

# Méthodes de calcul pour la conception des ouvrages de stockage

Jérôme LEDUN, Jean-François OUVRY et Marielle DEMAN

**15/06/2023**





# Objectifs de la formation

## ↳ Etre capable de :

- Dimensionner un petit aménagement (mare, fossé ...)
- Vérifier les dimensionnements réalisés par un bureau d'études (étude hydraulique de bassin versant)

## ↳ 2 parties :

- 1er juin : notions de base en hydrologie et modélisation de bassin versant
- 15 juin : Méthodes de calcul pour la conception des ouvrages de stockage

An aerial photograph showing a large, deep erosion gully cutting through a green agricultural field. The gully is filled with brown soil and has several smaller channels branching off from it. The surrounding fields are lush green, and the overall scene illustrates the impact of soil erosion on farmland.

# Questions préalables

Quelles questions faut-il se poser avant d'en arriver à l'étape de conception ?

# Quel objectif ?

## ↘ Quel enjeu à protéger ? Où est-il situé dans le BV ?

- Bâti
- Route
- Ouvrage
- Captage AEP...

## ↘ Quel niveau de protection ?

- Ne pas dépasser un certain niveau de dommage
- (Ne pas dépasser une certaine concentration, turbidité)

## ↘ Pour quelle période de retour ?

## ↘ Contre quoi ?

- Inondation
- Coulée boueuse / dépôt de limon
- (Turbidité, pics de concentration en produits phyto)

# Quels moyens ?

- ↳ Quel type d'ouvrage OU quelle combinaison d'ouvrages en fonction de l'objectif ?
  - Quelle taille de bassin versant ?
  - Ecrêtement de la crue ou contournement de l'enjeu ?
  - Débit acceptable en aval ?
  
- ↳ Où positionner l'ouvrage dans le bassin versant ?



# Programme de la journée

- ▾ **Notions de base en hydraulique**
- ▾ **Dimensionnement d'un volume de stockage**
- ▾ **Conception des organes de fuite**
- ▾ **Caractéristiques et dimensionnement des évacuateurs de crue**



# Notions de base en hydraulique

# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## ↳ Estimation de la capacité d'un ouvrage de transfert :

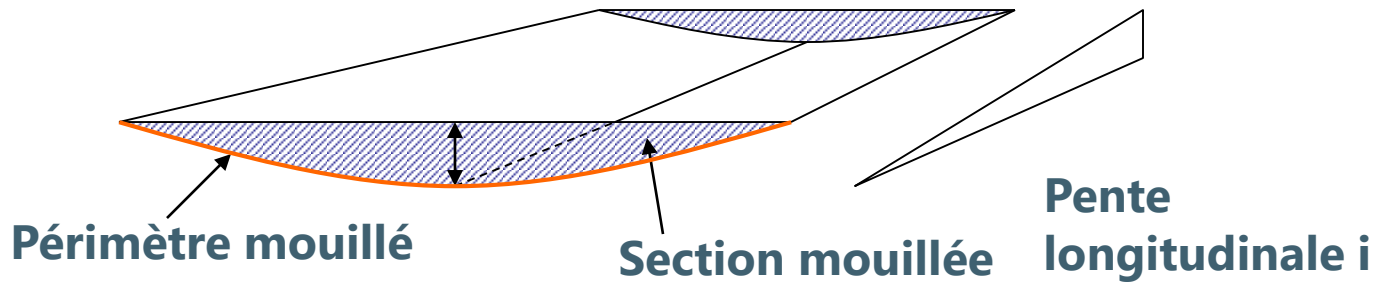
- Cas d'un écoulement à surface libre
- Ouvrage de transfert : canal, canalisation, fossé



# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## ↳ Calcul de la capacité hydraulique d'un canal

### Section du canal



La formule de Manning-Strickler est donnée par :

### Vitesse

$$V = K_s * R_h^{2/3} * \sqrt{i}$$

### Débit

$$Q = K_s * S * R_h^{2/3} * \sqrt{i}$$

avec

$K_s$  : Coefficient de Strickler  $\Leftrightarrow$  frottement (en  $m^{1/3}/s$ )

$S$  : section mouillée (en  $m^2$ )

$R_h$  : rayon hydraulique (en m) =

$i$  : pente (en m/m)

$$\frac{\text{Section mouillée}}{\text{Périmètre mouillé}}$$

# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## ↳ Calcul de la capacité hydraulique d'un canal

Quelques ordres de grandeur du coefficient de Strickler :

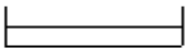

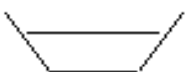




Plus le coefficient est faible, plus le frottement est élevé !

Nature des parois	Valeur de $K$ en $m^{1/3} / s$
Béton lisse	75-90
Canal en terre, non enherbé	60
Canal en terre, enherbé	50
Rivière de plaine, sans végétation arbustive	35-40
Rivière de plaine, large, végétation peu dense	30
Rivière à berges étroites très végétalisées	10-15
Lit majeur en prairie	20-30
Lit majeur en vigne ou taillis	10-15
Lit majeur urbanisé	10-15
Lit majeur en forêt	<10

*D'après Degoutte,  
Aide mémoire d'hydraulique à surface libre, Agroparistech*

# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## Table des formules géométriques des ouvrages

Forme	Section	Périmètre-mouillé	Rayon-hydraulique
 Canal rectangulaire	$lh$	$l + 2h$	$\frac{lh}{l + 2h}$
 Duct plein	$lh$	$2l + 2h$	$\frac{lh}{2 \times (l + h)}$
 Canal trapézoïdal	$(l + mh)h$	$l + 2h\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(l + mh)h}{l + 2h\sqrt{1 + m^2}}$
 Canal triangulaire	$mh^2$	$2h\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{mh}{2\sqrt{1 + m^2}}$
 Conduite circulaire pleine	$\pi \cdot \frac{d^2}{4}$	$\pi d$	$\frac{d}{4}$
 Conduite circulaire non pleine	$\frac{\pi d^2}{4} - \frac{d^2}{4} \times \arccos\left[\frac{h - d/2}{d/2}\right] + (h - d/2)^2 \times \tan\left[\arccos\left[\frac{h - d/2}{d/2}\right]\right]$	$\pi d - d \times \arccos\left[\frac{h - d/2}{d/2}\right]$	$S/P$
 Forme parabolique	$\frac{2}{3} \times hL$	$L + \frac{8}{3} \times L \times \left(\frac{h}{L}\right)^2$	avec $L = 7h \Rightarrow R \approx 0,63h$

$l$  : largeur -  $h$  : hauteur -  $m$  : pente de talus -  $d$  : diamètre

# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## Exercice – Calcul du débit dans une canalisation (surface libre)

↘ Quel diamètre de canalisation faut-il pour faire passer 2 m<sup>3</sup>/s avec une pente de 1 % ?

La formule de Manning-Strickler est donnée par :

Vitesse (m/s)

$$V = K_s * R_h^{2/3} * \sqrt{i}$$

Débit (m<sup>3</sup>/s)

$$Q = K_s * S * R_h^{2/3} * \sqrt{i}$$

avec

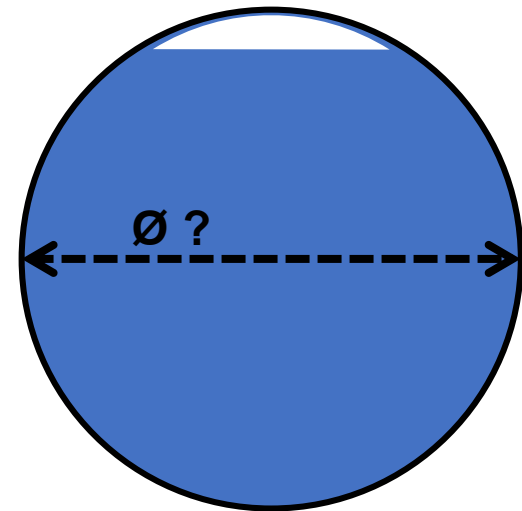
$K_s$  : Coefficient de Strickler ⇔ frottement (en m<sup>1/3</sup>/s)

$S$  : section mouillée (en m<sup>2</sup>)

$R_h$  : rayon hydraulique (en m) =

$i$  : pente (en m/m)

$$\frac{\text{Section mouillée}}{\text{Périmètre mouillé}}$$



# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## Exercice – Calcul du débit dans une canalisation (surface libre)

↘ Quel diamètre de canalisation faut-il pour faire passer  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  avec une pente de 1 % ?

Diamètre	Vitesse	Débit
500 mm		
600 mm		
800 mm		
1 000 mm		
1 200 mm		

# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## Exercice – Calcul du débit dans une canalisation (surface libre)

↘ Quel diamètre de canalisation faut-il pour faire passer 2 m<sup>3</sup>/s avec une pente de 1 % ?

Diamètre	Rh	Section	Vitesse	Débit
500 mm	0,13 m	0,20 m <sup>2</sup>	1,9 m/s	<b>0,4 m<sup>3</sup>/s</b>
600 mm	0,15 m	0,28 m <sup>2</sup>	2,1 m/s	<b>0,6 m<sup>3</sup>/s</b>
800 mm	0,20 m	0,50 m <sup>2</sup>	2,6 m/s	<b>1,3 m<sup>3</sup>/s</b>
1 000 mm	0,25 m	0,79 m <sup>2</sup>	3,0 m/s	<b>2,3 m<sup>3</sup>/s</b>
1 200 mm	0,30 m	1,13 m <sup>2</sup>	3,4 m/s	<b>3,8 m<sup>3</sup>/s</b>

Coefficient de Strickler  $K_s = 75$  (Béton)

# Capacité hydraulique d'un canal / d'une canalisation

## Exercice – Calcul du débit dans une canalisation (surface libre)

↘ Quel diamètre de canalisation faut-il pour faire passer 2 m<sup>3</sup>/s avec une pente de 1 % ?

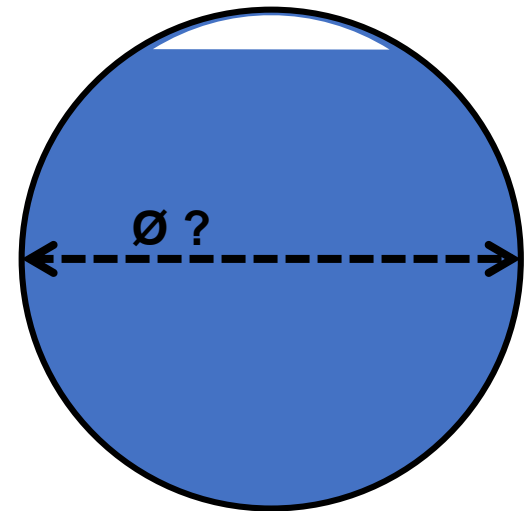
Coefficient de Strickler  $K_s = 75$  (Béton)

$$Q = K_s \cdot S \cdot R h^{2/3} \cdot \sqrt{i} = K_s \cdot \Pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot \sqrt{i} = K_s \cdot \Pi \cdot \frac{D^{8/3}}{4^{5/3}} \cdot \sqrt{i}$$

$$\rightarrow D = \left( \frac{Q \cdot 4^{5/3}}{K_s \cdot \Pi \cdot \sqrt{i}} \right)^{3/8}$$

$$\rightarrow D = \left( \frac{2 \cdot 4^{5/3}}{75 \cdot \Pi \cdot \sqrt{0,01}} \right)^{3/8}$$

$$\rightarrow D = 0,94m \approx 1000mm$$



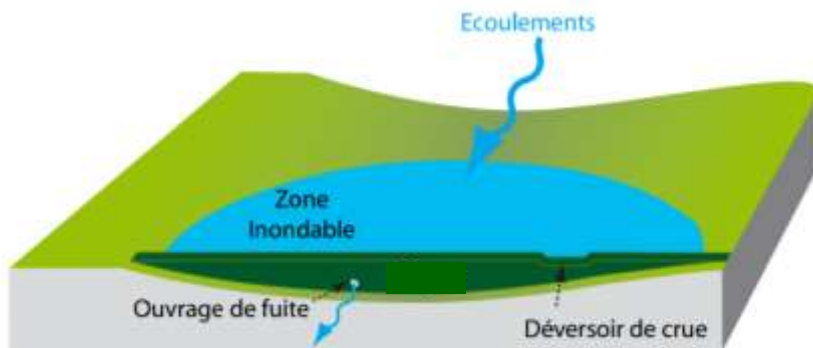


# Méthodes d'estimation d'un volume de stockage

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

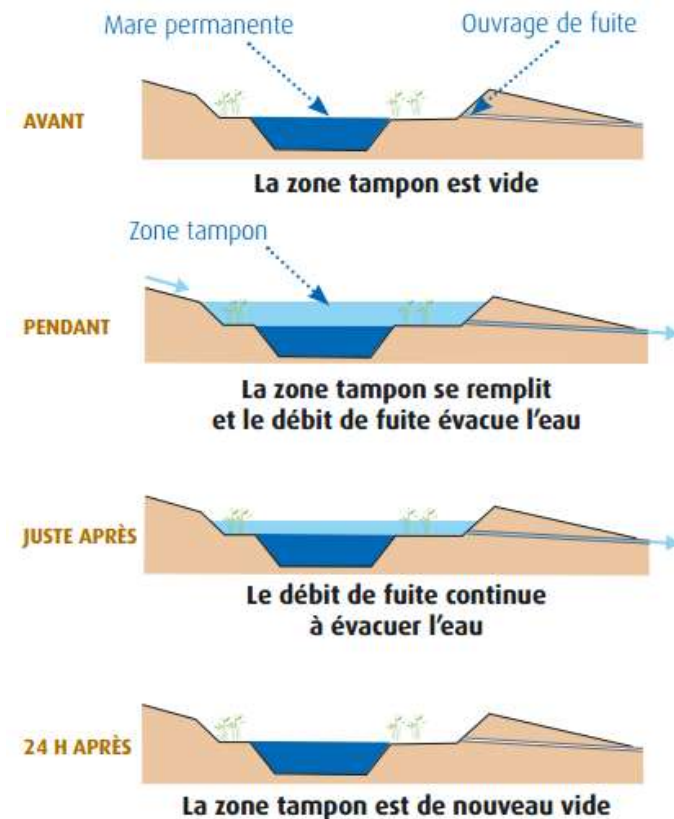
## Estimation du volume à stocker pour dimensionner un aménagement de rétention

### Bassin ou barrage



### Mare tampon

#### Fonctionnement de la mare tampon pendant un épisode ruisselant



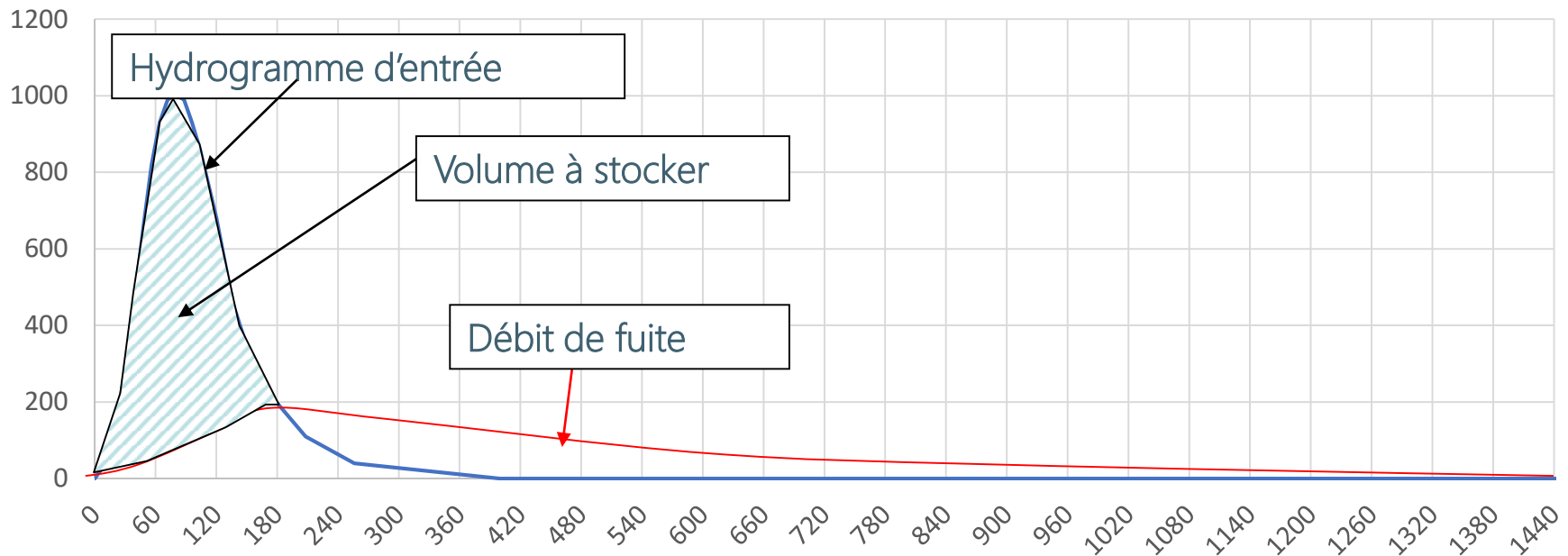
# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## ↳ Questions préalables au dimensionnement d'un ouvrage de stockage :

- Quel objectif de débit en sortie de l'ouvrage ?
  - Quel est le débit maximal acceptable en aval ?
  - Quel est le débit maximal autorisé (ex : loi sur l'eau) ?
  
- Pour quelle période de retour ?
  - Ouvrage de prévention des inondations : Il s'agit d'un choix du maître d'ouvrage, mais il peut être nécessaire de tester plusieurs périodes de retour
  
- De quelle emprise dispose-t-on ?
  - Parfois, le volume maximale de stockage est limité par l'emprise disponible

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## ▾ Principe de dimensionnement d'un ouvrage de régulation



Le volume à stocker dans l'ouvrage est la différence entre le volume ruisselé entrant et le volume sortant, évacué par l'organe de fuite.

$$V_{\text{à stocker}} = V_{\text{entrant}} - V_{\text{sortant}}$$

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## ↘ Estimation du volume à stocker pour dimensionner un aménagement de rétention :

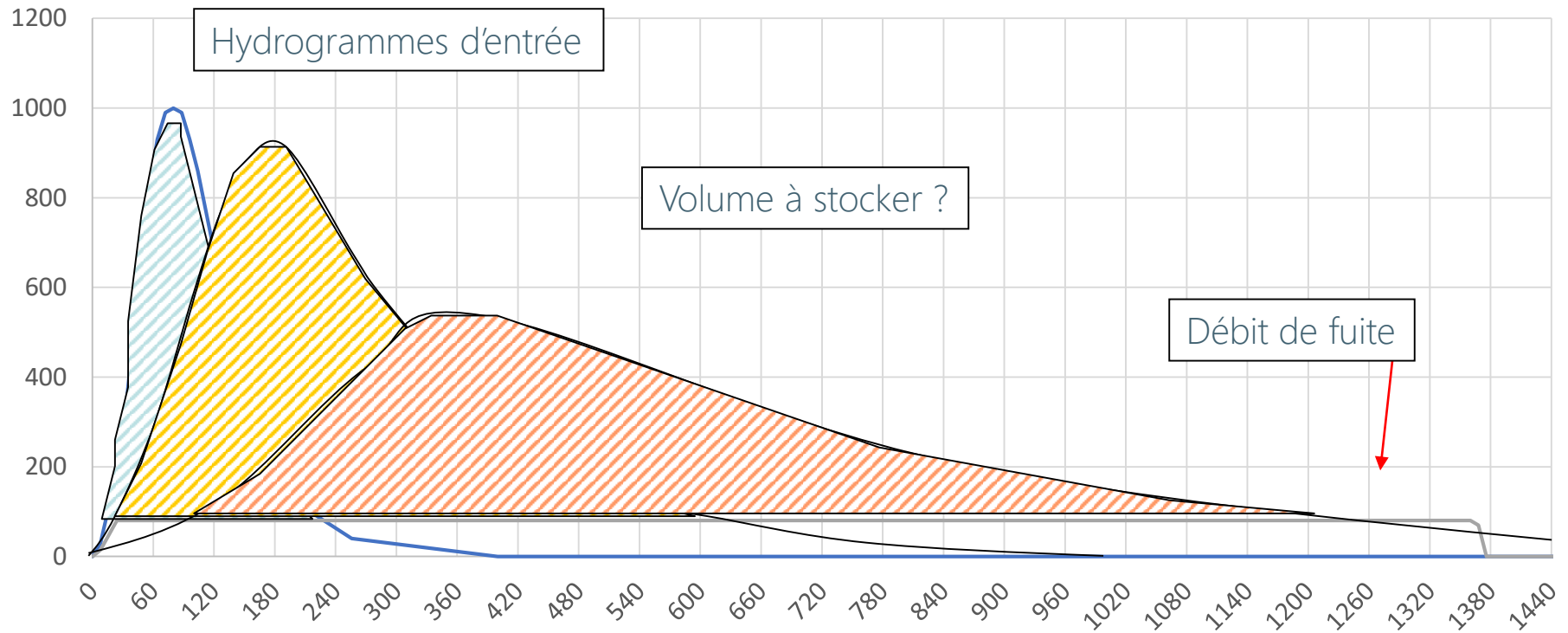
- Pour dimensionner un petit aménagement (mare, ... ) :
  - **Méthode des pluies**
- Pour dimensionner un aménagement plus conséquent :
  - **Méthode par modélisation**

## Dimensionnement d'un petit ouvrage de régulation : Principe de la méthode des pluies

- ↘ **La pluie de durée  $T_c$  utilisée pour l'estimation du débit de pointe n'est généralement pas la pluie qui génère le plus de volume dans un ouvrage de régulation du débit**
  
- ↘ **La méthode des pluies permet d'optimiser le volume d'un ouvrage en «balayant » toute la gamme de pluies d'une fréquence donnée**
  
- ↘ **Hypothèses :**
  - Débit de fuite de l'ouvrage constant
  - Coefficient de ruissellement constant quelle que soit la durée de la pluie
  - Surface de bassin versant de l'ordre de quelques dizaines d'hectares max
  - Pas d'ouvrage hydraulique modifiant l'écoulement dans le bassin versant amont

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

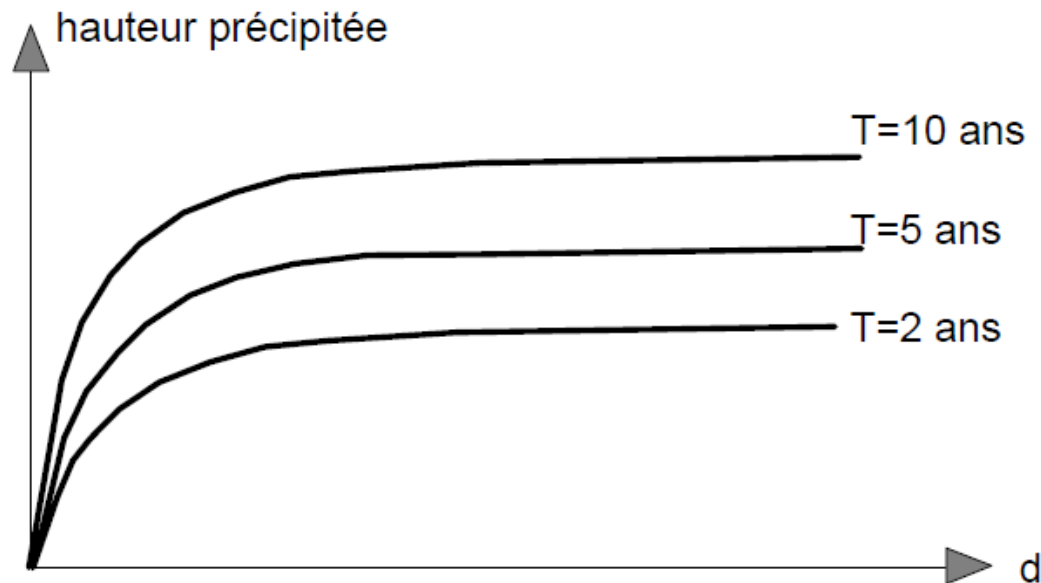
## Dimensionnement d'un petit ouvrage de régulation : Principe de la méthode des pluies



**En réalité, le débit de fuite n'est jamais constant !**

## Dimensionnement d'un petit ouvrage de régulation : Principe de la méthode des pluies

- Les courbes Hauteur – Durée – Fréquence indiquent la hauteur précipitée pendant la durée de la pluie pour différentes périodes de retour
- Elles peuvent être reconstituées à l'aide des coefficients de Montana



Source : *La ville et son assainissement, CERTU, 2003*

## Dimensionnement d'un petit ouvrage de régulation : Principe de la méthode des pluies

- Le débit de fuite constant de l'ouvrage peut être exprimé sous la forme d'un débit surfacique

- $q_s$  = débit surfacique (mm/h) =

$$q_s = 360 \frac{Q_s}{S_a}$$

Avec :

$Q_s$  : Débit de fuite (m<sup>3</sup>/s)

$S_a = CR * S_{BV}$  : Surface active (ha)

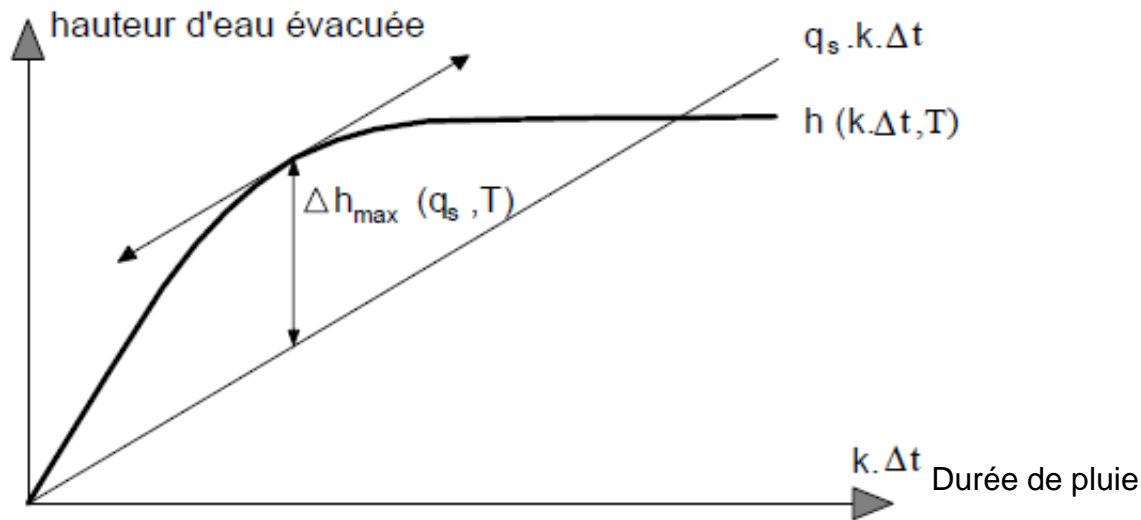
CR : Coefficient de ruissellement

$S_{BV}$  : Surface totale du BV (ha)

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## Dimensionnement d'un petit ouvrage de régulation : Principe de la méthode des pluies

Source : *La ville et son assainissement*, CERTU, 2003



- Rappel des hypothèses de calcul :
- $Q_f$  constant
  - CR constant
  - $S_{BV} < 100$  ha
  - Pas d'ouvrage hydraulique

*Superposition de la courbe Hauteur-durée pour une fréquence choisie et de la courbe d'évacuation.*

Le graphique donne la lame d'eau maximale à stocker  $\Delta h_{\max}$  (en mm)

Pour obtenir le volume  $V$  à stocker (en  $m^3$ ) :

$$V = 10 \times \Delta h_{\max}(q_s, T) \times S_a$$

# Les méthodes d'estimation des volumes de stockage

## Exercice – Dimensionner un volume tampon avec la méthode des pluies

↘ Quel volume tampon est nécessaire pour écrêter la crue décennale avec un débit de fuite de 300 l/s ?

Occupation du sol	Surface (ha)
Blé	137
Colza	48
Interculture	218
Prairie	65
Bois	12
Zone urbanisée	75
Voirie	5
Total	559

Les coefficients de Montana de la station la plus proche :

### STATION DE ROUEN-BOOS ( 76 )

PERIODE : 1957-2000

Durée de retour	Durée des pluies 1 heure à 24 heures	
	a	b
2 ans	6.057	0.757
5 ans	9.762	0.795
10 ans	12.310	0.811
20 ans	14.842	0.823
25 ans	15.630	0.826
30 ans	16.352	0.829
50 ans	18.196	0.835
75 ans	19.762	0.840
100 ans	20.712	0.842

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## EXERCICE: Dimensionner un volume tampon avec la méthode des pluies

↘ Quel volume tampon est nécessaire pour écrêter la crue décennale avec un débit de fuite de 300 l/s ?

Durée de pluie (min)	Lame de pluie (mm)	Lame d'eau évacuée (mm)	Lame d'eau stockée (mm)
60			
120			
180			
240			
300			
360			
420			
480			
540			
600			

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## EXERCICE: Dimensionner un volume tampon avec la méthode des pluies

↘ Quel volume tampon est nécessaire pour écrêter la crue décennale avec un débit de fuite de 300 l/s ? – Exemple avec hypothèse CR = 11%

Durée de pluie (min)	Lame de pluie (mm)	Lame d'eau évacuée (mm)	Lame d'eau stockée (mm)
60	26,7	1,8	24,9
120	30,4	3,5	26,9
180	32,8	5,3	27,6
240	34,7	7,0	27,7
300	36,2	8,8	27,4
360	37,4	10,5	26,9
420	38,6	12,3	26,3
480	39,5	14,1	25,5
540	40,4	15,8	24,6
600	41,2	17,6	23,7

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## EXERCICE: Dimensionner un volume tampon avec la méthode des pluies

Le débit de fuite constant de l'ouvrage peut être exprimé sous la forme d'un débit surfacique :

$$q_s = 360 \frac{Q_s}{S_a}$$

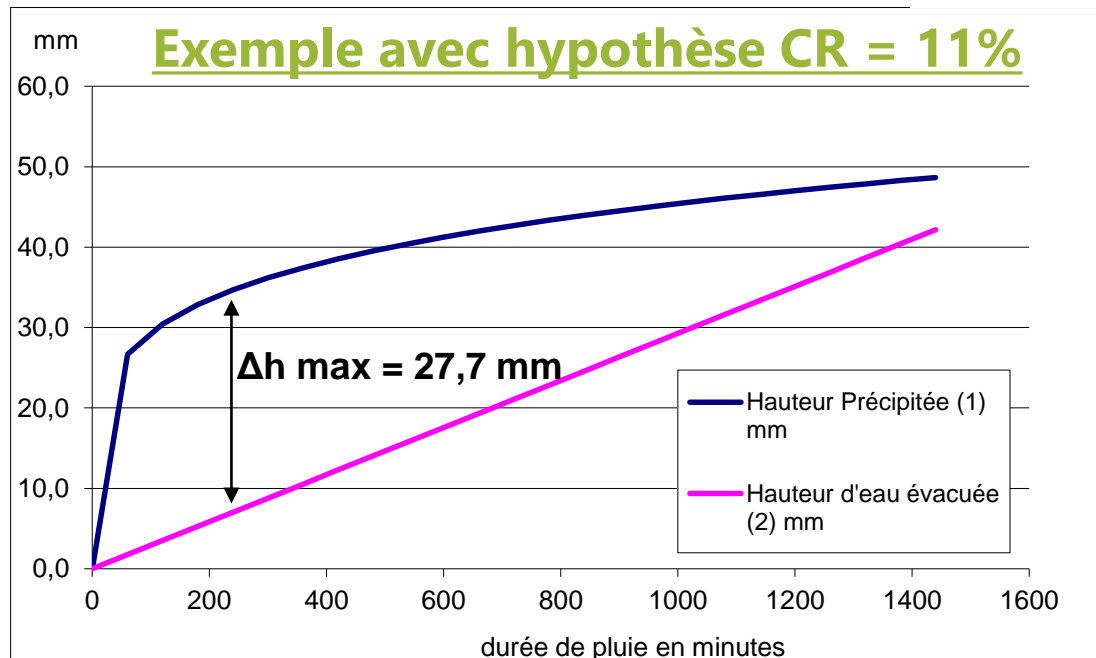
Avec :

$Q_s$  : Débit de fuite ( $m^3/s$ )

$S_a = CR * S_{BV}$  : Surface active (ha)

CR : Coefficient de ruissellement

$S_{BV}$  : Surface totale du BV (ha)



Le graphique donne la lame d'eau maximale à stocker  $\Delta h_{\max}$  (en mm)

Pour obtenir le volume  $V$  à stocker (en  $m^3$ ) :

$$V = 10 \times \Delta h_{\max} (q_s, T) \times S_a$$

$$V = 17\,000\, m^3 !$$

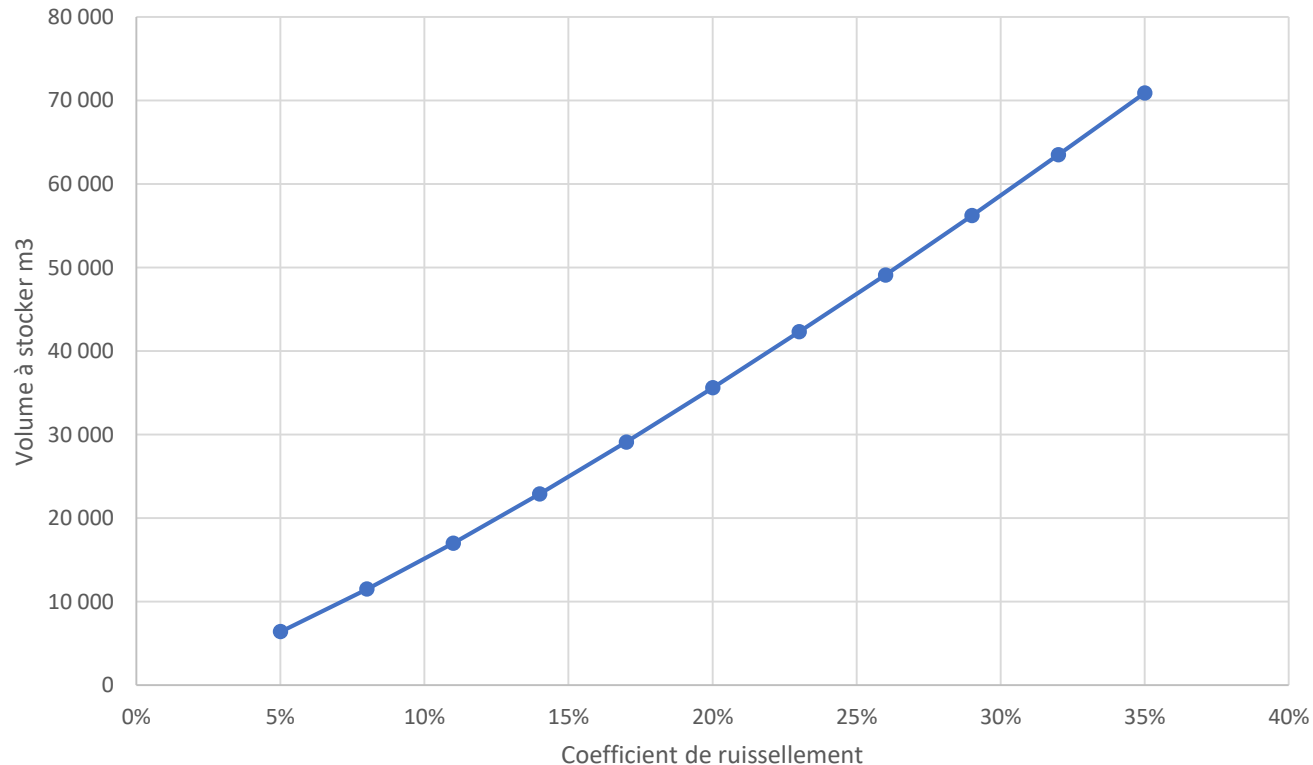
Méthode des pluies en première approche  
mais impératif de réaliser un  
dimensionnement approfondi pour un tel  
ouvrage !

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## EXERCICE: Dimensionner un volume tampon avec la méthode des pluies

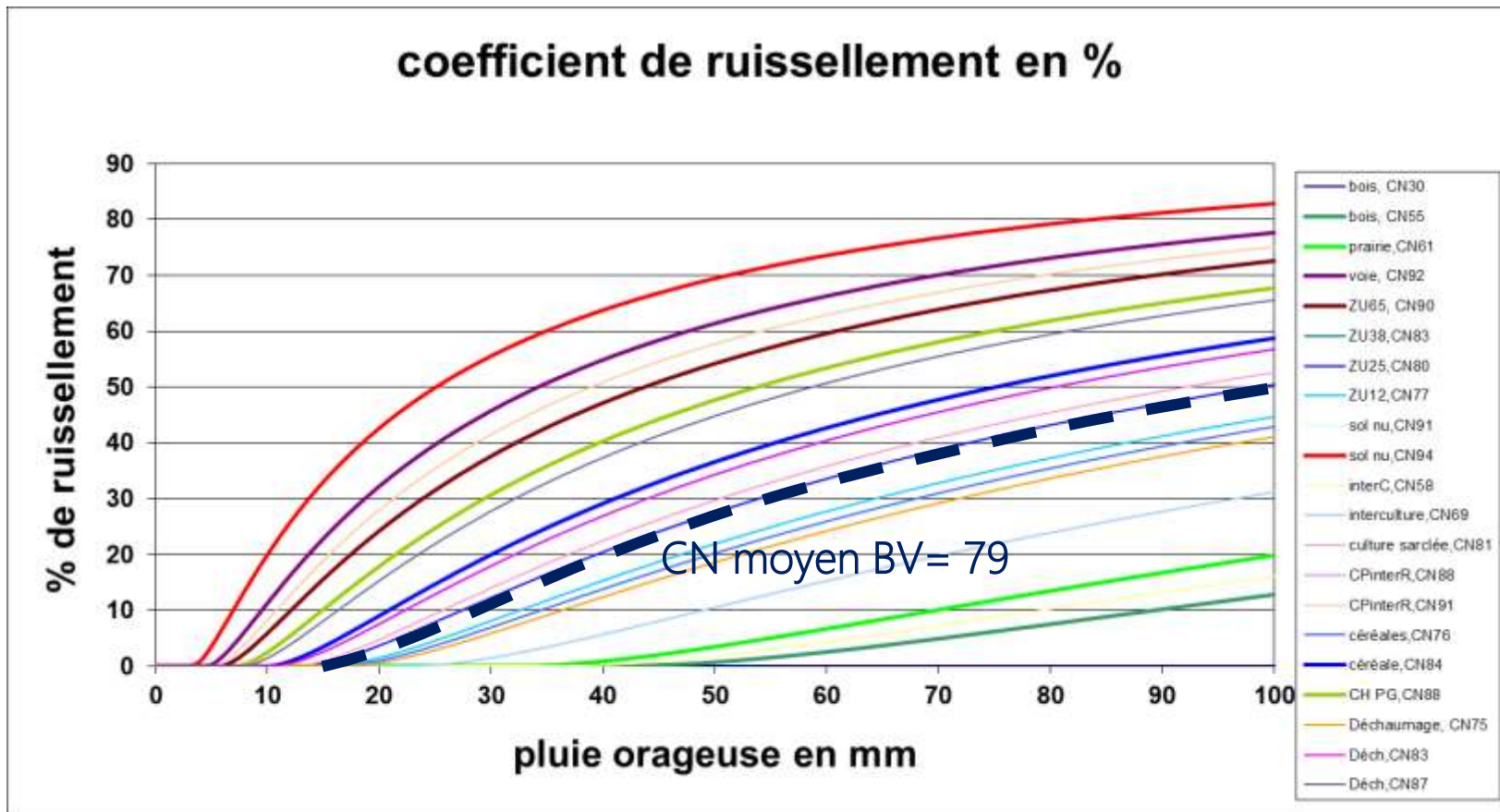
Résultat de la méthode des pluies en fonction du choix du coefficient de ruissellement

$S = 559\text{ha}$  -  $Q_f = 300\text{ l/s}$  -  $T = 10\text{ ans}$



# Les méthodes d'estimation des volumes de stockage

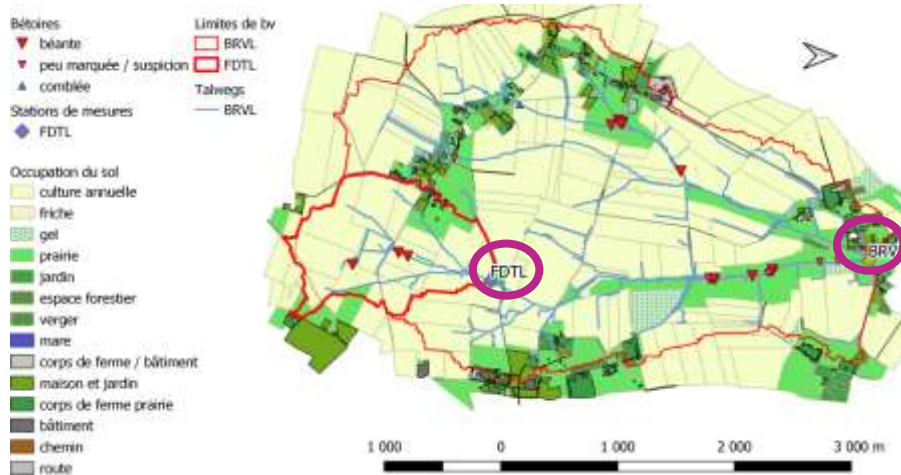
En réalité le coefficient de ruissellement dépend (notamment) de la durée de la pluie



# Hydrologie du bassin versant de Bourville (76)

## Un site suivi depuis 1995

- Plateau calcaire tendre karstifié recouvert de limons éoliens, très sensibles à la battance
- Pentes de 2 % à 5 % sur les terres labourées
- Une zone agricole : SAU 88 % (dont prairies 18 %), polyculture majoritaire
- BRVL 1045 ha, FDTL 145 ha
- 100 % des écoulements sont dus au ruissellements hortonien



(surface moyenne en ha)	BRVL	FDTL
<b>Totale</b>	1045	145
<b>Boisées</b>	37	2
<b>Non agri. (villages, voiries)</b>	59	4
<b>En herbe</b>	186	14
<b>Cultures annuelles</b>	763	125

Culture à BRVL	% des TL
<b>Blé d'hiver</b>	40,3
<b>Colza</b>	12,9
<b>Escourgeon</b>	7,0
<b>Lin</b>	15,5
<b>Bett. sucrière</b>	7,4
<b>Maïs ensilage</b>	6,3
<b>Pommes de terre</b>	6,5

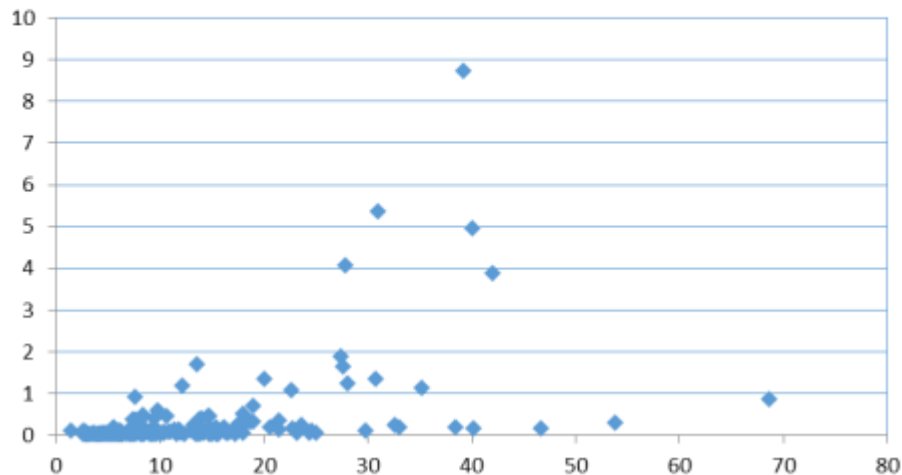
# Rappel Hydrologie du bassin versant de Bourville (76)

## Résultats des mesures

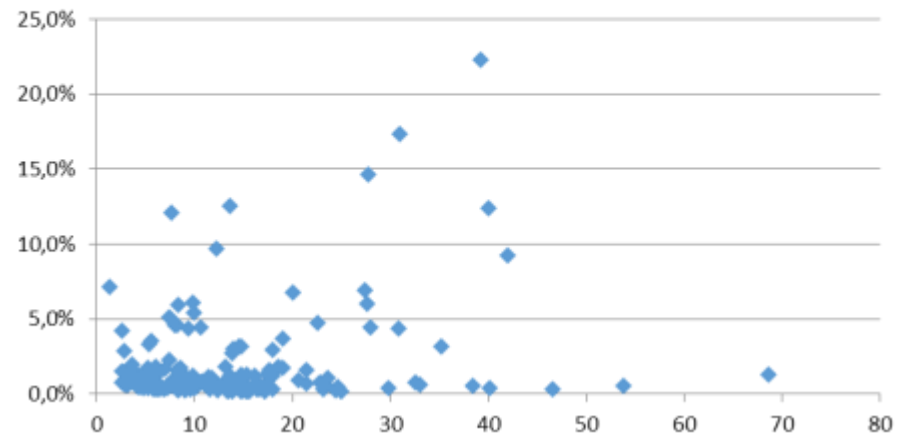
### ↳ **Lame ruisselée et coef de ruissellement à BRVL exemple**

- LR versus P : pas de relation simple car les conditions initiales ont une forte influence sur le ruissellement ( battance, couvert végétal, saturation,...)
- Coef de R versus P : le CR n'est pas constant.

**LR en fonction de P**  
Bourville 2007-2016

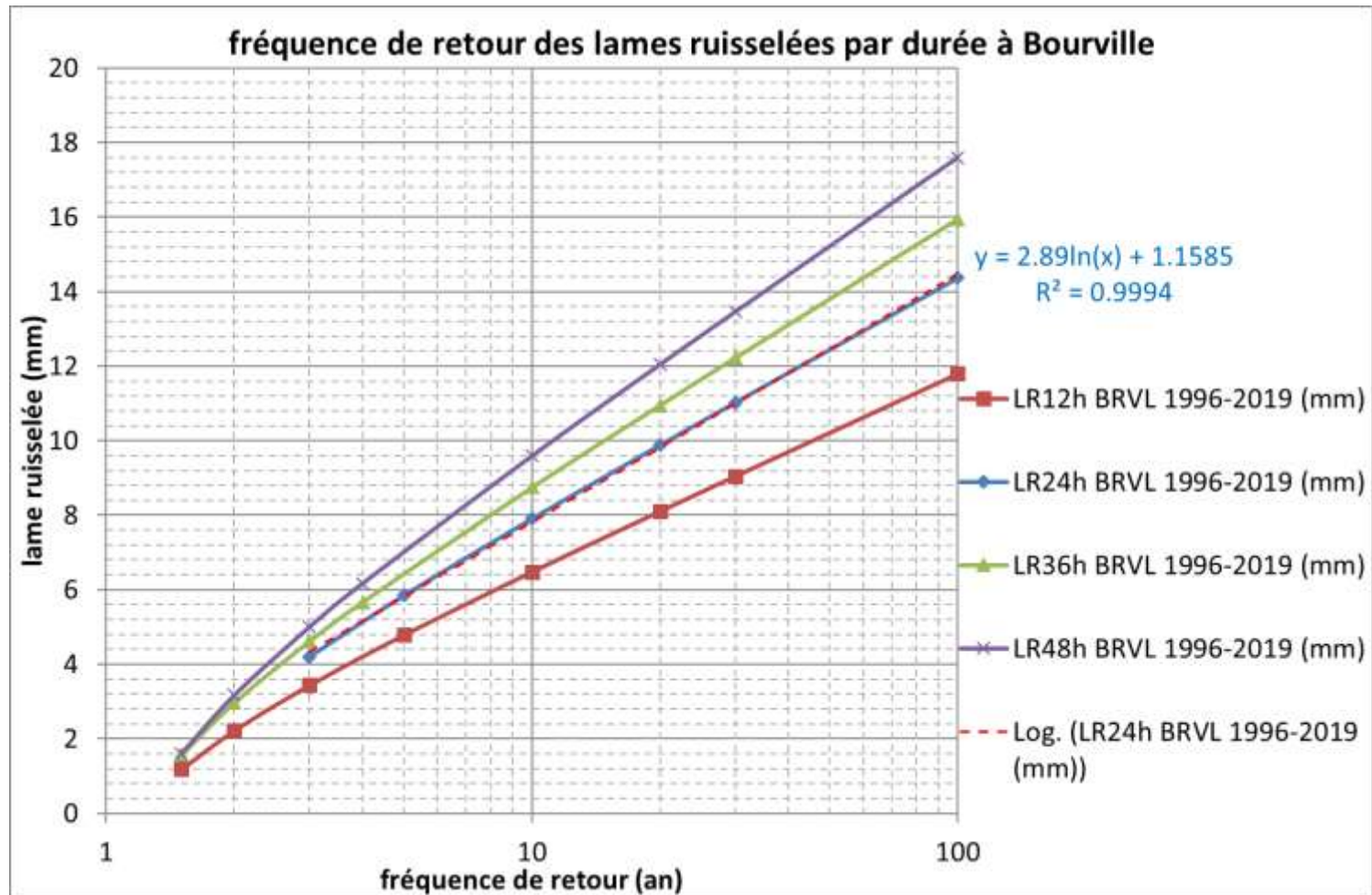


**Coef de R en fonction de P**  
Bourville 2007-2016



# Rappel Hydrologie du bassin versant de Bourville (76)

## Période de retour des lames ruisselées



# Rappel Hydrologie du bassin versant de Bourville (76)

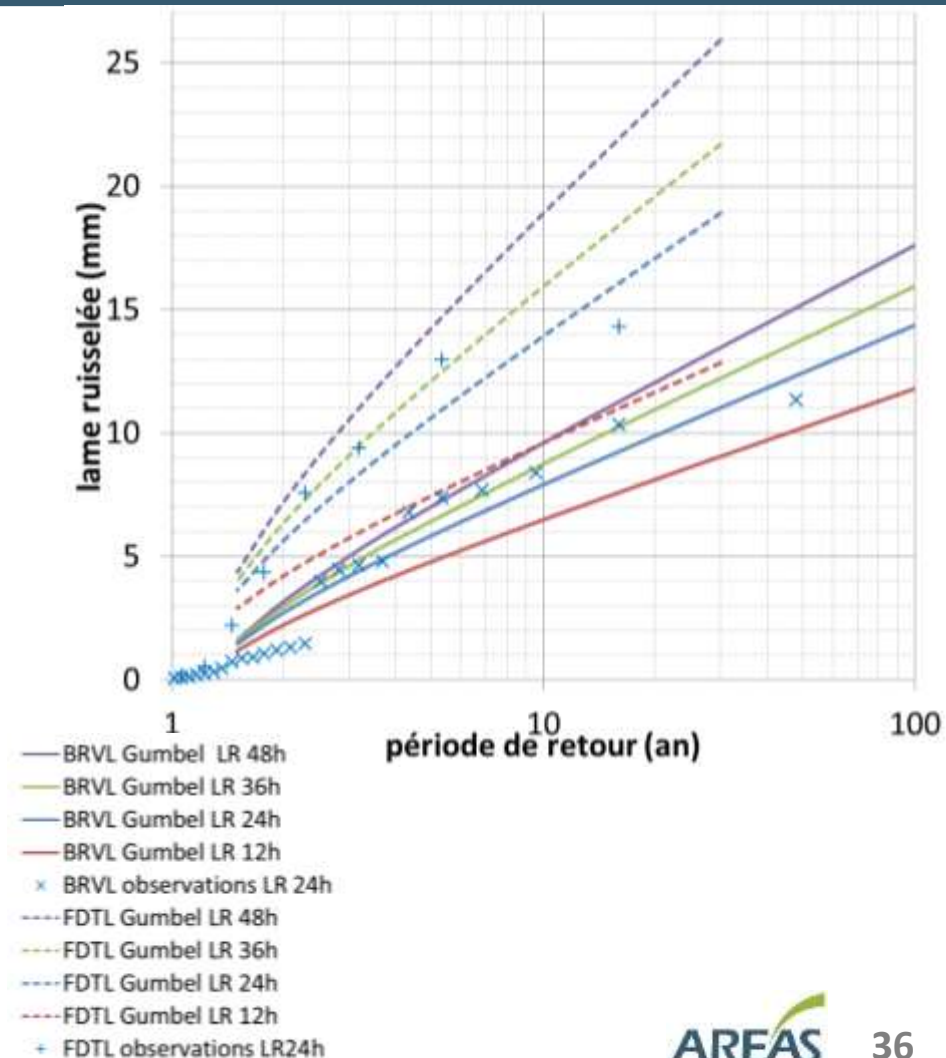
## Période de retour des lames ruisselées

### ↳ Une unité de surface « produit » davantage de ruissellement à FDTL qu'à BRVL

- Facteur 1,8 pour la décennale de 24h (13,9 mm / 7,9 mm)

### ↳ Pertes sur le chemin de l'eau :

- Les principaux talwegs sur la moitié aval sont enherbés (forme évasée,  $K_s$  de 20 à 150  $m^{1/3}/s$ )
- Présence de bétouilles le long des talwegs



# Les méthodes d'estimation des volumes de stockage

## Exercice – Dimensionner un volume tampon à partir des données hydrologiques du BV de Bourville (76)

↘ Quel volume tampon est nécessaire pour écrêter la crue décennale avec un débit de fuite de 300 l/s ?

Occupation du sol	Surface (ha)
Blé	137
Colza	48
Interculture	218
Prairie	65
Bois	12
Zone urbanisée	75
Voirie	5
Total	559

# Les méthodes d'estimation des volumes de stockage

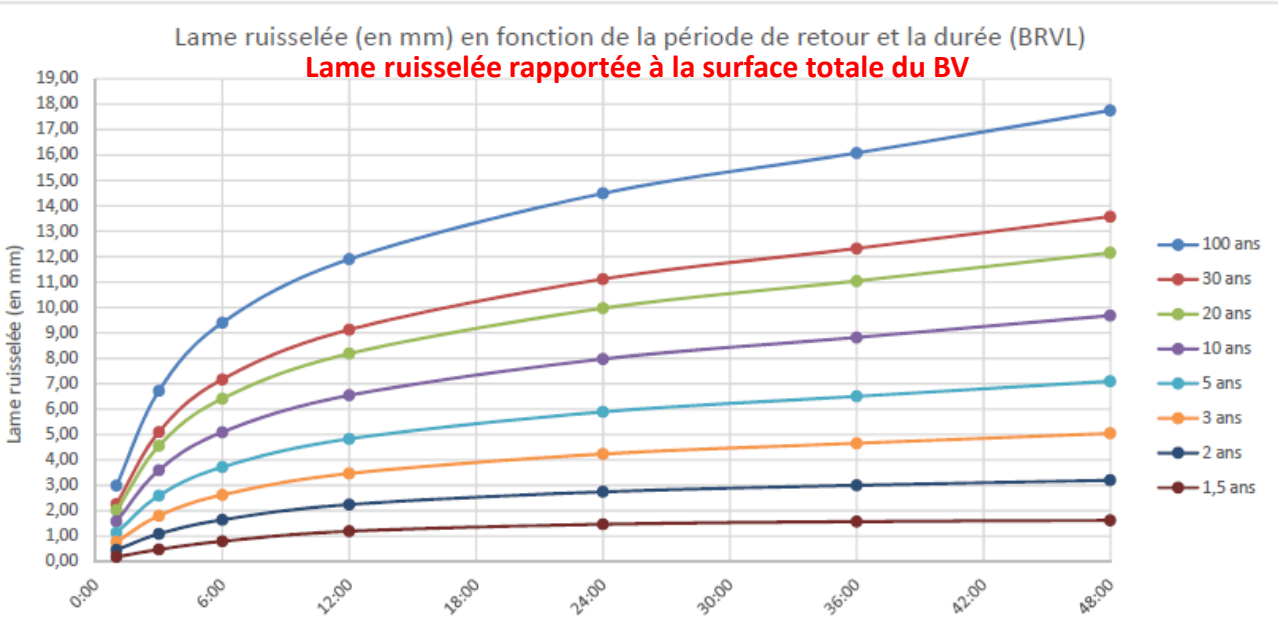
## Exercice – Dimensionner un volume tampon à partir des données hydrologiques du BV de Bourville (76)

↳ Référence : Bassin versant de Bourville (76)

Lame ruisselée (en mm) en fonction de la période de retour et la durée (BRVL)

Heures/Période de retour (an)	100 ans	30 ans	20 ans	10 ans	5 ans	3 ans	2 ans	1,5 ans
1:00	3,00	2,27	2,02	1,59	1,14	0,78	0,46	0,18
3:00	6,72	5,10	4,55	3,59	2,60	1,80	1,09	0,48
6:00	9,40	7,17	6,41	5,09	3,72	2,62	1,64	0,80
12:00	11,90	9,13	8,18	6,54	4,83	3,47	2,25	1,20
24:00	14,49	11,12	9,97	7,97	5,89	4,24	2,75	1,47
36:00	16,08	12,32	11,05	8,82	6,50	4,66	3,00	1,58
48:00	17,76	13,58	12,15	9,68	7,10	5,05	3,20	1,62

Surface en ha	BRVL
Boisées	37
Non agri. (villages, voiries)	59
En herbe	186
Cultures annuelles	763
<b>Totale</b>	<b>1045</b>



# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

**EXERCICE: Dimensionner un volume tampon à partir des données hydrologiques du BV de Bourville (76)**

↘ **Quel volume tampon est nécessaire pour écrêter la crue décennale avec un débit de fuite de 300 l/s ?**

Durée de ruissellement h	LR 10 ans mm	Volume ruisselé Bourville m3	Volume ruisselé estimé BV exercice m3	Volume évacué Qf m3	Volume à stocker m3

# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

## EXERCICE: Dimensionner un volume tampon à partir des données hydrologiques du BV de Bourville (76)

↘ Quel volume tampon est nécessaire pour écrêter la crue décennale avec un débit de fuite de 300 l/s ?

Volume ruisselé estimé par ratio des terres potentiellement ruisselantes (TL)

Durée de ruissellement h	LR 10 ans mm	Volume ruisselé Bourville m <sup>3</sup>	Volume ruisselé estimé BV exercice m <sup>3</sup>	Volume évacué Qf m <sup>3</sup>	Volume à stocker m <sup>3</sup>
1:00	1,59	16 600	8 800	1 080	7 720
3:00	3,59	37 600	19 900	3 240	16 660
6:00	5,09	53 200	28 100	6 480	21 620
12:00	6,54	68 400	36 100	12 960	23 140
24:00	7,97	83 300	44 000	25 920	18 080
36:00	8,82	92 200	48 700	38 880	9 820
48:00	9,68	101 200	53 500	51 840	1 660

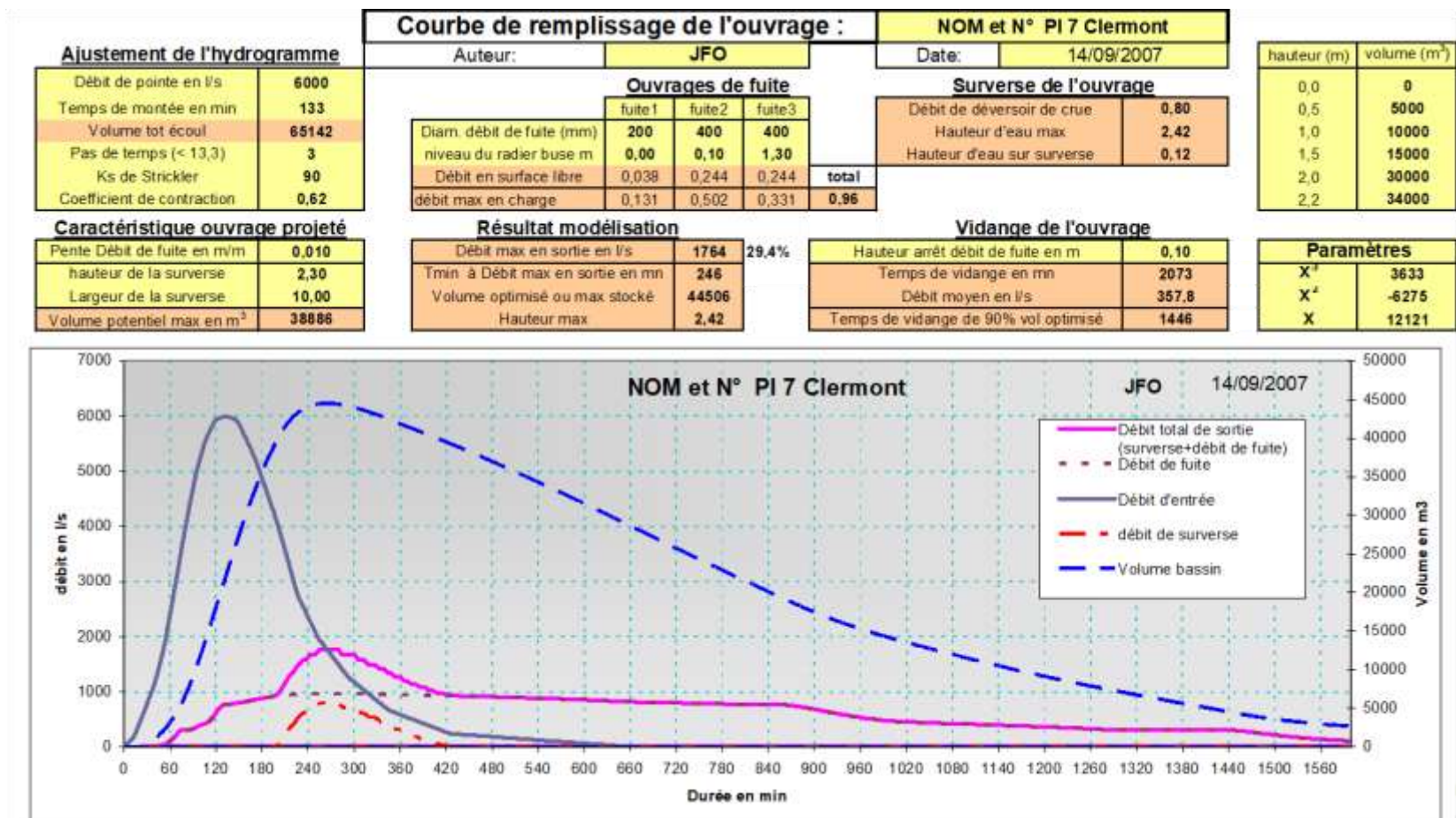
Attention : méthode valable uniquement pour des bassins versants proches du BV de Bourville (limons battants, occupation du sol) sans ouvrage hydraulique existant dans le BV

## Questions complémentaires

- ∨ **L'occupation du sol va-t-elle rester la même tout au long de la vie de l'ouvrage ?**
- ∨ **Quels seront les effets du changement climatique sur les évènements extrêmes ?**

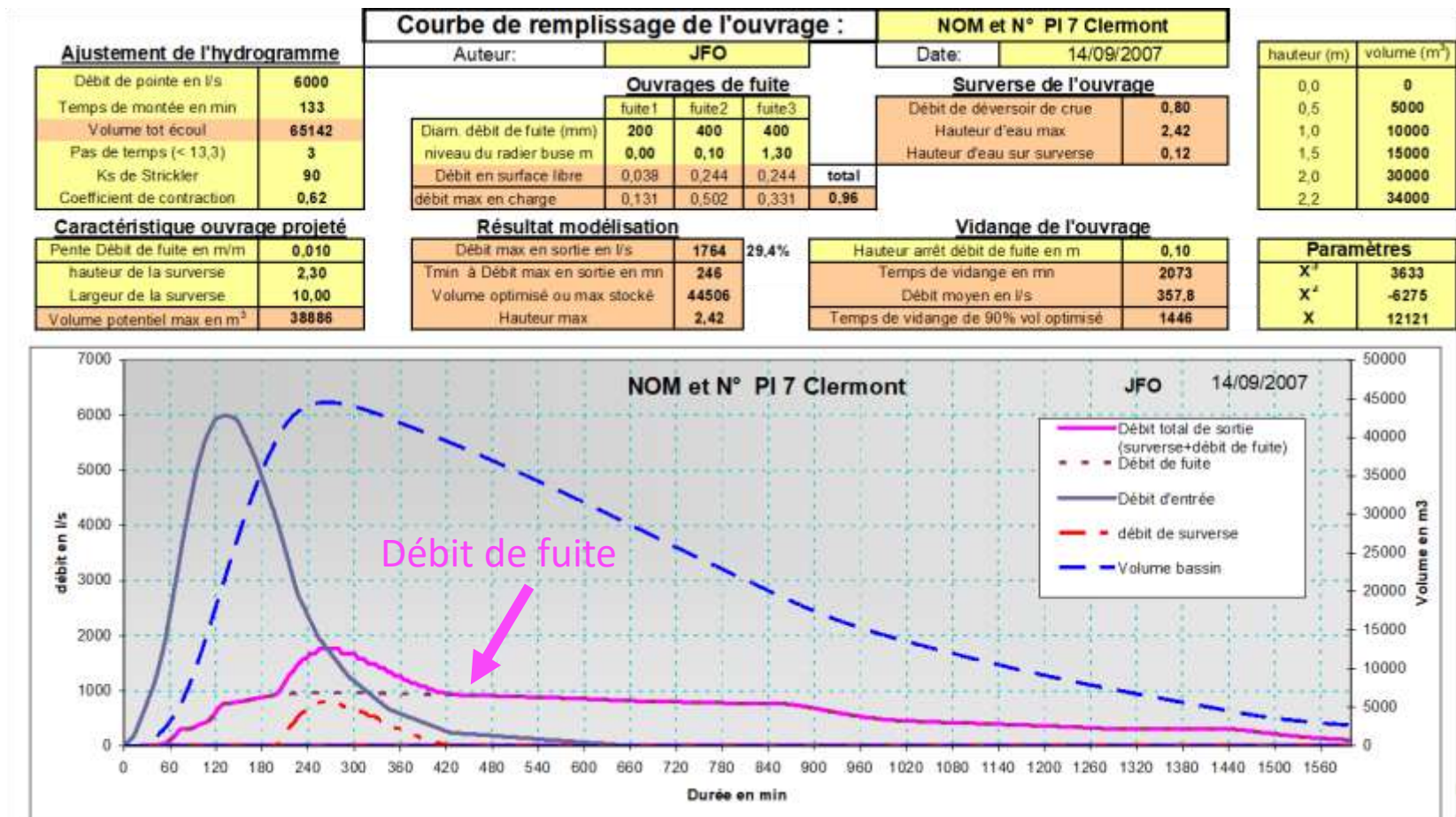
# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

➤ Pour dimensionner un aménagement avec des enjeux forts : il faut passer par une modélisation fine du fonctionnement de l'ouvrage (y compris évacuateur de crue et dissipateur d'énergie)



# Les méthodes d'estimations de volumes de stockage

↳ En réalité, le débit de fuite d'un ouvrage n'est jamais constant



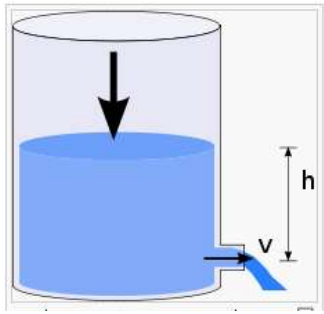


# Conception et dimensionnement des organes de fuite

# Estimation du débit de fuite

## ↘ En réalité, le débit de fuite n'est jamais constant !

*S'applique aux orifices de fuite de l'ouvrage (ceux qui évacuent l'eau de l'intérieur vers l'extérieur de l'ouvrage)*



Source : Wikipedia

Les formules de déversement en charge (à ne pas confondre avec les écoulements en charge) peuvent être appliquées pour déterminer les vitesses et les débits dans les orifices de fuite des ouvrages de rétention

Pour les orifices circulaires, le débit est donné par :

**Formule de Torricelli :**

$$Q = \mu \cdot S \sqrt{2gh}$$

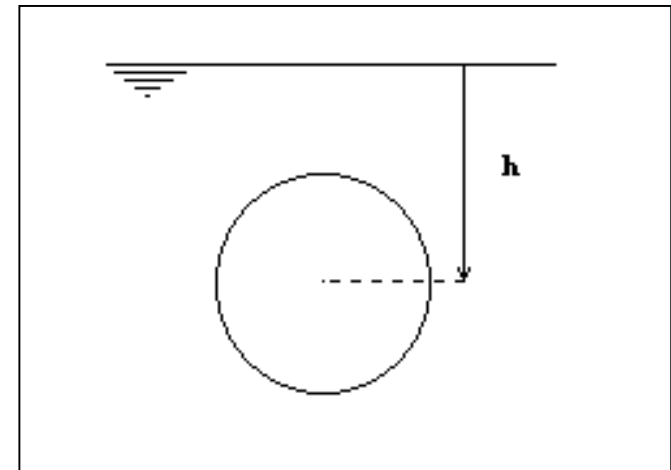
Avec :

$S$  : Section de la conduite ( $m^2$ )

$g$  : Accélération de la gravité ( $9.81 m^2/s$ )

$h$  : Hauteur d'eau au centre de gravité de la conduite (m)

$\mu$  : Coefficient de contraction compris entre [0.59 à 0.63], Généralement pris égal à 0.62 pour un orifice circulaire



## Débit de fuite à travers un orifice

### Exercice :

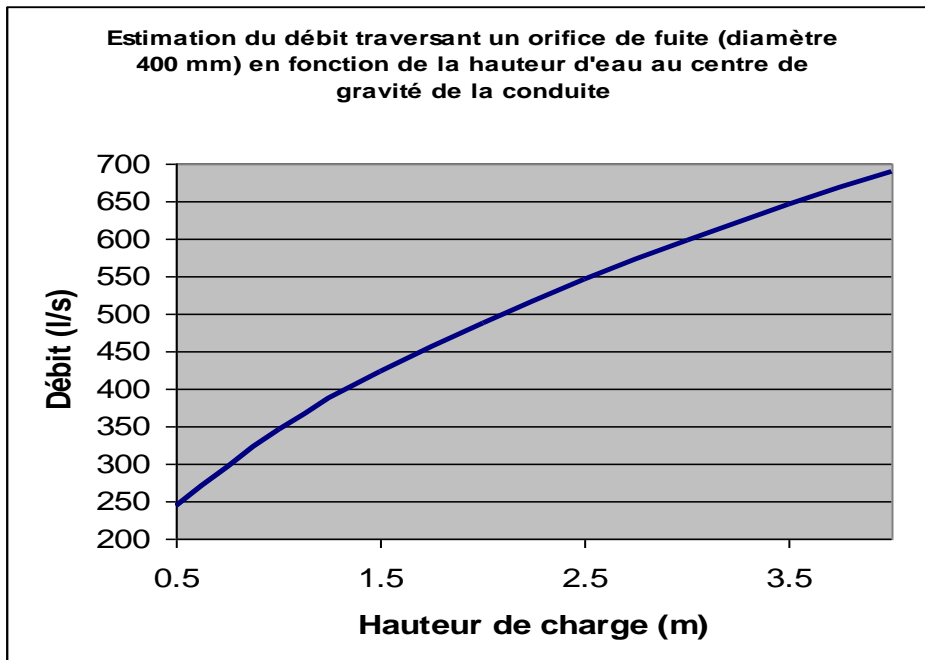
**Calculer le débit maximal traversant un orifice de fuite (avec un diamètre de 400 mm), placé en fond d'ouvrage ayant une hauteur d'eau de 1m et de 4m (mesurée depuis le centre de la canalisation).**

## Débit de fuite à travers un orifice

**Exercice : Calculer le débit maximal traversant un orifice de fuite (avec un diamètre de 400 mm), placé en fond d'ouvrage ayant une hauteur d'eau de 1m et de 4m**

$$H = 1\text{m} \rightarrow Q = 0,62 \times \frac{3,14 \times 0,4^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 1} = 0,345 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 4\text{m} \rightarrow Q = 0,62 \times \frac{3,14 \times 0,4^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 4} = 0,690 \text{ m}^3/\text{s}$$

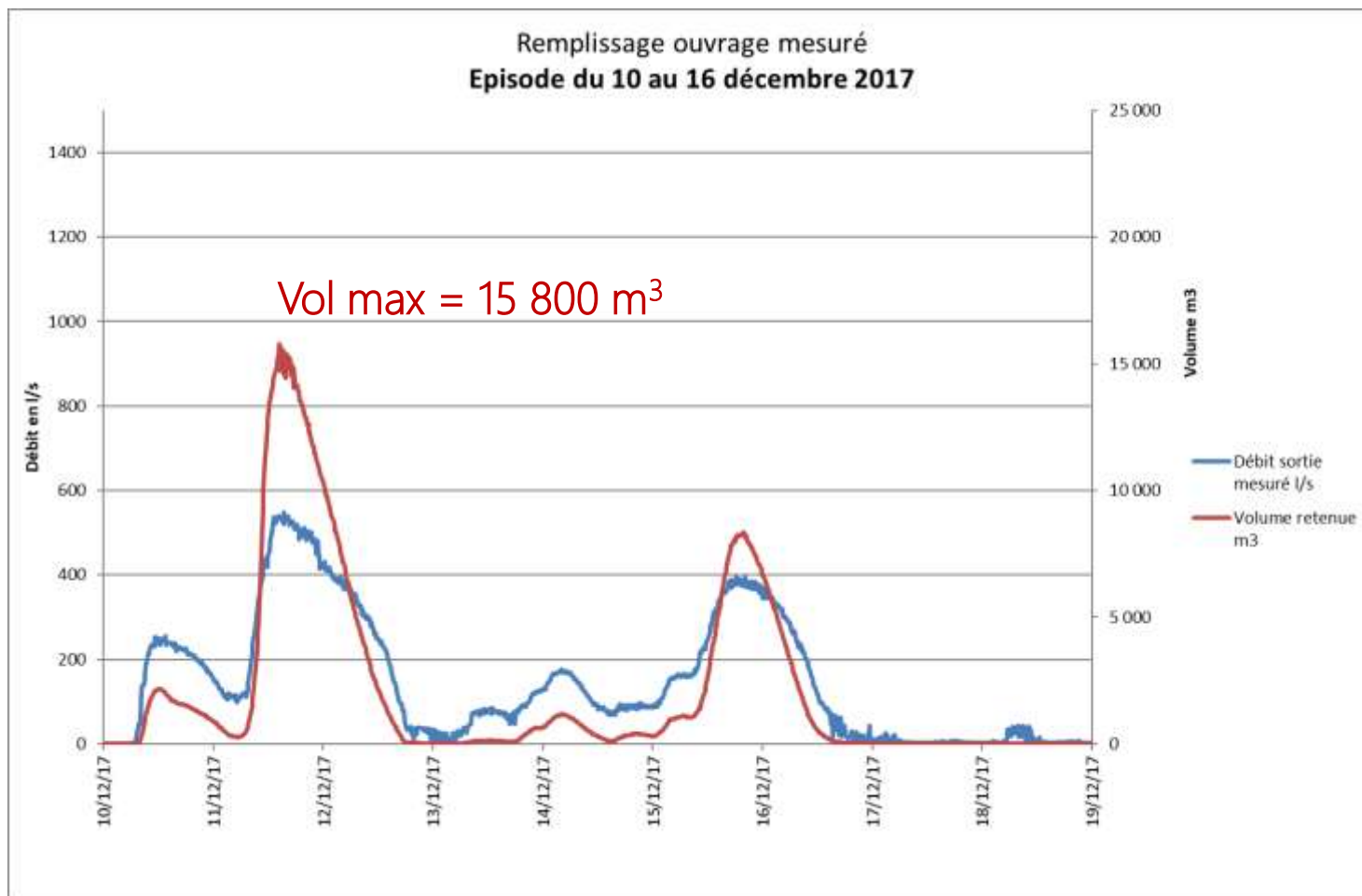


Le débit de fuite varie fortement en fonction de la hauteur d'eau dans l'ouvrage !

# Estimation du débit de fuite

## Effet du choix du débit de fuite sur le volume à stocker

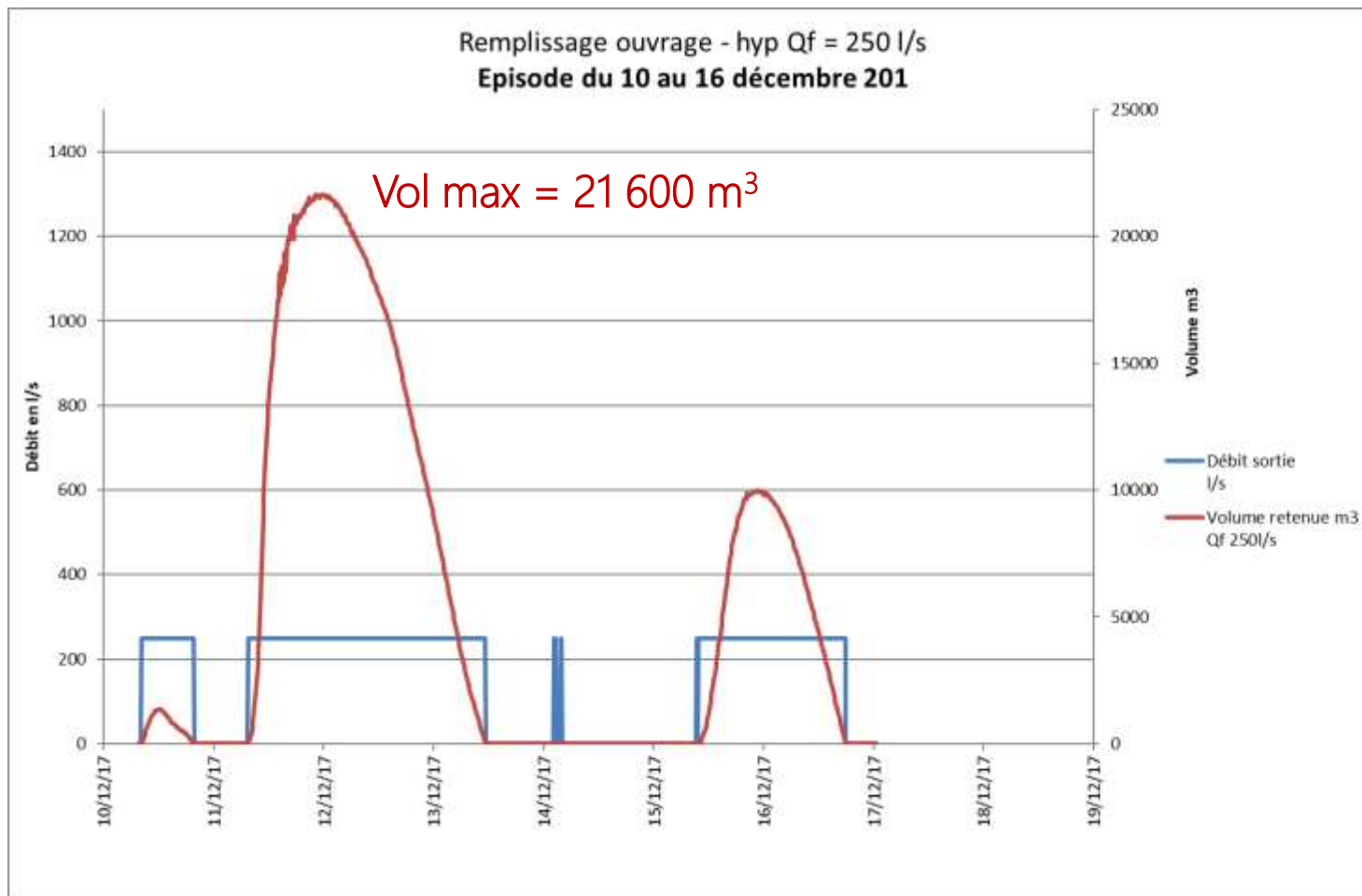
**Exemple : mesure sur barrage avec  $H_{max} \approx 2m$  et  $Q_f$  variable (max  $\approx 550$  l/s)**



# Estimation du débit de fuite

## Effet du choix du débit de fuite sur le volume à stocker

Exemple : même barrage avec débit de fuite fixe = 250 l/s



# Caractéristiques d'un organe de fuite



# Caractéristiques des organes de fuite

## ↳ 2 types d'organes de fuite :

- Ouvrage de fuite **externe** au corps de digue



- Ouvrage de fuite **intégré** au corps de digue

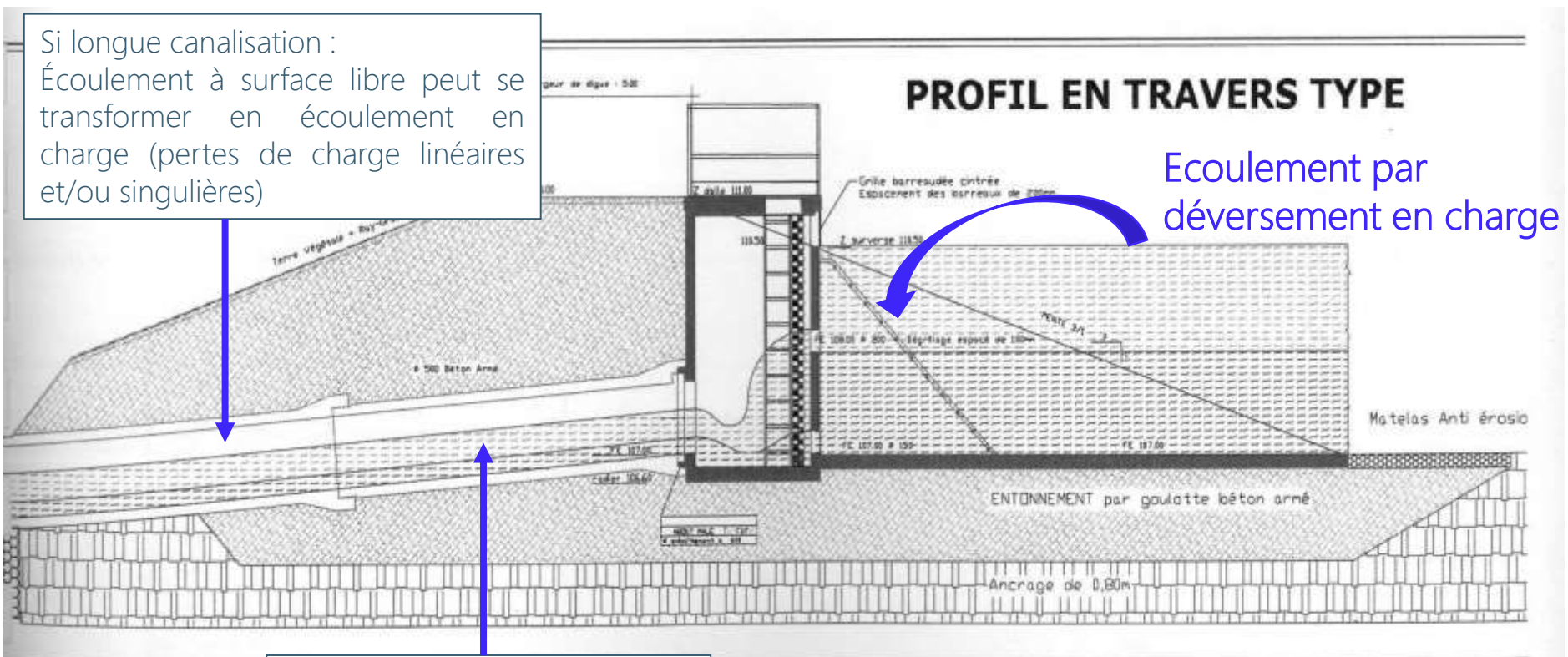


# Caractéristiques des organes de fuite

## ↳ 2 types d'organes de fuite :

- Ouvrage de fuite **externe** au corps de digue

Si longue canalisation :  
Écoulement à surface libre peut se transformer en écoulement en charge (pertes de charge linéaires et/ou singulières)



Écoulement par déversement en charge

L'écoulement à surface libre peut se transformer en écoulement par déversement en charge

# Caractéristiques des organes de fuite

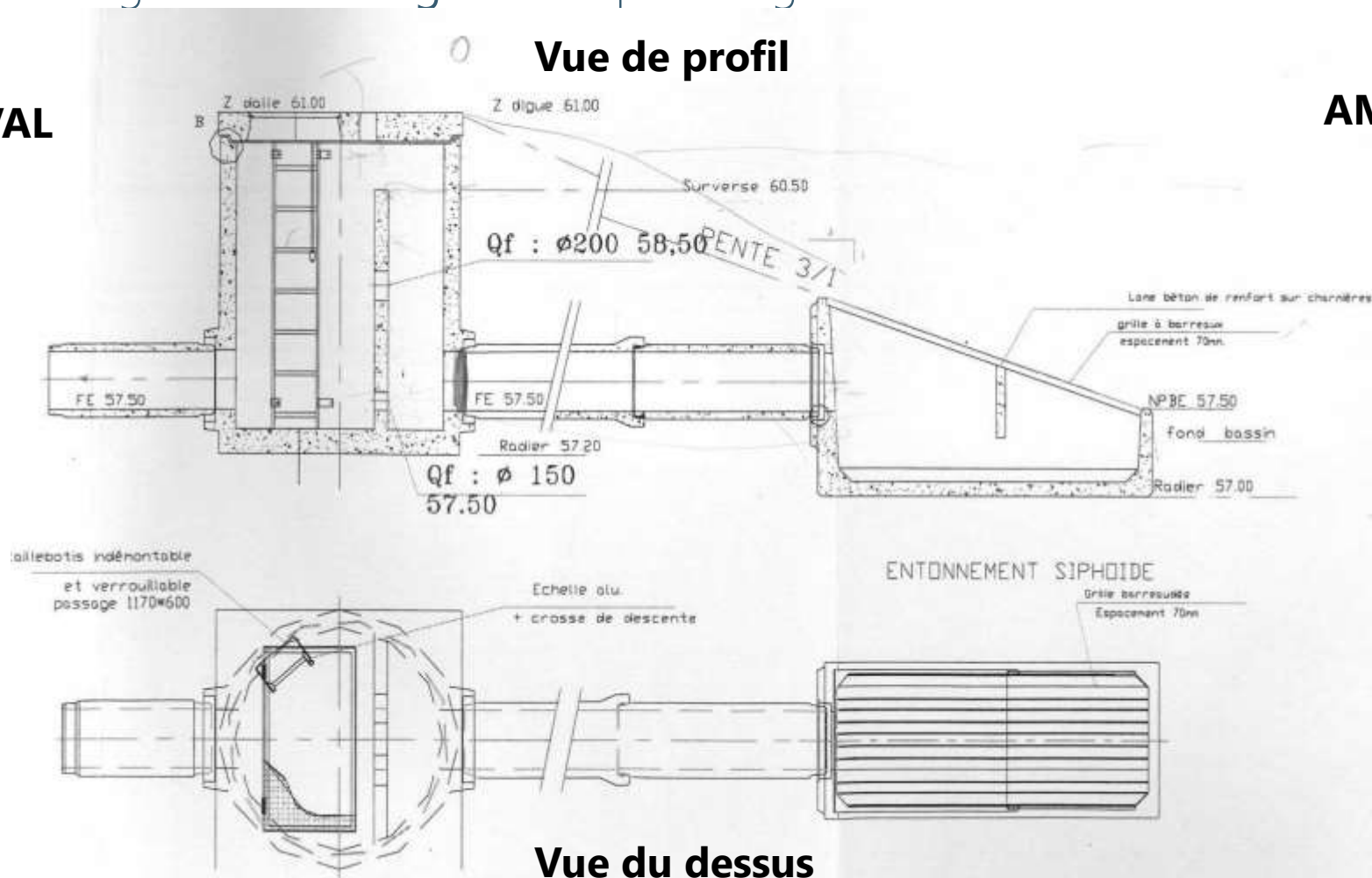
## 2 types d'organes de fuite :

- Ouvrage de fuite intégré au corps de digue

### Vue de profil

**AVAL**

**AMONT**



### Vue du dessus

# Caractéristiques des organes de fuite

## ↳ 2 types d'organes de fuite

### Avantages/ Inconvénients

- Ouvrage de fuite externe

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Orifices faciles à entretenir en absence d'eau</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ouvrages en béton visibles (manque d'esthétisme)</li></ul>

- Ouvrage de fuite intégré

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"><li>• Moins visible (intégration paysagère)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fragilise la digue à la pose (problème d'étanchéité)</li><li>• Difficulté d'entretien des orifices</li></ul>

↳ **Attention, c'est la sécurité qui compte avant tout. C'est la colonne externe avec passerelle d'accès qui présente le moins de risque vis-à-vis de l'intégrité de la digue. On peut toujours ajouter de la terre végétale pour masquer le béton si l'on souhaite.**

# Dimensionnement des orifice de fuites

## ↳ **Conseils de dimensionnement :**

- Dimensionner le débit de fuite de l'ouvrage en fonction du débit acceptable par le milieu récepteur
- Respecter un temps de vidange max. 24 h
- Étager les débits que si cela semble indispensable

## Orifice de fuites étagés

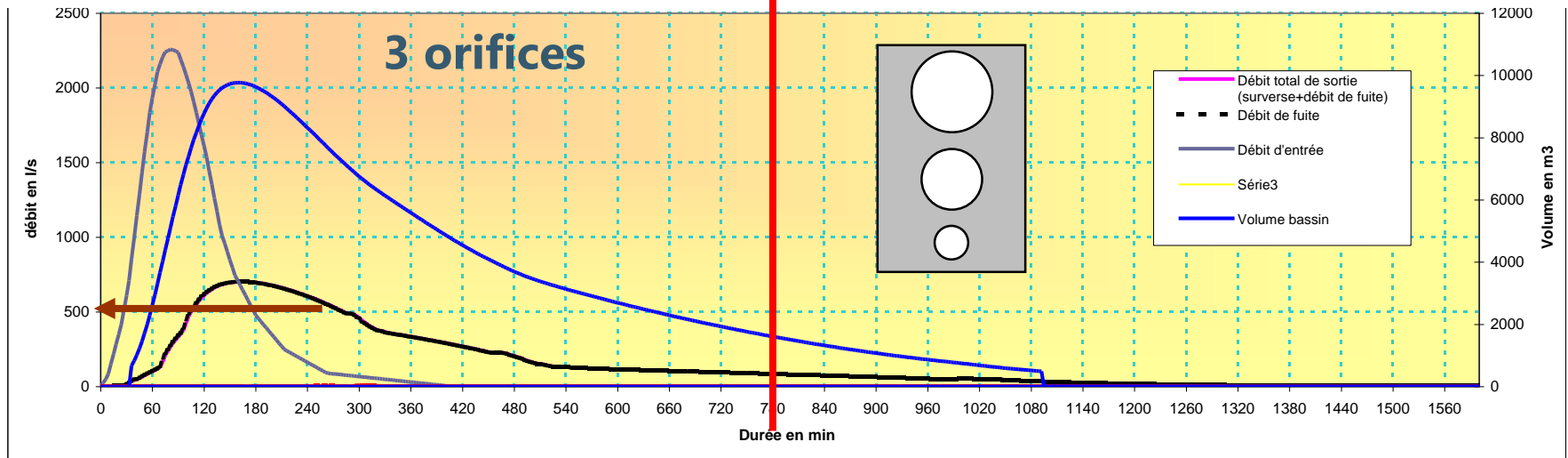
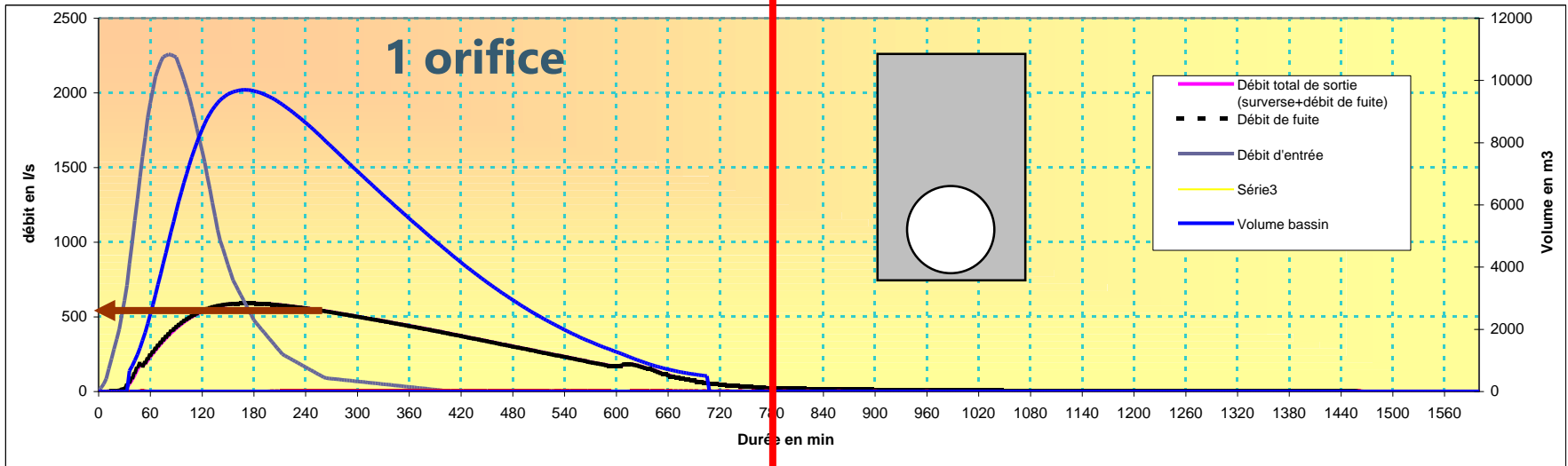
### ↳ **Les légendes sur les orifices de fuite étagés contées par les hauts-normands :**

- Avoir une meilleure protection des enjeux à l'aval
- Protéger des enjeux pour des événements ruisselants de différentes périodes de retour
- Pour avoir de l'eau dans nos ouvrages lors de faibles pluies
- Pour montrer que nos ouvrages fonctionnent dès que du ruissellement se produit



# Dimensionnement des orifice de fuites

## Orifice de fuites étagés



# Dimensionnement des orifice de fuites

## Orifice de fuites étagés

### ↳ Résultats des différentes simulations :

	Résultats de l'étude hydraulique	Résultat avec 3 orifices de fuite	Résultat avec 1 orifice de fuite
Volume max. stocké (m3)	<b>12 400</b>	<b>9 800</b>	<b>9 700</b>
Qfuite (l/s) moyen	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>230</b>
Qfuite (l/s) max.	<b>140</b>	<b>703</b>	<b>590</b>
Temps de vidange (min)	<b>1 440</b>	<b>1 092</b>	<b>705</b>



**Des différences significatives !**

## Orifice de fuites étagés

### ↳ Avantages/ Inconvénients :

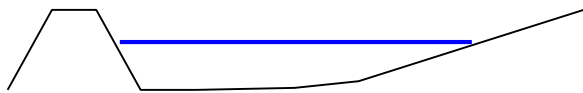
AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"><li>Ajuste le débit de fuite en fonction des contraintes aval</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Surdimensionne le débit de fuite max. de l'ouvrage à volume de stockage égal</li><li>Surdimensionne le volume de l'ouvrage à débit de fuite max. égal</li><li>Surestime les coûts de conception de l'aménagement</li></ul>

# Dimensionnement des orifice de fuites

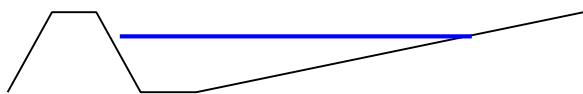
## Importance de la forme de l'ouvrage sur le temps de vidange



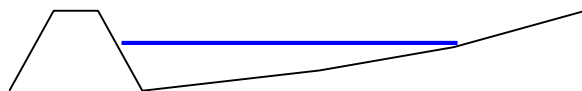
Bassin cubique en déblai



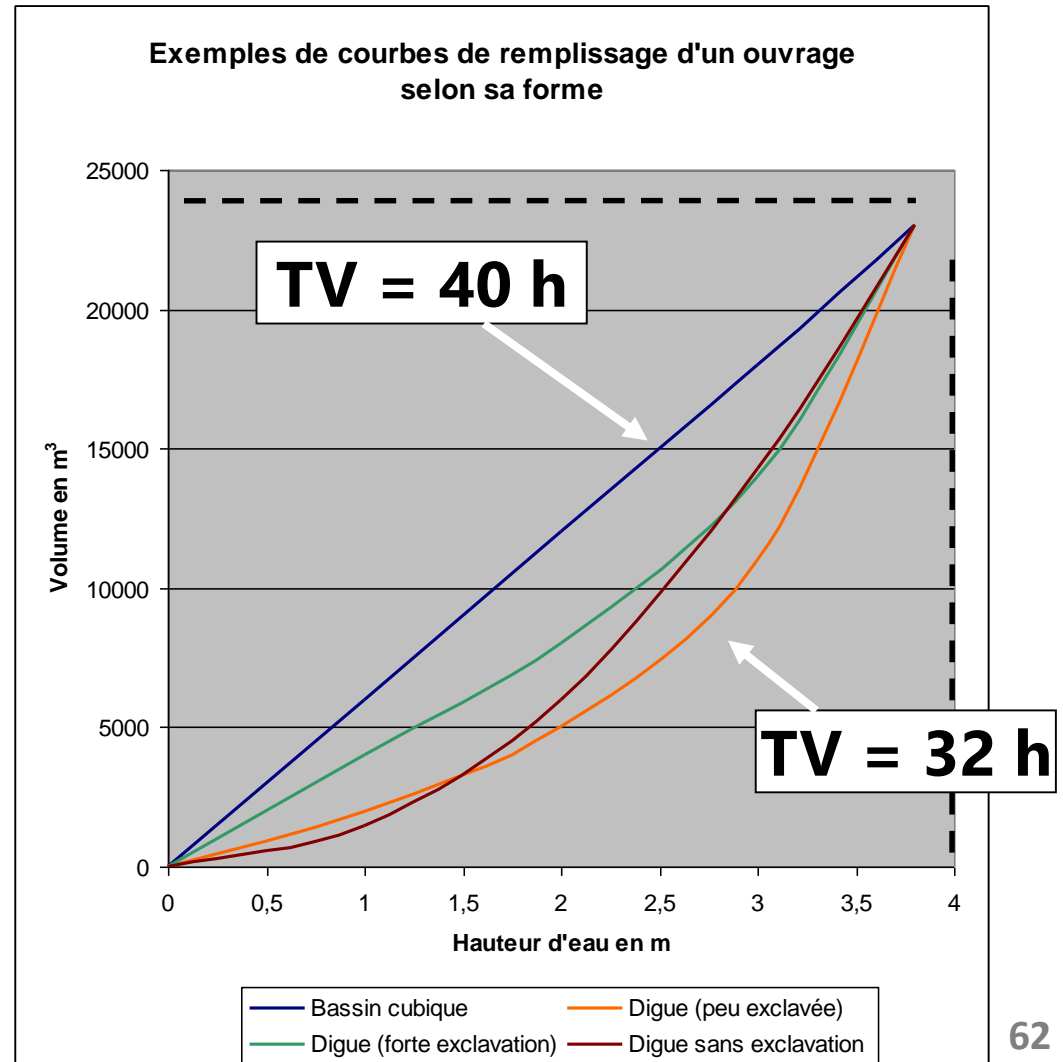
Digue avec forte excavation



Digue peu excavée

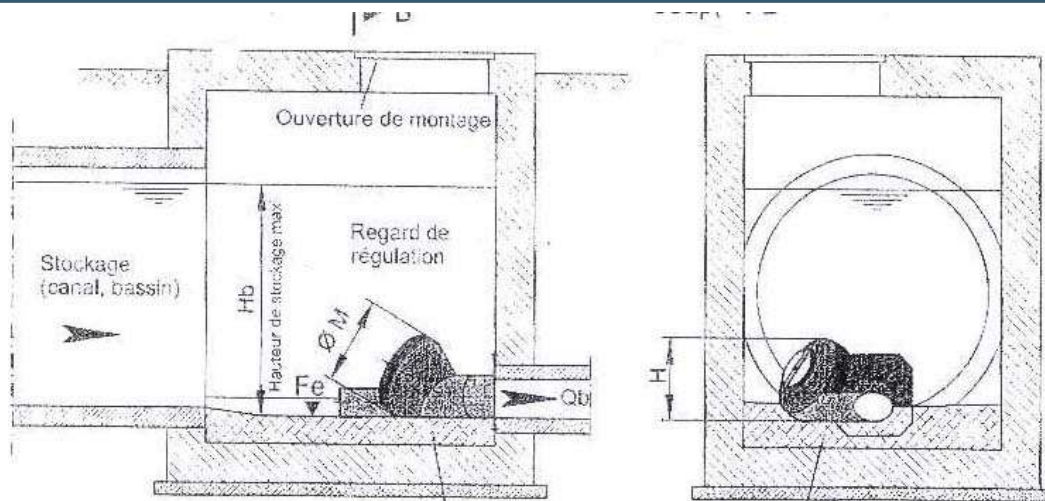


Digue sans excavation

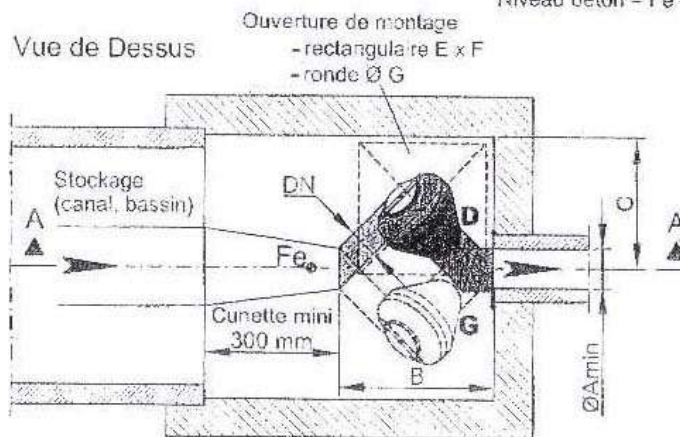


# Dimensionnement des orifice de fuites

## Le Vortex : une solution pour tendre vers un débit constant



Béton de forme à réaliser après montage du régulateur  
Niveau béton = Fe - 0,15m



**D** : Vortex à droite  
**G** : Vortex à gauche

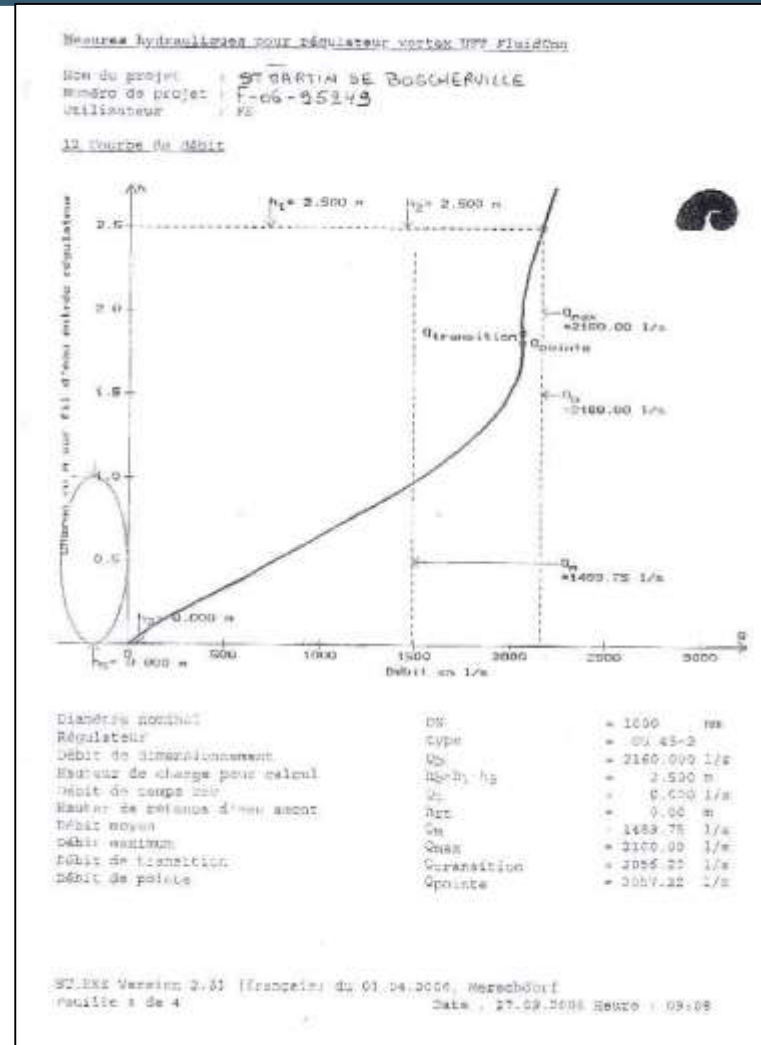
**UFT FRANCE**  
Techniques des Fluides et de l'Environnement  
groupe UFT Dr. H. Brombach GmbH

BP 67 - ROSHEIM - 67128 OBERNAI CEDEX  
Tél. 03 88 50 44 85 - Fax. 03 88 50 75 51 - [www.uft.fr](http://www.uft.fr) - [info@uft.fr](mailto:info@uft.fr)

FICHE TECHNIQUE  
Régulateur vortex *FluidCon* SUn  
implantation humide

# Dimensionnement des orifice de fuites

## Le Vortex : une solution pour tendre vers un débit constant





# Conception des évacuateurs de crue

## Pourquoi ?

### ↳ Calcul de la probabilité de dépassement d'une crue de projet

↳ Probabilité de surverse d'un ouvrage

*Quel risque global prend on sur une longue période ?*

Soit :

- $P$  → Probabilité que la crue arrive par an
- $A = 1 - P$  → Probabilité que la crue n'arrive pas par an
- $B = A^N$  → Probabilité que la crue **n'arrive** pas en N années
- $C = 1 - B = 1 - [(1-P)^N]$  → Probabilité que la crue arrive en N années

## Pourquoi ?

### ↳ Calcul de la probabilité de dépassement d'une crue de projet

↳ Probabilité de surverse d'un ouvrage

*Quel risque global prend on sur une longue période ?*

Prenons un exemple...

*Probabilité de voir la crue décennale dépassée (surverse d'un ouvrage si dimensionné pour la décennale)*

Par an : 10 % 1 chance sur 10

En 6 ans : 47 % environ 1 chance sur 2



1 mandat de maire !

En 10 ans : 65 % environ 2 chances sur 3

En 50 ans : 99.5 % environ 1 chance sur 1



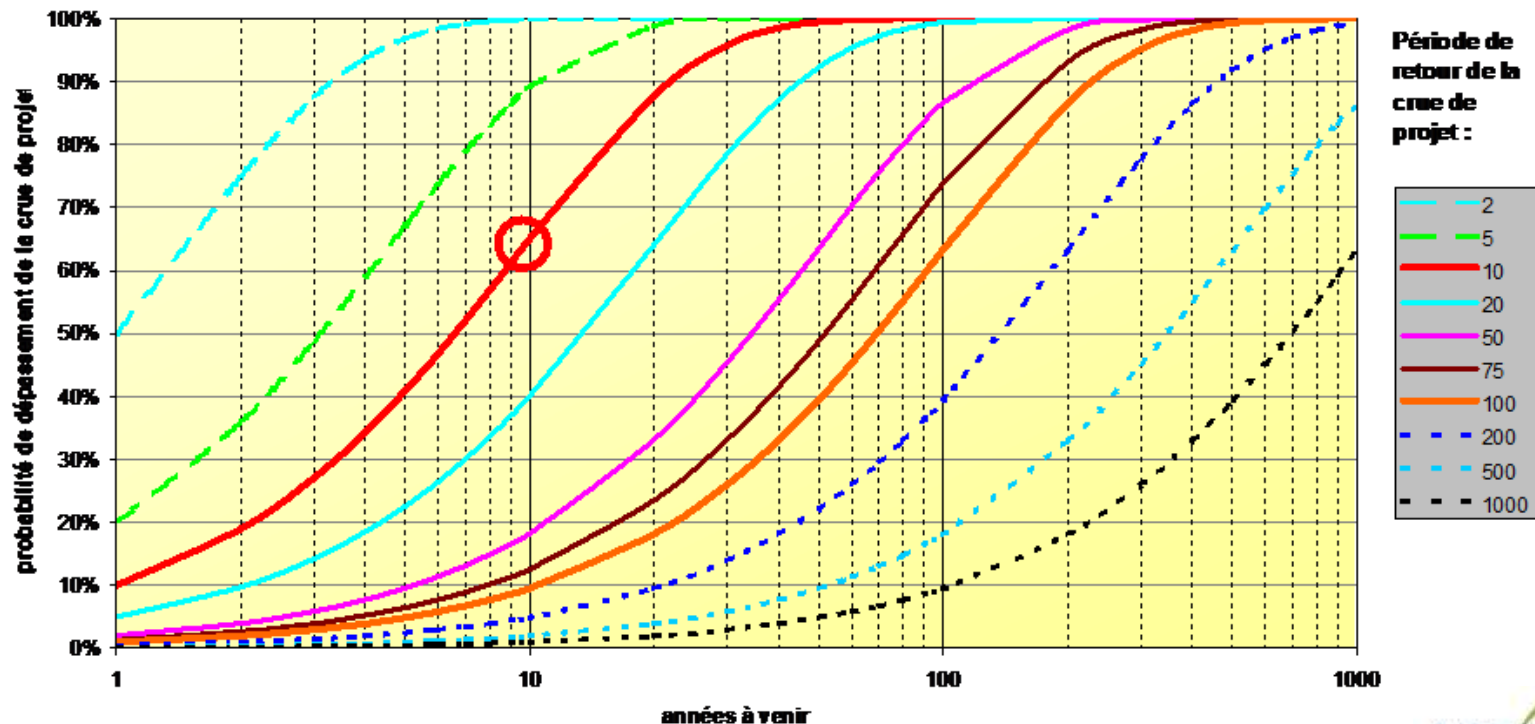
**En choisissant une crue de projet de faible période, 10 ans par exemple, il faut bien avoir à l'esprit que celle-ci a une grande probabilité d'arriver sur une longue période !**

## Pourquoi ?

### ↳ Calcul de la probabilité de dépassement d'une crue de projet

↳ Probabilité de surverse d'un ouvrage

Probabilité de dépassement du débit de crue de projet pour une période de retour donnée.



## Pourquoi ?

### ↳ Calcul de la probabilité de dépassement d'une crue de projet

### DANS UN PARC D'OUVRAGES

*Quel risque prend on sur plusieurs petits barrages ?*

*Sur des bassins versants hydrologiquement **indépendants**, donc suffisamment éloignés*

Soit :

$$D = B^M = A^{N \cdot M}$$



Probabilité que la crue n'arrive pas en N années sur M ouvrages

$$E = 1 - D = 1 - B^m = 1 - (A^{N \cdot M})$$



Probabilité que la crue arrive sur au moins un des ouvrages en N années

## Pourquoi ?

### ↘ **Calcul de la probabilité de dépassement d'une crue de projet** **DANS UN PARC D'OUVRAGES**

*Quel risque prend on sur plusieurs petits barrages ?*

*Prenons un exemple...*

*Pour 40 petits barrages, probabilité de voir la crue décennale dépassée (surverse d'un ouvrage) pour au moins un barrage*

Par an : 98.5 % environ 1 chance sur 1

En 2 ans : 100 % 1 chance sur 1

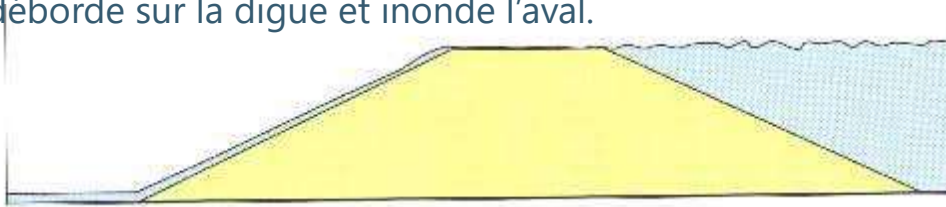
**Quand on possède un parc de 40 ouvrages, il faut s'attendre à voir la crue décennale dépassée sur au moins un de ces ouvrages tous les 2 ans. D'où la nécessité de prévoir des évacuateurs de crue dimensionnés pour des crues supérieures à la décennale sur chaque ouvrage.**

# Evacuateurs de crue

## Pourquoi ?

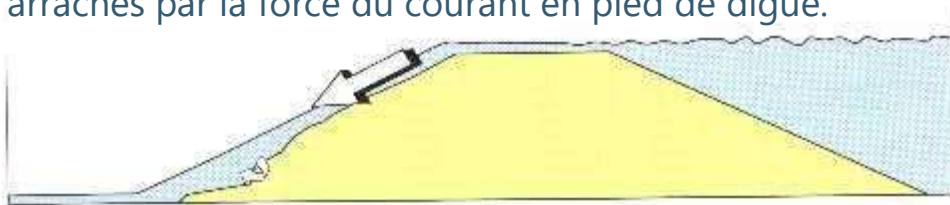
### **Début de la surverse :**

Le niveau du fleuve atteint la crête de l'ouvrage. L'eau déborde sur la digue et inonde l'aval.



### **Quelques minutes après :**

Le parement aval commence à s'éroder. Les matériaux sont arrachés par la force du courant en pied de digue.



### **Le parement de la digue est fortement dégradé.**

Une fouille importante s'est créée en pied. L'ouvrage est imbibé d'eau.



## Pourquoi ?

### ↳ 2 Objectifs :

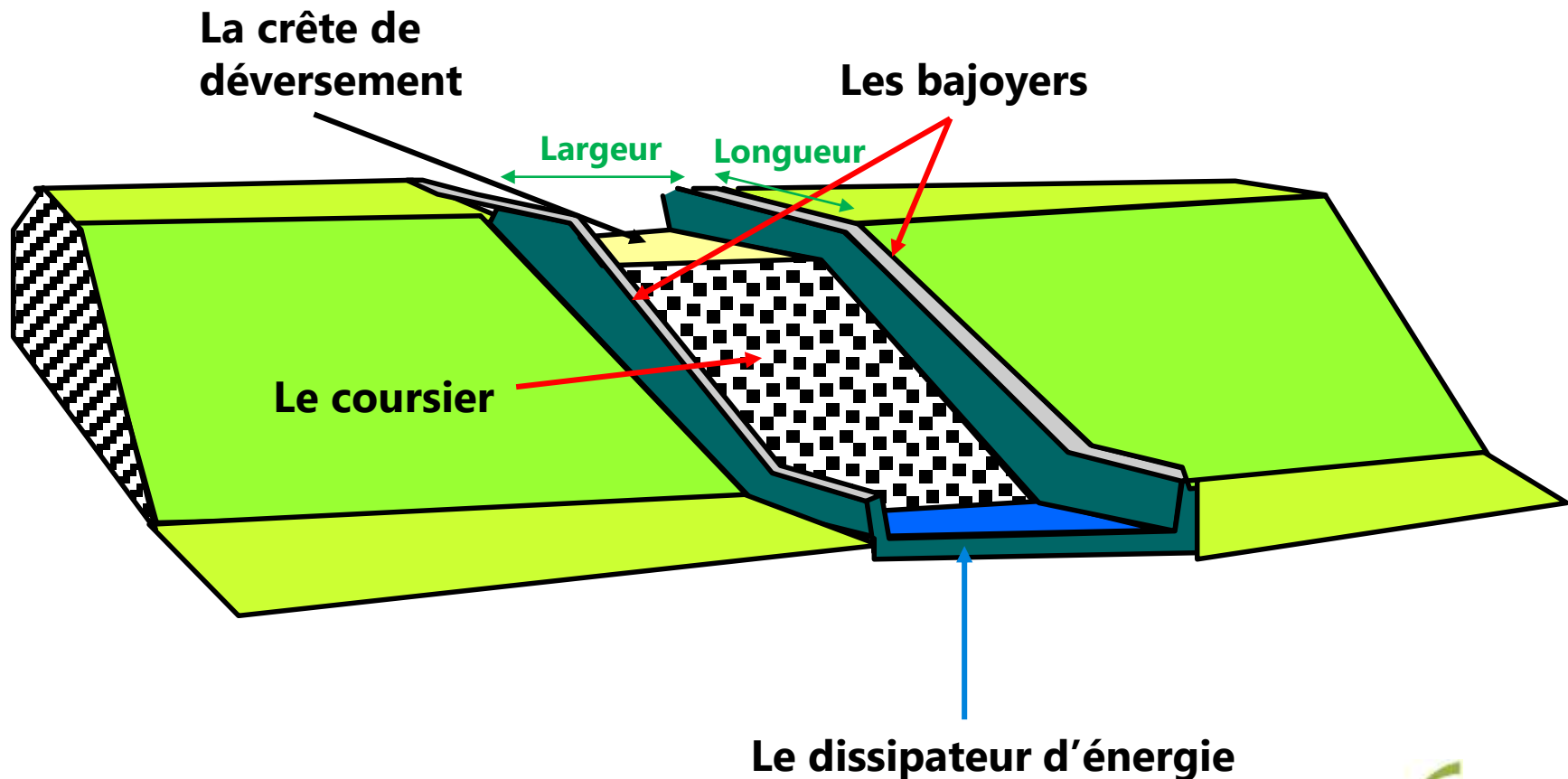
**Pour protéger le corps et le pied de digue en évacuant les eaux dans une zone appropriée**



**Pour tranquilliser les écoulements de l'évacuateur vers l'aval**



## Description



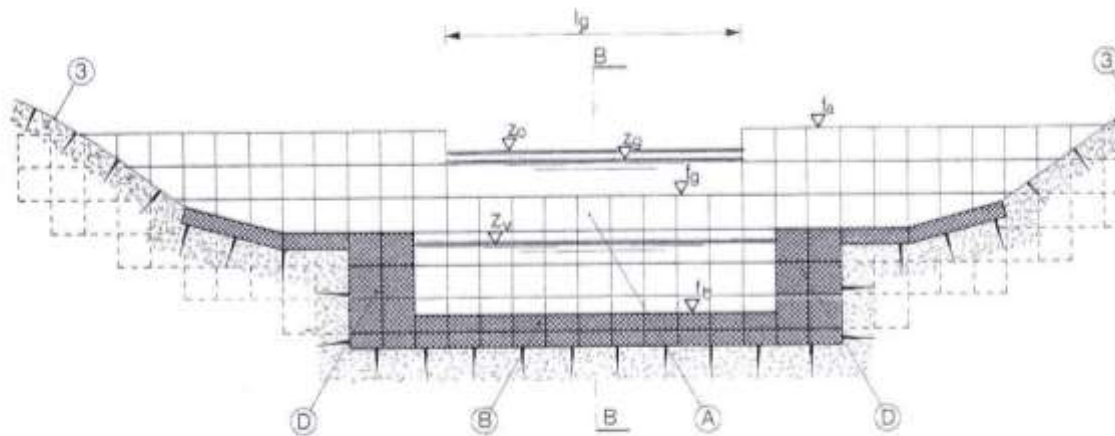
# Les évacuateurs de crues

## Dimensionnement de la crête de déversement



## Dimensionnement de la crête de déversement

SECT. AA



LEGENDE:

- A: Epi
- B: Bassin de dissipation en dépression
- C: Contre-épi
- D: Murs d'aile d'aval
- E: Radier d'aval
- F: Remblayage artificiel en amont
- $L_b$ : Longueur du bassin de dissipation
- $L_{g1}$ : Distance qui sépare la section 1 du parement aval du barrage
- $L_{12}$ : Longueur minimale pour la formation du ressaut hydraulique
- $l_b$ : Largeur du bassin de dissipation
- $l_c$ : Largeur de la crête
- 1: Ligne des charges totales
- 2: Profil de la surface libre
- 3: Profil naturel du terrain

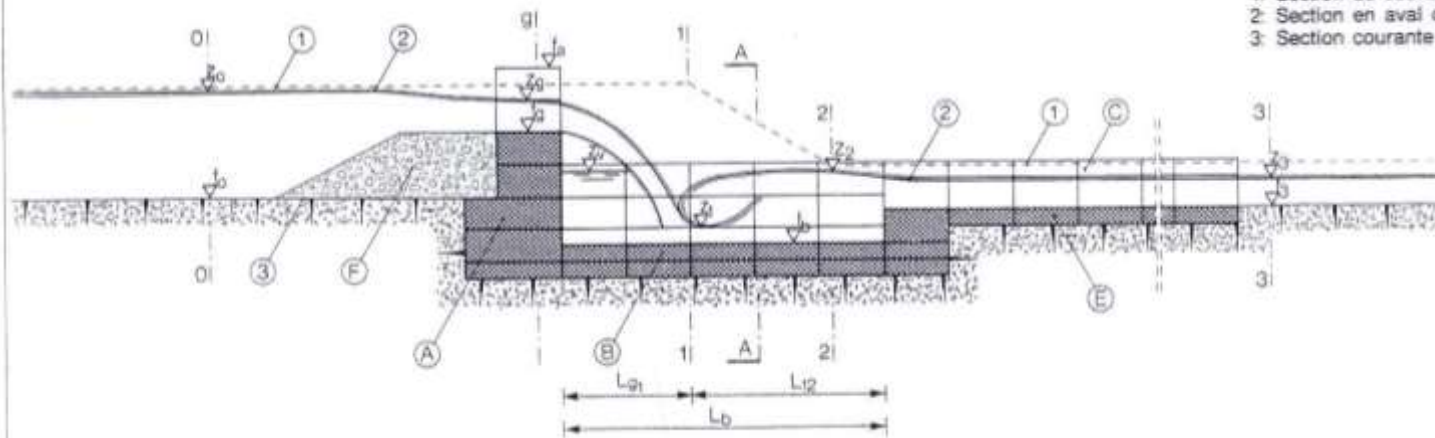
COTES:

- z: Cote surface libre
- f: Cote du fond du lit ou des sommets des ouvrages dans le lit
- a: Cote des sommets des ailes

SECTIONS:

- 0: Section en amont du barrage
- g: Section correspondant à la crête de déversement
- 1: Section du courant rapide au pied du barrage
- 2: Section en aval du ressaut hydraulique
- 3: Section courante du lit en aval du contre-épi

SECT. BB



## Dimensionnement de la crête de déversement

### Formule simplifiée du CEMAGREF utilisée également par MACAFERRI

$$Q = \mu * L * H * \sqrt{2gH}$$

Avec :

$\mu$  : Coefficient du débit égal à **0.385** (seuil épais)

L : Largeur de la crête de déversement (m)

g : accélération de la pesanteur égale à **9.81 m.s<sup>-2</sup>**

H : Hauteur d'eau amont au-dessus du seuil (z<sub>o</sub>-f<sub>g</sub>)

z<sub>o</sub> : Cote de la surface libre en amont de la digue

f<sub>g</sub> : Cote du seuil déversant

### Formule CETMEF

$$Q = \mu * C_v * H^{\frac{3}{2}}$$

Avec :

$\mu$  : Coefficient du débit égal à **1.66**

L : Largeur de la crête de déversement (m)

C<sub>v</sub> : Coefficient de vitesse d'approche égale à **1**

H : Hauteur d'eau amont au-dessus du seuil (z<sub>o</sub>-f<sub>g</sub>)

z<sub>o</sub> : Cote de la surface libre en amont de la digue

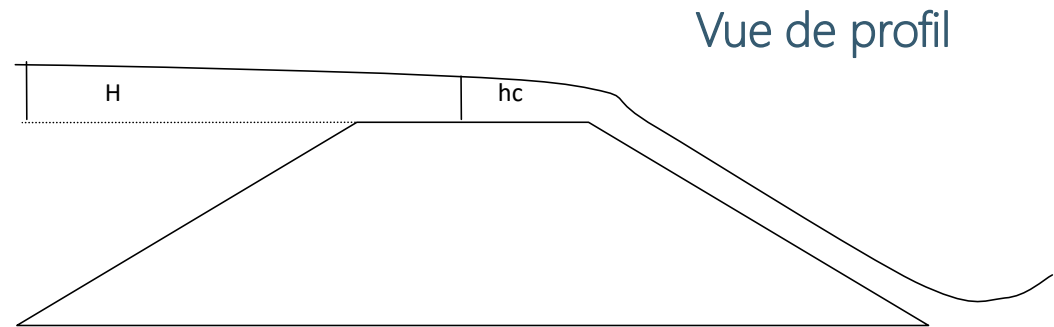
f<sub>g</sub> : Cote du seuil déversant

# Les évacuateurs de crues

## Dimensionnement de la crête de déversement

Formule simplifiée du  
CEMAGREF utilisée  
également par MACAFERRI

$$Q = \mu * L * H * \sqrt{2gH}$$



Hauteur critique hc

$$hc = z_g - f_g$$

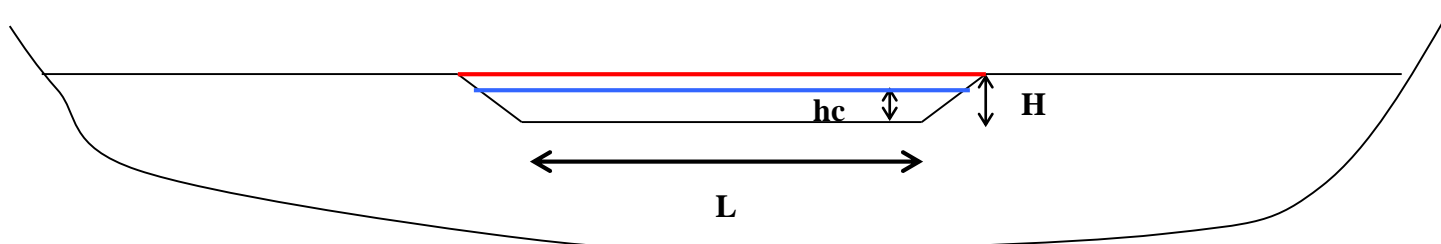
$$H = \frac{3}{2} hc$$

Avec :

$z_g$  : cote supérieure de la lame sur la crête de déversement

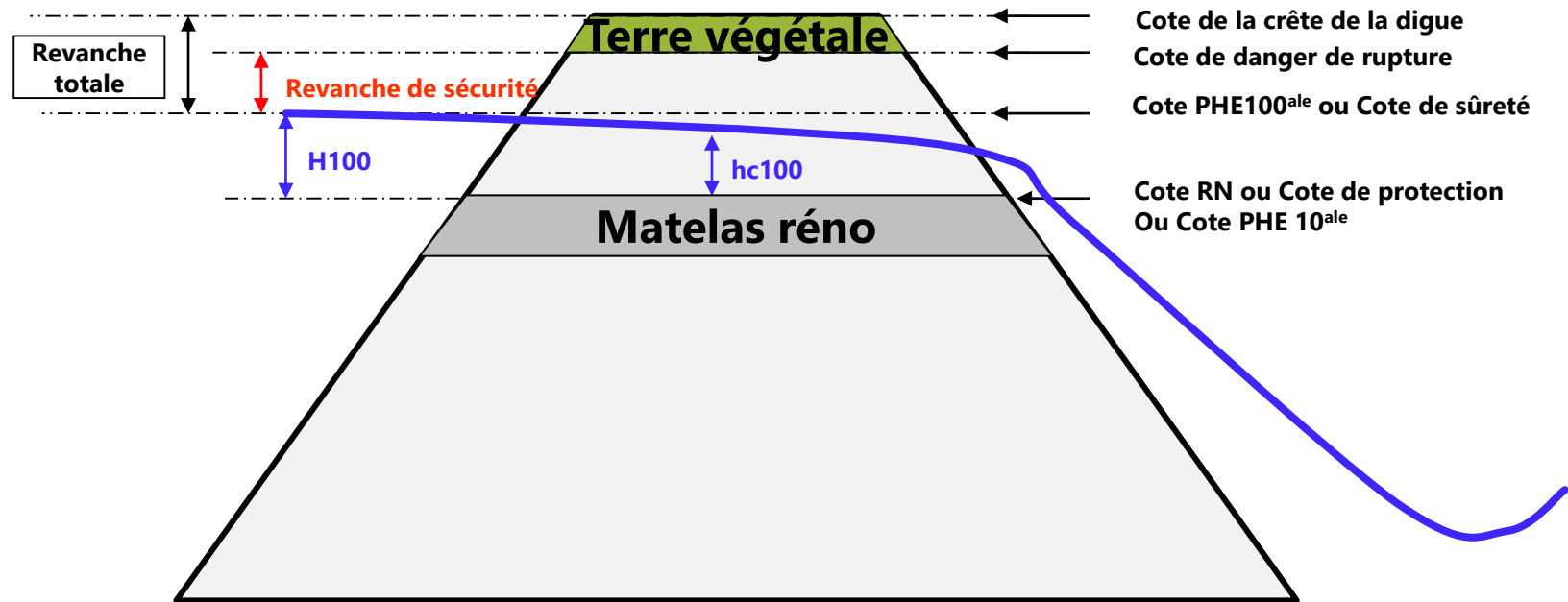
$f_g$  : cote du seuil déversant

Vue de face



## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Choix de la période de retour



## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Choix de la période de retour

$$Q = 2,78 * C * I * A$$

Avec :

C : Coefficient de ruissellement

I : Intensité de la pluie ou durée du temps de concentration

A : Surface du bassin versant (m<sup>2</sup>)

Formule et coefficients de Montana

	a	b
<b>2 ans</b>	4,56	0,71
<b>5 ans</b>	6,23	0,72
<b>10 ans</b>	7,4	0,72
<b>20 ans</b>	8,53	0,73
<b>50 ans</b>	9,95	0,73
<b>100 ans</b>	11,07	0,73

$$\frac{Q_{100}}{Q_{10}} = \frac{2,78}{2,78} * \frac{C_{100}}{C_{10}} * \frac{I_{100}}{I_{10}} * \frac{A}{A} \xrightarrow{\text{Simplification}} \frac{Q_{100}}{Q_{10}} = \frac{C_{100}}{C_{10}} * \frac{a_{100}}{a_{10}} * t^{(-b_{100}+b_{10})}$$

$$I = a * t^{-b}$$

Avec :

I : Intensité moyenne (mm/min)

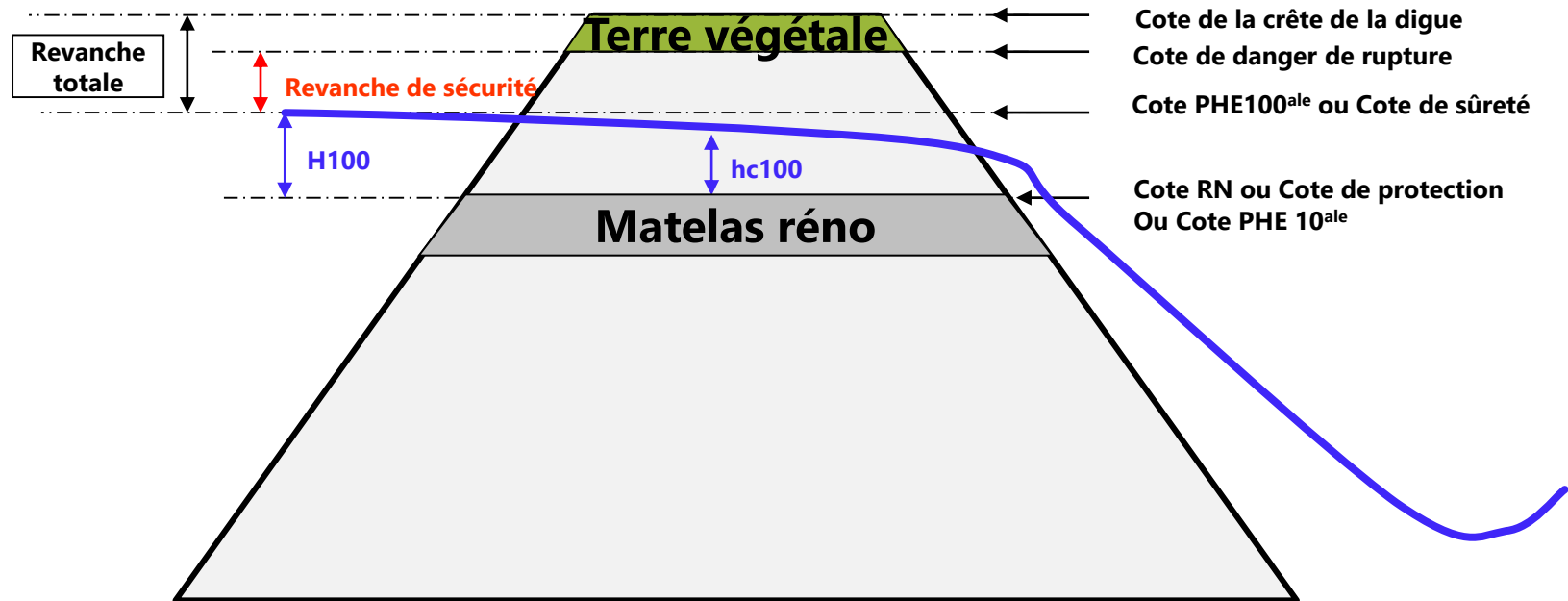
t : Durée (min)

$$Q_{100} = 2 * Q_{10} \quad \text{Si BV à dominante terres de labours}$$

$$Q_{100} = 2,25 * Q_{10} \quad \text{Si BV fortement enherbé et boisé}$$

## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Choix de la période de retour



**Propositions CEMAGREF pour le dimensionnement de la revanche de sécurité :**  
Revanche de sécurité =  $H_{100}$

**Propositions AREAS pour le dimensionnement de la revanche de sécurité :**  
Vérifier que  $Q_{1000}$  passe dans la revanche de sécurité  
+ rajouter 10 cm pour les embâcles

# Les évacuateurs de crues

## Dimensionnement de la crête de déversement

↳ Dimensionnement à partir du  $Q_{100}$

$$Q = \mu * L * H * \sqrt{2gH}$$

Si d'après une étude hydraulique d'un BV à dominante grande culture

$$Q_{10} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Alors } Q_{100} = 2 Q_{10} = 2 * 1 = 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

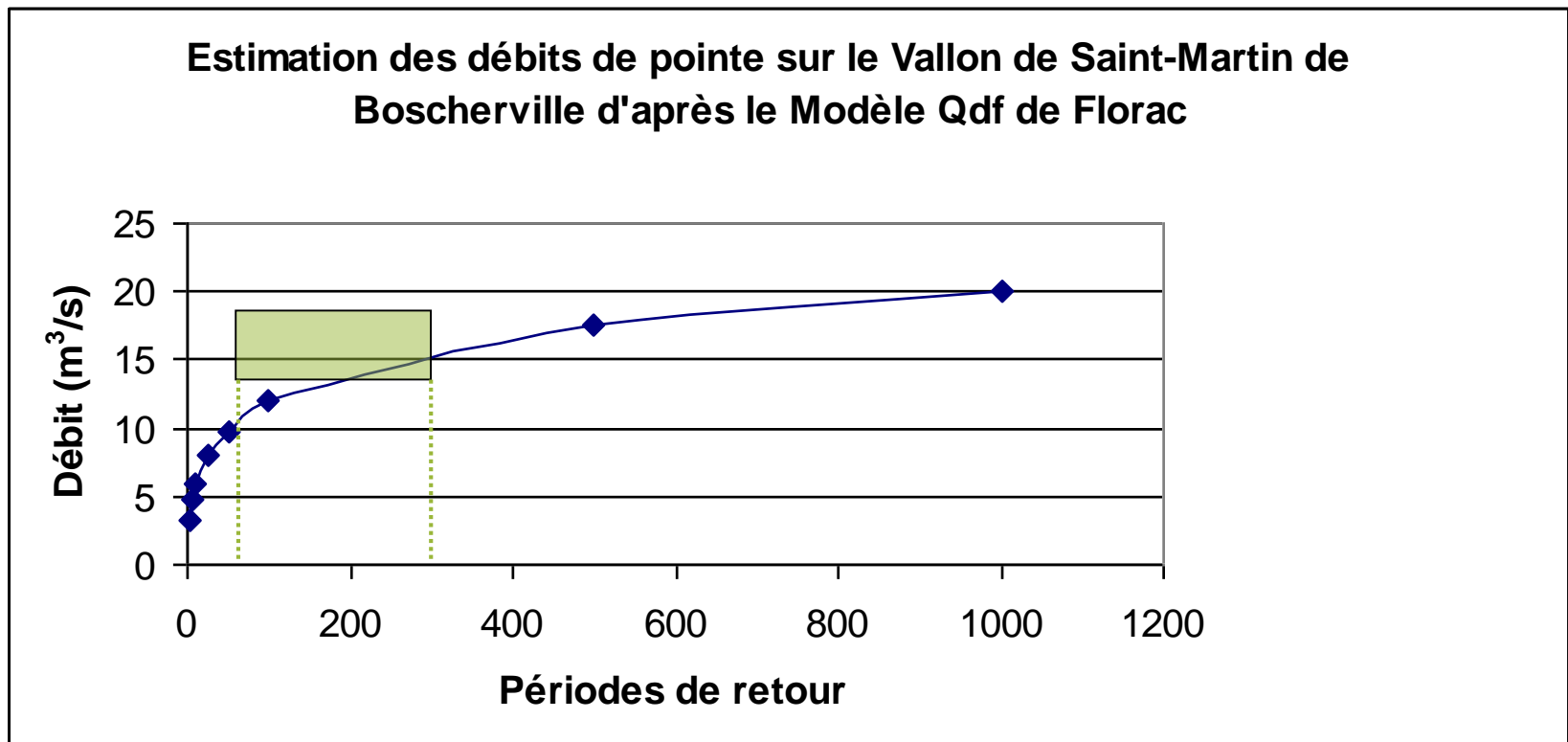
**Etape 1 : Recherche les gammes de possibilité de  $Q_{100}$  dans le tableau**

**Etape 2 : Détermination de la possibilité la plus pertinente du point de vue économique, topographique, hauteur de digue, enjeux à l'aval...**

		Largeur de la crête de déversement (m)			
hc (m)	H (m)	5	10	15	20
0.07	0.1	0.27	0.54	0.81	1.08
0.07	0.11	0.31	0.62	0.93	1.24
0.08	0.12	0.35	0.71	1.06	1.42
0.09	0.13	0.40	0.80	1.20	1.60
0.09	0.14	0.45	0.89	1.34	1.79
0.10	0.15	0.50	0.99	1.49	1.98
0.11	0.16	0.55	1.09	1.64	2.18
0.11	0.17	0.60	1.20	1.79	2.39
0.12	0.18	0.65	1.30	1.95	2.60
0.13	0.19	0.71	1.41	2.12	2.82
0.13	0.2	0.76	1.53	2.29	3.05
0.14	0.21	0.82	1.64	2.46	3.28
0.15	0.22	0.88	1.76	2.64	3.52
0.15	0.23	0.94	1.88	2.82	3.76
0.16	0.24	1.00	2.01	3.01	4.01
0.17	0.25	1.07	2.13	3.20	4.26
0.17	0.26	1.13	2.26	3.39	4.52
0.18	0.27	1.20	2.39	3.59	4.79
0.19	0.28	1.26	2.53	3.79	5.05
0.19	0.29	1.33	2.66	3.99	5.33
0.20	0.3	1.40	2.80	4.20	5.60
0.21	0.31	1.47	2.94	4.42	5.89
0.21	0.32	1.54	3.09	4.63	6.17
0.22	0.33	1.62	3.23	4.85	6.47
0.23	0.34	1.69	3.38	5.07	6.76
0.23	0.35	1.77	3.53	5.30	7.06
0.24	0.36	1.84	3.68	5.53	7.37
0.25	0.37	1.92	3.84	5.76	7.68
0.25	0.38	2.00	3.99	5.99	7.99
0.26	0.39	2.08	4.15	6.23	8.31
0.27	0.4	2.16	4.31	6.47	8.63

## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Choix de la période de retour (Recherche de la millénale)

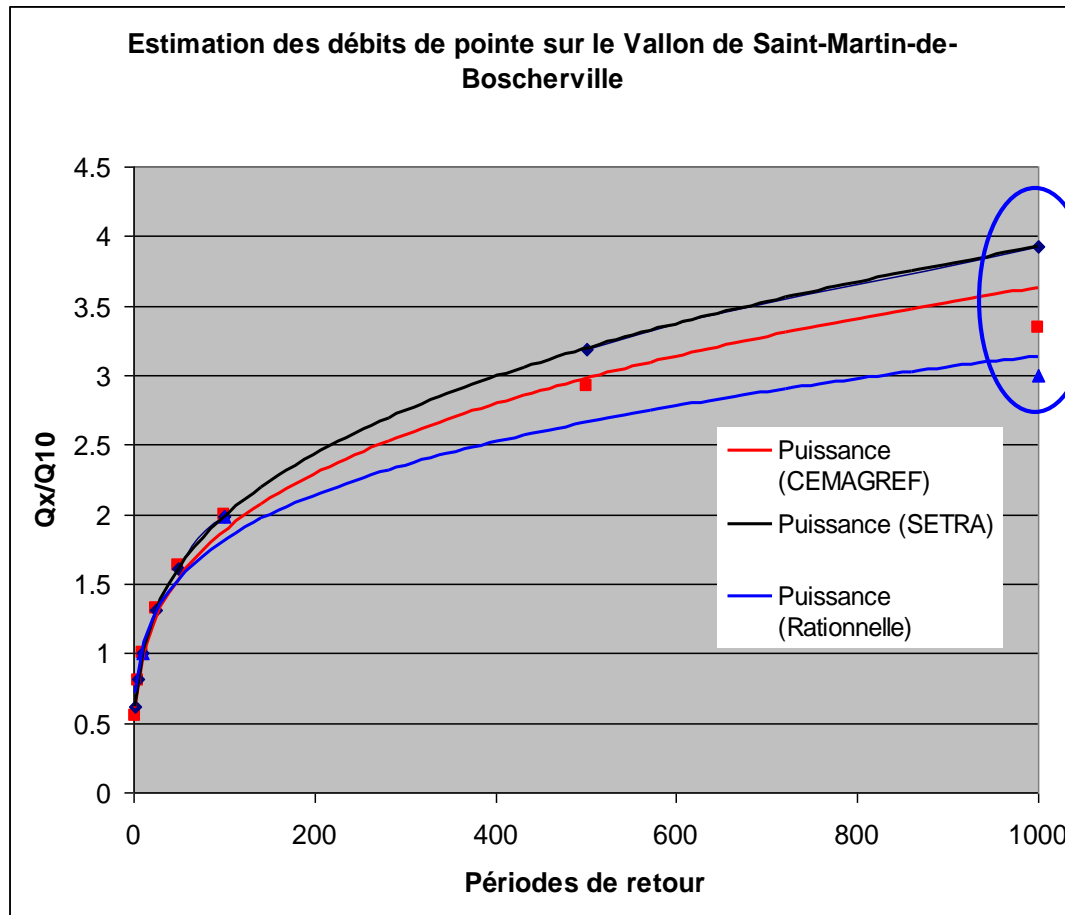


Source : Crue du 16 juin 1997 à Saint-Martin-de-Boscherville et Villers-Ecalles, Cemagref

**Période de retour de l'événement estimée entre 50 et 300 ans**

## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Choix de la période de retour (Recherche de la millénale)



$$Q_{1000} = 3 \text{ à } 3,98 Q_{10}$$

$$Q_{1000} = 3.4 Q_{10}$$

## Dimensionnement de la crête de déversement

↳ Objectif : Faire passer  $Q_{1000}$  dans la revanche de sécurité

Q1000 (m3/s)	Q100 (m3/s)	Largeur de l'évacuateur de crue (m)							
		5		10		15		20	
1.7	1	H100	0.24	H100	0.1	H100	0.12	H100	0.1
		H1000	0.33	H1000	0.2	H1000	0.17	H1000	0.14
		Revanche de sécurité	0.09	Revanche de sécurité	0.1	Revanche de sécurité	0.05	Revanche de sécurité	0.04
3.3	2	H100	0.39	H100	0.24	H100	0.19	H100	0.16
		H1000	0.54	H1000	0.34	H1000	0.26	H1000	0.22
		Revanche de sécurité	0.15	Revanche de sécurité	0.1	Revanche de sécurité	0.07	Revanche de sécurité	0.06
5.0	3	H100	0.5	H100	0.32	H100	0.24	H100	0.2
		H1000	0.71	H1000	0.45	H1000	0.34	H1000	0.28
		Revanche de sécurité	0.21	Revanche de sécurité	0.13	Revanche de sécurité	0.1	Revanche de sécurité	0.08
6.7	4	H100	0.61	H100	0.39	H100	0.3	H100	0.24
		H1000	0.85	H1000	0.54	H1000	0.41	H1000	0.34
		Revanche de sécurité	0.24	Revanche de sécurité	0.15	Revanche de sécurité	0.11	Revanche de sécurité	0.1
8.4	5	H100	0.71	H100	0.45	H100	0.34	H100	0.28
		H1000	0.99	H1000	0.63	H1000	0.48	H1000	0.4
		Revanche de sécurité	0.28	Revanche de sécurité	0.18	Revanche de sécurité	0.14	Revanche de sécurité	0.12
10.0	6	H100	0.8	H100	0.5	H100	0.39	H100	0.32
		H1000	1.12	H1000	0.71	H1000	0.54	H1000	0.45
		Revanche de sécurité	0.32	Revanche de sécurité	0.21	Revanche de sécurité	0.15	Revanche de sécurité	0.13
11.7	7	H100		H100	0.56	H100	0.43	H100	0.35
		H1000		H1000	0.78	H1000	0.6	H1000	0.49
		Revanche de sécurité	> 0.3	Revanche de sécurité	0.22	Revanche de sécurité	0.17	Revanche de sécurité	0.14
13.4	8	H100		H100	0.61	H100	0.47	H100	0.39
		H1000		H1000	0.85	H1000	0.65	H1000	0.54
		Revanche de sécurité	> 0.3	Revanche de sécurité	0.24	Revanche de sécurité	0.18	Revanche de sécurité	0.15
15.0	9	H100		H100	0.66	H100	0.5	H100	0.42
		H1000		H1000	0.92	H1000	0.71	H1000	0.58
		Revanche de sécurité	> 0.3	Revanche de sécurité	0.26	Revanche de sécurité	0.21	Revanche de sécurité	0.16
16.7	10	H100		H100	0.71	H100	0.54	H100	0.45
		H1000		H1000	0.99	H1000	0.76	H1000	0.63
		Revanche de sécurité	> 0.3	Revanche de sécurité	0.28	Revanche de sécurité	0.22	Revanche de sécurité	0.18

Valable :  
 Si  $Q_{100} = 2 Q_{10}$   
 Si  $Q_{1000} = 3.34 Q_{10}$

$$Q = \mu * L * H * \sqrt{2gH}$$

## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Clé de détermination de la revanche totale et de la revanche de sécurité

Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Largeur de l'évacuateur de crue (m)			
	5	10	15	20
1	Revanche de sécurité de 20 cm (10 cm pour Q1000 + 10 cm pour embâcles)			
2				
3				
4				
5	Revanche de sécurité de 30 cm (20 cm pour Q1000 + 10 cm pour embâcles)			
6				
7				
8				
9				
10				
10	H 100 > 50 cm Elargir l'évacuateur de crue			

$$\begin{aligned} \text{Revanche totale} &= \\ & \text{Revanche de sécurité} \\ & + \\ & \text{20 cm de terre} \\ & \text{végétale} \end{aligned}$$

Valable :

Si  $Q100 = 2 Q10$

Si  $Q1000 = 3.34 Q 10$

## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Clé de détermination de la revanche totale et de la revanche de sécurité

Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Largeur de l'évacuateur de crue (m)			
	5	10	15	20
1	Revanche de sécurité de 20 cm (10 cm pour Q1000 + 10 cm pour embâcles)			
2				
3				
4				
5	Revanche de sécurité de 30 cm (20 cm pour Q1000 + 10 cm pour embâcles)			
6				
7				
8	H 100 > 50 cm Elargir l'évacuateur de crue			
9				
10				

### Exercice :

Quelle hauteur totale faut-il prévoir pour faire passer un Q100 de 3 m<sup>3</sup>/s sur une large de 10 m ?

## Dimensionnement de la crête de déversement

### ↳ Clé de détermination de la revanche totale et de la revanche de sécurité

Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Largeur de l'évacuateur de crue (m)				
	5	10	15	20	
1	Revanche de sécurité de 20 cm (10 cm pour Q1000 + 10 cm pour embâcles)				
2					
3					
4					
5	Revanche de sécurité de 30 cm (20 cm pour Q1000 + 10 cm pour embâcles)				
6					
7					
8					H 100 > 50 cm Elargir l'évacuateur de crue
9					
10					

### Exercice :

Quelle hauteur totale faut-il prévoir pour faire passer un Q100 de 3 m<sup>3</sup>/s sur une large de 10 m ?

H totale = H100 + Revanche totale

$$H \text{ totale} = 0.32 + 0.5 = 0.82 \text{ m}$$

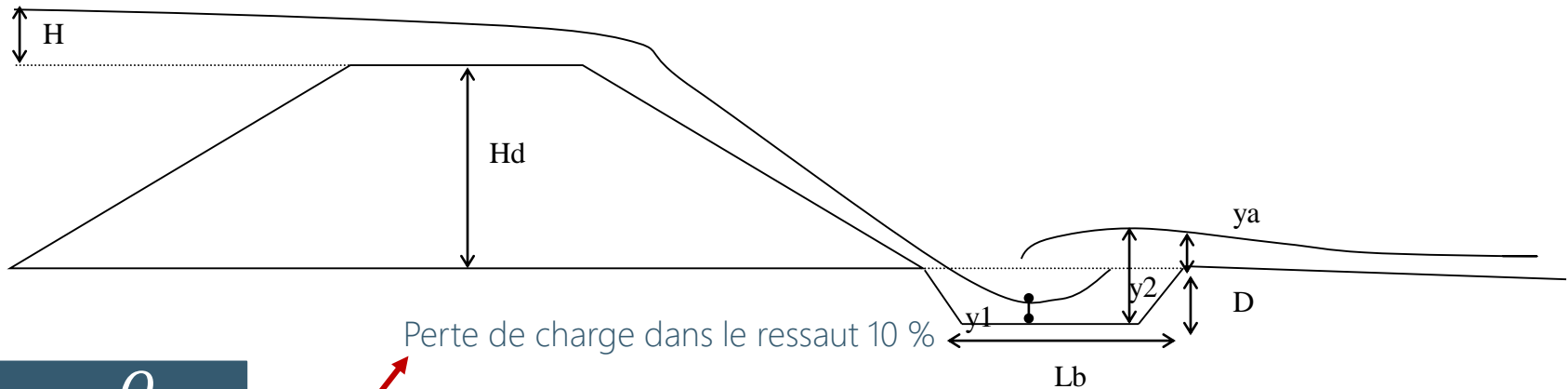
$$\underbrace{\hspace{10em}}_{0.2 + 0.1 + 0.2}$$

# Les évacuateurs de crues

## Dimensionnement du dissipateur d'énergie



## Dimensionnement du dissipateur d'énergie



$$y_1 = \frac{Q}{L_d * V}$$

$$V = \sqrt{2g(0,9 * (H_d + H + D) - y_1)}$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * y_1}}$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} * (\sqrt{1 + 8F^2} - 1)$$

$$L_b = 6 * y_2$$

Lb

Avec :

V : Vitesse en  $y_1$

$H^d$  : Hauteur de digue

H : Hauteur de déversement

$y_1$  : Tirant d'eau en amont du ressaut

$y_2$  : Tirant d'eau en aval du ressaut

$L_d$  : Longueur du déversoir

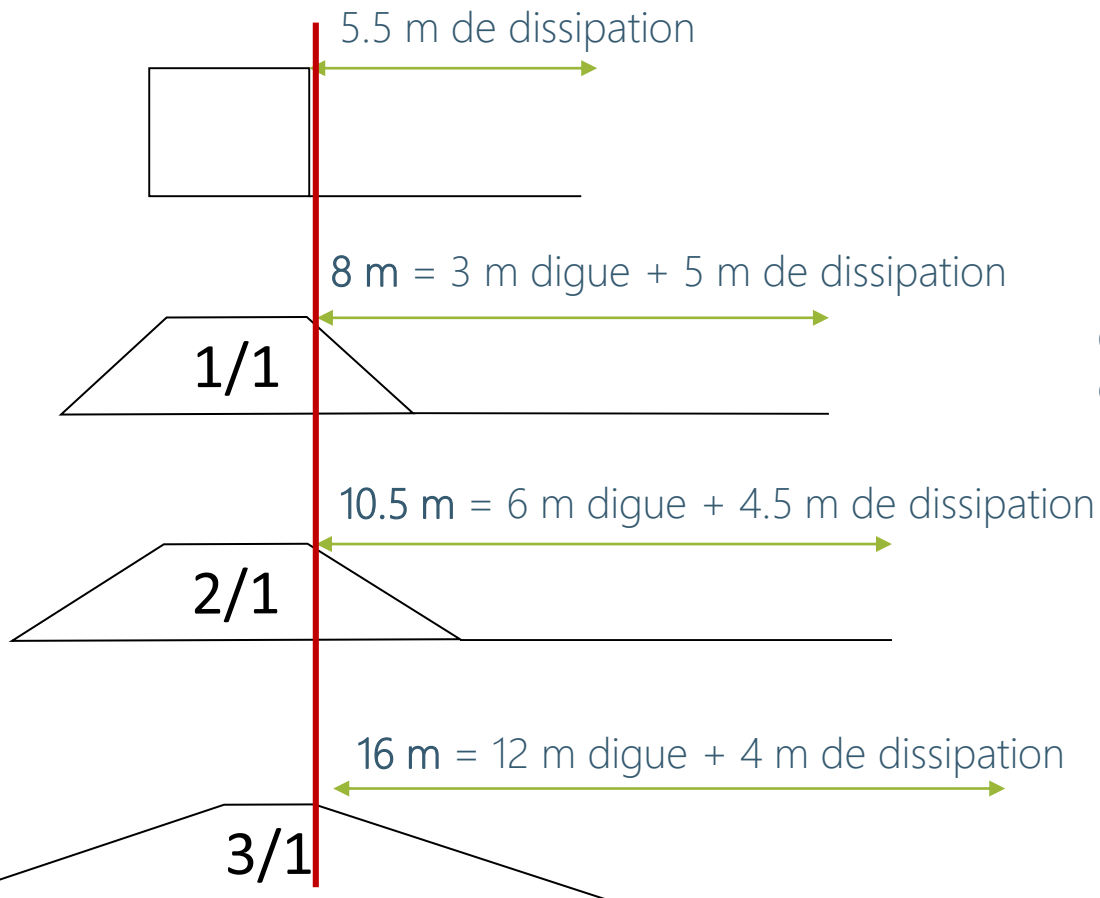
D : Profondeur du bassin

$L_b$  : Longueur du bassin de dissipation

F : Nombre de Froude

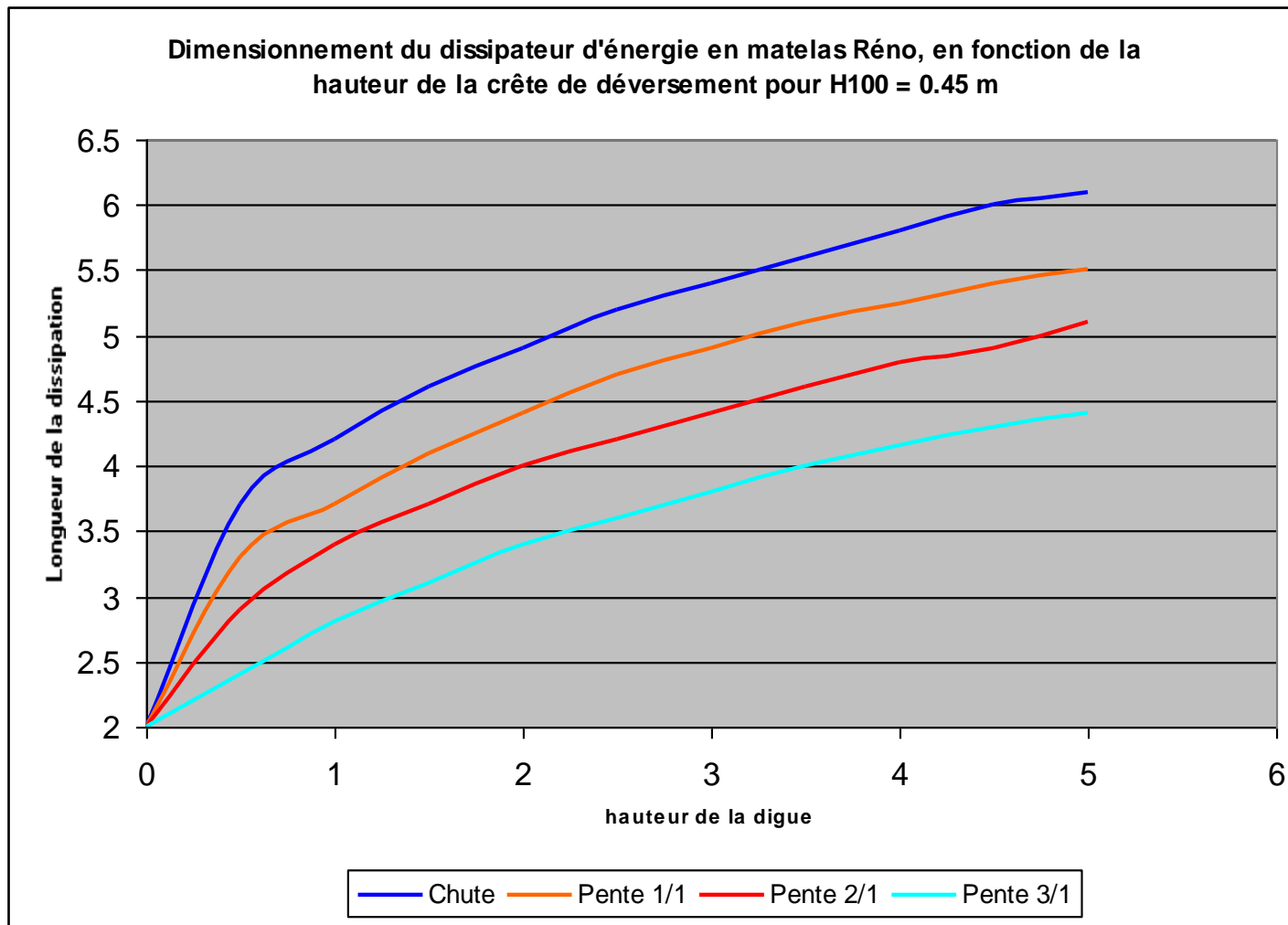
## Dimensionnement du dissipateur d'énergie

- ↳ Adapter la longueur du bassin de dissipation d'énergie à la pente du parement aval de la digue



**Pour un barrage 3 m de haut (à PHE) avec une lame déversante d'une hauteur critique de 30 cm :**

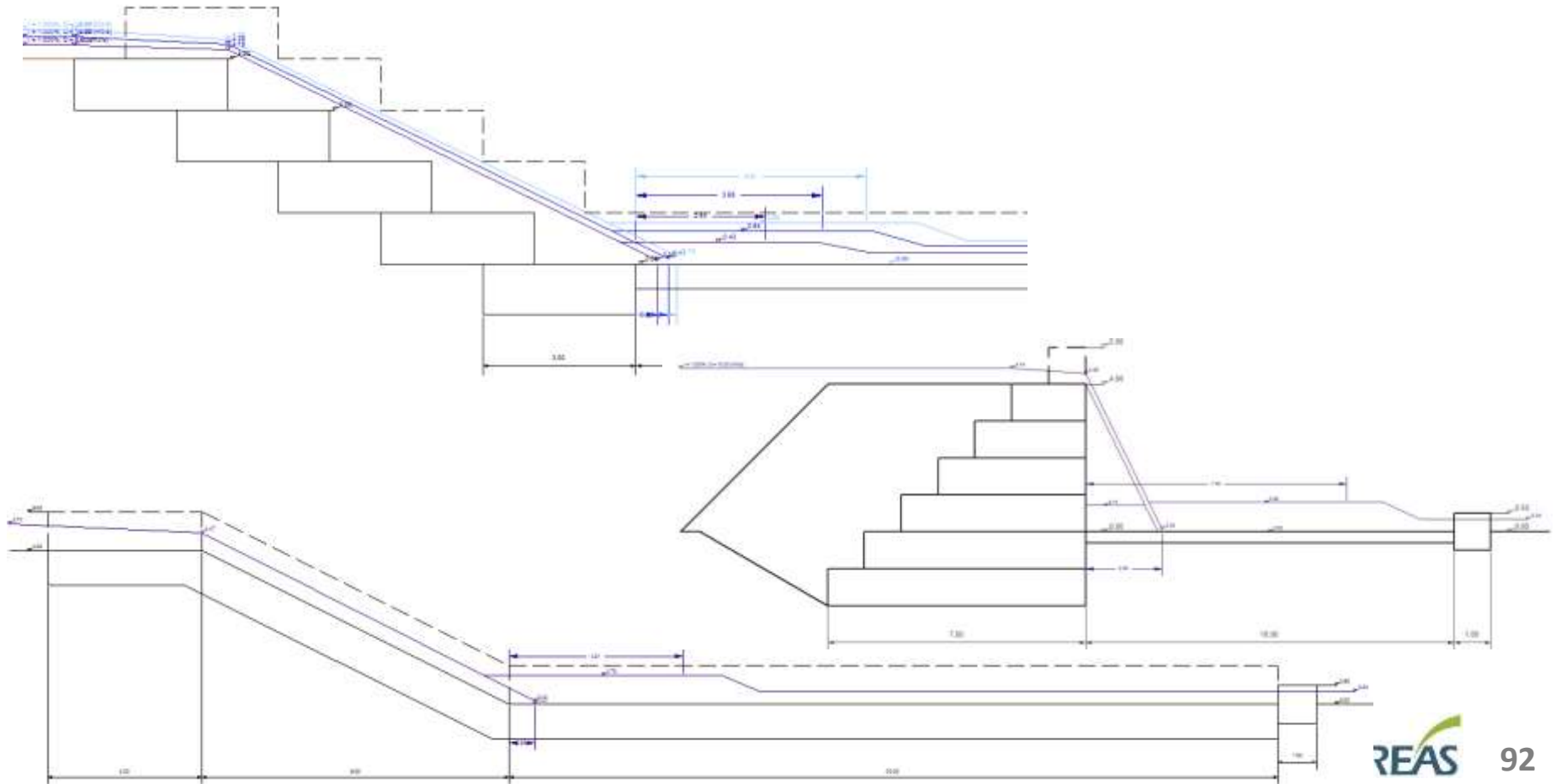
## Dimensionnement du dissipateur d'énergie



Source :  
Maccaferri

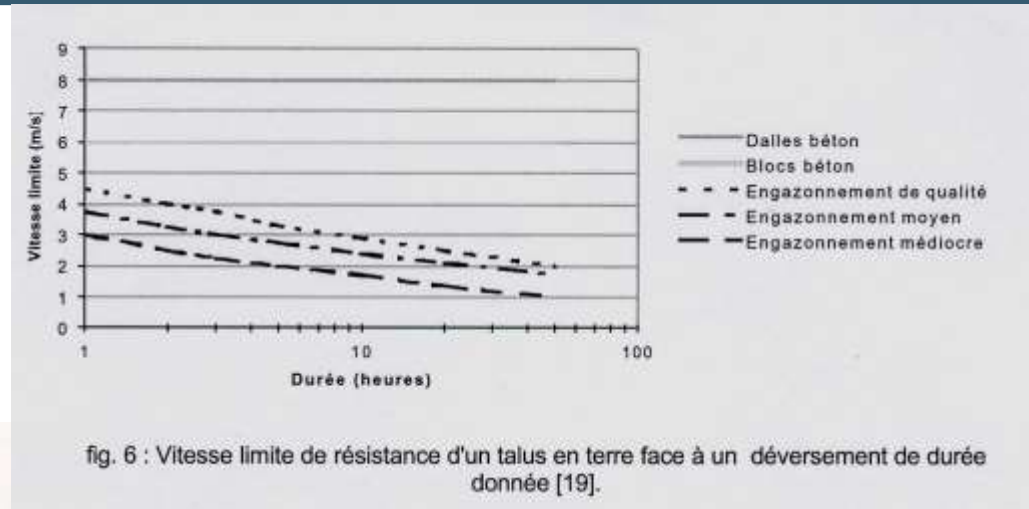
## Dimensionnement du dissipateur d'énergie

### ↳ Modélisation du débordement de l'ouvrage



## Dimensionnement du dissipateur d'énergie

### ↳ Choix du revêtement :



Tab. 2 - Indicative Reno mattress and gabion thicknesses in relation to water velocities

Tab. 2 - Epaisseurs approximatives des revêtements en matelas Reno et en gabions en fonction de la vitesse du courant

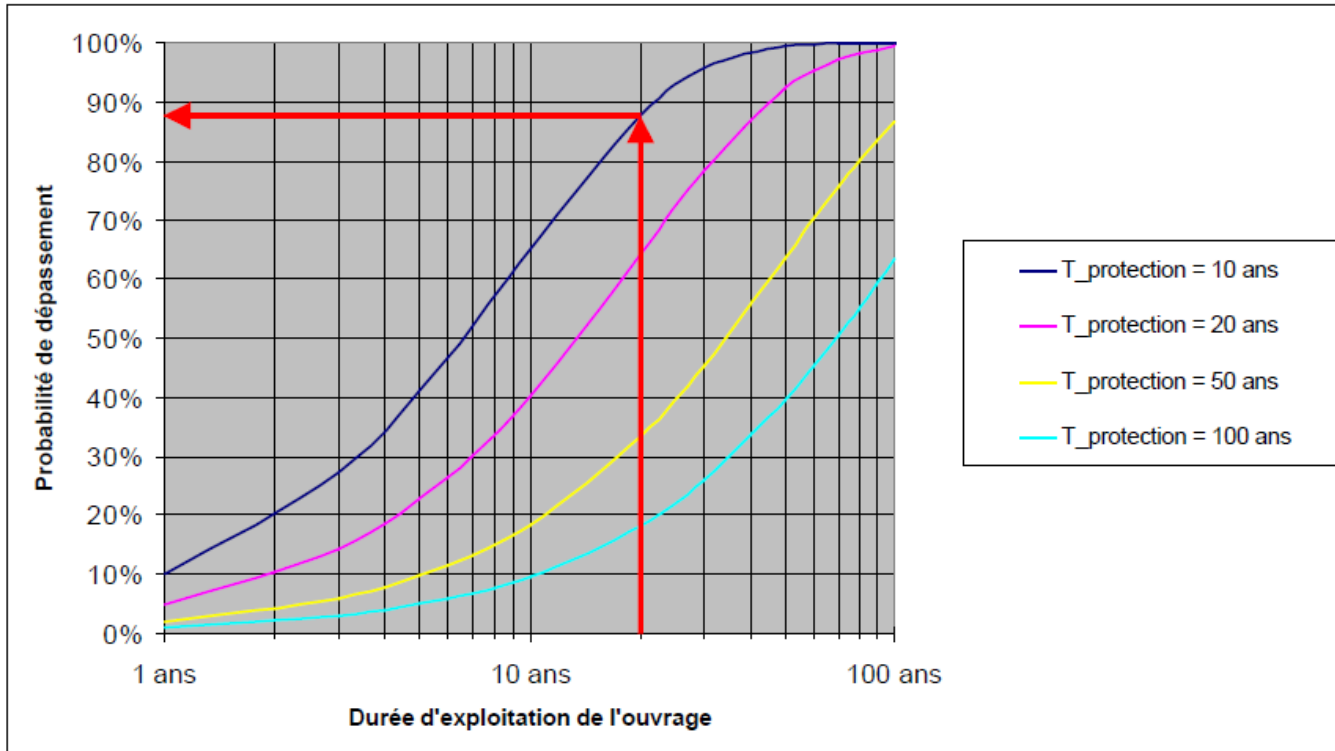
Type Type Tipo	Thickness Epaisseur Espesor  m	Filling stones Pierraille de remplissage Pedrisco de relleno		Critical velocity (*) Vitesse critique (*) Velocidad critica (*)  m/s	Limit velocity (*) Vitesse limite (*) Velocidad limite (*)  m/s
		Stone size Granulométrie Dimensiones mm	d <sub>50</sub>		
Reno mattresses Matelas Reno Colchones Reno	0.15-0.17	70-100	0.085	3.5	4.2
		70-150	0.110	4.2	4.5
	0.23-0.25	70-100	0.085	3.6	5.5
		70-150	0.120	4.5	6.1
	0.30	70-120	0.100	4.2	5.5
100-150		0.125	5.0	6.4	
Gabions Gabions Gaviones	0.50	100-200	0.150	5.8	7.6
		120-250	0.190	6.4	8.0

(\*) The values of velocity reported were obtained experimentally for Froude numbers  $\leq 1$  (see page 33); values  $>$  have to be intended as purely indicative and approximated.

(\*) Les valeurs des vitesses indiquées sont tirées expérimentalement des nombres de Froude  $\leq 1$  (voir page 33); les valeurs  $> 1$  sont purement indicatives.

(\*) Los valores de velocidad indicados han sido calculados experimentalmente para números de Froude  $\leq 1$  (pág. 33); para valores  $> 1$ , deben considerarse como puramente indicativos y muy en general.

## Protection de l'aval – $T_{\text{PROTECTION}}$



90% de chance de connaître un évènement décennal en 20 ans d'exploitation

Source : INRAE (ex-Cemagref)

Estimation de la probabilité de connaître, sur une certaine durée d'exploitation de l'ouvrage, au moins un dépassement de la capacité de stockage. Exemple :

$T_{\text{PROTECTION}} = 10$  ans

$D_{\text{EXPLOITATION}} = 20$  ans

Proba<sub>DEPASSEMENT</sub> = 88 %

# Quelques références sur les barrages

## ↳ Réglementation

- Ministère de la Transition / Ouvrages hydrauliques, barrages et digues : <https://www.ecologie.gouv.fr/ouvrages-hydrauliques-barrages-et-digues>
- [Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages](#)
- [Décret n°2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques](#)
- [Note de cadrage EDD AH - février 2023](#)

## ↳ Préconisations

- Cemagref (INRAE) Petits barrages de ralentissement dynamique en Seine-Maritime - Principes de conception et de réalisation, S. Mercklé, P. Royet – 2010 : <https://hal.inrae.fr/hal-02593302/document>
- CFBR - Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – 2013 : [https://www.barrages-cfbr.eu/IMG/pdf/recommandations\\_cfbr\\_2013\\_evc.pdf](https://www.barrages-cfbr.eu/IMG/pdf/recommandations_cfbr_2013_evc.pdf)

# Références sur les barrages

- [Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages](#)

11. La période de retour de la crue exceptionnelle correspondant à la cote des PHE est supérieure ou égale aux valeurs fixées dans le tableau suivant, exprimées en années :

Classe du barrage	Barrages rigides	Barrages en remblai
A	1000	10000
B	1000	3000, à l'exception des canaux et des rivières canalisées, lorsque ces ouvrages et aménagements sont assimilés à des barrages au sens de la rubrique 3.2.5.0. du tableau <a href="#">annexe à l'article R. 214-1 du code de l'environnement</a> , pour lesquels cette valeur est de 1500
C	300, à l'exception des barrages pour lesquels cette valeur est de 100 lorsque $H^2 \times V_{0,5} < 100$ , où H est la hauteur exprimée en mètres et V le volume de la retenue exprimé en millions de mètres cubes.	1000

Il est précisé que les barrages :

- dits « rigides » sont ceux constitués d'une structure résistante en matériaux rigides tels que béton, maçonnerie ou métal ;
- en remblais sont tous les autres barrages, réputés constitués d'une structure résistante meuble ou compressible.

# Références sur les barrages

## ■ Code de l'Environnement (source : Legifrance)

> Article R214-112

Version en vigueur depuis le 01 janvier 2022

Modifié par Décret n°2021-1902 du 29 décembre 2021 - art. 2

Les classes des barrages de retenue et des ouvrages assimilés, ci-après désignés " barrage ", sont définies dans le tableau ci-dessous :

CLASSE de l'ouvrage	CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES
A	$H \geq 20$ et $H^2 \times V^{0,5} \geq 1\ 500$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H \geq 10$ et $H^2 \times V^{0,5} \geq 200$
C	a) Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H \geq 5$ et $H^2 \times V^{0,5} \geq 20$ b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après : i) $H > 2$ ; ii) $V > 0,05$ ; iii) Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 mètres.

1° " H ", la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande différence de cote entre le sommet de la crête de l'ouvrage et le terrain naturel au niveau du pied de l'ouvrage ;

2° " V ", le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume retenu par le barrage à la cote de retenue normale. Dans le cas des remblais latéraux à un bief, le volume considéré est celui du bief situé entre deux écluses ou deux ouvrages vannés



Avec le soutien financier de nos partenaires :



**Association de recherche sur le Ruissellement,  
l'Erosion  
et l'Aménagement du Sol**

2 avenue Foch  
76 460 Saint Valéry en Caux  
02 35 97 25 12

**[www.areas.asso.fr](http://www.areas.asso.fr)**