

# Notes sur les *curve numbers*

Romain Lardy

11 décembre 2013

## 1. Discussion sur la méthode

La méthode dite des "*curve numbers*" est une méthode initialement proposée par le service de conservation des ressources naturelle département de l'agriculture étasunien. Cette méthode **empirique** est issue de la modélisation des inondations et a été adoptée par beaucoup de modèles hydrologiques. Les *curve numbers*, permettant d'estimer le **ruissellement**, sont ajustés en fonction de l'état hydrique du sol. Comme le souligne (Garen and Moore, 2005), cette approche s'accompagne d'un certains nombre de problèmes et ambiguïtés. Si la méthode contient normalement deux paramètres : l'*initial abstraction* correspondant à une teneur en eau perdu avant le début du ruissellement (à travers la rétention de surface, l'interception par la canopée, l'évaporation et la transpiration) et le *curve number* ; on se ramène généralement à une équation contenant uniquement le *curve number*. Il existe des tables de valeurs du paramètre en fonction de la nature du sol et de l'utilisation de la surface. Les flux de ruissellement peuvent être alimentés par (Figure 1) :

- les ruissellements hortonien : *i.e.* ceux ayant lieu quand la vitesse de pluie dépasse celle d'infiltration ;
- les ruissellements dus à la saturation du sol ;
- les flux souterrains peu profond, ces flux pouvant réalimenter le ruissellement de surface.

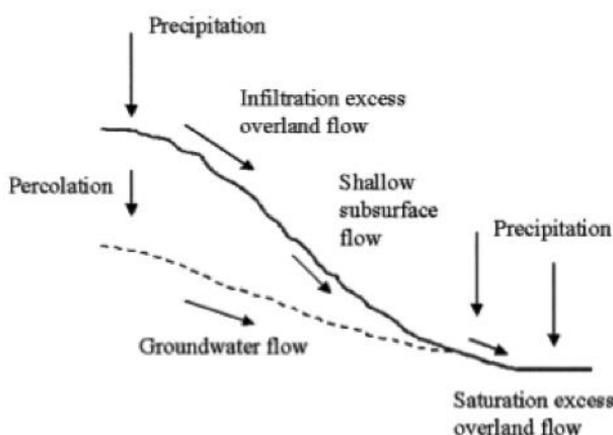


Figure 1. Les différents flux liés au ruissellement (Garen and Moore, 2005)

La méthode des *curve number* est conçue pour estimer le débit du flux du bassin et pas seulement celui venant du ruissellement de surface. De plus en considérant le flux comme le ruissellement de surface, il est alors considéré implicitement comme venant uniquement du ruissellement hortonien, qui aurait lieu sur toute la surface modélisée et qui serait alors le processus

dominant des flux de surfaces (Garen and Moore, 2005). A noter cependant que pour le modèle SWAT, lors du calcul de la valeur du CN en fonction de la teneur en eau du sol, si ce dernier est à saturation alors le coefficient vaut 99 traduisant l'existence du flux par saturation du sol (Neitsch et al., 2009). De plus, une limitation conceptuelle de la méthode est qu'elle n'utilise que la quantité totale de pluie, négligeant les effets de l'intensité et de la durée de la pluie (King et al., 1999). Comme le soulignent (Garen and Moore, 2005), cette méthode a été développée à une époque de limitation de disponibilité des données et de ressources (de stockage et de calcul) et l'on devrait maintenant chercher à les remplacer par des équations mécanistes basées sur la physique et directement liés aux propriétés du sol (e.g. porosité, conductivité hydrologique)

Il a également été montré que la méthode des *curve number* est inappropriée dans un certain nombre de régions (e.g. (Bales and Betson, 1982; Madramootoo and Enright, 1988; Yoo et al., 1993)). Comme certains auteurs l'ont souligné (e.g. (Chen, 1982; Enright, 1988; Perrone and Madramootoo, 1998)) l'origine et le choix de certaines équations sont floues. Il existe parfois de fortes différences entre les valeurs publiées et celles nécessaires à la simulation (Smith and Eggert, 1978). Ces mêmes écarts peuvent conduire à de fortes erreurs de prédiction du ruissellement (Yoo et al., 1993). Tout cela fait que ce paramètre est généralement très sensible dans les modèles (e.g. (Guse et al., 2013)).

## **2. Son implémentation dans SWAT**

Au fil de son développement et son utilisation, le modèle SWAT a acquis une réputation de bonne performance pour la simulation du ruissellement journalier (Gassman et al., 2007).

### **2.1. Intégration de la dynamique journalière**

A la différence de la méthode initiale qui prévoit trois valeurs de coefficient en fonction de l'état hydrique du sol, le modèle SWAT intègre deux modes de calculs journaliers des coefficients (Neitsch et al., 2009) :

- une méthode intégrant la teneur hydrique du sol. La valeur du CN (*Curve Number*) étant de 99 dans le cas d'un sol saturé. De plus, le calcul du CN journalier tenant compte de la teneur en eau actuelle, à saturation et à la capacité au champ intègre indirectement l'effet de la texture sur le CN. En effet, on pourrait montrer que [données non reportées] la gamme de valeur parcourues, par les équations de SWAT, semble correspondre à la gamme des valeurs parcourus par les groupes hydrologique de sol (classe A, B, C, D) de la méthode initiale.
- une méthode basée sur l'évapotranspiration potentielle des plantes, le coefficient de rétention du jour précédent, la pluie et le ruissellement de surface. Cette méthode permet de compenser le problème de surestimation du ruissellement en sols peu profonds. Pour plus de détails voir l'équation 2:1.1.9 p105 du guide SWAT (Neitsch et al., 2009).

## 2.2. Intégration de l'effet pente

La documentation de SWAT signale qu'il est possible d'ajuster les valeurs de CN en fonction de la pente. Or, en testant l'équation (empirique) de (Williams, 1995) pour ajuster les coefficients, on obtient des courbes de pente significativement différentes. Les équations de base de SWAT correspondent à des pentes de 5%. Ainsi, la non-prise en compte d'une pente de 10, 20 ou 30 % induit un écart de 16, 28 et 31 % d'erreur relative. De même une pente plus faible implique des valeurs plus basse de CN (-31% et -10% pour une pente presque nulle (0,1%) et de 3%). Pour rappel, la pente intervient également sur les vitesses d'écoulements des cours d'eau aériens et souterrains.

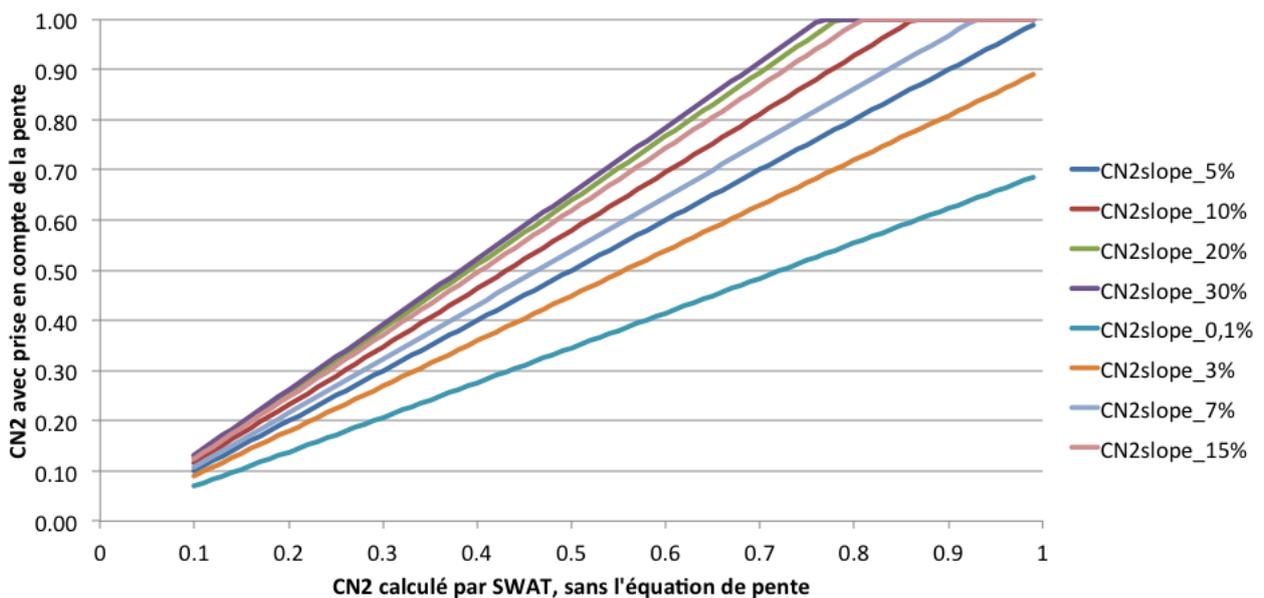


Figure 2. Comparaison des valeurs des courbes de CN avec (ordonnées) ou sans (abscisse) effet de l'équation de pente, en fonction de différents valeurs de pente.

Compte-tenu de la sensibilité apparente de l'équation et du fait que le ruissellement est apparu comme un processus sensible lors de la première analyse de sensibilité, nous avons décidé d'intégrer cette équation dans le modèle afin d'en vérifier la sensibilité. Deux tests ont été réalisés, tout d'abord la comparaison des simulations avec et sans activation de l'équation de pente à l'aide du jeu d'entrées initiales de MAELIA contenant seulement 3 niveaux de classes de pente (0-5% ; 5-20% ; >20% ; Tableau 1) puis avec l'évaluation de l'effet de l'équation de pente avec des entrées contenant une discrétisation plus fine (5 classes de pente : 0-3% ; 3-7% ; 7-15% ; 15-30% ; >30% ; Tableau 2). La valeur utilisée par Maélia est la valeur médiane de la classe (ainsi par exemple, la classe 3-7% représente des pentes de 5%).

	Surface moyenne par HRU (km <sup>2</sup> )	Nombre d'éléments	SURFACE total (km <sup>2</sup> )	% du BAG
0-5%	2.55	503	1281	21%
5-20%	2.90	598	1736	28%
>20%	6.85	452	3098	51%

Tableau 1. Composition des trois classes de pentes des HRU.

	Surface moyenne par HRU (km <sup>2</sup> )	Nombre d'éléments	SURFACE total (km <sup>2</sup> )	% du BAG
0-3%	2,31	422	973	16%
3-7%	1,31	449	587	10%
7-15%	1,88	516	972	16%
15-30%	2,43	478	1161	19%
>30%	7,02	348	2444	40%

Tableau 2. Composition des trois classes de pentes des HRU.

L'ajout de cette équation entraîne une faible augmentation du débit<sup>1</sup> moyen de ~5%, et un écart moyen journalier<sup>2</sup> de 7%. L'écart étant légèrement plus important de l'amont vers l'aval (même si l'écart moyen journalier est très variable selon le site : de 1 à 10%).

Le passage de 3 classes à 5 classes ne change les débits moyens que de 6% (4% en amont et 9% en aval) pour un écart journalier plus fort en amont qu'en aval (15% vs 12%), tandis que l'équation d'effet de la pente sur les CN reste similaire (~5% d'erreur de débit moyen (de 6,5 à 3,4% de l'amont vers l'aval) et un écart journalier de ~8 %).

L'effet de discrétisation des classes de pentes ou de l'ajout de l'équation de l'effet de la pente sur le CN est assez faible sur la qualité de prédiction du modèle (Figure 3, Figure 4, Figure 5), avec le paramétrage initial et comparativement aux débits "renaturalisés" (cf. Eaucea-Model-ImpactHydrologq.pdf pour plus de détails). De plus, comme l'illustre la Figure 6 le modèle reproduit bien la dynamique, même si l'amplitude diffère. Le modèle semble sous-estimer globalement les débits, notamment en début de périodes d'étiage.

<sup>1</sup> On ne considère que les débits sur la période mai à octobre et pour des débits inférieur à 1,5 fois la moyenne (~80% des valeurs)

<sup>2</sup>  $Ecarter = \sum \frac{|\text{débit sans équation de pente} - \text{débit avec équation de pente}|}{\text{débit avec équation de pente}}$

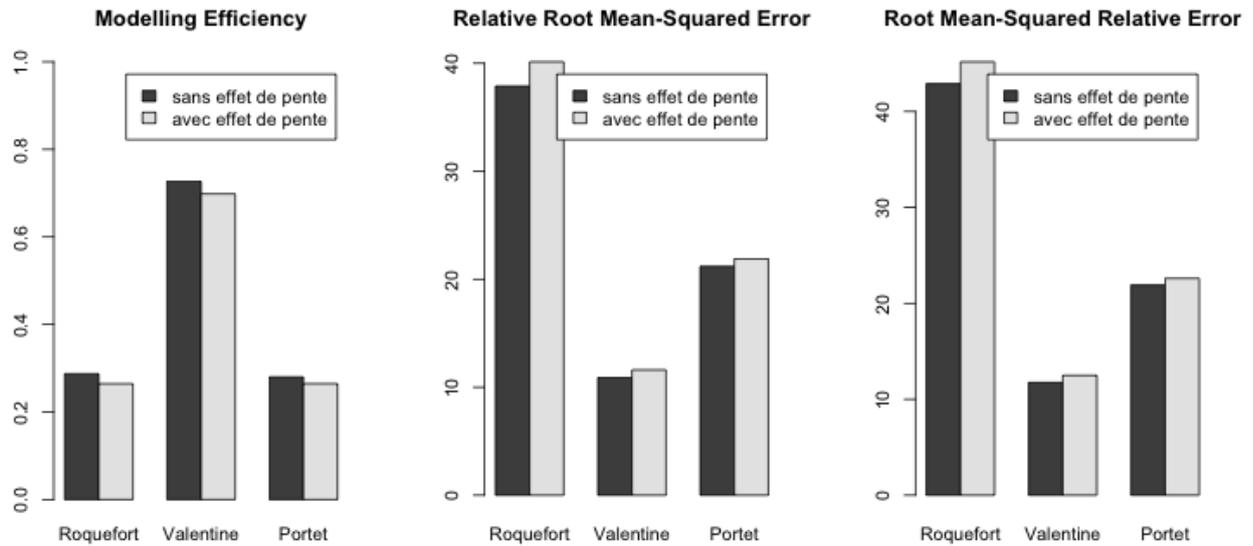


Figure 3. Comparaison, sur 3 sites, des résultats de débits obtenus avec ou sans prise en compte de l'équation de pente, par rapport aux débits re-naturalisés, avec **3 classes de pentes**. Les critères statistiques utilisés sont l'Efficiency de modélisation<sup>3</sup>, la RRMSRE<sup>4</sup> (Relative Root Mean-Squared Error) et la RMSRE<sup>5</sup> (Root Mean-Squared Relative Error). Une transformation logarithmique a été appliquée sur les débits.

<sup>3</sup>  $Efficiency = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{O} - O_i)^2}$ ; où  $P_i$  est la  $i^{ème}$  valeur prédite par MAELIA et  $O_i$  la  $i^{ème}$  valeur donnée par les débits renaturalisés

<sup>4</sup>  $RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \times 100$ ; où  $P_i$  est la  $i^{ème}$  valeur prédite par MAELIA et  $O_i$  la  $i^{ème}$  valeur donnée par les débits renaturalisés

<sup>5</sup>  $RMSRE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - O_i}{O_i}\right)^2}{n}}}{\bar{O}} \times 100$ ; où  $P_i$  est la  $i^{ème}$  valeur prédite par MAELIA et  $O_i$  la  $i^{ème}$  valeur donnée par les débits renaturalisés

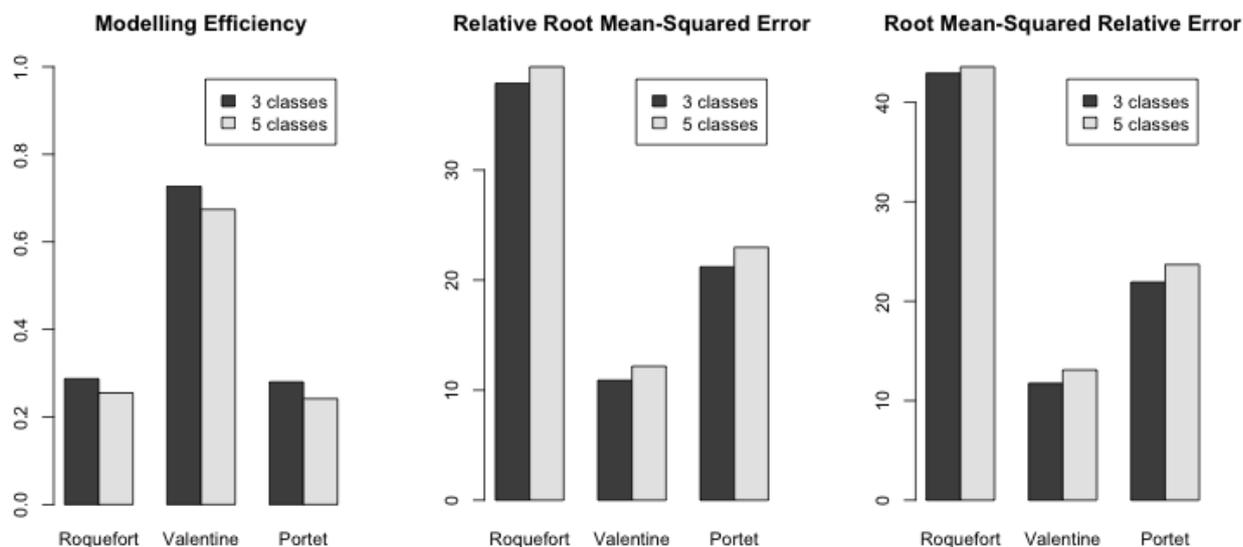


Figure 4. Comparaison, sur 3 sites, des résultats de débits obtenus, par rapport aux débits re-naturalisés, avec 3 ou 5 classes de pentes. Une transformation logarithmique a été appliquée sur les débits.

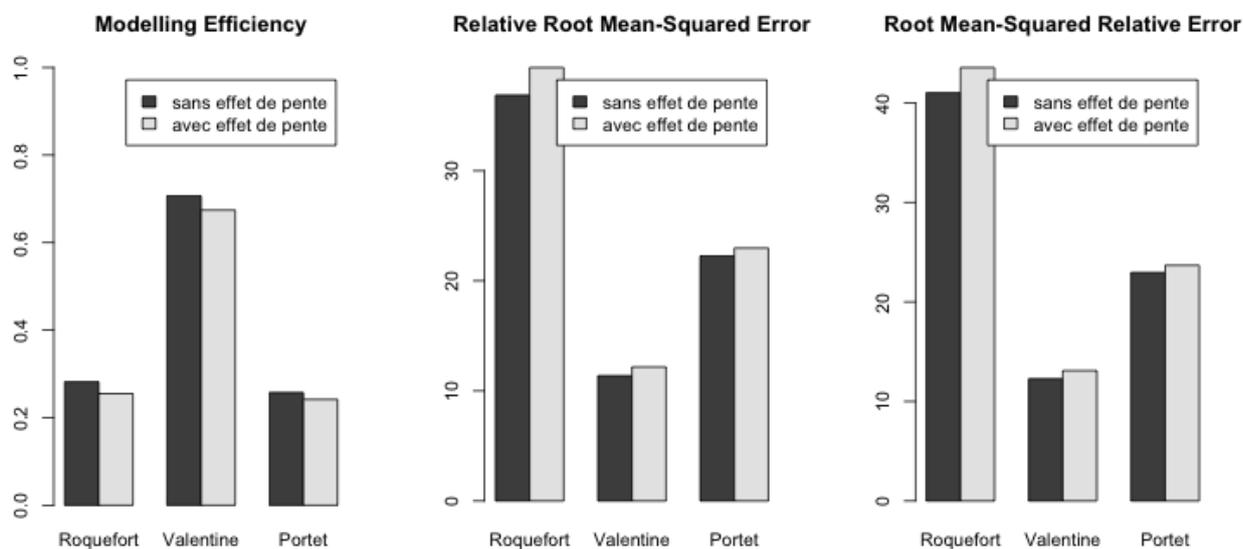


Figure 5. Comparaison, sur 3 sites, des résultats de débits obtenus avec ou sans prise en compte de l'équation de pente, par rapport aux débits re-naturalisés, avec 5 classes de pentes. Une transformation logarithmique a été appliquée sur les débits.

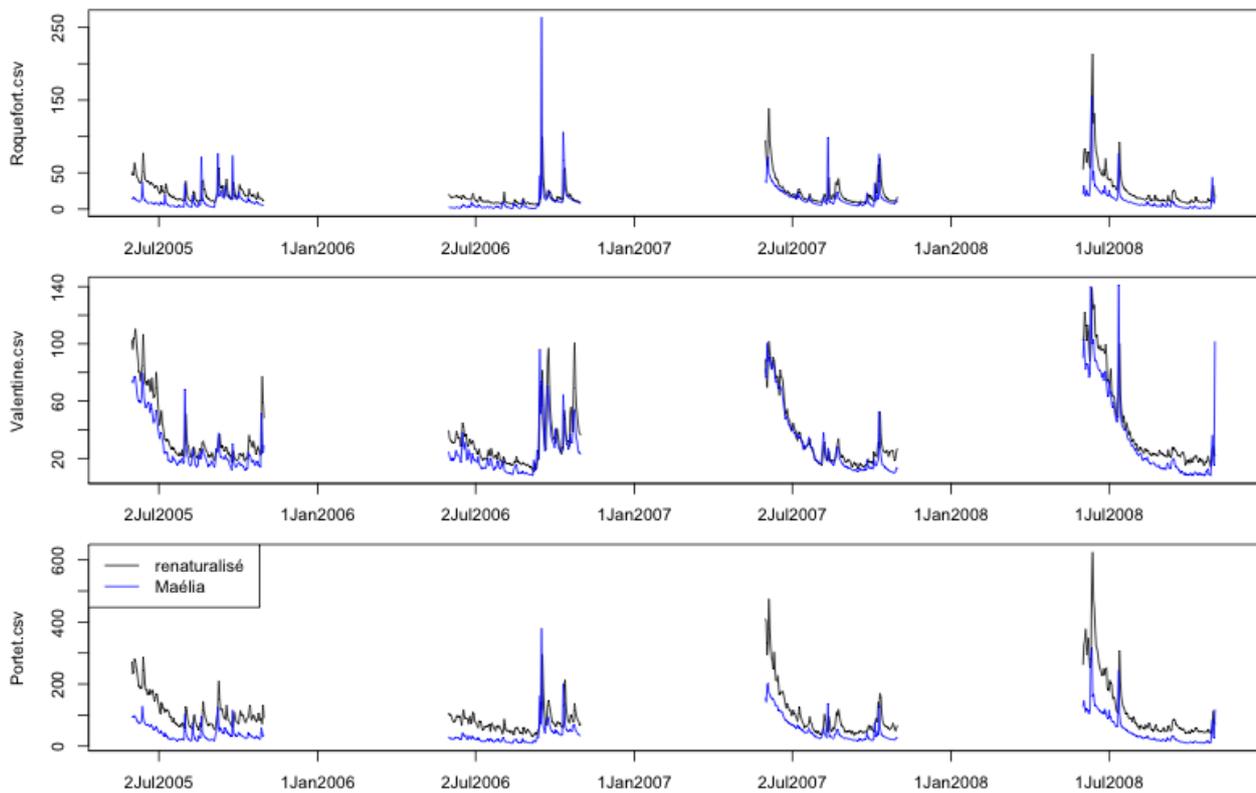


Figure 6. Comparaison pendant la période d'été des débits simulés par Maélia et obtenus par renaturalisation.

### 2.3. Effet du gel sur le ruissellement

Le modèle SWAT propose également d'ajuster le calcul du ruissellement sur sol gelé. Son effet pourrait s'avérer très important en hiver sur sol sec. Par exemple, pour un sol dont la valeur minimale du CN est de 50, en cas de sol gelé le CN obtenu varie de -60% (sol très sec) à une différence inférieure à 1% en sol très humide. Cependant, dans la zone Maélia, l'occurrence de ruissellement sur sol gelé est plutôt rare et ce dernier ayant lieu en hiver, il se retrouve associé à des sols humides et il n'a donc probablement qu'une influence mineure sur les débits en période d'été.

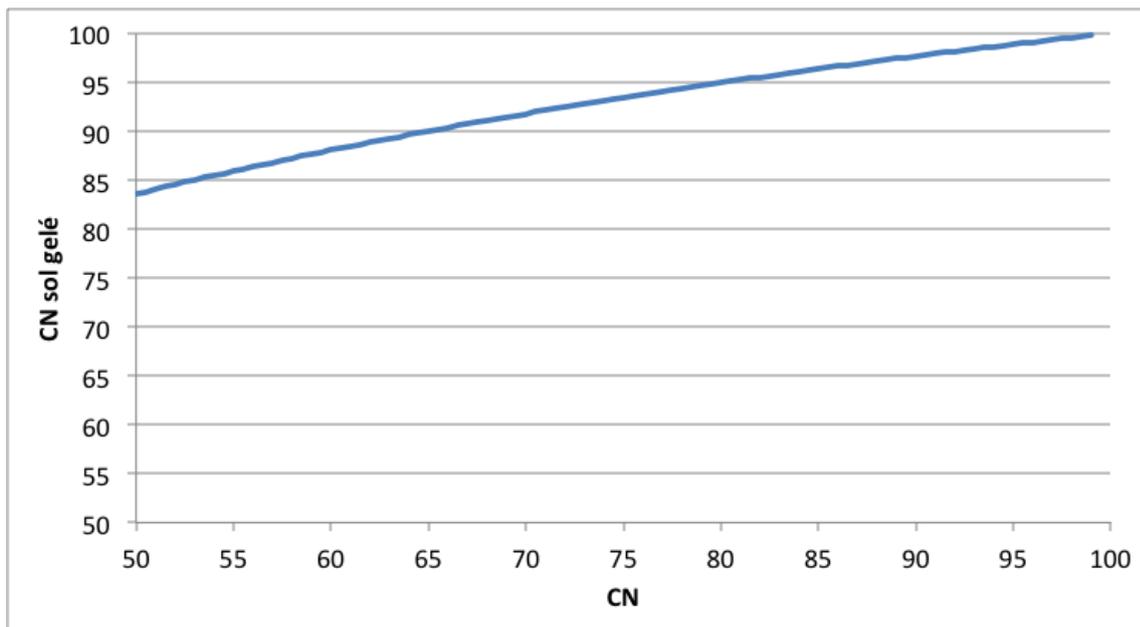


Figure 7. Comparaison de la valeur de CN obtenue avec (ordonnées) ou sans (abscisses) ajout de l'équation d'effet de gel sur le ruissellement.

## Références

- Bales, J., Betson, R., 1982. The curve number as a hydrologic index. *Rainfall-Runoff Relationships Water Resour. Publ. Highl. Ranch CO* 371–386.
- Chen, C., 1982. An evaluation of the mathematics and physical significance of the soil conservation service curve number procedure for estimating runoff volume, in: *Proc., Int. Symp. on Rainfall-Runoff Modeling, Water Resources Publ., Littleton, Colo.* pp. 387–418.
- Enright, P., 1988. Simulation of rainfall excess on flat rural watersheds in Quebec. McGill university.
- Garen, D.C., Moore, D.S., 2005. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 41, 377–388.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University.
- Guse, B., Reusser, D.E., Fohrer, N., 2013. How to improve the representation of hydrological processes in SWAT for a lowland catchment - temporal analysis of parameter sensitivity and model performance. *Hydrol. Process.*
- King, K.W., Arnold, J.G., Bingner, R.L., 1999. Comparison of Green-Ampt and curve number methods on Goodwin Creek watershed using SWAT. *Trans. ASAE* 42, 919–925.
- Madramootoo, C.A., Enright, P., 1988. Applicability of the Soil Conservation Service equations for runoff prediction in the Ottawa – St. Lawrence lowlands. *Can. J. Civ. Eng.* 15, 759–765.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., 2009. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009 (Technical Report No. 406). Texas Water Resources Institute, Texas.
- Perrone, J., Madramootoo, C.A., 1998. Improved curve number selection for runoff prediction. *Can. J. Civ. Eng.* 25, 728–734.
- Smith, R.E., Eggert, K.G., 1978. Infiltration formula based on SCS curve number. *J. Irrig. Drain. Div.* 104, 462–464.

- Williams, J.R., 1995. Chapter 25: The EPIC model., in: Singh, P. (Ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publication, Highlands Ranch, CO, pp. 909–1000.
- Yoo, K.H., Yoon, K.S., Soileau, J.M., 1993. Runoff curve numbers determined by three methods under conventional and conservation tillages. *Trans. ASAE* v. 36(1) p. 57-63.