

Exercices liés au cours hydrologie urbaine « dimensionnement et modélisation »

Cet exercice englobe 3 cours différents :

- 1) Méthode rationnelle
- 2) Modélisation déterministe
- 3) Modélisation stochastique

Chaque cours est suivi d'un exercice spécifique qui devra être rendu dans les délais fixés. Différents exemples tirés de la pratique sont utilisés afin de vous montrer comment différents types de modèles sont utilisés par les ingénieurs.

Pour l'exercice sur la méthode rationnelle, le but est de dimensionner les canalisations d'un nouveau quartier et de voir dans quelle mesure une solution de rétention/infiltration pourrait être adéquate comme solution alternative.

Pour l'exercice de modélisation déterministe, le but est de concevoir un bassin de rétention pour les eaux pluviales urbaines. Ce bassin est inspiré du bassin sur la Louve à Lausanne, qui possède plusieurs fonctions : laminage des crues, déviation d'un cours d'eau, limitation des ECP et des eaux de ruissellement à la STEP, production d'hydroélectricité urbaine, biodiversité... Une visite de cet ouvrage a été effectuée dans le cadre du cours.

Finalement, l'exercice de modélisation stochastique permettra d'estimer les impacts des rejets (eaux claires du réseau séparatif et déversoirs d'orage) sur le cours d'eau récepteur du bassin précédent (ruisseau La Louve).

Bien que les exercices soient basés sur des cas réels, les données ont été simplifiées et adaptées dans le cadre de ce cours à des fins didactiques. Les dimensionnements et les résultats obtenus sont donc à considérer de manière purement indicative.

2. Modélisation déterministe

Cet exercice est lié au cours d'hydrologie urbaine sur le thème « Modélisation déterministe ». Le but ici est le dimensionnement, à l'aide du logiciel RS MINERVE, d'une dérivation en aval d'un bassin de rétention collectant l'ensemble des eaux de ruissellement du périmètre. Le logiciel RS MINERVE ainsi que son mode d'emploi et ses caractéristiques sont disponibles sous :

<https://crealp.ch/rs-minerve/>

Le logiciel est optimisé pour travailler avec une souris (fonctions de zoom, sélection, etc..). Mais il fonctionne parfaitement avec un trackpad. Le périmètre d'étude est situé dans un milieu urbanisé assaini essentiellement en mode séparatif d'évacuation des eaux (Figure 1). L'eau de ruissellement collectée rejoint néanmoins le collecteur unitaire de la Louve en aval. Afin d'éviter de surcharger la STEP avec ces eaux claires, une solution a été suggérée en construisant une canalisation de rejet en charge en direction du lac. Cette canalisation suit le tracé d'une infrastructure existante ("déchodus" Tridel et voûtement du Flon). Les eaux de ruissellement sont ainsi rejetées au niveau du lac sans surcharger le réseau unitaire. Il est également possible de produire de l'hydroélectricité par le biais de cette infrastructure. Des informations sur cette installation sont données sur Moodle.

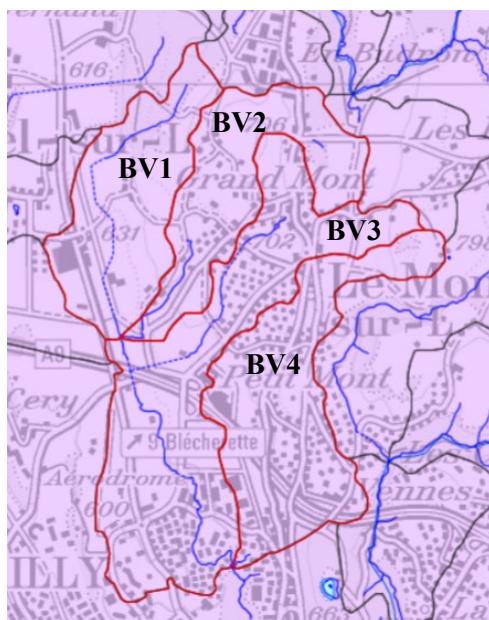


Figure 1 : Schéma global de la zone utilisée pour les différents exercices :
zone de la rivière « Petit-Flon » au nord de Lausanne

Une petite retenue est disponible pour stocker les eaux pluviales, d'un volume de 4200 m³ (surface d'env. 1100 m²). Cette retenue permet la mise en charge de la canalisation en direction du lac.

On vous demande de dimensionner le débit de sortie de l'installation, de manière à éviter, pour un temps de retour défini, un déversement depuis la retenue des eaux pluviales des bassins 1 à 4 dans le réseau unitaire situé en aval. La hauteur d'eau maximale dans la retenue ne devra pas excéder 4.5 m.

Dans le cadre de cet exercice, vous devez répondre aux 5 questions suivantes, en justifiant vos réponses :

- 1) Quel coefficient de Nash obtenez-vous après le calage du modèle ? Que pensez-vous du résultat ?
- 2) Quel débit minimum doit être considéré pour dimensionner la canalisation en charge en direction du lac, afin d'éviter un déversement d'eaux de ruissellement dans le réseau unitaire pour une période sélectionnée ?
- 3) Quel volume d'eau ne rejoint pas la STEP par le biais de cette installation, l'événement de dimensionnement ? Ce volume est-il conséquent pour la STEP de Vidy ? (Q_{moy} Vidy = env. 90'000 m³/j) : autrement dit, est-ce que l'investissement dans cette infrastructure se justifie ?
- 4) Quel est le temps de retour de l'événement de pluie du 26 août 2023, utilisé pour dimensionner le système ?
- 5) Quelles seraient les modifications les plus pertinentes à apporter au modèle pour améliorer le calage ?

Le modèle RS MINERVE permettrait de considérer l'écoulement de la partie perméable des bassins versants, de même que les processus d'infiltration, évaporation, etc. Mais pour des raisons de temps, cela ne vous est pas demandé dans l'exercice. La démarche consiste à modéliser la surface contributive des 4 sous-bassins versants indépendants (Figure 1) par un simple modèle d'écoulement SWMM¹. Les collecteurs de concentration seront simulés par un modèle d'onde cinétique². Le volume de rétention est défini, il faut satisfaire la contrainte de rejet (aucun rejet pendant une période pluviométrique fournie), en ajustant le débit de déversement en aval de l'installation.

2.1. Démarche

La démarche pour répondre aux questions se basent sur les 4 étapes suivantes. Vous serez guidés pas à pas dans ce document pour résoudre l'exercice.

- A) Construire le modèle hydrologique sur la base des données fournies sur Moodle (données SIG et données de pluie)
- B) Caler au mieux le modèle hydrologique sur la base des indicateurs proposés
- C) Dimensionner la canalisation de sortie de la rétention en direction du lac afin de limiter les rejets d'eaux de ruissellement dans le réseau unitaire (pas de rejet pour la durée sélectionnée)
- D) Analyse des résultats : temps de retour des pluies, analyser coûts/bénéfices...

Pour vous aider si nécessaire dans la réalisation de l'exercice, 2 vidéos indicatives sont mises en ligne par le CREALP (www.crealp.ch), le Centre de recherche sur l'environnement alpin, qui utilise également le logiciel RS MINERVE pour l'estimation et la prévision des crues notamment en Valais.

- Calibration du modèle :
<https://www.youtube.com/watch?v=YUNZj3FX9Ag>
- Création de modèles à partir de shapefiles :
https://www.youtube.com/watch?v=2Q_31AjPrtI

¹ Voir p. 17 du manuel technique RS MINERVE (édition avril 2020)

² Voir p. 47 du manuel technique RS MINERVE (édition avril 2020)

2.1.1 Données de base

Sur Moodle, 3 couches vectorielles sont fournies (Figure 2):

- Sous-bassins.shp : Découpage en sous-bassins du bassin d'étude
- Jonctions.shp : Localisation des jonctions
- Rivieres.shp : Localisation de la rivière

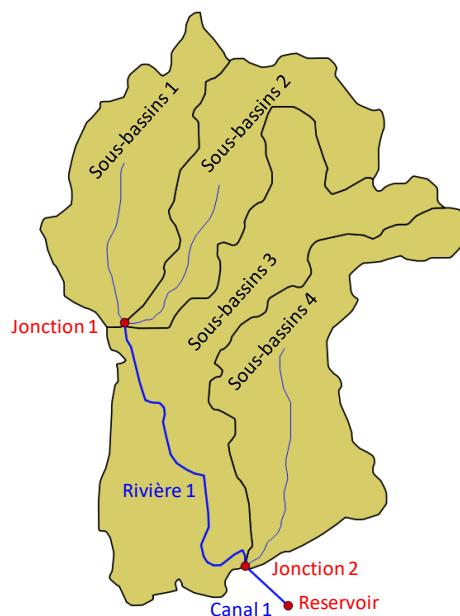


Figure 2: Schéma de l'exercice avec les différentes couches vectorielles

Dans RS MINERVE, il existe deux possibilités de créer un modèle. D'un côté, les objets peuvent être créés manuellement un à un puis connecté entre eux³. Cela permet notamment de modifier le modèle par la suite si des changements doivent y être apportés. D'un autre côté, une construction automatique est possible grâce au module SIG incorporé dans RS MINERVE. Pour cet exercice, nous vous proposons d'utiliser la seconde méthode en exploitant directement les informations contenues dans les couches vectorielles.

Pour la construction automatique du modèle, l'utilisateur doit fournir à RS MINERVE le lien existant entre les couches vectorielles. Pour ce faire, les tables d'attributs des couches doivent être complétées pour contenir cette information. Dans notre cas, cette information a déjà été ajoutée et voici les tables d'attributs complètes :

³ Voir p. 13 et suivantes du manuel utilisateur de RS MINERVE (édition avril 2020)

Couche Sous-bassins

ID	SB_Name	Jct_aval
1	SB_1	Jct_1
2	SB_2	Jct_1
3	SB_3	Jct_2
4	SB_4	Jct_2

Couche Jonctions

ID	Jct_Name	Riv_aval
1	Jct_1	Riv_1
2	Jct_2	Canal_1
3	Reservoir	NULL

Couche Rivière

ID	River_Name	Jct_aval
1	Riv_1	Jct_2
2	Canal_1	Reservoir

Par exemple, pour les sous-bassins, on voit que les sous-bassins 1 et 2 seront connectés à la jonction Jct_1. Pour les jonctions, la jonction Jct_1 sera connectée à la rivière Riv_1, alors que la jonction Reservoir ne sera pas connectée à une rivière étant l'objet le plus à l'aval du modèle (voir Figure 2), d'où le *NULL* dans la table d'attributs.

Partie A : Construction du modèle

Il va maintenant falloir créer le modèle dans RS MINERVE. Pour ce faire, réalisez les étapes suivantes :

- Démarrer le logiciel RS MINERVE et ouvrez le module GIS en cliquant sur l'onglet correspondant dans le menu principal.
- Avec le bouton *Add layers*, ajouter les 3 couches vectorielles (fichiers dans le répertoire « SIG2025 ») ; elles apparaissent dans la fenêtre principale du module GIS
- Ouvrez l'outil *Creation*, qui permet de construire le modèle à partir de l'information SIG.
- Pour les 3 parties *Subbasins*, *Junctions* et *Rivers*, renseignez les différents champs (voir Figure 3). Pour les 3 parties, il faut fournir :
 - le nom de la couche
 - l'attribut définissant le nom de chaque élément dans le modèle
 - l'attribut à utiliser pour lier les objets de la couche vers les objets à l'aval
- Pour les jonctions et les rivières, il s'agit encore de définir (dans le troisième menu déroulant) l'attribut à utiliser pour connecter les objets à l'amont vers les objets de la couche
- Définir pour les sous-bassins et les rivières le type d'objet à utiliser (choisir le bon type d'objet et sélectionner tous les objets (Ctrl+A), puis cliquer sur « Allocate... »). Nous utilisons un modèle type SWMM pour les bassins versants et l'onde cinématique pour les rivières

Vous remarquerez que pour les *Subbasins*, l'option *Compute Area, X, Y from shapefile* est cochée. Cela permet de définir directement depuis la couche vectorielle cette information et l'attribuer ensuite aux objets du modèle. La Figure 3 présente la configuration de l'outil *Creation* à obtenir avant de créer le modèle.

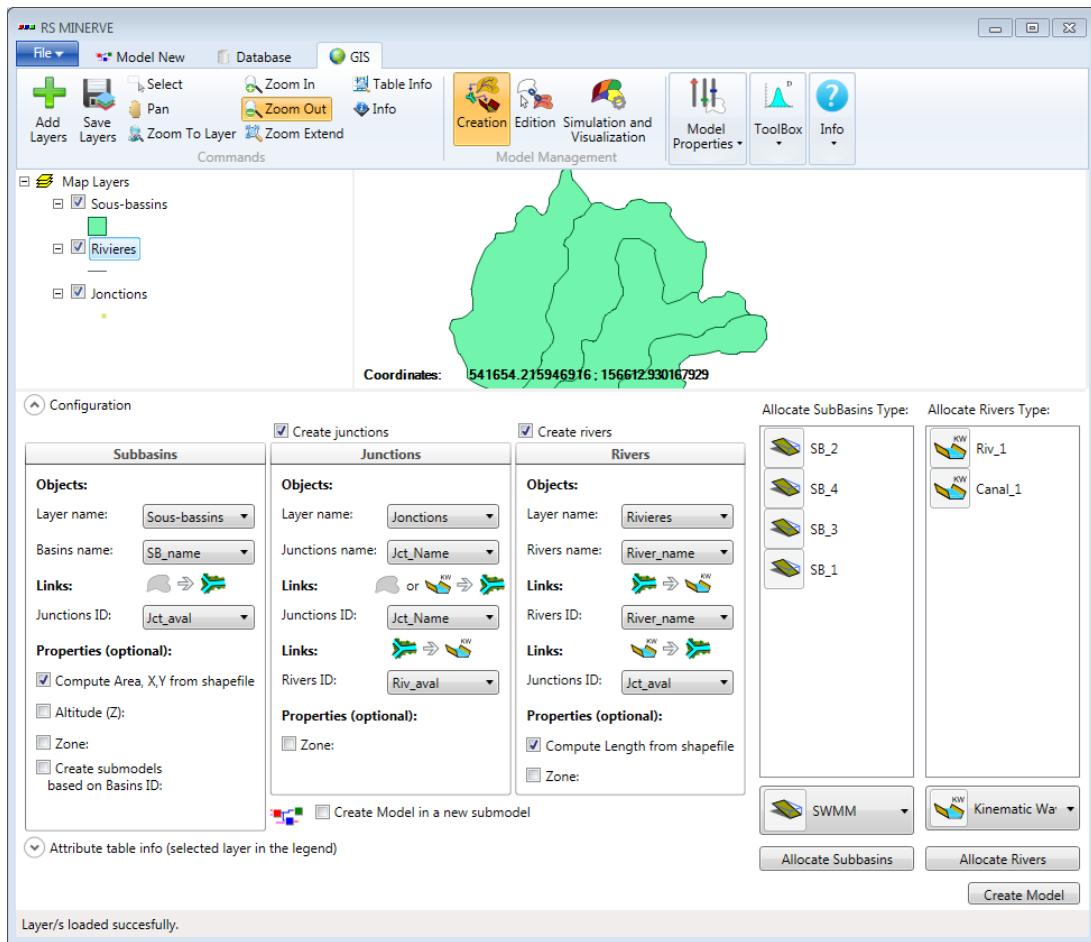


Figure 3: Configuration de l'outil 'Creation' pour la création automatique du modèle

Une fois la configuration en place, il vous reste à cliquer sur *Create model* (en bas à droite de l'écran). Cela devrait vous générer un modèle tel que présenté sur la Figure 4 que vous pouvez visualiser dans l'onglet « Model New » ou sous le nom de fichier enregistré.

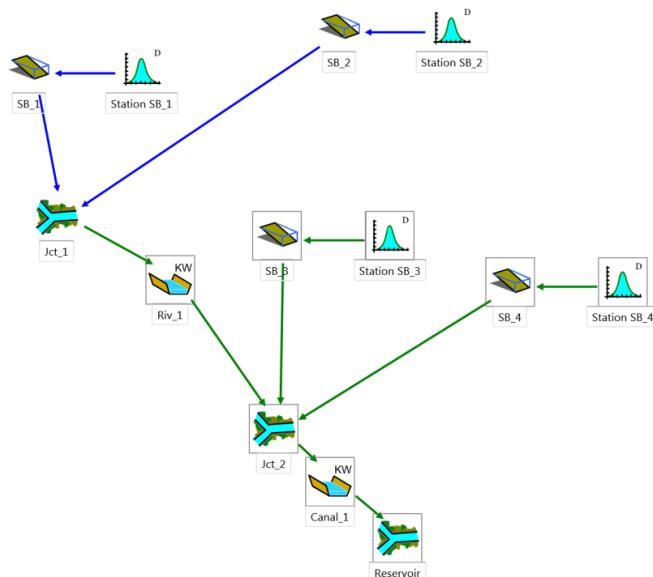


Figure 4: Modèle créé automatiquement

Il s'agit maintenant encore de modifier les paramètres des objets. Avec un double-clic sur un objet, les paramètres le décrivant sont affichés à droite. Pour les objets SWMM (voir Tableau 1), la surface a été calculée depuis la couche vectorielle. Dans le cadre de cet exercice, on s'intéresse à la partie urbanisée du bassin versant. La superficie des bassins versant est à modifier en fonction des données du Tableau 1. Il s'agit encore de renseigner la longueur, la pente et une valeur initiale pour la rugosité (sera calée plus tard). Pour la rivière (Voir Tableau 2), la longueur a été calculée depuis la couche vectorielle. Les paramètres à renseigner sont : la pente, la rugosité du fond du lit, la largeur du canal et la pente du talus.

Conseil : l'outil *Parameters* peut vous faciliter la modification de ces paramètres (attention à bien trier les objets par leur nom).

Tableau 1: Paramètres pour les sous-bassins

Paramètres	Unités	Bassin versant			
		1	2	3	4
Superficie imperméable (A)	m ²	195784	299478	743661	843926
Longueur (L)	m	2350	2700	3200	3500
Pente (J_0)	-	0.04	0.045	0.050	0.078
Rugosité (K)	m ^{1/3} /s	2	2	2	2

Tableau 2: Paramètres pour les rivières et canalisations

Paramètres	Unité	Rivière/Canalisation	
		Rivière_1	Canal_1
Largeur canal (B_o)	M	2.5	2
Pente talus (m)	-	1	1
Pente (J_0)	-	0.015	0.04
Rugosité (K)	m ^{1/3} /s	35	70

Le système modélisé est séparatif. Le modèle construit ne considère que les eaux de ruissellement des surfaces urbaines. Les eaux de la partie perméable des bassins versants sont considérées en ajoutant un débit constant de 25 l/s. L'objet *Time series* permet de définir un tel débit constant, raccordé à l'objet *Jct_2* (voir Figure 5).

- Ajoutez un objet Time Series. Renommez-le en « Q347 ».
- Connectez l'objet avec la jonction *Jct_2* (utiliser la touche *espace* pour passer en mode *Connections* : une croix se matérialise sur l'objet à relier, maintenir la sélection et glisser vers l'objet à relier).
- Avec un double-clic, affichez les informations de l'objet. En cliquant sur l'onglet *Values*, vous pouvez entrer des données (en temps relatif, en nombre de seconde depuis le début d'une simulation).
- Entrez deux lignes (par exemple aux temps 0 et 1 seconde avec la valeur 25 l/s). Attention aux unités (soit convertir la valeur en m³/s, soit modifier dans les paramètres (bouton *Edit*) l'unité pour *Flow*). La dernière valeur fournie est ensuite interpolée, donc le débit sera considéré pour l'ensemble de la modélisation.

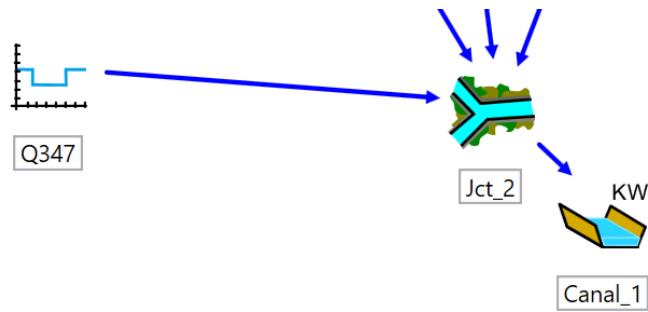


Figure 5: Nouvelle configuration autour de la jonction Jct_2

Un fichier dbx vous est fourni avec la pluie et le débit (fichier « Data 2025 »). La série de pluie à pas de temps 10 minutes comprend la période 2017 – 2025. Pour les débits, les données couvrent la période 2022 – 2025. Pour importer ces données dans le modèle :

- Ouvrez l'onglet *Database*
- Le bouton *Open*, vous permet d'importer les données depuis le fichier de base de données Data.dbx fourni dans le cadre de ce cours. Ce fichier contient les données pluviométriques et les données mesurées sur le bassin versant. Vous pouvez visualiser ces données en sélectionnant les différentes séries (Figure 6).

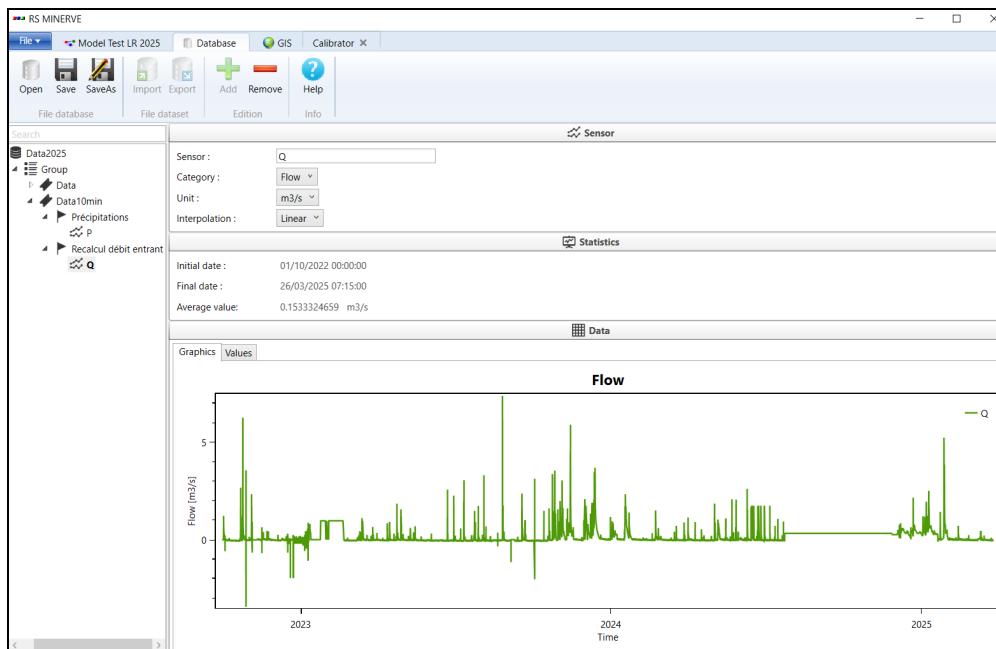


Figure 6: Visualisation des données dans la base de données de RS Minerve.

Remarquez que les données de débits (mesures) comportent pas mal de valeurs « bizarres » !

Les données de débit et de précipitation sont maintenant importées et pourront être utilisées pour la suite de l'exercice.

Il faut cependant encore modifier quelque peu le modèle pour y joindre le débit simulé et le débit observé (Figure 7).

- Ajoutez un objet *Source*, permettant de lire des données depuis la base de données (icône en forme de robinet).
- Ajoutez un objet *Comparator*, permettant de créer un point de comparaison entre un débit simulé (provenant dans notre cas de la *Jonction*) et un débit observé (provenant ici de la *Source*).
- Créez un lien de la *Jonction Reservoir* vers le *Comparator* et de la *Source* vers le *Comparator*.
Attention : Lors de ces créations, il s'agit de définir quel débit correspond à la référence ($Q_{\text{Reference}}$) respectivement à la simulation ($Q_{\text{Simulation}}$). Du réservoir au comparateur $Q_{\text{down}} \rightarrow Q_{\text{simulation}}$ et de la source au comparateur Variable $\rightarrow Q_{\text{référence}}$.

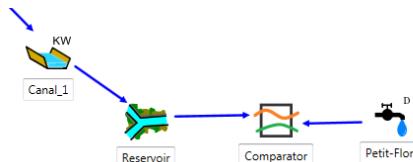


Figure 7: Ajout d'une Source et d'un Comparator

Pour terminer la préparation du modèle, il faut encore créer le lien entre celui-ci et la base de données. Pour cela, il vous faut renseigner la fenêtre *Data source* (partie gauche de la fenêtre). Une fois rempli, la fenêtre ressemblera à l'exemple de la Figure 8.

Data source		
Name	Group	Dataset
Station	Group	Data10min
Source	Group	Data10min
Reservoir		

Figure 8: Fenêtre Data source remplie

Pour l'objet *Source*, il faut encore informer RS MINERVE sur la série de données de débit à utiliser dans la base de données. Dans notre cas, il y en a une seule dans la base de données, mais il peut y en avoir beaucoup plus. Après un double-clic sur l'objet *Source*, choisissez dans le menu déroulant (fenêtre à droite de l'écran) *Series identifier* la série « **Mesure recalcul débit entrant*Q** ».

Enregistrez votre modèle ainsi que la base de données.

Nous allons maintenant procéder à la première simulation. Entrer dans le *Solver* (sous le *Data source*, en bas à gauche de la fenêtre) la période définie dans l'énoncé (**14.10.2023 00:00 – 14.03.2024 00:00**), pas de temps 10 minute et valider le modèle en cliquant sur *Validation*. Si votre modèle n'est pas valide (présence de *Fatal errors*), corrigez ce qui doit l'être. Les *Warnings* et les *Notes* servent à informer l'utilisateur mais n'empêchent pas de simuler. Si le modèle est valide, vous pouvez appuyer sur *Start* et analyser vos premiers résultats. Par simplicité, définissez toutes les conditions initiales à 0 (SWMM, rivières et canalisations).

Après votre première simulation, utilisez les valeurs au 01.10.2023 comme nouvelles conditions initiales (outil « Conditions on » → *Apply* sous le *Solver*). En double-cliquant sur l'objet « Réservoir » vous verrez à droite de votre écran l'hydrogramme pour la période modélisée. **Notez le débit max simulé à cette étape.**

Partie B : Calage du modèle

Le calage du modèle va consister à ajuster les paramètres de rugosité des objets SWMM. L'outil *Expert -> Calibrator* permet un calage automatique.

Une fois ouvert le Calibrator, définissez :

- Object type : SWMM
- Zones A (tous les objets ont la même zone)
- Le Comparator à utiliser (vous devriez en avoir qu'un...)
- Le(s) paramètre à caler : le paramètre K avec un intervalle possible de valeurs entre 1 et 20 $m^{1/3}/s$. Les paramètres apparaissent en cliquant sur la zone A.
- Définissez une Fonction objectif à partir des 3 indicateurs proposés dans la démarche (Nash, RRMSE, Relative Volume Biais: donnez un poids de 1 à chaque indicateur).
- Définissez le pas de temps de simulation et le pas de temps d'enregistrement à 600 s (dt compute et dt save).
- La période à utiliser est celle du **14.10.2023 au 14.03.2024 00:00**.

Le nombre d'itération MAXN peut être défini manuellement (en bas à gauche dans la case « Algorithm Parameters, bloc « Hydrologic parameters Optimization ». Par défaut ce nombre est fixé à 7000, mais vous pouvez stopper le processus à n'importe quel moment. A la fin du calage (soit après MAXN itérations, soit après un arrêt par l'utilisateur), les paramètres donnant la valeur de Fonction objectif la plus élevée sont automatiquement incorporés au modèle lorsque l'on sauvegarde les résultats. Vous pouvez le constater en retournant dans le menu « Parameters », paramètres SWMM.

Une fois le résultat enregistré, notez la valeur de K estimée qui fournit le meilleur résultat sur la base de ce calage. En double-cliquant sur l'objet « Réservoir » vous verrez à droite de votre écran l'hydrogramme pour cette période **après calage**. Notez le débit max simulé et comparez cette valeur à celle obtenue avant calage : vous pouvez constater ainsi l'importance de caler un modèle avant son utilisation pour un dimensionnement...

Partie C : Dimensionnement de la conduite en direction du lac

Le but de cet exercice est de dimensionner au mieux la canalisation de sortie, de manière à éviter, pour un temps de retour défini, un déversement du bassin de rétention dans le réseau unitaire de la ville.

L'événement de précipitation à utiliser pour le dimensionnement de l'ouvrage est celui du **26 août 2023** (période du 26.08.2023 09:00 – 28.08.2023 09:00). L'estimation du temps de retour de cet événement sera demandée à la question suivante.



Le bassin de rétention peut être incorporé à l'aide de l'outil « réservoir » de RS MINERVE. Les caractéristiques de ce réservoir doivent être rentrées sous la forme d'une fonction Hauteur/Volume : une hauteur d'eau donnée dans le réservoir correspond à un certain volume de stockage. De manière simplifiée, dans cet exercice on se basera sur un réservoir rectangulaire. Vous pouvez entrer manuellement les points caractéristiques de cette relation ($H=0, V = 0 ; H = 4.5 \text{ m}, V = 4200 \text{ m}^3$). Pour cela, double-clic sur l'objet Reservoir puis onglet *Values* de la Series H-V.

Remarque : n'importe quelle forme de réservoir peut être rentrée à l'aide de cette formulation.

Le contrôle du remplissage du réservoir et de sa vidange se base sur un déversoir d'orage que l'on modélise dans RS MINERVE sous la forme d'une relation hauteur / débit HQ. L'objet « Réservoir » et « Déversoir » sont liés de la même manière que précédemment, une jonction est ajoutée pour estimer les débits à l'aval. La schématisation de cette partie du réseau est donnée dans la Figure 9.

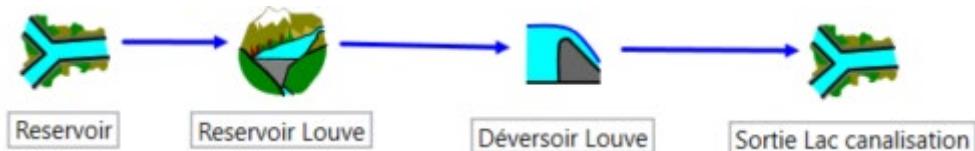


Figure 9: Schématisation du réservoir et du déversoir

Vous devez trouver le débit optimal qui permet d'éviter le rejet d'eau de ruissellement (= **ne pas dépasser une hauteur de 4.5 m dans le réservoir**) dans le réseau unitaire en aval pour l'événement donné en définissant la forme de cette relation. Dans notre cas, le débit augmente linéairement jusqu'à une hauteur de 0.2 m puis reste constant à la valeur de dimensionnement (Figure 10). A vous de trouver la valeur optimale.

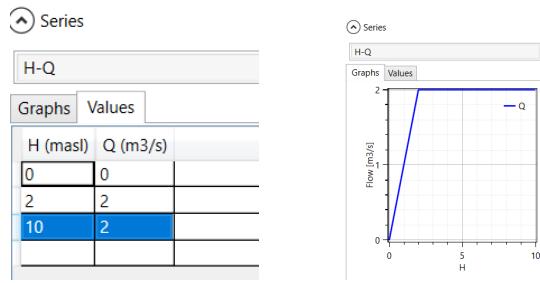


Figure 10 : Caractéristiques de la fonction déversoir (valeur max indicative), sous forme de tableau (à gauche) et de graphe (à droite). Vous devez modifier la valeur de Q jusqu'à obtenir une hauteur maximale de 4.5 m dans le réservoir.

Avant d'effectuer une première modélisation, vous devez valider votre modèle en termes de cohérence à l'aide du bouton « Validation », en bas à droite de l'écran. Ce test définira si vos données sont cohérentes et que le modèle peut être utilisé. Les résultats de cette validation sont affichés dans la fenêtre de droite du modèle.

Avant de lancer une première simulation, changer le pas de temps de calcul et d'enregistrement à 1 minute (Simulation time STEP et Recording time STEP).

Une fois la simulation effectuée, une série d'information vous est donnée dans la fenêtre de droite. Vous pouvez visualisez les résultats de la modélisation (débits, hauteur d'eau, volume...) en double-cliquant sur les différents éléments du modèle.

Partie D : Analyse des résultats

Une fois le modèle calé, validé, et l'ouvrage dimensionné correctement, il s'agit d'analyser les résultats de manière critique à travers une liste de questions :

- 3) Quel volume d'eau ne rejoint pas la STEP par le biais de cette installation, pour l'événement du 26 août 2023 ? Ce volume est-il conséquent pour la STEP de Vidy ? (Q_{moy} Vidy = env. $90'000 \text{ m}^3/\text{j}$)**

Après avoir défini un débit optimal (à +/-10%), estimatez le volume d'eau non acheminé à la STEP pour cette période et ce qu'il représente (en %) pour la STEP de Lausanne. Les résultats du modèle peuvent être exportés dans Excel par exemple et analysés (Figure 11).

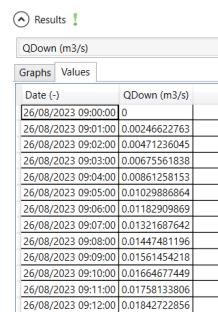


Figure 11 : Valeurs de débits modélisés dans la canalisation en direction du lac : il est possible de calculer le volume rejeté sur cette base (exportation dans Excel p.ex.)

Vous pouvez aussi ajouter des « éléments fictifs » dans votre modèle, sous la forme d'un bassin de rétention énorme terminé par un déversoir qui ne se met jamais en fonction : tout le volume est stocké, vous pouvez le visualiser. Pour estimer la quantité d'eau en direction de la STEP, il est par exemple possible de rajouter un déversoir d'orage avec une relation hauteur / débit HQ commençant à partir de $H = 4.5 \text{ m}$ et de faire le cumul du débit déversé (Figure 11). Vous pouvez ainsi par exemple modéliser l'événement de pluie des 11-12 juin 2018 et estimer la quantité d'eau qui a été déversée vers la STEP à cette occasion...

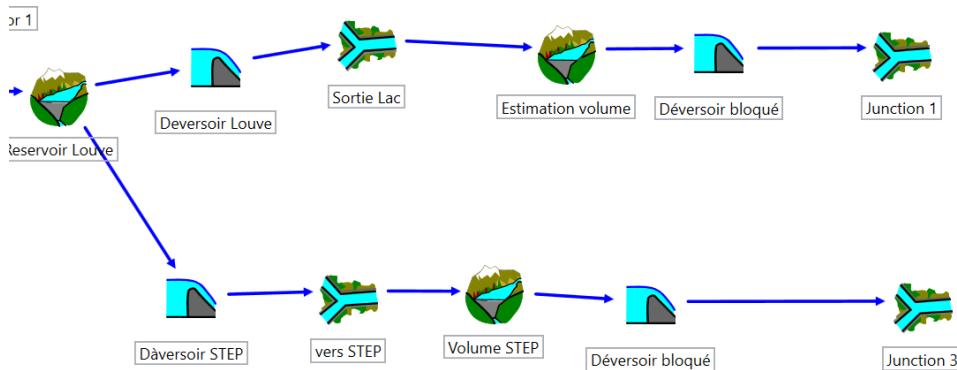


Figure 12: Ajout d'éléments fictifs dans le modèle pour estimer les volumes déversés

Relation H/Q déversement STEP : (0 ;0), (4.5 ;0), (10 ;200)

Réservoir pour calcul Volume, relation H/V : (0 ;0), 10 ;10000

Déversoir bloquant, relation H/Q : (0 ;0), (1 ;0), (2 ;0)

3) Quel est le temps de retour de l'événement du 26 août 2023, en se basant sur les courbes Hörlér et Rhein utilisées dans l'exercice sur la méthode rationnelle ?

La réponse à cette question permet de classer l'événement pour voir s'il s'agit d'un événement exceptionnel, auquel cas le dimensionnement en tenant compte de cet événement pourrait être considéré comme excessif. Une aide est fournie en annexe.

Finalement dernière question :

5) Quelles seraient les modifications les plus pertinentes à apporter au modèle pour améliorer le calage ?

Pour cette question, il faut réfléchir aux hypothèses de modélisation faite dans l'exercice et proposer des solutions d'amélioration afin de mieux valider le modèle. Une réflexion sur les données utilisées est également attendue. Des critiques en lien avec le modèle lui-même (ergonomie, processus, outils disponibles...) sont bien entendu possibles.

Annexe : Estimation du temps de retour d'une pluie

Le temps de retour d'une précipitation mesurée apporte des éléments importants aux responsables de la gestion des eaux en milieu urbain. En effet, il s'agit de voir si cet événement se situe dans la gamme des événements pour lesquels le système d'évacuation / les infrastructures ont été dimensionnés. Si cet événement dépasse ce cadre (temps de retour supérieur par exemple à 5 ans en ville), il est considéré comme « extraordinaire », les dégâts éventuels générés seront pris en compte par les assurances (dans la plupart des cas...).

De manière simplifiée, il est possible de comparer un événement pluviométrique avec des statistiques pluviométriques locales, par exemple résumées dans les courbes IDF de Hörler et Rhein. L'utilisation d'autres courbes locales IDF est bien entendu possible !

Ces courbes IDF se définissent dans le cadre de l'équation de Hörler et Rhein à l'aide de :

$$i = \frac{K}{t+B} \quad [1]$$

Avec :

- i: Intensité pluviale de dimensionnement (l/s ha)
- K: Constante f(temps de retour, localisation)
- t: Durée de la pluie (min)
- B: Constante de lieu (min)

Les valeurs pour K et B sont données dans la Figure 13 et le Tableau 3.

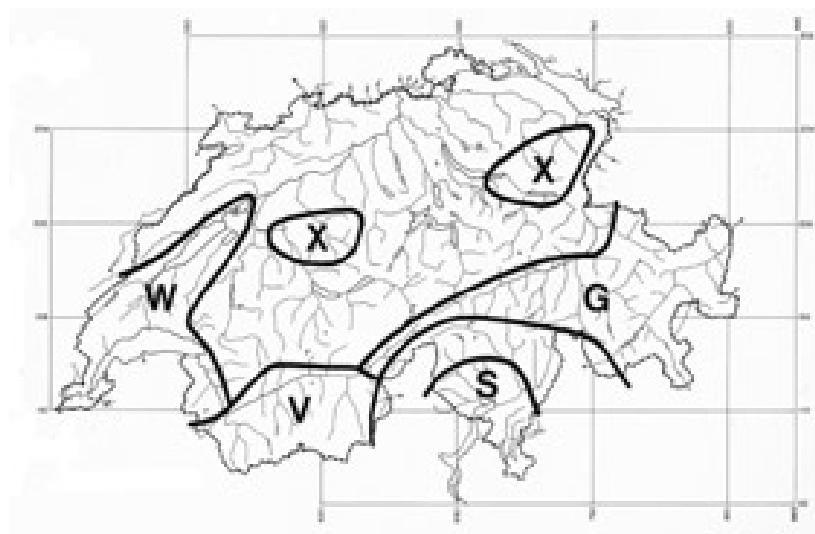


Figure 13: Zones définies pour l'équation de Hörler et Rhein

Tableau 3: Paramètres de l'équation de Hörler et Rhein

Zones d'Intensité	Valeur de K pour fréquences $n = I$ jusqu'à $n = 1/10$				Valeur de B
	I	$1/2$	$1/5$	$1/10$	
V	1050	1359	1700	2100	6
G	1900	2450	3000	3750	10
W	2700	3500	4300	5400	12
X	4050	5250	6500	8100	12
S	6000	7800	9600	12000	25
Autres domaines	3400	4400	5400	6750	12

Sur la base de ces données, il est possible de représenter graphiquement les courbes IDF d'un lieu donné, par exemple Lausanne (Figure 15) :

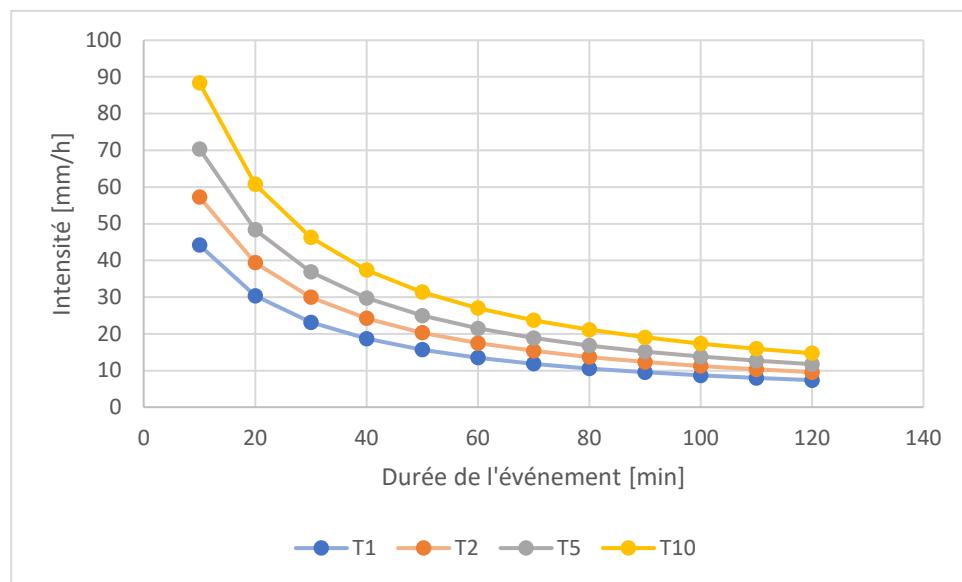


Figure 14: Courbes IDF pour la région de Lausanne

A noter que la durée des événements pluviométriques considérés est faible (1 h, voir 2 h) : on se focalise ici sur des événements pluviométriques courts. Il n'est pas possible d'utiliser cette méthode pour évaluer des événements très longs, de l'ordre de 24h par exemple.

Pour le calcul d'un temps de retour on va considérer, de manière simplifiée, l'intensité maximale d'un événement de pluie sur un pas de temps donné et le comparer à ces courbes IDF. Par exemple, 10 mm/h sur une durée d'une heure correspond, comme on peut le voir sur la Figure 2, à un temps de retour < 1 an. Une intensité beaucoup plus importante, par exemple de 50 mm/h pendant 1 h, correspond à temps de retour > 10 ans : c'est un événement que l'on peut qualifier d'exceptionnel.

Si on veut être plus rigoureux, on calculera le temps de retour d'un événement réel pour différentes durées : pour ce faire on calcule l'intensité maximale de l'événement sur plusieurs durées (10 min, 20 min, 1h, 2h, 3 h...) à l'aide d'une moyenne mobile.