

Risques hydrologiques & aménagement du territoire
Projet d'évaluation

Professeur responsable : Christophe ANCEY

Assistant responsable : Sofi Farazande

Date limite de rendu : vendredi 10 janvier 2025 – 18 h

Conditions du projet : travail à rédiger seul. Il faut répondre de façon concise aux questions en traçant les figures demandées et en donnant les réponses trouvées. Il n'est pas utile de fournir des explications détaillées sauf si cela est expressément demandé. Tout type de logiciel est autorisé pour répondre aux questions. Les étudiants doivent rendre une copie la forme d'un cahier jupyter, possiblement accompagné d'un document au format PDF pour tout complément. Le rapport peut être en rendu dans l'une des langues suivantes : français, anglais, italien, et espagnol. Le projet sera adressé à Mme Farazande par courriel avant la date limite de rendu.

Données disponibles : séries temporelles des pluies (dataP.txt) et des débits (dataQ.txt) disponibles à l'adresse indiquée en cours ou en cliquant sur ce [lien](#) pour les données actualisées (octobre 2024) comprenant les pluies à Ried et Blatten (soit 0 h TU à 0 h TU, soit 6 h TU à 6 h TU) et les débits moyens journaliers dans la Lonza à Blatten. Pour ceux qui ont commencé le projet, il est possible d'utiliser l'ancien jeu de données **Attention pour le vieux jeu de données :** les débits sont donnés en m³/s et les pluies en dixièmes de millimètre. [prendre les données sur le [site web](#)]

Philosophie du projet : les problèmes 1–4 sont de difficulté croissante. Le dernier problème demande plus de réflexion et de compréhension de ce qui se passe dans le bassin-versant alors que les trois premiers sont des exercices visant à manipuler les outils vus en cours.

Contexte. Vous étudiez un bassin-versant de la Lonza dans le Valais, au niveau du village de Blatten (la Lonza est un affluent du Rhône, qui coule dans le Lötschental pour rejoindre le Rhône au niveau du village de Steg) afin d'assurer la protection d'un village. Vous souhaitez établir les caractéristiques de la crue de projet. Dans ce projet, les caractéristiques d'une onde de crue sont supposées entièrement reflétées à travers le débit de pointe journalier ; de plus, pour satisfaire aux obligations légales, la crue de projet doit être prise de période de retour 100 ans. Malheureusement, vous ne disposez que de 25 années de données aussi bien pour la pluie sur le bassin-versant que sur le débit de la rivière étudiée. Il faut donc réaliser une étude statistique détaillée pour arriver à la meilleure estimation possible du débit de projet.

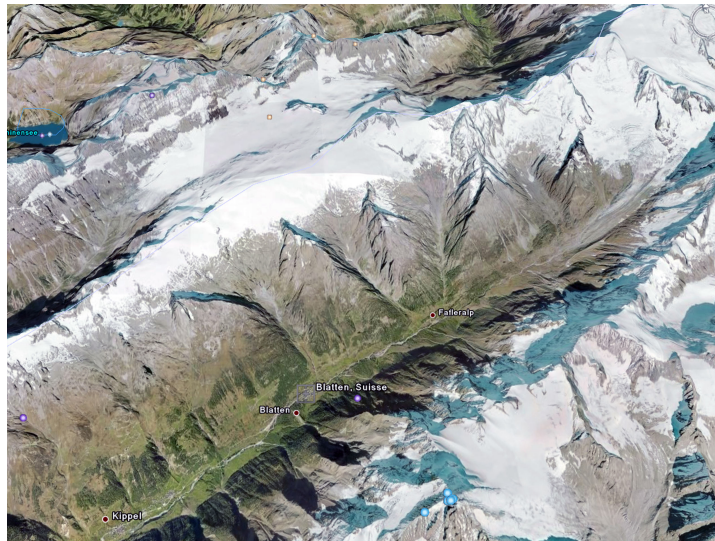


Figure 1 : vue en perspective reconstituée. Source : Google Earth.

Position de Blatten sur la carte nationale suisse : cliquer le [lien](#).

Objectifs du projet. - Les objectifs du projet sont

- d'arriver à faire des estimations des précipitations et débits sur un petit bassin-versant sans données précises ;
- de calculer le débit de pointe de période de retour 100 ans en s'aidant de séries temporelles. Pour cela, différentes méthodes basées sur l'étude des pluies ou des débits doivent être utilisées. On va vous proposer d'employer la théorie des valeurs extrêmes et une méthode de transformation pluie-débit (gradex).

Problème 1 Étude simplifiée par prédétermination : estimation du débit de pointe centennal

- (1) Donner des estimations des pluies décennales et centennales journalières à Blatten.
- (2) Par la méthode de votre choix, estimer le débit décennal de pointe de la Lonza à Blatten.
- (3) Par la méthode de votre choix, estimer le débit journalier centennal de la Lonza à Blatten.

Ce problème est « qualitatif ». Vous devez trouver des données (ne pas employer celles mises à disposition pour le reste du projet) et bien préciser leur source (les sites ci-dessous offrent des possibilités, mais votre choix est libre), vous devez opter pour une méthode de prédétermination des débits (justifier ce choix, qui peut être commandé par votre intuition, la nature du site, le type de données disponibles, etc.). Cette question doit servir à vous faire obtenir une première estimation des paramètres hydrologiques importants en l'absence de séries temporelles (l'exploitation de telles séries constitue la suite du projet).

Vous pouvez consulter, par exemple, les sites

- [wanderland](#),
- map.geo.admin.ch

pour avoir une cartographie du bassin-versant à l'amont de Blatten.

Concernant l'hydrologie, vous pouvez consulter (liste non exhaustive) :

- les données hydrologiques de l'OFEV : [station de Blatten](#),
- les données de précipitations moyennes de Météo Suisse : [poste de Blatten](#),
- l'annuaire hydrologique de la Suisse (OFEV) : [annuaire 2023](#),

- l'atlas hydrologique de la Suisse (HADES) : [cartes de précipitations extrêmes](#),
- les données ERA5 Land : [ECMWF](#). Un compte doit être ouvert pour télécharger les données. Vous avez le choix entre différents types de données, avec des granularités (c'est-à-dire des durées) différentes. Outre les données ERA5-Land qui couvrent les dernières décennies, il y a aussi la reconstruction des précipitations mensuelles depuis 1871 : voir [la page consacrée](#).

Problème 2 Étude hydrologique des pluies : caractère *iid* des données

- (1) Calculer la distribution des cumuls mensuels de pluie. Pour chaque mois de l'année, on calculera la moyenne des cumuls de pluie mensuels. On tracera sous forme de diagramme « bâtons » le cumul mensuel de pluie en fonction du mois de l'année. En examinant ce diagramme, qu'en déduisez-vous sur l'équidistribution des pluies sur ce bassin-versant ? À quoi ce résultat peut-il servir par la suite ? Calculer la moyenne des cumuls annuels de pluie.
- (2) On considère toutes les pluies journalières dépassant 1 mm. Tracer la densité de probabilité empirique de l'échantillon, puis la fonction de répartition empirique.
- (3) On cherche ensuite à examiner si cet échantillon est distribué selon une loi exponentielle $\mathcal{Exp}(\lambda)$. Pour cela, on applique une méthode d'ajustement (vous avez le choix) pour calculer le coefficient λ de la loi exponentielle ; on reporte la courbe ainsi ajustée sur les diagrammes (densité et fonction de répartition empiriques). Quel est l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimateur $\hat{\lambda}$? Est-ce que la loi exponentielle est une bonne représentation de la loi de probabilité des chutes journalières de pluie ?
- (4) Est-ce que la série des chutes de pluie journalières est stationnaire ?
- (5) Pour chaque année de la série, calculer le nombre de chutes de pluie ayant dépassé un seuil de $s = 1$ mm. Répéter le calcul avec un seuil de $s = 20$ mm. Tracer la distribution de probabilité sous la forme d'un histogramme pour chaque seuil.
- (6) On essaie d'ajuster une loi de Poisson $\mathcal{P}(\lambda)$ par la méthode des moments, la méthode du maximum de vraisemblance, et l'inférence bayésienne. Pour la méthode des moments, tracer la densité de probabilité de la loi de Poisson et comparer avec l'histogramme pour chacun des seuils. Qu'en concluez-vous ?

- (7) Pour la méthode du maximum de vraisemblance, calculer la log vraisemblance pour l'échantillon des données avec un seuil de $s = 20$ mm et en déduire l'estimateur $\hat{\lambda}$.
- (8) Pour la méthode bayésienne, donner l'algorithme de Metropolis permettant le calcul de la probabilité *a posteriori* de λ . On prendra un prior uniforme et une loi instrumentale gaussienne, dont les paramètres sont au choix de l'étudiant. Simuler la densité *a posteriori* de λ en calculant un échantillon de 10'000 valeurs. Vérifiez la convergence de l'estimateur ; l'estimateur est considéré être le mode de la densité de probabilité. Quelle différence avec les autres méthodes ?

Problème 3 Étude hydrologique des pluies : application de la théorie des valeurs extrêmes

- (1) Calculer les maxima annuels des chutes de pluie. En appliquant la méthode du maximum de vraisemblance, déduire le type de loi représentant le mieux l'échantillon de maxima ? Est-ce que vous pensez qu'une loi de Gumbel aurait été pertinente pour interpoler l'échantillon.
- (2) Représenter dans un diagramme (C, T) la loi de probabilité (de dépassement) des pluies journalières en fonction de la période de retour T en reportant les données mesurées et la loi de valeurs extrêmes ajustée précédemment. Calculer le quantile de pluie correspondant à une période de retour $T = 100$ ans.
- (3) Afin d'appliquer la méthode POT, on trace en premier lieu la moyenne conditionnelle $\mathbb{E}[C - s | C > s]$. Où situez-vous le domaine linéaire ? Qu'en conclure sur le paramètre ξ ? Quel seuil vous paraît adéquat ?
- (4) Appliquer la méthode du maximum de vraisemblance. Comparer les méthodes POT et des maxima annuels. En tirer une évaluation de la pluie centennale.

Problème 4 Étude hydrologique des débits : application de la méthode du gradex et de la théorie des valeurs extrêmes

- (1) Évaluer le débit décennal avec les données à votre disposition. Par application de la méthode du gradex, évaluez le débit centennal.
- (2) Comment passeriez-vous des débits journaliers de la base de données à des débits de pointe (instantanés) ?
- (3) Déterminer la loi de probabilité des valeurs extrêmes (par la méthode de votre choix) pour les débits journaliers. Calculer le débit centennal.
- (4) Quelle différence de comportement notez-vous avec les pluies ?
- (5) Tracer dans un diagramme les couples (P, Q) pour chaque journée de la chronique 1974–98. Que remarquez-vous ? Pensez-vous qu'il existe un lien direct entre la pluie tombée le jour précédant (ou les jours précédant la crue) et le débit de pointe ? Si vous pensez que non, quel processus physique pourrait expliquer la valeur obtenue par les débits ?