

## VARIABILITÉ SPATIALE ET TEMPORELLE DE L'ÉVAPORATION DANS LA PLAINE ROUMAINE

STAN F.I.<sup>(1,2)</sup>, ZAHARIA L.<sup>(1)</sup>, NECULAU G.<sup>(2)</sup>, IOANA-TOROIMAC G.<sup>(1)</sup>

(1) Université de Bucarest, Faculté de Géographie, 1 Boulevard N. Bălcescu, 010041, Secteur 1, Bucarest, Roumanie [stanflorentinauliana@yahoo.com ; zaharialili@hotmail.com ; gabriela.toroimac@geo.unibuc.ro]

(2) Institut National d'Hydrologie et de Gestion des Eaux, 97 București – Ploiești, 013686, Secteur 1, Bucarest, Roumanie [gianina.neculau@hidro.ro]

**Résumé** – Ce travail analyse la variabilité spatiale et temporelle de l'évaporation, afin de mettre en évidence les particularités régionales et les éventuelles tendances de ce paramètre climatique dans la Plaine roumaine. Il repose sur le traitement des séries des données climatiques de 14 stations météorologiques de la région d'étude. Les résultats montrent que, dans les parties basses de la plaine (à moins de 50 m d'altitude), l'évaporation annuelle dépasse 900-1000 mm par an, tandis qu'à plus de 200 m d'altitude, les valeurs sont inférieures à 700 mm par an. Parmi les paramètres climatiques influençant l'évaporation, les plus importants sont la température de l'air et la vitesse du vent. Le test de Mann-Kendall, appliqué sur les séries de valeurs annuelles et mensuelles de l'évaporation, a montré des tendances linéaires avec des différences régionales selon leur sens (positif ou négatif) et la signification statistique.

**Mots-clés** : évaporation, variabilité spatiale et temporelle, tendance, Plaine roumaine.

**Abstract** – *Spatial and temporal variability of evaporation in the Romanian Plain.* This paper analyzes the spatial and temporal variability of evaporation, in order to highlight the regional characteristics and possible trends of this climatic parameter in Romanian Plain. It is based on processing series of climatic data from 14 evaporimetric stations in the study area. The results show that, in the lower parts of the plain (at less than 50 m in altitude), the annual evaporation exceeds 900 – 1000 mm per year, while at more than 200 m in altitude, its values are below 700 mm per year. Among climatic parameters controlling the evaporation, the most important are air temperature and wind velocity. Mann-Kendall test, applied on the series of annual and monthly values of evaporation, showed linear trends with spatial differences in trend slope (positive or negative) and signification degree.

**Keywords**: evaporation, spatial and temporal variability, trend, Romanian Plain.

### Introduction

L'évaporation est une composante majeure du cycle hydrologique et un paramètre d'intérêt dans l'analyse du bilan et du potentiel hydrique d'une région. Elle joue un rôle important pour le climat, ainsi que pour la variabilité des ressources en eau. Dû au fait que l'évaporation est conditionnée par un ensemble de facteurs climatiques, son étude peut fournir des informations importantes sur les changements climatiques, considérés comme un défi à long terme pour l'humanité (IPCC, 2013).

La Plaine roumaine s'étale au sud du pays, le long du Danube inférieur, qui la borde au sud et à l'est (Fig. 1). Elle détient environ 1/5 de la superficie de la Roumanie et, grâce à ses conditions naturelles favorables (ex. topographie plate, climat, ressources hydriques, qualité des sols et proximité du Danube), est une des régions géographiques du pays avec des activités socio-économiques bien développées, notamment dans le domaine agricole. Le choix de la Plaine roumaine comme région d'étude est lié à sa vulnérabilité face à l'aridité et à la sécheresse (météorologique, hydrologique ou pédologique), phénomènes dépendant de l'évaporation. Au cours des dernières décennies, une intensification de l'aridité a été constatée à l'échelle de la Roumanie (Busuioc *et al.*, 2010 ; Păltineanu *et al.*, 2007 ; MMP, 2012 ; Zaharia *et al.*, 2012 ; Croitoru *et al.*, 2013 ; Prăvălie *et al.*, 2014), entraînant des mesures et actions visant la diminution des conséquences de ce phénomène (MADR, 2008).

Dans ce contexte, ce travail a deux objectifs : (1) l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle de l'évaporation dans la Plaine roumaine, afin de mettre en évidence les particularités régionales, les tendances et donc les éventuels changements climatiques dans ce territoire forte vulnérable dû à son rôle majeur dans l'économie agricole du pays ; (2) l'estimation des relations entre l'évaporation et les principaux paramètres climatiques responsables de sa variabilité dans la région d'étude.

## 1. Données et méthodes

L'étude repose sur le traitement de séries de données portant sur l'évaporation à la surface de l'eau (mesurée directement avec des bacs d'évaporation de type GGI-3000) et sur les principaux paramètres climatiques qui l'influencent (durée du rayonnement solaire, température de l'air, précipitations, humidité relative de l'air, vitesse du vent). Ces données ont été mesurées du mars à novembre à 10 stations évaporimétriques situées dans la Plaine roumaine et ses environs, pour des périodes allant jusqu'à 51 ans (Tableau 1).

Les méthodes englobent des analyses de paramètres statistiques classiques, régressions linéaires simples et multiples, tendances (basées sur le test de Mann-Kendall), des représentations cartographiques et analyses spatiales sous SIG.

**Tableau 1.** Caractéristiques des stations évaporimétriques analysées et valeurs climatiques moyennes annuelles (avec Alt – altitude de la station;  $T_{\text{air}}$  – température moyenne de l'air; P – précipitations;  $E_{\text{moy}}$  – évaporation moyenne;  $E_{\text{max}}$  – évaporation maximale;  $E_{\text{min}}$  – évaporation minimale; An. – année; Cv – coefficient de variation de l'évaporation annuelle).

Station évaporimétrique	Période de fonctionnement	Alt (m)	$T_{\text{air}}$ (°C)	P (mm)	$E_{\text{moy}}$ (mm)	$E_{\text{max}}$		$E_{\text{min}}$		Cv
						(mm)	An.	(mm)	An.	
Bistreț	1961-2002	30	15,0	387	1049	1291	2002	636	1991	0,15
Fântânele	1961-2012	102	-	-	747	948	1961	530	2010	0,17
Stolnici	1958-2005	205	14,1	473	758	929	1962	572	1999	0,12
Furculești	1961-2012	92	14,9	414	765	1101	1963	412	2005	0,23
Alexandria	1961-2012	74	14,7	406	837	1166	2000	594	2005	0,15
Căldărușani	1961-2012	68	14,8	469	973	1203	1986	772	1976	0,11
Focșani	1961-2007	59	14,0	456	644	844	1990	354	2003	0,16
Jirlău	1958-2002	48	14,2	367	1043	1415	1992	821	1980	0,15
Amara	1961-2012	30	16,6	348	960	1183	1963	478	2002	0,17
Oancea	1961-2012	35	15,1	385	894	1323	2012	564	2011	0,15

## 2. Résultats

### 2.1. Variation spatiale de l'évaporation

La variation spatiale de l'évaporation dans la Plaine roumaine est déterminée par, d'une part, des différences altimétriques et, d'autre part, de la variabilité des conditions climatiques et des influences climatiques dans la région. Sur l'ensemble de la Plaine roumaine, l'évaporation moyenne annuelle à la surface de l'eau varie entre 400 mm dans les zones plus hautes, au contact avec la région collinaire située au nord, et plus de 900-1000 mm dans les parties est et ouest (Fig. 1), soumises à des influences climatiques continentales à nuance d'aridité (à l'est) et méditerranéennes (à l'ouest). Les valeurs moyennes annuelles de l'évaporation mesurée aux stations évaporimétriques analysées varient entre 644 mm/an et 1048 mm/an (Tableau 1). Les valeurs les plus élevées ont été mesurées à Jirlău (1043 mm), Bistreț (1049 mm), Căldărușani (973 mm) et Amara (960 mm), stations enregistrant des quantités de précipitations plus basses et des températures moyennes pour la période mars-novembre supérieures à 15°C. Dans le cas des stations situées près des cours d'eau et lacs, et plus précisément Căldărușani, Amara, Jirlău, Oancea et Furculești, l'évaporation plus élevée peut être la conséquence de la proximité des masses d'eau. Les valeurs les plus basses d'évaporation moyenne annuelle ont été enregistrées aux stations de Focșani (644 mm) et Fântânele (747 mm), situées proche de la région collinaire.

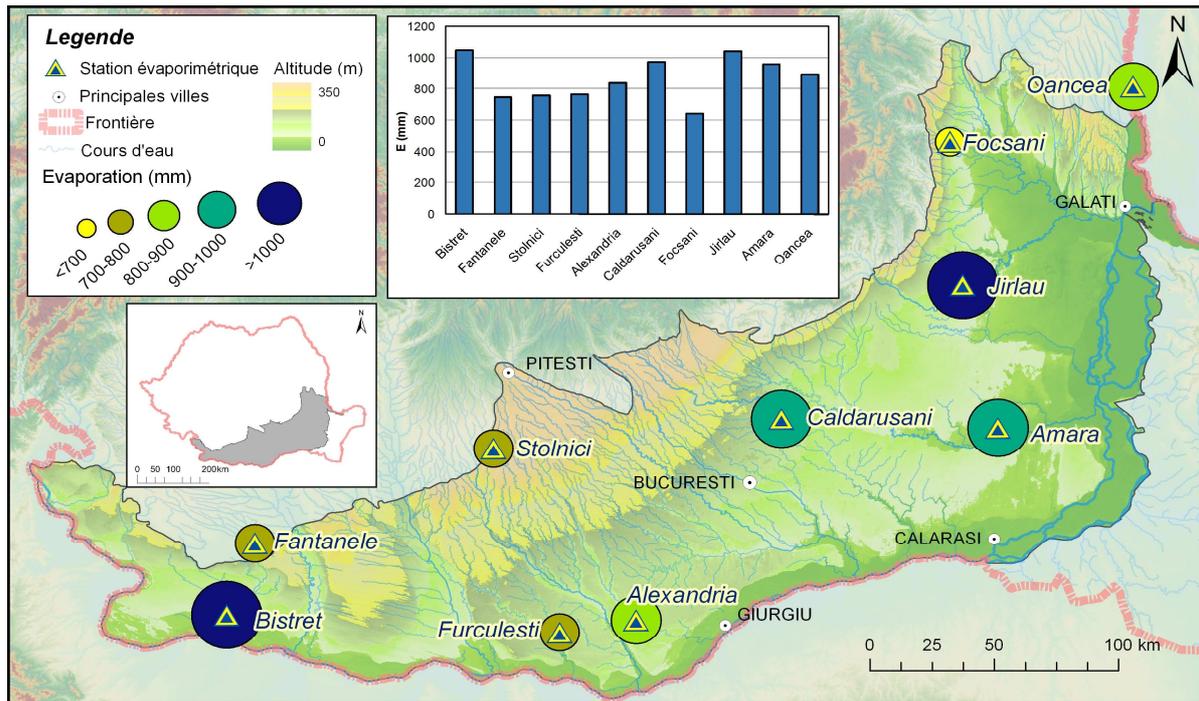


Figure 1. Localisation des stations évaporimétriques et l'évaporation moyenne annuelle dans la Plaine roumaine.

Les quantités extrêmes d'eau évaporée annuellement aux stations analysées de la Plaine roumaine ont oscillé entre un minimum de 354 mm (en 2003, à Focșani) et un maximum de 1415 mm (en 1992, à Jirlău), dans les conditions climatiques des années plus chaudes et arides, respectivement plus froides et humides.

La corrélation entre l'évaporation moyenne annuelle et l'altitude des stations évaporimétriques indique une dépendance importante et inverse de l'évaporation par rapport à l'altitude ( $r = 0,87$ ). La relation permet d'estimer indirectement l'évaporation en fonction de l'altitude. Ainsi, aux altitudes de 0-50 m, l'évaporation a des valeurs de 900-1000 mm ; à 50-100 m, elle varie entre 750 et 900 mm ; à plus de 100 m d'altitude, l'évaporation diminue à moins de 750 mm (Fig. 2).

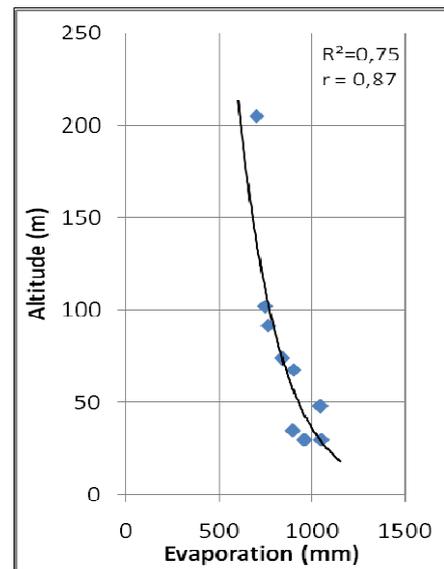


Figure 2. Corrélation entre l'évaporation moyenne annuelle et l'altitude dans la Plaine roumaine.

## 2.2. Principaux paramètres climatiques influençant l'évaporation

Parmi les facteurs contrôlant la variabilité de l'évaporation, les paramètres climatiques ont un rôle majeur. Afin d'identifier leur influence, on a réalisé des régressions linéaires simples et multiples entre l'évaporation annuelle et les principaux paramètres climatiques (température de l'air, précipitations, humidité relative de l'air, vitesse du vent, durée du rayonnement solaire) aux stations évaporimétriques ayant une longue période de fonctionnement commune (1961-2012). Les corrélations indiquent que l'évaporation est influencée surtout par la température de l'air et la vitesse du vent (relations directes), avec des coefficients de corrélation entre 0,5 et 0,79 (Tableau 2). Les précipitations ont une influence

moins importante sur l'évaporation, les coefficients de corrélation variant entre 0,22 (à Amara) et 0,6 (à Căldărușani) ; leur rôle est plus important en été avec des conditions de température et durée du rayonnement solaire élevées ; en automne, l'évaporation est moins importante dû à la baisse de la température, de la durée du rayonnement solaire et à la hausse de l'humidité relative. En ce qui concerne l'influence de l'humidité relative de l'air et de la durée du rayonnement solaire sur l'évaporation, elle se reflète dans des coefficients de corrélation de 0,4-0,7. La régression linéaire multiple indique le rôle de l'ensemble des paramètres climatiques sur l'évaporation, les coefficients de corrélation ayant des valeurs de 0,77-0,92.

**Tableau 2.** Coefficients de corrélation entre les valeurs annuelles d'évaporation et d'autres paramètres climatiques (avec  $T_{\text{air}}$  – température de l'air ; P – précipitations ;  $U_r$  – humidité relative de l'air ; V – vitesse du vent ; DRS – durée du rayonnement solaire).

Station évaporimétrique	$T_{\text{air}}$ (°C)	P (mm)	$U_r$ (%)	V (m/s)	DRS (heures)	$T_{\text{air}}$ , P, $U_r$ , V, DRS
Fântânele	0,59	0,42	0,73	0,64	0,38	<b>0,89</b>
Alexandria	0,76	0,53	0,61	0,79	0,68	<b>0,92</b>
Căldărușani	0,73	0,60	0,44	0,73	0,60	<b>0,85</b>
Amara	0,76	0,22	0,44	0,69	0,28	<b>0,83</b>
Oancea	0,59	0,38	0,38	0,50	0,47	<b>0,77</b>

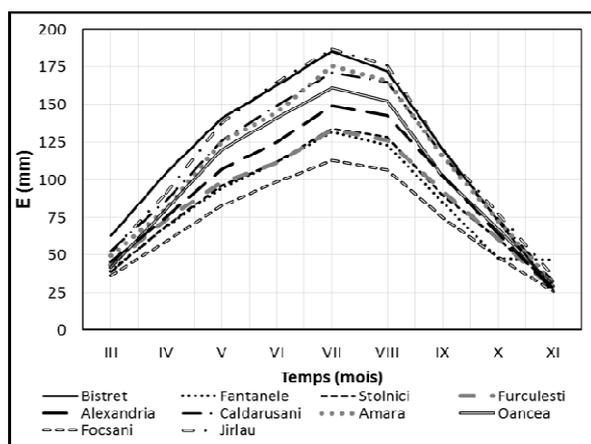
### 2.3. Variabilité temporelle et tendances de l'évaporation

La variation temporelle de l'évaporation est le résultat direct de la variation des paramètres climatiques. Sur l'ensemble de la Plaine roumaine, la variation de l'évaporation d'une année à l'autre est relativement peu importante et homogène : les coefficients de variation sont de 0,1-0,2 (Tableau 1). Sur l'ensemble des séries il y a quant même des années avec des valeurs extrêmes de l'évaporation (minimales et maximales), comme le Tableau 1 le montre.

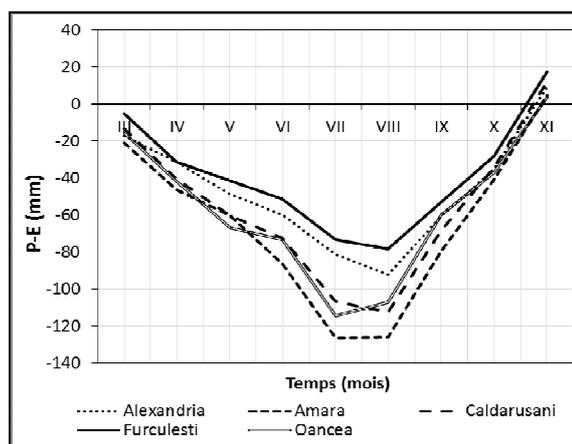
Durant l'année, les plus hautes valeurs de l'évaporation sont mesurées en juillet (Fig. 3), quand la température moyenne mensuelle est supérieure à 20°C, l'humidité relative est inférieure à 70%) et la durée du rayonnement solaire atteint le maximum (> 300 heures/mois). L'évaporation augmente de mars (de moins 50 mm), corrélativement à la hausse saisonnière de la température et de la quantité de précipitations, atteint les valeurs maximales en juillet et août (jusqu'à 175 mm à Amara en juillet), puis baisse jusqu'en novembre (< 30 mm). Sur l'ensemble de la période mars-novembre, les mois de juillet et août regroupent 35-40% de la quantité totale d'eau évaporée, tandis qu'en novembre et en mars le taux d'évaporation est moins de 6% du volume total à la majorité des stations analysées.

Pendant les mois d'été les quantités des précipitations ne peuvent pas remplacer la perte d'eau par évaporation et aussi le besoin en eau des cultures. Les différences entre P-E (précipitations moins évaporation) sont négatives durant la saison végétative, le déficit d'eau dépassant 100 mm en juillet et août (à Oancea, Amara et Căldărușani) (Fig. 4). Pour déplier naturellement les activités agricoles durant cette période avec un déficit hydrique important, il faut apporter de l'eau supplémentaire (par irrigations).

Dans le contexte des changements climatiques globaux, un intérêt particulier réside dans l'identification des tendances de la variation des paramètres climatiques. En ce qui concerne l'évaporation, les analyses effectuées pour la Plaine roumaine, à l'aide du test statistique non-paramétrique de Mann-Kendall, indiquent des tendances significatives pour la plupart des stations, avec des différences régionales à la hausse ou à la baisse (Tableau 3).



**Figure 3.** Variation de l'évaporation mensuelle (E) aux stations évaporimétriques de la Plaine roumaine (les périodes correspondent au Tableau 1).



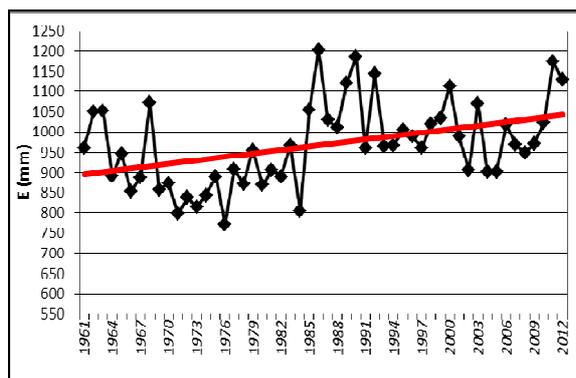
**Figure 4.** Variation des différences entre précipitations (E) et évaporation (E) aux stations évaporimétriques de la Plaine roumaine (valeurs mensuelles pour les périodes mentionnées dans le tableau 1).

**Tableau 3.** Tendances dans la variabilité mensuelle et annuelle de l'évaporation moyenne résultant du test non-paramétrique de Mann-Kendall (\*\*\*:  $\alpha = 0,001$ ; \*\*:  $\alpha = 0,01$ ; \*:  $\alpha = 0,05$ ; +:  $\alpha = 0,1$ ;  $\alpha$  = seuil de signification. En gris, la tendance à la hausse ; en blanc, la tendance à la baisse. L'absence des symboles indique l'absence de la tendance).

Station évaporimétrique	Période	Mois									Année
		mar	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	
Bistreț	1961-2002		***				*				
Fântânele	1961-2012				+	*	**	+	*		***
Stolnici	1958-2005		**	+	**	***	+				***
Furculești	1961-2012		***	***	***	***	***	***	+	**	***
Alexandria	1961-2012		+							***	*
Căldărușani	1961-2012	*	**	**	**	***	**	*	+	+	**
Focșani	1961-2007										+
Jirlău	1958-2002	**		+	*	***	**	**	*	**	**
Amara	1961-2012		**	*	***			**	*		***
Oancea	1961-2012			+		**	*	+	***	*	+

Pour les cumuls annuels, on a identifié une tendance à la hausse de l'évaporation à trois stations: Căldărușani (Fig. 5), Oancea et Jirlău. Le reste des stations se caractérise par des tendances à la baisse : Amara, Stolnici, Fântânele, Furculești, Focșani et Alexandria. À l'échelle mensuelle, les mois les plus affectés par des changements sont juillet et août qui ont eu des tendances significatives à la hausse ou à la baisse ; respectivement à six et sept stations évaporimétriques. À l'opposé, le mois de mars a été le moins affecté par des changements (seulement deux stations avec une tendance à la hausse) (Tableau 3). Les tendances à la hausse sont dominantes à l'échelle annuelle à Oancea, Jirlău et Căldărușani et à la baisse aux autres stations analysées.

Dans la variabilité de l'évaporation annuelle, des ruptures peuvent être identifiées, séparant des périodes avec des tendances différentes. Ainsi, à Căldărușani une telle rupture se remarquée dans les années 1984-1986 (Fig. 5) qui sépare la période analysée en deux périodes distinctes : (a) 1961-1984 avec tendance à la baisse et (b) 1985-2012 avec tendance à la hausse. Cette rupture pourrait être liée à celle identifiée en 1986 dans la variabilité de la température de l'air, pendant le saison d'été, sur l'ensemble de la Roumanie (Busuioc *et al.*, 2014).



**Figure 5.** Tendence linéaire dans la variation de l'évaporation annuelle (E) à la station évaporimétrique de Căldărușani.

## Conclusion

Comme conséquence de sa position géographique, la Plaine roumaine a des valeurs élevées de l'évaporation (> 700-1000 mm/an), avec des différences spatiales déterminées par l'altitude et les influences climatiques régionales (influences méditerranéennes à l'ouest et continentales excessives à l'est). Les valeurs les plus élevées sont spécifiques à la partie est et sud-ouest et les plus basses au secteur central et au contact avec la région collinaire. La variation temporelle de l'évaporation est la conséquence de l'influence des paramètres climatiques, dont les plus importants sont la température de l'air et la vitesse du vent (avec les coefficients de corrélation les plus forts). L'analyse des tendances annuelles de l'évaporation indique aussi des baisses (notamment à l'ouest), que des hausses (à l'est). Étant donné que la Plaine roumaine est la principale région agricole du pays, l'étude de l'évaporation donne des informations utiles qui aident à une meilleure connaissance du climat actuel de cette région et des possibles changements futurs, pour que la société s'en adapte au mieux.

## Références bibliographiques

- Busuioc A., Caian M., Cheval S., Bojariu R., Boroneant C., Baciuc M., Dumitrescu A., 2010 : *Variabilitatea și schimbarea climei în România*. Editura Pro Universitaria, 226 p.
- Busuioc A., Dobrinescu A., Barsan M.-V., Dumitrescu A., Orzan A., 2014 : Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms. *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.4054.
- Croitoru A.E., Piticar A., Dragotă C.S., Burda D.C., 2013 : Recent changes in reference evapotranspiration in Romania. *Global and Planetary Change*, **111**, 127-132.
- IPCC, 2013 : *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. GIEC, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- Ministerul Agriculturii și Dezvoltării Rurale (MADR), 2008 : *Strategia națională privind reducerea efectelor secetei, prevenirea și combaterea degradării terenurilor și deșertificării, pe termen scurt, mediu și lung*. 59 p.
- Ministerul Mediului și Pădurilor (MMP), 2012 : *Strategia Națională a României privind Schimbările Climatice 2013 – 2020*. 73 p.
- Păltineanu C., Mihăilescu I.F., Seceleanu I., Dragotă C., Vasenciuc F., 2007 : Ariditatea, Seceta, Evapotranspirația și cerințele de apă ale culturilor agricole în România. *Ovidius University Press*, 319 p.
- Prăvălie R., Zaharia L., Sîrdoev I., Peptenatu D., 2014 : L'impact des changements climatiques sur la végétation forestière au sud-ouest de la Roumanie. *Actes du Colloque de l'Association Internationale de Climatologie Climat : Système et interactions*, **27**, 460-465.
- Zaharia L., Beltrando G., Ioana-Toroimac G., Minea, G., Grecu, F., 2012 : Les sécheresses des dernières décennies dans la Plaine Roumaine. *Actes du Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, **25**, 787-792.