

Efficacité de la récupération des eaux de pluie dans la réduction des débordements de réseaux. Le cas du " Village Parisien " à Champigny sur Marne (Ile-de-France)

Guido Petrucci, José-Frédéric Deroubaix, Philippe Bompard, Jean-Claude Deutsch, Bernard de Gouvello, Katia Laffréchine, Bruno Tassin

▶ **To cite this version:**

Guido Petrucci, José-Frédéric Deroubaix, Philippe Bompard, Jean-Claude Deutsch, Bernard de Gouvello, et al.. Efficacité de la récupération des eaux de pluie dans la réduction des débordements de réseaux. Le cas du " Village Parisien " à Champigny sur Marne (Ile-de-France). Novatech 2010, 7ème conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie, Jun 2010, Lyon, France. pp.No. hal-00698378

HAL Id: hal-00698378
https://enpc.hal.science/hal-00698378

Submitted on 16 May 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Efficacité de la récupération des eaux de pluie dans la réduction des débordements de réseaux. Le cas du « Village Parisien » à Champigny sur Marne (Ile de France)

Efficiency of distributed water harvesting on runoff reduction. Case-study of “Village Parisien” district, Champigny-sur-Marne, Ile de France

Guido Petrucci*, José-Frédéric Deroubaix*, Philippe Bompard**, Jean-Claude Deutsch*, Bernard de Gouvello***, Katia Laffréchine*, Bruno Tassin*

* Université Paris Est, Laboratoire Environnement Eau Systèmes Urbains (Leesu), AgroParisTech, UMR MA-102. 6-8 avenue Blaise Pascal, 77455 Champs sur Marne cedex 2 (guido.petrucci@cereve.enpc.fr)

** Conseil général du Val-de-Marne, Direction des Services de l’Environnement et de l’Assainissement (DSEA). 2, avenue des Violettes, ZAC des Petits Carreaux, 94385 Bonneuil-sur-Marne Cedex

*** Université Paris Est, CSTB (Centre Scientifique et Technique des Bâtiments), Leesu, AgroParisTech, UMR MA-102. 6-8 avenue Blaise Pascal, 77455 Champs sur Marne cedex 2.

RÉSUMÉ

Le Conseil général du Val-de-Marne a équipé de cuves de récupération des eaux pluviales de toiture une partie (30%) des pavillons d’un quartier résidentiel (23 ha) de Champigny-sur-Marne. Cette communication décrit une analyse de l’hydrologie du quartier avant et après l’installation des cuves. Le calage d’un modèle hydrologique (SWMM 5) a été réalisé à l’aide d’un algorithme génétique, sur la base de mesures de débit en réseau effectuées avant et après l’équipement. Les simulations montrent que l’effet des cuves sur l’hydrologie du quartier est important sur les petites pluies, mais n’est toutefois pas suffisant pour éviter les débordements de réseau lors de pluies importantes.

MOTS CLÉS

Eaux pluviales, modélisation, inondations, contrôle à la source, hydrologie urbaine

ABSTRACT

In the « Village Parisien » district, in Champigny-sur-Marne, several sewer overflows have been observed. The district (23 ha) is mainly occupied by detached private housing. On 30% of the houses, the county administration installed cisterns for roofs rainwater harvesting. This paper describes a hydrological analysis of the district before and after cisterns installation. We calibrated the SWMM 5 hydrological model using a genetic algorithm, on the basis of sewer flow measures before and after the installation. Simulations show that, although cisterns affect the district hydrology, they can not prevent sewer overflows in case of heavy rain events.

KEYWORDS

Stormwater, modelling, flooding, source control, urban hydrology

1 INTRODUCTION

Aujourd'hui, lorsque l'on cherche des solutions aux problèmes liés au ruissellement urbain, à côté des solutions traditionnelles telles que le développement du réseau ou la construction de bassins d'orages, on est amené à considérer des alternatives de type contrôle à la source (CS) qui consistent à distribuer de petits ouvrages d'infiltration ou de rétention sur l'ensemble ou une partie du bassin versant.

Une difficulté posée par le CS est le choix de la technique employée et son dimensionnement : à ce jour nous ne disposons pas de méthodes consolidées pour évaluer et comparer des solutions alternatives employant le CS, ou intégrant CS et réseau (Niemczynowicz, 1999). En effet, alors que la modélisation hydraulique des réseaux et des grands ouvrages est bien développée, l'évaluation du CS demande une prise en compte beaucoup plus fine du comportement hydrologique des bassins versants. Elle est maîtrisable dans la conception à petite échelle (lotissements, ZAC) en recourant à l'expérience des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre, mais dans une planification à plus grande échelle elle est plus délicate et peut amener à une certaine incertitude dans l'effet des décisions prises.

La récupération et l'utilisation des eaux de pluie est une stratégie de contrôle à la source qui s'est beaucoup développée ces dernières années : l'avantage qu'elle est supposée offrir en terme de réduction de la consommation d'eau potable encourage et facilite sa diffusion même dans les parcelles privées déjà aménagées, où la possibilité d'action de la collectivité est très limitée. Cependant, l'efficacité de cette pratique sur la réduction du ruissellement n'est pas avérée : les zones pavillonnaires, où elle a les plus grandes possibilités de développement, sont caractérisées par une emprise au sol des toitures assez limitée. En outre la finalité première des cuves (stockage en vue d'une utilisation domestique) réduit *a priori* le volume disponible pour le contrôle du ruissellement.

Récemment, des bilans expérimentaux de la récupération des eaux pluviales ont été dressés à l'échelle du bâtiment (de Gouvello, 2005) et différentes approches théoriques et de modélisation ont été envisagées pour quantifier les effets sur le ruissellement (Guillon et al, 2008 ; Vaes et Berlamont, 2001). Cependant, à notre connaissance, aucune recherche expérimentale à une échelle plus grande que le bâtiment n'a été menée.



Figure 1 – Une cuve de récupération des eaux de pluie installée par le Conseil Général du Val-de-Marne

La Direction des Services de l'Environnement et de l'Assainissement (DSEA) du Val-de-Marne a entrepris, entre 2005 et 2008, une campagne d'équipement de parcelles privées avec des cuves de récupération d'eaux de pluie (figure 1), dans le quartier du « Village Parisien » sur la commune de Champigny sur Marne (France). Elle a en même temps mené une activité de suivi (deux campagnes de mesure à l'exutoire, entretiens avec les particuliers équipés, etc.).

Aujourd'hui un bilan global de l'expérimentation est en cours d'établissement. L'analyse est structurée en deux volets : le premier, décrit dans cet article, vise à estimer comment l'installation des cuves a modifié l'hydrologie du quartier, et quel est leur impact sur les inondations ; le deuxième évalue le changement du rapport à l'eau de la population du quartier.

Nous présentons dans un premier temps une analyse de l'usage du sol du quartier et des données recueillies lors des campagnes de mesures. Sur la base de ces informations nous établissons un modèle hydrologique et hydraulique calé et validé et qui nous permet d'analyser les changements intervenus sur le quartier, et d'estimer via des simulations l'impact des cuves sur les débordements.

1.1 Description du « Village Parisien » et de l'expérimentation

Le « Village Parisien » est un quartier principalement pavillonnaire, dans la commune de Champigny-sur-Marne, à 10 km à l'est de Paris (France). Le bassin versant correspondant au quartier, identifié par la DSEA (figure 2), a une taille de 29.4 ha, avec un dénivelé d'environ 16 m (la pente moyenne est d'environ 5%). Le réseau d'assainissement est séparatif : le collecteur départemental passe à l'ouest, sous l'avenue Thorez. Certaines des rues sont équipées d'un réseau communal, tandis que sur d'autres il y a uniquement du ruissellement sur chaussée. Dans ce cas des avaloirs sont présents aux points bas.

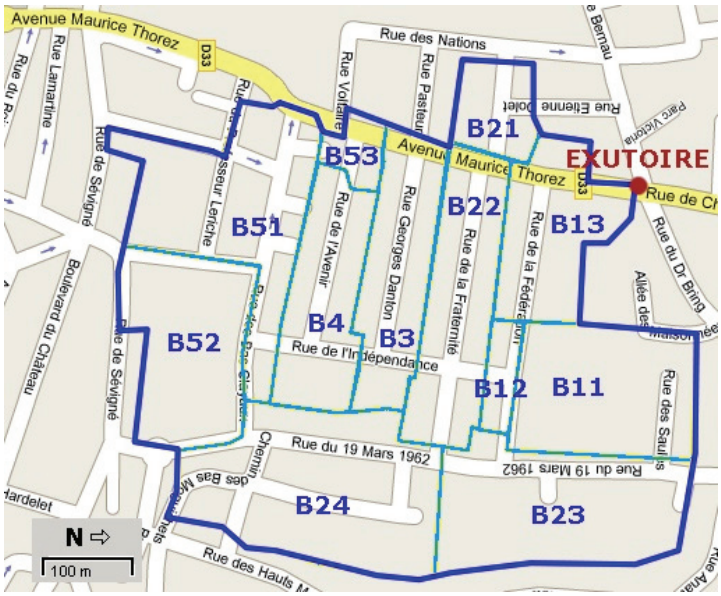


Figure 2 – Plan du Village Parisien, avec limites du BV (en bleu) et identification de 12 sous-bassins versants.

Aux points bas, lors d'orages d'été intenses, on assiste à des débordements de réseau : des inondations ont été signalées par les riverains en 2001 et 2007[1].Suite à ces événements, la DSEA a décidé de mettre en place une expérimentation, consistant à distribuer et installer gratuitement, chez des volontaires, des cuves de récupération des eaux de pluie de toiture, en vue d'un usage externe - principalement arrosage. Au cours de cette démarche la DSEA a équipé 157 parcelles (sur environ 450) dans le bassin versant (BV) avec une ou deux cuves de 0.6 ou 0.8 m^3, pour un volume de stockage total de 173 m^3. La phase d'équipement a eu lieu en début 2008.

Les objectifs de cette campagne de distribution étaient au nombre de trois : réduire les volumes d'eau de ruissellement et donc les débordements de réseau ; développer le rapport des citoyens avec les problématiques liées aux eaux pluviales et à l'assainissement, sujet sensible à la suite des inondations ; générer un effet de levier pour que la pratique de la récupération/utilisation des eaux de pluie se développe de manière autonome.

2 METHODE

2.1 Données disponibles

La DSEA a mis à notre disposition pour l'étude : (a) une orthophotographie R/G/B du quartier, datant de 1998 ; (b) un plan des parcelles et des emprises au sol, antérieur à 1996 ; (c) un plan du réseau d'assainissement, départemental et communal ; (d) une liste des adresses où les cuves sont installées ; (e) une répartition du BV en 12 sous-bassins versants (figure 2). Nous avons pu utiliser une deuxième orthophotographie du site, datant du 21/10/2007 (figure 2, source : Google Earth).

La DSEA a effectué deux campagnes de mesure de débit, à l'exutoire du bassin versant : (a) du 15

[1] L'événement pluvieux le plus intense observé, du 25/05/2007, a un temps de retour, suivant les données de la DSEA, compris entre 5 et 10 ans.

juillet au 30 octobre 2005, avant l'installation des cuves ; (b) du 25 juin au 23 octobre 2008, après l'installation. Un pluviomètre est en fonction, à environ 200 m au sud-est du BV, depuis le 29 juillet 2005. Nous n'avons pas exploité, lors de cette étude, les mesures de débit effectuées entre le 15 et le 29 juillet 2005, en l'absence de données pluviométriques locales.

2.2 Description du modèle

Le modèle hydrologique utilisé pour l'analyse est SWMM 5 (Rossmann, 2004). Il s'agit d'un modèle assez répandu pour les études d'hydrologie urbaine, et bien adapté pour la description des techniques alternatives (Elliott et Trowsdale, 2007). Ce modèle représente le bassin versant sous la forme de trois objets principaux : les sous-bassins versants, les nœuds et les conduites.

Les sous-bassins versants sont les éléments où se produit le ruissellement. La transformation pluie-débit est modélisée par un réservoir non linéaire suivant l'approche de l'écoulement d'une onde cinématique sur un plan (Singh, 1988, pp.285-286). Les équations correspondantes, dont les termes sont décrits en tableau 1, sont :

$dV/dt = A\ (p\ - \%_{perm}\ i - e) - Q(V)$

$Q(V) = k\ W\ n^{-1}\ (d - d_p)^{5/3}\ s^{-1/2}$

Terme	Unité S.I.	Description	Terme	Unité S.I.	Description
V	m^3	Volume stocké dans l'élément	Q	m^3	Volume d'eau sortant de l'élément
A	m^2	Surface de l'élément	W	M	Largeur moyenne de l'élément
p	M	Hauteur de pluie	d	M	hauteur d'eau (*V/A*)
$\%_{perm}$	%	Pourcentage de surface perméable	d_p	M	hauteur des pertes initiales
i	M	Infiltration, estimé par le modèle de Green-Ampt	n	/	constante de Manning, dépendante de la typologie de surface
e	M	Evapotranspiration, constante mensuelle	s	/	pente moyenne de l'élément

Tableau 1 – Description des termes du modèle de réservoir non linéaire

Le débit sortant d'un sous-bassin peut être acheminé vers un autre sous-bassin ou vers un nœud. Les nœuds sont les points d'entrée au réseau de conduites. Les conduites (ouvertes ou fermées) sont simulées par intégration numérique des équations de Barré de Saint-Venant. Cette description détaillée de l'hydraulique du réseau permet d'évaluer les phénomènes ponctuels tels que les débordements avec plus de précision que par les modèles axés sur les bilans hydriques comme STORM (IPS, 2008) ou AquaCycle (Mitchell et al., 2001).

Le calage du modèle a été réalisé en minimisant le critère de Nash en fonction de différents paramètres. Pour effectuer cette minimisation nous avons utilisé un algorithme génétique. Cette méthode a déjà été utilisée pour le calage de modèles hydrologiques (Franchini et al., 1998). Les détails du calage sont précisés en § 2.4.

2.2.1 Représentation des cuves dans le modèle

Nous avons choisi d'intégrer les cuves de récupération dans le modèle d'une façon indirecte et globale, par un incrément des pertes initiales des toitures équipées, $d_{p,TOIT-EQ}$ (m) soit un paramètre unique. Cette description est *indirecte* car le stockage est effectué au niveau des sous-bassins, et non au niveau d'« objets-réservoirs » explicites ; *globale* parce que la valeur du paramètre $d_{p,TOIT-EQ}$ est estimé globalement pour chaque sous-bassins.

Ainsi, si l'on considère que chaque cuve est vide au début des pluies[2] et que son trop-plein est

[2] Hypothèse raisonnable pour des cuves relativement petites en période estivale, car les pluies ne sont pas fréquentes et les besoins pour l'arrosage importants. Cette hypothèse est confirmée par les simulations (§ 3).

branché au réseau, les pertes initiales supplémentaires sur les toitures équipées par rapport aux autres toitures sont de :

$d_{p,TOIT-EQ} - d_{p,TOIT-nonEQ} = V_{cuves}/A_{TOIT-EQ}$ = 173 m^3 / 13601 m^2 = 0.013 m = 13 mm

où 173 m^3 est le volume total des cuves installées et 13601 m^2 est la surface totale des toitures équipées (tableau 2).

Du point de vue de l'événement pluvieux, cette description est assez proche de la réalité : lors d'une pluie, le volume correspondant à la cuve doit être rempli avant qu'il ne se produise un ruissellement à partir des toitures équipées. Sur un horizon plus large l'approche devient moins réaliste, car la vidange est effectuée par évaporation et il n'est pas possible de définir une règle de soutirage conforme à l'usage des cuves.

Du point de vue du ruissellement, cette approche permet d'estimer l'effet des cuves dans leur ensemble, sans devoir faire des choix arbitraires quant aux connexions des trop-pleins ou au remplissage moyen des cuves. En effet, comme la description repose sur un seul paramètre, celui-ci peut être aisément estimé en phase de calage et nous donner un bon indicateur de l'efficacité des cuves (voir paragraphes 2.4 et 3).[3]

2.3 Analyse des données

2.3.1 La distribution des surfaces dans le bassin versant

La première opération effectuée, en vue du calage du modèle, a été la répartition du BV en sous-bassins. Nous avons utilisé celle proposée par la DSEA, en apportant des modifications sur la base des nouvelles informations disponibles. En particulier, nous avons exclu les sous-bassins B11 et B52 qui semblent avoir été déconnectés du BV lors de travaux d'aménagement.

La deuxième opération a été le classement des surfaces de chaque sous-bassin versant en cinq catégories : voiries, toitures équipées (de cuves) et non équipées, espaces verts, « autres surfaces ». Cette répartition (tableau 2), basée sur l'ensemble des données cartographiques disponibles, a été effectuée par une procédure hybride (manuelle et automatique) avec l'usage d'un SIG (Grass 2.0).

Un contrôle visuel sur site a suivi ce processus de classification et a permis d'appliquer des corrections. Notamment, dans certains sous-bassins, la surface bâtie a augmenté considérablement par rapport au plan disponible (au détriment des espaces verts et des « autres surfaces »).

En général, la comparaison entre les deux orthophotographies (1998-2007) montre une évolution de l'occupation des sols assez remarquable pour un quartier déjà développé : si on ne compte presque pas de nouveaux bâtiments, on observe une augmentation sensible des espaces pavés (voie d'accès, garages, terrasses). On prendra en compte cette évolution lors du calage (par.2.4).

Sous-bassin	B12	B13	B21	B22	B23	B24	B3	B4	B51	B53	Total	%
Espaces verts (m²) (VER)	2805	10574	4473	17164	23500	24074	11804	9713	14604	1185	119896	52%
Voirie (m²) (VOI)	784	1904	1416	3716	1300	4072	2640	2036	4324	660	22852	10%
Autres Surfaces (m²) (AUT)	866	5134	1347	766	6830	10011	4203	5760	11536	1248	47701	21%
Toitures équipées (m²) (TOIT-EQ)	0	1623	746	1739	747	2179	1482	1537	3045	504	13601	6%
T. non équipées (m²) (TOIT-nonEQ)	645	2165	1118	3015	5723	4564	2471	2254	2591	504	25050	11%
Total (m²)	5100	21400	9100	26400	38100	44900	22600	21300	36100	4100	229100	
V. cuves (m^3)	0	23.6	10.2	15	5.6	29.8	18.2	19	47.2	4.8	173.4	
% équipement	0%	43%	40%	37%	12%	32%	38%	41%	54%	50%	30%	

Tableau 2 – Répartition des surfaces par typologie et sous-bassin versant considérée valable pour l'ensemble de la période considérée (2005-2008), volume des cuves installées.

Il est important de signaler le pourcentage remarquable d' « autres surfaces » : 21% sur l'ensemble du

[3] Une limite de cette méthode globale est que, si on s'intéresse à la satisfaction des usagers, ou à l'économie d'eau potable engendrée par les cuves, ce modèle ne peut pas nous aider, car la demande d'eau n'est pas prise en compte, et les cuves ne sont pas traitées indépendamment les une des autres. Dans le but d'évaluer la satisfaction il semble souhaitable l'usage d'un autre modèle, permettant de prendre en compte la consommation de l'eau récupérée, tel que STORM (IPS, 2008).

BV, avec des pics élevés sur certains sous-bassins. Ces surfaces, non classées dans les autres catégories, représentent un ensemble très hétérogène d'usages des sols. Dans la phase de calage du modèle on paramétrisera cet ensemble en deux catégories : perméable (assimilée aux espaces verts) et imperméable (assimilée à la voirie). La variation de 2005 à 2008 de la répartition entre ces deux catégories nous permettra d'estimer l'imperméabilisation ultérieure intervenue sur ces trois ans.

2.3.2 Relation pluie-débit

L'analyse des séries disponibles de hauteur de pluie et de débit sortant du BV est une première approche pour essayer de quantifier l'efficacité des cuves de récupération. Les deux campagnes ayant été menées en été, toute considération présentée ici (y compris sur le modèle calé) a une validité relative à cette saison. Cette limitation ne réduit pas la portée de l'étude, car les événements produisant les inondations sont concentrés sur cette période.

Les analyses effectuées ont mis en lumière une surestimation systématique, pour 2005, dans la conversion des mesures hauteur-vitesse en débit. Bien que ces mesures aient ensuite été l'objet d'une correction de la part de la société qui les avait réalisées, on considère plus robustes celles de 2008.

Les hauteurs totales de pluie pour les deux campagnes sont de 149 mm en 2005 et de 160 mm en 2008. Le coefficient de ruissellement global, calculé en considérant une surface du BV de 22.91 ha, est légèrement plus élevé en 2008 qu'en 2005 : 0.16 contre 0.13.

Une analyse des événements pluvieux (21 en 2005, 17 en 2008, discriminés par une distance inter événement de 4 heures et une hauteur minimale de pluie de 2 mm) souligne l'absence de pluies importantes en 2005. La pluie la plus importante a été celle du 30/09/2005 avec une lame d'eau de 14.6 mm. En 2008, la pluie du 07/08/2008 atteint 31.2 mm.

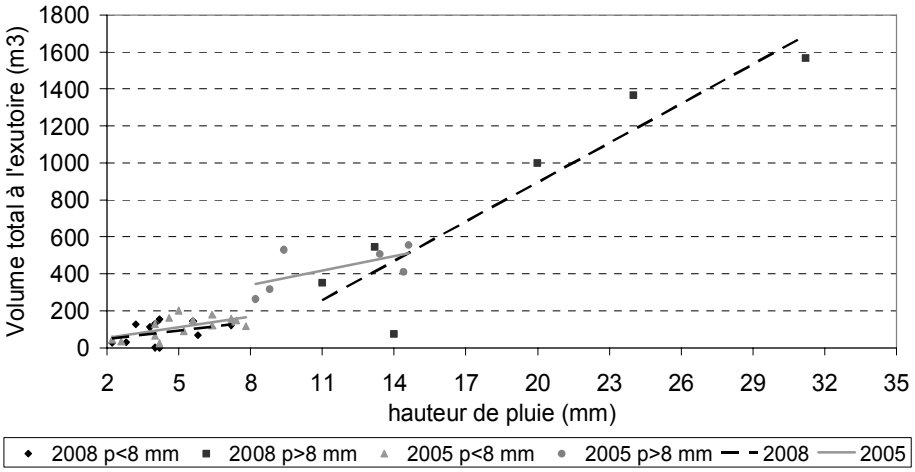


Figure 3 – Volume à l'exutoire en fonction de la hauteur de pluie, par événement, pour 2005 et 2008. Les courbes de tendance sont purement indicatives : leurs taux de corrélation avec les données sont très faibles.

L'évolution du volume ruisselé en fonction de la hauteur de pluie pour les deux campagnes est illustrée en figure 3. Sur le graphique on peut remarquer que pour les petites pluies (p<8mm) le comportement en 2005 et en 2008 ne montre pas de différence significative. Pour les pluies plus importantes le faible nombre d'évènements en 2005 rend difficile une comparaison.

Une autre information retenue lors de cette analyse est la variation de la distribution des temps de réponse du bassin versant entre 2005 et 2008, illustrée en figure 4. Un tel phénomène peut s'interpréter comme l'effet conjoint d'un vieillissement des réseaux, de l'obstruction des caniveaux, des avaloirs et des conduites, du rallongement des parcours de l'eau dans le BV dû à l'aménagement. Ceci nous a conduit à évaluer un paramètre indicatif de ce retard lors du calage (par. 2.4).

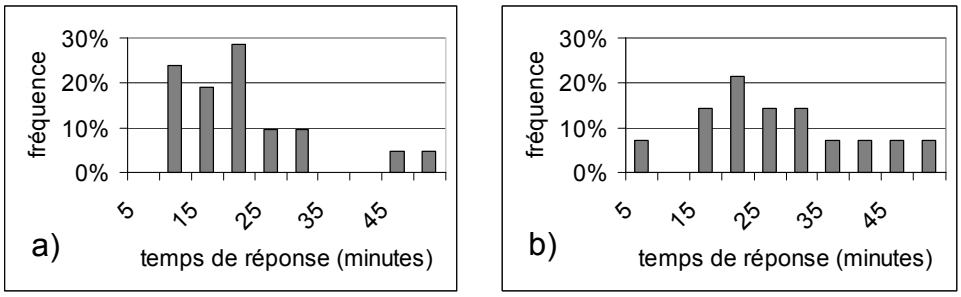


Figure 4 – Distribution des temps de réponse du BV pour 2005 (a) et 2008 (b)

2.4 Calage et validation du modèle

Le processus de calage du modèle a été orienté pour mettre en lumière les changements intervenus sur le BV entre 2005 et 2008, et notamment l'effet des cuves.

Préalablement, nous avons défini un ensemble de paramètres considérés constants sur la période étudiée. Par exemple, toute la description géométrique du réseau (hauteurs, diamètres, etc.) ainsi que la topographie et géologie des sous-bassins (surfaces, pentes, perméabilités, etc.). D'autres paramètres, dont le choix était plus délicat ou pour lesquels on disposait de moins d'informations, on fait l'objet d'un premier calage. Ceci a été le cas pour les pertes initiales sur les différentes typologies de surfaces.

Ce premier calage a consisté à rechercher un jeu optimal de paramètres via un algorithme génétique. La fonction objectif utilisée a été le critère de Nash calculé sur une série temporelle couvrant les premiers deux tiers des événements enregistré lors de la campagne de mesure 2008[4]. Les événements restants ont été utilisés pour la validation. Les valeurs obtenues pour le critère de Nash sont : $N_{calage,\ 2008}$=0.84 ; $N_{validation,\ 2008}$=0.83.

La robustesse du calage a été testée en le répétant dix fois sur des séries temporelles obtenues par combinaison aléatoire des événements de la campagne (2/3 pour le calage, 1/3 pour la validation). Dans 70 % des cas, les résultats sont proches (± 10%) de ceux obtenus sur la série réelle respectant l'ordre chronologique des évènements ; l'imperméabilisation montre des variations plus importantes, avec une moyenne sur l'ensemble des calages de 19.2% contre 13.4% obtenu sur la série réelle.

En troisième lieu, nous avons défini trois hypothèses sur les changements entre 2005 et 2008, correspondantes à trois paramètres du modèle :

- Augmentation de l'imperméabilisation des sols (*imperméabilisation*). Cette hypothèse est traduite dans le modèle par le paramètre $\%_{imp,AUT}$ qui représente le pourcentage de sol imperméable sur les surfaces de la catégorie « autres ». Cette valeur devrait augmenter entre 2005 et 2008.

- Installation des cuves de récupération (*cuves*). Comme décrit dans le paragraphe 2.2.1, cette modification est décrite par le paramètre $d_{p,TOIT-EQ}$. On s'attend à une augmentation de ce paramètre.

- Retard de l'écoulement (*retard*). On peut modéliser le comportement observé lors de l'analyse (par. 2.3.2) en faisant varier le coefficient de frottement de Manning n_c pour les conduites et caniveaux. Même si ce choix ne représente pas nécessairement une réalité physique, il permet de prendre en compte ce phénomène. On prévoit une augmentation de n_c dans le temps.

Sur la base de ces hypothèses, et en partant du modèle calé sur 2008, on a fait varier les trois paramètres en effectuant un deuxième calage. Algorithme, fonction objectif, construction des séries sont les mêmes que pour le premier calage. Les résultats de ce deuxième calage sont présentés dans le paragraphe 3. Les valeurs obtenus pour le critère de Nash sont : $N_{calage,\ 2005}$=0.59 ; $N_{validation,\ 2005}$=0.81. La validation du calage confirme les résultats obtenus pour les deux derniers paramètres tandis que, dans ce cas aussi, $\%_{imp,AUT}$ est plus élevé pour les séries aléatoires (5.8% contre 2.6%).

[4] On a choisi la campagne 2008 car potentiellement plus fiable et plus variée dans la typologie des événements enregistrés.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus via les deux calages du modèle sont les variations des paramètres pris en compte, montrés en tableau 3.

Année	$\%_{imp\ AUT}$ (%)	$d_{p\ TOIT-EQ}$ (mm)	n_C (-)
2005	2.6	2.76	0.02
2008	13.4	14.06	0.03
Variation 2005-2008	+10.8	+11.3	+0.01

Tableau 3 – Valeurs des paramètres obtenus par le calage

Ces résultats confirment les variations prévues pour la période 2005-2008. Cependant, il faut remarquer que les moins bonnes valeurs du critère de Nash pour 2005 peuvent être dues (i) à la moindre qualité des données 2005, (ii) au fait que les paramètres considérés ne sont pas suffisants à expliquer tous les changements de l'hydrologie du BV.

Pour évaluer l'efficacité des cuves par rapport aux autres transformations du BV, la figure 5 montre un exemple de l'effet relatif de chacune des modifications. Ces trajectoires sont obtenues en simulant le système (sur un événement intermédiaire : le 21/10/2005, 8.8 mm) à partir du calage 2005, en faisant varier un paramètre à la fois. On peut apprécier la forte atténuation du pic due aux cuves, ainsi que l'effet contraire de l'imperméabilisation.

Pour évaluer l'efficacité des cuves dans la réduction des débordements, nous avons comparé la pluie du 21/10/2005 à celle du 25/05/2007 (31.6 mm), pour laquelle des débordements ont été signalés[5]. Nous avons simulé, pour ces deux événements, trois scénarii limites :

- Cuves pleines ($d_{p,TOIT-EQ} = d_{p,TOIT-nonEQ}$) et cuves vides ($d_{p,TOIT-EQ} = d_{p,TOIT-nonEQ} + 13$). Ces deux scénarii montrent comment le comportement du BV peut changer en fonction des comportements des habitants, ainsi que l'utilité potentielle d'une sensibilisation à la vidange des cuves avant la pluie.
- Equipement de toutes les toitures du BV avec des cuves du même type ($d_{p,TOIT-nonEQ} = d_{p,TOIT-EQ}$). Ce scénario montre l'effet maximal d'une politique d'équipement avec des cuves de cette taille.

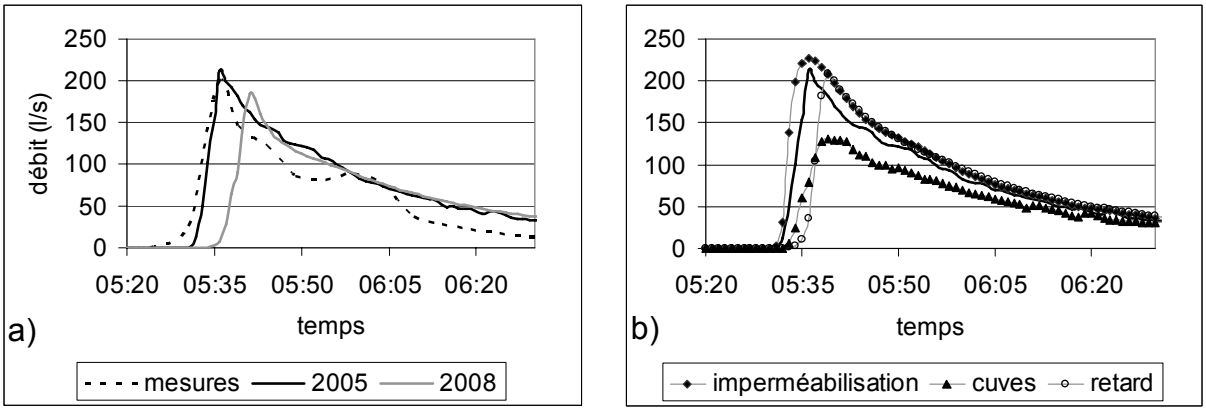


Figure 5 – (a) simulations du système calé sur 2005 et sur 2008, et (b) simulations avec variation d'un seul paramètre à la fois (événement du 21/10/2005)

Les simulations effectuées sont illustrées en figure 6. Pour la pluie moyenne (a) on remarque une différence significative entre cuves pleines et cuves vides, ainsi qu'une grande marge de réduction du ruissellement via l'équipement d'autres toitures. La superposition de la courbe de 2008 avec celle des cuves vides montre que, au moins pour la période estivale, les cuves sont largement vides au début des pluies.

Pour une pluie importante (b), qui dépasse les capacités de stockage des cuves et d'infiltration des

[5] Il est nécessaire de souligner que, les événements pluvieux important utilisés pour le calage étant rares, le modèle est moins fiable lors des simulations de ces derniers.

sols, l'impact des cuves est extrêmement réduit : en passant du scénario le moins favorable au plus favorable, la montée des débits est retardée de quelques minutes, et ensuite les courbes se superposent. Aucune réduction de la hauteur du pic ne se produit. L'effet des cuves se limite donc, dans ces conditions, à une réduction des temps de débordement.

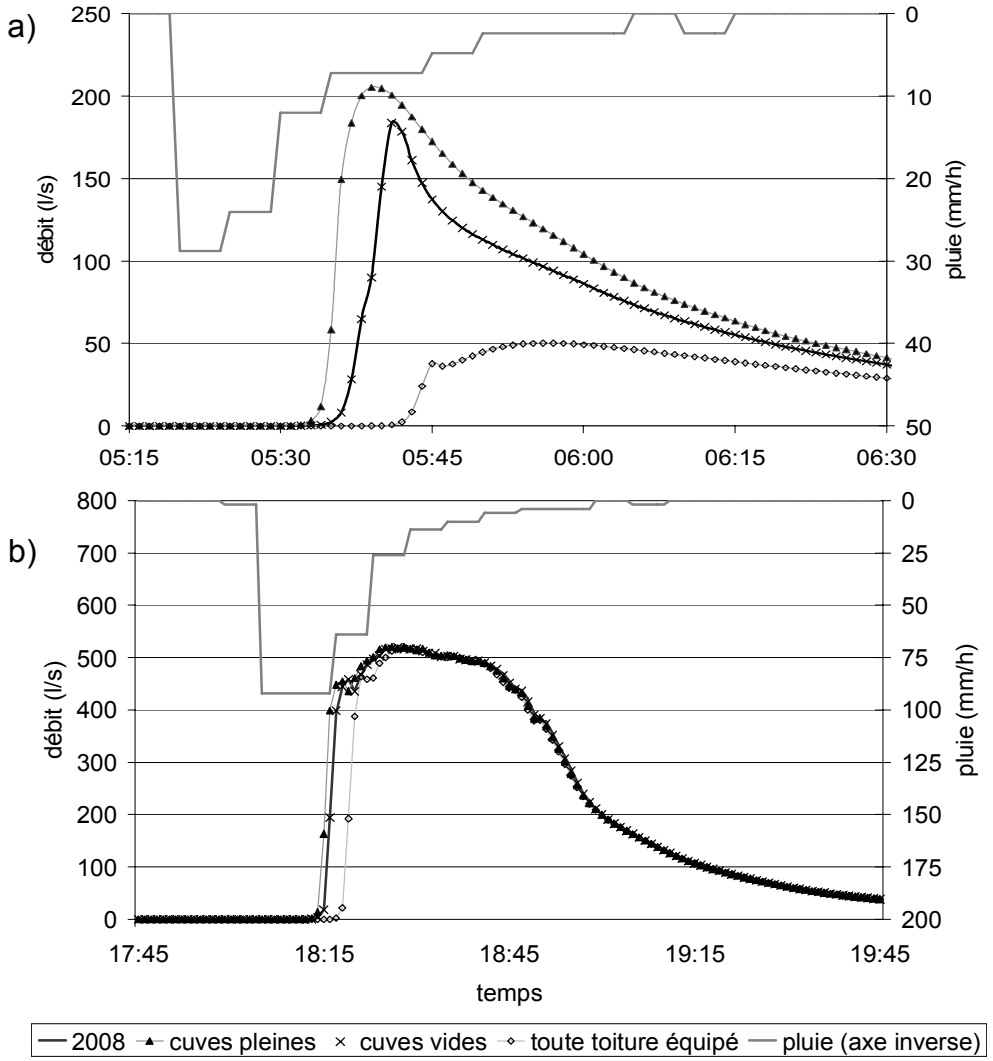


Figure 6 – simulations de trois scénarii limite pour deux pluies : 21/10/2005 (a) et 25/05/2007 (b).

4 CONCLUSION

Dans cet article nous avons évalué l'efficacité de l'installation de cuves de récupération des eaux de pluie pour réduire les débordements de réseaux. Lors de l'expérimentation, 30% des toitures du quartier « Village Parisien » ont été équipées (6% de la surface totale du BV), ce qui correspond à un stockage spécifique moyen de 13 mm pour ces toitures.

L'évaluation, basée sur l'analyse des données recueillies lors de deux campagnes de mesure (avant et après l'installation des cuves), a été réalisée via le modèle SWMM 5.

L'analyse des données a mis en lumière deux évolutions : une augmentation des zones imperméables et un retard des écoulements. Le modèle a été calé pour prendre en compte ces évolutions, ainsi que la mise en place des cuves.

Les résultats de ce calage montrent une bonne capacité du modèle à représenter les phénomènes de production et d'acheminement du ruissellement, ainsi que leurs changements au fil du temps. Davantage de données auraient permis une estimation plus fiable des évolutions observées, cependant, l'intégration des cuves dans le modèle, bien que indirecte dans le cas considéré, est efficace.

Les simulations effectuées sur le modèle calé et sur des scénarii alternatifs d'utilisation des cuves montrent que l'efficacité des cuves dans la réduction du ruissellement est remarquable pour les petites et moyennes pluies. Pour celles qui dépassent les capacités de stockage des cuves et d'infiltration des sols l'effet de l'expérimentation se limite à une petite réduction des temps de débordements.

Pour mieux quantifier cet effet, il serait intéressant de poursuivre l'étude en analysant l'efficacité des cuves en fonction du temps de retour des événements pluvieux, éventuellement utilisant des pluies de projet.

Une autre évolution possible est la simulation de différents ouvrages de contrôle à la source, tels des chaussées poreuses ou des bassins d'infiltration.

Outre les résultats obtenus dans l'évaluation de l'effet des cuves, l'ensemble des analyses effectuées a mis en lumière que les évolutions du tissu urbain, même dans un quartier déjà aménagé et sur une période relativement courte (3 ans), a des impacts sur le ruissellement du même ordre de grandeur que l'installation de cuves.

Ces phénomènes, qui nécessitent une analyse plus approfondie, peuvent avoir des conséquences importantes sur le dimensionnement du CS car la non-stationnarité des caractéristiques du BV implique (i) que les mesures effectuées ont une validité ponctuelle dans le temps, et (ii) que le dimensionnement doit prendre en compte le contexte physique d'une façon dynamique. Ce dernier point peut devenir une source supplémentaire de complexité dans la perspective d'une modélisation à grande échelle et d'une planification du CS.

BIBLIOGRAPHIE

de Gouvello B., Berthineau, B., Croum, I., François, Cl. (2005). L'utilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment. Les résultats d'opérations expérimentales en France. *Annales du Bâtiment et des Travaux Publics*, juin 2005, pp. 13-20.

A.H. Elliott, S.A. Trowsdale (2007), A review of models for low impact urban stormwater drainage, Environmental Modelling & Software, Volume 22, Issue 3, Special section: Advanced Technology for Environmental Modelling, March 2007, Pages 394-405.

Franchini M., Galeati G. and Berra S. (1998). Global optimization techniques for the calibration of conceptual rainfall-runoff models. *Hydrolog. Sci. J.*, 43, 443-458.

Guillon A., Kovacs Y., Roux C. and Sénéchal C. (2008). Rain water reusing for watering purposes: what storage capacity is needed and what benefits for the sewer networks. In: *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.

IPS (2008). STORM Manual. Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH. Berlin.

V. G. Mitchell, R. G. Mein, T. A. McMahon (2001). Modelling the urban water cycle, Environmental Modelling and Software, Volume 16, Issue 7, November 2001, Pages 615-629.

Niemczynowicz J. (1999). Urban hydrology and water management – present and future challenges. *Urban Water*, Volume 1, Issue 1, March 1999, Pages 1-14, ISSN 1462-0758.

Rossmann L.A. (2004). Storm water management model User's manual version 5.0. *U.S. EPA, Water Supply and Water Resources Division*, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati.

Vaes G. and Berlamont J. (2001). The effect of rainwater storage tanks on design storms. *Urban Water* 3, pp. 303–307.