



Analyse de la sensibilité du modèle hydrologique GR4J à l'évapotranspiration estimée avec des différentes méthodes. Etude de cas: le bassin hydrographique de la rivière Jiu

MOROȘANU Gabriela Adina ^(1,2)

(1) *Université de Bucarest, Faculté de Géographie, Ecole Doctorale "Simion Mehedinti – Nature et Développement Durable"*

(2) *Université Grenoble Alpes, Ecole Doctorale "Terre, Univers, Environnement"*



- 1) Contexte et objectifs
- 2) Zone d'étude
- 3) Demarche méthodologique
- 4) Résultats
- 5) Conclusion



Contexte

Modélisation hydro-climatique



paramètres climatiques

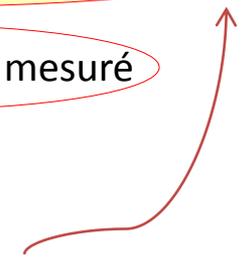
- Précipitations (P[mm])
- Évapotranspiration potentielle (ETP[mm])

paramètres hydrologiques

Écoulement liquide mesuré

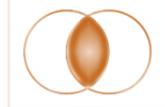
l'hétérogénéité spatiale

- zone climatique
- topographie
- couverture du sol



MAIS la plupart des modèles sont simplifiés, c'est-à-dire des représentations conceptuelles d'une partie du cycle hydrologique, sans tenir compte des caractéristiques naturelles ou anthropiques des bassins versants...

L'évapotranspiration



Variable

Indirecte

De la localisation

De la couverture du sol

Des propriétés hydrauliques du sol

Du stockage souterrain de l'humidité

Objectifs



- ▶ Tester la sensibilité du modèle GR4J aux différentes formules de l'ETP
- ▶ Estimer le rôle du climat dans la modélisation des flux hydrologiques pour certaines stations hydrométriques de la zone d'étude

La zone d'étude

Le bassin de la rivière Jiu

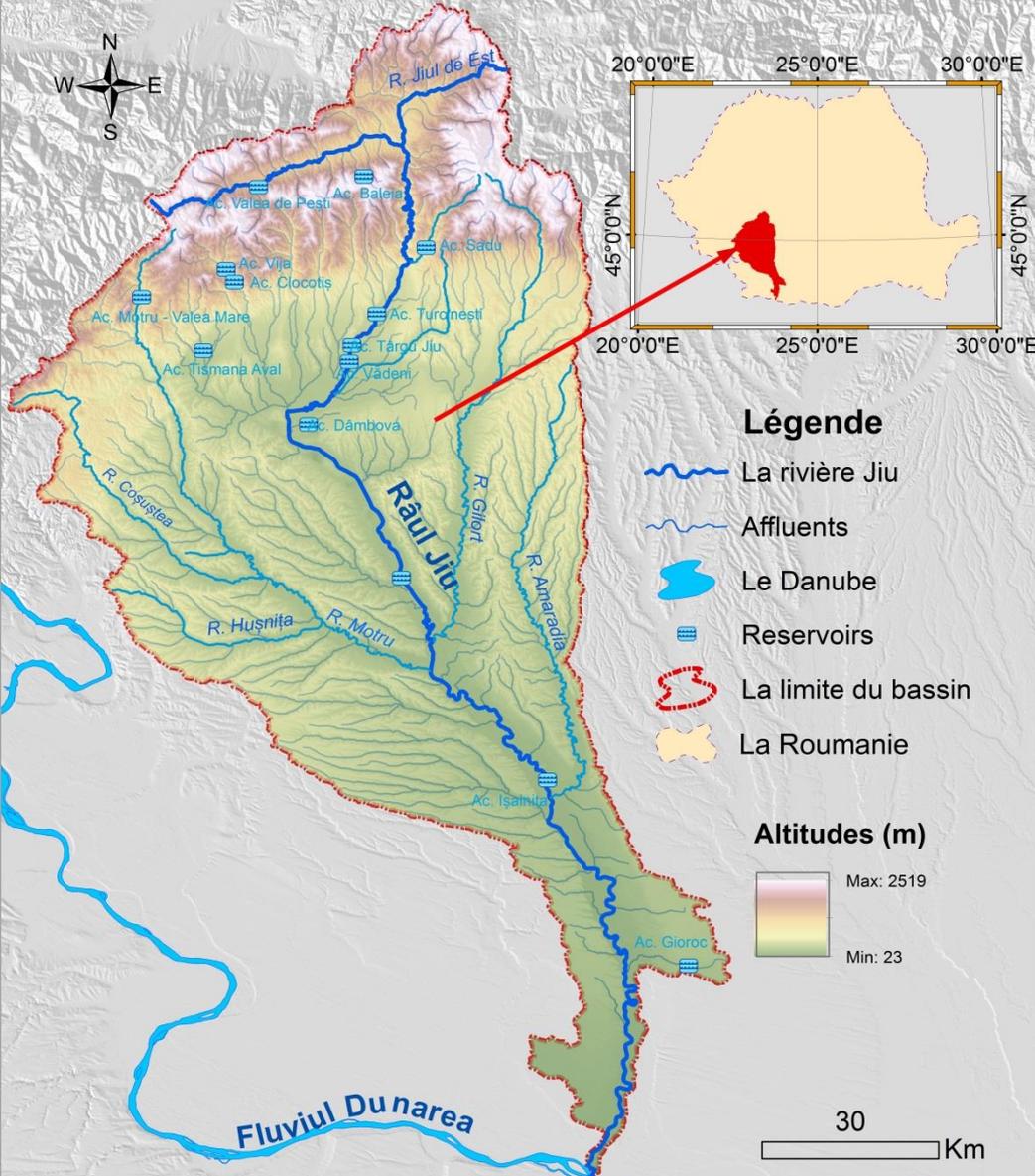


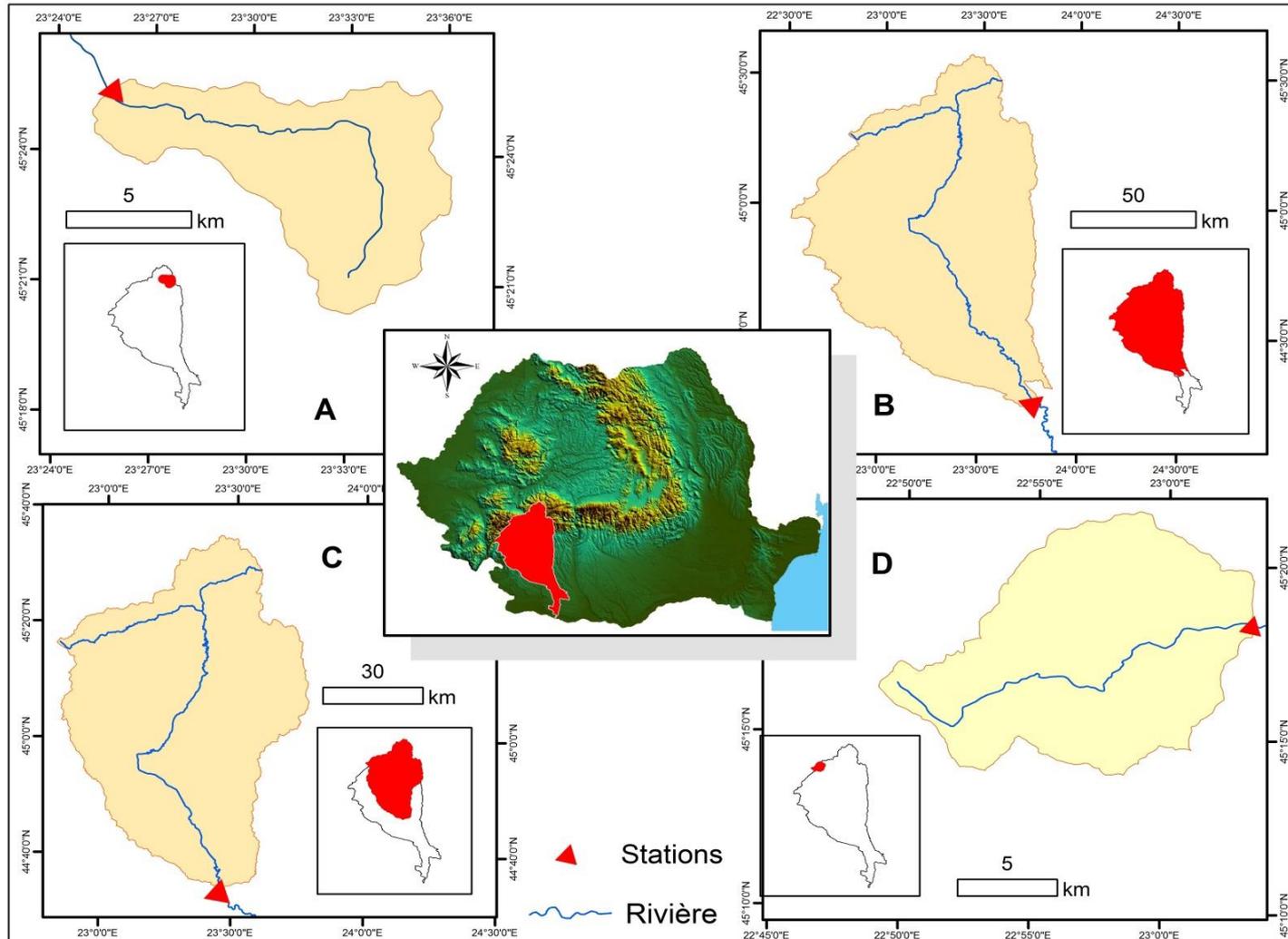
Tableau 1 - Caractéristiques morphométriques des stations hydrométriques analysées

Nom de la station	Nom de la rivière	Alt. (m)	Sup. [km ²]
<i>Câmpu lui Neag</i>	Jiul de Vest	1385	159
<i>Jieț</i>	Jieț	1544	74,4
<i>Filiași</i>	Jiu	498	5281,5
<i>Podari</i>	Jiu	446	9334

Tableau 2 - Caractéristiques hydro-climatiques des stations hydrométriques analysées

Nom de la station	Nom de la rivière	T _{air} [°C]	P [mm]	Q [m ³ /s]
<i>Câmpu lui Neag</i>	Jiul de Vest	3,7	1103	3,6
<i>Jieț</i>	Jieț	6,1	956	1,8
<i>Filiași</i>	Jiu	8,2	820	65
<i>Podari</i>	Jiu	8,9	760	44

La zone d'étude



 Position des bassins hydrographiques dans le bassin de la Rivière Jiu

Localisation du bassin versant de la rivière Jiu (*carte centrale*) et des quatre bassins versants analysés, avec les stations hydrométriques qui les contrôlent:

A – Jieț sur la rivière Jieț; **B** – Podari, **C** – Filiași et **D** – Câmpu lui Neag, sur la rivière Jiu



Démarche méthodologique



Flux de travail

Le choix des bassins différents, en fonction de l'altitude moyenne, de la localisation et de la disponibilité et longueur de la série de données

La constitution des 4 jeux de données et le calcul de la loi puissance de calcul entre le débit mesuré et le débit simulé

Pluie journalière du bassin hydrographique et **évapotranspiration**

GR4J

Débit journalier liquide (totale, lent, rapide)
+ Hauteur du réservoir de production (mm)

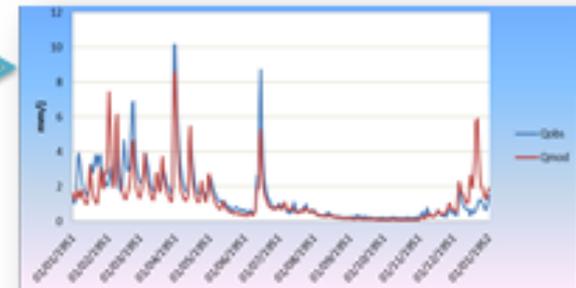
Pluie journalière du bassin hydrographique

Modélisation conceptuelle du flux journalier

L'initialisation (365 jours)

Le calage (pour chaque demi-longueur des jeux de données hydrologiques)

Le contrôle (validation croisée) pour chaque demi-longueur des jeux de données hydrologiques



GR4J – un modèle global et empirique

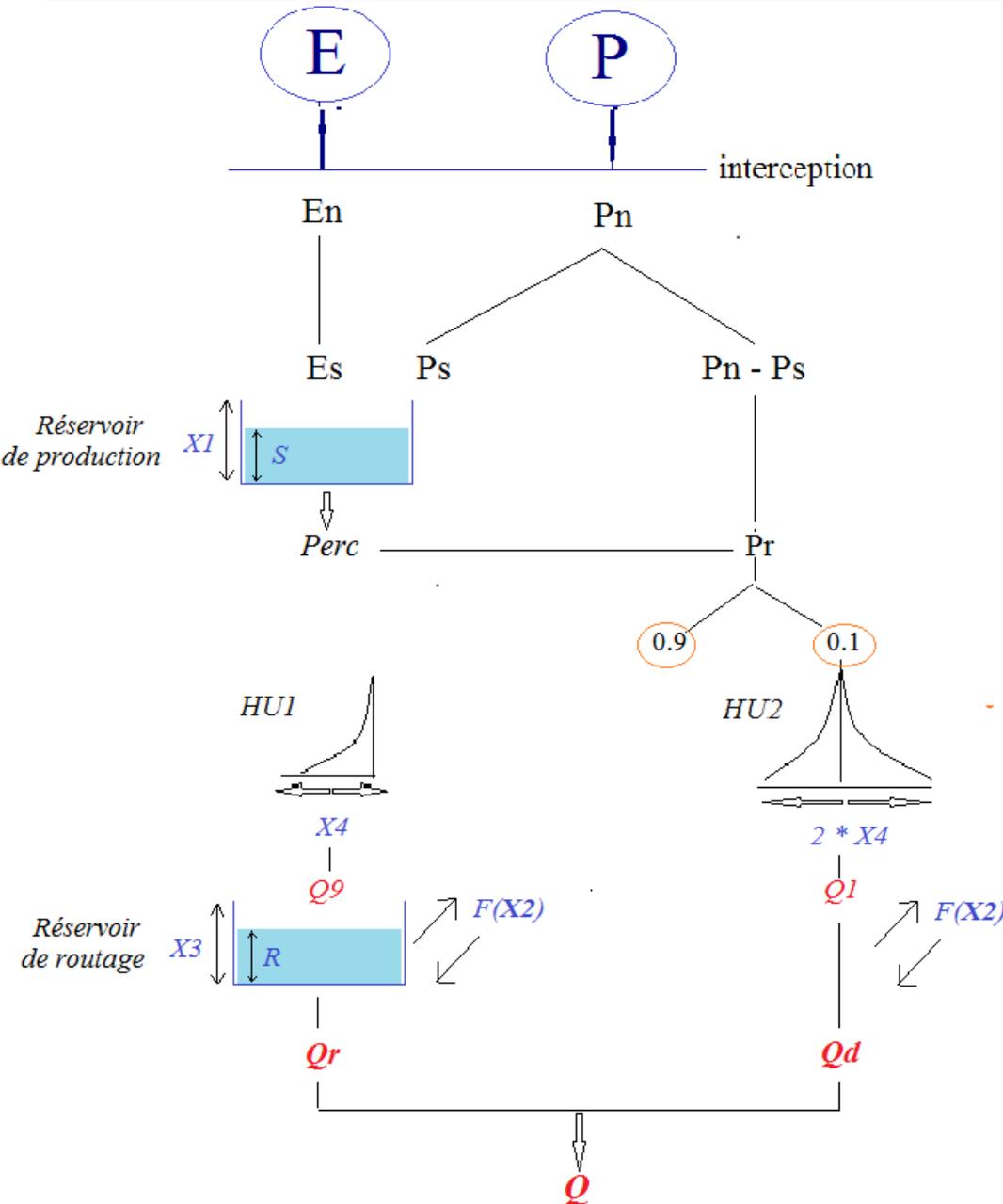


Schéma du Modèle GR4J (construite et modifiée après la source du site internet IRSTEA - http://fresno.cemagref.fr/webqgr/Modeles/GR4J/Schema_gr4_journalier.ht)

L'avant-dernière version du projet de Modèles de Génie Rurale (CEMAGREF) - modélisation au pas de temps journalier.

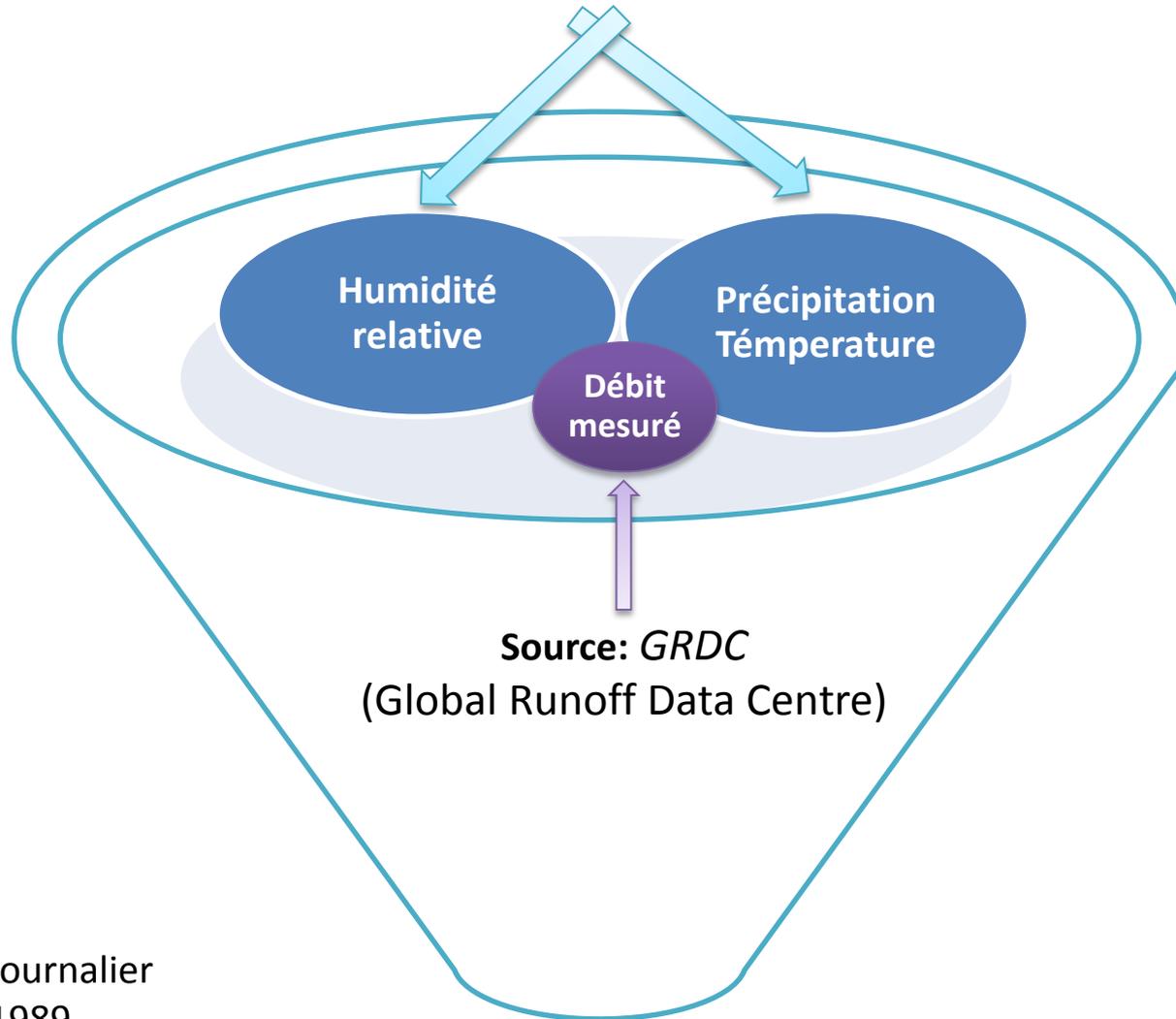
- **Principe de fonctionnement** - Réservoirs de production et de routage
- **HU1 et HU2** - hydrogrammes unitaires

Les 4 paramètres principaux du modèle:

- X1** - capacité maximale du réservoir de production (mm);
- X2** - coefficient d'échanges souterrains du bassin versant (mm);
- X3** - capacité maximale à un jour du réservoir de routage (mm);
- X4** - temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j).

Données d'entrée initiales

Source: la plateforme ROCADA (type GRID) des jeux de données climatiques homogénéisées pour la Roumanie, à une résolution spatiale de 0.1 degrés (Dumitrescu & Bîrsan, 2015).



- **Pas de temps:** Journalier
- **Période:** 1961-1989

Les programmes utilisés: ArcGIS 10.0, Microsoft Excel et SciLab.

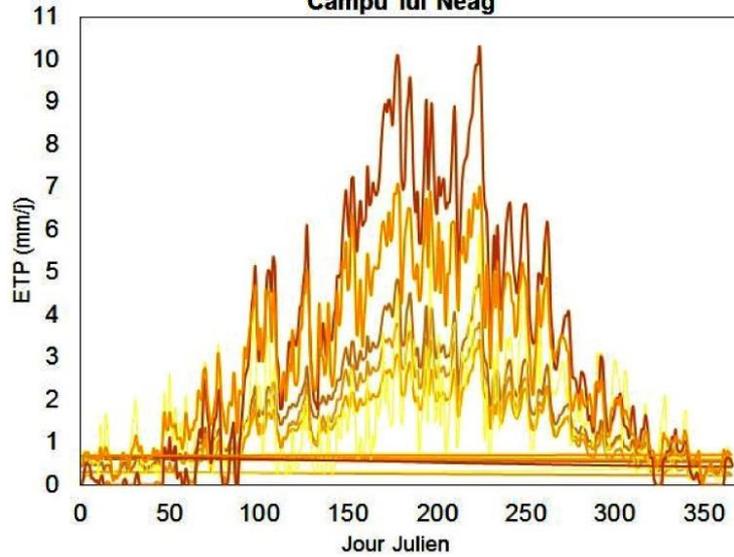
Les formules utilisées pour l'estimation de l'ETP (Morton, 1983; Allen *et al.*, 1998; Oudin, 2004; Oudin *et al.*, 2005; Matzarakis & Rutz, 2007; Kostinakis *et al.*, 2011)

Hargreave	Romanenko	Hamon V.1	Hamon V.2	Jensen-Haise	Oudin
$ETP_{Har} = \frac{0.0023 \cdot (R_a / \lambda) \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}} \cdot (T_{moy} + 17.8)}{1}$	$ETP_{Rom} = \frac{4.5 \cdot T_{moy}}{(1 + \frac{25}{e_a}) \cdot (1 - \frac{e_s}{e_a})}$	$ETP_{Ham1} = 0.1651 \cdot \frac{DL}{12} \cdot \frac{(216.7 - T_{moy} + 273.3)^2}{e_s}$	$ETP_{Ham2} = \frac{DL}{12} \cdot \left(\frac{DL}{12}\right)^2 \cdot \exp\left(\frac{T_{moy}}{16}\right)$	$ETP_{Jen} = \frac{R_s}{\lambda} \cdot (0.025 \cdot T_{moy} + 0.08)$	<p style="text-align: right;">Si $T_{moy} > 0$</p> $ETP_{Oudin} = \frac{R_a \cdot T_{moy} + 5}{\lambda \rho \cdot 100} + K_2$ <p style="text-align: right;">Autrement, $ETP_{Oudin} = 0$</p>
T_{moy} = Température moyenne de l'air (2 m au dessus du sol) [°C]		T_{max} = Température maximale de l'air (2 m au dessus du sol) [°C]		T_{min} = Température minimale de l'air (2 m au dessus du sol) [°C]	
e_s - La pression de vapeur saturante [kPa] e_a - La pression de vapeur réelle [kPa]	λ = La chaleur latente de vaporisation [MJ/kg] $\lambda = 2.501 - (2.361 \cdot 10^{-3}) \cdot T_{moy}$		DL - Longueur de la journée, en fonction de la latitude [h]	RH - Humidité relative [%], (utilisée pour calculer e_s et e_a)	ρ - la densité de l'eau [kg m ⁻³]
R_s = Radiation globale (totale) [MJ/m ²] R_a = Radiation extraterrestre [MJ/m ²], dépend de la latitude et du jour julien $R_a = \frac{24}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)]$			G_{sc} - la constante solaire = 0.0820 [MJ m ⁻² min ⁻¹] d_r - distance relative inverse Terre-Soleil ω_s - l'angle au coucher du soleil [rad] φ - latitude [rad] δ - déclinaison du soleil [rad] K_2 = coefficient		

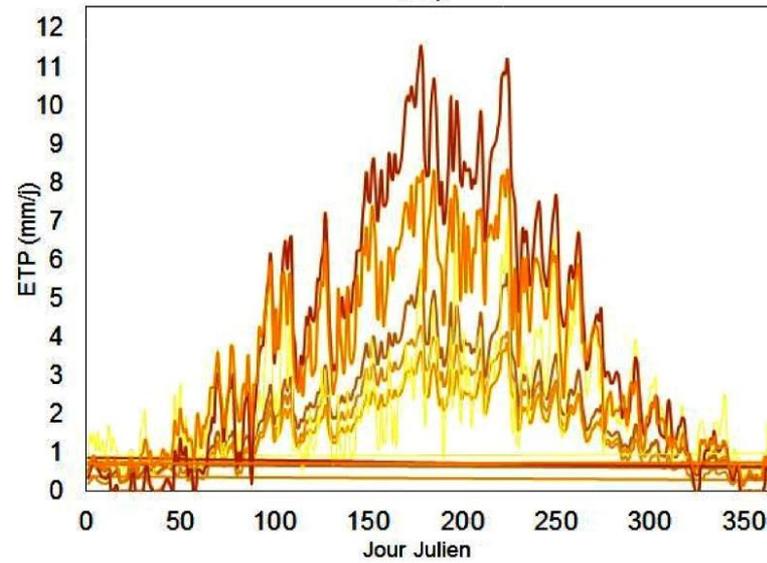
- a) Paramètres dérivés du jeu de données climatiques initiales (max, min, moy):** radiation globale, chaleur latente de vaporisation, la pression de vapeur saturante et réelle
- b) Autres paramètres requis par chaque formule de calcul d'ETP:** radiation extraterrestre, longueur de la journée, la densité de l'eau

La variation des valeurs journalières de l'ETP obtenues par les 6 formules utilisées (1961-1989)

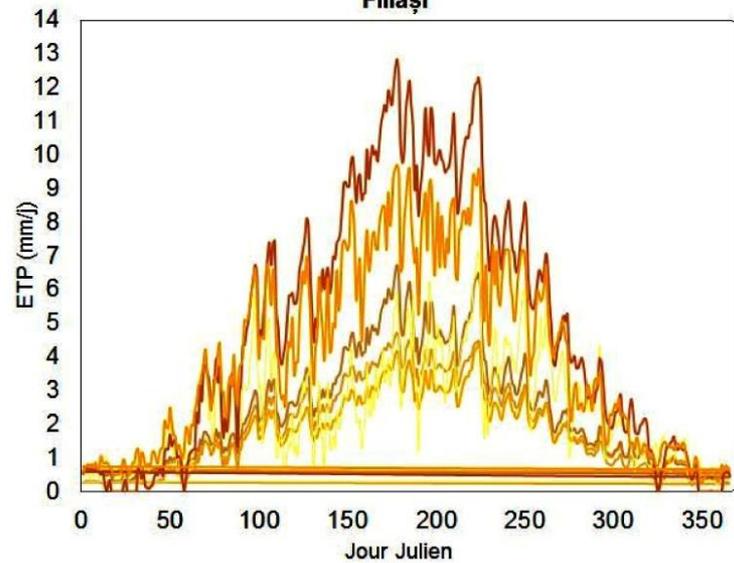
Câmpu lui Neag



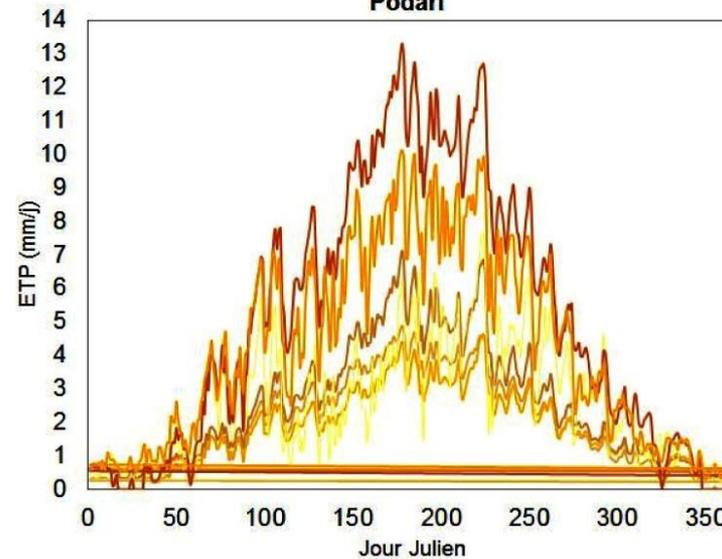
Jieț



Filiași



Podari



Légende

- PET(Oudin)
- PET(Hamon1)
- PET(Hamon2)
- PET(Romanenko)
- PET(Jensen-Haise)
- PET(Hargreave)

Evaluation de la performance du modèle GR4J en fonction des valeurs de l'ETP

Tableau 4. L'illustration de la double utilisation des chroniques des débits

	Période	
	P1	P2
Nash(Q)	Calage	Contrôle
Nash(VQ)	Contrôle	Calage
Nash(ln(Q))		

Calage:

- ✓ L'analyse a été menée pour 365 jours (l'année 1961)

Longueur de la période de mise en route:

- ✓ 28 années suivantes (1962 - 1989)

Qualité des résultats. Critères d'ajustement

- le coefficient de corrélation "r" $\implies Q_{\text{model}} = f(Q_{\text{obs}})$

- le coefficient de Nash (E) $\implies E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{\text{obs},i} - X_{\text{model}})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{\text{obs},i} - \overline{X_{\text{obs}}})^2}$ (Nash & Sutcliffe, 1970)

X_{obs} - valeurs mesurées

X_{model} - les valeurs modélisées au moment/ lieu 'i'

- Critère de Nash-Sutcliffe calculé sur les valeurs brutes du débit (le NASH classique) – **[Nash(Q)]**
- Critère de Nash-Sutcliffe calculé sur les valeurs carrées - **[Nash(VQ)]**
- Critère de Nash-Sutcliffe calculé sur les valeurs logarithmiques transformées du débit – **[Nash(ln(Q))]**
- Bilan (hypothétiquement, s'il atteint 100%, cela signifie que le réservoir de production a le même volume que celui de routage, c'est-à-dire que rien ne se gagne et rien ne se perd). Sa formule est: **$B = 100 * (\sum Q_{\text{sim}} / \sum Q_{\text{obs}})$** .

Résultats



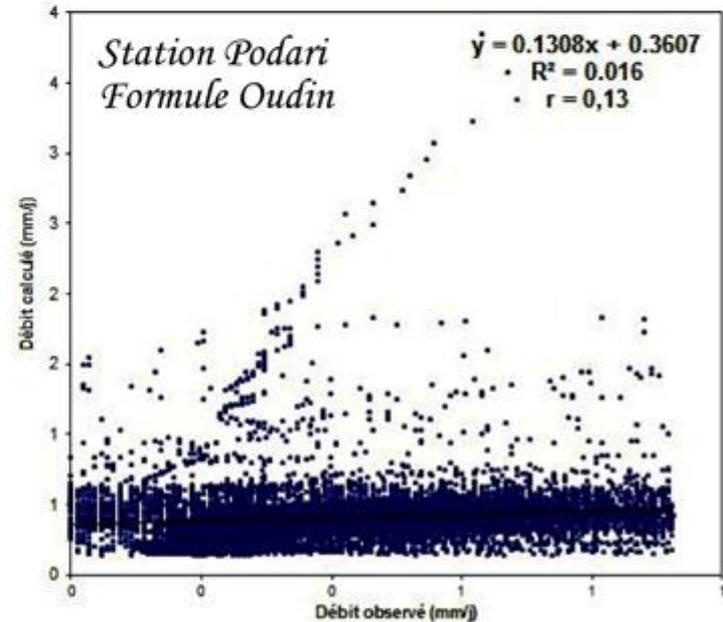
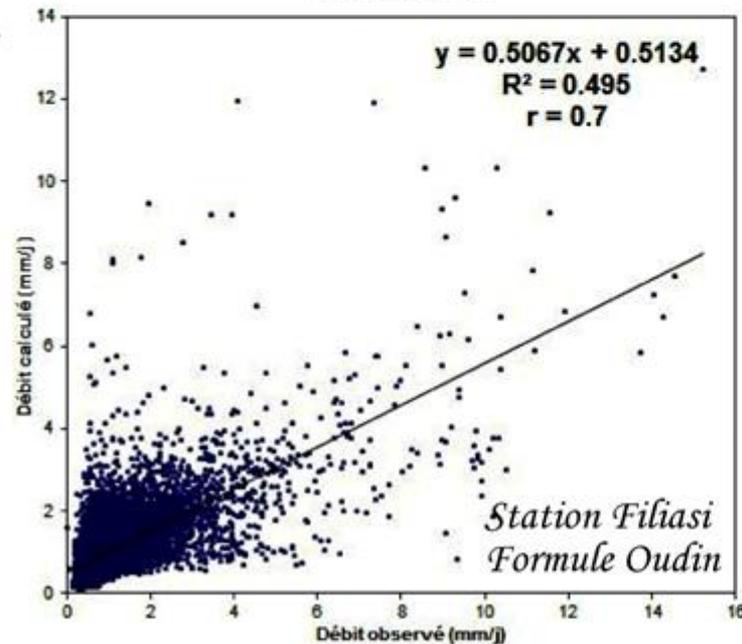
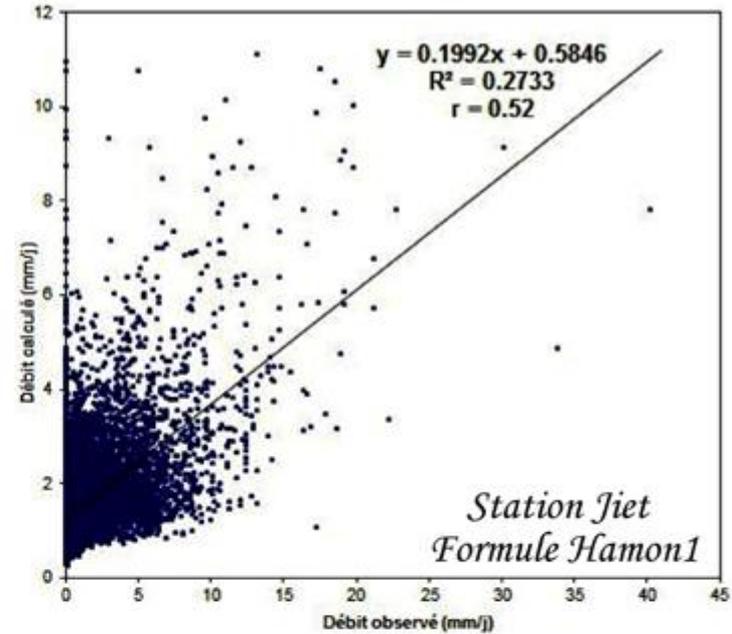
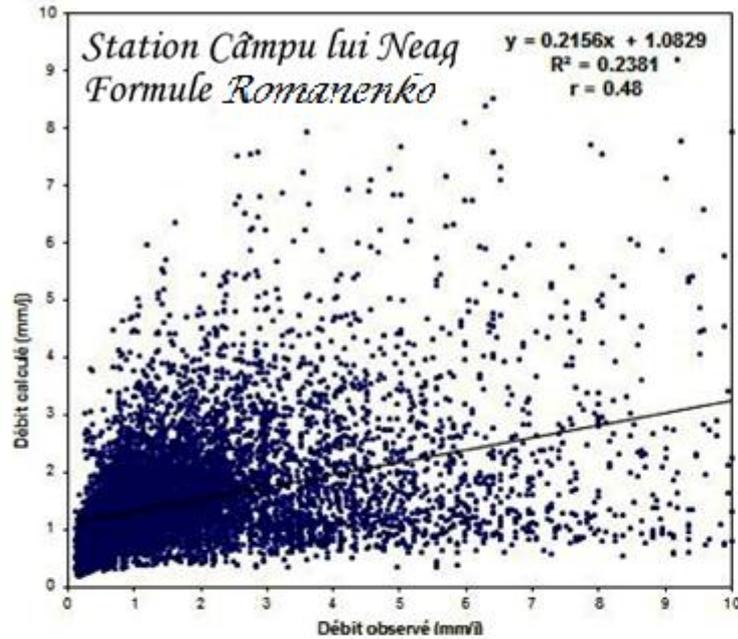
Evaluation des critères de NASH pour les formules de l'ETP utilisées

Tableau 5. Les plus grands scores du critère de Nash (E) obtenus après l'application de chaque formule

<i>Station hydrométrique</i>		E <i>S.h. Câmpu lui Neag</i>	E <i>S.h. Jieț</i>	E <i>S.h. Filiași</i>	E <i>S.h. Podari</i>
<i>Méthode de l'ETP utilisée</i>	<i>Romanenko</i>	54,84 (Nash _Q)	50,72 (Nash _Q)	53,93 (Nash _Q)	-8,7 (Nash _{vQ})
	<i>Hargreave</i>	24,8 (Nash _Q)	21,39 (Nash(ln(Q)))	46,4 (Nash _{(ln(Q))})	1,01 (Nash _Q)
	<i>Hamon v.1.</i>	54,8 (Nash _{(ln(Q))})	55,5 (Nash _{(ln(Q))})	58,9 (Nash _{(ln(Q))})	0,12 (Nash _{(ln(Q))})
	<i>Hamon v.2.</i>	34,7 (Nash _{(ln(Q))})	13,8 (Nash _{(ln(Q))})	58,1 (Nash _{vQ})	-12,2 (Nash _{(ln(Q))})
	<i>Jensen-Haise</i>	38,3 (Nash _{(ln(Q))})	43,12 (Nash _Q)	46,6 (Nash _{(ln(Q))})	-13,89 (Nash _{(ln(Q))})
	<i>Oudin</i>	28,1 (Nash _Q)	27,5 (Nash _Q)	50,9 (Nash _Q)	-8,13 (Nash _Q)

- Les résultats montrent qu'un des meilleurs scores de Nash ont été obtenus par l'emploi de la fonction objectif logarithmique du débit
- Les stations Filiași et Jieț ont en général le meilleur score de Nash (> 50%)
- Les formules Hamon_{v.1}, Romanenko et Oudin ont conduit à la réalisation de la performance la plus élevée du modèle

Les corrélations entre le débit mesuré et le débit simulé (1961-1989)



Conclusions

- ✓ Sensibilité du modèle aux valeurs de l'évapotranspiration potentielle
- ✓ Une meilleure adéquation des formules de Romanenko et Oudin aux séries de débits observés
- ✓ Les caractéristiques géographiques des bassins versants influent la performance du paramètre ETP
- ✓ L'évapotranspiration joue un rôle plus important dans l'écoulement pour les bassins versants Jieț et Filiași
- ✓ A la station Podari, l'écoulement est influencé par les activités anthropiques du secteur inférieur (Le rôle moins important de l'ETP)
- ✓ Structure du modèle vs. ETP
- ✓ Pour la modélisation pluie-debit, les formules traditionnelles de l'ETP ne peuvent pas prendre en consideration, seulement par les paramètres physiques integrés, la demande evaporatoire réele des bassins versants, par rapports aux conditions géographiques (non-climatiques) très différentes.

Références bibliographiques

1. Allen R., Pereira L., Raes, D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage paper* **56**, Rome, 300p.
2. Dumitrescu A, Bîrsan M.V., 2015. ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Natural Hazards* **78**(2): 1045-1063.
3. Jovanovic N., Israel S., 2012. Critical review of methods for the estimation of actual evapotranspiration in hydrological models. *Intechopen*, 329- 350.
4. Kostinakis K., Xystrakis F., Theodoropoulos K., Stathis D., Eleftheriadou E., 2011. Estimation of reference potential evapotranspiration with focus on vegetation science – the EmPEst software. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering – ASCE*, **137**(9), 616-619.
5. Lu J.B., Sun G., McNulty S.G., Amatya, D.M., 2005, A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association*, **41**, 621-663.
6. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M. W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, **50**(3), 885–900.
7. Morton F.I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. Appendix C. *Journal of Hydrology*, **66**(1/4), 1-76.
8. Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**(3), 282-290.
9. Oudin L., 2004. *Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-debit global*. Thèse de doctorat: Sciences de l'eau, Paris, 496p.
10. Oudin L., Hervieu F., Michel C., Perrin C., Andreassian V., Ancti F., Loumagne, C., (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*, **303**, 290-306.
11. Paparrizos S., Maris F., Matzarakis A., 2014. Estimation and comparison of potential evapotranspiration based on daily and monthly data from Sperchios Valley in Central Greece. *Global NEST Journal*, **16**(2), 204-217.
12. Perrin C., Michel C., Andréassian V., 2007. *Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR)*, CEMAGREF, Paris.
13. Raes D., 2009. The ET₀ Calculator. Evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual Version 3.1., FAO, Rome, 38p.
14. Xu C.Y., Singh, V.P., 2002. Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, **16**, 197-219.
15. Yu X., Lamačová A., Duffy C., Krám P., Hruška J., 2015. Hydrological model uncertainty due to spatial evapotranspiration estimation methods. *Computers & Geosciences*, 1-12.
16. Zhao L., Xia J., Xu C.-y., Wang Z., Sobkowiak L., Long C., 2013. Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. *Journal of Geographical Sciences*, **23**(2), 359-369.

Merci de votre attention!

Merci



J'exprime mes vifs remerciements à *Liliana Zaharia, Ludovic Oudin, Pierre Ribstein* et *Marius Bîrsan*, pour leur précieuse aide à la réalisation de ce travail.