

**Citerne d'eau de pluie et effet sur le débit à l'exutoire du bassin versant de l'Orneau
dans la région de Gembloux (Belgique)**

Xanthoulis D. *, Debauche O., Fonder N., Degré A.

Hydrologie et Hydraulique agricole, Gembloux Agro-Bio Tech – Université de
Liège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux tel : +32(0)81622186 fax :
+32(0)81622195 ; d.xanthoulis@ucl.ac.be

Résumé

Cette étude participe à l'établissement d'un bilan quantitatif de l'utilisation domestique des eaux de pluie en Région wallonne. Elle vise le dimensionnement optimal du volume des citernes de stockage, la faisabilité de techniques d'infiltration dans le sol des eaux excédentaires et l'évaluation de l'impact des citernes sur la diminution du débit de pointe dans un bassin versant rural test de 9 km² situé en Région wallonne, compte tenu de la chronologie des événements pluvieux.

Les paramètres pris en considération sont la superficie des toitures, le nombre de personnes dans l'habitation, la consommation moyenne journalière d'eau de pluie et la pluviométrie locale. Afin de dimensionner la structure d'infiltration associée à la citerne, le volume d'eau excédentaire en provenance de la citerne est évalué. La structure d'infiltration est ensuite dimensionnée en fonction des caractéristiques d'infiltration des sols. Nous supposons que 75 litres sur les 115 consommés quotidiennement par chaque habitant proviennent de la citerne et le reste, soit 40 litres, sont prélevés du réseau d'eau potable. Les calculs sont effectués pour des toitures de 100, 135, 170 et 200 m², des consommations d'eau comprises entre 150 et 1150 L.jour⁻¹.habitation⁻¹ et des citernes de 5, 10 et 20 m³.

Il apparaît que si les stockages privés d'eau de pluie correctement dimensionnés permettent une utilisation opportune de l'eau au sein des ménages, leur effet sur l'écêtement des débits est en revanche minime, vu la faible importance relative de surface de récolte (1,3% de la superficie du bassin versant).

Rainwater storage and effect on flow rate at watershed outflow.

Xanthoulis D. *, Debauche O., Fonder N., Degré A.

Hydrologie et Hydraulique agricole, Gembloux Agro-Bio Tech – Université de Liège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux tel : +32(0)81622186 fax : +32(0)81622195 ; d.xanthoulis@ucl.ac.be

Abstract

This study participates to the quantitative balance of rain water domestic use. It aims towards an optimal design of rain barrels volume, the feasibility of soil infiltration techniques with excess of water and the impact assessment of rain barrel on the decrease of peak flow in a pilot rural watershed of 9 km², considering the chronology of precipitation events.

The parameters that are considered are the roofs area, the number of inhabitants in the house, the average daily rainfall water consumption, and the local pluviometry. In order to design the infiltration structure associated with the rain barrel, the volume of rainfall excess from the rain barrel needs to be evaluated. Afterwards, the infiltration structure may be dimensioned according to the soil infiltration characteristics. We assume that 75 litres, out of the 115 litres daily consumed by each inhabitant, are coming from the rain barrel and the remainder (40 litres) is drawn from the drinking water distribution network. Calculations are carried out for roofs of 100, 135, 170 and 200 m², for a consumption of water ranging between 150 and 1150 L.day⁻¹.house⁻¹ and for rain barrels of 5, 10 and 20 m³.

It appears that if correctly designed private rain barrel allow an opportune water use in households, the effect on flood reduction is, however, limited considering the relative low importance of the collecting surface (1.3% of the watershed surface).

Mots clés : eau de pluie, citerne, infiltration, écêtement de crue, techniques alternatives.

Key words: rainwater, rain barrel, infiltration, levelling-off of peak flow, alternatives technologies.

1. Introduction

La récolte de l'eau de pluie est une pratique qui jouit d'une popularité croissante tant pour l'alimentation humaine (Hermann et Hasse, 1997) que pour un usage agricole (Schiettecatte *et al.*, 2005) ou domestique (Hermann et Schmida, 1999 ; Dixon *et al.*, 1999). Dans ce dernier cas, l'objectif est à la fois environnemental et économique (Chilton *et al.*, 2000).

En Région wallonne, selon le recensement de 2001, seul 30% des logements wallons existants seraient équipés d'une citerne d'eau de pluie. L'utilisation de l'eau de pluie en substitut à l'eau de distribution est estimée à environ 11 millions de m³ par an, ce qui représente environ 6% de la consommation d'eau totale des ménages (Prevedello et Brahy, 2007). Bien que l'utilisation de l'eau de pluie dans le contexte wallon soit une pratique croissante, elle est controversée. Certains préconisent son utilisation dans le contexte du développement durable en mettant en avant les bénéfices environnementaux (réduction de la pression quantitative exercée sur les ressources en eau) et économiques. D'autres soulèvent les effets inéquitables de cette pratique puisque si les particuliers possédant une citerne voient un avantage financier, le coût de l'assainissement, qui est inclus dans le prix de l'eau de distribution, est reporté sur les particuliers ne possédant pas de citerne.

Dans le Rapport sur l'état de l'environnement wallon (Région Wallonne, 2007), plusieurs pistes ont été identifiées pour approfondir les impacts réels de l'utilisation de l'eau de pluie aux niveaux environnemental, social et de la santé publique. Au stade actuel de la réflexion, voici quelques éléments qui méritent de faire l'objet de recherches plus approfondies:

- ◇ la taille moyenne et le nombre de citernes existantes effectivement utilisées ;
- ◇ les usages pour lesquels l'eau de pluie est employée ou pourrait l'être ;
- ◇ les charges polluantes véhiculées par les eaux de pluie usées et qui ne sont pas soumises au coût-vérité à l'assainissement ;
- ◇ l'impact environnemental global (écobilan) de l'utilisation d'eau de pluie ;
- ◇ l'impact de la présence de citernes sur l'écroulement des crues
- ◇ ...

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude.

L'utilisation domestique d'eau de pluie dépend de la superficie des toitures, du nombre de personnes dans l'habitation, de la consommation moyenne journalière d'eau de pluie, de la pluviométrie locale et du volume de stockage disponible (Lee *et al.*, 2000). La présente étude porte sur la réalisation d'un bilan quantitatif de l'utilisation domestique des eaux de pluie au sein d'un petit bassin versant de 9 km² situé en Wallonie, dans la région de Gembloux et la faisabilité de techniques d'infiltration de l'eau excédentaire dans le sol. Afin de dimensionner la structure d'infiltration associée à la citerne, le volume d'eau excédentaire en provenance de la citerne doit être évalué. La structure d'infiltration peut ensuite être dimensionnée en fonction des caractéristiques d'infiltration des sols. Les questions posées sont :

- Combien de jours par an la citerne est-elle vide ?
- Combien de fois par an la citerne déborde-elle ?
- Lors d'un débordement, quel est l'excédent d'eau maximum à infiltrer en provenance de la citerne avec une occurrence de un événement sur 20 ans ? Dans ce cas, nous supposons que ce débordement se produit sur un jour.

D'autre part, l'effet de l'utilisation d'eau de pluie au sein d'un bassin versant n'a été étudié que dans les zones arides où elle peut provoquer un déficit majeur en eau à l'aval (Ngigi, 2003). En région tempérée, ces retenues d'eau qui ruisselle peuvent contribuer à la protection contre les inondations. Une évaluation de l'effet des citernes sur les inondations manque encore, il s'agit du second objectif de la présente étude.

2. Matériel et méthodes

Les paramètres pris en considération sont la superficie des toitures, le nombre d'habitants, la consommation moyenne journalière d'eau de pluie et la pluviométrie locale. Les calculs sont effectués pour des toitures de 100, 135, 170 et 200 m² (supposition réaliste d'une superficie de toiture comprise entre 100 et 200 m²) et des consommations d'eau comprises entre 150 et 1125 L.jour⁻¹.habitation⁻¹ (supposition que le nombre d'habitants par habitation fluctue de 2 pour des maisons unifamiliale à 15 pour des maisons à appartements multiples). Le volume des citernes de la zone dépasse rarement les 10m³ mais compte tenu de l'utilité de connaître la fonctionnement du couple 'toiture-citerne' dans un contexte de protection contre les inondations, des citernes de volume utile de 5, 10 et 20 m³ sont étudiées.

La figure 1 illustre l'installation de la citerne associée à un système d'infiltration.

2.1. Données pluviométriques

A titre d'exemple, la région de Gembloux, au centre de la Belgique, est choisie. Les 30 dernières années de pluies journalières observées à la station météorologique d'Ernage (Gembloux) ont été utilisées pour la simulation. La valeur moyenne annuelle des précipitations sur les 30 ans, de 1973 à 2002, est de 834 mm (CWRA).

2.2. Consommation journalière d'eau en provenance de la citerne

La consommation journalière totale d'eau de distribution à usage domestique en Région wallonne est reprise au tableau 1 (Belgaqua). Elle atteint 115 L.j⁻¹.hab⁻¹ dont 73 litres pourraient être d'origine pluviale ; lessive (15 L.j⁻¹), nettoyage (10 L.j⁻¹), vaisselle (8 L.j⁻¹), WC à chasse (40 L.j⁻¹). Cette hypothèse a été retenue pour la suite des calculs. Dans la suite de notre analyse, nous retiendrons la valeur de 75 L.j⁻¹.hab⁻¹. Le solde, soit 40 litres pour l'hygiène et l'eau de boisson, sont prélevés du réseau de distribution..

2.3. Bilan hydrologique de l'utilisation de citernes

Sur base des pluies observées de 1973 à 2002, les volumes d'eau pouvant être stockés et ceux qui doivent être infiltrés dans le sol suite à un trop-plein sont estimés au pas de temps journalier. Nous considérons la restitution des pluies par la toiture égale à 100% (Lee *et al.*, 2000).

La démarche est la suivante :

- 1) Le stock de début d'année est celui observé le 31 décembre de l'année précédente. Pour 1973, première année de simulation on considère que la citerne est remplie au 1^{er} janvier.
- 2) Si le stock d'eau au jour (J-1) augmenté de la pluie du jour J et diminué de la consommation du jour J est >0, alors le stock prend cette valeur. Sinon le stock est nul.

- 3) Si le bilan théorique du jour J est plus grand que le volume de la citerne, alors il y a déversement hors de la citerne.
- 4) Le nombre de déversements et le volume déversé sont déterminés par simulation.
- 5) Le nombre de jours où la citerne est vide est déterminé par simulation.

Les simulations sont effectuées pour des toitures de 100, 135, 170 et 200 m² et des citernes de 5, 10 et 20 m³. La composition du ménage moyen dans la région est de 2,5 personnes. Dans la simulation, nous prenons comme limite inférieure de la fourchette de consommation d'eau le ménage moyen arrondi à l'unité inférieure, soit 2 personnes et comme limite supérieure 15 personnes correspondant, à priori, aux ménages collectifs.

L'analyse fréquentielle d'une longue série de valeurs extrêmes permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Un modèle fréquentiel très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique de Gumbel. Cette distribution décrit la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Le nombre de jours « citerne vide » est évalué pour chacune des 30 années selon les hypothèses de consommation, de superficie de toiture et de volume de citerne précitées.

Ce résultat est porté en graphique semi-logarithmique et un ajustement de la distribution statistique de Gumbel est réalisé afin d'estimer le nombre de jours « citerne vide » correspondant à une période de retour choisie égale à 20 ans (Chow, 1964). Autrement dit, le nombre de jours « citerne vide » calculé pour une période de retour de 20 ans correspond au nombre maximum de jours qui chaque année aura une occurrence de non dépassement de 19/20 ou une probabilité de non dépassement de 95%.

Le volume d'eau de pluie qui déborde de la citerne constitue le volume d'eau déversé à infiltrer dans le sol ou à évacuer à l'exutoire lorsqu'un système d'évacuation existe (égout, canal, ruisseau...). Pour chaque simulation, la distribution des excédents maximum d'eau déversée de la citerne est également analysée à l'aide de la statistique de Gumbel. Cette analyse permet de définir l'excédent atteint ou dépassé ayant une occurrence de non dépassement de 19/20 ou une probabilité de non dépassement de 95%.

2.4. Effet des citernes sur le débit à l'exutoire du bassin versant

Le bassin pilote qui a servi à notre étude est le sous-bassin versant de l'Ourchet à Bossière. Le bassin versant d'une superficie de 887 ha a été découpé en six sous bassins versants comme illustré à la Figure 2 pour tester différentes densités d'habitat et différentes tailles de bassins versants. Dans chaque sous bassin (figure 3), le PLI (Plan de Localisation Informatique¹) a été utilisé pour définir les superficies de toiture projetées sur un plan horizontal.

Les hydrogrammes résultants d'une pluie de projet de période de retour 20 ans de chacun des sous-bassins sont calculés à l'aide de la méthode S.C.S (Soil Conservation Service) (Chow, 1964). Cette méthode d'évaluation hydrologique est largement utilisée et tend à s'imposer comme une référence en la matière (Ways, 2001). Les hydrogrammes résultants par sous-bassin sont répartis spatialement et chronologiquement suivant le réseau d'axes ramifié, constitué par les cours d'eau.

¹ Couche cartographique constituée des parcelles vectorisées issues des planches cadastrales repérées sur les cartes à l'échelle 1/10 000 de l'institut géographique national de Belgique.

La méthode S.C.S. se compose de deux parties : une fonction de production qui permet de déterminer la part de pluie brute qui participe au ruissellement direct sur base d'un paramètre empirique de rétention *S*, lui-même relié à un paramètre « CN » fonction des conditions d'humidité du sol, du type de sol et de son occupation. La valeur 100 assignée au paramètre CN pour les surfaces imperméables, y compris les toitures, signifie que la totalité de la pluie ruisselle.

La lame d'eau ainsi produite pour la pluie de projet est alors répartie temporellement par la fonction de transfert sur base d'un hydrogramme unitaire « instantané » triangulaire relié au temps de concentration des versants et du cours d'eau du sous-bassin concerné. Nous renvoyons à l'article de Sine L. (1968) pour une meilleure compréhension de la démarche utilisée.

Les paramètres nécessaires à la simulation ont été évalués pour chacun des sous-bassins versants à partir des cartes de CN, corrigé en fonction des pentes reprises dans la base hydrologique CARHY en résolution 30 m par 30 m (Laime *et al.*, 1995).

Les simulations ont été envisagées suivant deux cas de figure :

- Le premier cas envisage le ruissellement suivant le CN en condition moyenne d'humidité du sol et absence de citerne.
- Le second cas considère pour toutes les surfaces d'habitats extraits du PLI un CN égal à 0 pour tenir compte de la présence de citerne. Le volume d'eau retenu par la citerne est ainsi soustrait du ruissellement. Un CN réduit est alors calculé et utilisé pour les simulations. On considère dans ce cas, par hypothèse :
 1. que toutes les citernes sont vides au début de l'averse,
 2. que le volume de citernes est suffisant pour emmagasiner la totalité du ruissellement en provenance des toitures.
 3. que la consommation journalière d'eau de pluie du ménage est constante au cours de l'année et

L'hypothèse 1 est respectée pour autant qu'un système d'évacuation permette la vidange de la citerne. Le débit de vidange devra être suffisamment faible pour freiner les écoulements vers l'aval (rôle tampon de la citerne) et suffisamment rapide pour vider la citerne avant l'averse suivante. En première approche, on peut considérer la vidange du volume tampon de la citerne en une journée.

L'hypothèse 2 nécessite l'installation d'une citerne dans chaque habitation de volume suffisant pour stocker l'eau de l'averse. Au volume de citerne pour les utilisations domestiques (volume utile), il doit être ajouté un volume tampon calculé pour emmagasiner le surplus de l'averse destiné à l'infiltration (tableau 4).

3. Résultats et discussion

3.1. Bilan de l'utilisation des eaux de pluie

La figure 4 est un extrait de simulation réalisée sur les données pluviométriques de l'année 2001 avec une toiture de 135 m², une consommation moyenne journalière d'eau en provenance de la citerne de 300 litres (soit la consommation de 4 personnes) et une citerne de 5 m³. La figure 5 reprend la même simulation que la figure 4 mais pour une citerne de 10 m³.

Ces graphiques montrent le bilan global calculé comme résultante du volume dans la citerne augmenté des pluies et diminué de la consommation d'eau en provenance de la citerne, le volume d'eau dans la citerne et le déversement du surplus. Le remplacement d'une citerne de 5 m³ (figure 4) par une citerne de 10 m³ (figure 5) diminue le nombre de déversements hors de la citerne ainsi que la consommation d'eau en provenance du réseau qui passe de 68,3 à 61,7 m³ (voir tableau 2a).

3.2. Comparaison année sèche – année humide

Les tableaux 2a et 2b présentent les résultats issus d'une analyse plus fine en comparant, dans la même condition de consommation (300 L.j⁻¹ en provenance de la citerne, soit 4 personnes), deux superficies de toitures (135 et 200 m²) pendant une année humide (2001) et une année sèche (1976).

Pour l'exemple donné d'une toiture de 135 m² (tableau 2a), que ce soit en année sèche ou humide, l'augmentation du volume de la citerne entraîne :

- une augmentation de la quantité d'eau disponible pour la consommation,
- une diminution du nombre de jours « citerne vide », du volume déversé et du nombre de déversements.

Avec une toiture de 200 m² (tableau 2b) récoltant davantage d'eau, l'augmentation du volume de la citerne n'a pas grande influence sur la consommation en eau en année humide. Par contre en année sèche l'influence est plus marquée. En année sèche, une augmentation de la superficie récoltante de 135 m² à 200 m² a un effet important sur la disponibilité en eau en provenance de la citerne. Dans ce cas, le pourcentage d'eau consommée en provenance de la citerne augmente de 11% (46%-35%) à 14% (56%-42%) lorsque le volume de la citerne passe de 5 m³ à 20 m³. En année sèche, une augmentation du volume de la citerne entraîne également une plus grande disponibilité en eau de pluie. Par exemple, pour une superficie récoltante de 135 m², la disponibilité d'eau de citerne augmente de 7% (42%-35%) lorsque la citerne passe de 5 m³ à 20 m³.

En année humide, la consommation d'eau en provenance de la citerne et donc le pourcentage de consommation en provenance de la citerne, restent pratiquement identiques (à quelques pourcents près) quelque soit le volume de la citerne et la superficie de la toiture (tableau 2a et 2b). En effet, en année humide, les pluies fréquentes permettent une réalimentation régulière de la citerne et le volume de cette dernière a peu d'impact sur le pourcentage de consommation d'eau de pluie.

3.3. Nombre de jours « citerne vide »

La garantie de l'alimentation à partir de la citerne est analysée au travers du nombre de jours « citerne vide » calculé (figure 6). Lorsque la superficie récoltante est faible ; par exemple 100 m² dans les conditions météorologiques étudiées (données pluviométriques d'Ernage de 1973 à 2002), un volume de citerne plus grand n'augmente pas notablement la sécurité de l'alimentation. Le nombre de jours « citerne vide » diminue lorsque la superficie récoltante passe à 200 m². En d'autres termes, une faible superficie de toiture (100 m²) procure une sécurité d'alimentation faible par rapport à une superficie de toiture plus grande et cette sécurité n'augmente pas notablement lorsque le volume de la citerne augmente. Lorsque la superficie de toiture est grande (200 m²), la sécurité d'alimentation augmente avec le volume de la citerne, particulièrement en année sèche lorsque la pluviométrie est réduite.

Chaque point des courbes est calculé via l'utilisation de la distribution du nombre de jours « citerne vide » analysé à l'aide de la statistique de Gumbel dont un exemple est repris à la figure 7. Cette figure donne un ajustement linéaire de type Gumbel au paramètre nombre de jours « citerne vide » correspondant à une superficie de toiture de 200 m², une consommation journalière de 300 L.j⁻¹ et une citerne de 5 m³. L'interpolation permet de définir la valeur du nombre de jour « citerne vide » correspondant à une période de retour de 20 ans..

A la lecture de la figure 6, il apparaît qu'au delà d'une "consommation limite", le nombre de jours « citerne vide » est indépendant du volume de la citerne. Cette consommation limite est de 250 litres par jour pour une toiture de 100 m², elle passe à 400 L.j⁻¹ pour une toiture de 135 m², à 600 L.j⁻¹ pour une toiture de 170 m² et à 800 L.j⁻¹ pour une toiture de 200 m².

Rappelons que les calculs sont établis sur base d'une consommation moyenne journalière constante sur l'année ; dans le cadre d'une étude affinée il serait utile de considérer éventuellement une consommation variable suivant les saisons (arrosage de jardins par exemple).

La figure 8 permet de mieux visualiser, pour un même volume de citerne, l'effet de la superficie récoltante sur la sécurité de l'alimentation exprimée par le nombre de jours « citerne vide ». Pour une même consommation, le nombre de jours « citerne vide » diminue lorsque la superficie de la toiture augmente.

3.4. Déversement des excédents

3.4.1. Volume d'eau de déversement

La figure 9 illustre un exemple de calcul donnant un flux d'excédent de plus de 12 m³.j⁻¹ pour la période de retour de 20 ans.

Le volume journalier maximum annuel déversé est calculé pour toute la gamme des volumes de citerne, des surfaces de toiture et des consommations d'eau de pluie. Les résultats des calculs sont présentés à la figure 10 pour les toitures de 100 et 200 m². Les excédents sont déversés vers un exutoire (canalisation, ruisseau, fossé,...) ou infiltrés lorsqu'il n'existe aucun exutoire.

Ces figures montrent ce qui peut paraître une évidence : le volume journalier des excédents se déversant hors de la citerne croît lorsque la superficie des toitures croît et lorsque le volume des citernes et la consommation en eau en provenance de la citerne décroissent. En d'autres termes, le volume des excédents sera d'autant plus important que la toiture est de grande superficie et la consommation peu élevée.

Lorsque l'apport en eau est important (exemple d'une toiture de 200 m²), le volume de la citerne intervient peu sur le volume des excédents déversés tant que la consommation reste inférieure à 450 L.j⁻¹. Pour des consommations supérieures, l'impact du volume de la citerne sur le volume des excédents déversés est important en particulier lorsque le volume de la citerne passe de 20 m³ à 10 m³ (décrochage important des deux courbes). Avec une toiture de 100 m² et un excédent maximum limité à, par exemple 5 m³.j⁻¹, la consommation d'eau devra être de 350 L.j⁻¹, 250 L.j⁻¹ et 200 L.j⁻¹ pour respectivement des citernes de 5, 10 et 20 m³ (figure 10).

3.4.1. Système d'infiltration

Lorsqu'il n'est pas possible de rejeter l'eau excédentaire vers un exutoire, la connaissance de la vitesse d'infiltration du sol permet de dimensionner aisément l'équipement d'infiltration nécessaire. Par exemple, pour une surface de toiture de 100 m², l'utilisation d'une citerne de 10 m³ associée à une consommation d'eau de 300 L.j⁻¹ pourra nécessiter l'infiltration d'un volume de 3 m³ par jour (figure 10). Rappelons qu'à ce volume est associée une probabilité d'occurrence de 5% c'est-à-dire que cet excédent sera dépassé en moyenne un jour tous les 20 ans. Si, dans l'exemple pris ci avant, la citerne de 10 m³ est remplacée par une citerne de 20 m³, il n'y a plus d'excédent et dans ce cas, il ne sera pas nécessaire d'installer un système d'infiltration. Le choix entre les deux solutions dépendra notamment, des coûts inhérents à chaque système car d'autres facteurs interviennent comme la possibilité physique d'installer une grande citerne (petite maison et petit jardin, maison de ville, impossibilité d'enterrer la citerne (roche), ...).

En supposant toujours un volume à infiltrer limité à 5 m³ par jour, soit parce que la consommation est suffisante, soit parce que la citerne est de volume suffisant, les surfaces d'infiltration à prévoir sont reprises au tableau 3.

En première approche, dans les conditions précitées, la superficie nécessaire pour infiltrer 1 m³ est d'environ 1 m² pour un coefficient de conductivité hydraulique ($K_{sol} = 1E-05 \text{ m.s}^{-1}$) et passe à 10 m² lorsque $K_{sol} = 1E-06 \text{ m.s}^{-1}$. En deçà d'un coefficient de conductivité hydraulique de $1E-06 \text{ m.s}^{-1}$, il n'est pas raisonnable d'utiliser les systèmes d'infiltration des eaux pluviales.

3.5. *Citerne d'eau de pluie et gestion des excédents*

Le débit de pointe et le volume ruisselé sont calculés selon les conditions énoncées au § 2.4 et comparés aux résultats obtenus en l'absence de dispositif de stockage de l'eau de pluie. La figure 13 met en évidence l'abattement obtenu pour l'ensemble du bassin versant. Pour rappel, on fait ici l'hypothèse d'une captation intégrale des eaux de toiture et leur stockage en citerne.

Le tableau 4 reprend les résultats des simulations ainsi que la réduction du débit de pointe et du volume ruisselé. Un abattement du débit de pointe (figure 11) et du volume ruisselé (figure 12) est observé lorsque la superficie des toitures des habitations représentent plus de 1% de la superficie du bassin versant ($R_s > 1\%$). Au-delà de cette valeur, on observe un effet important de R_s sur la réduction du débit de pointe et du volume ruisselé. Dans les deux cas, on observe une évolution croissante quasi linéaire entre la diminution du débit de point (et du volume ruisselé) et R_s . Le débit de pointe du bassin versant total passe de 2,34 m³.s⁻¹ à 2,08 m³.s⁻¹, soit une réduction de 11,4%. Pour ce bassin versant la réduction du volume ruisselé est de 10%. La réduction du débit de pointe du bassin versant 5, est de 36,9% pour un R_s de 3,7%.

La première hypothèse (§ 2.4.) peut être remplie si les citernes sont pourvues d'un orifice de fuite permettant la vidange lente entre deux événements pluviométriques. La seconde hypothèse requière l'existence d'une citerne de 4,1 m³ par 100 m² de toiture dans chaque habitation située dans la totalité du bassin versant. Si ces deux hypothèses sont remplies, la réduction du débit de pointe sera de 11,4%.

Dans beaucoup de situations, la réduction du débit de pointe et du volume ruisselé associée à la présence d'une citerne est faible et sera probablement insuffisante pour éviter les inondations en aval.

4. Conclusion

1. Bilan de l'utilisation des eaux de pluie

L'augmentation du volume de la citerne entraîne :

- Une augmentation de la quantité d'eau disponible pour la consommation
- Une diminution du nombre de jours citerne vide,
- Une diminution du volume déversé d'eau de pluie excédentaire dans la citerne
- Une diminution du nombre de déversements d'eau de pluie excédentaire dans la citerne

En année sèche, une augmentation de la superficie de la surface récoltante a un effet important sur la consommation d'eau en provenance de la citerne. Une augmentation du volume de la citerne entraîne également une plus grande disponibilité en eau de pluie.

En année humide, la consommation d'eau en provenance de la citerne reste pratiquement identique (à quelques pourcents près) quelque soit le volume de la citerne et la superficie de la toiture. Ceci s'explique par la fréquence plus élevée des pluies permettant une réalimentation plus régulière de la citerne.

2. Nombre de jours « citerne vide »

Pour une même consommation, le nombre de jours « citerne vide » diminue lorsque le volume de la citerne augmente.

Une faible superficie de toiture (100 m²) procure une sécurité d'alimentation faible par rapport à une toiture plus grande et cette sécurité n'augmente pas lorsque le volume de la citerne augmente. Par contre, lorsque la superficie de toiture est grande (200 m²), la sécurité d'alimentation augmente avec le volume de la citerne.

Au delà d'une "consommation limite", le nombre de jours de citerne vide est indépendant du volume de la citerne. Cette consommation limite est de 250 litres par jour pour une toiture de 100 m² (figure 3), elle passe à 800 L.j⁻¹ pour une toiture de 200 m².

3. Volume d'eau de déversement hors de la citerne

Le volume des excédents sera d'autant plus important que la toiture est de grande superficie, le volume de citerne faible et une consommation peu élevée.

Lorsque l'apport en eau est important (exemple d'une toiture de 200 m²), le volume de la citerne intervient peu sur le volume des excédents tant que la consommation reste inférieure à 450 L.j⁻¹. Pour des consommations supérieures, un impact du volume de la citerne sur le volume des excédents est observé.

4. Système d'infiltration

Bien souvent, l'augmentation du volume de la citerne aura pour conséquence de limiter les excédents et dans ce cas, il ne sera pas nécessaire d'installer un système d'infiltration. Le choix entre la solution d'installer une citerne plus volumineuse pour limiter les excédents ou installer un système d'infiltration dépendra notamment, des coûts inhérents à chaque système car d'autres facteurs interviennent comme la possibilité physique d'installer une grande citerne (petite maison et petit jardin, maison de ville, impossibilité d'enterrer la citerne, ...).

En première approche, la superficie nécessaire pour infiltrer 1 m³ d'eau de pluie excédentaire est d'environ 1 m² pour un coefficient de conductivité hydraulique (K_{sol}) = 1E-05 m.s⁻¹ et passe à 10 m² lorsque K_{sol} = 1E-06 m.s⁻¹. En deçà d'un coefficient de conductivité hydraulique de 1E-06 m.s⁻¹, il n'est pas raisonnable d'utiliser les systèmes d'infiltration des eaux de pluie parce que la superficie d'infiltration nécessaire devient excessive.

5. Effet de l'utilisation des citernes sur l'écrêtement des crues

Les simulations ont été envisagées suivant deux cas de figure :

- Le premier envisage le ruissellement en condition moyenne et absence de citerne.
- Le second considère que chaque habitation est pourvue d'une citerne et qu'elle reçoit les eaux de la toiture. On considère dans ce cas, par hypothèse que (i) toutes les citernes sont vides au début de l'averse et (ii) que le volume de citernes est suffisant pour emmagasiner la totalité du ruissellement en provenance des toitures.

Si ces deux hypothèses sont remplies, le débit de pointe est diminué de 11,4% sur l'ensemble du bassin versant et le volume ruisselé de 10%. Cette réduction sera probablement insuffisante pour réduire les inondations dans la plupart des situations rencontrées en Région wallonne.

5. Bibliographie

BELGAQUA – *Livre bleu. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'eau potable et l'assainissement des eaux usées*. Fédération belge du secteur de l'eau, rue Colonel Bourg 127, 1140 Bruxelles.

Chilton J.C., Maidment G.G., Mariott D., Francis A., Tobias G. [2000]. Case study of a rain water recovery system in a commercial building with a large roof. *Urban water*, **1**, 345-354.

Chow V.T. [1964]. *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill. USA. ISBN 0-701-07742.

CWRA - Centre wallon de Recherches agronomiques. Poste d'observations météorologiques d'Ernage (Gembloux).

Dixon A., Butler D., Fewkes A. [1999]. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. *Water science and technology*, **39**, **5**, 25-32.

Hermann T., Hasse K. [1997]. Ways to get water : rainwater utilisation or longdistance water supply ? A holistic assessment. *Water science and technology*, **36**, **8-9**, 313-318.

- Hermann T., Schmida U. [1999]. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban water* **1**, 307-316.
- Laime S., Dautrebande S. [1995]. *Projet pilote CARHY*, Rapport final, convention T3/PP/303. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. 163 pages et 9 annexes.
- Lee K.T., Lee C.-D., Yang M.-S., Yu C.-C. [2000]. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *J. agric. Engng Res.*, **77**, **3**, 343-348.
- Ngigi S. N. [2003]. What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? *Physics and chemistry of the earth*, **28**, 943-956.
- Prevedello C. et Brahy V. [2007]. L'exploitation des ressources en eau de pluie. In Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. *Cellule Etat de l'Environnement Wallon*. MRW-DGRNE, Namur.
- Région Wallonne [2007]. Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007. *Cellule Etat de l'Environnement Wallon*. MRW-DGRNE, Namur, 736 p.
- Schiettecatte W., Ouessar M., Gabriels D., Tanghe S., Heirman S., Abdelli F. [2005]. Impacts of water harvesting techniques on soil and water conservation : a case study in south eastern Tunisia. *Journal of arid environments*, **61**, **2**, 297-313.
- Sine L. [1968]. Une méthode de calcul des crues pour petits bassins hydrologiques. *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, tome III, n°4. P. 712-736.
- Ways L.W. [2001]. *Stormwater collection systems design handbook*. Mc Graw-Hill, USA. ISBN 0-071-35471-9.

Tableau 1
(Source : Belgaqua – livre bleu, page 52)

Poste	% de consommation	Consommation (L.j ⁻¹)
Lessive	13%	15
Hygiène	32%	37
nettoyage	9%	10
Vaisselle	7%	8
WC à chasse	35%	40
Boisson	4%	5
Total	100%	115

Tableau 2a

Toiture de 135 m ²	2001 (année humide)			1976 (année sèche)		
	Pluviométrie totale: 953,7 mm			Pluviométrie totale: 450,7 mm		
Volume de la citerne (m ³)	5	10	20	5	10	20
Consommation totale d'eau pour 4 personnes (m ³)	167,9	167,9	167,9	167,9	167,9	167,9
Consommation d'eau en provenance de la citerne (m ³)	99,6	106,2	109,5	58,2	63,9	71,1
Consommation d'eau en provenance du réseau (m ³)	68,3	61,7	58,4	109,7	104	96,8
% consommation en provenance de la citerne	59%	63%	65%	35%	38%	42%
Nombre de jours citerne vide	33	9	0	172	153	129
Volume total déversé hors de la citerne (m ³)	44,1	33,1	20,7	11,1	6,1	0
Nombre de déversements hors de la citerne	35	26	24	1	1	0

Tableau 2b

Toiture de 200 m ²	2001 (année humide)			1976 (année sèche)		
	Pluviométrie totale: 953,7 mm			Pluviométrie totale: 450,7 mm		
Volume de la citerne (m ³)	5	10	20	5	10	20
Consommation totale d'eau pour 4 personnes (m ³)	167,9	167,9	167,9	167,9	167,9	167,9
Consommation d'eau en provenance de la citerne (m ³)	105	109,5	109,5	77,7	85,8	94,5
Consommation d'eau en provenance du réseau (m ³)	62,9	58,4	58,4	90,2	82,1	73,4
% consommation en provenance de la citerne	63%	65%	65%	46%	51%	56%
Nombre de jours citerne vide	15	0	0	107	80	51
Volume déversé hors de la citerne (m ³)	99,9	91,3	81,3	21,6	9,42	0
Nombre de déversements hors de la citerne	69	67	65	14	10	0

Tableau 3

Volume des excédents à infiltrer en un jour (m ³)	Ksol = 1E-05 m.s ⁻¹	Ksol= 1E-06 m.s ⁻¹	Ksol= 1E-07 m.s ⁻¹
Surface d'infiltration (m ²)	6	58	579
Type de sol	Sable limoneux Limon sableux	Limon argileux Argile limoneuse	Argile Marne

Tableau 4

Sous bassin versant	Surface bassin versant (ha)	Surface toiture (m ²)	Surface toiture/Surface bassin versant (Rs)	Réduction du débit de pointe	Réduction du volume ruisselé	Volume tampon m ³ /100m ² de toiture
BV1	298	64494	2,2%	21,8%	21,7%	7,0
BV2	137	3785	0,3%	0,0%	0,0%	-
BV3	81	5358	0,7%	0,0%	0,0%	-
BV4	324	27134	0,8%	0,0%	0,0%	-
BV5	32	11918	3,7%	36,9%	29,4%	8,1
BV6	15	900	0,6%	0,3%	0,2%	-
Bassin versant Total	887	113589	1,3%	11,4%	10,0%	4,1

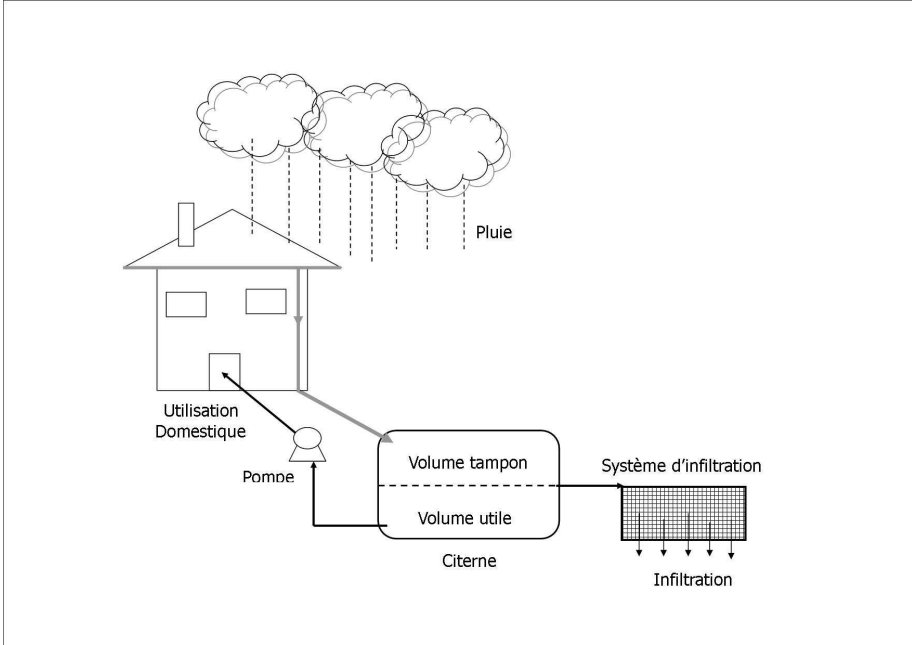


Figure 1

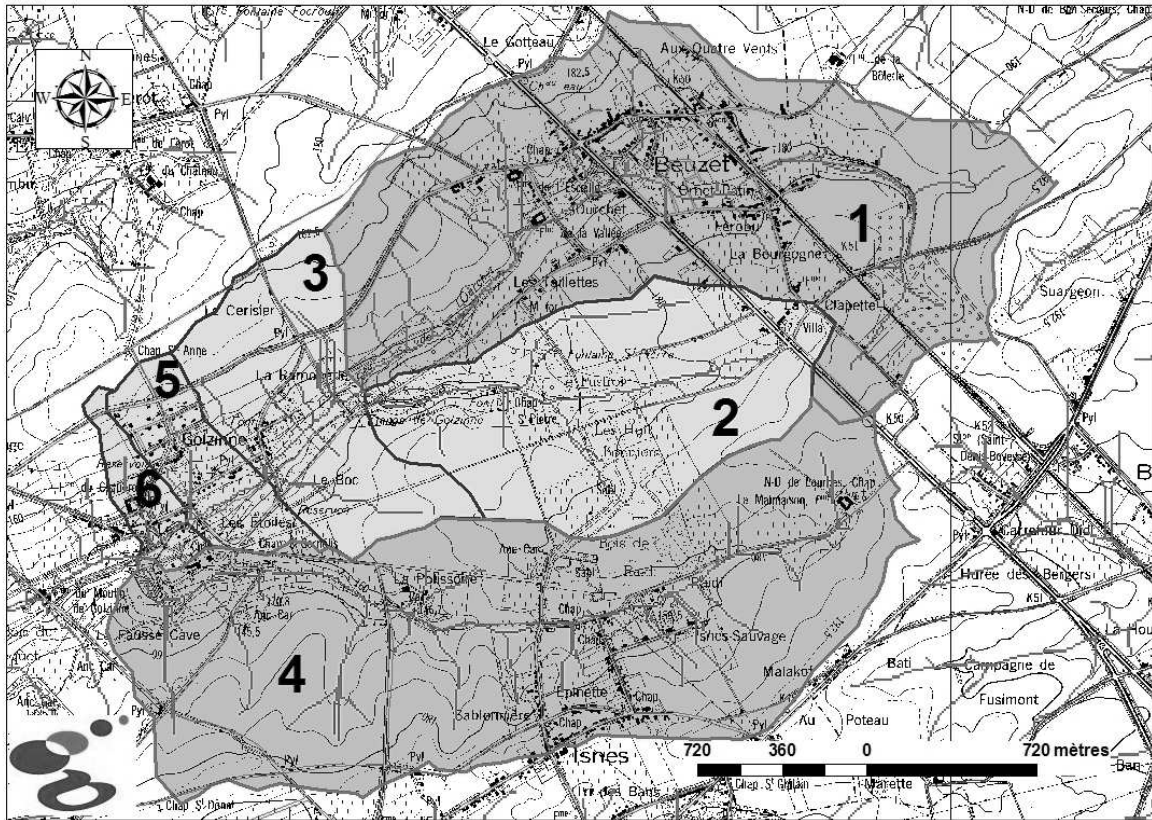


Figure 2

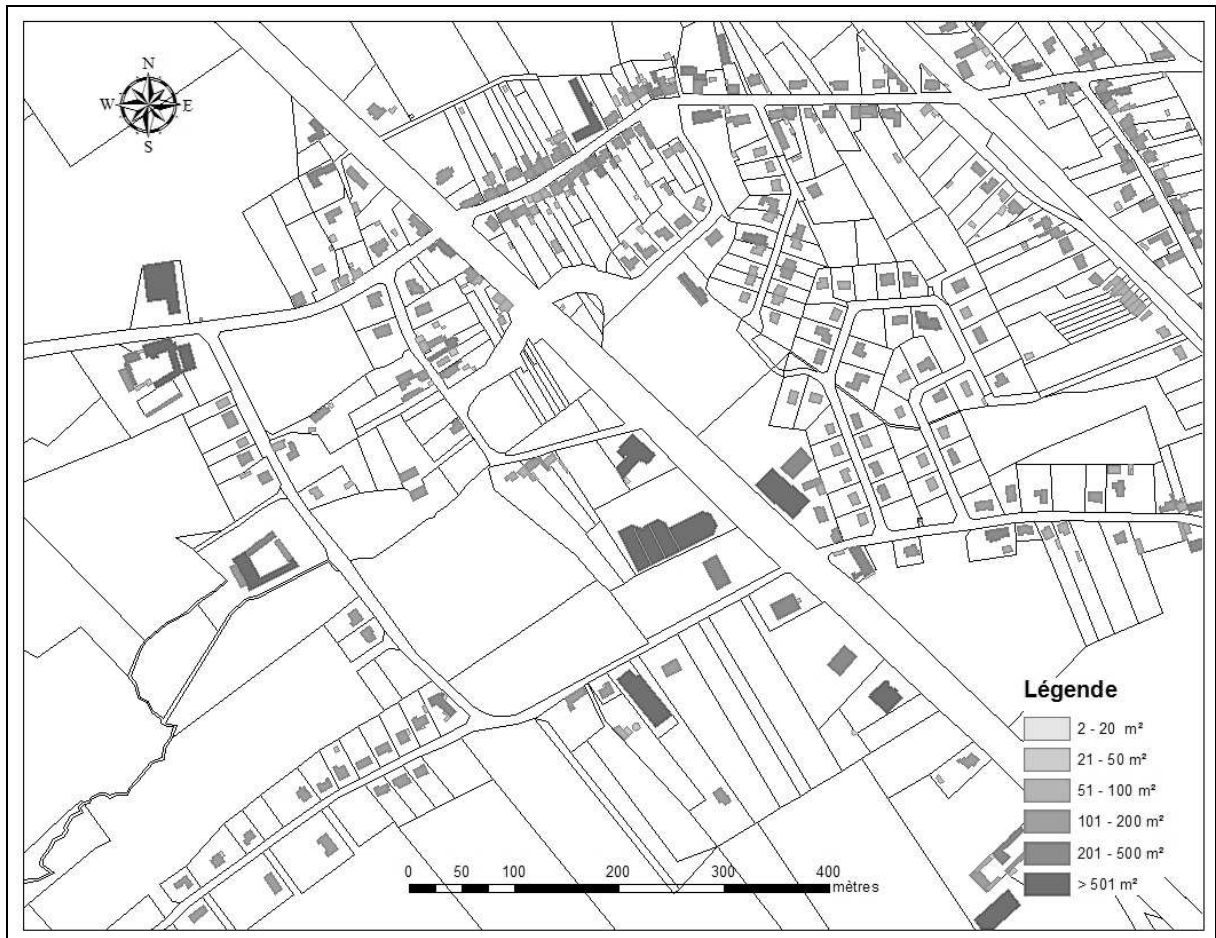


Figure 3

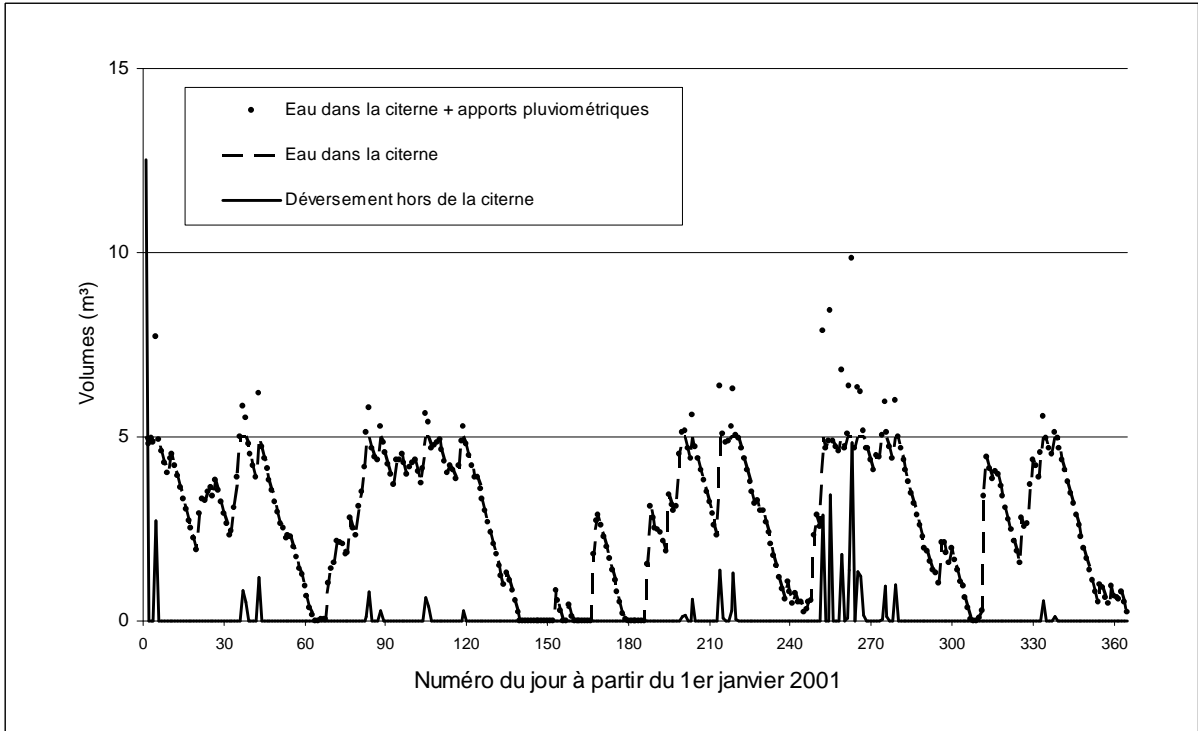


Figure 4

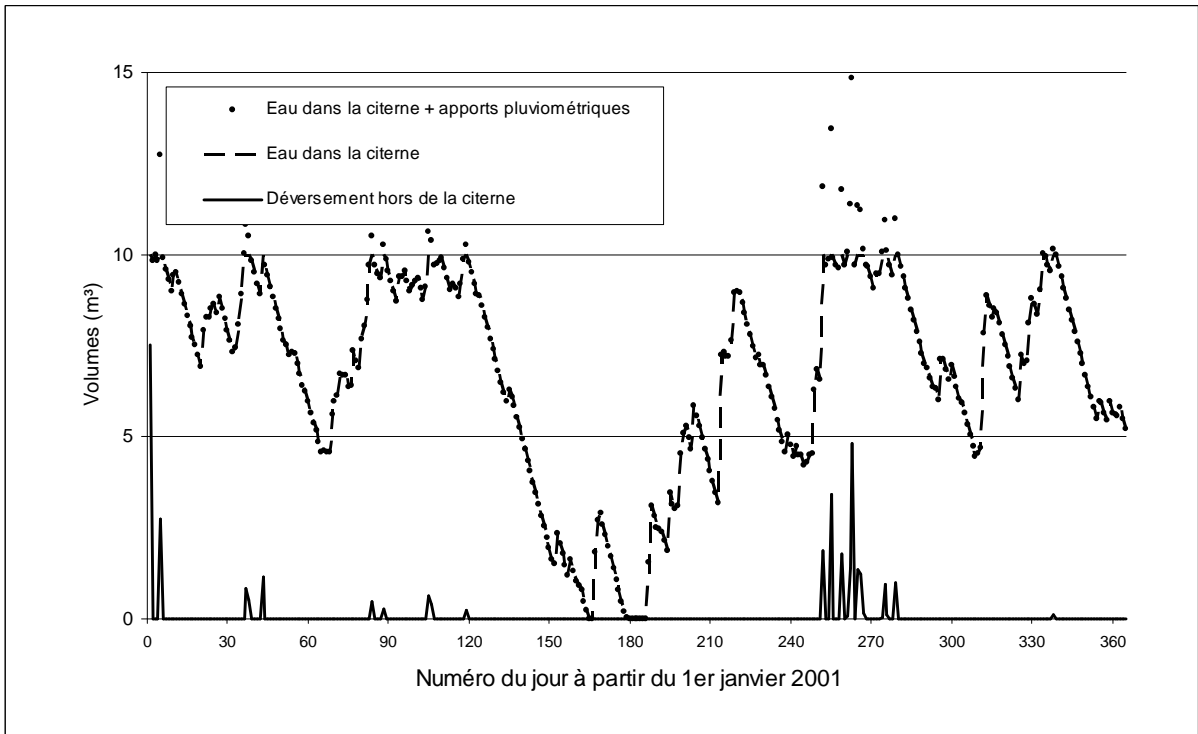


Figure 5

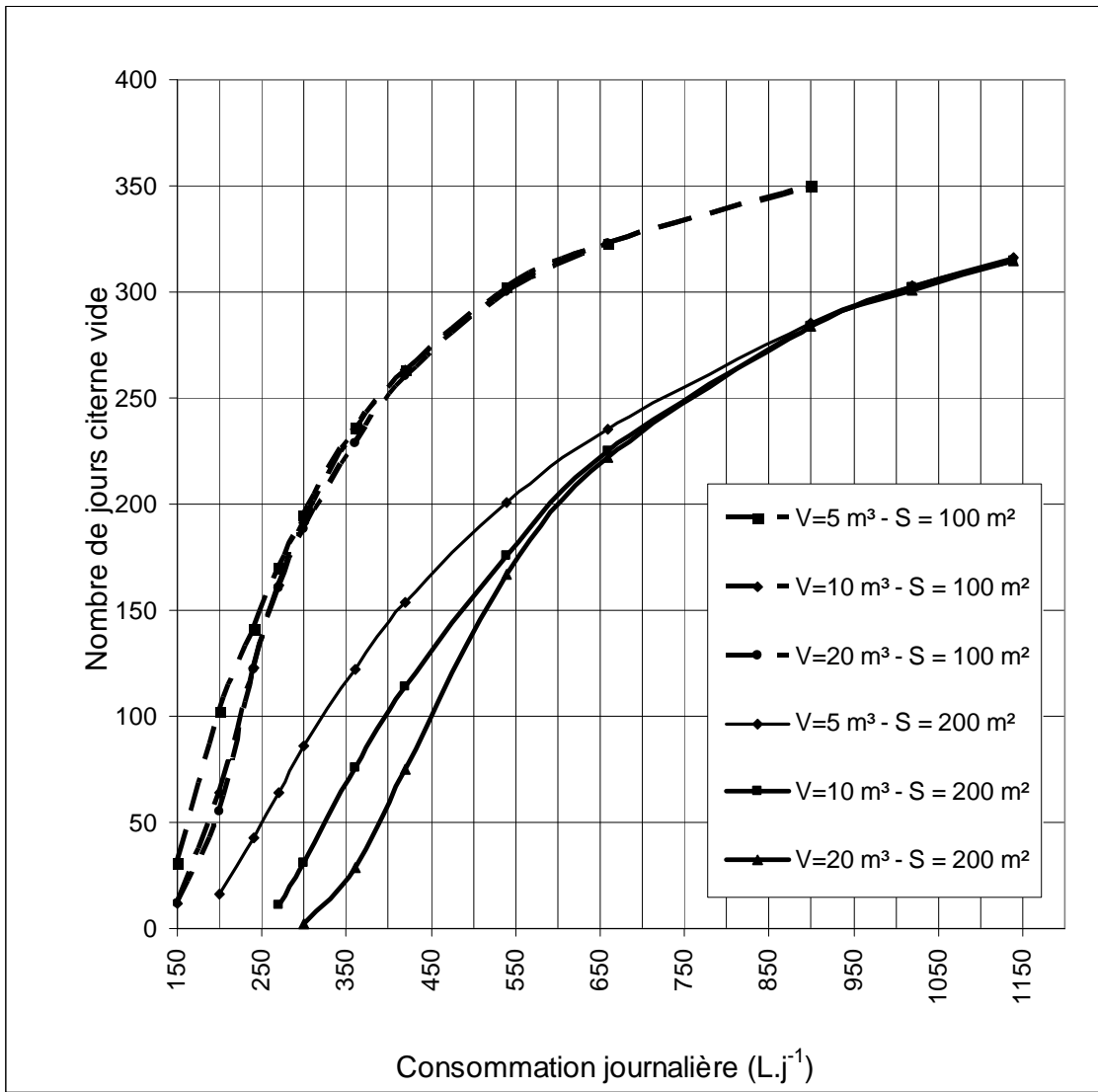


Figure 6

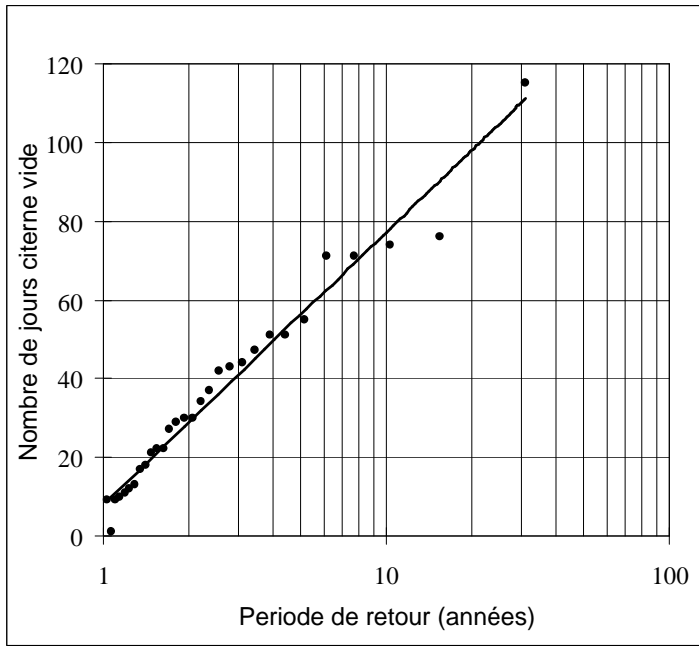


Figure 7

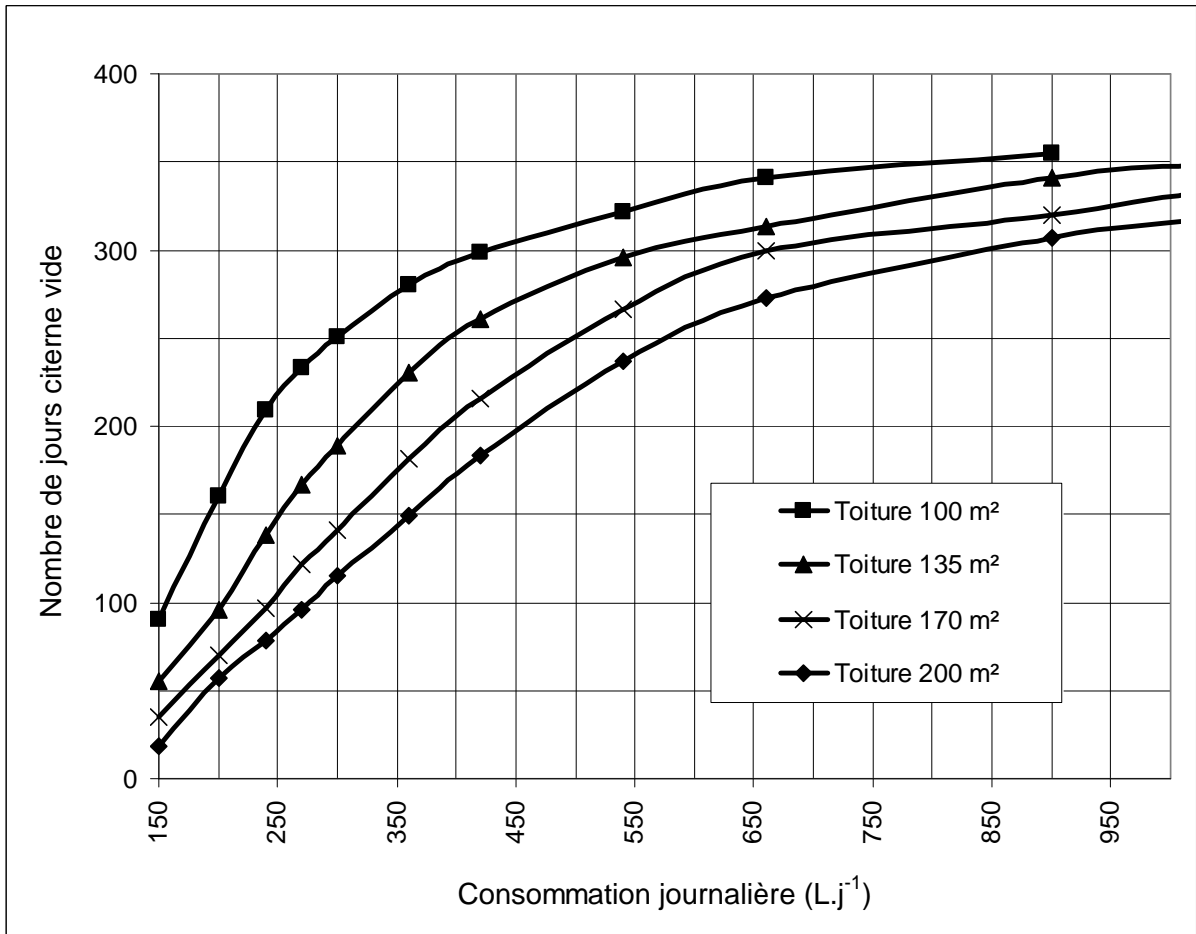


Figure 8

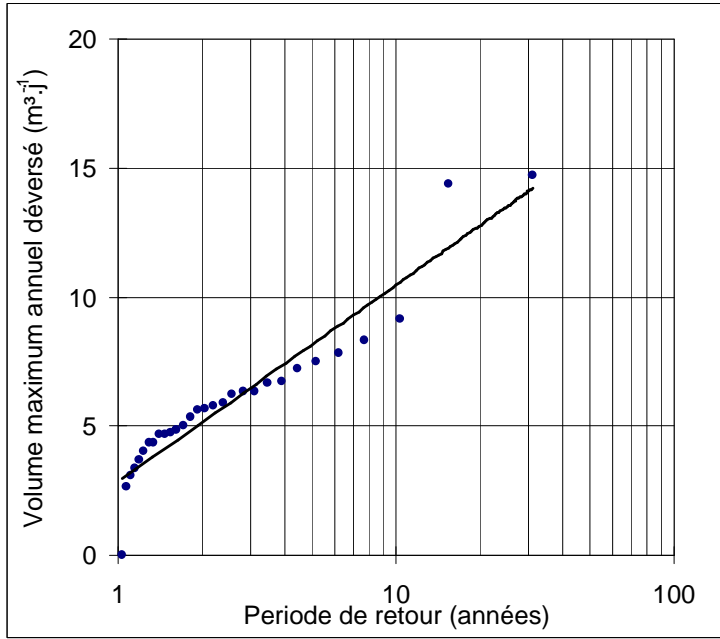


Figure 9

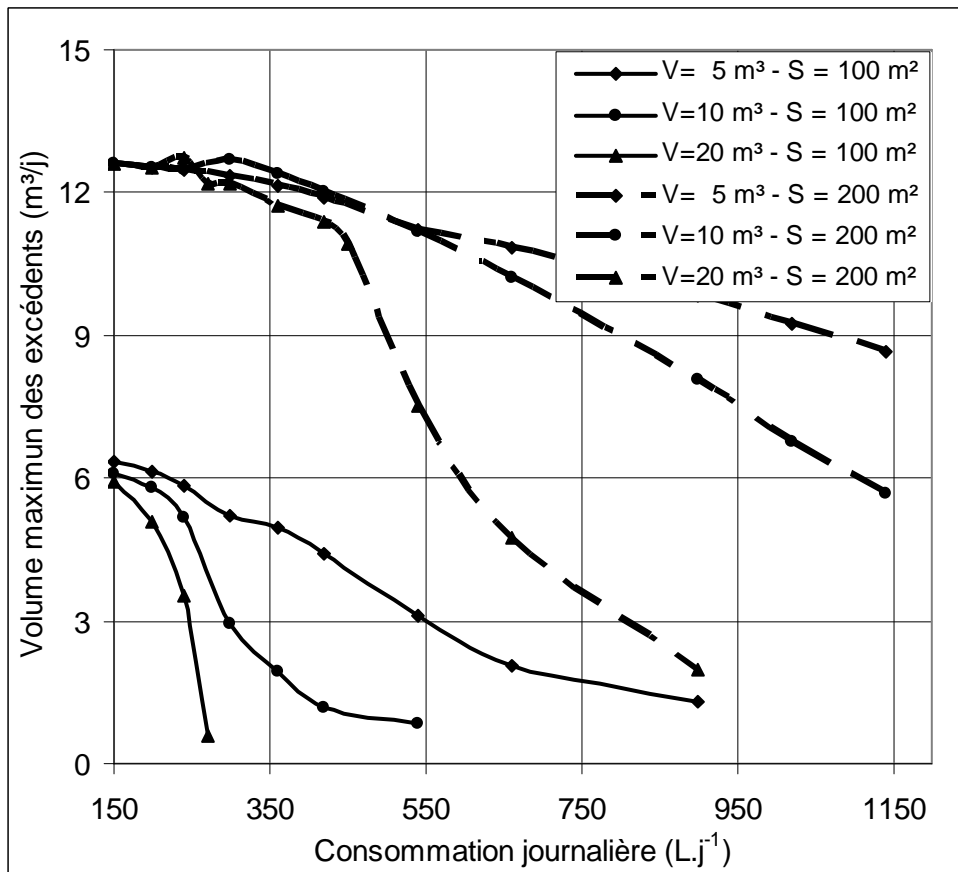


Figure 10

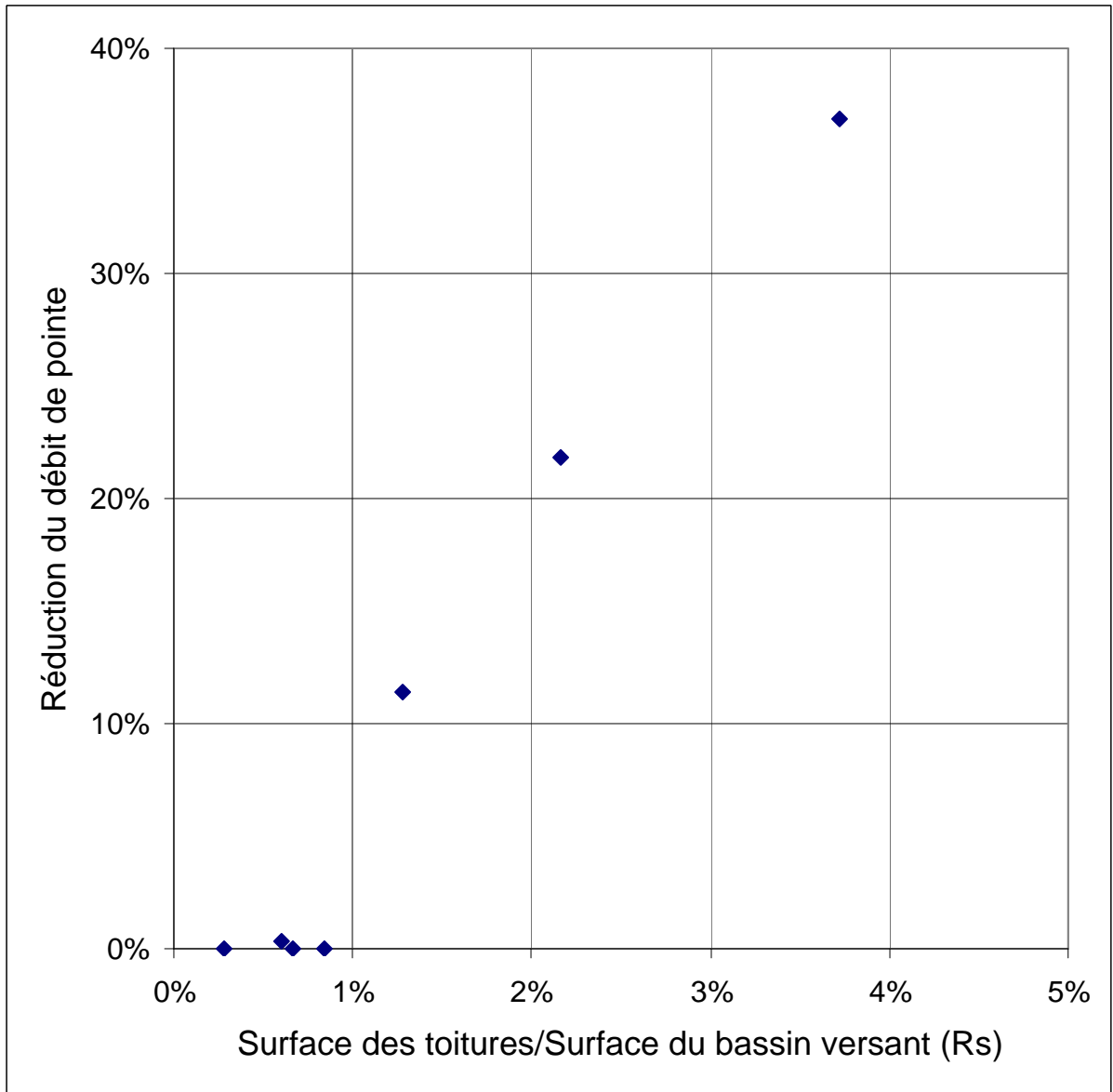


Figure 11

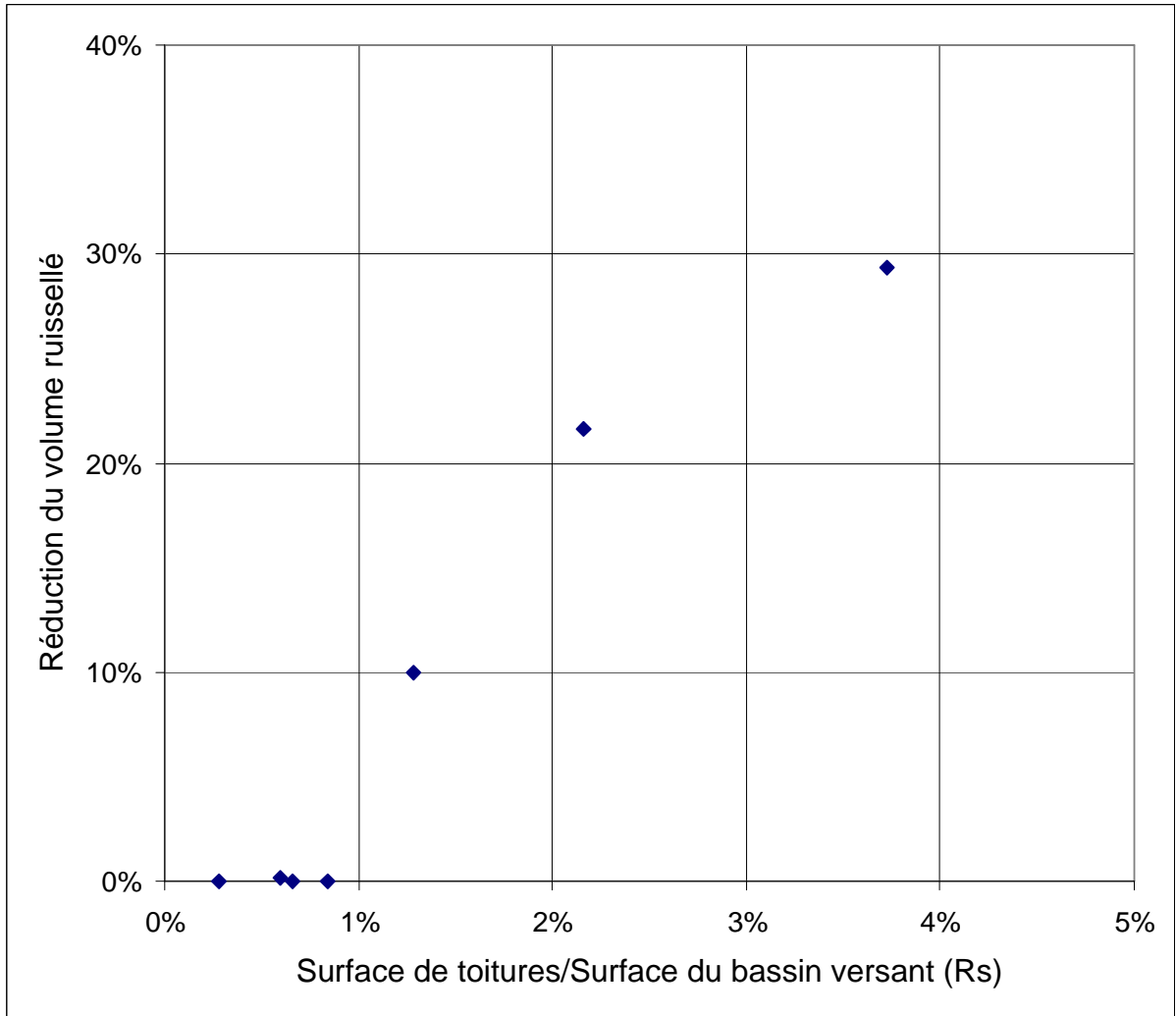


Figure 12

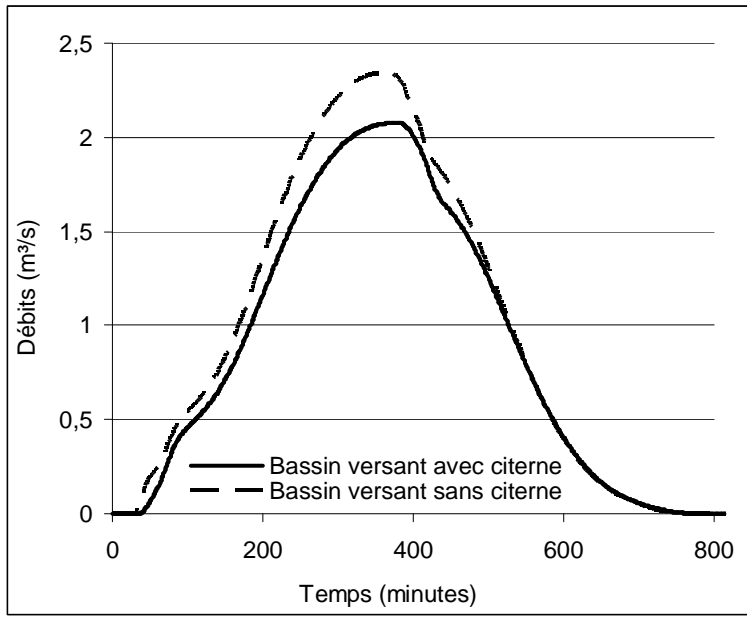


Figure 13