météorologiques pour une période de 31 ans (1985-2015).

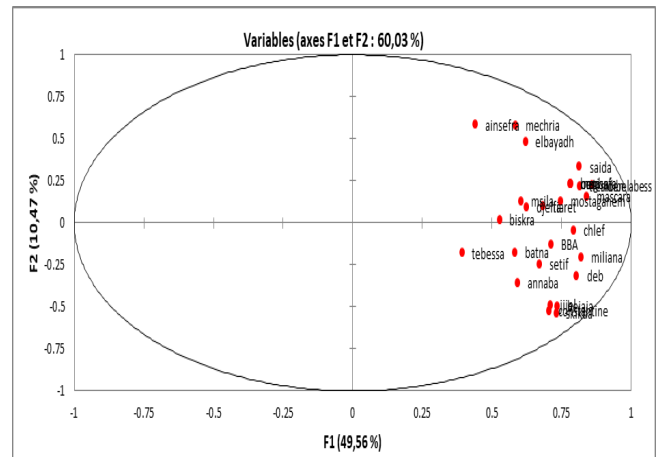
2.5 L'Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est un outil extrêmement puissant de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter.

Afin d'avoir une idée plus détaillée et apporter un plus dans l'analyse des résultats de la régionalisation délivrée par l'application de l'ACP sans rotation ; nous avons opté une discussion à la base des coefficients de corrélation entre les variables et les facteurs. Les résultats montrent l'existence de huit régions climatiques:

- Région 1 : regroupe les stations de Ain-sefra ; El bayedh et Mechria ; il s'agit bien des stations des hauts plateaux ouest.
- Région 2 : Benisaf ; Biskra ; Maghnia, Saida et Tlemcen sont les stations constituant la région 2.
- Région 3 : Annaba, Batna, Constantine ; la région synthétise un régime pluviométrique caractérisé par des précipitations importantes de la région Est du pays.
- Région 4 : les stations de BBA, Sétif et Tébéssa sont regroupées dans cette région reflétant ainsi le caractère continental des hauts plateaux Est du régime pluviométrique.
- Région 5 : cette région constituée par Bejaïa, Jijel, Skikda, résume la variabilité pluviométrique des régions littorales Est de la zone d'étude.
- Région 6 : les stations d'Alger, Chlef et Miliana présentent des corrélations positives avec la première composante alors qu'une corrélation négative a marqué les relations entre les stations et les facteurs principaux ; il s'avère que la région traite la variabilité pluviométrique du centre du pays.
- Région 7 : la région des hauts plateaux centres constituée par les stations de Djelfa, Msila et Tiaret a reflété le caractère pluviométrique de la région 9 issue de l'application de l'ACP.
- Région 8 : la région ouest de notre région d'intérêt a marqué la synthèse pluviométrique de la région 8 constituée par deux stations littorales Mostaganem et Oran et deux régions

proches côtières mascara et sidi Belabess.

**Figure 1.** Représentation des variables dans le plan (résultats ACP).

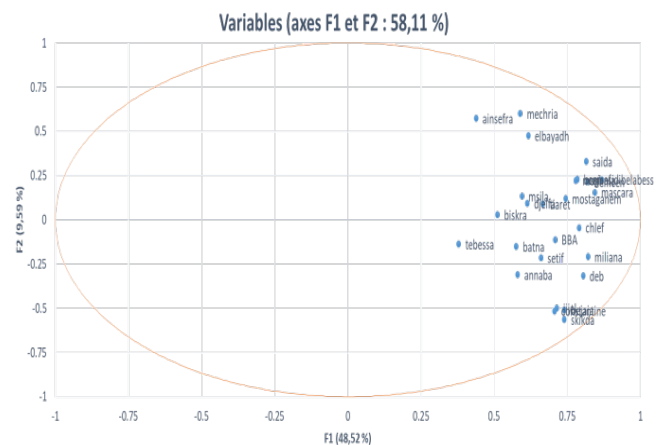
2.6 Analyse factorielle discriminante AFD

L'AFD est une technique statistique qui vise à décrire, expliquer et prédire l'appartenance à des groupes prédéfinis.

Les régions définies par l'application de l'AFD à la base des corrélations entre les stations et les facteurs sont :

- Région1 : Regroupe les stations de Ain-Sefra, El bayedh et Mechria.
- Région2 : Tlemcen ; Saida ; Maghnia, Benisaf.
- Région3 : Annaba et Constantine.
- Région4 : Tébéssa, Sétif, Batna, BBA.
- Région5 : Bejaïa ; DEB, Skikda et Jijel.
- Région6 : Chlef et Miliana.
- Région7 : Biskra, Djelfa, Msila et Tiaret.
- Région8 : mascara ; Mostaganem ; Oran et Sidi-Belabess.

La représentation graphique des résultats ainsi que la dis-

**Figure 2.** Représentation des variables dans le plan 1,2 (Résultats de l'AFD)).

cussion des corrélations entre facteurs et variables issus

de cette classification montre des résultats assez similaires avec ceux délivrés par l'ACP.

On note que deux régions étaient intégralement reproduites par les deux méthodes, il s'agit de la région 1 et la région 8 alors que pour les autres régions certaines stations ont été affectées à des régions différentes par rapport à leur emplacement délivré par l'ACP.

Afin de trancher dans la régionalisation la plus adéquate et qui reflète les caractéristiques pluviométriques communes aux stations appartenant à chaque région et pouvoir, par la suite trouver une explication à ce genre de classement, nous avons jugé utile de procéder à une troisième technique de régionalisation qui consiste en la CAH.

2.6.1 Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La CAH permet de construire une hiérarchie entière des objets sous la forme d'un "arbre" dans un ordre ascendant. On commence en considérant chaque individu comme une classe et on essaye de fusionner deux ou plusieurs classes appropriées (selon une similarité) pour former une nouvelle classe.

Les régions ainsi définies par la classification ascendante hiérarchique sont proches de celles issues de l'ACP et l'ADF et sont :

En termes d'amélioration des prévisions, ces observations arrivent au deuxième rang, juste derrière les données satellitaires obtenues en grand volume.

- Classe 1 : El bayedh, Ain-Sefra et Mechria.
- Classe 2: Mostaganem : Mascara, Saida, Maghnia, Oran, Benisaf, Sidi-Belabess, Tlemcen.
- Classe 3: Annaba, Chlef, DEB, Miliana, Constantine, Jijel, Bejaïa et Skikda.
- Classe 4 : Biskra, Batna, BBA, Sétif, Tiaret, Djelfa ; Tébessa et Msila.

Un des avantages les plus significatif de ces trois méthodes de classification est la possibilité de faire le groupement des stations météorologiques d'une région sans aucune hypothèse à priori et l'utilisation simultanée de ces trois méthodes deviennent plus efficaces ainsi. C'est ainsi que nous retenons à la base des résultats statistiques délivrés par les trois méthodes d'une façon complémentaire cinq régions climatiques et qui sont (figure 4) :

- Classe 1: El bayedh, Ain-Sefra et Mechria.
- Classe 2: Mostaganem ,Mascara, Saida, Maghnia, Oran, Benisaf, Sidi-Belabess, Tlemcen.
- Classe 3: Annaba, Chlef, DEB, Miliana, Constantine, Jijel, Bejaïa et Skikda.
- Classe 4: Batna, BBA, Sétif, et Tébessa.
- Classe 5 : Biskra, Tiaret, Msila et Djelfa.

La subdivision de notre région d'étude en régions climatiques à base des précipitations mensuelles à travers plusieurs

approches statistiques ; nous a amené à retenir 5 classes différentes jugées réalistes car elles restituent la réalité climatique des précipitations dans le nord du pays et retracent très bien la variabilité à l'échelle annuelle comme à l'échelle

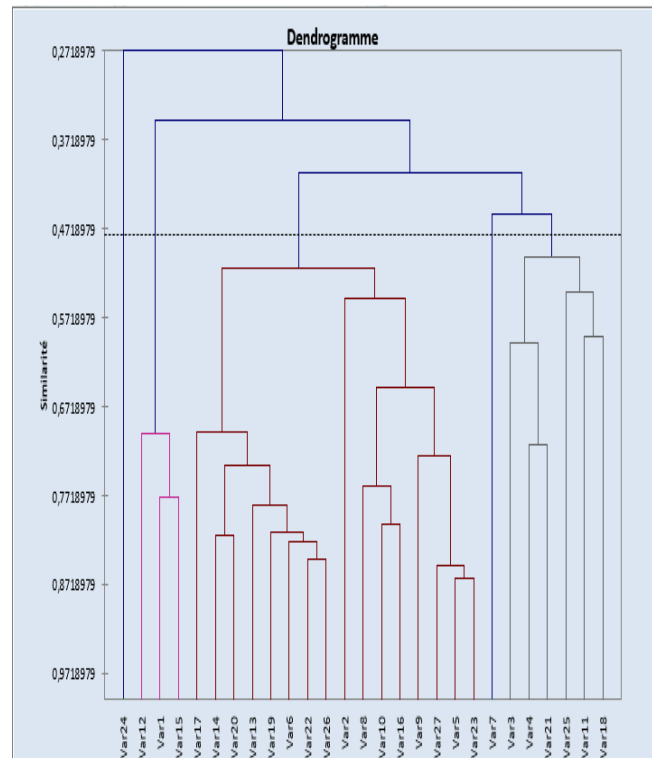


Figure 3. Dendrogramme (Résultats de la CAH).

mensuelle. Les précipitations diminuent du nord aux sud et de l'est vers l'ouest. Les moyennes pluviométriques annuelles moyennées sur les 31 ans varient de 132 mm dans la région de Biskra à 980 mm dans certaines localités du nord-est. Les hauts plateaux ouest de l'Algérie est situé à l'abri de la dorsale du moyen Atlas-Rif du Maroc. Le relief très accidenté de la région d'étude constitue de nombreux abris aux influences de la mer méditerranéenne. Ces deux facteurs ont un effet direct sur la variabilité spatiale de la pluviométrie ainsi que sur la réduction des précipitations dans la zone.

L'analyse des résultats a permis d'identifier les zones suivantes :

- Zone tempérée avec un cumul annuel de précipitation qui varie entre 296.1 et 885.18 mm.
- Zone à climat continental avec un cumul annuel de précipitation qui oscille entre 193.59 et 507.06 mm.
- Zone avec un climat caractérisée par un cumul annuel qui ne dépasse pas 131.37 mm (Biskra).

3. Climatologie des précipitations intenses

3.1 Caractérisation spatiale des précipitations intenses

Les caractéristiques spatio-temporelles des précipitations moyennes sont étudiées dans l'ensemble des régions sur la période 1985-2015. Les analyses se portent ensuite sur

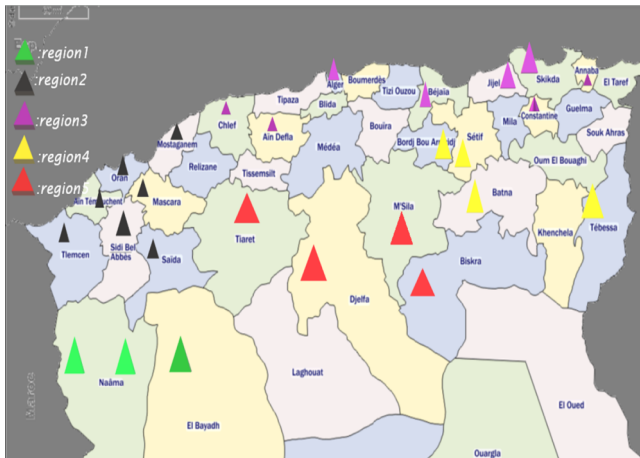


Figure 4. Carte des classes pluviométriques.

les précipitations les plus intenses, à travers l'occurrence et l'intensité des phénomènes extrêmes mais aussi la part qu'ils représentent sur les précipitations moyennes.

Pour caractériser l'intensité des précipitations, le 90^{ème} centile (ou percentile 90, p90) est calculé pour chaque région, en excluant les jours sans pluie (seuil de 1mm). Toutes les précipitations quotidiennes supérieures au p90 seront considérées comme étant des événements de précipitations intenses. Dans un premier temps, le p90 est calculé sur l'ensemble des stations affectées à des régions climatiques différentes issues de la régionalisation des précipitations. On note que les 90 percentiles ont été calculés à l'échelle mensuelle à la base des journées pluvieuses pour toutes les stations de la même région. Cela permet de dégager une tendance sur l'ensemble de la période considérée.

Étant donné que les précipitations peuvent avoir plusieurs natures et types, nous avons mis un accent particulier sur les précipitations intenses de grande échelle. C'est pour cette raison que nous avons traité uniquement les journées de précipitations communes entre les stations formant la région à la base de la définition des précipitations intenses.

Dans un premier temps, le percentile 90 (p90) est calculé par région pour chaque mois et pour l'ensemble de la période 1985-2015. Cela permet de cadrer la période de l'année la plus favorable au développement de ces épisodes. Le tableau 3 présente les percentiles P90 mensuels pour chaque région.

On représente ci-dessous les statistiques descriptives des phénomènes fortement précipitants sur les régions climatiques prédéfinies.

3.2 Fréquence mensuelle d'événements de précipitations intenses

Il apparaît clairement que les phénomènes de précipitations intenses sont observés tout au long de l'année ; mais avec une fréquence plus accentuée pendant la saison hivernale et automnale avec le nombre d'événements le plus important (figure 5). Ceci n'exclut pas le développement de ce type d'événements en saison printanière même avec un nombre

Table 3. Les valeurs du 90^{ème} percentile .

Mois	Reg1	Reg2	Reg3	Reg4	Reg5
Janvier	9.3	16.87	21.1	13	12
Février	9.3	14.57	21.01	9.5	12.5
Mars	16.44	17.32	19.2	13.2	13.2
Avril	12.09	15.44	18.4	17.9	14.48
Mai	15.5	15.03	18.4	18	13.84
Juin	14.2	9.96	13.26	15.4	10.96
Juillet	7.7	10.39	9.87	14.88	8.26
Aout	7.8	10.8	14.33	14.76	10.88
Septembre	14.46	16	19.04	18.04	15.9
Octobre	20.9	16.18	20.44	14.86	15
Novembre	17.5	20.2	21.3	13.6	11.92
Décembre	8.6	16.2	23.8	12.28	15

moins marqué.

A titre d'exemple, la région 4 qui regroupe les régions des hauts plateaux Est du pays marquent une présence mensuelle moyenne d'événements fortement précipitants de plus de 14 événement par mois ; avec une prédominance nette de cette manifestation météorologique pendant la saison hivernale et automnale. La région 3 s'étendant du Centre à l'Est du pays observe le nombre d'événements de précipitations intenses le plus élevé en hiver, l'automne vient en deuxième position ; ceci est vraie pour l'ensemble des régions climatiques même si le nombre d'événement a considérablement diminué.

Il apparaît clairement que les stations des hauts plateaux centre du pays constituant la région 5 ; enregistre un nombre d'événements de précipitations intenses le plus important pendant les mois d'hiver et automne. La manifestation météorologique à l'origine des précipitations intenses sur cette région semble moins active pendant la saison de printemps voir presque absente au cours de l'été. On note ainsi que les événements fortement précipitants estivaux sont beaucoup plus observés sur les hauts plateaux ouest et Est du pays que les autres régions du Nord Algérien.

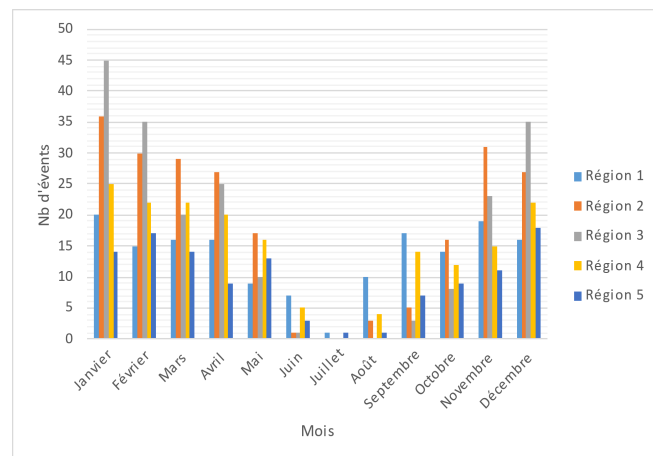


Figure 5. Fréquence mensuelle d'événement de précipitation intenses par région.

3.3 Classement des événements fortement précipitants

Vue que les quantités de précipitations portées par les pluies intenses sont différentes et oscillent dans certaines régions entre des valeurs fortement divergentes et pour avoir une idée sur l'intensité des précipitations intenses ; nous avons jugé utile de procéder à une classification des précipitations intenses en fonction du cumul des précipitations observées au cours de l'épisode pluvieux.

La méthode d'analyse et de classification des événements fortement pluvieux se base sur la détermination de trois indices pluviométriques constitués par les quantiles : 90^{ème}, 95^{ème} et 97^{ème} percentiles.

On rappelle que le 90^{ème} percentile a fait l'objet de la définition de base d'un événement de fortes précipitations.

Les tableaux suivants présentent les valeurs des indices mensuels ainsi calculés pour chaque région climatique :

On a ainsi adopté la nomenclature suivante :

Table 4. Les valeurs du 90^{ème} percentile .

Mois	Reg1	Reg 2	Reg3	Reg4	Reg5
Janvier	12.5	23.06	27.61	19	16.02
Février	11.56	20.46	27.6	13.57	16.02
Mars	21.44	22.9	25.55	17.95	18.11
Avril	17.6	20.9	25.9	22.58	20.03
Mai	22.91	22.37	25.8	23.89	19.3
Juin	18.40	15.87	19.17	21.88	14.07
Juillet	9.1	14	17.01	20.22	11.8
Août	9.56	22.12	22.29	23.01	16.06
Septembre	21.7	22.77	27.19	28.14	22.1
Octobre	30	23.08	29.69	21.1	19.76
Novembre	24.53	26.85	30.25	18.8	17.33
Décembre	10.2	22.23	33.36	18.29	14.55

Table 5. Valeurs du 97^{ème} percentile pour les différentes régions.

Mois	Reg1	Reg2	Reg3	Reg4	Reg5
Janvier	13.94	28.7	34.65	21.05	19.28
Février	13.60	25.49	32.46	16.96	19.72
Mars	27.94	29.16	31.89	20.59	23.51
Avril	21.14	26.2	31.45	26.05	24.88
Mai	24.72	26.32	30.4	31.36	26.11
Juin	21.26	24.09	21.91	24.74	19.89
Juillet	9.53	14.54	17.72	22.94	14
Aout	11.19	27.11	24.08	27.9	19.47
Septembre	24.28	25.91	32.32	34.68	26.93
Octobre	36.60	29.78	36.28	26.73	25.36
Novembre	27.84	34.3	35.93	22.51	21.74
Décembre	12.37	25.65	40.61	22.1	16.8

•90 émepercentile<= RR intenses <=95émepercentile:précipitations intenses.

•95 émepercentile<= RR intenses <=97émepercentile:précipitations très intenses.

•RRintenses >=97^{ème} émepercentile <=: précipitations extrêmes.

On résume sur le tableau 6 le pourcentage expliqué par chaque catégorie de précipitations intenses à l'échelle mensuelle et pour chaque région :

Il ressort de cette classification que la région englobant Elbayadh, Mechria et Ain-sefra observe une manifestation fortement pluvieuse différentielle à l'échelle mensuelle ; c'est ainsi que nous avons pu remarquer que la saison hivernale enregistre plus de précipitations intenses que très intenses et extrêmes ; alors que les pluies très intenses et extrêmes marquent la manifestation fortement précipitant en printemps. Cette région observe des pluies essentiellement intenses au cours de l'automne.

Les régions Ouest du pays constituent un environnement météorologique propice au développement des précipitations extrêmes au cours de la saison hivernale et automnale, alors que les conditions météorologiques réunies en printemps installent plutôt des pluies intenses.

Il apparaît que les parties Centre et Est du Nord du pays ; littorales ou intérieures bénéficient de conditions physiques et météorologiques permettant de développer des précipitations majoritairement extrêmes au cours de l'ensemble de l'année. Les pluies de type intenses sont également observées sur la région mais avec une fréquence moins importante que les pluies extrêmes. Les pluies très intenses sont très peu observées.

Cette région faisant partie des hauts plateaux Est du pays montre que les précipitations de caractères intenses sont plus abondantes sur la région : ceci est particulièrement vrai au cours de la saison d'automne.

4. Structures pluviométriques intenses sur le Nord du pays et dynamique atmosphérique associée

4.1 Analyse du champs de géopotential à 500hPa

Afin d'arriver à une lecture synoptique de grande échelle à l'origine des précipitations intenses sur le Nord du pays ; nous avons utilisé les produits des réanalyses ERA-40 qui sont fournies par le centre Européen des prévisions météorologique à moyenne échéance [3]. Ces données sont dispon-

ibles pour notre cas du 1985 à 2015 avec une fréquence de 6 heures et une résolution spatiale est de 2°x 2° couvrant le domaine compris entre 20° et 70 ° N latitude et -50° et 50° longitude.

Le contexte synoptique de la troposphère a été largement traité dans notre cas à travers le champs de géopotential à 500 hPa. Nous exposons, par région climatique, les résultats obtenus en termes de mouvement synoptique responsable d'une manifestation météorologique génératrice de précipitations importantes sur le Nord de l'Algérie.

Régions 1 : Cette étude a permis d'identifier une con-

Table 6. Pourcentage de précipitations intenses à l'échelle mensuelle pour les 5 région : R1, R2, R3 R4 et R5.

R1	janv	fév	Mar	Avr	mai	jui	juil	aou	sep	oct	nov	déc
Intenses(%)	45	40	43.75	43.75	44.44	50	0	20	35.29	57.14	47.37	43.75
Très intenses(%)	15	6.66	18.75	12.5	0	25	0	40	29.41	14.28	15.79	18.75
Extrêmes(%)	40	53.33	37.3	43.75	55.55	25	100	40	35.29	28.57	36.84	37.5
R2	janv	fév	Mar	Avr	mai	jui	juil	aou	sep	octe	nov	déc
Intenses(%)	33.33	41.93	34.48	42.85	58.82	0	0	0	40	31.25	32.26	53.57
Très intenses(%)	11.11	12.9	17.24	17.85	5.88	100	0	33.33	20	25	12.9	14.28
Extrêmes(%)	58.33	41.93	48.27	39.28	35.29	0	0	66.66	40	43.75	54.83	32.14
R3	janv	fév	Mar	Avr	mai	jui	juil	aout	sep	oct	nov	déc
Intenses(%)	26.66	40	47.61	36	27.27	0	33.33	0	33.33	33.33	39.13	29.41
Très intenses(%)	28.88	14.29	14.28	12	18.18	0	0	0	0	0	26.08	29.41
Extrêmes(%)	44.44	45.71	39.09	52	54.54	10	66.66	0	66.66	66.66	34.78	41.17
R4	janv	fév	Mar	Avr	mai	jui	juil	aout	sep	oct	nov	déc
Intenses(%)	28	43	43	35	37.50	60	0	50	57.14	50	47	50
Très intenses(%)	20	19	24	30	0	0	0	50	14.82	16.66	13	22.72
Extrêmes	52	38	33	35	62.5	40	0	0	28.57	33.33	40	27.27
R5	janv	fév	Mar	Avr	mai	jui	juil	aout	sep	oct	nov	déc
Intenses(%)	42.8	41.17	50	22.22	38.46	66.66	100	100	14.28	66.66	36.36	27.27
Très intenses(%)	7.14	17.64	7.14	22.22	15.38	33.33	0	0	42.85	11.11	18.18	16.66
Extrêmes(%)	50	41,14	42.85	55.55	46.15	0	0	0	42.85	22.22	45.45	55.55

figuration d'échelle synoptique favorable à la génération d'un système fortement précipitant sur les hauts plateaux ouest du pays. La présence d'un thalweg d'altitude axé Nord-ouest, Sud-est à la moyenne troposphère, s'enfonçant vers le continent et pouvant évoluer parfois en goutte froide, induit une circulation générale intense d'ouest sur l'océan Atlantique et dirigeant un flux de Nord-ouest devenant de Sud-ouest d'origine océanique sur la région. La situation est aussi caractérisée par une dorsale marquée sur l'Europe centrale et le pourtour Méditerranéen. La circulation cyclonique est légèrement diffluente, ce qui favorise l'instabilité de la masse d'air.

La situation synoptique à l'origine de la manifestation des précipitations sur cette région apparaît fortement contrôlée par le thalweg à la 500hPa en amont de la région. Il est repéré aussi bien pour les précipitations intenses ; très intenses et extrêmes avec des caractéristiques dynamiques assez proches mais la différence réside dans le fait que le pivotement de l'axe du thalweg qui prend une position plus vers l'intérieur en gagnant plus de continent soit à l'origine d'installer des précipitations de catégorie plus sévère ; un thalweg plus allongé et plus marqué développe des précipitations plus marquées en termes de quantité de pluie portée par le système (Figure 5).

Nous avons ainsi remarqué que la région 1 se trouve au cœur d'anomalies de géopotential négatives très accentuées. La différence dans le caractère des précipitations ainsi développées se matérialise dans la disposition de ces anomalies négatives par rapport aux autres positives.

Région 2 : Cette région climatique est soumise à une circulation d'altitude en terme de géopotential à la 500 hPa fortement matérialisée par la présence d'un thalweg axé du

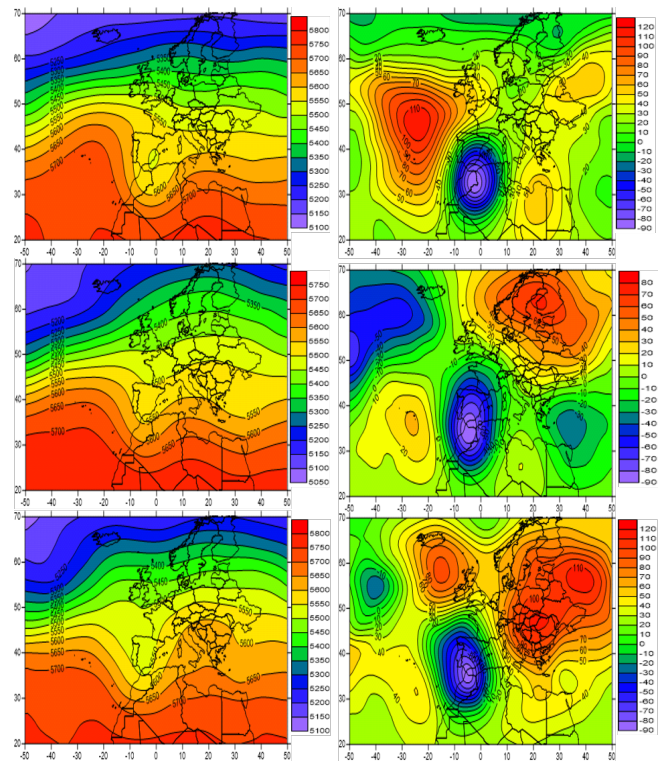


Figure 6. Cartes des configurations synoptiques du Géopotential (à gauche) et anomalie de Géopotential (à droite) à 500 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 1.

Nord-Est vers le sud-ouest. Il apparaît donc que ce type de dynamique d'altitude soit à la base de la manifestation des

fortes précipitations sur la région. La région en question se trouve à l'ouest de cet axe. Le mode générale de cette dynamique mis en évidence une circulation intense d'ouest sur l'océan Atlantique dirigeant un flux relativement d'ouest sur cette région.

Il y a lieu de noter que l'enfoncement du thalweg et son prolongement vers le continent constitue une signature dynamique de base différenciant l'intensité et la sévérité des précipitations intenses. Les thalwegs les plus profonds installent un temps avec des précipitations extrêmes qui s'atteignent en fur et à mesure que ces thalwegs se retirent vers le nord.

La discussion portant sur les anomalies accompagnant la circulation synoptique sur cette région et pouvant être à l'origine d'un temps avec précipitations intenses ; nous a amené à retirer quelques éléments faisant différence dans le caractère des pluies intenses observées.

On note que les anomalies fortement négatives couvrant la région en question sont piégées entre des anomalies positives du côté Ouest et Est de ces dernières ont le centre beaucoup plus au Nord en cas de précipitations extrêmes alors qu'il se positionne plus au Sud pour les précipitations intenses.

Un champ d'anomalie fortement différent caractérise les pluies très intenses. On assiste à un prolongement des anomalies négatives vers l'Est alors que les anomalies faiblement positives sont repérées du côté Ouest.

Région 3 : La figure 7, montre les 3 positionnements latitudinaux préférentiels des thalwegs d'altitude installant des précipitations intenses toutes catégories confondues. Ces 3 positions sont dues en partie au caractère propagation (vers le sud) du thalweg ainsi repéré.

Ainsi, seuls les thalwegs les plus profonds sont susceptibles de contribuer aux précipitations extrêmes. Les autres types de précipitations intenses ou très intenses relèvent du même mécanisme mais tendent à se produire avec une structure moins prolongée et moins profonde voir un peu retirée en direction de l'Europe.

Il y a lieu de noter que le flux observé sur l'océan Atlantique qui était purement d'ouest sur les autres régions climatiques se trouve un peu dévié pour cette région et devenant de composante sud-ouest orientant un flux du Nord à Nord-ouest sur les régions centre et Est du pays.

Cette approche permet également d'observer des bandes d'anomalies de géopotentiels négatives sur le Nord du pays et pouvant gagner plus de continent en direction du sud. Ces anomalies peuvent se prolonger vers le nord comme vers l'Est de notre région et se présentent pour les trois types de précipitations intenses en juxtaposition avec les anomalies positives accentuées installées sur l'océan atlantique.

Région 4 : Il apparaît clairement sur la figure 8 que la zone 4 bénéficie de précipitations importantes lorsque le thalweg d'altitude axé de l'Europe centrale vers le sud du pays est bien tracé sur la partie Est du pays. Un mouvement ondulatoire est bien repéré lorsque les précipitations sont

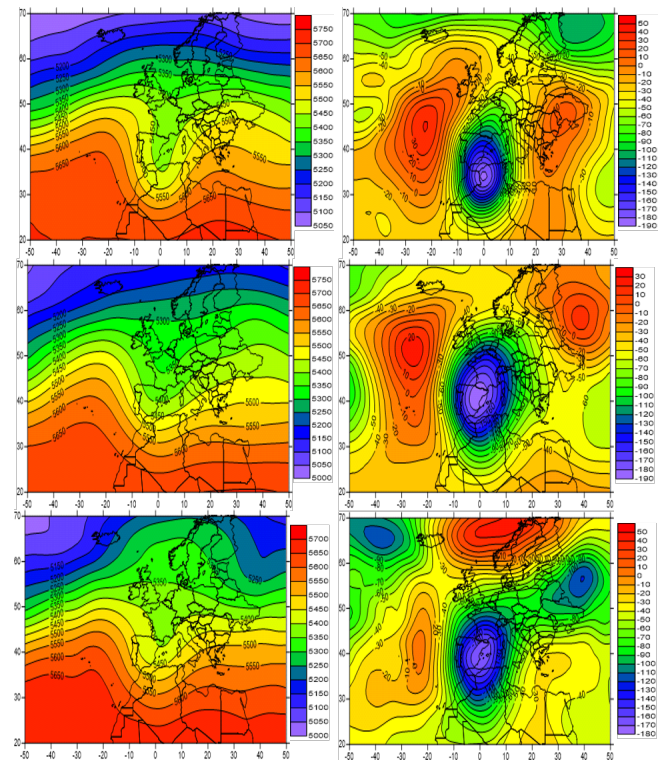


Figure 7. Cartes des configurations synoptiques du Géopotential (à gauche) et anomalie de Géopotential (à droite) à 500 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 2.

de type extrême permettant ainsi de gagner plus d'extension vers le sud et pouvant se détacher en goutte froide. Le flux d'altitude accompagnant la manifestation fortement précipitant sur cette région est intense de secteur ouest à sud-ouest sur l'océan Atlantique dirigeant un flux de Nord-ouest à ouest sur la région.

Les anomalies fortement négatives sur la région semblent être une signature des précipitations importantes sur la région. La disposition du dipôle anomalies négatives-positives apparaît différente par rapport aux autres régions climatiques. Des anomalies positives du géopotential à la 500 hPa se positionnant au Nord-ouest des anomalies négatives couvrant la région sont responsables des précipitations extrêmes lorsqu'elles se prolongent un peu vers l'Est alors que l'absence de ce prolongement installe un temps avec précipitations intenses.

Les précipitations très intenses sont plutôt contrôlées par des anomalies négatives avec une position plus à l'Est du pays et se scindant en deux noyaux en direction de Nord-Est pour gagner l'Europe centrale et sont couvertes de leur côté Ouest par des anomalies positives de même forme.

Région 5 : Les hauts plateaux du centre du pays observent une activité météorologique génératrice de fortes précipitations lorsque des conditions dynamiques d'altitude sont représentées par un thalweg apparaissant moins pro-

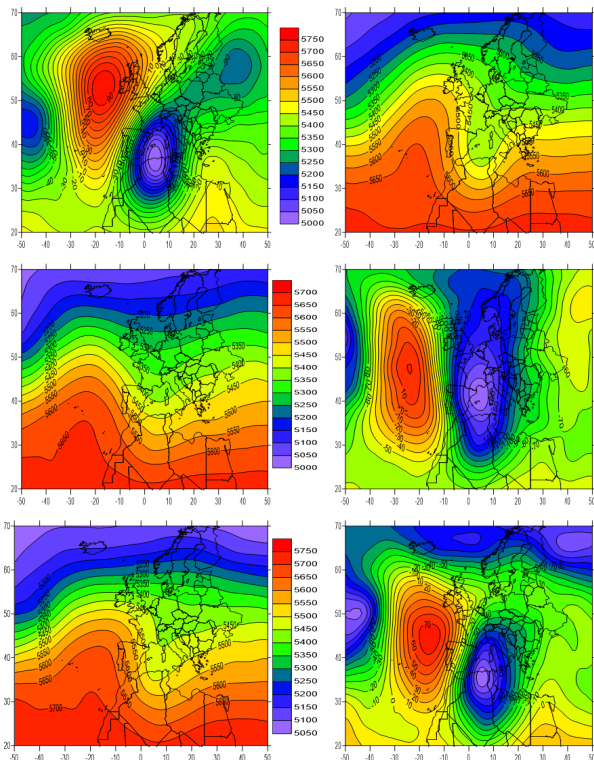


Figure 8. Cartes des configurations synoptiques du Géopotential (à gauche) et anomalie de Géopotential (à droite) à 500 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 3.

fond sur cette régions que sur les autres régions climatiques. Très peu de différences sont repérées sur la structure synoptique à l'origine des pluies extrêmes ou intenses alors que un pivotement net de l'axe du thalweg vers l'ouest en direction de l'océan installe des précipitations très intenses avec une déviation claire du flux sur l'océan Atlantique qui devient du sud-ouest alors qu'il était de majoritairement d'ouest sur les configurations synoptiques à l'origine des pluies extrêmes et intenses.

Un schéma classique d'anomalies négatives sur la région est favorable aux précipitations extrêmes et intenses : leurs dispositions avec les anomalies positives différentes d'une catégorie de précipitations à une autre. Les anomalies positives se trouvent au Nord-ouest de celles négatives pour les précipitations extrêmes devenant à l'ouest lorsqu'il s'agit de pluies intenses alors que les précipitations très intenses montrent une complexité dans le champ d'anomalies avec une bande négatives couvrant une bonne partie de l'Europe et la Méditerranée.

Les anomalies positives se rétrécissent vers le Nord et couvre une partie très réduite de l'océan Atlantique.

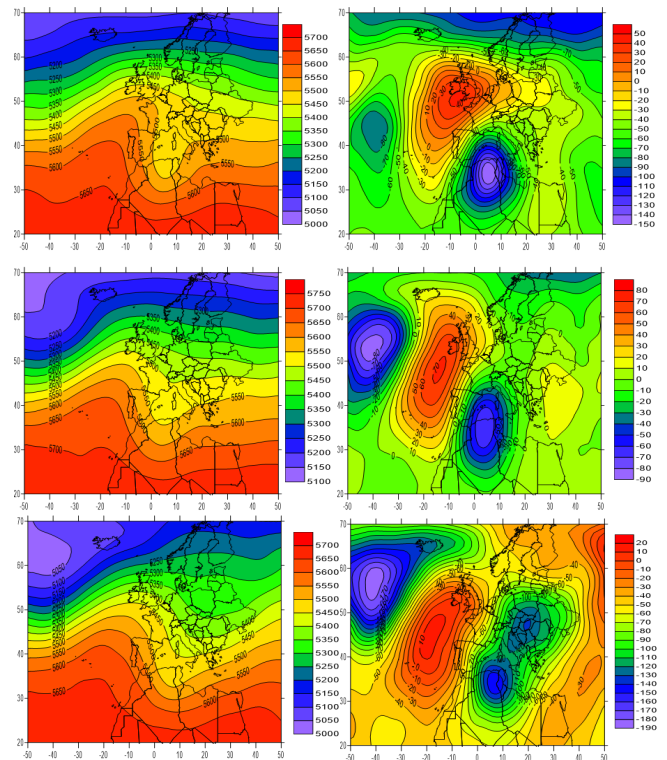


Figure 9. Cartes des configurations synoptiques du Géopotential (à gauche) et anomalie de Géopotential (à droite) à 500 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 4.

4.2 Analyse du champs de tourbillon potentiel (PV) à 330 °K

Les mécanismes de génération et entretien des fortes précipitations des régions hauts plateaux ouest (Région1) à très hautes altitudes peuvent faire intervenir une dynamique assez intense près de la tropopause dont le tourbillon dépasse les 4 PVU si les précipitations ainsi développées sont de caractère extrême alors que des valeurs moins importante du tourbillon potentiel sont observées pour les précipitations intenses et très intenses tout en véhiculant l'existence d'anomalie d'altitude qui perd de son activité lorsque l'inten-

sité des pluies diminue. Les ingrédients dynamiques et environnementaux attachés à ce type d'épisodes en termes d'anomalies ont permis de reconstituer une idée d'ordre climatologique qui indique que les valeur de tourbillon doivent dépasser les seuils normalement observés sur la région pour développer un temps avec précipitations fortes même si ces anomalies restent faiblement positives en cas de précipitations intenses et très intenses et peuvent avoir un ordre de grandeur plus important si les pluies installées sont extrêmes. Quelque soit la situation considérée, la situation synoptique est donc caractérisée par un flux d'altitude diffluent associé à une anomalie positive de tourbillon potentiel.

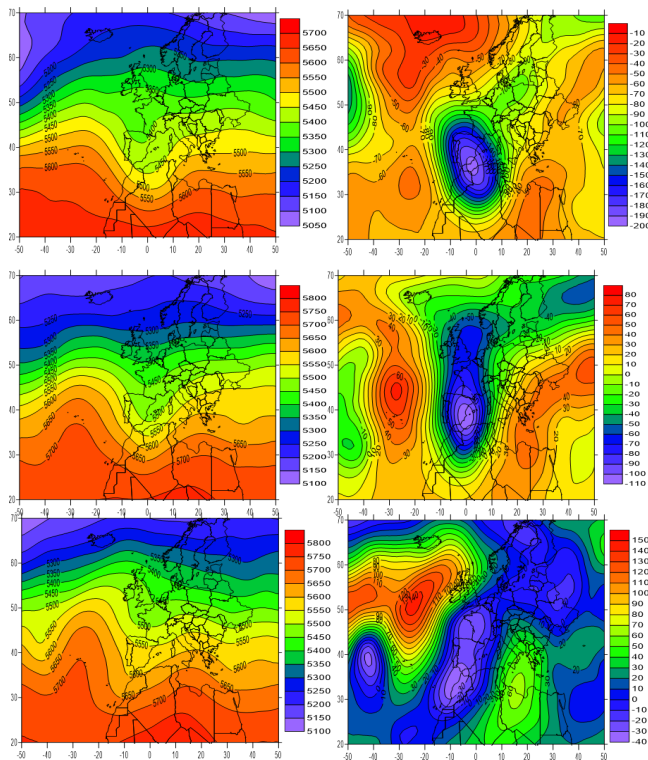


Figure 10. Cartes des configurations synoptiques du Géopotential (à gauche) et anomalie de Géopotential (à droite) à 500 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 5.

L'étude du champ de tourbillon potentiel sur la région nord-ouest du pays a mis en évidence un environnement synoptique de haute altitude matérialisé par des valeurs de tourbillon potentiel comprise entre 3 et 4.5 PVU lors des événements de fortes précipitations quel que soit l'intensité de ces précipitations.

Cette caractéristique est indispensable à l'occurrence de ce type d'événements car elle autorise le maintien des conditions favorables à leur installation. De plus l'examen de ce champ a montré que ce schéma synoptique n'est plus particulier à cette région climatique car il a été détecté ailleurs.

Le champ d'anomalies accompagnant les précipitations fortes sur cette région indique des valeurs positives pas trop importantes ne dépassant pas les 3 PVU comme écart entre les valeurs de tourbillon restituant les journées fortement précipitantes et les valeurs moyennes observées au cours de la période examinée.

L'occurrence d'événements fortement précipitants sur les régions centre et Est du pays (région 3) sur le littoral ou beaucoup plus vers l'intérieur est intimement liée à la présence de structures cycloniques en haute troposphère.

Ces structures sont en général le résultat du déferlement d'ondes de Rossby et sont caractérisées par de fortes valeurs de tourbillon potentiel associées à une circulation d'altitude très dynamique pouvant atteindre les 5 PVU.

Les Figures 11, 12, 13, 14 et 15 montrent que durant la saison d'automne, les champs composites du tourbillon potentiel indiquent la présence de précurseurs d'altitudes (formant des paquets d'ondes) au-dessus de notre région et qui sont plus marqués lorsque les précipitations prennent un caractère plus sévère. Ces figures retraçant les anomalies associées à ce genre de manifestations météorologiques génératrices de pluies fortes montrent clairement que les différences en termes de signe et d'intensité de l'anomalie introduite par la circulation dynamique de très haute troposphère affectent considérablement le développement cyclonique de surface, l'anomalie d'altitude pilote en partie l'intensité des précipitations.

Des anomalies fortement positives et envahissant une bonne partie du Nord du pays mais beaucoup plus concentrées sur cette région provoquent des précipitations extrêmes ; lorsque des précipitations très intenses sont plutôt marquées par des anomalies positives couvrant plus d'espace méditerranéen ; en cas de pluies intenses sur la région en question ; les valeurs des anomalies du tourbillon potentiel sont assez faibles mais gardent un écart positif par rapport à la situation moyenne.

La signature dynamique à très hautes altitudes entreprise par le champ de tourbillon potentiel discuté sur la région continentale des hauts plateaux Est du pays montre que les précipitations fortes toutes catégories confondues sont contrôlées par la présence d'une dynamique près de la tropopause caractérisée par l'existence d'une anomalie d'alt-

itude restituant des valeurs de tourbillon potentiel comprises entre 2 et 3 PVU.

Il apparaît que des faibles anomalies positives de tourbillon potentiel marquent la manifestation fortement précipitantes sur cette région ; presque pas de différences notables entre les anomalies accompagnant les pluies extrêmes, intenses ou très intenses.

L'examen des cartes composites de précipitations fortes sur les hauts plateaux centre du pays délivre des informations un peu différentes de la dynamique d'altitude accompagnant ce type de manifestations météorologiques. Il s'est avéré que les pluies intenses et très intenses sont fortement contrôlées par une faible dynamique d'altitude. La région observe à peine des valeurs de tourbillon potentiel comprise entre 1 et 1.5 PVU. Alors que une dynamique de très haute troposphère beaucoup plus active est responsable des pluies extrêmes ; on passe pour ce type de précipitations fortes à des valeurs de tourbillon potentiel entre 3.5 et 4 PVU marquant la nécessité de la présence d'une anomalies d'altitude pour mettre en place un système fortement précipitant à caractère extrême.

Le développement des précipitations importantes sur cette région du pays s'accompagne donc dans la majeure partie des cas de la présence d'un ruban de vorticité potentielle inférieure   2PV sur une surface isentrope   environ 320 K (PV-streamer) ; ceci étant confirmé par les anomalies

négligables observées autour des précipitations intenses et très intenses sur la région démontrant une faible dynamique au voisinage de la tropopause ; ces dernières deviennent fortement positives lorsqu'il s'agit des précipitations extrêmes.

Il apparaît clairement que les fortes pluies classées comme des pluies exceptionnelles sur la région ouest du pays préfèrent un environnement synoptique fortement humide caractérisé par des taux importants d'humidité relative en basses couches assez marqués autour de 80 pour provoquer une dynamique météorologique productrice de pluies extrêmes alors que les précipitations intenses voire très intenses nécessitent une atmosphère moins humide et sont donc plutôt alimentées à bas niveaux par un air dont l'humidité relative affiche des valeurs pouvant descendre jusqu'à 65 en cas de pluies intenses.

En termes d'anomalies des anomalies très positives constituent la signature climatologique des fortes pluies sur cette région la région doit enregistrer des valeurs d'humidité plus importantes que la moyenne climatologique calculée de 1985 jusqu'à 2015 pour observer des précipitations à caractère exceptionnel ; l'écart entre les taux d'humidité mesurés à bas niveaux au cours des journées fortement précipitantes et l'humidité moyenne s'accroît lorsque l'intensité des précipitations importantes augmente et il est donc plus fort pour les situations à l'origine des plus extrêmes.

4.3 Analyse du champ de l'humidité à 925 hPa

L'analyse météorologique de nombreux épisodes de pluies intenses en région méditerranéenne a montré que le principal ingrédient de ces phénomènes météorologiques était l'advection vers les côtes par un flux de basses couches d'une masse d'air méditerranéenne humide et souvent inconditionnellement instable. Ce flux de basses couches fournit notamment aux systèmes fortement précipitants la vapeur d'eau nécessaire pour former les précipitations après condensation.

Plusieurs études ont mis en évidence la sensibilité importante des systèmes fortement précipitants aux caractéristiques de ce flux d'alimentation et notamment à son champ d'humidité. Afin de mieux comprendre et de mieux prévoir les épisodes de pluies intenses sur notre région, on poursuit dans cette partie, un objectif principal visant à améliorer notre connaissance de l'alimentation des systèmes fortement précipitants, ainsi que des mécanismes associés, en caractérisant cette alimentation en humidité. Vu que l'essentiel de l'humidité advectée est confinée dans les basses couches atmosphériques ; nous avons préféré de rechercher cette information au niveau de la 925 hPa issues des réanalyse ERA-INTERIM sur le même domaine géographique et la même période temporelle.

Le champ d'humidité discuté au niveau 925 hPa montre que les hauts plateaux ouest du pays observent des précipitations extrêmes lorsque l'humidité dépasse les 60 pour

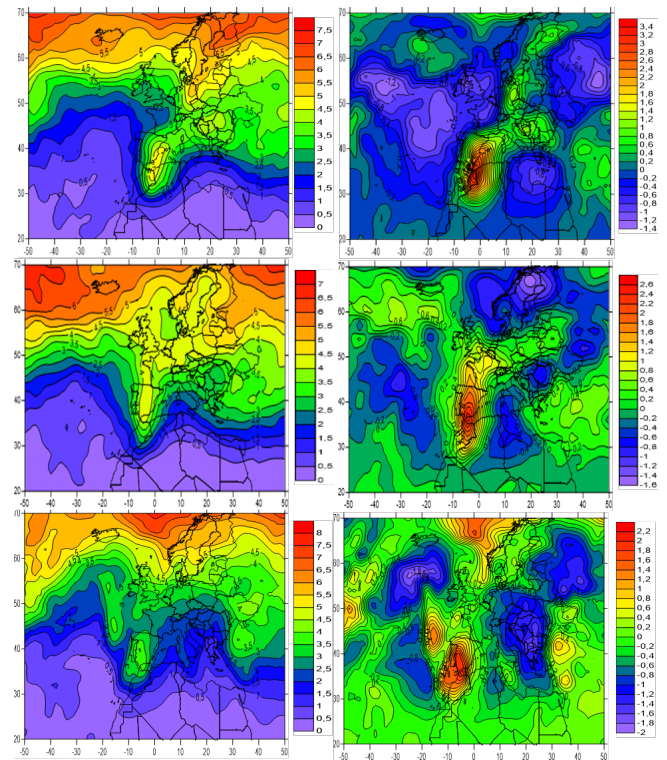


Figure 11. Cartes des configurations synoptiques du tourbillon potentiel (à gauche) et anomalie du tourbillon potentiel (à droite) à 330 °K pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 1.

atteindre les 70. Ce taux d'humidité est sensiblement moins important lorsqu'il s'agit des pluies de type intenses et très intenses ; les valeurs ainsi repérées sont comprises entre 50 et 70. Des anomalies fortement positives sur cette région marquent la manifestation météorologique génératrice de précipitations à caractère exceptionnel ; ceci est d'autant plus vrai que les pluies observées sont d'intensité plus accentuée. On note également que ces fortes anomalies positives sont plus concentrées sur cette région lorsqu'il s'agit de précipitations extrêmes alors qu'elles prennent une forme plus allongée en gagnant plus d'espace géographique vers l'ouest et le sud voire en direction du proche Atlantique.

Une atmosphère trop humide constitue une condition physique nécessaire pour développer une manifestation météorologique intense en termes de précipitations sur les régions s'étendant du centre vers l'Est du pays et englobant des zones géographiques aussi bien côtières que intérieures. Des taux d'humidité de l'ordre de 85 sont suffisants pour générer des pluies extrêmes. Les précipitations intenses ou très intenses requièrent toujours des valeurs d'humidité assez élevées mais qui restent moins importantes pour celles à l'origine des pluies extrêmes. Une information climatologique, tirée à partir de l'examen des champs des anomalies accompagnant les précipitations importantes sur cette région, indique que les journées avec précipitations ex-

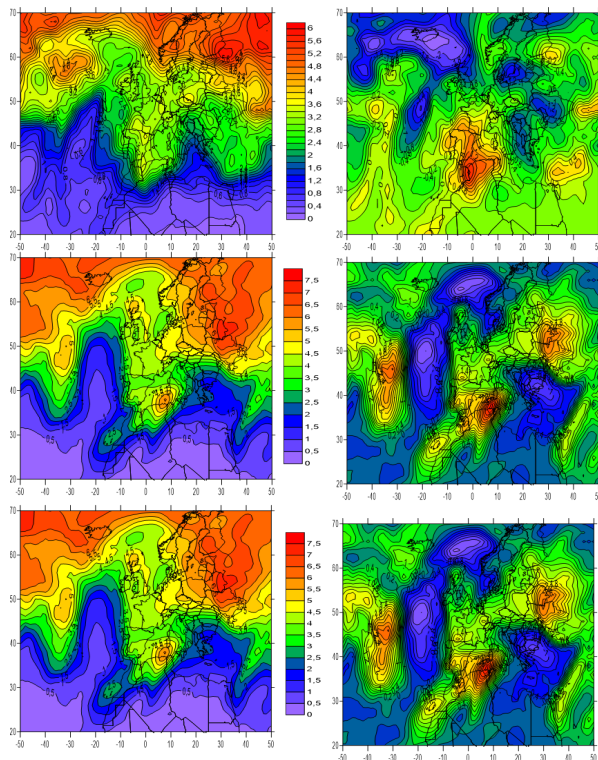


Figure 12. Cartes des configurations synoptiques du tourbillon potentiel (à gauche) et anomalie du tourbillon potentiel (à droite) à 330 °K pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 2.

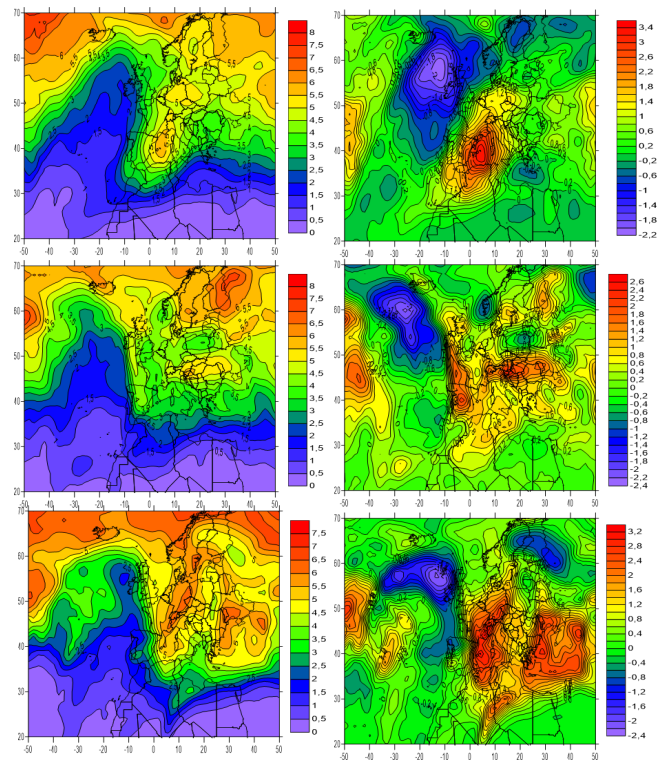


Figure 13. Cartes des configurations synoptiques du tourbillon potentiel (à gauche) et anomalie du tourbillon potentiel (à droite) à 330 °K pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 3.

trêmes et même très intenses doivent mesurer des valeurs d'humidité trop importantes et assez localisées par rapport à la moyenne climatologique observée sur cette région pour ce paramètre alors que cette différence est moins requise pour les précipitations intenses qui affichent des anomalies encore positives mais moins importantes et occupant plus d'espace géographique.

Les régions continentales de l'Est du pays représentées par les stations de Batna, BBA Et Tébessa sont soumises à des précipitations fortes de type extrêmes, très intenses et intenses lorsque l'humidité relative en basses couches dépasse les 60 pour atteindre les 80 en cas de précipitations extrêmes. D'un point de vue anomalies restituant une information d'ordre climatologique, les précipitations exceptionnelles sont attachées à des anomalies positives assez fortes lorsque l'intensité des pluies est importante ; ces anomalies gardent le signe positif dénotant la nécessité de dépasser les valeurs moyennement observées sur la période en question pour développer des pluies intenses ou très intenses mais enregistrent des valeurs plus faibles que celles affichées lors des journées avec des précipitations extrêmes.

La région englobant la zone géographique passant par Tiaret, Msila, Djelfa et Biskra observe des précipitations classées comme des pluies exceptionnelles quand l'humidité relative à 925 HP avoisine les 60 . Ce seuil est considéré

comme faible par rapport aux taux d'humidité enregistrés sur les autres régions climatiques définies sur le reste du Nord du pays. Ces valeurs d'humidité peuvent descendre en-dessous des 60 si le caractère des précipitations est de type intense ou très intense. Le point commun entre cette région et les autres régions issues de la régionalisation des pluies du Nord du pays réside dans le signe des anomalies qui se sont maintenues positives signalant ainsi que les journées avec précipitations intenses, très intenses ou extrêmes sont caractérisées sur cette région par des valeurs d'humidité au-delà de la normale observées au cours des 31 années étudiées malgré que l'ordre de grandeur de ces anomalies reste un peu plus faible.

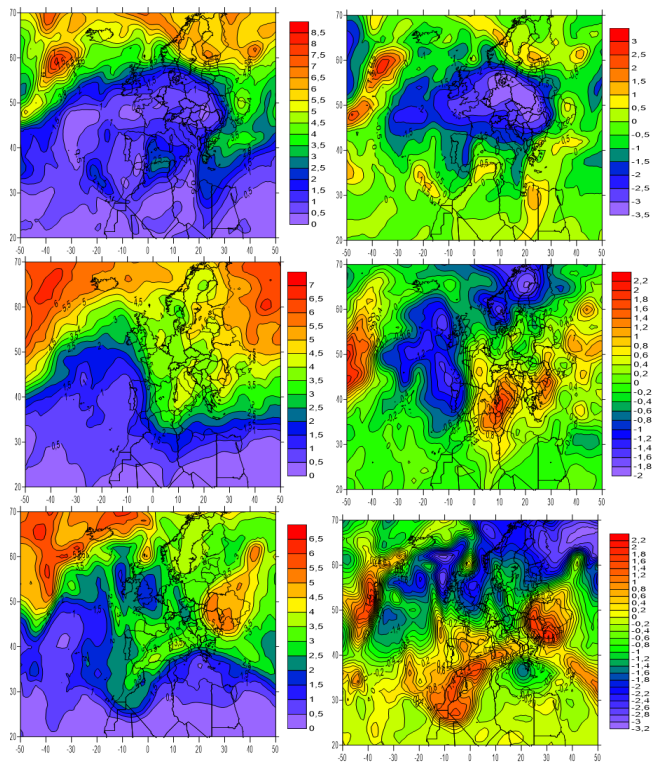


Figure 14. Cartes des configurations synoptiques du tourbillon potentiel (à gauche) et anomalie du tourbillon potentiel (à droite) à 330 °K pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 4.

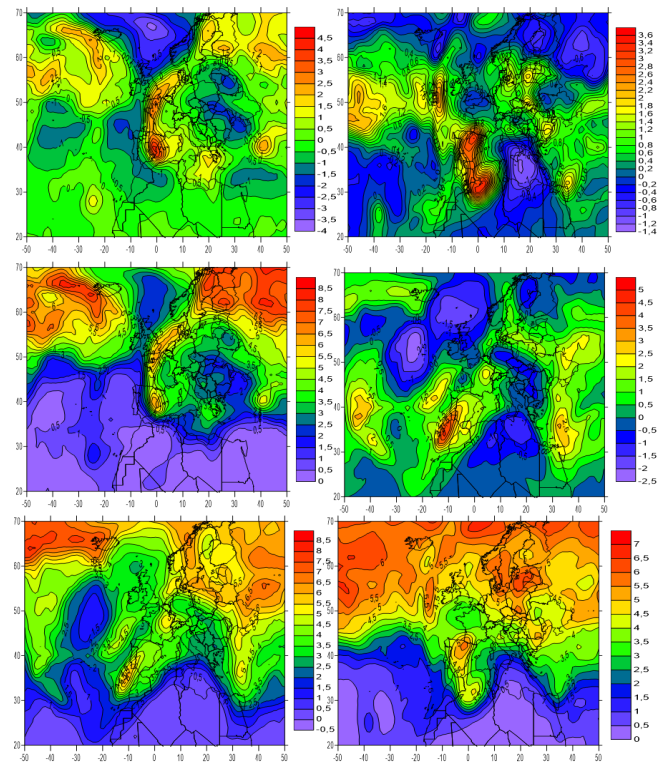


Figure 15. Cartes des configurations synoptiques du tourbillon potentiel (à gauche) et anomalie du tourbillon potentiel (à droite) à 330 °K pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 5.

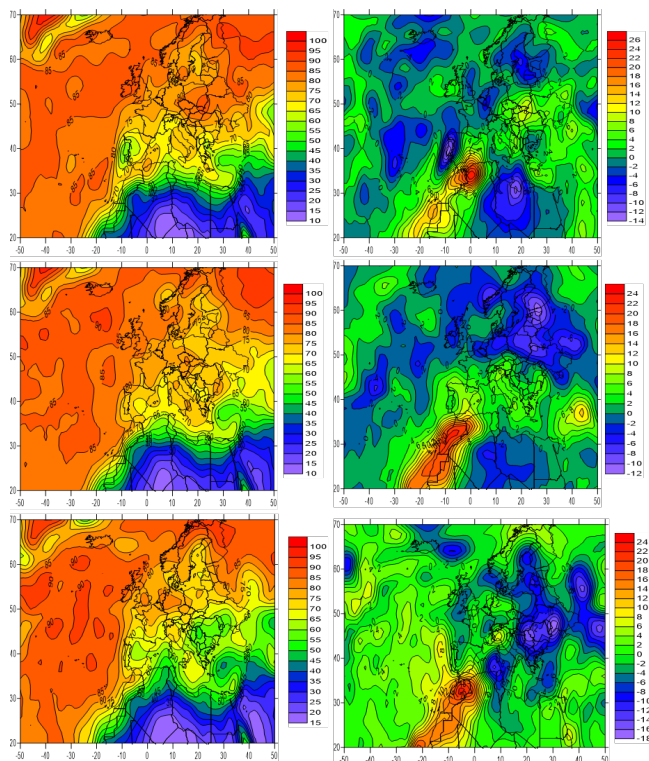


Figure 16. Cartes de l'humidité (à gauche) et anomalie d'humidité (à droite) à 925 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 1.

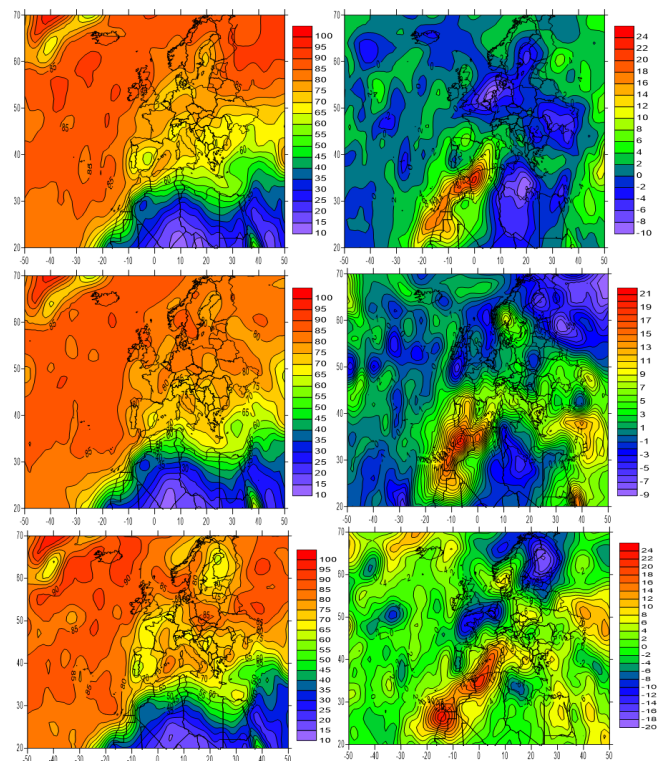


Figure 17. Cartes de l'humidité (à gauche) et anomalie d'humidité (à droite) à 925 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 2.

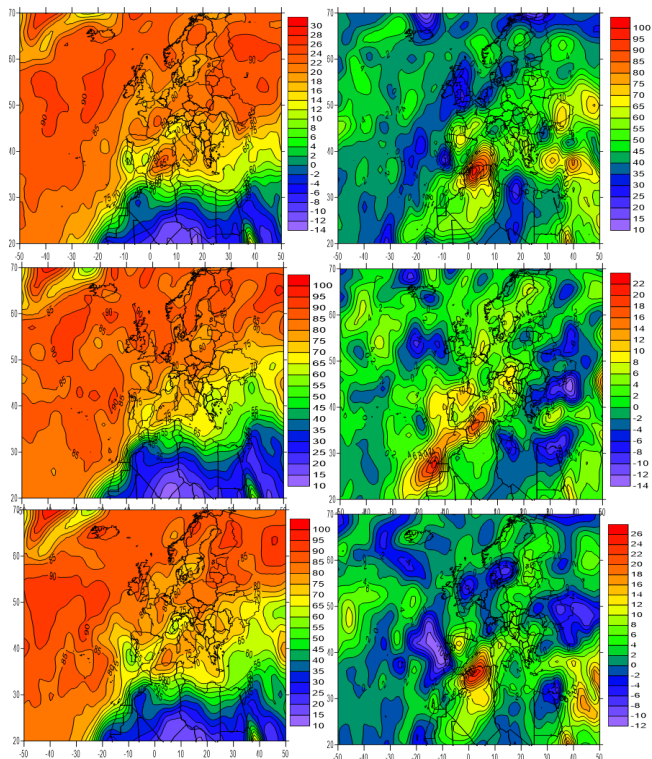


Figure 18. Cartes de l'humidité (à gauche) et anomalie d'humidité (à droite) à 925 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 3.

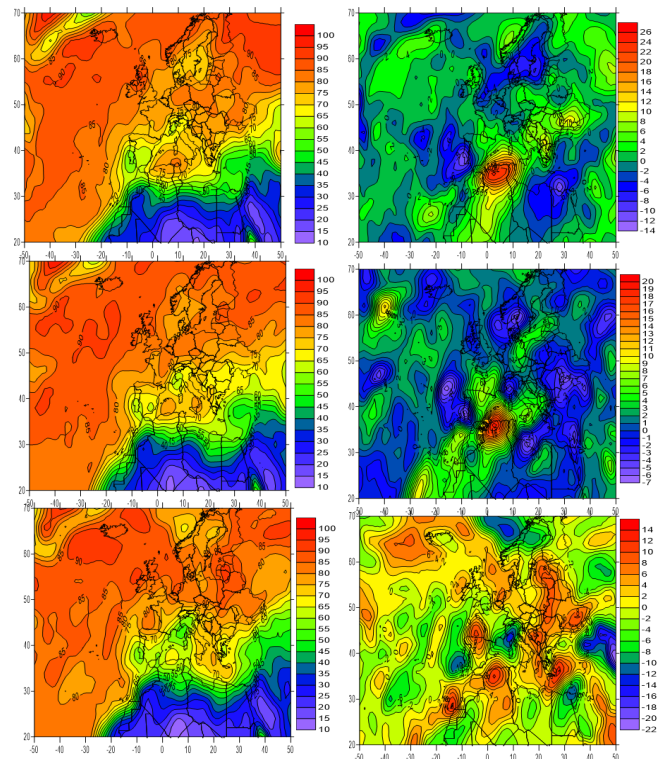


Figure 19. Cartes de l'humidité (à gauche) et anomalie d'humidité (à droite) à 925 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 4.

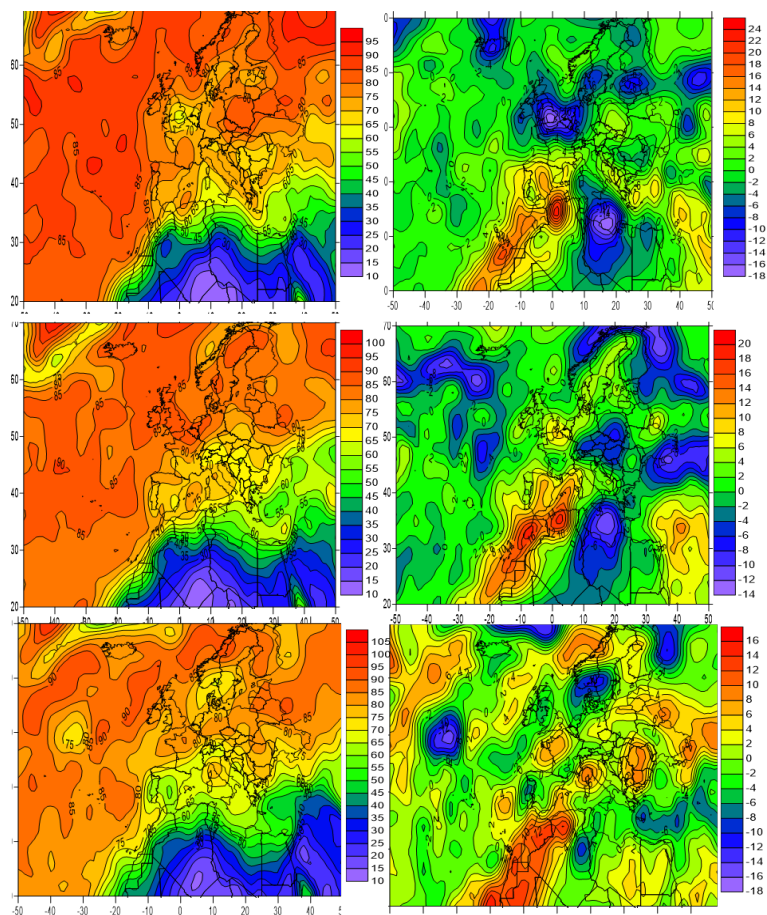


Figure 20. Cartes de l'humidité (à gauche) et anomalie d'humidité (à droite) à 925 hPa pour les épisodes pluvieux extrêmes (en haut), intenses (au milieu) et très intenses (en bas) pour la région 5.

5. Conclusion

Nous avons étudié la variabilité spatiale des précipitations intenses sur le nord de l'Algérie et identifié les indicateurs pertinents qui permettraient de mieux décrire leur origine en utilisant les relations entre les précipitations intenses et la dynamique atmosphérique. Les résultats obtenus sont très encourageants et rejoignent les constatations de certaines études effectuées sur la Méditerranée. Il semble que les précipitations intenses de grande échelle observées sur le Nord de l'Algérie sont contrôlées par un thalweg d'altitude dont la forme conditionne l'intensité des précipitations ; une anomalie de très haute altitude alimentée en fortes humidités en basses couches est nécessaire à l'installation d'un temps avec précipitations exceptionnelles.

Les modèles statistiques classiques issus de la théorie des valeurs extrêmes, ont été adaptés. Ces modèles ont montré une grande efficacité pour estimer les quantiles rares des séries de précipitations extrêmes.

La classification élaborée dans le cadre de cette étude a fait sortir cinq régions climatiques avec les constatations suivantes :

- Les précipitations intenses diminuent en allant du nord vers l'intérieur du pays.
- La région qui s'étend du centre à l'est du pays l'emporte d'un point de vue activité fortement précipitante.
- Le mécanisme de développement et le maintien des précipitations intenses sur le Nord de l'Algérie est fortement contrôlé par :

* La présence d'un Thalweg à 500 hpa.

* L'enfoncement du Thalweg conditionne l'intensité des précipitations.

* Une anomalie de très haute altitude alimentée en forte humidité.

* Humidités en basses couches est nécessaire à l'installation d'un Temps avec précipitations exceptionnelles.

Nous n'avons pas abordé dans cette étude les processus impliqués dans les évolutions futures d'événements de précipitations intenses. Ce point mériterait d'être creusé en étudiant le comportement des autres variables simulées par le modèle pour les jours correspondant à d'événements de précipitations intenses dans le présent et le futur.

References

- [1] X Zhang and F Yang. Rclimindex (1.0) user guide. *Climate Research Branch Environment Canada: Downsview, Ontario, Canada*, pages 47–57, 2004.
- [2] TOUHAMI Mounia. Régionalisation et variabilité pluviométrique dans le nord centre-ouest algérien (approche statistique). 2017.
- [3] S. M. Uppala, P. W. Kållberg, A. J. Simmons, U. Andrae, V. Da Costa Bechtold, M. Fiorino, J. K. Gibson, J. Haseler, A. Hernandez, G. A. Kelly, X. Li, K. Onogi, S. Saarinen, N. Sokka, and R. P. Allan. Theera-40 reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(612):2961–3012, 2005. Citations: 5,863.