

Note Technique

TN 6.32_Q Dimensionnement du collecteur pour les systèmes de chambres StormTech®

Introduction

La conception des systèmes de chambres souterraines, dans le cadre de l'aménagement d'un site, comporte de nombreuses contraintes propres au site et exigences réglementaires qui font en sorte que la responsabilité globale de la conception incombe nécessairement à l'ingénieur-conseil. Toutefois, ADS offre un soutien à l'ingénieur concepteur pour l'aménagement des systèmes de chambres et des collecteurs qui relient les chambres au système de drainage. Ce document technique résume les méthodes utilisées par ADS pour calculer les dimensions et la configuration des collecteurs du système de chambres StormTech.

Les collecteurs du système de chambres StormTech sont composés de tuyaux à paroi intérieure lisse, de raccords ainsi que de sections de collecteurs moulées par injection et préfabriquées, conçues pour respecter l'espacement approprié entre les rangées de chambres. L'utilisation de composants de tuyauterie communs permet à l'ingénieur d'appliquer des équations hydrauliques simples pour dimensionner le système de collecteur.

Les principaux objectifs de conception du collecteur sont les suivants : 1) acheminer les débits de pointe vers et depuis le système de chambre sans causer de remous indésirables et 2) empêcher l'affouillement de l'assise sous le système de chambre. ADS suppose que l'élévation maximale admissible de la surface de l'eau correspond au niveau de stockage maximal (au sommet de la couche de pierre nette). L'ingénieur concepteur peut choisir de concevoir le système en fonction d'une élévation maximale de la surface de l'eau plus élevée. Étant donné que la relation entre les hydrographes de captage, le contrôle d'exutoire, le temps jusqu'au débit de pointe et le stockage accumulé est spécifique au site et complexe, ADS suppose que le débit de pointe d'avaloir se produit lorsqu'il n'y a pas d'eau dans les chambres. Il s'agit de la condition la plus défavorable en matière d'affouillement. ADS suppose que les chambres sont pleines lorsque le débit de pointe d'exutoire se produit.

Collecteurs de l'avaloir

La conception du collecteur d'avaloir peut être divisée en trois parties. Tout d'abord, déterminez la capacité de débit du collecteur principal. Ensuite, déterminez la capacité de débit et le potentiel d'affouillement de chaque tronçon. Enfin, comparez les deux valeurs et choisissez la plus petite des deux.

Dimensionnement du collecteur d'avaloir

La conception du collecteur principal est déterminée en utilisant l'équation de l'orifice d'un tube court. En général, les systèmes de chambres StormTech sont posés de niveau avec une longueur minimale entre le regard et l'emplacement du premier tronçon. Dans ce cas, le tube court sera la condition déterminante. Le débit dans le collecteur principal est réduit après chaque tronçon et les pertes de chute dans le reste du collecteur ne sont pas déterminantes.

L'équation de l'orifice d'un tube court^[1] est :

$$Q = Ca\sqrt{2gh}$$

Où,

Q = débit maximal à travers l'orifice $m^3 \left(\frac{m^3}{s} \right) f^3$

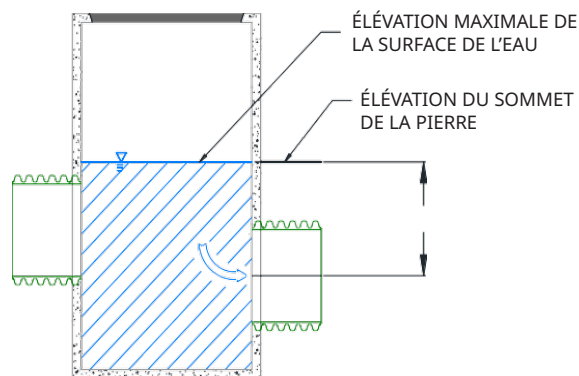
C = 0,75 [coefficient de décharge sans unité]

a = aire du collecteur m^2 (po²)

g = $9.8 \frac{m^2}{s^2}$, $\left(32.2 \frac{f}{s^2} \right)$

h = chute sur le centre de l'orifice m (po)

Figure 1 : Chute pour l'équation de l'orifice d'un tube court



La valeur de « h » dépend de la taille, du radier et de la configuration du collecteur sélectionné. La taille de la chambre et le couvercle peuvent limiter les tailles de collecteur disponibles. En fin de compte, un collecteur est considéré comme acceptable lorsque les valeurs de « a » et de « h » produisent une valeur de Q supérieure au débit d'avaloir requis. Les valeurs de « h » sont généralement basées sur les composants StormTech standards. Les radiers des tronçons standards se trouvent dans la spécification technique correspondant au modèle de chambre.

L'ingénieur concepteur peut appliquer une valeur plus élevée pour « h » si elle n'est pas limitée par l'élévation maximale de la surface de l'eau fixée au sommet de la pierre.

Dimensionnement du tronçon d'avaloir

Les débits des tronçons d'avaloir ont été calculés en évaluant la connexion du tronçon comme un déversoir circulaire à crête large^[2]. Le débit à travers le tronçon peut être calculé à l'aide des équations suivantes.

$$Q = C_d d_0^{2.5} g^{0.5} f(\theta)$$

$$C_d = 0.93 + 0.10 \frac{H_1}{L}$$

Où,

C_d = coefficient de décharge [dimension sans unité]

L = longueur du déversoir dans le sens de l'écoulement m (po)

g = $9.8 \frac{m^2}{s^2}$, $\left(32.2 \frac{f}{s^2} \right)$

H₁ = tête d'énergie m (po)

d₀ = diamètre du tronçon m (po)

f(θ) = facteur de forme pour la section de contrôle

Le facteur de forme peut être interpolé à partir du tableau 1 et varie en fonction de la tête d'énergie. La tête d'énergie est supposée ne pas dépasser le diamètre du tronçon.

Figure 2 : Collecteur StormTech comme déversoir à seuil large avec section transversale circulaire

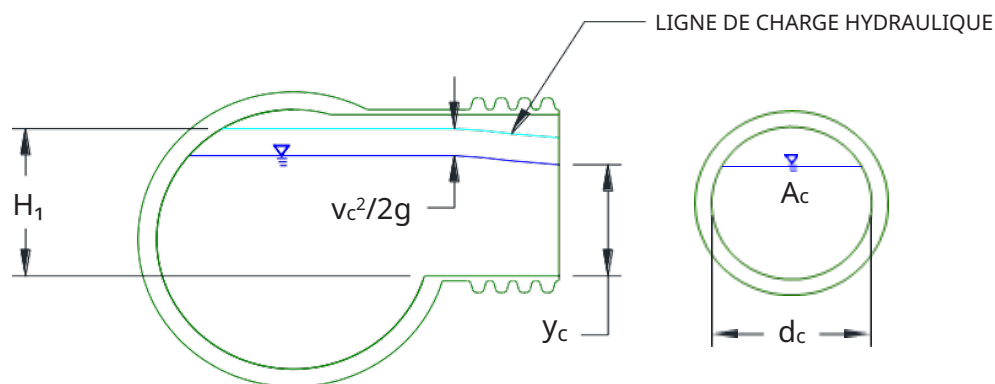


Tableau 1 : Rapports pour déterminer le débit de décharge Q d'un déversoir à seuil large avec une section de contrôle circulaire^[2]

$\frac{H_1}{d_c}$	$f(\theta)$	$\frac{H_1}{d_c}$	$f(\theta)$	$\frac{H_1}{d_c}$	$f(\theta)$
0.0668	0.0027	0.4926	0.1311	0.9502	0.4189
0.0803	0.0039	0.5068	0.1382	0.9674	0.4314
0.0937	0.0053	0.5211	0.1455	0.9848	0.444
0.1071	0.0068	0.5354	0.1529	1.0025	0.4569
0.1206	0.0087	0.5497	0.1605	1.0204	0.4701
0.1341	0.0107	0.5641	0.1683	1.0386	0.4835
0.1476	0.0129	0.5786	0.1763	1.0571	0.4971
0.1611	0.0153	0.5931	0.1844	1.0759	0.5109
0.1746	0.0179	0.6076	0.1927	1.0952	0.5252
0.1882	0.0214	0.6223	0.2012	1.1148	0.5397
0.2017	0.0238	0.6369	0.2098	1.1349	0.5546
0.2153	0.027	0.6517	0.2186	1.1555	0.5698
0.2289	0.0304	0.6665	0.2276	1.1767	0.5855
0.2426	0.034	0.6814	0.2368	1.1985	0.6015
0.2562	0.0378	0.6964	0.2461	1.221	0.618
0.2699	0.0418	0.7114	0.2556	1.2443	0.6351
0.0736	0.046	0.7265	0.2652	1.2685	0.6528
0.2973	0.0504	0.7417	0.275	1.2938	0.6712
0.3111	0.055	0.757	0.2851	1.3203	0.6903
0.3248	0.0597	0.7724	0.2952	1.3482	0.7102
0.3387	0.0647	0.7879	0.3056	1.3777	0.7312
0.3525	0.0698	0.8035	0.3161	1.4092	0.7533
0.3663	0.0751	0.8193	0.3268	1.4432	0.7769
0.3802	0.0806	0.8351	0.3376	1.48	0.8021
0.3942	0.0863	0.8511	0.3487	1.5204	0.8293
0.4081	0.0922	0.8672	0.3599	1.5655	0.8592
0.4221	0.0982	0.8835	0.3713	1.6166	0.8923
0.4361	0.1044	0.8999	0.3829	1.6759	0.9297
0.4502	0.1108	0.9165	0.3947	1.7465	0.9731
0.4643	0.1174	0.9333	0.4068	1.8341	1.0248
0.4784	0.1289				

En plus de déterminer la capacité hydraulique du tronçon, la vitesse d'écoulement dans la chambre doit être vérifiée pour s'assurer que la vitesse d'affouillement de la pierre n'est pas dépassée. La vitesse d'affouillement est basée sur la contrainte de cisaillement critique du matériau de l'assise, qui dépend de la taille des particules. La pierre n° 57 est utilisée pour l'analyse puisque le diamètre des particules du matériau est le plus petit autorisé dans le guide des matériaux StormTech. La vitesse de cisaillement admissible et la contrainte de cisaillement se trouvent dans le tableau 2.

Tableau 2 : Vitesse de cisaillement admissible et contrainte de cisaillement pour divers types de matériaux^[2]

Matériel	Eau claire		Eau transportant des limons colloïdaux	
	$U \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	$\tau_0 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$	$U \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	$\tau_0 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$
Sable fin, colloïdal	1.50	0.027	2.50	0.075
Terre franche sableuse, non colloïdale	1.75	0.037	2.50	0.075
Terre franche limoneuse, non colloïdale	2.00	0.048	3.00	0.11
Limons alluviaux, non colloïdaux	2.00	0.048	3.50	0.15
Glaize ferme ordinaire	2.50	0.075	3.50	0.15
Cendres volcaniques	2.50	0.075	3.50	0.15
Argile limoneuse, très colloïdale	3.75	0.26	5.00	0.46
Limons alluviaux, colloïdaux	3.75	0.26	5.00	0.46
Schistes et couche indurée	6.00	0.67	6.00	0.67
Gravier fin	2.50	0.075	5.00	0.32
Terre franche graduée jusqu'aux galets, lorsqu'elle est non colloïdale	3.75	0.38	5.00	0.66
Limons gradués jusqu'aux galets, lorsqu'il est colloïdal	4.00	0.43	5.50	0.80
Gravier grossier, non colloïdal	4.00	0.30	6.00	0.67
Cailloux et galets	5.00	0.91	5.50	1.10

En règle générale, ADS suppose 230 mm (9 po) d'eau en retenue dans la série MC et 150 mm (6 po) d'eau en retenue dans la série SC lorsque le débit de pointe se produit. De plus, StormTech ignore les pertes dues à l'impact, les pertes du jet sortant de l'embout, les pertes dues à l'expansion lorsque l'eau s'effiloche vers l'extérieur et les pertes de friction causées par les ondulations. Avec des diamètres d'embout et des débits plus importants, il est possible qu'un saut hydraulique se forme. Les longueurs d'affouillement ont été déterminées pour s'assurer que le saut se produit avant la fin du géotextile anti-affouillement.

Tableau 3 : Débit d'avaloir maximal autorisé par diamètre de tronçon, par modèle de chambre

Diamètre de tronçon mm (po)	Débit d'avaloir par tronçon, par modèle de chambre $cfs \left(\frac{L}{s} \right)$				
	SC-160LP	SC-310	DC-780 / SC-800	MC-3500	MC-4500 / MC-7200
150 (6)	10.4 (0.37)	12.1 (0.43)	12.1 (0.43)	12.1 (0.43)	12.1 (0.43)
200 (8)	20.9 (0.74)	25.1 (0.89)	25.1 (0.89)	25.1 (0.89)	25.1 (0.89)
250 (10)	NA	37.3 (1.32)	44.1 (1.56)	44.1 (1.56)	44.1 (1.56)
300 (12)	NA	58.5 (2.07)	65.0 (2.30)	70.1 (2.48)	70.1 (2.48)
375 (15)	NA	NA	79.2 (2.80)	99.0 (3.50)	99.0 (3.50)
450 (18)	NA	NA	79.2 (2.80)	155.6 (5.50)	155.6 (5.50)
600 (24)	NA	NA	79.2 (2.80)	240.5 (8.50)	268.8 (9.50)

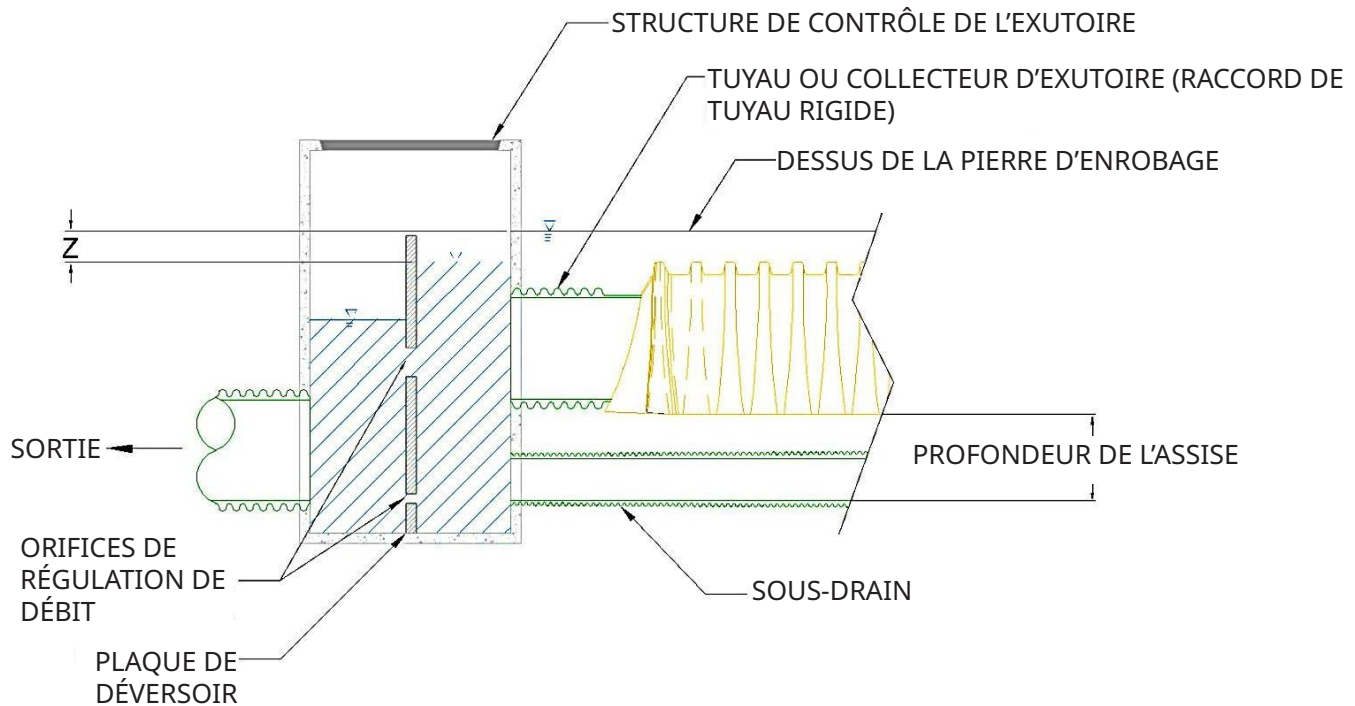
Collecteurs de l'exutoire

L'objectif de la ou des « raccords de tuyau rigide » du collecteur d'exutoire est de s'assurer qu'il y a des conditions d'inondation libre entre les chambres StormTech et la structure de contrôle de l'exutoire. Le collecteur d'exutoire doit pouvoir acheminer le débit de pointe de l'exutoire de conception du système de chambres à la structure de contrôle de l'exutoire.

La prémisse de l'approche de dimensionnement ADS est que la structure de contrôle de l'exutoire a fait en sorte que les chambres soient pleines lorsque le débit de pointe de l'exutoire survient. Essentiellement, la structure de contrôle de l'exutoire a entravé l'écoulement et causé un retour d'eau dans les chambres StormTech. Cette prémisse est appropriée pour la plupart des systèmes d'atténuation des débits et simplifie également la conception. Étant donné que les chambres sont supposées être pleines, le débit autorisé dans la rangée de chambres est la zone d'écoulement en pleine chambre multipliée par la vitesse d'affouillement acceptable. Cependant, lorsque l'intention de conception est de maximiser le stockage dans les chambres, la structure d'exutoire causerait une charge aval élevée et la chute serait faible. Dans le scénario de faible chute, l'écoulement dans le tuyau est plus contraignant que l'écoulement dans la rangée de chambres.

Le dimensionnement du collecteur de l'exutoire devient alors un écoulement en tuyau plein, qui dépend de la chute, des pertes de débit à l'entrée du tuyau, des pertes de frottement dans les tuyaux, des pertes dans les raccords (s'il s'agit d'un collecteur) et des pertes à la sortie. Ceci est résolu par une simple application de l'équation de l'énergie et de l'équation de Darcy-Weisbach pour la tuyauterie reliant deux réservoirs; l'élévation du réservoir en amont étant l'élévation maximale de la surface de l'eau dans le système de chambres et l'élévation du réservoir en aval étant l'élévation de la surface de l'eau causée par le contrôle de sortie (voir la figure 3).

Figure 3 : Raccords de sortie (raccord réservoir-réservoir)



Les formules à utiliser sont :

Équations de l'énergie^[4]

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_l$$

Où,

$\frac{p}{\gamma}$ = Charge de pression m (pi)

$\alpha \frac{v^2}{2g}$ = Charge de vitesse m (pi)

α = Facteur de correction de l'énergie cinétique (généralement réglé à 1)

z = Hauteur m (pi)

Formule de Darcy-Weisbach^[4]

$$h_f = f \frac{Lv^2}{D2g}$$

Où,

h_f = Pertes de charge dans le tuyau m (pi)

L = Longueur de tuyau m (pi)

D = Diamètre du tuyau m (pi)

f = Coefficient de résistance

$\frac{v^2}{2g}$ = Charge de vitesse m (pi)

Formule de Colebrook^[5]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Où,

f = Headlosses in pipe

D = Pipe diameter *m (ft)*

Re = Nombre de Reynolds

$\frac{\varepsilon}{D}$ = Rugosité relative équivalente

ε = Rugosité absolue équivalente

Les pertes de charge dans les transitions et les raccords peuvent être calculées à l'aide de la formule^[4]

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

Où,

$K_e = 0,5$ pour un tuyau d'avaloir à bord carré^[4]

$K_E = 1,0$ pour la réentrée (tuyau dans la structure de contrôle de l'exutoire)^[4]

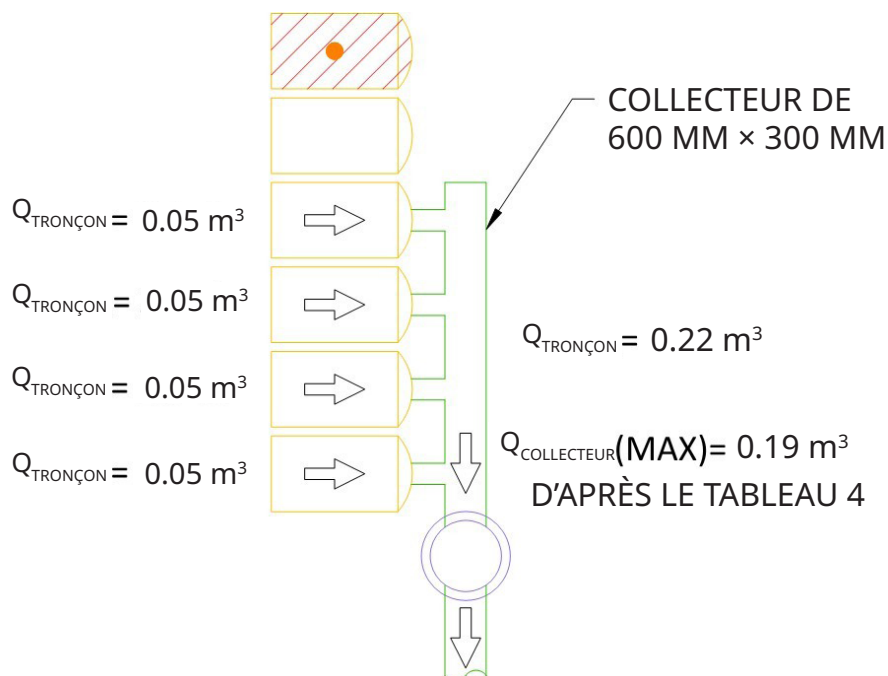
$K_L = 2,0$ pour le té ramifié (té du collecteur)^[7]

ADS a résolu l'équation de l'énergie et l'équation de Darcy-Weisbach sur la base d'une chute de 76 mm (0,25 pi). Les pertes incluses sont les suivantes : 1 avaloir à bord carré, 1 té, 1 exutoire et $\leq 15,24$ m de tuyau. Débits maximaux suggérés selon le diamètre du collecteur, comme indiqué dans le tableau 4. Lorsque la taille de tuyau requise dépasse le diamètre maximal autorisé du tronçon qui peut être raccordé au bouchon d'extrémité de la chambre, un collecteur réducteur est requis, permettant des raccordements individuels plus petits aux bouchons d'extrémité qui alimentent le collecteur requis plus grand. Le nombre de tronçons requis pour le collecteur réducteur est obtenu en divisant le débit de sortie requis par le débit de sortie maximal autorisé par tronçon du tableau 4. Les collecteurs de même diamètre ne nécessitent qu'un seul raccord pour respecter le débit de sortie maximal autorisé par diamètre.

Tableau 4 : Débit de sortie maximal autorisé par diamètre de tronçon

Diamètre de tronçon <i>mm (in)</i>	Débit maximal admissible à l'exutoire <i>cfs ($\frac{L}{s}$)</i>
150 (6)	11.3 (0.4)
200 (8)	19.8 (0.7)
250 (10)	28.3 (1.0)
300 (12)	56.6 (2.0)
375 (15)	76.4 (2.7)
450 (18)	133.2 (4.0)
600 (24)	198.2 (7.0)
750 (30)	311.4 (11.0)
900 (36)	453.0 (16.0)
1050 (42)	622.9 (22.0)
1200 (48)	792.8 (28.0)

Figure 4 : Détermination du débit de sortie maximal autorisé pour les collecteurs réducteurs

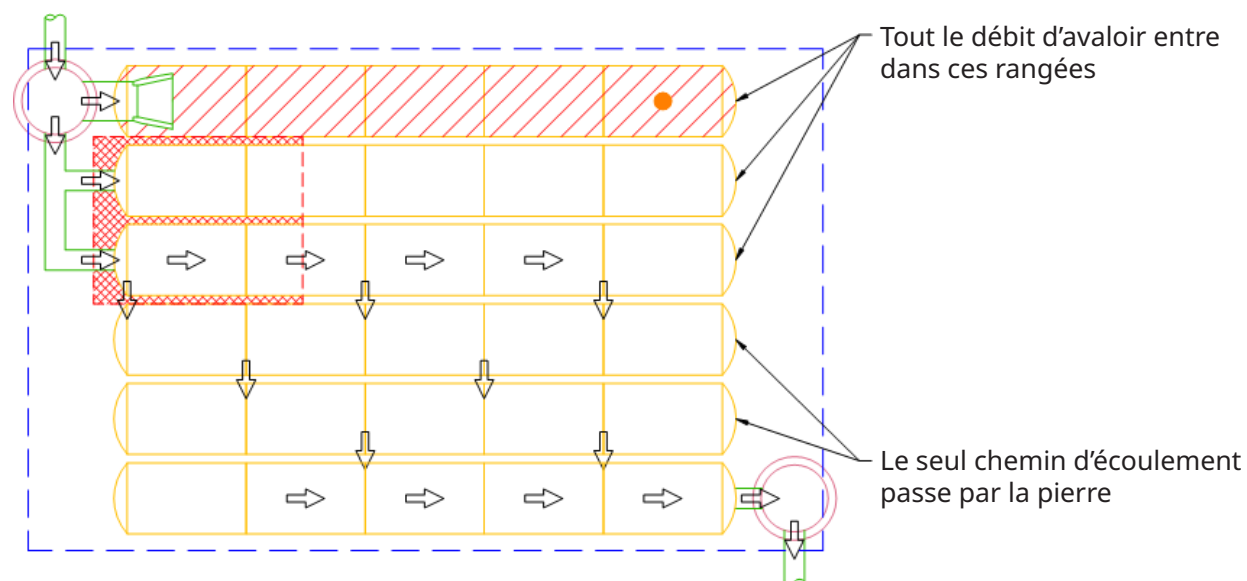


La figure 4 montre comment le débit de sortie maximal autorisé est déterminé pour un collecteur réducteur. Dans ce cas, les quatre tronçons de 300 mm fournissent $56,6 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ ($2,0 \text{ f}^3$) chacun, pour un total de $226,4 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ ($8,0 \text{ f}^3$). Ces tronçons alimentent le collecteur dont le débit de sortie maximal autorisé est de $198,1 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ ($7,0 \text{ f}^3$) (voir le tableau 4). On doit choisir la plus petite de ces deux valeurs. Par conséquent, le débit de sortie maximal autorisé pour cet exemple est de $198,1 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ ($7,0 \text{ f}^3$). Si seulement trois tronçons de 300 mm ont été fournis (pour un total de $169,8 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ ($6,0 \text{ f}^3$)), alors $169,8 \frac{\text{L}}{\text{s}}$ ($6,0 \text{ f}^3$) serait le débit de sortie maximal autorisé.

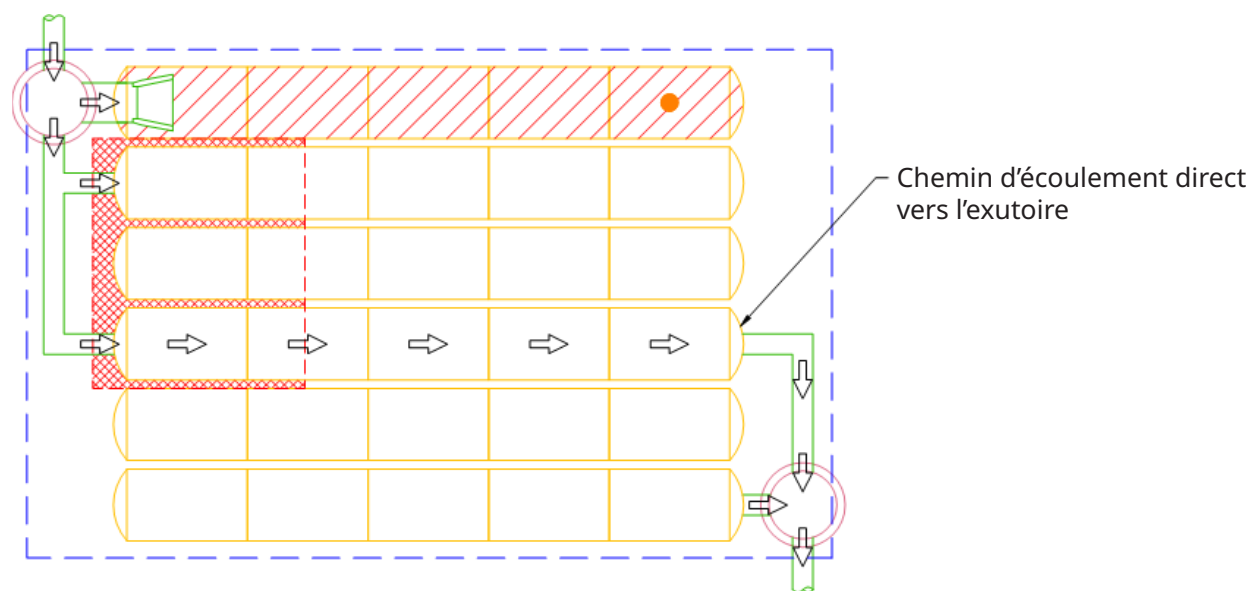
Configuration du collecteur

En plus de transmettre les débits de pointe, les collecteurs StormTech sont conçus pour distribuer l'eau dans le système de chambres et fournir un chemin d'écoulement direct de l'avaloir à l'exutoire. Pour les lits plus larges, les tronçons de collecteur sont espacés sur les rangées disponibles. Les configurations d'épandage permettent d'éviter les conditions où l'écoulement latéral à travers la pierre d'encastrement limite la répartition dans l'ensemble du système. La figure 5 montre un exemple de deux configurations de collecteurs; l'une où le débit est limité par l'écoulement latéral à travers la base en pierre et l'autre où le débit a un chemin direct de l'avaloir à l'exutoire.

Figure 5 : Chemin d'écoulement à travers les systèmes StormTech en fonction de la configuration du collecteur



Débit forcé à travers l'assise



Écoulement libre dans la rangée de chambres

Les granulats utilisés pour les chambres de StormTech ont des perméabilités (valeurs k Darcy) allant de $0,03 \frac{m}{s}$ ($0,1 \frac{ft}{s}$) à $0,49 \frac{m}{s}$ ($1,6 \frac{ft}{s}$) (nos 57 et 3 respectivement)[6]. StormTech a estimé le flux à travers la pierre sous les chambres (une direction) comme suit :

Tableau 5 : Estimation des débits à travers la pierre selon la granulométrie et le modèle de chambre

Gradation de la pierre	Darcy "k"	Débit par chambre $\frac{L}{s} (f^3)$					
		SC-160LP	SC-310	DC-780	SC-800	MC-3500	MC-4500
#3	1.6	64.5 (2.28)	86.0 (3.04)	118.0 (4.17)	130.5 (4.61)	188.7 (6.67)	120.2 (4.25)
#357, 4, 467, 5	0.6	24.0 (0.85)	32.2 (1.14)	45.2 (1.60)	48.9 (1.73)	70.7 (2.50)	45.2 (1.60)
#56, 57	0.1	3.9 (0.14)	5.3 (0.19)	7.3 (0.26)	7.9 (0.28)	11.8 (0.42)	7.6 (0.27)

Avis de non-responsabilité : La performance hydraulique des collecteurs pour les systèmes de rétention dépend de nombreuses variables, y compris, mais sans s'y limiter : les conditions en amont et en aval, l'hydrogramme d'entrée et la perte de charge dans le système de tuyauterie. StormTech a utilisé des hypothèses pour simplifier le processus de conception des collecteurs.

TL'ingénieur concepteur du projet doit vérifier que les hypothèses et les calculs sont appropriés pour son application spécifique.

- [1] Brater, E.F. et King, H.W., Manuel de l'hydraulique pour la solution des problèmes d'ingénierie hydraulique, 6e éd., McGraw-Hill, New York, 1976
- [2] Bos, M. G., Discharge Measurement Structures, 3e éd. Institut international pour la réhabilitation et l'amélioration des terres, 1990.
- [3] Chang, H. H., Fluvial Processes in River Engineering. Krieger Publishing Company, 2008.
- [4] Cassidy, J.J., Chaudhry, M.H., and Roberson, J. A., Hydraulic Engineering, 1re éd., Houghton Mifflin, Boston, 1988
- [5] Gerhart, P.M., Gross, R.J., et Hochstien, J.I. Fondements de la mécanique des fluides, 2e éd., Addison-Wesley, New York, 1992
- [6] Cedergren, H.R., Seepage, Drainage, and Flow Nets, 3e éd., John Wiley & Sons, New York, 1989
- [7] Munson, B.R., Okiishi, T.H., and Young, D.F., Fundamentals of Fluid Mechanics, 5e éd., John Wiley & Sons, Danvers, 2006

