



Point de presse du 22 février 2021

Crués extrêmes de l'Aar Méthodologie et résultats

Dr Christoph Hegg, Institut fédéral de recherches WSL
Dr Daniel Viviroli, Université de Zurich



Organisation de l'étude

Lot 1 Synthèse

- Coordination générale
- Synthèse des résultats
- Analyse par arbre d'événements
- Propagation des incertitudes



Lot 2 Hydrométéorologie

- Développement de séries chronologiques de températures, de précipitations et de débit
- Analyse statistique
- Comparaison avec les crues historiques



UNIVERSITÄT
BERN

Lot 3 Hydraulique et morphologie

- Modélisation hydraulique
- Processus morphologiques
- Analyse des débris flottants

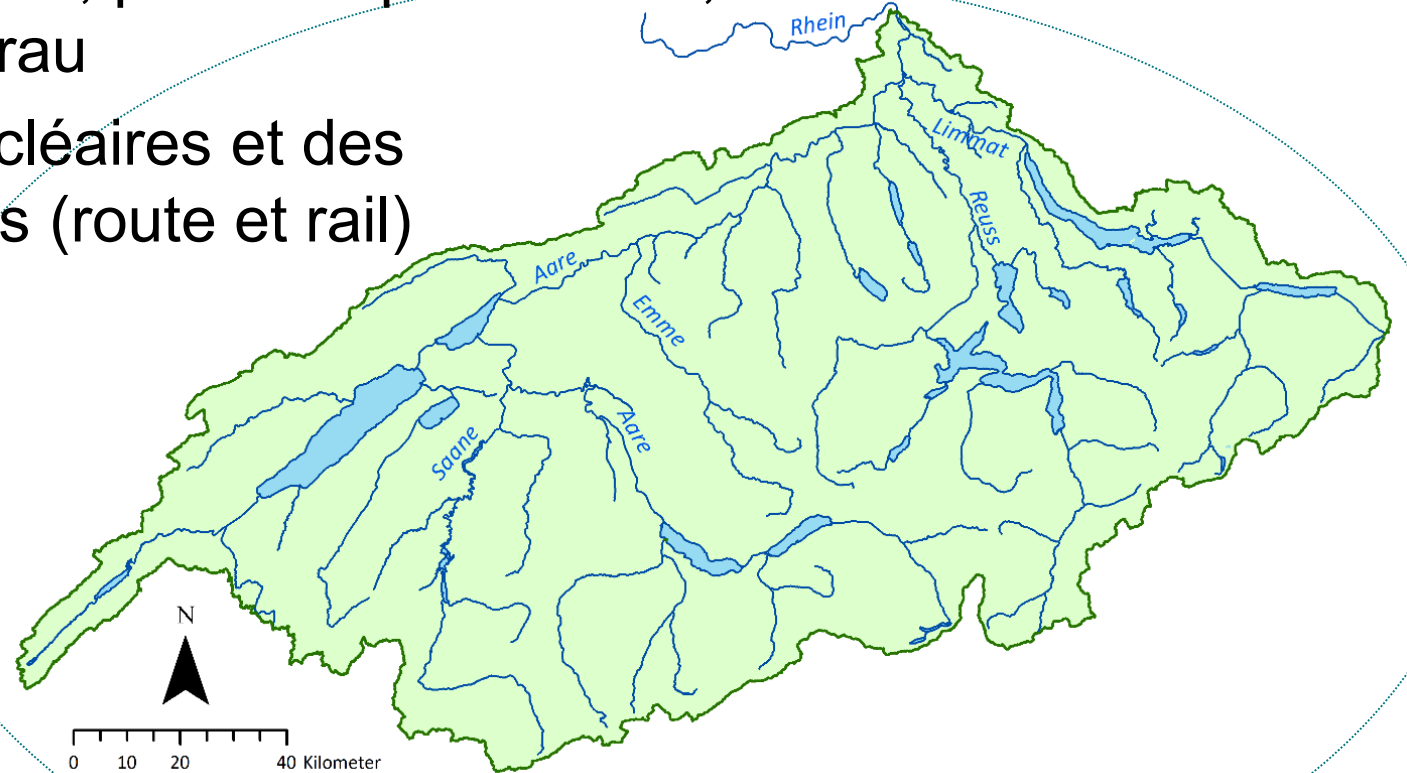


Lot 4 Analyse des ouvrages

- Analyse des ouvrages
- Analyse des glissements de terrain
- Probabilités de défaillances

Bassin versant de l'Aar

- Parcours de 288 km
- Superficie de 17 700 km² (43 % de la Suisse)
- De nombreuses villes sur l'Aar, par exemple Thoune, Berne, Soleure, Olten et Aarau
- 19 barrages, 3 centrales nucléaires et des voies de transport nationales (route et rail)
- Débit moyen au confluent avec le Rhin : 560 m³/s



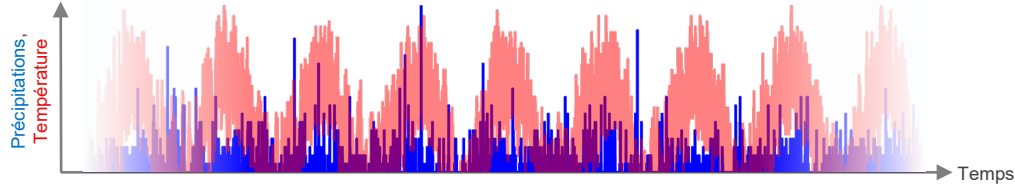


Méthodologie de l'étude

- Simulation de **séries de température et de précipitations, heure par heure** pour 300 000 ans à l'aide de générateurs de données météorologiques.
- Conversion des précipitations en **débits** pour tous les cours d'eau du bassin versant de l'Aar à l'aide de modèles hydrologiques.
- Sélection de courbes de crues liées aux précipitations pour des périodes de retour de **100 à 100 000 ans**.
- Identification de six **points clés** dans le système de l'Aar par l'analyse des défaillances d'ouvrages.
- **Analyse du danger local en cas de** crues extrêmes pour cinq sites, tenant compte de la défaillance des ouvrages, des glissements de terrain et des processus morphologiques. Visualisation des résultats avec **courbes de danger potentiel (aléa) et cartes des inondations**

Météorologie et hydrologie

Générateurs
Météorolo-
giques



Bases : données horaires de températures et de précipitations de 1930 à 2015

Illustration des conditions actuelles

Modèle
hydrologique

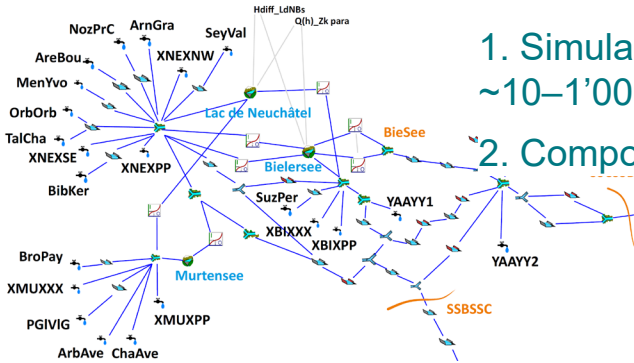
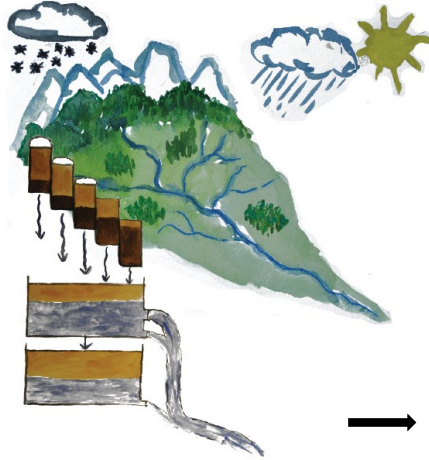
Précipitations

Glacier

Neige

Sol

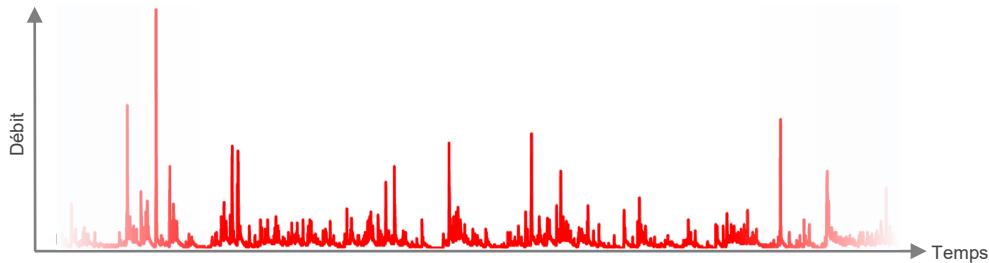
Nappe
phréatique



Domaines ciblés: points importants dans le bassin versant de l'Aar

1. Simulations pour les bassins versants d'une superficie de $\sim 10-1'000 \text{ km}^2$
2. Composition des grands bassins versants

Séries
chronologiques

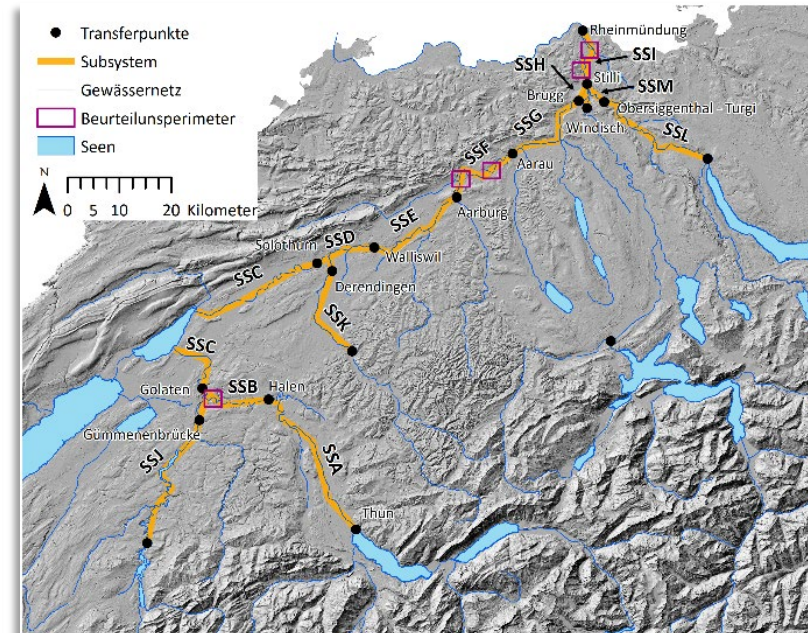
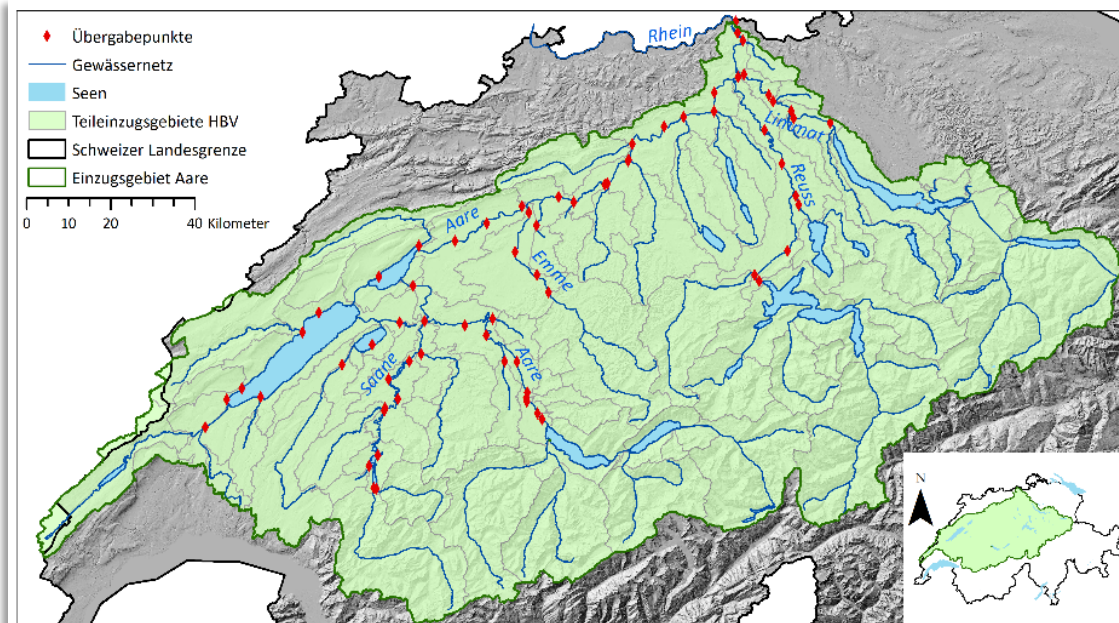


Valeurs ciblées : estimations des événements très rares, et représentations réalistes des événements plus fréquents



Météorologie et hydrologie

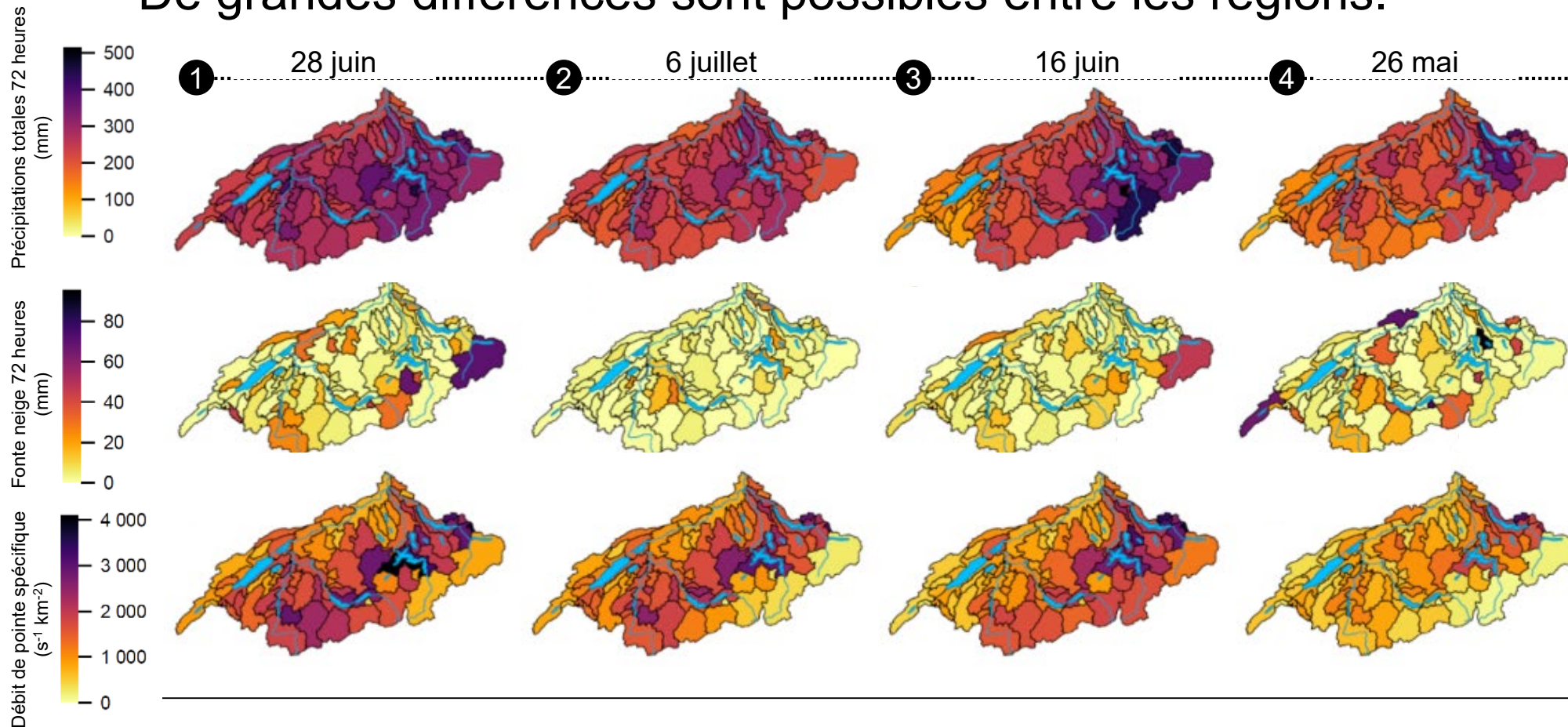
- Division de l'Aar en 79 sous-bassins
- Aux **points de transmission**, les données sont transmises du modèle hydrologique au modèle d'hydraulique simplifiée (routing).
- Aux **points de transfert**, les courbes de crues sont sélectionnés et transférés au **sous-système** suivant.





Météorologie et hydrologie

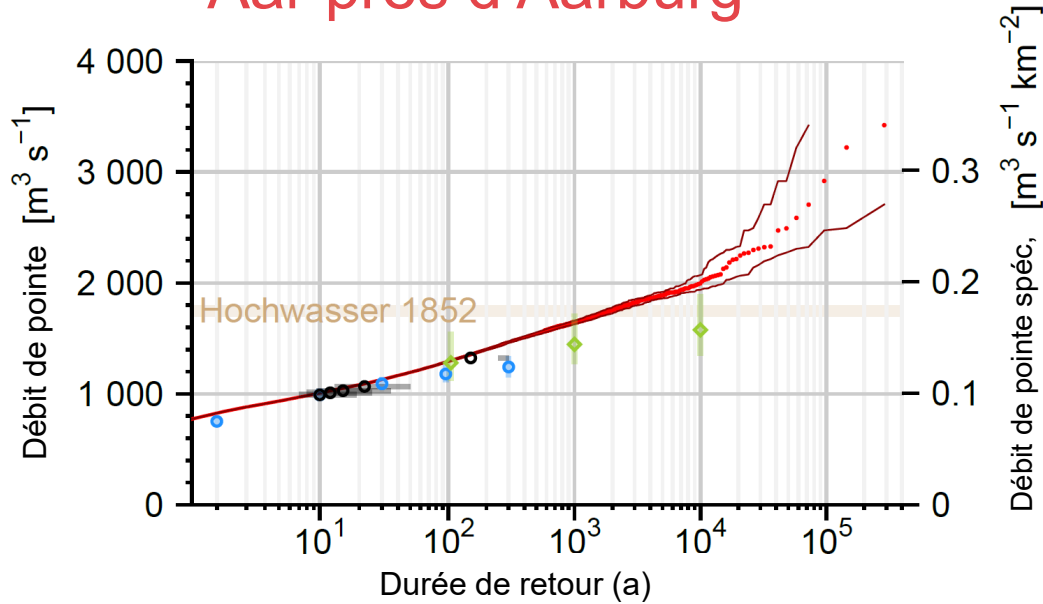
Exemple des résultats de simulation des quatre plus grands événements de crues dans la série chronologique de 300 000 ans du bassin versant de l'Aar. De grandes différences sont possibles entre les régions.



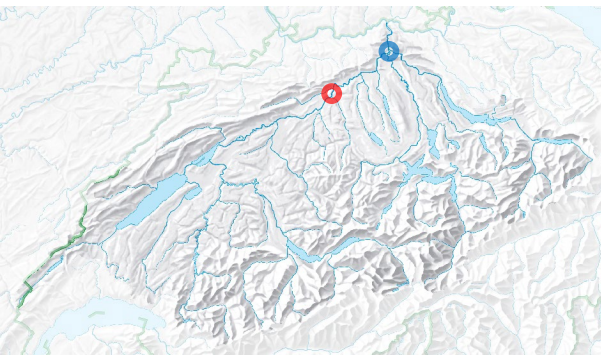
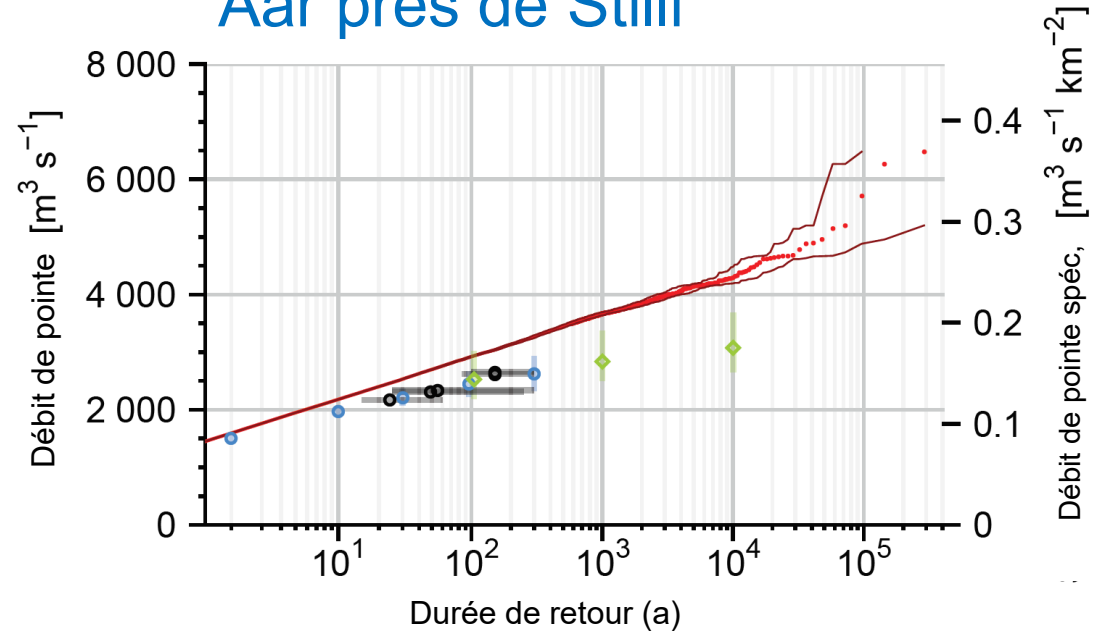


Marge de fluctuation des débits de pointe

Aar près d'Aarburg



Aar près de Stilli



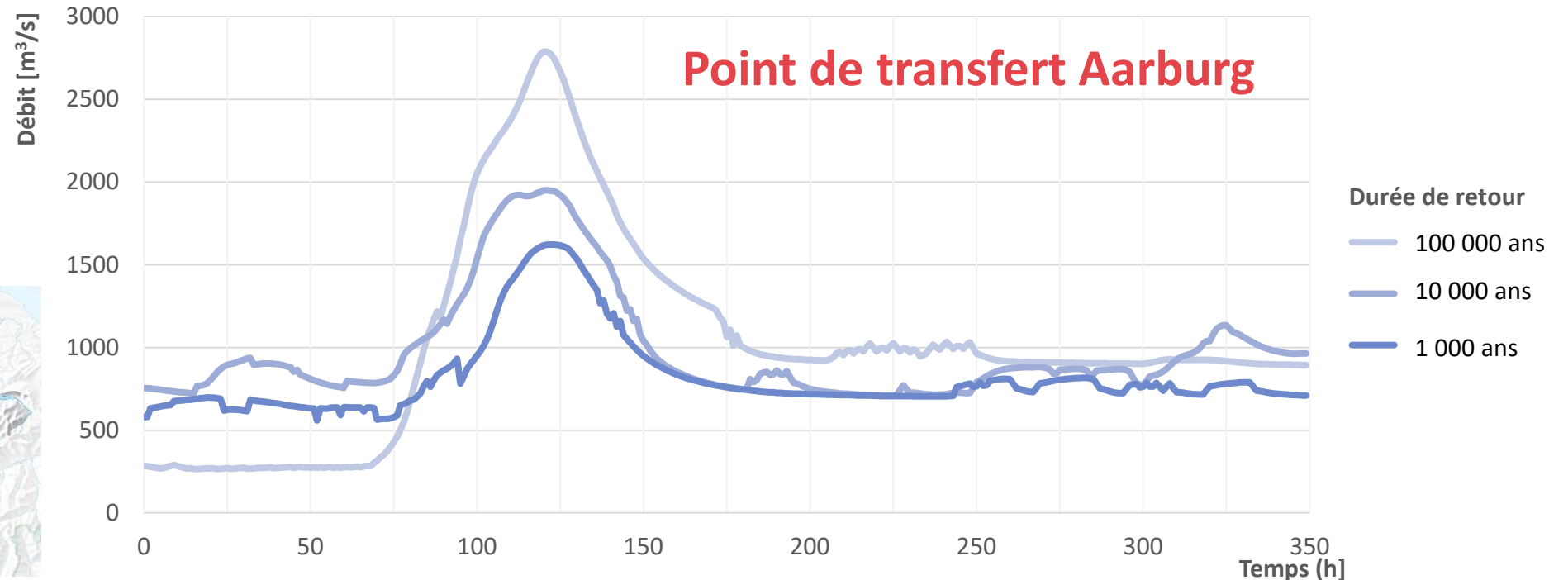
- Estimation
- Observation
- ◇— Statistiques de crues OFEV
- ◇— Statistiques de crues EPFL
- Estimation historique



Sélection de courbes de crue typiques

Sélection de courbes représentatives pour des scénarios de crues avec une période de retour de 1 000, 10 000 et 100 000 ans (liées aux conditions météorologiques).

► Ces courbes sont la base hydrologique pour l'analyse du danger potentiel (aléa)



Utilisation des résultats hydrométéorologiques

Lot 1 Synthèse

- Coordination générale
- Synthèse des résultats
- Analyse par arbre d'événements
- Propagation des incertitudes

Lot 2 Hydrométéorologie

- Développement de séries chronologiques de températures, de précipitations et de débit
- Analyse statistique
- Comparaison avec les crues historiques

Lot 3 Hydraulique et morphologie

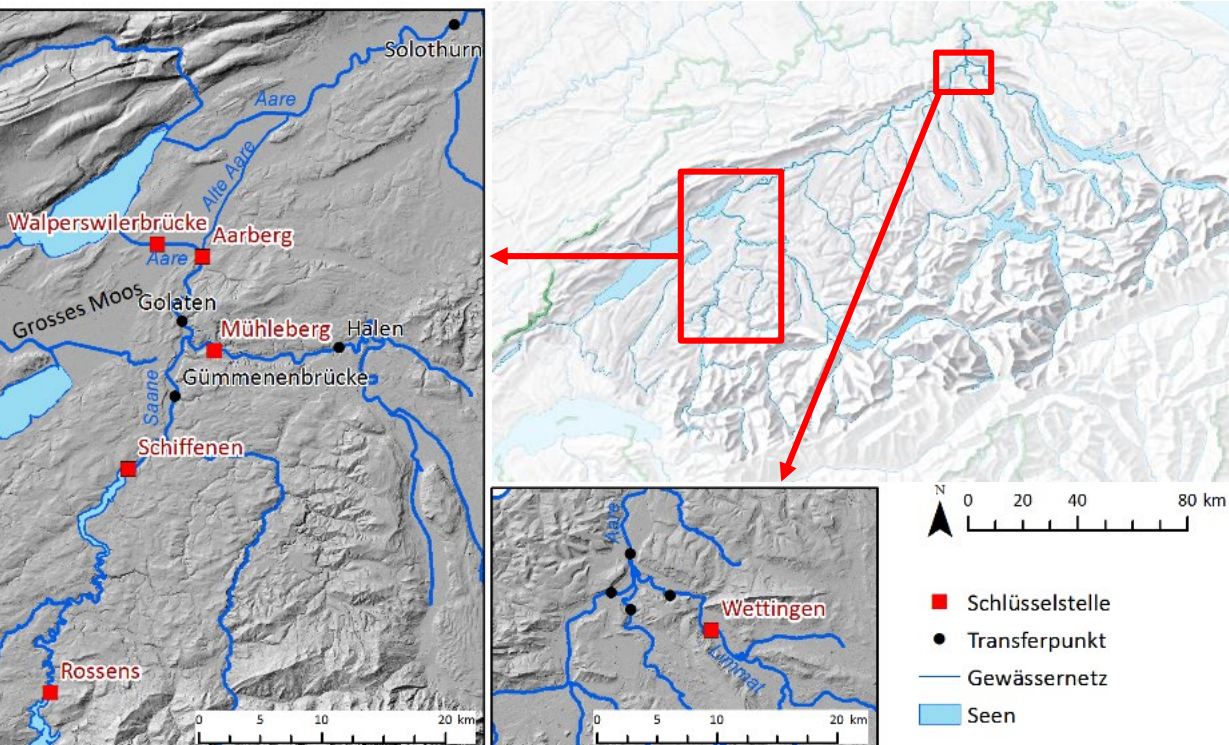
- Modélisation hydraulique
- Processus morphologiques
- Analyse des débris flottants

Lot 4 Analyse des ouvrages

- Analyse des ouvrages
- Analyse des glissements de terrain
- Probabilités de défaillances

Points clés

Identification des **points clés** dans le système de l'Aar par l'analyse des défaillances d'ouvrages



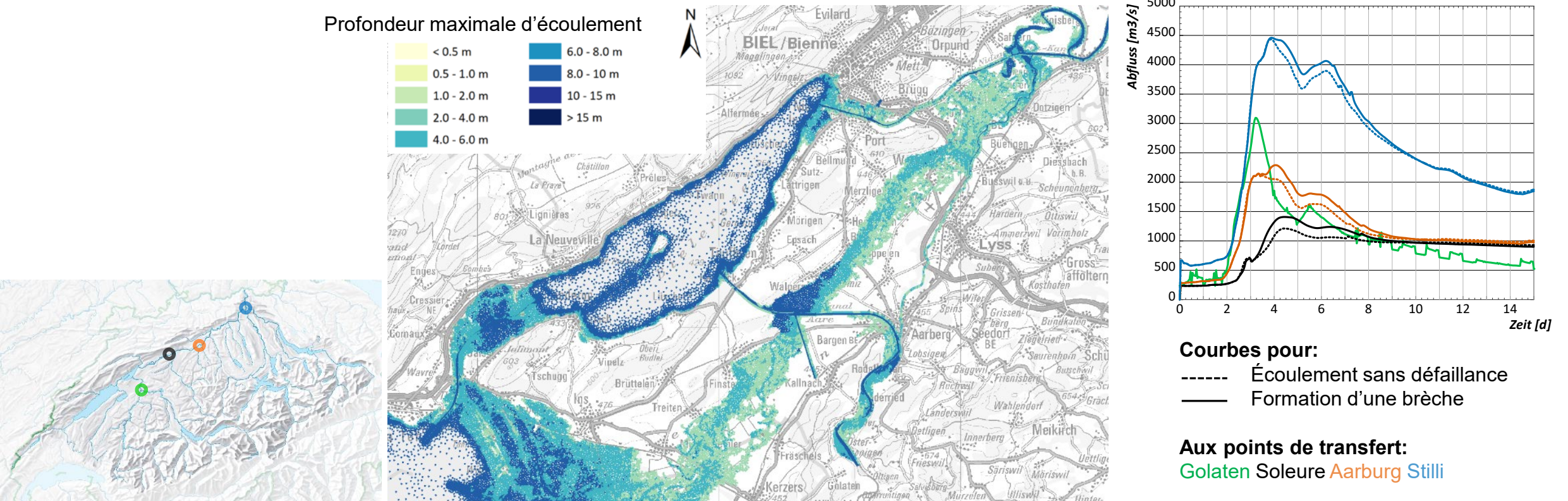
1. Rupture du barrage de **Rossens**
2. Rupture du barrage de **Schiffenen**
3. Rupture du barrage de **Mühleberg**
4. Défaillance sur le barrage **d'Aarberg** : défaillance (partielle) de l'évacuateur de crues ou embâcle
5. Formation d'une brèche sur la rive droite du **canal de Hagneck** en amont du pont Walperswil
6. Rupture du barrage de **Wettingen** sur la Limmat

Cinq des six points clés du bassin versant de l'Aar concernent des tronçons situés avant l'embouchure de la rivière dans le lac de Bienne.

En raison des volumes de rétention dans le Grand-Marais et dans les trois lacs du pied du Jura, même les grandes ondes de crue sont fortement atténuées en aval de Soleure.

Points clés

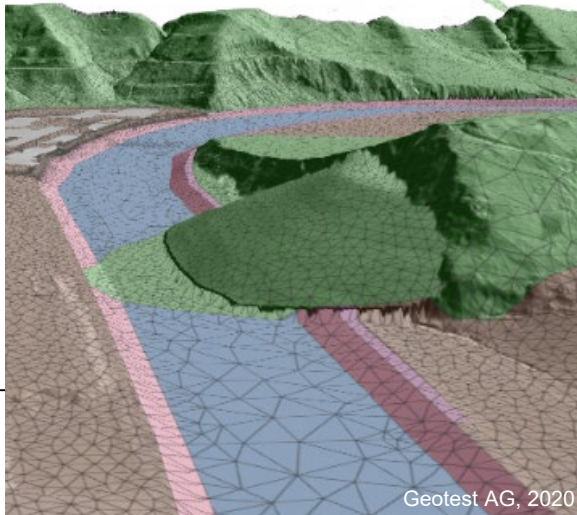
Exemple du **canal de Hagneck**: formation d'une brèche sur la rive droite (en amont du pont de Walperswil) due au débordement des digues ce qui entraîne la réactivation de l'ancien cours de l'Aar.



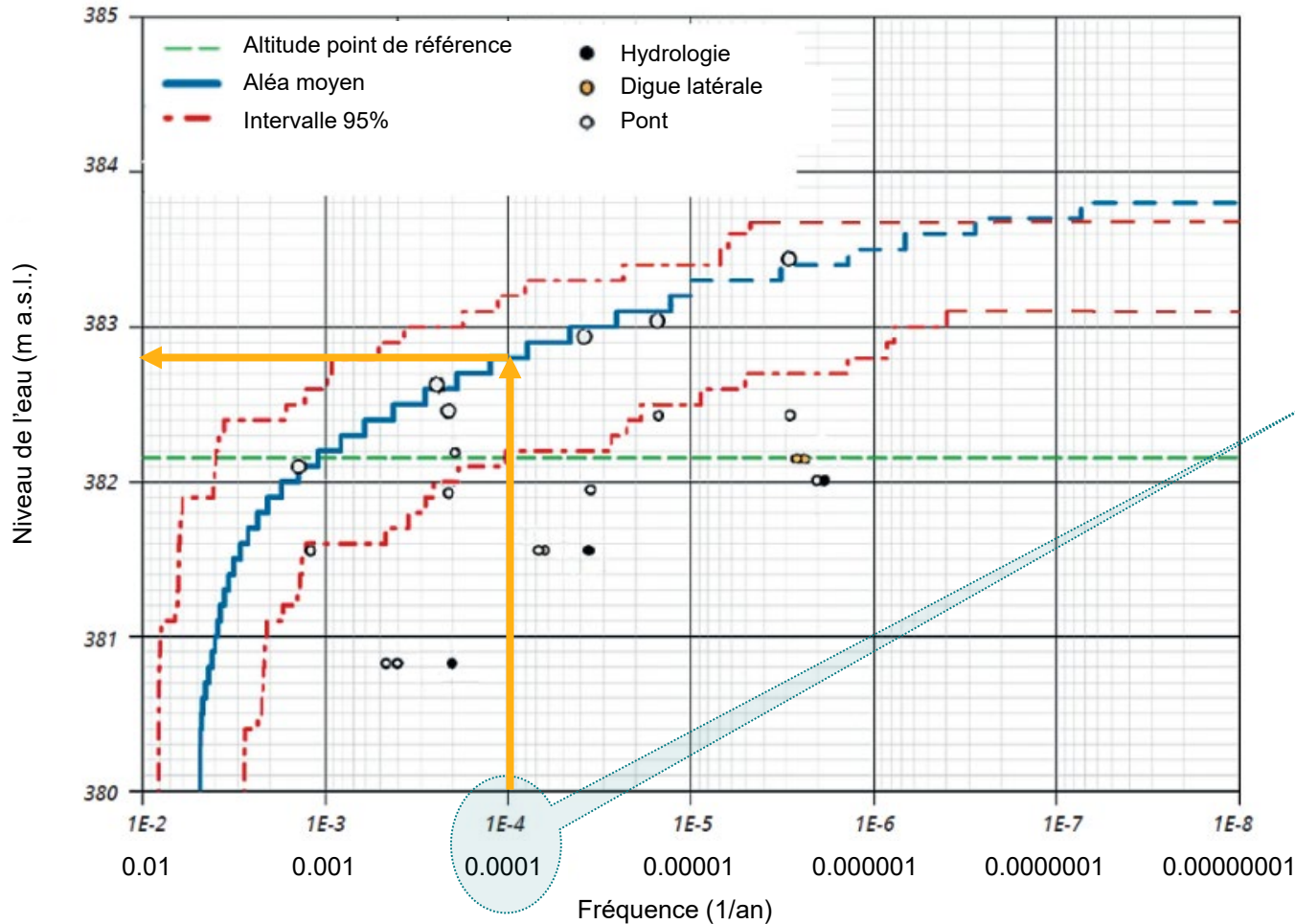


Examen local de processus de danger éventuels

- Ouvrages hydrauliques (barrages, digues latérales, ponts)
 - Glissements de terrain
 - Bois flottant
 - Processus morphologiques (transport de sédiments en suspension, érosion des berges, etc.)
- ▶ **Combinaison de scénarios** pour des débits de crue sélectionnés
- ▶ **Classification de la fréquence** au moyen de l'analyse par arbre d'événements



Produit final : la courbe de danger potentiel (aléa)

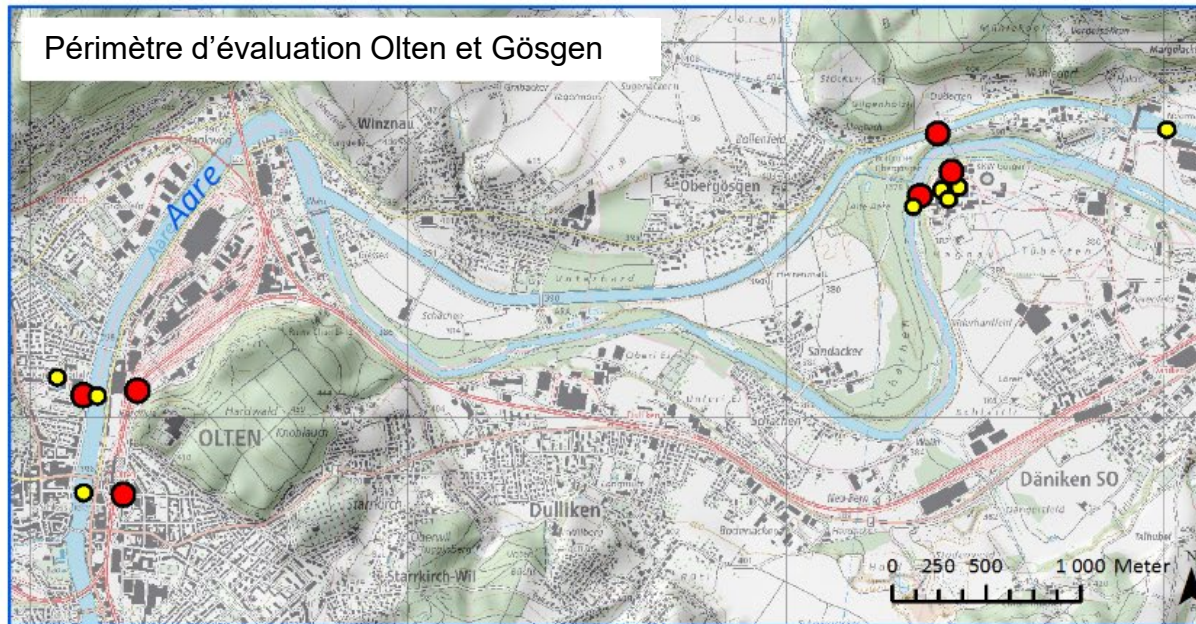
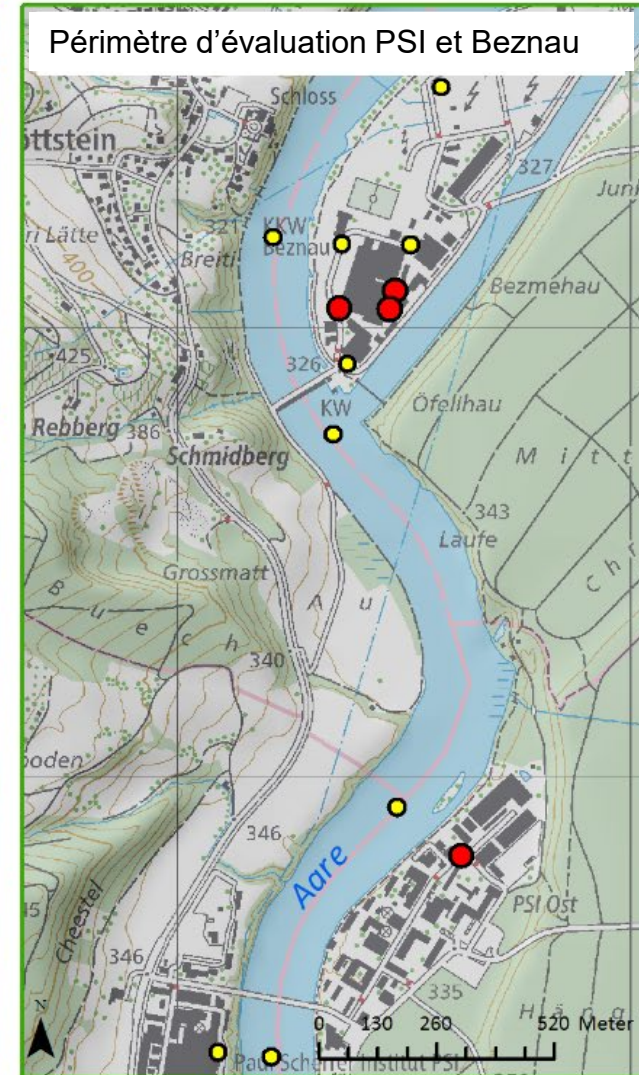
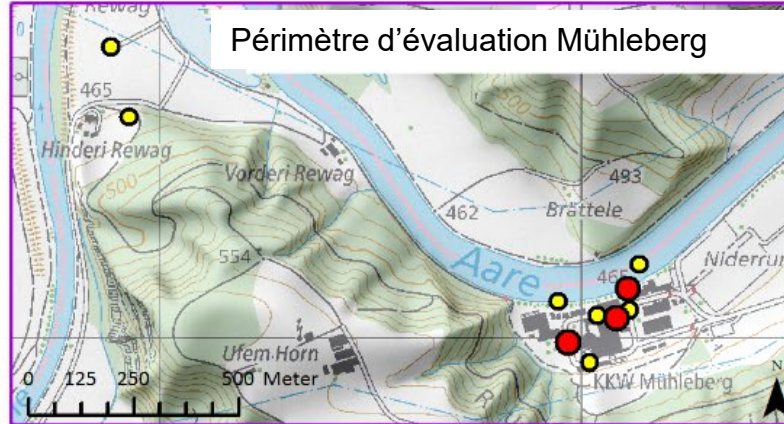


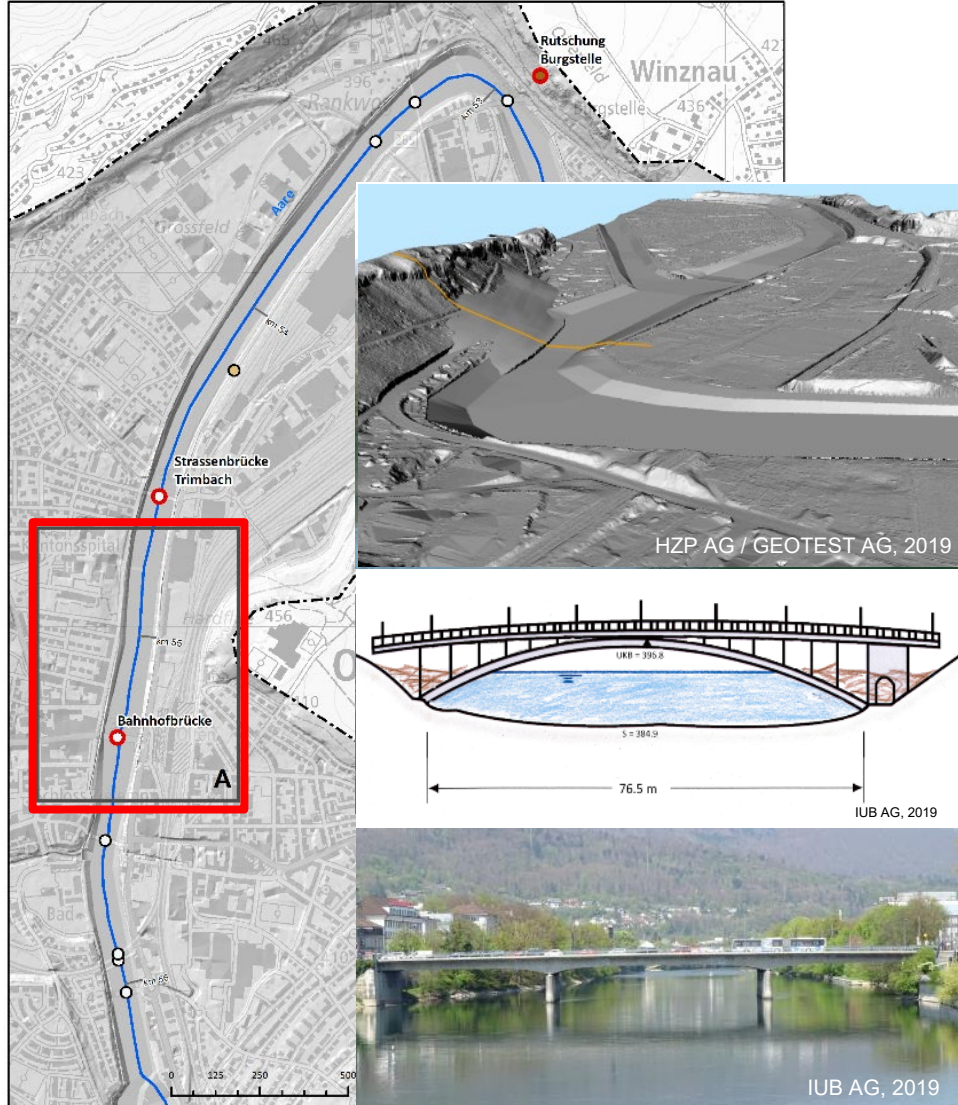
- La courbe de danger potentiel décrit la fréquence à laquelle un certain **niveau d'eau** est atteint ou dépassé.
- L'intervalle **d'incertitude** de 95 % est indiqué par des lignes rouges en pointillés.
- Sur la courbe, on peut lire le niveau de l'eau pour, par exemple, **la crue de 10 000 ans**.
- La courbe de danger potentiel est le résultat de tous les **scénarios** envisagés, une combinaison des débits de crues et de processus locaux, (notamment embâcles ou glissements de terrain).
- Les scénarios sont présentés sous la forme de **points** dans la courbe de danger potentiel, qui correspondent à un certain niveau d'eau à une fréquence donnée.

Cinq sites sous la loupe



- Point de référence
- Point de scénario





Caractéristiques du périmètre d'évaluation

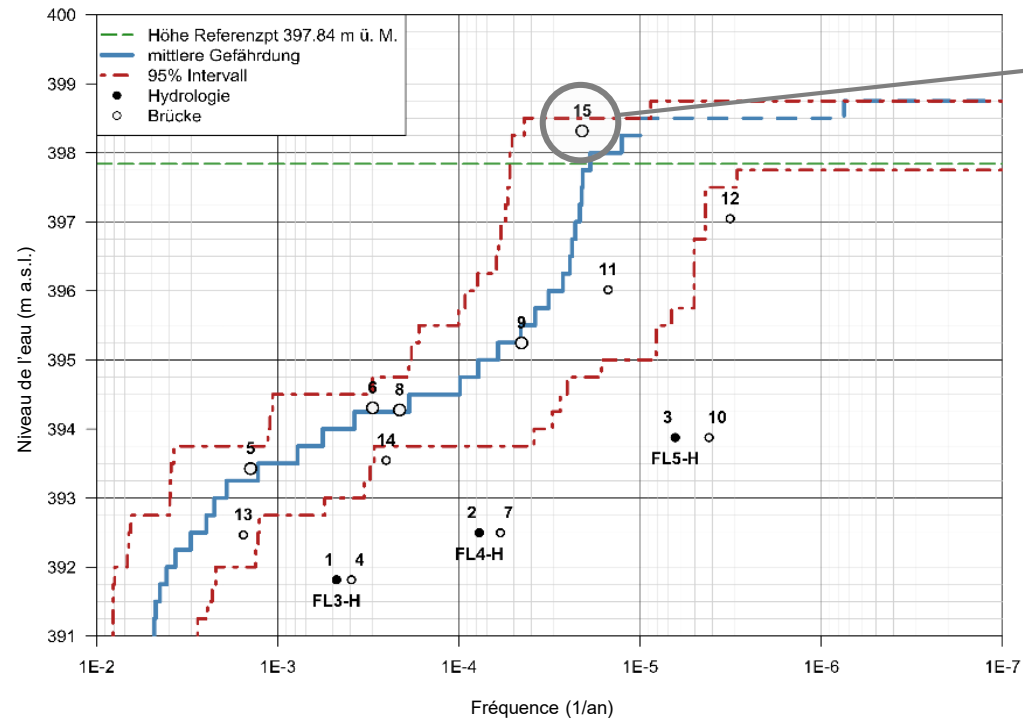
- Sites d'analyse / Ouvrages :

- 2 ponts
- Glissement de terrain

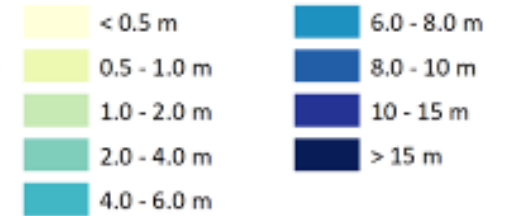
1. Résultats du scénario hydrologique de crue
→ niveau de l'eau
2. Défaillance d'ouvrage : embâcles et glissements de terrain
3. Analyse par arbre d'événements et simulation avec défaillance

Courbe de danger potentiel Olten

Courbe de danger Olten, niveau d'eau au point de référence A



Profondeur maximale d'écoulement



Le secteur autour de la gare n'est inondé que si une crue d'une période de retour de 100 000 ans coïncide avec un embâcle de bois flottant (scénario 15 avec une fréquence d'environ 1 : 90 000 ans).

L'inondation commencerait à 1,8 km en amont du pont.

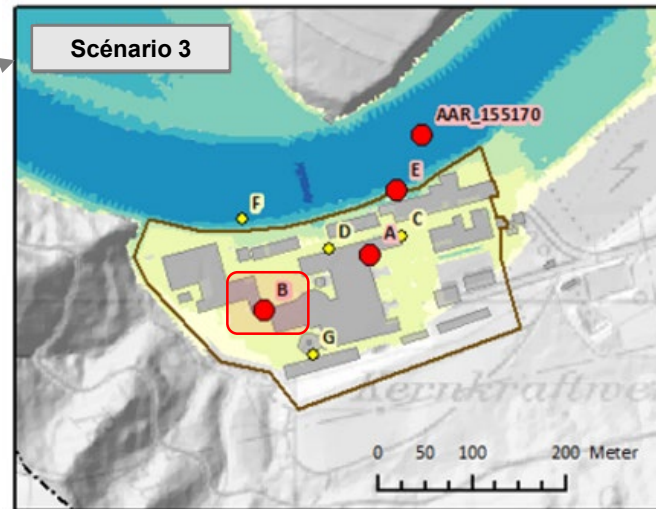
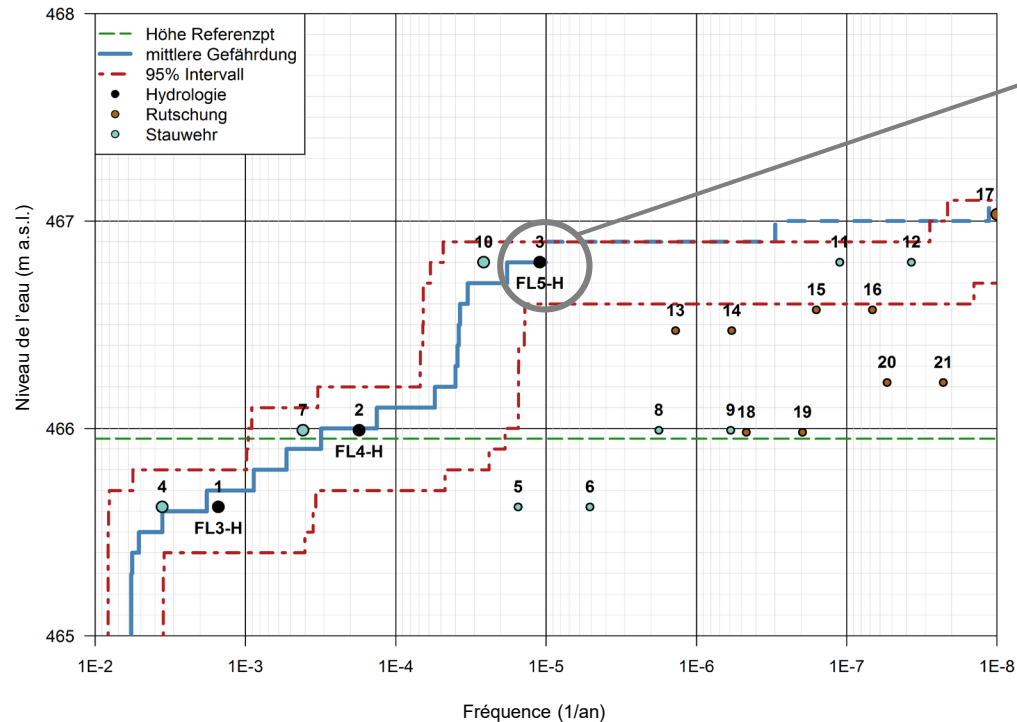
La zone industrielle serait en partie à plus de 2 m de profondeur sous l'eau.

La zone autour de la gare serait inondée de 50 centimètres (point de référence A) à 3,1 mètres (point de référence C).

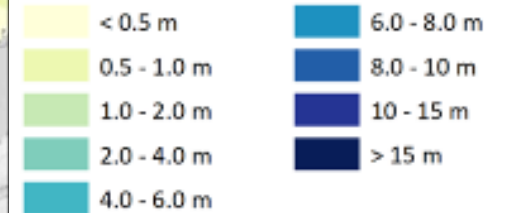
Courbe de danger potentiel Mühleberg

Pour les 3 centrales nucléaires, les hauteurs d'inondation se réfèrent aux emplacements **des bâtiments de secours**, situés à proximité du bâtiment du réacteur.

Courbe de danger Mühleberg, niveau d'eau au **point de référence B**



Profondeur maximale d'écoulement



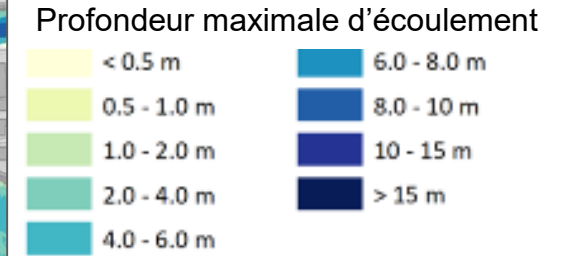
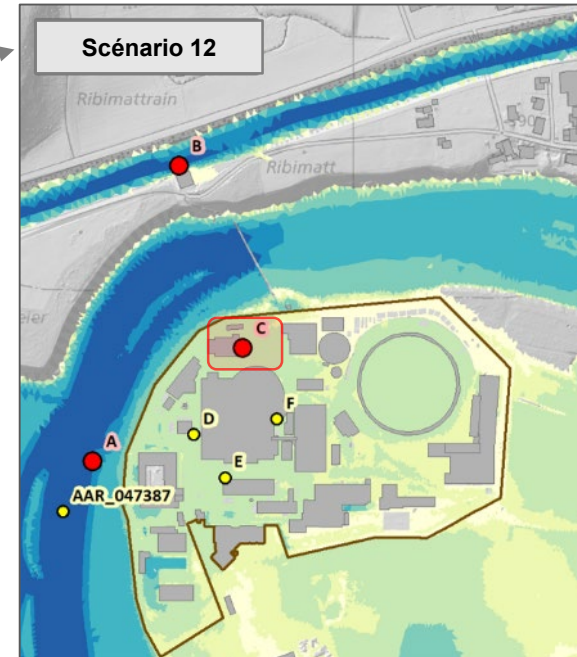
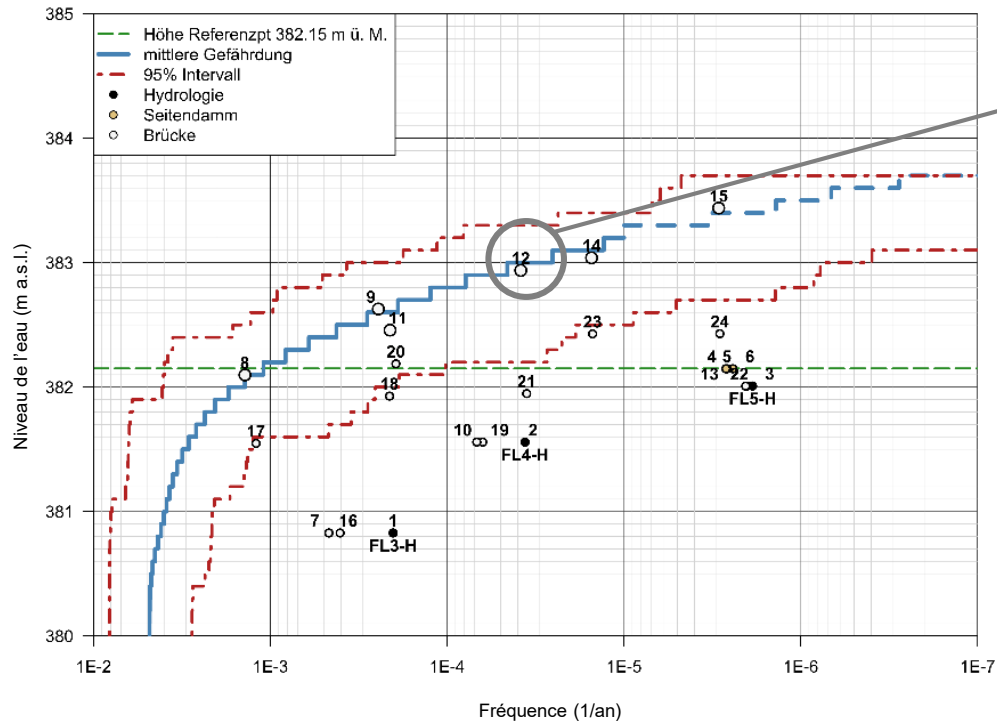
Le site reste au sec pour une crue millénale.

Lors d'une crue d'une période de retour de 10 000 ans, l'installation se trouve à 18 cm sous l'eau.

En revanche, une crue de période de retour de 100 000 ans (scénario 3) inonderait le site à une hauteur d'un peu moins d'un mètre.

Courbe de danger potentiel Gösgen

Courbe de danger Gösgen, niveau d'eau au point de référence C

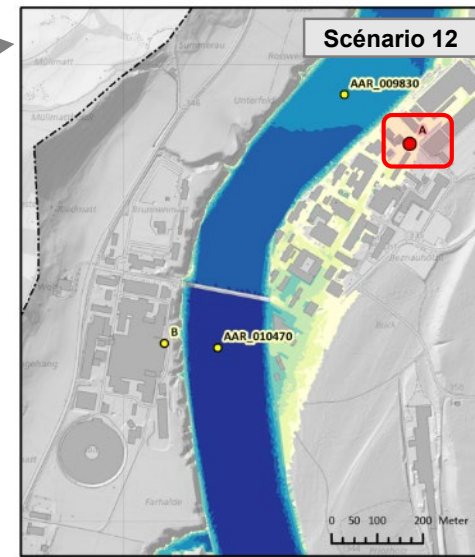
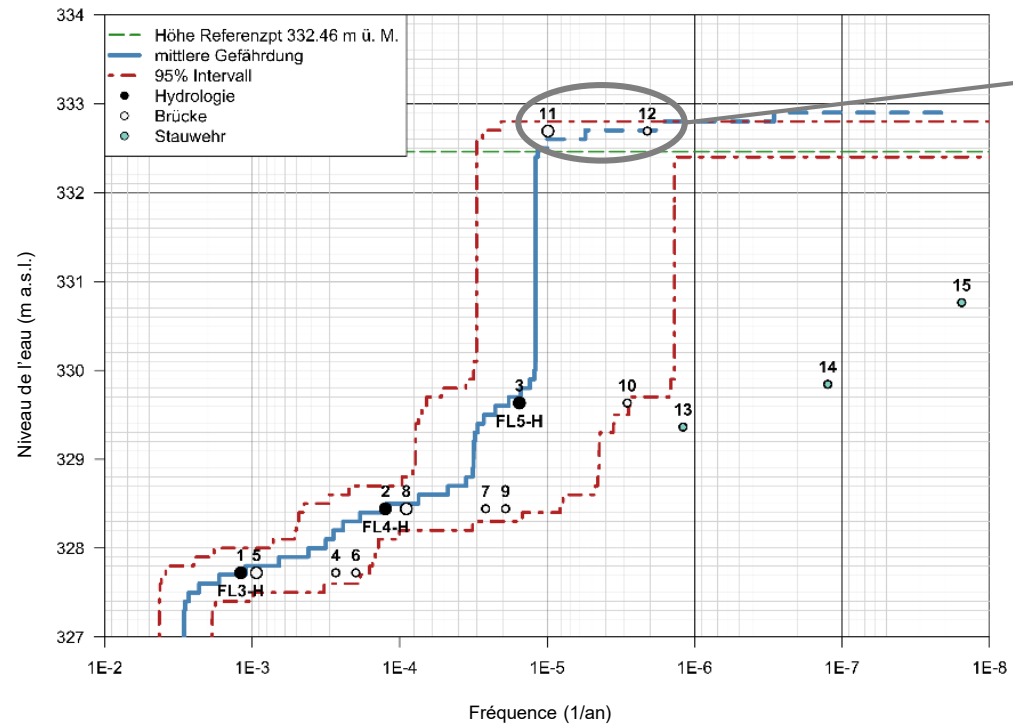


Pour une crue d'une période de retour de 1000 ou 10 000 ans, l'embâcle de la passerelle pour piétons jouerait un rôle. Les hauteurs d'inondation sont respectivement de 5 et 65 cm. Dans le cas d'une crue de 100 000 ans, la profondeur de l'eau peut même atteindre 1,15 m.

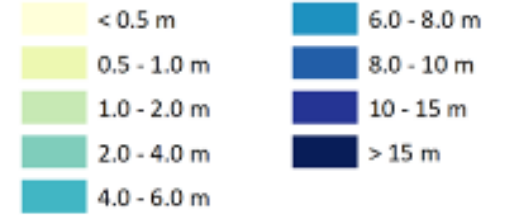
Pour le scénario 12 (avec une fréquence d'environ 1 : 70 000 ans), le niveau d'eau atteint 79 cm à l'emplacement du bâtiment de secours.

Courbe de danger potentiel Institut Paul Scherrer

Courbe de danger PSI, niveau d'eau au point de référence A



Profondeur maximale d'écoulement

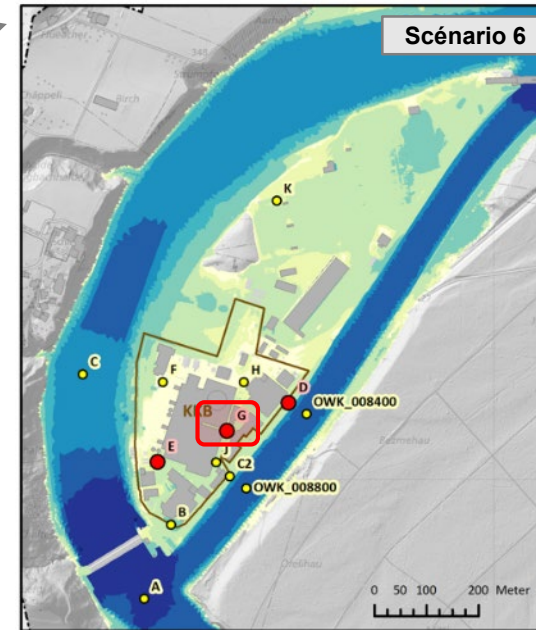
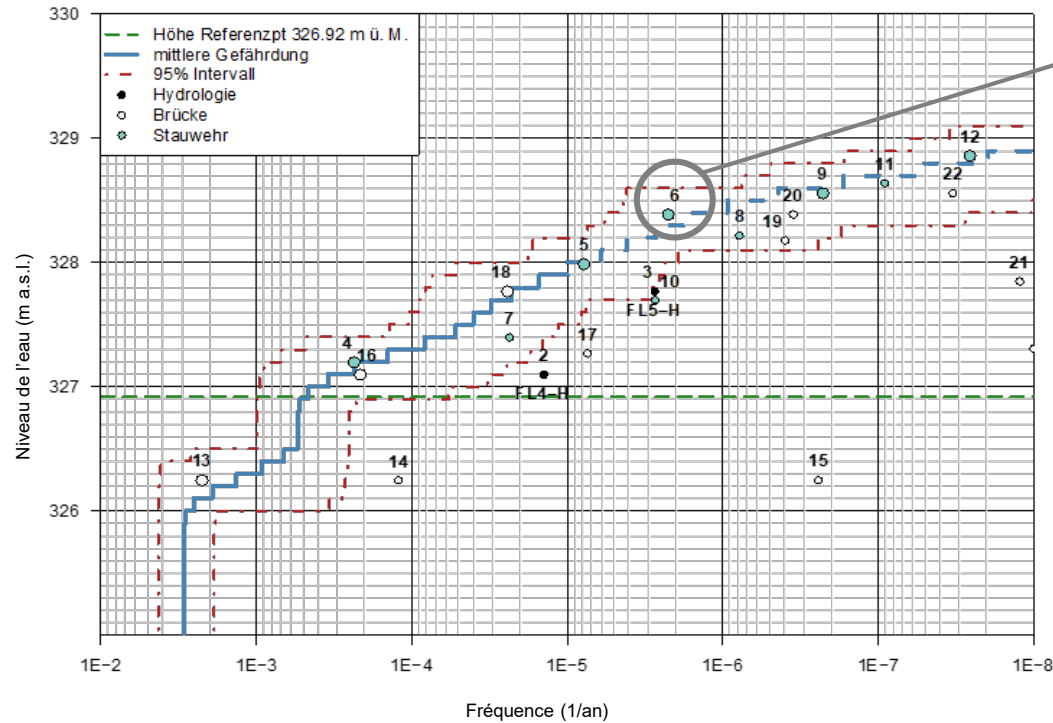


Les inondations sur le site ne se produisent que si le pont en béton armé du PSI est obstrué par des bois flottants lors d'une crue d'une période de retour de 100 000 ans (scénarios 11 et 12).

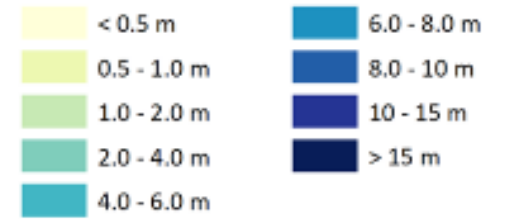
Le point de référence de la rive droite serait inondé sous 20 à 25 cm.

Courbe de danger potentiel Beznau

Courbe de danger Beznau, niveau d'eau au point de référence G



Profondeur maximale d'écoulement



Scénario 6 : Débit de pointe millénal avec défaillance de l'évacuateur de crues du barrage de Beznau

L'inondation du site de la centrale peut se produire avec des débits liés aux seules précipitations, mais aussi en combinaison avec des embâcles de bois flottant ou en raison d'une défaillance (partielle) de l'évacuateur de crues du barrage de Beznau.

Lors d'une crue millénaire, le site reste sec. Une crue de 10 000 ans entraîne une inondation de 38 cm au bâtiment de secours, une crue de 100 000 ans une inondation d'environ 1,1 m.



Une approche de la réalité

- Une chaîne de modélisations selon les dernières avancées scientifiques et technologiques.
- La structure modulaire de la chaîne de modélisations permet une application flexible et facilite les adaptations.
- Est-ce que les simulations ont atteint les limites physiques des précipitations ? Probablement pas encore.
- Les simulations hydrologiques ont été réalisées pour des bassins versants de taille moyenne. Une application des résultats à des bassins versants plus petits (quelques dizaines de km²) n'est donc possible que dans une mesure limitée.
- Simplification des modèles, par exemple pour la défaillance des ouvrages.
- Evaluations d'experts à plusieurs niveaux, par exemple pour le volume des glissements de terrain et quantités de bois flottant



Documentation complète sous

www.wsl.ch/exar

- Rapport principal
- Synthèse (français, allemand) en italien et anglais prochainement
- Rapports détaillés et dossiers «Résultats» :

Rapport	Titre
Rapport détaillé A	Bases de l'hydrométéorologie
Rapport détaillé B	Crues historiques
Rapport détaillé C	Glissements de terrain et bois flotté
Rapport détaillé D	Défaillance des ouvrages hydrauliques
Rapport détaillé E	Modélisations hydrauliques
Rapport détaillé F	Études morphologiques
Rapport détaillé G	Analyse de l'arbre d'événements et courbes d'aléa
Dossiers «Résultats»	Partie 1 Etalonnage / Validation du modèle hydraulique Partie 2 Sites d'analyse et points clés du système global Partie 3 Résultats des périmètres d'évaluation concernant les processus hydrauliques

Merci de votre attention



Universität
Zürich^{UZH}

ETH zürich



EPFL