

ANALELE ȘTIINȚIFICE ALE UNIVERSITĂȚII „AL. I. CUZA” IAȘI
Tom LV s. II – c, Geografie 2009

QUANTIFIÉRIE LA SÉCHÉRESSE. DURÉE, INTENSITÉ, FRÉQUENCE

Iulian Cătălin Stângă
Université „Al.I.Cuza” Iași
Faculté de Géographie et Géologie

Abstract: *Quantifying of the drought. Length, intensity and frequency.* Drought quantification : duration, intensity, frequency. Using data from seven meteorological stations and 27 rainfall gauges from the eastern part of Romania (Tutova Hills), the present paper desires to evidence more clearly the real significance of drought phenomena by a methodological approach. This was done with the help of some distinct expressions, resulted from the processing of monthly and daily values of the climatic parameters: rainfall decimal logarithm index, equivalent drought and the synthetic index of drought intensity, rainfall anomaly index, Palfai aridity index, Walter-Lieth climogram. Using the rainfall monthly values, the author propose two index, one for drought assessment (Rainfall Decimal Logarithm Index), the other with a climatic significance (continentalism index). The most exact expression is based on the daily values of the rainfalls (equivalent drought and synthetic index of drought intensity). Equivalent drought shows the length of the interval lacking precipitations, characterized by similar consequences in different temperature conditions, and it was computed by reporting water consumption (evapotranspiration) according to a series of elements standard considered. The synthetic index of drought intensity (severity) has been proposed taking into consideration both the length of the drought interval as well as its mean temperature (practically expressing water consumption), to which is added and the sum of precipitations from a previous interval (to approximate the easily and directly accessible crop water reserves).

Mots clés : sécheresse, durée, intensité, fréquence, indicateurs.

1. Approche théorique

C'est vraiment difficile de définir la sécheresse, quand on se rapporte aux différents points de vue. Génétiquement, les sécheresses sont liées aux intervalles sans précipitations suffisamment longues pour que le déficit hydrique soit ressenti par les systèmes naturels ou humains. Très souvent, les chercheurs identifient des divers types de sécheresse (atmosphérique, hydrique, pédologique, physiologique, agricole etc.). La sécheresse atmosphérique (météorologique) se réfère aux périodes sans précipitations, dont la longueur est appréciée selon la saison (donc selon la température). La sécheresse pédologique s'installe dans le moment où le sol ne peut plus fournir aux plantes le nécessaire en eau, causant leur étiolement. La sécheresse hydrique se manifeste par la

descente du niveau phréatique, la diminution de l'alimentation du réseau hydrographique de surface, l'assèchement des sources et des rivières.

A notre avis, il s'agit d'un seul phénomène qui se développe progressivement, modifiant le rapport entre les réserves d'eau, d'une côté, et la demande, de l'autre côté. Ainsi, *la sécheresse représente la période et l'état de déficit hydrique causé par la différence négative entre les entrées et les sorties d'eau en/dans le système, provoquant des déséquilibres et des dysfonctionnements de caractère réversible ou irréversible.*

Le risque associé à la sécheresse combine l'aléa météo-climatique avec la vulnérabilité des structures naturelles ou humaines exposées à l'aléa. Ainsi, pour la même situation de déficit hydrique, le risque qu'on doit considérer sera différent selon les propriétés des sols, les cultures agricoles, le stade de végétation des plantes, les agro techniques employées, la pression humaine sur les ressources d'eau etc. De ce point de vue, on ne peut apprécier la sécheresse que d'une manière relative et on considère sèche seulement les périodes dans lesquelles l'humidité descend au-dessous des limites de tolérance de n'importe quel système. Souvent, ces limites sont marquées par des seuils, les plus importants étant ceux irréversibles, lesquels, une fois dépassés, conduisent à la destruction des mécanismes internes d'autorégulation dans le système.

L'évaluation des sécheresses implique une suite d'incertitudes, les unes objectives, reliées à la variabilité naturelle des phénomènes climatiques (incertitudes stochastiques), les autres subjectives, associées à la recherche (incertitudes épistémiques). Ces dernières deviennent de moins en moins importantes au fur et à mesure que la technique se perfectionne, y compris en ce qui concerne la méthodologie de diagnose et de prognose à l'aide des indicateurs statistiques.

2. Approche méthodologique

L'utilité pratique de la connaissance et du monitoring des phénomènes de sécheresse explique l'intérêt de plus en plus augmenté de trouver des méthodes précises pour évaluer ces phénomènes. A partir de la méthodologie et des paramètres climatiques envisagés, on peut grouper la large variété des indicateurs en trois catégories distinctes :

a. *indicateurs et critères pluviométriques* : le critère Hellman, l'indice pluviométrique Topor (employé en Roumanie), l'indicateur du pourcentage des précipitations, l'indice de sécheresse Bhalme-Mooley, l'index standardisé des précipitations, l'indice de la sécheresse effective, l'index xérothermique Gausson, l'index des anomalies pluviométriques ;

b. *indicateurs de bilan hydrique et complexes* : l'indice d'aridité de Martonne, la caractérisation climatique Thornthwaite, l'indice hydrothermique Selianinov, l'indice de sécheresse Palfai, l'indice d'humidité proposé par Soroceanu en Roumanie, l'indice de sévérité de la sécheresse Palmer etc. ;

c. *diagrammes et climogrammes*: le diagramme Walter Lieth, le diagramme Péguy, le diagramme ombrométrique Gaussen etc. (Lamarre, 2002);

d. *indices déterminés à l'aide des images satellitaires*.

La présente étude vise l'évaluation quantitative des phénomènes de sécheresse à partir des données provenant de sept stations météorologiques (1961-2007) et 27 postes pluviométriques (1981-2003) de l'est de la Roumanie (plus exactement la région des Collines de Tutova).

Pour faire ça, on a calculé, on a sélectionné et on a analysé des indicateurs considérés significatifs, mais on a proposé aussi des nouveaux indices pour mieux quantifier la durée, l'intensité et la fréquence des sécheresses. Toutes ces démarches viennent de compléter des recherches antérieures, dont les résultats ont été déjà publiés et où nous avons d'abord valorisés les indicateurs traditionnellement employés en Roumanie (Stângă, Minea, 2004, 2005), pour élaborer et proposer plus tard d'autres indicateurs (Stângă, 2008).

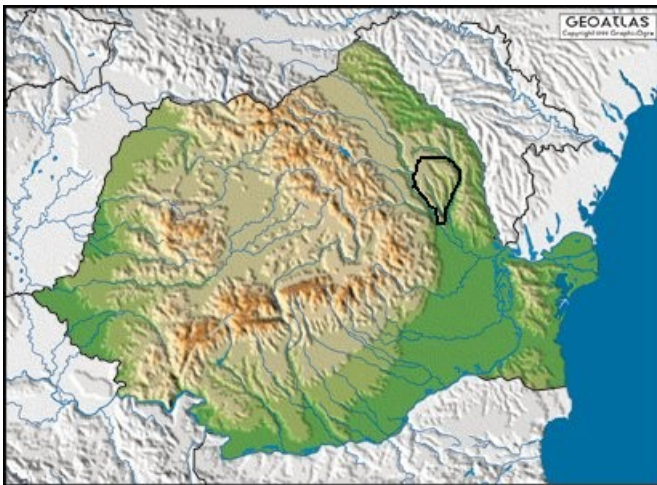


Figure no. 1. La position des Collines des Tutova dans la Roumanie

(source : www.geoatlas.com)

3. Résultats et discussions

Selon le critère Hellman, nous pouvons déterminer les périodes sèches et de sécheresse à partir du nombre des jours consécutifs dépourvus des précipitations. Ainsi, un intervalle ayant une durée de 5-9 jours en avril-

septembre ou de 10-13 jours en octobre-mars est toujours considéré un intervalle sec. L'intervalle ayant une durée de 10-13 jours en avril-septembre ou, au moins, 14 jours en octobre-mars doit être considéré un intervalle de sécheresse.

Tenant compte de ce critère, l'analyse des données provenant des postes pluviométriques (1981-2003) nous met en évidence, pour les Collines de Tutova, l'existence de 10-13 périodes sèches et 3-4 périodes de sécheresse chaque année. Cette estimation est très bonne pour une étude climatique, mais on pourrait la considérer insuffisante quand il s'agit d'évaluer précisément la dimension du risque et c'est pourquoi on a essayé de trouver une autre manière d'exprimer la signification des sécheresses.

En premier lieu, à l'aide de TM-12, on a compté la durée précise des périodes sans précipitations et on a noté la quantité des précipitations de la décade antérieure à la période sèche. On a choisi d'envisager seulement les intervalles ≥ 10 jours consécutifs où l'on n'a pas enregistré de précipitations > 1 mm ; on a ignoré la valeur d'un millimètre (un litre/m²), le considérant sans une signification réelle du point de vue agroclimatique. Ultérieurement, on a apprécié la température de la période sans précipitations à l'aide des données provenant des stations météorologiques. Dans l'absence des températures journalières de l'air, les valeurs des trois décades de chaque mois peuvent servir à estimer la température de la période sèche. Les certaines erreurs sont négligeables et on peut les corriger par des calculs mathématiques.

Pour les Collines de Tutova (les postes pluviométriques Rădeni, Gherghești, Banca, Lipovăț, Puiești, Cuibul Vulturilor, Coroiești, Pogonești, Colonești), on a extrait 493 cas de périodes comptant au moins dix jours sans précipitations. Faisant une analyse différenciée, on peut constater que la durée des sécheresses a dépassé le seuil de trente jours pour 3,85% des situations, a été placée entre 20-29 jours pour 22,72% des situations et entre 10-19 jours pour 73,43% des cas. Cette situation nous montre que la plupart des sécheresses ont un caractère modéré, mais il y a aussi des sécheresses très fortes (plus de trente jours presque sans aucune goutte d'eau). La distribution de ces périodes le long de l'année est très variable, les valeurs maxima de la durée et de la fréquence étant spécifiques à l'intervalle août-mars. La période sans précipitations ayant la plus longue durée a compté plus de 40 jours, entre la fin de l'août et le début de l'octobre 1982. D'ailleurs, le mois septembre 1982 (1 septembre – 6 octobre) a représenté aussi le plus long intervalle de sécheresse de la Plaine de la Moldavie (Mihăilă, 2006).

3.1. Le nombre des jours de sécheresse équivalente

La signification des intervalles de sécheresse est différente, en relation avec la consommation d'eau, dépendante elle aussi de la température de l'air. Pour

nous permettre une comparaison entre les sécheresses de n'importe quelle saison de l'année, on a calculé le **nombre des jours de sécheresse équivalente**, en appliquant certains coefficients de correction. Pour les obtenir, on a apprécié la consommation d'eau, en déterminant l'évapotranspiration de référence Penman-Monteith (PM-ET₀) par une corrélation avec la température de l'air (Păltineanu, 2007).

$$PM-ET_0 = 0,0048 \cdot T^2 + 0,0678 \cdot T + 0,4888.$$

Pour simplifier la méthodologie, on a groupé la température en huit classes de valeurs (entre ≤ 0°C et >30°C) pour lesquelles on a calculé l'évapotranspiration. On a considéré représentatif l'écart thermique de 10-15°C et on lui a accordé le coefficient unitaire (un), à partir duquel, envisageant l'évapotranspiration, on a obtenu les coefficients pour les autres classes de température (tableau no. 1). En fin, on a obtenu le nombre des jours de sécheresse équivalente par la multiplication de la durée de l'intervalle déficitaire avec le coefficient appliquée en fonction de la température de l'air. Pour d'autres régions, on propose de considérer comme représentatif l'écart thermique le plus proche de la température pluriannuelle de l'air.

Tableau no. 1. Les valeurs moyennes de l'évapotranspiration de référence (mm/jour) et les coefficients pour la sécheresse équivalente

Classes thermiques	PM-ET ₀ (mm/jour)	Coefficient sécheresse équivalente
≤ 0°C	0,31	(0,31×1,00) : 2,11= 0,15
0-5°C	0,70	(0,70×1,00) : 2,11= 0,33
5-10°C	1,28	(1,28×1,00) : 2,11= 0,61
10-15°C	2,11	1,00
15-20°C	3,17	(3,17×1,00) : 2,11= 1,50
20-25°C	4,47	(4,47×1,00) : 2,11= 2,12
25-30°C	6,01	(6,01×1,00) : 2,11= 2,85
>30	7,79	(7,79×1,00) : 2,11= 3,69

L'application de ces coefficients et la sécheresse équivalente obtenue nous permettent de comprendre et de comparer les sécheresses, n'importe quelle serait la température de l'air. Ainsi, dix jours sans précipitations signifient seulement 1,5 jours de sécheresse équivalente si la température de l'air ne dépasse 0°C, représentent dix jours de sécheresse équivalente à la température de 10-15°C et plus de 35 jours si la température dépasse 30°C (tableau no. 2).

Tableau no.2. Le nombre de jours de sécheresse équivalente à dix jours sans précipitations

Temp. (°C)	≤0	0,1-5,0	5,1-10	10,1-15,0	15,1-20,0	20,1-25,0	25,1-30,0	>30°C
Jour. équiv.	2	3	6	10	15	21	29	37

Le nombre des jours de sécheresse équivalente a été groupé en quatre classes de signification de la période déficitaire:

- excessive : plus de 30 jours de sécheresse équivalente ;
- très forte : 21-30 jours de sécheresse équivalente ;
- forte : 11-20 jours de sécheresse équivalente ;
- modérée : dix jours de sécheresse équivalente au maximum.

De tous les cas analysés pour les Collines de Tutova, 14,68% des intervalles déficitaires représentent des sécheresses excessives, 20,73% sont des sécheresses très fortes, 29,37% sont des sécheresses fortes, tandis que 35,22% ont un caractère modéré. Les sécheresses de la première catégorie, avec une durée moyenne effective (réelle) de 23 jours, posent les plus grands problèmes, parce que, dans la plupart (79,71%), elles sont superposées à la demande maximale d'eau (juillet-septembre). C'est pourquoi les dégâts sont très importants, étant donné le spécifique agricole de la région et surtout la proportion écrasante des plantes bineuses, avec une période de végétation prolongée et une protection réduite assurée au sol.

3.2. L'indice de l'intensité des sécheresses

Après avoir mis au point le nombre de jours de sécheresse équivalente, on a essayé de prendre en considération la réserve d'eau déjà existante et on propose en conséquence un **indice de l'intensité des sécheresses (Is)**, basé sur une relation entre la durée de l'intervalle sans précipitations (D_i), la température moyenne de l'air (T_i) ou l'évapotranspiration (ET_i) et la quantité des précipitations enregistrées dans les dix jours précédents (P_{i-1}). L'équation de calcul se présente dans la forme ci-dessous :

$$Is = D_i \cdot \frac{T_i + 0}{P_{i-1} + 1}, \text{ ou } Is = D_i \cdot \frac{ET_i}{P_{i-1}} .$$

Dans la première relation, le supplément (+10) ajouté à la température est justifié par la nécessité de diminuer les erreurs introduites par les valeurs thermiques négatives (le même principe appliqué pour l'indice d'aridité de Martonne). L'addition d'une unité au dénominateur (+1) s'applique pour restreindre l'écart de l'indice. En même temps, la valeur +1 accorde aux précipitations des dix jours précédents une signification agroclimatique sans déformer le résultat. Si nous avons accès aux données journalières pour calculer la consommation d'eau, nous pourrions utiliser la deuxième relation, les valeurs obtenues étant beaucoup semblables (coefficient Pearson: 0,91), fait bien prévisible si l'on tient compte du calcul indirect de l'évapotranspiration.

A l'aide de la équation présentée ci-dessus, on peut illustrer assez fidèlement la sévérité d'une sécheresse, fortement dépendante de tous les trois

facteurs envisagés (durée, température, précipitations précédentes). Pour donner un seul exemple, on présente graphiquement la corrélation entre l'intensité de la sécheresse et les précipitations des dix jours précédents pour un intervalle standardisé de dix jours aux seuils thermiques de 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C et 30°C (figure no. 1).

On a groupé les valeurs obtenues en quatre classes différentes de relevance :

- > 100 : sécheresse excessive ;
- 51-100 : sécheresse très forte ;
- 21-50 : sécheresse forte ;
- ≤ 20 : sécheresse modérée.

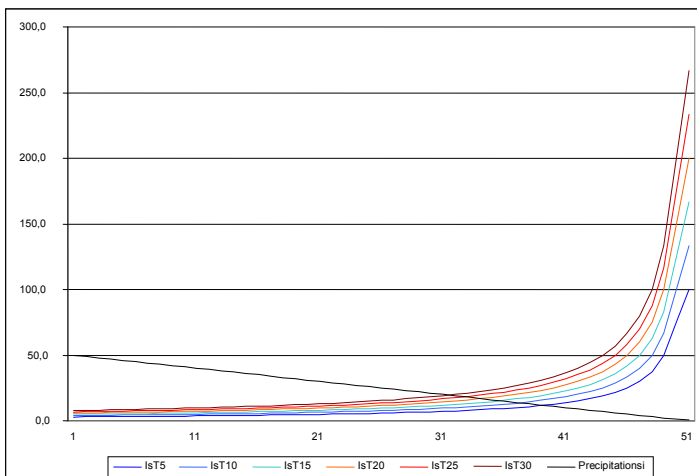


Figure no. 1. L'intensité de la sécheresse de dix jours sans précipitations, selon la quantité des précipitations de la décade précédente (1,0-51 mm) et différents seuils thermique (IsT)

De tous les cas analysés à l'aide de cet indicateur, on constate que 42,8% des sécheresses ont un caractère modéré, 29,6% sont fortes, 16,6% sont très fortes, tandis que 11,0% se trouvent dans la classe des sécheresses excessives. Quant à l'analyse mensuelle des sécheresses, la difficulté résulte du fait que, souvent (35% des cas), le début de l'intervalle se trouve dans un certain mois et la fin dans le suivant. Prendre en considération le début signifie à ignorer les effets réels qui se ressentent le plus fréquemment dans la deuxième partie de l'intervalle.

3.3. L'indice logarithme décimal des déviations pluviométriques

Le pourcentage des précipitations représente peut-être la plus simple méthode employée pour exprimer le déficit pluviométrique d'une période par le rapport entre les précipitations effectives et la moyenne pluriannuelle pour cette période-là (x %). Le calcul est vraiment simple pour toute région et tout

intervalle de temps considéré (décade, mois, période de végétation, année etc.), mais la représentativité du résultat dépend de la base de données utilisée pour calculer la moyenne.

Pour obtenir une meilleure suggestivité, on a renoncé à l'expression du pourcentage, maintenant seulement le rapport P_i/P_m , où P_i représente la quantité des précipitations de l'intervalle envisagé et P_m la quantité moyenne pluriannuelle de référence. Ainsi les valeurs sous unitaires nous indiquent le déficit pluviométrique et les valeurs sur unitaires marquent les périodes excédentaires. Évidemment, la signification reste la même: la valeur 0,35 de l'indice met en évidence des précipitations déficitaires, représentant 35% de la moyenne, tandis que la valeur de 2,50 nous relève des précipitations excédentaires, comptant 250% par comparaison à la situation normale.

Une telle approche nous fait aisément observer les déviations exceptionnelles par rapport à la quantité moyenne. Ainsi, à Bârlad, pour l'intervalle 1961-2007 (564 mois), dans 8,33% des cas, l'indice des précipitations n'a pas dépassé 0,20; autrement dire, en moyenne, chaque année il y a un mois dont la quantité de précipitations ne dépasse 20% de la quantité normale. La fréquence la plus élevée des valeurs si réduites s'enregistre entre les mois août et octobre (44%) et la plus basse entre mai et juillet (8%), grâce à la circulation atlantique. En outre, un pourcent de 3,92% des mois avec l'indice des précipitations au-dessous de 0,10 met en évidence le fait que toutes les deux années il y a un mois extrêmement sec (< 10% de la quantité normale de précipitations).

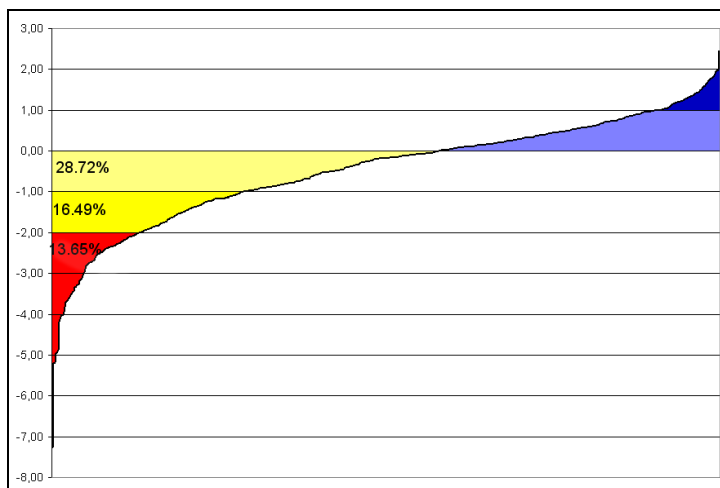


Figure no. 2. L'indice logarithme décimal des déviations pluviométriques pour la station météorologique Bârlad (1961-2007)

L'expression graphique du rapport P_i/P_m n'est pas suffisamment suggestive pour nuancer les déviations maximales et c'est pourquoi on a calculé auparavant **l'indice logarithme décimal des déviations pluviométrique**: $I_d = \log(P_i/P_m)$. Ainsi, par le calcul du logarithme à base dix, les valeurs < 1 du rapport (intervalles déficitaires) deviennent négatives et les valeurs > 1 (les périodes excédentaires) deviennent positives, mettant beaucoup mieux en évidence l'excédent ou le déficit pluviométrique, avec une bonne tendance de mettre en évidence les extrêmes, positives ou négatives. De tous les mois analysés, 58,86% sont déficitaires et on les a groupés en trois catégories selon la valeur de l'indice logarithme décimal des déviations pluviométriques (figure no. 2):

$I_d = -0,01 \dots -1,00$: sécheresse modérée (28,72% des cas analysées) ;

$I_d = -1,01 \dots -2,00$: sécheresse forte (16,49% des cas analysées) ;

$I_d \leq -2,00$: sécheresse extrême (13,65% des cas analysées).

3.4. L'indice de continentalisme

A partir de l'expression précédente, on a proposé et on a calculé **l'indice de continentalisme**, comme le rapport entre la somme des indices logarithmes décimaux pour les mois déficitaires et la somme des indices logarithmes décimaux pour les mois excédentaires. On a changé le signe mathématique pour obtenir des valeurs positives. L'équation se présente sous la forme:

$$I_c = - \frac{\sum I_p^-}{\sum I_p^+} = - \frac{\sum \log(P_d / P_m)}{\sum \log(P_e / P_m)}, \text{ ou}$$

I_p^- représente l'indice logarithme décimal obtenu pour chaque mois déficitaire; I_p^+ représente l'indice logarithme décimal obtenu pour chaque mois excédentaire; P_d – précipitations de chaque mois déficitaire; P_e – précipitations de chaque mois excédentaire; P_m – précipitations moyennes du mois envisagés. Ainsi, la méthodologie prend en considération plusieurs paramètres et nous offre un résultat suggestif, comparable au coefficient Angot. Les valeurs élevées de l'indice mettent en évidence un continentalisme de plus en plus accentué, tandis que les valeurs réduites (< 2) nous indiquent un climat sans excès continentaux (tableau no. 3).

Les différences ne sont pas très importantes dans un territoire réduit comme celui des Collines de Tutova et, pour faire une certaine comparaison, on a calculé l'indice de continentalisme pour Rădăuți, situé dans le nord-ouest du Plateau de la Moldavie, dans une région qui ressent beaucoup les influences de la montagne et de la circulation baltique.

Evidemment, l'indice de continentalisme met en évidence les particularités pluviométriques du climat, particularités fortement différenciées le long de l'année.

Les nuances continentales et d'aridité sont très accentuées dans le semestre froid de l'année, mais se réduisent dans le semestre chaud, surtout dans l'intervalle avril – juillet, grâce aux influences de la circulation d'ouest (figure no. 3).

Tableau no. 3 : *L'indice de continentalisme (Ic) pour sept stations météorologiques de l'est de la Roumanie*

Station météorologique	Tecuci	Adjud	Bârlad	Vaslui	Bacău	Plopana	Rădăuți
Indice de continentalisme	2,70	2,67	2,62	2,40	2,28	2,20	1,68

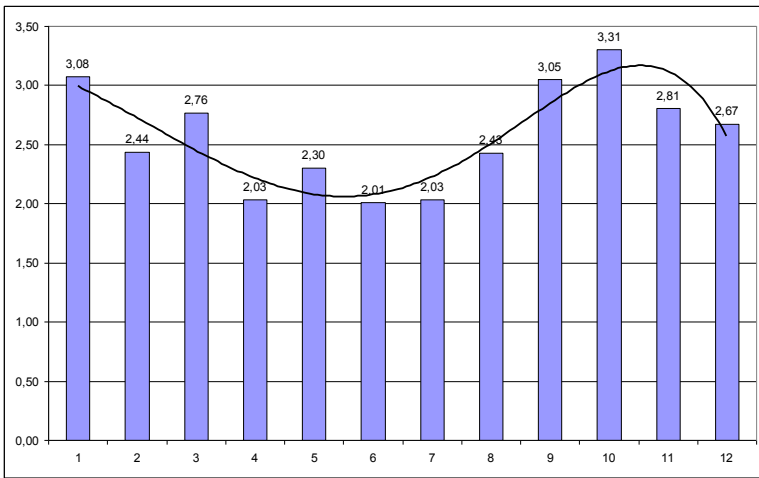


Figure no. 3. *La variation mensuelle de l'indice de continentalisme à Bârlad*

3.5. L'indice des anomalies pluviométriques

L'indice des anomalies pluviométriques (*Iap*)/Rainfall Anomaly Index (RAI) a été proposé en 1965 avec l'intention déclaré de le faire utilisable sans tenir compte de région ou de zone climatique (van Rooy, 1965, mentionné par Loukas et al. 2003). Conformément à la méthodologie, on devrait ordonner les données climatiques pour mettre en évidence les anomalies positives et négatives. L'équation de calcul a la forme suivante :

$$Iap = -3 \cdot \frac{P - \bar{P}}{E - \bar{E}}, \text{ où}$$

P représente les précipitations mesurées, \bar{P} représente les précipitations moyennes et \bar{E} la moyenne des dix extrêmes (négatives et positives). Pour les

anomalies positives, on emploie la valeur positive du préfixe et la moyenne des dix extrêmes excédentaires, tandis que pour les anomalies négatives, on emploie la valeur négative du préfixe et la moyenne de dix extrêmes déficitaires. L'indice nous fournit une caractérisation pluviométrique facile de tout intervalle et les résultats sont encadrés dans un écart qui nous permet des comparaisons avec des indicateurs consacrés, mais plus difficilement à obtenir (Palmer, Bhalme-Mooley) : $Iap > 4,0$: excessivement pluvieux; $Iap = 3,0 - 4,0$: très pluvieux; $Iap = 2,0 - 3,0$: modérément pluvieux; $Iap = 1,0 - 2,0$: peu pluvieux; $Iap = 1,0 - -1,0$: en limites normales; $Iap = -1,0 - -2,0$: peu sec; $Iap = -2,0 - -3,0$: sécheresse modérée; $Iap = -3,0 - -4,0$: sécheresse forte; $Iap < -4,0$: sécheresse excessive.

Pour les Collines de Tutova, l'indice des anomalies pluviométriques met en évidence le fait que 36,1% des années sont sèches, 35,2% sont normales et 28,7% sont des années pluvieuses. La fréquence la plus élevée des années sèches (40%) est caractéristique pour Adjud et Tecuci, à cause de la position géographique et de l'altitude, tandis que la fréquence la plus réduite (32%) est enregistrée à Bacău et Bârlad, où l'on ressent l'effet de couloir des deux vallées (Siret et Bârlad).

Tableau no.4 : La fréquence (%) des qualificatifs pluviométriques déterminés par Iap (1961-2006)

Qualificatif	Vaslui	Bacău	Bârlad	Adjud	Tecuci
Excessivement pluvieux	4,35	4,35	6,52	4,35	6,52
Très pluvieux	2,17	8,70	2,17	4,35	2,17
Modérément pluvieux	8,70	0,00	6,52	6,52	6,52
Peu pluvieux	15,22	15,22	8,70	10,87	19,57
En limite normale	34,78	39,13	43,48	32,61	26,09
Peu sec	13,04	10,87	13,04	23,91	21,74
Sécheresse modérée	13,04	15,22	8,70	4,35	8,70
Sécheresse forte	4,35	4,35	6,52	10,87	6,52
Sécheresse excessive	4,35	2,17	4,35	2,17	2,17

On doit remarquer, également, que cet indicateur encadre entre les limites normales les variations d'amplitude réduite des précipitations atmosphériques. C'est pourquoi le nombre des années considérées normales (entre 25 et 45%) est supérieur à celui indiqué par d'autres méthodes (le critère Hellman, par exemple). En même temps, les anomalies très importantes sont bien mises en évidence et on retrouve dans les classes extrêmes seulement les situations exceptionnelles à fréquence très réduite (moins de 5%). Ainsi, les années extrêmement sèches sont caractérisées par des valeurs très réduites (1986: -4,46; 1994: -3,54; 1985: -3,11; 1990: -3,08; 1967: -2,51; 2000: -2,45; 1983: -2,19; 1973: -2,11) et les années pluvieuses par les valeurs les plus élevées (1972: 5,22;

1991: 3,30; 1966: 2,97; 1997: 2,83; 2005: 2,54; 1984: 2,30; 1969: 2,29). Dans un espace assez réduit, les différences régionales sont négligeables dans le cas des anomalies négatives, étant donné le fait que le déficit hydrique est conditionné du contexte synoptique général. Dans le cas des anomalies positives, les différences deviennent significatives, influencées par les conditions locales de genèse des précipitations (figure no. 4). On remarque des grandes différences en 1966 (4,55 à Bârlad, 4,12 à Tecuci, 3,75 à Adjud et seulement à 1,56 la Vaslui), 1980 (4,08 à Vaslui, mais seulement 0,36 à Adjud), 1991 (4,37 à Adjud, 3,72 à Bacău, 3,47 à Bârlad, 3,30 à Vaslui et seulement 1,62 à Tecuci), 1997 (5,02 à Tecuci, 3,26 à Bacău, 1,31 à Vaslui) ou 2005 (4,85 à Bacău, 3,26 à Tecuci et seulement 0,54 à Bârlad). L'année 1972 est caractérisée par un régime pluviométrique excédentaire au niveau régional, ainsi que l'indice des anomalies pluviométriques a des valeurs uniformes (6,21 à Vaslui, 5,52 à Adjud, 5,00 à Bacău, 4,69 à Bârlad, 4,67 à Tecuci).

3.6. L'indice d'aridité Palfai

L'indice d'aridité Palfai peut être calculé pour la période avril-août, dans la plus simple forme, sans aucune correction, à l'aide de la relation présentée ci-dessous :

$$IAP_0 = \frac{t_{IV-VIII}}{P_{X-VIII}} \cdot 100 \text{ (}^\circ\text{C/100 mm)}, \text{ où:}$$

$t_{IV-VIII}$ – la moyenne des températures mensuelles de l'intervalle avril-août ($^\circ\text{C}$);

Pour apprécier plus correctement l'aridité d'une certaine période, nous pouvons employer certains coefficients de correction pour la température, les précipitations ou la nappe phréatique. Pour ajuster les températures positives excessives ($>30^\circ\text{C}$), on applique la relation:

$$K_t = \sqrt{\frac{n+}{\bar{n}+}}, \text{ où:}$$

P_{X-VIII} – la somme des précipitations mensuelles de l'intervalle octobre-août (mm).

n représente le nombre des jours tropicaux ($t > 30^\circ\text{C}$) de la période juin-août de l'année étudiée, tandis que \bar{n} est la moyenne pluriannuelle de ces jours.

Pour ajuster les précipitations, on applique la relation :

$$K_p = \sqrt{\frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}}, \text{ ou:}$$

$\tau_{.nax}$ représente la durée de la plus longue période sans précipitations entre le 15 juin et le 15 août et $\tau_{.nax}$ représente la moyenne pluriannuelle de $\tau_{.nax}$. Pour interpréter les résultats, on doit grouper les valeurs obtenues en quatre catégories, chacune avec son qualificatif : IAP = 6-8 signifie sécheresse fiable, IAP = 8-10 signifie sécheresse modérée, IAP = 10-12 caractérise les périodes avec une sécheresse forte, tandis que les valeurs ≥ 12 nous indique une sécheresse extrêmement forte.

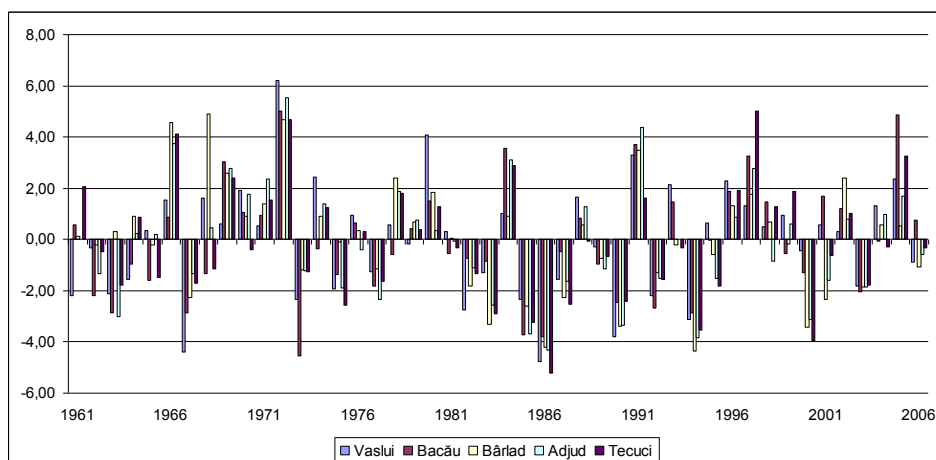


Figure no. 4. La variation pluriannuelle de l'indice des anomalies pluviométriques (1961-1906)

Tableau no. 5: La fréquence (%) des années sèches selon IAP (1962-2007)

Station	IAP = 6-8	IAP = 8-10	IAP >10	Total ans déficitaires
Code	1	2	3	1+2+3
Tecuci	32,6	26,1	8,7	67,4
Adjud	28,3	15,2	6,5	50,0
Bârlad	26,1	8,7	10,9	45,7
Vaslui	45,7	6,5	4,3	56,5
Bacău	32,6	6,5	0,0	39,1

Pour l'intervalle 1962-2007, on a calculé l'indice Palfai pour les stations météorologiques Tecuci, Adjud, Bârlad, Vaslui et Bacău et on a mis très bien en évidence les années sèches, par la prise en considération des réserves d'eau accumulées le long du semestre froid. La correction pour l'aquifère phréatique est utile et nécessaire si l'étude s'applique pour un territoire précisément

positionné au niveau des formes de relief (interfluve, versant, terrasse, glaciais, lit alluvial etc.) et des conditions hydrogéologiques. En tout cas, les résultats sont suffisamment suggestifs pour nuancer tant les différences entre les cinq stations, que la variation en temps de cet indice. Par rapport aux autres indicateurs et coefficients, les valeurs sont parfois assez différentes parce que le calcul est basé sur les données provenant de deux ans consécutifs ; ainsi, la réserve d'eau accumulée en hiver devient très importante.

3.7. Les climogrammes Walther-Lieth

Le nombre des mois secs et de sécheresse peut être apprécié à l'aide de plusieurs critères, dont les plus fréquemment employés et **les climogrammes Walter Lieth**. A partir de ceux-ci, on met en évidence les mois secs – quand la courbe de la température (T) se trouve au-dessus de la courbe des précipitations (P) (échelle 1/2) – et les mois de sécheresse, quand la courbe de la température se trouve entre les deux courbes de précipitations (échelle 1/2, respectivement échelle 1/3). Pour calculer le nombre total des mois secs et des mois de sécheresse, on met en valeur l'expression mathématique correspondante à la représentation graphique du cartogramme. Si $3T/P \geq 1,00$, les mois sont considérés secs, si $3T/P \geq 1,5$ ($2T/P \geq 1,00$), on les considère des mois de sécheresse.

En analysant les données pour sept stations météorologiques des Collines de Tutova, on constate que la fréquence des mois secs est encadrée entre 28,6% dans la région typique collinaire du nord (Oncești) jusqu'à 39% au contact avec la Plaine Roumaine, en sud (Tecuci). De ces mois, plus d'une moitié représentent des mois de sécheresse, ainsi que, par rapport au total, le poids de ceux-ci varie entre 16% (Bacău et Oncești) et 26,1% (Tecuci). Quant au régime annuel, les mois secs ou de sécheresse peuvent être présents tout le long de l'année, mais la fréquence maximum est enregistrée dans l'intervalle juillet-octobre, quand la fréquence des mois secs dépasse 60%, tandis que celle des mois de sécheresse atteint en moyenne 40-50% ou même une valeur supérieure dans le sud de la région (Adjud, Tecuci).

Tableau no. 6: La fréquence (%) des mois de sécheresse selon les climogrammes Walther-Lieth

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	An
Vaslui	0,0	4,3	12,8	23,4	25,5	14,9	17,0	42,6	42,6	46,8	17,0	2,1	20,7
Bacău	0,0	2,1	10,6	8,5	17,0	12,8	14,9	40,4	36,2	40,4	12,8	0,0	16,3
Bârlad	0,0	4,3	14,9	21,3	23,4	14,9	29,8	42,6	48,9	46,8	17,0	2,1	22,2
Adjud	0,0	6,4	12,8	14,9	25,5	17,0	29,8	31,9	46,8	51,1	14,9	0,0	20,9
Tecuci	2,1	4,3	23,4	19,1	27,7	29,8	36,2	42,6	51,1	51,1	25,5	0,0	26,1
Plopana	0,0	0,0	16,7	22,2	19,4	11,1	30,6	41,7	49,8	33,3	38,9	2,8	22,2
Oncești	0,0	0,0	14,3	14,3	22,9	8,6	14,3	40,0	34,3	40,0	11,4	0,0	16,7

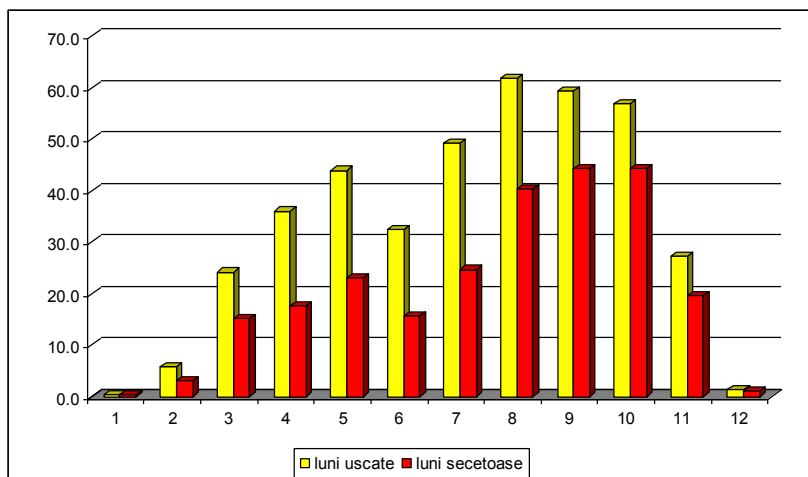


Figure no. 5. La fréquence moyenne mensuelle (%) des mois secs et de sécheresse dans les Collines de Tutova (1961-2007)

4. Conclusions

Appuyée sur les données climatiques provenant de sept stations météorologiques et 27 postes météorologiques, l'étude teste une série d'indicateurs consacrés (indice d'aridité Palfai, l'indice des anomalies pluviométriques, les climogrammes Walther-Lieth) ou proposés par l'auteur lui-même (le nombre des jours de sécheresse équivalente, l'indice de l'intensité de sécheresses, l'indice de continentalisme). Le plus fréquemment, les résultats obtenus sont convergents, mais nuancés selon les paramètres envisagés et la méthodologie de calcul; c'est pourquoi leur relevance est différente. Le nombre de jours de sécheresse équivalente exprime le stress hydrique, exprimé par la consommation d'eau, quantifiée selon la durée de l'intervalle déficitaire du point de vue pluviométrique. Ainsi, l'indicateur met en évidence son sens agroclimatique. L'indice de l'intensité des sécheresses prend en considération la réserve d'eau aisément accessible, mais reste un indicateur seulement pour la sécheresse atmosphérique, sans tenir compte des propriétés du sol ou du stade de végétation. L'indice de continentalisme a une grande suggestivité climatique, permettant les comparaisons du point de vue de la typologie et du régime pluviométrique de n'importe quelle région de la zone tempérée.

Bibliographie

- Barbu I. (2001)** – *Monitorizarea riscului de apariție a secetelor în pădurile din România*, Bucovina forestieră, IX. 1-2, pp. 37-51;
- Bogdan, Octavia, Niculescu Elena (1999)** – *Riscurile climatice din România*, Editura Academiei Române, București;

- Byun H.R., Wilhite D. (1999)** – *Objective quantification of drought severity and duration*, Journal of Climate, vol. 12, Issue 9 (septembrie 1999), American Meteorological Society, pp. 2747–2756;
- Charre J. (1997)** – *Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique?*, Mappemonde, no.2/1997, pp. 29-31;
- Cismaru C., Bartha I., Gabor V., Scripcariu D. (2004)** – *Gestiunea secetelor*, Ed. Performantica Iași;
- Lamarre D. (2002)** – *Les risques climatiques*, , Belin Paris, 224 pp.
- Larion Daniela (2004)** – *Clima municipiului Vaslui*, Ed. Terra Nostra, Iași
- Loukas A., Vasiliades L., Dalezios N.R. (2003)** – *Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece*, 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, Grecia, 8-10 septembrie 2003, pp. 484-491;
- Mihăilă D. (2006)** – *Câmpia Moldovei. Studiu climatic*, Ed. Universității din Suceava;
- Minea I., Stângă I. C., Vasiliniuc I. (2005)** – *Les phenomenes de secheresse dans le Plateau de la Moldavie*, Anal.Șt. ale Univ. „Al.I.Cuza” Iași, tom XLI, seria IIc, pag. 35-42;
- Păltineanu Cr. ș.a. (2007)** – *Ariditatea, seceta, evapotranspirația și cerințele de apă ale culturilor agricole în România*, Ovidius University Press, Constanța;
- Sellinger E. Cynthia (1996)** – *Computer program for estimating evapotranspiration using the Thornthwaite method*, NOAA Technical Memorandum ERL GLERL-101, Department of Commerce;
- Sfică L., Stângă I.C. (2008)** – *Condiții sinoptice de producere a fenomenelor meteorologice extreme în bazinul Bârladului*, în vol. Impactul riscurilor hidro-climatice și pedo-geomorfologice asupra mediului în bazinul Bârladului, Ed. Performantica Iași, pp. 142-152;
- Soroceanu N. (1989)** – *Considerații asupra conceptului și evaluării fenomenului de secetă, cu referire la Podișul Moldovei*, Studii și Cercetări de Meteorologie, 3, IMH, pp. 201-211;
- Stângă I.C., Minea I. (2004)** – *Considérations sur la variabilité spatiale de certains indicateurs concernant les phénomènes de sécheresse dans l’est de la Roumanie*, Analele Univ. „Al.I.Cuza” Iași tom XLIX-L, serie IIc Geografie, 2003 -2004, pg. 261 -271;
- Stângă I. C., Minea I. (2005)** – *Considerații privind fenomenul de secetă în Câmpia Moldovei*, Romanian Journal of Climatology, vol.1, Ed. Univ. „Al.I.Cuza” Iași, pp. 367-377;
- Stângă I.C. (2008)** – *Riscuri hidro-climatice în Colinele Tutovei*, Compte-rendu dans le stage de formation doctorale, Universite „Al. I. Cuza” Iași;
- Topor, N. (1964)** – *Ani ploioși și secetoși în R.P.România*, Institutul meteorologic, București.