

**RIVIERES DE HAUTE ALSACE**

18 rue Edouard Benes

68 000 COLMAR

03 89 30 65 20 -

contact@rivieres.alsace

Réalisation d'un bassin écrêteur de crues Bassin près des étangs

FROENIGEN

Note de Calcul

Indice	Date	Réalisé par	Observations	
A	29/03/2011	O. GHAZARIAN	Version initiale	
B	26/09/2019	D. WECKNER	Complément suite aux orages de 2018	
C	03/04/2020	D. WECKNER	Dimensionnement des ouvrages de sécurité	
D	15/02/2022	R. BERTHIER	Mise à jour	
E	01/08/2024	B. TOMISOVA	Mise à jour	
F	20/12/2024	B. TOMISOVA	Mise à jour – rajout de l'étude de rupture	
G	21/08/2025	B. TOMISOVA	Mise à jour – rajout de la cartographie Q1000	
Vu et vérifié La cheffe de service, Gwendoline KERVILLEC			N° d'Opération	N° Pièce
			2020/2337	1

SOMMAIRE

1.	Problématique.....	3
2.	Etude hydrologique.....	4
2.	Fonctionnement du bassin	9
3.	Dimensionnement du bassin	9
3.1.	Dimensionnement pour la crue centennale.....	9
3.2.	Dimensionnement des vannes de vidange.....	11
3.3.	Dimensionnement des déversoirs de sécurité	11
3.4.	Zones inondables Q100 et Q1000.....	14
4.	Synthèse des caractéristiques des ouvrages.....	14
5.	Etude de rupture de la digue	15

1. Problématique

La commune de Froeningen est menacée par les coulées de boues lors de forts orages. Elle se situe en aval d'un bassin versant d'une superficie totale de 2.9 km² (290 ha) qui se décompose en 3 principaux sous bassin versant. Pour remédier à ces problèmes, il est envisagé de créer 3 bassins de rétention. La commune a déjà construit les bassins « sud » et celui près du cimetière et souhaite maintenant lancer la construction du bassin de rétention des étangs. Ce rapport précise le dimensionnement de ce bassin.

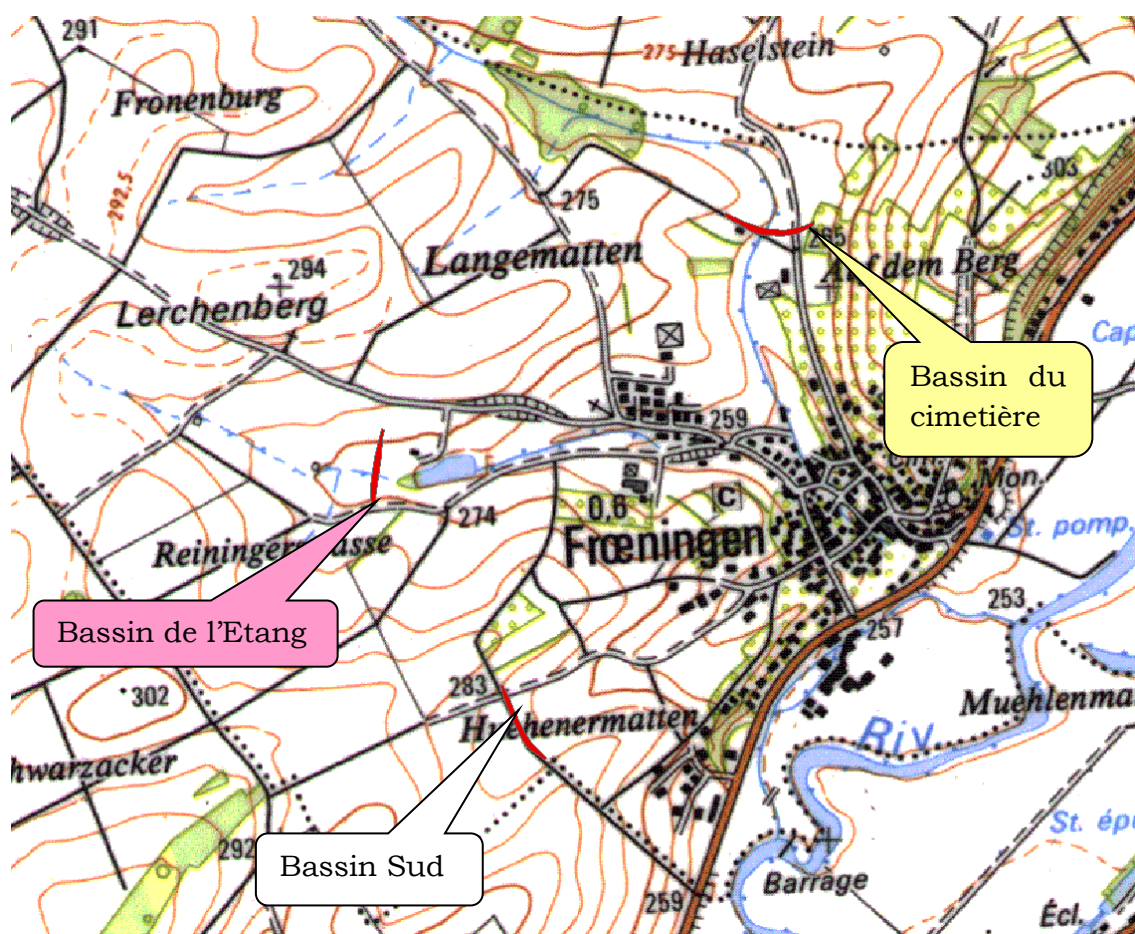


Figure 1: Situation des bassins

2. Etude hydrologique

Un site favorable à l'implantation d'un bassin de rétention a été défini en amont de l'étang. Ce site permet d'intercepter un bassin versant de 51 ha.

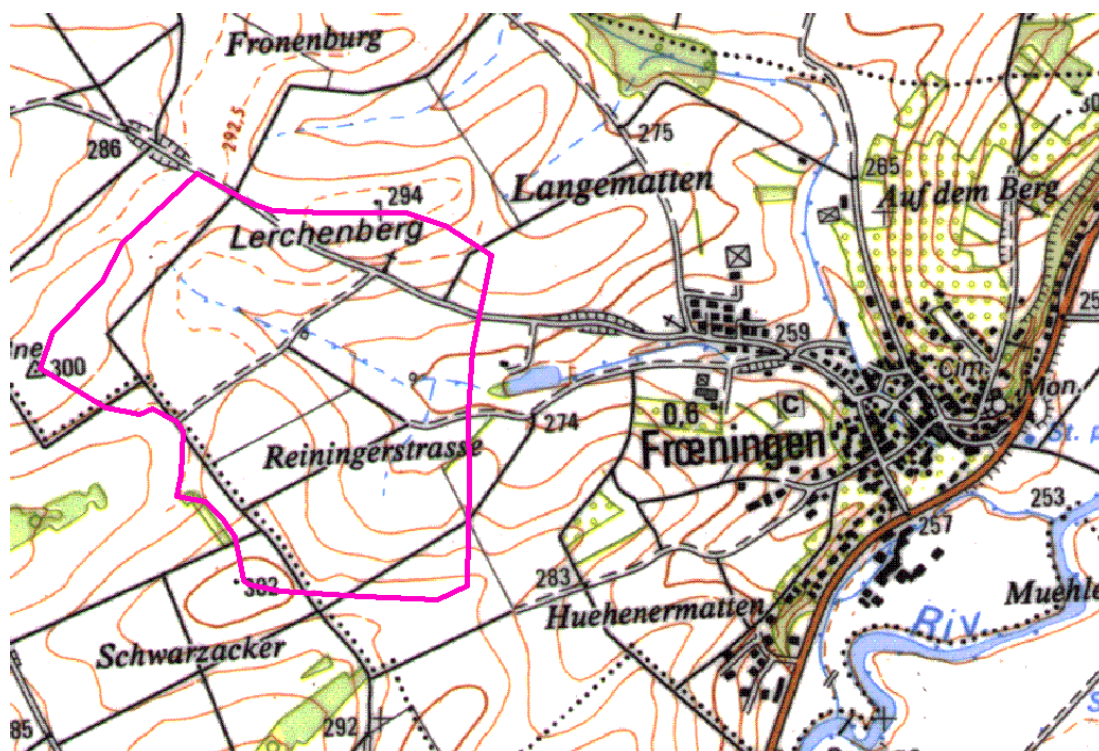


Figure 2: bassin versant près des Etangs

Les caractéristiques morphologiques de ce bassin versant sont les suivantes :

Surface	51 ha
Pente	2 %
Plus long chemin de l'eau (m)	1000
Temps de concentration (lag time)	27 minutes
Coefficient d'occupation du sol (Curve number)	65

Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant en amont des étangs

Note : Le coefficient CN est obtenu à partir de l'occupation des sols. Il s'agit d'une moyenne pondérée des différents CN (pour un espace entièrement boisé, CN vaut 45, pour un champ CN vaut 80). Plus ce coefficient est élevé, plus le ruissellement est important sur le bassin versant. Ces coefficients ont été calés, et revus à la hausse suite aux orages de 2016 et 2018 dans le Sundgau.

Le débit généré en crue centennale par ce bassin versant a été déterminé par simulation d'une pluie d'occurrence centennale avec le logiciel HecHMS.

Les données pluviométriques utilisées sont issues de la station de ROUFFACH qui est la plus représentative des orages de la région.

Le tableau ci-dessous indique les hauteurs d'eau pour une pluie centennale.

Durée (h)	Hauteur (mm)
0.25	33
1	52.8
2	71.7
3	88.1
4	98.1
6	107.2
12	115.3
24	123

Tableau 2 : Tableau issu de l'application de la méthode Shypre (CEMAGREF)

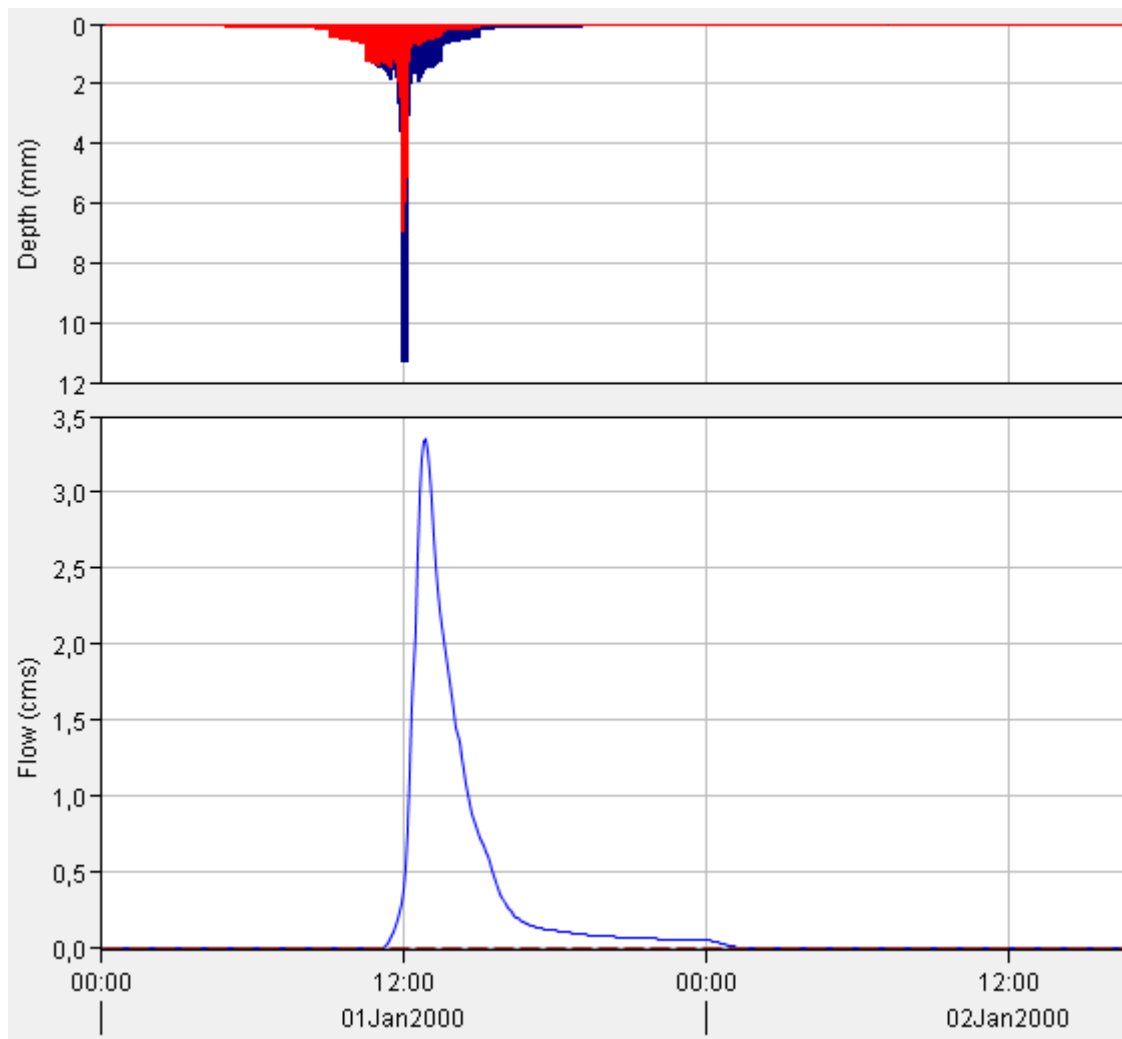
Deux méthodes ont été utilisées pour déterminer le débit de pointe via HEC HMS.

- Méthode Curve Number - SCS

Cette méthode permet d'ajuster l'infiltration en fonction de l'occupation du sol. Compte tenu de l'occupation au sol, le « Curve Number » retenu est 70. La formule suivante permet de déterminer l'infiltration initiale à prendre en compte avec cette méthode.

$$Ia = 5 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

L'infiltration initiale est donc de **21,4 mm**.

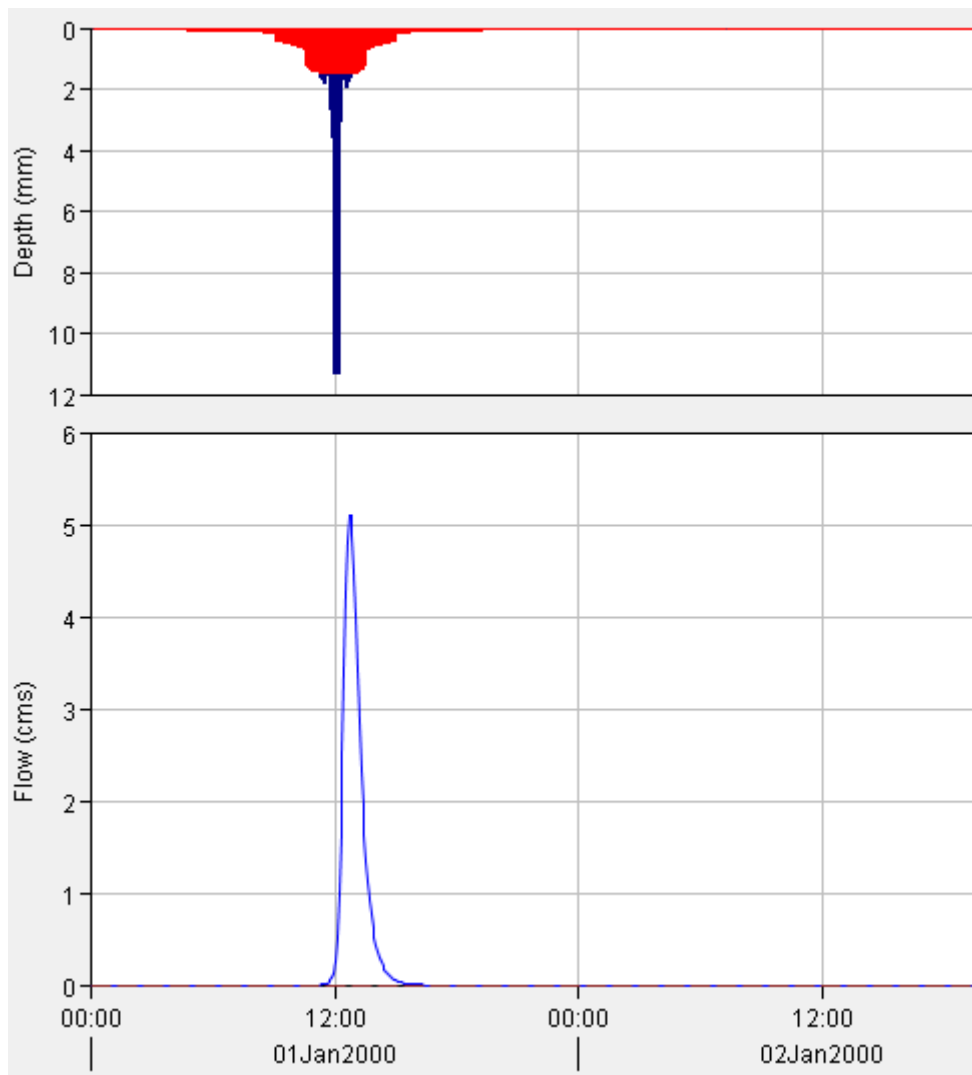


Le débit de pointe est de **3,4 m³/s**, et le volume ruisselé de **25 100 m³**.

- Méthode interception/infiltration constante

Le coefficient d'interception par le sol et les plantes et le coefficient d'infiltration pour les pluies sont estimés à 21,4 mm (résultat issu de la méthode SCS) et 21,4 mm/h. Cette méthode est représentative d'une situation de sol saturé.

Une pluie centennale à toutes les durées, d'une durée totale de 24h a été simulée sur la base de ces données. Le graphique de la pluie générée est présenté ci-dessous.



Le débit de pointe de la crue centennale est de $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ mais le volume ruisselé est plus faible ($18\,600 \text{ m}^3$).

Pour le dimensionnement, nous retiendrons la méthode la plus pessimiste, à savoir la méthode SCS. Ainsi le débit centennal généré par le bassin versant est de $3,66 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Autres méthodes

Le débit centennal ainsi généré par un orage sur le bassin versant est de $3.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

La méthode rationnelle donne quant à elle un débit de $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette méthode est applicable pour des bassins versants de 1 à 10 km^2 , et le bassin versant étudié mesure $0,5 \text{ km}^2$. Bien que cette formule soit à la limite du domaine de validité, elle permet de confirmer que l'ordre de grandeur du débit retenu est cohérent.

- Conclusion

Le débit retenu ainsi généré par une crue centennale est de $3.4 \text{ m}^3/\text{s}$ par la méthode SCS.

La carte ci-dessous illustre la zone inondable en crue centennale.

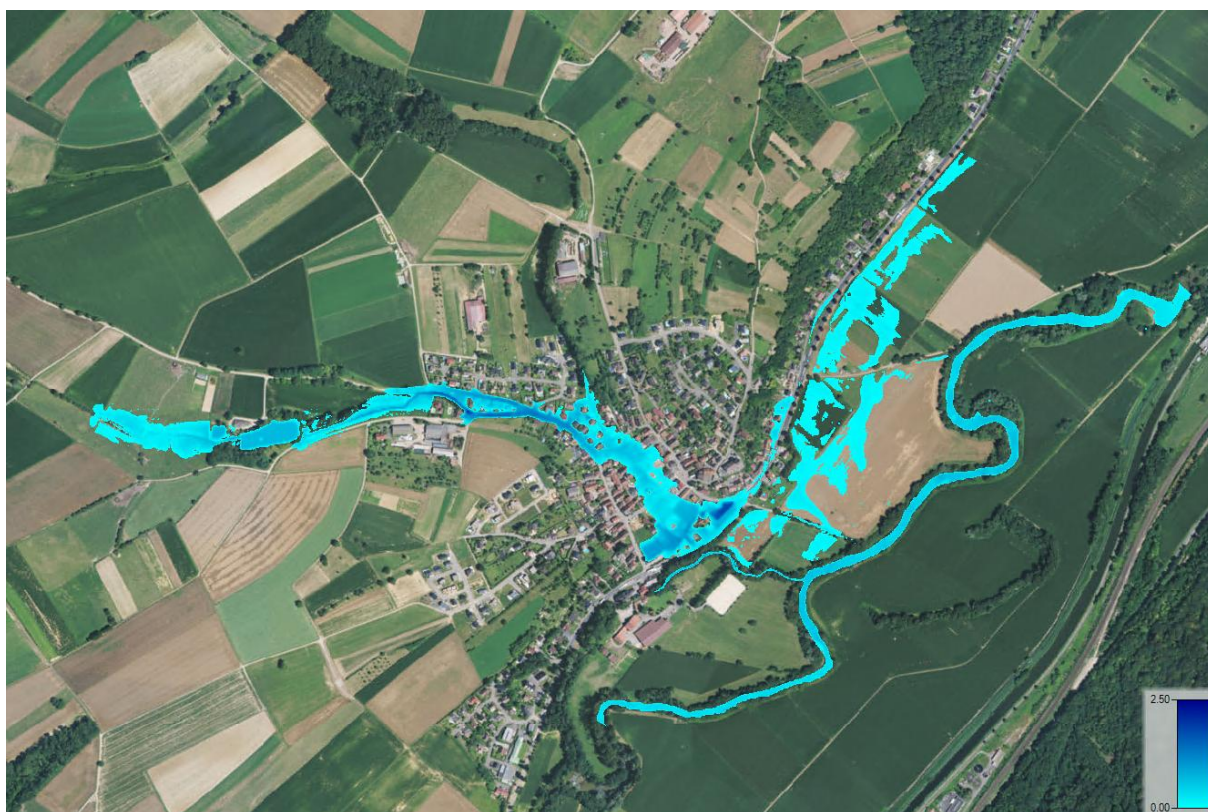


Figure 3 : zone inondable en cas d'évènement centennal

On constate ainsi qu'une grande partie du centre du village risque d'être inondée en cas de crue centennale.

Afin d'éviter ces inondations, il est proposé d'aménager un bassin de rétention en amont des étangs.

2. Fonctionnement du bassin

Par temps sec : le bassin est vide

Par temps de pluie :

- Tant que le débit d'alimentation est inférieur au débit de fuite ($0.15 \text{ m}^3/\text{s}$), le bassin reste vide,
- Dès lors qu'il devient supérieur au débit de fuite, le bassin se remplit et joue alors son rôle de régulation en stockant le débit excédentaire,
- Au-delà d'une pluie de période de retour centennale, le bassin se remplit intégralement et le déversoir (trop plein) permet l'écoulement du débit résiduel.
- Après la pluie, le bassin se vidange totalement en 56h avec un débit de fuite de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$.

3. Dimensionnement du bassin

3.1. Dimensionnement pour la crue centennale

Les relevés topographiques effectués ont permis d'établir un modèle numérique de terrain permettant de simuler le fonctionnement d'un bassin de rétention.



Les capacités théoriques de remplissage sont les suivantes :

Altitude	Volume en milliers de m³
273.0	0.0
274.0	0.9
275.0	5.2
276.0	14.0
276.2	16.5
276.4	19.3
276.6	22.3
276.8	25.7
277.0	29.4
277.2	33.4
277.4	37.7
277.8	47.2

Il s'agit des capacités théoriques potentielles, calculées en fonction de la topographie du terrain.

Le remplissage du bassin a été simulé avec le logiciel HEC HMS afin de dimensionner précisément la retenue (hauteur de remplissage, débit de fuite...).

Compte tenu de la très faible capacité du réseau aval il convient de réduire au maximum le débit de fuite. L'ouverture de la vanne de section 0.3 par 0.3 m (soit 0.25 m²) est limitée à 8 cm (soit 0.025 m²).

Le remplissage du bassin a été simulé avec le logiciel HEC HMS afin de dimensionner précisément la retenue (hauteur de remplissage, débit de fuite...). Les nouveaux coefficients d'occupation des sols rendent compte des orages de 2016 et 2018. La méthode SCS a été retenue puisqu'elle fournit les résultats les plus défavorables.

Les courbes de remplissage ainsi obtenues sont présentées ci-dessous. (En rouge le volume retenu, en cyan la hauteur du plan d'eau, en pointillé bleu le débit entrant et en trait plein bleu le débit sortant du bassin).

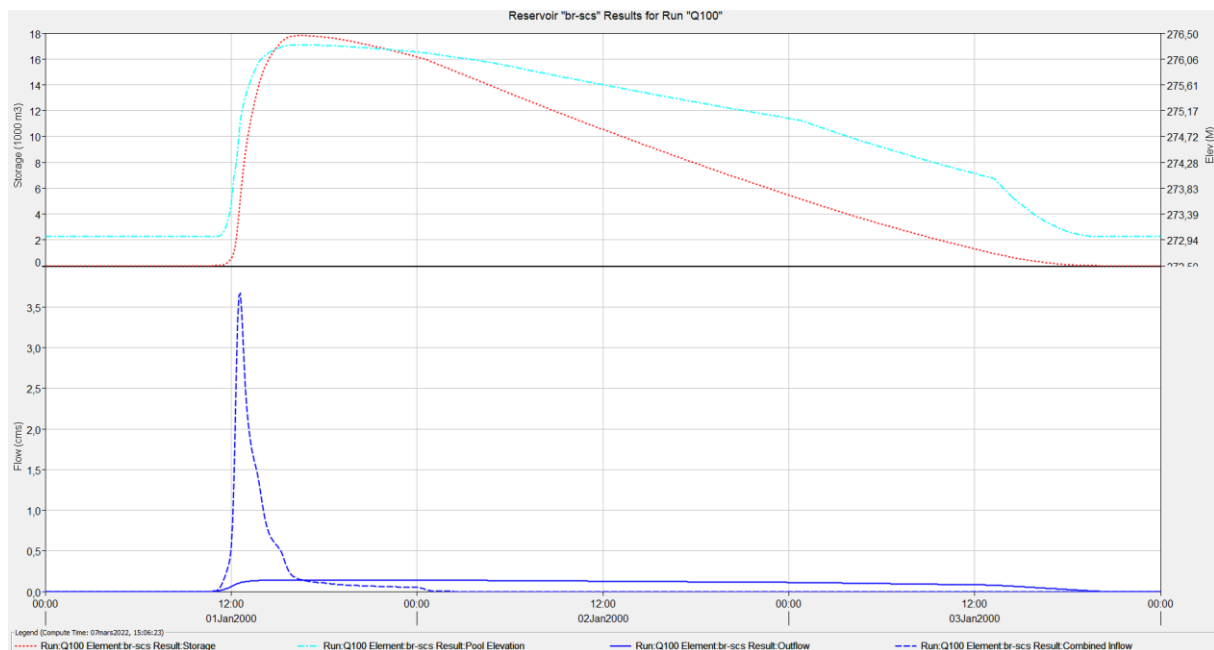


Figure 4 : Résultats de la simulation du bassin de rétention

Ainsi, pour limiter le débit de fuite à $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, il serait nécessaire de retenir $17\,800 \text{ m}^3$, soit un plan d'eau à la cote 276,3 et une digue à la cote 277,5m (hauteur maximale de 4,5 m par rapport au terrain naturel).

Le plan de l'ouvrage est fourni en annexe.

3.2. Dimensionnement des vannes de vidange

La vidange sera assurée par une tour carrée de dimension 2x2m. L'ouverture de la vanne de fond (**cote 273 m NGF**) a été calée pour garantir un débit de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$. La vanne mesure 0.3 m x 0.3m, mais pour maintenir le débit, l'ouverture sera de **8 cm**. La conduite de la tour de vidange sera en DN1000 afin d'évacuer les $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ générés en sortie du bassin par une crue centennale dans le cas d'une crue centennale, bassin à moitié plein.

Une seconde vanne (0.3 m* 0.3 m) est située à la moitié de la hauteur de remplissage, soit **274,65 m NGF**. Elle permet de vidanger la moitié du volume de l'ouvrage en cas de blocage de la vanne de fond.

3.3. Dimensionnement des déversoirs de sécurité

La digue sera équipée de deux déversoirs de sécurité : un premier sur la tour de vidange qui permettra d'évacuer un débit centennal avec le bassin à moitié plein et un déversoir de sécurité en enrochements bétonnés sur la crête de digue permettant d'évacuer une crue millénale.

➤ Dimensionnement de la tour de vidange

Les débits déversés sont calculés sur HEC HMS par une formule de seuil :

Pour les déversoirs de sécurité à crête mince :

$$Q = C * L * H^{3/2} \quad \text{avec} \quad C = 0.32\sqrt{2g} = 1.7$$

Le premier déversoir de sécurité (de la tour de vidange) ne doit fonctionner qu'au-delà d'une crue centennale. Il est donc positionné à la cote de la crue de référence soit 276,3 m. On considère un ouvrage de 2 x 2 mètres, soit une crête déversante de 8 m de long.

Ce dernier doit permettre d'évacuer une crue centennale avec le bassin à moitié plein. Le fonctionnement du bassin a donc été simulé dans de telles conditions.

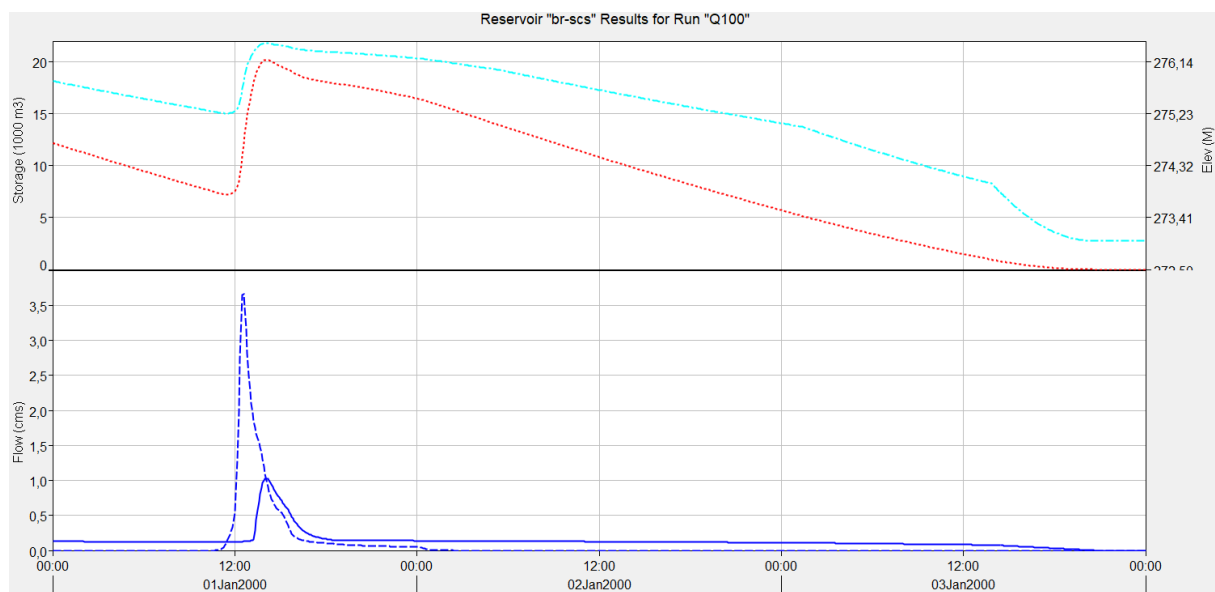


Figure 5 : Courbes de remplissage et de débits pour une crue centennale, bassin initialement à moitié plein.

La cote d'eau maximale atteinte lors d'une crue centennale bassin à moitié plein est 276,5 m NGF. Il s'agit de la cote qui sera retenue pour installer le deuxième déversoir de sécurité en enrochements bétonnés.

➤ Vérification du dimensionnement pour une crue millénale

Les débits déversés sont calculés sur HecHMS par une formule de seuil :

Pour les déversoirs de sécurité à crête épaisse :

$$Q = C * L * H^{3/2} \quad \text{avec} \quad C = 1.4$$

Le déversoir de sécurité ne doit fonctionner qu'au-delà d'une crue centennale bassin moitié plein. Il est donc positionné à la cote 276.5 m NGF. On considère un ouvrage de 10m de long.

Ce dernier doit permettre d'évacuer une crue millénale. Le fonctionnement du bassin a donc été simulé dans de telles conditions :

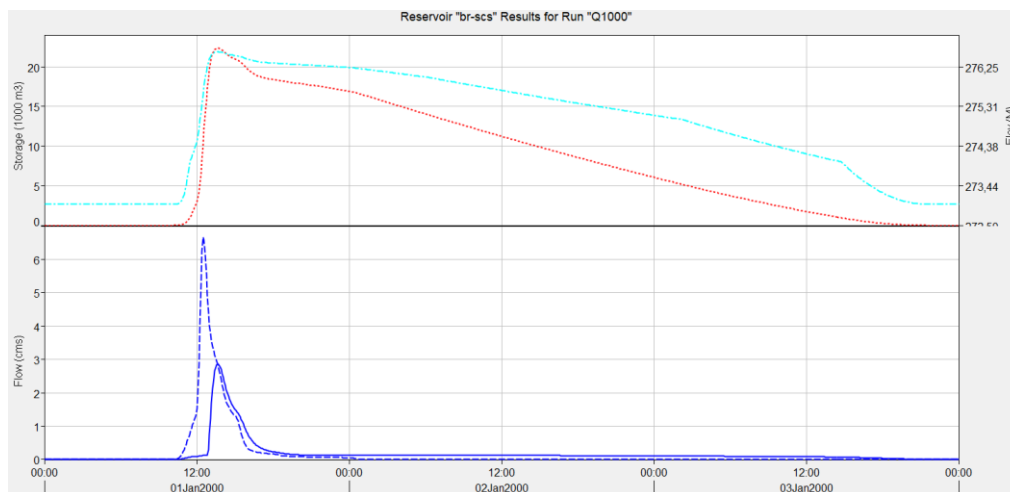


Figure 6 : Courbes de remplissage et de débits pour une crue millénale

La pluie millénale a été calculée par la méthode Shypre. Les valeurs sont les suivantes :

Durée (h)	Hauteur (mm)
1	68
2	98
3	124
4	142
6	162
12	173
24	181

Tableau 3 : Hauteur de pluie pour chaque durée pour l'orage millénal

La cote d'eau maximale atteinte lors d'une crue millénale est 276.7 m NGF.

La digue est donc sécurisée pour une crue millénale (revanche de 80 cm).

Le choix d'un dimensionnement du bassin de rétention permettant de garantir le passage d'une crue d'occurrence millénale, avec une revanche de sécurité de 80 cm, repose sur une analyse croisée des enjeux exposés, des caractéristiques hydrauliques du bassin versant, et des perspectives d'évolution du territoire. Ce niveau de sécurité, bien que supérieur aux exigences réglementaires habituelles, se justifie par plusieurs facteurs :

Le bassin est situé en amont du village où le cours d'eau est busé, avec l'urbanisation qui s'est développée par-dessus (route avec ses infrastructures et les réseaux, maisons d'habitation). L'état de la partie souterraine étant inconnu, une marge de sécurité semble nécessaire afin de réduire le risque en cas de son obstruction. La route d'Illfurth présente également une voie de circulation majeure, où le principe de précaution s'impose.

Le dimensionnement intègre également une marge de sécurité en anticipation de l'augmentation probable de l'intensité et de la fréquence des épisodes pluvieux extrêmes liée au changement climatique. Il permet ainsi d'adapter le dimensionnement de l'ouvrage pour les décennies à venir.

Cela permet également d'anticiper les éventuels tassements qui pourraient avoir lieu après la réalisation de l'ouvrage.

3.4. Zones inondables Q100 et Q1000

Les zones inondables pour la crue centennale et la crue millénale sont représentées sur la figure suivante.



Figure 7 : Zone inondable, avec bassin de rétention pour une Q100 (crue de dimensionnement, et une Q1000 (l'ouvrage n'est plus efficace)

4. Synthèse des caractéristiques des ouvrages

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques des différents ouvrages.

Ouvrage	Cote de l'ouvrage	Charge		Débit évacué	
		Q100	Q1000	Q100	Q1000
Orifice de vidange	273	3.5 m	3.8 m	0.15 m ³ /s	0.6 m ³ /s
Tour de vidange	276.3	0.00 m	40 cm	0.0 m ³ /s	1.0 m ³ /s
Déversoir de sécurité	276.5	NC	20 cm	0.0 m ³ /s	2.9 m ³ /s

Le tableau ci-dessous récapitule les différents volumes retenus.

Crue	Volume en m ³
Q100	17 800
Q1000	22 300

5. Etude de rupture de la digue

Une étude de rupture de digue a été réalisée sur le bassin de rétention du projet.

Les débits de pointe générés par la rupture ont été déterminés par la moyenne de deux formules : la formule de Molinaro et la formule de Froelich. Ces deux formules, déterminées par l'étude cas réels, sont celles qui donnent les résultats les plus proches de la réalité.

Formule de Molinaro :

$$Q = 0.116 * \sqrt{gH} * H^2 * \left(\frac{V}{H^3}\right)^{0.22}$$

Formule de Froelich :

$$Q = 0.607 * V^{0.295} * H^{1.24}$$

- H représente la hauteur de la brèche en m
- V représente le volume en m³

Pour la détermination du débit de pointe, on considèrera le cas le plus pénalisant où la brèche se forme par surverse au-dessus de la digue à l'endroit où celle-ci est la plus haute.

Le tableau ci-dessous récapitule les données prises en compte pour le calcul.

Hauteur eau max	276.8
Cote digue	277.2
Cote point bas rupture	273
Volume (m3)	26 100
H breche (m)	3.8

L'application des deux formules précédentes donne les résultats suivants :

Q.Molinaro (m3/s)	39
Q.Froelich (m3/s)	63
Q.Moyenne (m3/s)	51

Une modélisation hydraulique a été effectuée avec le logiciel HecRas en utilisant ces débits de pointe pour déterminer la zone inondable générée par la rupture. Le plan ci-dessous présente la délimitation de la zone inondable actuelle (en bleu) et de la zone inondable en cas de rupture (en rouge).

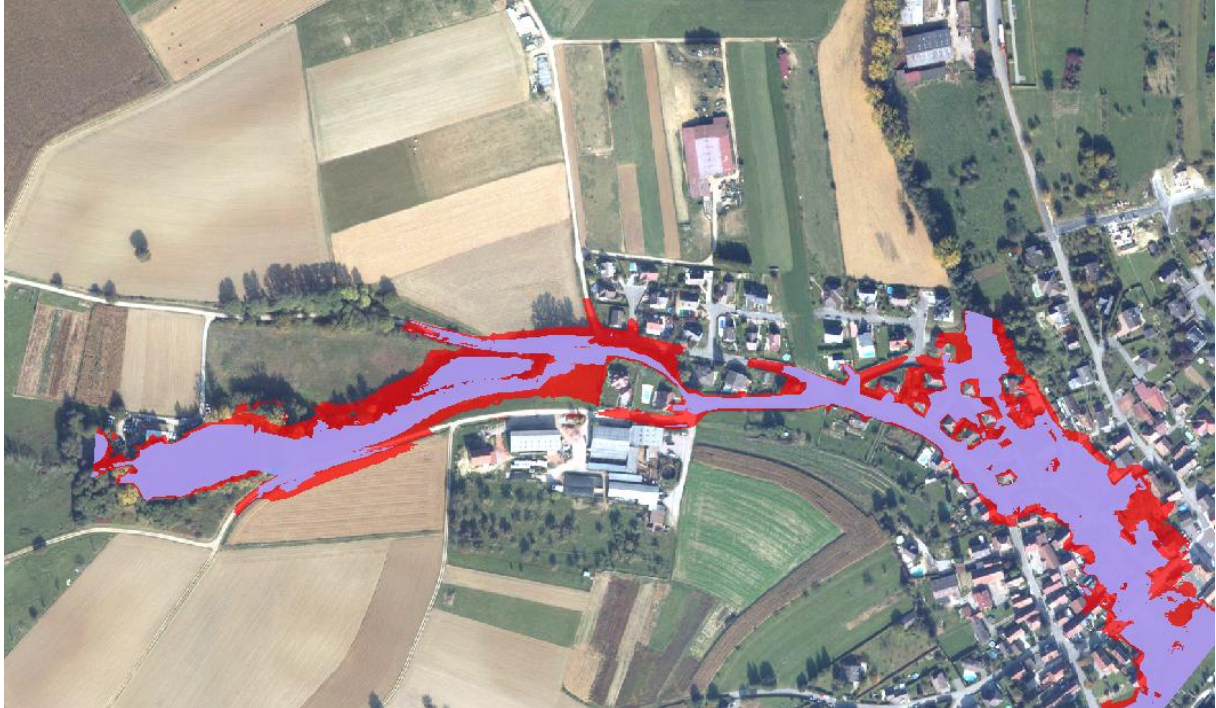


Figure 8: zone inondable actuelle (en bleu) et de la zone inondable en cas de rupture (en rouge)

En conclusion, on observe que la zone inondable en cas de rupture de l'ouvrage est légèrement supérieure à la zone inondable actuelle. Quelques maisons supplémentaires sont touchées.

Cependant, ce risque est fortement atténué par le dimensionnement du corps de la digue et des différents ouvrages de sécurité. Le dimensionnement du bassin permet en effet de garantir le passage d'une crue millénale avec une revanche de sécurité de 80 cm.