

# FAVEUR : UN OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION DES TOITURES VÉGÉTALISÉES POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES URBAINES

*FAVEUR: a functional model to assess hydrological performances of vegetative green roofs*

**Emmanuel BERTHIER, David RAMIER, Pierre PINTA, Lisma SAFITRI, Jérémie CHOLLET<sup>1</sup>**

**Pierre-Antoine VERSINI, Bernard DE GOUVELLO<sup>2,3</sup>**

1 CEREMA , DT Île-de-France, France – emmanuel.berthier@developpement-durable.gouv.fr

2 Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Nantes, France

3 Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU), Paris, France

*En France, de nombreuses collectivités appliquent un règlement de gestion des eaux pluviales : les règles les plus courantes sont la limitation des débits de pointe (par rapport à une valeur maximale spécifique) ou l'abattement d'un volume de ruissellement (par rapport à une valeur minimale exprimée en mm). Les Toitures Terrasses Végétalisées (TTV) peuvent être utilisées pour obtenir le respect de ces règles de gestion. Les TTV ont en effet des impacts positifs sur le ruissellement urbain à l'échelle du toit: abattement des volumes de ruissellement et diminution et retardement des débits de pointe. Néanmoins, ces performances hydrologiques dépendent des caractéristiques de la TTV et du climat. L'objectif du travail présenté dans cet article est de développer un outil d'aide pour concevoir et dimensionner une TTV en fonction de règles à respecter, outil à l'intention des acteurs opérationnels. L'article explique la méthode et le modèle à la base de cet outil d'aide à la décision, puis présente une première version de l'outil et de ses résultats. Mots-clefs : toiture terrasse végétalisée, performance hydrologique, outil d'aide à la décision*

*In France, many municipalities have rainwater regulation rules. More common rules are runoff rate regulation or runoff volume retention. Vegetative green roofs (VGR) can be used to achieve respect to these regulation rules. Indeed VGR have positive impacts on urban runoff: decrease and slow-down of the peak rates, decrease of total volumes. Nevertheless, these performances on urban runoff depend on VGR characteristics and climate. The objective of this work is to develop a tool to help decision makers (architect, town planner, landscaper, ...) in the choice of the best VGR which comply with their rules. A functional model was developed during precedent work in order to simulate the rainfall-runoff transformation on VGR. The model is then used to simulate the hydrological response of several VGR configurations with large continuous rainfall series representing different French climatic regions. Analysis of simulation results provides statistics including runoff coefficients and water retention abilities (at annual, seasonal, and event scales). Finally, these results are synthesized in charts aiming to help decision makers to define the appropriate VGR to comply with their rainwater regulation rules.*

*Key-words : vegetative green roofs, hydrological performances, decision support tool*

## I INTRODUCTION

En France, de nombreuses collectivités appliquent un règlement de gestion des eaux pluviales afin de ne pas surcharger leur réseau unitaire ou pluvial. Les règles les plus courantes sont la limitation des débits de pointe (par rapport à une valeur maximale spécifique) ou l'abattement d'un volume de ruissellement (par rapport à une valeur minimale exprimée en mm). Les Toitures Terrasses Végétalisées (TTV) peuvent être utilisées, éventuellement en complément avec d'autres techniques, pour obtenir le respect de ces règles de gestion. Les TTV ont en effet des impacts positifs sur le ruissellement urbain à l'échelle du toit [Ramier, 2013]: diminution et retardement des débits de pointe, abattement des volumes de ruissellement. Néanmoins, ces performances hydrologiques dépendent des caractéristiques de la TTV (géométrie, végétation, substrat, etc.), et du climat local.

Dans le cadre du projet de recherche TVGEP ([De Gouvello et al., 2013], programme de recherche C2D2 financé par le Ministère du Développement Durable), des échanges ont eu lieu avec des acteurs opérationnels des toitures végétalisées et de la gestion des eaux pluviales urbaines (fabricants et poseurs de toitures,

maîtres d'ouvrages des réseaux, ...). L'intérêt d'un outil permettant de choisir la meilleure TTV en cohérence avec des règles de gestion des eaux pluviales urbaines a été identifié. Le développement d'un tel outil est l'objectif du travail présenté dans cet article.

Un modèle pluie-débit fonctionnel a été développé au cours du projet permettant de reproduire le comportement hydrologique d'une TTV donnée. Son application sur de longues chroniques de pluie, donc pour une large typologie d'événement pluvieux, et une large gamme de type de TTV doit permettre d'élaborer des relations entre les caractéristiques de la TTV et les règles à respecter ; ces relations sont à la base de la 1<sup>ère</sup> version de l'outil d'aide à la décision. L'article présente d'abord le modèle qui a servi à élaborer l'outil ; puis la méthode et la première version de l'outil d'aide à la décision sont présentées, avec une illustration des premiers résultats.

## II LE MODELE FAVEUR A LA BASE DE L'OUTIL

Un modèle fonctionnel représentant le comportement hydrologique d'une toiture végétalisée a été développé afin de reproduire le ruissellement à l'exutoire, modèle est à la base du développement de l'outil d'aide à la décision. Les développements, calage, et évaluation du modèle sont présentés brièvement dans les paragraphes suivants, des détails pouvant être trouvés dans [Ramier et al., 2013].

### II.1 L'importante base de données pour développer, caler, et évaluer le modèle

Une TTV expérimentale a été mise en œuvre sur le site du CEREMA de Trappes, à 30 km au Sud-Ouest de Paris. Un toit existant (figure 1) a été divisé en six compartiments végétalisés de 35 m<sup>2</sup> (7x5 m) et en deux compartiments de référence de 21 m<sup>2</sup> (7x3 m) dont un a été laissé avec seulement l'étanchéité (**BI**) et un autre avec des graviers (**GR**). Les six compartiments végétalisés ont des structures différentes : la composition florale est soit un mélange de sédum (**S**), soit un mélange de sédums et de graminées (**G**), un compartiment étant laissé sans végétation (**N**) ; les substrats sont qualifiés soit d'extensif (**E**) soit d'intensif (**I**), l'intensif ayant une teneur en matière organique supérieure ; les épaisseurs de substrat sont de **3** ou **15** cm ; enfin la couche de drainage est soit constituée de polystyrène expansé (**Y**) ou de pouzzolane hydro-rétentric (**Z**). L'instrumentation comprend les mesures en continu des conditions météorologiques, de la pluie, de la teneur en eau dans les substrats, et des ruissellements de chaque compartiment. L'ensemble de ces mesures a été acquis à partir du 15 juin 2011, et pour ce travail elles ont été exploitées jusqu'au 1 septembre 2013.



Figure 1: Photo de la toiture végétalisée expérimentale du CEREMA à Trappes avec les différents compartiments.

Le tableau I résume les coefficients de ruissellement observés sur les 8 compartiments, pendant les 2 années ( $CR_{an}$ ) et à l'échelle de l'événement pluvieux ( $CR_{ev}$ ). L'intérêt de la végétalisation est bien résumé par ses valeurs, intérêt qui croit avec une couverture en graminées, un substrat plus épais et plus organique, et une couche de drainage hydro-rétentric (cette logique est juste remise en cause sur le compartiment non-végétalisé NE3Y ; remise en cause non-expliquée à ce jour). Des limites hydrologiques sont aussi notées : par exemple pour tous les compartiments, les coefficients de ruissellement événementiel atteignent 1.

Compartiment	CR <sub>an</sub>	CR <sub>ev</sub> moyen	CR <sub>ev</sub> médian	CR <sub>ev</sub> max	CR <sub>ev</sub> min
BI	0,77	0,68	0,73	1	0
GR	0,61	0,38	0,43	0,95	0
SE3Y	0,53	0,24	0,02	1	0
SE3Z	0,40	0,19	0	0,92	0
NE3Y	0,40	0,20	0,02	1	0
SE15Y	0,36	0,17	0	0,95	0
GE15Y	0,32	0,15	0	0,88	0
GI15Y	0,29	0,14	0	0,92	0

Tableau I: Coefficients de ruissellement observés sur la toiture végétalisée expérimentale du CEREMA (-)

## II.2 Développement d'un modèle simple et peu paramétré

Le modèle FAVEUR (modèle Fonctionnel pour l'estimAtion de l'impact des toitures VEgétalisées sur le ruissellement URbain) a été développé afin de reproduire au mieux le ruissellement à l'exutoire d'une toiture végétalisée. De type réservoir, son développement a connu différentes étapes :

- une 1<sup>ère</sup> version comprenait 2 réservoirs représentant les compartiments végétation et substrat, avec pour paramétrer les transferts dans le substrat les notions de capacité au champs et points de flétrissement. Son développement et son évaluation s'étaient appuyés sur une chronique pluie-ruissellement de durée acquise pendant 1an sur unique toiture [Berthier et al., 2011] ;
- un modèle détaillé en une dimension a été testé afin de mieux comprendre la physique du comportement hydrologique d'une toiture végétalisée, en particulier des transferts dans le substrat en résolvant l'équation de Richards avec le logiciel Hydrus [Ramier et al., 2012] ;
- dès que les observations sur la toiture du CEREMA à Trappes ont été conséquentes, le travail sur le modèle réservoir a été poursuivi, aboutissant via une rigoureuse étude de sensibilité-calage multicritères à la version actuelle de FAVEUR-Modèle [Ramier et al, 2013].

La figure 2 schématise le fonctionnement du modèle : la toiture (végétation plus substrat) a premièrement une fonction d'abattement avec une capacité d'interception ( $C_{int}$ ), qui peut-être vidangée par évapotranspiration. Lorsque cette capacité d'interception est dépassée, la totalité de l'excédent alimente directement un réservoir qui représente le transfert (dans le substrat et la couche de drainage). Le ruissellement de la toiture  $Q$  est inversement proportionnel à une capacité ( $C_{tra}$ ) et une longueur ( $T_{tra}$ ) de transfert et dépend du stock  $S_{tra}$  au carré. Les données d'entrée de FAVEUR-Modèle sont des chroniques de pluie ( $P$ ) et d'évapotranspiration potentielle ( $ETP_{MF}$  généralement fournie par Météo-France), évapotranspiration potentielle modulée par le paramètre  $K_{int}$  afin d'être adaptée aux végétations de la toiture. Les pas de temps de simulations sont de quelques minutes.

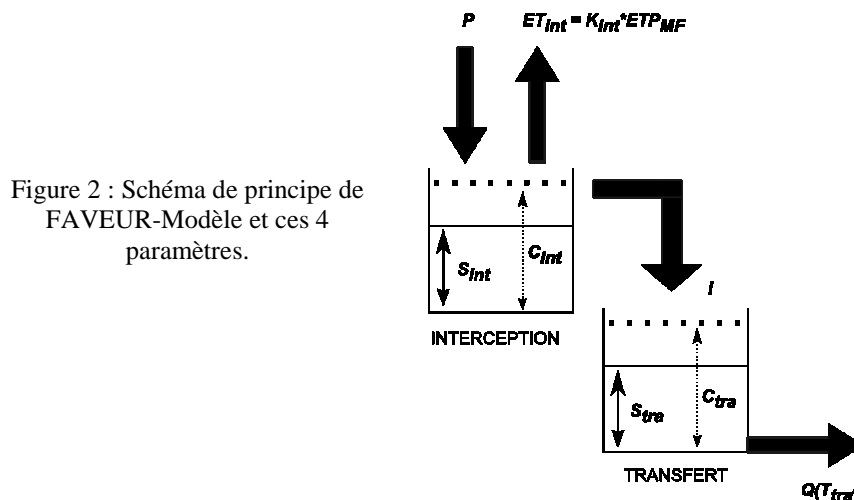


Figure 2 : Schéma de principe de FAVEUR-Modèle et ces 4 paramètres.

## II.3 Sensibilité, calage, et évaluation du modèle

Une étude de sensibilité et de calage de FAVEUR-Modèle a été menée avec une méthode mutli-critères [Ramier et al., 2013]. Elle a consisté à faire varier les 4 paramètres simultanément, via une série de 1000 simulations sur chaque compartiment et sur la période du 15juin au 14 juillet 2012. Les résultats ont montré que le modèle est plus sensible aux paramètres d'interception que de transfert, et qu'il fut également nécessaire de faire varier le  $K_{int}$  suivant la saison. L'évaluation obtenue est globalement satisfaisante avec des critères de Nash variant entre 0,78 et 0,89 selon le compartiment, et des critères de Bilan entre -13% et +12%.

Les valeurs des 4 paramètres qui donnent les meilleurs résultats sont présentées dans le tableau II. Ces valeurs sont pour la plupart cohérentes avec des considération physiques (cf. Ramier et al., 2013 pour une discussion complète).  $K_{int}$  est logiquement supérieur pour les deux compartiments couverts par un mélange graminées-sédums (G). La capacité d'interception est bien dépendante de l'épaisseur du substrat et peut-être aussi reliée à sa Capacité Maximale en Eau (CME), donnée fournie par les fabricants et qui représente une sorte de capacité d'interception volumique [ADIVET et al., 2007]. La capacité de transfert  $C_{tra}$  augmente si le substrat est plus épais, plus organique et avec les propriétés hydro-réentrices de la couche de drainage. Le paramètre  $T_{tra}$  est à rapprocher d'un temps de transfert principalement lié à la géométrie de la toiture, qui est identique sur les 6 compartiments. Comme les compartiments expérimentaux ont la même superficie réduite ( $35m^2$ ), il est en état actuel difficile de relier les valeurs des paramètres de transfert à des caractéristiques de la toiture.

Paramètres	SE3Y	SE3Z	NE3Y	SE15Y	GE15Y	GI15Y
$K_{int}$ (mm) [été/hiver]	1/0,5	1/0,5	1/0,5	1/0,5	1,2/0,5	1,2/0,5
$C_{int}$ (mm)	12	12	12	21	21	21
$C_{tra}$ (mm)	10	20	10	30	30	32
$T_{tra}$ (min)	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Tableau II: Valeurs optimales des 4 paramètres de FAVEUR-Modèle pour les compartiments de la toiture expérimentale du CEREMA à Trappes

## III PREMIER DEVELOPPEMENT DE FAVEUR-OUTIL

### III.1 Méthodologie du développement de l'outil

Le développement de la première version de l'outil FAVEUR a été effectué en respectant une série d'idées. L'outil doit être simple et convivial : il doit pouvoir être utilisé par des non-spécialistes de la gestion des eaux pluviales et doit avoir un minimum d'ergonomie. L'outil doit être facilement mis à disposition : son usage ne doit par exemple pas nécessiter de réaliser des simulations avec FAVEUR-Modèle. Enfin, l'intérêt des toitures végétalisées pour la gestion des eaux pluviales doit être résumé via des critères utilisés en opérationnel.

La méthodologie suivie pour ce 1<sup>er</sup> développement est résumée en figure 3. Le principe est de réaliser, avec de longues chroniques pluie-ETP supposées caractéristiques d'un climat donné, une série de simulations avec FAVEUR-modèle. Ces simulations sont effectuées avec des valeurs de paramètres qui couvrent une large gamme de caractéristiques de toitures. Des critères utilisés pour la gestion des eaux pluviales sont calculés par chaque simulation et leurs valeurs sont reliées aux caractéristiques de la toiture. Ces relations sont entrées dans un tableur et permettent alors connaissant les caractéristiques d'une toiture, d'en déduire ses performances en critères de gestion des eaux pluviales.

Des échanges ont eu lieu avec les différents partenaires du projet TVGEP [Degouvello et al., 2013] pour définir les critères hydrologiques à introduire dans l'outil et qui sont intéressants pour la gestion des eaux pluviales urbaines. Du fait qu'en l'état actuel du développement de FAVEUR-Modèle, il est très incertain de relier les caractéristiques d'une toiture aux paramètres de transfert du modèle, il a été retenu pour ce 1<sup>er</sup> développement de retenir que des critères représentatifs de la production du ruissellement. Pour compléter le critère répandu de coefficient de ruissellement CR (rapport sans unité entre les hauteurs de ruissellement et de pluie), le critère d'abattement AB a aussi été retenu (différence en mm entre la hauteur de pluie et la

hauteur de ruissellement). Ces critères sont calculés à différentes échelles de temps (annuelle, saisonnière, et événementielle) et caractérisés statistiquement (moyenne, médiane, quantile à 25% et 75% pour l'échelle événementielle).

Le développement de FAVEUR-Outil nécessite de relier certaines caractéristiques d'une toiture végétalisée avec les paramètres de FAVEUR-Modèle. Les relations recherchées ont été obtenues à partir de considérations physiques et des résultats du calage de FAVEUR-Modèle sur la toiture expérimentale du CEREMA à Trappes (cf. Tableau II). Comme les critères retenus portent uniquement sur la production, les deux paramètres d'interception de FAVEUR-Modèle sont concernés et les relations suivantes ont été retenues en fonction de certaines caractéristiques de la toiture :

- $K_{int} = 1$  (été) / 0,5 (hiver) si la végétation est de type Sedum, et  $K_{int} = 1,2$  (été) / 0,5 (hiver) pour le type Graminé plus sedum ;
- $C_{int} = CME (-) \times \text{épaisseur du substrat (mm)}$ , tant que l'épaisseur ne dépasse pas 5cm ;  $C_{int} = CME (-) \times 50$  mm sinon. Les épaisseurs de substrat rencontrées sur les toitures terrasses végétalisées extensives sont d'au minimum 3cm et d'au maximum une vingtaine de cm. Les CME des substrats actuels sont comprises dans le large intervalle 10% - 50%. Dans ces conditions, le paramètre  $C_{int}$  varie entre 1mm et 25mm.

En résumé pour un climat donné, une série de 500 simulations est réalisée avec une configuration Sedum et en tirant aléatoirement le valeur de  $C_{int}$  entre 1 et 25mm, et une autre série de 500 simulations est réalisée en configuration Graminé plus sedum en tirant toujours aléatoirement la valeur de  $C_{int}$ .

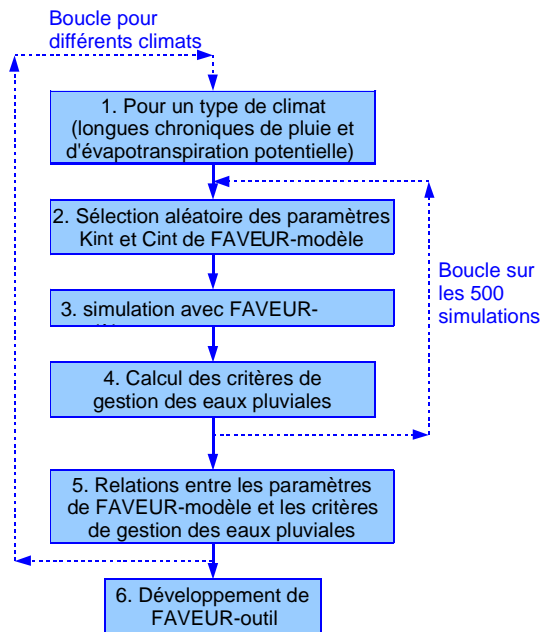


Figure 3: Logigramme de la méthodologie suivie pour le développement de FAVEUR-Outil

### III.2 Réalisation de simulations sous 2 climats français

Cette première version de l'outil est développée en considérant 2 climats français métropolitains très différents. Le climat océanique dégradé est représenté par des données de pluie acquises au pas de temps de 5min dans le départements des Hauts-de-Seine par le Conseil Général entre le 1<sup>er</sup> juillet 1993 et le 31 décembre 2011. Le climat méditerranéen est représenté avec des données de pluie acquises à Montpellier au pas de temps de 5min entre le 1<sup>er</sup> juillet 1982 et le 31 décembre 2003. Ces chroniques de pluie sont de par leur qualité et leur durée représentatives de la pluviométrie de la région pour les événements fréquents (période de retour ne dépassant pas quelques années). Les données d'ETP sont fournies par Météo-France au pas de temps journalier sur les mêmes périodes et sur des stations proche des pluviomètres. Elles sont désagrégées au pas de temps de 5min en introduisant le cycle diurne et en considérant un profil sinusoïdal pendant la journée (entre les lever et coucher du soleil variables en fonction de l'année et de la latitude).

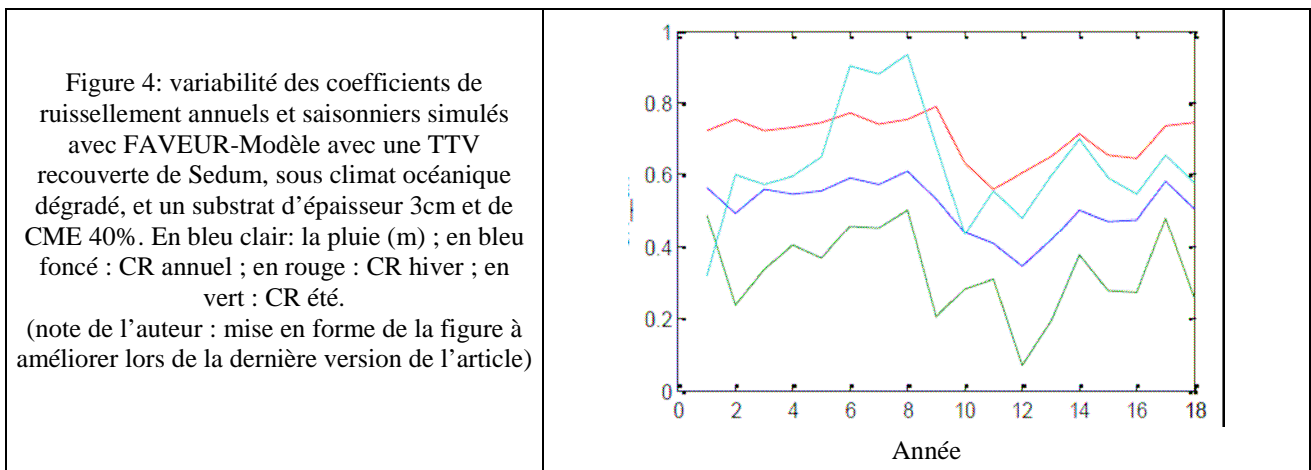
Afin de calculer les critères de gestion des eaux pluviales, une série d'événement pluvieux est identifiée pour chacune des chroniques de pluie. La méthode d'identification est basée sur les règles suivantes : un événement commence dès que la pluie est non-nulle (basculement d'un auget de pluviomètre représentant

0,2mm de pluie) ; il se finit si pendant la durée de 12h, la pluie reste nulle. Une première étude a été réalisée afin d'étudier la sensibilité des résultats à cette méthode d'identification, mais elle doit être approfondie. Finalement, seuls les événements avec une hauteur de pluie supérieure à 1mm sont retenus, et 2 échantillons sont distingués (tous les événements de pluie > 1mm, et ceux > 5mm). Le tableau III résume les caractéristiques des échantillons d'événements, sous les 2 climats étudiés.

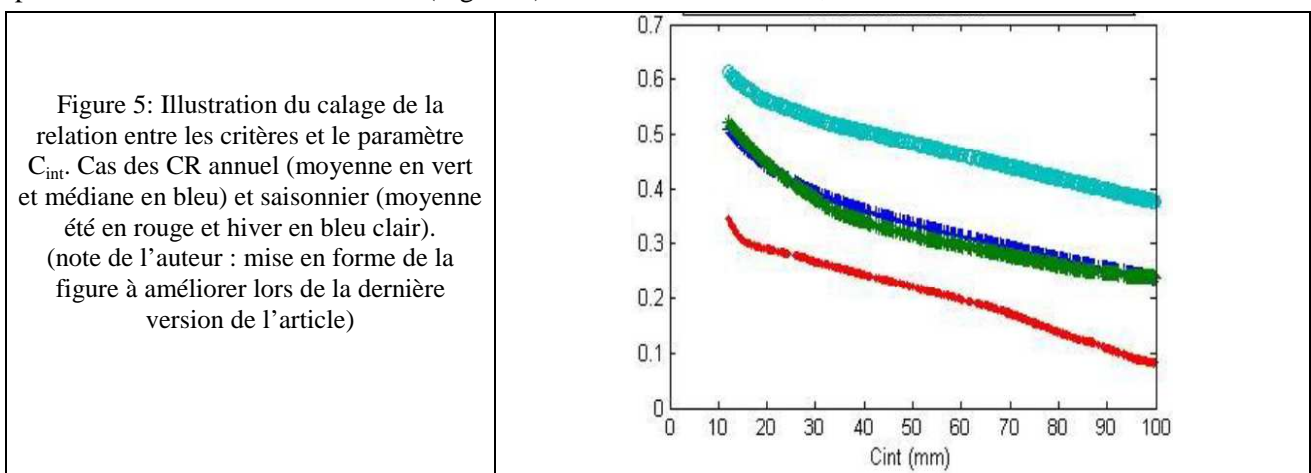
Climat	Nb. d'événements (par an)	Moyenne des durées (h)	Moyenne des hauteurs de pluie (mm)	Moyenne des intensités moyennes (mm/h)
Océanique dégradé	42 / 38	9 / 20	2,7 / 13,0	0,8 / 1,4
Méditerranéen	17 / 22	14 / 36	2,7 / 24,8	0,6 / 1,7

Tableau III: caractéristiques des échantillons d'événements pluvieux utilisés (1<sup>ère</sup> valeur pour l'échantillon d'évènement avec une hauteur de pluie > 1mm, 2<sup>nd</sup> valeur pour l'échantillon avec hauteur de pluie > 5mm)

Pour illustration, des résultats avec une TTV recouverte de Sedum et un substrat d'épaisseur 3cm avec une CME de 40% sont montrés en figure 4 (cette configuration est proche de la configuration SE3Y du banc d'essai de Trappes ;  $K_{int} = 1$  (été) / 0,5 (hiver) et  $C_{int} = 12$  mm). Les CR annuels et saisonniers connaissent une forte variabilité inter-annuelle, expliquée en partie par le cumul de pluie. Les CR hivernaux sont largement supérieurs aux CR estivaux, avec une variabilité moindre en hiver qu'en été.



Pour chaque type de climat et chaque type de végétation, les 500 simulations effectuées permettent d'étudier la relation entre les critères retenus et le paramètre  $C_{int}$ . Pour tous les critères, une expression simple de cette relation est calée ; elle est parfois très élémentaire : les CR événementiels ont comme maximum 1 et minimum 0 quelles que soient les caractéristiques de la TTV et le climat. L'expression est parfois un peu plus complexe et peut-être exprimée par un polynôme de degrés 3 : c'est le cas par exemple pour les CR annuels et saisonniers (Figure 5). Mais dans tous les cas, la relation calée est très satisfaisante.



### III.3 Première mise en forme de l'outil

Une première mise en forme de l'outil a été réalisée à partir des simulations et résultats précédents. Sous une feuille de tableur, l'outil nécessite comme entrée certaines caractéristiques de la toiture (type de végétation, épaisseur et CME du substrat), et il calcule i) la valeur du paramètre de FAVEUR-Modèle  $C_{int}$ , et ii) les critères de gestion des eaux pluviales résumés dans un tableau. La figure 6 illustre la forme de l'outil et les résultats fournis pour une toiture.

Pour le climat océanique dégradé, on peut observer que plus de 25% des événements ont un CR nul et plus de 25% ont aussi un CR supérieur à 0,8 (0,9 si seuls les événements >5mm sont retenus). Les abattements annuels et saisonniers connaissent de fortes variations d'une année à l'autre ; en moyenne l'abattement événementiel est de 5mm, mais 25% des événements ont un abattement inférieur à 0,5mm et 25% des événements ont un abattement supérieur à 11mm.

La comparaison des performances sous les 2 climats est aussi instructive. Les CR annuels sont supérieurs sous le climat méditerranéen, avec des valeurs plus élevées en été et un peu plus réduites en hiver. Sur les CR événementiels, c'est les valeurs fortes (q75) qui sont plus élevées que sous le climat océanique dégradé. Les abattements événementiels sont très différents : ils sont plus importants sous climat méditerranéen, en moyenne mais surtout pour les valeurs réduites (le q25 est 10 fois supérieur).

CLIMAT OCEANIQUE DEGRADE												
Paramètres TTV		CRITERES HYDRIQUES DE LA TTV										
			CR annuel	CR ete	CR hiver	CR ev >1mm	CR ev > 5mm	AB annuel	AB ete	AB hiver	AB ev >1mm	AB ev >5mm
CME substrat (en %)	40	minimum	0,3	0,0	0,6	0,0	0,0	145	110	29	0,0	0,0
Epaisseur substrat (cm)	3	moyenne	0,5	0,3	0,7	0,4	0,5	310	220	84	5,0	5,4
Nature de la végétation (S ou G)	S	mediane	0,5	0,3	0,7	0,3	0,7	316	211	84	3,7	3,4
		maximum	0,6	0,5	0,8	1,0	1,0	384	280	106	12,0	12,0
		q25				0	0				0,4	0,5
Cint (mm)	12	q75				0,8	0,9				10,8	11,2

CLIMAT MEDITERRANEEN												
Paramètres TTV		CRITERES HYDRIQUES DE LA TTV										
			CR annuel	CR ete	CR hiver	CR ev >1mm	CR ev > 5mm	AB annuel	AB ete	AB hiver	AB ev >1mm	AB ev >5mm
CME substrat (en %)	40	minimum	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	71	42	28	0,0	0,0
Epaisseur substrat (cm)	3	moyenne	0,6	0,5	0,5	0,3	0,5	207	121	87	8,4	8,8
Nature de la végétation (S ou G)	S	mediane	0,6	0,6	0,7	0,2	0,5	209	118	81	11,0	10,0
		maximum	0,8	0,7	0,9	1,0	1,0	288	202	128	12,0	12,0
		q25				0	0				4,1	4,5
Cint (mm)	12	q75				0,6	0,8				11,9	11,9

Figure 6: illustration de la forme et des résultats de FAVEUR-Outil

## IV CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cet article a présenté le développement et une 1<sup>ère</sup> version d'un outil d'aide à la conception des toitures terrasses végétalisées pour la gestion des eaux pluviales. FAVEUR-Outil est sur sa forme assez simple et doit permettre à toutes les personnes intéressées (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, aménageur, techniciens, ...) de mieux évaluer les performances des toitures végétalisées pour la gestion des eaux pluviales, et inversement d'optimiser les caractéristiques de la toiture en cohérence avec des règles de gestion.

FAVEUR-Outil a été développé à partir des résultats d'un modèle fonctionnel représentant le comportement hydrologique des toitures terrasses végétalisées. FAVEUR-Modèle est un modèle à 2 réservoirs et peu paramétré ; il a été développé et évalué à partir d'une importante base de données expérimentale et s'avère représenter correctement les ruissellements observés ; ses valeurs de paramètres sont aussi bien reliés à des caractéristiques de chaque toiture.

Une première version de l'outil a été mise en oeuvre simplement sous une forme de feuille de tableur et en considérant 2 climats français (océanique dégradé et méditerranéen). Cette première version fournit, à partir de la saisie de caractéristiques de la toiture, une série de critère représentant les performances en terme de gestion des eaux pluviales de la toiture. Elle permet aussi d'illustrer l'intérêt des toitures terrasses végétalisées pour la gestion des eaux pluviales (intérêt variable en fonction de la conception et du climat) mais aussi les limites : par exemple le coefficient de ruissellement événementiel maximum vaut toujours 1, quelle que soit la structure retenue et le climat. FAVEUR-Outil et sa notice seront rapidement mis à disposition de la communauté sur la plate-forme de partage Wikhydro. Il est à noter que FAVEUR-Outil fournit des performances à l'échelle du toit, et qu'en aucun cas ces performances sont transférables à l'identique à l'échelle du bassin versant: la dynamique des écoulements, la structure du réseau d'évacuation des eaux pluviales, et la répartition spatiale des toits végétalisées jouant alors un rôle [Versini et al., 2013].

C'est une 1<sup>ère</sup> version de FAVEUR-Outil, et un travail d'amélioration va continuer dans les années à venir. Des pistes de travail sont déjà identifiées, pistes à confirmer avec les 1<sup>er</sup> retour des pratiques de l'outil :

- l'amélioration de FAVEUR-Modèle : ce travail scientifique devra s'appuyer sur d'autres bases de données acquises sur des toitures variées (en particulier la géométrie en plan et la pente). Le schéma d'évapotranspiration pourrait ainsi être amélioré ;
- l'amélioration de FAVEUR-Outil : il serait intéressant d'introduire dans le tableur les performances de toitures traditionnelles non-végétalisées (étanchéité nue et couverture en gravillon) afin de bien illustrer l'intérêt de la végétalisation. Des critères représentant les performances en terme de débit de pointe devront être introduits ; d'autres climats pourraient aussi être testés. Enfin, la forme et l'ergonomie de l'outil pourraient être améliorées, avec par exemple une possibilité de rentrer un objectif de gestion des eaux pluviales, l'outil donnant alors les conceptions de toitures qui permettent de le respecter.

*Les développements de FAVEUR-Modèle et FAVEUR-Outil ont été réalisés dans le cadre du projet « intérêt des Toitures Végétalisées pour la Gestion des Eaux Pluviales (TVGEP) » financé par le programme Concevoir et Construire pour le Développement Durable (C2D2) de la DRI du ministère du Développement Durable, et en recueillant les avis des partenaires opérationnels (Conseils Généraux des Hauts-de-Seine et de Seine-St-Denis ; association Adivet).*

## V REFERENCES

- ADIVET, FFB, CSFE , 2007. - Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées (édition n°2).
- Berthier E., Ramier D., De Gouvello B. (2011). - Simulation of green roof hydrological behavior with a reservoir model, in: 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre, Brésil, 11-16 septembre 2011, p. PAP005348
- Ramier D, Berthier E., et al. (2012). - Determination of influent parameters on green roof hydrological behavior. 9ème International Conference on Urban Drainage Modeling, Belgrade, Serbie.
- Ramier D. (2013). - Intérêt des toitures végétalisées pour la gestion des eaux pluviales : une synthèse bibliographique. Site internet Wikhydro.
- Ramier D, Gallis D, Dussuchale A., Pinta P., Versini P.A., de Gouvello B. (2013). - Analyse du fonctionnement hydrologique de toitures végétalisées: observations et modélisation. Colloque INOGEDEP, Nantes.