

# Développement d'un module simplifié de gestion de l'eau dans les sites de production de canneberges

Yao Bigah<sup>1</sup>, Alain N. Rousseau<sup>1</sup>, Silvio J. Gumiere<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRS, Québec, Canada ([yao.bigah@ete.inrs.ca](mailto:yao.bigah@ete.inrs.ca)); <sup>2</sup>Université Laval, Québec, Canada



## Contexte de l'étude

L'étude vise à analyser la demande en eau nécessaire à la production de canneberges dans des contextes de climats actuel et futurs en tenant compte des diverses contraintes culturelles:

- **Prévenir le gel des plants et des fruits**
  - Quand la température au sol est < 0°C (30 mm/jr)
- **Prévenir le stress de chaleur**
  - Quand la température au niveau du sol est > 32°C (2 mm/jr)
- **Maintenir un potentiel matriciel optimal dans la zone racinaire**
  - -7.5 kPa <  $\psi$  < -3 kPa [2]
- **Protéger les plants durant la période hivernale** (203 mm)
- **Protéger les plants contre l'invasion des insectes** (10 mm/jr)
- **Récolter les fruits** (406 mm)



Approche méthodologique privilégiée:

- Développement d'un modèle de prédiction de la nappe et du potentiel matriciel dans la zone racinaire des parcelles

## Matériels et détails méthodologiques

### Instrumentation et collecte de données

Données requises durant la période de culture:

- Conditions météorologiques (vent, radiation solaire, température, précipitation, humidité relative) et taux d'irrigation
- Potentiel matriciel sous la zone racinaire (20 cm) et à 40 cm de profondeur
- Niveaux d'eau dans les canaux de drainage/subirrigation

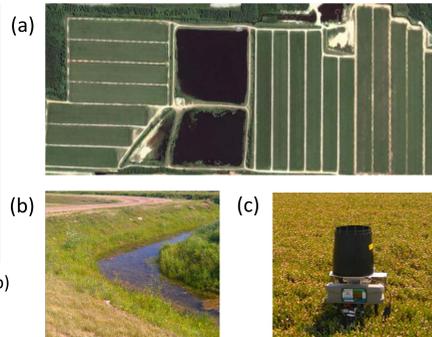


Fig. 1. (a) Ferme de canneberge (image tirée de Google Earth); (b) Niveau d'eau dans le canal de drainage; (c) Pluviomètre et tensiomètre (enfouit)

### Modélisation

L'approche méthodologique est basée sur le développement d'un modèle mathématique capable de simuler les demandes en eau journalières dans une cannebergère sur une longue période (30 ans par exemple). Le modèle est développé à l'échelle d'une ferme et est basée sur le principe de bilan de masse appliqué aux principaux volumes de contrôle (sous-modules):

- Parcelles de canneberge
- Réseaux de drainage et d'irrigation
- Réservoirs (lacs artificiels)

Les sous-modules considèrent les processus hydrologiques:

- Évaporation
- Évapotranspiration
- Stockage et drainage des parcelles
- Emmagasinement dans les canaux et réservoirs
- Percolation sous les parcelles
- Exfiltration des réservoirs et canaux

Équation bilan de masse des volumes de contrôle:

$$\frac{dS_p}{dt} = \int (Input - output) dt$$

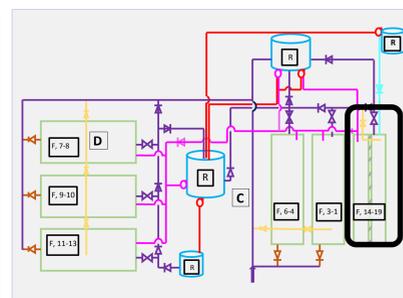


Fig. 2. (a) Système de ferme

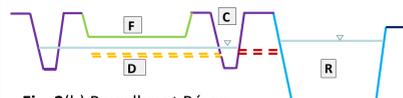


Fig. 2(b) Parcelles et Réseau

#### Légende

- ▭ Parcelles cultivées
- ▭ Réservoirs,
- ⇄ Subirrigation et valve
- ⇄ Conduite d'irrigation et valve (Culture, gel, excès de chaleur)
- ⇄ Valve bidirectionnelle (récolte et recyclage)
- ⇄ Canaux et valve simple
- ⇄ Drainage et valve simple
- Pompes hydrauliques
- ▭ Champs à l'étude (aire= 10.5 ha)

## Sous-module « parcelle »

- L'équation bilan de masse des écoulements saturé et non-saturé est résolue numériquement en supposant un régime permanent de flux évaporatif au travers de la zone vadose pour un horizon de sol uniforme dont le profil d'humidité est représenté par la courbe caractéristique de Brooks et Corey [3].

- Le profil de sol est discrétisé en volumes élémentaires pour lesquels l'équation de continuité est résolue.

- Les conditions frontières du profil de sol sont soumises aux processus hydrologiques décrits dans l'équation de bilan de masse

### Bilan de masse de la parcelle

$$\frac{dS_p}{dt} = \int (P + IRR - Q_{dr} - ET - G_{out}) dt$$

### Flux et Potentiel Matriciel [4]

$$\Phi(z) = \left(\frac{K_s}{\alpha}\right) e^{-\alpha z}$$

$$\psi(z) = \frac{1}{\alpha} \ln\left[\frac{\alpha + \Phi(z)}{K_s}\right]$$

### Conductivité hydraulique [10]

$$K(\psi) = K_s * \exp(\alpha * \psi)$$

### Teneur en eau [2]

$$\theta(z) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{\psi_a}{\psi}\right)^\lambda, \quad 0 > \psi < \psi_a$$

$$\theta(z) = \theta_s, \quad \psi \geq \psi_a$$

### Volume de stockage

$$S_p(t) = \int \theta(z, t) dz$$

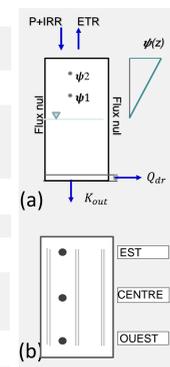


Fig. 3. Modèle de colonne de sol montrant les points de mesures: (a) coupe verticale, (b) coupe horizontale

P=précipitation, IRR=irrigation, ETR=Évapotranspiration réelle,  $Q_{dr}$ =débit de drainage,  $K_{out}$ =percolation,  $\alpha$  = Coefficient de Gardner,  $\theta$ =Teneur en eau,  $K_s$ = Conductivité hydraulique à saturation,  $\theta_r$ =Teneur en eau résiduelle,  $\theta_s$ =Teneur en eau à saturation,  $\psi_a$ = Pression d'entrée d'air,  $\lambda$ =Coefficient représentant la taille et la distribution des pores dans le sol

## Résultats préliminaires et discussion

### Évapotranspiration

- Les sous-routines d'évapotranspiration (ET) sont testées sur la période août – septembre;
- L'ET de référence est calculée en utilisant le logiciel ETo Calculator v3.1 [6] et un coefficient de culture de la canneberge de 0.5 [7]
- Les résultats montrent qu'elles performant bien; que l'on peut utiliser la méthode de Penman-Monteith [7] ou l'approximation de Hargreaves et Samani [8].
- Penman-Monteith a un ratio de 1.04 par rapport à la référence
- Hargreaves et Samani est de l'ordre de 0.99 de la référence

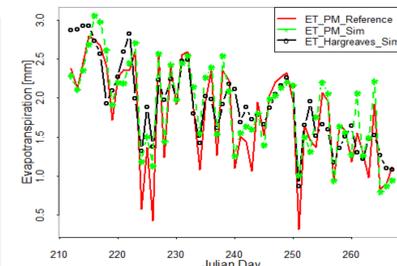


Fig. 4. Évapotranspiration journalière de la canneberge

### Performance du sous-module « parcelle »

- Capacité à simuler la profondeur de la nappe (WTD) et le potentiel matriciel (MAP)
- Selon une comptabilité de pointage et le coefficient de Kling-Gupta, on obtient pour WTD, des valeurs respectives de 78% et 85%
- Selon la méthode de pointage, on obtient pour MAP une valeur de 63%
- Analyse de sensibilité selon Morris (90 expériences)
- WTD est fortement influencée par  $K_{out}$  qui interagit avec les autres paramètres dont les effets sont faibles; alors que  $K_s$  et  $\alpha$  n'ont pas d'effet marqué
- MAP est fortement influencée par  $K_{out}$ ,  $K_s$  et  $\alpha$  avec des effets non linéaires avec ou sans interaction alors que  $\theta_r$  et  $\theta_s$  n'ont pas d'effet marqué
- Le stockage d'eau dans la parcelle est fortement influencée par  $\psi_a$ ,  $\theta_s$  et  $\lambda$  avec des effets non linéaires sans interaction,  $\theta_r$  a une influence moyenne, puis  $K_s$  et  $\alpha$  n'ont pas d'effet marqué.

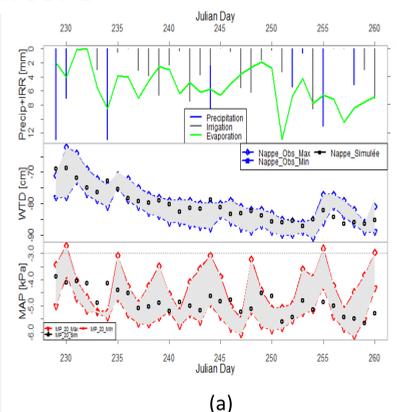


Fig. 5. (a) Variation journalière de WTD, (les points bleus sont les maximum et minimum observés) et du MAP sous les racines à 20cm de la surface (les points rouge sont les maximum et minimum observés). Les points noirs représentent les valeurs simulées. (b) Analyse de sensibilité pour WTD et MAP ( $\mu^*$  représente l'effet d'un paramètre sur le résultat et  $\sigma$  la non linéarité de l'effet avec ou sans interaction avec d'autres paramètres).

## Simulation sur 34 années de production (1981-2014)

- La demande annuelle médiane en apport d'eau est de l'ordre de 1132 ± 350 mm.
- La précipitation moyenne dans la zone étudiée est de 1124 ± 123 mm/an; mais elle varie significativement.
- ET totale annuelle de l'ordre de 287 ± 15 mm avec une moyenne/médiane de 1.84 ± 0.1 mm/jour.
- Demande en irrigation pour la période de croissance est de l'ordre de 465 ± 66 mm/an avec des extrêmes importants.
- Demande de protection contre le gel est de même ordre que les besoins de culture soit environ 666 ± 157 mm/an. La variabilité de cette demande est importante.
- L'évaporation médiane est de 5.29 mm soit 2.75 l'ET de la canneberge.

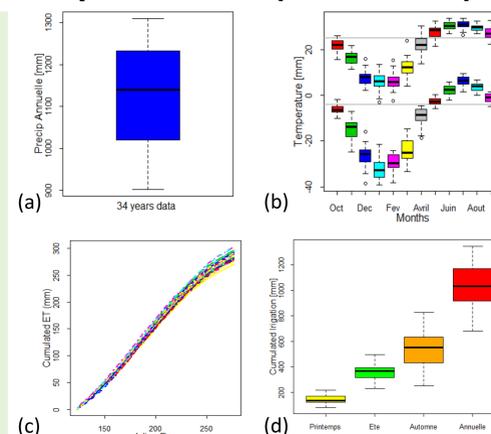


Fig. 6. (a) Distribution de la précipitation annuelle; (b) distributions mensuelles de la température journalière; (c) ET cumulée; et (d) demande saisonnière en eau cumulée.

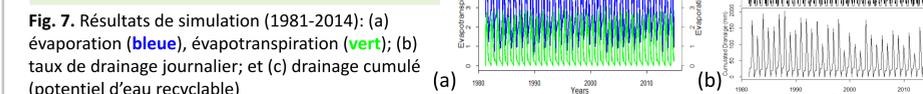


Fig. 7. Résultats de simulation (1981-2014): (a) évaporation (bleue), évapotranspiration (vert); (b) taux de drainage journalier; et (c) drainage cumulé (potentiel d'eau recyclable)

## Conclusion et travaux futurs

- Sur la base des hypothèses de simulation admises, les résultats ont pu reproduire les variables d'intérêt de manière très satisfaisante.
- La condition limite sous les drains s'est révélée très influente sur WTD et MAP.
- Le stockage dans la parcelle est plutôt dépendant des paramètres de la courbe de rétention du sol.
- Les simulations sur une longue période ont montré que:
  - La canneberge a un taux d'évaporation de l'ordre de 2mm/jour
  - La protection contre le gel demande environ 666 ± 157 mm
  - La moyenne annuelle d'apport en eau pour satisfaire la production de la canneberge est de 1132 ± 350 mm sans tenir compte du recyclage.
- L'analyse des effets des changements climatiques constituent les prochaines étapes.

## Remerciements

Les auteurs remercient le Gouvernement du Canada pour le financement du projet à travers son programme RDC du NSERC et de celui du 'Programme Canadien de Bourse de la Francophonie' (PCBF).

## Références

1. Bonin S. (2009). Régie Agroenvironnementale de l'irrigation dans la production des canneberges (Vaccinium Macrocarpon AIT), Mémoire de Maîtrise ès Sciences, Université Laval, Québec, CANADA
2. Brooks R. H., & Corey A. T. (1964). Hydraulic properties of porous media, Hydrology papers n°3, Fort Collins, Colorado, Colorado State University
3. Pelletier V., Gallichand J., Caron J., Jutras S., Marchand S. (2015). Critical irrigation threshold and cranberry yield components, *Agricultural Water Management* 148(2015) 106-112.
4. Yuan F. & Lu Z. (2005). Analytical Solution for vertical flow in unsaturated, rooted soil with variable surface fluxes, *Vadoze Zone Journal*, Vol 4.
5. FAO Penman-Monteith equation (1956). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*, Chapter 2 <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>, retrieved on 11/16.
6. Hattendorf M. J. & Devenport J. R. (1996). Cranberry Evapotranspiration, *HortScience* Vol 31(3) 334- 337
7. The ETo Calculator: Reference Manual v3.2 (2012). <http://www.fao.org/nr/water/eto.html>, retrieved on 11/16
8. Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.*, 1(2), 96–99.
9. Gardner W. R. & Fireman M. (1958). Laboratory studies of evaporation from soil columns in the presence of a water table. *Soil Science* 85: 244-249
10. Guyon, G. (1972). Les formules de l'hydraulique des nappes rabattues par tranchées drainantes. *Bulletin technique d'information*. Ministère de l'agriculture, France. No 271--172: 859-865.