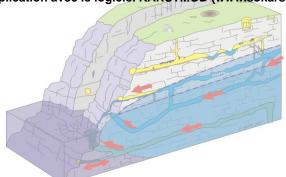


Cours-TD Hydrogéologie karstique – M2 HYDRO Master STPE - Université Aix-Marseille

(Aix*Marseille

Méthodes d'étude des aquifères carbonatés : Modèles réservoirs Pluie-Débit

Application avec le logiciel KARSTMOD (www.sokarst.org)



Bruno ARFIB

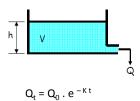
Maître de Conférences Université Aix-Marseille, CEREGE Centre Saint Charles. <u>www.karsteau.fr</u>

Le 8 octobre 2018

Modèles boite noire Pluie-Débit

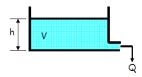


Modèles réservoirs : vidange d'un réservoir à travers un orifice (Loi de Maillet – 1906)



K : coefficient de récession (appelé aussi alpha)

Modèles boite noire Pluie-Débit



Relation linéaire entre la hauteur d'eau et le débit spécifique (qt en lame d'eau/temps)

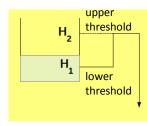
Relation non linéaire

$$q_t = K \cdot h^n$$

$$q_t = K \cdot h$$

 $Q = q_t \cdot S$, avec S=surface BV

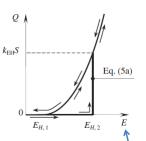
Hystérèse



$$Q_{\rm EH} = \varepsilon \left[\frac{\max(E - E_{H,1}, 0)}{E_{H,2} - E_{H,1}} \right]^{\alpha} k_{\rm EH} S$$

$$\left. egin{aligned} arepsilon = 0 \ E = E_{H,2} \end{aligned}
ight\} \Rightarrow arepsilon = 1$$

$$\begin{cases} \varepsilon = 1 \\ E = E_{H,1} \end{cases} \Rightarrow \varepsilon = 0$$



Hauteur d'eau dans

S. Tritz et al./Journal of Hydrology 397 (2011) 250–262 le réservoir E

Réservoirs en parallèle, en série, échange...

A. Hartmann et al./Journal of Hydrology 468-469 (2012) 130-138

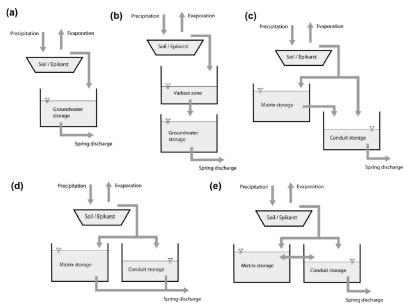
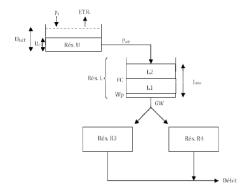


Fig. 3. The hydrological model ensemble: (a) simple model, (b) serial model, (c) combined model, (d) parallel model, and (e) exchange model.

De nombreux modèles à réservoirs pour la modélisation Pluie-Débit

extraits de la présentation au SNO KARST – Rouen Mai 2013, H. Jourde

Le modèle Mero (Mero, 1963).



P_i : pluie le jour i

U_{i-1}: niveau dans le réservoir le jour i-1

Per: Pluie efficace servant à l'alimentation des autres réservoirs (L. R3 et R4)

L2: sous unité 2; L1: sous unité 1

L_{max} : niveau maximum du réservoir L

FC : représente la capacité d'absorption du sol

WP : est estimée à partir de la teneur en eau dans le sol au point de flétrissement des végétaux*

GW : lame d'eau alimentant les réservoirs R3 et R4

Modèle régi par 10 paramètres :

- 4 constantes de temps de tarissement ;
- les niveaux maxima des réservoirs L et U ;
- 4 paramètres de répartition des surplus vers les différents

Modèle créé à l'origine par un ingénieur israélien pour calculer la pluie efficace sous forme d'une lame d'eau infiltrée moyenne.

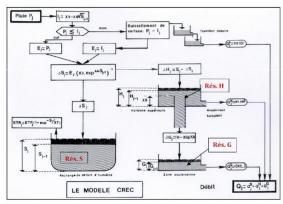
Utilisé par Chemin (1974) pour vérifier la validité du calcul de la pluie efficace sur le système karstique de la source du Lez (pas de reconstitution des débits)

Variante proposée par Bouillin & al (1973) pour l'application à la fontaine de Vaucluse, (modèle Vaucluse)

18

De nombreux modèles à réservoirs pour la modélisation Pluie-Débit extraits de la présentation au SNO KARST - Rouen Mai 2013, H. Jourde

Le modele CREC (Cormary & Guilbot, 1969).



- Modèle régi par 10 paramètres : 5 pour le réservoir S (4 pour l'alimentation,
- 1 pour la reprise par évapotranspiration) ;
- -1 pour les réservoirs de transfert du ruissellement:
- -- 3 pour le réservoir H ;
- 1 pour le réservoir G. (cf. fig. modèle Crec)

- X1 et X2 : paramètres de vidange des réservoirs H et G

- X3 et X4 : paramètres de la fonction de production
- X5 et X6 : paramètres de percolation profonde
- X7 : paramètre d'évaporation
- X8 et X9 : constantes de détermination de la capacité d'infiltration (fixes)
- X10 : paramètre de routage de l'écoulement de surface (fixe).

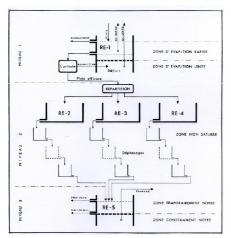
Modèle appliqué au système karstique de la source du Lez par Guilbot (1975) au pas de temps mensuel et journalier. Gdalia (1980) utilise ce modèle sur plusieurs systèmes karstiques méditerranéens et cherche à caractériser les différents systèmes en fonction des paramètres du modèle (pas de relation univoque et simple).

19

De nombreux modèles à réservoirs pour la modélisation Pluie-Débit

extraits de la présentation au SNO KARST – Rouen Mai 2013, H. Jourde

Le modele Bemer (Bezes, 1976)



Modèle appliqué à quatre systèmes karstiques du Midi : Karst de Meyrargues, Fontaine de Vaucluse, Sources de Fesses Madame et Mas de Gentil.

Modèle régi par 22 paramètres (4 par réservoir, 2 pour le déphasage)

K(I) le coefficient de vidange journalière ; H(I) la hauteur

de l'eau dans le réservoir en mm

PL(I) l'entrée journalière en mm ;

EV(I) la sortie journalière en mm due à l'ET ;

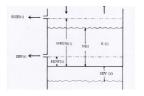
SEV(I) est le déficit;

HINF(I) la hauteur de l'eau dans le réservoir à partir de laquelle on obtient une évacuation par la base ENF(I);

ENF(I) la hauteur de sorti du réservoir

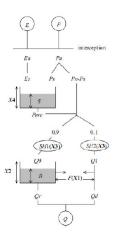
HRUIS(I) la hauteur de l'eau dans le réservoir à partir de

laquelle on obtient un ruissellement ou une évacuation de



De nombreux modèles à réservoirs pour la modélisation Pluie-Débit extraits de la présentation au SNO KARST – Rouen Mai 2013, H. Jourde

Le modèle GR4J (Edijatno et Michel, 1989)



 $P_{S} = \frac{P_{S}}{1 + \frac{P_{S}}{X^{4}}} \left(1 + \frac{S}{X^{4}}\right)^{2}$ $E_{I} = \frac{E_{I} \cdot \frac{S}{X^{4}}}{1 + \frac{E_{I}}{X^{4}}} \left(2 - \frac{S}{X^{4}}\right)^{-\frac{1}{4}}$ $P_{OTC} = S - \left(S^{-4} + \left(\frac{9}{4} \cdot X^{4}\right)^{-\frac{1}{4}}\right)^{-\frac{1}{4}} S = S - P_{OTC}$ $0 \le J \le X3, \qquad SHI(J) = \left(\frac{J}{X^{3}}\right)^{\frac{1}{2}}$ $J > X3, \qquad SHI(J) = \frac{1}{2} \left(\frac{J}{X^{3}}\right)^{\frac{1}{2}}$ $X3 \le J \le X3, \qquad SH2(J) = \frac{1}{2} \left(\frac{J}{X^{3}}\right)^{\frac{1}{2}}$ $X3 \le J \le 2 \cdot X3, \qquad SH2(J) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{J}{X^{3}}\right)^{\frac{1}{2}}$ $J > 2 \cdot X3, \qquad SH2(J) = 1$ $F = X1 \left(\frac{R}{X^{2}}\right)^{\frac{1}{2}}$ Qt = mx(0, Qt + F) R = mx(e, R + Q9 + F) $Qr = R - (R^{-4} + X2^{-4})^{\frac{1}{4}} \qquad R = R - Qr$ Q = Qr + QJ

Les modèles GR ont été développés pour des pas de temps de fonctionnement spécifiques : annuel (GR1A), mensuel (GR2M) et journalier (GR4J). Les différents modèles travaillent donc sur des moyennes temporelles. Le modèle GR3H (horaire) correspond au modèle proposé par Edijatno (1991) au pas de temps journalier.

Modèle régi par 4 paramètres :

Paramètre X1 : paramètre d'échange ;

Paramètre X2 : capacité à un jour du réservoir de routage ;

 $Paramètre \ X3: temps \ de \ base \ de \ l'hydrogramme unitaire \ ;$

Paramètre X4 : capacité du réservoir de production

Modèle appliqué au système karstique des chartreux (Moussu et al., 2011)

24

De nombreux modèles à réservoirs pour la modélisation Pluie-Débit extraits de la présentation au SNO KARST – Rouen Mai 2013, H. Jourde

Le modèle GR2M

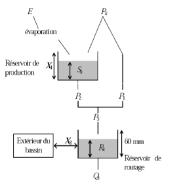


Figure 1 : Schéma de la structure du modèle GR2M

Le modèle régi par 2 paramètres :

- X1 : capacité du réservoir de production (mm)
- X2 : coefficient d'échanges souterrains (-)

Pk est la pluie mensuelle du mois k et E l'évapotranspiration potentielle moyenne pour le même mois calendaire.

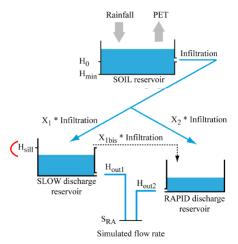
Production

La fonction de production du modèle repose sur un réservoir de suivi d'humidité du sol. Une partie Ps de la pluie Pk va être ajouté au contenu Sk dans le réservoir en début de pas de temps :

$$Ps = \frac{X_1 \left(1 \middle| - \left(\frac{S_k}{X_1} \right)^2 \right) \tanh \left(\frac{P_k}{X_1} \right)}{1 + \frac{S}{X_1} \cdot \tanh \left(\frac{P_k}{X_1} \right)}$$

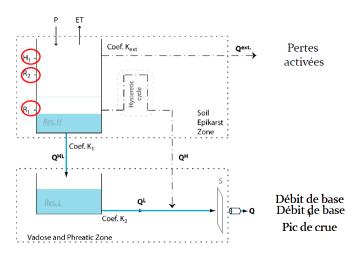
De nombreux modèles à réservoirs pour la modélisation Pluie-Débit extraits de la présentation au SNO KARST – Rouen Mai 2013, H. Jourde

Modèle Vensim (Fleury, 2005)



Modèle appliqué au système karstique de Fontaine de Vaucluse, du Durzon, ...

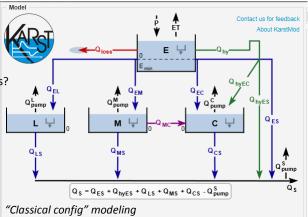
Le Modèle à Hystérésis (Tritz et al., 2011)



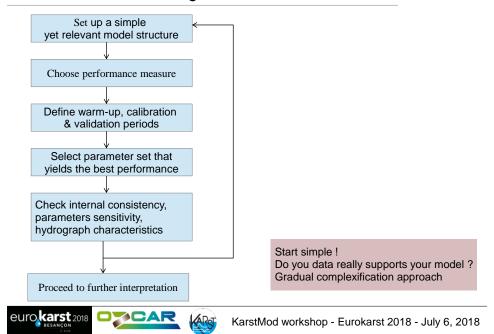
KarstMod : une plateforme modulaire pour la simulation Pluie-Débit adaptée aux écoulements en aquifères karstiques (développée dans le cadre du SNO Karst)



- Loi avec hystérèse?
- 0, 1, 2 or 3 réservoirs inférieurs?
- Pompages?
- Pertes?
- Interconnexion entre les réservoirs?



Modelling workflow



Documents disponibles :

- KarstMod_Eurokarst_2018_tutorial.pdf
- Kartmod_Eurokarst_2018_workflow.pdf
- Guide utilisateur KarstMod
- + exemples (données Fontaine de Vaucluse, Dardennes)