

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.5%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

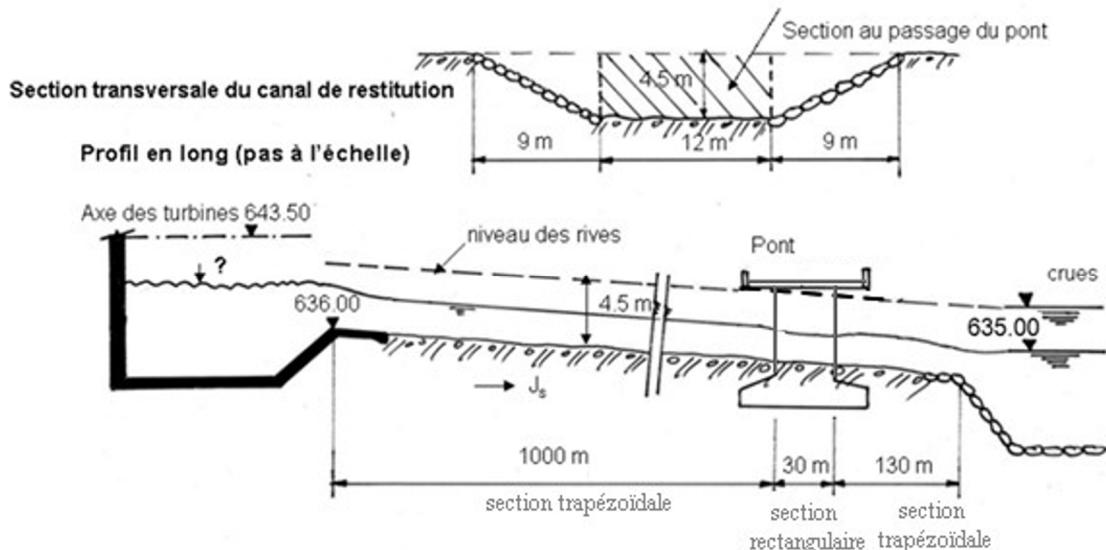


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

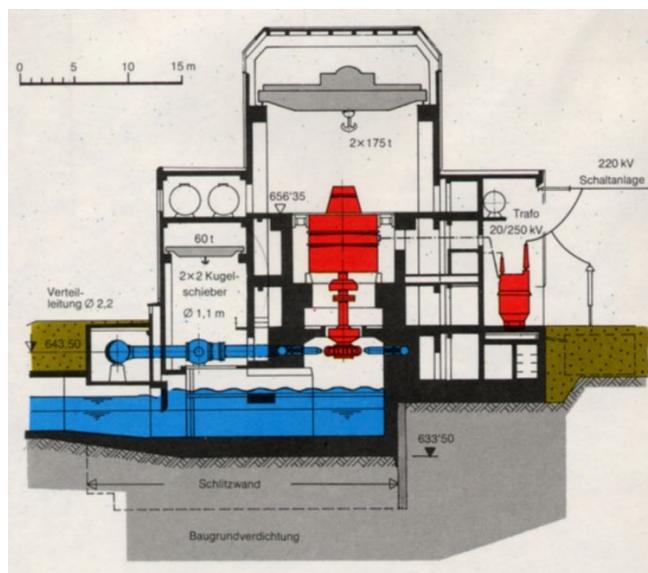


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.75 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

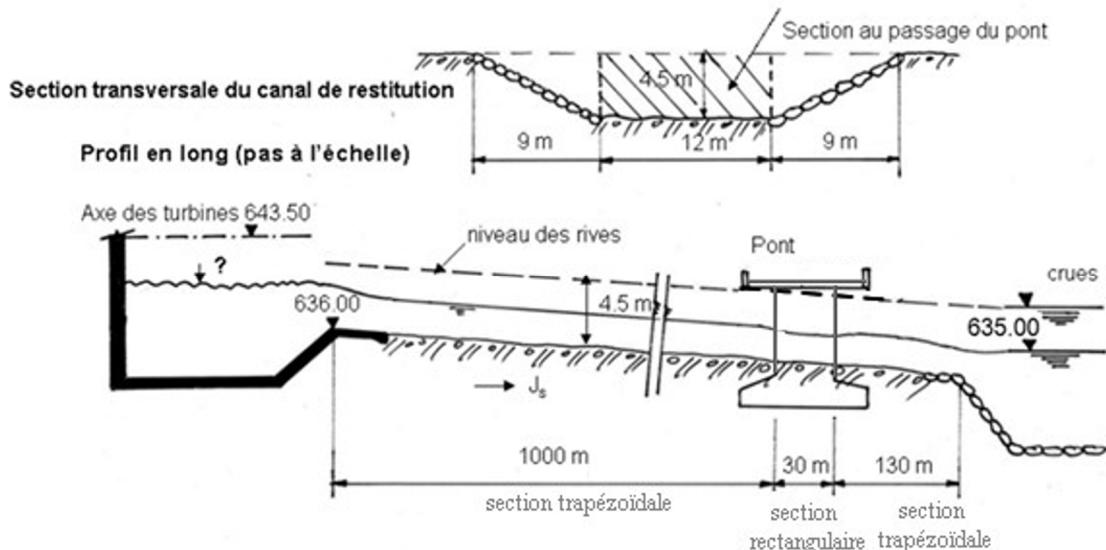


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

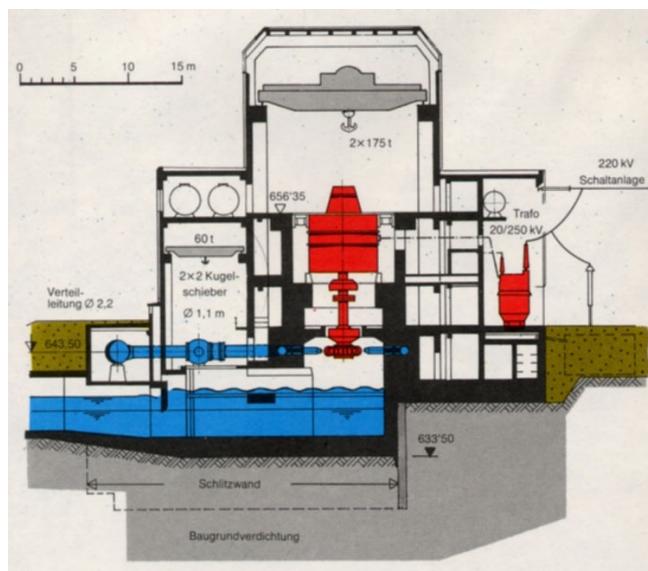


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

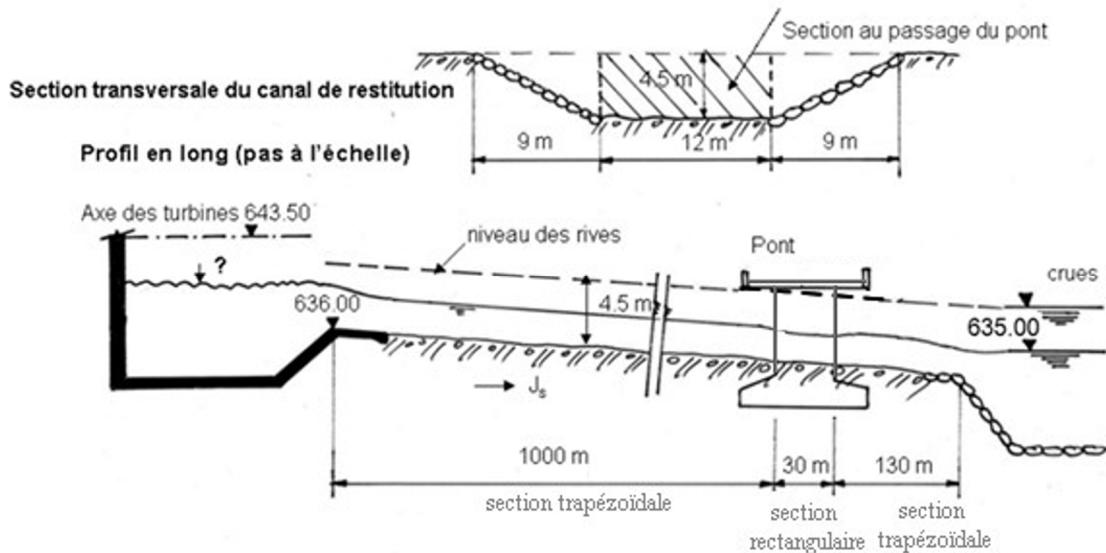


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

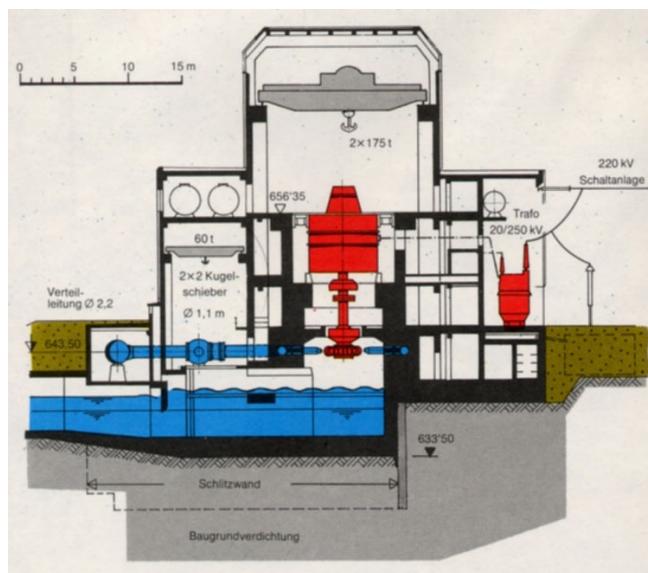


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3.25%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

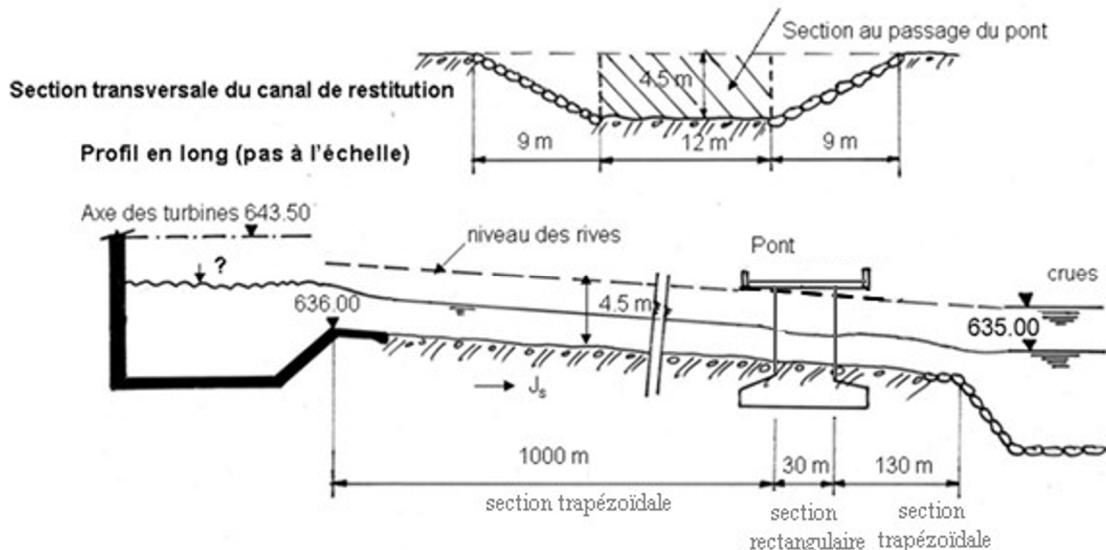


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

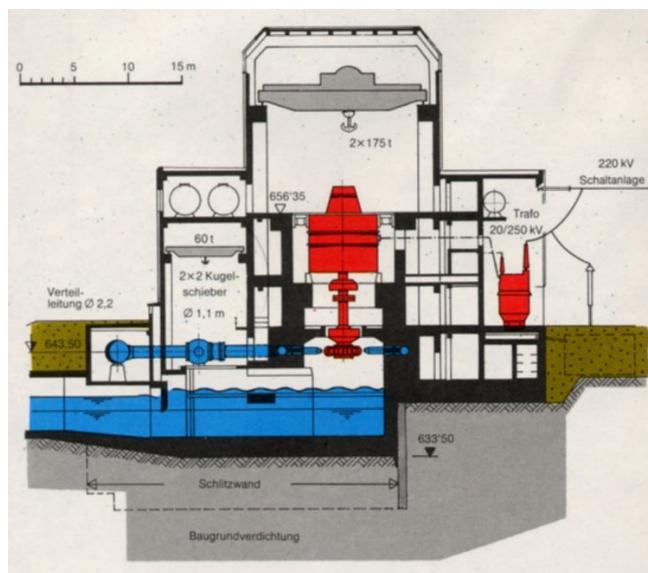


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : **3.5 %**
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : **635.00 m s.m.**
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : **637 m s.m.**
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

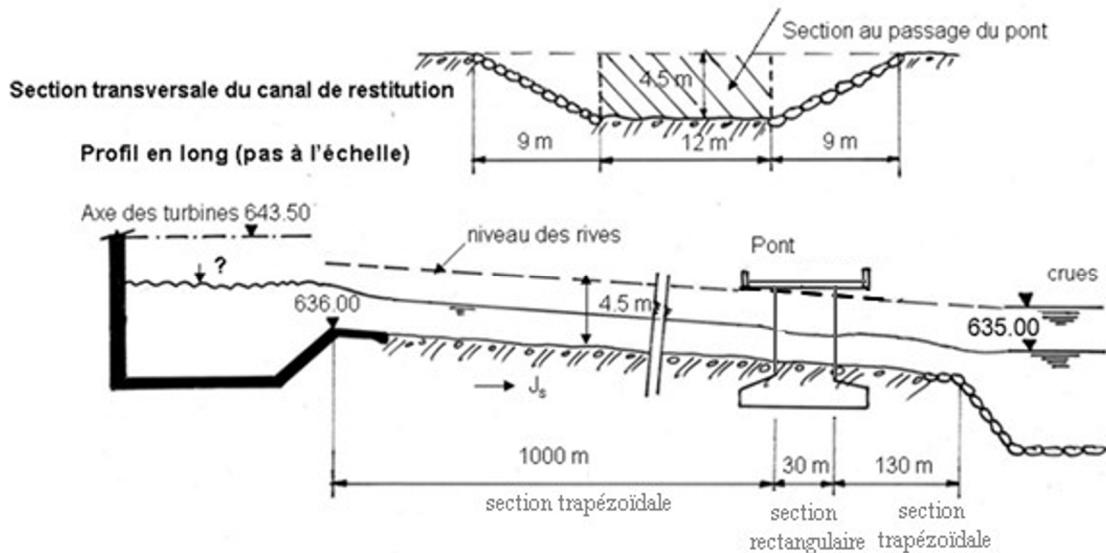


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

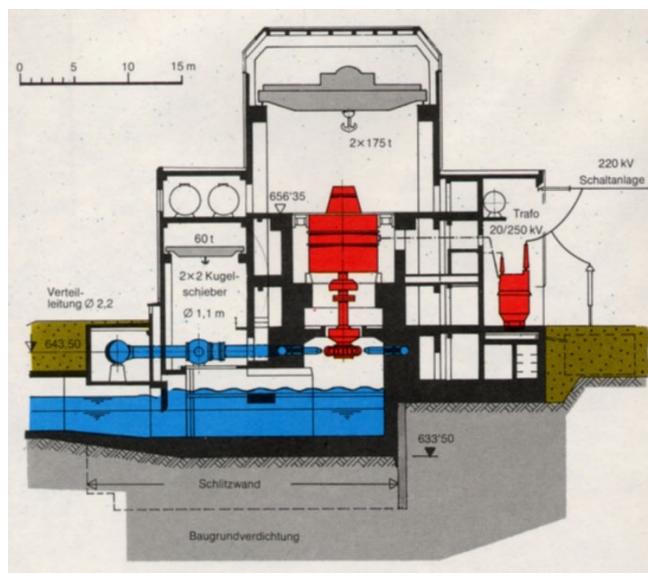


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.5%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

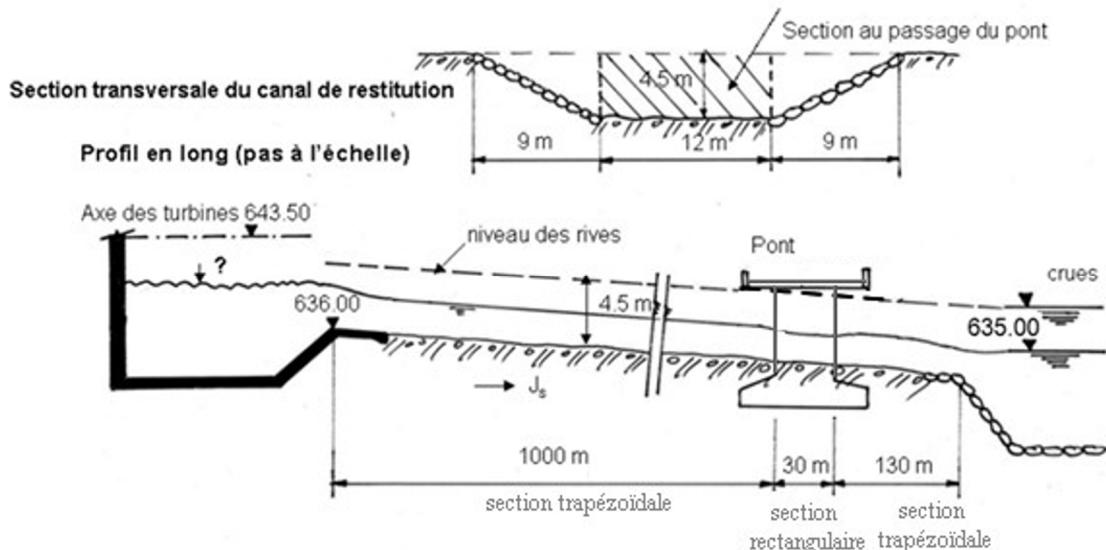


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

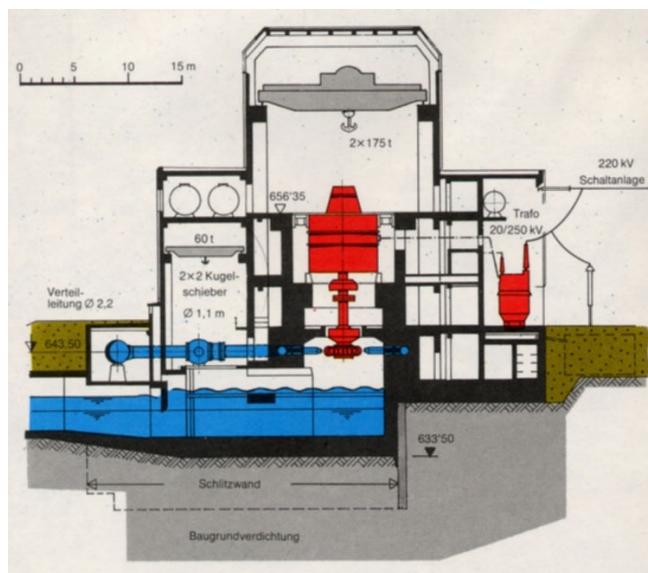


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.75 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

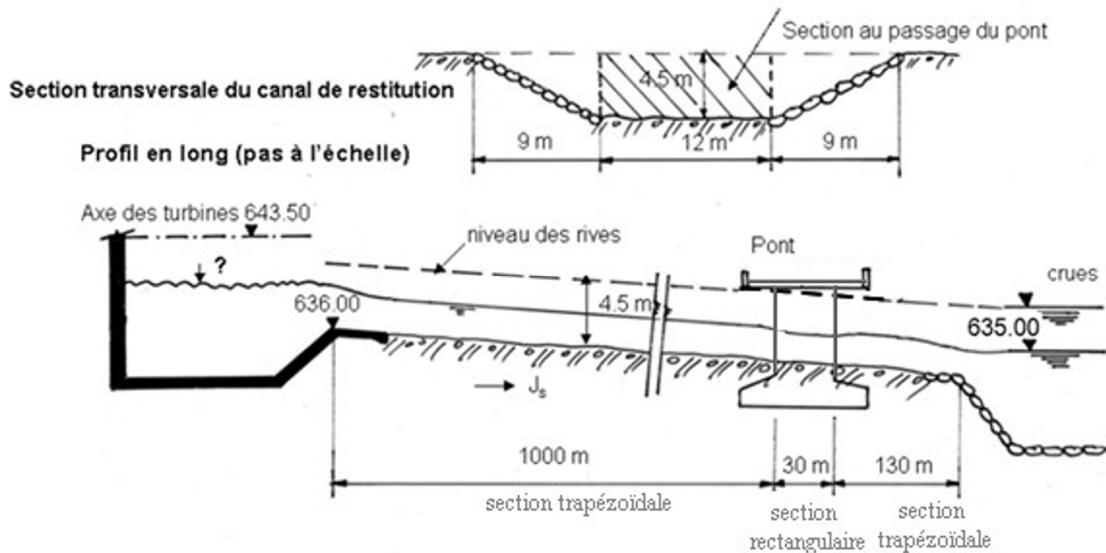


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

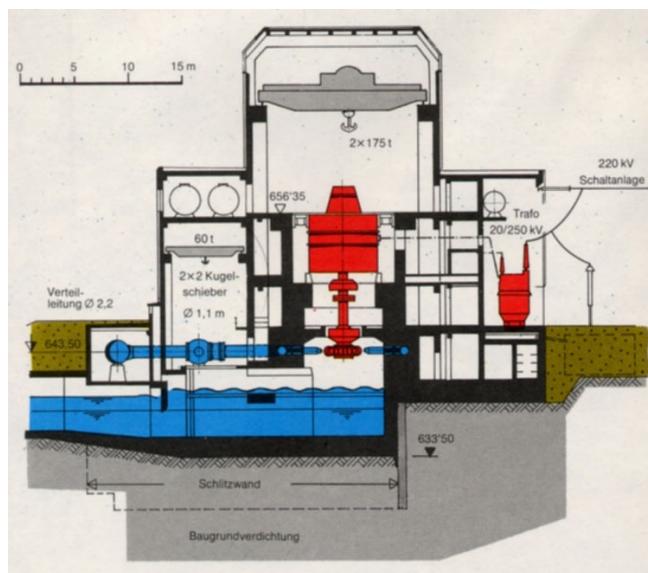


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3 %
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

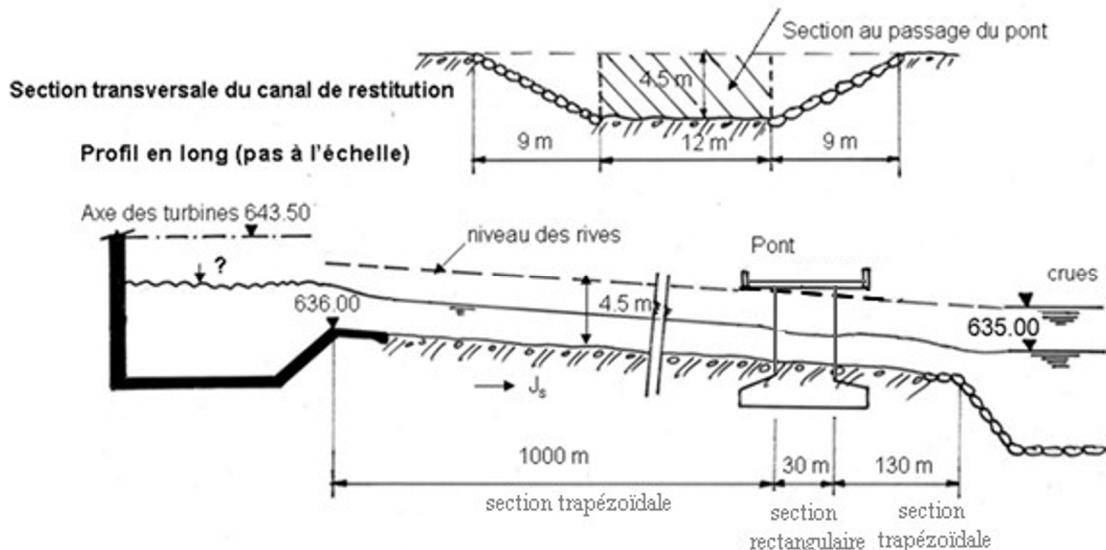


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

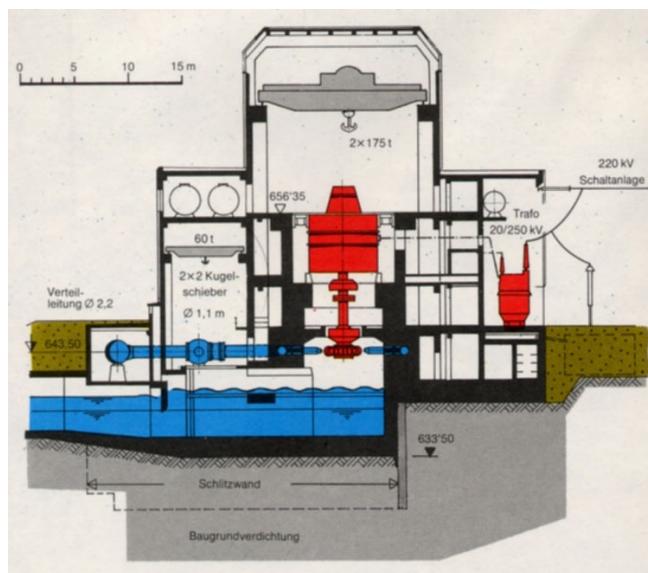


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3.25%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

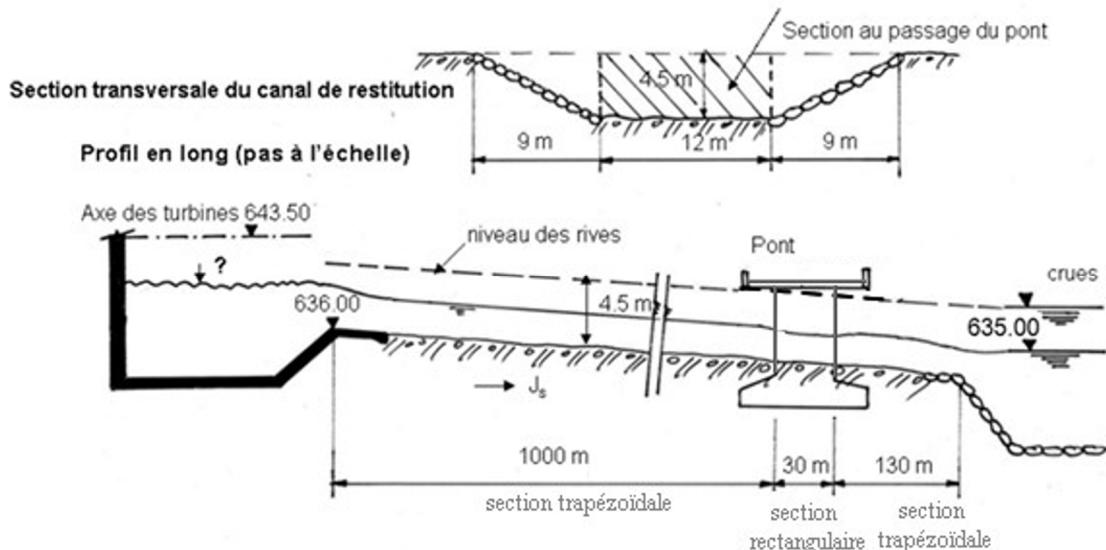


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

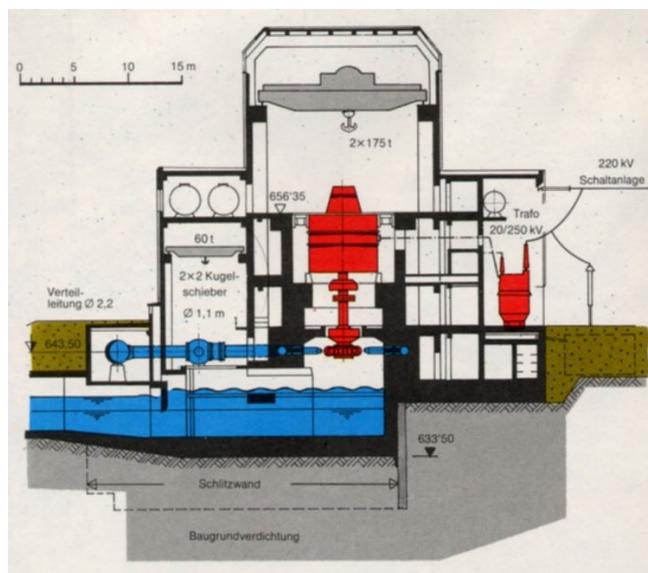


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $22.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : **3.5 %**
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : **636.75 m s.m.**
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

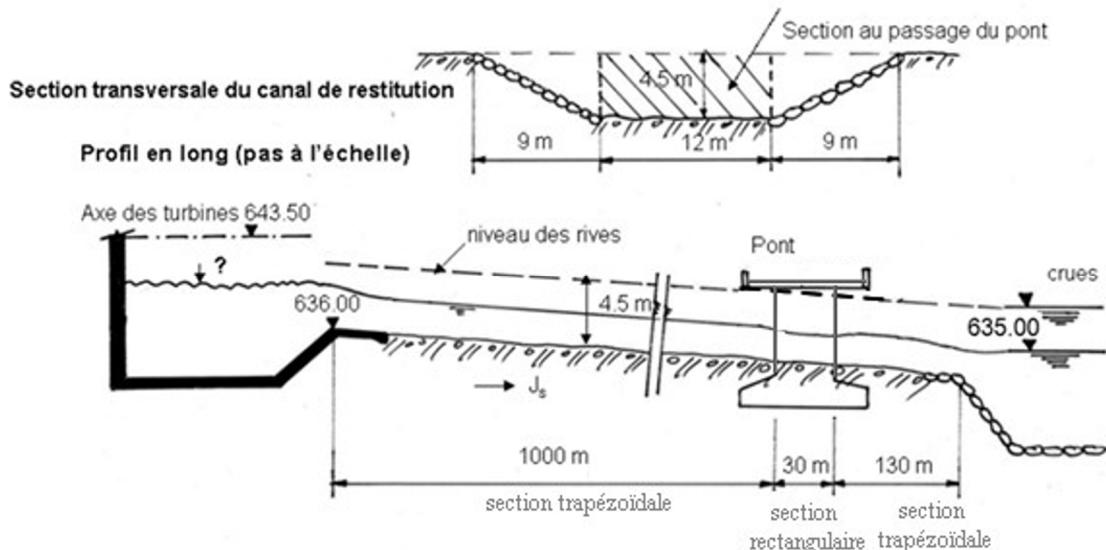


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

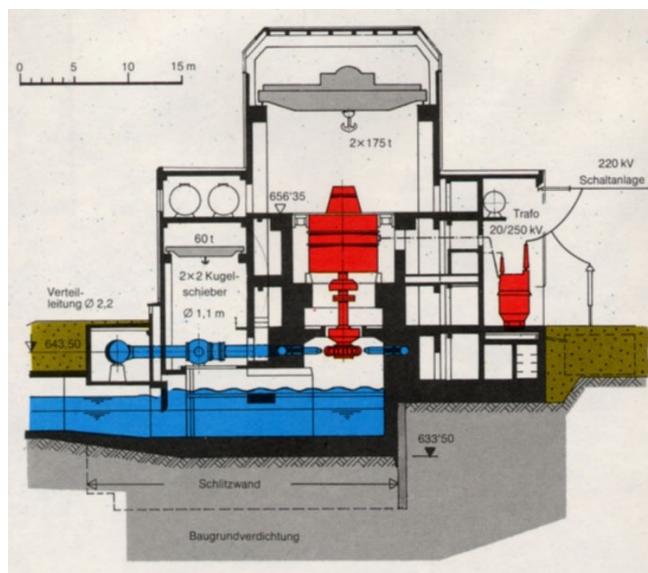


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.5 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

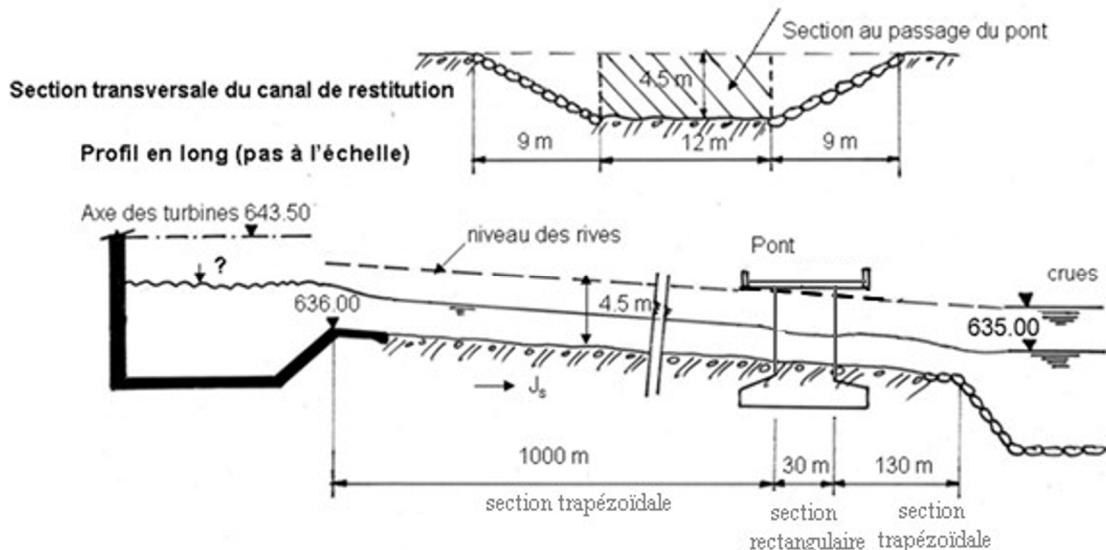


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

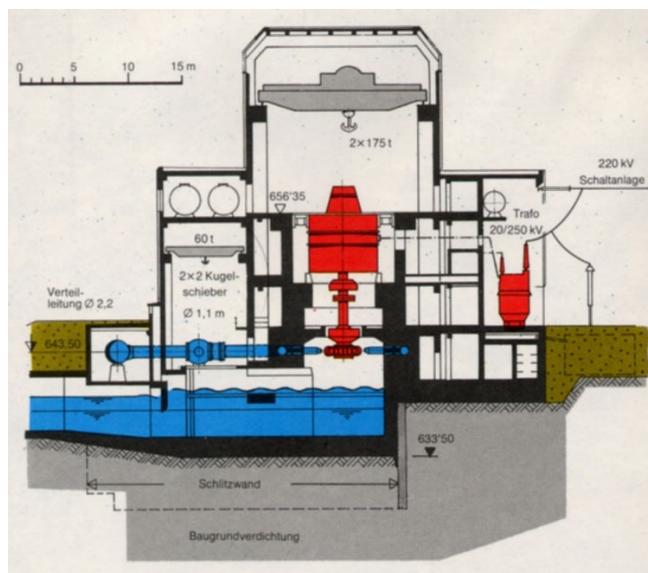


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.75 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

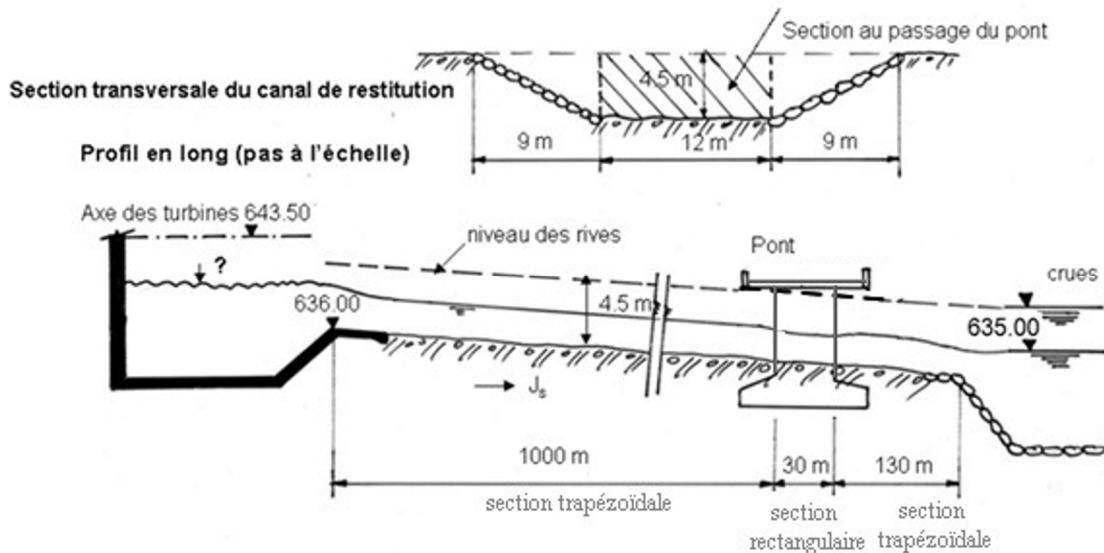


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

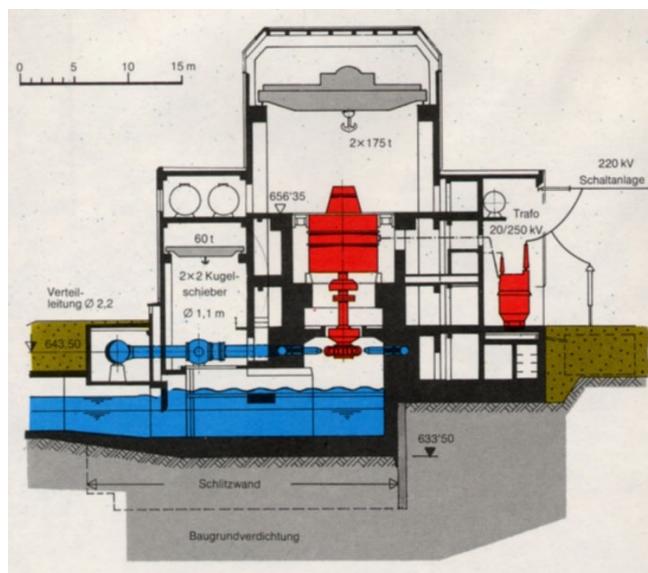


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

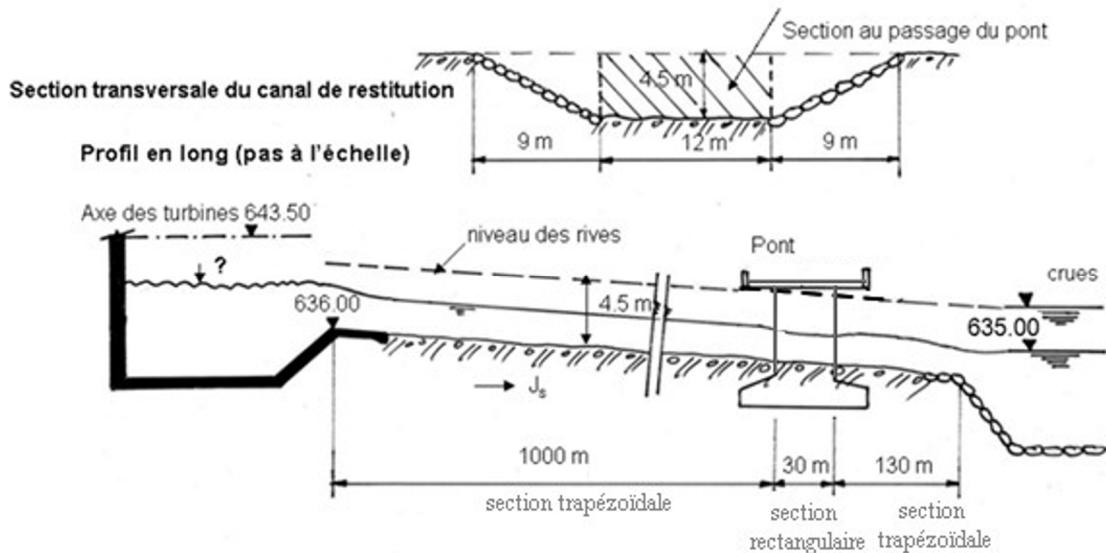


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

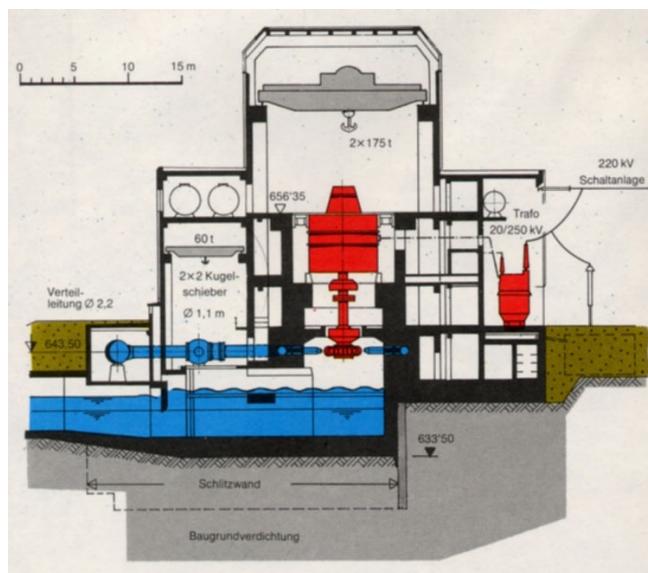


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3.25 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

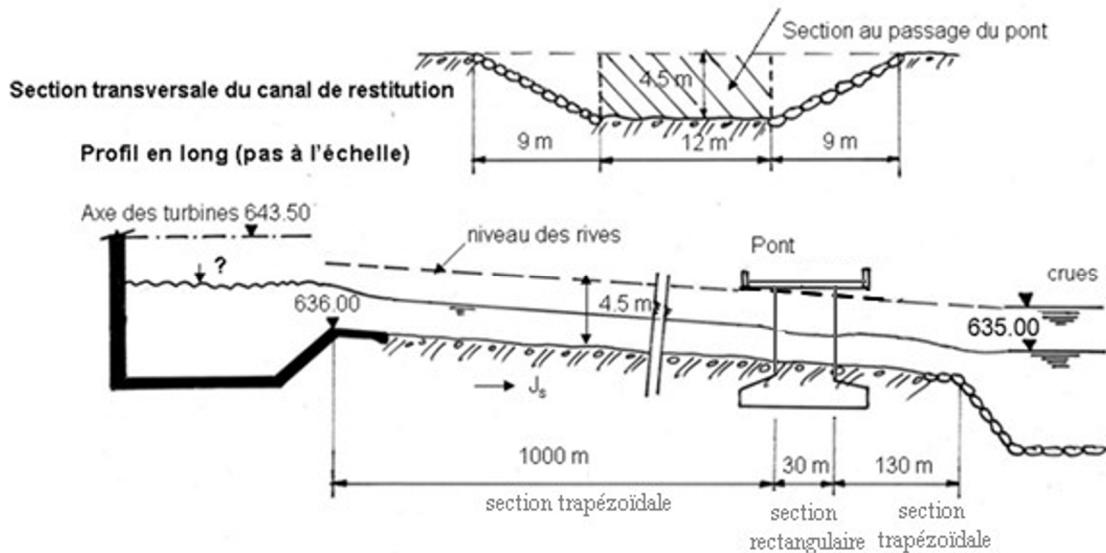


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

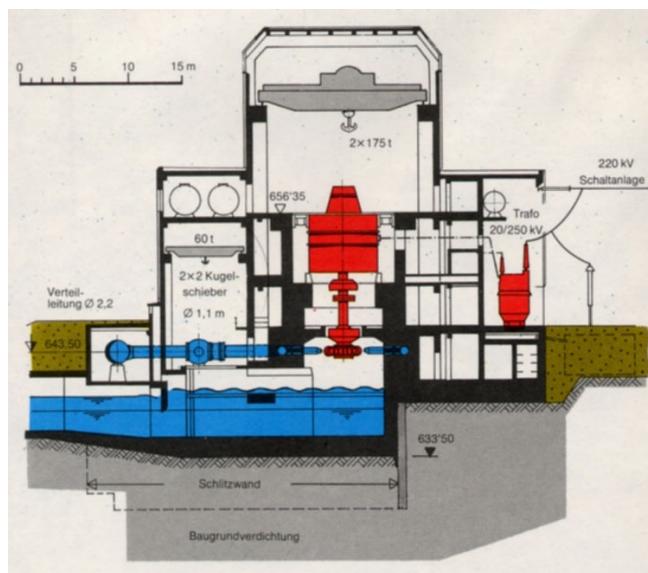


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : **3.5 %**
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : **637.25 m s.m.**
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

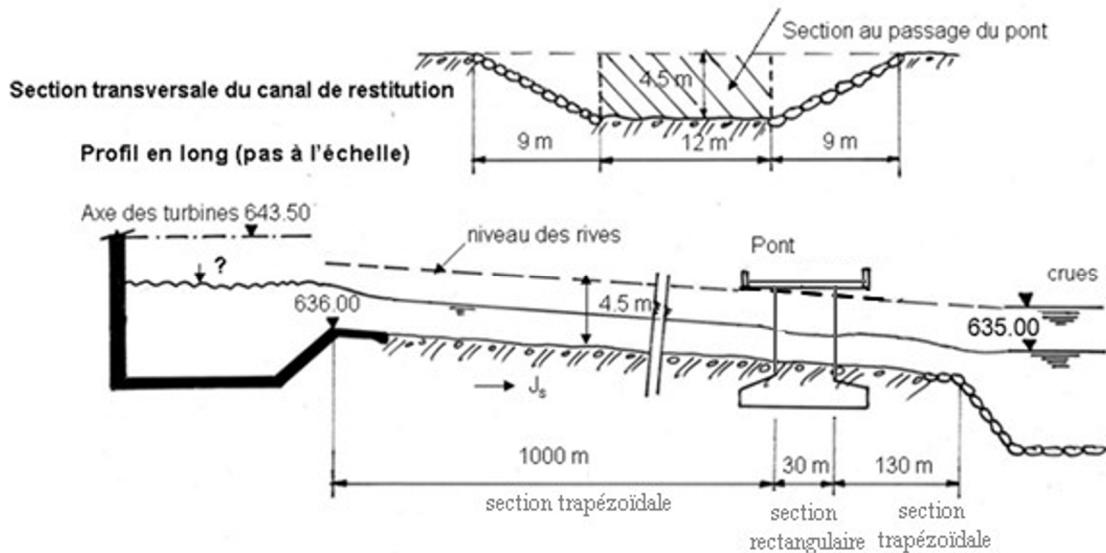


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

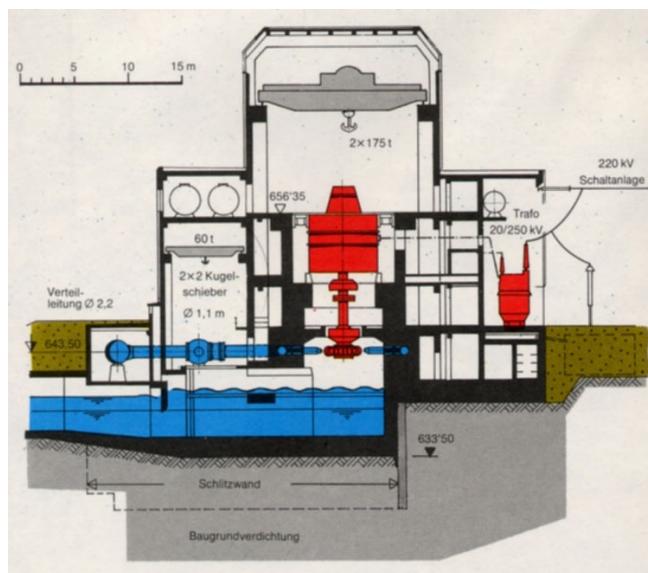


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.5 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

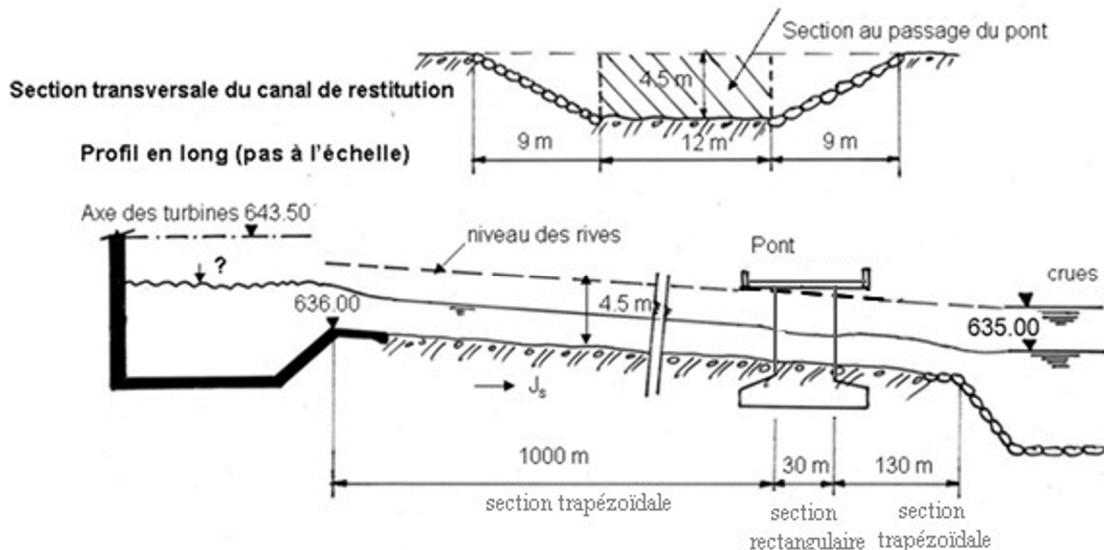


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

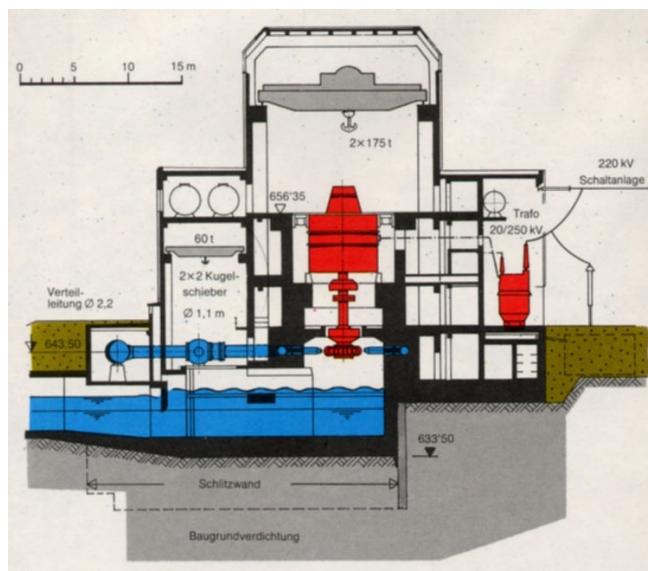


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.75 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

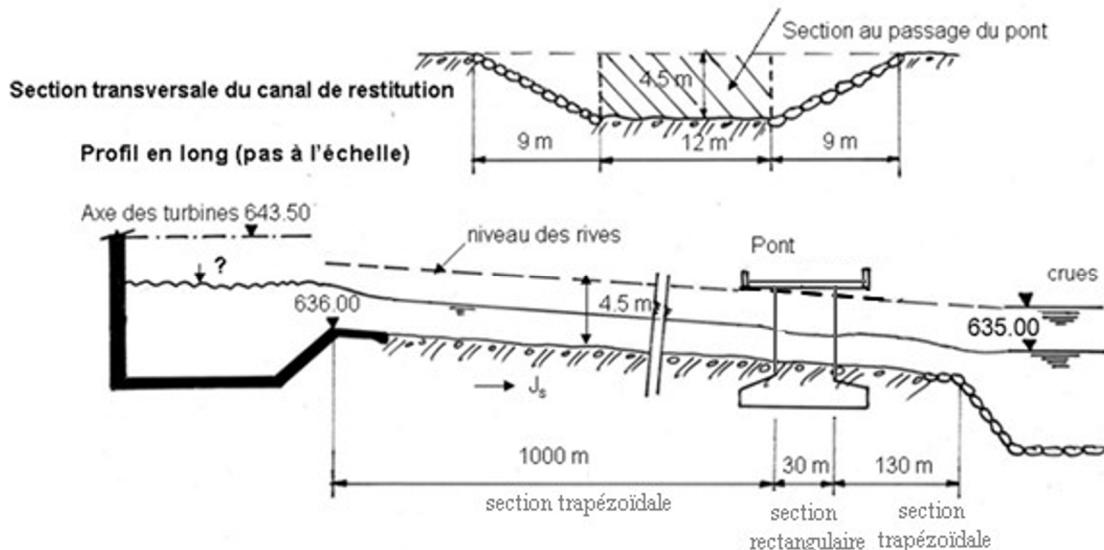


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

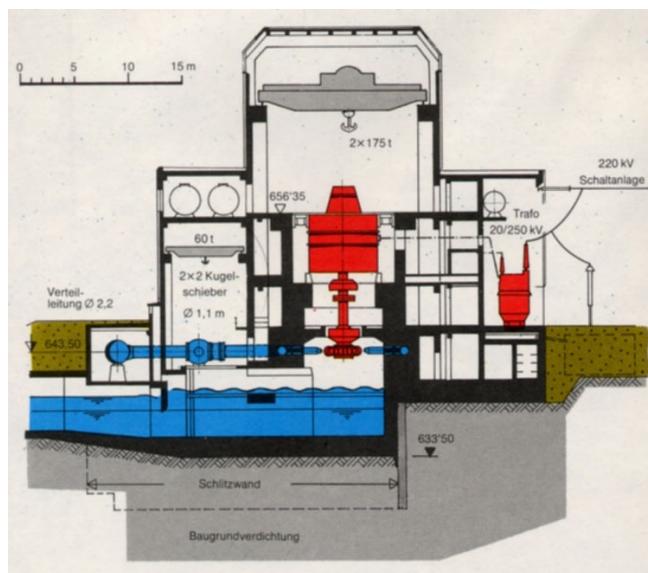


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3 %
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

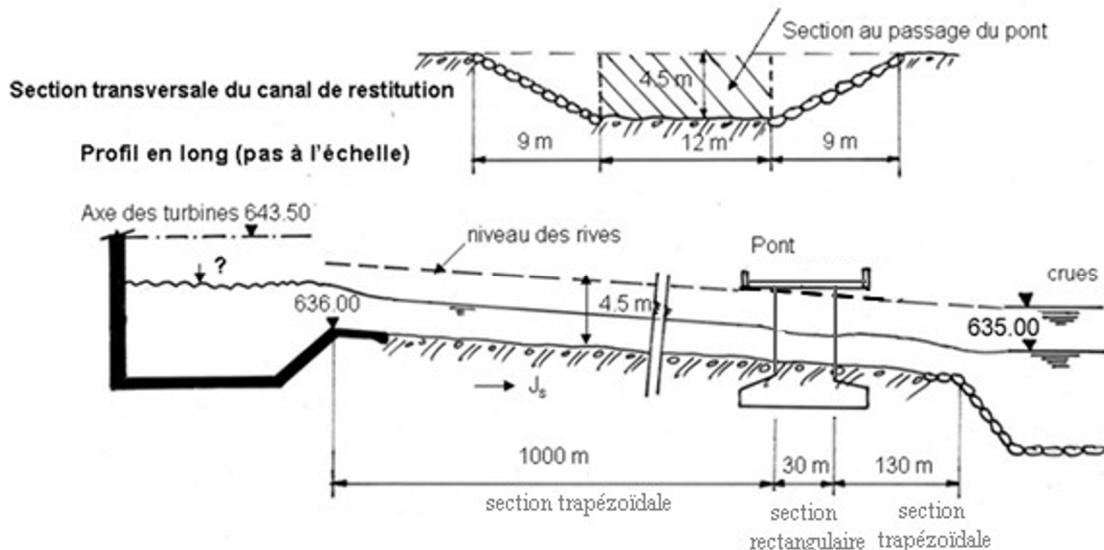


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

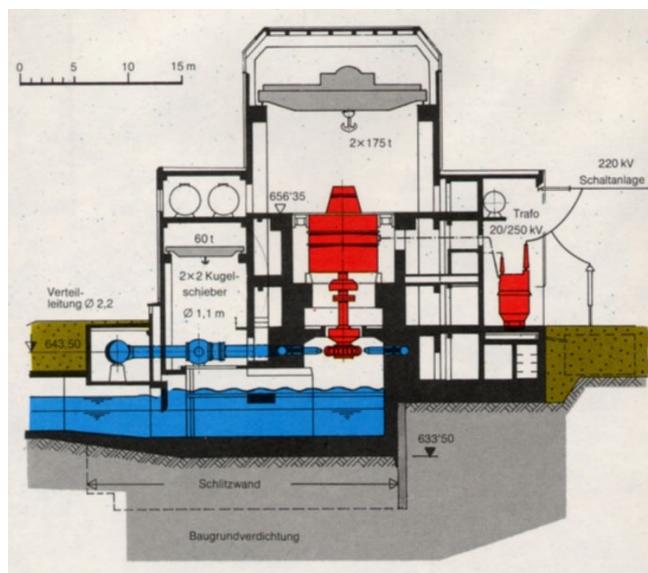


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3.25 \%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

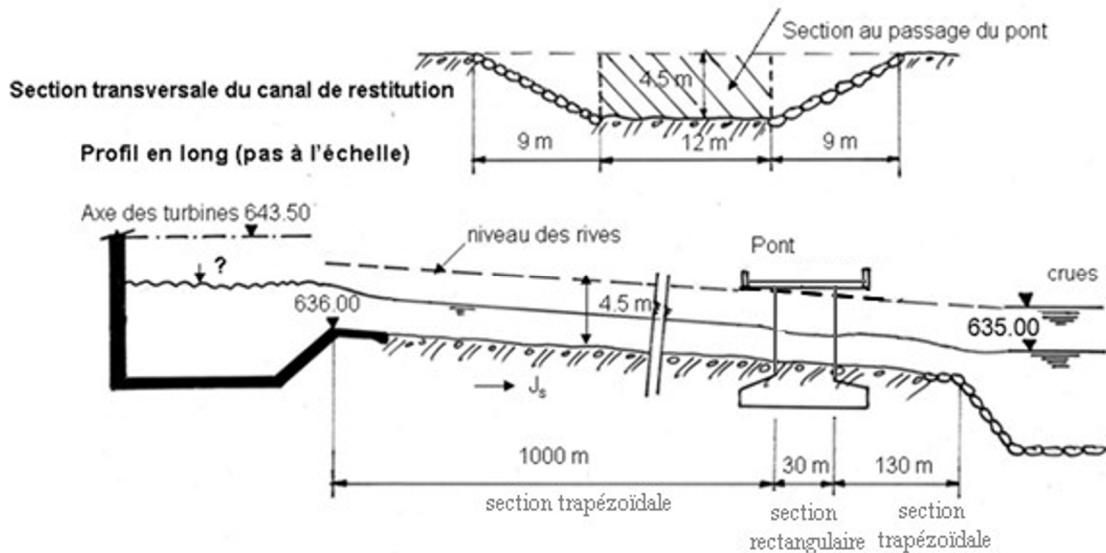


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

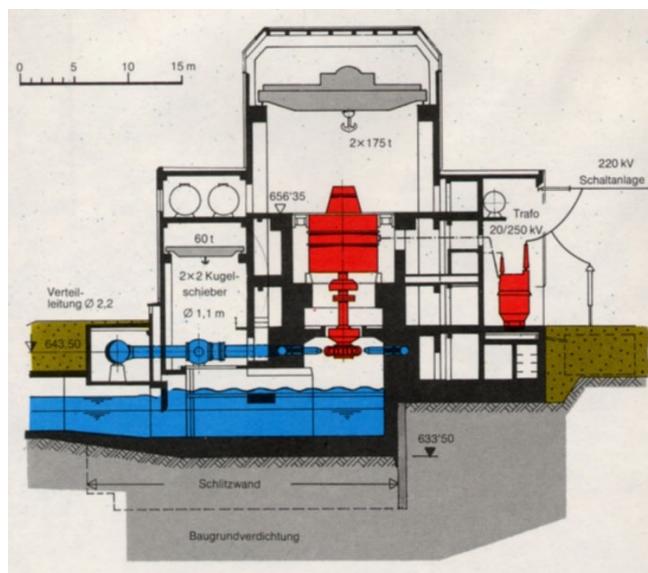


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : **3.5 %**
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : **635.00 m s.m.**
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : **637 m s.m.**
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

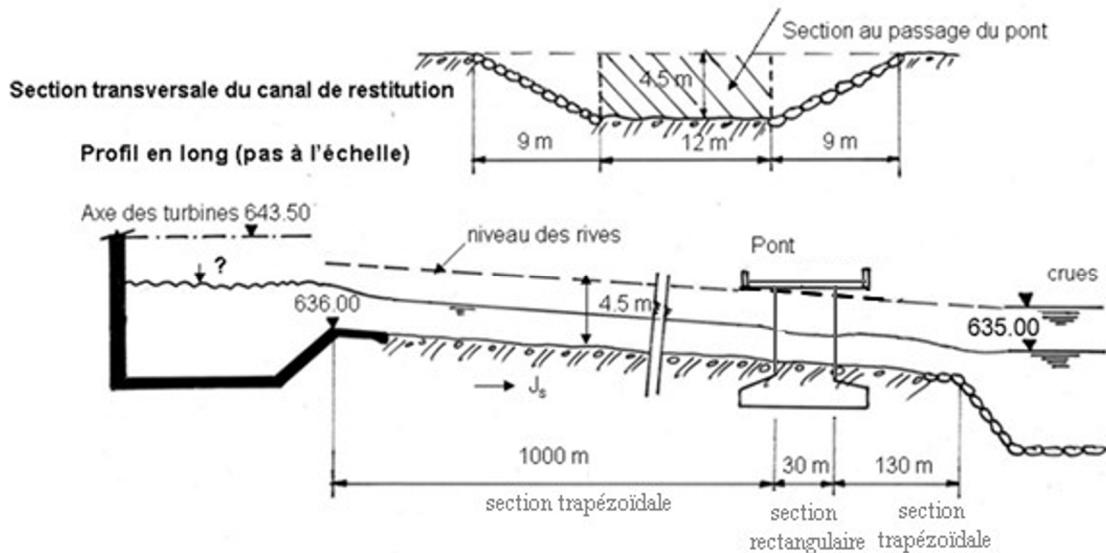


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

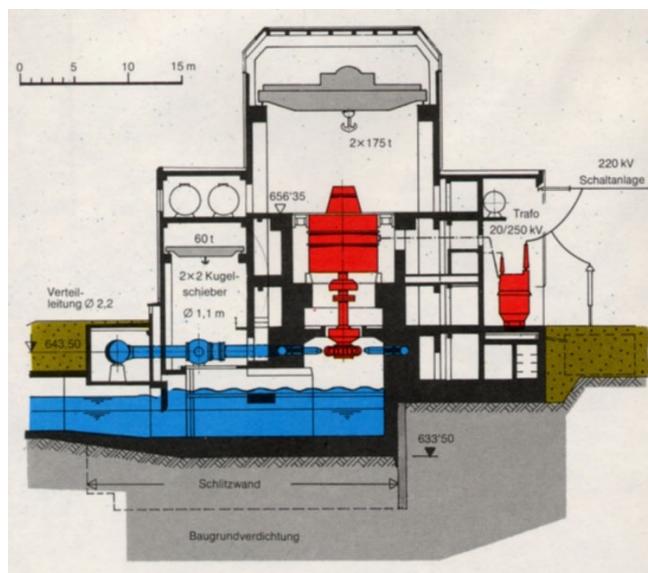


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $27.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.5%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

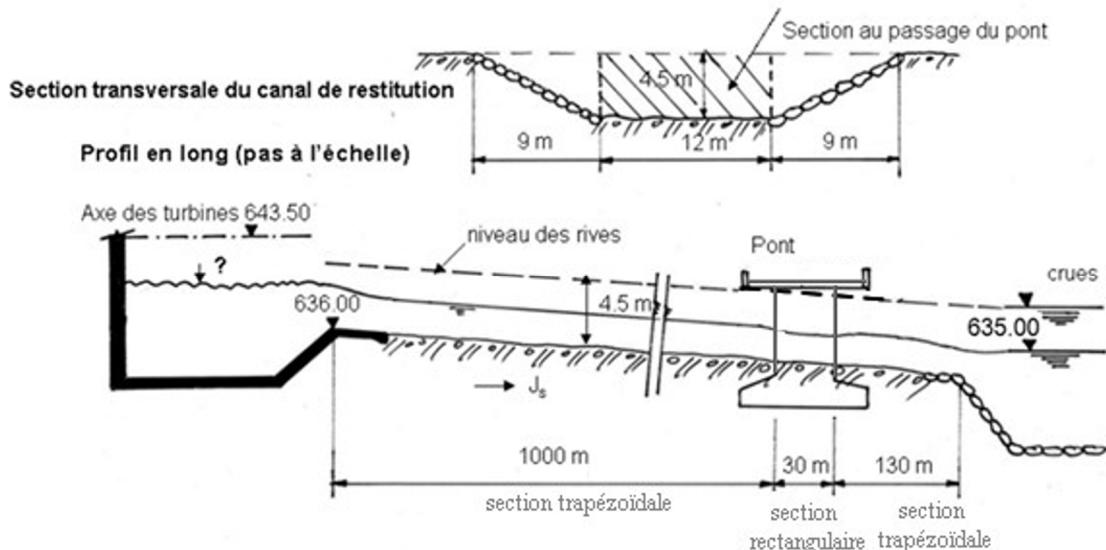


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

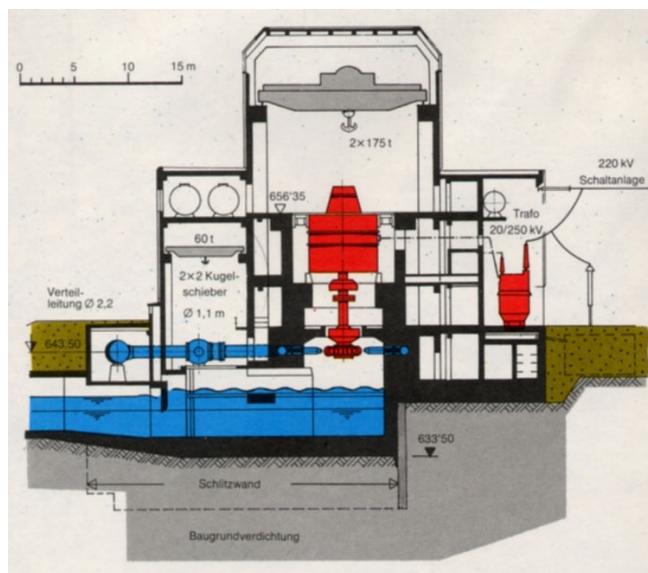


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $27.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 2.75%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 636.75 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

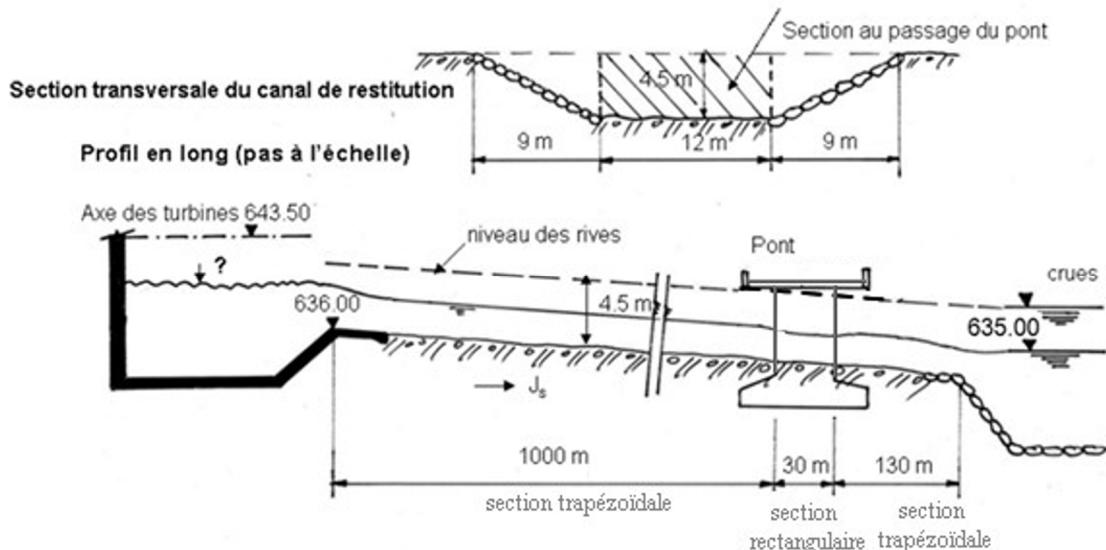


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

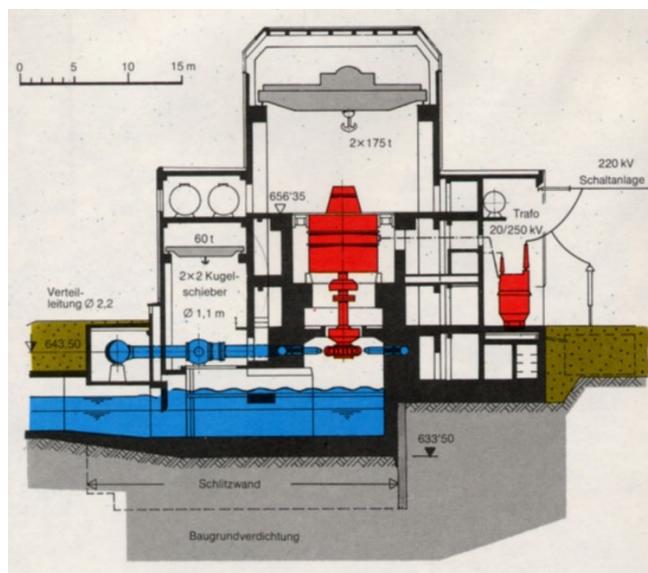


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $27.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

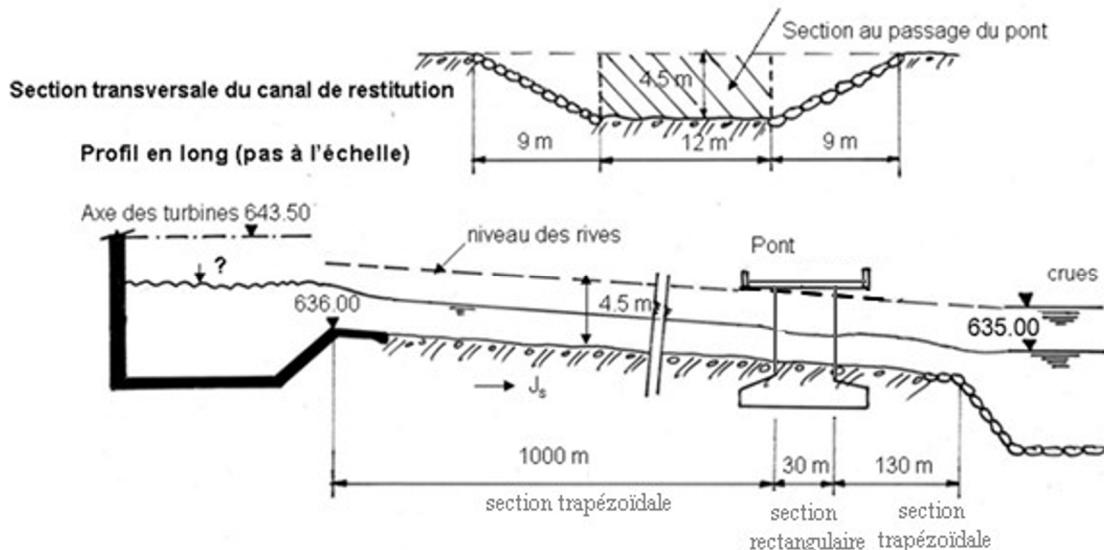


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

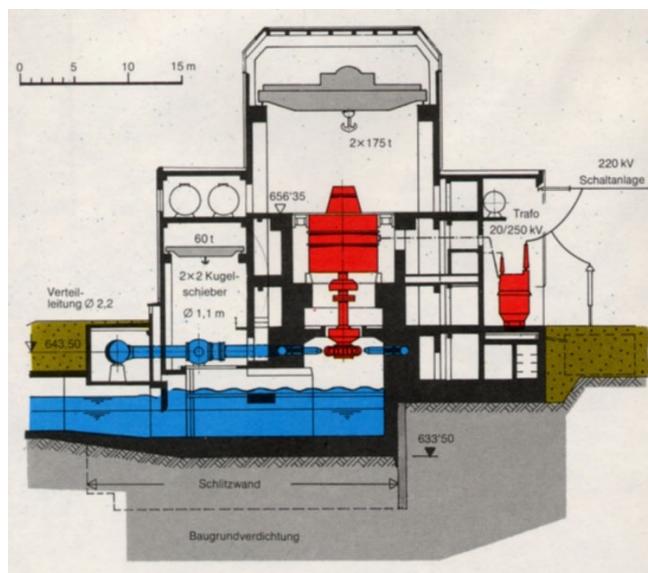


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $27.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : 3.25%
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : 637.25 m s.m.
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

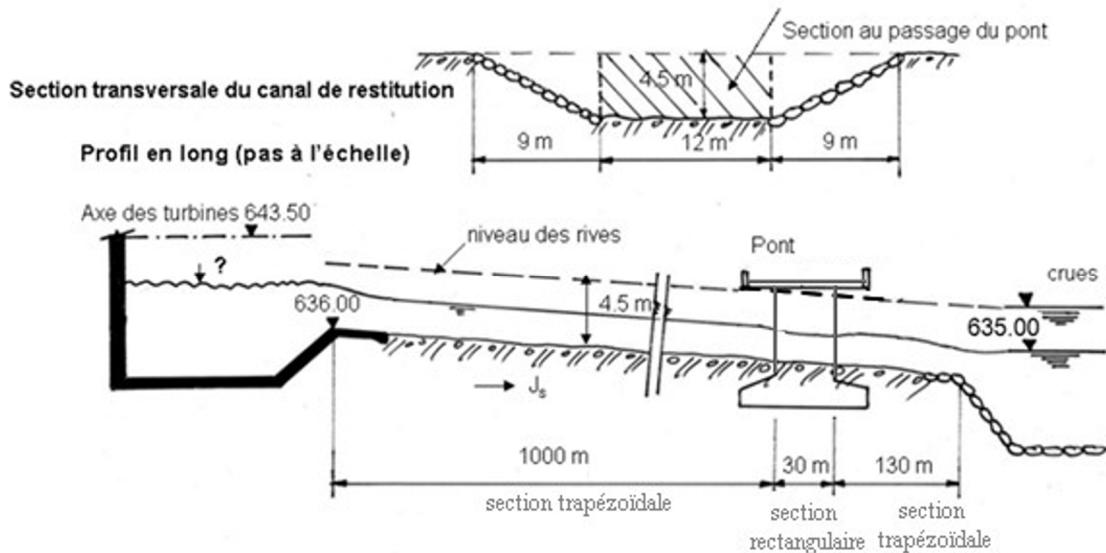


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

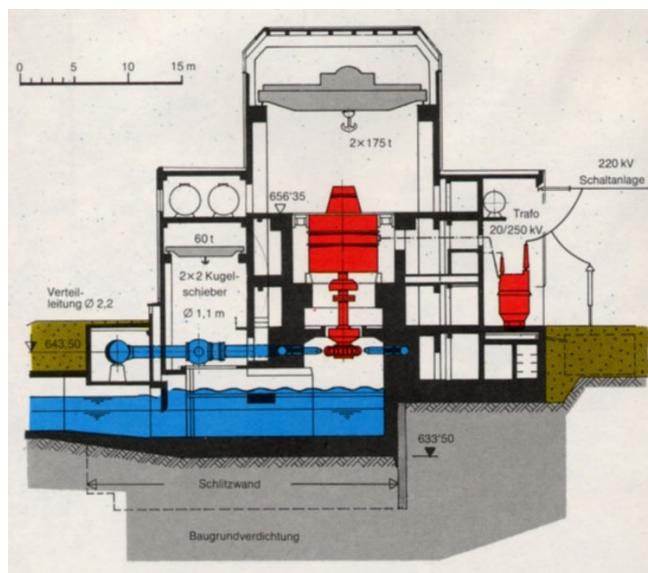


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.

Octobre 2024

Exercice 2

Courbe de remous dans le canal de restitution d'une centrale hydroélectrique

1. Introduction et données

1.1. Situation

L'eau turbinée dans une centrale hydroélectrique à haute chute est restituée par un canal trapézoïdal dans le cours d'eau principal de la vallée. Le débit installé de la centrale, somme de ceux des deux turbines Pelton à axe vertical, est de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Une revanche minimale entre l'axe des turbines et le niveau d'eau dans la fosse de restitution doit être garantie pour toutes les conditions d'exploitation.

Avant de rejoindre le cours d'eau principal, le canal de fuite trapézoïdal transite sous une route et voie de chemin de fer. Au passage, la section trapézoïdale du canal est réduite à une section rectangulaire. La transition en plan avec des murs bajoyers est réalisée avec un angle de 30° à l'amont et l'aval.



Figure 1.1 Canal de restitution lors de la construction

1.2. Caractéristiques du canal de restitution

La géométrie du canal est décrite selon le profil en long et la section à Figure 1.2. De plus, les paramètres suivants sont à considérer :

- Rugosité du fond $K_{St,F}$: diamètre moyen du lit mobile $d_m = 5$ cm
- Rugosité des rives : protection par enrochements avec rugosité (selon Strickler) $27.5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Pente du canal : **3.5 %**
- Niveau d'eau admis dans le cours d'eau principal : 635.00 m s.m.
- Niveau d'eau maximal dans le cours d'eau principal en crue : **636.75 m s.m.**
- Rugosité (selon Strickler) dans la transition et le passage $K_{St} = 72 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (sur tout le périmètre)

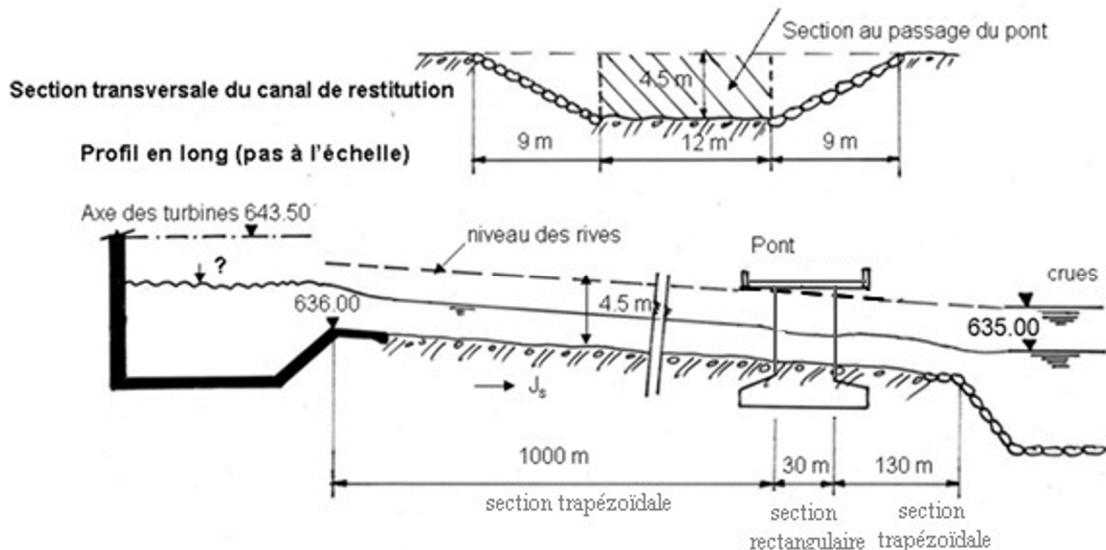


Figure 1.2 Caractéristiques géométriques du canal de restitution

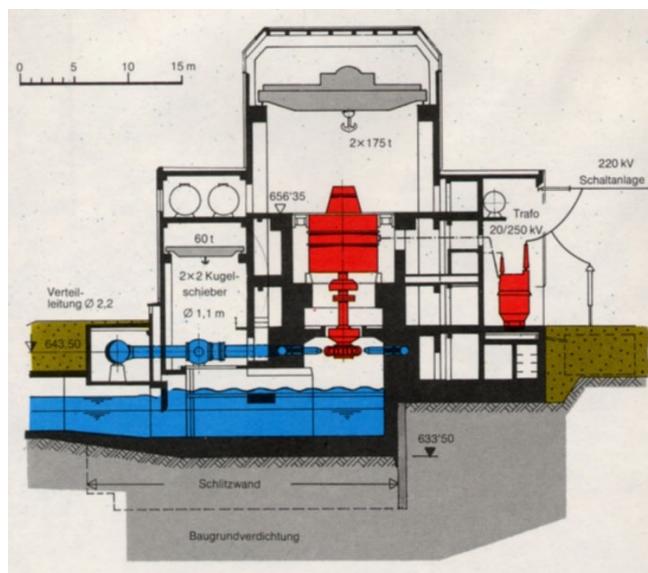


Figure 1.3 Coupe à travers la centrale (turbine Pelton)

2. Exercice

2.1. Questions à répondre

Deux cas distincts sont considérés :

- A. Dans un premier temps, une **section trapézoïdale uniforme** sur toute la longueur du canal de restitution est admise.
- B. Dans un deuxième temps, le **changement de section** au passage sous l'autoroute (transition et passage avec section rectangulaire) doit être pris en compte.

Pour chaque cas et pour chaque géométrie, calculer et noter les hauteurs d'eau caractéristique (critique et normale) et à la fin de vos calculs vérifier la validité des hypothèses que vous avez utilisées.

Question 1 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 2 – Cas A, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 3 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en conditions normales d'exploitation :

- a. Quel est le niveau d'eau dans la fosse de restitution des turbines pour le niveau normal dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur du canal la profondeur normale se produit-elle ?

Question 4 – Cas B, calcul de la ligne d'eau dans le canal en cas de crue :

- a. Quel est l'élévation du plan d'eau dans la fosse des turbines pour le niveau de crue dans le cours d'eau principal ?
- b. Sur quelle longueur la profondeur du canal de 4.5 m n'est pas suffisante ? Quelle est le rehaussement nécessaire ? Quelles sont les conséquences pour le projet ?

Question 5 : Considérez le cas B en conditions normales d'exploitation. L'exploitant peut-il ajouter une troisième turbine Pelton pour augmenter le débit total installé à 75 m³/s ?

Question 6 : Considérez que vous êtes législateur ou autorité fédérale ou cantonale, quels critères (i.e., OFEN) utiliseriez-vous pour classer le canal de restitution du point de vue de ses fonctions hydraulique, morphologique et écologique ? Discuter des avantages et inconvénients de restaurer ce tronçon comme mesure d'assainissement de la force hydraulique.

Question 7 : A l'aide d'un modèle établi sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) élaboré par United States Army Corps of Engineers (USACE) fournis sur Moodle, répétez les calculs de lignes d'eau pour le cas B en conditions normales d'exploitation et en cas de crue et comparez avec les résultats obtenus auparavant avec le modèle analytique.

2.2. Hypothèses de calcul

- Les niveaux dans le cours d'eau principal peuvent être considérés approximativement égaux au niveau d'énergie.
- Les pertes de charge locales (rétrécissement et élargissement) lors du passage du canal en-dessous de l'autoroute peuvent être négligées.
- La hauteur des rives gauche/droit est égale.
- Le tablier du pont se situe au-dessus du niveau des rives.

2.3. Rendu

Note de calcul (avec données originales) et profils en long de la ligne d'eau dans le canal de restitution en montrant avec échelle distordue les informations suivantes :

- Ligne du fond
- Hauteur normale de l'écoulement
- Hauteur critique
- Courbe de remous (ligne d'eau)
- Nombre de Froude et vitesse d'écoulement
- Ligne des rives

La hauteur critique, la hauteur normale de l'écoulement et le niveau du début de calcul doivent être spécifiés.

Il est possible que les assistants demandent la feuille de calcul sous format informatique si une clarification est nécessaire lors de la correction.