

QUESTION : Fournir par écrit, tel que démontré à la rencontre du 24 février, les revanches résiduelles en haut d'enrochement avec les coefficients de Manning et crues associés ainsi que l'explication qui en découle.

Réponse :

Le coefficient de rugosité utilisé lors des simulations hydrauliques était relativement faible ($n=0,034$). L'utilisation d'un tel coefficient était conservatrice en ce qui a trait au dimensionnement de la protection, car un faible coefficient entraîne des vitesses plus élevées. L'utilisation d'un faible coefficient de rugosité a cependant pour effet de sous-estimer les niveaux d'eau et de surestimer la revanche disponible.

Une étude de sensibilité a été effectuée afin de vérifier l'impact d'une rugosité plus élevée sur les revanches. Le coefficient de rugosité (coefficient de Manning) associé à l'enrochement proposé (500-900 mm) a été calculé avec l'équation ci-dessous, provenant du manuel *Hydraulic Design of Flood Control Channels* (Réf. 1). Il est important de sélectionner une équation adaptée aux canaux artificiels, dont la rugosité est généralement plus basse que celles des canaux naturels.

$$n = K[D_{90}]^{1/6}$$

Avec n : le coefficient de Manning;

K : un coefficient proposé de 0.038 pour le calcul des revanches;

D_{90} : le diamètre en pieds.

Une valeur conservatrice du D_{50} de 900 mm donne un coefficient de Manning associé à l'enrochement de 0,046. Une valeur de rugosité moyenne est calculée pour les géométries du canal comportant de l'enrochement ($n=0,046$) et du tapis de béton câble ($n=0,015$), en calculant un ratio sur le périmètre mouillé. Le tableau 1 résume la géométrie des options considérées et les valeurs de rugosité équivalentes obtenues :

Tableau 1 – Description des options et rugosité moyenne

Paramètres	Option 1	Option 2	Option Hybride
Description	Canal en enrochement	Canal avec tapis de béton câble (TBC) au fond et enrochement sur les pentes latérales	Canal TBC au fond, recouvert d'enrochement à part un chenal préférentiel de 1 m de large
Largeur du fond du canal	11,4 m	7,0 m	7,0 (TBC) + 4,2 = 11,2 m
Pente latérale θ	26,6 degrés (2H:1V)		
Pente longitudinale	0 degré (fond plat)		
Niveau du fond du canal	El. 5,3 m	El. 4,2 m	El. 4,2 m sur un chenal de 1 m de large, pente 2H :1V, puis el. 5,25 m de part et d'autres
Épaisseur moyenne de la protection	1,4 m	1,4 m	1,4 m (pentes) 1,05 m (fond)
Rugosité moyenne (Manning-n)	0,046	0,039	0,045

Les scénarios de crue 1 :100 ans ont été modélisés avec les rugosités ajustées. L'effet du changement de rugosité sur les niveaux d'eau à l'amont du canal de dérivation et à l'amont de la zone modélisée est présenté au tableau 2.

Tableau 2 –Résultats de l'étude de sensibilité

Scénario de crue	Niveau en amont du canal (m)			Niveau 1300 m en amont de l'embouchure (m)		
	n=0,034	n=0,046	Δh (m)	n=0,034	n=0,046	Δh (m)
Option 1 (enrochement)						
100 ans	9,78	10,14	0,36	10,32	10,57	0,25
100 ans été majorée	9,91	10,41	0,50	10,53	10,87	0,34
Option 2 (TBC)						
100 ans	9,62	9,75	0,13	10,22	10,30	0,08
100 ans été majorée	9,54	9,74	0,20	10,31	10,42	0,11
Option Hybride						
100 ans	9,72	10,03	0,31	10,28	10,49	0,21
100 ans été majorée	9,75	10,21	0,46	10,43	10,73	0,30

Les résultats montrent qu'une revanche est disponible par rapport au niveau supérieur prévu de la protection des berges (10,50 m), pour toutes les géométries étudiées et pour les deux scénarios de crues. La revanche obtenue pour chaque scénario est présentée au tableau 3. Il est à noter que la revanche par rapport au niveau de berges ($\approx 11,40$ m) est suffisante pour respecter les recommandations du manuel *Hydraulic Design of Flood Control Channels* (Réf. 1), soit 2,5 pieds (0,76 m) de revanche pour un canal en enrochement.

Tableau 3 –Revanche par rapport à la protection du canal de dérivation (El. 10,50 m)

Géométrie	Crue 1:100 ans		Crue 1:100 ans été-automne majorée	
	Niveau (m)	Revanche (m)	Niveau (m)	Revanche (m)
Option 1 (enrochement)	10,14	0,36	10,41	0,09
Option 2 (TBC)	9,75	0,75	9,74	0,76
Option hybride	10,03	0,47	10,21	0,29

La revanche par rapport au niveau du terrain pour deux habitations situées sur des terres agricoles a aussi été vérifiée. La position de ces deux maisons est présentée à la figure 1. Le niveau du terrain à proximité de la maison au toit gris est de 11,20 m, et le niveau d'eau à proximité est contrôlé par le niveau dans le bras mort. Le niveau du terrain à proximité de la maison au toit rouge est de 12,50 m, et le niveau d'eau y est contrôlé par le niveau 800 m en amont de l'embouchure du canal de dérivation. Les niveaux d'eau près de ces habitations sont présentés aux tableaux 4 et 5. La revanche disponible par rapport au niveau du terrain près de la maison au toit gris varie de 0,8 à 1,5 m, selon le scénario étudié. La revanche disponible par rapport au niveau du terrain près de la maison au toit rouge varie de 2,0 à 2,6 m, selon le scénario étudié.



Figure 1 – Élévation du terrain à proximité des habitations les plus vulnérables

Tableau 4 – Revanches à la maison au toit gris (El. 11,20 m)

Géométrie	Crue 1:100 ans		Crue 1:100 ans été-automne majorée	
	Niveau (m)	Revanche (m)	Niveau (m)	Revanche (m)
Option 1 (enrochement)	10,14	1,06	10,41	0,79
Option 2 (TBC)	9,75	1,45	9,74	1,46
Option hybride	10,03	1,17	10,21	0,99

Tableau 5 – Revanches à la maison au toit rouge (El. 12,50 m)

Géométrie	Crue 1:100 ans		Crue 1:100 ans été-automne majorée	
	Niveau (m)	Revanche (m)	Niveau (m)	Revanche (m)
Option 1 (enrochement)	10,28	2,22	10,55	1,95
Option 2 (TBC)	9,94	2,56	9,98	2,52
Option hybride	10,18	2,32	10,37	2,13

Les profils des niveaux d'eau pour les six (6) simulations effectuées avec les rugosités ajustées sont présentés aux figures 2 à 4.

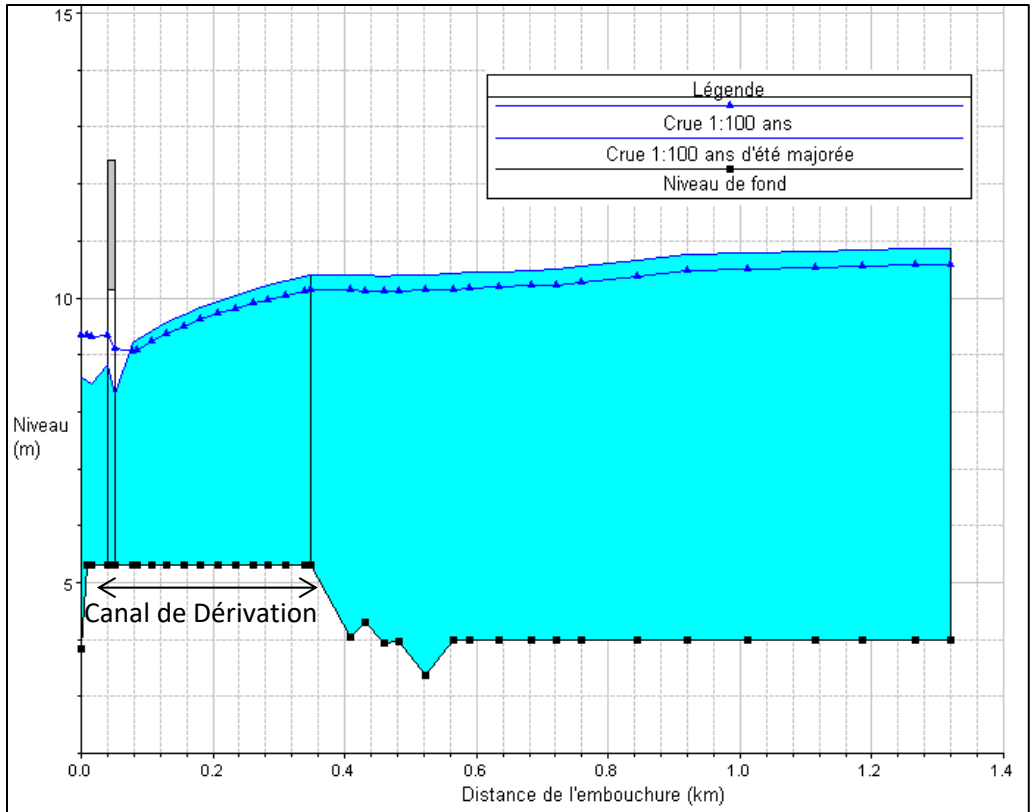


Figure 2 – Profil des niveaux d'eau modélisés – Option 1 (enrochement) – $n=0,046$

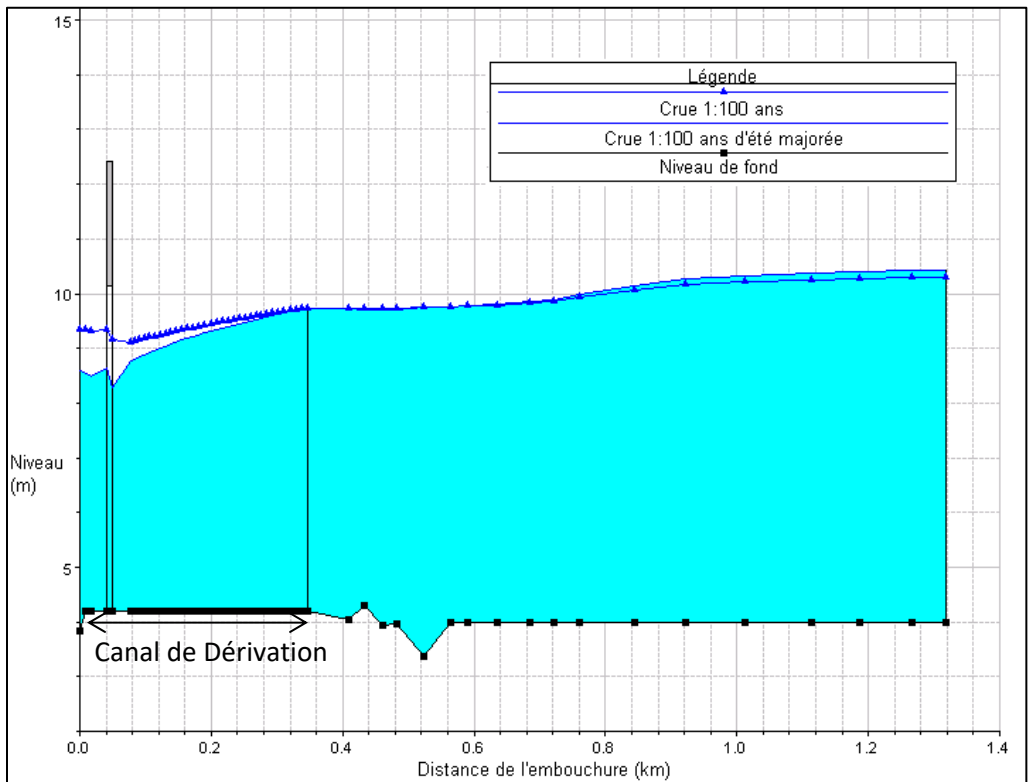


Figure 3 – Profil des niveaux d'eau modélisés – Option 2 (TBC) – $n=0,039$

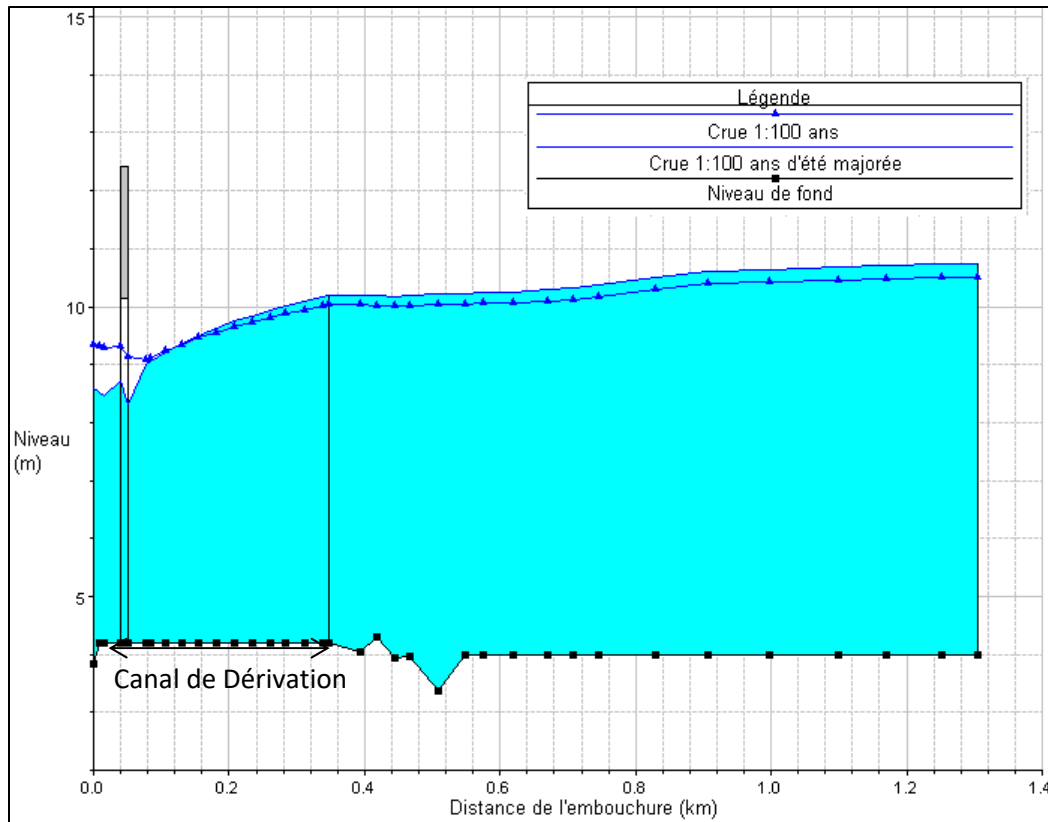


Figure 4 – Profil des niveaux d'eau modélisés – Option Hybride – $n=0,045$

QUESTION : L'épaisseur d'enrochement proposée dans le lit du cours d'eau est de 1 m. Cependant, le calibre envisagé est de 500-900 mm. Avec ce calibre, on peut s'attendre à une épaisseur qui est plus de l'ordre de 1,4 m, et cela pourrait avoir des conséquences sur les niveaux d'eau en diminuant la section d'écoulement par rapport à ce qui a été calculé avec une épaisseur d'un mètre. Il s'agit d'un enjeu, puisque la revanche est faible en haut de talus en période de fortes crues. L'initiateur doit donc démontrer qu'il est possible, en pratique, de maintenir une épaisseur de 1 m avec le calibre proposé. Si cela n'est pas possible, un calibre différent doit être proposé (ex : 200-800 mm) pour respecter l'épaisseur d'un mètre.

Réponse :

Les calculs de dimensionnement du riprap en fonction des vitesses d'écoulement ont été effectués avec la méthode décrite dans le manuel *Hydraulic Design of Flood Control Channels* (Réf. 1). L'équation a été utilisée avec un facteur d'épaisseur C_t de 1, correspondant à une épaisseur minimale de l'enrochement. Cette épaisseur est définie comme le maximum de $1 \times D_{100}$ et de $1.5 \times D_{50}$.

Pour du 500-900 mm, on obtient une épaisseur minimale correspondant au maximum de 900 mm et 1050 mm. Par conséquent, la méthode utilisée pour la conception hydraulique est valable pour l'épaisseur au fond de 1 m. Cette méthode est légèrement conservatrice pour une épaisseur supérieure à l'épaisseur minimale, tel que l'épaisseur utilisée sur les pentes du canal.

RÉFÉRENCE

Réf. 1: United States Army Corps of Engineers – USACE (1994). Hydraulic Design of Flood Control Channels. Engineering Manual – EM 1110-2-1601. 1 July 1991 / 30 June 1994.