

# Étude des indices d'instabilité atmosphérique en cas des situations d'orages avec fortes précipitations : Application sur l'aéroport d'Alger

Khaled Abd El fattah GASSI <sup>1\*</sup>

## Abstract

Le tour d'horizon exposé à travers le présent article doit donner des seuils significatifs des indices d'instabilité atmosphérique déduits de radiosondage Météorologique élaborés par la station Météorologique aéroportuaire d'Alger Dar El Beida. Ces seuils peuvent être utilisés comme indicateurs afin de contribuer à l'amélioration de la prévision opérationnelle notamment dans les cas de situations orageuses.

L'étude se focalise sur les situations pluvio-orageuses durant une période de 22 ans [2000-2022], avec une séquence de 8 mois par an, répartis en deux saisons hivernale et transitoire [novembre-février] et [avril-mai ; août-septembre], respectivement. Soit un nombre de 625 situations retenues au-dessus de la aéroportuaire d'Alger Houari Boumediene.

Des différences ont été constatées entre les seuils de sévérité recommandées par les scientifiques et nos seuils calculés pour ces situations pluvio-orageuses considérées pour des situations pluvio-orageuse en période transitoire. Ce qui nous a permis de proposer des nouvelles fourchettes de seuil, en fonction de la saison.

## Keywords

Indices d'instabilité, Orage, radiosondage, indice de Showalter, K-indice, l'indice de Galway, indice SWEAT, indice total des totaux, CAPE.

<sup>1</sup> Département de la prévision numérique du temps, DEM, ONM, Dar El Beida, Alger.

\*Correspondant: khaledgassi0@gmail.com

## Contents

|   |          |
|---|----------|
| <b>1 Introduction:</b>                                    | <b>1</b> |
| 1.1 Indices d'instabilité                                 | 2        |
| 1.2 Indice de Showalter                                   | 2        |
| 1.3 Indice de Galway                                      | 2        |
| 1.4 Indice de menace de temps violent (ou l'indice Sweat) | 2        |
| 1.5 L'indice K (Indice de George)                         | 2        |
| 1.6 Indice Total-total                                    | 4        |
| 1.7 CAPE  | 4        |
| <b>2 Méthodologie</b>                                     | <b>4</b> |
| 2.1 Données utilisées                                     | 4        |
| 2.2 Analyse et traitement des données                     | 4        |
| <b>3 Résultats et interprétations</b>                     | <b>5</b> |
| 3.1 Saison hivernale                                      | 5        |
| 3.2 Saison de transition                                  | 5        |
| <b>4 Conclusion</b>                                       | <b>6</b> |
| <b>References</b>   | <b>7</b> |

## 1. Introduction:

La prévision d'orage fait partie des enjeux majeurs de la prévision opérationnelle, vue la complexité de ce phénomène et son impact très fort sur les activités socio-économiques, en particulier celles liées au transport aérien.

Les systèmes orageux violents naissent dans la couche limite atmosphérique. Ils peuvent se développer rapidement avec des mouvements verticaux puissants et gagner progressivement la tropopause. Ces systèmes ont la capacité de se manifester sévèrement avec de la grêle, des vents destructeurs et des tempêtes de pluies torrentielles.

Pour la région nord-centre de l'Algérie, on peut distinguer deux types de systèmes orageux :

- Les systèmes classiques associés à une perturbation durant la période hivernale de l'année entre novembre et mars (Véronique D et al, 2020)[1].
- Les systèmes transitoires durant la saison de transition s'étalant entre mai et juin; et entre août et septembre (Véronique D et al, 2020)[1].

Ces systèmes sont associés à des convections diurnes suivies par une atmosphère suffisamment humide, ce qui provoque la naissance des mouvements verticaux avec des rafales et favorise ainsi la formation des nuages de type cumulus et cumulonimbus qui donnent des fortes précipitations sous forme d'averses.

Afin de faciliter aux prévisionnistes leurs tâches opérationnelles notamment dans des situations critiques, les chercheurs ont établi un ensemble d'indices d'instabilité simplifiant ainsi l'état de stabilité de l'atmosphère. Parmi ces indices nous citerons l'indice de Showalter (A. K. Showalter, 1943)[2], l'indice de Galway (J. G. Galway, 1956)[3], l'indice de menace de temps violent (Miller, 1972)[4], l'indice K (Indice de George) d'instabilité atmosphérique (Joseph J.

George, 1960)[5], l'indice Total-Total (Miller, 1972)[4] et la Cape (M. Z. Woncrieff et al, 1976)[6] qui font l'objet de cette étude. Cependant, la majorité de ces indices ont été développés par des chercheurs américains qui ont procédé à leur validation au niveau de la région de l'Amérique du nord. Notre travail consiste à adapter ces indices à notre région qui est l'Algérie.

Pour se faire, nous allons opter pour une étude statistique sur un échantillon de 625 situations pluvieux-orageuses enregistrées durant une période de 22 ans, réparties sur deux saisons distinctes : hivernale et transitoire [novembre-février] et [avril-mai ; août-septembre], respectivement. La sélection de ces situations pluvio-orageuses a été faite en utilisant les données d'observation SYNOP et METAR enregistrées par la station aéroportuaire de Houari Boumediene. Pour différencier entre le régime de pluies relatif aux deux saisons hivernale et transitoire, deux seuils de précipitations 20 mm/24h et 10 mm/24h, respectivement, ont été imposés pour ces deux saisons. Pour distinguer les deux saisons, on s'est basé sur l'étude d'Isnard Hildebert (1950)[7] qui propose une répartition des pluies annuelles, avec un pourcentage de 25% pour les saisons de transition, et 75% pour la saison d'hiver.

Puis, nous allons calculer les indices d'instabilité correspondants à ces situations en utilisant les observations de radiosondage enregistrées par la même station. Ensuite, nous allons confronter ces indices calculés avec les seuils recommandés par les scientifiques pour chaque catégorie d'orage considérée afin d'identifier les indices les mieux adaptés à notre région.

### 1.1 Indices d'instabilité

Le tableau 1, récapitule les six (6) indices d'instabilité considérés dans cette étude avec leurs formules mathématiques.

### 1.2 Indice de Showalter

Albert K. Showalter s'est basé sur une étude empirique des événements convectifs (A. K. Showalter, 1943)[2] en effectuant une classification sur 4 catégories : orages peu probables, orages probables, potentiel élevé d'orages violents et extrêmement instable. Il a proposé un indice SI qui donne une indication sur la possibilité de déclenchement d'orages ainsi que sur le potentiel de génération de phénomènes violents. À l'issue de son étude, il a proposé les seuils présentés dans le tableau 2:

| Showalter indice | Caractère des orages              |
|------------------|-----------------------------------|
| SI >3            | Orages peu probables              |
| 0 < SI <3        | Orages probables                  |
| -3 < SI < 0      | Potentiel élevé d'orages violents |
| SI < -3          | Extrêmement instable              |

**Tableau 2 :** Valeurs standards de l'indice SI proposées par Albert K. Showalter (A. K. Showalter, 1943).

### 1.3 Indice de Galway

De la même manière que l'indice précédent, Joseph G. Galway (1956) a aussi proposé d'autres seuils pour son indice LI, en se basant sur des valeurs calculées empiriquement. Les nouveaux seuils proposés sont présentés dans le tableau 3:

| Indice de Galway | Caractère des orages   |
|------------------|--|
| LI > 3           | air très stable avec aucune convection possible.   |
| 3 > LI > 1       | air stable, très faible probabilité de voir un orage avec un très fort soulèvement de l'air (front, réchauffement diurne, etc.). |
| 1 > LI > 0       | air potentiellement instable donnant des orages dispersés s'il y a un mécanisme de soulèvement.                                  |
| 0 > LI > -2      | air légèrement instable donnant des orages plus fréquents, surtout avec un mécanisme de soulèvement.                             |
| -2 > LI > -6     | air moyennement instable nombreux orages.  |
| -6 > LI          | air très instable, orage violent.  |

**Tableau 3 :** Valeurs standard de l'indice LI proposés par Galway (J. G. Galway, 1956)

### 1.4 Indice de menace de temps violent (ou l'indice Sweat)

En 1972, Miller a proposé l'indice de menace de temps violent, appelé aussi l'indice SWEAT (Severe WEather Threat). Miller précise clairement que les termes de cisaillement qui sont utilisés dans son indice visent à exclure tout orage « ordinaire » et que SWEAT n'est destiné qu'à la prévision d'orages violents. Par la suite, suite à une étude empirique effectuée par le centre météorologique canadien (Marie, 2009), des seuils pour les catégories d'orage ont été proposés pour cet indice (Tableau 4):

| Sweat indice      | Caractère des orages  |
|-------------------|---|
| SWEAT < 300       | activité convective comme des averses ou des orages faibles |
| 300 < SWEAT < 400 | orages avec risque d'orages violents                        |
| SWEAT > 400       | possibilité d'orages violents avec même tornade.            |

**Tableau 4 :** Guide d'interprétation de l'indice SWEAT (Miller, 1972).

### 1.5 L'indice K (Indice de George)

L'indice K, développé par J. George en 1960,[5] sert à mesurer le potentiel d'orage et à prévoir les fortes pluies. Cet indice dépend principalement de la température et de l'humidité. George a proposé un seuillage standard pour l'interprétation de cet indice (Tableau 5).

| Indice                            | Formule   | Interprétation   |
|-----------------------------------|---|--|
| Showalter indice                  | $SI = T_{500} - T_{parcel}$                                   | $T_{500}$ = Température à 500 hPa.<br>$T_{parcel}$ = Température d'une parcelle d'air soulevée adiabatiquement de 850 à 500 hPa.   |
| Indice de Galway                  | $LI = T_{500} - T_{part}$                                     | $T_{500}$ = température de l'environnement à 500 hPa.<br>$T_{part}$ = température d'un parcelle d'air soulevée adiabatiquement depuis la surface à 500 hPa.  |
| Indice de menace de temps violent | $SWEAT = 12T_{d850} + 20(TT - 49) + 2f8 + f5 + 125(S + 0.2)$  | $T_d$ : température de point de rosé à 850hpa<br>TT: L'indice Total-Total<br>f8:force de vent à la 800 hpa exprimé en nœuds<br>f5:force de vent à la 500hpa exprimé en nœuds<br>S:sinus l'angle de direction de vent entre la 500 hpa et la 850 hpa.                                   |
| K-Indice (Indice de George)       | $K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{500} - T_{d500})$   | $T_{d850}$ = Points de rosé à 850 hPa.<br>$T_{850}$ = Température à 850 hPa.<br>$T_{500}$ = Température à 500 hPa.<br>$(T_{700} - T_{d700})$ : la dépression du point de rosée à 700 hPa.<br>$(T_{850} - T_{500})$ : fournit l'information sur le gradient vertical de la température. |
| Total-total                       | $TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500})$           | $T_{850}$ = Température à 850 hPa.<br>$T_{500}$ = Température à 500 hPa.<br>$T_{d850}$ = Points de rosé à 850 hPa.   |
| CAPE                              | $CAPE = \int_{NCL}^{NE} g \frac{T_{Vpar} - T_{Vev}}{T_{Vev}}$ | NE= Niveau d'équilibre<br>NCL= Niveau de convection libre<br>g= accélération de la pesanteur<br>$T_{Vpar}$ = Température virtuelle de la parcelle<br>$T_{Vev}$ = Température virtuelle environnementale  |

Tableau 1 : Les indices d'instabilité atmosphérique.

| K-Indice    | Caractère des orages | Probabilité d'orages |
|-------------|----------------------|----------------------|
| K < 15      | Aucun                | 0                    |
| 15 < K < 20 | Peu probables        | 20                   |
| 20 < K < 25 | Isolés               | 20-40                |
| 25 < K < 30 | Très épars           | 40-60                |
| 30 < K < 35 | Épars                | 60-80                |
| 35 < K < 40 | Nombreux             | 80-90                |
| K>40        | Certains             | 100                  |

**Tableau 5 :** Valeurs standards de l'indice K proposées par George (J. J. George, 1960).

## 1.6 Indice Total-total

L'indice d'instabilité total-total (TT) a été proposé aussi par Robert C. Miller en 1972 (Miller, 1972). Cet indice est en fait la somme de deux indices distincts, le total vertical (VT) et le total transversal (CT). Le total vertical représente le profil de la température verticale, tandis que le total transversal donne une image du profil d'humidité. Miller a fait une étude approfondie de l'indice TT et de ses deux composantes. Ceci a mené à la définition des seuils suivants (Tableau 6) :

| Indice de TT | Type de phénomène associé                     |
|--------------|---|
| TT<40        | Aucun orage                                   |
| 40 < TT < 43 | Risque d'orage faible                         |
| 44 < TT < 45 | Quelques orages faibles                       |
| 46 < TT < 47 | Quelques orages modérés, orages faibles épars |
| 48 < TT < 49 | Orages violents isolés, orages modérés épars  |
| 50 < TT < 57 | Quelques orages violents, tornades isolées    |
| 58 < TT < 59 | Quelques orages violents, tornades            |
| TT>59        | Orages violents épars, tornades               |

**Tableau 6 :** Valeurs standards de l'indice TT proposées par Miller (Miller, 1972).

## 1.7 CAPE

L'Énergie Potentielle Convective Disponible (CAPE) est une mesure de l'instabilité à travers la profondeur de l'atmosphère. Elle est liée à la force de courant ascendante dans les orages. Plus la valeur de cet indice est élevée, plus le risque de phénomène météorologique est violent, comme l'orage. Les seuils standards, définis par le service météorologique américain appartenant au NOAA (<https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>)[8], sont résumés dans le tableau 7 :

| CAPE               | Type de phénomène associé   |
|--------------------|---|
| 0 < CAPE < 1000    | Marginalement instable donnant des averses ou des orages ordinaires . |
| 1000 < CAPE < 2500 | Modérément instable donnant des orages qui peuvent être violents.     |
| 2500 < CAPE < 3500 | Très instable donnant des orages violents.                            |
| 3500 < CAPE        | Extrêmement instable et très favorable à des orages violents          |

**Tableau 7 :** Valeurs standards de l'indice CAPE (<https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>)[8].

localisée à 36.43 N et 3.15 E, et se trouvant à une altitude de 20 m par rapport au niveau de la mer. Les données utilisées sont des données quotidiennes avec une chronique de 22 ans (2000 à 2021). La fréquence des messages SYNOP est tri-horaire et celle des messages METAR est horaire. Par contre, nous disposons d'un seul message TEMP de radiosondage établi par la station d'aérodrome d'Alger à 00 TU chaque jour.

Pour avoir une idée sur la densité de notre échantillon de données utilisé et sa continuité, on a trié tous les données des fortes pluies sur notre période d'étude et à partir de ces résultats, on a obtenu les 625 situations. Nous avons constaté quinze (15) jours de non-disponibilité de données RS répartis comme suit : 12 jours de manque pour la saison hivernale et 3 jours de manque pour la saison transitoire. Nous avons éliminé les cas où les RS sont indisponibles. Cependant, ces cas ne peuvent pas être récupérés à cause d'interruption de l'information. Toute fois ces données éliminées présentent une marge d'erreur de 2,4%. Donc on peut définir un seuil de confiance de 97,6% ce qui est largement suffisant pour le cas de notre étude.

## 2.2 Analyse et traitement des données

La première sélection des données est faite sur la base saisonnière. Dans chaque année, nous avons pris un échantillon de 8 mois de données qui correspondent aux deux saisons hivernale et transitoire, [novembre-février] et [avril-mai; août-septembre], respectivement. Nous avons procédé, ensuite, à la sélection des situations pluvio-orageuses en utilisant les observations SYNOP et METAR enregistrées par la station aéroportuaire de Houari Boumediene. Des seuils de précipitations, 20 mm/24h et 10 mm/24h, ont été imposés pour les deux saisons, hivernale et transitoire, respectivement. Le choix des seuils est basé sur la nature des pluies orageuses. En hiver, généralement les pluies sont sous forme stratiforme à caractère continu et régulier. En saison transitoire, elles sont sous forme convective à caractère discontinu, isolé et irrégulier. La figure 1 montre, à titre illustratif, la répartition annuelle des cumuls de précipitations mensuels enregistrés par la station d'Alger durant la période 1991-2020.

La figure 2, schématise le processus d'analyse et de traitement suivi pour identifier toutes les situations pluvio-

## 2. Méthodologie

### 2.1 Données utilisées

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les données SYNOP, METAR et radiosondage élaborées par la station météorologique aéroportuaire d'Alger Houari-Boumediene;

orageuses survenues durant la période 2000-2021.

Cette étape de sélection a permis d'identifier 625 situations pluvieux-orageuses durant toute la période d'étude.

Puis, nous allons calculer les indices d'instabilité correspondants à ces situations en utilisant les observations de radiosondage enregistrées par la même station. Nous avons utilisé, pour cela, un script développé par le département des sciences atmosphériques de l'Université du Wyoming aux États-Unis

(<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) [9].

Ce script permet aussi d'accéder à tous les radiosondages disponibles via le réseau SMT (Système Mondial de Transmission) de l'OMM.

Pour s'assurer de la fiabilité des indices calculés par ce script, nous avons opté à la vérification d'un échantillon de données arbitrairement choisi en appliquant les formules mathématiques décrite dans le Tableau 1.

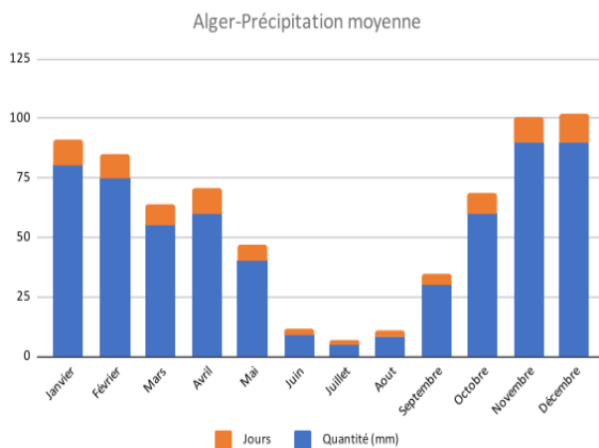


Figure 1. Répartition annuelle des cumuls de précipitations mensuels enregistrés durant la période 1991-2020 sur la station d'Alger

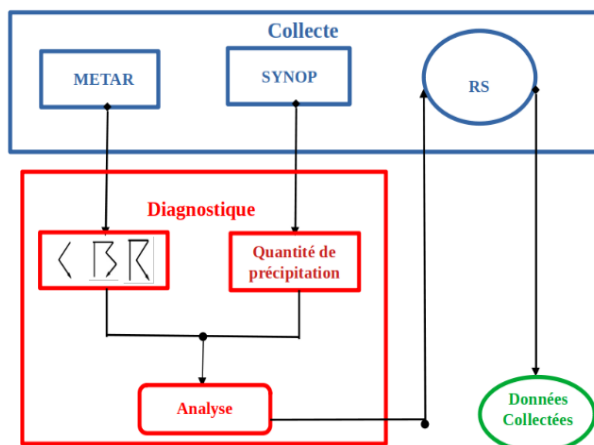


Figure 2. Schéma d'analyse et de traitement de données suivi pour la sélection des situations pluvieux-orageuses

### 3. Résultats et interprétations

#### 3.1 Saison hivernale

Pour faciliter l'analyse des résultats et prendre en compte le degré de sévérité du phénomène, nous avons répartis les situations pluvio-orageuses recensées durant cette saison en trois classes en fonction de cumul de pluie en 24 heures, 40 mm, 30 mm et 20 mm. Le tableau 8 résume les valeurs des indices d'instabilité calculées pour les trois classes de situations considérées durant la saison hivernale.

Pour une quantité de précipitation de 40 mm ou plus qui sont considérées comme des situations sévères, les valeurs de l'indice Showalter varient entre 3.59 et 0.92. Ces valeurs sont très loin de celle proposées par Showalter dans le tableau 2 (< -3) pour de telles situations. L'indice de Galway varie entre -1.24 à 3.68 contre -6 valeur standard proposée par Galway dans le tableau 3 pour des situations de ce types. De même pour les valeurs de SWEAT, et CAPE qui oscillent entre 155.03 à 299.40 et 0 à 155, respectivement, qui sont très loin de celles définies dans les tableaux 4 et 7. Les valeurs de l'index K et TT sont relativement proche de ceux définis dans les tableaux 5 et 6, respectivement.

Pour une pluviométrie moyenne entre 40 à 30 millimètres, les valeurs des indices calculées SI, LI, SWEAT et CAPE sont très loin des valeurs standards proposées par les auteurs, pour ce type de situation, dans les tableaux 2, 3, 4 et 7. Cependant, les indices K et TT calculés sont plus raisonnables en les comparant avec ceux proposés. Le même constat est observé pour la troisième classe de situation (30 à 20 mm), avec toujours des indices SI, LI, SWEAT et CAPE plus loin de ceux proposés et des valeurs de K et TT plus raisonnables.

#### 3.2 Saison de transition

De même, nous avons réparti les situations pluvio-orageuses recensées durant cette saison en trois classes, différentes de la précédente saison, en fonction de cumul de pluie en 24 heures, 30 mm, 20 mm et 10 mm. Le tableau 9 résume les valeurs des indices d'instabilité calculées pour les trois classes de situations considérées durant la saison de transition.

Pour la première classe de situation (<30 mm), toutes les valeurs des indices SI, LI, SWEAT, K, TT et CAPE calculées sont raisonnables par rapport à celles proposées par les auteurs.

Les indices d'instabilité SI, SWEAT, K, TT et CAPE calculés pour la deuxième classe de situation sont relativement proches de ceux proposés par les auteurs. À l'exception de l'indice LI qui s'éloigne de la valeur proposée par Galway dans le tableau 3.

En ce qui concerne la troisième catégorie de situation, nous constatons des faibles différences entre les indices SI, LI, K et TT calculés et ceux définis pour ce type de situations. Par contre, les écarts constatés pour les deux autres indices SWEAT et CAPE, sont importants. Le tableau 10 récapitule les intervalles de variations des indices d'instabilité calculés

| RR (mm)      | N. cas | Showalter indice | Indice de Galway  | SWEAT indice            | K-Indice         | Total-total      | CAPE              |
|--------------|--------|------------------|-------------------|-------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| RR ≥ 40      | 12     | 0.92 < SI < 3.59 | -1.24 < LI < 3.68 | 155.03 < SWEAT < 299.41 | 21.3 < K < 32    | 38.2 < TT < 52.4 | 0 < CAPE < 158.79 |
| 40 > RR ≥ 30 | 13     | 3.59 < SI < 5    | 3.68 < LI < 6.87  | 95.2 < SWEAT < 155.03   | 16.4 < K < 21.3  | 32.9 < TT < 38.2 | 0 < CAPE < 39.3   |
| 30 > RR ≥ 20 | 35     | 5 < SI < 11.8    | 6.87 < LI < 11.05 | 43.07 < SWEAT < 95.2    | -42.1 < K < 16.4 | 27.8 < TT < 32.9 | 0 < CAPE < 123.99 |

Tableau 8 : les valeurs obtenues des indices durant la saison hivernale.

| RR (mm)      | N. cas | Showalter indice | Indice de Galway  | SWEAT indice            | K-Indice        | Total-total      | CAPE                     |
|--------------|--------|------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| RR ≥ 30      | 5      | -4,88 < SI < 0   | -5,88 < LI < 2,55 | 155,62 < SWEAT < 420,02 | 26,9 < K < 43,3 | 44,4 < TT < 55,9 | 1228,46 < CAPE < 1638,95 |
| 30 > RR ≥ 20 | 10     | 0 < SI < 3,61    | 2,55 < LI < 3,61  | 98,42 < SWEAT < 155,62  | 24,3 < K < 26,9 | 40,8 < TT < 44,4 | 282,905 < CAPE < 1228,46 |
| 20 > RR ≥ 10 | 18     | 3,61 < SI < 5,92 | 3,61 < LI < 4,86  | 43,19 < SWEAT < 98,42   | 17,9 < K < 24,3 | 26,9 < TT < 40,8 | 0 < CAPE < 282,905       |

Tableau 9 : les valeurs obtenues des indices durant les saisons transitoires.

relatifs à chaque saison et les seuils standards proposés par la littérature. En effet, nous remarquons, en général, que les seuils relatifs aux indices calculés pour la saison transitoire sont plus proches à ceux recommandés par la littérature. Par contre, pour la saison hivernale, des différences importantes ont été constatées. Il est important de mentionner que le moment de la prise de l'observation du phénomène orage relevé dans le METAR, ne coïncide pas forcément à l'heure de lâcher de radiosonde. Ceci pourra constituer une source d'incertitude dans cette étude. Ceci, peut être, était à l'origine des incompatibilités constatés entre les seuils calculés et ceux proposés par la littérature.

D'après ces résultats nous pourrions avancer que l'utilisation de ces six indices d'orage dans la prévision opérationnelle est plus pratique et fiable durant les saisons de transition printanière et automnale. Par contre en hiver, il est très difficile de porter un jugement ferme sur la fiabilité de ces indices. Car les lâchers radiosondages, dans notre cas d'étude, s'effectuent une fois par jour à 00h et les pluies peuvent être générées par des orages plus tard dans la nuit.

#### 4. Conclusion

Dans cet article, nous avons étudié six indices d'instabilité atmosphérique en relation avec l'apparition d'orages accompagné de fortes précipitations sur la station aéroportuaire d'Alger. L'objectif principal était de mettre en évidence

la compatibilité des seuillages établis par la littérature pour ces six indices et ceux calculés pour notre région afin d'offrir aux prévisionnistes une bonne information sur leurs fiabilité et comportement pour chaque saison.

Les résultats ont montré que l'utilisation de ces six indices d'orage dans la prévision opérationnelle est plus pratique et fiable durant les saisons de transition printanière et automnale. Par contre en hiver, il est très difficile de porter un jugement ferme sur la fiabilité de ces indices. Car les lâchers radiosondages, dans notre cas d'étude, s'effectuent une fois par jour à 00h et les pluies peuvent être générées par des orages plus tard dans la nuit.

Nous avons réussi à proposer un nouveau seuillage pour certains indices d'instabilité notamment nnel. Aussi, afin de consolider ces résultats, il est recommandé d'élargir spatialement pour la saison de transition mais qui nécessitent d'être évalués et validés en opérant le domaine de cette étude en utilisant davantage données RS disponibles en Algérie (Tamanrasset, Béchar, Constantine et Oran) ou en utilisant les sorties de modèles de la PNT à haute résolution verticale. Aussi pour un bon diagnostic d'orage, il est nécessaire de se baser sur un réseau de détection de foudre et l'imagerie satellitaire. Ceci constituera l'une des perspectives à mener à court terme.

| Indices          |           | Min   |              | Max    |                |
|------------------|-----------|-------|--------------|--------|----------------|
|                  |           | Hiver | Transitoire  | Hiver  | Transitoire    |
| Showalter (SI)   | Standards | -3    |              | 3      |                |
|                  | Calculés  | 0,92  | <u>-4,88</u> | 11,8   | <u>5,92</u>    |
| Galway (LI)      | Standards | -6    |              | 3      |                |
|                  | Calculés  | -1,24 | <u>-5,88</u> | 11,05  | <u>4,46</u>    |
| SWEAT            | Standards | 300   |              | 400    |                |
|                  | Calculés  | 43,07 | 43,19        | 155,03 | <u>420,02</u>  |
| K                | Standards | 15    |              | 40     |                |
|                  | Calculés  | -42,1 | <u>17,9</u>  | 32     | <u>43,3</u>    |
| Total-total (TT) | Standards | 40    |              | 59     |                |
|                  | Calculés  | 27,8  | 26,9         | 52,4   | <u>55,9</u>    |
| CAPE             | Standards | 0     |              | 3500   |                |
|                  | Calculés  | 0     | 0            | 158,79 | <u>1638,95</u> |

**Tableau 10 :** Tableau récapitulatif des indices d'instabilités calculés et définis par les auteurs.

## References

- [1] Véronique Ducrocq, P Drobinski, K Béranger, F Carlotti, C Claud, G Delrieu, A Doerenbecher, F Dulac, X Durrieu de Madron, F Elbaz, et al. Hydrological cycle in the mediterranean experiment (hymex): Towards a major field experiment in 2010-2012.
- [2] AK Showalter. The tornado—an analysis of antecedent meteorological conditions. *Preliminary Report on Tornadoes*, pages 3–139, 1943.
- [3] Joseph G Galway. The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 37(10):528–529, 1956.
- [4] N Umakanth, G Ch Satyanarayana, B Simon, MC Rao, M Tanooj Kumar, and N Ranga Babu. Analysis of various thermodynamic instability parameters and their association with the rainfall during thunderstorm events over anakapalle (visakhapatnam district), india. *Acta Geophysica*, 68(5):1549–1564, 2020.
- [5] Mohinder S Grewal and Angus P Andrews. Applications of kalman filtering in aerospace 1960 to the present [historical perspectives]. *IEEE Control Systems Magazine*, 30(3):69–78, 2010.
- [6] M W Moncrieff and M J Miller. The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 102(432):373–394, 1976.
- [7] Hildebert Isnard. La répartition saisonnière des pluies en algérie. In *Annales de géographie*, volume 59, pages 354–361. JSTOR, 1950.
- [8] <https://www.weather.gov/mfl/analysisinfo>. In *Department of Atmospheric Science*, volume 1. analysisinfo, 2022.
- [9] <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. In *Department of Atmospheric Science*, volume 1. Department of Atmospheric Science, 2022.