

TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE A DIFFERENTES ALTITUDES ET LEURS RELATIONS AVEC LES PRECIPITATIONS AU SUD DE LA ROUMANIE

Myriam TRABOULSI^{1,2}, Konstadia TOLIKA³, Christina ANAGNOSTOPOULOU³, Ioannis TEGOULIAS^{3,4},
Liliana ZAHARIA⁵, Dana Maria (OPREA) CONSTANTIN⁵, Panagiotis MAHERAS³

¹ *Université Libanaise, Faculté des Lettres*

² *Archéorient UMR 5133. Maison de l'Orient et de la Méditerranée CNRS-Université Lyon 2*

³ *Département de Météorologie et Climatologie. Aristote Université de Thessaloniki*

⁴ *ELGA - Meteorological Applications Center, International Airport Macedonia, Thessalonik*

⁵ *Université de Bucarest, Faculté de Géographie, Bucarest, Roumanie*

Objectif

Analyser les relations entre les types de circulation atmosphérique et les précipitations à différentes altitudes (1000, 850, 700 et 500 hPa), au-dessus de la Roumanie méridionale.

- ❖ **Une région avec des enjeux socio-économiques très importants et des forts besoins en eau et, par conséquent,**
- ❖ **sensible à la variabilité pluviométrique.**

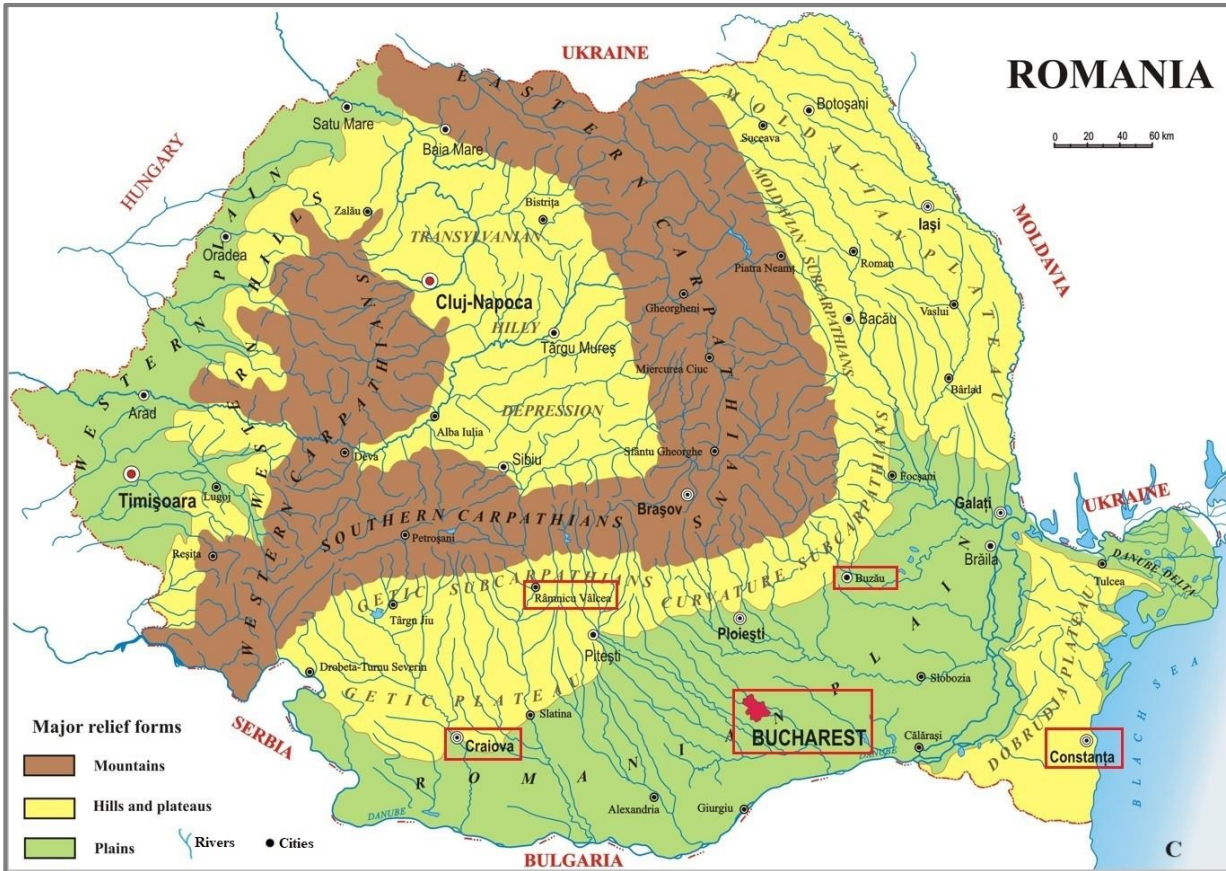
L'objectif final est, dans la mesure de possible, l'analyse des avantages et des désavantages des différentes surfaces géopotentielle pour l'étude des relations entre les précipitations et les types de circulation dans le sud de la Roumanie.

1. Zone d'étude

Caractéristiques climatiques générales de la Roumanie

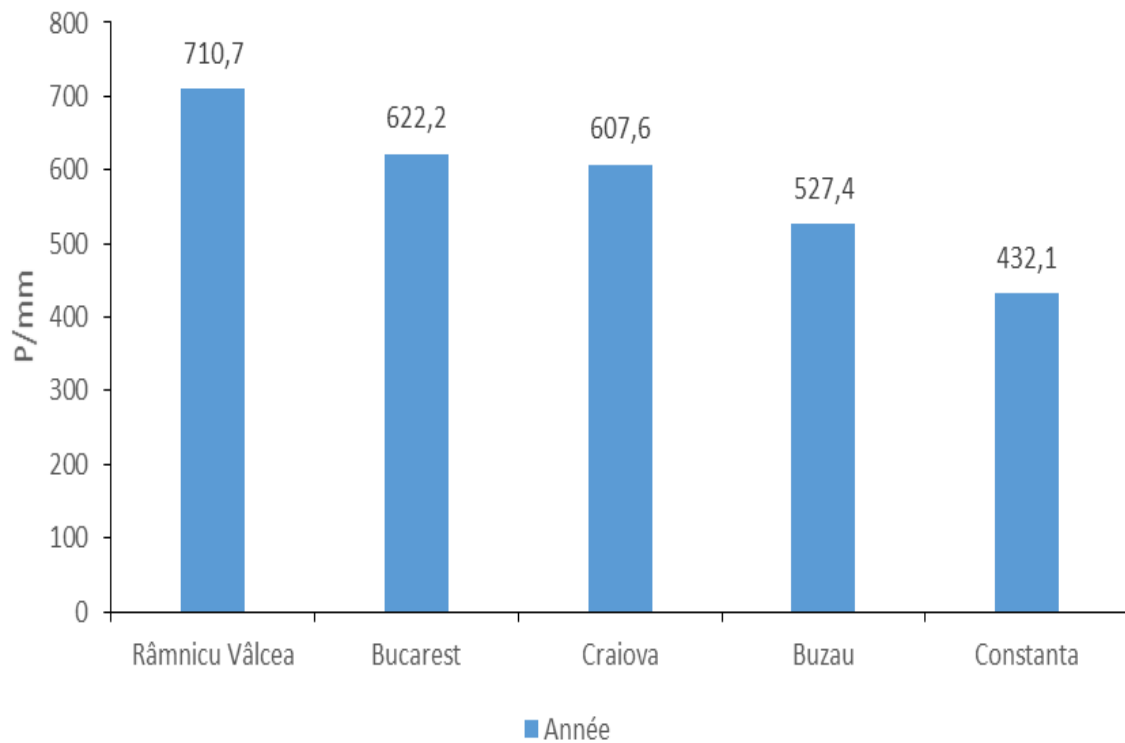
Climat tempéré de transition entre celui océanique et continental avec des différences spatiales induites par :

- la présence des Carpates (qui atteignent 2544 m d'altitude)
- des facteurs et influences climatiques régionaux (par ex., le voisinage de la Mer Noire, les influences méditerranéennes)
- La hauteur annuelle des précipitations en Roumanie varie de 300 – 400 mm dans le sud-est du pays jusqu'à 1500 -1600 mm dans les Carpates.
- Les pluies les plus importantes se produisent entre avril et juillet (avec un maximum en mai- juin) et les plus faibles en hiver (avec un minimum en janvier - février) dans la région montagneuse et en automne (avec minimum en septembre - octobre), dans les plaines.
- Le principal maximum printanier et le secondaire de la fin de l'automne peuvent être associés à l'activité cyclonique intense en Méditerranée.

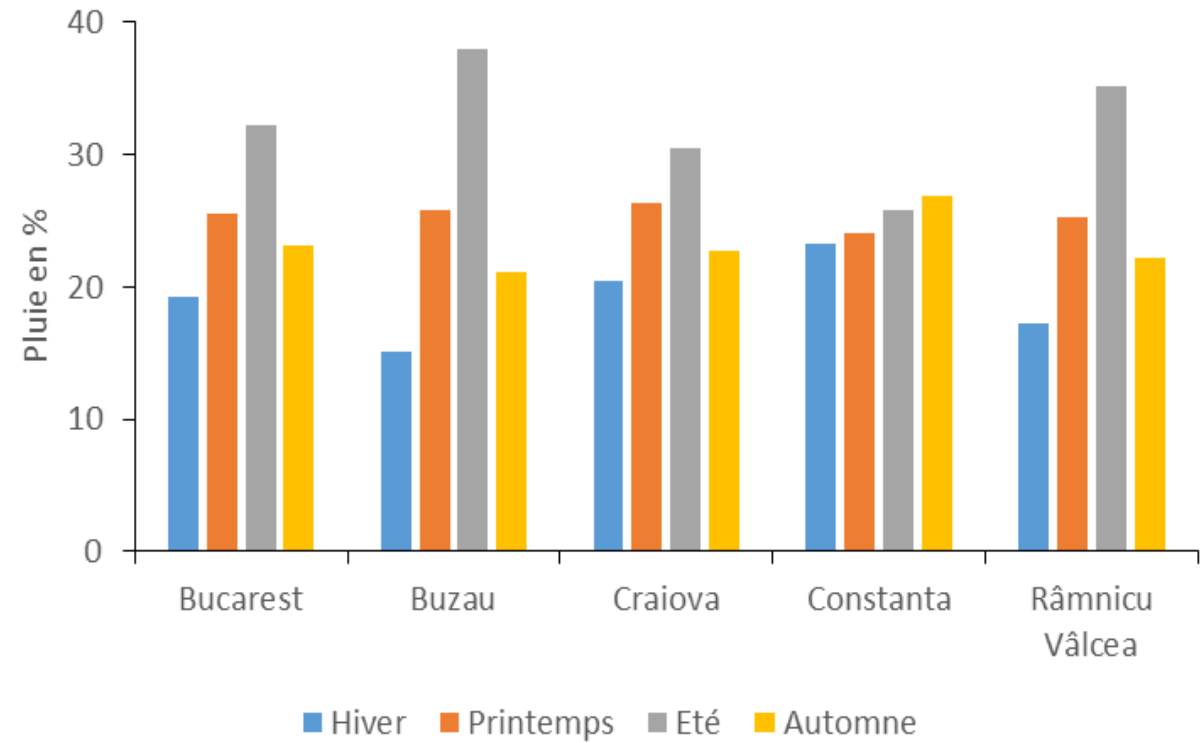


Localisation des stations météorologiques analysées (en carrés rouges)

Caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude



Cumul annuel des précipitations aux stations météorologiques analysées (1961 – 2020)



Répartition saisonnière, en pourcentage, des précipitations aux stations météorologiques analysées (1961 – 2020)

- ❑ Le total annuel des précipitations varient, d'est en ouest, de 432 mm a 710 mm ;
- ❑ Maximum saisonnier: en été (peut atteindre 37 % du total annuel) ;
- ❑ Minimum saisonnier: en hiver (entre 15 et 23 % du total annuel) ;
- ❑ Les mois de printemps et d'automne enregistrent en moyenne entre 21 et 26%.

Caractéristiques pluviométriques de la zone d'étude

Tendances des précipitations saisonnières dans le sud de la Roumanie (1961 – 2020)

Station météo	Hiver	Printemps	Été	Automne	Année
Bucarest	+	+	-	+	+
Buzau	-	-	-	+	+
Constanta	+	+	+	+	+*
Craiova	+	+	+	+	+
Ramnicu Valcea	+	+	+	+	+

Tendances du nombre de jours de pluie saisonnière dans le sud de la Roumanie (1961 – 2020)

Station météo	Hiver	Printemps	Été	Automne	Année
Bucarest	-	-*	-	+	-
Buzau	-	-	-	+	-
Constanta	-	-	-	-	-
Craiova	-	-	-	+	-
Ramnicu Valcea	-	-	-	+	-

Les précipitations annuelles et saisonnières présentent :

- ❖ des tendances positives sauf à Buzau où elles sont négatives durant les saisons d'hiver, de printemps et d'été. Ces tendances sont non significatives sauf à Constanta pour les pluies annuelles.

Les jours de pluie :

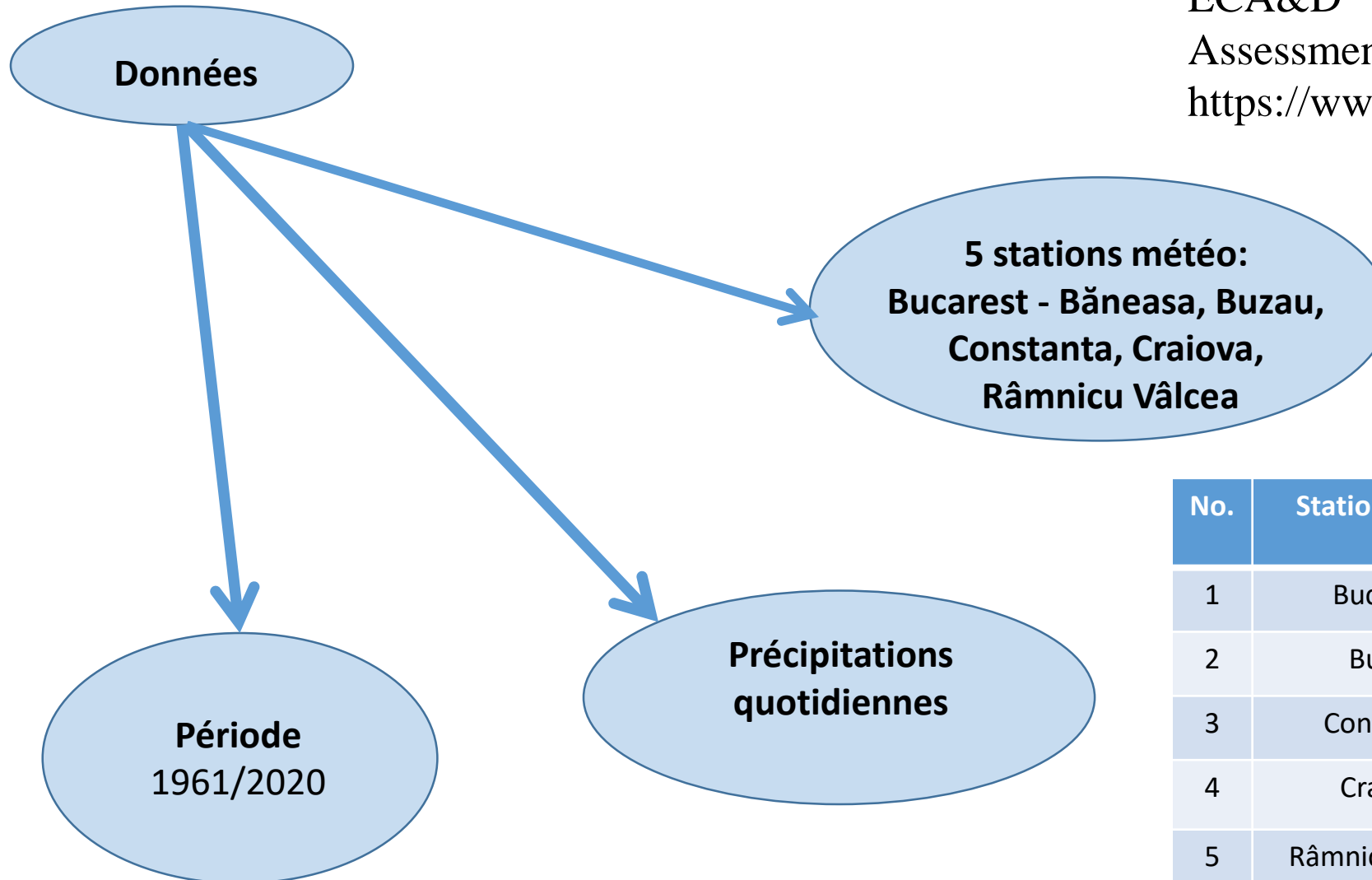
les tendances apparaissent partout semblables :

- ❖ négatives non significatives excepté pour le printemps à Bucarest
- ❖ en automne, elles sont non significatives positives, sauf à Constanta où elles sont négatives.

2. Données et méthodes

Données: pluviométriques

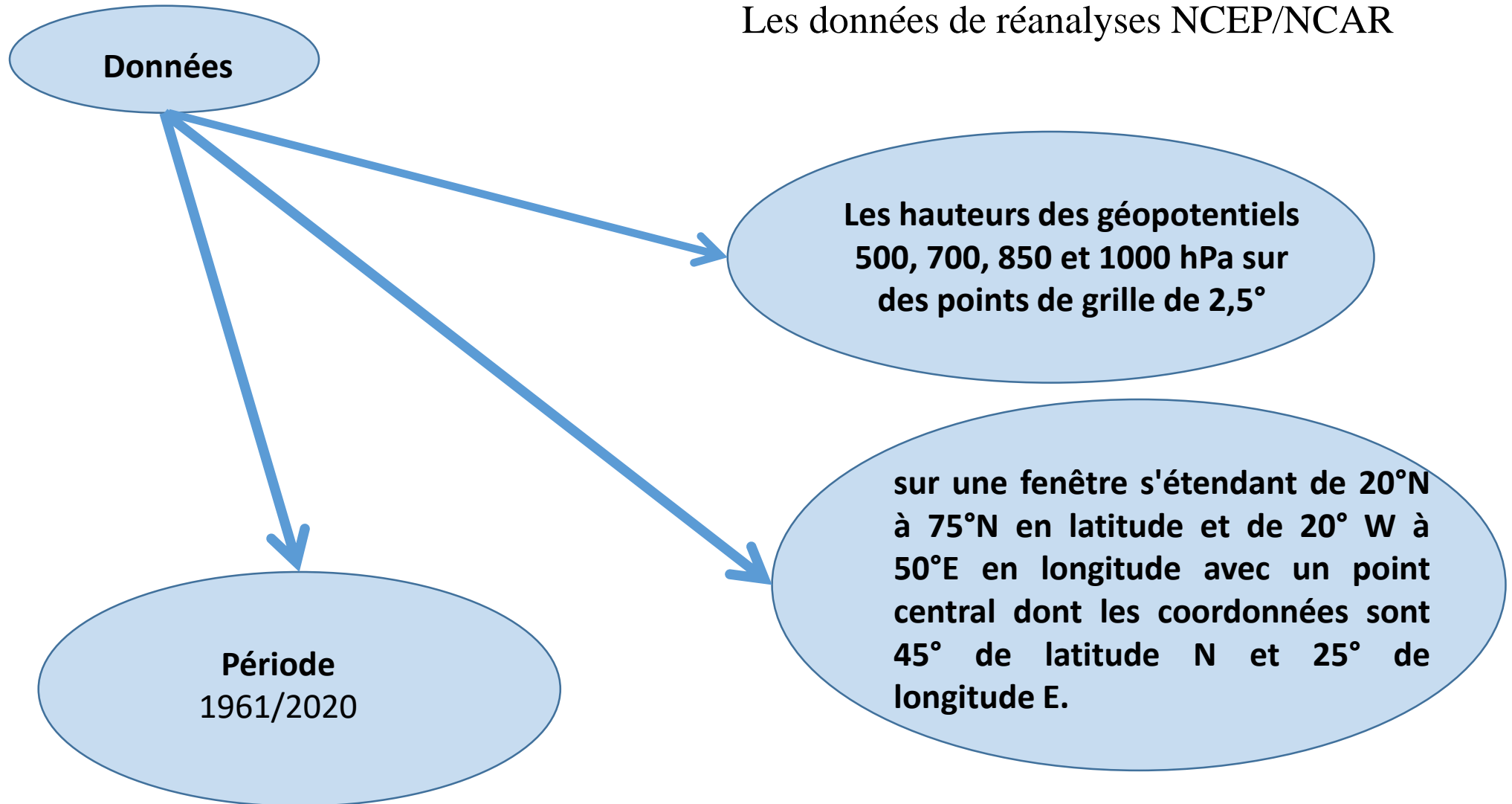
Extraites de la base de données
ECA&D (European Climate
Assessment & Dataset)
<https://www.ecad.eu/>



No.	Station météo	Altitude (m)
1	Bucarest	90
2	Buzău	97
3	Constanța	13
4	Craiova	192
5	Râmnicu Vâlcea	239

Données: atmosphériques

Les données de réanalyses NCEP/NCAR



Méthodes

□ Premier temps

- ❖ Classification automatique des types de circulation atmosphérique, pour les surfaces 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa et 500 hPa, basée sur le calcul des anomalies des géopotentiels sur des points de grille 2,5.
- ❖ Analyse de leurs fréquences et de leurs tendances.

□ Deuxième temps

Analyse des corrélations entre les fréquences des types de circulation pour les différents niveaux d'altitude, testées par le Ro de Spearman.

□ Troisième temps

Analyse des précipitations au sud de la Roumanie en relation avec les types de circulation aux différentes hauteurs géopotentiels, ainsi que leurs tendances.

Pour ce faire, nous avons calculé :

- ❖ les pourcentages annuels et saisonniers des précipitations (cumuls en mm et nombre de jours) par type de circulation (afin de déceler les types les plus pluvieux) (la moyenne des 5 stations d'étude).
- ❖ les tendances des hauteurs des précipitations par type de circulation. Ces tendances linéaires sont testées significatives au seuil de 5 % selon le test de Mann Kendall.

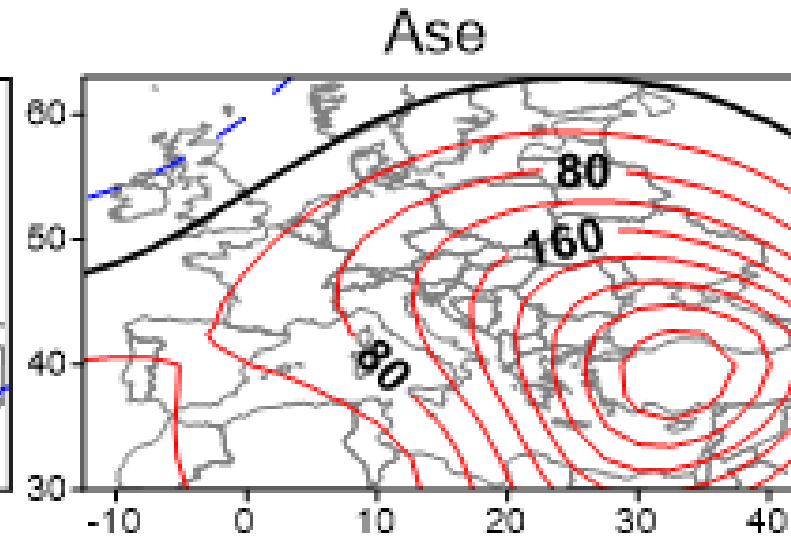
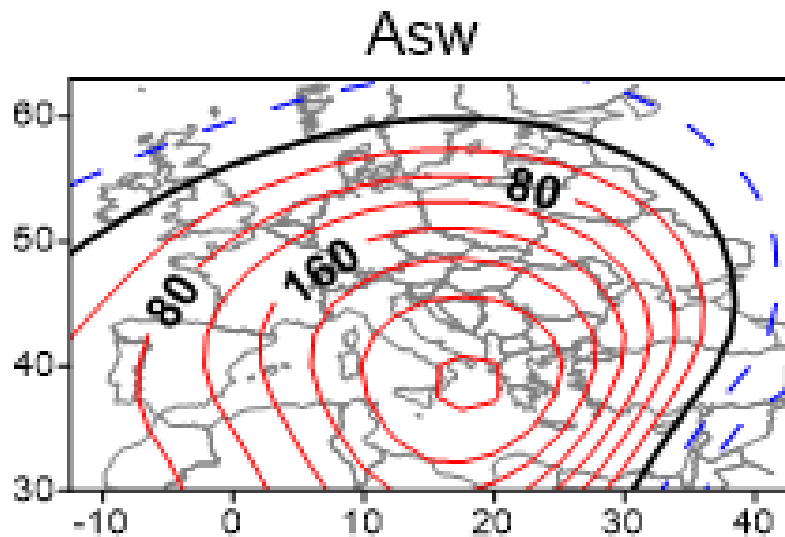
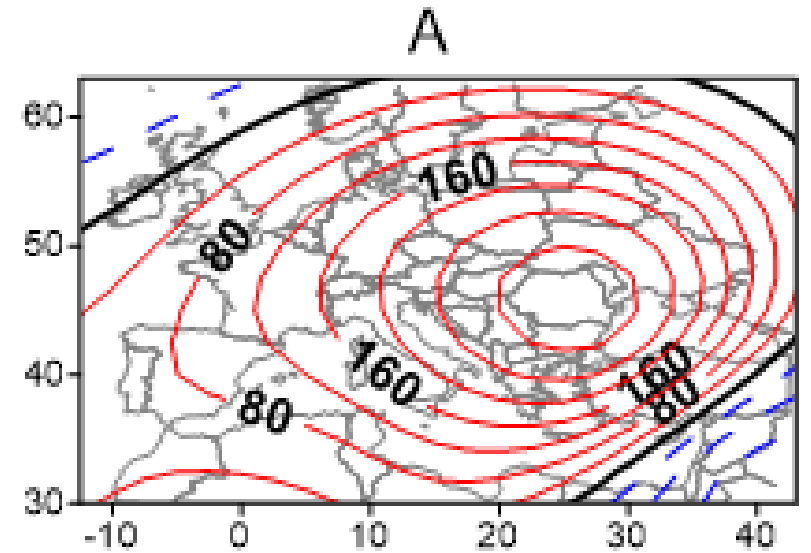
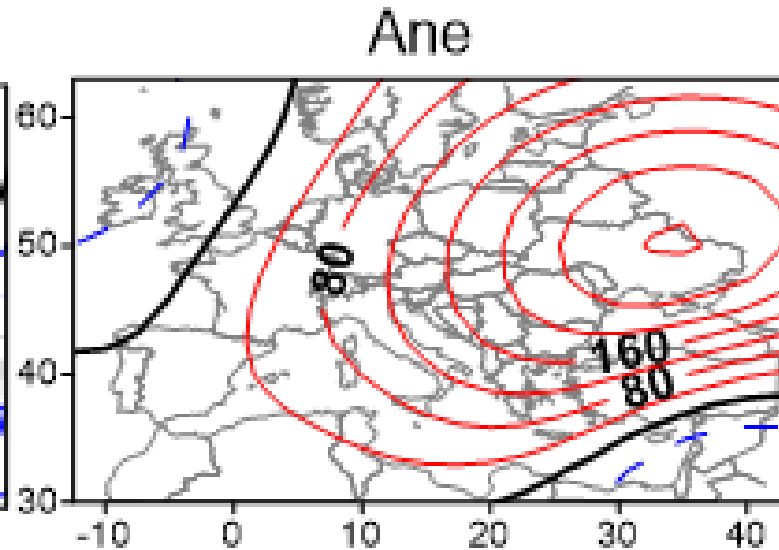
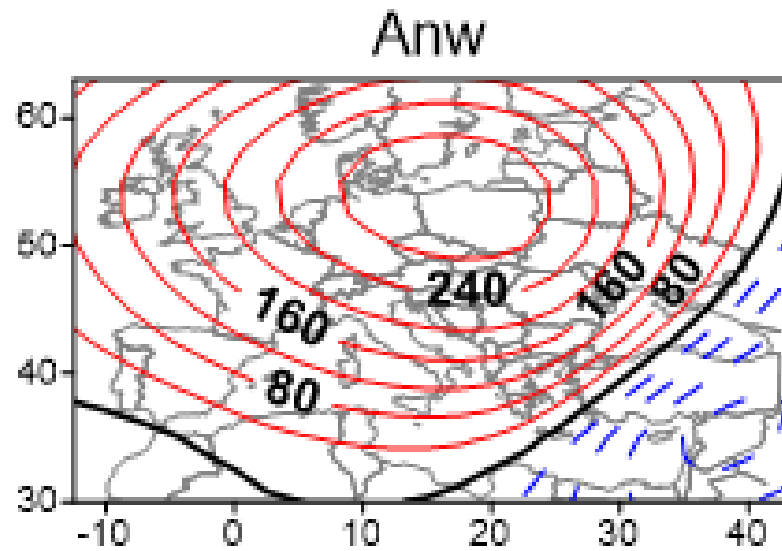
3. Résultats

Classification des types de circulation atmosphérique

- **5 types anticycloniques et 7 cycloniques**
- **La distinction des types se fait principalement selon la position du centre d'anomalies positives (types anticycloniques) ou d'anomalies négatives (types cycloniques) des géopotentiels aux niveaux de 1000, 850, 700 et 500 hPa.**
- **Afin de la vérifier, nous avons construit des cartes moyennes saisonnières, dites composites, des «anomalies» des 12 types de circulation retenus (exemple 500 hPa).**

Pour toutes les saisons et tous les types, nous avons appliqué le « t-test » aux valeurs maximales, positives ou négatives des anomalies. Il en ressort que tous les champs d'anomalies sont significatifs au seuil de $P \geq 0.05$. La comparaison des composites fait apparaître les champs anticycloniques et cycloniques comme des images inversées.

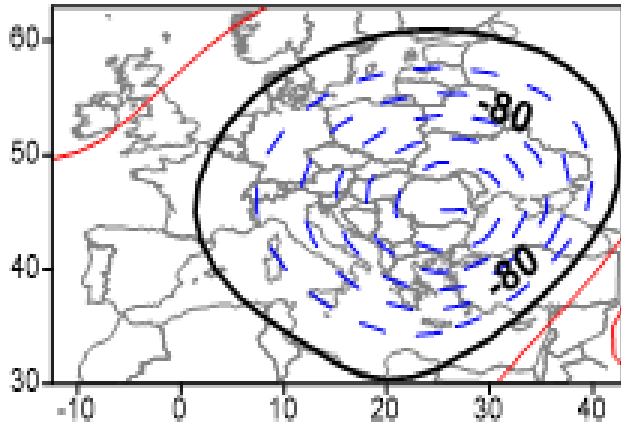
Types de circulation anticyclonique en hiver



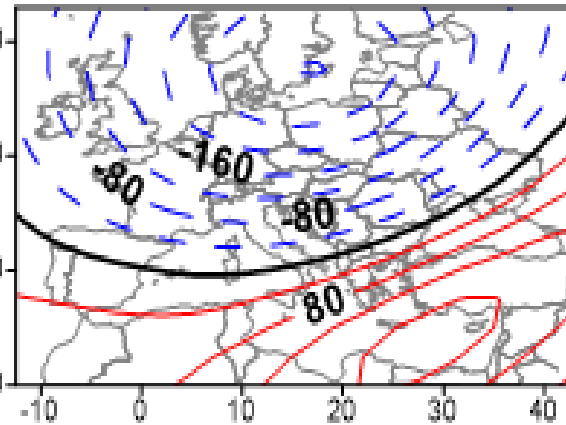
Les anomalies moyennes des types de circulation anticyclonique pour l'hiver. Couleur rouge, anomalies positives, couleur bleue, anomalies négatives.

Types de circulation cyclonique en hiver

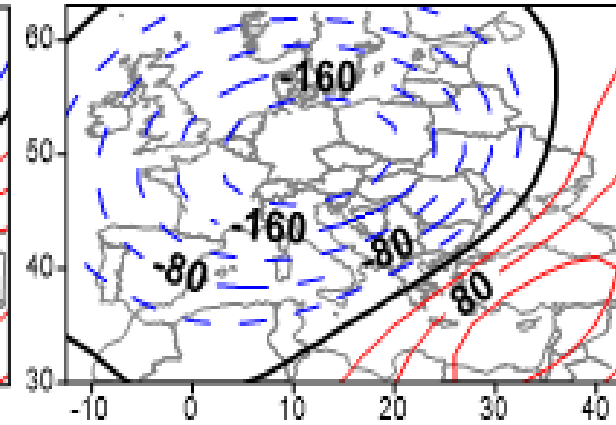
C



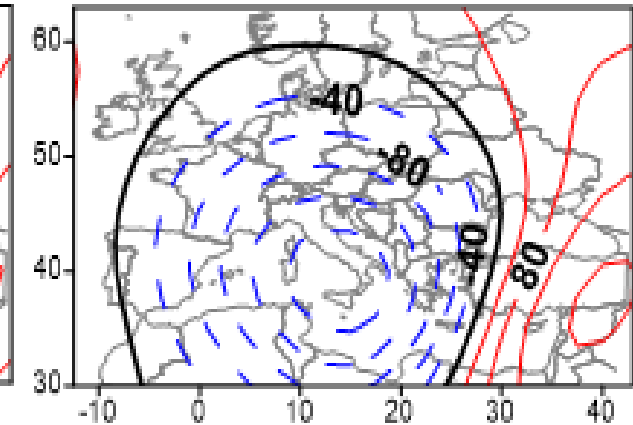
Cnnw



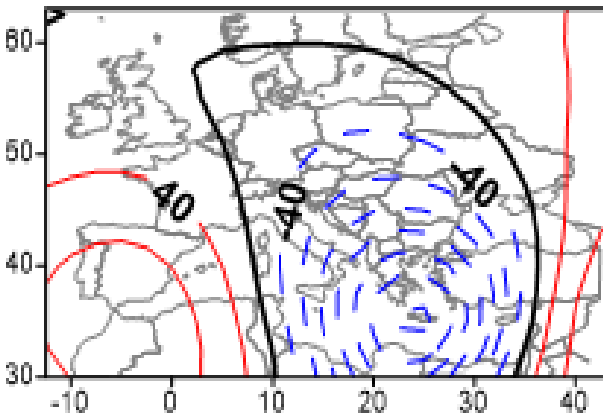
Cwnw



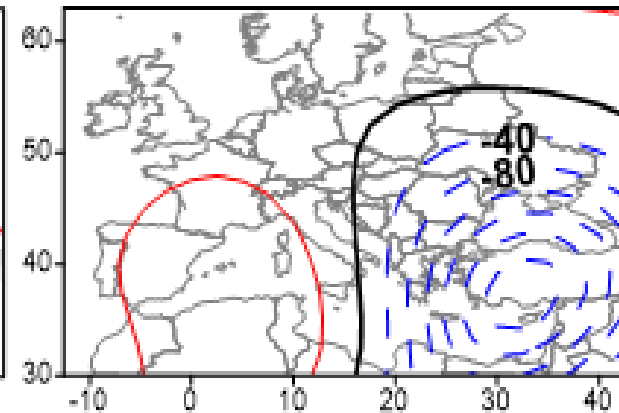
CwsW



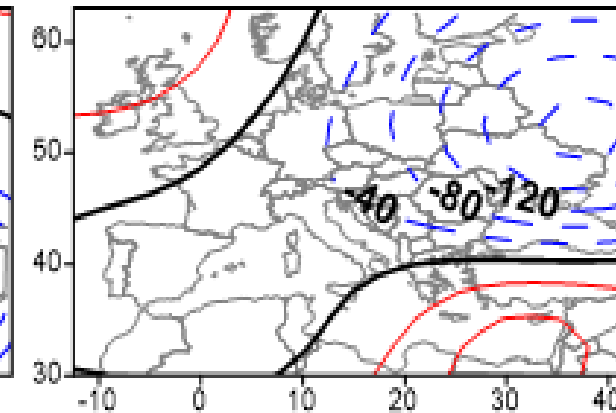
Cssw



Cse



Cne



Les anomalies moyennes des types de circulation cyclonique pour l'hiver. Couleur rouge, anomalies positives, couleur bleue, anomalies négatives.

Fréquences saisonnières et annuelles des types de circulation (en pourcentage) pour les niveaux 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa et 1000 hPa (1961-2020)

À l'échelle annuelle, les types anticycloniques ont des fréquences légèrement plus élevées que les types cycloniques.

La surface 500 hPa a le maximum des fréquences anticycloniques (51,9%) tandis que la surface 1000 hPa a les fréquences minimales (50,3%).

En hiver et au printemps, bien que ces pourcentages soient très similaires pour tous les niveaux de géopotential, les types cycloniques sont plus fréquents que les types anticycloniques. La surface 700 hPa présente les fréquences maximales en hiver (63,8 %) et au printemps (58,7 %).

En été, la majorité des types anticycloniques apparaissent dans la zone 850 hPa (69,9 %), tandis que la zone de surface 500 hPa présente les fréquences les plus élevées en automne (56,9 %).

Niveaux de géopotential	500 hPa	500 hPa	700 hPa	700 hPa	850 hPa	850 hPa	1000 hPa	1000 hPa
Période de temps	Anti	Cyclo	Anti	Cyclo	Ant	Cyclo	Ant	Cyclo
Année	51,9	48,1	50,6	49,4	51,2	48,8	50,3	49,7
Hiver	38,7	61,3	36,2	63,8	37,2	62,8	38,1	61,9
Printemps	42,3	57,7	41,3	58,7	42,2	57,8	42,4	57,6
Été	69,7	30,3	69,6	30,4	69,9	30,1	67,7	32,3
Automne	56,9	43,1	55,1	44,9	55,1	44,9	52,7	47,3

Tendances saisonnières et annuelles des types de circulation pour les niveaux 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa et 1000 hPa (1961-2020)

Les tendances des types de circulation semblent être significatives au seuil de 0,05 dans la majorité des cas.

Elles sont positives pour les anticycloniques et négatives pour les cycloniques, significatives au seuil de 5% selon le test de MK **sauf en automne pour les types anticycloniques de la surface 700 hPa, 850 hPa et 1000 hPa et pour les types cycloniques de la surface 1000 hPa en hiver.**

Niveaux de géopotential	500 hPa	500 hPa	700 hPa	700 hPa	850 hPa	850 hPa	1000 hPa	1000 hPa
Période de temps	Anti	Cyclo	Anti	Cyclo	Ant	Cyclo	Ant	Cyclo
Année	+*	-*	+*	-*	+*	-*	+*	-*
Hiver	+*	-*	+*	-*	+*	-*	+	-
Printemps	+*	-*	+*	-*	+*	-*	+*	-*
Été	+*	-*	+*	-*	+*	-*	+*	-*
Automne	+*	-*	+	-*	+	-*	+	-

Les tendances significatives (au seuil de 5% selon le test Mann-Kendall) sont marquées par une étoile.

Tendances et fréquences en pourcentage par type de circulation

❑ Les tendances sont négatives significatives dans la majorité des cas pour les types cycloniques dans tous les niveaux atmosphériques étudiés,

alors que

❑ les tendances sont positives dans la plupart des cas pour les types anticycloniques (voir le tableau).

❑ On observe une diminution progressive, de la surface 500 hPa à 1000 hPa, des fréquences des types cycloniques (C, C_{sw}) dont le centre est situé au centre (C) et au sud (C_{sw}) de la Roumanie au profit des types C_{ne} dont le centre est situé au nord du pays (augmentation du 500 vers 1000).

		C	C _{sw}	C _{ssw}	C _{se}	C _{ne}
500hPa	Annual	-	-*	-*	-*	-*
		7,4	9,5	3,6	10,5	10,6
	Winter	-*	-	-	-*	-*
		5,6	11,3	5,5	16,8	14,9
	Spring	-	-*	-*	-*	-*
		6,7	10,3	4,4	13,7	14,4
Summer	-*	-*	-*	-*	-*	
	8,3	6,0	1,6	5,1	4,9	
Autumn	+	-*	-*	-*	-*	
	9,0	10,3	3,0	6,4	8,2	
700hPa	Annual	-	-*	-*	-*	-*
		6,6	9,3	4,3	9,5	12,5
	Winter	-*	-	-*	-*	-*
		4,5	11,5	5,8	17,4	15,8
	Spring	-	-	-*	-*	-*
		7,2	9,7	4,5	11,4	16,8
Summer	-*	-*	-*	-*	-*	
	7,7	6,6	2,4	3,1	7,2	
Autumn	-	-	-*	-*	-*	
	6,9	9,6	4,7	6,2	10,4	
850hPa	Annual	-*	-	-	-*	-
		5,9	9,1	4,4	8,4	13,5
	Winter	-*	-	-	-*	-
		4,8	11,5	5,4	14,5	16,3
	Spring	-	-	-*	-*	-
		7,3	9,3	4,3	10,3	17,4
Summer	-*	-*	-*	-*	-*	
	5,7	6,4	2,9	2,7	8,9	
Autumn	-	-	-	-*	-	
	5,8	9,1	4,9	6,4	11,3	
1000hPa	Annual	-*	-*	+	-*	+
		6,7	8,0	3,8	8,5	15,4
	Winter	-*	-	-	-*	-
		7,0	10,0	4,4	12,9	16,8
	Spring	-*	-*	-*	-*	+
		7,4	8,0	4,4	9,7	19,3
Summer	-*	-*	-*	-*	-	
	5,5	5,5	2,6	3,2	12,0	
Autumn	-*	-	-*	-*	+	
	6,7	8,4	3,7	8,2	13,5	

Les tendances significatives (au seuil de 5% selon le test Mann-Kendall) sont marquées par une étoile.

Coefficients de corrélation (Cc) entre les fréquences des types de circulation anticyclonique et cyclonique aux quatre niveaux de géopotentiel sélectionnés

- ❖ Les corrélations entre les mêmes types de circulation (anticyclonique/cyclonique) de toutes les surfaces indiquent des signes positifs, tandis que la corrélation entre les anticyclones et les cyclones indique des signes négatifs.
- ❖ **Les valeurs des Cc les plus élevées pour l'hiver et le printemps se produisent entre les surfaces les plus proches** (hiver = 0,962 entre les types de cyclones de 700 hPa et 500 hPa).
- ❖ **Les valeurs des Cc pour l'été et l'automne semblent être relativement plus faibles que celles de l'hiver et du printemps.**
- ❖ La quantification a été faite en comparant leurs valeurs maximales et minimales. Ces valeurs varient de 0,915 à 0,470 pour l'été et de 0,928 à 0,515 pour l'automne.
Une fois de plus, **les valeurs des Cc les plus élevées apparaissent entre les surfaces les plus proches.**

Relations entre les types de circulation atmosphérique et les hauteurs des précipitations

- ❖ A l'échelle saisonnière, l'hiver présente le pourcentage le plus élevé **de précipitations cycloniques** (92,9 %), suivi du printemps (83,3 %). L'automne vient en troisième rang. **A noter que le pourcentage des précipitations cycloniques diminue des niveaux les plus élevés aux niveaux les plus bas et à toutes les échelles temporelles.**
- ❖ Au contraire, **les pourcentages les plus élevés de précipitations anticycloniques** sont observés **tout au long de l'été** où ce **pourcentage augmente** progressivement **des niveaux les plus élevés (43,0% à 500 hPa) aux niveaux les plus bas (55,8% à 1000 hPa)**. Ce dernier pourcentage est plus élevé que le type cyclonique (44,2%) pour la même saison et la même surface.
- ❖ A l'échelle annuelle le pourcentage des précipitations par types anticycloniques augmente des niveaux élevés vers les niveaux les plus bas alors que c'est l'inverse qui se produit pour les types cycloniques.

Niveaux de géopotential	500 hPa		700 hPa		850 hPa		1000 hPa	
	Antic	Cyclo	Antic	Cyclo	Antic	Cyclo	Antic	Cyclo
Année	24,1+*	75,9-	24,8+*	75,2-	29,6+*	70,4-	36,3+	63,7ss
Hiver	7,1+	92,9+	7,2+	92,8+	9,3+	90,7+	12,9+	87,1+
Printemps	16,7+*	83,3-	17,0+*	83,0-	22,5+*	77,5-	30,7+*	69,3-
Été	43,0+*	57,0-*	43,8+*	56,2-	48,4+*	51,6-	55,8+	44,2-
Automne	19,3+	80,7+	20,7+	79,3+	27,4+	72,6+	33,9+	66,1+

Relations entre les types de circulation atmosphérique et les hauteurs des précipitations

❖ **En ce qui concerne les hauteurs maximales de pluie par surface, on observe une variation assez importante entre les types de circulation:**

- Le type cyclonique **C_{ws}** montre le pourcentage maximum pour les précipitations annuelles de la surface 500 hPa (21,5%), et pour les précipitations hivernales pour toutes les surfaces (500 hPa – 30,5%, 700 hPa – 26,8%, 850 hPa – 21,8%) sauf celles du 1000 hPa où le maximum se produit lors du type de circulation **C_{se}** (23,3%).
- Le type cyclonique **C** montre le maximum de précipitations principalement **en été et en automne pour les trois surfaces les plus élevées.**
- Pour la surface de 1000 hPa, la quantité maximale annuelle de précipitations se trouve dans le type **C_{ne}** (17,3%), ainsi que les quantités maximales **au printemps** (20,6%) et **en été** (16,8%).s

Relations entre les types de circulation atmosphérique et les hauteurs des précipitations: tendances

□ Précipitations annuelles et saisonnières

- ❖ Les tendances des **précipitations anticycloniques** annuelles et saisonnières pour toutes les surfaces sont positives et significatives au seuil de 5% selon le test de Mann-Kendall, avec quelques exceptions surtout pour la surface de 1000 hPa.
- ❖ Au contraire, les hauteurs de **précipitations cycloniques** pour l'année présentent des tendances négatives non significatives au seuil de 5 %. **(les tendances sont variables à l'échelle saisonnière)**
- ❖ L'hiver et l'automne présentent des tendances positives non significatives pour toutes les surfaces.
- ❖ Le printemps présente des tendances négatives mais seulement significatives à la surface de 500 hPa
- ❖ L'été présente des tendances négatives significatives pour toutes les surfaces à l'exception du niveau de 1000 hPa.

□ Nombre des jours de pluie

Les tendances saisonnières et annuelles du nombre des jours de pluie pour toutes les surfaces, en général, ne diffèrent pas beaucoup:

- ❖ **des tendances positives significatives des jours de pluie anticycloniques sont observées presque partout,**
- ❖ **des tendances négatives (significatives dans la plupart des cas) des jours de pluie cycloniques sont constatées,** à quelques exceptions près, notamment en automne pour toutes les surfaces.

4. Conclusion et discussions

Conclusion et discussions

- ❖ La fréquence annuelle des types anticycloniques est légèrement supérieure à celle des cycloniques.
- ❖ A l'échelle saisonnière (**été et automne**), la fréquence d'occurrence des types anticycloniques est significativement plus élevée à tous les niveaux géopotentiels.
- ❖ La tendance est positive significative pour les types anticycloniques.
- ❖ La tendance est négatives significative pour les types cycloniques à tous les niveaux géopotentiels étudiés.
- ❖ **Nos résultats confirment l'hypothèse selon laquelle dans le sud de la péninsule balkanique et dans l'est de la Méditerranée, il y a un déplacement progressif vers le nord des trajectoires cycloniques** (Maheras et al., 2002).
- ❖ La circulation atmosphérique des latitudes moyennes à tous les niveaux est mieux organisée pendant les deux premières saisons entre les types de circulation cyclonique et anticyclonique de l'année, l'hiver et le printemps (coefficients de corrélation les plus élevés entre les types de circulation cyclonique et anticyclonique).
- ❖ **Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus pour la Grèce (Anagnostopoulou et al., 2018) et pour le Liban (Traboulsi et al., 2022).**

Conclusion et discussions

- ❖ La tendance négative significative des précipitations cycloniques, en été, n'est pas même partiellement compensée par la tendance positive des précipitations anticycloniques.
- ❖ Les études des liens entre les précipitations et les types de circulation atmosphérique fournissent des informations d'intérêt pratique pour la conception ou l'amélioration des stratégies de développement régional, qui incluent des mesures d'adaptation aux changements de la circulation atmosphérique et des précipitations observés et estimés pour le futur.
- ❖ Dans le cadre des travaux futurs, nous souhaitons appliquer cette méthodologie aux données géopotentielles simulées à partir d'un modèle de circulation générale (GCM) afin d'étudier les conséquences climatologiques régionales du climat futur.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION!