



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Uffizi federal d'energia UFE

DIE SICHERHEIT VON STAUANLAGEN BEI HOCHWASSER LA SÉCURITÉ DES BARRAGES EN CAS DE CRUE

RÜCKBLICK UND AUSBLICK RÉTROSPECTIVE ET PERSPECTIVES



INHALT / CONTENU

1. Hochwasser in der Schweiz
Crues en Suisse
2. Heutige Anforderungen an die Hochwassersicherheit
Exigences actuelles à la sécurité en cas de crues
3. Nachweis der Hochwassersicherheit
Vérification de la sécurité en cas de crues
4. Ausblick
Perspectives
5. Schlussfolgerungen
Conclusions



1. CRUES EN SUISSE

- une des catastrophes naturelles les plus fréquentes et les plus graves en Suisse
- crues importantes en Suisse:
1480, 1868, 1876, 1890, 1910, 1927, 1978
1983, 1987, 1999, 2005, 2007, 2015, 2021
- dommages collatéraux dévastateurs: bâtiments, infrastructure, dommages écologiques & économiques et nombreux décès

Rôle des barrages:

- Gestion active des crues
- Atténuation de la pointe de crue (rétention)





1. CRUES EN SUISSE



Palagnedra 1978
(C. Auel)

Pos
(Kanton C...)

allen)

C. Auel



1. CRUES EN SUISSE

Quelques exemples concrets d'impacts sur les barrages

- Débordement
- Érosion
- Glissements de terrain
- ...




Obermatt 2005 (OW)

Käppelistutz 2005 (NW)
Wichelsee 2005 (OW) 2021 (TI)



2. EXIGENCES ACTUELLES

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Departement fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie
et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Surveillance des barrages

**Directive sur la sécurité des ouvrages
d'accumulation**

Partie C2: Sécurité en cas de crue et abaissement
de la retenue

La dernière version remplace les versions précédentes

Version	Modification	Date
2.0	Révision totale de la directive de l'OFEG 2002	15.01.2017
2.01	Actualisation des références bibliographiques	15.02.2017
2.02	Adaptation chapitre 2.7.1	28.09.2018

Vérification de la sécurité en cas de crue

- Assurer la sécurité en cas de crues extrêmes:
 - crue de projet: 1000 ans
 - crue de sécurité: >>1000 ans
- Estimation des crues selon les critères de la directive
 - marges de sécurité supplémentaires
 - méthode d'estimation en accord avec la base de données disponible
 - réévaluation régulière des valeurs de crue

Gestion des crues

- Règlement de manœuvre des vannes

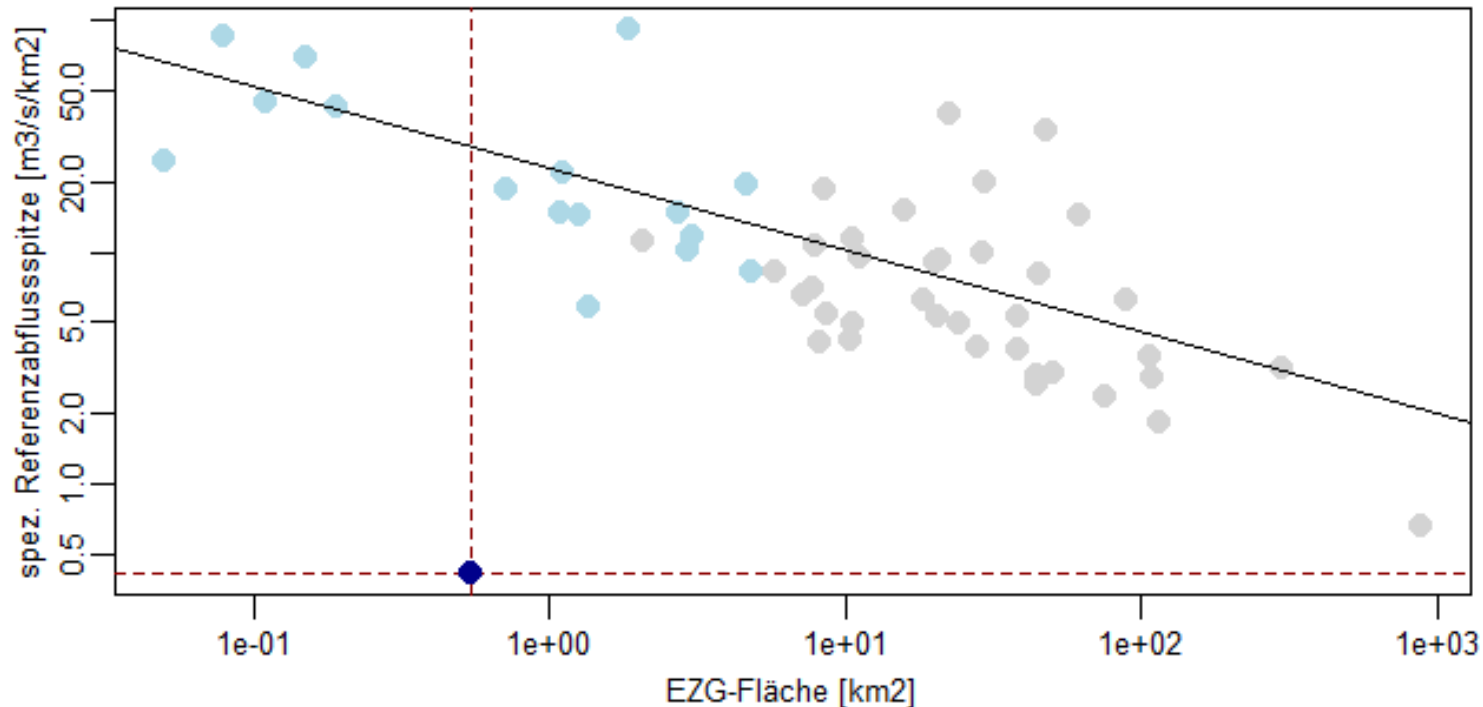


2. EXIGENCES ACTUELLES

Analyse systématique des valeurs de crue en vigueur

- comparaison avec autres bassin versants
- comparaison avec différentes méthodes d'estimation

> Identifier les besoins d'action



Exemple:

Comparaison statistique des débits de pointe

(en considération des tailles des bassins versants et des durées des crues)



2. EXIGENCES ACTUELLES

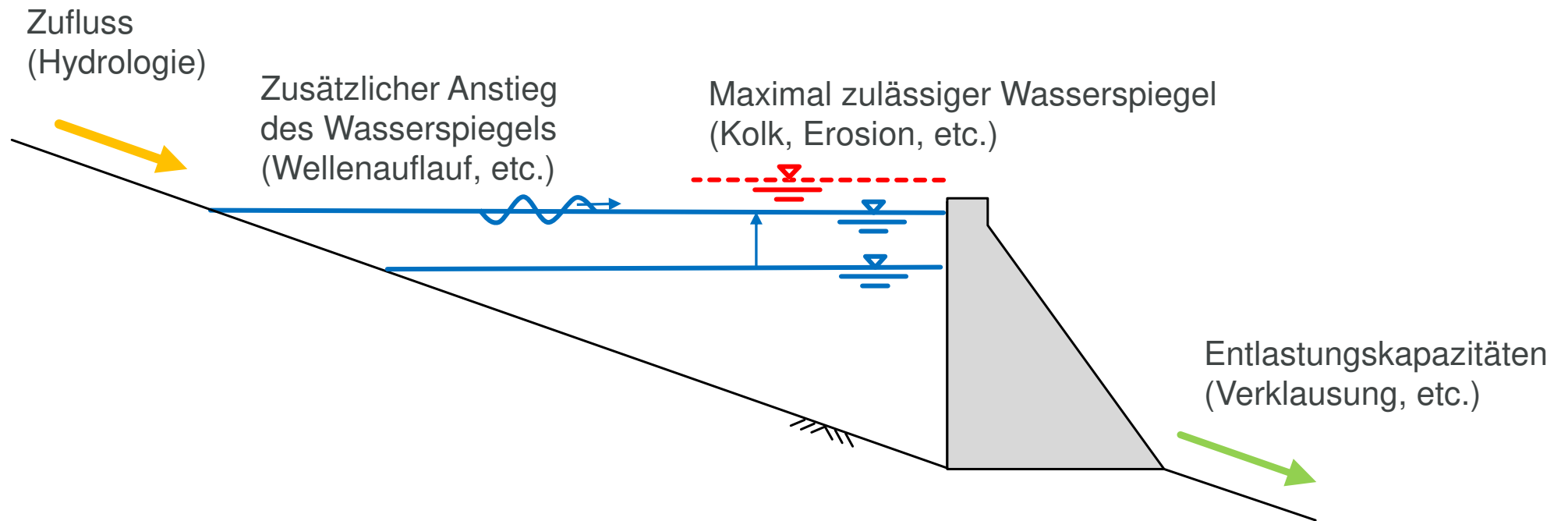
Résultats

- De **207** barrages examinées:
 - 5** sans analyse de crue,
 - 33** avec valeurs de crue relativement faibles
- Méthodes et base de données très hétérogènes



3. NACHWEIS DER HOCHWASSERSICHERHEIT

Die vier wichtigsten Annahmen und ihre grössten Unsicherheiten

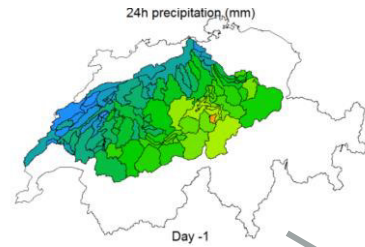




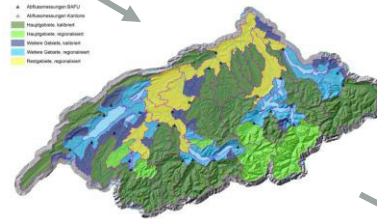
4. RÜCKBLICK: «EXAR»

Projekt «Extremhochwasser an der Aare EXAR» (2021)

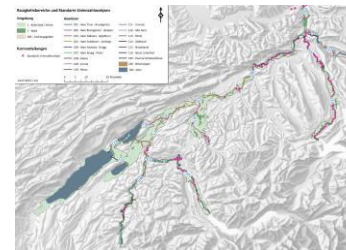
Wettergenerator



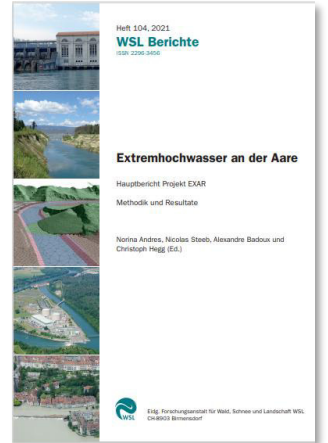
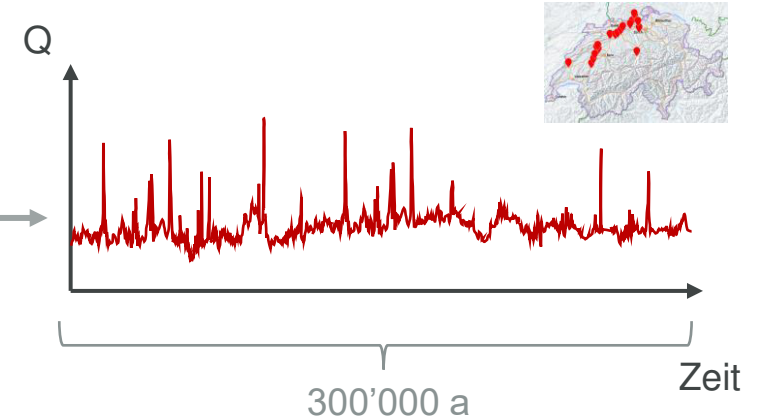
Hydrologisches Modell



Hydraulisches Modell



Für 19 Stauanlagen an Aare, Saane, Orb, Reuss, Limmat, Sarner Aa:

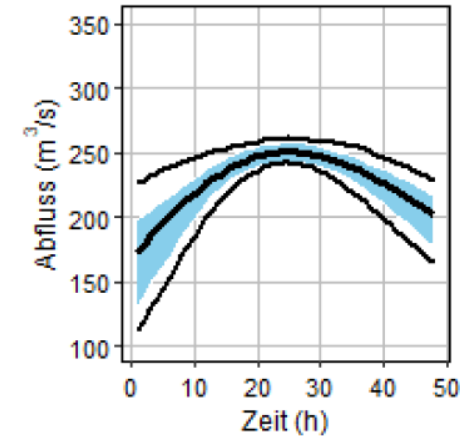
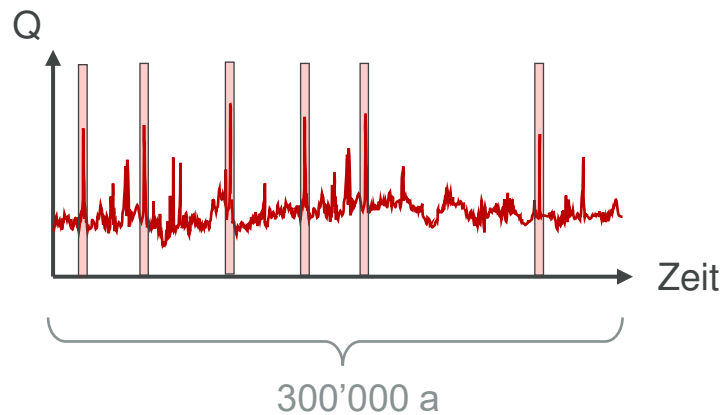




4. RÜCKBLICK: «EXAR»

Zusatzstudie 1 für Stauanlagen

Hochwasserereignisse aus kontinuierlicher Langzeitsimulation zur Überprüfung der Sicherheit der Stauanlagen (GIUZ 2021)



Von der Langzeitsimulation...

...zu den Ganglinien für die Nachweise der Hochwassersicherheit

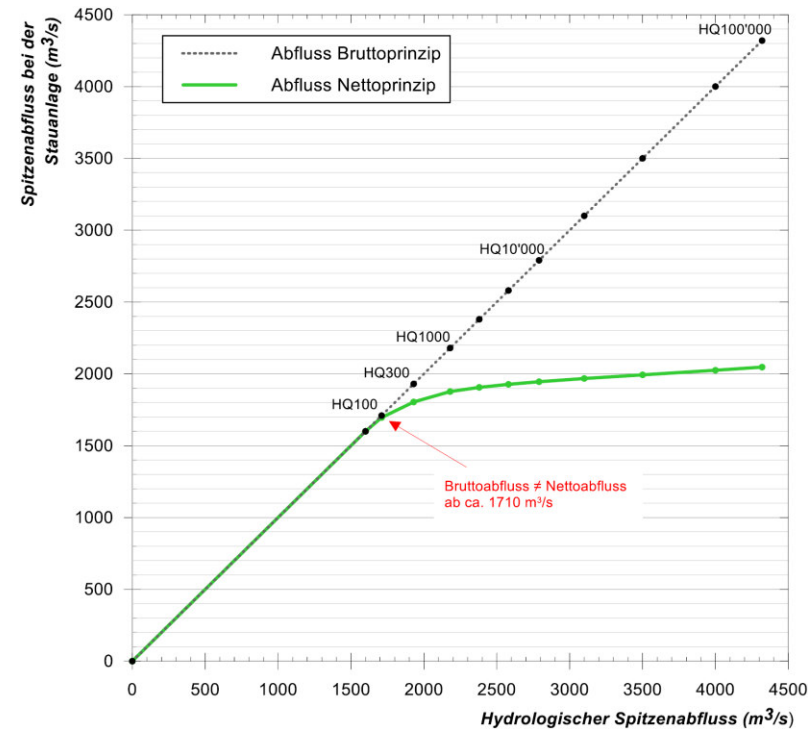
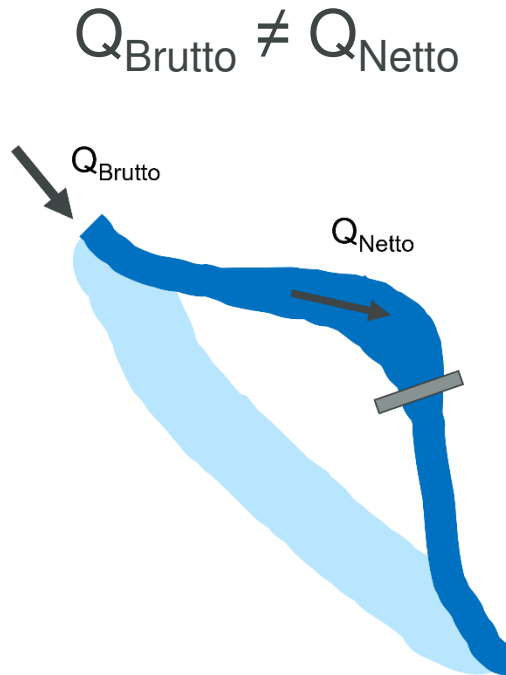
- 1 Routing EXAR Ganglinien zu Anlagen
- 2 Extraktion Ereignisganglinien
- 3 Zuweisung Jahreshochwasserklasse
- 4 Clustering der Ereignisse innerhalb der Jahreshochwasserklasse
- 5 Functional boxplots



4. RÜCKBLICK: «EXAR»

Zusatzstudie 2 für Stauanlagen

Überprüfung der Gerinnekapazität im Bereich der Wehre unter Bundesaufsicht an Aare, Reuss und Limmat (HZP 2021)





4. RÜCKBLICK: «EXAR»

Projekt «Extremhochwasser an der Aare EXAR» (2021)

Das bei EXAR gewählte Vorgehen bietet für die Stauanlagensicherheit zwei wesentliche Vorteile:

- 1) Die für verschiedene Stauanlagen abgeschätzten Hochwasser basieren alle auf derselben umfassenden Datengrundlage. Dies führt zu einer Reduktion der Unsicherheiten und einer geringeren Streuung unter den Anlagen.
- 2) Die kontinuierliche Simulation erlaubt es, Hochwasserereignisse unabhängig von Anfangsbedingungen (wie anfänglicher Bodensättigung und Schneebedeckung) zu definieren. Diese erlaubt somit eine eindeutigere Definition für Bemessungs- und Sicherheitshochwasser.

300'000 a

Zeit



4. AUSBLICK: «EXTREMHOCHWASSER SCHWEIZ»

Projekt «Extremhochwasser Schweiz» (2020-2025)

Hydro-meteorologische Modellierung für die ganze Schweiz



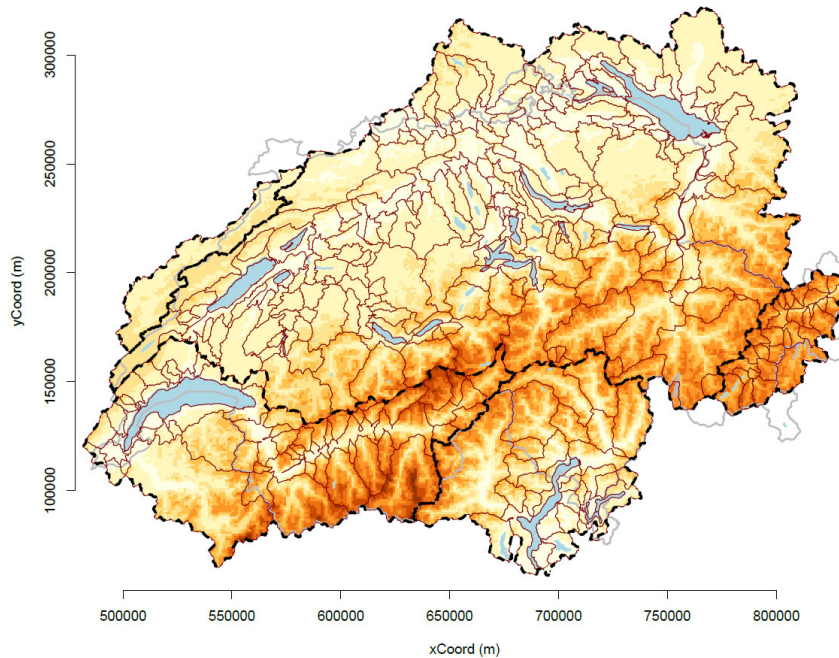
University of
Zurich^{UZH}

u^b

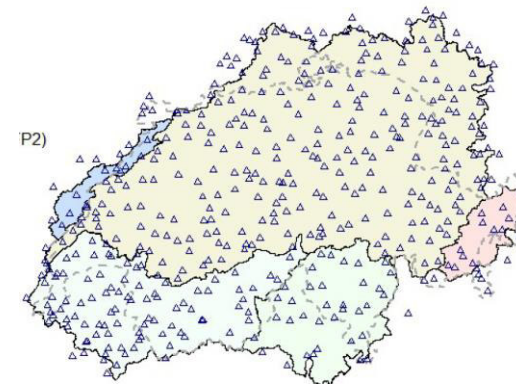
UNIVERSITÄT
BERN



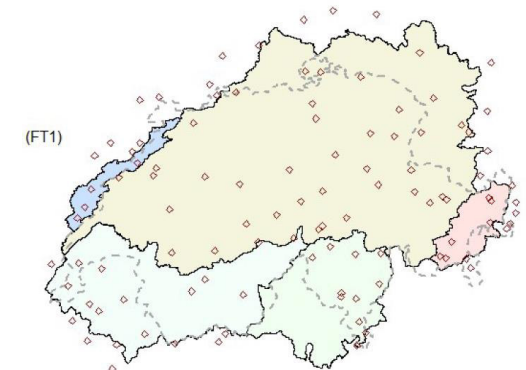
UGA
Université
Grenoble Alpes



Einzugsgebiete



Niederschlagsmessstationen



Temperaturmessstationen



4. AUSBLICK: «EXTREMHOCHWASSER SCHWEIZ»

Projekt «EXAR»

Für 19 Stauanlagen unter Bundesaufsicht



Methoden / Resultate für Stauanlagen

Hydrologische Langzeitsimulation
(Hydrogramme für Nachweise)

Projekt «Extremhochwasser Schweiz»

Für 32 Stauanlagen unter Bundesaufsicht
mit **EZG > 1'000 km²**



Hydrologische Langzeitsimulation
(Hydrogramme für Nachweise)

Für 110 Stauanlagen unter Bundesaufsicht
mit **10 km² < EZG < 1'000 km²**



Hydrologische Langzeitsimulation
(Hydrogramme für Nachweise)

Für 43 Stauanlagen unter Bundesaufsicht
mit **EZG < 10 km²**
sowie Anlagen unter kantonaler Aufsicht

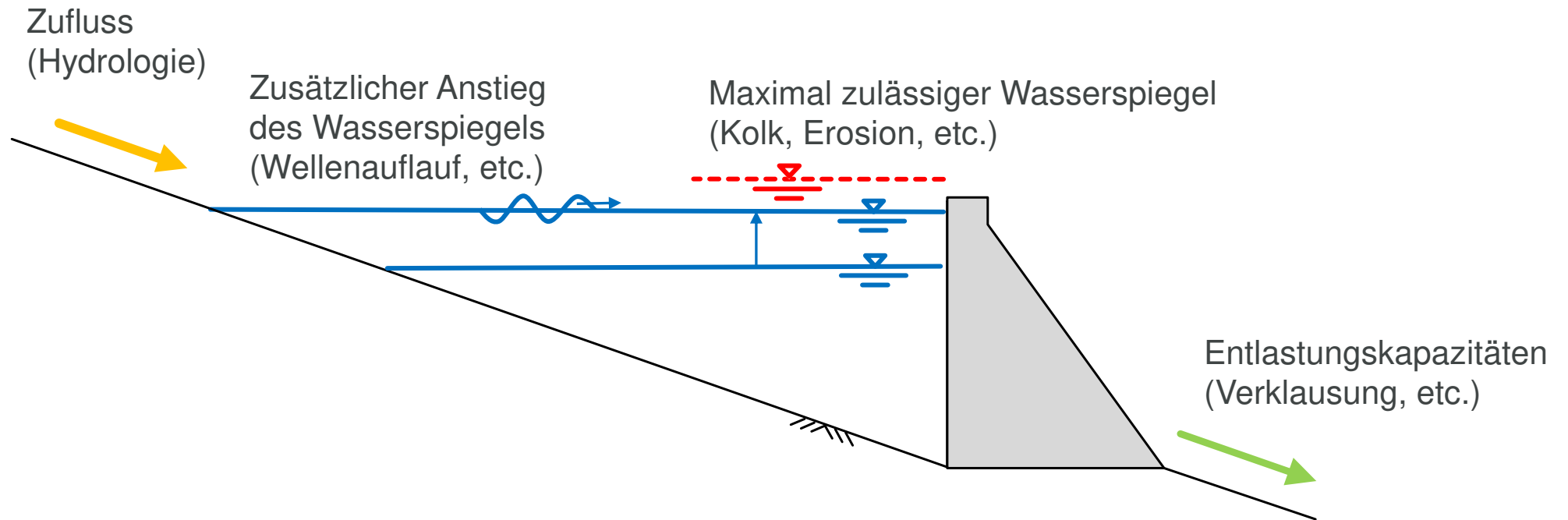


Meteorologische Charakterisierung
(Intensität des Gebietsniederschlags als Funktion der Dauer, IDAF)



4. AUSBLICK: REVISION RICHTLINIE C2

Im Anschluss an das Projekt Extremhochwasser Schweiz: voraussichtlich 2027/28





5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Ein statistischer Vergleich erlaubte es dem BFE, Stauanlagen mit vergleichsweise geringen Bemessungshochwassern zu identifizieren und für diese Anlagen eine Überarbeitung der Nachweise zu veranlassen.
2. Die nach heutigen Vorgaben ermittelten Bemessungshochwasser sind einer grossen Streuung unterworfen.
3. Das Projekt «Extremhochwasser Schweiz» (2020-2025) soll zu einer homogenen und konsistenten Hochwassergefährdung für Stauanlagen führen.
4. Die anschliessende Revision der Richtlinie C2 zur Hochwassersicherheit von Stauanlagen (2027/28) soll den Umgang mit den wesentlichen Unsicherheiten (aus insbesondere Hydrologie, Verklausung, Wellenauflauf, Erosion/Kolkbildung) neu festlegen.



VIELEN DANK!



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Hydrologie

Vom Wettergenerator bis zur Überflutungskarte

Das Projekt EXAR (EXtremhochwasser AaRe) und die Perspektiven für die Zukunft

STK-Symposium - Talsperren und Extremhochwasser
Bern, 29.03.2023



Inhalt

- EXAR: Politischer Kontext, Auftrag und Ziel
- EXAR: Modelkette und verwendeten Methoden
- EXAR: Resultate
- Perspektiven für die Zukunft (Projekt Extremhochwasser CH)

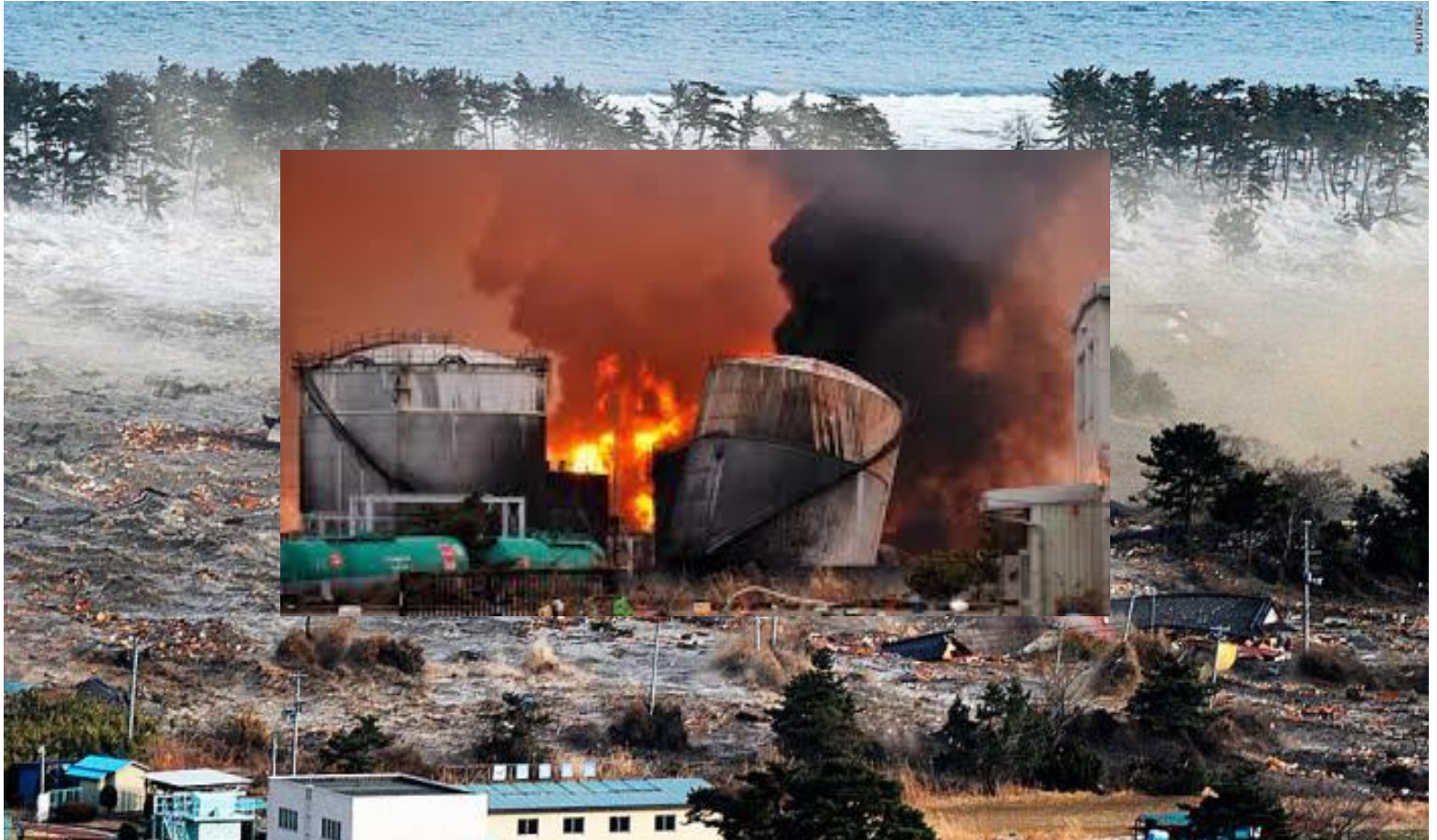


EXAR: Politischer Kontext, Auftrag, Ziel





Atomkatastrophe Fukushima März 2011



SELTEN KANN AUCH HEUTE HEISSEN



Reaktion Atomgegner in der Schweiz



Menü | **BZ** BERNER ZEITUNG

Region Sport Schweiz Wirtschaft Ausland

Hochwassergefahr für AKW erneut auf dem Prüfstand

Die AKW in der Schweiz seien auch bei Extremhochwassern sicher. Dies betont das Ensi nicht zum ersten Mal. Eine grundlegende Untersuchung fehlt aber weiterhin.

Dienstag 4. November 2014 01:15 von Simon Thönen, Bern



Kritiker Kühni genügt dies nicht: «Es ist stossend, wenn das Ensi so viel Zeit zur Beurteilung braucht und dann doch nur eine stichprobenartige Überprüfung durchführt.»

verwendet wurden. Dies aber wurde bereits damals vom renommierten Klimahistoriker Christian Pfister kritisiert, weil sie historische Hochwasserkatastrophen nicht berücksichtigten.

Erst zwei Jahre später setzten die Bundesbehörden eine Arbeitsgruppe ein, welche die Hochwasserberechnung überprüfen will – die Resultate werden aber erst in einigen Jahren vorliegen. Bis dahin seien einzelne Modellrechnungen wenig aussagekräftig, sagt Beznau-Kritiker Heini Glauser: «Man weiss ja noch gar nicht, wie viel Wasser im Extremfall kommen könnte.»



Auftrag EXAR

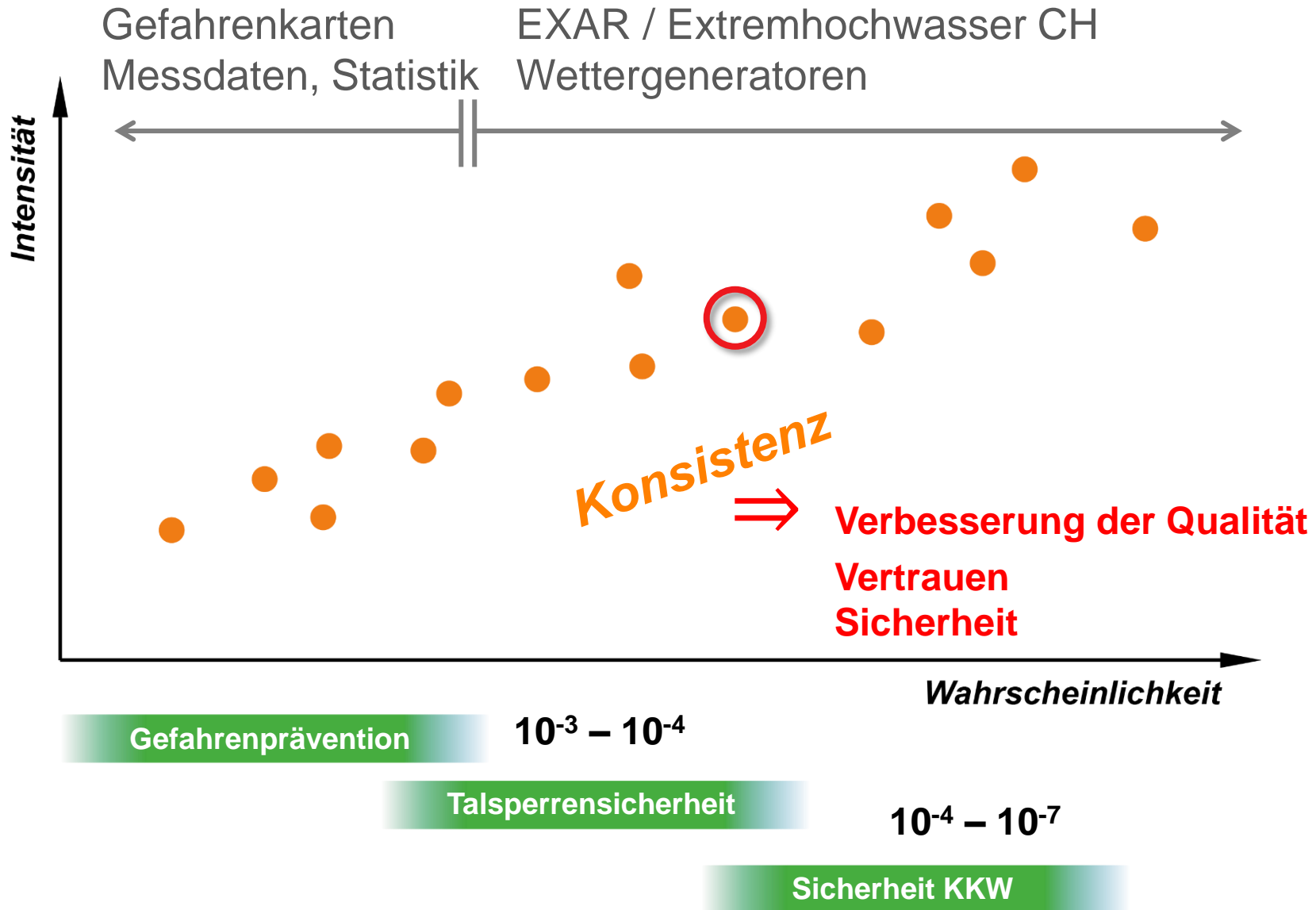
Erarbeitung von **homogenen Grundlagen** für die Beurteilung der **Hochwassergefährdung** bei **seltenen bis sehr seltenen** Ereignissen an Aare und Rhein

- **Bundesamt für Umwelt (Federführung)**
- Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat
- Bundesamt für Energie
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz
- MeteoSchweiz

- Versch. Forschungsinstitute und private Büros



Ziel





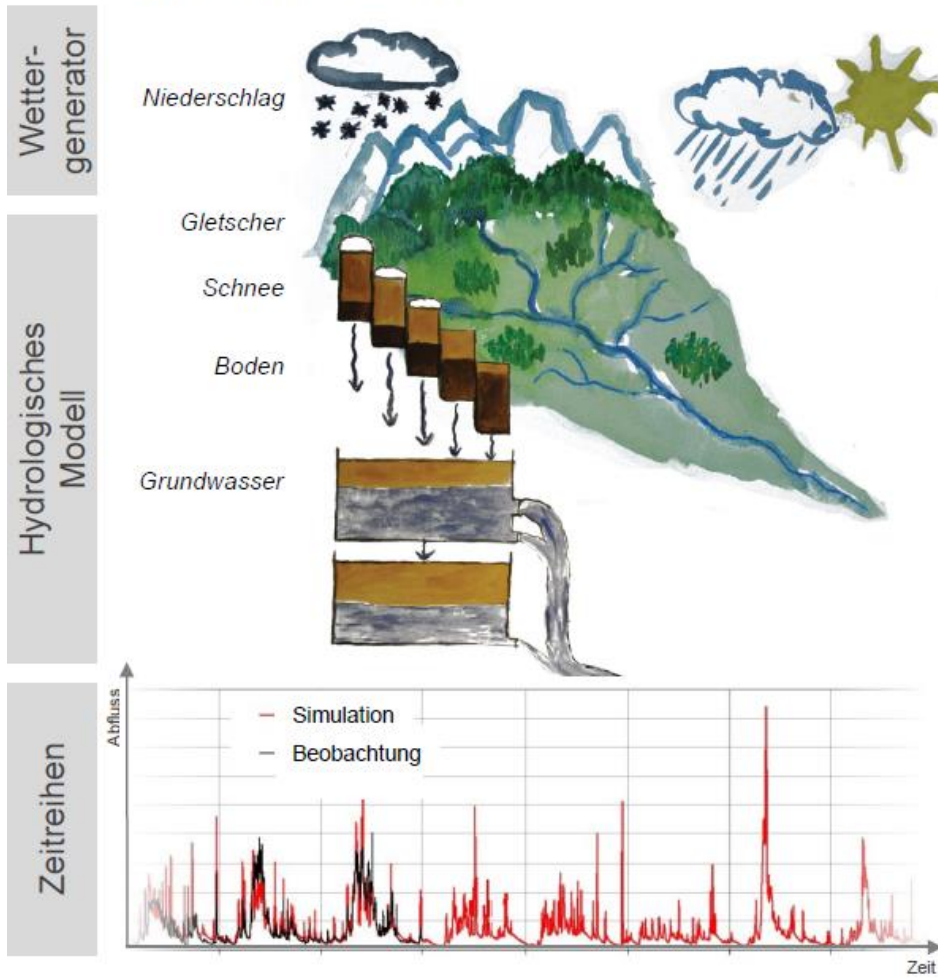
EXAR: Modelkette und verwendete Methoden



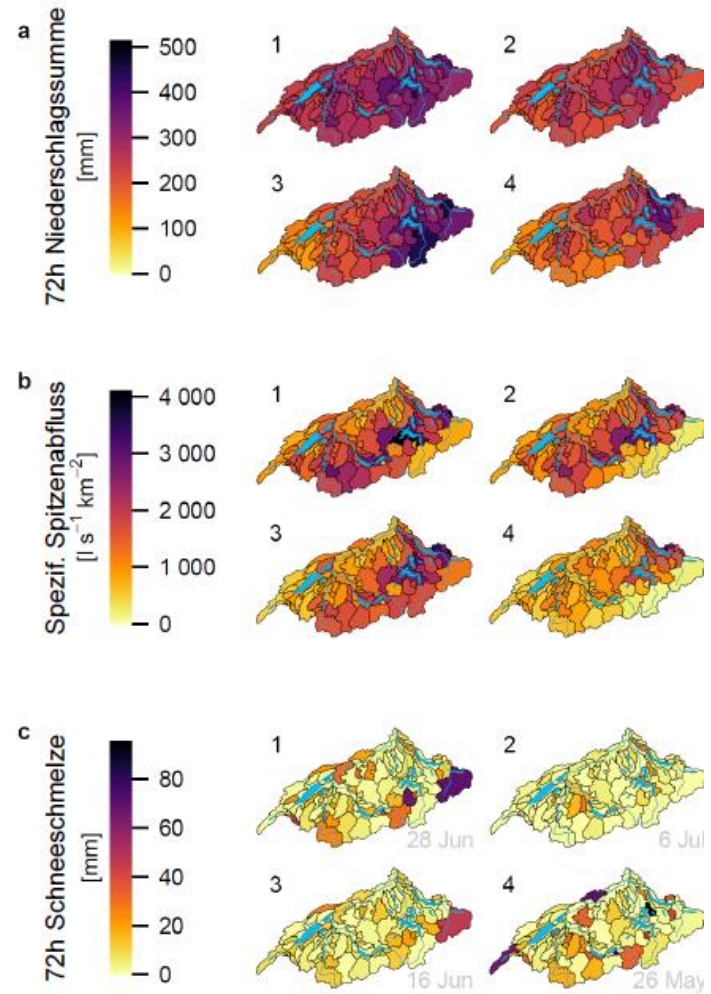


Modelkette

Modellschema



Simulationsergebnisse



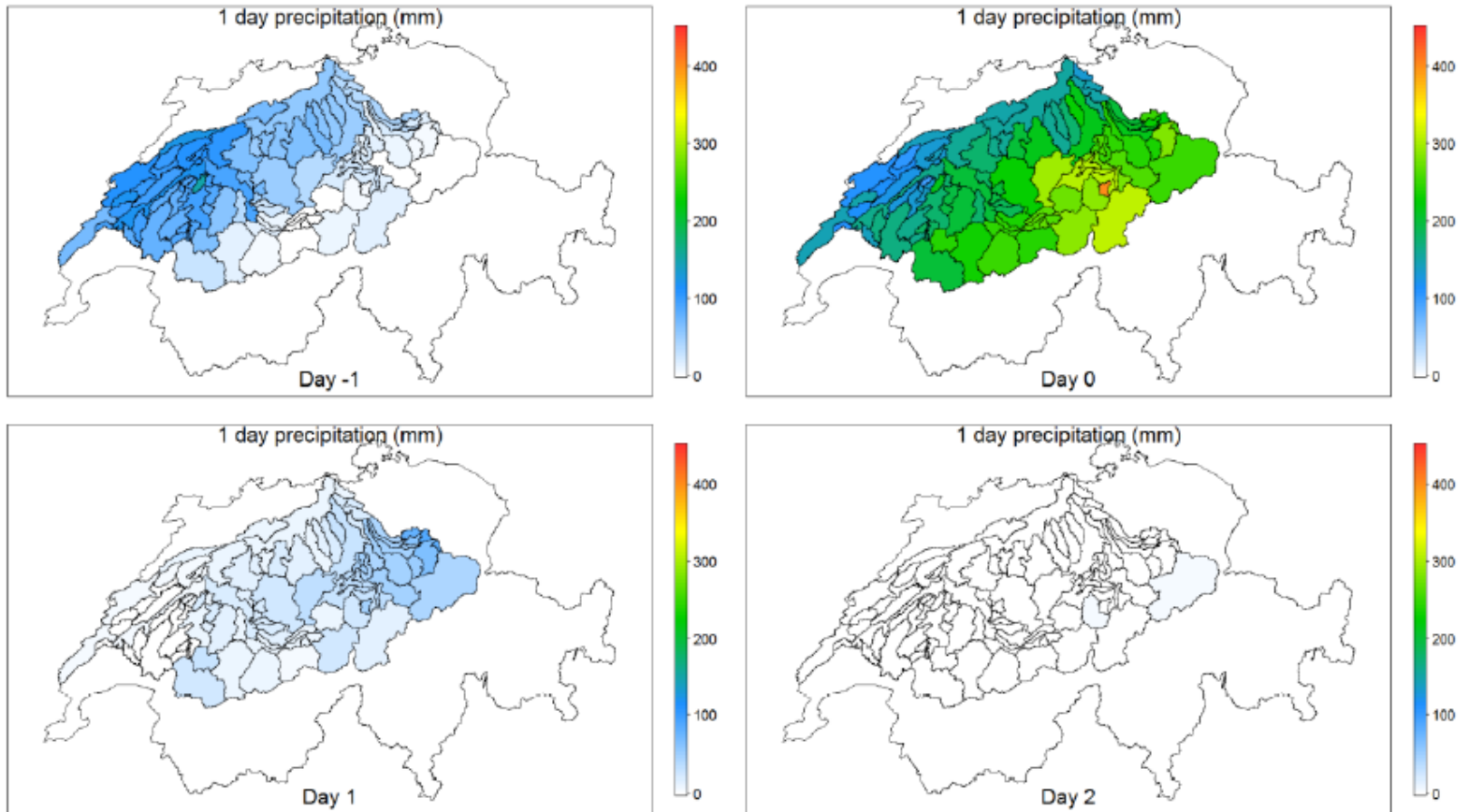


Methodisches Vorgehen

- Simulation stündlicher **Temperatur- und Niederschlagszeitreihen** für 300'000 Jahre mittels Wettergeneratoren (GWEX).
- Umwandlung des Niederschlags in **Abflüsse** für alle Fließgewässer im Einzugsgebiet der Aare mithilfe hydrologischer Modelle.
- Auswahl von Hochwasserszenarien mit Wiederkehrperioden von **100 bis 100'000 Jahren**.
- Identifikation von **Schlüsselstellen** im Aare-System durch die Analyse von Bauwerksversagen.
- **Analyse der lokalen Gefährdung** durch Extremhochwasser an fünf Standorten, inklusive Versagen von Bauwerken, Rutschungen und morphologischen Prozessen.
- Visualisierung der Resultate mit **Gefährdungskurven** und **hydraulischen Karten**.



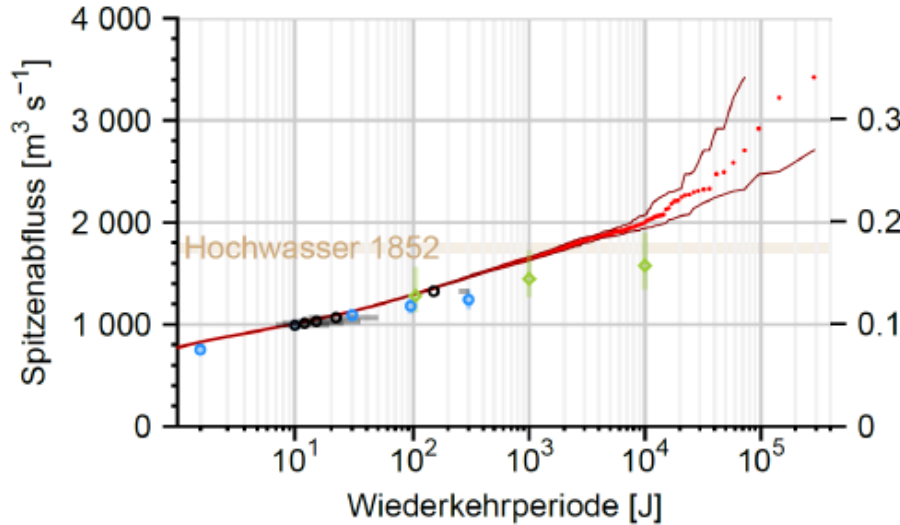
Wettergeneratoren GWEX



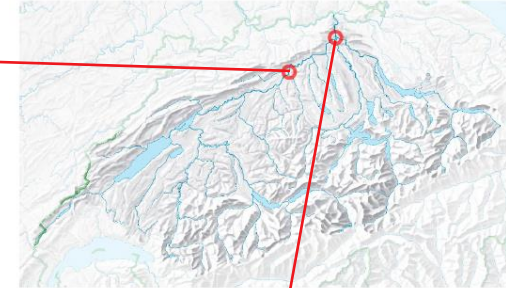


Statistische Einordnung Spitzenabflüsse

Aare bei Aarburg

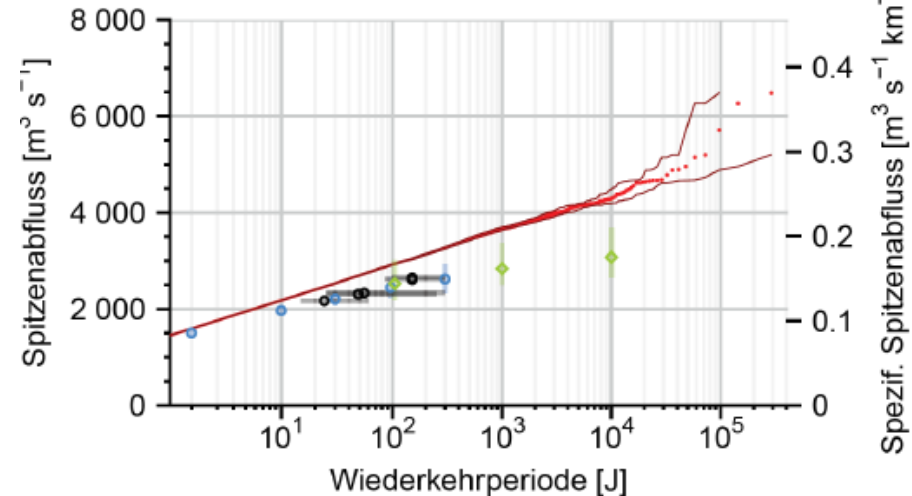


● Schätzung ● Beobachtung



Spezif. Spitzenabfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$]

Aare bei Stilli

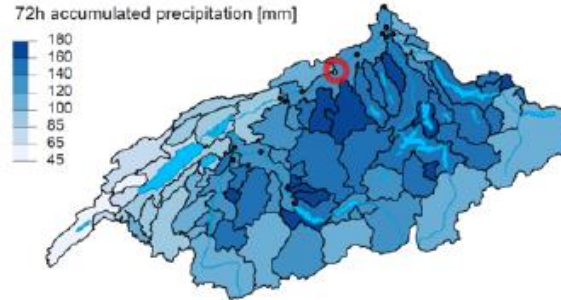
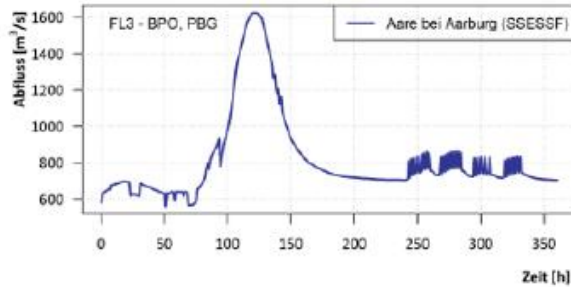


Spezif. Spitzenabfluss [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$]

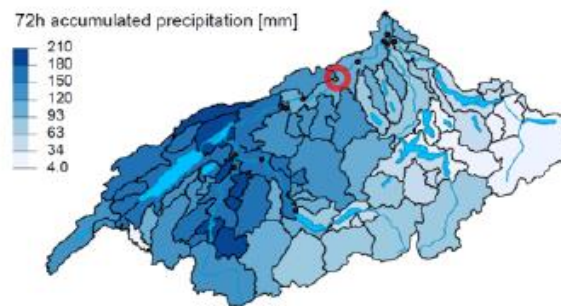
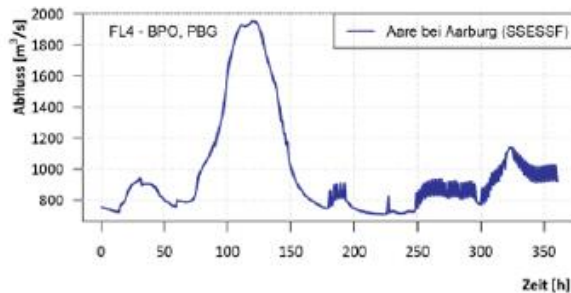
● Hochwasserstatistik BAFU ■ Schätzung historisch
◆ Hochwasserstatistik EPFL



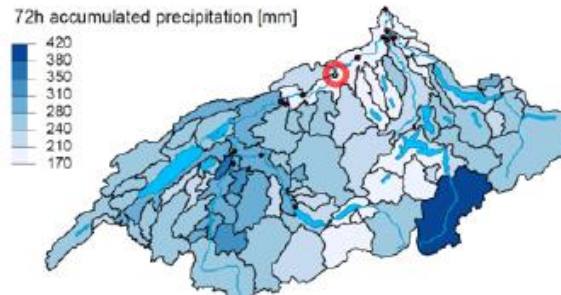
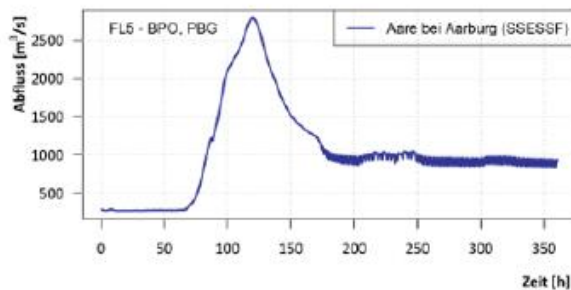
Auswahl HW-Szenario (Ganglinie)



1'000-jährliches
Hochwasserereignis



10'000-jährliches
Hochwasserereignis



100'000-jährliches
Hochwasserereignis



Identifikation Schlüsselstellen



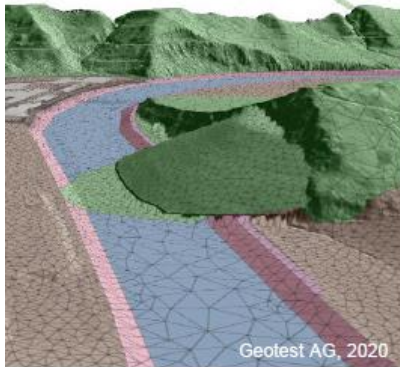
- Sperrenbruch Stauanlage **Rossens**
- Sperrenbruch Stauanlage **Schiffenen**
- Sperrenbruch Stauanlage **Mühleberg**
- Versagen an der Stauanlage **Aarberg**:
(Teil-)Ausfall der HW-Entlastung oder Verklausung
- Breschenbildung rechtsufrig am **Hagneckkanal**
oberwasserseitig der Walperswilerbrücke
- Sperrenbruch Stauanlage **Wettingen** an der Limmat

Definition «Schlüsselstelle»:
Standort, an dem Ereignisse passieren können, die das Verhalten des Gesamtsystems entscheidend beeinflussen



Untersuchung möglicher Gefahrenprozesse

- Wasserbauten (Stauanlagen, Seitendämme, Brücken)
- Rutschungen
- Schwemmholz
- Morphologische Prozesse (Schwebstofftransport, Ufererosion, Kolkbildung etc.)



- Gutachterliche **Szenarien-Kombination** mit ausgewählten Hochwasserabflüssen
- **Einordnung der Häufigkeit** mittels Ereignisbaumanalyse



EXAR: Resultate

Gefahrengrundlagen für Extremhochwasser an Aare und Rhein (EXAR) - Projekte - WSL

Synthesebericht



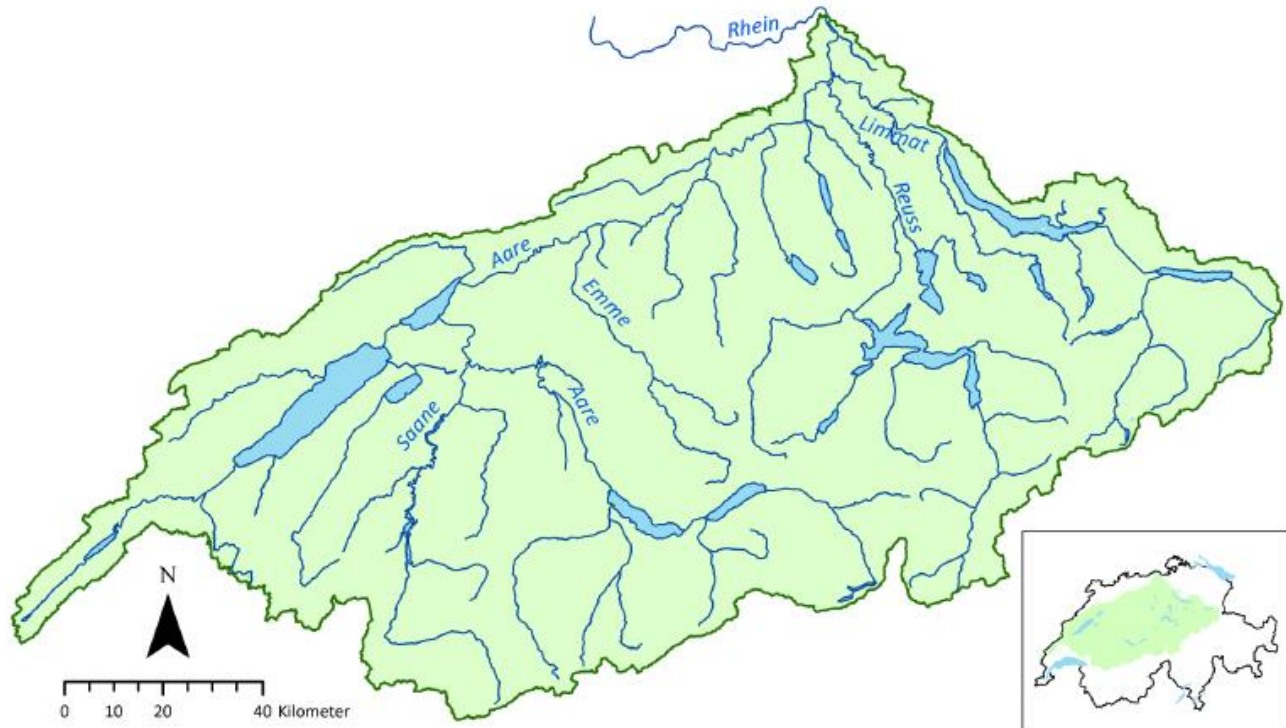
Hauptbericht





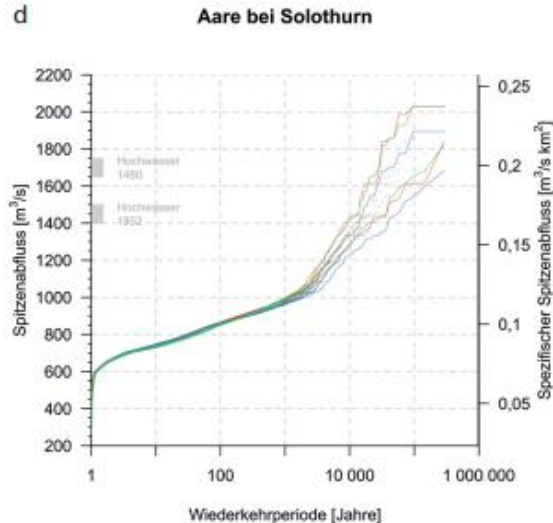
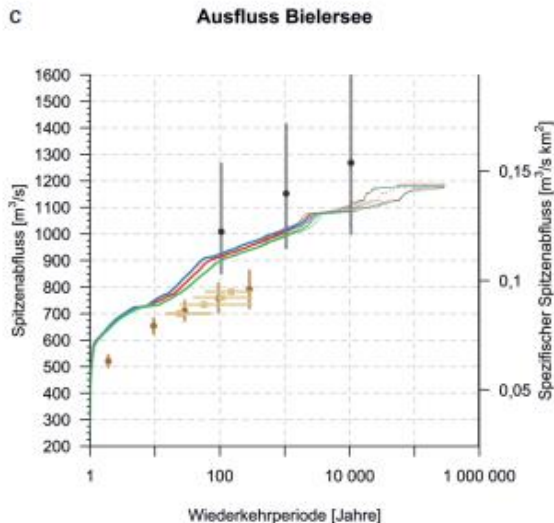
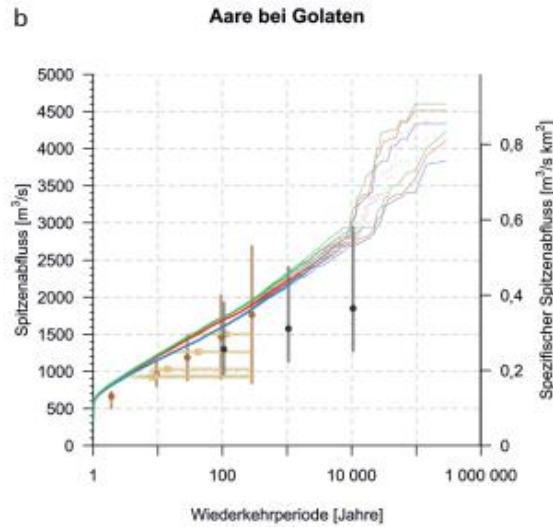
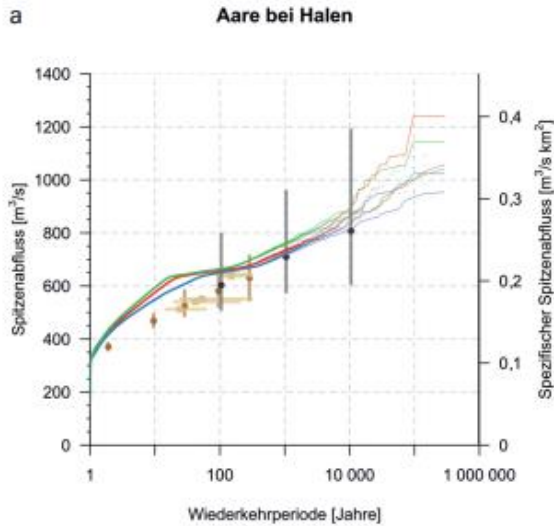
Einzugsgebiet der Aare

- 288 km Fließstrecke
- 17 700 km² Fläche (43% der Schweiz)
- Städte an der Aare: Thun, Bern, Solothurn, Olten, Aarau
- 19 Stauanlagen, 3 Kernkraftwerke und nationale Verkehrswege (Strasse und Schiene)
- Mittlere Abflussmenge bei der Mündung in den Rhein: 560m³/s





Spitzenabflüsse im EG der Aare



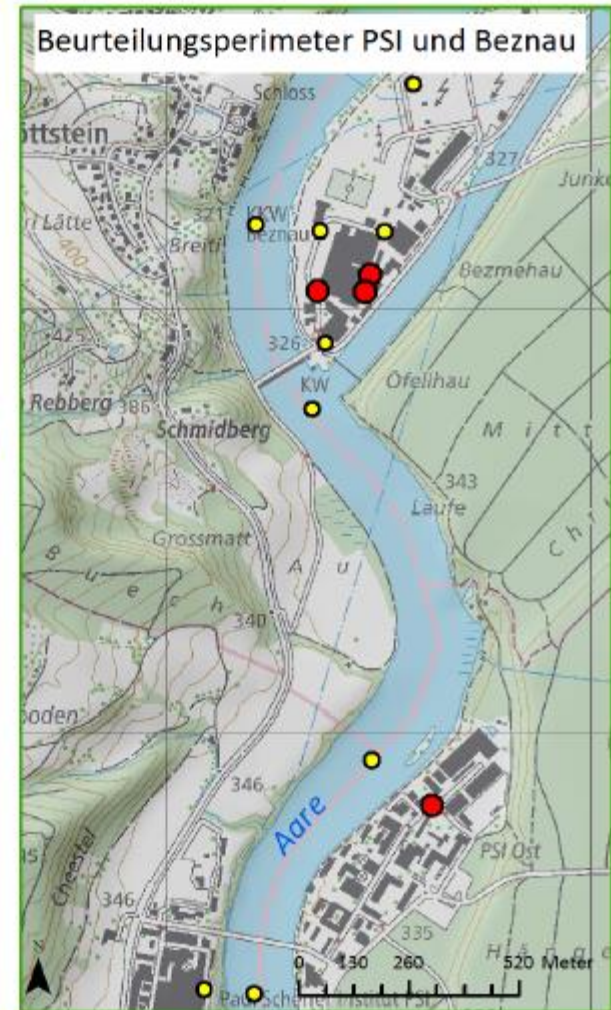
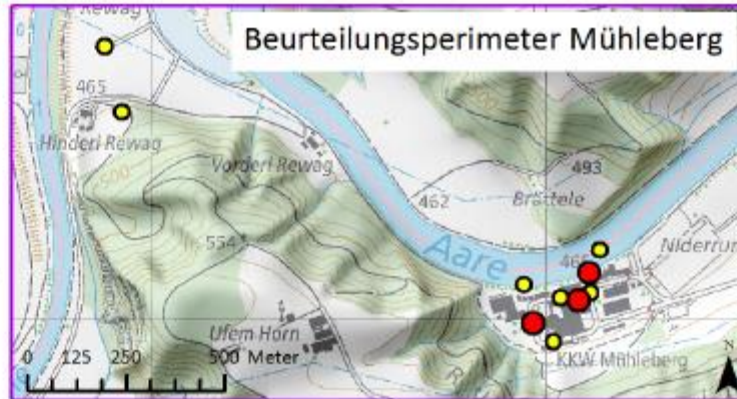
- Aare Halen
- Aare Golaten
- Aare Solothurn
- Aare Aarburg
- Aare Brugg
- Aare Stilli
- Limmat Turgi
- Ausfluss Bielersees



5 Standorte im Detail untersucht

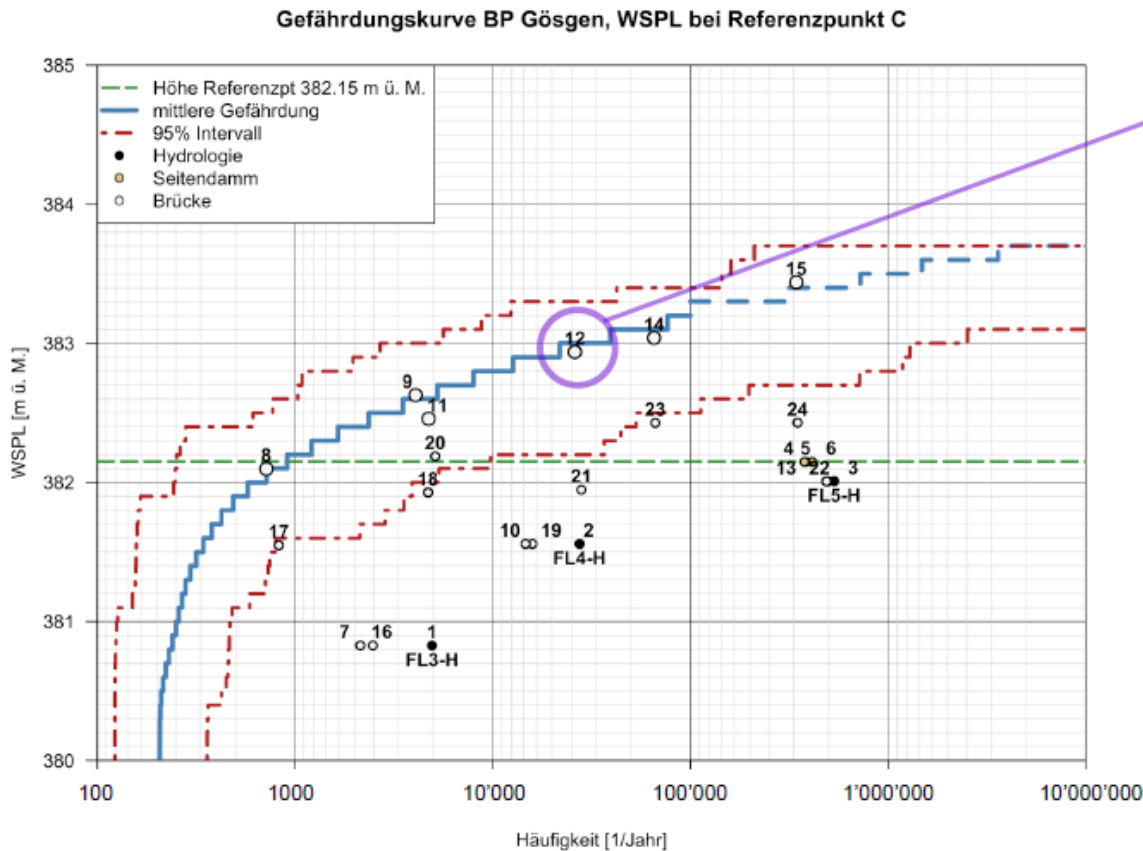


- Referenzpunkt
- Szenariopunkt





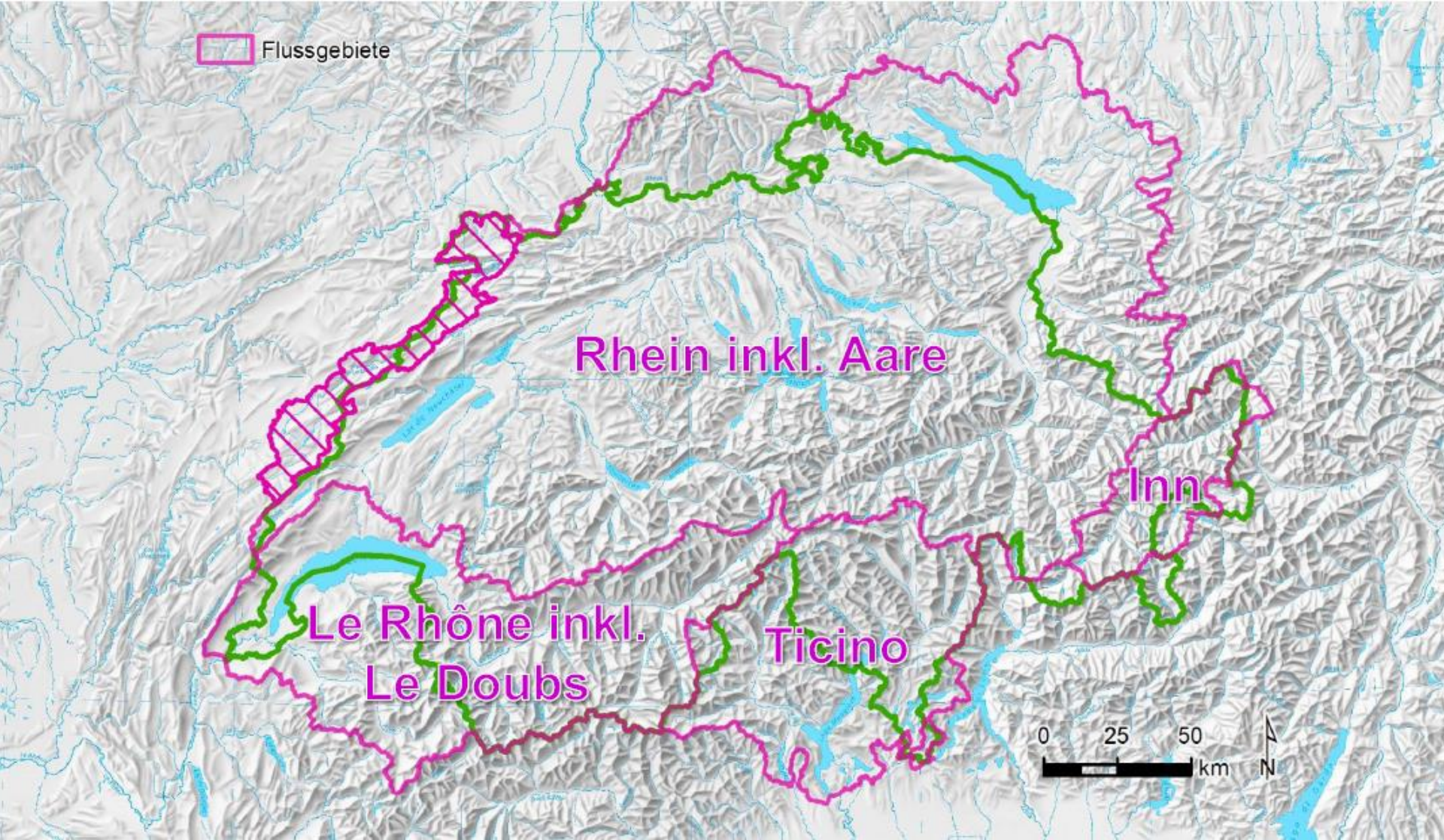
Gefährdungskurve und Überflutungskarte



Das Areal würde nur bei einem 1'000-jährlichen Hochwasser überflutet werden, wenn zugleich der Fussgängersteg neben dem Kernkraftwerk Gösgen verklaut. Bei einem 10'000-jährlichen Spitzenabfluss und einer Schwemmholzverklautung des Fussgängerstegs (Szenario 12) würde das Gelände zum grössten Teil 65 Zentimeter unter Wasser stehen, bei einem 100'000-jährlichen Hochwasserereignis mit Verklautung rund 1,3 Meter.

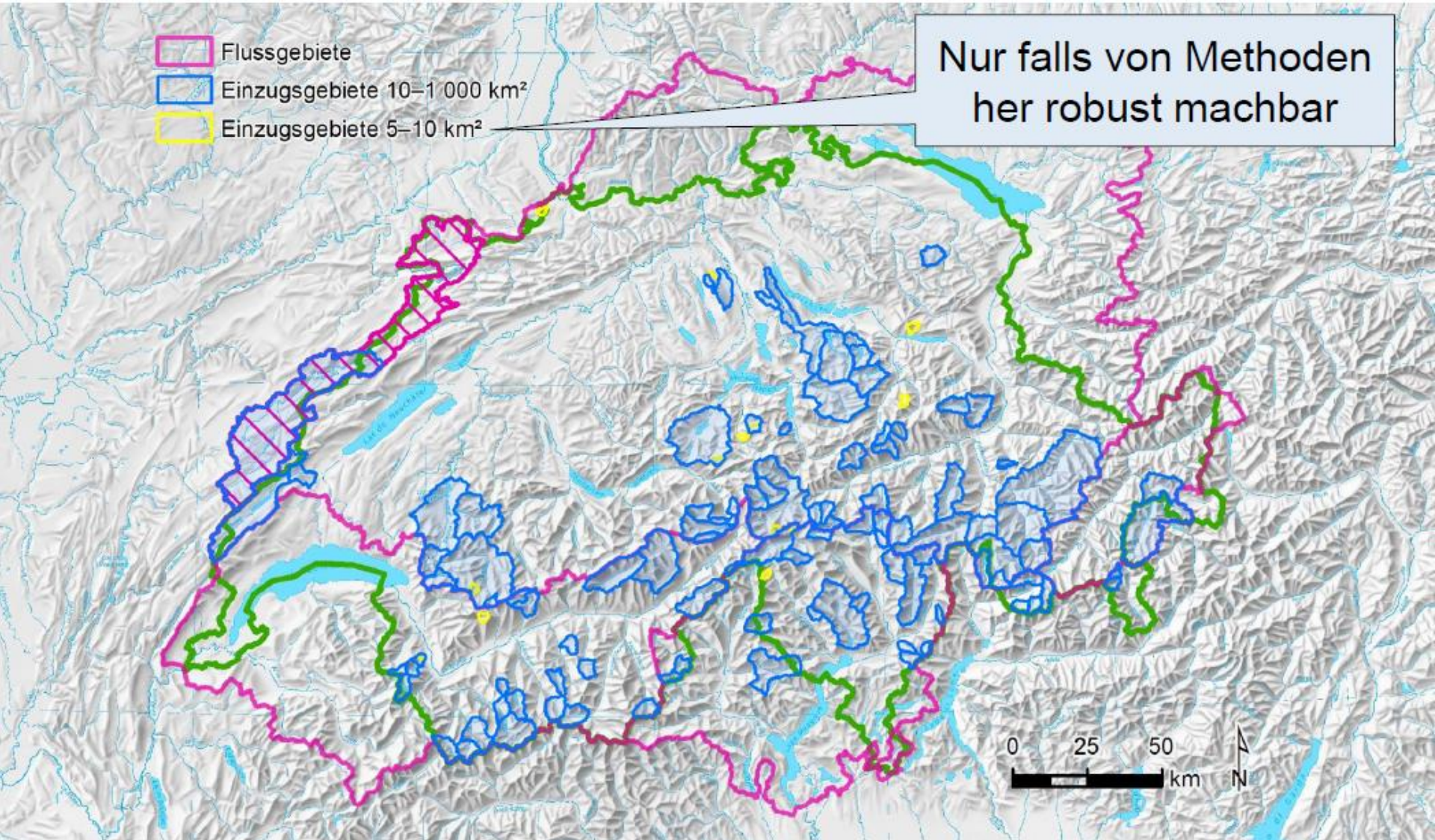


Ausblick: Extremhochwasser CH





Unterscheidung «grosse» vs. «kleine» EG



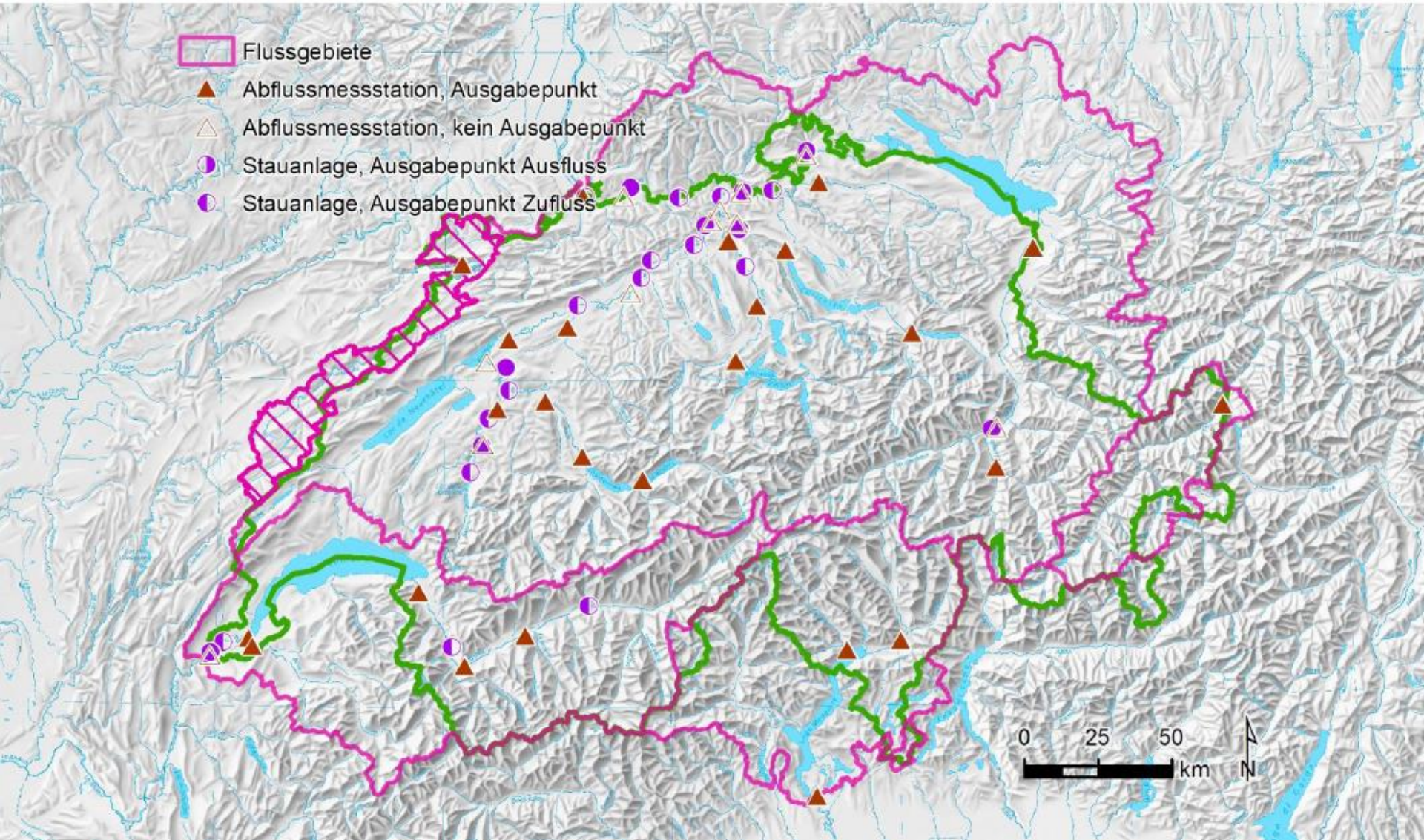


Methodisches Vorgehen

- **«Grosse» Einzugsgebiete (Auftraggeber: BAFU)**
Ähnlich Hydrometeorologie in EXAR, aber für die gesamte Schweiz und mit punktuellen Weiterentwicklungen
- **«Kleine» Einzugsgebiete (Auftraggeber: BFE)**
Weiterentwicklung für Skalenbereich ca. 10 bis 1000 km², **Fokus auf Stauanlagen unter Bundesaufsicht**
- **Sensitivitätsanalysen**
(Machbarkeitsstudie) Grundlagen, um Plausibilität und Belastbarkeit der Resultate besser einschätzen zu können
- **Reforecasts**
(Machbarkeitsstudie) Potenzial numerischer Wettermodelle für die Abschätzung extremer Wetter- und Hochwasserereignisse ausloten

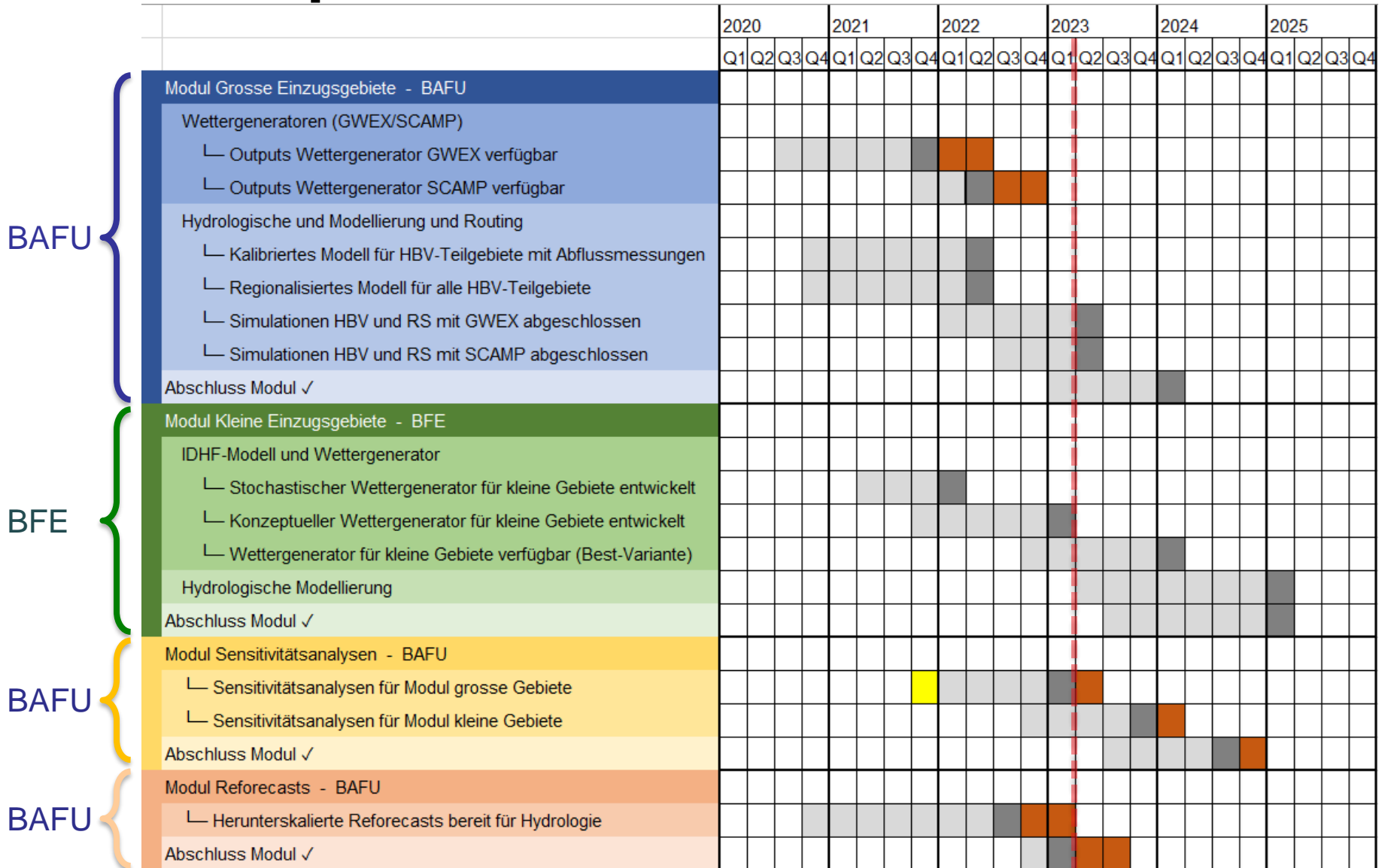


Ausgabepunkte «grosse EG»





Zeitplan Extremhochwasser CH



Schweizer Stauseen und Hochwasserschutz

A wide-angle photograph of a large concrete dam in a mountain valley. The dam is curved and holds back a reservoir of bright turquoise water. The surrounding landscape is rugged, with steep, rocky slopes covered in green vegetation and patches of snow. In the background, majestic mountains rise under a clear blue sky with scattered white clouds. The overall scene is a beautiful representation of Swiss mountain infrastructure.

Josef Eberli, BAFU, Gefahrenprävention



Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen

„Fast alle sächsischen Talsperren sind multifunktional. Sie dienen der Trink- oder Brauchwasserversorgung aber auch dem Hochwasserschutz, der Niedrigwasseraufhöhung, der Energiegewinnung und der Naherholung.“

«Zehn Millionen Kubikmeter kann die Talsperre Eibenstock bei Hochwasser aufnehmen. Diese Lamelle wird dafür ständig freigehalten. Ist sie eingestaut, geht die Talsperre in den Überlauf, wie hier beim Junihochwasser 2013.»



© Landestalsperrenverwaltung Sachsen / Reiner Lautenschläger



Situation Schweiz: Stauanlagen für die Energiegewinnung



© Grande Dixence SA - Michel Martinez

© Ourea Services SA / Val d'Hérens



Rückhaltebecken für den Hochwasserschutz





Topographische Ausgangslage Schweiz



Rund 2/3 der Fläche in der Schweiz wird über grosse regulierte **Seen** entwässert, welche natürlicherweise die **Hochwasser stark dämpfen**. Dies wird durch die Gewässerkorrekturen noch verstärkt.

Die ausgeprägte Topographie der Schweiz eignet sich für die **Energieproduktion**.



Vereinzelte Multifunktionsspeicher: Mattmark



Kraftwerke Mattmark AG

© BFE



Mitnutzung des Sihlsees durch Vorabsenkung im Ereignisfall

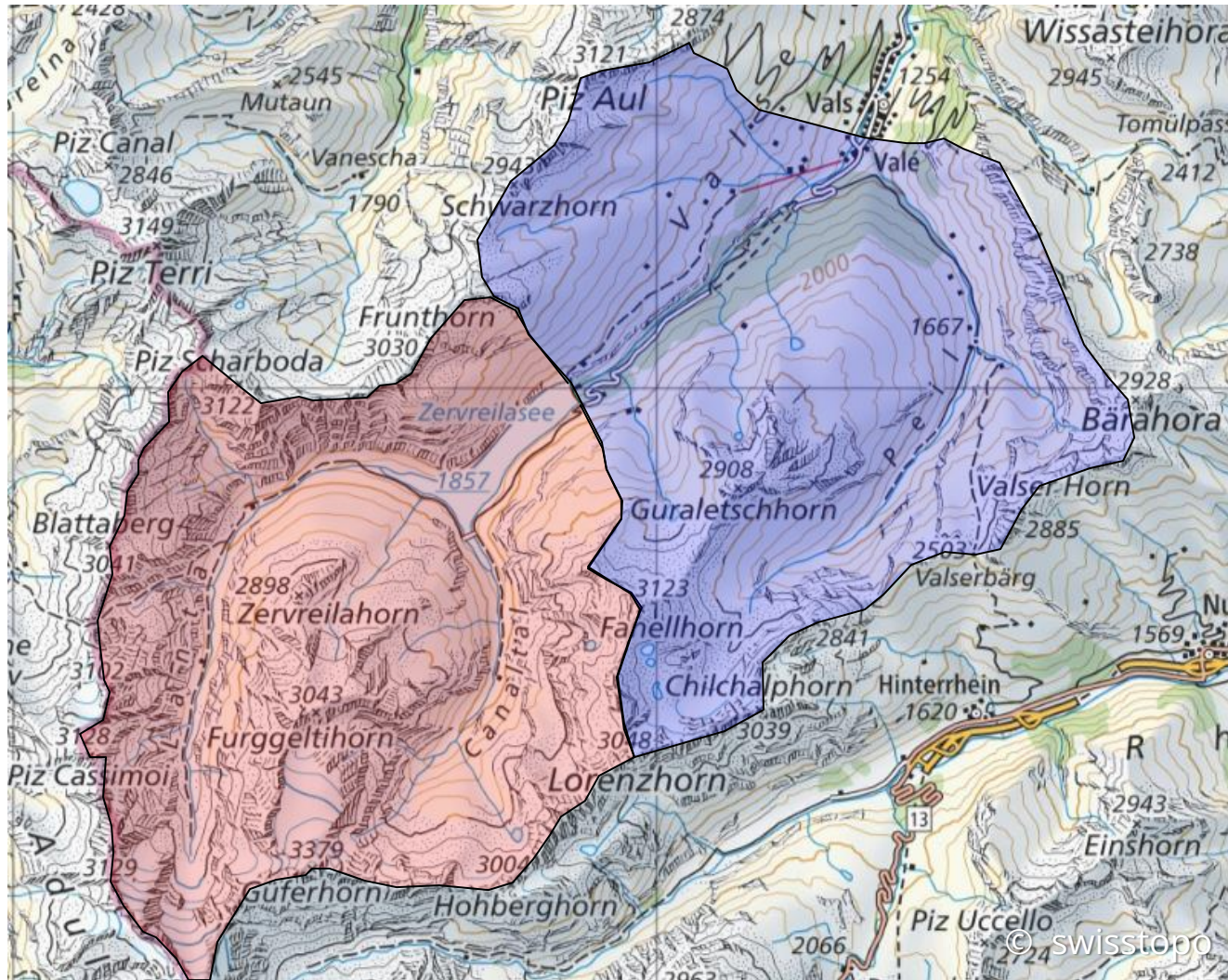
Das Prinzip der Sihlsee-Vorabsenkung



Während des Unwetters muss genügend Wasserrückhaltevolumen im Sihlsee vorhanden sein. Quelle: AWEL



Wirkung der Stauseen für den Hochwasserschutz

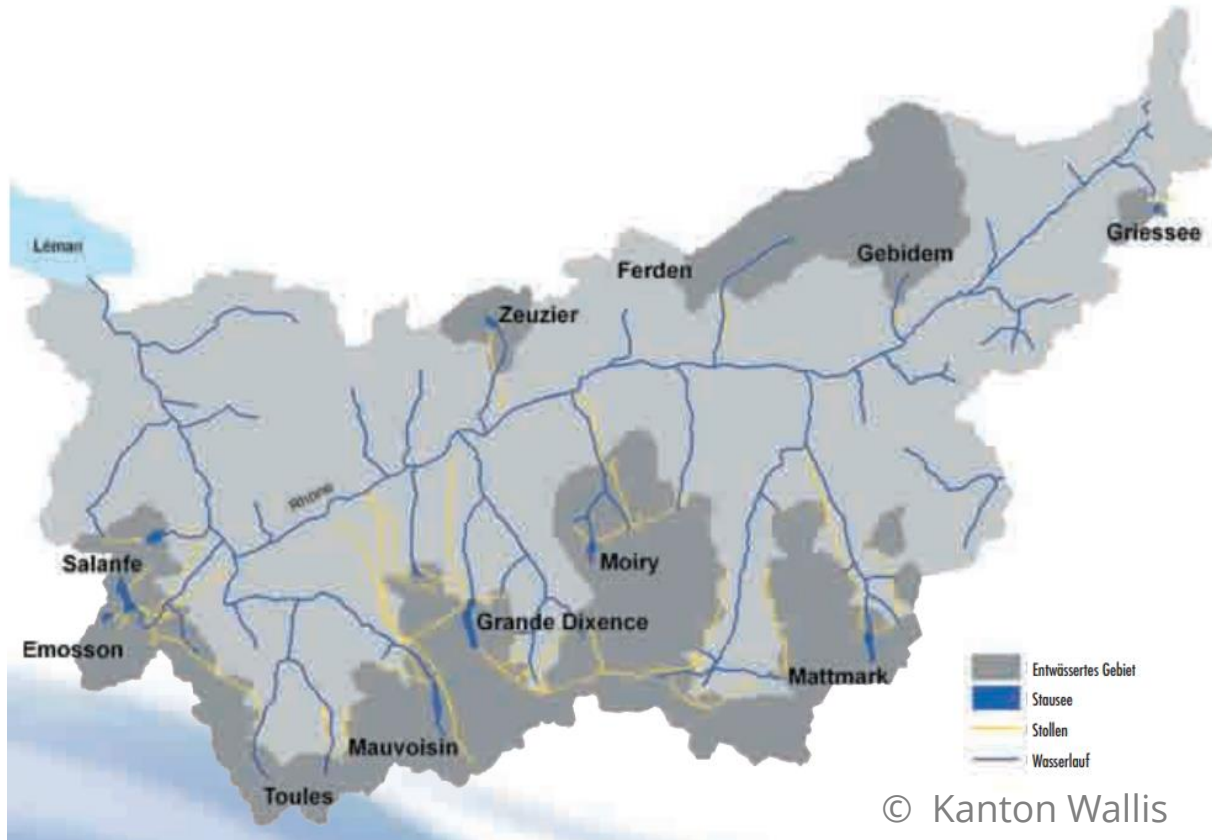


- Je näher eine Siedlung bei einer Stauanlage liegt desto grösser ist die Wirkung einer multifunktionalen Nutzung des Stausees.
- Eine Abschätzung zeigt, dass bei gut 50 Stauseen in der Schweiz eine multifunktionale Nutzung allenfalls sinnvoll wäre.

- Einzugsgebiet Stausee
- Resteinzugsgebiet ob Siedlung



Grossräumiger Einbezug der Stauseen: MINERVE im Wallis

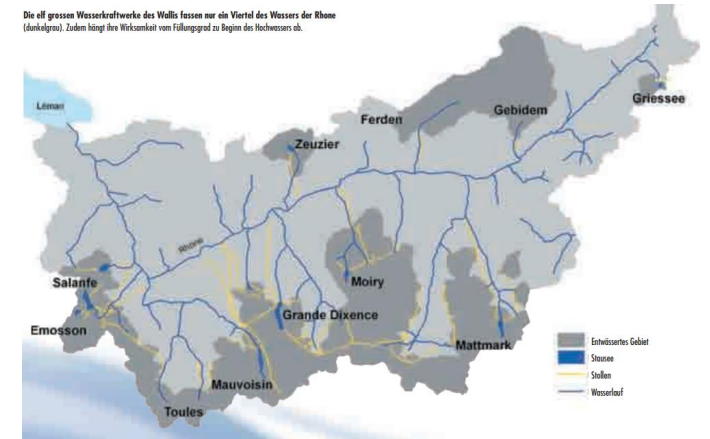


- Einbezug der Stauseen in die **Vorhersage und Warnung** bei Hochwasser
- **Modellierung** der Wirkung von Vorabsenkungen und/oder Ableitungen als Entscheidungsgrundlage



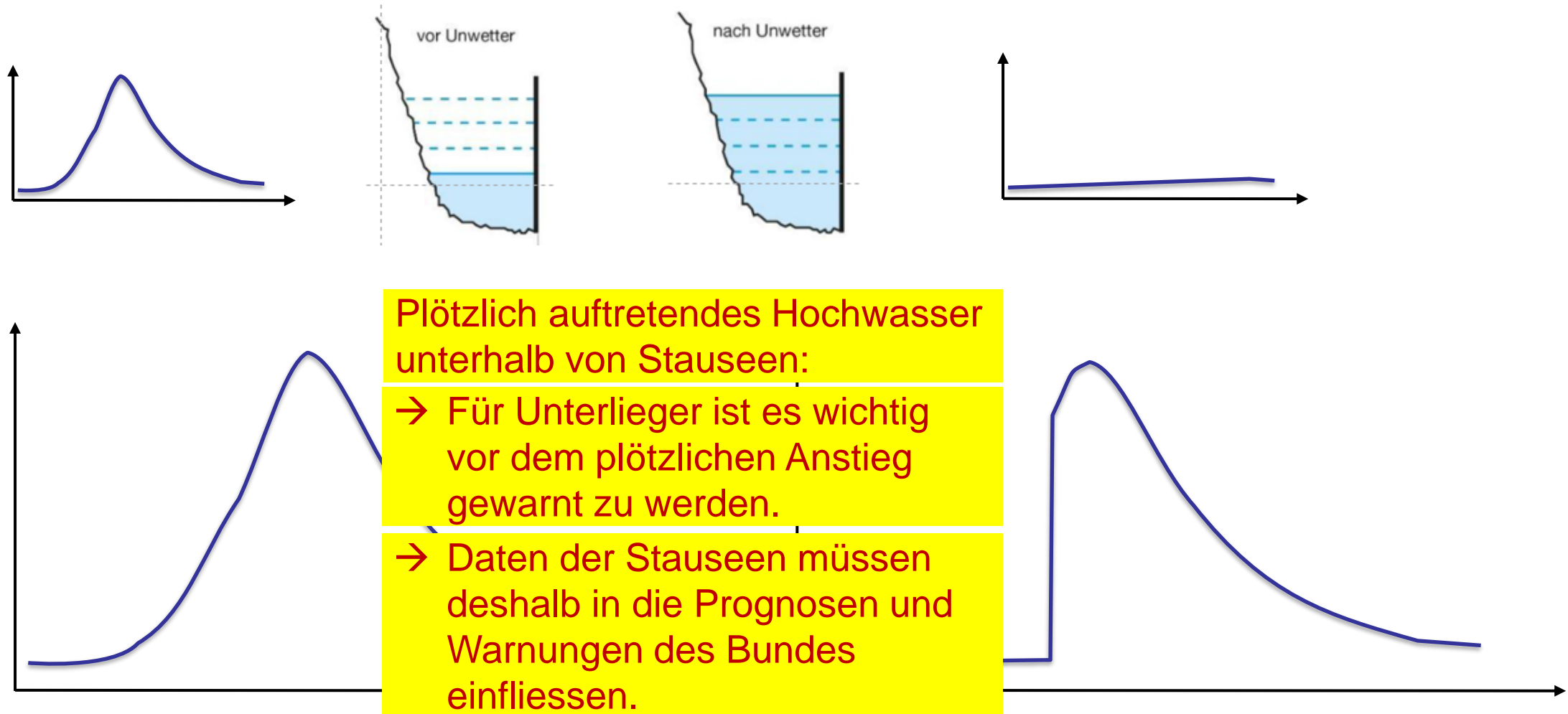
Möglichkeiten und Grenzen des Einbezugs der Stauseen

- Unter Zusammentreffen von **sehr günstigen Bedingungen** könnte der Spitzenabfluss eventuell um 20 - 30% reduziert werden (sehr genaue Wetterprognosen und teilweise leere Speicher).
- Die Stauseen fassen das Wasser nur aus 1/4 des gesamten Einzugsgebietes.
- **Bei Extremhochwasser** ist das System wesentlich weniger wirksam, da die damit verbundenen Volumen so gross sind, dass die Wirkung des Rückhalts in den Stauseen abnimmt, weil die Speicherseen vor dem Erreichen der Abflussspitze bereits gefüllt sind und somit nur wenig Wirkung zeigen.
- Die grossen Hochwasser treten zudem oft im August und September auf, wenn die Stauseen in der Regel gefüllt sind.
- Eine Hochwasser-Bewirtschaftung der Stauseen kann somit die **Risiken** in der Talebene **nur in bestimmten Fällen mindern**.





Beeinflussung des Hochwassers durch Stauseen





Herausforderungen im Hochwasserschutz: Siedlungsausdehnung

1910: CHF 0.3 Mio.

Risiko 1:300

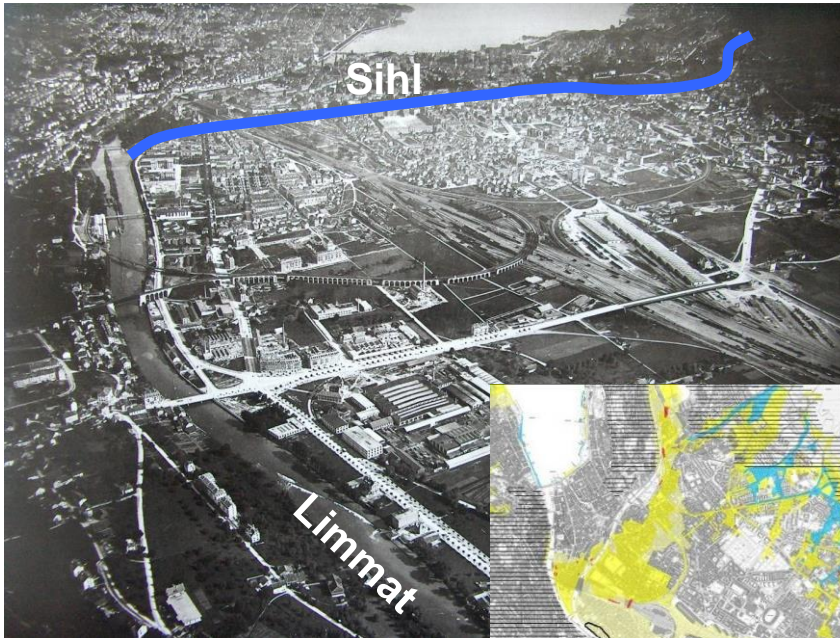
Heute: 100 Mio. Fr.



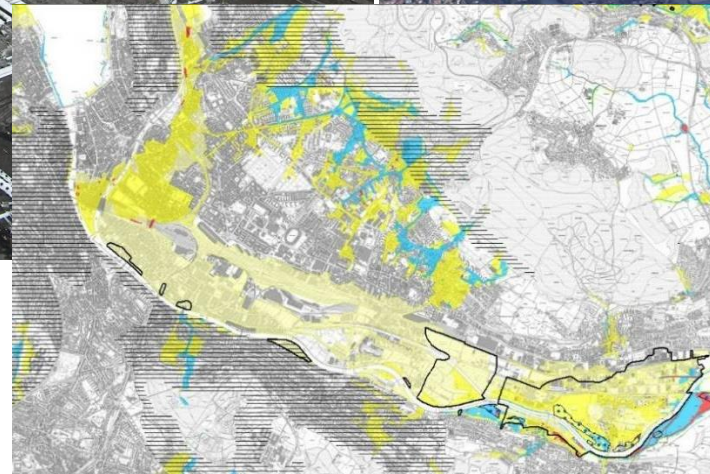


Herausforderungen im Hochwasserschutz: Siedlungsverdichtung

Zürich 1908



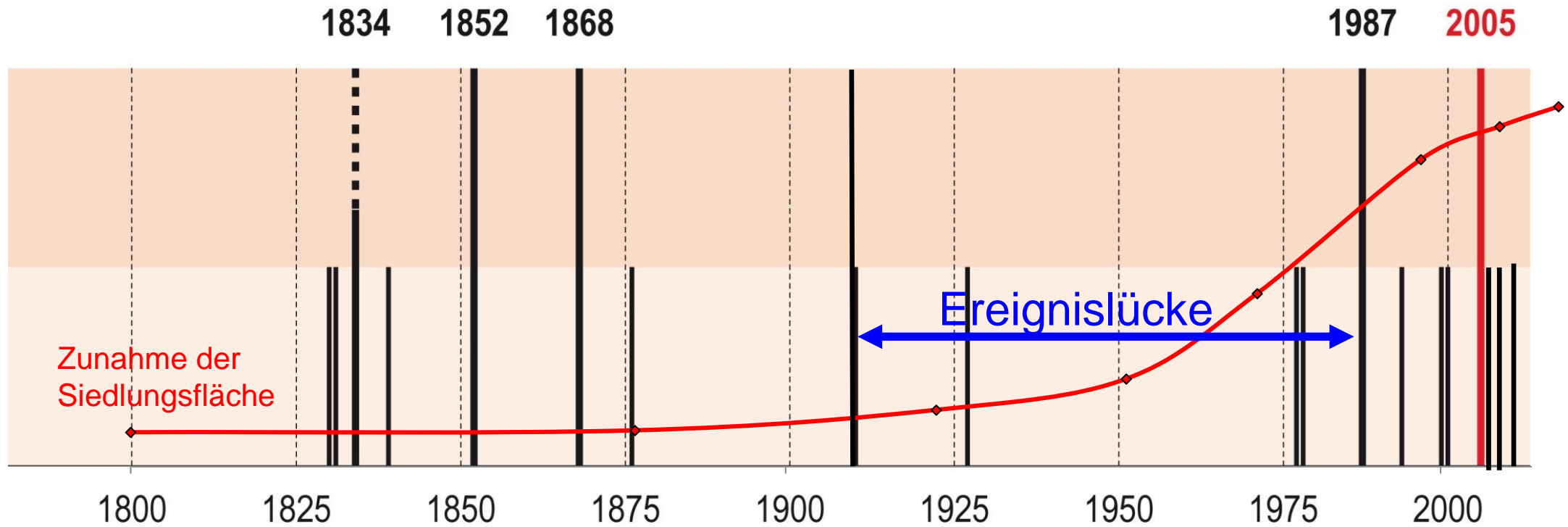
Zürich 2008



➤ Schadenpotential heute: CHF 5.5 Mrd.



Entwicklung grosser, überregionaler Hochwasserereignisse und der Siedlungsfläche





Herausforderung Hochwasserschutz: Klimawandel

	Stärkster jährlicher Eintagesniederschlag		100-jährliches Eintages-Niederschlagsereignis	
	Winter	Sommer	Winter	Sommer
Erwartet um Mitte 21. Jahrhundert:	+10 %	+10 %	+10 %	+20 %
Erwartet gegen Ende 21. Jahrhundert:	+20 %	+10 %	+20 %	+20 %

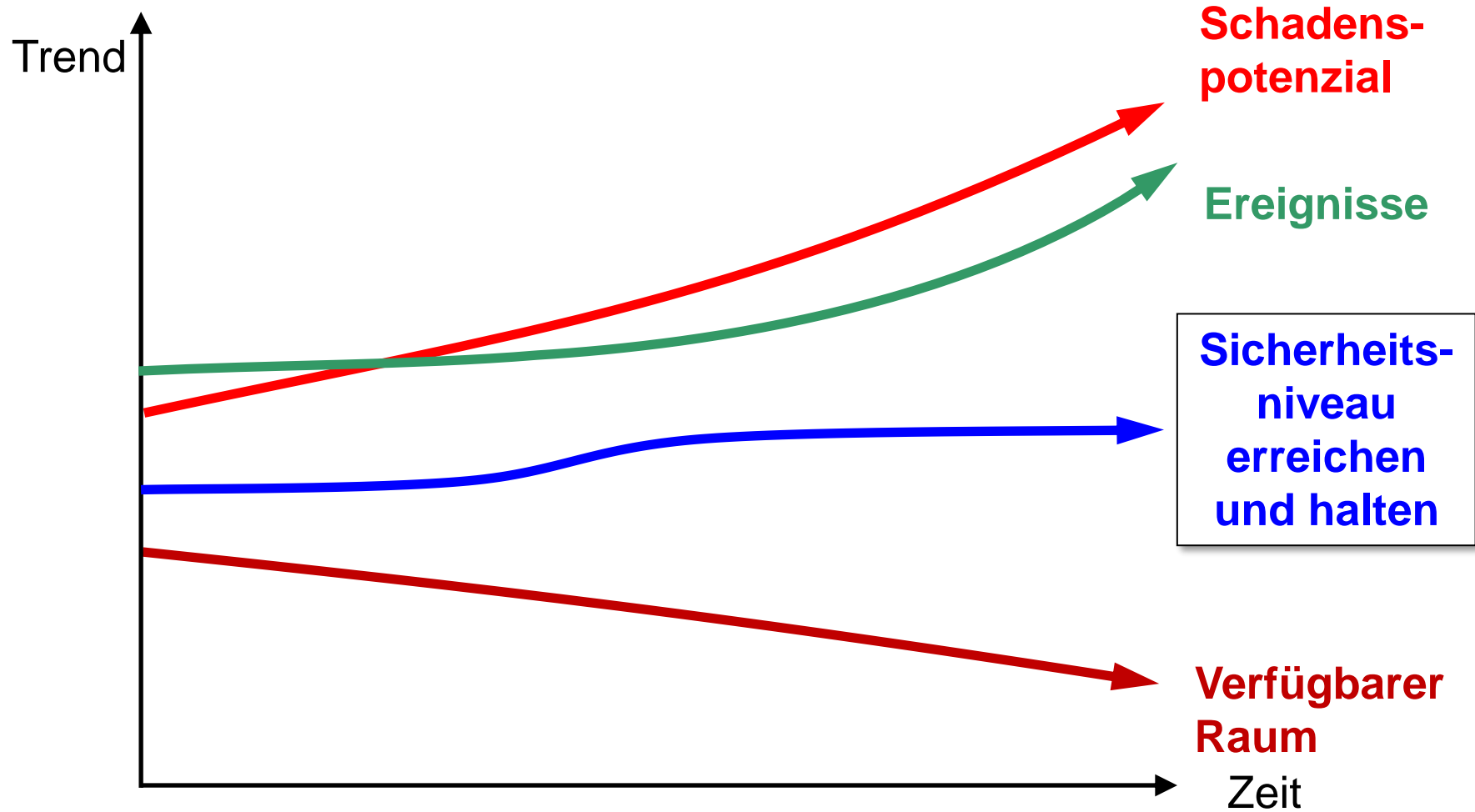
Erwartete Veränderungen gegenüber 1981-2010 ohne Klimaschutz (Median der Simulationen, Maximum der Regionen). Der Unsicherheitsbereich der Starkniederschläge ist nicht berücksichtigt, da er stark von natürlichen Schwankungen bestimmt ist. Niederschlagsänderungen sind auf 5 Prozent genau angegeben.

Mögliches Szenario 2060: Während des stärksten Niederschlags-tags fällt durchschnittlich etwa 10 Prozent mehr Niederschlag. Ein Jahrhundertniederschlag im Sommer bringt rund 20 Prozent mehr Regen als heute.

© MeteoSchweiz



Herausforderung Hochwasserschutz

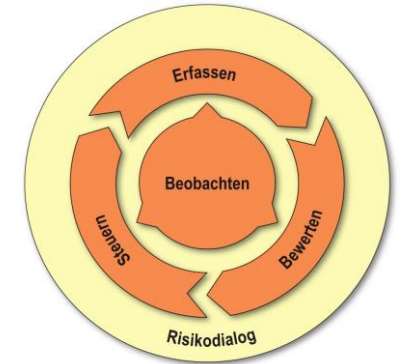




Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz: Integrales Risikomanagement

Integral ist das Risikomanagement, wenn

- **alle** Naturgefahren betrachtet werden,
- sich **alle** Verantwortungsträger an der Planung und Umsetzung von Massnahmen beteiligen und
- **alle** Arten von Massnahmen in die Massnahmenplanung einbezogen und optimal kombiniert werden.



Die optimale Massnahmenkombination umfasst planerische, organisatorische, biologische und technische Massnahmen. Es werden verschiedene Varianten erarbeitet und daraus die optimale Massnahmenkombination bestimmt. Dabei wird auch der Einbezug von Stauseen geprüft.



Rechtsanpassung Naturgefahrenrecht

Zurzeit werden das Wasserbau- und Waldgesetz sowie die Verordnungen angepasst.

Ziele der Rechtsanpassung sind:

- Das Integrale Risikomanagement rechtlich zu verankern
- Finanzielle Fehlanreize bei der Wahl von Massnahmen zu beheben.
- Finanzhilfen auch im WBG einzuführen
- Verschiedener Sachverhalte zu klären

Für Stauanlagen ist von Interesse, dass die **Abgeltungen** des Bundes ergänzt werden. Neben **baulichen Massnahmen** sollen neu auch **Entschädigungen im Ereignisfall** subventioniert werden. Neu soll der Bund Massnahmen wie beim Sihlsee gleichwertig abgelden wie beim Mattmark Stausee.



Auswirkungen Klimawandel

Die intensiven 100-jährlichen Niederschläge nehmen um 20% zu:

- Dadurch werden Hochwasserereignisse häufiger und das Risiko nimmt entsprechend zu.
- Die bestehenden **Hochwasserschutzmassnahmen** müssen **allenfalls nachgerüstet** werden.
- Der Einbezug von Stauseen in den Hochwasserschutz (multifunktionale Speicher) kann hier in gewissen Fällen zur optimalen Lösung beitragen.



Klimawandel: Rückzug der Gletscher

Im Hochgebirge wirkt sich der Klimawandel viel stärker auf die Hochwassergefahr aus.

- Der Verlust von vergletscherten Gebieten erhöht den Hochwasserabfluss sehr stark.
- Davon betroffen sind vor allem alpine Siedlungen (im Nahbereich der erhöhten Abflussspitzen) aber auch Stauanlagen.
- In Gebieten des Gletscherrückzuges werden voraussichtlich neue Stauanlagen entstehen. Hier wird das Interesse an **multifunktionalen Stauanlagen** gross sein.
- Das Interesse am Hochwasserschutz kann bei der Genehmigung von multifunktionalen Stauanlagen bewusst genutzt werden.



Klimawandel: neue Seen

- In Gebieten mit abschmelzenden Gletschern entstehen neue Seen und erhöhte Gefahr von Felsstürzen und Rutschungen.
- Stürze und Rutschungen in diese Seen bergen an verschiedenen Stellen die Gefahr von Tsunamis und talabwärts von Flutwellen, wie die Untersuchung NFP 61, Projekt NELAK zeigt.
- Dies ist eine Gefahr für Stauseen die unterhalb liegen.
- Dies ist aber auch eine Gefahr für Siedlungen.
- Hier macht situativ eine **kombinierte Prävention** Sinn.



Schlussfolgerungen

- Es bestehen verschiedene Aspekte bei denen eine **Abstimmung der Interessen der Stauseen und des Hochwasserschutzes** sinnvoll ist.
- Es gibt **nicht die Lösung** für die Kombination von Stauseen und Hochwasserschutz.
- Es muss immer die **lokal konkrete Situation** betrachtet werden.
- Seitens Hochwasserschutz werden die Stauseen in die optimale Massnahmenkombination einbezogen.
- Bei Planungen und Überprüfungen von Stauanlagen soll der Hochwasserschutz ebenfalls einbezogen werden.
- Bei den hydrologischen Prognosen und Warnungen sind die Daten der relevanten Stauseen einzubeziehen.

- Symposium “Talsperren und Extremhochwasser”; Bern; 29.3.2023

Extremhochwasser 2021 im Westen Deutschlands

Foto: Schüttrumpf, 2021



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der RWTH Aachen University



<https://hochwasser-kahr.de/>

Hochwasserdokumentation



Foto: Winandy, 2022

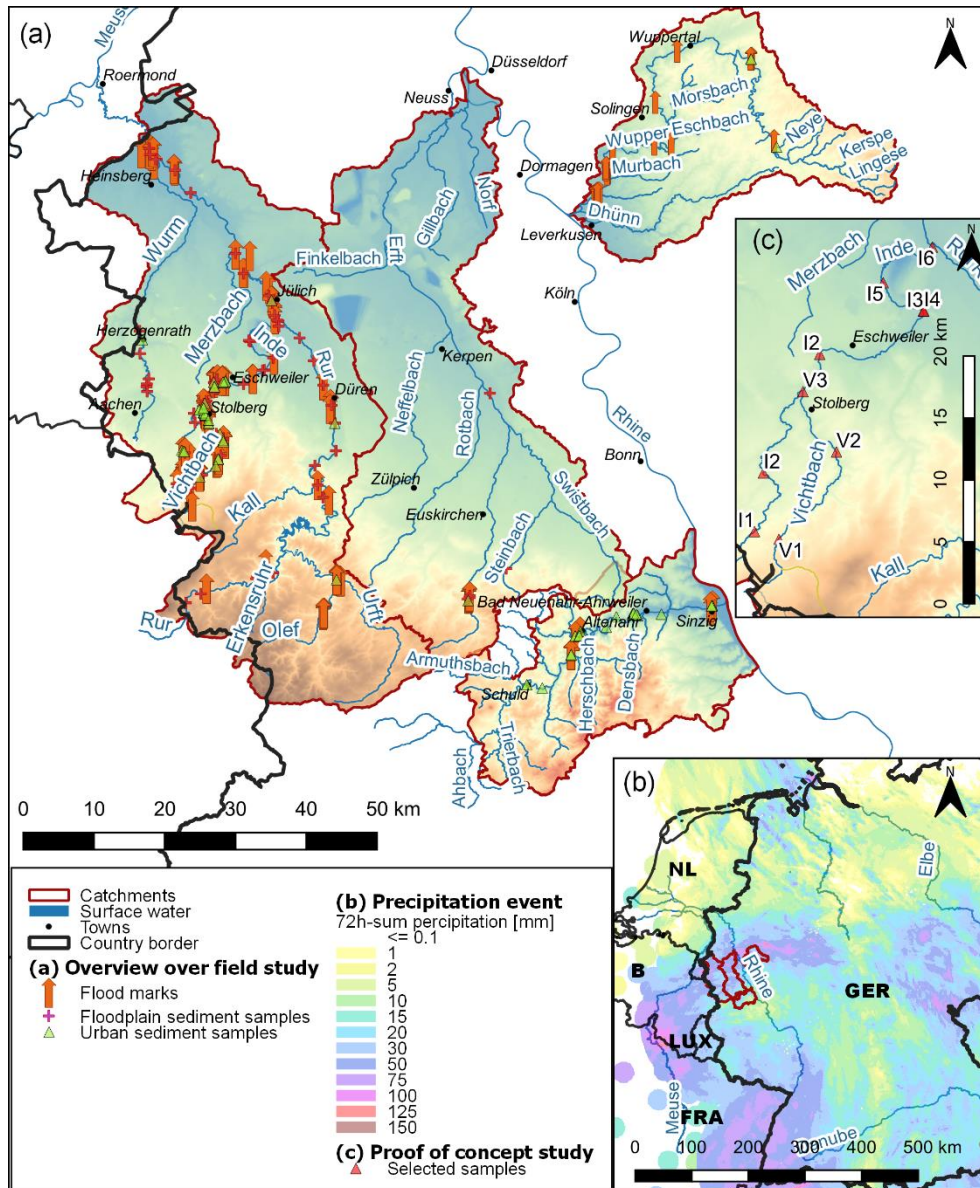
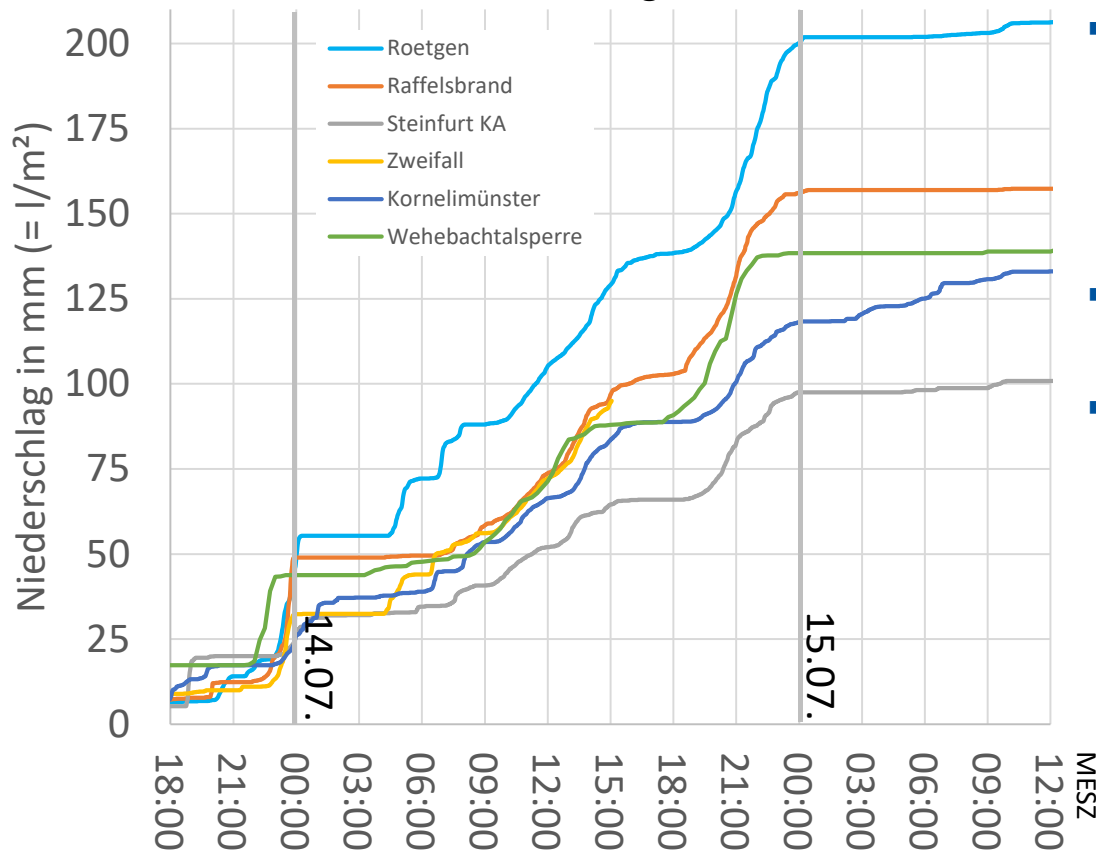


Foto: Winandy, 2022



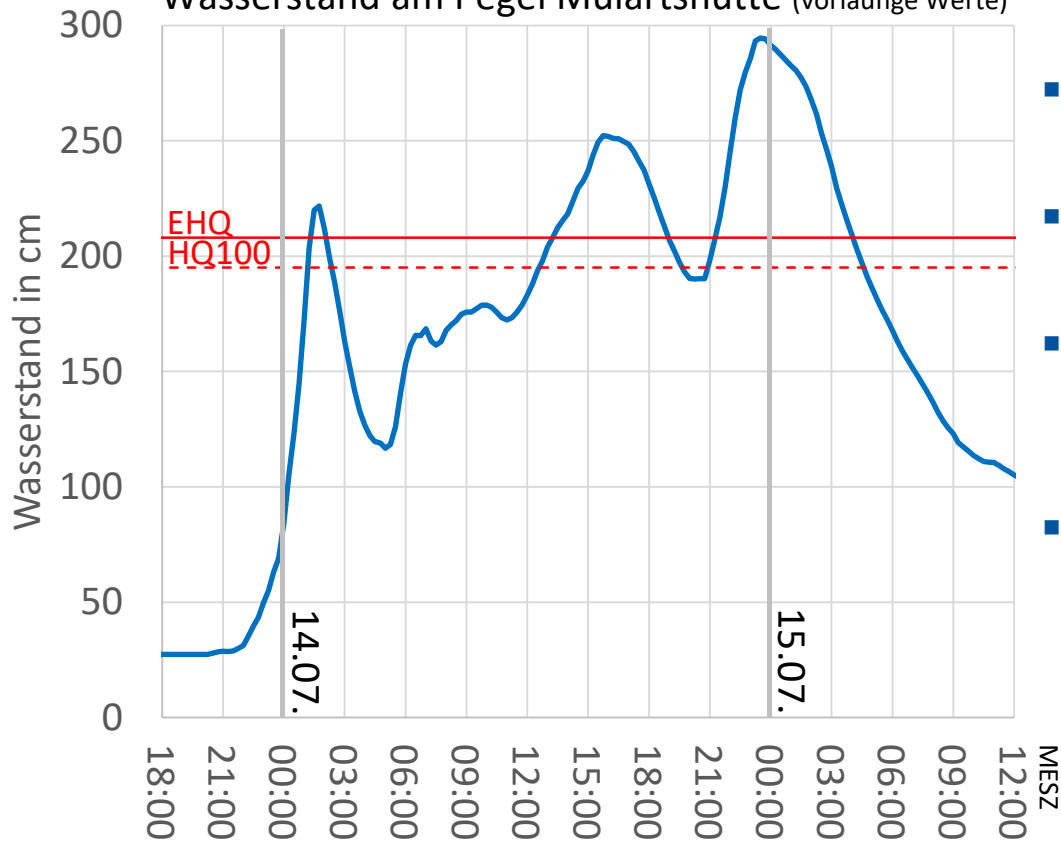
Foto: Schüttrumpf, 2022

Summenlinien Niederschlag



- **Extrem große Niederschlagsmengen** im Einzugsgebiet der Vicht und oberen Inde zwischen 100 und 200 mm in etwas mehr als 24 Stunden.
- Ausfall der Niederschlagsmessstelle Zweifall (14.07. ab 15:25 Uhr)
- Daraus folgend **extrem schnell** auftretende und **extrem hohe Abflüsse** an den Pegeln der **Vicht** (Mulartshütte) und **Inde** (Kornelimünster, Eschweiler, Lamersdorf und Kirchdorf)

Wasserstand am Pegel Mulartshütte (vorläufige Werte)

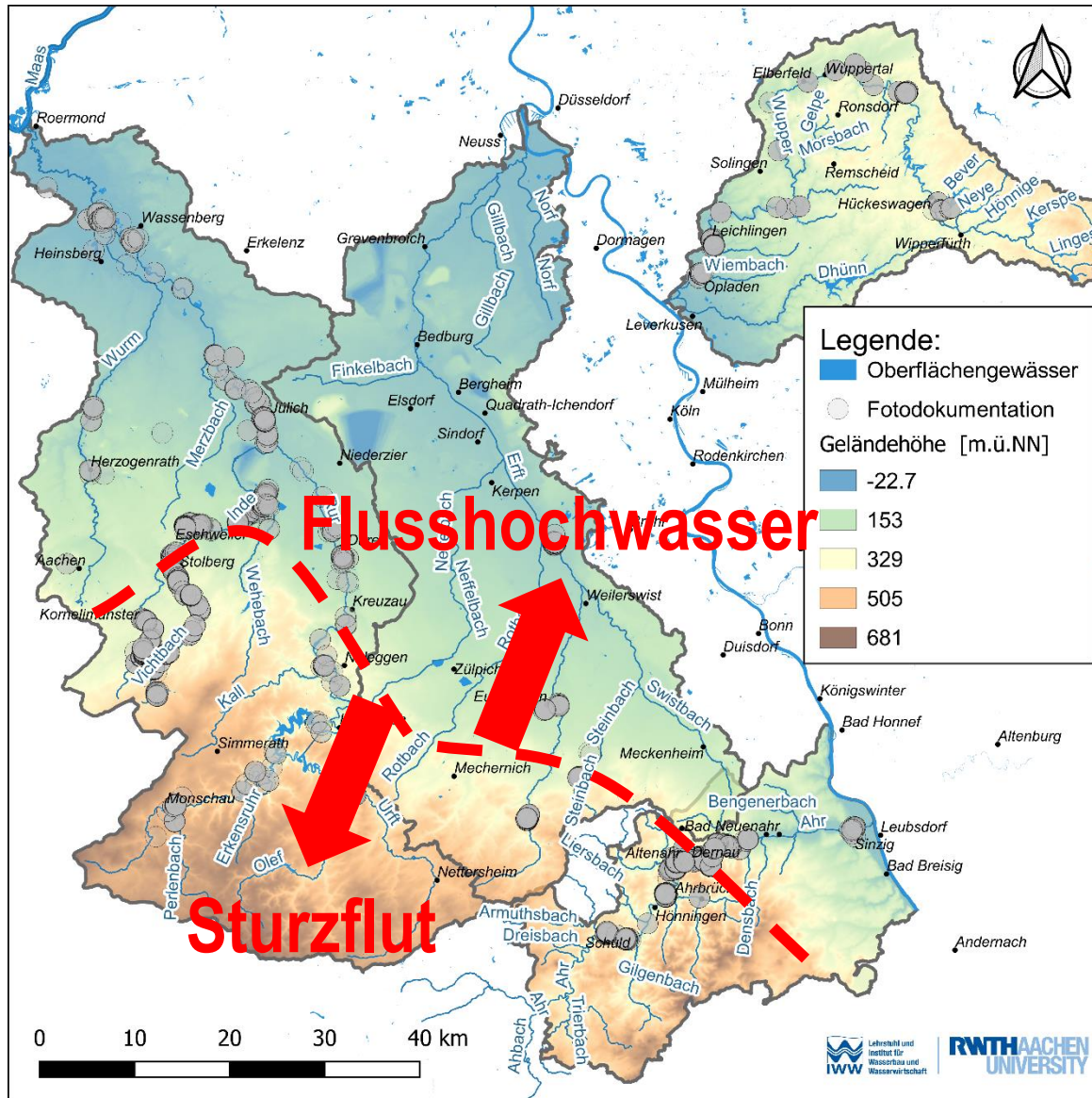


- Es gab **drei Hochwasserspitzen** während des Hochwassers.
- Jede Hochwasserspitze übertraf die jeweilige Vorgängerin.
- Alle drei Hochwasserspitzen liegen **über dem Extremhochwasser** (nach HWGK).
- Die genauere Quantifizierung der Abflussmengen in der Vicht sind noch in Abstimmung mit dem LANUV.

Fotos: IWW, 2021



Hochwasser ≠ Hochwasser



Historische Hochwasser - 1804

Im gesamten Einzugsgebiet der Ahr verursachte das Unwetter und das anschließende Hochwasser riesige Sachschäden und forderte 63 Menschenleben. 129 Wohnhäuser, 162 Scheunen und Stallungen, 18 Mühlen, 8 Schmieden und nahezu alle Brücken, insgesamt 30, wurden von den Wassermassen weggerissen. Weitere 469 Wohnhäuser, 234 Scheunen und Ställe, 2 Mühlen und 1 Schmiede wurden beschädigt. 78 Pferde und Zugrinder kamen in den Fluten um, Obstbäume wurden entwurzelt, Weinberge abgespült, die gesamte Ernte vernichtet und Wiesen und Felder in der Talaue hoch mit Sand und Kies überschüttet. Quelle: Seel (o.D.)



Foto: Winandy, 2022



**Zentrale Herausforderung:
Welches Schutzziel soll in Zukunft gelten?**

Quelle: https://www.alpenverein-freistadt.at/risiko_unsicherheit_ungewissheit.htm

Thema Gebäude



Foto: Schüttrumpf, 2021

Schäden Vichttal



Foto: Brüll, 2021

Schäden Stolberg



Schäden Ahr



Thema Brücken

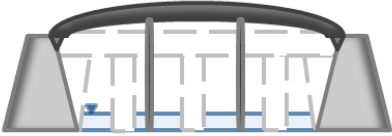
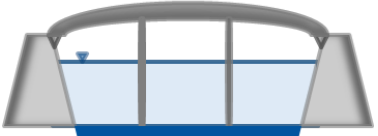
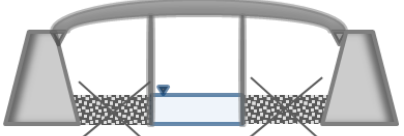


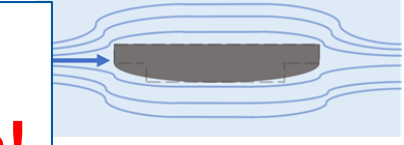
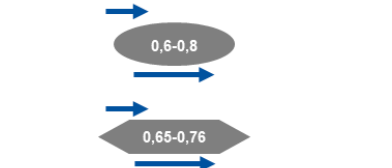
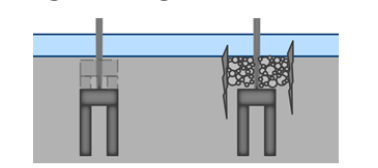
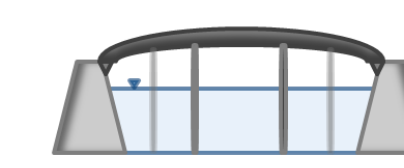
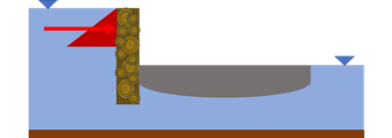
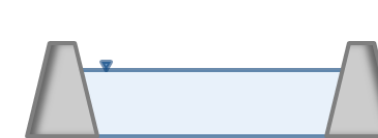



Foto: Schüttrumpf, 2021

- **Schäden**
- ~ 60% aller Brücken beschädigt, abgerissen
(~ 70 von 115 Brücken)
- Erhöhte Zahl an Schäden Unterstrom
- ~ 40% zerstört
- ~ 20% beschädigt



Gewässer	Fließlänge [km]	Anzahl Brücken	Brückendichte
Rur	164,53	100	1,645 km / Brücke
Inde	54	88	0,614 km / Brücke
Vichtbach	23	67	0,343 km / Brücke
Urft	46,37	51	0,909 km / Brücke
Olef	28,08	25	1,123 km / Brücke
Ahr	89	114	0,78 km / Brücke
Erft	106,6	224	0,47 km / Brücke
Altenahr	7,9	20	0,39 km / Brücke
Bad-Neuenahr-Ahrweiler	12,139	24	0,51 km / Brücke

<p>Abflussquerschnitt</p>	<p>Vergrößerter Abflussquerschnitt</p> 	<p>Angepasster Fließquerschnitt</p> 	<p>Mehr Raum für den Fluss</p> 
<p>Überbau</p>	<p>Hubbrücke</p> 	<p>Klappbrücke</p> 	<p>Strömungsgünstiger Überbau</p> 
<p>Pfeiler</p>	<p>Hohlringgründung und Erosionsschutz</p> 	<p>Größere Stützweiten</p> 	<p>Größere Stützweiten</p> 
<p>Bemessung</p>	<p>Zusätzliche Bemessungslasten</p> 	<p>Verzicht auf Brücken</p> 	<p>Verzicht auf Stabbogenbrücken</p> 

**Herausforderung:
Hochwasserresiliente Brücken!**

Thema Infrastrukturen

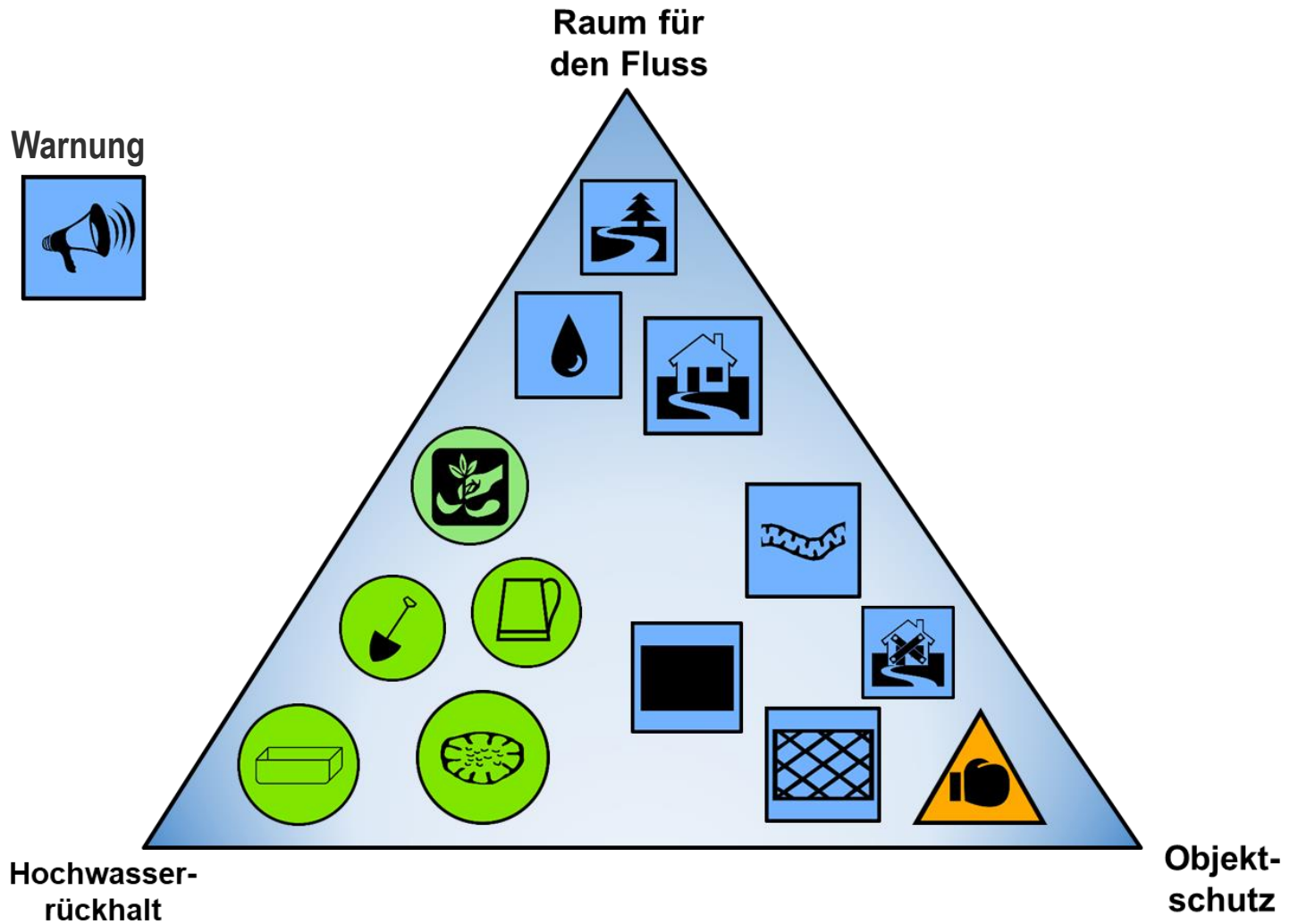


Foto: Schüttrumpf, 2021

Thema Autos



Foto: Schüttrumpf, 2021





Fotos: Schüttrumpf, 2021

Thema: Raum für den Fluss!

**Herausforderung:
Wir müssen den Flüssen mehr Raum geben!**

Foto: Schütterumpf, 2021



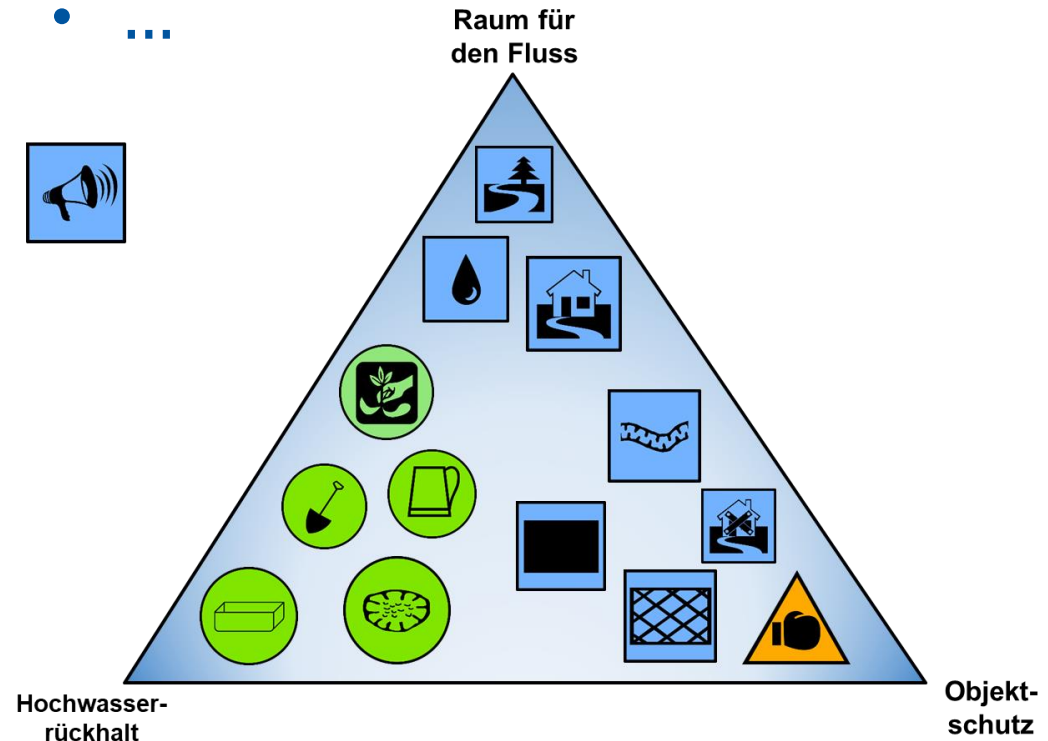
Foto: Winandy, 2022

Natürliche Rückhalteräume

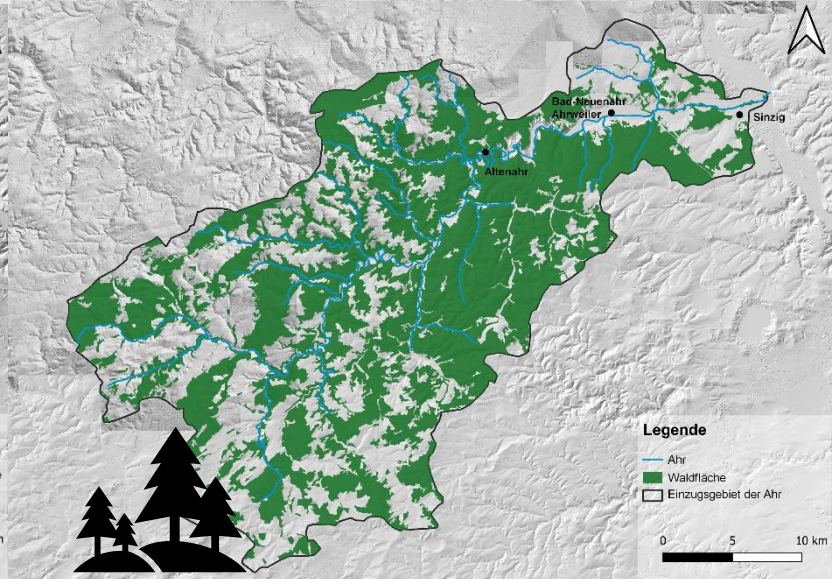
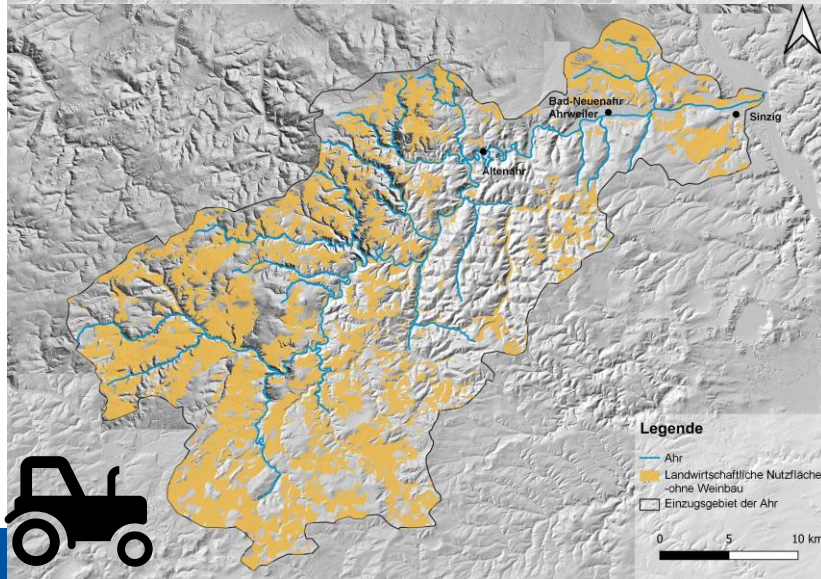
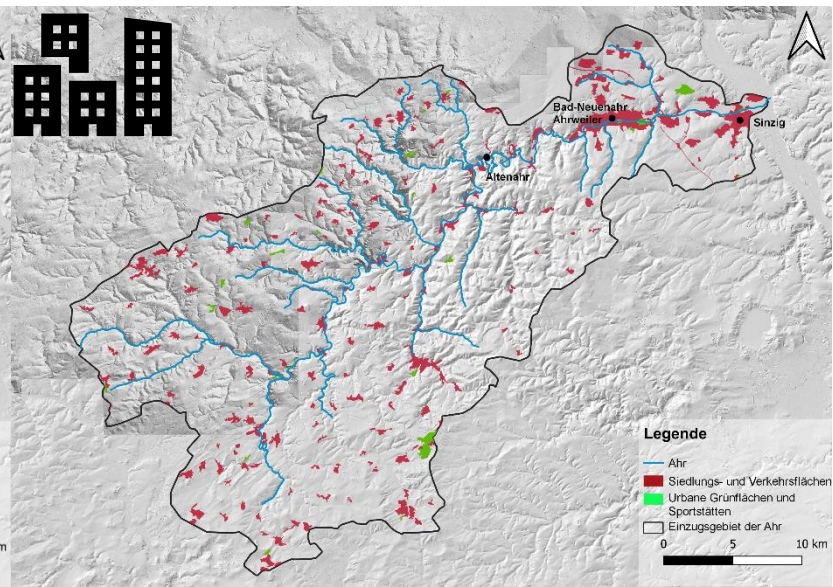
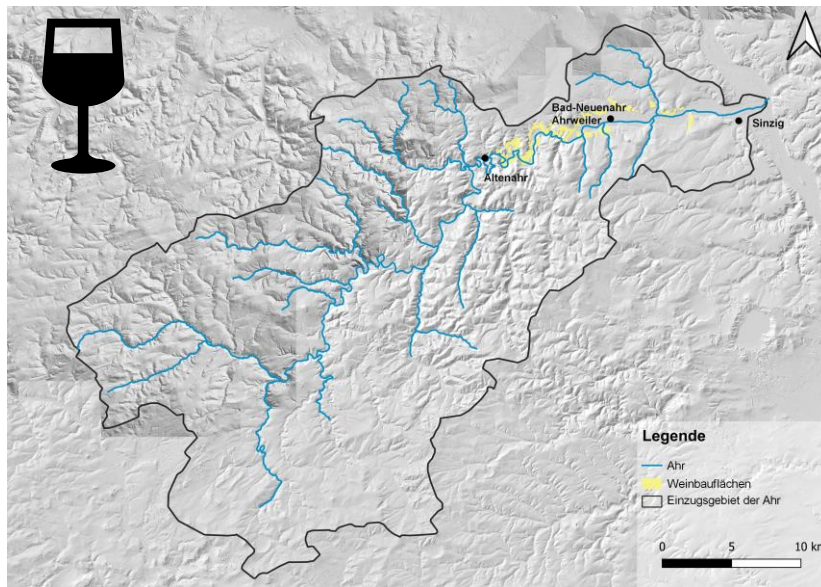
- Moore
- Feuchtgebiete
- Auen
- Wälder
- Flussläufe
- Bodenbewirtschaftung
- Regenwassermanagement
- ...

Technische Rückhalteräume

- Talsperren
- Hochwasserrückhaltebecken
- Polder
- ...



Natürliche Hochwasserrückhalteräume





**Herausforderung:
Bei „extremen“ Ereignissen sind
Schwamm und Badewanne voll!**



August 2021

Oktober 2022



Fotos: Schüttrumpf, 2021/2022

... aber



Oktober 2022

Fotos: Schüttrumpf, 2022





**Herausforderung:
Interessenskonflikte behindern den Wiederaufbau
und den zukünftigen Hochwasserschutz!**

Fotos: Schüttrumpf, 2022

Wissenschaftliche Begleitung der Wiederaufbauprozesse nach der Flutkatastrophe in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen



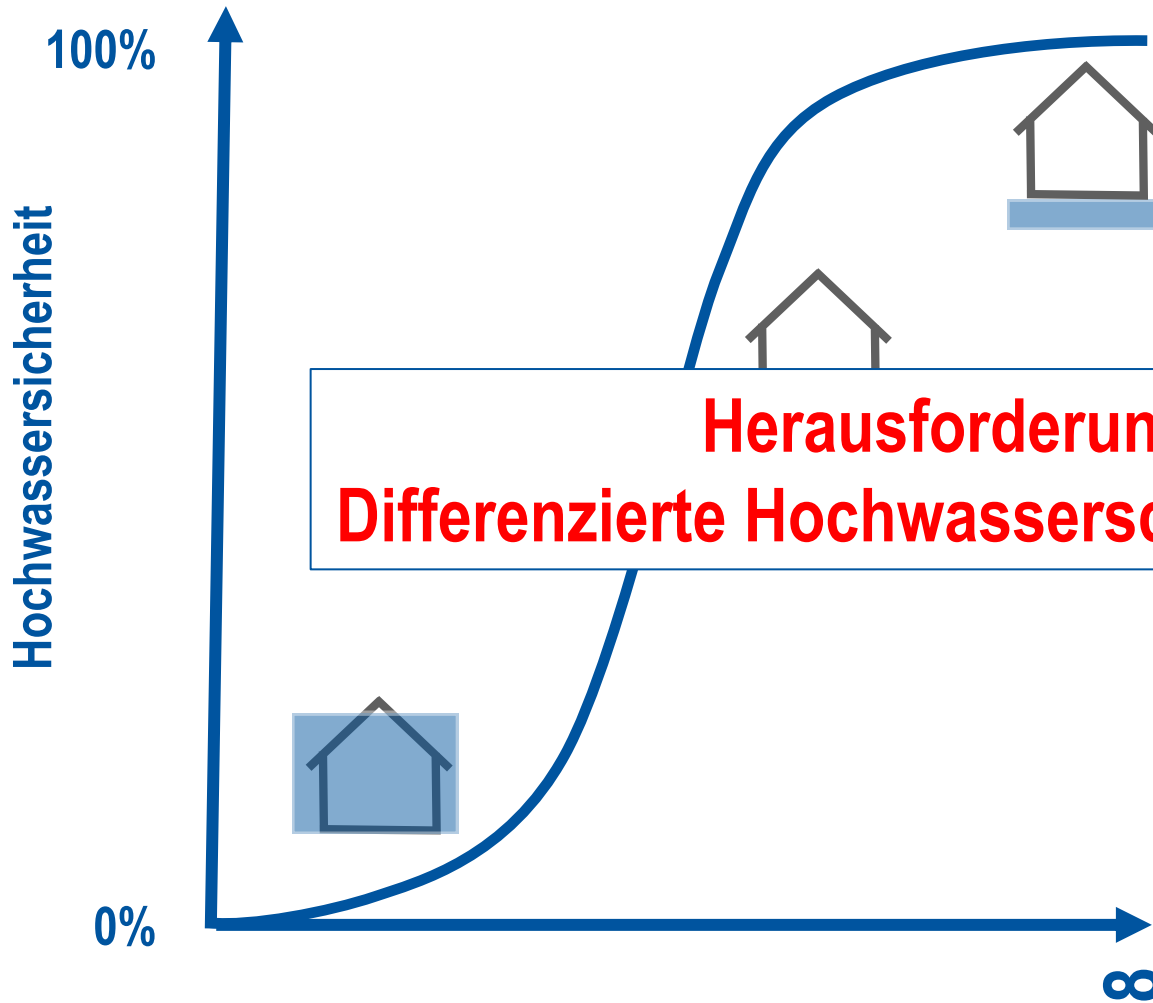
Impulse für Resilienz und Klimaanpassung

13 Partner aus 5 Bundesländern;

Laufzeit: 11/2021-12/2024

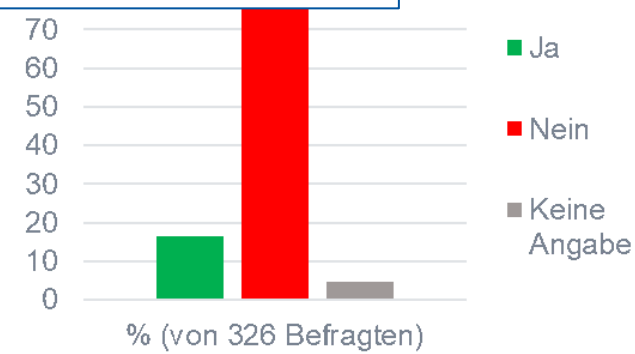


Welches Risiko ist akzeptabel?



**Herausforderung:
Differenzierte Hochwasserschutzkonzepte!**

Wussten Sie vor dem Hochwasserereignis im Juli 2021, dass Sie in einem ...eten Gebiet



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



 KLIMA
ANPASSUNG
HOCHWASSER
RESILIENZ



<https://hochwasser-kahr.de/>



**DAS EXTREMHOCHWASSER 2021
AUS SICHT EINES BETREIBERS**

Richard Gronsfeld

Inhalt

1. Talsperren der Nordeifel
2. Bewirtschaftung der Talsperren
3. Extremhochwasser Juli 2021 – WVER Talsperren
4. Weitere Auswirkungen des Extremereignisses
5. Betriebserfahrungen und Ausblick



WVER-Verbandsgebiet

Gesamtgröße des Rur-Einzugsgebiets (EZG) (D, B, NL): 2360,8 km²

Größe des WVER-Verbandsgebiets: 2087 km²

Im Norden: Flachland (30 mNN)

Jahresniederschlag ca. 800 mm

Unterhaltung von ca. 1900 km (Fließ-)Gewässer durch WVER

Im Süden: Mittelgebirge (620 mNN)

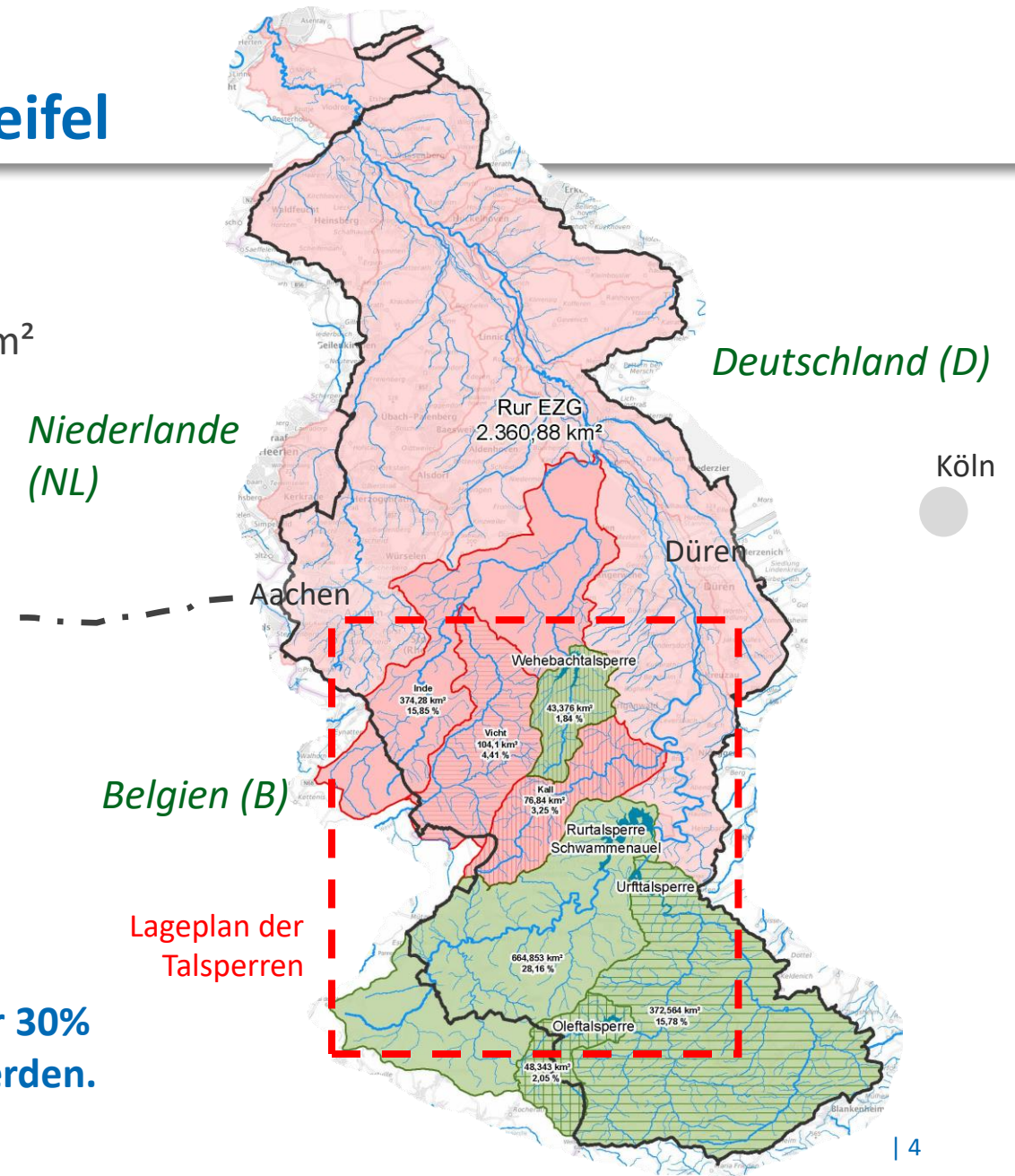
Jahresniederschlag bis zu 1300 mm

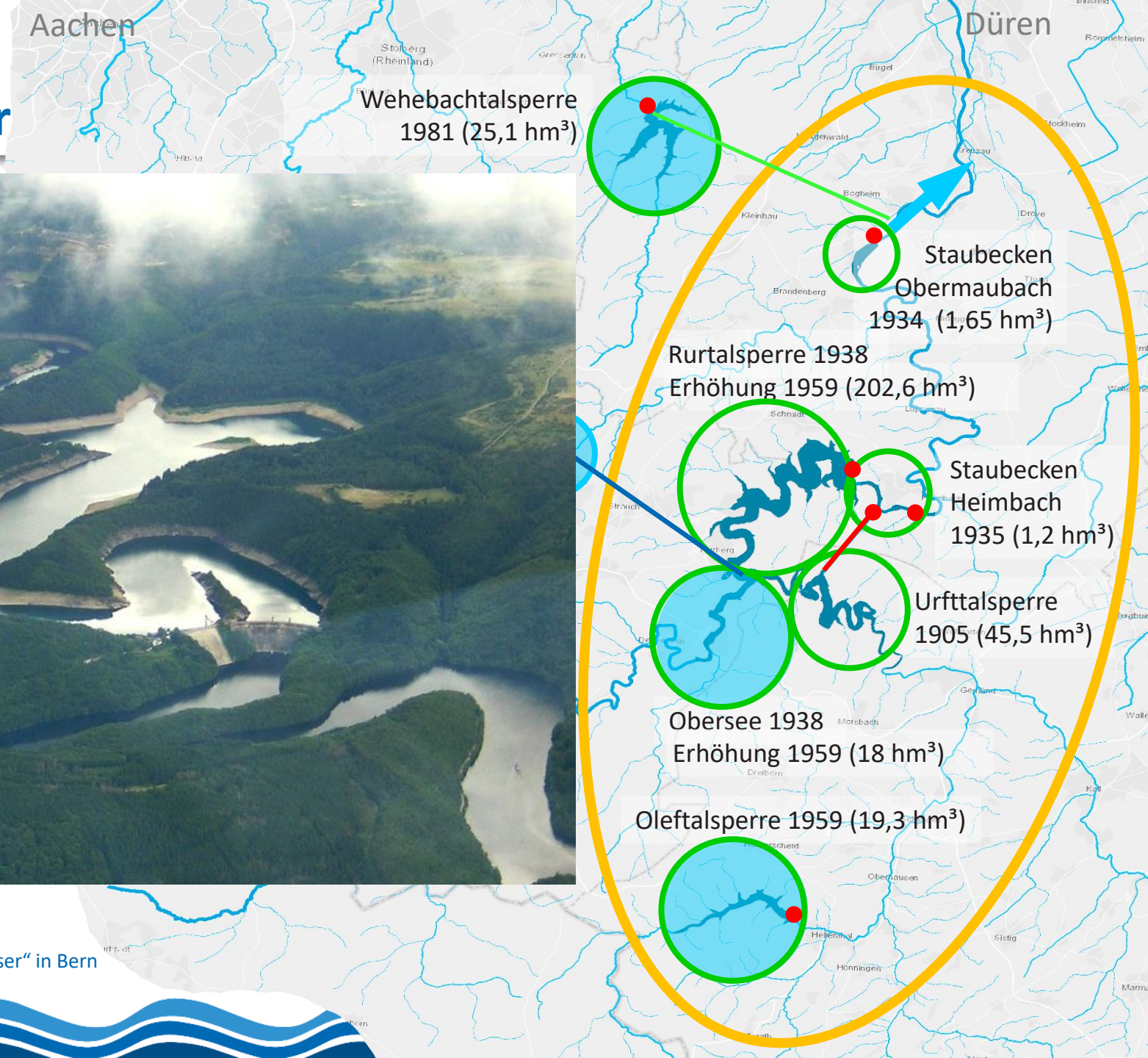
9 Talsperren (6 )

Keine (Fließ-)Gewässerunterhaltung durch WVER



Die Abflüsse im WVER-Verbandsgebiet können nur für 30% des Rur-Einzugsgebietes durch Talsperren reguliert werden.





Wehebachtalsperre
1981 (25,1 hm³)

Staubecken
Obermaubach
1934 (1,65 hm³)

Rurtalsperre 1938
Erhöhung 1959 (202,6 hm³)

Staubecken
Heimbach
1935 (1,2 hm³)

Urfttalsperre
1905 (45,5 hm³)

Obersee 1938
Erhöhung 1959 (18 hm³)

Oleftalsperre 1959 (19,3 hm³)

Das Talsperrensystem der Nordeifel

9 Talsperren (Gesamtvolumen ...)

○ 6 WVER (Gesamtvolumen ...)

○ 3 WV-Unternehmen (ca. ...)

● Trinkwasser

● Wasserkraft



Überleitungsstollen

— Kermeterstollen 1905

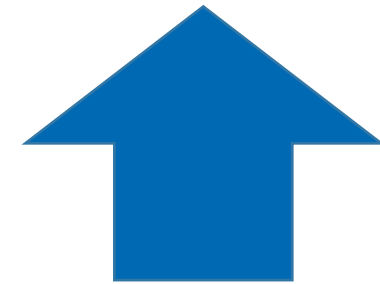
— Kallstollen 1926

— Heinrich-Geiß-Stollen 1959

— Rohrleitung 1981

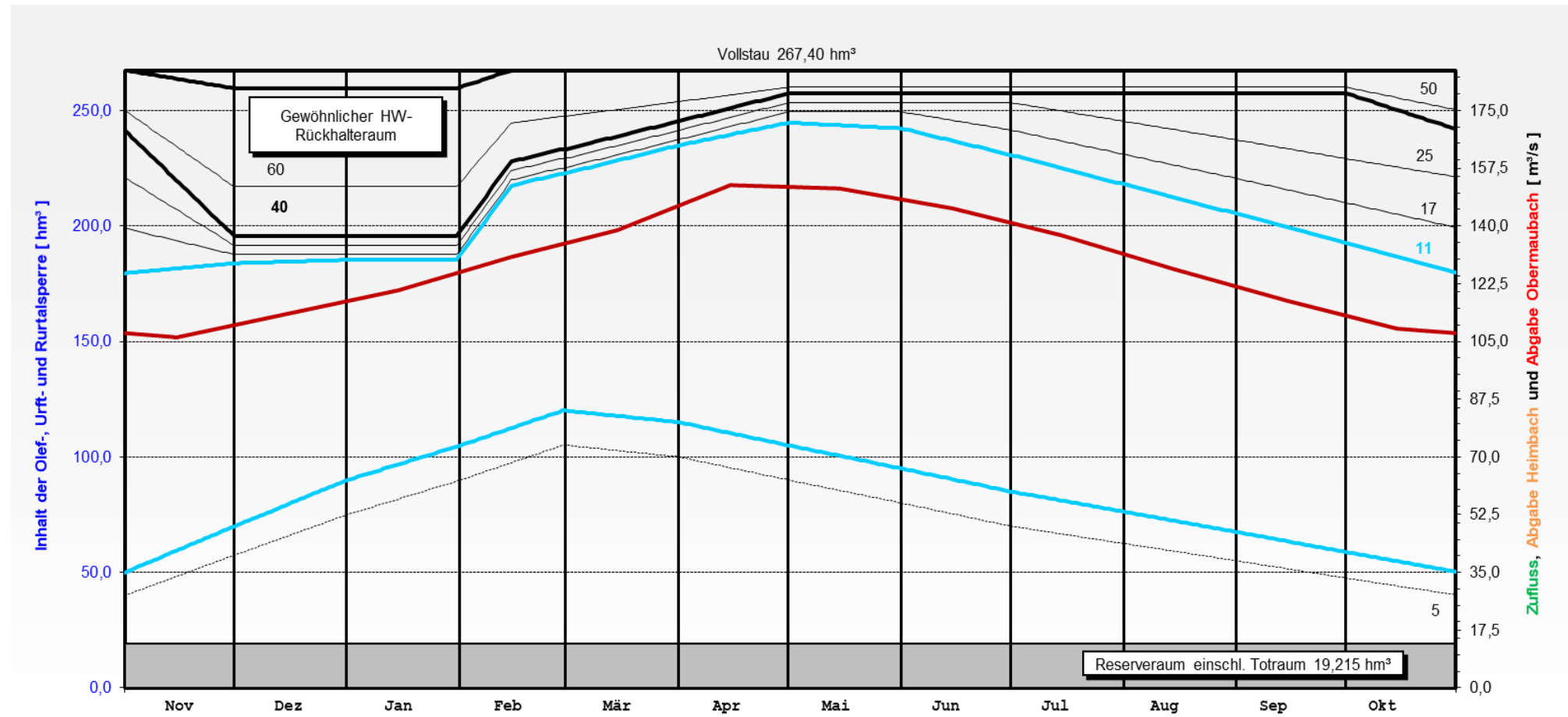
- Bereitstellung von Wasser (Gesamtsystem)
 - ca. 50 Mio. m³/a Trinkwasser (für ca. 750.000 Einwohner)
 - ca. 80 Mio. m³/a Brauchwasser
- Niedrigwasseraufhöhung
 - NNQ von 0,45 m³/s erhöht auf 5 m³/s (Mindestabgabe ab Stb. Obermaubach)
- Hochwasserschutz
 - 64 Mio. m³ Rückhaltevolumen (jahreszeitlich variabel)
 - Abminderung des HQ100 in der Rur von 307 m³/s auf 60 m³/s (ab Stb. Heimbach)
- Wasserkraft (ca. 60 GWh/a) , Tourismus (Wassersport), etc.

gefüllte Talsperren

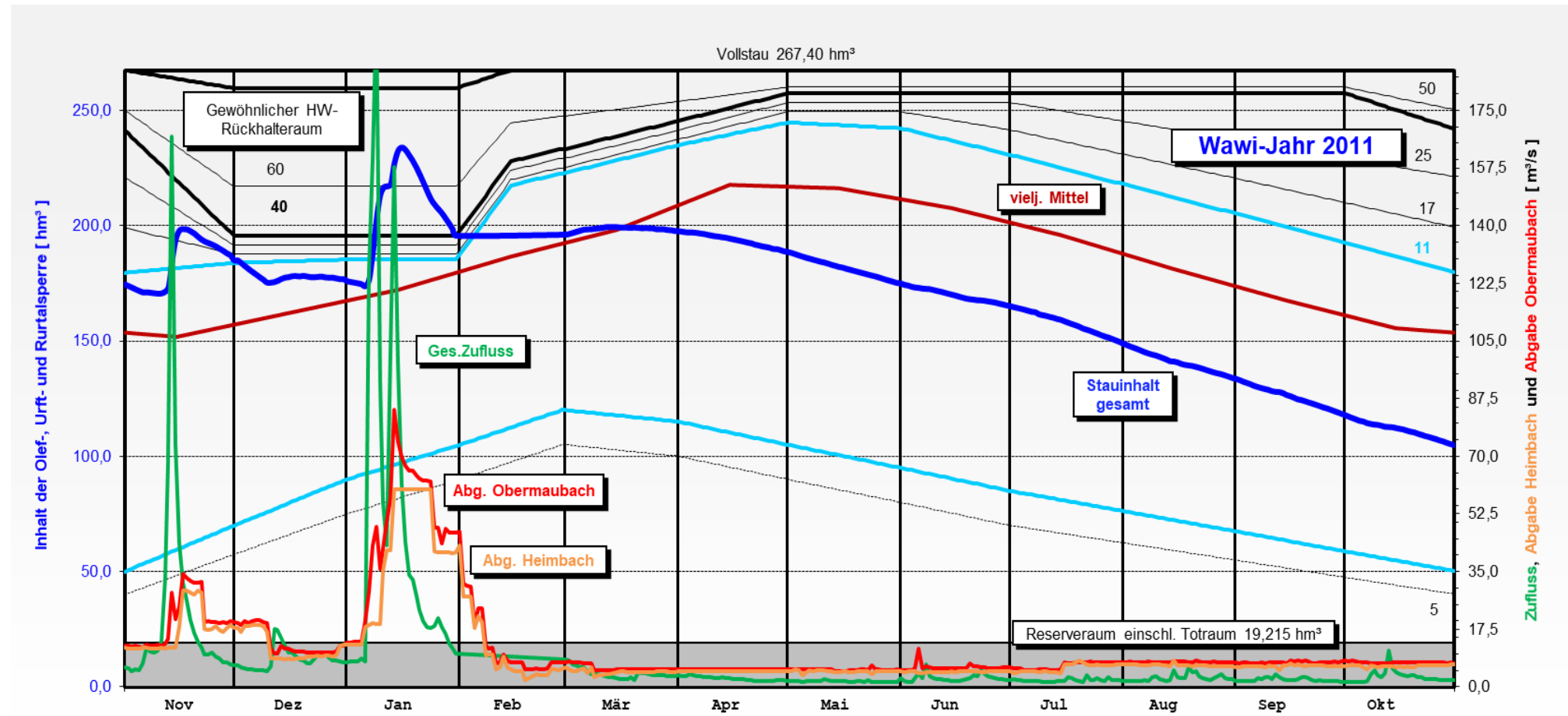


leere Talsperren

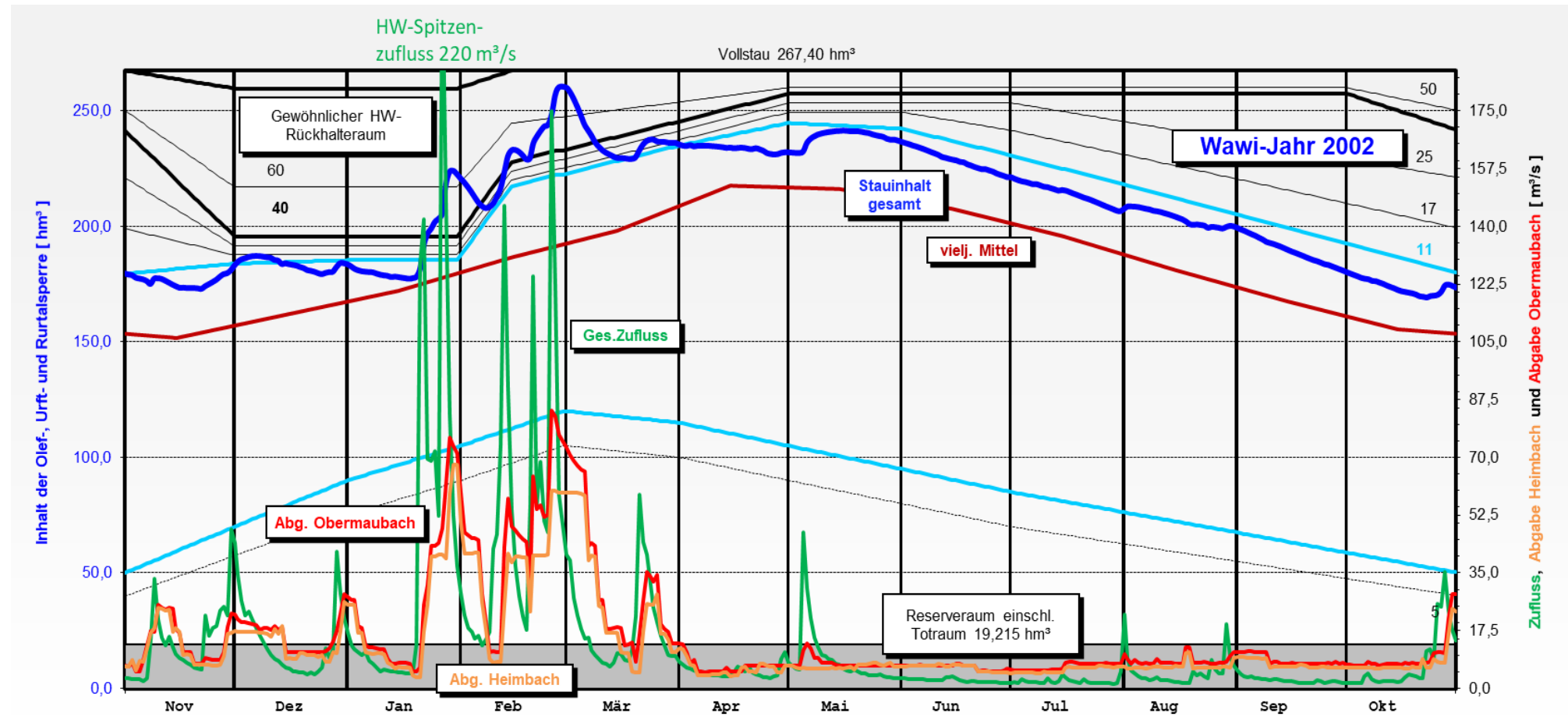
Betriebs- / Lamellenplan



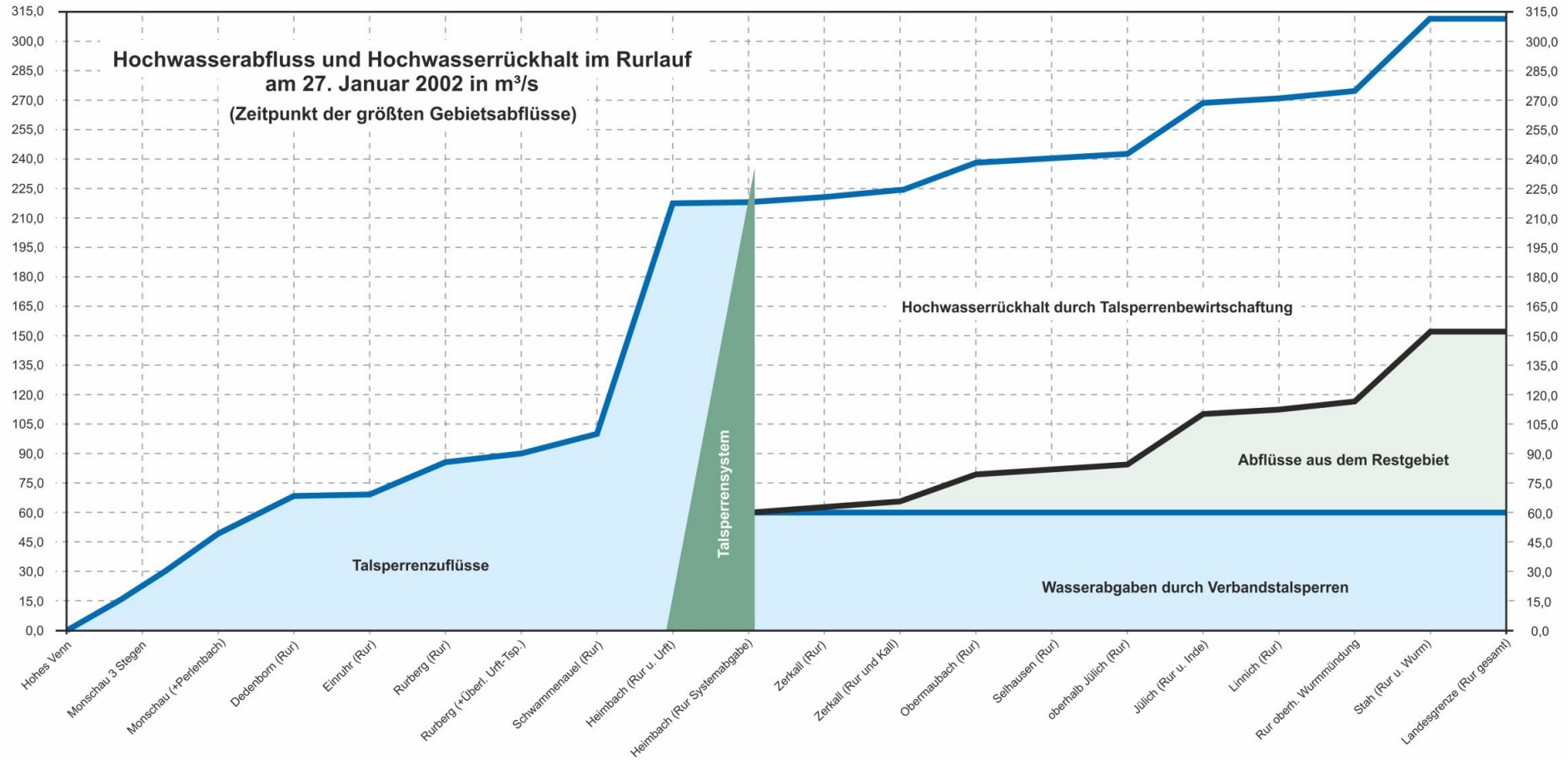
Betriebs- / Lamellenplan (WWJ 2011)



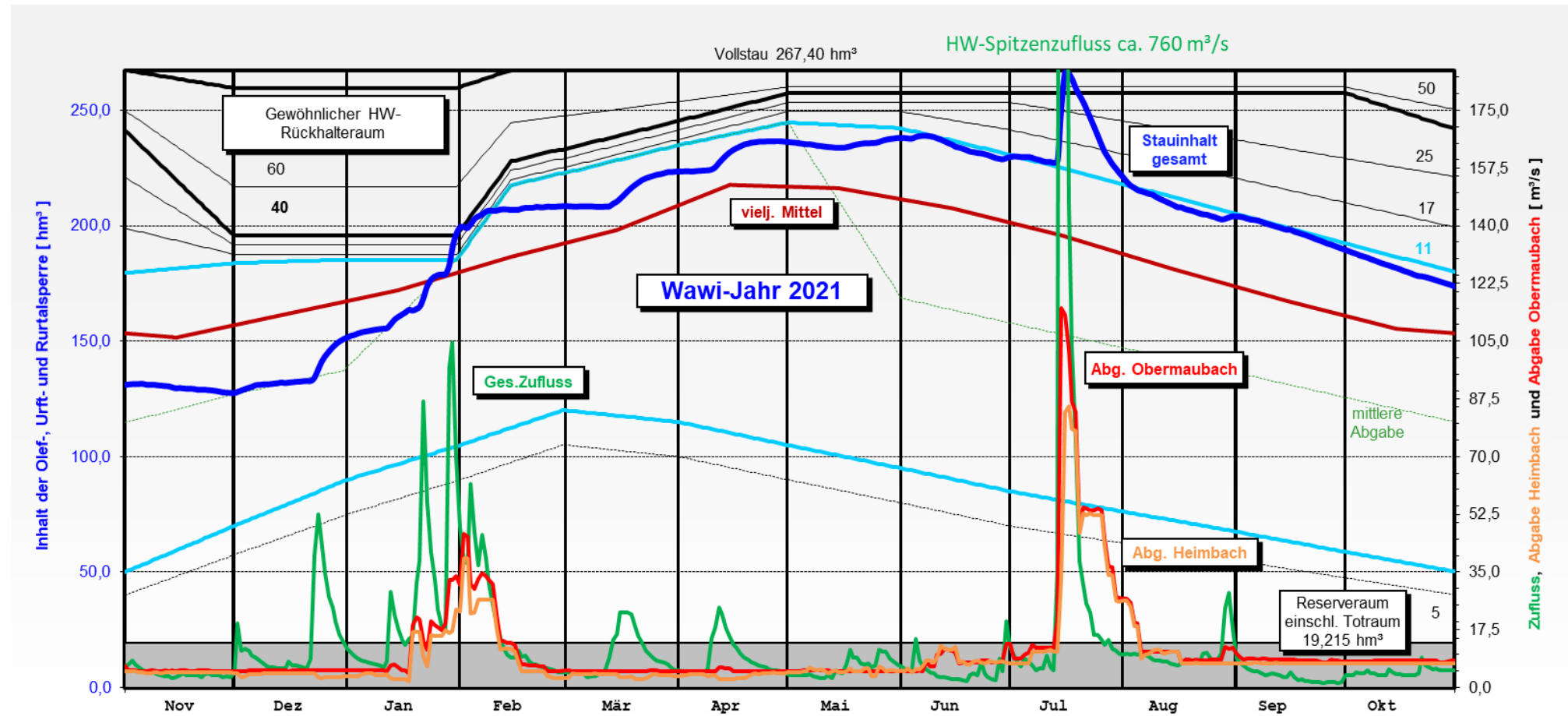
Betriebs- / Lamellenplan (WWJ 2002)



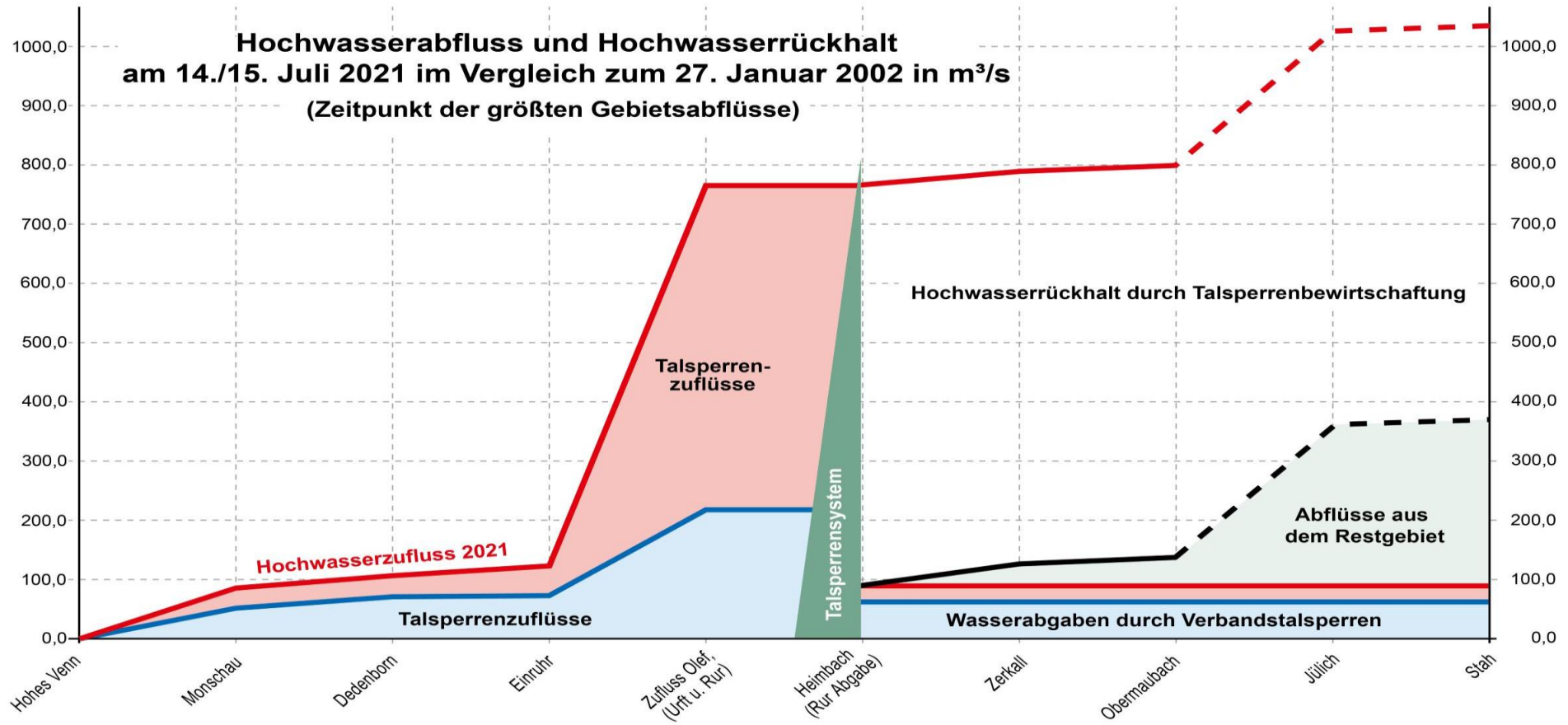
Funktionsweise des Hochwasserschutzes



Betriebs- / Lamellenplan (WWJ 2021)

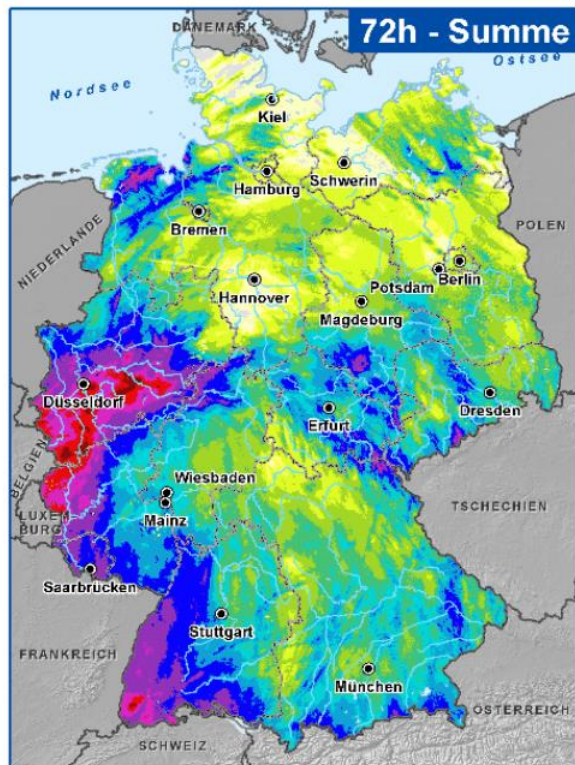


Funktionsweise des Hochwasserschutzes



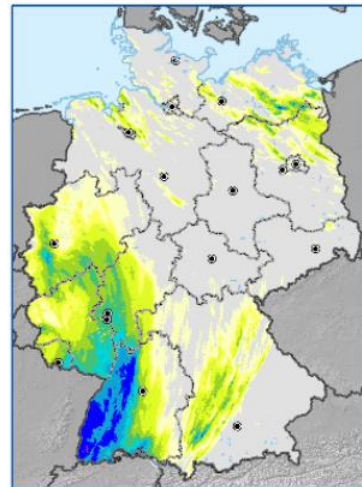
Auswertung des Regenereignisses

Tief Bernd über Deutschland,
Summe des Niederschlags aus Radar: 12. Juli, 05:50 UTC - 15. Juli 2021, 05:50 UTC

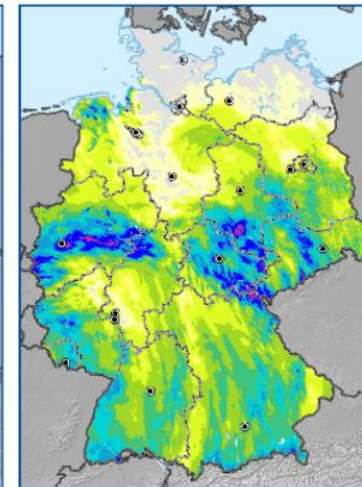


24h - Niederschlagssummen

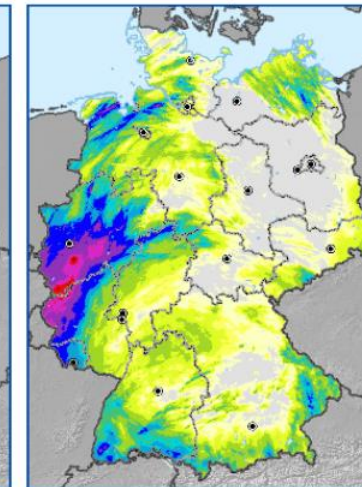
12. Juli 2021, 05:50 UTC
bis 13. Juli 2021, 05:50 UTC



13. Juli 2021, 05:50 UTC
bis 14. Juli 2021, 05:50 UTC



14. Juli 2021, 05:50 UTC
bis 15. Juli 2021, 05:50 UTC

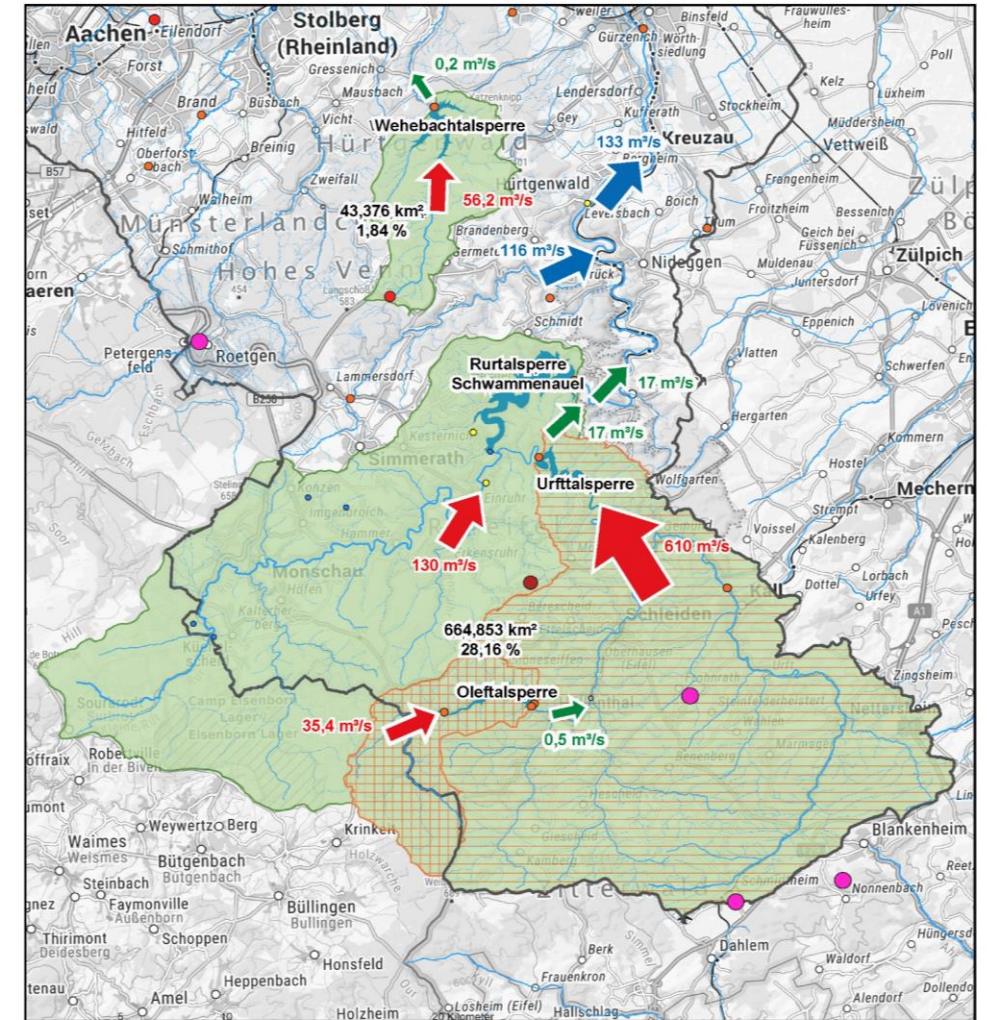


Niederschlagssumme [mm]



Hydrometrische Daten aus dem Verbandsgebiet

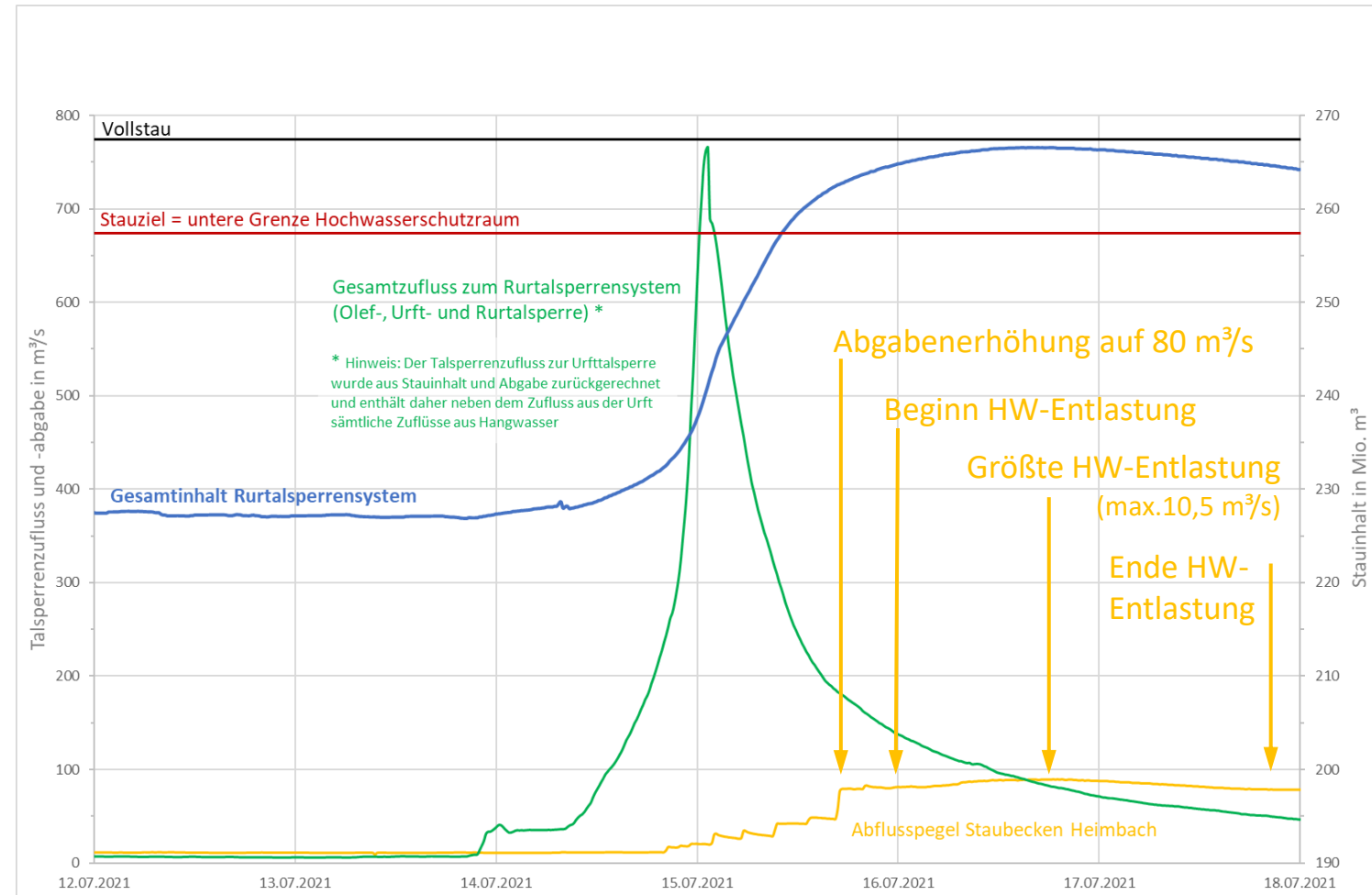
- Mehrere Stationen im Verbandsgebiet haben ein mehr als 1000-jährliches Ereignis aufgezeichnet, so z.B. Roetgen im Vicht-Einzugsgebiet und Kall-Sistig im Urft-Einzugsgebiet.
- In diesen beiden am schlimmsten getroffenen Gebieten wiesen alle Stationen über 100-jährliche Niederschläge auf.
- Die Niederschläge trafen aufgrund der vielen vorhergegangenen Regenfälle auf einen bereits sehr gesättigten Boden.
- Der sehr ergiebige Dauerregen wurde lokal noch durch einzelne Starkregenschauer verstärkt.





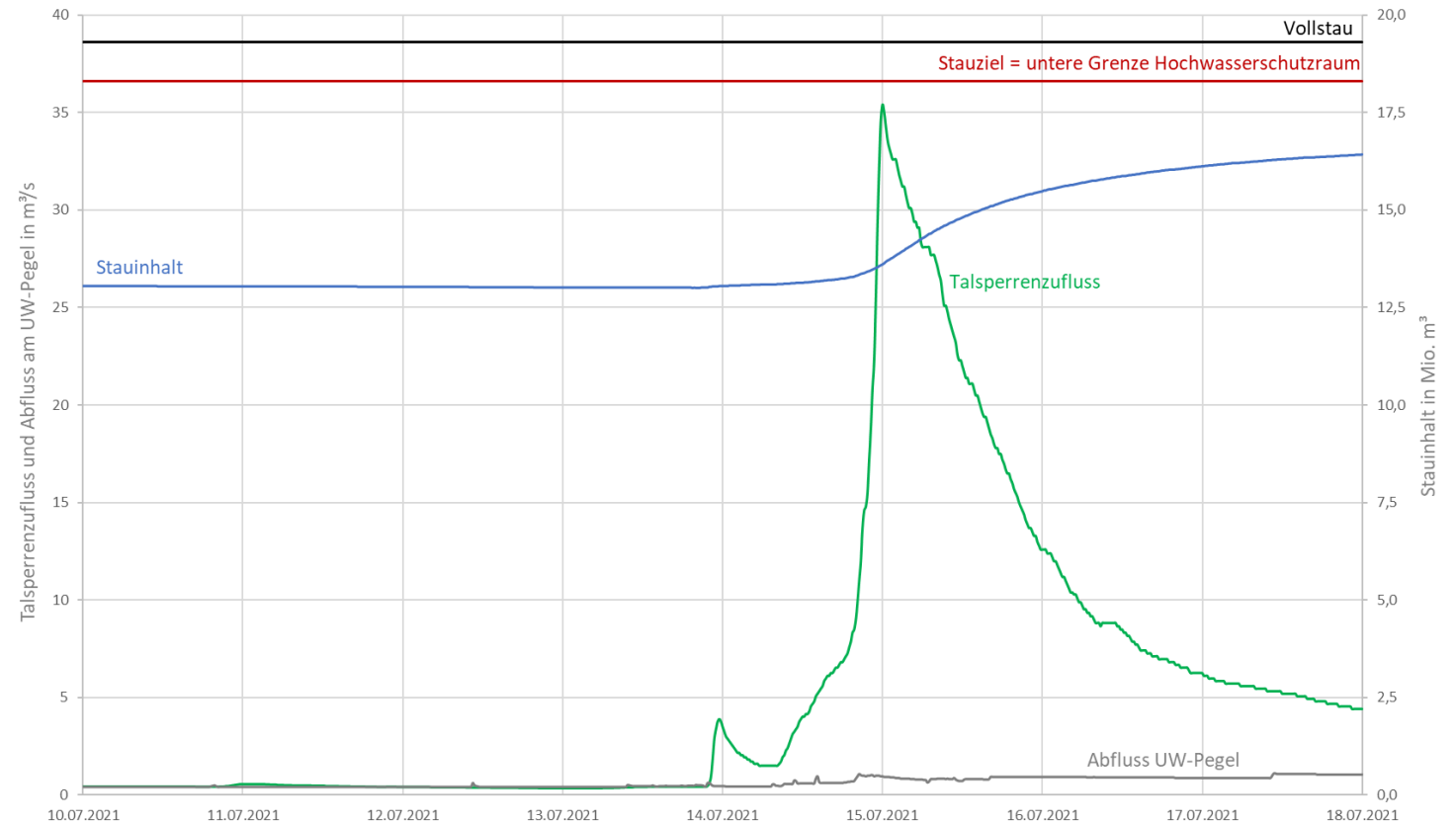
(Rur-) Talsperrensystem

- Die Summe der Zuflüsse zum Talsperrensystem lag in der Spitze bei über 760 m³/s.
- Während dieser Zuflussspitze wurden lediglich ca. 17 m³/s (aus der Urfttalsperre über das JSKW) ab Stb. Heimbach abgegeben.
- Das Stauvolumen des Talsperrensystem wurde fast vollständig beansprucht.
- Keine der Talsperren drohte zu versagen.



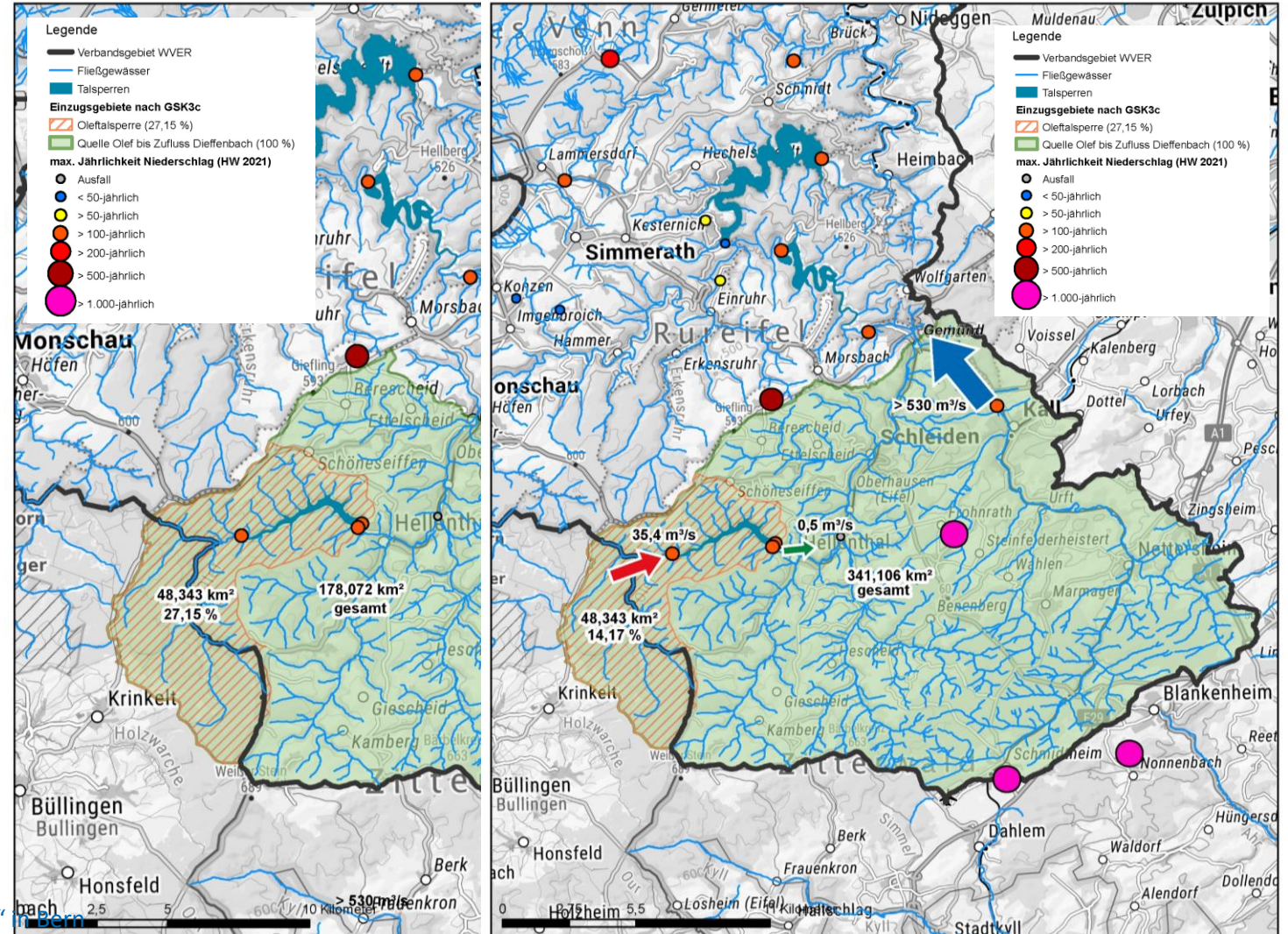
Oleftalsperre

- Die Zuflüsse zur Oleftalsperre lagen in der Spitze bei 35,4 m³/s.
- Abgegeben wurden dagegen gerade einmal 0,5 m³/s.
- Das Stauvolumen hatte sich durch das Extremereignis von 13 auf 16,3 Mio. m³ vergrößert.
- Der Hochwasserschutzraum wurde nicht in Anspruch genommen.
- Die Talsperre drohte zu keinem Zeitpunkt zu versagen.



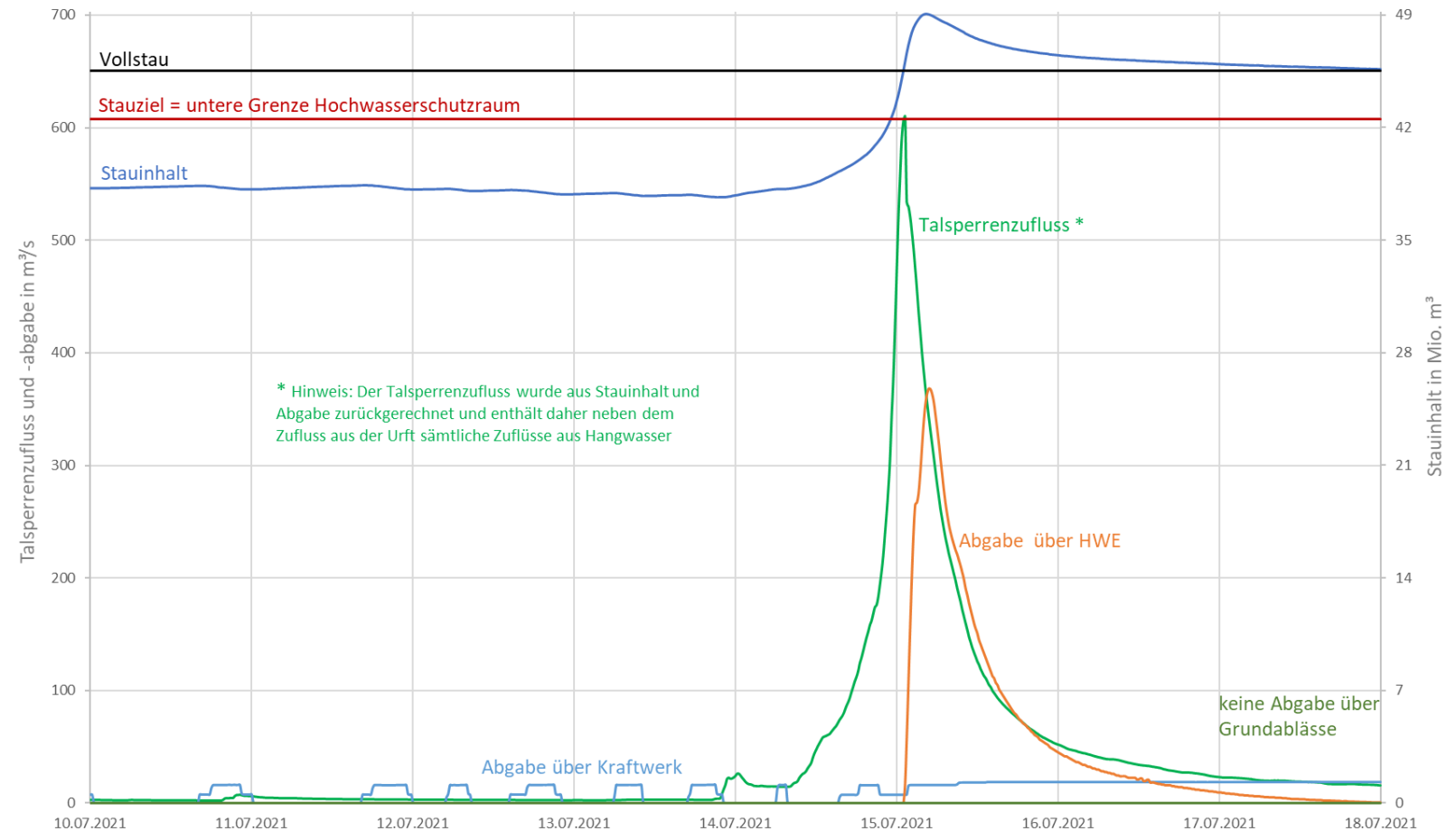
Oleftalsperre

- Die Zuflüsse zur Oleftalsperre lagen in der Spitze bei $35,4 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Abgegeben wurden dagegen gerade einmal $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Das Stauvolumen hatte sich durch das Extremereignis von 13 auf $16,3 \text{ Mio. m}^3$ vergrößert.
- Der Hochwasserschutzraum wurde nicht in Anspruch genommen.
- Die Talsperre drohte zu keinem Zeitpunkt zu versagen.



Urfttalsperre

- Die Zuflüsse zur Urfttalsperre lagen in der Spitze über 600 m³/s.
- Inanspruchnahme des kompletten Hochwasserschutzraums.
- Zunahme des Stauvolumens durch das Extremereignis von 37,7 auf ca. 48,9 Mio. m³.
- Max. Überlauf über die HWE in die Rurtalsperre mit ca. 370 m³/s.
- Belastung für die Talsperre damit mehr als 10.000-jährlich.



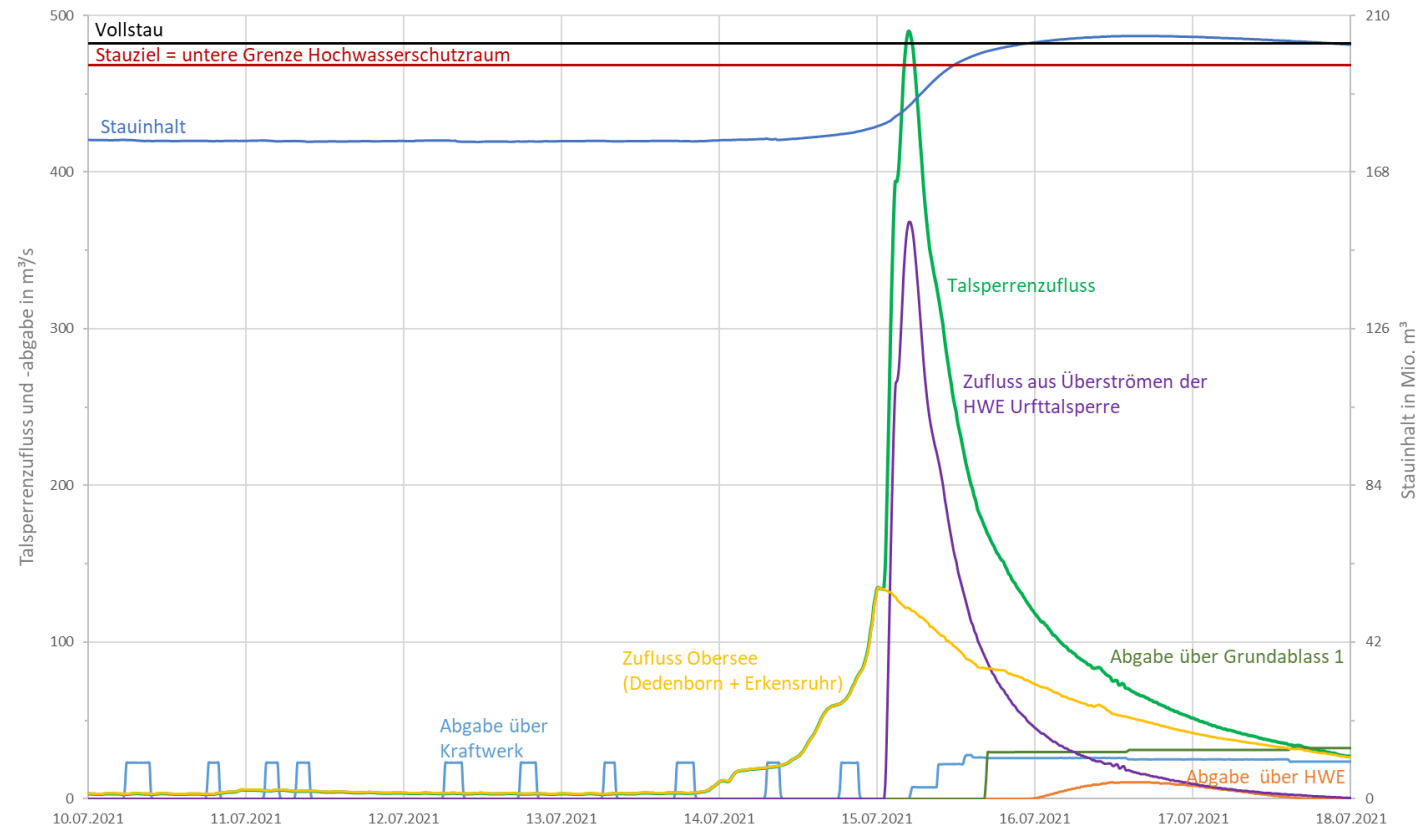
Urfttalsperre

- Ausfall und später vollständige Zerstörung des (LANUV-) Zuflusspegels
- Rückrechnung des Zuflusses über Stauspiegeldifferenzen und Abgabe
- Erreichen des Kronenstaus
- Für ca. 3 Stunden kam es an den Randbereichen zu einem wenige Zentimeter hohen Überströmen der Staumauer
- Standsicherheit für den Lastfall „Überströmen der Mauerkrone“ ist gegeben (VÜ)



Rurtalsperre

- Die Zuflüsse zur Rurtalsperre aus der Rur lagen in der Spitze bei 130 m³/s.
- Inanspruchnahme des kompletten Hochwasserschutzraums aufgrund der hohen Zuflüsse aus der Urfttalsperre.
- Das Stauvolumen hatte sich durch das Extremereignis von 176,9 auf 203,2 Mio. m³ vergrößert.
- Überlauf über die HWE unter 10,3 m³/s.
- Max. Abgabe nach HW-Scheitel (inkl. HWE) < 70 m³/s.



Auswirkungen auf die Talsperren

Anspringen der Hochwasserentlastungsanlagen (HWE) folgender Talsperren:

- Urfttalsperre: Beginn: 15.07.2021, ca. 02:00 Uhr,
 Ende: 18.07.2021, ca. 06:15 Uhr,
 max. Abfluss: ca. 370 m³/s

- Rurtalsperre: Beginn: 15.07.2021, ca. 23:50 Uhr,
 Ende: 17.07.2021, ca. 17:00 Uhr,
 max. Abfluss: ca. 10,3 m³/s

- Kein Anspringen der HWE und keine Inanspruchnahme des Hochwasser-
schutzraums an Olef- und Wehebachtalsperre !



Urfttalsperre

[HWE-Urfttalsperre-Einlauf-ca300cbm.MOV](#)

[HWE-Urfttalsperre-ca300cbm.MOV](#)



Rurtalsperre Schwammenauel

[HWE-Rurtalsperre-Einlauf-ca8cbm.MOV](#)

[HWE-Rurtalsperre-ca8cbm.MOV](#)



30.03.2023



STK Symposium „Talsperren und Extremhochwasser“ in Bern

Talsperren

- Schadensaufnahme im Umfeld der Talsperren
 - **Keine Schäden an allen Stauanlagen!** (kleinere Fehlstellen an den Leitwänden der HWE der Urfttalsperre)
 - Einzelne, durch Hangwasser entstandene Erosionsrinnen an Geländeböschungen im Zufahrtsbereich
 - Geschiebeeintrag und -ablagerungen an den Zuflusspegeln
 - Große Mengen an Treibgut und weiteren Verschmutzungen, vor allem auf der Urfttalsperre
- Vorsorgliche Unterbrechung der Rohwasserversorgung aus dem Obersee und Warnung vor wassersportlicher Nutzungen auf den Talsperren

Urfttalsperre, Schäden an der rechten Leitwand der HWE



U1-2

Urftalsperre, Treibgut von „Urftaue“ bis Amselbachtal



Treibgut am Obersee bei Einruhr und am Staubecken Obermaubach



Obersee der Rurtalsperre Schwammenauel bei Einruhr



Staubecken Obermaubach – Bereich vor der Wehranlage

Obersee, Treibguträumung



Urftalsperre, herstellen einer Zufahrtsrampe und sortieren des Treibguts



Urftalsperre, Treibguträumung – Unterstützung durch das THW



Urftalsperre, Bergung eines versunkenen Autos



Erkenntnisse

- Personelle vor-Ort-Besetzung an allen Stauanlagen hat sich bewährt.
- Durch die Talsperren konnten die aus den oberen Einzugsgebieten zufließenden Hochwasserwellen zurückgehalten und eine Überlagerung mit den Hochwasserspitzen aus den unteren Einzugsgebieten (z.B. Kall, Vicht, Inde u.a.) vermieden werden.
 - ➔ Die Bewirtschaftungsregeln haben sich auch bei diesem Extremereignis bewährt.
- Bezogen auf das Gesamt ereignis konnte der max. Zufluss von ca. 760 m³/s um den Faktor >8 gedrosselt werden.
- Die enormen Zuflüsse zur Urfttalsperre konnten für das Absperrbauwerk schadlos abgegeben werden.
- An der Olef- und der Wehebachtalsperre wurden die Hochwasserschutzräume nicht in Anspruch genommen.
- Die Absperrbauwerke aller Talsperren haben das Extremereignis schadlos überstanden.

Maßnahmen

- Kurzfristige Installation einer provisorischen Sondenmessung am zerstörten Zuflusspegel der Urfttalsperre
- Beseitigung von ca. 1000 t Treibgut aus den Stauseen durch WNER-Mitarbeiter, freiwillige Helfer und THW
- Vorsorgliche Standortverlegung der Netzersatzanlagen von Urfttalsperre und Stb. Heimbach auf höhere Bereiche

Ausblick

- Einordnung des HW 2021 in die Bemessungshochwasserstatistik
- Ausbau der Pegelmessungen für überextreme Ereignisse
- Hochwassergefahrenkarten mind. für Bemessungshochwasserabflüsse aufstellen und in Pegelhöhen übersetzen
- Optimierung der Hochwasservorhersage und -meldedienste
- Aufbau einer verbesserten Krisenkommunikation
- Machbarkeitsstudie für weiteren Talsperrenbau im Urfteinzugsgebiet

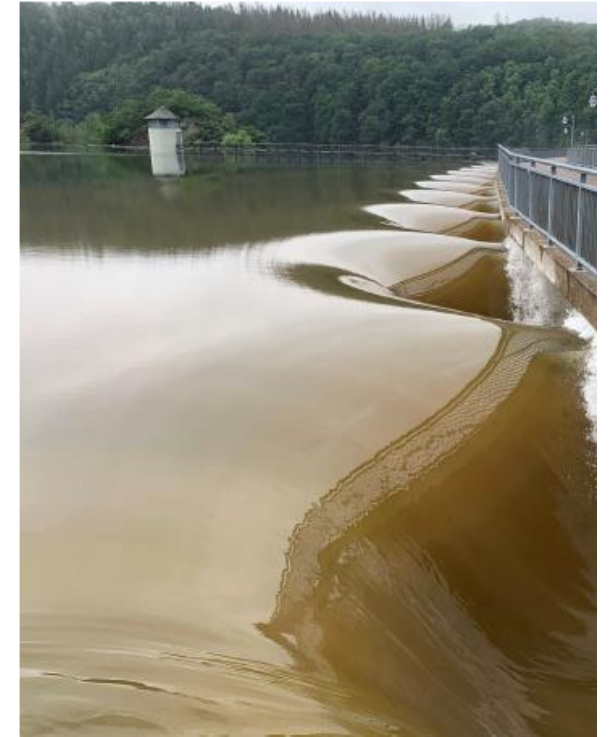


Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

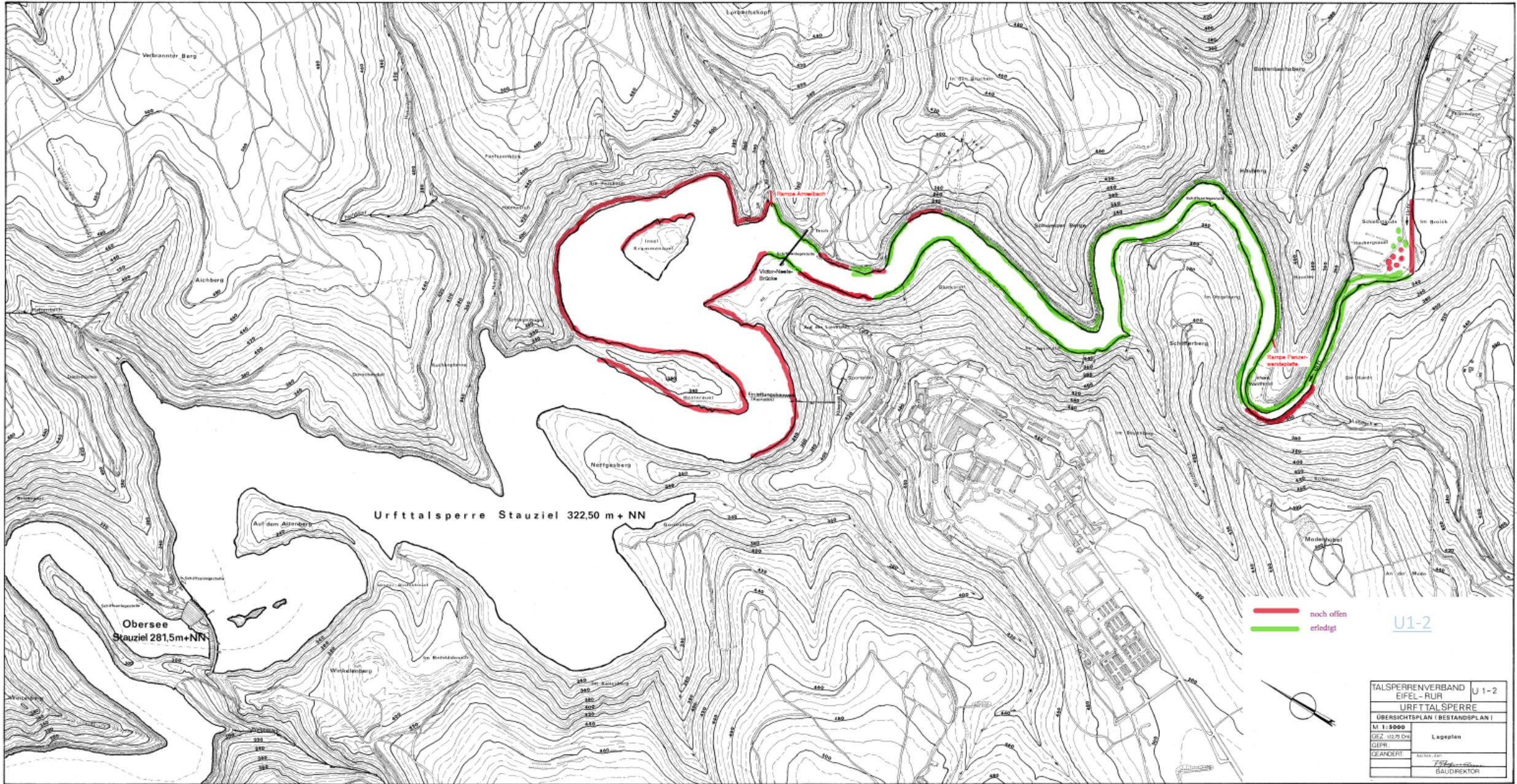


Chronik der Abflüsse an den Talsperren

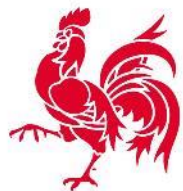
- 15.07. ca. 00:45: Zufluss zur Rurtalsperre maximal bei ca. 135 m³/s (HQ10)
- 15.07. ca. 01:15: Hochwasserüberlauf der Urfttalsperre beginnt
- 15.07. ca. 01:15: Zufluss zur Urfttalsperre maximal bei gesch. 600 m³/s, größer als bisher angesetztter Extremzufluss BHQ2 (HQ10.000)
- 15.07. ca. 05:00: Größter Hochwasserüberlauf der Urfttalsperre mit gesch. 370 m³/s
- 15.07. 16:30: Abgabenerhöhung auf 80 m³/s (+30 m³/s an der Rurtalsperre) (in enger Abstimmung mit der Bezirksregierung)
- 15.07. 23:50: Beginn Hochwasserüberlauf der Rurtalsperre
- 16.07. 15:00: Größter Hochwasserüberlauf der Rurtalsperre rd. 10,3 m³/s
- 17.07. 17:00: Ende des Hochwasserüberlauf der Rurtalsperre
- 18.07. 06:15: Ende des Hochwasserüberlauf der Urfttalsperre



Hochwasserentlastung Urfttalsperre



**VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT!**



Wallonie
mobilité infrastructures
SPW

CRUES EXTRÊMES 2021 À L'EST DE LA BELGIQUE

IR PHILIPPE DIERICKX

DIRECTION DE LA GESTION HYDROLOGIQUE

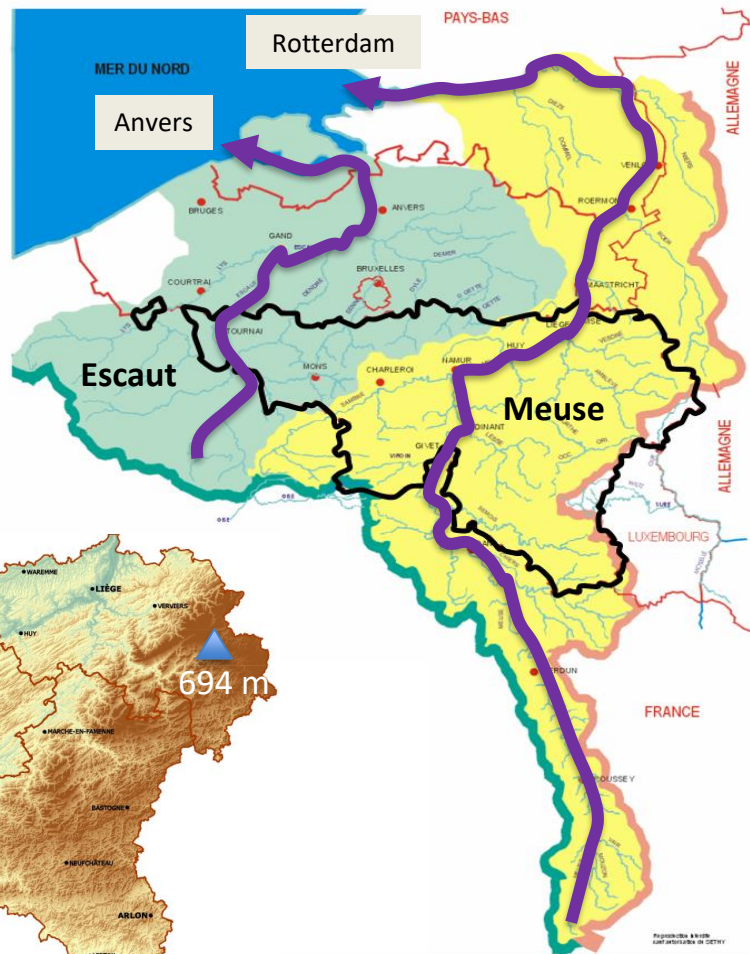
MEMBRE DU COMITÉ BELGE DES GRANDS BARRAGES

SYMPOSIUM BARRAGES ET CRUES EXTRÊMES

BERNE, 29 MARS 2023

- Éléments contextuels sur la Wallonie
- Déroulé de la crue de juillet 2021
- Focus sur le barrage réservoir d'Eupen
- Focus sur le barrage au fil de l'eau de Monsin
- Bilan
- Conclusions

Le réseau hydrographique wallon



Meuse :	12.355 km ² (35%)
Escaut :	3.774 km ² (17%)
Rhin :	767 km ² (0.4%)
Seine :	40 km ² (0.05%)
TOTAL:	16.936 km²



Les barrages réservoirs belges

- 5 barrages publics
- 4 barrages privés

BARRAGES MULTIFONCTIONS



• Production eau potable



• Rétection de crues



• Hydroélectricité



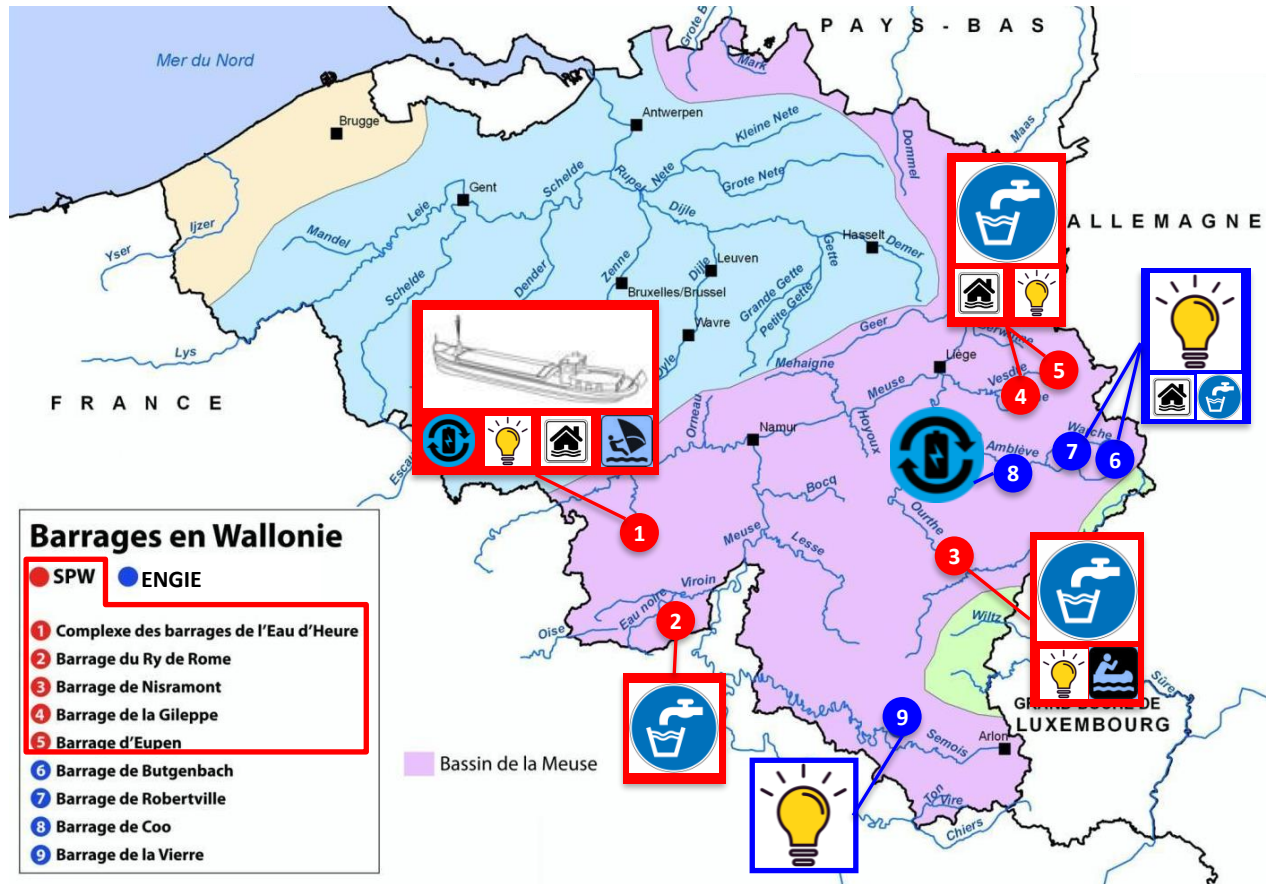
• Pompage-turbinage



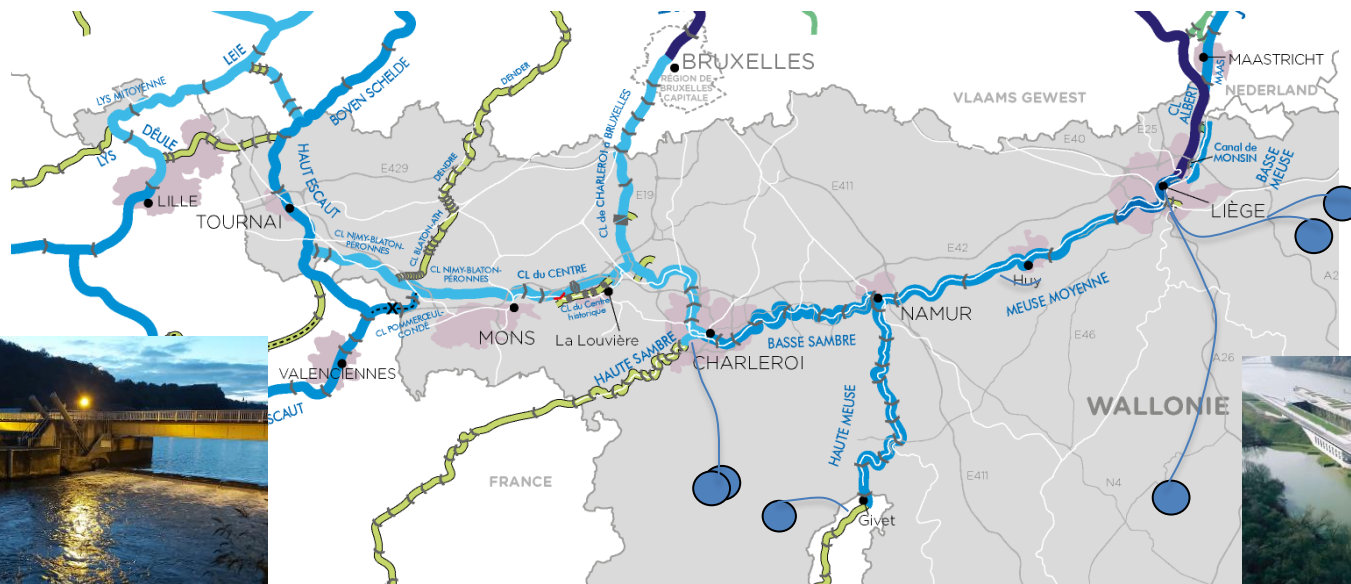
• Loisirs



• Soutien d'étiage



Réseau wallon des voies navigables



450 km de voies navigables

60 % de rivières régulées

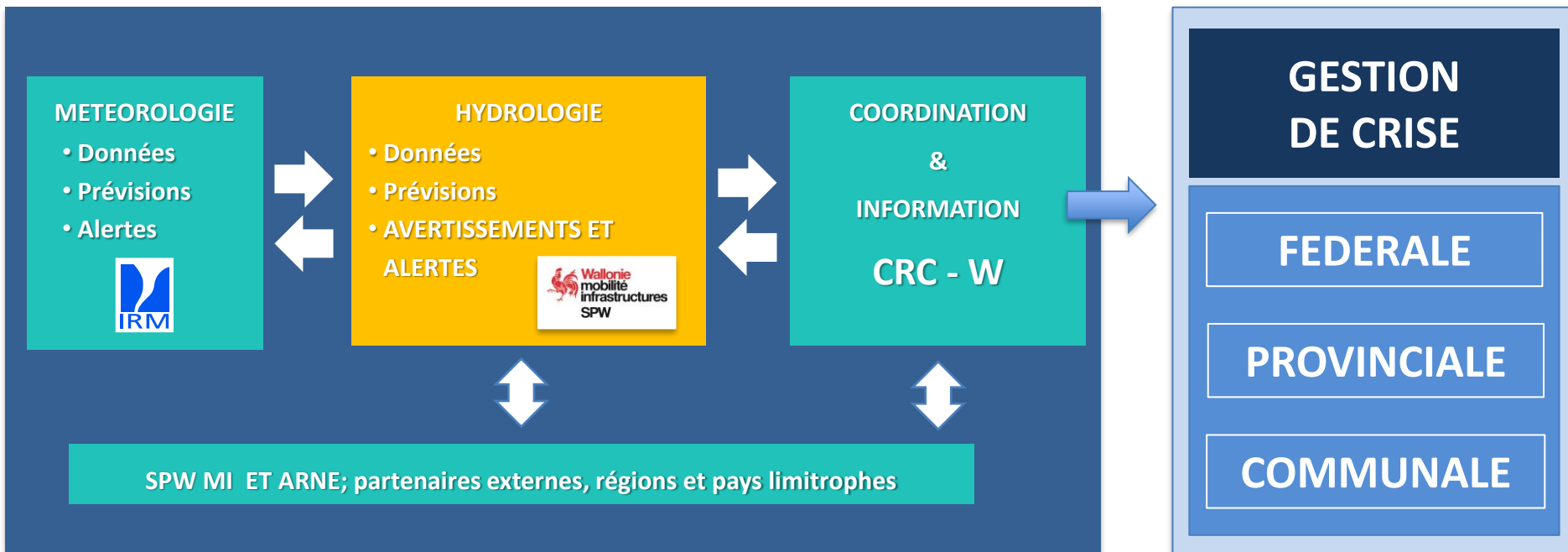
40 % de canaux artificiels

40 barrages au fil de l'eau

80 écluses

5 ascenseurs et 1 plan incliné à bateaux

Organisation de la gestion des « inondations » en Wallonie



Éléments météorologiques et hydrologiques

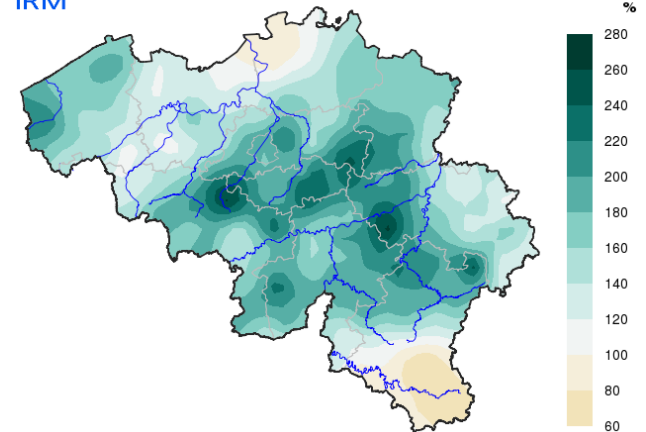
- Un mois de juin très chaud et plus humide que la normale : + 70 % de précipitations en moyenne mais fortes variations géographiques (orages)
 - Quelques périodes de précipitations sont enregistrées les 2 premières semaines de juillet
- > Sols plus humides que la normale sur certains bassins
- > Débits des cours d'eau normaux

Éléments spécifiques

- Période statistiquement peu propice aux grandes crues
- 4 années sèches à très sèches de 2017 à 2020
- Période de congés: équipes réduites, responsables en vacances...
- Le COVID-19 est encore présent



Rapport à la normale des quantités des précipitations
cumul juin 2021 par rapport à la normale mensuelle 1991-2020



Premiers avertissements

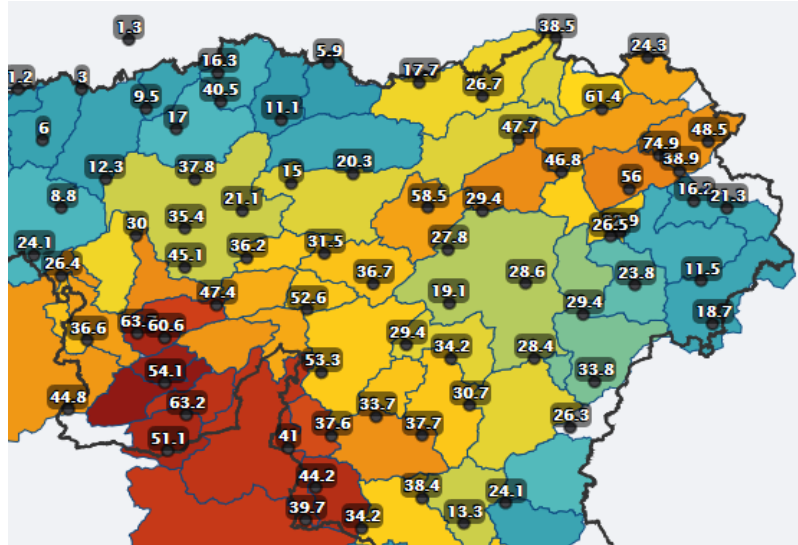
- Météo: risque de **front occlus très actif et stationnaire** avec des cumuls possibles entre 80 et 130 mm, voire 150 mm très localement, étendus sur 3 à 4 jours pour 2/3 du territoire wallon (**niveau jaune**)
 - Le modèle belge ALARO donne 50 % de pluies homogènes et 50% de convectives
 - Avertissement informel d'EFAS de dépasser à 49 % une crue de T 20 ans le 16 juillet sur l'Ourthe
 - **Premier avertissement hydrologique** au public :
 - dégâts des eaux par ruissellement, saturation du réseau d'égouttage ou débordement de petits cours d'eau
 - risque de conséquences significatives sur de nombreux cours d'eau
 - vigilance face aux risques de montée soudaine, en particulier en période estivale
- > **Une crue « hivernale » est attendue mais le caractère convectif complexifie l'analyse**

Nouveaux avertissements

- Météo: passage de 3 provinces en **code orange** avec quantités de 40 à 150 mm du 13 au 15 juillet
 - Avertissement formel d'EFAS de dépasser une crue de T 20 ans à 51 % le 15 juillet sur l'Ourthe
 - Plusieurs avertissements hydrologiques :
 - **dégâts par ruissellement**, saturation du réseau d'égouttage, voire débordement de petits cours d'eau **dès ce 13 juillet**
 - **conséquences significatives sur de nombreux cours d'eau à partir du 14 juillet**
 - demande de communication spécifique face à une crue de ce type en été
 - évacuation préventive des camps de vacances
 - mobilisation des gestionnaires d'infrastructures hydrauliques
- > Les modèles hydrologiques conçus pour des bassins versants > 300 km² ne donnent cependant pas de risques avant le 14 juillet pm.

Situation au 14 juillet

6h du matin



- Jusque 75 mm en 6 h sont enregistrés
- Observation d'inondations par ruissellement et saturation d'égoûts
- Déclenchement de phases d'alertes et de pré-alertes

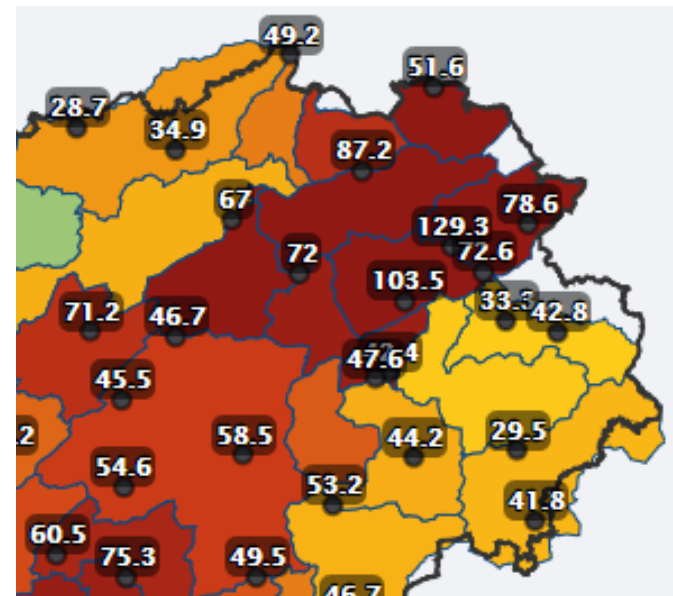
14/07/2021	VEDRE + AFFLUENTS	06:01	Situation normale	►	Alerte
14/07/2021	EAU BLANCHE + AFFLUENTS	06:05	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	EAU NOIRE + AFFLUENTS	06:05	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	VIROIN	06:05	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	HAUTE LESSE + AFFLUENTS	06:09	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	LHOMME + AFFLUENTS	06:09	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	EAU D'HEURE + AFFLUENTS	06:22	Situation normale	►	Alerte
14/07/2021	AFFLUENTS BASSE MEUSE	06:27	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	AFFLUENTS HAUTE MEUSE	06:38	Situation normale	►	Pre-alerte
14/07/2021	EAU NOIRE + AFFLUENTS	07:03	Pre-alerte	►	Alerte
14/07/2021	EAU BLANCHE + AFFLUENTS	08:37	Pre-alerte	►	Alerte

Matinée

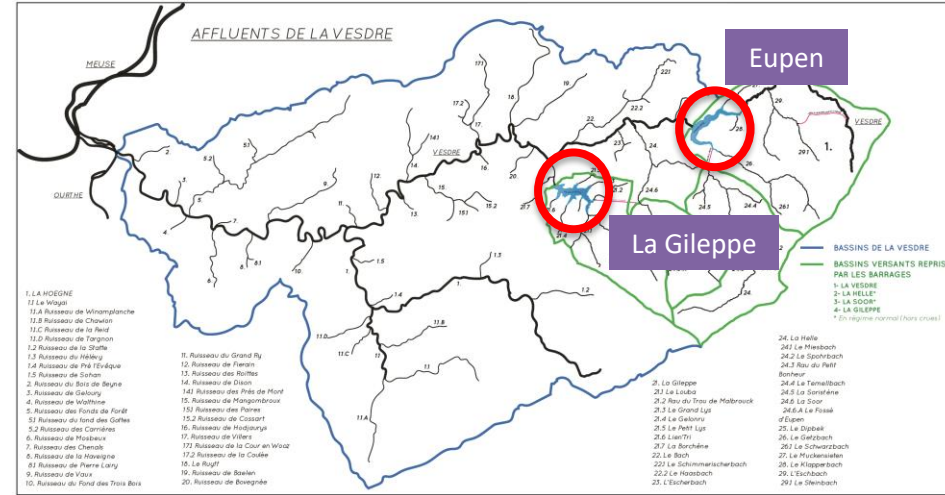
- 09h27 : **Avertissement rouge** de l'IRM sur la province de Liège: **encore 60 à 150 mm annoncés**
- 70 % des affluents de la Meuse passent en alerte

14/07/2021	LHOMME + AFFLUENTS	09:29	Pre-alerte	▶	Alerte
14/07/2021	AMBLEVE + AFFLUENTS	11:00	Situation normale	▶	Pre-alerte
14/07/2021	OURTHE INFÉRIEURE	11:03	Situation normale	▶	Alerte
14/07/2021	OURTHE MOYENNE	11:03	Situation normale	▶	Alerte
14/07/2021	AMBLEVE + AFFLUENTS	11:04	Pre-alerte	▶	Alerte
14/07/2021	AFFLUENTS BASSE MEUSE	11:07	Pre-alerte	▶	Alerte
14/07/2021	BASSE LESSE + AFFLUENTS	11:32	Situation normale	▶	Alerte
14/07/2021	HAUTE LESSE + AFFLUENTS	11:32	Pre-alerte	▶	Alerte

- Déclenchement de la phase de crise provinciale à Liège
- 12h: jusque 130 mm enregistrés sur le bassin de la Vesdre
- 13h: les stations de référence du réseau hydrométrique de la Vesdre sont noyées, les maxima historiques sont dépassés



Situation sur le bassin de la Vesdre



- Bassin versant: 700 km²
- Altitude: 70 à 600 m
- Rivière vesdre: 72.5 km, 0.73% de pente
- Nombre d'affluents: 200
- Vallées encaissées
- Population: 210.500 h
- Forte urbanisation dans la vallée

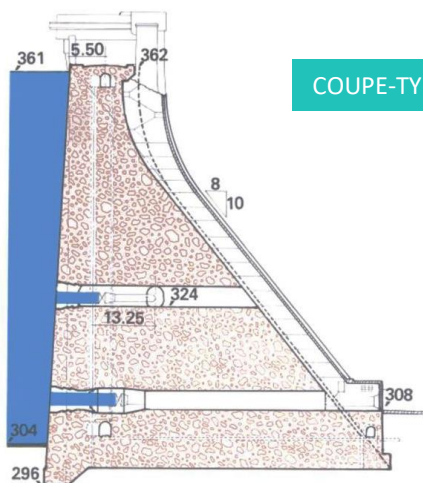


Le barrage de la Vesdre à Eupen



INFORMATIONS

Type :	Poids en béton
Hauteur du mur :	66 m
Longueur du mur :	410 m en crête
Volume du mur :	450 000 m ³
Capacité du lac :	25 hm ³
Niveau max. du lac :	361 m
Niveau de la rivière :	304 m
Bassin versant :	106 km ² (69 + 37 km ²)
Équipement hydro-électrique (SWDE) :	4 turbines Francis (axe horizontal)
<i>Puissance totale apparente :</i>	2 538 kVA
<i>Débit maximum centrale :</i>	4,5 m ³ /s
<i>Évacuateur de crue :</i>	2 x 115 m ³ /s
<i>Vidange :</i>	2 x 35 m ³ /s



COUPE-TYPE

VOLUME MOYEN PRÉLEVÉ POUR POTABILISATION ET INDUSTRIE : ~ 45 000 m³ / j

Le barrage de la Gileppe



INFORMATIONS

Type :

Poids en enrochement dont le noyau central est constitué par le barrage initial surélevé

Hauteur du mur :

68 m

Longueur du mur :

365 m

Volume du mur :

1 433 000 m³

Superficie du lac :

130 ha

Capacité du lac :

26,4 hm³

Niveau max. du lac :

300 m

Niveau de la rivière :

244 m

Bassin versant :

54 km²

Équipement hydro-électrique (SWDE) :

2 turbines Francis (axe horizontal)

Puissance totale apparente :

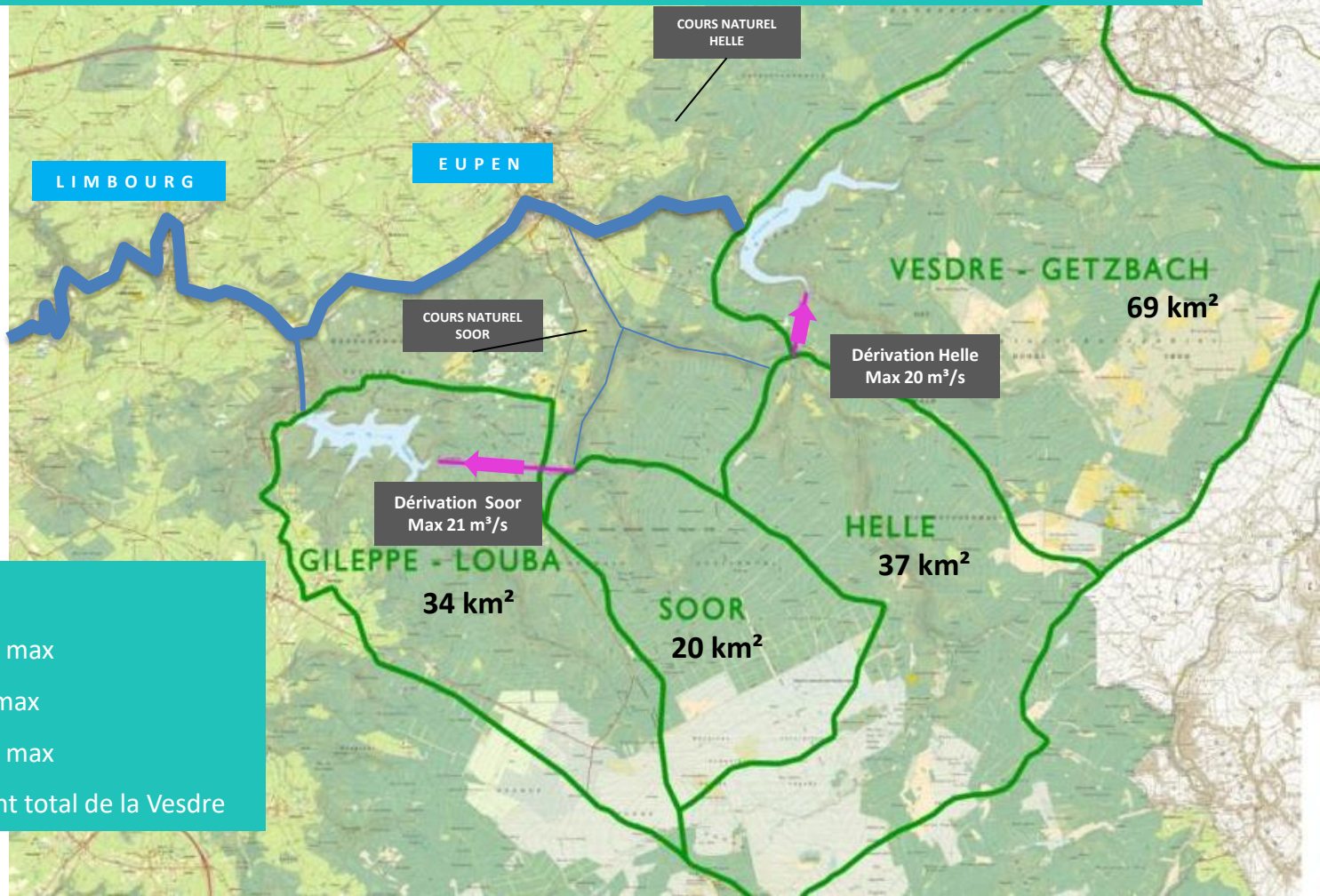
950 kVA

Débit maximum :

1,8 m³/s

Volume moyen prélevé pour potabilisation : ~50 000 m³/j

Bassins versants des barrages de la Gileppe et de la Vesdre

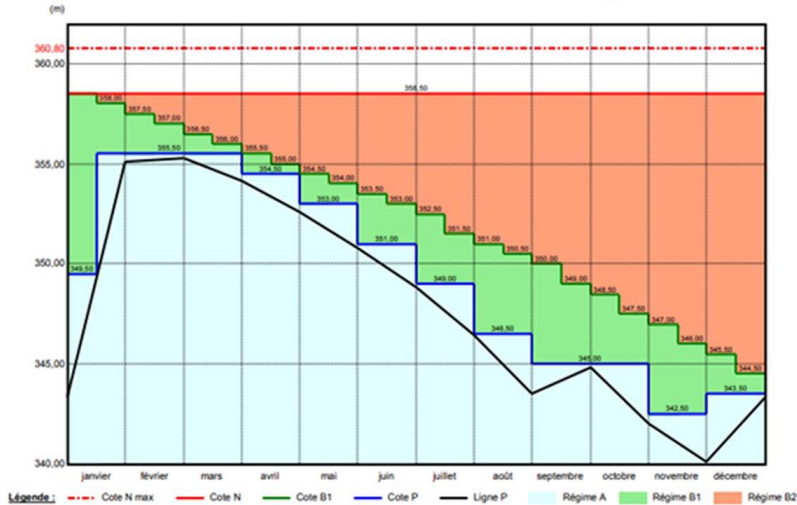


- VESDRE: 700 km²
- Barrage Eupen : 106 km² max
- Barrage Gileppe : 54 km² max
- Total barrages : 160 km² max

Soit **23 % max** du bassin versant total de la Vesdre

Courbe de manutention du barrage de la Vesdre à Eupen

Courbes théoriques de manutention des eaux du barrage de la Vesdre.



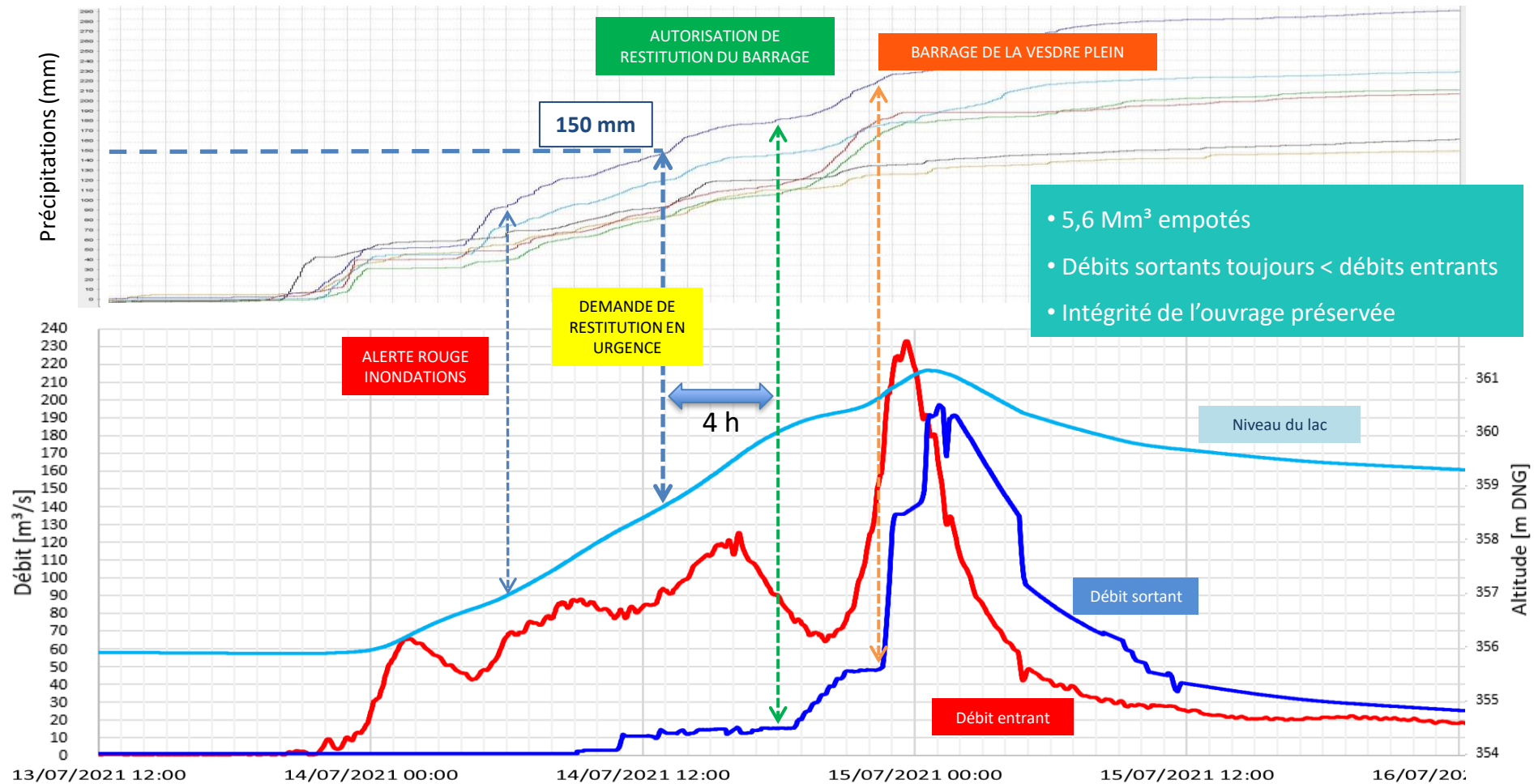
- Réserve minimale d'empotement permanente: 2.8 Mm³
- Ligne bleue: réserve minimale pour l'eau potable afin de couvrir deux années sèches
- Capacités de restitution limitée à 20-30 m³/s

- Situation les 12 et 13 juillet 2021:

- réserve d'empotement de 5.6 Mm³
- réserve suffisante pour capter 150 mm
- pas de restitution préventive



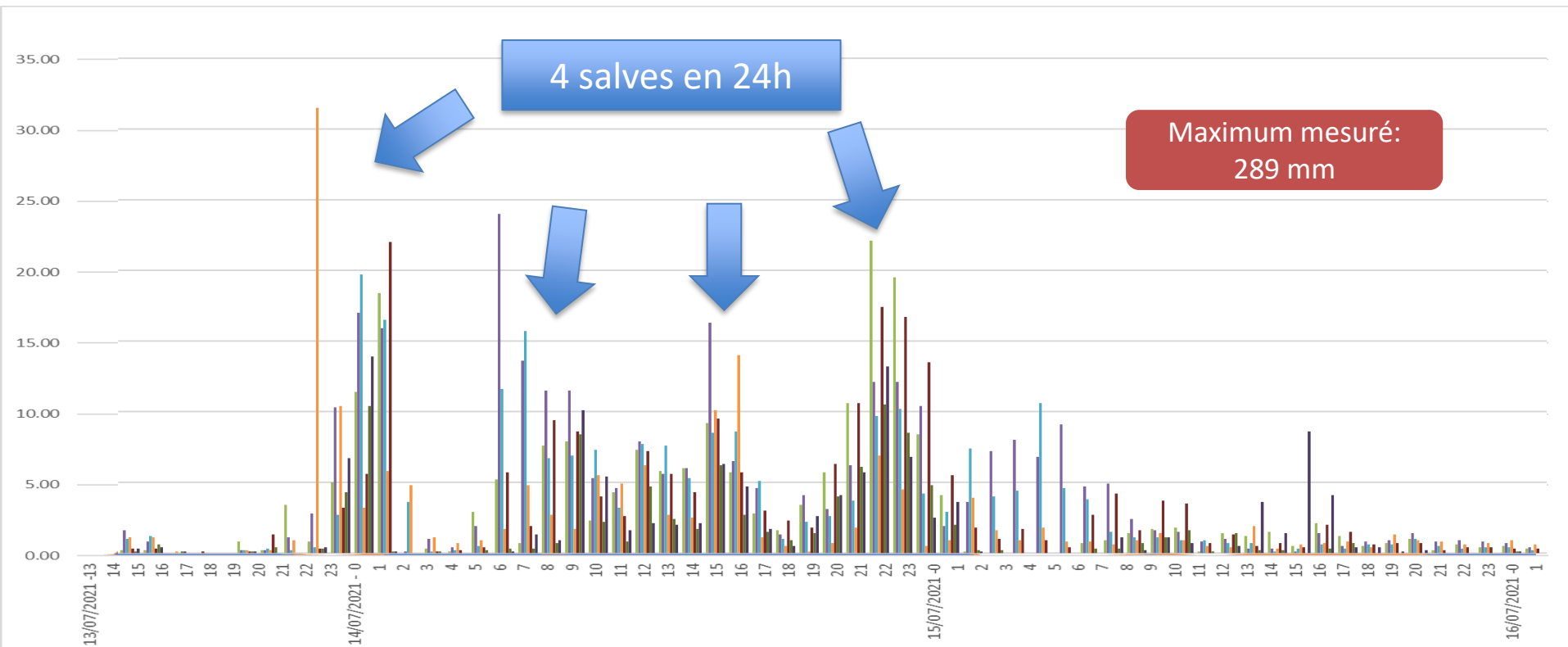
Barrage de la Vesdre à Eupen



Saturation de la déviation de la Helle



Précipitations observées sur la Vesdre



Sol moyennement humide

Inondations par ruissellement et saturation d'égoûts

Débordements Vesdre
Charrage

Saturation barrage de la Vesdre

Décru

Situation sur la Vesdre

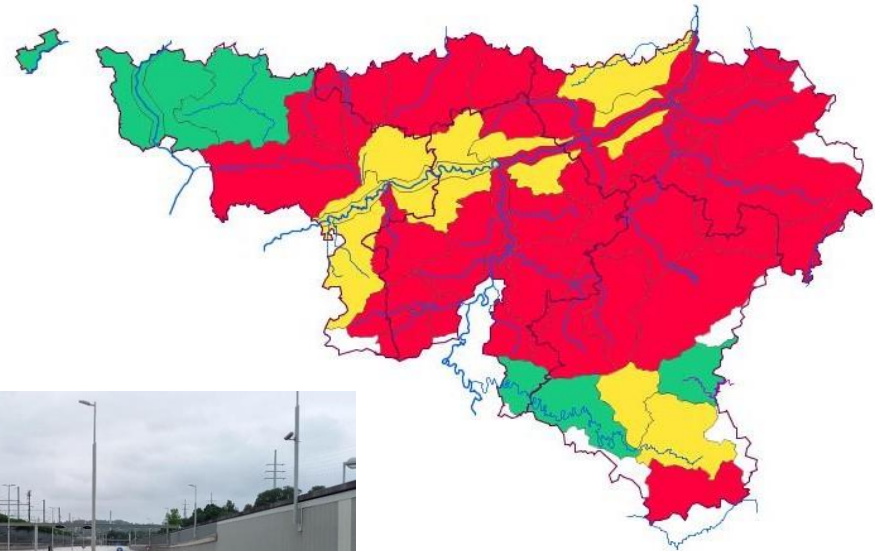
- Des montées d'eau extrêmement rapides
- Des vitesses du courant très fortes
- Des embâcles
- Des infrastructures et maisons emportées
- Des zones inaccessibles (route, air...)
- Des services de secours dépassés
- Des personnes disparues



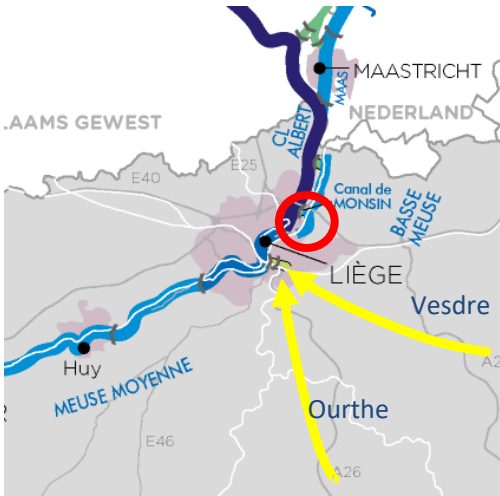
Poursuite de la crue

- Les précipitations commencent à s'estomper à l'est et se concentrent sur le centre de la Wallonie
- La plupart des cours d'eau ardennais et du centre dépassent leurs niveaux historiques
- La Vesdre atteint son pic de crue en soirée à son exutoire à Liège, et débit au moins 2 x plus haute que le record historique connu

Etat des eaux en Wallonie mis à jour le 15/07/2021 à 23:46



Focus sur le barrage de Monsin sur la Meuse



- Objectif : navigation
- Construction : 1930
- Hauteur : 6 m
- Largeur : 150 m
- Bief contrôlé : 60 km (Meuse + Canal Albert)
- Volume retenu : +/- 50 Mm³
- Bassin versant : 22.000 km²
- Q moyen : 220 m³/s



Barrage de Monsin:
6 vannes de régulation
7 tours pour mécanismes de manoeuvre

Centrale hydroélectrique

Focus sur le barrage de Monsin sur la Meuse

En amont : Liège



En aval : zones industrielles

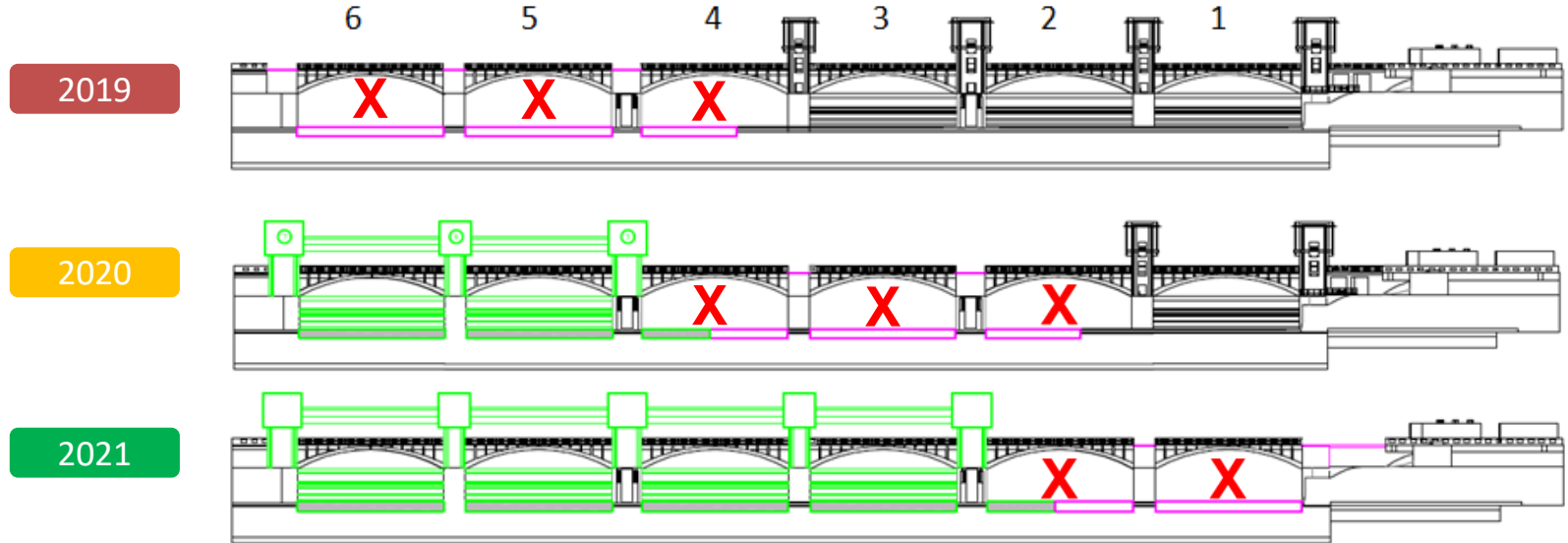


En aval : zones endiguées

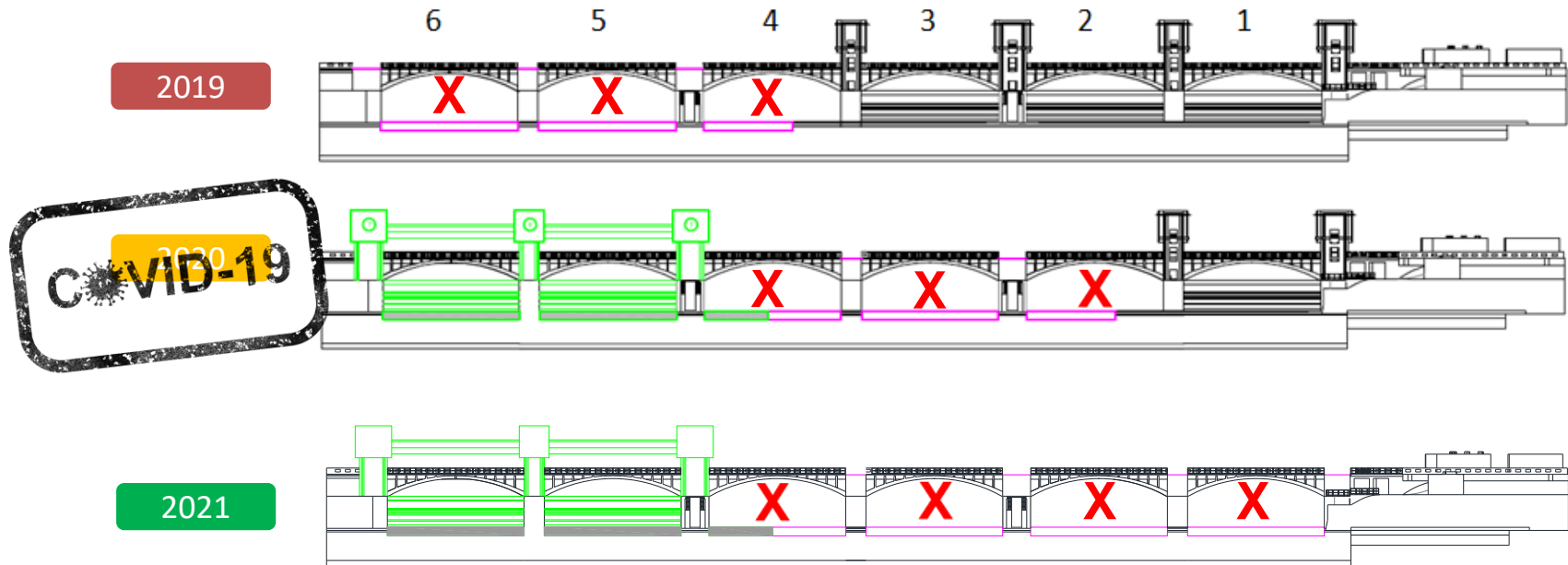


Réhabilitation du barrage de Monsin

- Remplacement des vannes et du contrôle-commande des 6 pertuis
- Prévu de 2019 à 2021
- 2 pertuis réhabilités par année
- Travaux du 1^{er} avril au 31 octobre avec 3 pertuis opérationnels
- Pleine capacité en hiver

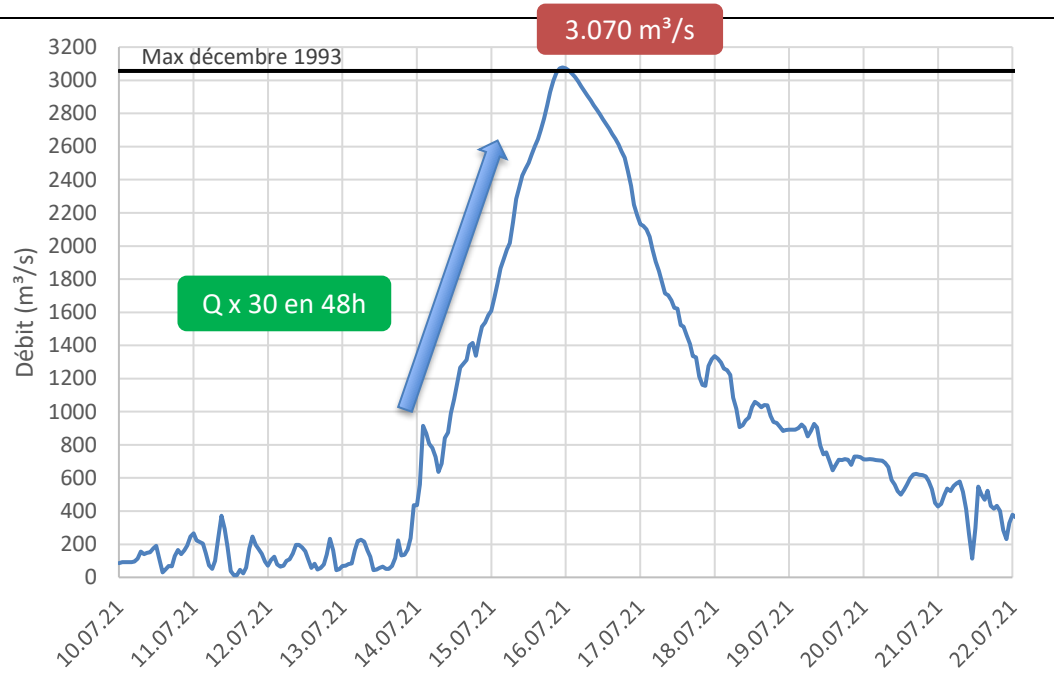


Réhabilitation du barrage de Monsin



- 14 juillet 2021: 2 pertuis totalement opérationnels
- Chantier présent en aval

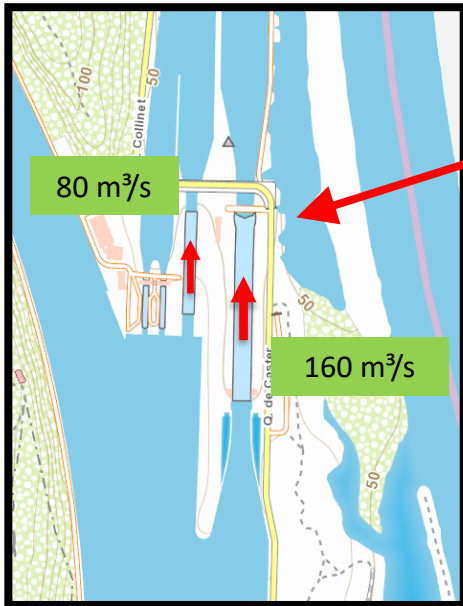
Crue de juillet 2021 à Monsin



- Chantier noyé
- Dynamitage envisagé
- Risque d'effondrement de la grue sur la ligne à Haute tension
- Fermeture de l'autoroute latérale
- Evacuation de la population à l'aval des digues
- Mise à l'abri de la population à Liège

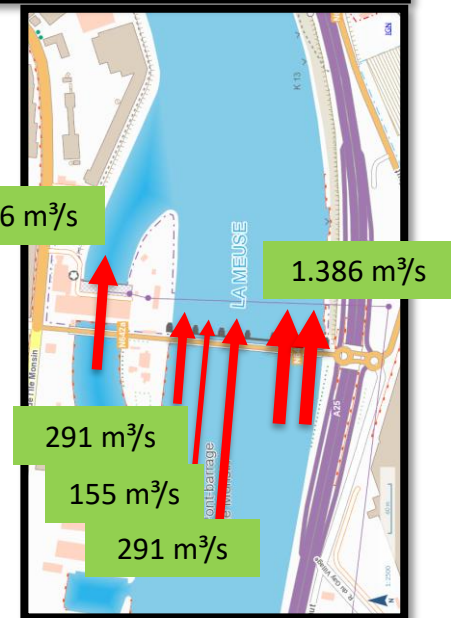
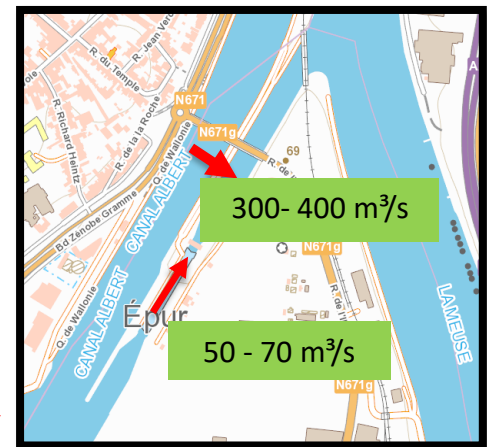
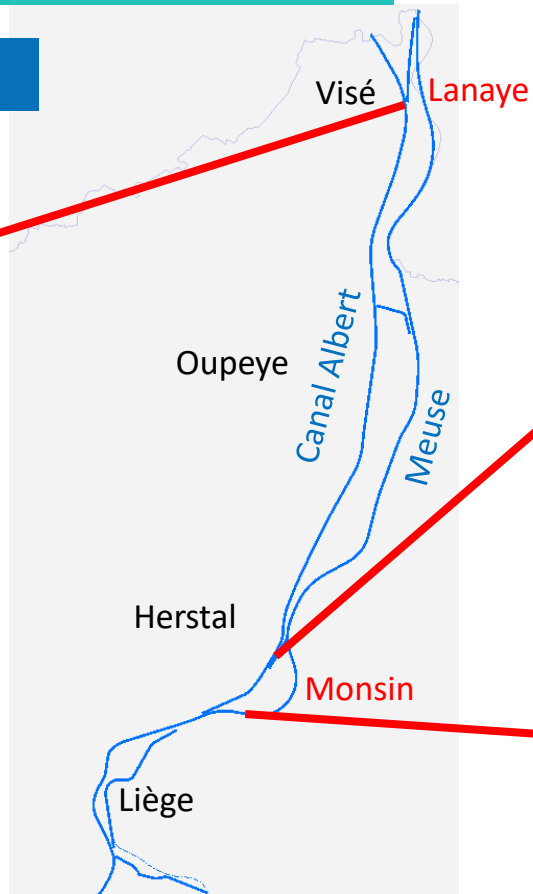
Crue de juillet 2021 à Monsin

Evacuations alternatives



Barrage de Monsin : 2.123 m³/s
Solutions additionnelles : 826 – 946 m³/s
TOTAL : 3.070 m³/s

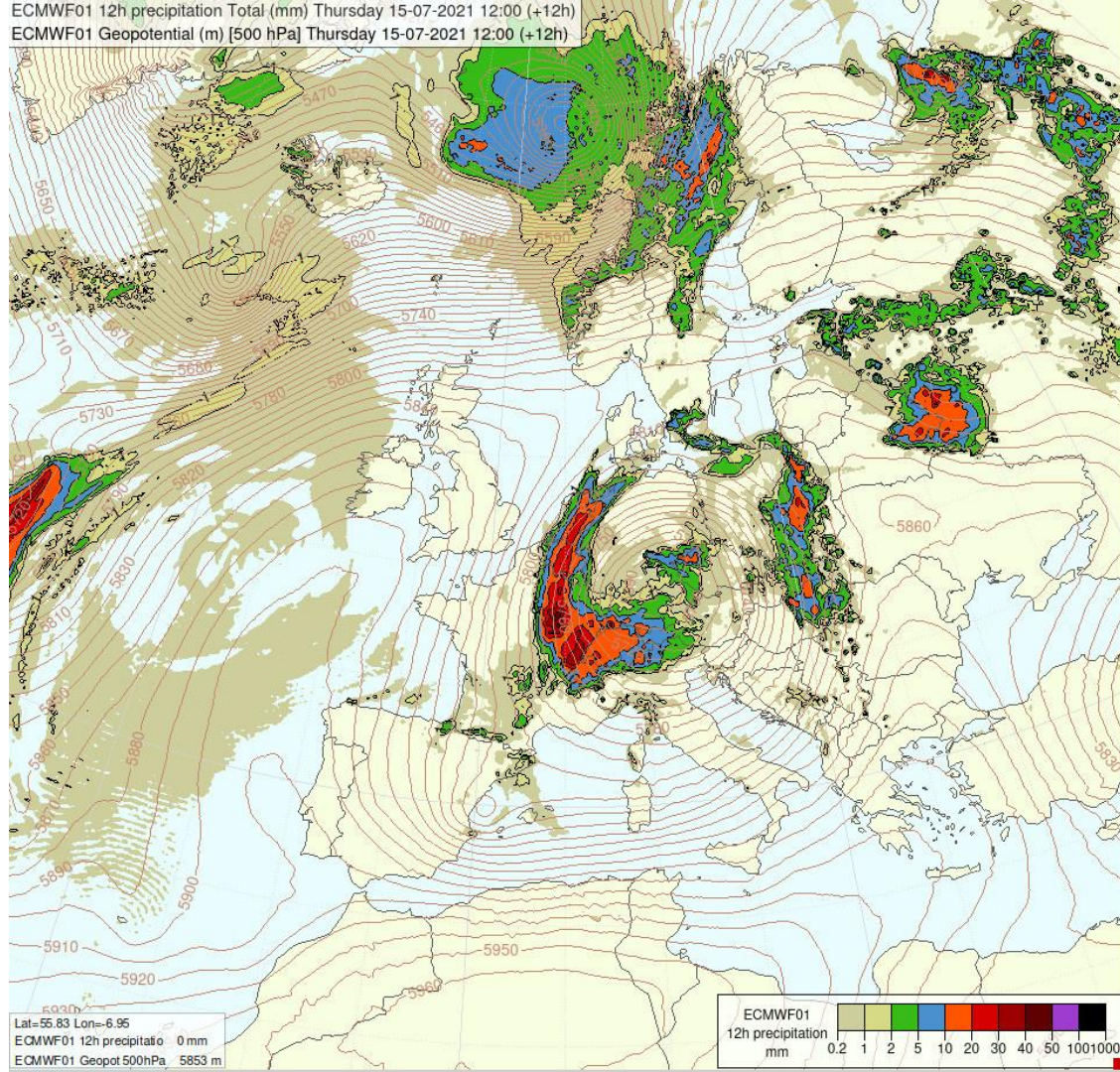
Pas d'impacts sur la population



Le bilan

- Occlusion sur l'Est de la Belgique
- Stationnaire pendant plus de 24h
- Effet orographique très marqué

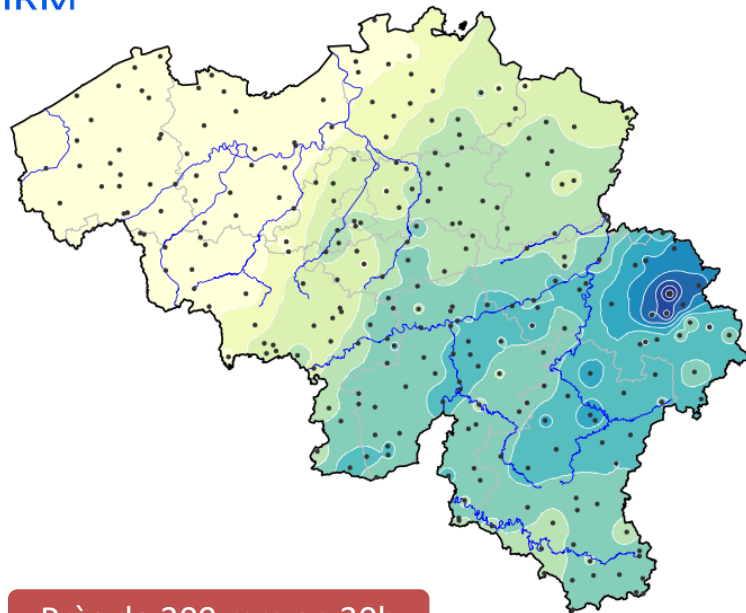
ECMWF01 12h precipitation Total (mm) Thursday 15-07-2021 12:00 (+12h)
ECMWF01 Geopotential (m) [500 hPa] Thursday 15-07-2021 12:00 (+12h)





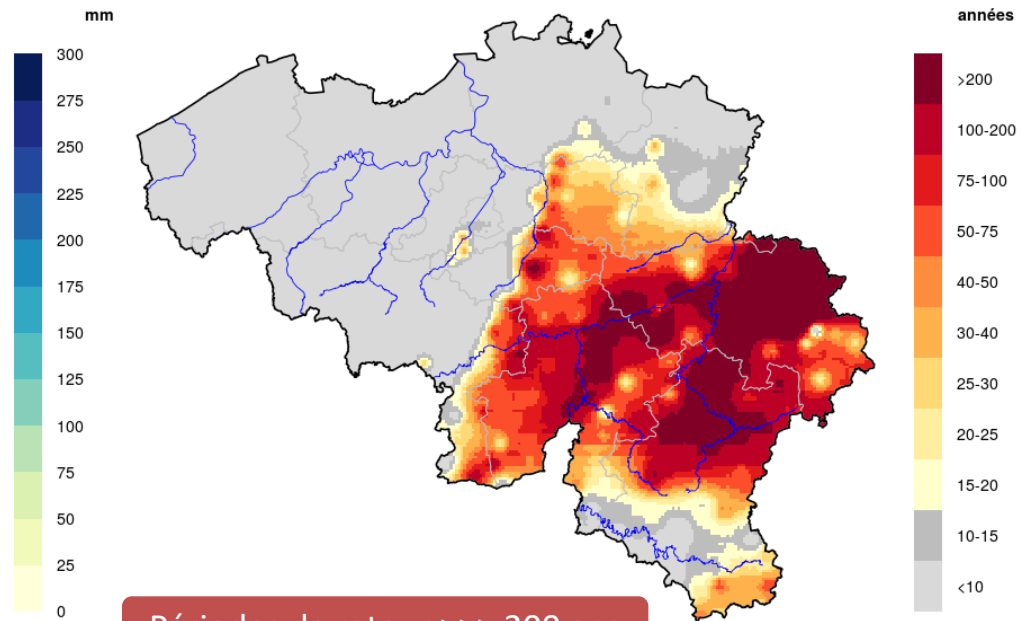
Cumul pluviométrique sur 72h

entre le 13 juillet à 08:00 et le 16 juillet 2021 à 08:00



Près de 300 mm en 30h

Période de retour associée



Périodes de retour >>> 200 ans

Le bilan

Prévisions météorologiques

Très variables selon les modèles

Très variables selon les runs

Sous-évaluation des maxima

Sous-évaluation des étendues

Sur-évaluation des durées

Cumul des précipitations attendues (en mm) jusqu'au vendredi 16 juillet (2h)

Prévisions de lundi 12 juillet
minuit



Selon
le modèle
français
(Arpège)

Prévisions de lundi 12 juillet
midi



Prévisions de mardi 13 juillet
minuit



Selon
le modèle
européen
(ECMWF)



Selon
le modèle
américain
(GFS)



Le bilan

Prévisions hydrologiques

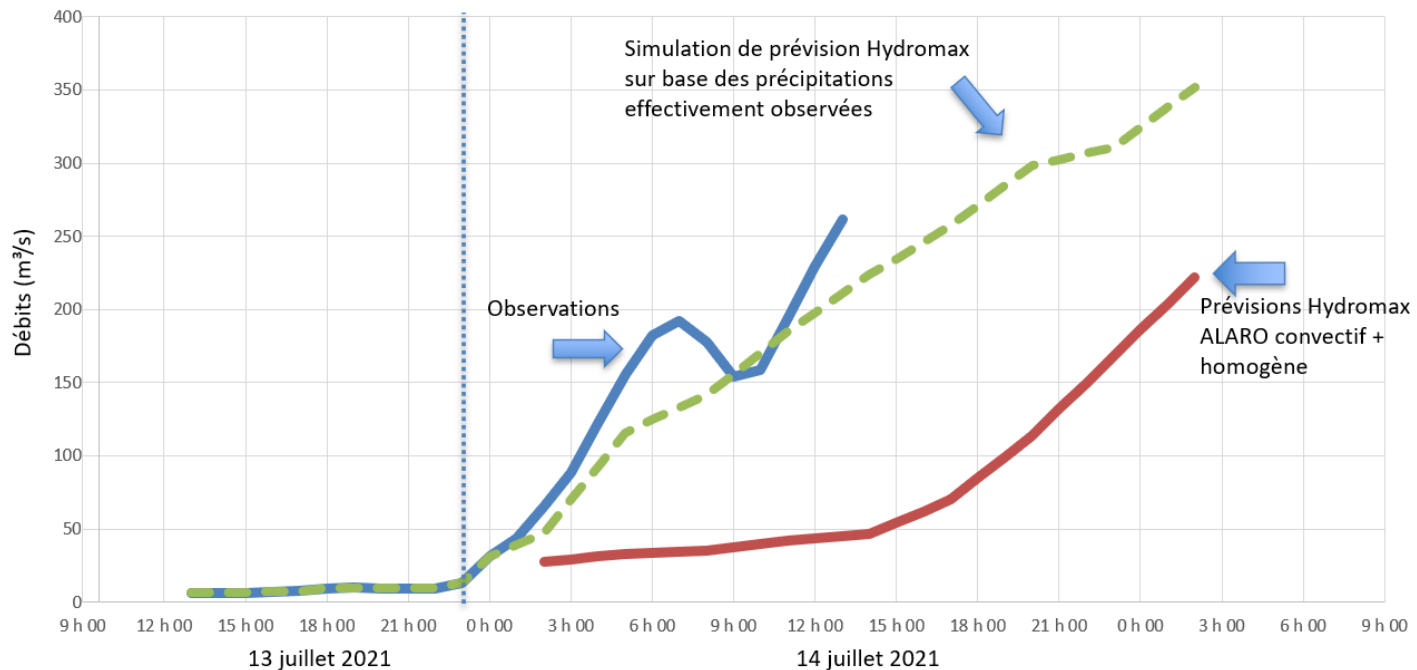
Impactées par les prévisions météorologiques

Pas calibrés pour de telles crues violentes

Impactées par les stations de mesures noyées ou arrachées



Chaufontaine - Comparaison des prévisions versus observations – 13 juillet 23h00



Le bilan



39 personnes décédées
30.000 personnes relogées



11.490 habitations impactées



1.330 entreprises impactées



5,3 milliards €



Conséquences

Création d'un Commissariat provisoire à la reconstruction

Terminé en juillet 2021

Mise en place d'une Commission d'Enquête Parlementaire

Terminée en mars 2022

161 recommandations :

Prévision

Gestion des barrages

Culture du risque

Gestion de crise

Gestion des cours d'eau

Aménagement du territoire

Résilience aux impacts du changement climatique

Ouverture d'une instruction judiciaire

En cours

Conclusions

- Les 14 et 15 juillet 2021, la Wallonie a été frappée par des pluies dont les quantités, les intensités et l'étendue spatiale étaient inédites et imprévisibles de par leur ampleur
- Les inondations ont été très rapides et brutales, dépassant parfois de plus de 2 m les records historiques connus
- Le phénomène a été particulièrement violent et mortel sur le bassin de la Vesdre
- Des outils de gestion hydrologique et hydraulique ont été dépassés
- Les autorités, gestionnaires de crise et services de secours n'étaient pas préparés à une telle catastrophe
- La culture du risque est insuffisante dans une partie de la population
- Le bilan humain et matériel est considérable et les impacts perdurent

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



CONTACT:

Service public de Wallonie Mobilité & Infrastructures
Département Expertises Hydraulique & Environnement
Direction de la Gestion hydrologique
Rue Del'Grète 22
B-5020 NAMUR
BELGIQUE
Tél: +32 81 21 94 83
Gestion.hydrologique@spw.wallonie.be



Schweizerisches Talsperrenkomitee
Comité suisse des barrages
Comitato svizzero delle dighe
Swiss Committee on Dams

gruner >



SYMPOSIUM BARRAGES ET CRUES EXTRÊMES

Reconstitution et analyse des événements de juillet
2021 dans l'Est de la Belgique

Thomas Michaud

Berne, 29.03.2023

CONTENU

- > Contexte de l'étude
- > Situation géographique
- > Analyse météorologique
- > Analyse hydrologique et hydraulique
- > Capacité hydraulique de la vallée de la Vesdre
- > Recommandations

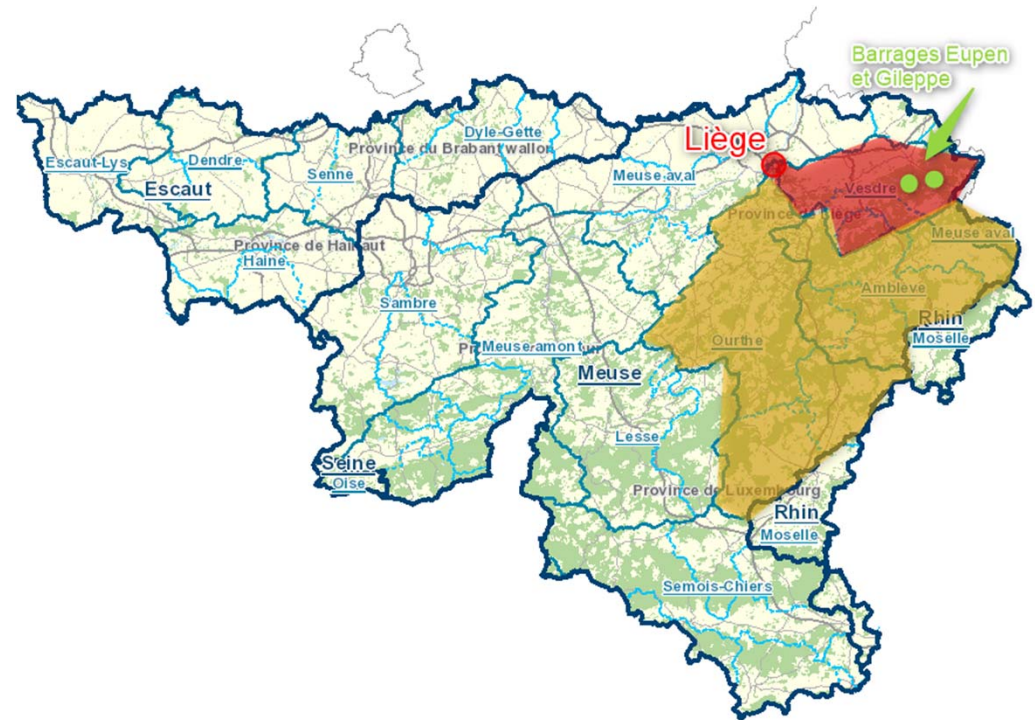
CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- > 2 mois après les évènements (septembre-octobre 2021)
- > Contexte médiatique et politique sensible
- > Mandat du Cabinet du Ministre Wallon du Climat, de l'Energie et de la Mobilité
- > Objectifs :
 - > Établir un diagnostic factuel sur les inondations de juillet 2021 en Wallonie
 - > Emettre des recommandations pour une meilleure gestion de crise et une meilleure planification et anticipation des évènements
 - > Analyse "indépendante"
 - > Volet technique et pilotage de l'étude (Gruner)
 - > Volet consultation citoyenne (ULiège)
 - > Volet organisationnel et institutionnel (ULiège)
- > Délai : 2 mois
- > Commission d'enquête parlementaire



SITUATION GÉOGRAPHIQUE

- > Bassins versants de la Vesdre, de l'Amblève, de l'Ourthe et de la Meuse aval
- > Vallée de la Vesdre la plus dévastée
- > Gestion hydraulique de la Vesdre la plus controversée car contrôlée par 2 barrages : Eupen et Gileppe
- > Phénomènes de "vague" relayés par les habitants dans la vallée de la Vesdre



ANALYSE METEOROLOGIQUE

OBJECTIFS ET MÉTHODES

> Objectifs :

- > Contextualisation de l'évènement (répartition spatiale, intensité, période de retour, temporalité, etc.)
- > Comparaison des observations et des prévisions
- > Liens avec l'hydrologie

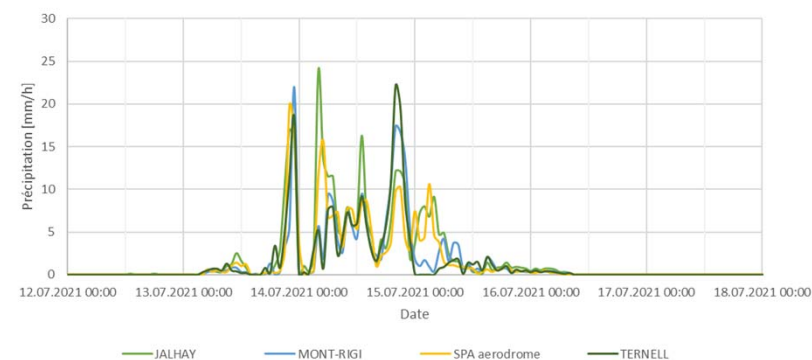
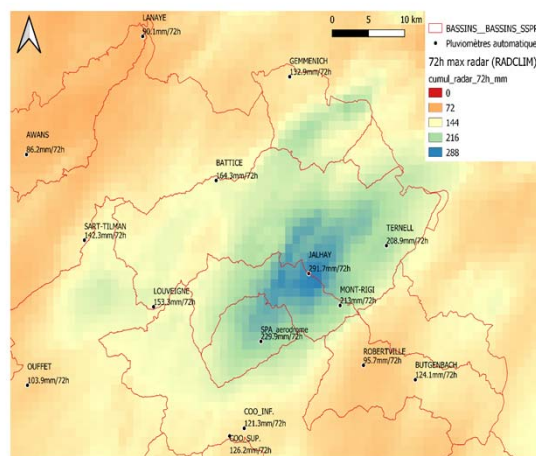
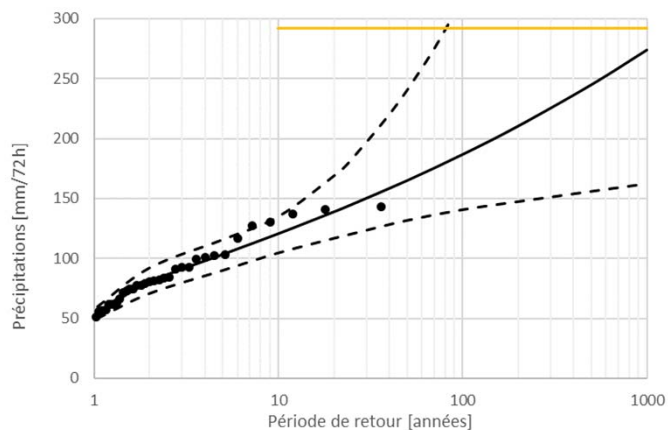
> Moyens et méthodes :

- > Analyse des données enregistrées dans les pluviomètres
- > Analyse des données radar
- > Analyse statistique
- > Analyse des prévisions

ANALYSE METEOROLOGIQUE

RÉSULTATS

- > Evènement rare à très rare en termes d'intensité et de répartition géographique (il a plu près du double du maximum enregistré dans les séries historiques)
- > Les prévisions des modèles ALARO et ECMWF ont tous 2 sous-estimé les précipitations réellement tombées au cœur de l'évènement.
- > Sur Jalhay (Vesdre) : 4 pics de précipitation enregistrés



ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

OBJECTIFS ET MÉTHODES

> Objectifs :

- > Reconstituer les débits de pointe par différentes approches
- > Contextualiser l'évènement (répartition spatiale, intensité, période de retour, temporalité, etc.)
- > Liens avec la consultation citoyenne (temporalité)

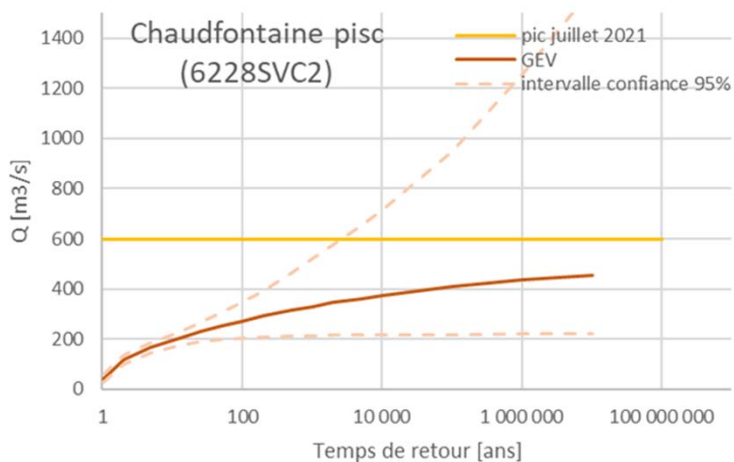
> Moyens et méthodes :

- > Analyse des données enregistrées dans les stations hydrométriques et reconstitution des débits quand le pic de crue n'a pas pu être enregistré (stations proches géographiquement, extrapolation du pic, méthode rationnelle)
- > Utilisation des traces de crue
- > Utilisation du débit reconstitué au barrage d'Eupen
- > Analyse statistique

ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

RÉSULTATS

- > Evènement rare à très rare en termes de débit
- > Phénomène rapide

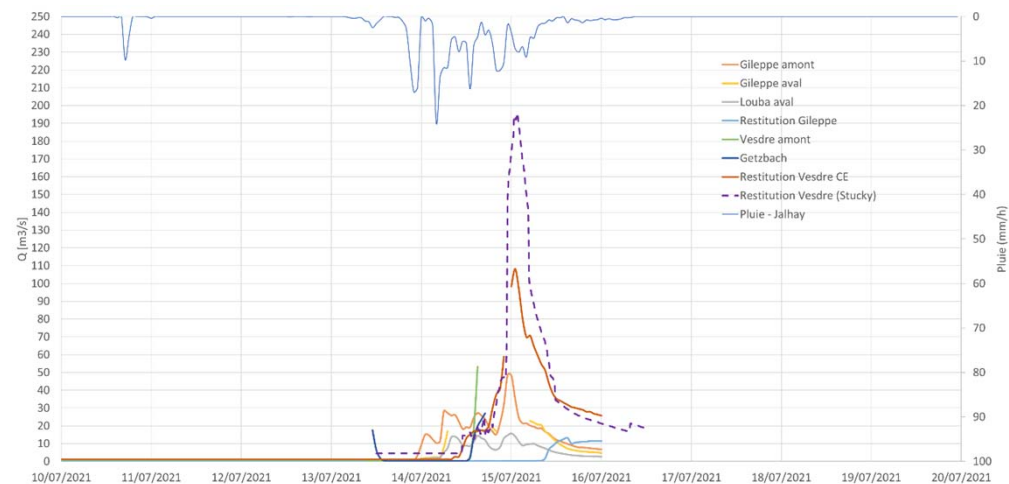
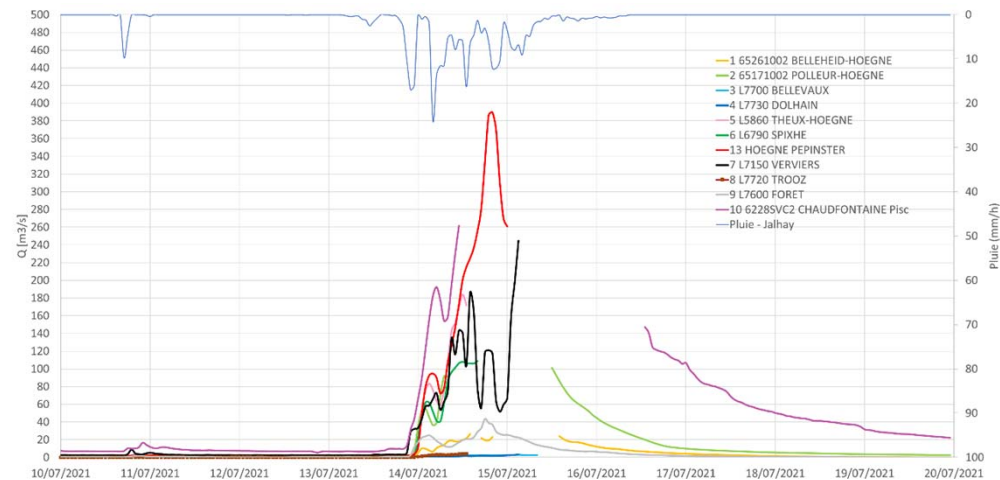
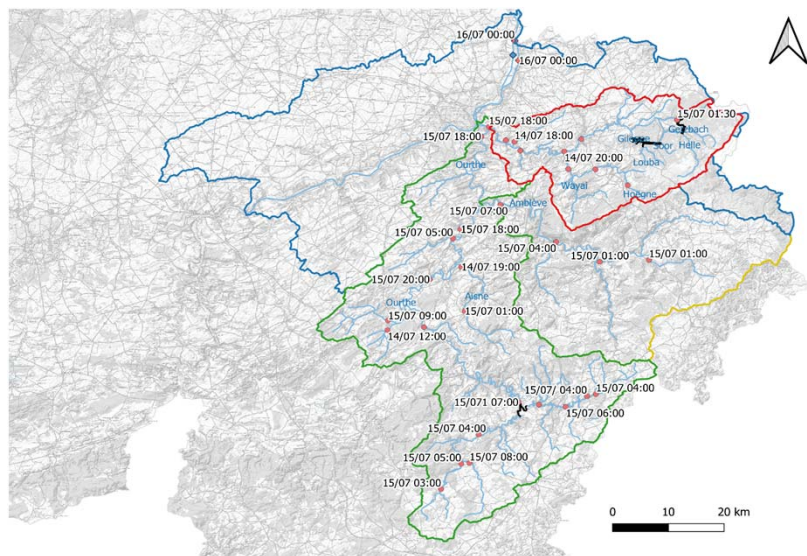


Station	Code	Rivière	Bassin Versant	Mesure station	Mesure reconstituée	Qh_pic [m ³ /s]		
						Laisse de crue	Méthode rationnelle	Rapport Uni. Liège
TARGNON	66711002	Ambève	Ambève	484				-
STAVELOT	67321002	Ambève	Ambève	261				-
LASNENVILLE	67531002	Ambève	Ambève	70				-
MARTINRIVE	66211002	Ambève	Ambève	661		614		-
VISE	54511002	Basse Meuse	Meuse	2550	3078			-
LIXHE Aval	54361002	Basse Meuse	Meuse	3078				-
BOMAL-SUR-OURTHE	L5491	Aisne	Ourthe	116.5				
EREZEE	L6690	Aisne	Ourthe	35.3				
MARCHE-EN-FAMENNE	L7120	Marchette	Ourthe	31.4				
RENSIWE	L7070	Martin-Moulin	Ourthe	33.8				
HAMOIR	L5630	Néblon	Ourthe	21.8				
DURBUY	59531002	Ourthe	Ourthe	379.6				
HOTTON	5962SCC2	Ourthe	Ourthe	374.2				
SAUHEID	58261002	Ourthe	Ourthe	1136	1150.8	200-1000		
NISRAMONT	59911002	Ourthe	Ourthe	226.6				
ANGLEUR (2bis)	580800C2	Ourthe	Ourthe	-	1430			
TABREUX	5921SVC2	Ourthe	Ourthe	542.2	476.5	760		
MOIRCY	L8500	Ourthe Occidentale	Ourthe	12.9				
AMBERLOUP	L6290	Ourthe Occidentale	Ourthe	15.9				
BRIZY	L6550	Ourthe Orientale	Ourthe	13.3				
HOUFFALIZE	L5930	Ourthe Orientale	Ourthe	58.4				
Wyompont	L5950	Ourthe Orientale	Ourthe	60.7				
BISTAIN	L6560	Ruisseau de Rettigny	Ourthe	13.3				
SPRIMONT	L6850	Ruisseau du Laval	Ourthe	32.1				
BAILLONVILLE	L6050	Ruisseau Heure	Ourthe	20.7				
RESTITUTION VESDRE	Stucky	Vesdre	Vesdre	-	196			190
POLLEUR	65171002	Hoëgne	Vesdre	-	228		100	145
BELLEHEID	65261002	Hoëgne	Vesdre	-	106	-	130	60
THEUX	L5860	Hoëgne	Vesdre	-	367	265-650	200	260
FORET	L7600	Magne	Vesdre	43			60	58
BELLEVAUX	L7700	Vesdre	Vesdre	-		420-530	50	
TROOZ	L7720	Vesdre	Vesdre	-		535	400	
VERVIERS	L7150	Vesdre	Vesdre	-	440-575			410
CHAUDFONTAINE Pisc	6228SVC2	Vesdre	Vesdre	-		650		580-660
SPIXHE	L6790	Wayai	Vesdre	-		50-200	150	140

ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

RÉSULTATS

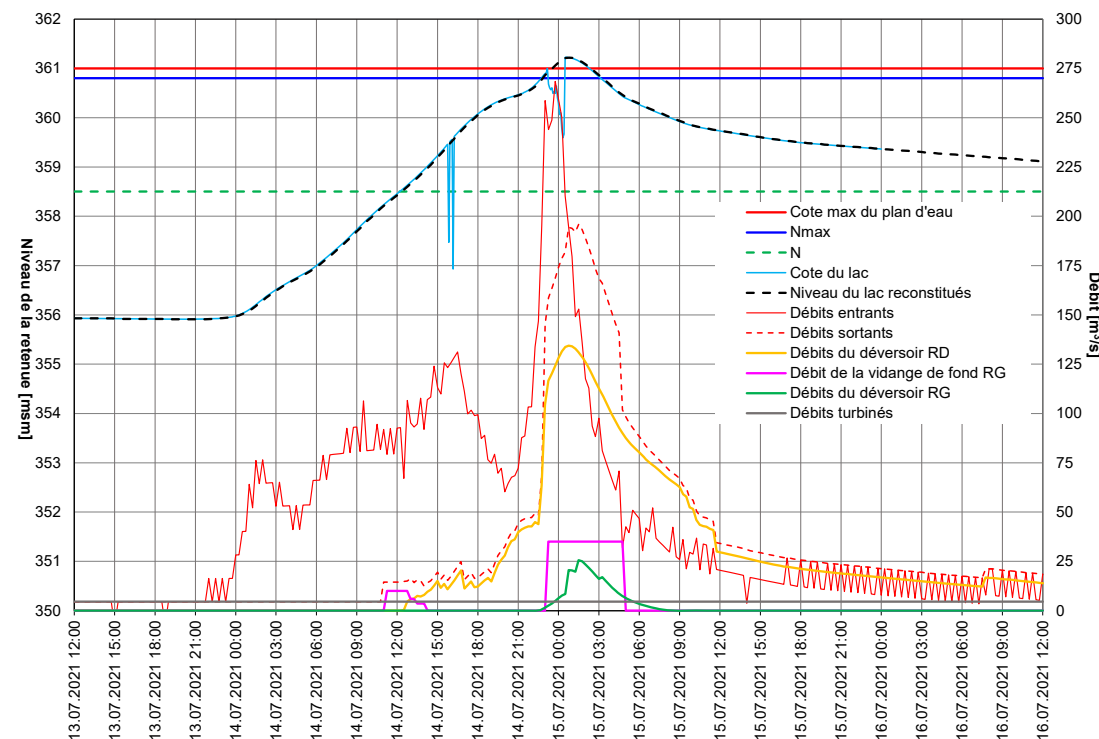
- > Sur la Vesdre : 1er pic 14/07 fin de journée et 2ème pic dans la nuit du 14 au 15 juillet (tête de BV)
- > Temporalité en 2 pics relayée également par les citoyens consultés
- > Sur l'Ourthe, les pics de crue ont lieu le 15/07 au matin (tête de BV) et en fin de journée à l'aval



ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

ANALYSE DU BARRAGE D'EUPEN

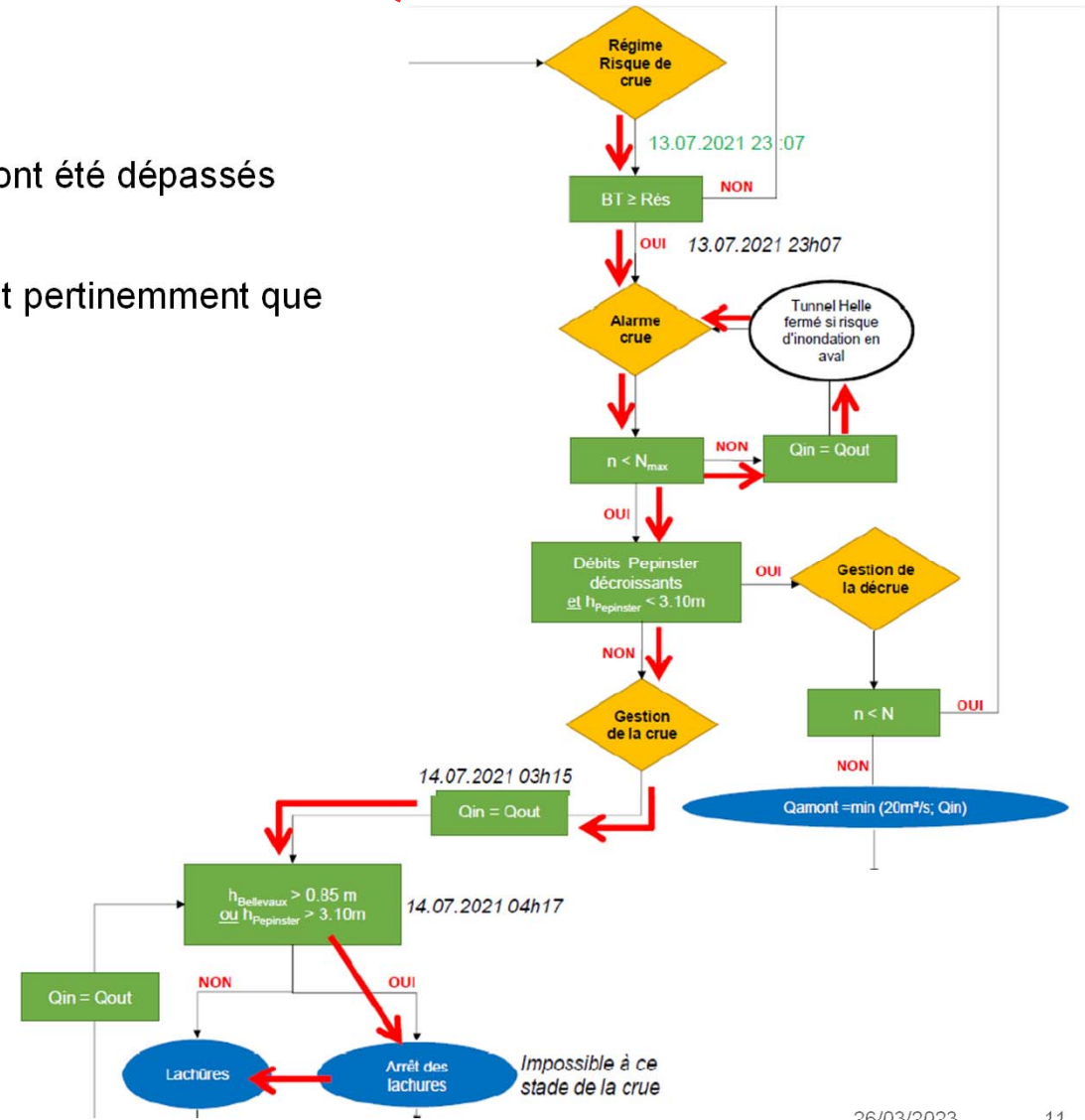
- > Reconstitution du débit entrant ($268\text{m}^3/\text{s}$) et sortant ($196\text{m}^3/\text{s}$) par calcul de bilan de volumes du lac
- > La rapidité de la crue n'a pas permis aux gestionnaires d'effectuer des lâchers préventifs.
- > Sans la présence du barrage, la situation aurait été encore plus catastrophique à l'aval.
- > Pas de phénomène de vague à associer avec le mode de gestion du barrage.



ANALYSE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

ANALYSE DU BARRAGE D'EUPEN

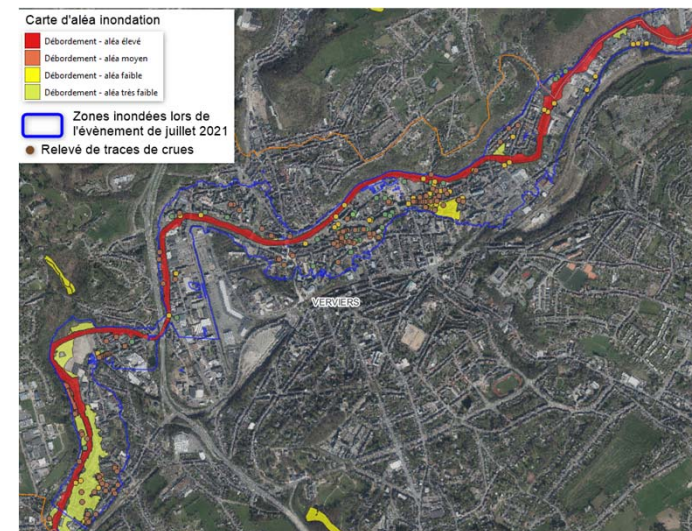
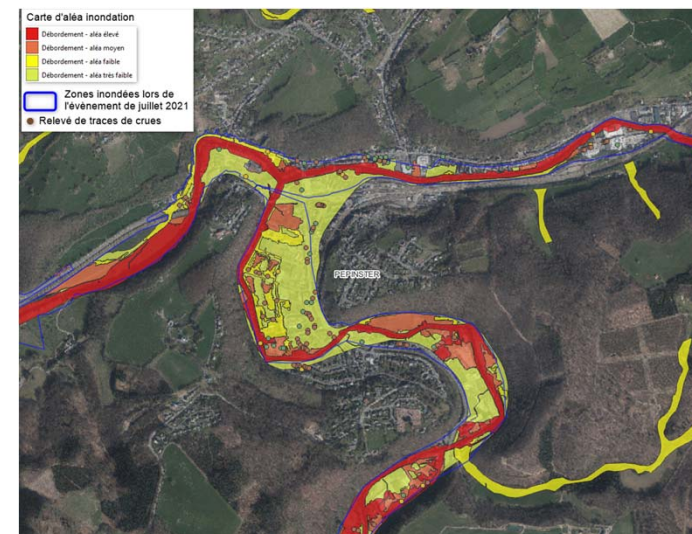
- > Les niveaux à l'aval (références à Pepinster et Bellevaux) ont été dépassés avant les lâchures du barrage
- > Les vannes des déversoirs ont dû être ouvertes en sachant pertinemment que des débordements allaient se produire à l'aval.



CAPACITÉ HYDRAULIQUE DE LA VALLÉE DE LA VESDRE

CARTES D'ALÉAS ET CALCULS DE CAPACITÉ

- > Superposition de la carte d'aléa inondation et des zones inondées lors de la crue de juillet 2021:
- > Bonne correspondance entre emprises d'inondation et cartes d'aléa, excepté sur Verviers
- > Niveaux d'inondation observés en général supérieurs aux niveaux des cartes d'aléas.
- > La capacité hydraulique de la Vesdre a été recalculée → cohérence des résultats avec la carte d'aléa, à savoir : la Vesdre souffre d'un déficit de capacité important, notamment sur la partie aval : même avec la présence du barrage d'Eupen, la vallée est inondée dès Q25. Des processus aggravants comme les phénomènes d'embâcles aux ponts accentuent encore cette vulnérabilité.
- > Remarque : il n'y a, à notre connaissance, aucun cadre légal interdisant la construction en zone d'aléa élevé ou moyen.



CAPACITÉ HYDRAULIQUE DE LA VALLÉE DE LA VESDRE

URBANISATION DE LA VALLÉE

- > En plus de la faible capacité hydraulique et des processus aggravants, la vallée de la Vesdre souffre d'une configuration critique vis-à-vis des crues quant à son urbanisation :
- > Selon le PGRI, le sous-bassin hydrographique (SBH) de la Vesdre est celui dont les zones d'inondation ont la plus haute densité d'habitat du district, pour le scénario Tr 25 ans (865 hab./ km² inondables à Tr 25 ans) mais également pour les temps de retour plus long (502 hab./ km² inondables à Tr 100 ans),
- > L'urbanisation de la vallée de la Vesdre présente des constructions directement sur les murs de berge du cours d'eau, voire dans le gabarit hydraulique de celui-ci, accentuant encore cette vulnérabilité.



RECOMMANDATIONS

DÉMARCHE

- > Objectif : améliorer les outils et procédures visant à mieux prévenir, anticiper et gérer le risque d'inondation en région wallonne dans le futur.
- > 35 recommandations émises dans 4 domaines :
 - > Gestion des barrages
 - > Systèmes d'alarme et d'alerte
 - > Prévention des crues
 - > Planification et gestion de crise
- > La quasi-totalité des recommandations ont été adoptées par la commission d'enquête parlementaire.

Domaine	Code recommandation	Libellé	Lien diagnostic rapport lot 1 (n° de chapitre)	Périmètre	Mesure urgente	Exemple fourni en annexe
Gestion des barrages	BAR-01	Instaurer un cadre légal ou réglementaire pour la gestion et la sécurité des barrages en Belgique avec contrôle par une entité externe (y compris suivi du comportement du barrage sur le long terme, suivi des appareils de mesure, etc.) et référence à une autorité de tutelle.	8.2.1	Wallonie	OUI	Annexe B : Ordonnance Suisse sur les Ouvrages d'Accumulation
Gestion des barrages	BAR-02	Prendre en compte dans le cadre réglementaire des avis et recommandations émis par le CIGB (Commission Internationale des Grands Barrages) comme par exemple les cartes d'inondation en aval des ouvrages en cas de défaillances.	8.2.1	Wallonie	OUI	-
Gestion des barrages	BAR-03	Optimiser le mode de gestion des barrages sous gestion SPW MI, avec comme cas-test le barrage d'Eupen (par ex. note de manutention sur base des prévisions en plus de la pluviométrie observée. Un arbitrage ou une pesée d'intérêts entre risque d'inondation et autres enjeux (étages/sécheresse, eau potable, etc.) doit être inclus dans cette analyse → variantes à tester via un modèle hydrologique et hydraulique	8.1	Wallonie avec test sur Eupen	OUI	-
Gestion des barrages	BAR-04	Améliorer la coopération avec les autres parties prenantes externes au SPW situées en aval des barrages (zones de secours & de police, coordination PLANU communal, etc.) et avec les services de soutien (DGH - Direction de la Gestion Hydrologique, etc.)	8.2.6	Wallonie	OUI	-
Gestion des barrages	BAR-05	Intégrer dans la gestion des barrages un plan d'alarme avec montée en puissance en différents niveaux d'alarmes (ND1 à ND6) avec règles à respecter pour chaque niveau.	8.2.1	Wallonie	OUI	Annexe C : Plan d'engagement cantonal Alarme-Eau du canton de Fribourg
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-01	Coopération interpays frontaliers pour une base de données unique et une communication des alarmes → prise en compte des alertes EFAS dans les alarmes de la DGH?	8.2.7	Belgique	OUI	Coopération interpays Danube : https://www.ipdr.org/man/activite/s-projects/flood-action-plans
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-02	Amélioration de la prise en compte des prévisions météorologiques pour la gestion des barrages et/ou l'intégralité du système de prévision hydrologique de la DGH	8.2.7	Wallonie	OUI	Annexe D : présentation THETYS
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-03	Systématiser l'élaboration de plans d'alarme en cas d'inondation ou de fortes pluies et ruissellement, au niveau communal (avec mesures mobiles, observations, chaînes de communication, actions, évacuation, etc.) en partant de l'identification des points faibles via la carte d'avis → adapter les PPIU (Plans particuliers d'urgence et d'intervention) ou PGUJ (Plans Généraux d'urgence et d'intervention) existants? La réflexion doit être élargie à l'échelle du bassin versant ou du cours d'eau et pas seulement aux limites communales.	8.2.5 8.2.8	Wallonie	OUI	Annexe E : plan d'alarme et d'intervention de la Grande Eau sur les communes d'Vorne et Aigle (documentation de base, plan de surveillance et concept général d'intervention)
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-04	Unifier l'acquisition des données hydrologiques en Wallonie : fusion des réseaux Aqualim et Wacondah afin de tendre vers un réseau métrologique unique tant au niveau des standards de calibration, que d'utilisation et de gestion des données.	8.1 8.2.7	Wallonie	OUI	-
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-05	Intégrer les "petits" cours d'eau dans le système d'alarme et d'alerte de la DGH ainsi que la problématique du ruissellement. Développer des modèles d'alarme pour les dynamiques "flash flood" : Intégrer les alarmes AQUALIM gérés par SPW-ARNE-DCENN (Direction des Cours d'Eau non navigables) dans les prises de décision.	8.1 8.2.7	Wallonie	OUI	-
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-06	Améliorer le rôle du CRC (SPW - Direction du Centre Régional de Crise) et des	8.2.9	Wallonie	OUI	-
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-07	Amélioration des stations de mesure hydrométrique pour agrandir la gamme de mesure des débits avant défaillance - changement de type de mesure, de section, etc.	8.2.7	Wallonie	OUI NON	-
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-08	Intégrer les prévisions météorologiques ECMWF dans le modèle de prévision hydrologique HydroMax	8.2.7	Wallonie	Démarche déjà initiée	-
Systèmes d'alarme et d'alerte	AL-09	Etudier et analyser dans le détail le risque d'inondation par ruissellement afin de mieux comprendre ses processus de fonctionnement dans les vallées fortement urbanisées (détermination de couloirs préférentiels d'écoulement, etc.), dans le but notamment de mieux appréhender ce phénomène. L'objectif final serait d'implémenter un système d'alarme adapté à ces inondations rapides (flash flood) → prise en compte de l'état de saturation des sols dans le système d'alarme? Densification des pluviomètres dans les secteurs les plus vulnérables? Définition de nouveaux seuils d'alarme?	-	Wallonie		-

RECOMMANDATIONS

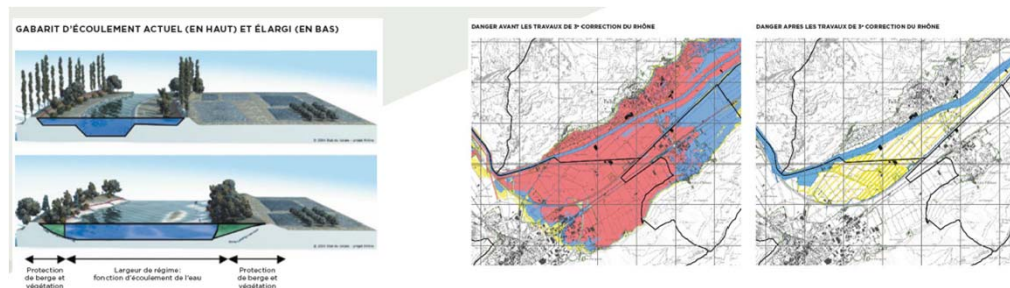
EXEMPLES

- > Problématique : manque de temps et de recul pour créer de la réserve d'empotement et effectuer des lâchures préventives au barrage d'Eupen
- > Recommandation AL-02 : Améliorer la prise en compte des prévisions météorologiques pour la gestion des barrages → améliorer la note de manutention
- > Problématique : rapidité et intensité du phénomène d'inondation et manque d'anticipation vis-à-vis de ce dernier
 - > Recommandation AL-09 : Etudier et analyser dans le détail le risque d'inondation par ruissellement afin de mieux comprendre ses processus de fonctionnement dans les vallées fortement urbanisées et implémenter un système d'alarme adapté à ces inondations rapides (flash flood).
- > Problématique : certains organes d'ouvrages défaillants, retards dans la rénovation d'ouvrages, etc.
 - > Recommandation BAR-01 : Instaurer un cadre légal ou réglementaire pour la gestion et la sécurité des barrages en Wallonie avec contrôle par une entité experte externe (y compris suivi du comportement du barrage sur le long terme, suivi des appareils de mesure, etc.) et référence à une autorité de tutelle.
- > Problématique : difficultés pour créer de la réserve d'empotement dans le barrage d'Eupen du fait des multiples usages
 - > Recommandation BAR-03 : Optimiser le mode de gestion des barrages sous gestion SPW MI, avec comme cas-test le barrage d'Eupen. Un arbitrage ou une pesée d'intérêts entre risque d'inondation et autres enjeux (étiage/sécheresse, eau potable, production d'énergie, etc.) doit être inclus dans cette analyse --> variantes à tester via un modèle hydrologique et hydraulique.

RECOMMANDATIONS


EXEMPLES

- > Problématique : vulnérabilité de la vallée de la Vesdre du fait de ses constructions en zones inondables
- > Recommandation PRE-01 : Instaurer un cadre légal qui assurerait la prise en compte de la carte d'aléa inondation lors de permis d'urbanisme (ex. : interdiction de construire en zone d'aléa élevé). Cela devrait s'appliquer également pour les constructions existantes sises en zones d'aléas → par ex. une demande de permis pour l'agrandissement d'un bâtiment existant en zone d'aléa devrait être asservie de mesures de protection contre les inondations pour délivrer le permis.
- > Problématique : sous-capacité de la Vesdre à l'aval du barrage d'Eupen, malgré le laminage par la retenue
- > Recommandation PRE-03 : Etablir une planification de projets d'aménagement de cours d'eau/protection contre les crues à l'échelle des bassins versants visant à réduire la vulnérabilité des zones urbanisées vis-à-vis du risque d'inondation tout en préservant/améliorant les fonctions naturelles des cours d'eau et en garantissant la diversité et la libre migration piscicole (élargissement de cours d'eau, création de couloirs de débordement ou de zones d'épanchement de crues, amélioration ponctuelle de points faibles, mesures de protection d'objets, modification d'ouvrages existants, approfondissement du lit, etc.)



gruner >

MERCI!

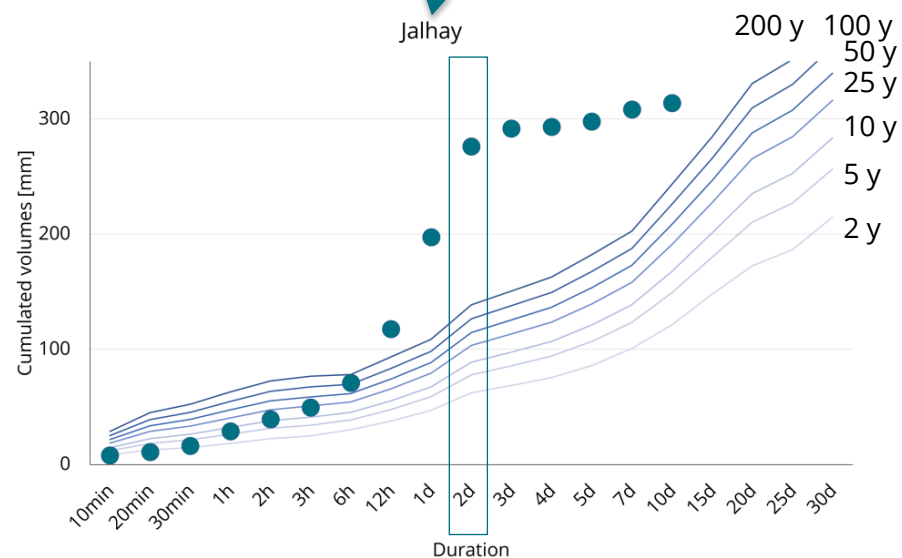
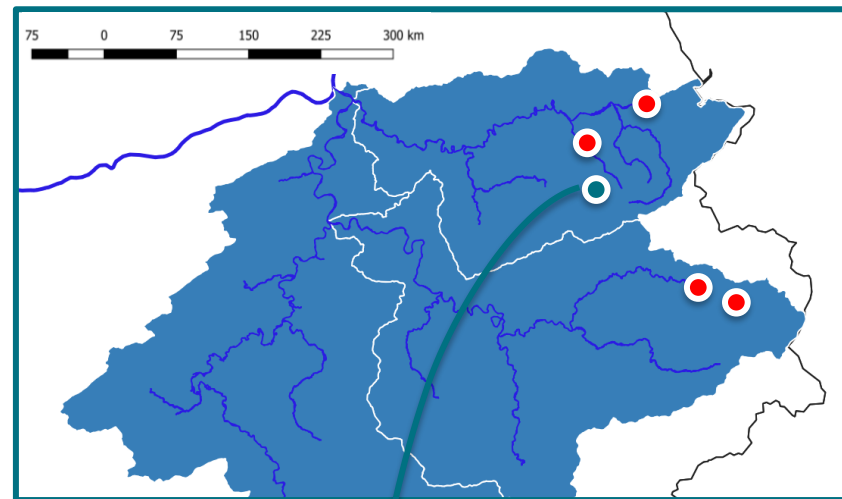
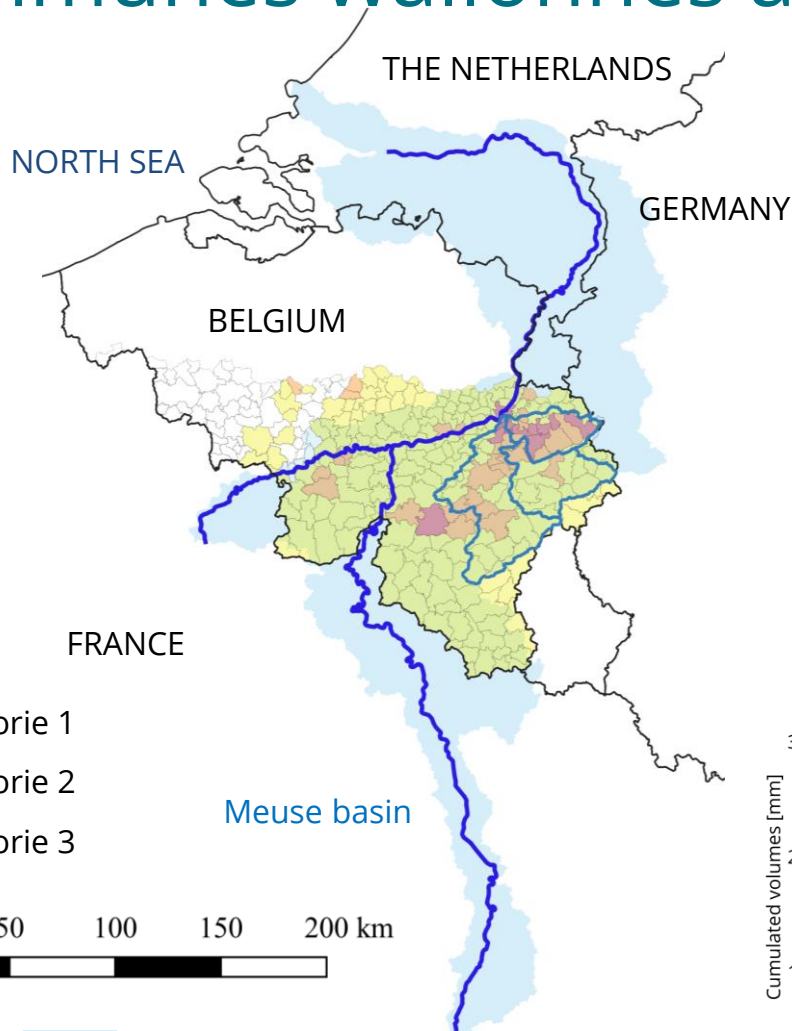


Bénéfices de la modélisation hydrologique et hydraulique pour comprendre les crues extrêmes et guider la reconstruction résiliente

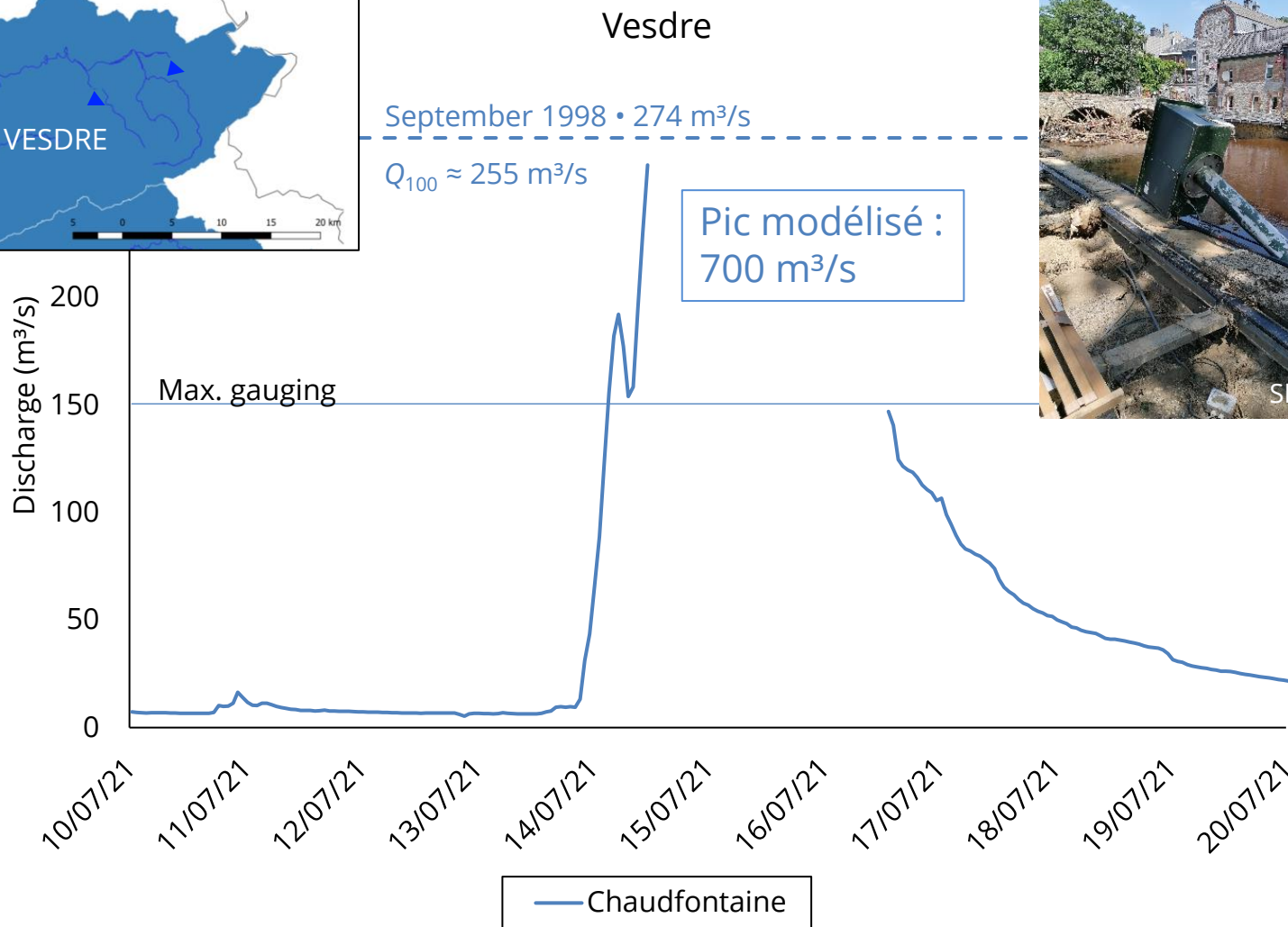
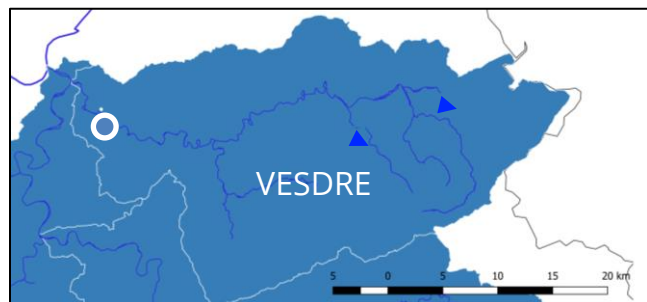
S. Ercicum, P. Archambeau, B. Dewals & M. Piroton

29 mars 2023 – Symposium CSB

Événement de juillet 2021 : 80% des communes wallonnes affectées



Le long de 9 cours d'eau, les pics de débit sont les plus hauts jamais observés

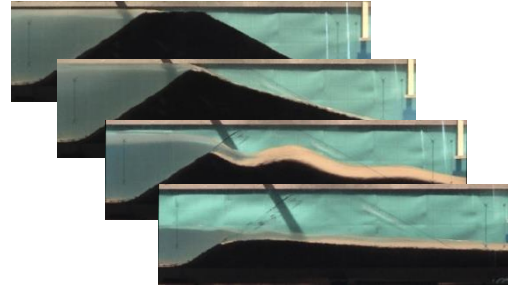


Plan de l'exposé

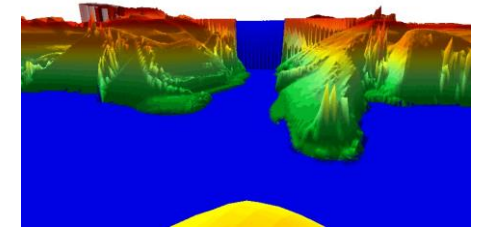
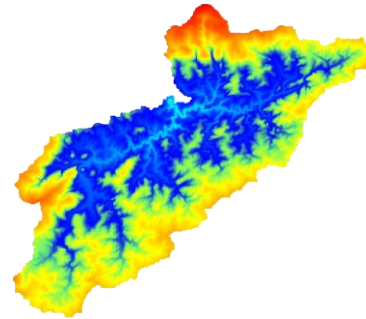
- Modélisation hydrologique et hydraulique pour
 - Reconstituer l'événement
 - Mieux comprendre l'événement
 - Objectiver l'effet des grands barrages
 - Guider la reconstruction
- Conclusions

Modélisation en hydrologie et hydraulique

- Modèles physiques (réduits)



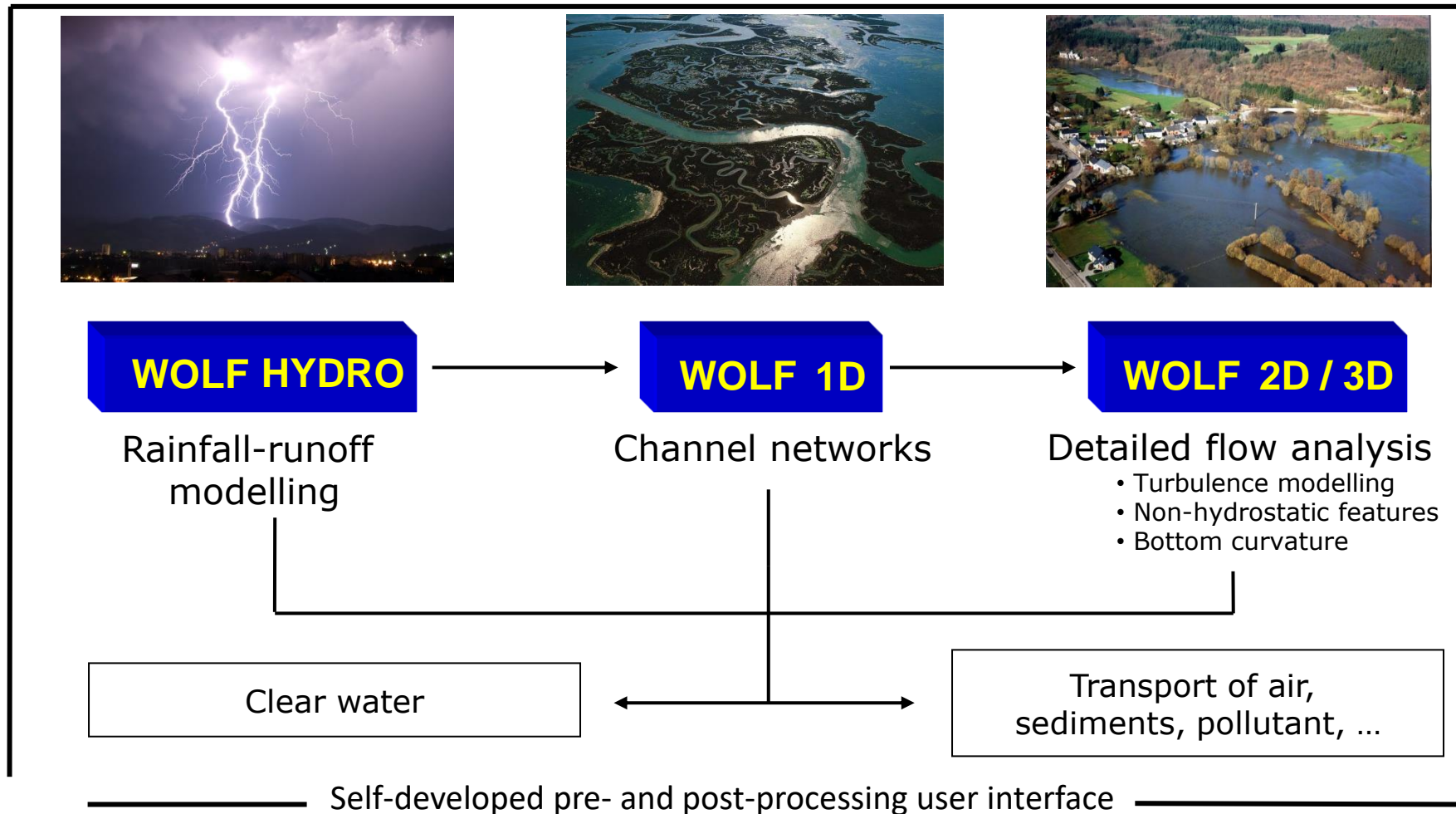
- Modèles numériques



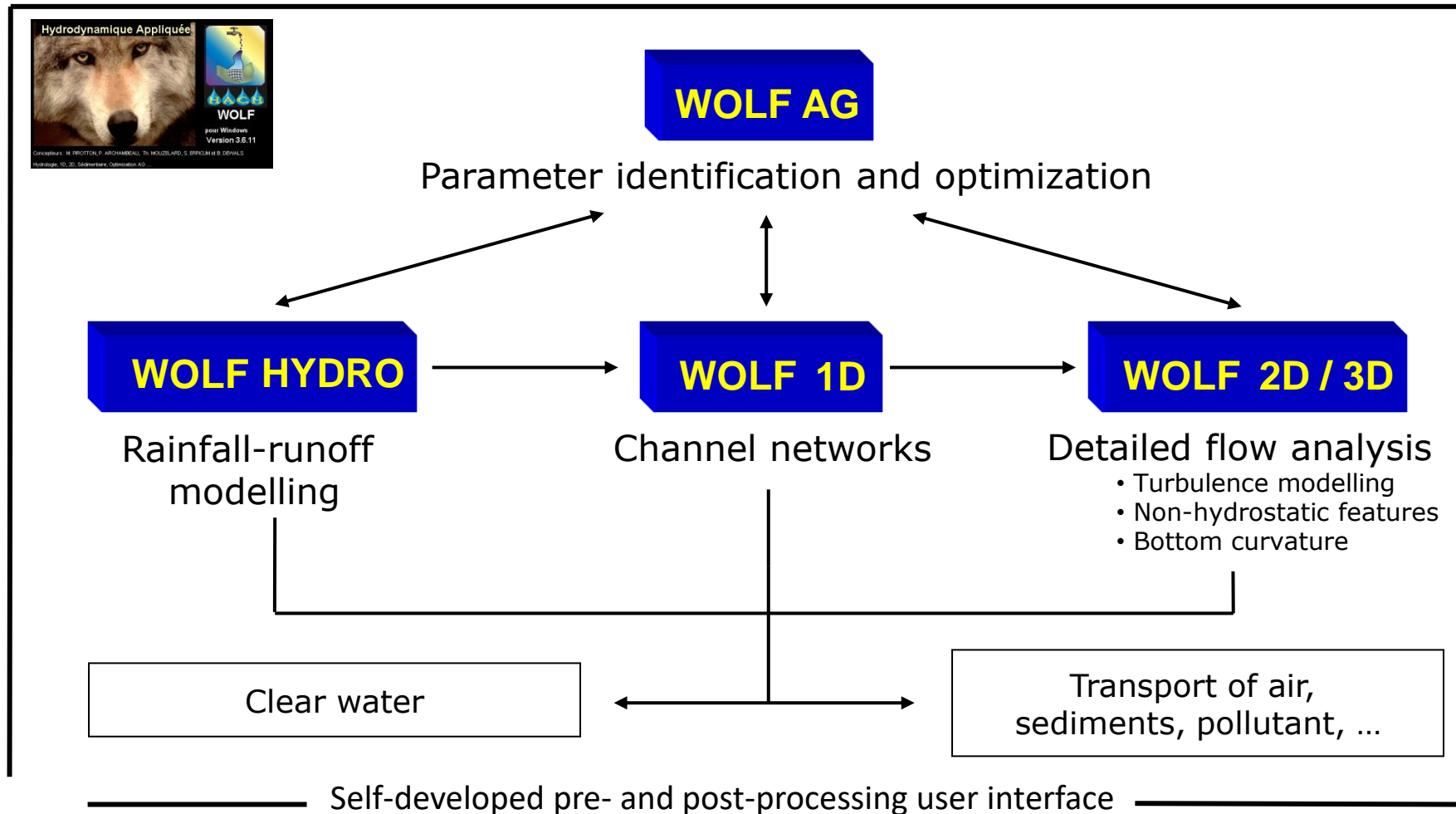
→ Comme supports à l'étude des cas réels (prototypes)



Modélisation hydrologique et hydraulique: la suite logicielle WOLF

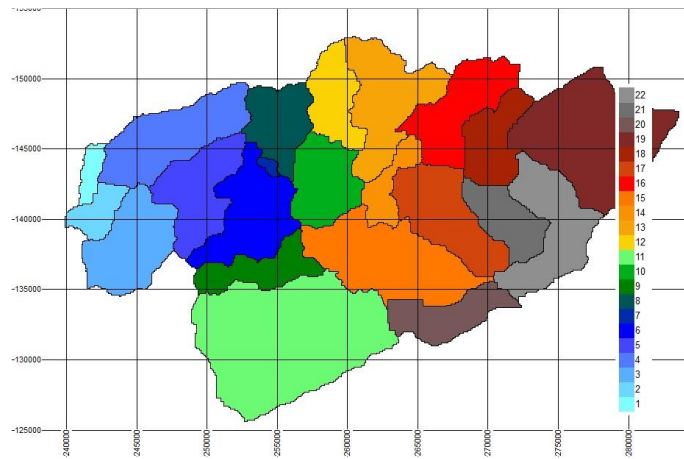


Modélisation hydrologique et hydraulique: la suite logicielle WOLF

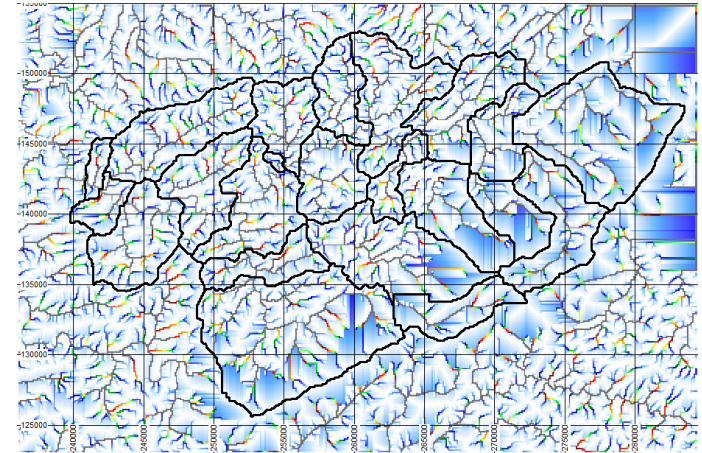


Modélisation hydrologique

Convertir les précipitations en débits



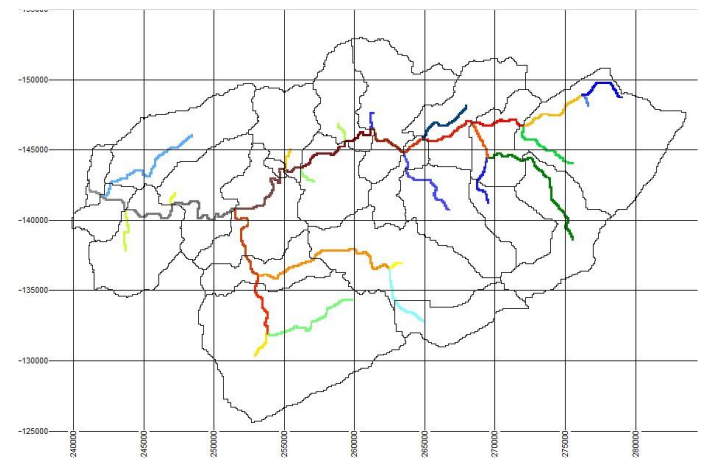
Découpage en sous-BV



Accumulation

Caractéristiques :

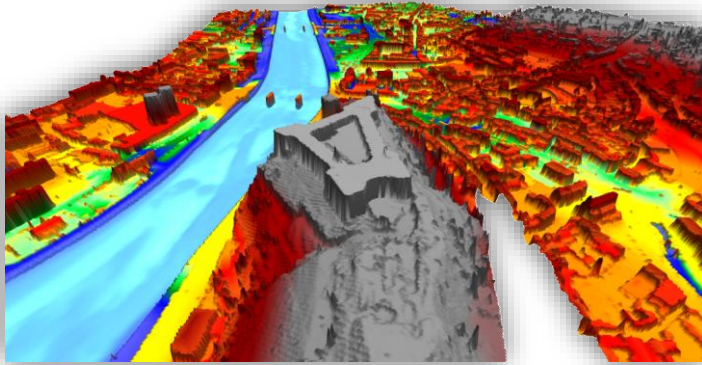
- Approche événementielle
- Modèle maillé et distribué
- Décomposition du BV en 22 sous-BV
- Prise en compte explicite des ouvrages (barrages + tunnels)
- Pas de temps de calcul : 10 minutes
- Taille de maille : 1 ha
- Forçage par infos radar (possibilité par pluviométriques, modèles climatiques...)



Réseau drainant

Modélisation hydraulique

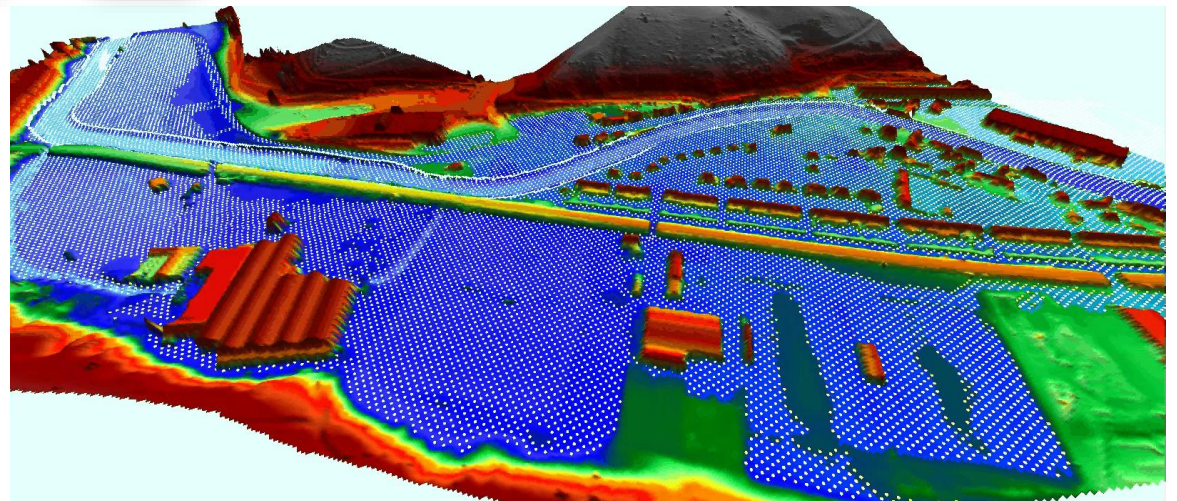
Convertir les débits en emprise d'inondation, hauteurs d'eau et vitesse d'écoulement



Modèle numérique de terrain

Caractéristiques :

- Modèle intégré sur la hauteur (2DH)
- Taille de maille de 2x2 à 5x5m suivant zones
- Précision altimétrique: 15 cm
- Apports distribués en long (hydrogrammes de crue)

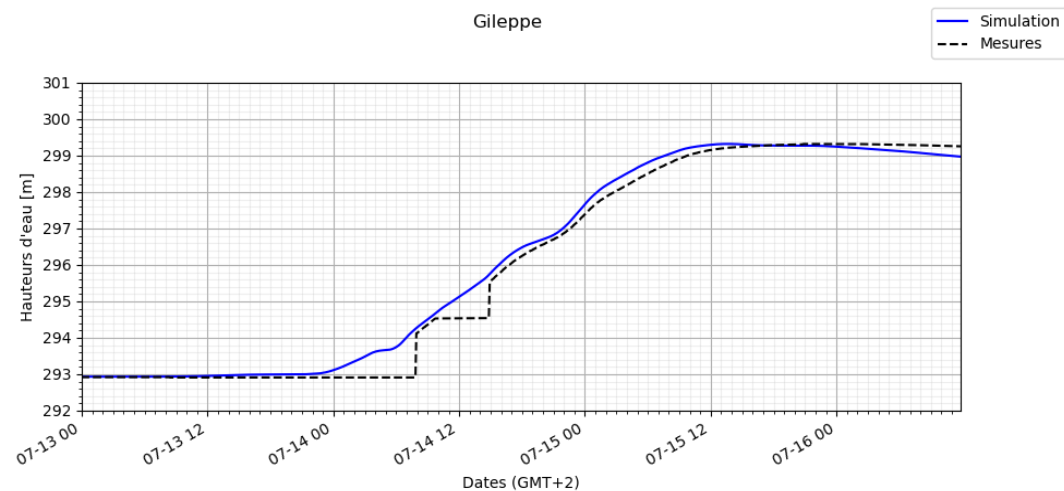
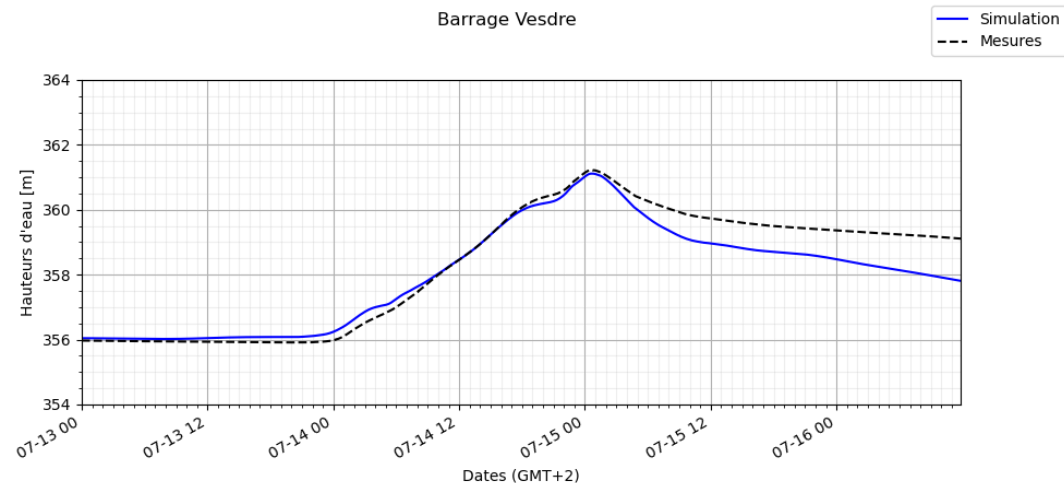


Conditions d'inondation

Reconstitution de l'événement

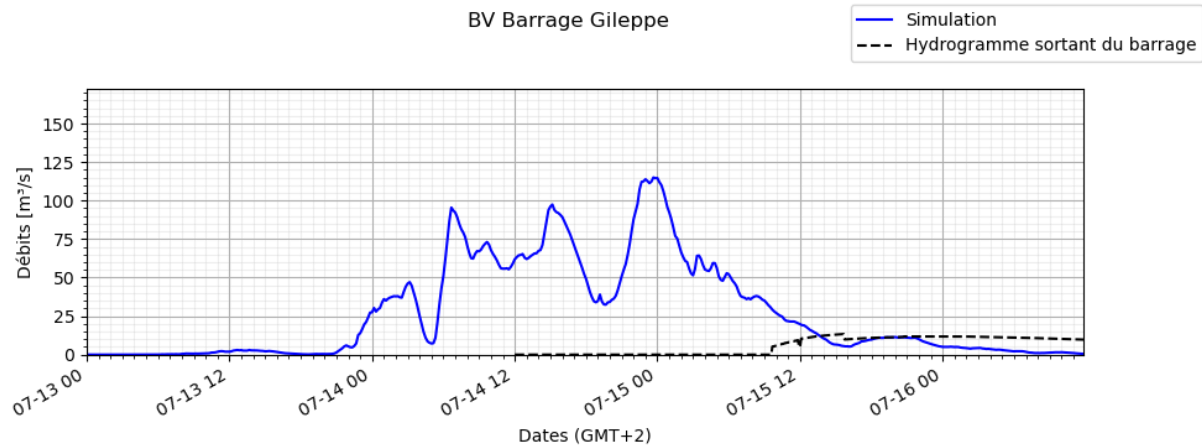
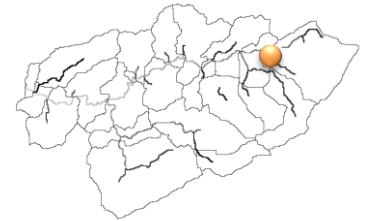
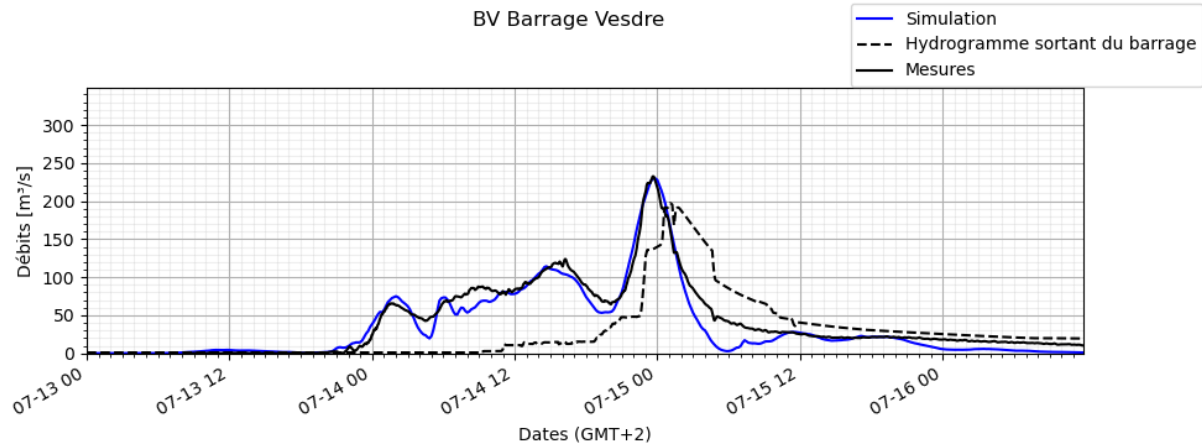
Evolution du niveau des réservoirs (Vesdre et La Gileppe)

- La dynamique de remplissage est satisfaisante
- Les pics sont correctement représentés
- La phase de vidange est trop dynamique pour le barrage de la Vesdre



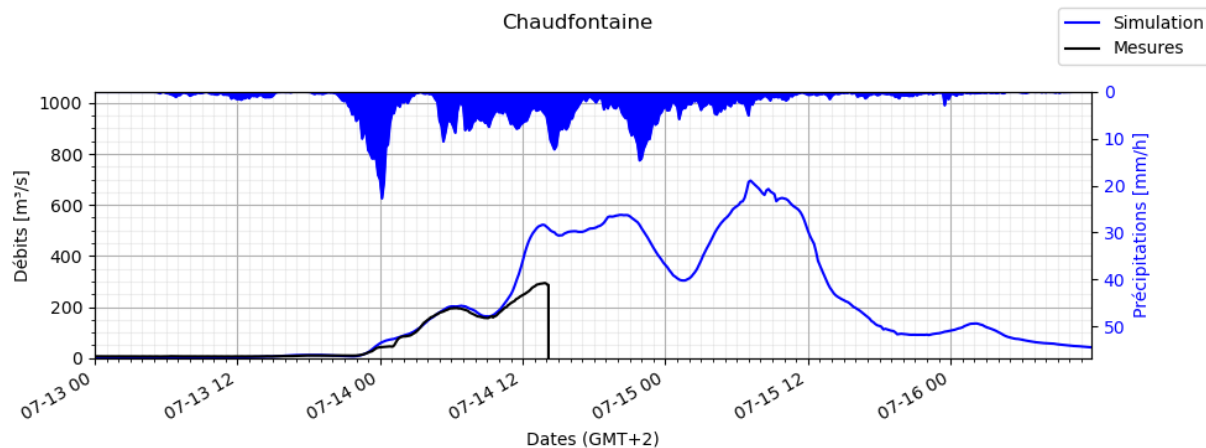
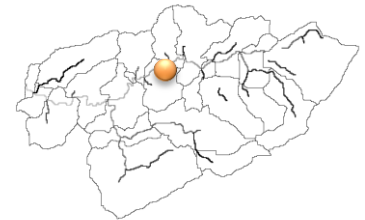
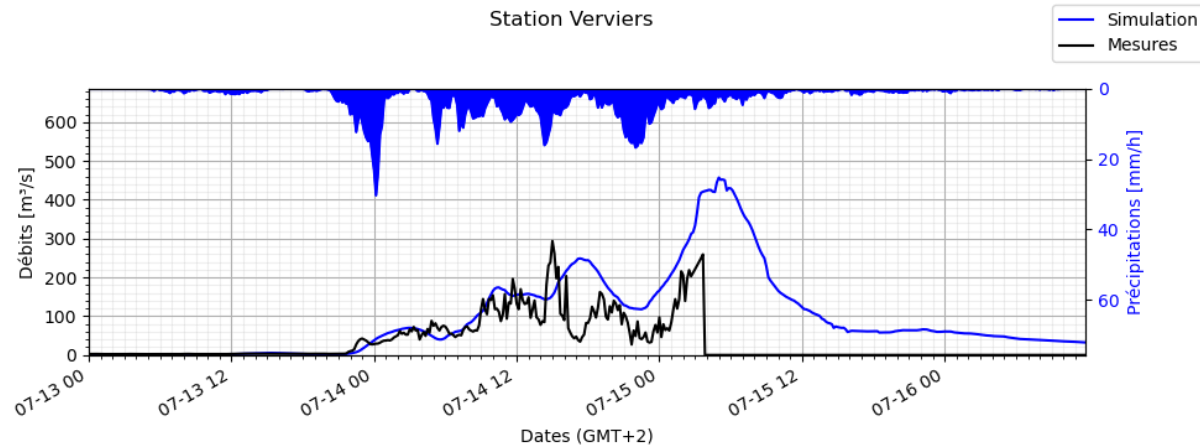
Reconstitution de l'événement

Hydrogrammes



Reconstitution de l'événement

Hydrogrammes



Reconstitution de l'événement



Mieux comprendre l'événement

Emprise d'inondation

Comparaison emprise d'inondation :
modélisation et relevé post crue (SPW)

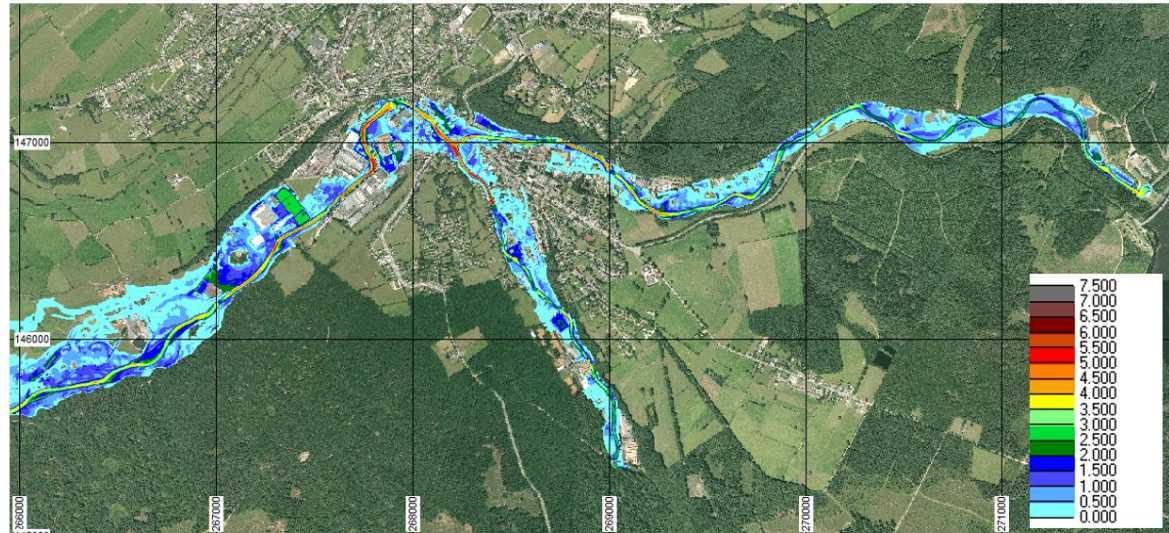


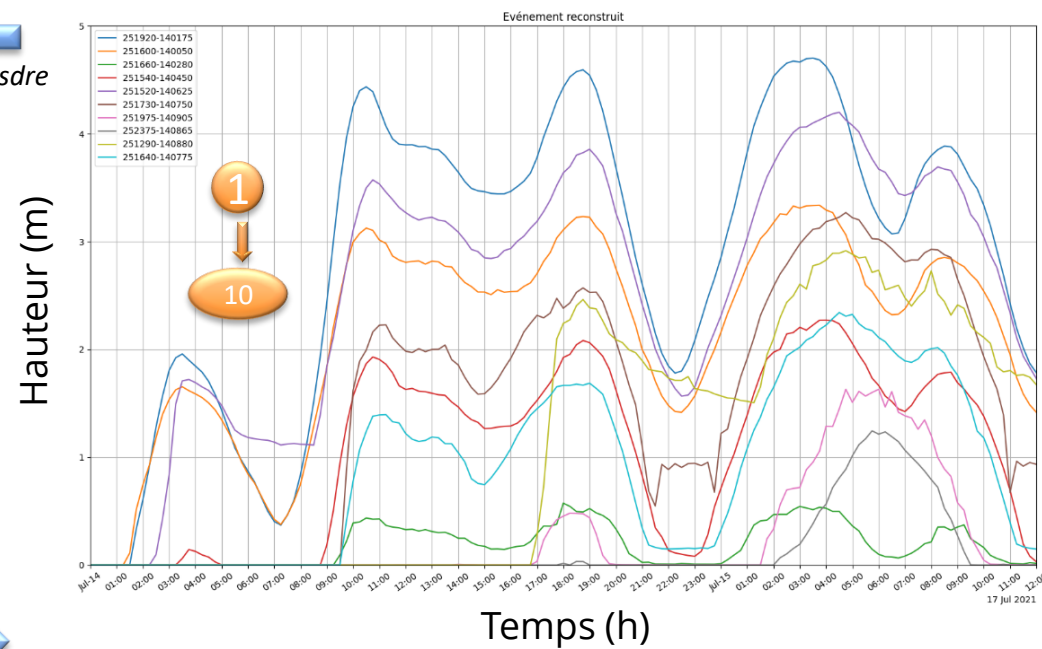
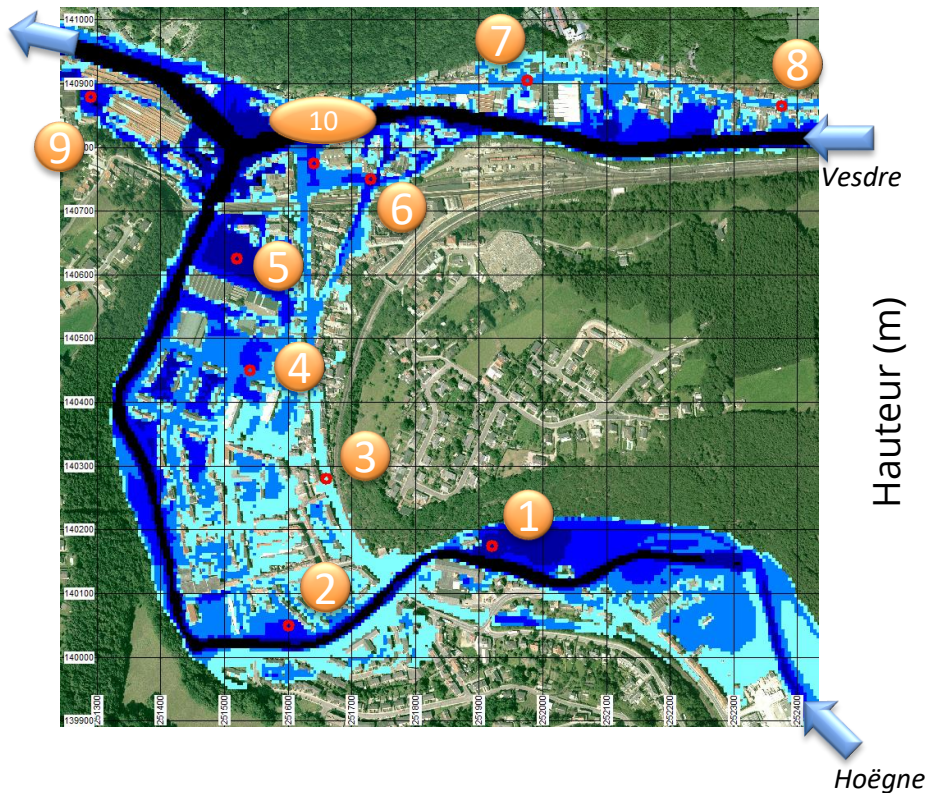
Figure 31 - Hauteurs maximales atteintes [m] – Aval Barrage de la Vesdre – Eupen



Figure 32 - Superposition à Eupen de l'emprise maximale modélisée (noir) et de la digitalisation DCENN (jaune)

Mieux comprendre l'événement

Dynamique de la crue



Pepinster:

Gradient de hauteur
Hauteur maximale

1.5 → 2 m /heure
≈ 5 m

Focus sur les grands barrages



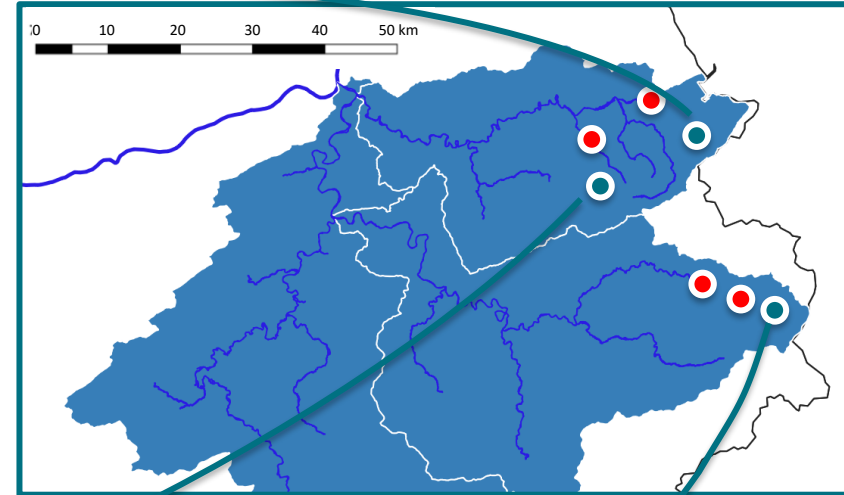
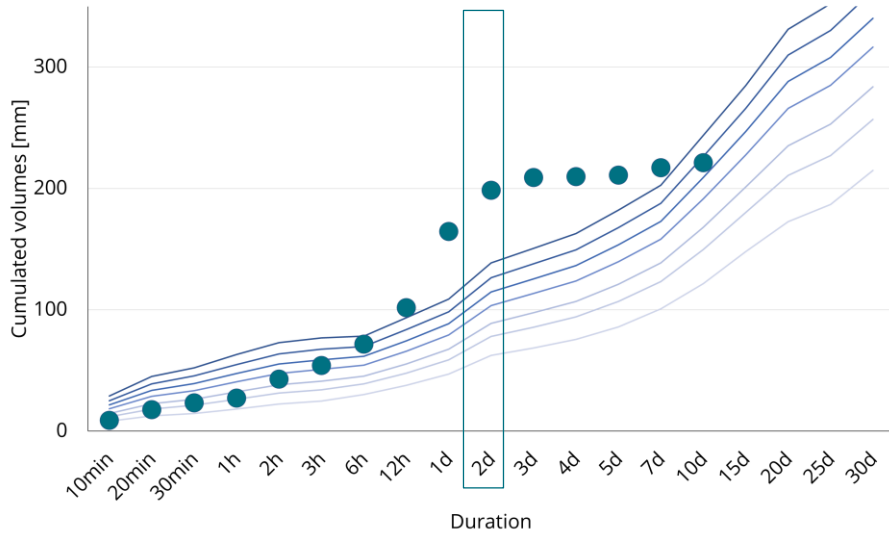
5 grands barrages présents dans la zone la plus touchée

	Eupen	La Gileppe	Bütgenbach	Robertville	Nisramont
Rivière	Vesdre	La Gileppe (Vesdre)	Warche (Amblève)	Warche (Amblève)	Ourthe
Type	Poids béton	Enrochements	Voûtes multiples	Poids béton	Poids béton
H [m]	66	68	28	57	21
BV [km ²]	70 (+ 37)	35 (+ 20)	71	118 (dont Bütg)	729
V _{rés} [hm ³]	25	26,4	11	7,7	3
EVC [m ³ /s]	230	185	100	200	427

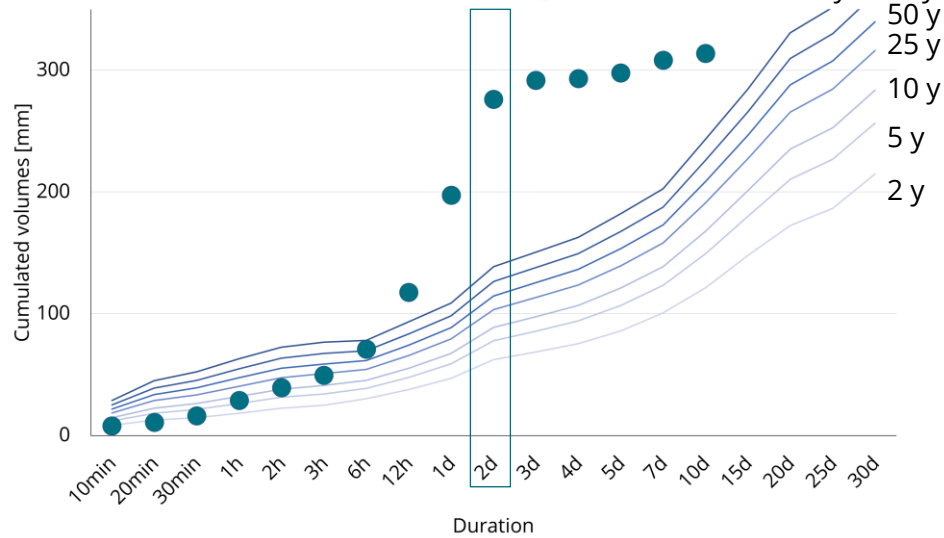
- Apports (limités) depuis vallées adjacentes dans barrages Eupen et La Gileppe
- Evacuateurs de crues vannés
- Ouvrages à buts multiples: eau potable, hydroélectricité, écrêtage des crues, tourisme, soutien d'étiage

Pluies en amont des barrages

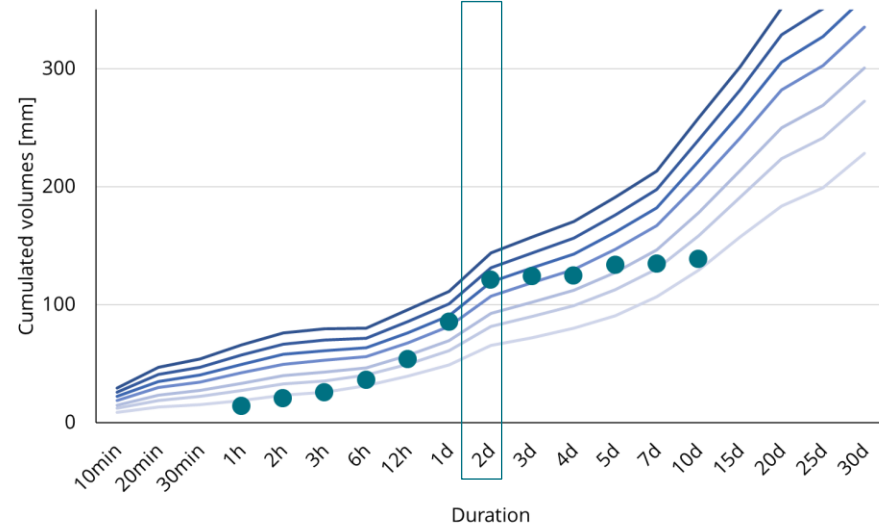
Ternell



Jalhay



Butgenbach



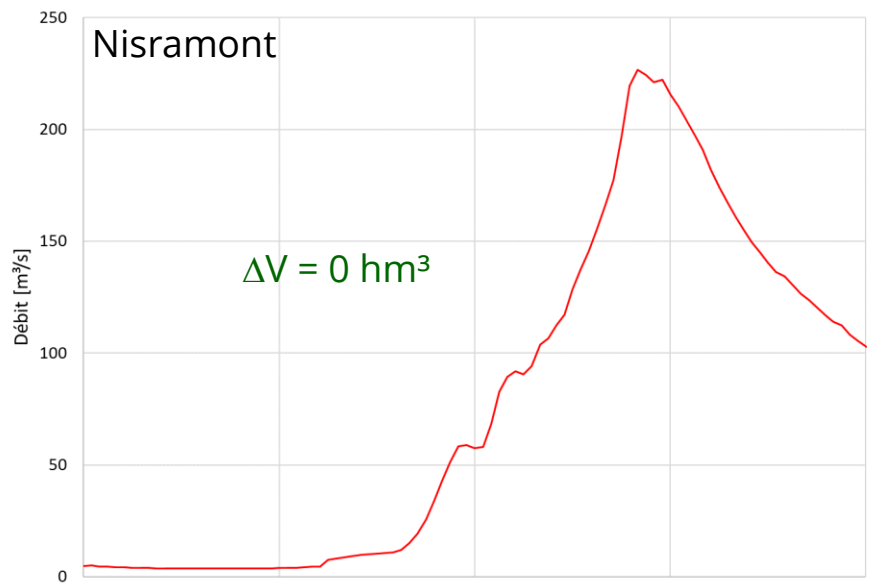
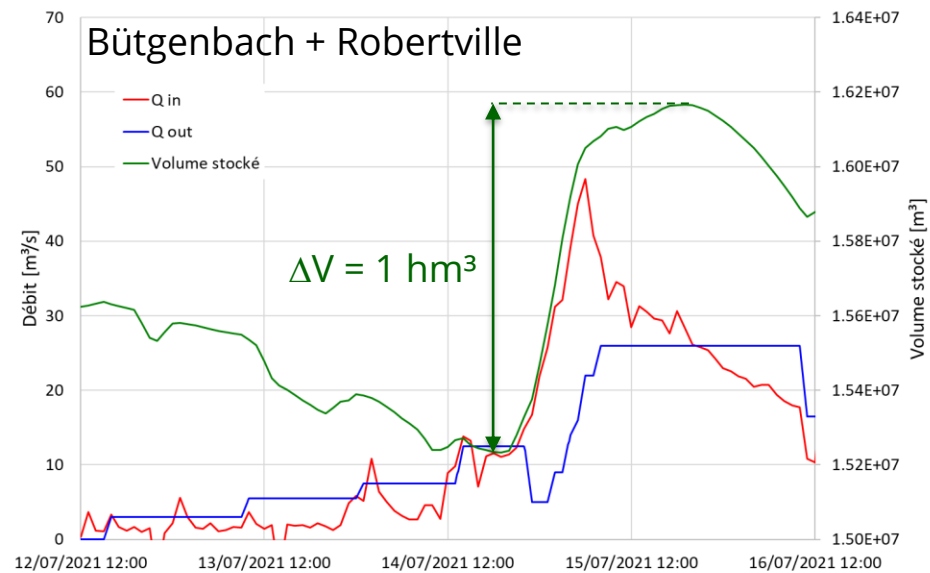
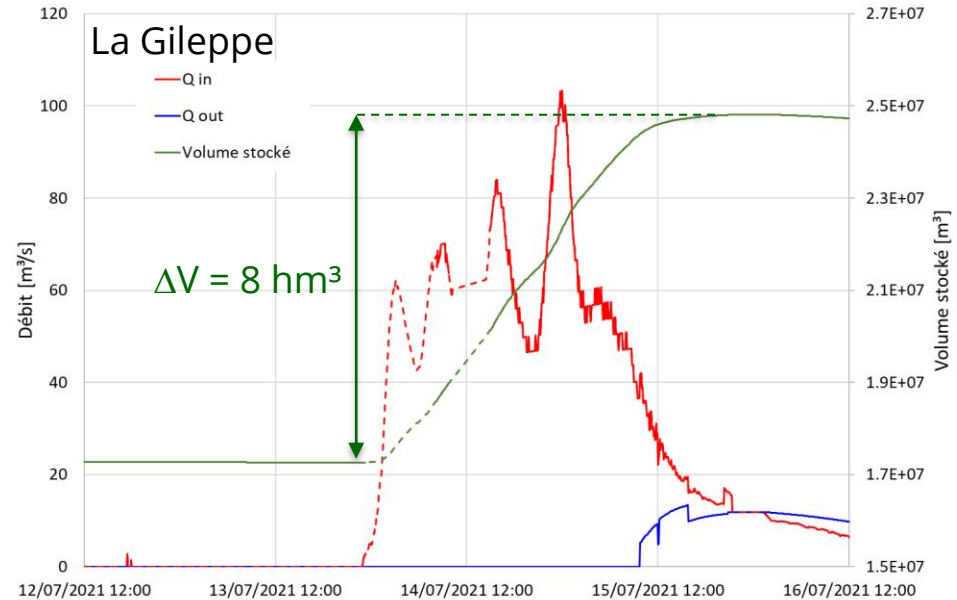
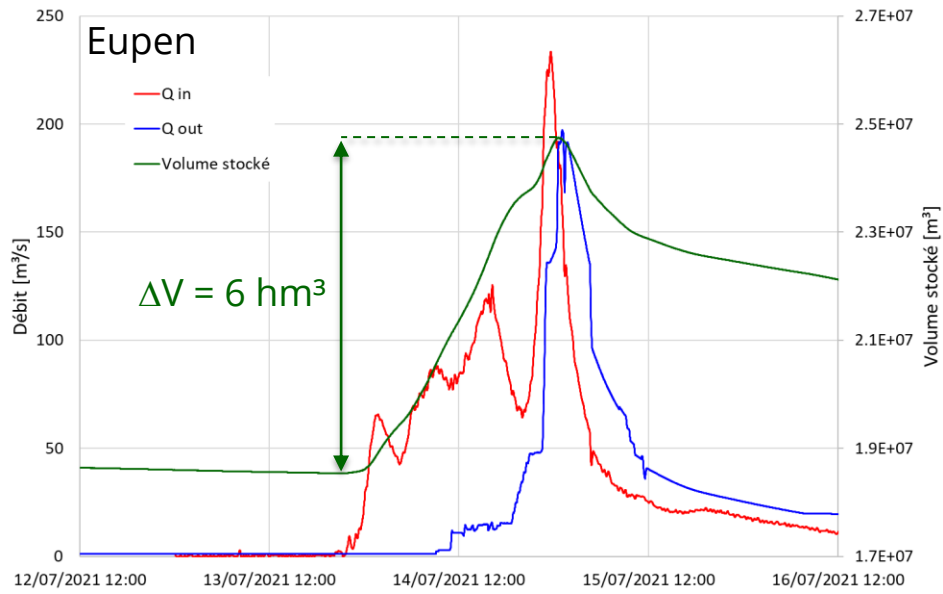
Effet des grands barrages présents dans la zone la plus touchée

	Eupen	La Gileppe	Bütgenbach + Robertville	Nisramont
BV [km ²]	70 (+ 37)	35 (+ 20)	71 + 47	729
V _{rés} [hm ³]	25	26,4	11 + 7,7	3
EVC [m ³ /s]	230	185	100 / 200	427
V _{pluie} [hm ³]*	12,1 (+ 6,6)	8,5 (+ 4,1)	7,6 + 4,3	-
V _{in} [hm ³]*	9,9 (+ 2,5)**	6,6 (+ 2,1)**	4,9	30,6
V _{in} /V _{pluie} [%]*	82	77	41	-
V _{in} /V _{rés} [%]*	50	33	26	1020
V _{out} [hm ³]*	9,3	1,4	4,7	30,6
Q _{max, in} [m ³ /s]	235	104	48	227
Q _{max, out} [m ³ /s]	197	13	26	227
Déphasage [h]	1,5	15,5	2,5	-

* Du 13 juillet à 0h00 au 17 juillet à 0h00

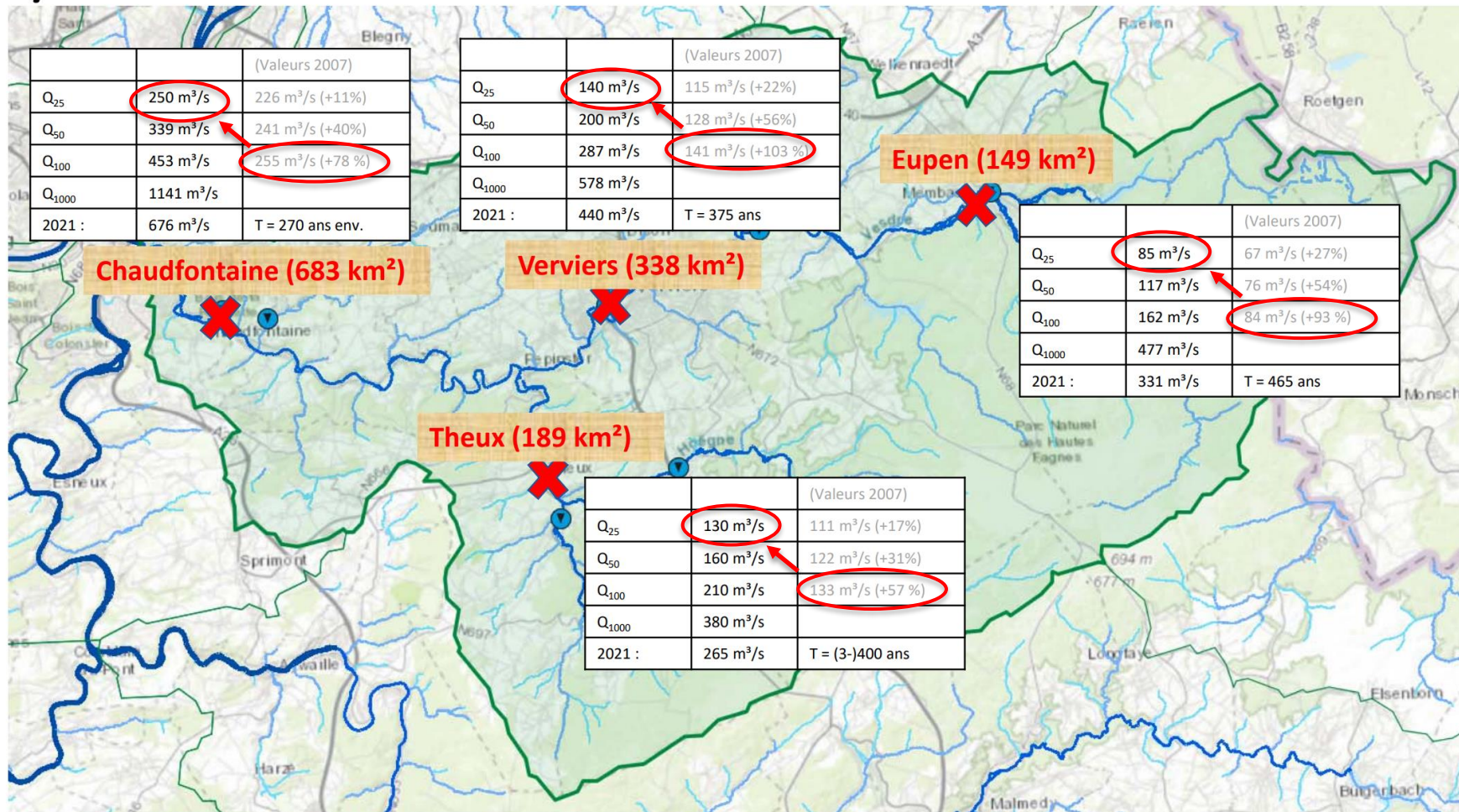
** Volume limité par les tunnels d'adduction depuis les vallées adjacentes

Effet des grands barrages



Guider la reconstruction

Mise à jour des débits de référence



Source : Groupe de travail statistique – GTI, Feltz at al. (mai 2022)

Guider la reconstruction

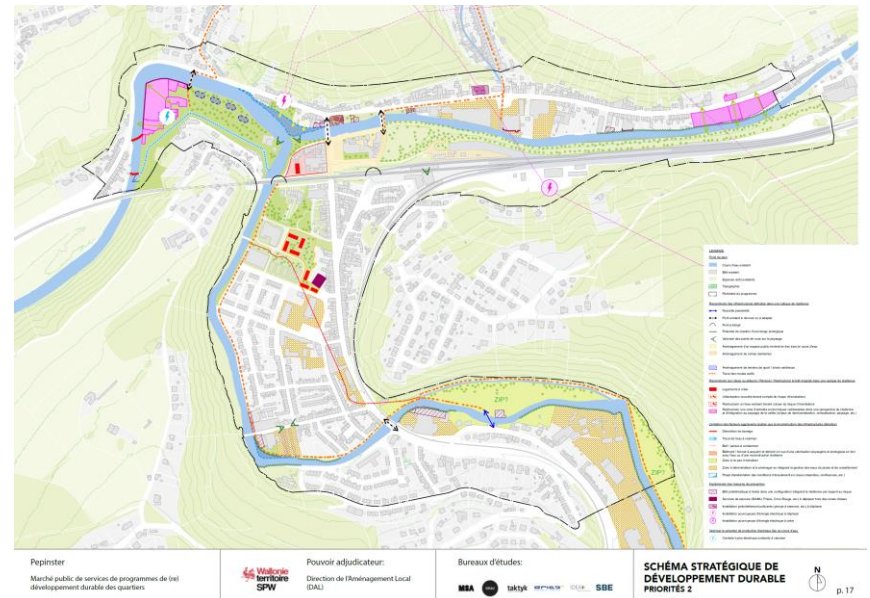
Test de solutions de réaménagement

Scénario de reconstruction

- Démolition de bâtiments
- Modification bathymétrique
- Aménagement de berge
- Modification d'ouvrages
- ...

Scénarios hydrologiques

	Q [m ³ /s]		
	Total	Vesdre	Hoègne
T25	250.5	143	107.5
T50	339	200	139
T100	453.5	287	166.5
T1000	1141.5	578	563.5

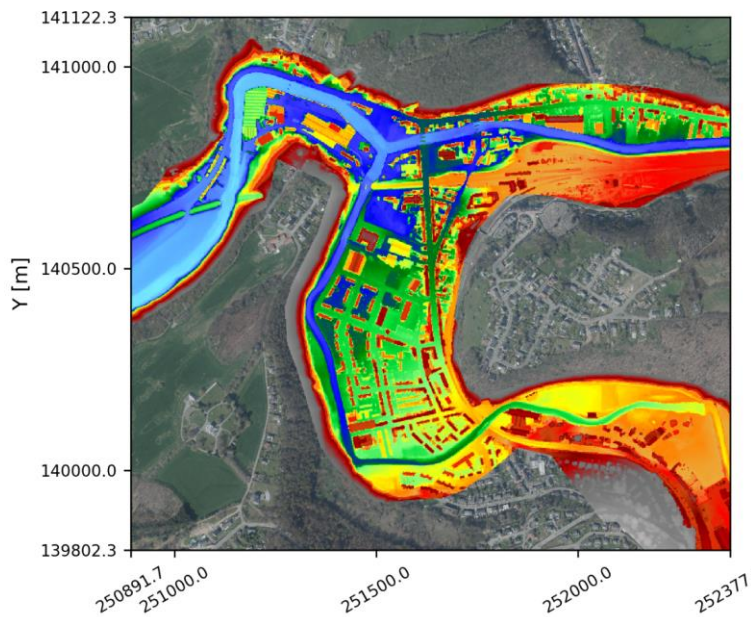


Guider la reconstruction

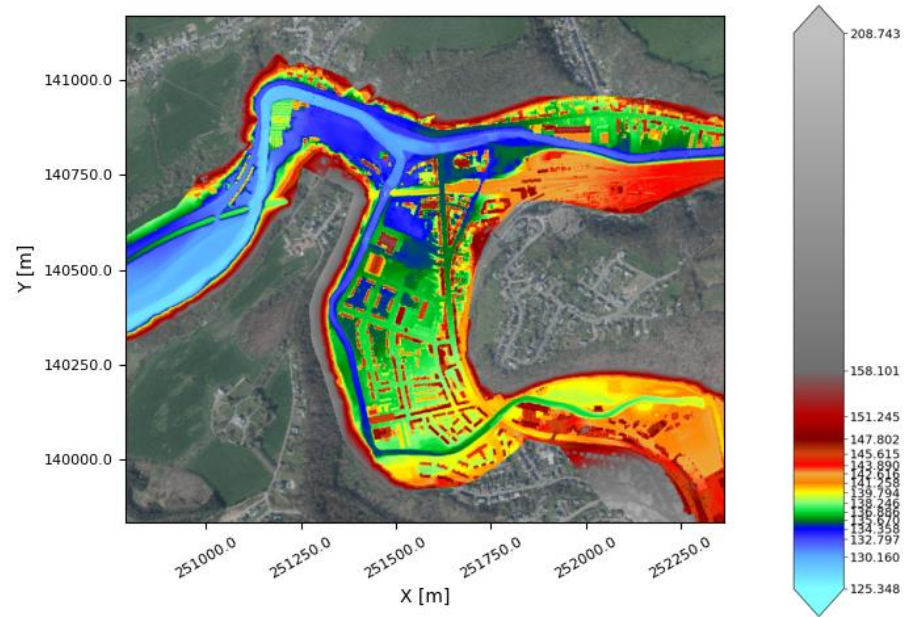
Test de solutions de réaménagement

Modèle numérique de terrain

Scénario de référence



Scénario de reconstruction

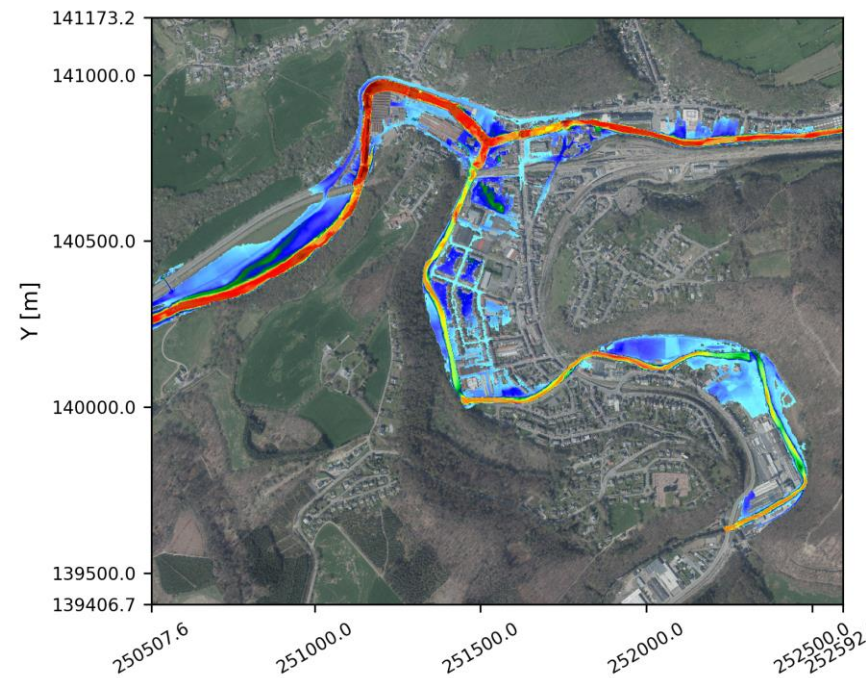


Guider la reconstruction

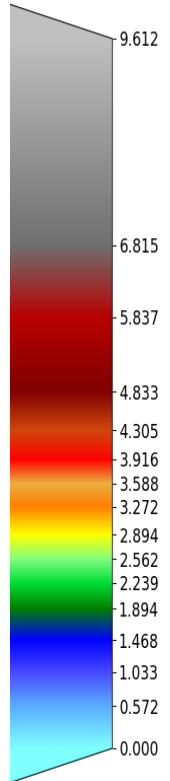
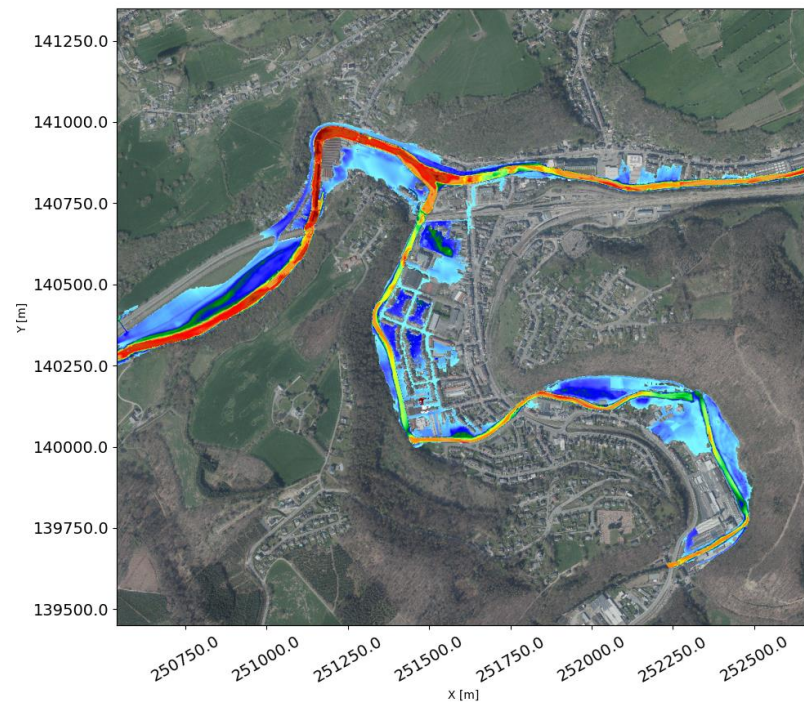
Test de solutions de réaménagement

Carte des hauteurs d'eau

Scénario de référence

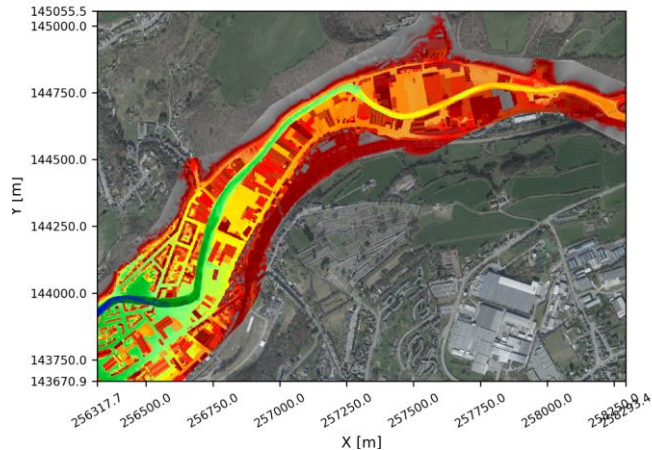


Scénario de reconstruction

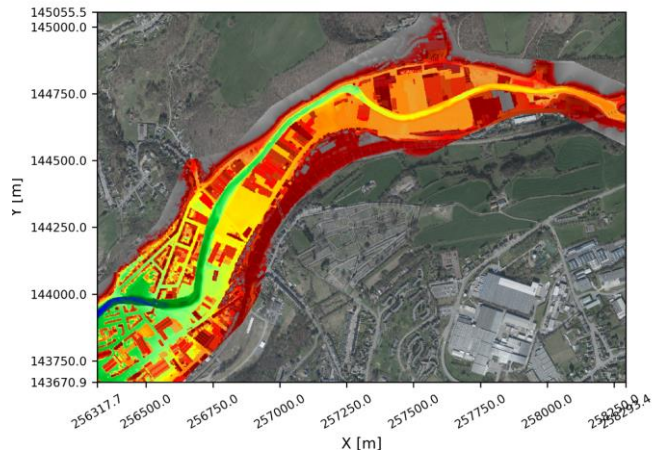


	Q [m³/s]		
	Total	Vesdre	Hoëgne
T25	250.5	143	107.5
T50	339	200	139
T100	453.5	287	166.5
T1000	1141.5	578	563.5

Guider la reconstruction

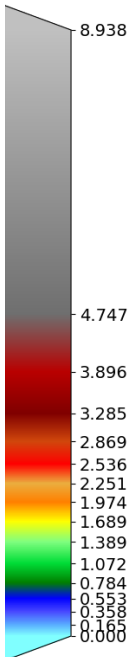
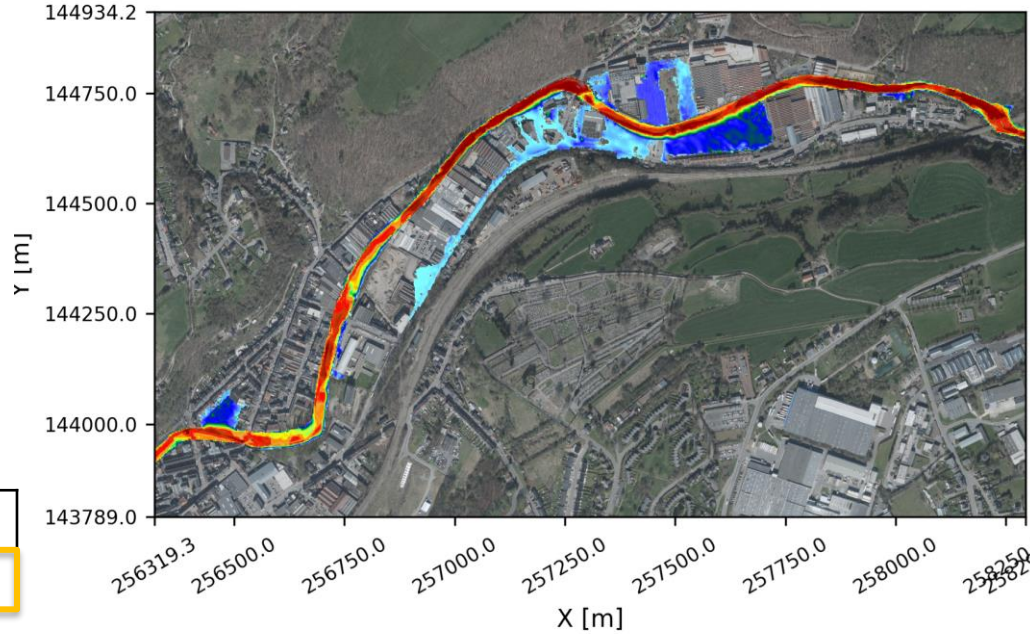
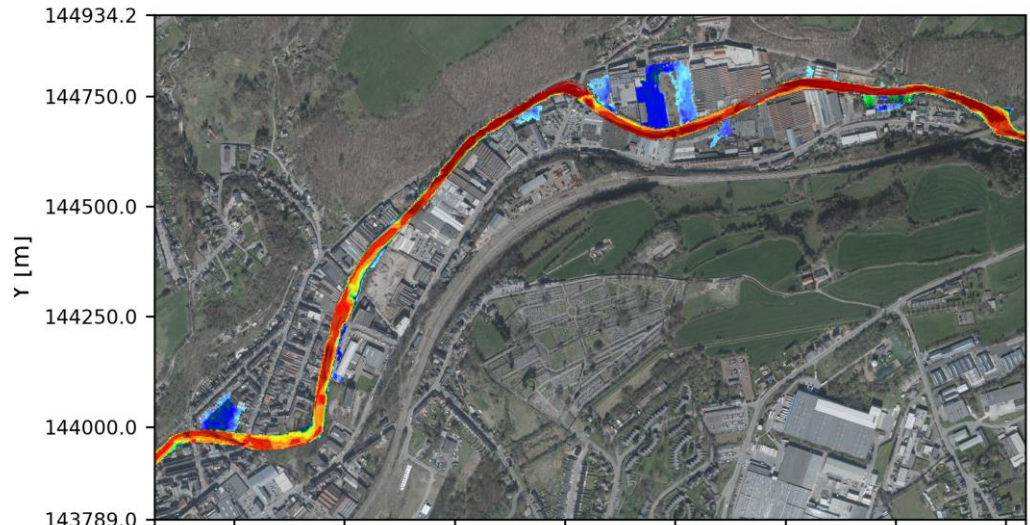


Scénario de référence




Scénario de reconstruction

	$Q[m^3/s]$
T50	200



Conclusions

- Des outils numériques sont disponibles pour la modélisation des crues extrêmes, MAIS difficulté de prévoir *a priori* la valeur des paramètres physiques
- Juillet 2021:
 - Événement hydrologique et hydraulique extrême très variable spatialement
 - Débits jamais mesurés dans la plupart des cours d'eau touchés, souvent bien au-delà des débits considérés dans les plans de prévention
 - 4 grands barrages réservoirs ont contribué à écrêter la crue, dans les limites de leur position en tête de bassin et de leur capacité de stockage disponible
- Nécessité de continuer le développement des méthodes de détermination des zones inondables



Bénéfices de la modélisation hydrologique et hydraulique pour comprendre les crues extrêmes et guider la reconstruction résiliente

S. Epticum, P. Archambeau, B. Dewals & M. Piroton

S.Epticum@uliege.be



LEMA

Crués extrêmes et aménagement du territoire dans le bassin versant de la Vesdre

Jacques Teller
Université de Liège, LEMA

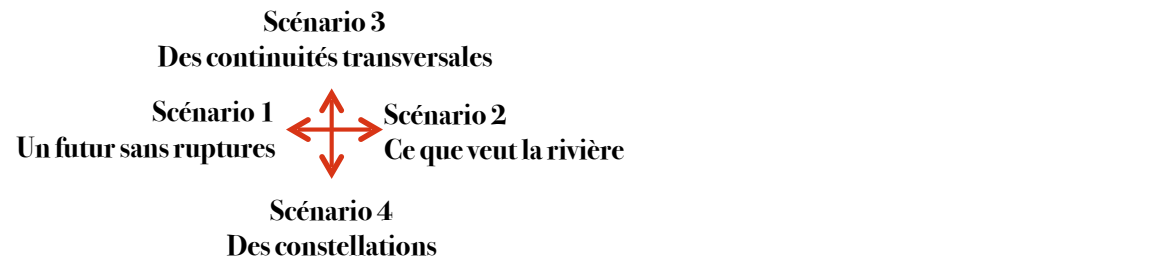
Université de Liège

Contexte du Schéma Stratégique Vesdre

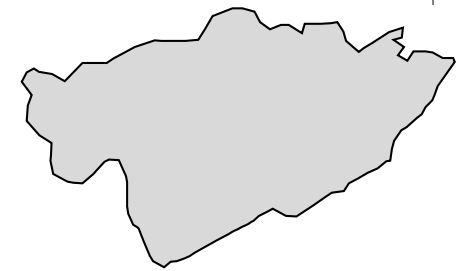
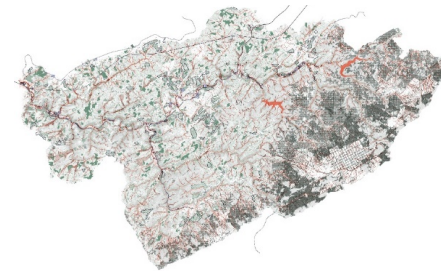
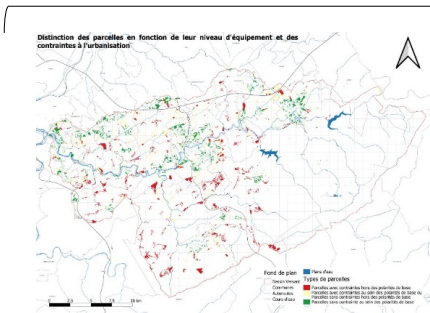
- ▶ Travailler sur les espaces émetteurs et récepteurs, dans une logique de solidarité.
- ▶ Valoriser l'existant et réparer en mieux.
- ▶ Privilégier des solutions basées sur la nature, de manière à renforcer la résilience et la résistance du territoire dans une logique d'adaptation.
- ▶ Envisager des adaptations aux documents planologiques existants, dont le plan de secteur.
- ▶ Elaboration d'un document « hors code » : schéma stratégique plutôt que schéma de développement inter-communal.

Le Schéma Stratégique : méthodologie d'ensemble

Diagnostic multithématique



Scénarios sur les trois nœuds avec modélisation hydraulique



Approche planologique

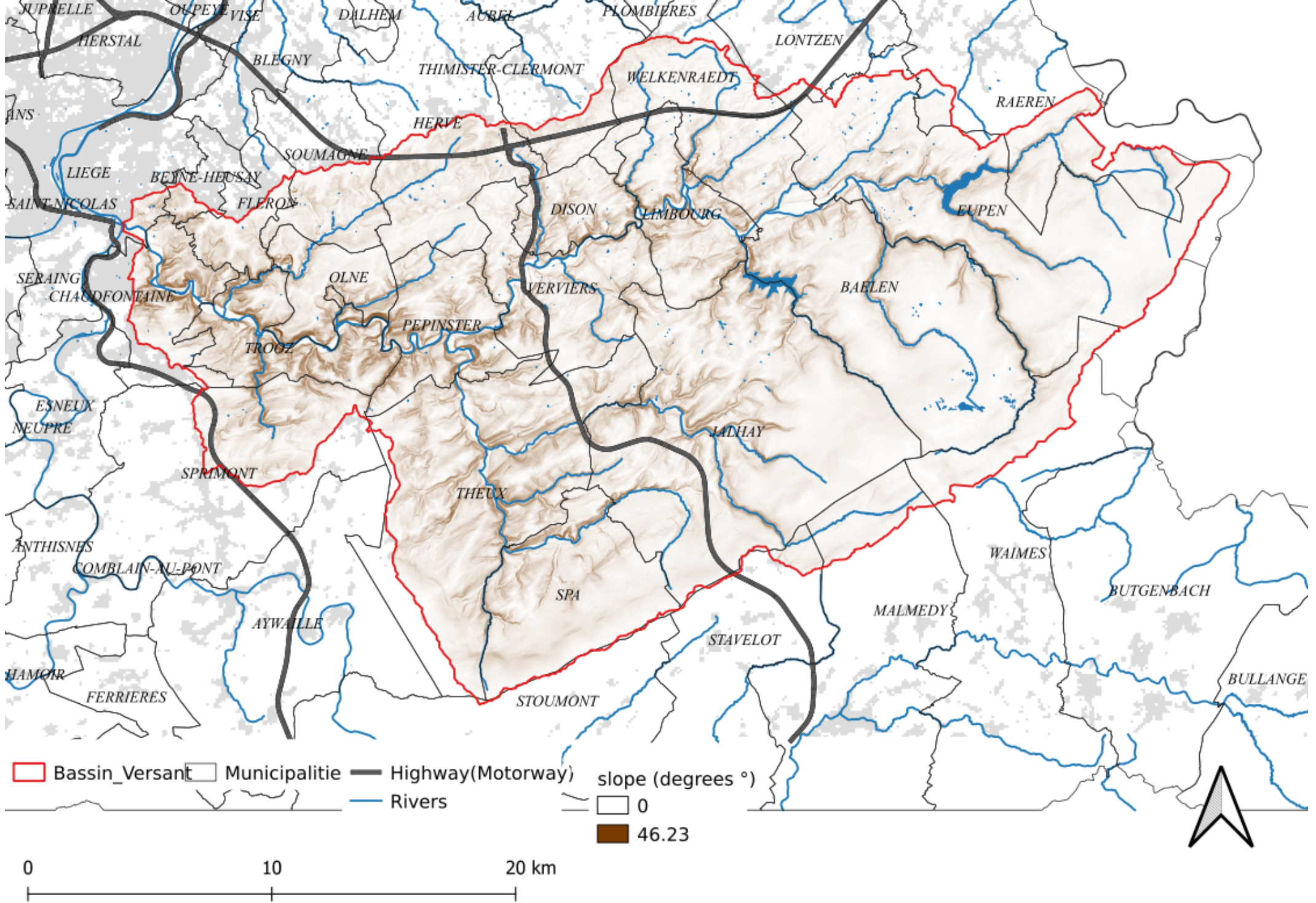
Carte des Permanences et Participation

Carte du potentiel de résilience face aux inondations revue

Carte de la qualité paysagère



Vision
schéma
stratégique

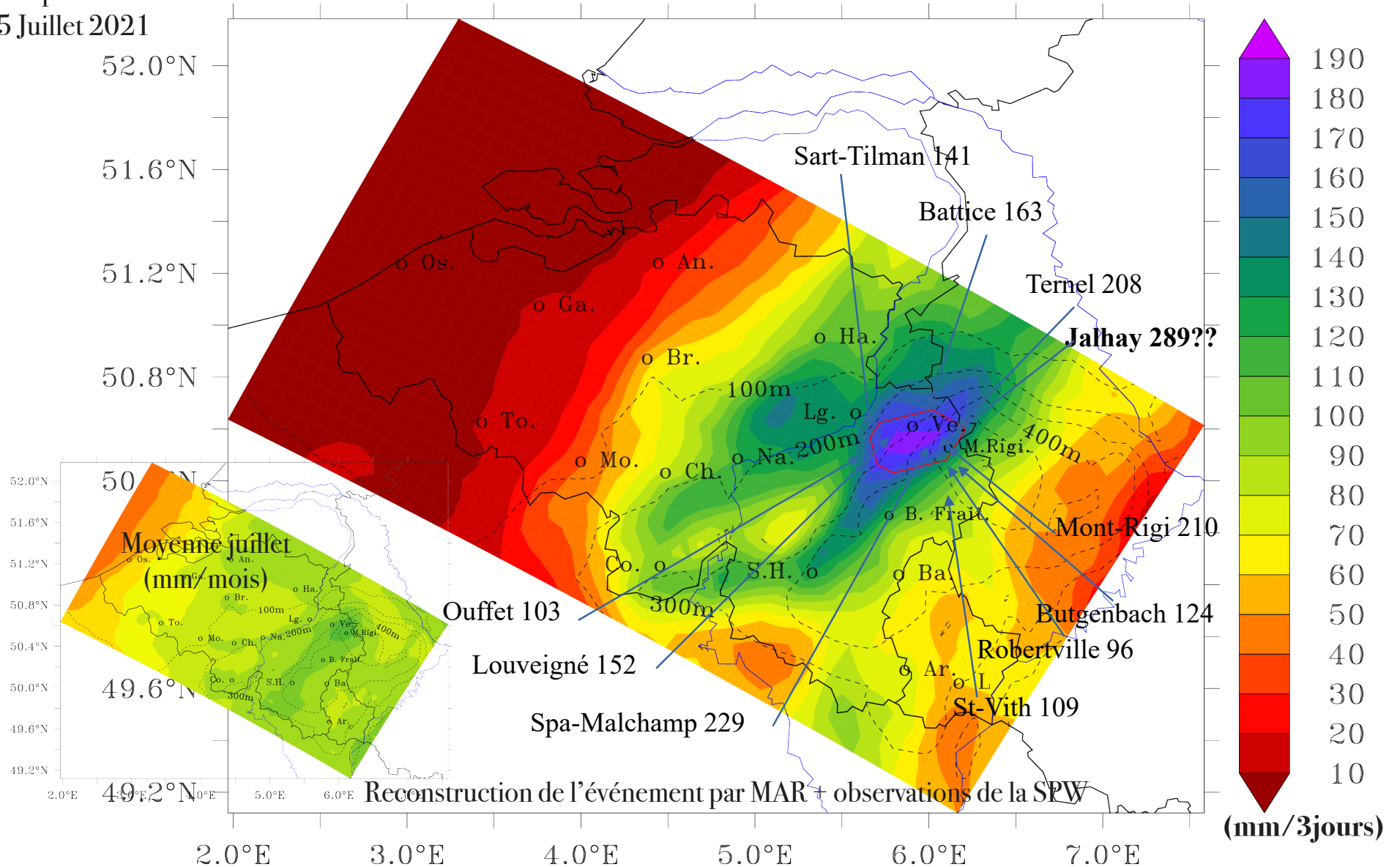


Un risque climatique accru : sécheresses et inondations

ASPECTS CLIMATIQUES

Xavier Fettweis et Sébastien Doutreloup, Labo de Climatologie

Cumul pluie du
13-15 Juillet 2021



Une vulnérabilité largement héritée de la période industrielle

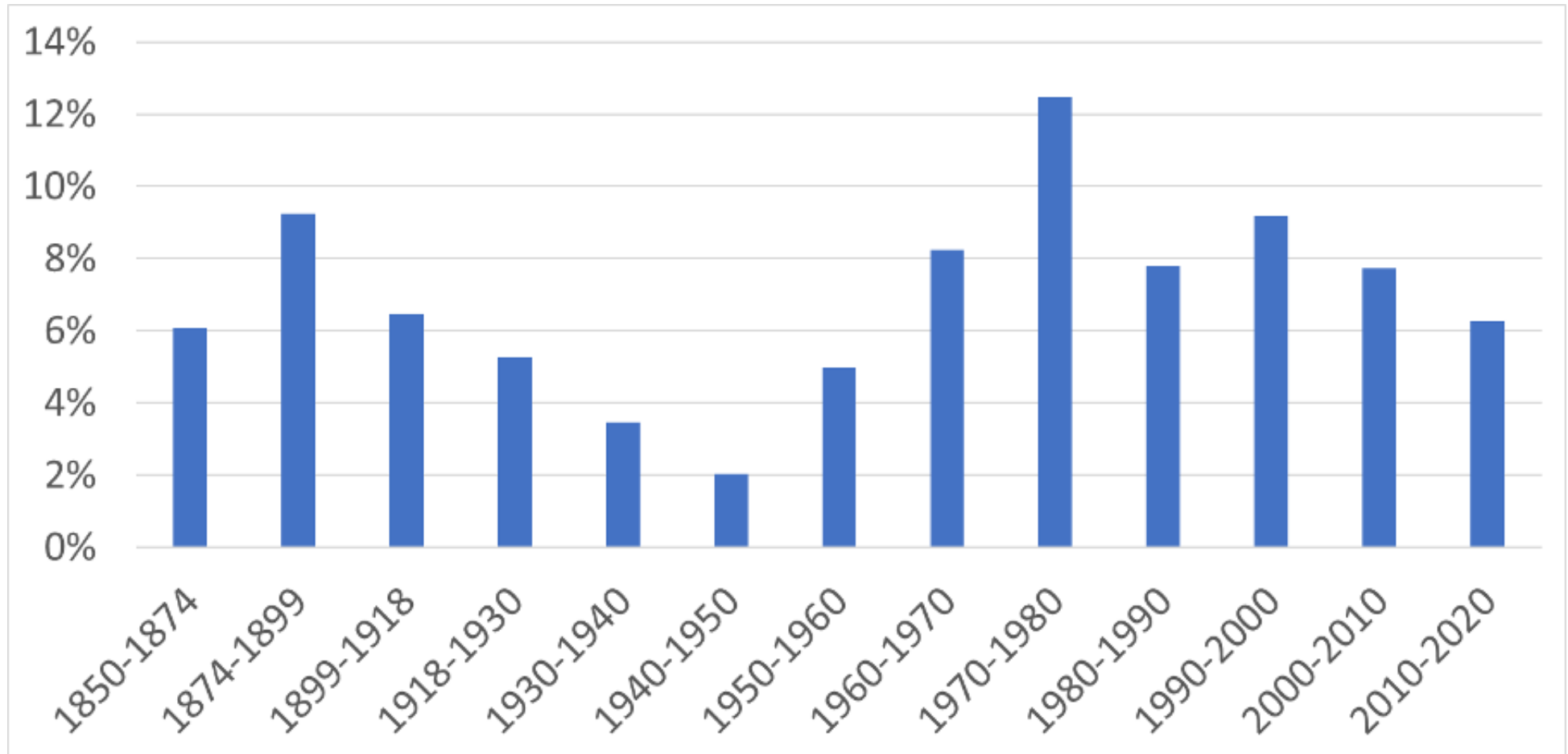
Vesdre				
Période	Nb de bâtiments		Surface cumulée	
<1950	12 769	75 %	187,5	71 %
1950-1970	1 838	11 %	25,3	10 %
1970-1990	1 504	9 %	33,4	13 %
>1990	830	5 %	16,1	6 %
Total (*)	16 941		262,3	

Ourthe				
Période	Nb de bâtiments		Surface cumulée	
<1950	5 204	68 %	55,5	64 %
1950-1970	1 470	19 %	14,7	17 %
1970-1990	539	7 %	7,5	9 %
>1990	494	6 %	8,7	10 %
Total (*)	7 707		86,3	

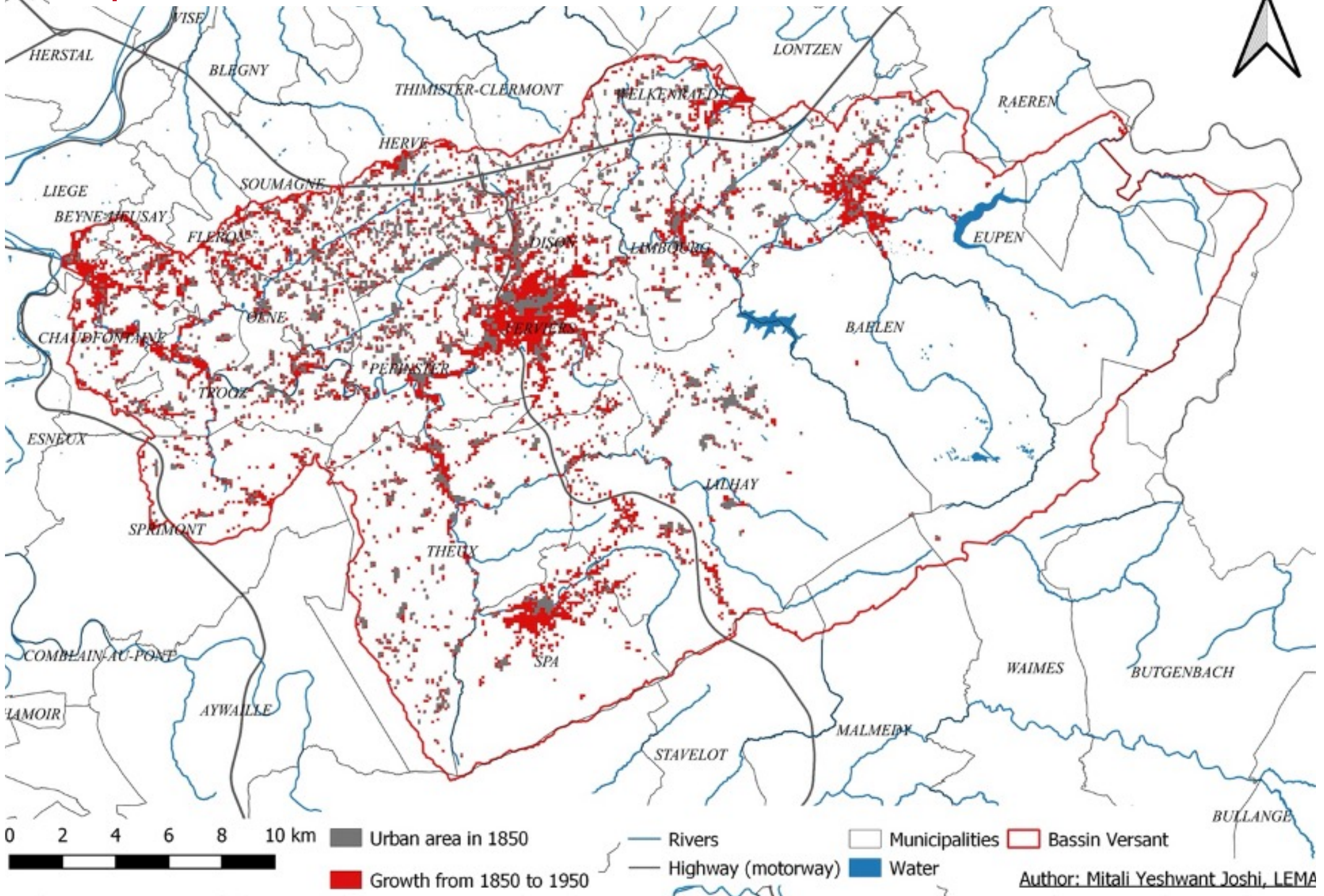
(*) Délimitation provisoire de la zone inondée fournie par le Commissariat Spécial à la Reconstruction.

(**) Pas de prise en compte des bâtiments pour lesquels il n'y a pas de donnée de date de construction (version 3 - 17/9/21).

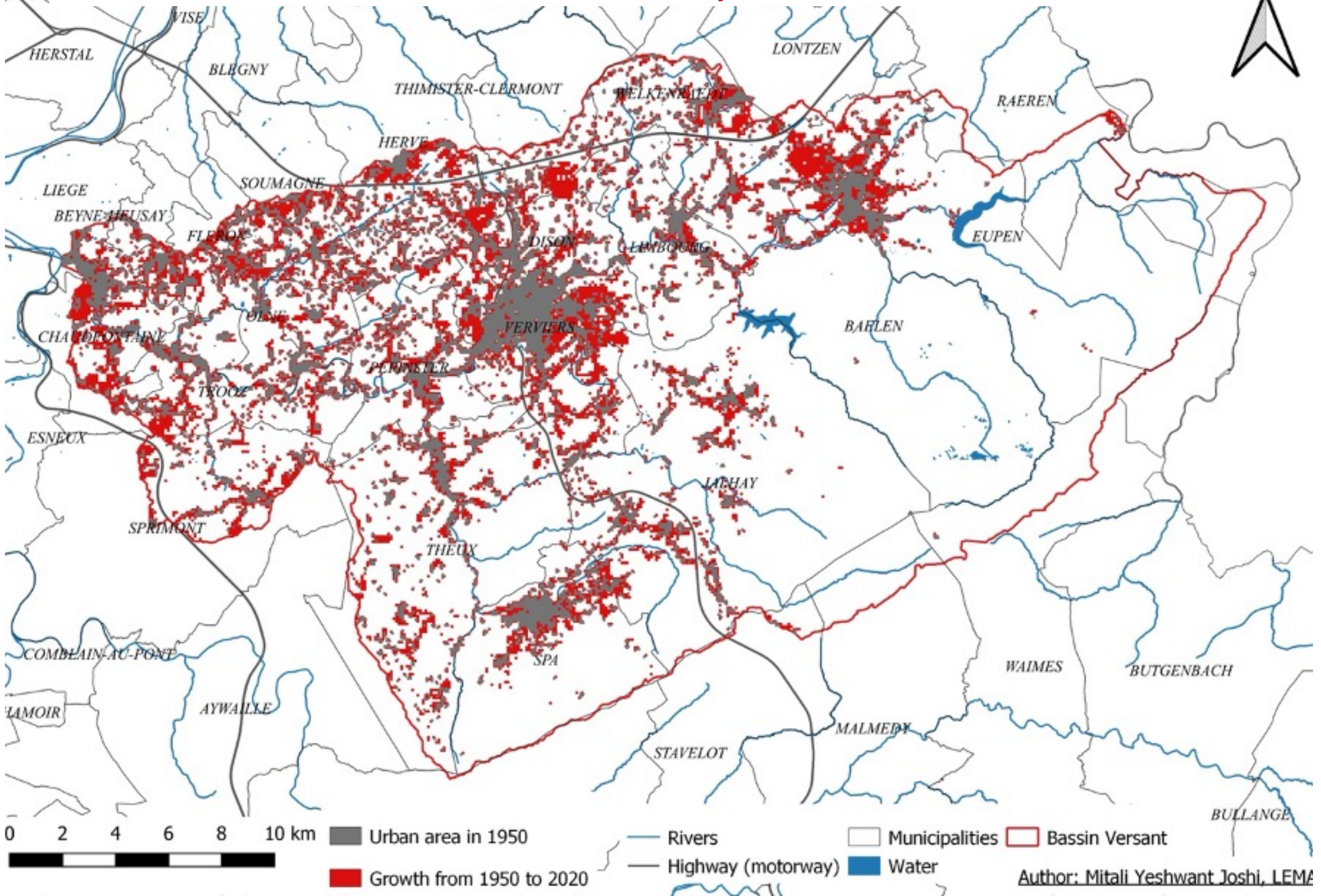
Deux vagues d'urbanisation successives



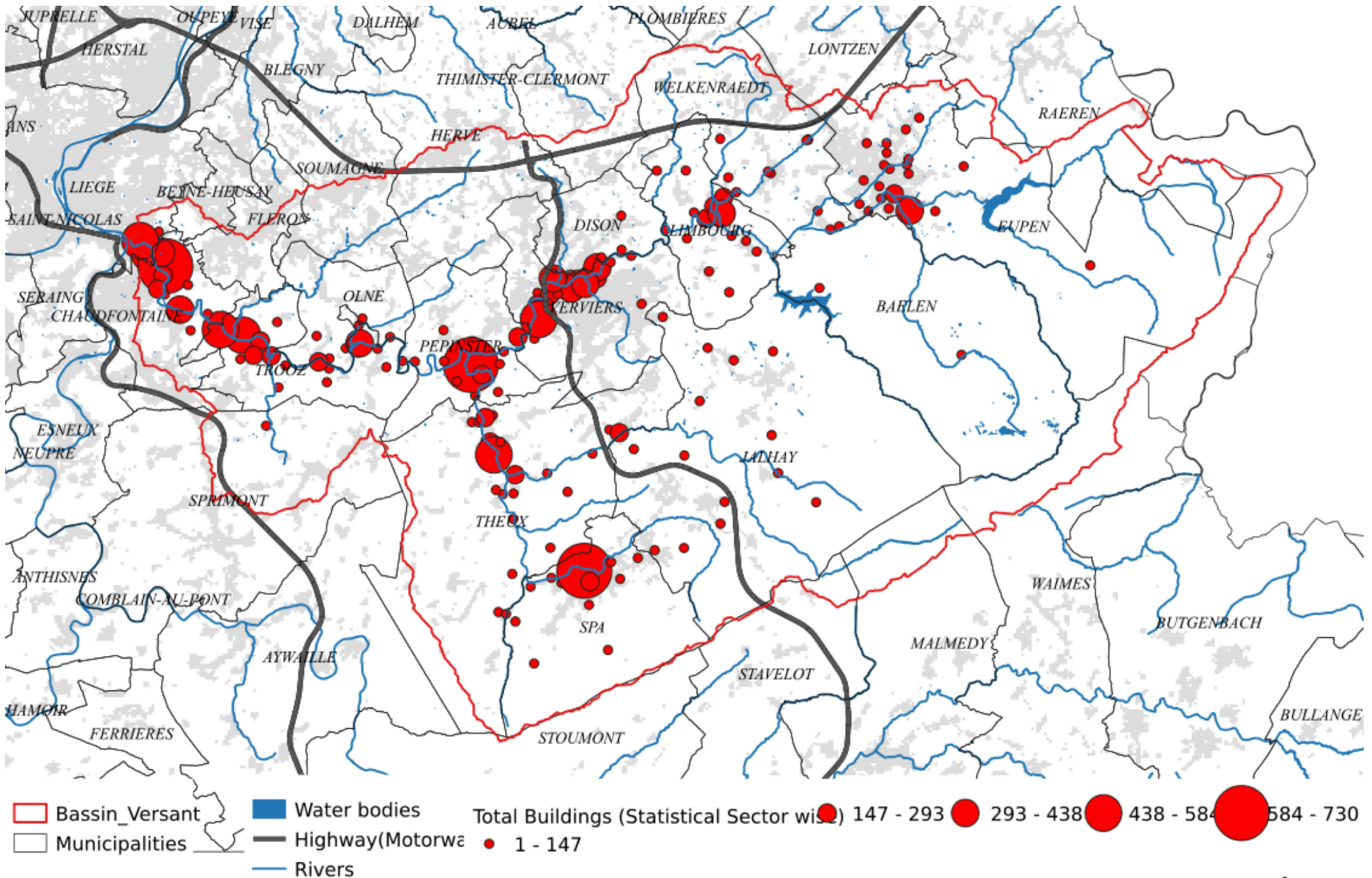
La première en fond de vallée



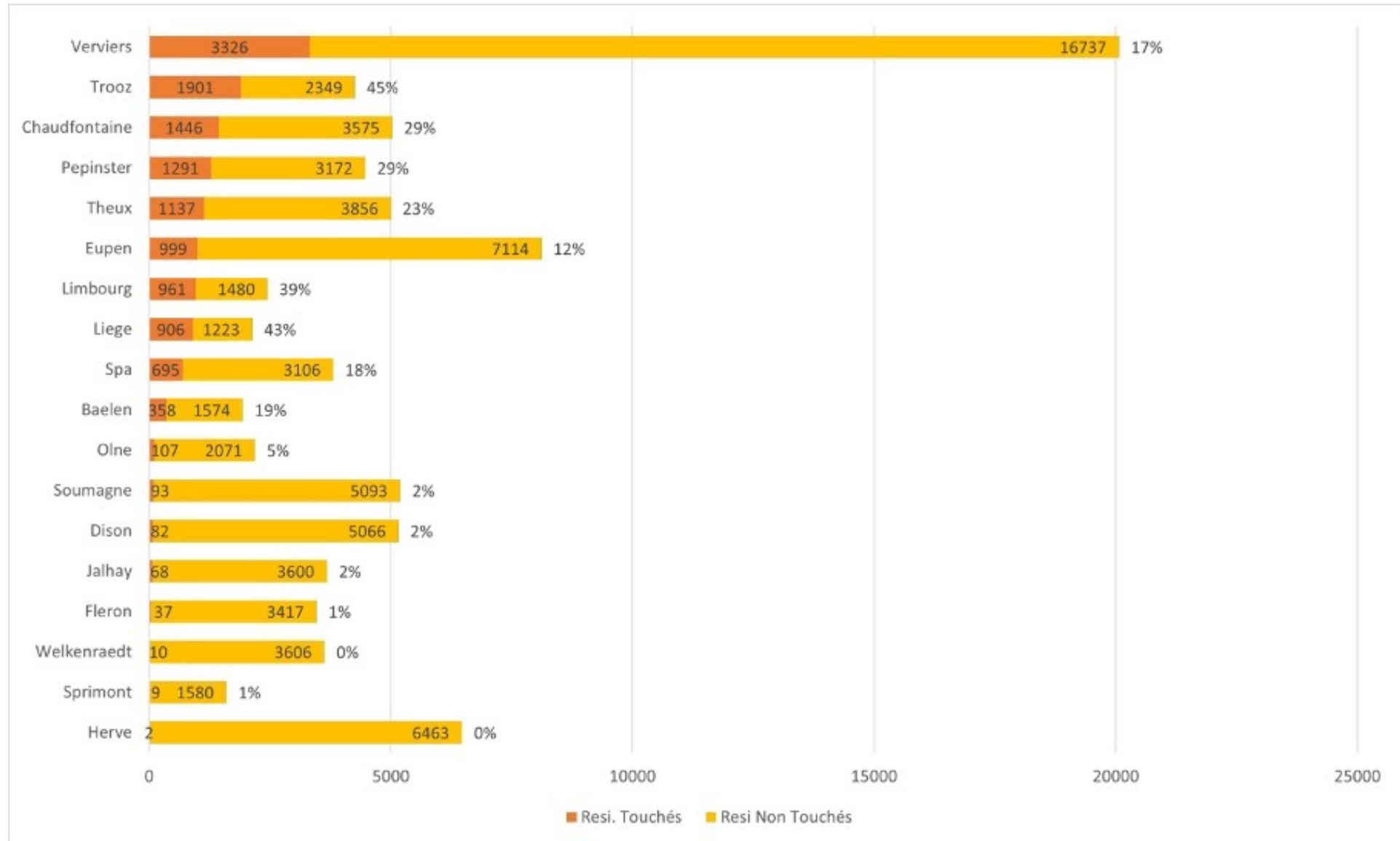
La deuxième sur les versants et les plateaux...



Des dommages localisés en fonds de vallées, aux confluences



Nombre et part de bâtiments affectés : quelle incidence ?



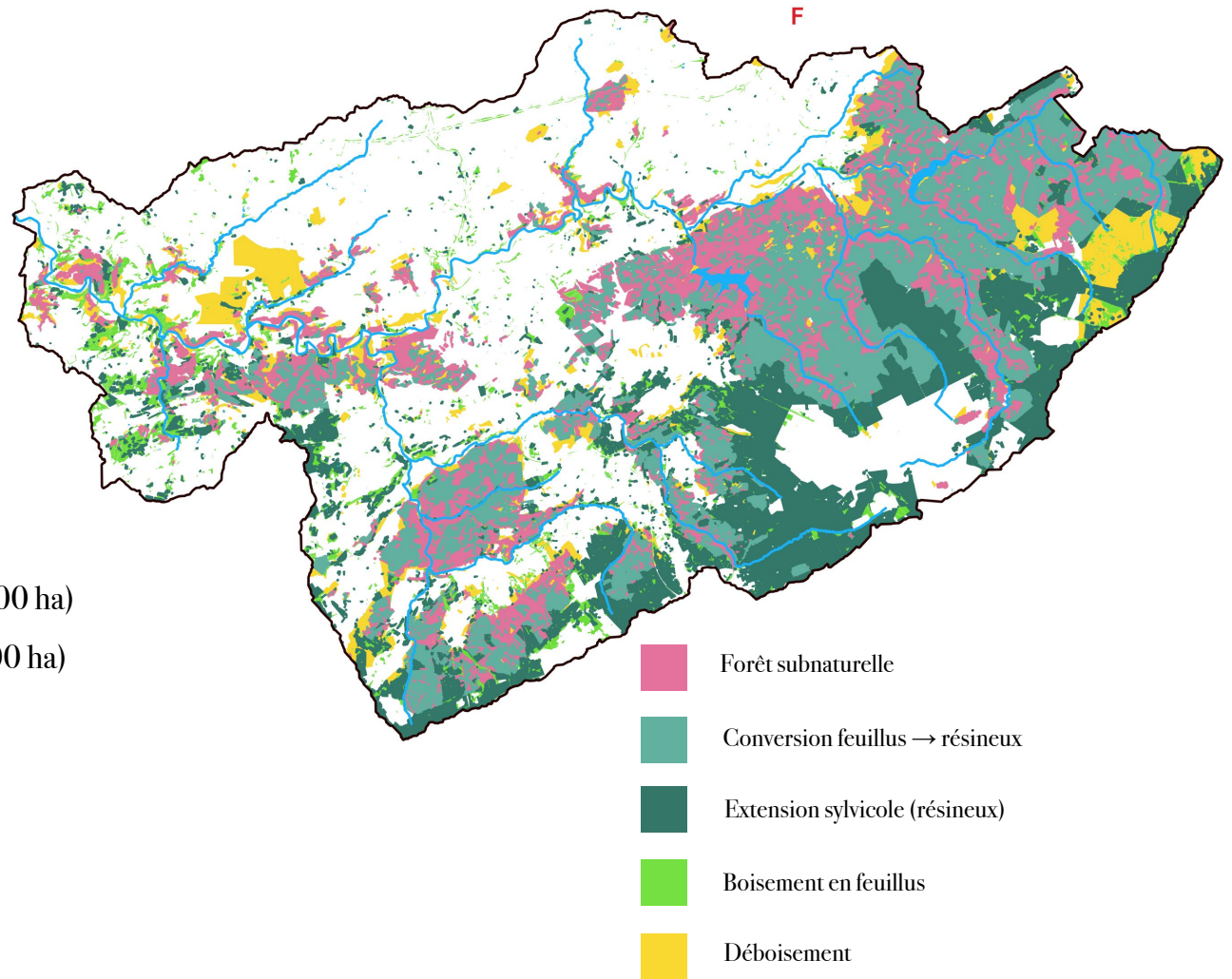
Des milieux naturels profondément anthropisés

EVOLUTION HISTORIQUE DU BASSIN VERSANT DE LA VESDRE (1780 - 2020)

Zones naturelles, paysages forestiers et agricoles

Evolution du couvert forestier

- ◆ Au 18ème: 23 000 ha de forêt (33 % BV)
- ◆ Au 19ème:
 - ◆ Même emprise
 - ◆ Début de plantation de résineux (~ 1000 ha)
- ◆ Plus grande transformation entre 1865 - 1964
 - ◆ Résineux sur milieux ouverts sur sols tourbeux (8400 ha)
 - ◆ Conversion de forêt sur sols hydromorphes (11 000 ha)
- ◆ Aujourd'hui:
 - ◆ couvert forestier plus important : + 6000 ha
 - ◆ Mais seulement 6 800 ha de forêt subnaturelle

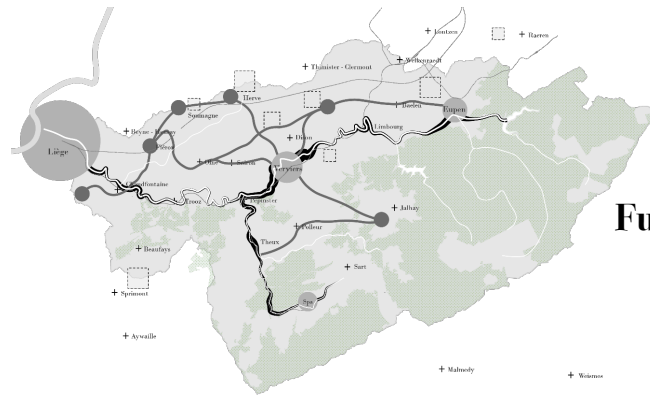


Vers la vision : quatre scénarios



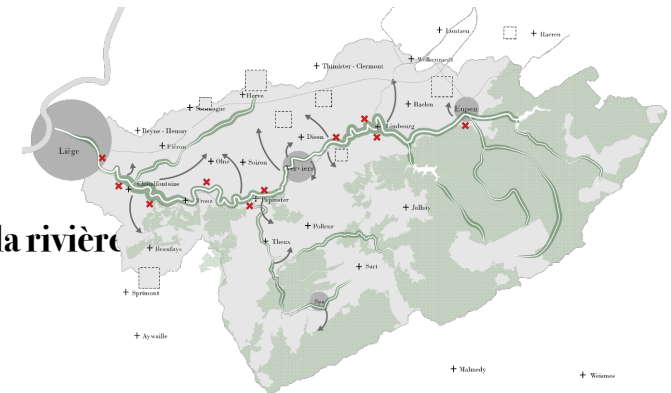
Scénario 3

Continuités transversales



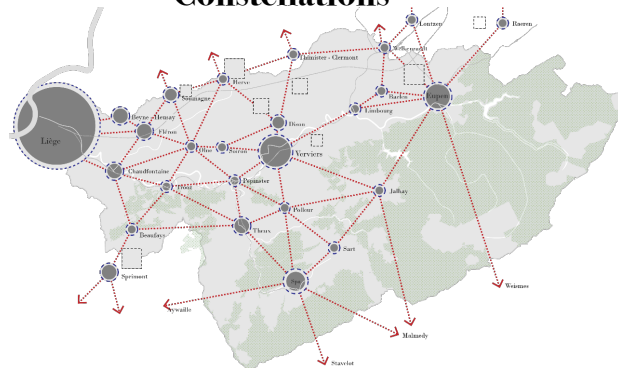
Scénario 1

Futur sans ruptures



Scénario 2

Ce que veut la rivière



Scénario 4

Constellations

Développer une infrastructure verte

CATEGORIE I

CATEGORIE II

CATEGORIE III

A

A1 (§3.2.1) : Restauration des sols tourbeux et paratourbeux

A2 (§3.2.1) : Diversification des milieux sur sols hydromorphes

A3 (§3.3.1) : Conservation de prairie en milieux agricoles

A4 (§3.3.1) : Pratiques agricoles de conservation des eaux et des sols en maïs

A5 (§3.2.1.5) : Pratique forestière limitant la compaction des sols

B

B1 (§3.3.2) : Trame bocagère en milieux agricoles

B2 (§3.2.2) : Une autre gestion du drainage des chemins forestiers et bandes coupe-feu

B3 (§3.2.2) : Pose de redents sur le réseau routier de forte pente

B4 (§3.3.2) : Production inter-parcellaire de fourrage

B5 (§3.2.4) : Aménagement de canaux, biefs de dérivation, keyline

B6 (§3.2.3) : Correction torrentielle des axes de ruissellement incisés

C

C1 (§3.4.1) : Restauration des zones ripariennes

C2 (§3.4.1 et 3.4.3) : Restauration hydromorphologique

C3 (§3.4.4) : Utilisation des carrières comme zone de stockage pour les crues importantes

C4 (§3.4.2) : Création de retenues (avec digues et pertuis) le long des affluents de la Vesdre

Développer une infrastructure verte

A. Aménagement de surface sur les plateaux et versants

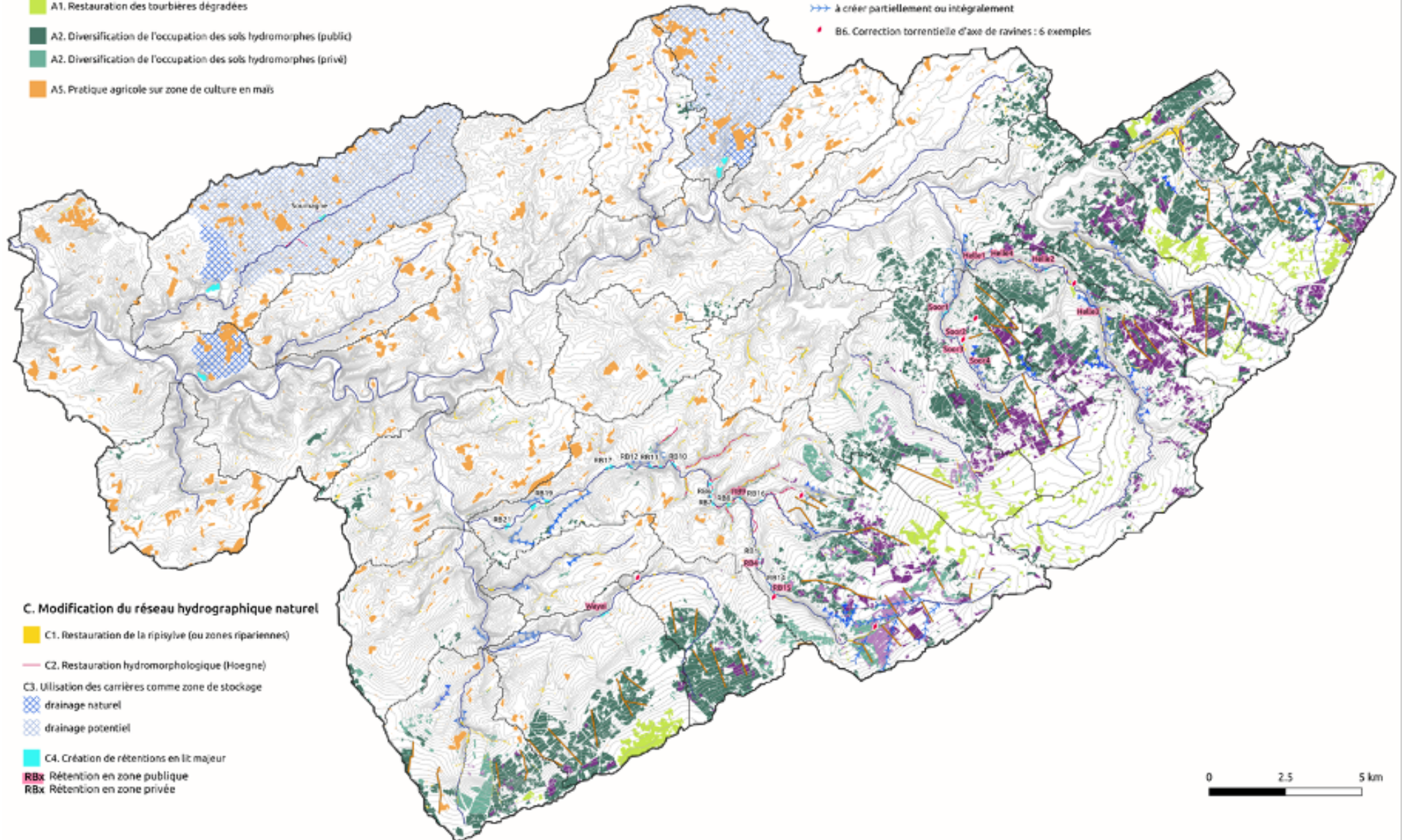
- A1. Restauration des tourbières en lieux de sylviculture (zone publique)
- A1. Restauration des tourbières en lieux de sylviculture (zone privée)
- A1. Restauration des tourbières dégradées
- A2. Diversification de l'occupation des sols hydromorphes (public)
- A2. Diversification de l'occupation des sols hydromorphes (privé)
- A5. Pratique agricole sur zone de culture en maïs

B. Aménagement des linéaires directeurs sur les versants

- B2. Déviation des collecteurs dans le sens de la pente
- B5. Mise en place de canaux (bisses/biefs) de dérivation
 - sur base de tracé de chemins forestiers / sentiers pédestres
 - à créer partiellement ou intégralement
- B6. Correction torrentielle d'axe de ravines : 6 exemples

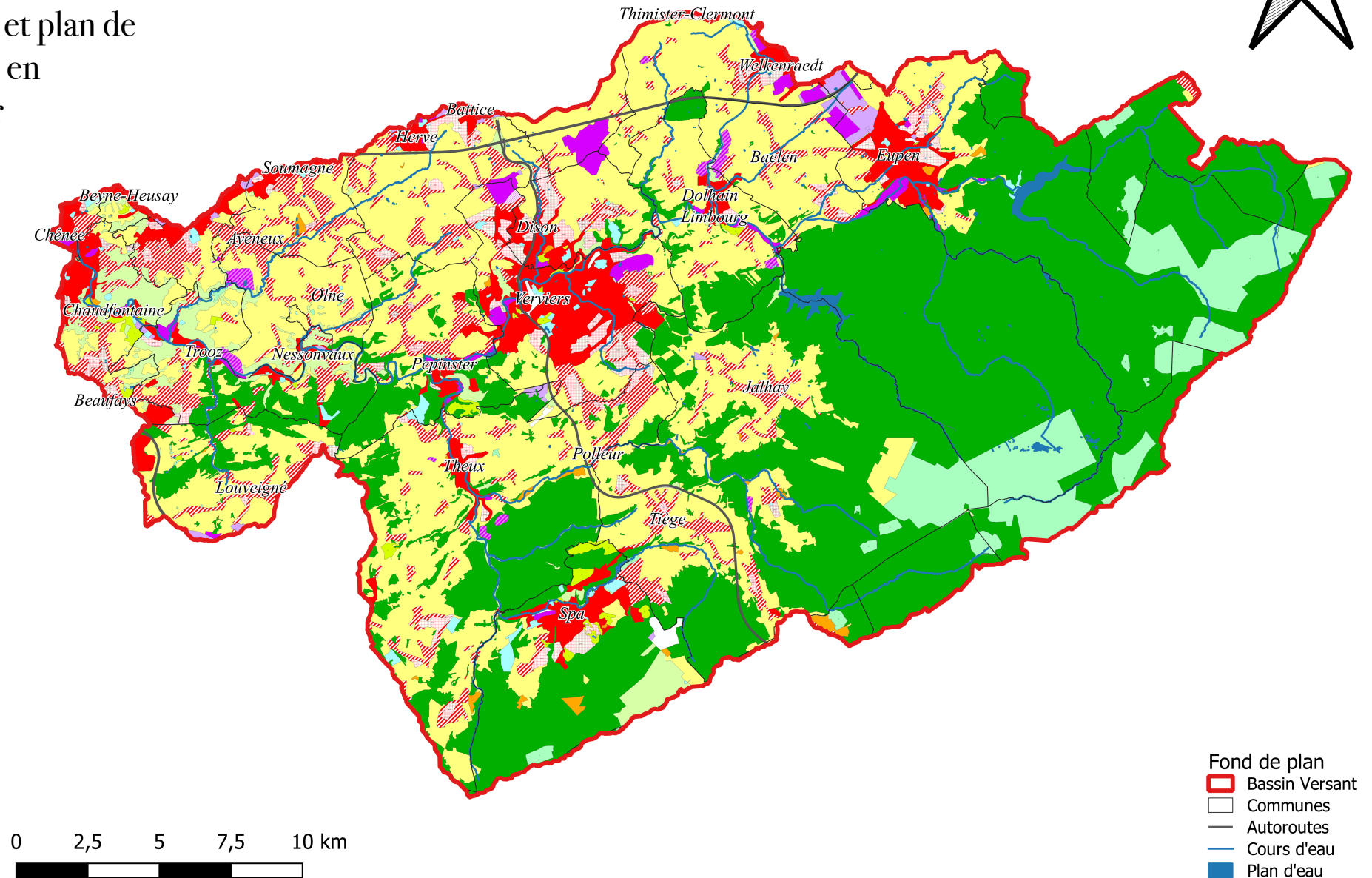
C. Modification du réseau hydrographique naturel

- C1. Restauration de la ripisylve (ou zones ripariennes)
- C2. Restauration hydromorphologique (Hoegne)
- C3. Utilisation des carrières comme zone de stockage
 - drainage naturel
 - drainage potentiel
- C4. Création de retenctions en lit majeur
 - RBx Rétenction en zone publique
 - RBx Rétenction en zone privée



Approche planologique

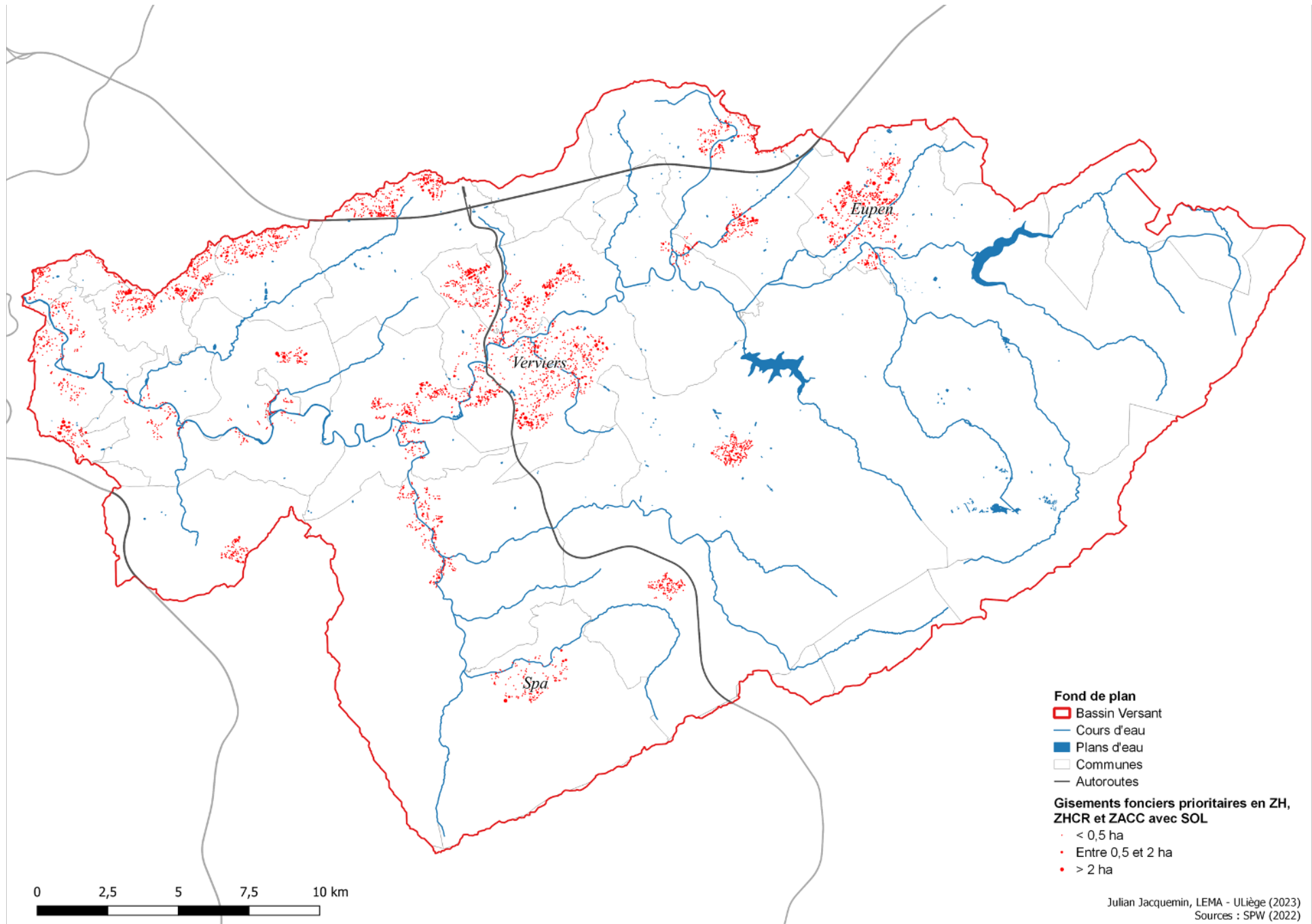
Délimitation du
bassin de la
Vesdre et plan de
secteur en
vigueur



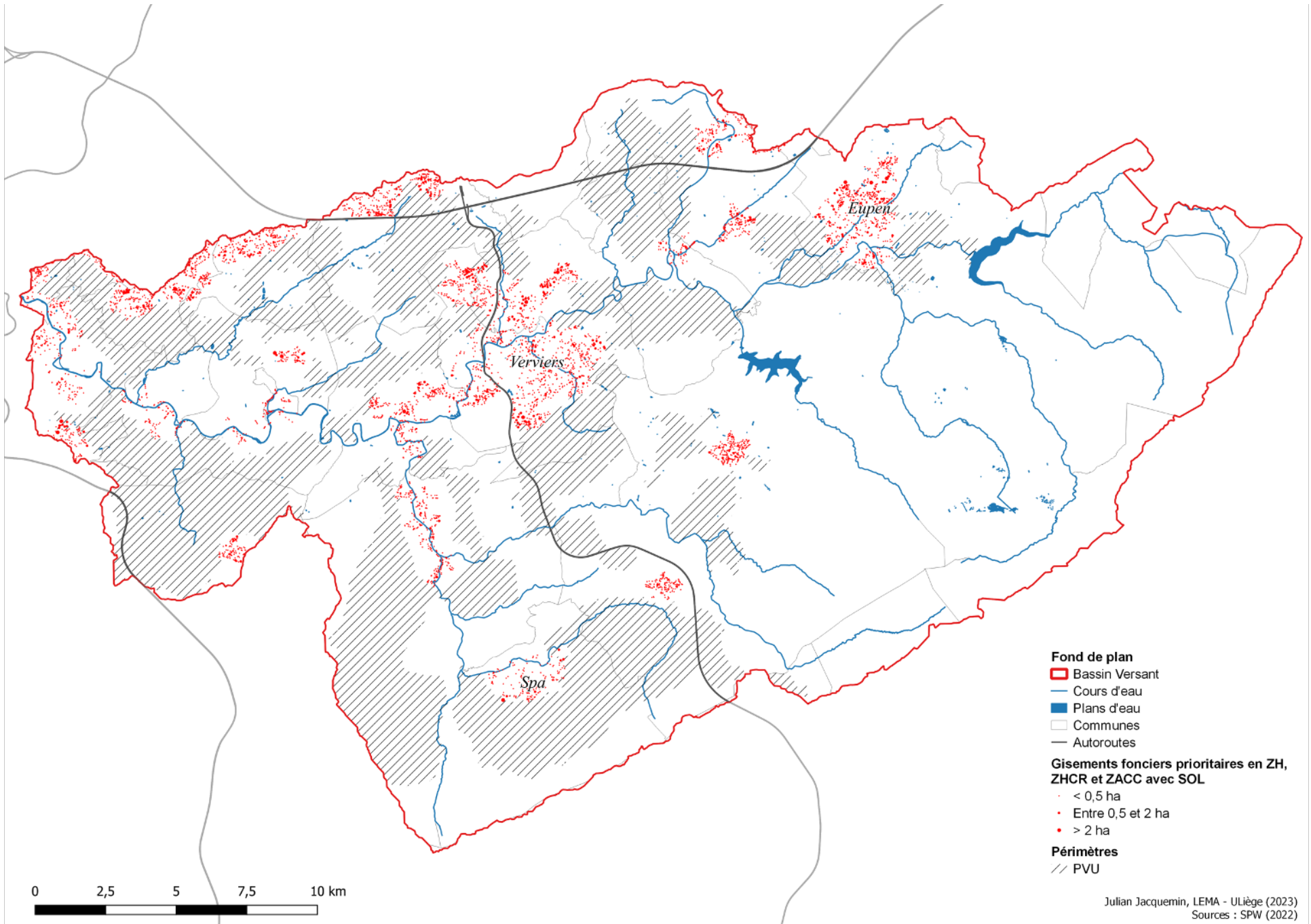
Procédure de filtrage du plan de secteur

	ZDU		ZH + ZHCR		ZACC/SOL		ZDU + ZACC/ SOL	
	Surface brute	%	Surface brute	%	Surface brute	%	Surface brute	%
<i>Bassin versant de la Vesdre</i>	-	-	-	-	-	-	69 647	-
F0 : Potentiel urbanisable	11 654	100 %	9 573	100 %	392	100 %	12 045	17 %
F1 : Disponibilité foncière	3 672	32 %	2 862	30 %	261	67 %	3 934	33 %
F2 : Contraintes à l'urbanisation	2 244	19 %	1 753	18 %	174	44 %	2 418	20 %
F3 : Équipement des parcelles	2 016	17 %	1 715	18 %	155	40 %	2 171	18 %
F4 : Potentiel urbanistique	680	6 %	615	6 %	120	31 %	800	7 %
F5 : Aléas d'inondation	601	5 %	543	6 %	107	27 %	708	6 %
F6 : Analyse finale	554	5 %	504	5 %	77	20 %	631	5 %

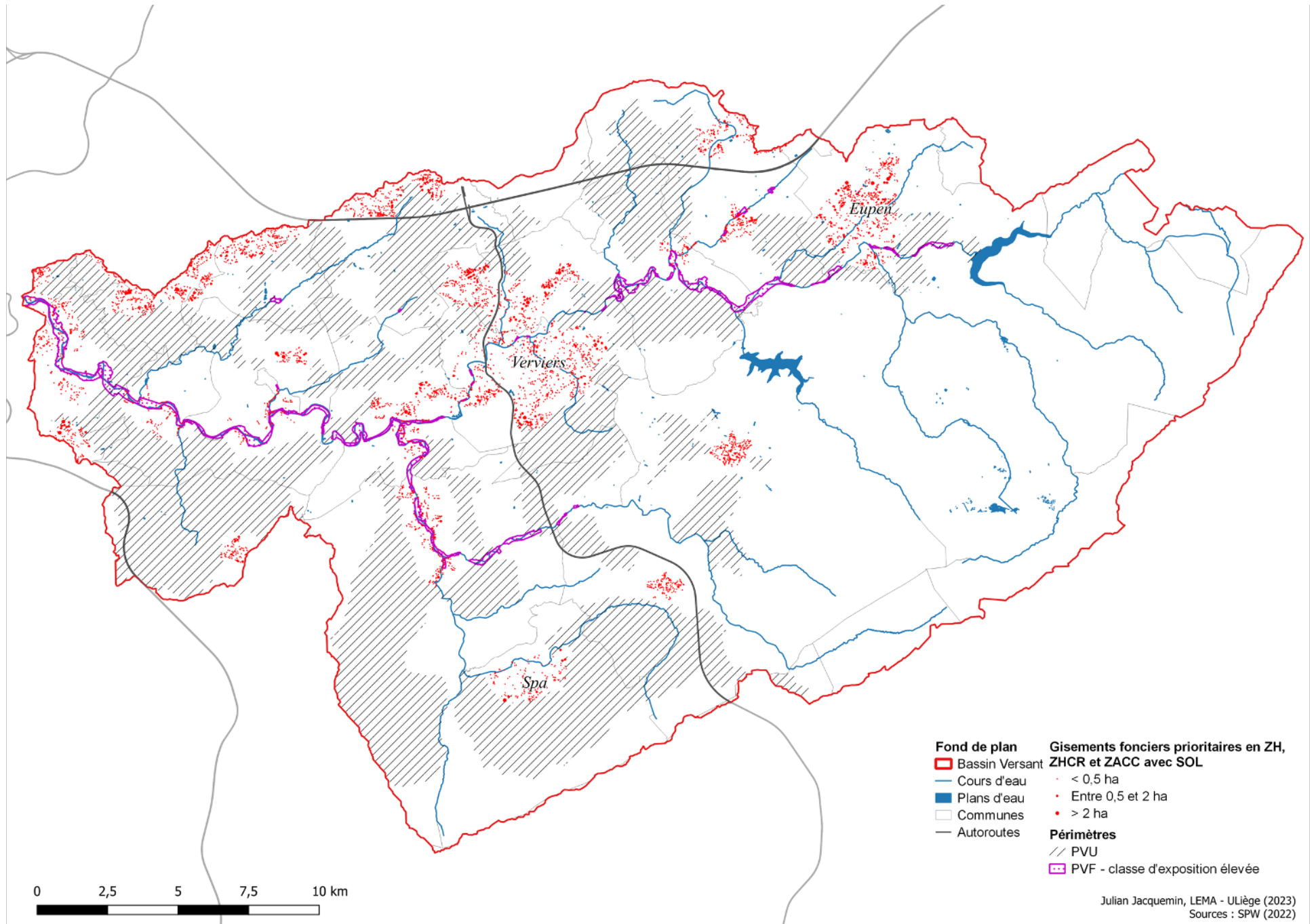
Gisement foncier après filtrage



Périmètres de vigilance urbanistique



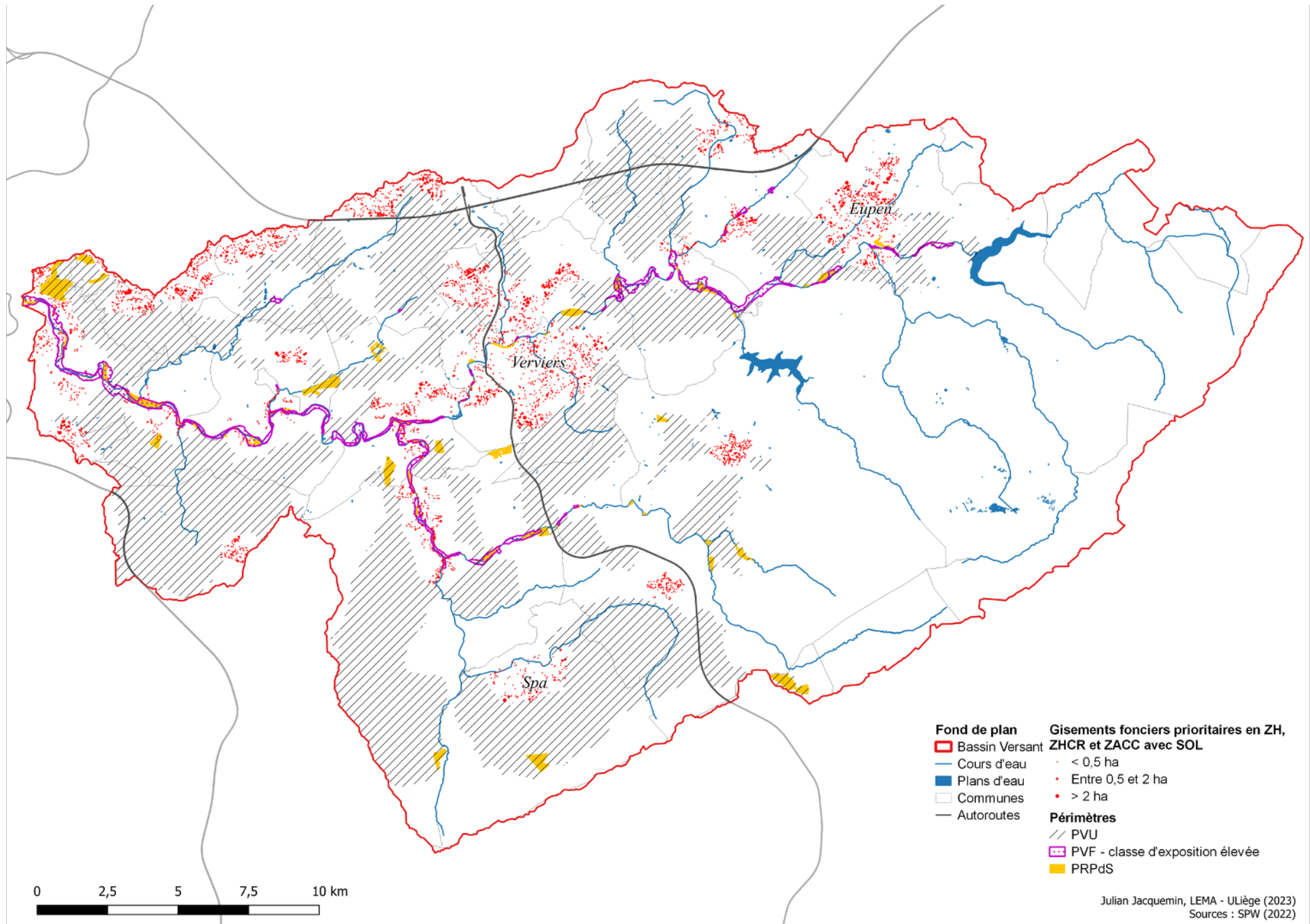
Périmètre de vigilance foncière



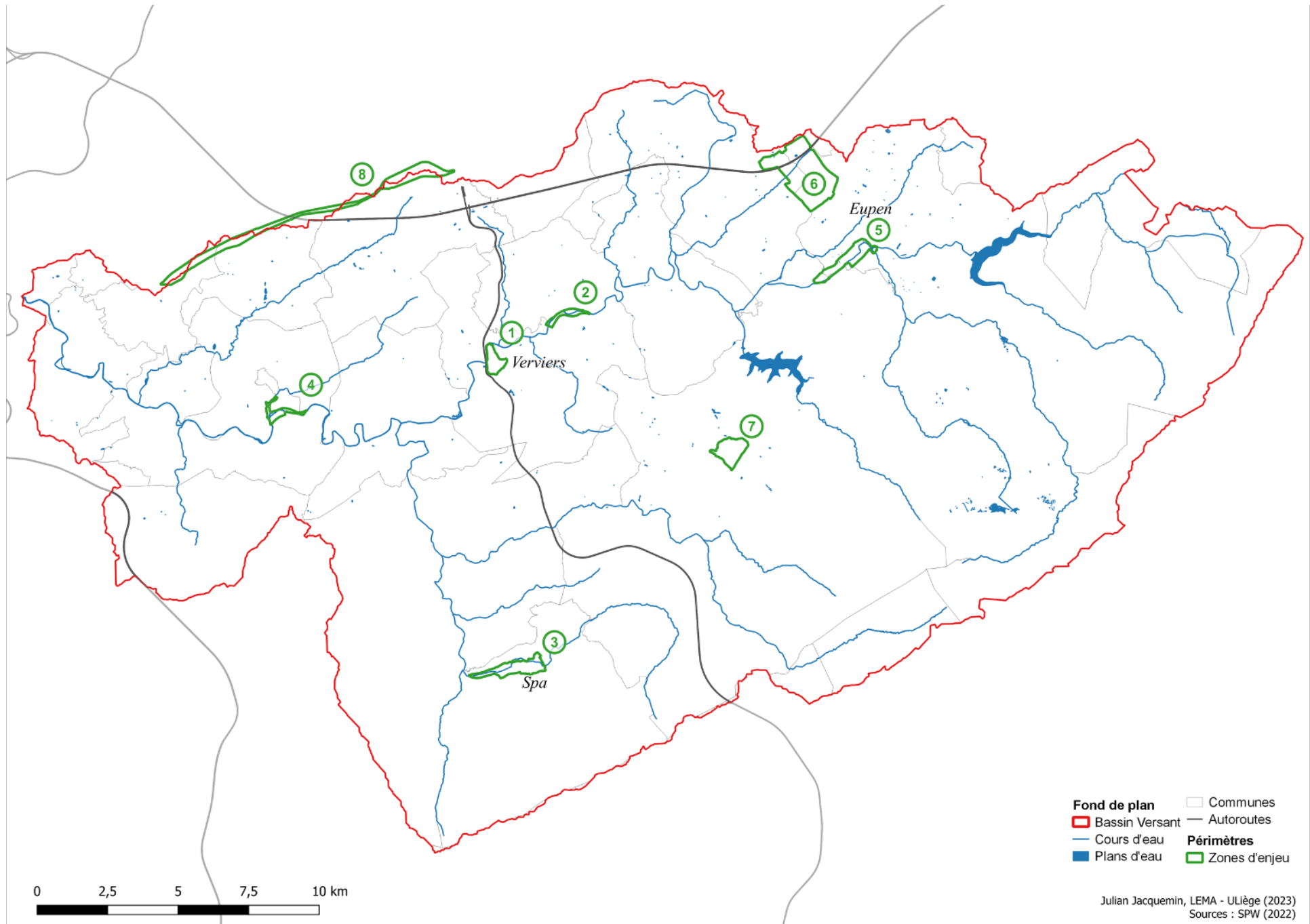
Périmètre de vigilance foncière

	Classe d'exposition moyenne + élevée	Classe d'exposition élevée
Superficie brute [ha]	924	595
Parcelles [nb]	8 719	4 926
Parcelles [ha]	738	447

Périmètres de modification du PdS

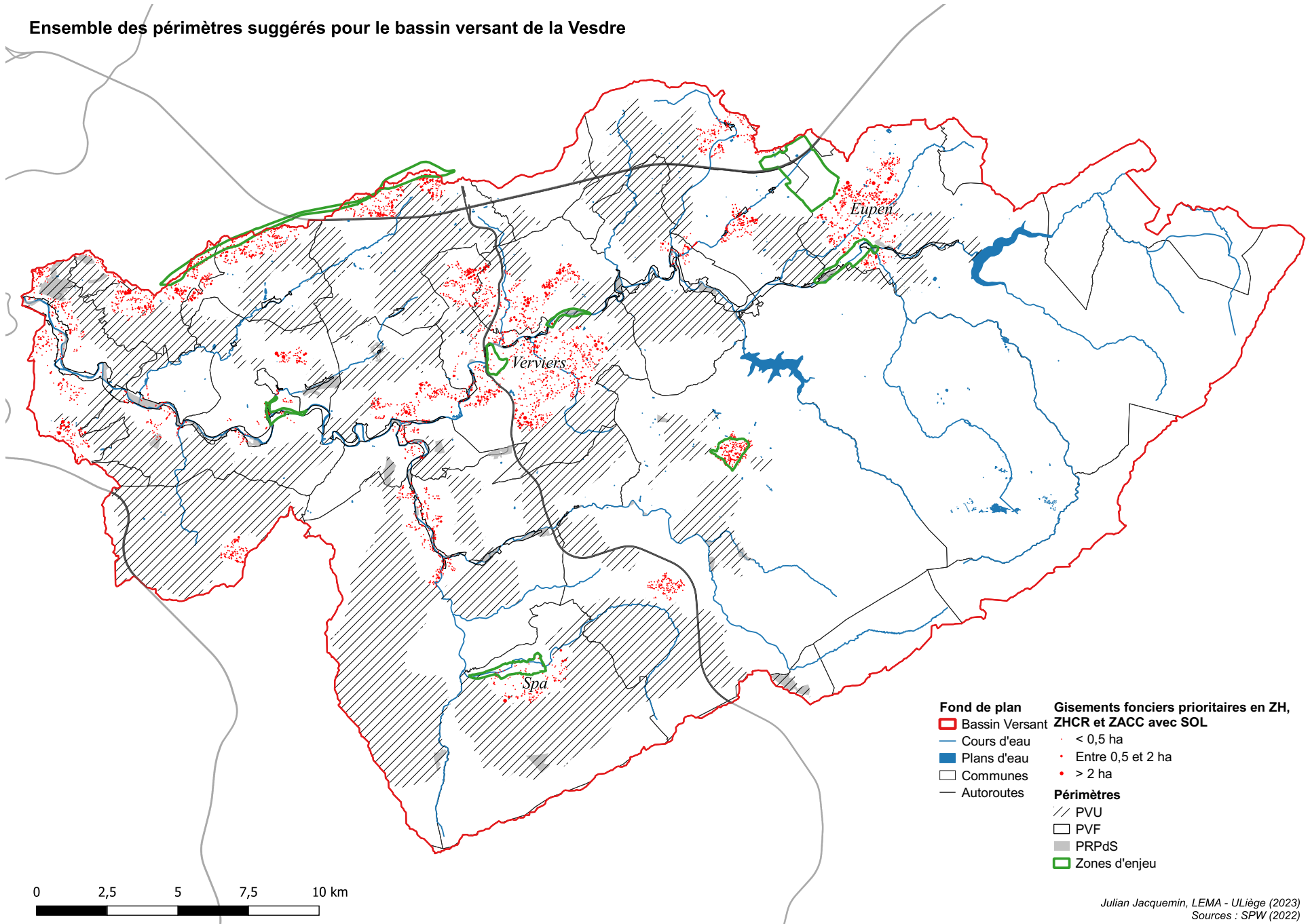


8 zones d'enjeu avec un potentiel de développement important



Les différents périmètres proposés

Ensemble des périmètres suggérés pour le bassin versant de la Vesdre



EUPEN HAUT

*Agglomération de
Eupen-Welkenraedt*

EUPEN BAS



Bénéfices d'une approche à l'échelle du bassin versant

- ▶ Prise en compte des interdépendances amont-aval pour un partage de la charge solidaire au niveau du plateau.
- ▶ Prise en compte du temps long et des effets de transformations héritées du XIXème siècle.
- ▶ Identification et mobilisation de potentiels dans l'ensemble du territoire, combinant approches hard (infrastructures) et soft (nature-based solutions).
- ▶ Approche planologique intégrée valorisant l'intégralité du gisement foncier et permettant d'identifier des zones d'enjeu structurantes dans le bassin versant.



**Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft**

Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat

Reduktion des Hochwasserrisikos in Zürich durch Sihlsee-Regulierung sowie langfristige Lösung

**Symposium "Talsperren und Extremhochwasser"
29. März 2023, Bern**


Dr. Christian Marti, Abteilungsleiter Wasserbau

Hochwasser der Sihl (1910)



Brücke beim Hauptbahnhof Zürich; heute Bahnhofshalle Gleis 3 - 18

Hochwasser der Sihl (1910)

 AWEL, Wasserbau

Bahnhof Altstetten

Klärwerk Werdhölzli

KW Höngg

Europabrücke



Schadenpotential in Zürich

Schadenpotential auf Schwemm-
kegel Sihl heute: **6,7 Mia. Fr.**

Schadenerwartungswert*
(Jahresschaden): **33 Mio. Fr. / Jahr**
ohne Betriebsunterbruch und
Personenschäden;

Kosten aus Betriebsunterbrüchen
können um **Faktor 7** grösser sein

* nach Umsetzung Sihlsee-Steuerung

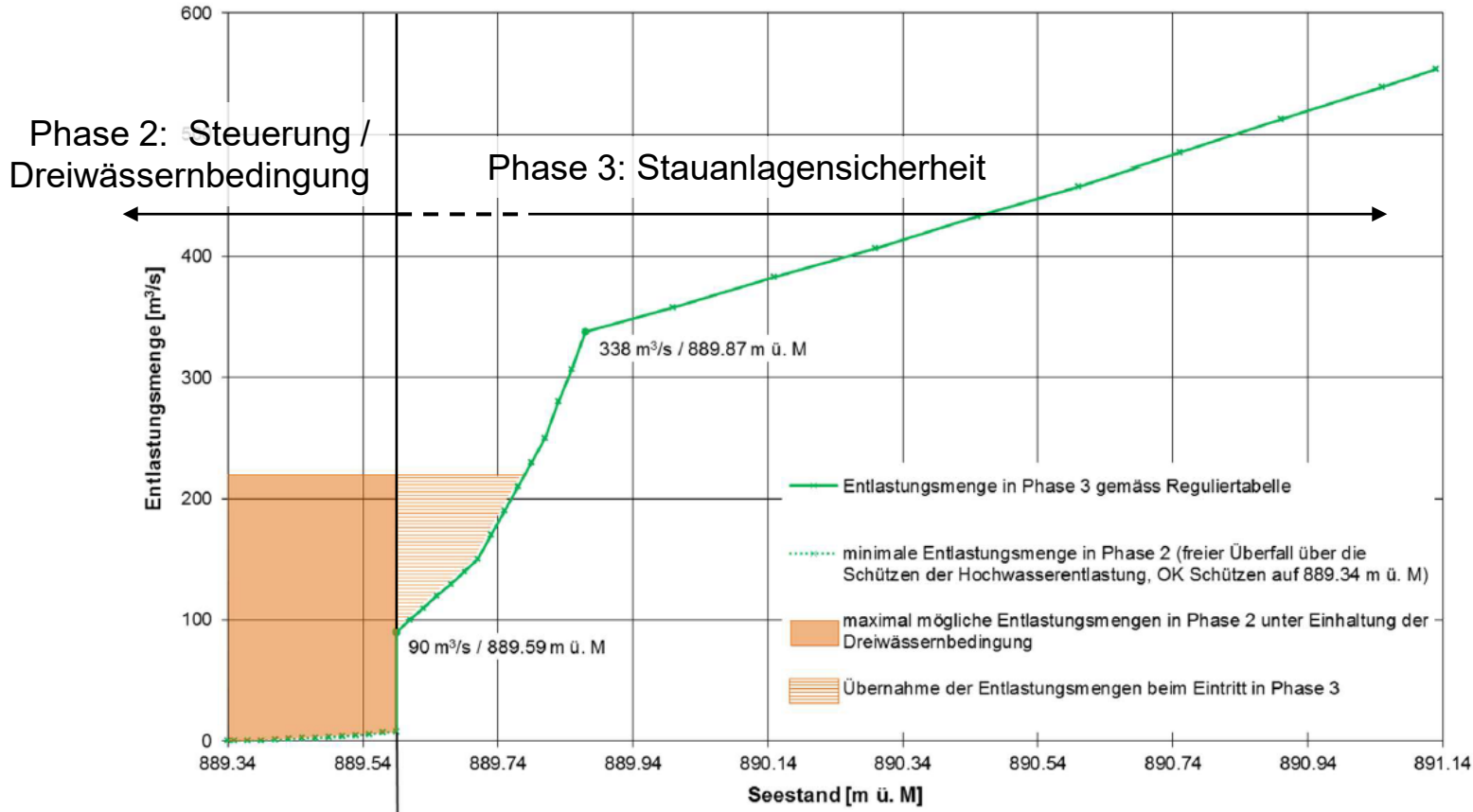


Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat

Aktive Sihlsee-Steuerung

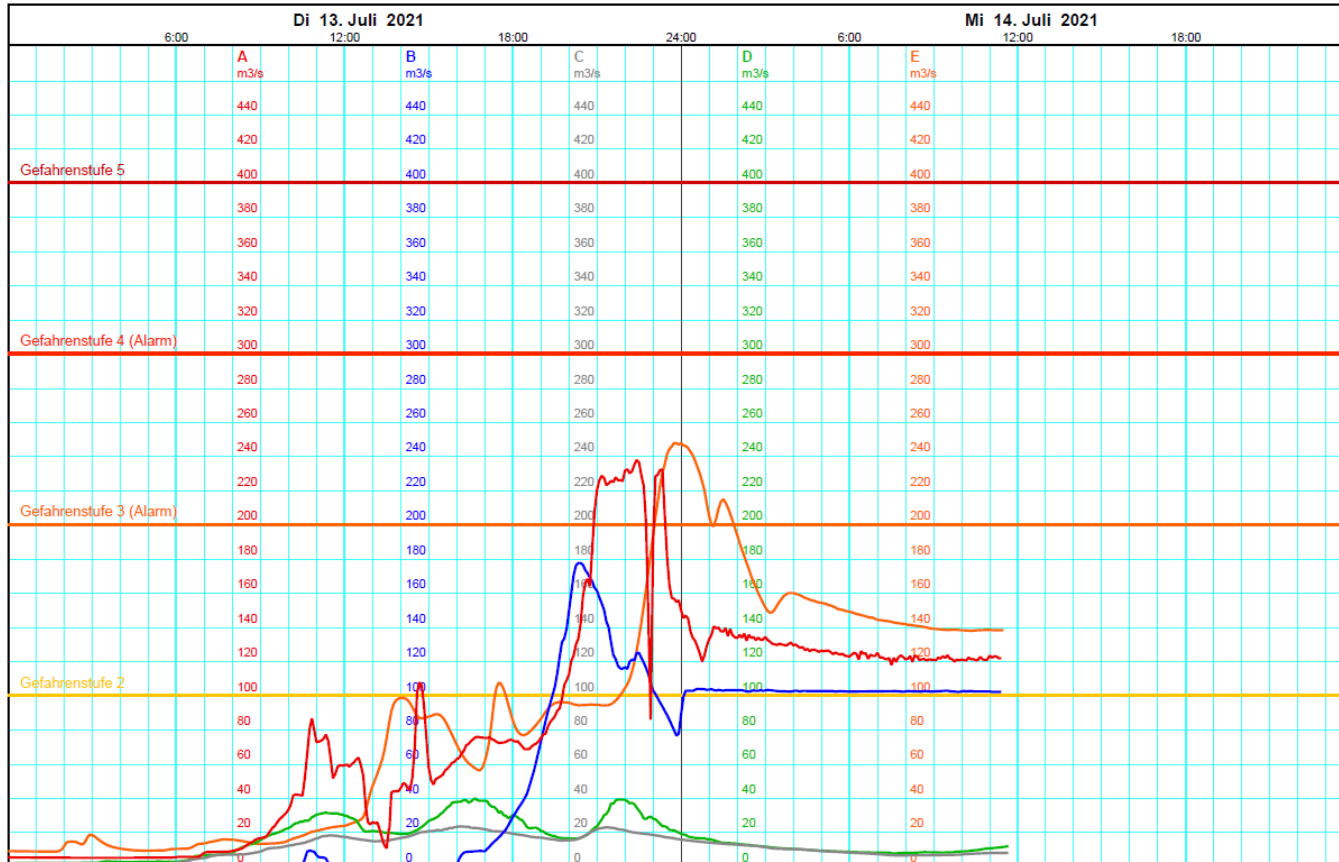
Film siehe: *Aktive Sihlseesteuerung.mp4 (Beilage)*

Neues Wehrreglement 2018



Quelle:
Etzelwerk, SBB

Erster realer "Testlauf"



- Seeausfluss, Schlagen
- Alp, Einsiedeln
- Biber, Biberbrugg
- Sihl, Blattweg (unterhalb Zusammenfluss)
- Sihl, Sihlhölzli (Stadt Zürich)

Übersicht Messungen
Sihl 13./14. Juli 2021

Zwei langfristige Hochwasserschutzkonzepte

AWEL, Wasserbau

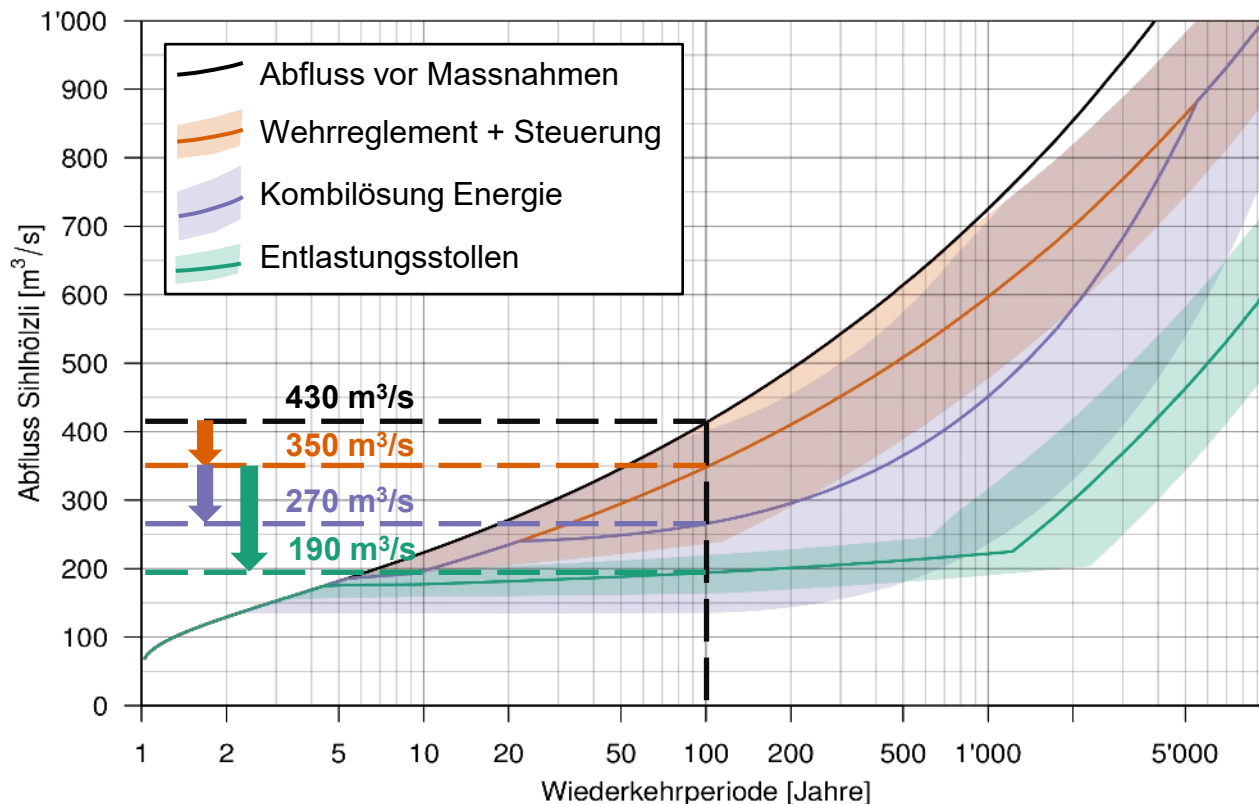
zusätzl. HWS Ausbau Sihl

Entlastungsstollen Thalwil

Kombilösung Energie




Schutzwirkung Varianten



Auswirkung auf Abflussstatistik Sihlhölzli in Zürich als Grundlage für den Variantenentscheid zugunsten des HW-Entlastungsstollens

Lage Entlastungsstollen

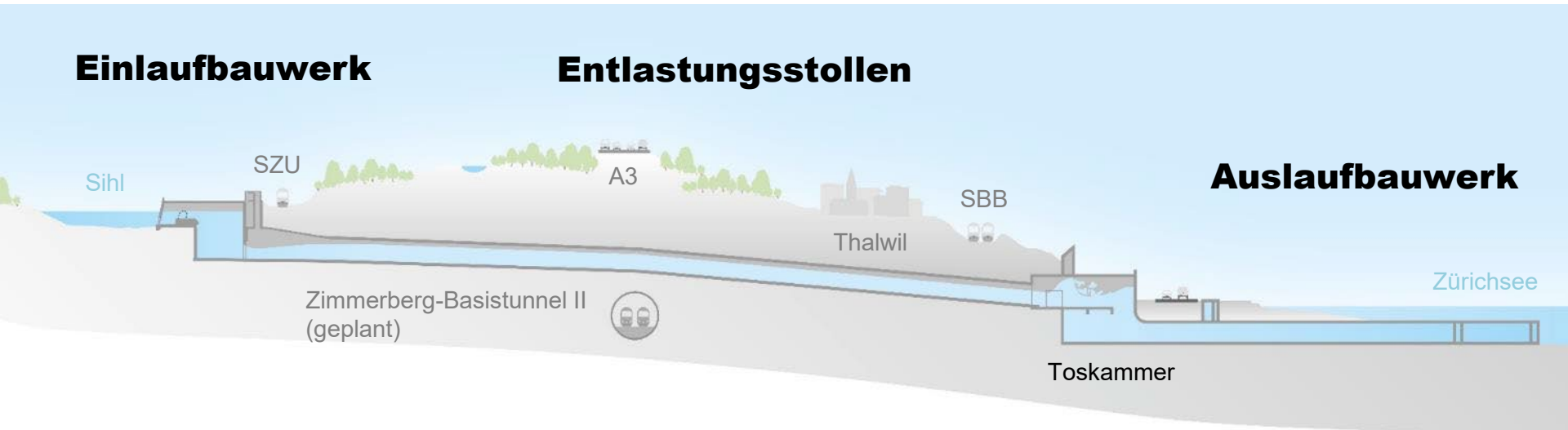
 AWEL, Wasserbau



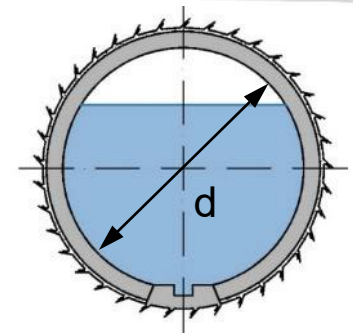
Konzept Entlastungsstollen



Entlastungsstollen



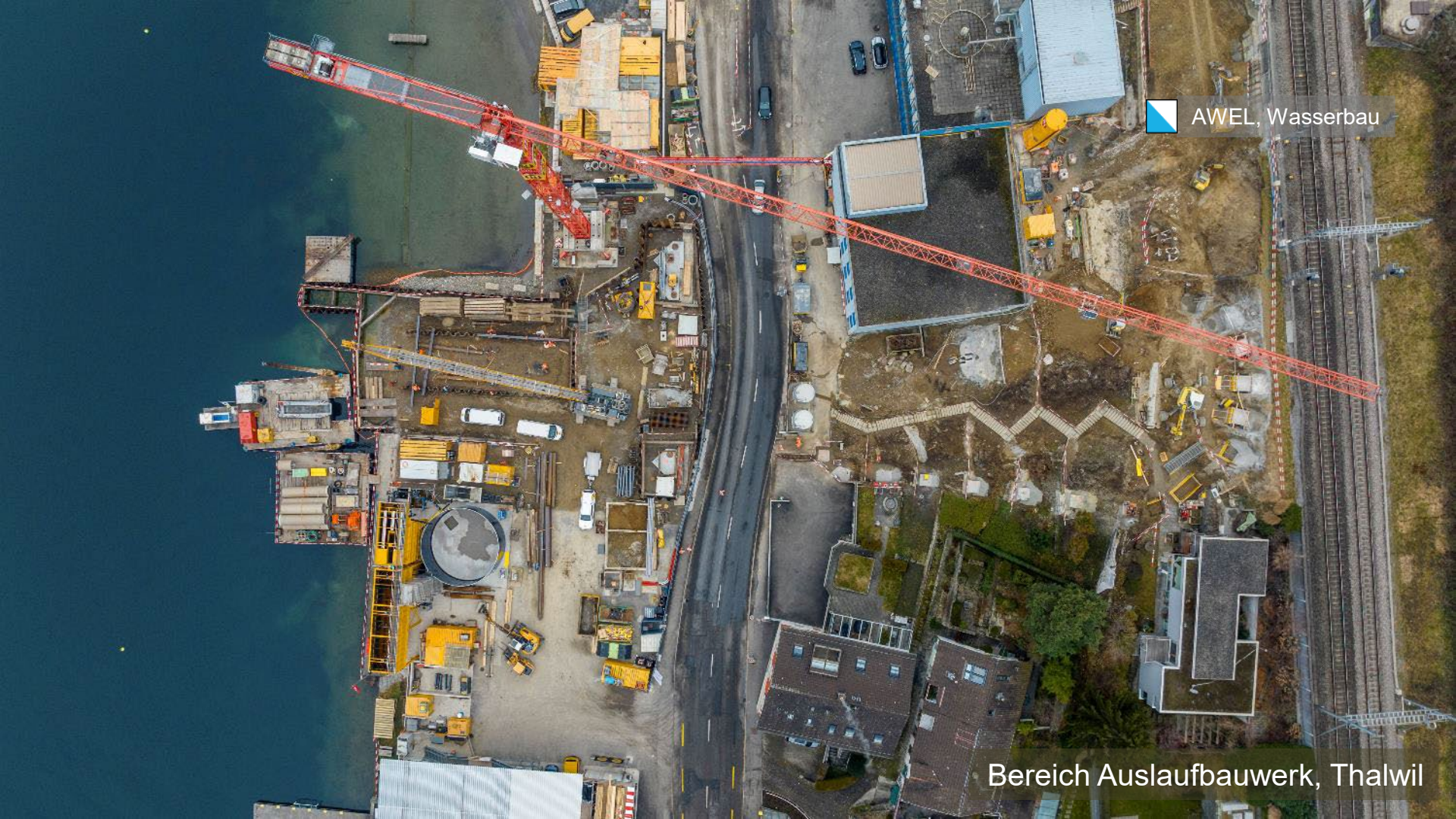
- Stollenlänge ca. 2.1 km
- Stollendurchmesser $d = 6.6$ m (Tübbing, innen)
- Hauptinstallationsplatz und Stollenvortrieb von Seite Sihltal





Fisheye-Aufnahme Baugrube Einlaufbauwerk, Sihlwald





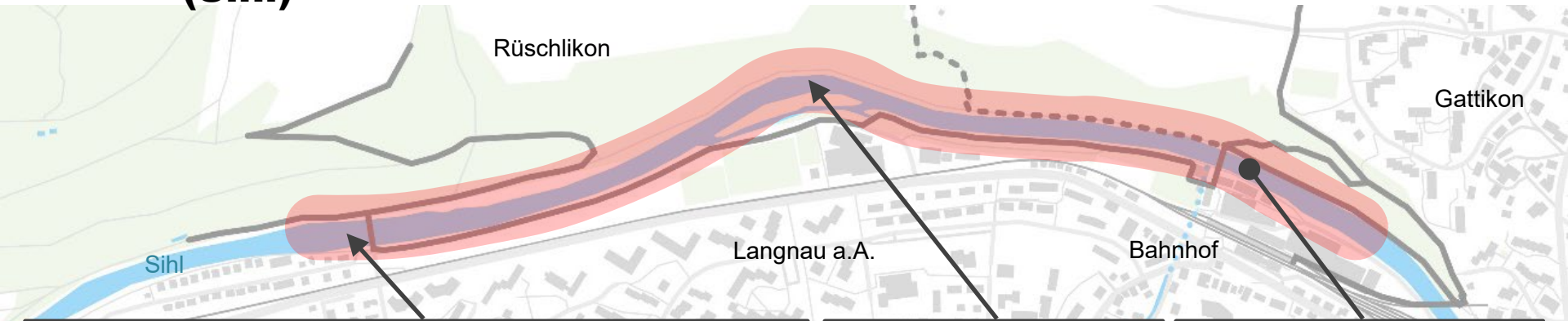
 AWEL, Wasserbau

Bereich Auslaufbauwerk, Thalwil



Ökologische Ersatzmassnahmen (Sihl)

AWEL, Wasserbau



Wehrschwelle (heute)



Blockrampe (Beispielbild)



Aktivierung
Prallufer



Strukturierung
Sihl-Sohle

Ersatz Wehrschwelle Gartendörfli
durch fischgängige Blockrampe

Ökologische Ersatzmassnahmen (Zürichsee)



Seeufer Garnhänki in Richterswil heute

Ökologische Ersatzmassnahmen (Zürichsee)



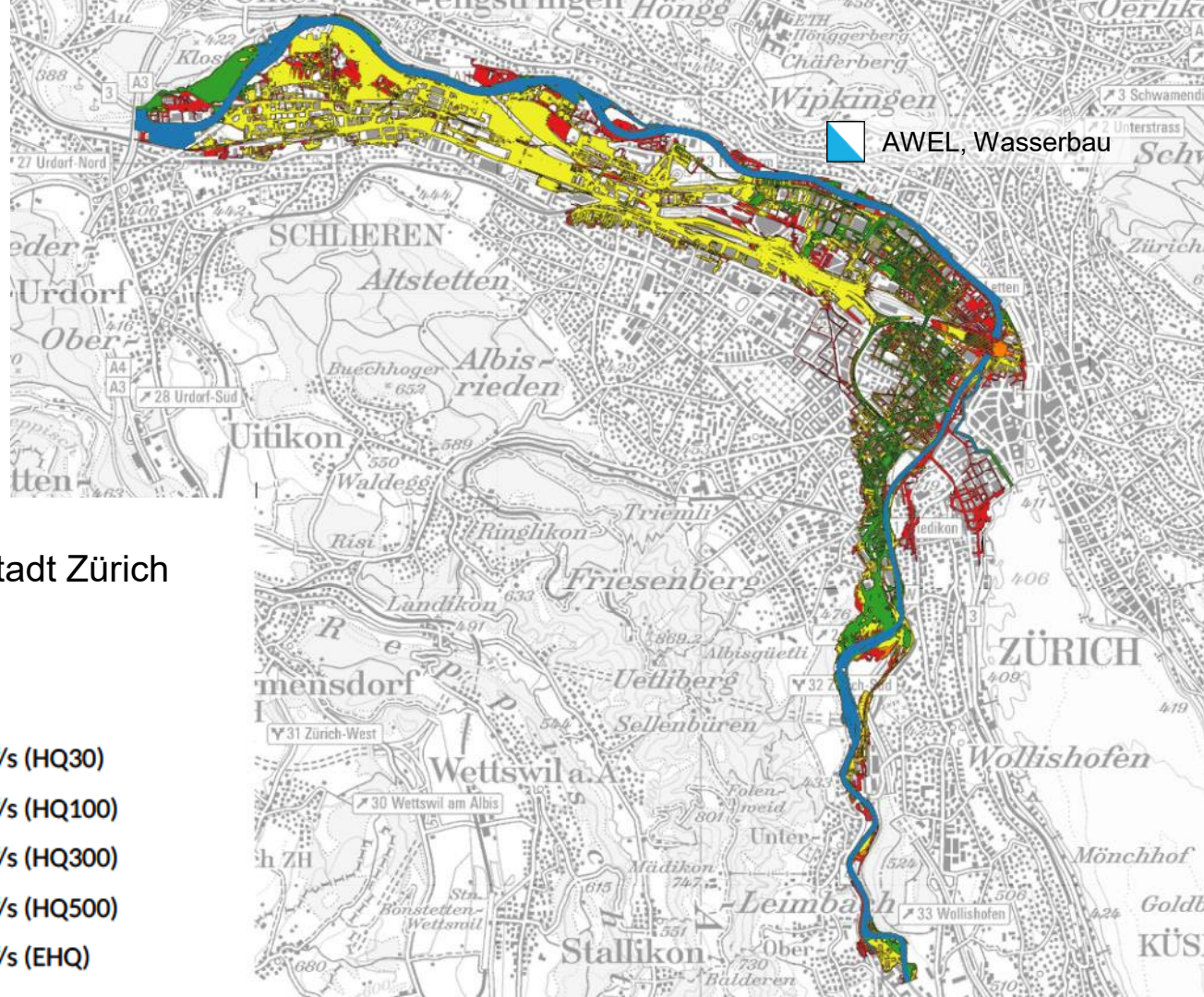
Seeufer Garnhänki mit Flachufer (Schilfgürtel) als ökologischer Ersatz

Kosten

Arbeitsgattung	Total [Fr.]
Erwerb von Grund und Rechten	1 900 000
Technische Arbeiten	30 200 000
Baukosten	131 600 000
Reserven	11 800 000
Total (einschliesslich 7,7 % MWSt)	175 500 000

Die Baukosten der ökologischen Ersatzmassnahmen betragen rund 9% der gesamten Baukosten (131,6 Millionen Franken).

Wirkung



Überflutungsflächen Stadt Zürich heute

Legende

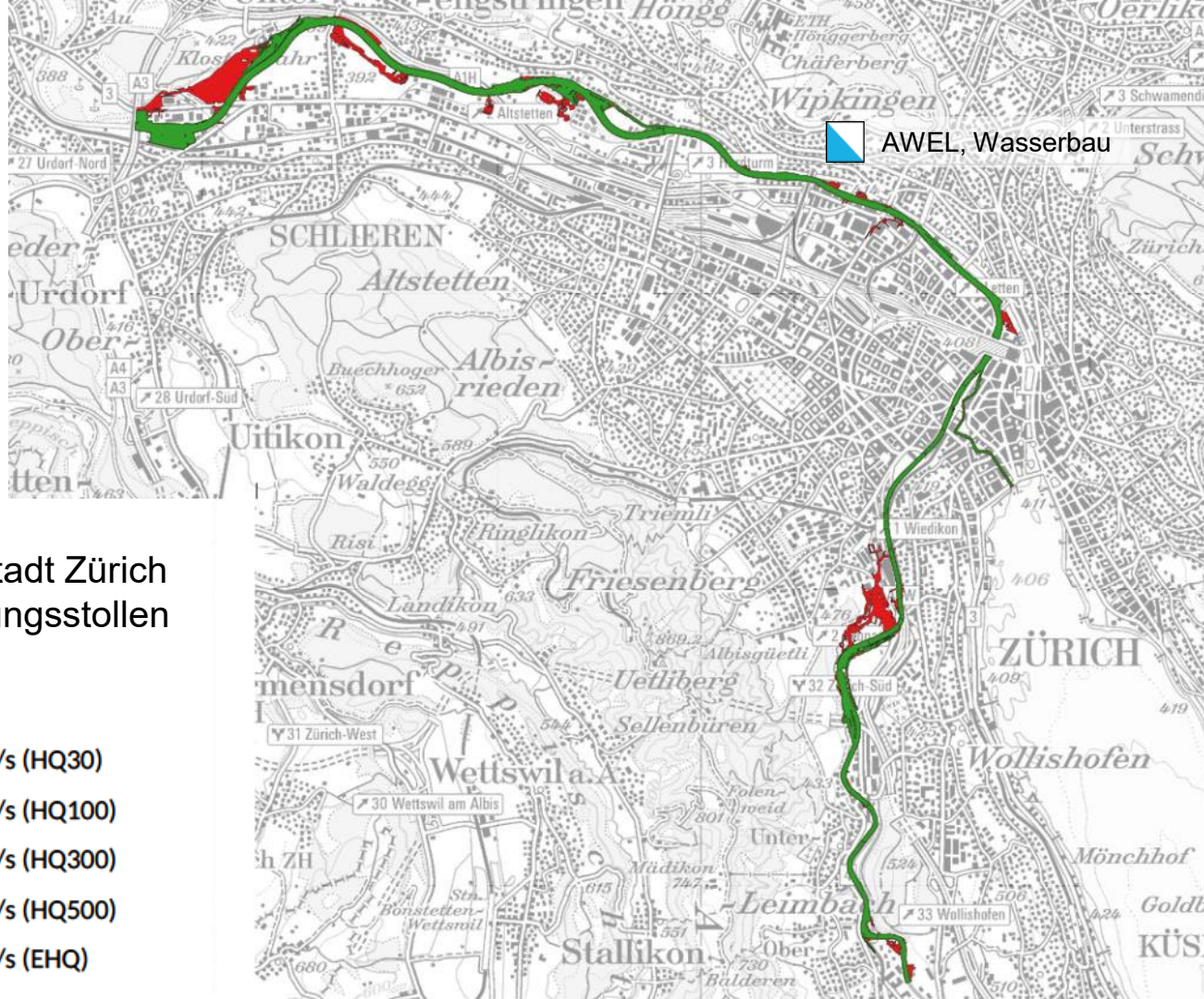
- Überflutungsfläche 320 m³/s (HQ30)
- Überflutungsfläche 430 m³/s (HQ100)
- Überflutungsfläche 540 m³/s (HQ300)
- Überflutungsfläche 600 m³/s (HQ500)
- Überflutungsfläche 750 m³/s (EHQ)

Wirkung

Überflutungsflächen Stadt Zürich
nach Bau HW-Entlastungsstollen

Legende

- Überflutungsfläche 320 m³/s (HQ30)
- Überflutungsfläche 430 m³/s (HQ100)
- Überflutungsfläche 540 m³/s (HQ300)
- Überflutungsfläche 600 m³/s (HQ500)
- Überflutungsfläche 750 m³/s (EHQ)



**Aktuelle Infos auf unserer
Webseite:**

[zh.ch/entlastungsstollen](https://www.zh.ch/entlastungsstollen)



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Herzlichen Dank!

@Stollenreporter

Folgen Sie uns auf
Facebook oder Instagram



MINERVE

Système opérationnel de gestion et de prévision des crues pour le Canton du Valais

Hochwasservorhersage- und -managementsystem für den Kanton Wallis

CREALP - Centre de recherche sur l'environnement alpin

Bastien Roquier

Modélisation des **I**ntempéries de
Nature **E**xtrême du **R**hône
Valaisan et de leurs **E**ffets



1987

• Vallée de Conches



1993

• Brig Salina



1999 - 2000

• Modèle du Valais avec aménagements
• Lancement 3^{ème} correction du Rhône



14-15 Oct. 2000

• 470 Mio. de dégâts en Valais



2001 - 2011

• Projet MINERVE à l'EPFL
• Logiciel Routing System II



Depuis 2011

• Prévission en temps réel au CREALP
• Logiciel de modélisation RS MINERVE



02-03 Oct. 2020

• Crue dans la Vallée de Conche

MINERVE

+20 ans de développement

Crues – 24/25 Août 1987 (Münster / Obergoms)



Crues – 24/25 Août 1987 (Uri)



Crues – 24 Septembre 1993 (Brigue)





Octobre 1999

Le Conseil d'Etat valaisan décide de lancer une première phase d'étude pour la **modélisation des effets des barrages** sur les crues du Rhône et de ses principaux affluents.

Septembre 2000

Le Grand Conseil valaisan décide d'entreprendre la **troisième correction du Rhône** de Gletsch au Léman, en collaboration avec le Canton de Vaud

Crues du Rhône – 15 Octobre 2000 (Saillon)



Crues du Rhône –15 Octobre 2000 (Evionnaz)

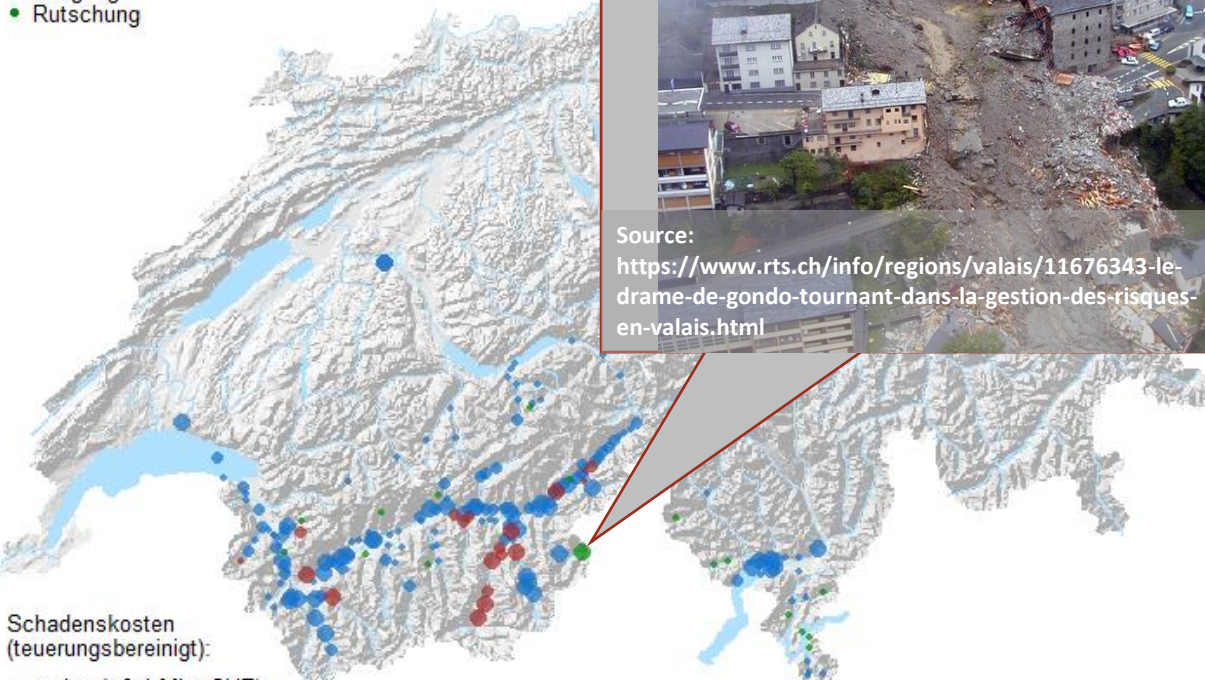


Source: <https://www.lenouvelliste.ch/valais/bas-valais/entremont-district/val-de-bagnes/volleges-/rhone-3-une-crue-devastatrice-le-15octobre-2000-969893>

Oktober 2000

Gondo - 14 Octobre 2000

- Hochwasser
- Murgang
- Rutschung



Source:
<https://www.rts.ch/info/regions/valais/11676343-le-drame-de-gondo-tournant-dans-la-gestion-des-risques-en-valais.html>

Schadenskosten
(teuerungsbereinigt):

- gering (<0.4 Mio. CHF)
- mittel (0.4-2 Mio. CHF)
- gross (>2 Mio. CHF und/oder Todesfall)

Projet MINERVE



1987

- Vallée de Conches



1993

- Brig Salina



1999 - 2000

- Modèle du Valais avec aménagements
- Lancement de la 3ème correction du



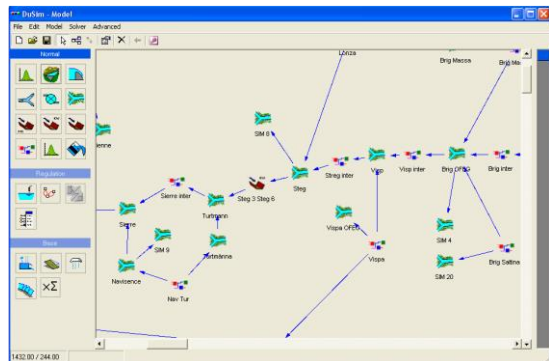
14-15 Oct. 2000

- 470 Mio. de dégâts en Valais



2001 - 2011

- Projet MINERVE à l'EPFL
- Logiciel Routing System II



Système opérationnel MINERVE



1987

• Vallée de Conches



1993

• Brig Salina



1999 - 2000

• Modèle du Valais avec aménagements
• Lancement de la 3ème correction du



14-15 Oct. 2000

• 470 Mio. de dégâts en Valais



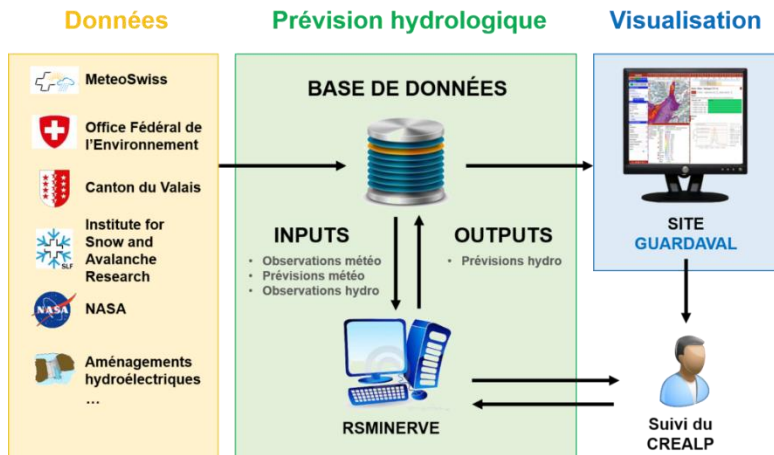
2001 - 2011

• Projet MINERVE à l'EPFL
• Logiciel Routing System II



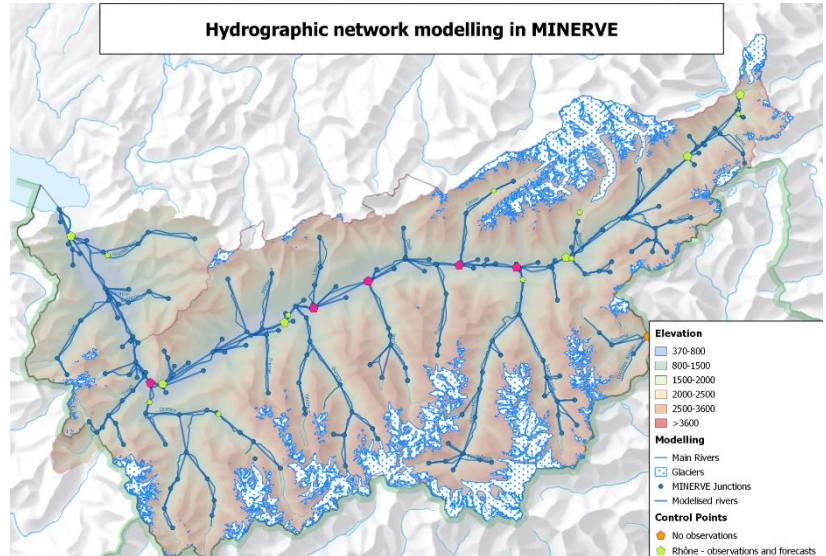
Depuis 2011

• Prédiction en temps réel au CREALP
• Logiciel de modélisation RS MINERVE



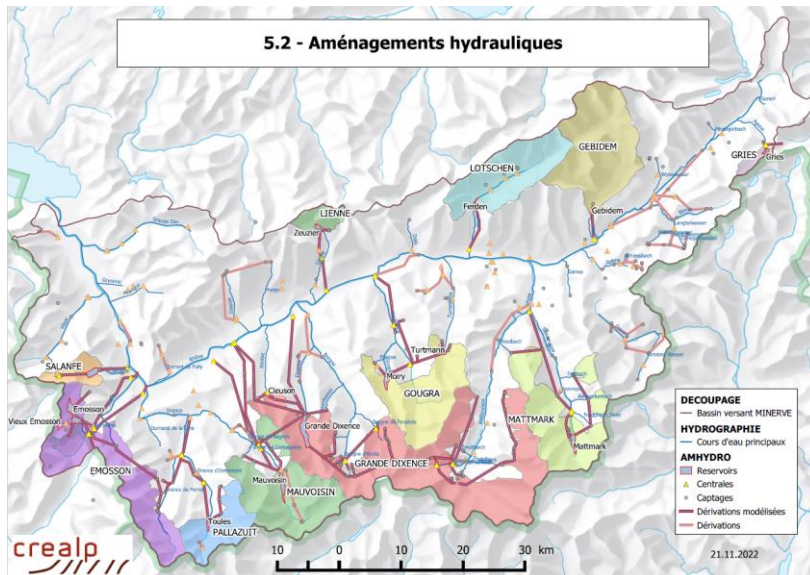
Design du système

- ◆ Logiciel RS MINERVE développé en interne
- ◆ 5'500 km²
- ◆ 257 Sous-bassins
- ◆ 29 points de contrôle



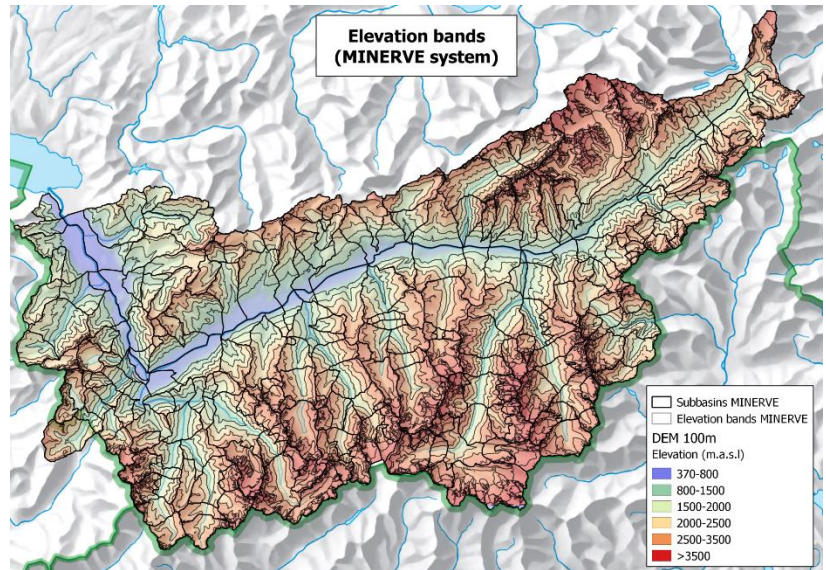
Design du système

- ◆ Logiciel RS MINERVE développé en interne
- ◆ 5'500 km²
- ◆ 257 Sous-bassins
- ◆ 29 points de contrôle
- ◆ Les aménagements hydroélectriques les plus importants



Design du système

- ◆ Logiciel RS MINERVE développé en interne
- ◆ 5'500 km²
- ◆ 257 Sous-bassins
- ◆ 29 points de contrôle
- ◆ Les aménagements hydroélectriques les plus importants
- ◆ 1'440 Bandes d'altitudes



Design du système

- ◆ Logiciel RS MINERVE développé en interne
- ◆ 5'500 km²
- ◆ 257 Sous-bassins
- ◆ 29 points de contrôle
- ◆ Les aménagements hydroélectriques les plus importants
- ◆ 1'440 Bandes d'altitudes



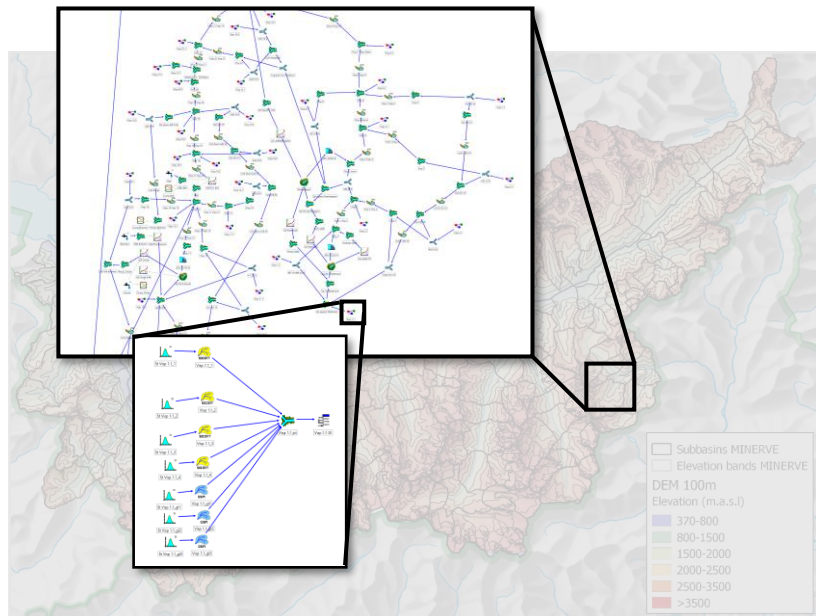
SOCOINT



HBV

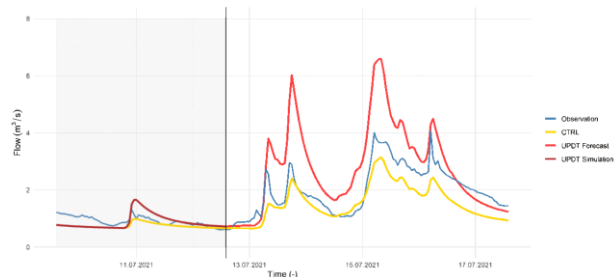
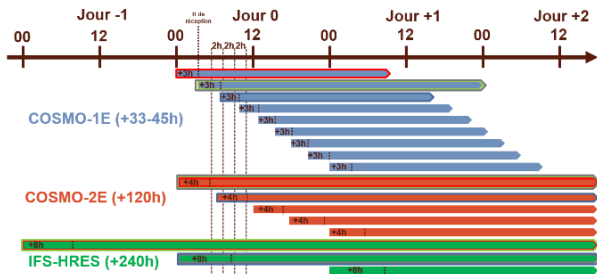
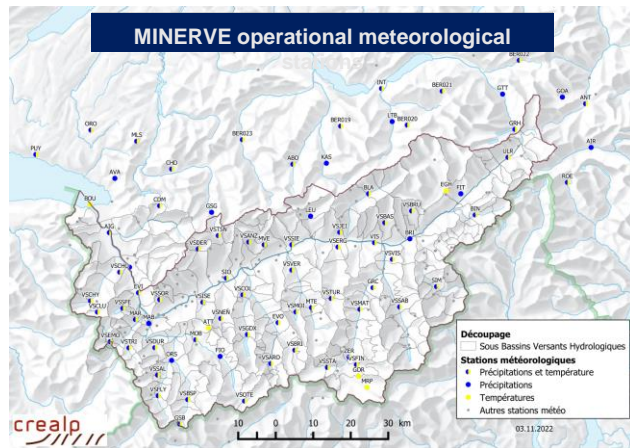


GSM



Fonctionnement en temps réel

- **100+** stations météo and **29** points de contrôle.
- **7+** produits météorologiques intégrés en temps réel
- 34 simulations **12x/jour**



Météorologue et hydrologue



Source: <https://www.rts.ch/play/tv/redirect/detail/11678562>

Observateurs dangers naturels



Source: <https://canal9.ch/fr/les-observateurs-des-dangers-naturels>

Etats Majors / OCC



Source: <https://www.lenouvelliste.ch/valais/intemperies-en-valais-retrouvez-les-temps-forts-de-ce-lundi-730765>

Pompiers, police, PC, serv tech



Source: <https://www.lenouvelliste.ch/valais/valais-central/sion-district/sion-recoit-des-digues-mobiles-pour-prevenir-les-crues-865658>





1987

• Vallée de Conches



1993

• Brig Salina



1999 - 2000

• Modèle du Valais avec aménagements
• Lancement de la 3ème correction du



14-15 Oct. 2000

• 470 Mio. de dégâts en Valais



2001 - 2011

• Projet MINERVE à l'EPFL
• Logiciel Routing System II



Depuis 2011

• Prévission en temps réel au CREALP
• Logiciel de modélisation RS MINERVE



02-03 Oct. 2020

• Crue dans la Vallée de Conche

Crue du 3 Octobre 2022

Vallée de Conches



© Canton du Valais

Déroulement d'un événement

30.09



01.10



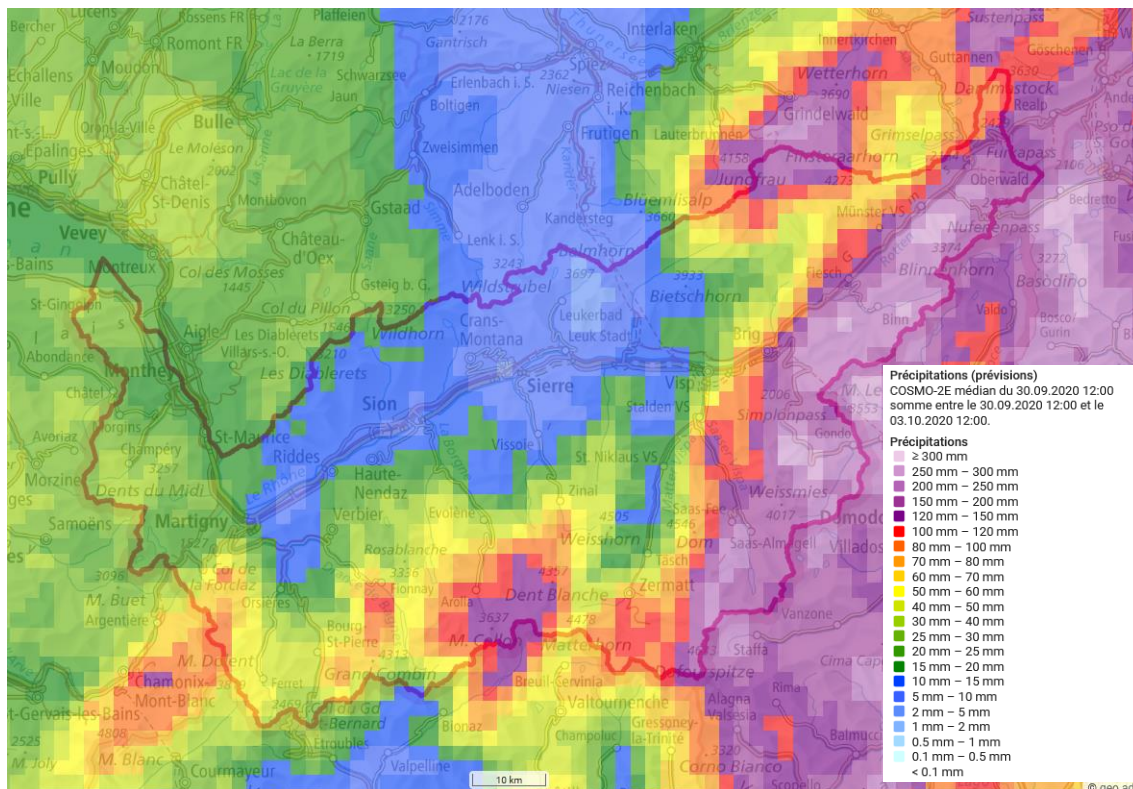
02.10



03.10
(Matin)



03.10
(Après-midi)



30 Septembre

30.09

01.10

02.10

03.10
(Matin)

03.10
(Après-midi)

Chronologie

- Annonce d'événement par MétéoSuisse fortes précipitations venant du sud-est à partir du 02.10 avec des **cumuls de 55 mm à 140 mm en l'espace de 18 heures**.
- Régions: du Val Ferret à la région du Simplon ainsi que tout le Haut-Valais.
- L'altitude de la limite pluie-neige variant de 2600 m vendredi et à 1500 m samedi.

Décisions

- Le CREALP **informe les responsables cantonaux** des futures prévisions météorologiques et hydrologiques.

1^{er} Octobre



Chronologie

- MétéoSuisse lance des **alertes de précipitations** (degré 3 et 4 selon les régions) allant du vendredi 02.10 à 00h jusqu'au samedi 12h pour la région allant **du Val Ferret à la région du Simplon et le Haut-Valais**.
- L'OFEV émet également une **alerte de crue de degré 2 pour le Haut-Valais**, la région du Simplon ainsi que la région de la Vispa.

Décisions

- Le CREALP passe en mode **Vigilance**.
- Séance avec l'OCCR3 planifiée le matin du 02.10.2020 pour aborder:
 - les prévisions des crues
 - les accès au portail Guardaval
 - les dispositions particulières pour le weekend

1^{er} Octobre

30.09

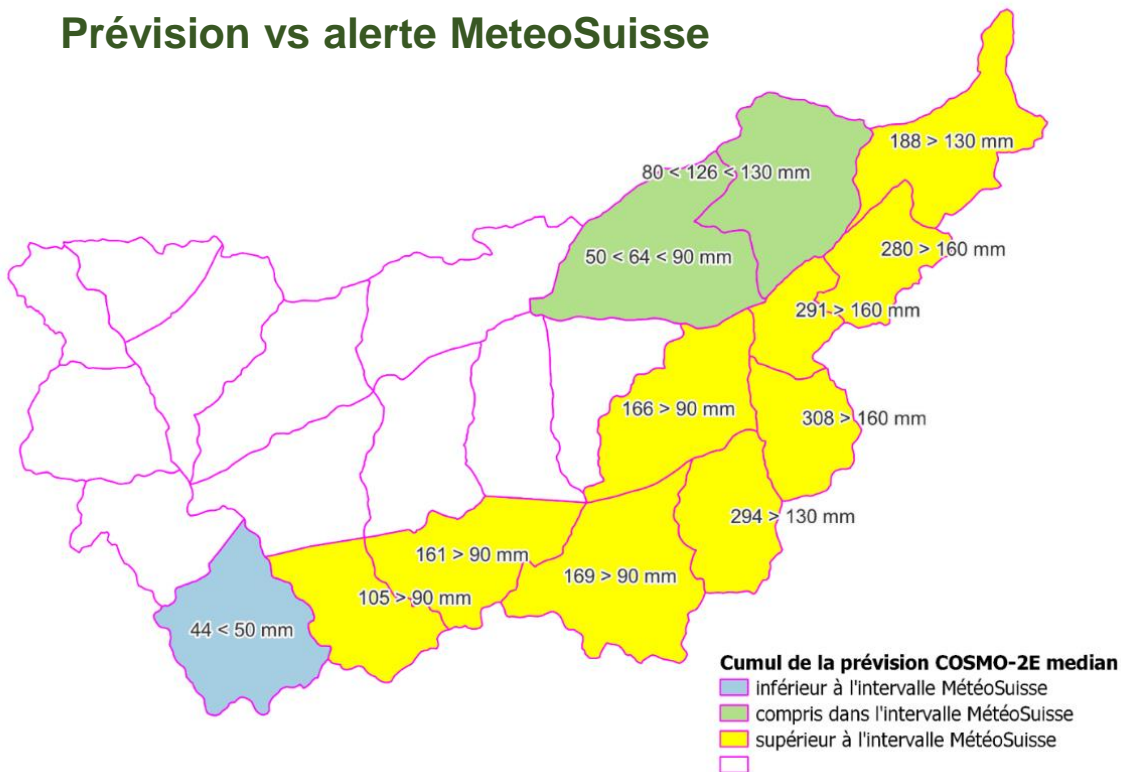
01.10

02.10

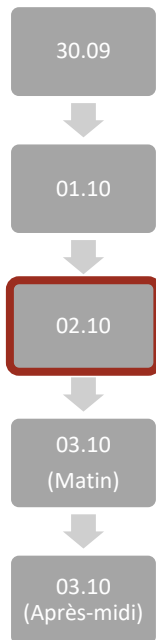
03.10
(Matin)

03.10
(Après-midi)

Prévision vs alerte MeteoSuisse



2 Octobre



Chronologie

- Les modèles météo et hydro confirme l'arrivée d'un événement de grande ampleur, bien qu'il existe une **forte dispersion entre les valeurs des débits maximaux prévus**.
- **Alertes de degré 4 émises par MétéoSuisse pour le Simplon, le Binntal, la région d'Aletsch et Obergoms**, à partir du 02.10 à 00h00 avec des cumuls de 80 mm à 160 mm en l'espace de 36 heures.
- Le seuil 1 (niveau de danger 2) est dépassé à **Reckingen et Brig** en fin de journée.

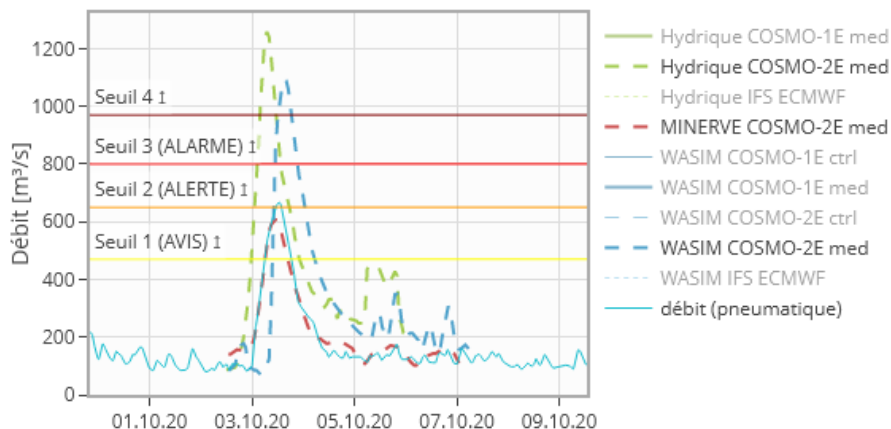
Décisions

- 08h00 séance avec l'OCCR3 et le SFCEP pour suivre la situation.
- Contact avec les **aménagements hydroélectriques** pour connaître la situation (niveaux d'eau, capacité de stockage supplémentaire, plans de turbinage prévus...).
- 13h30 séance OCC est organisée à 13h30, durant laquelle il est décidé d'envoyer une **pré-alerte Rhône**.
- 18h00 séance OCC pour le déclenchement de **l'ALERTE pour le Haut Valais et le Valais central**.

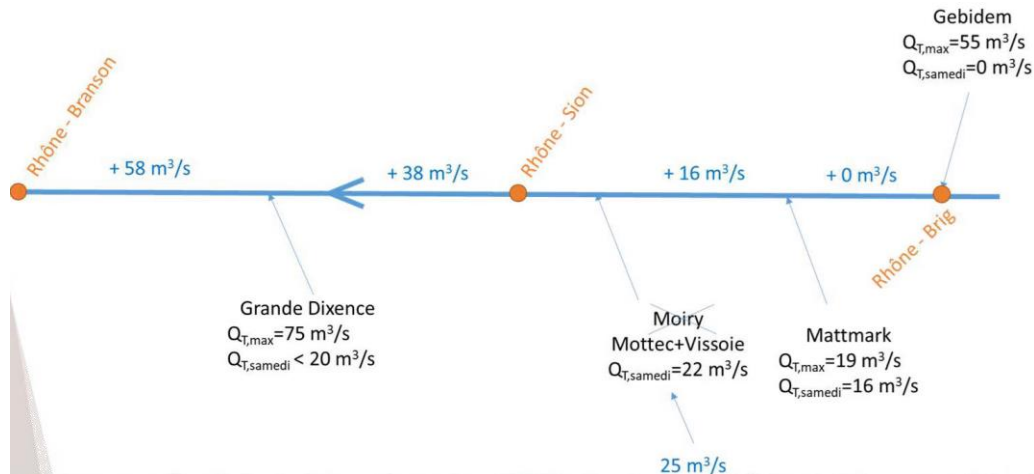
2 Octobre



Prévision du Rhône à Branson (02.10.22 à 13h)



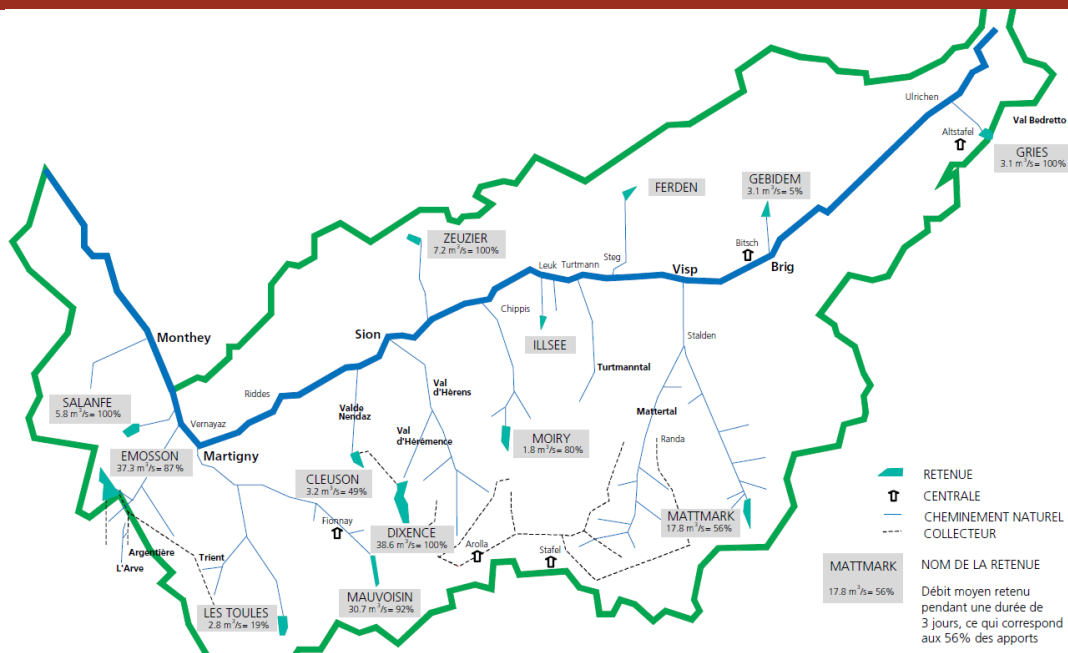
Impact des aménagements hydroélectriques



Il n'y a pas de nécessité d'agir sur le turbinage des aménagements :

- L'impact des débits turbinés prévus n'est pas significatifs
- Le niveau des principaux barrages permet d'absorber les débits de crue

Effets des barrages sur les débits de crue



Bassin versant	Événement d'août 1987		Événement de septembre 1993		Événement octobre 2000	
	Q _{effectif} m ³ /s	Q _{naturel} m ³ /s	Q _{effectif} m ³ /s	Q _{naturel} m ³ /s	Q _{effectif} m ³ /s	Q _{naturel} m ³ /s
Rhône à Brigue	495	521	460	462	560	583
Vispa à Visp	278	450	330	494	200	257
Rhône à Sion	775	1045	830	1054	910	1035
Rhône à Branson	820	1029	930	1091	980	1080
Drance à Martigny	—	—	86	163	180	env. 275
Rhône Porte du Scex	1004	1318	1088	1350	1370	1600

Source: OFEG (2002). Les crues 2000. Analyse des événements, cas exemplaires. Rapports de l'OFEG, Série Eaux, Nr. 2. Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Berne.

Matin du 3 Octobre



Chronologie

- Les précipitations sont conséquentes durant la nuit, principalement sur les crêtes, avec une forte concentration sur le Simplon.
- Le **seuil 3 est dépassé à Reckingen**. Le seuil 2 est dépassé à Brig. Le seuil 1 est dépassé à Sion, à Branson et à la Porte du Scex.

Décisions

6h00 Séance OCC :

- Les **débits des cours d'eau montent plus rapidement que les projections** des modèles (environ 3h de retard).
- On observe une **diminution des précipitations** prévues sur le bassin de la Vispa, la Navisence et la Borgne et une augmentation sur la vallée de Conche.

Il est décidé de :

- Passer en **niveau d'ALARME pour le haut-Valais** dès 08h00.
- Maintenir le niveau d'ALERTE pour le Valais central jusqu'à nouvel avis.
- Évaluer le niveau d'ALERTE pour le bas-Valais à 10h00.

Matin du 3 Octobre



Matin du 3 Octobre

30.09

01.10

02.10

03.10
(Matin)

03.10
(Après-midi)



Après-midi du 3 Octobre



Chronologie

- MétéoSuisse émet sa prévision pour le samedi 3 octobre, avec un risque modéré de dépasser le seuil 50mm/6h pour le Haut Valais.
- MétéoSuisse envoie la **fin des alertes et avis degré 2, 3 et 4**.
- Le seuil 2 est dépassé brièvement à Branson vers 13h.

Décisions

15h30 séance OCC :

- Les fortes précipitations sont terminées.
- Des précipitations sont annoncées dans la région du Simplon, principalement sous forme de **neige**.
- Une **forte décrue est constatée dans le Haut-Valais** (Reckingen, Saltina, Brig). Les modèles concordent pour indiquer qu'il n'y aura pas de remontée.
- Pour le Rhône, les pointes de crue sont passées.

Il est décidé de :

- Lever les états de pré-alerte, alerte et alarme RHONE et intempéries pour 16h30

| Précipitations mesurées

30.09



01.10



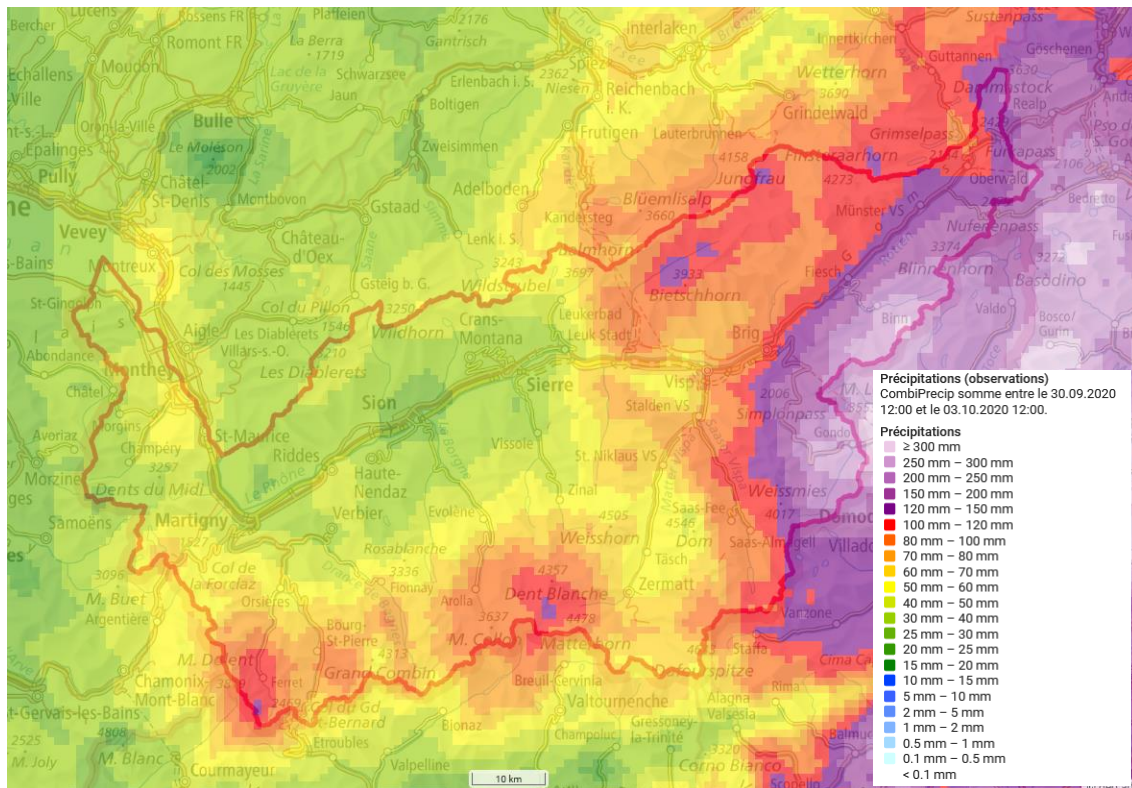
02.10



03.10
(Matin)



03.10
(Après-midi)



| Débits mesurés

30.09

01.10

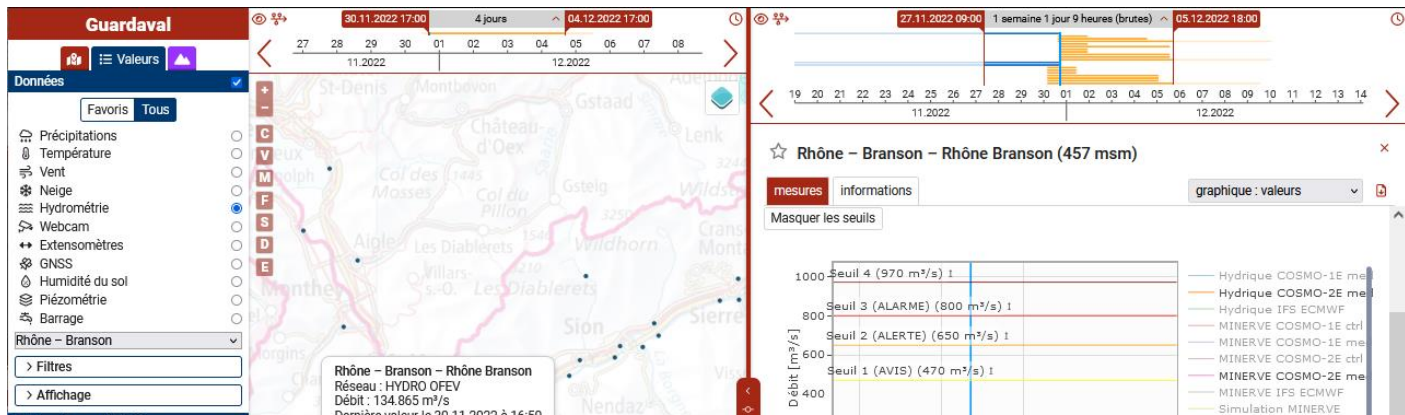
02.10

03.10
(Matin)

03.10
(Après-midi)

Station	Débit maximal enregistré (date)	Période de retour [années]	Niveau de danger
Rhône – Gletsch	20.16 m ³ /s (03.10.2020 01:15)	2.33	2
Rhône – Reckingen	174.49 m ³ /s (03.10.2020 08:30)	56	4
Rhône – Brig	407.20 m ³ /s (03.10.2020 07:00)	15	3
Saltina Brig	59.45 m ³ /s (03.10.2020 05:40)	15	3
Krummbach – Klusmatten	13.95 m ³ /s (03.10.2020 05:00)	5	2
Vispa – Visp	97.45 m ³ /s (03.10.2020 07:10)	1.55	1
Rhône – Sion	578.58 m ³ /s (03.10.2020 10:25)	6	2
Rhône – Branson	653.28 m ³ /s (03.10.2020 12:40)	10	3
Drance – Martigny	76.6 m ³ /s (03.10.2020 06:40)	5	2
Rhône – Porte du Scex	786.85 m ³ /s (03.10.2020 14:45)	6	2

Système MINERVE – Plateforme GUARDAVAL



Météo

Inondations

Instabilités de terrain

Acknowledgements



Service des Dangers Naturels

Tristan Brauchli
Theo Baracchini