



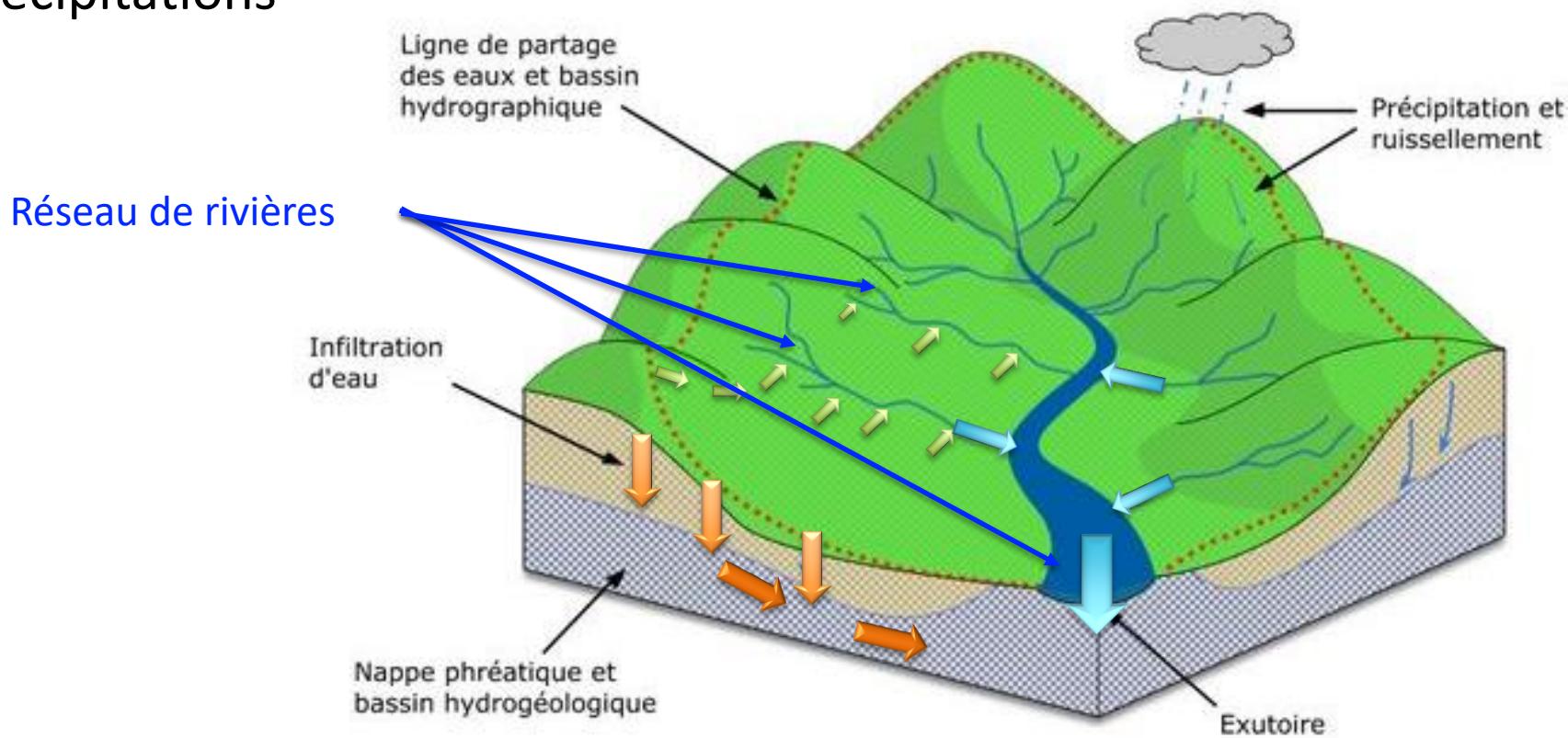
Comment maîtriser la rivière ?

**Sébastien Erpicum, Pierre Archambeau,
Benjamin Dewals, Michel Pirotton**
Verviers - 13 mai 2024

Une rivière...

... ne se maîtrise (presque) pas.

Concentration des écoulements gravitaires résultant des précipitations



Plan de l'exposé

Une rivière

- Se maîtrise (un peu)
- Doit être comprise et respectée
- S'aménage

Il faut parfois s'en protéger (dans les limites du possible)

le tout illustré dans le contexte de la Wallonie et de la Vesdre en particulier

Maîtrise de la rivière

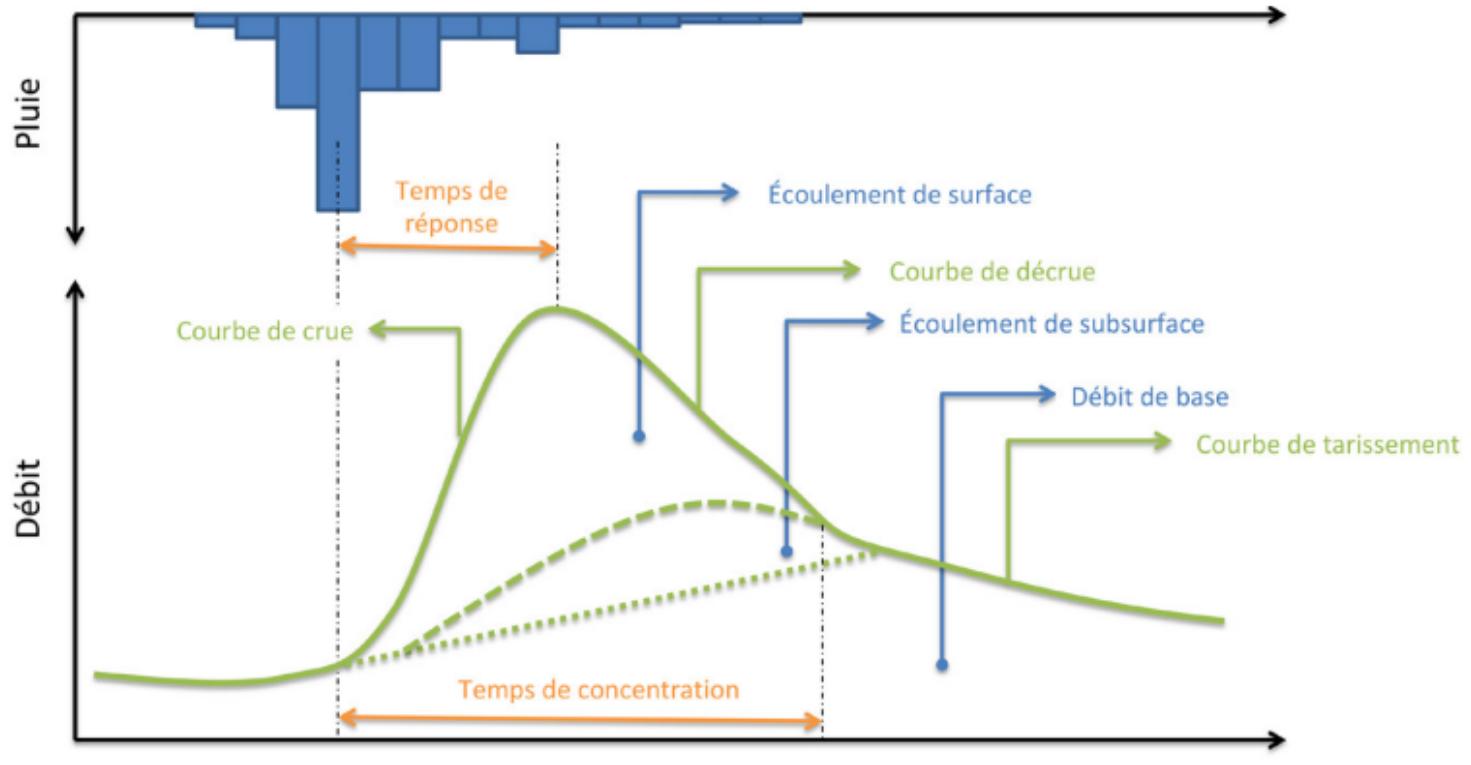
Contrôle de la rivière = contrôle du débit
(débit = quantité d'eau qui s'écoule par unité de temps)

- Retenir les eaux de précipitations sur le bassin versant pour étaler dans le temps leur écoulement vers les rivières
- Stocker (temporairement) l'eau dans des réservoirs (de barrage)

Maîtrise de la rivière: aménagement du bassin versant

Objectif:

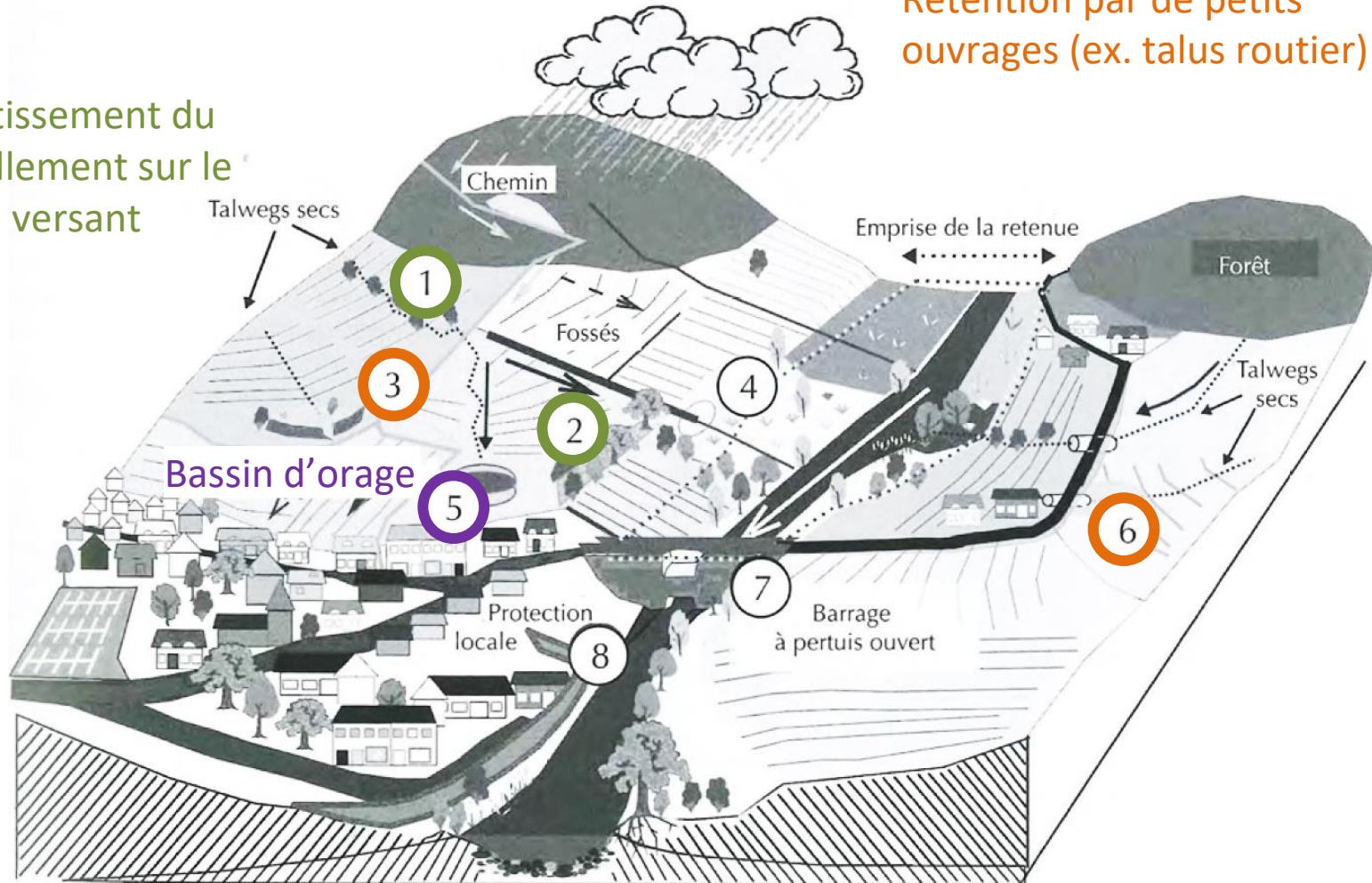
- Favoriser l'infiltration
- Ralentir les écoulements de surface



Maîtrise de la rivière: aménagement du bassin versant

Ralentissement du ruissellement sur le bassin versant

Rétention par de petits ouvrages (ex. talus routier)



Maîtrise de la rivière: aménagement du bassin versant

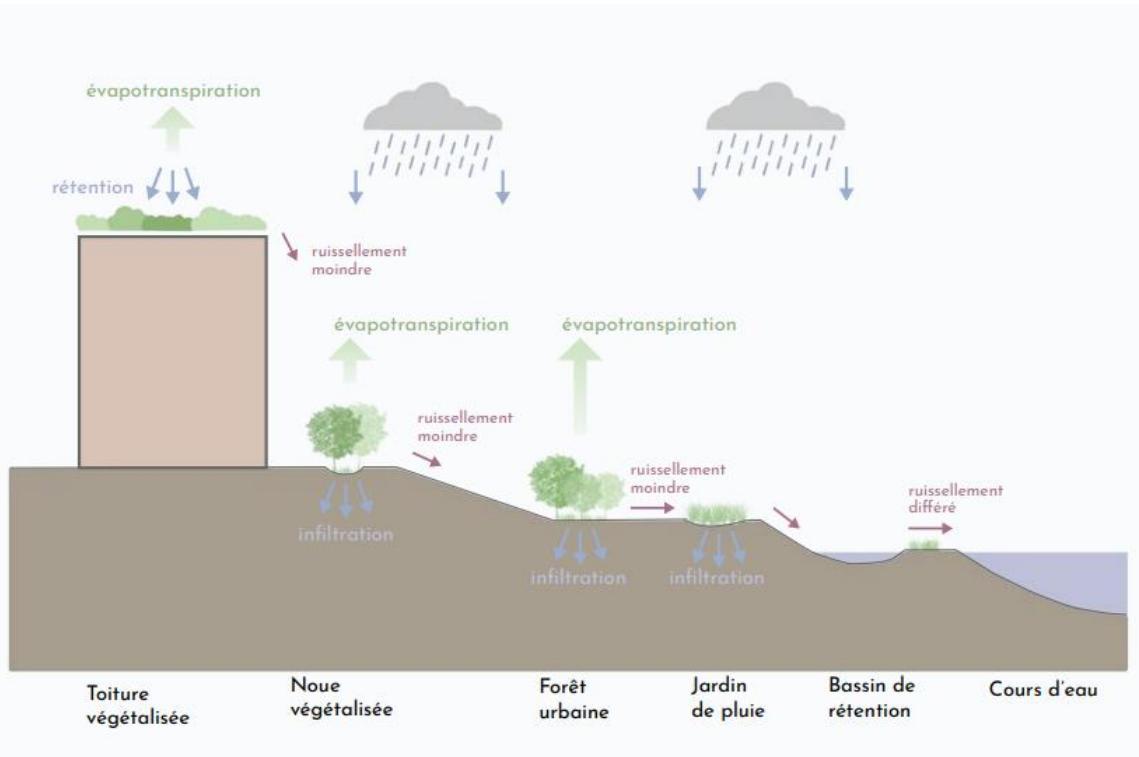


Figure 4. Différents dispositifs d'infiltration fondés sur la nature respectant la hiérarchie des exutoires.

RÉFÉRENTIEL

Gestion durable des eaux pluviales



EDIWALL



<https://ediwall.wallonie.be/referentiel-constructions-et-amenagements-en-zone-inondable-2022-numerique-107594>

Maîtrise de la rivière: stockage

Objectif:

- Diminuer le débit dans la rivière en stockant l'eau dans un réservoir

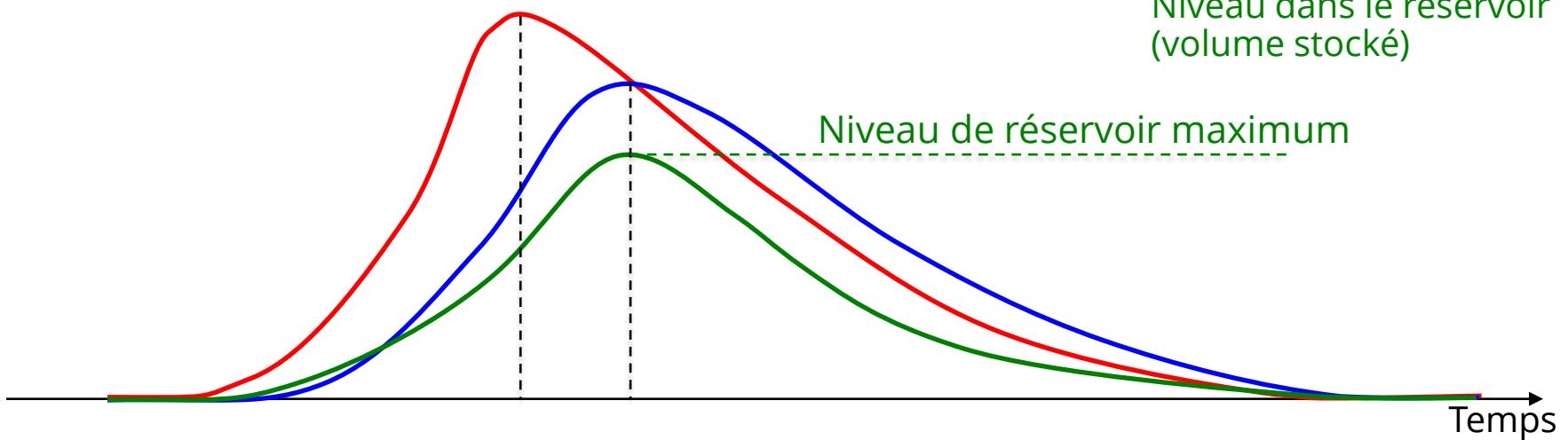


Source: RTBF

Maîtrise de la rivière: stockage

Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

Débit amont (entrant dans le réservoir)
Débit aval (lâché par le barrage)
Niveau dans le réservoir (volume stocké)

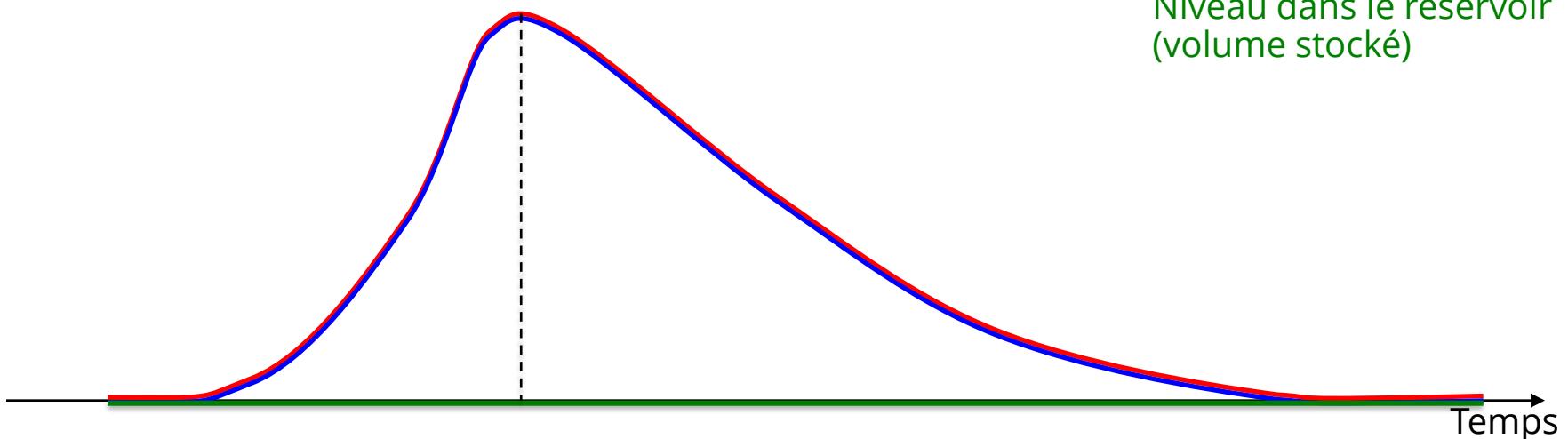


Maîtrise de la rivière: stockage

Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

Si aucune capacité de stockage

Débit amont (entrant dans le réservoir)
Débit aval (lâché par le barrage)
Niveau dans le réservoir (volume stocké)

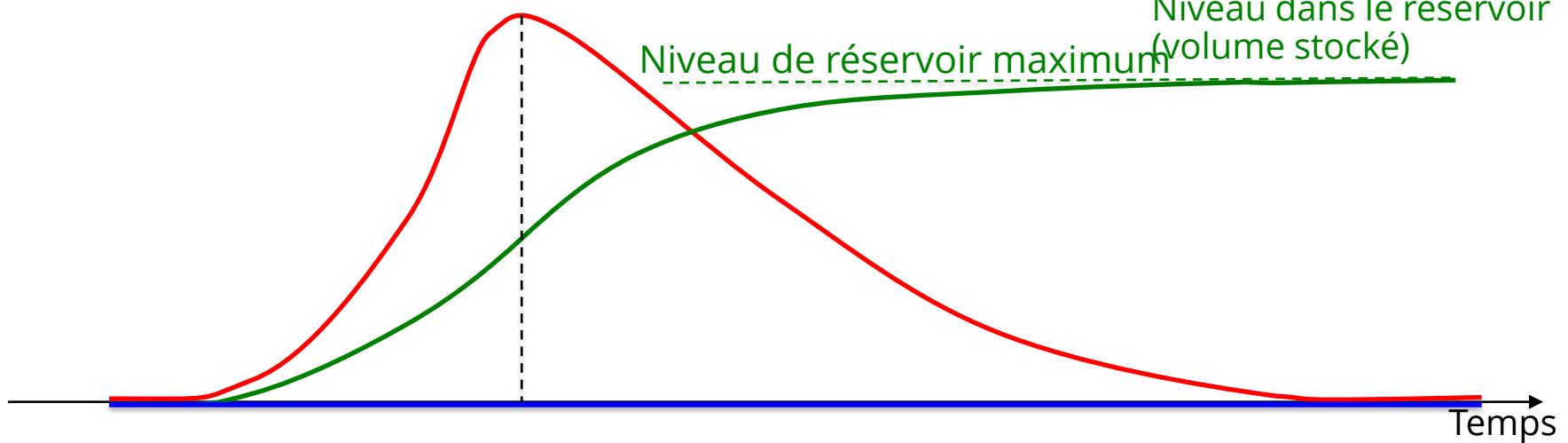


Maîtrise de la rivière: stockage

Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

Si capacité de stockage égale ou supérieure au volume de la pluie

Débit amont (entrant dans le réservoir)
Débit aval (lâché par le barrage)
Niveau dans le réservoir (volume stocké)



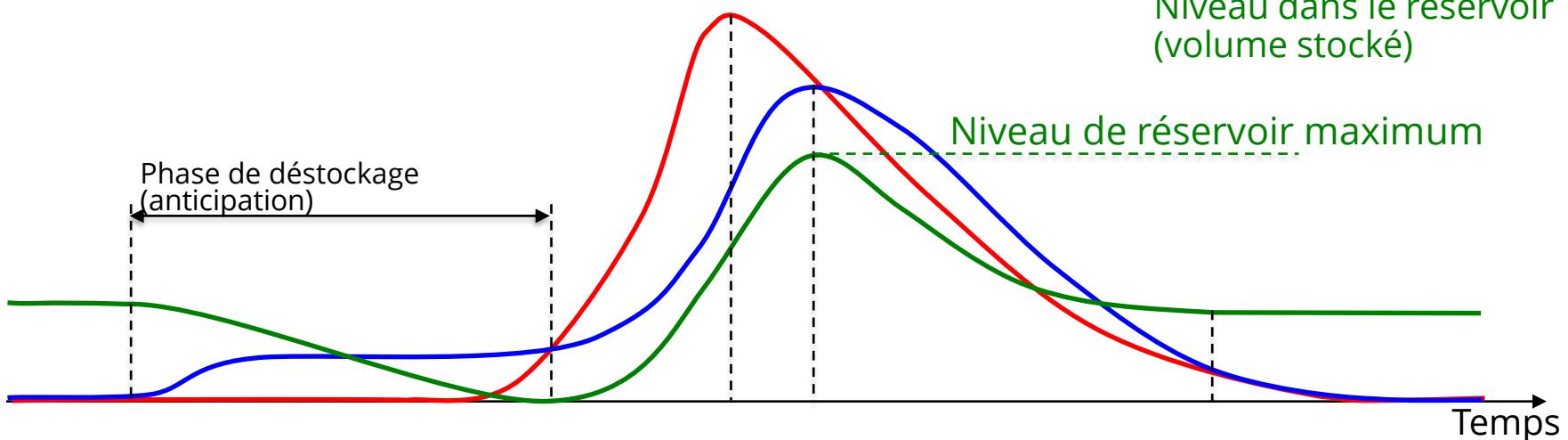
Maîtrise de la rivière: stockage

Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

Notion de déstockage

Débit amont (entrant dans le réservoir)
Débit aval (lâché par le barrage)

Niveau dans le réservoir (volume stocké)



Maîtrise de la rivière: stockage

Exemple de la crue de juillet 2021



Maîtrise de la rivière: stockage

Exemple de la crue de juillet 2021

	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

Maîtrise de la rivière: stockage

Exemple de la crue de juillet 2021

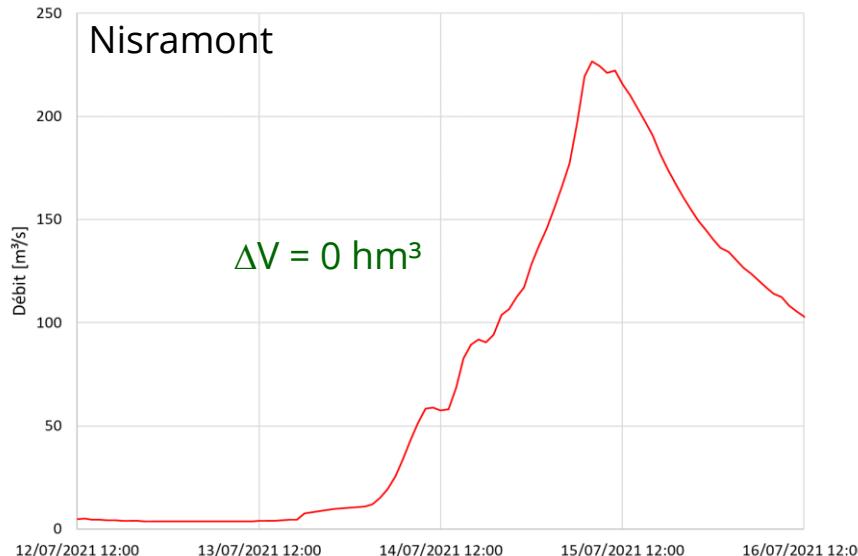
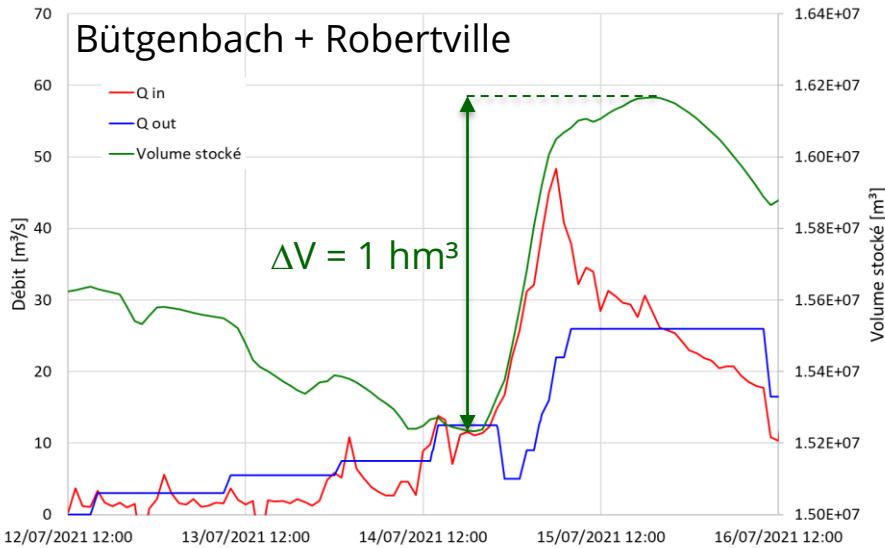
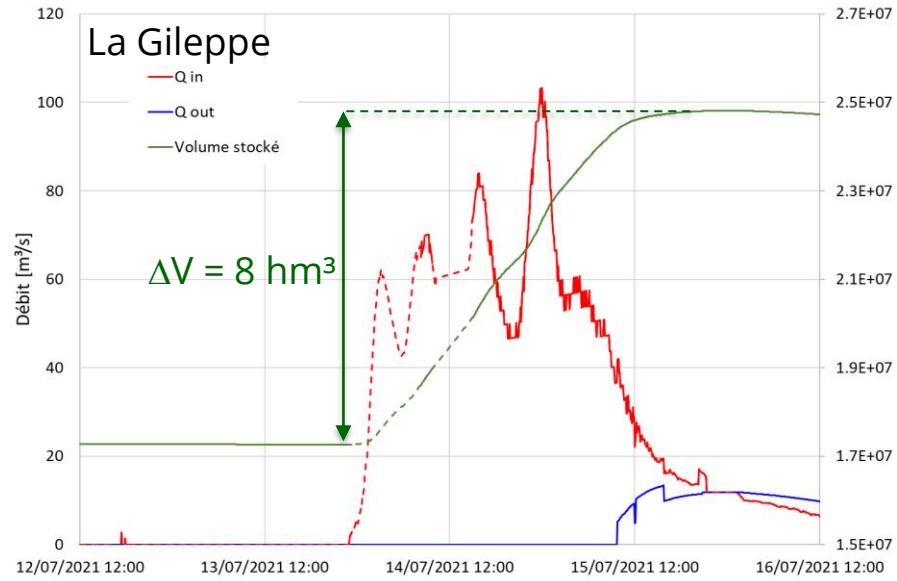
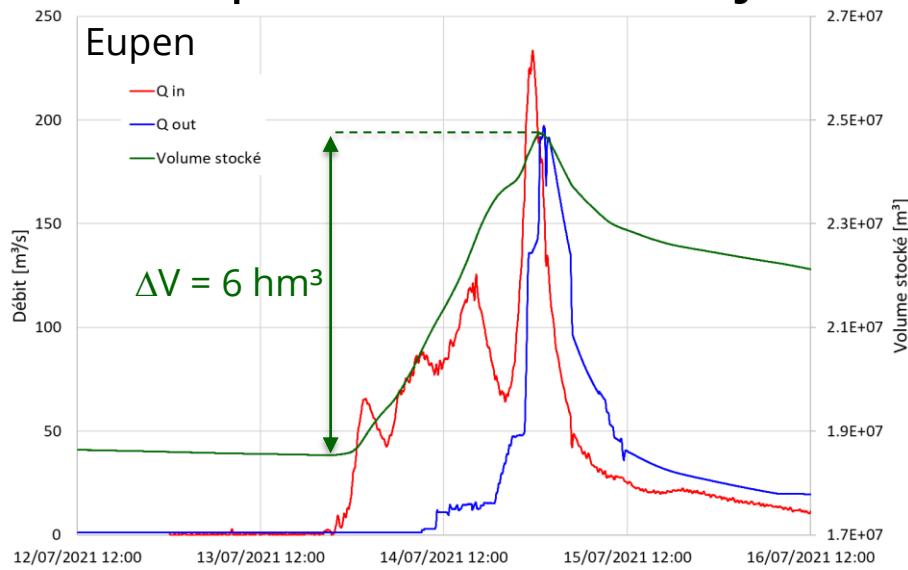
	Eupen	La Gileppe	Bütgenbach + Robertville	Nisramont
BV [km²]	70 (+ 37)	35 (+ 20)	71 + 47	729
V_{rés} [hm³]	25	26,4	11 + 7,7	3
EVC [m³/s]	230	185	100 / 200	427
V_{pluie} [hm³]*	12,1 (+ 6,6)	8,5 (+ 4,1)	7,6 + 4,3	-
V_{in} [hm³]*	9,9 (+ 2,5)**	6,6 (+ 2,1)**	4,9	30,6
V_{in}/V_{pluie} [%]*	82	77	41	-
V_{in}/V_{rés} [%]*	50	33	26	1020
V_{out} [hm³]*	9,3	1,4	4,7	30,6
Q_{max, in} [m³/s]	235	104	48	227
Q_{max, out} [m³/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

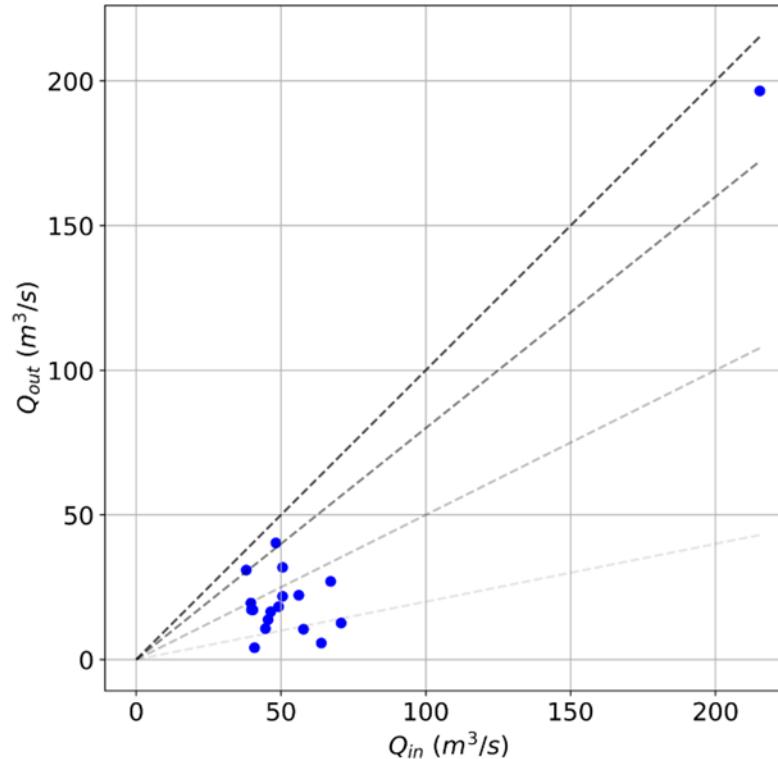
Maîtrise de la rivière: stockage

Exemple de la crue de juillet 2021



Maîtrise de la rivière: stockage

---- No damping ---- 20% damping - - - 50% damping - . - . - 80% damping



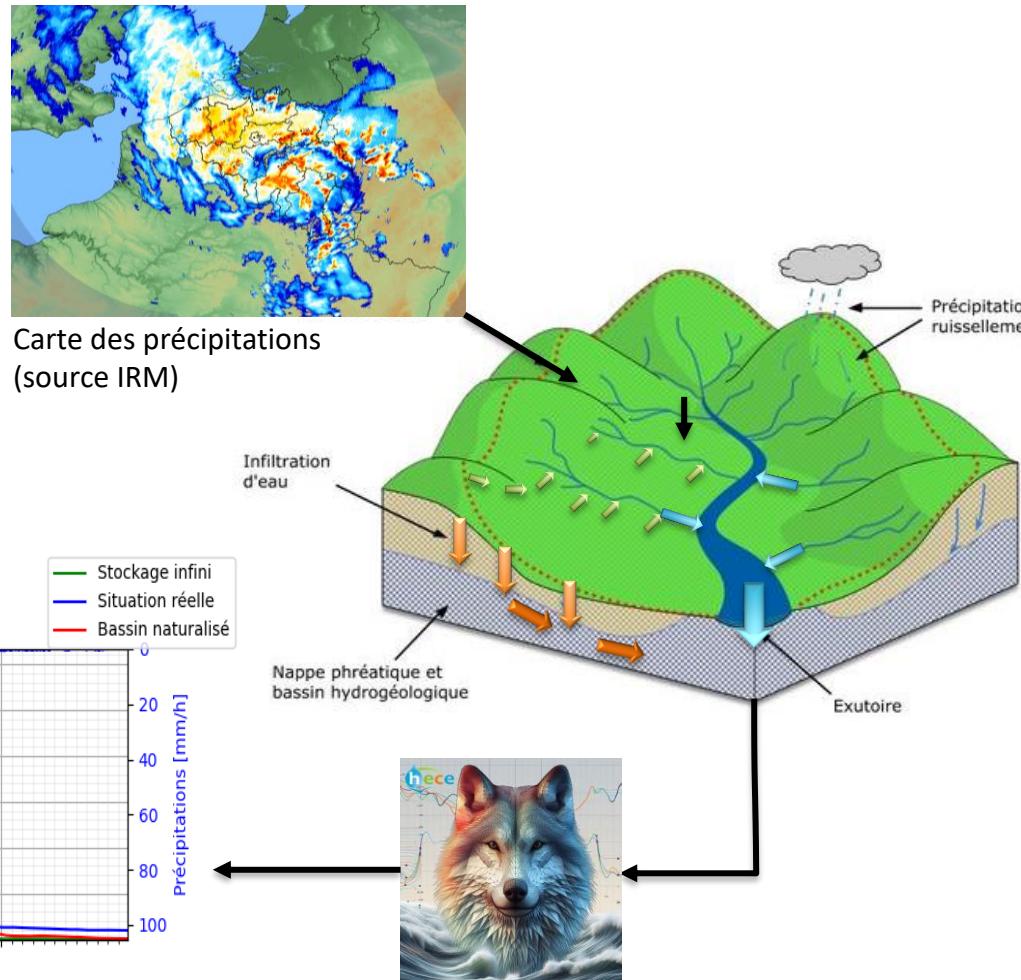
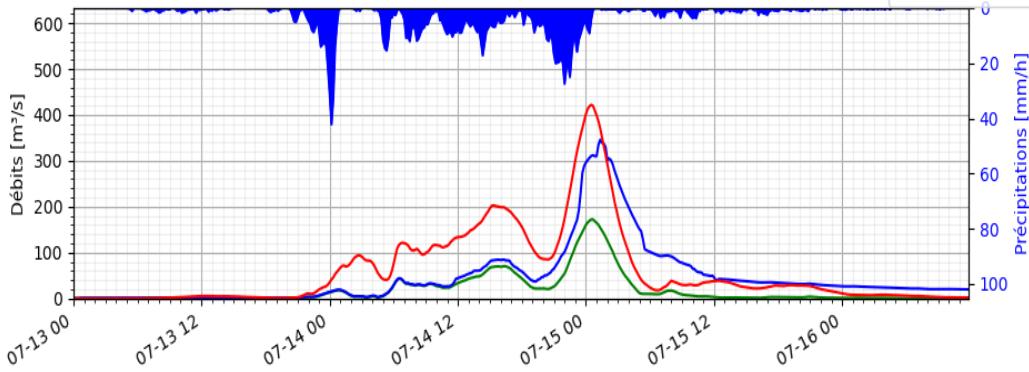
Effet d'atténuation des crues par le barrage d'Eupen sur les 18 événements les plus importants de la période 1995-2022

Source: Chakraborty et al., submitted

Comprendre et respecter la rivière

Modèles pluie/débit/hauteur

- scénarios hydrologiques
- impact d'aménagements du bassin versant
- plan de gestion (y compris des ouvrages)

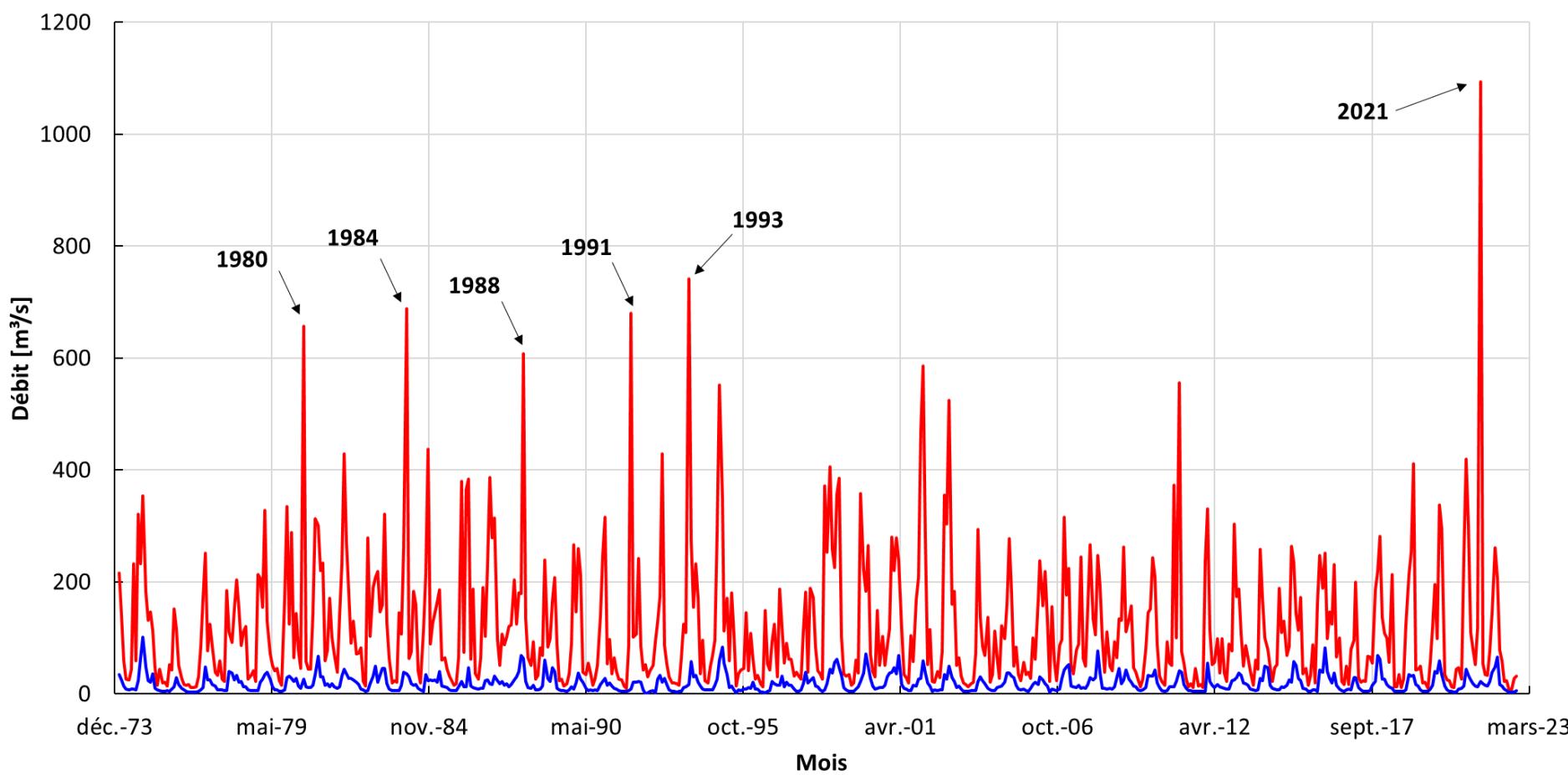


Logiciel de modélisation
(par exemple Wolf développé
par ULiege-HECE)

Comprendre et respecter la rivière

Extrêmes hydrologiques

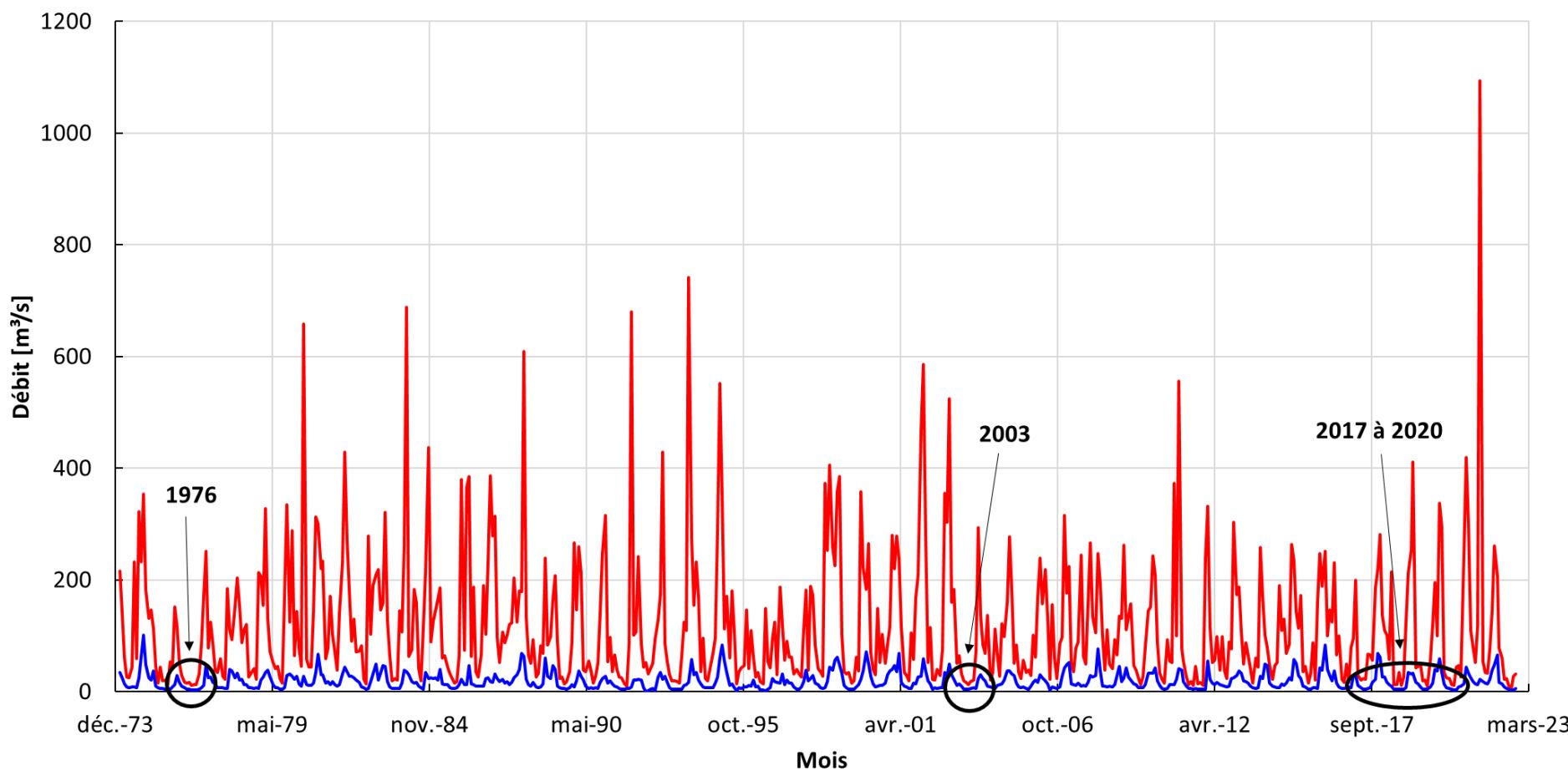
Débits min et max à Sauheid sur l'Ourthe (Source: SPW - <https://hydrometrie.wallonie.be/>)



Comprendre et respecter la rivière

Extrêmes hydrologiques

Débits min et max à Sauheid sur l'Ourthe (Source: SPW - <https://hydrometrie.wallonie.be/>)



Comprendre et respecter la rivière

Exemple de la Meuse



Marques dans la cathédrale de Liège
(1643, 1740 & 1926)

- 1643 Crue la plus extrême répertoriée (200 morts à Huy, 80 à Liège)
- 1740 Plusieurs ruptures de digues aux Pays Bas
- 1926 Dernières inondations de Liège



R. Guillemins

Trois générations plus tard ...

- 1993 Dégâts considérables, partiellement dûs à une réduction de la perception du risque
- 1995 25 M € de dommages en Wallonie
- 2002, 2003, 2021 Crues sur les affluents (Ourthe, Semois ...)

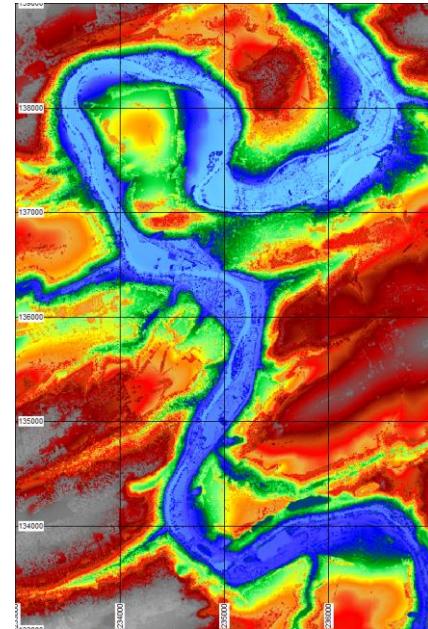
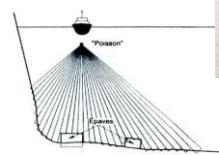
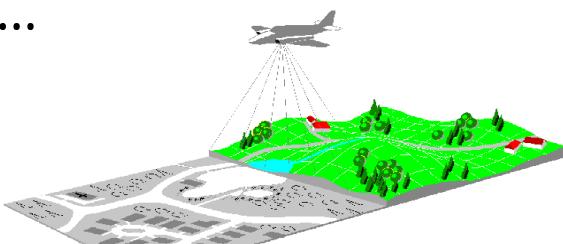
Comprendre et respecter la rivière

Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation

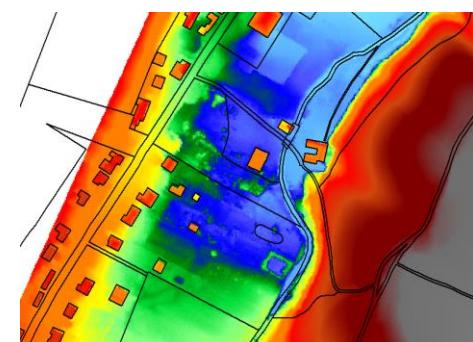
Pré-requis fondamental: disposer d'un modèle numérique de terrain de qualité

→ Exploitation de données du SPW

- Lidar
- Bathymétrie sonar
- Sections transversales/Plans terriers
- Levés de terrain complémentaires (géomètres...)
- Limnimètres
- Photos de crues
- PICC
- ...



Source : SPW – Lidar – MNS 2013-2014



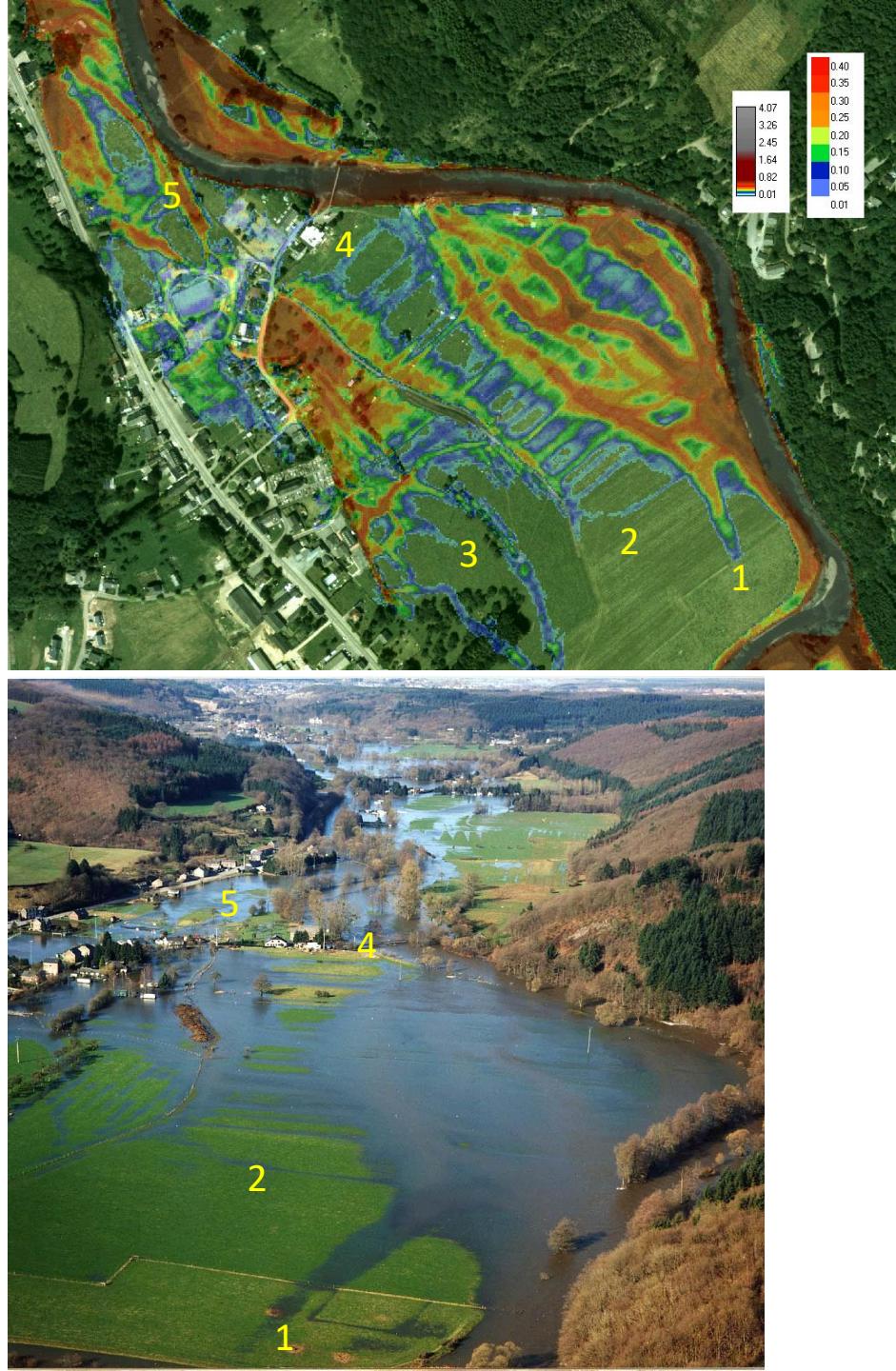
Ex. : trace des bâtiments sur base du PICC

Comprendre et respecter la rivière

Comparaison entre événement réel et modélisation



Crue de février 2002 à Rendeux-Bas
(Ourthe) - 165 m³/s



Comprendre et respecter la rivière

Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation

Conditions d'inondation pour différentes périodes de retour



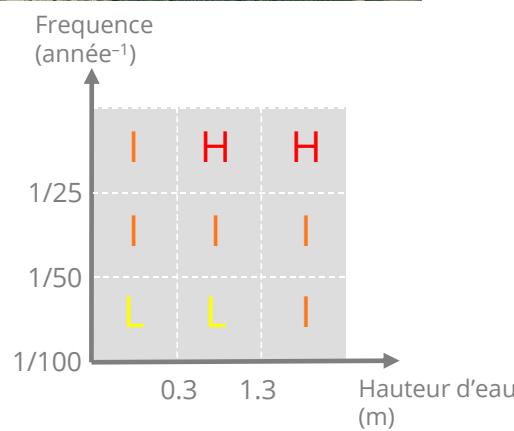
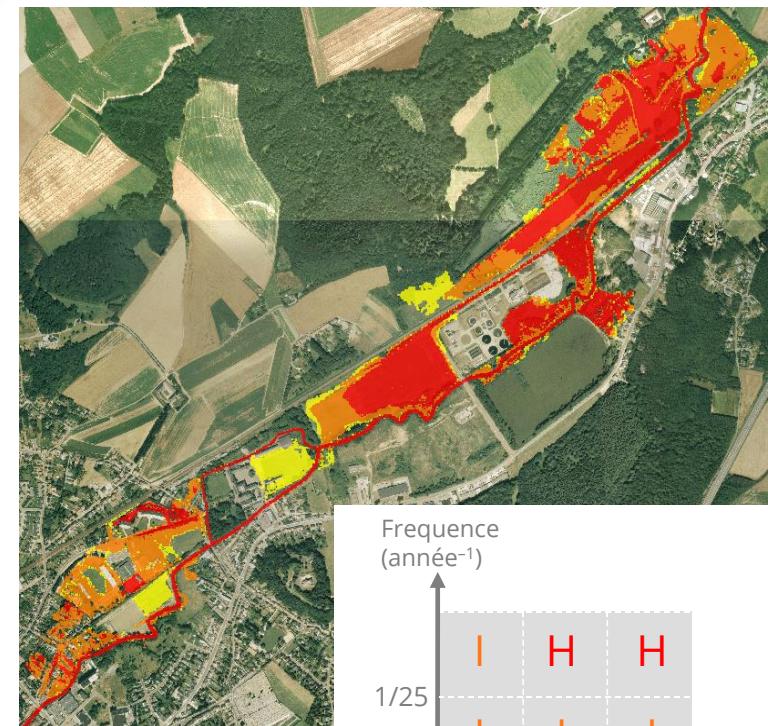
Événement historique

Crue de fréquence $\geq 1/25$

Crue de fréquence $\geq 1/50$

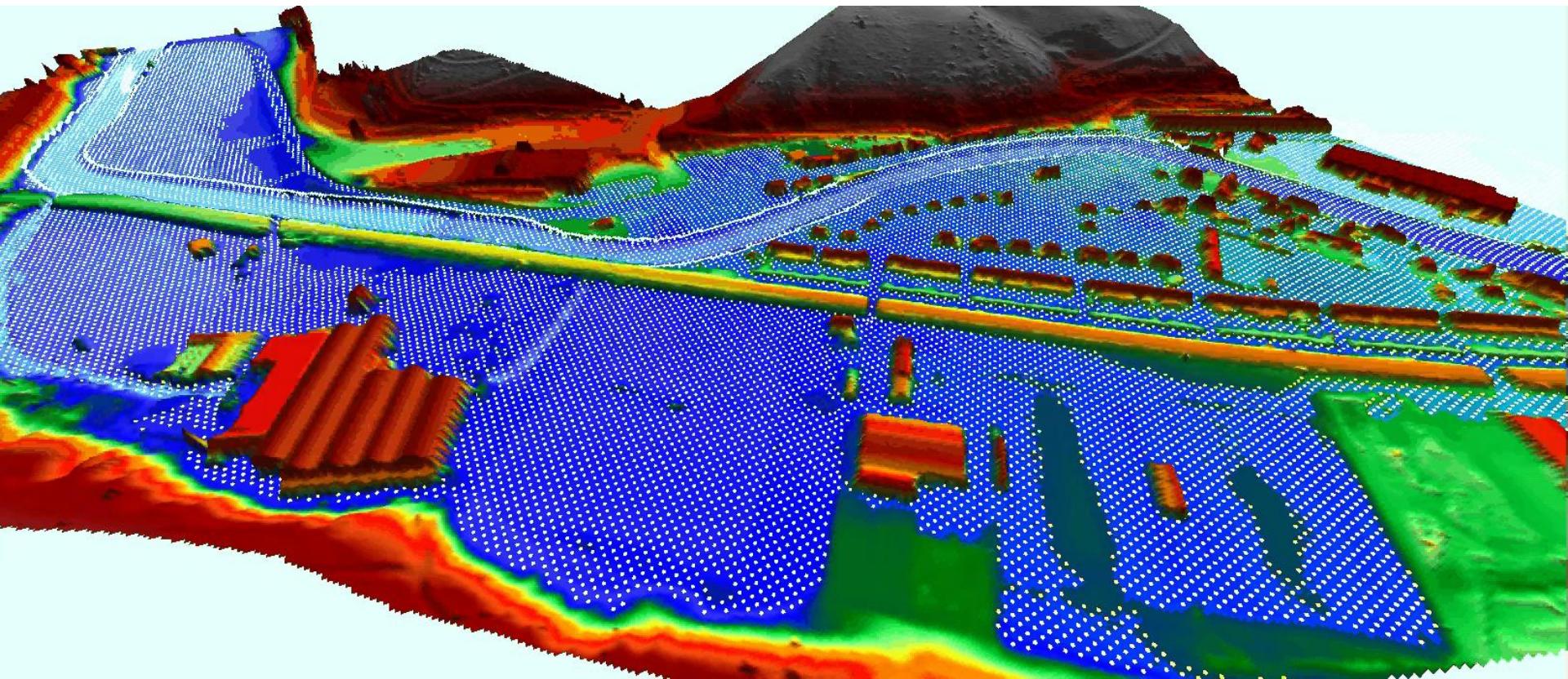
Crue de fréquence $\geq 1/100$

Carte de risque



Comprendre et respecter la rivière

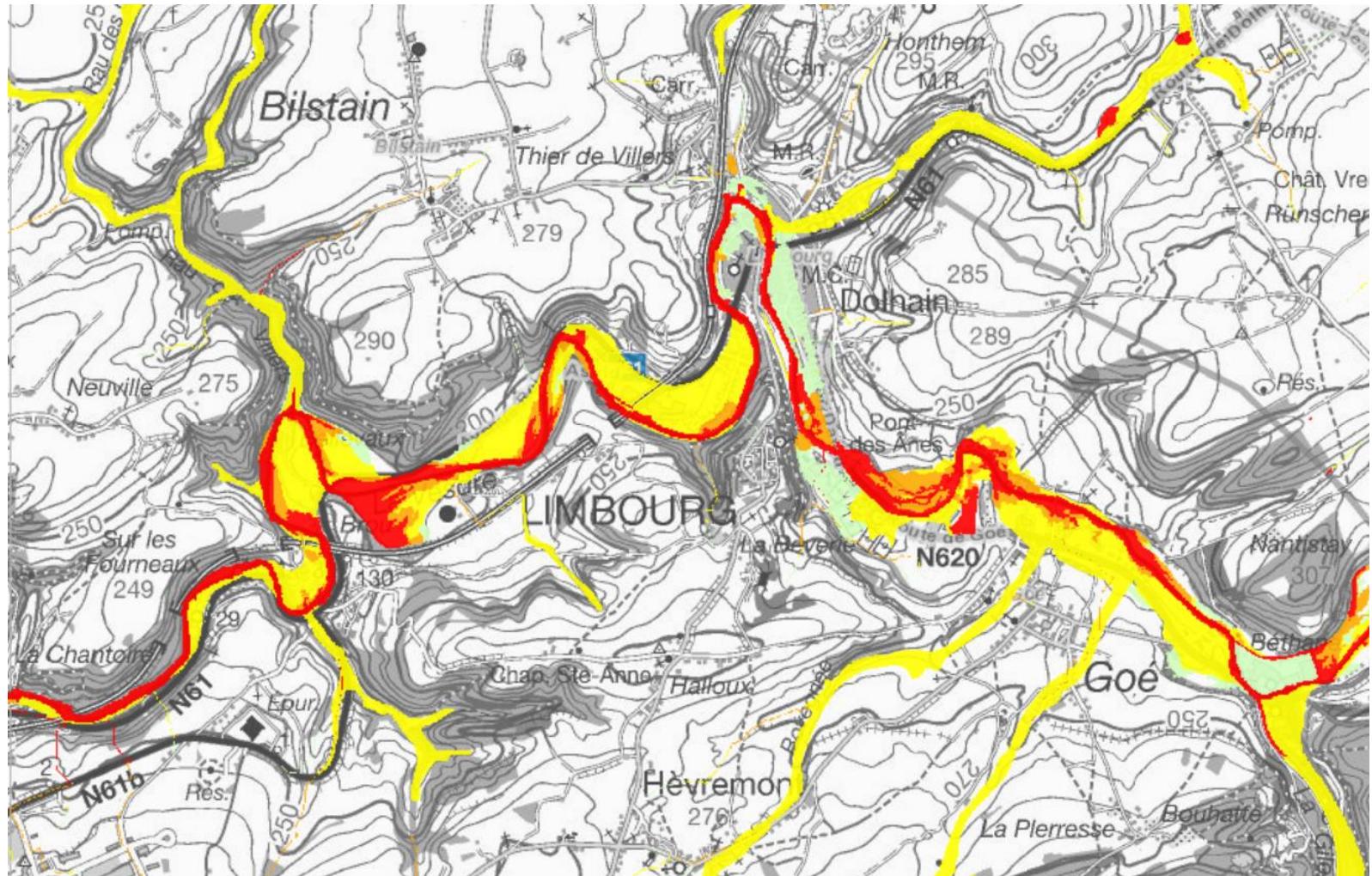
Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation



Compréhension du fonctionnement de la rivière grâce à la modélisation

Comprendre et respecter la rivière

Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation

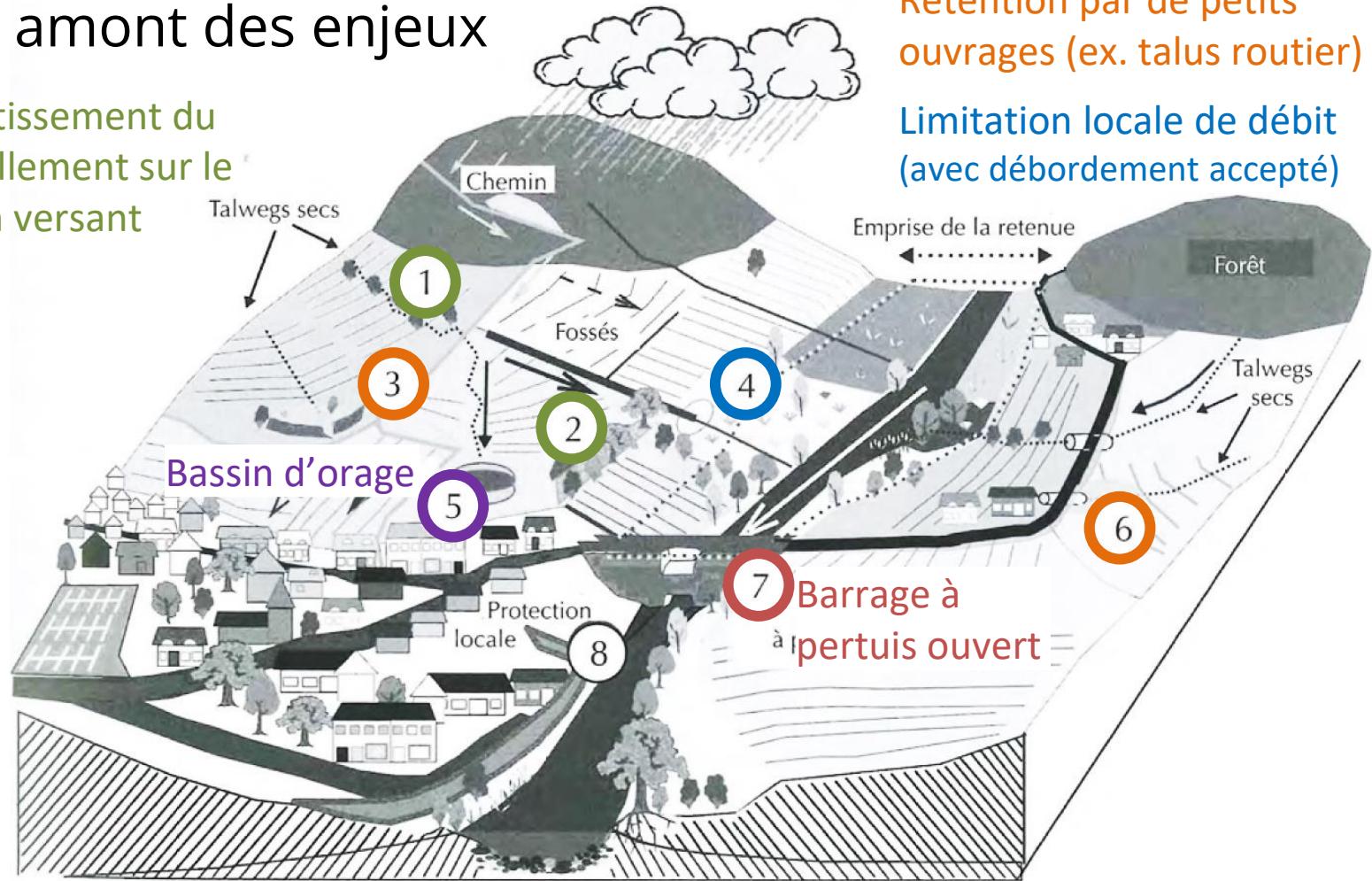


(source: SPW - WalOnMap)

Aménager la rivière

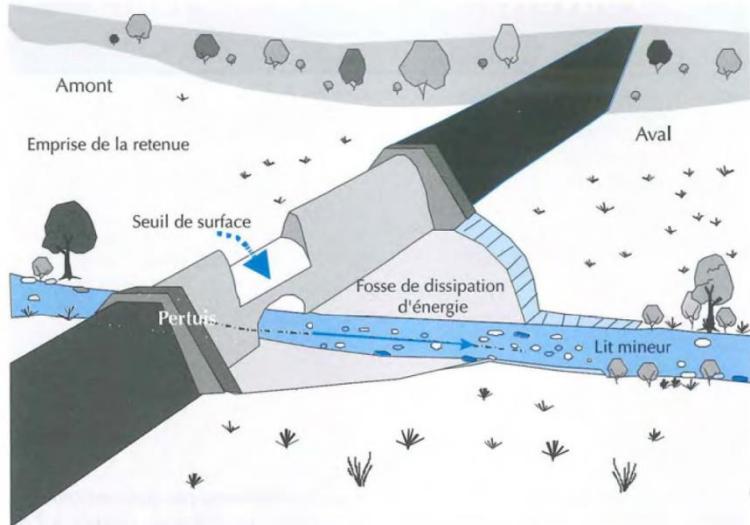
Ralentissement dynamique : écrêter les crues en amont des enjeux

Ralentissement du ruissellement sur le bassin versant



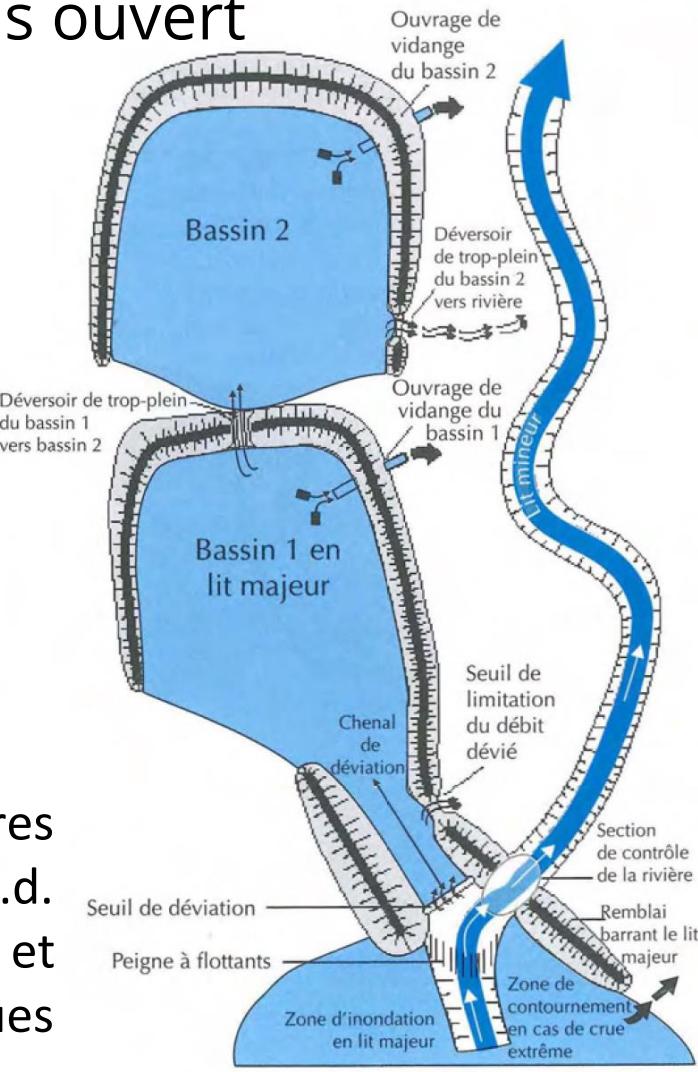
Aménager la rivière

Types d'ouvrages de ralentissement dynamique :
bassins latéraux et barrages à pertuis ouvert



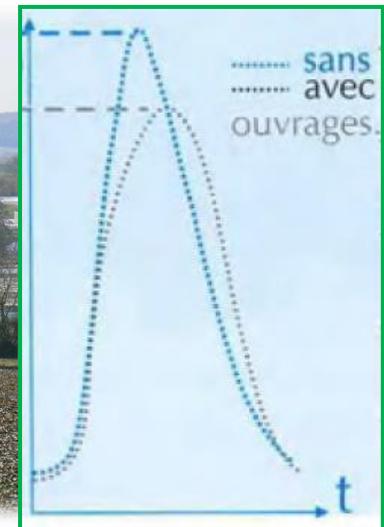
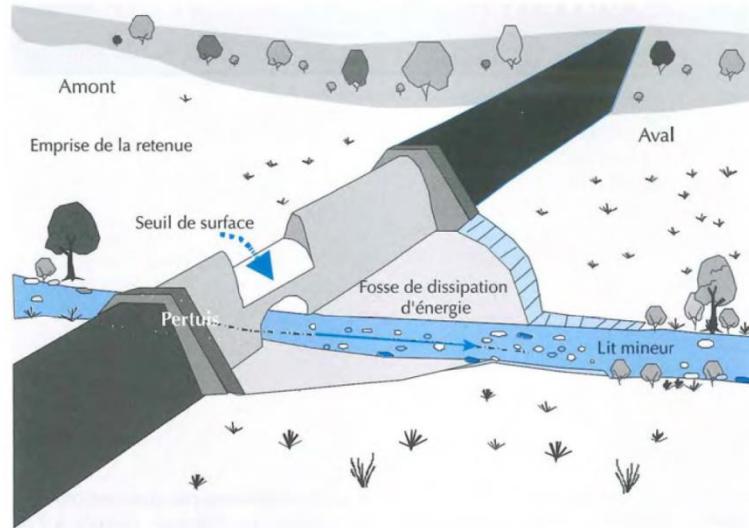
Les **barrages à pertuis ouvert** (= « barrages secs »)
sont construits en travers des lits mineur et majeur

Les **bassins latéraux** sont des structures
de stockage placées en dérivation (c.à.d.
alimentées par déversement latéral) et
délimitées par des digues



Aménager la rivière

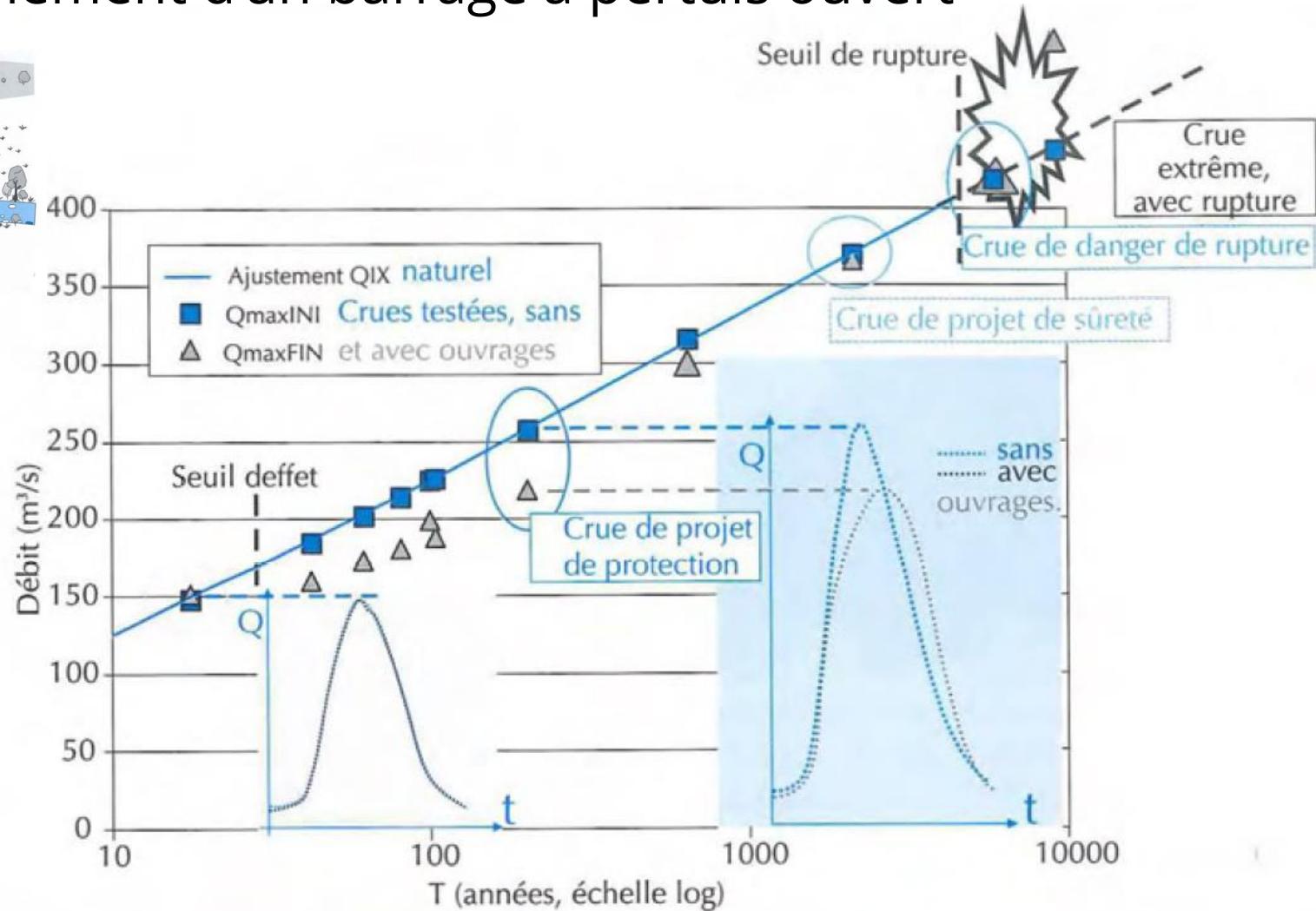
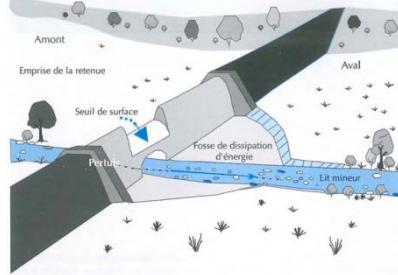
Fonctionnement d'un barrage à pertuis ouvert



Période de retour	-	de 10 à 50 ans environ	« Crue(s) de protection », crue(s) provoquant un remplissage jusqu'à la cote de protection, en l'occurrence celle du déversoir de surface ; le fonctionnement de l'ouvrage écrêteur de crue est alors optimal.
	↓	de 100 à 10 000 ans selon taille et type d'ouvrage	« Crue(s) de sûreté », crue(s) entrante(s) provoquant un remplissage jusqu'à la cote de sûreté, en l'occurrence celle des plus hautes eaux laissant encore une revanche pour se protéger de l'effet des vagues. La période de retour correspondante doit être fixée en fonction des caractéristiques et des enjeux.
	+	Extrême	« Crue(s) de danger de rupture », crue(s) entrante(s) associées à la cote de danger de rupture, celle au-delà de laquelle on ne garantit plus la tenue de l'ouvrage (généralement la cote de la crête dans le cas d'un barrage en terre). Nous proposons que la probabilité de dépassement de cette cote soit de l'ordre de dix fois inférieure à celle de la cote de sûreté.

Aménager la rivière

Fonctionnement d'un barrage à pertuis ouvert



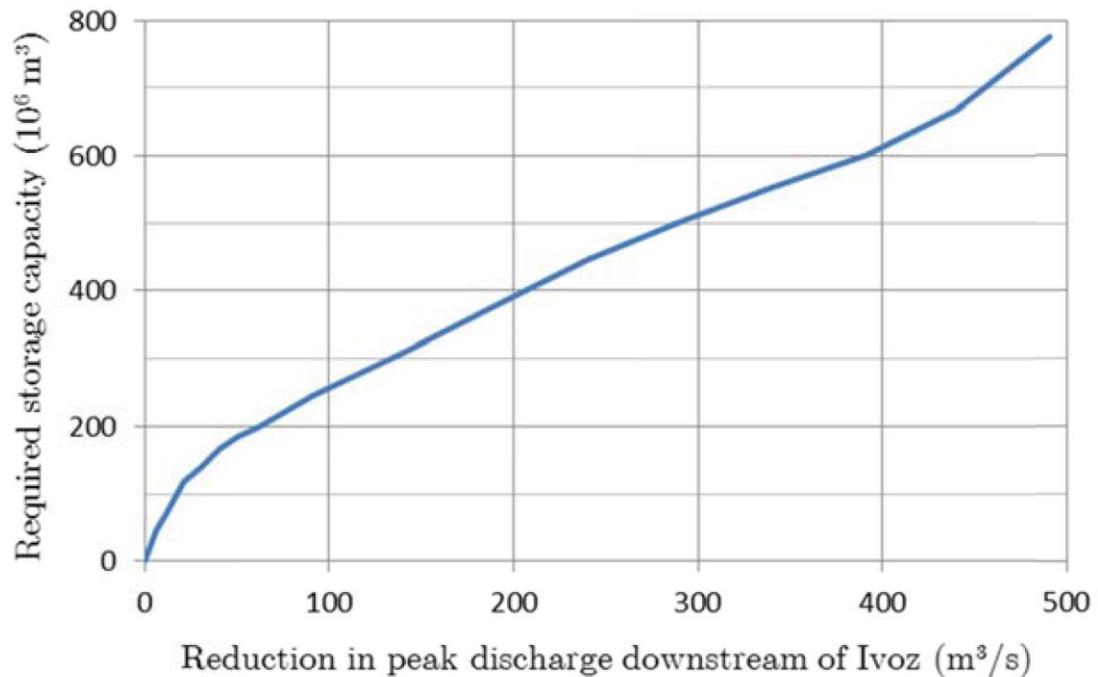
Aménager la rivière

Le stockage temporaire n'est pas toujours envisageable

Stockage total dans un bief de Meuse $\sim 10^7 \text{ m}^3$

Débit de crue de la Meuse $\sim 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$

Temps de remplissage $\sim 10^4 \text{ s c.à.d. 2-3 h}$



Aménager la rivière

Solutions « basées sur la nature »

Nature-based Solutions

Actions pour relever des challenges sociétaux au travers de la protection, la gestion durable et la restauration des écosystèmes, au bénéfice de la biodiversité et de l'humanité

ResiRiver project

Créer des réseaux hydrographiques résilients par le développement et l'acceptation de solutions basées sur la nature



North-West Europe

ResiRiver

Aménager la rivière

Solutions « basées sur la nature »

Interreg



Co-funded by
the European Union

North-West Europe

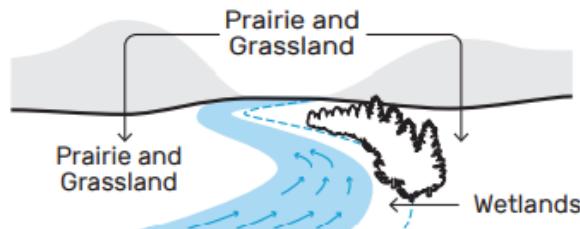
ResiRiver



River and Floodplain Management

- Slows flood flows
- Encourages flood storage
- Creates bypasses to move water away from communities
- Provides ecological and aquatic habitat benefits

Nature-based Solutions
in river systems



Vegetation Management

- Slows water
- Encourages infiltration in soil
- Enables evapotranspiration
- Increases roughness and slows flow



Erosion Management

- Protects riverbanks
- Reduces erosion of banks
- Replaces hard engineering with vegetated banks

Credits : Bridges et al. 2021. Overview: International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management.

Aménager la rivière

Solutions « basées sur la nature »

Recul des digues

(Ré) ouverture des chenaux latéraux

Structures (en bois) pour favoriser la
retention d'eau

Amélioration des solutions
traditionnelles (grises)



Aménager la rivière

Solutions « basées sur la nature »

Hoegne

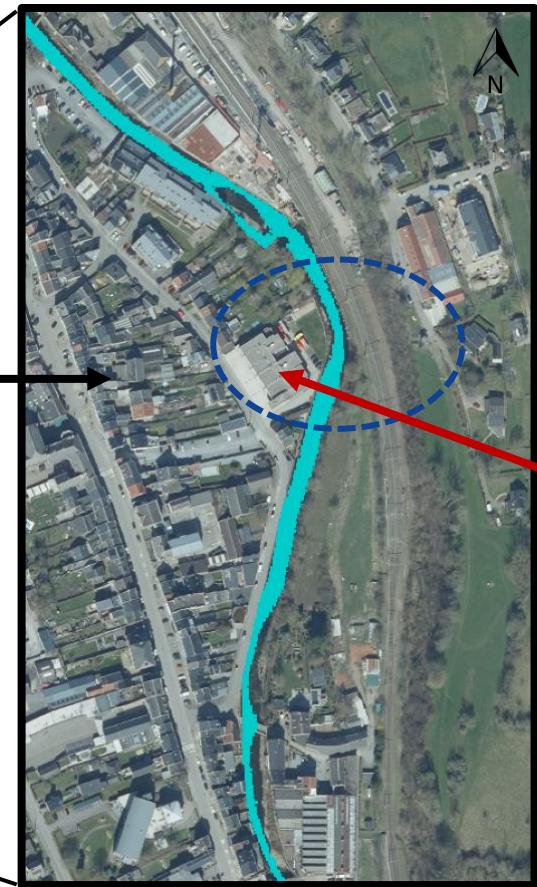
Centre ville



Exemple de Theux

Centre ville

Caserne pompiers



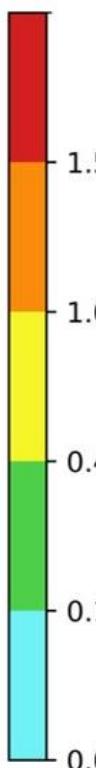
Rétrécissement du lit de la rivière au droit de la caserne – conséquences ?

Aménager la rivière

Exemple de Theux

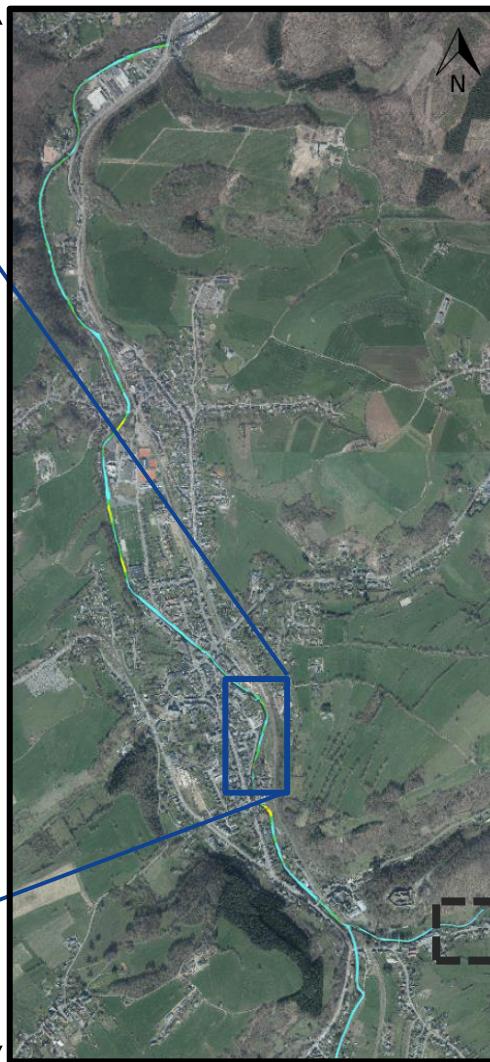
Hauteur
d'eau
[m]

Zoom sur le centre ville

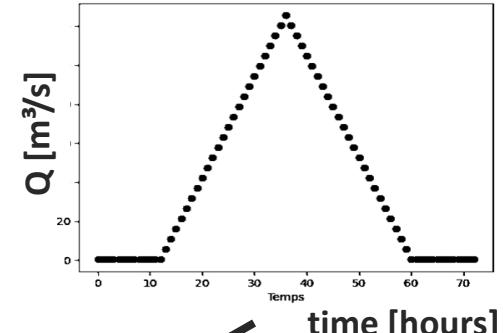


Point faible pour les
crues

Time : 1.0 [h]

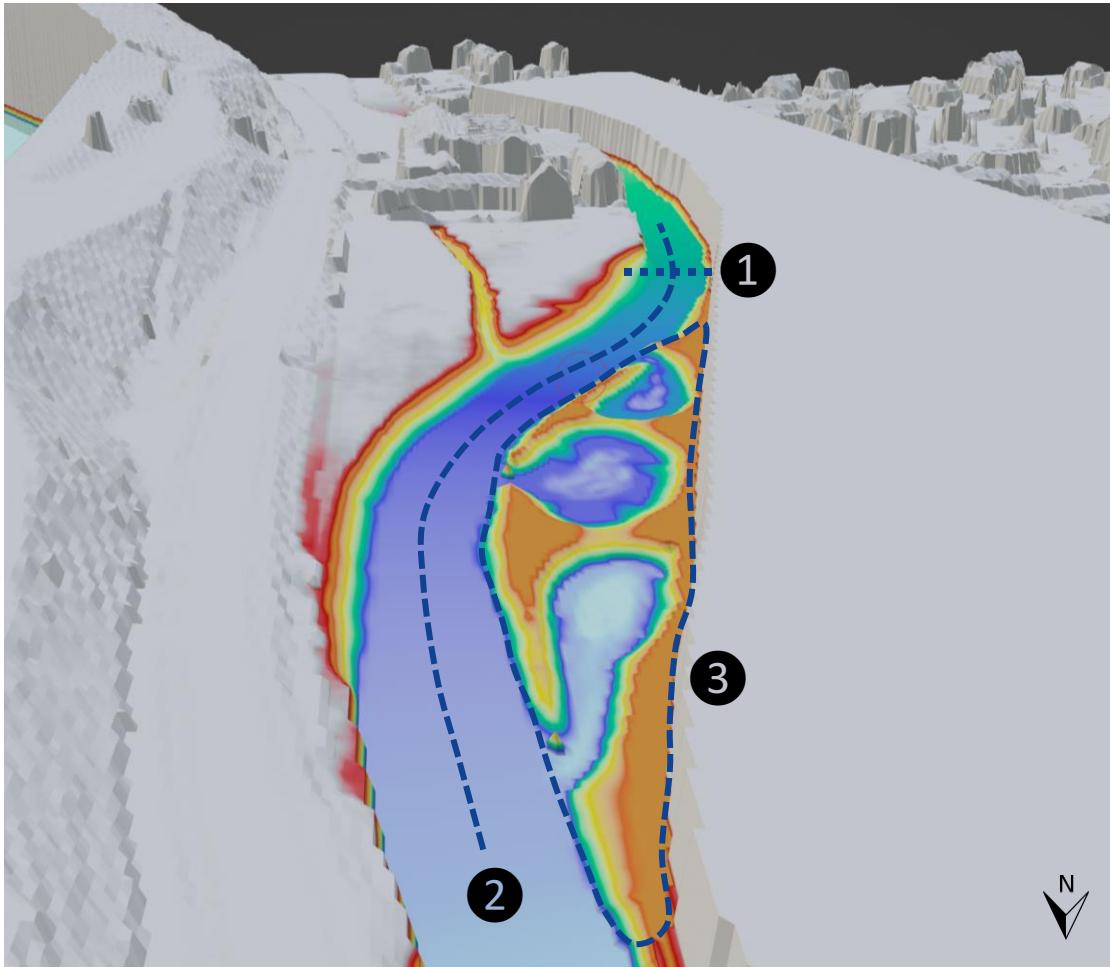


$Q_{\max}=125 \text{ m}^3/\text{s}$ (T25)



Aménager la rivière

Exemple de Theux



Vue 3D d'une solution basée sur la nature étudiée à Theux,
générée avec le logiciel WOLF (ULiège, HECE, 2024)

Zones de stockage temporaire:

Catégorie de solutions basées sur la nature peu impactantes qui peuvent conduire à du stockage de faible volume dispersé sur le bassin versant

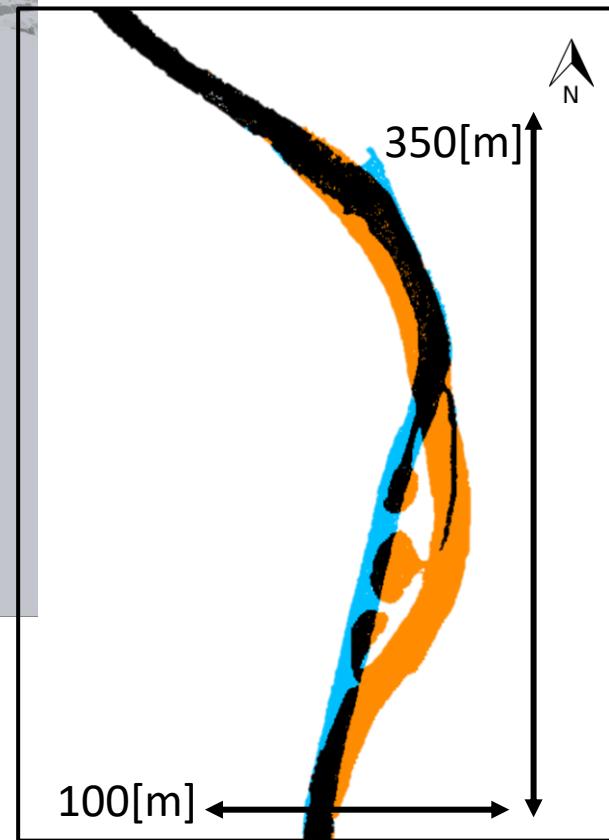
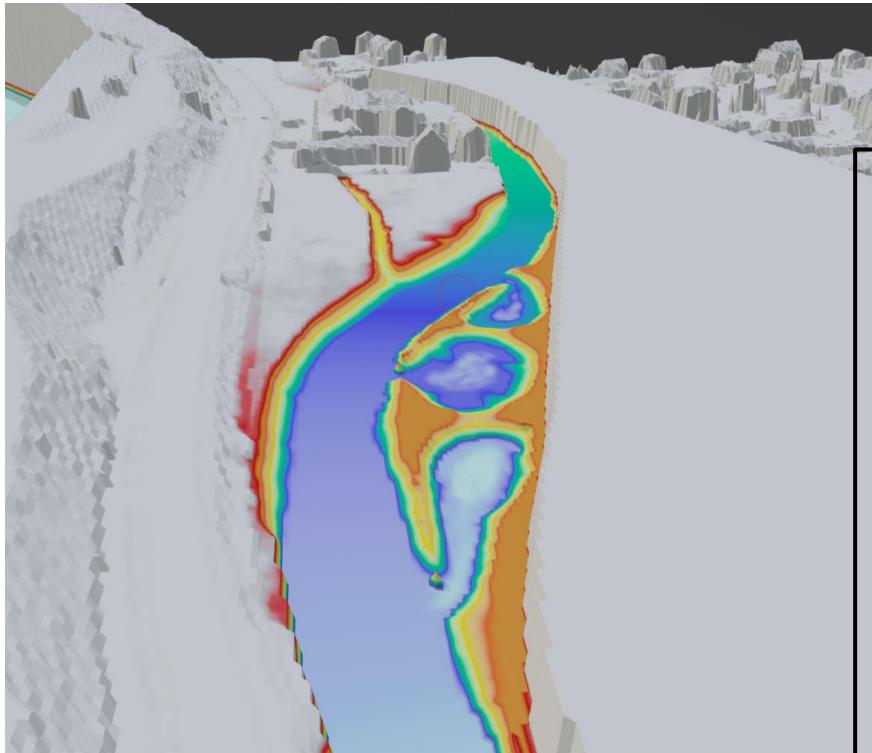
Et modification du lit de la Hoegne

- ① Largeur de la Hoegne augmentée
- ② Modification de l'axe du lit
Améliorent les conditions d'écoulement
- ③ Création de dépressions pour le stockage

Capacité de stockage supplémentaire durant la crue

Aménager la rivière

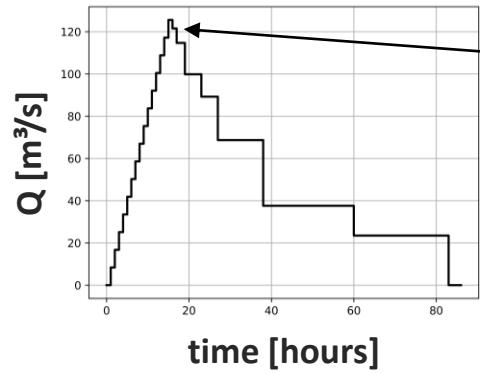
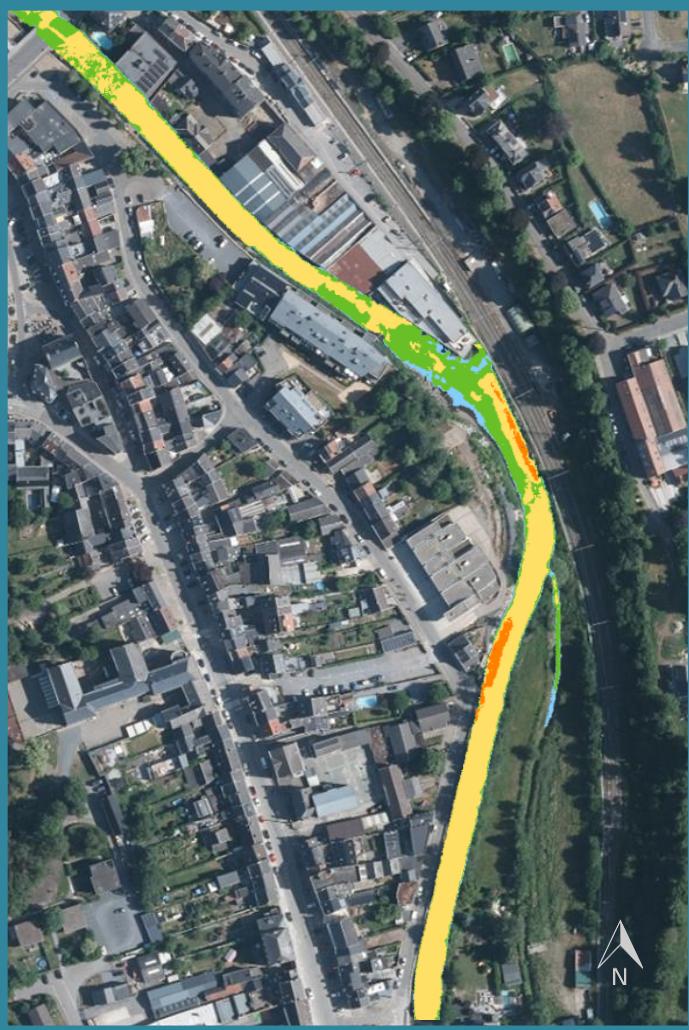
Exemple de Theux



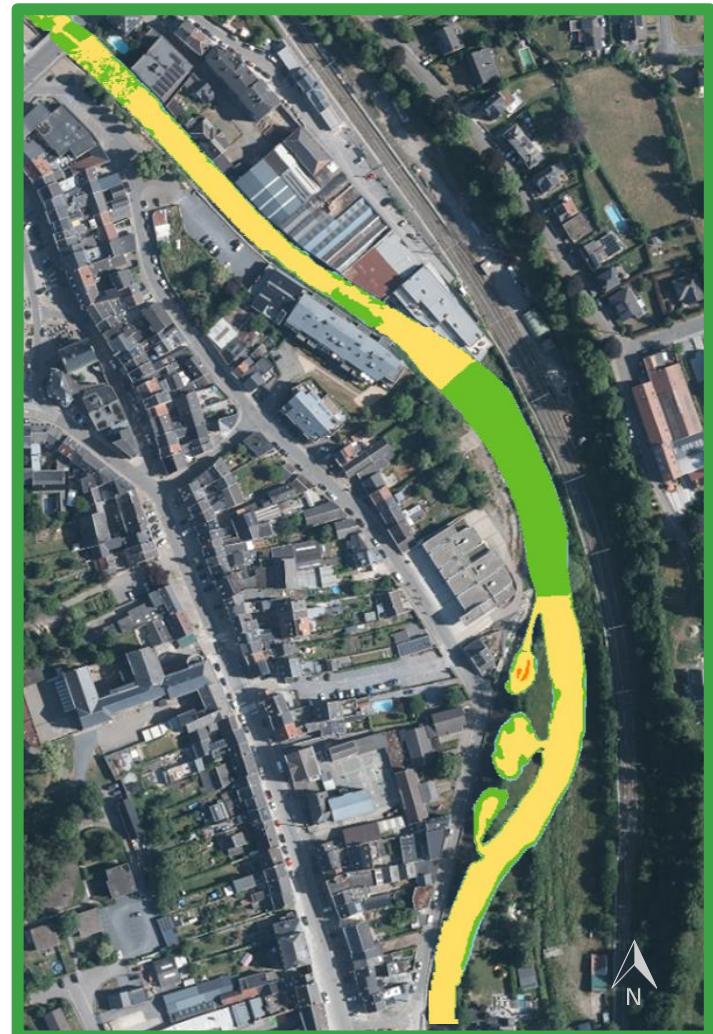
Black	Commun
Orange	Lit modifié
Blue	Existant
White	Hors rivière

Aménager la rivière

Situation actuelle

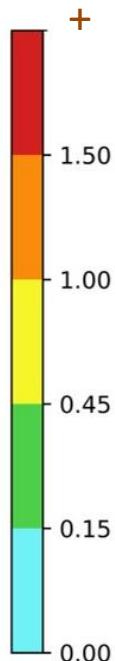


Situation modifiée

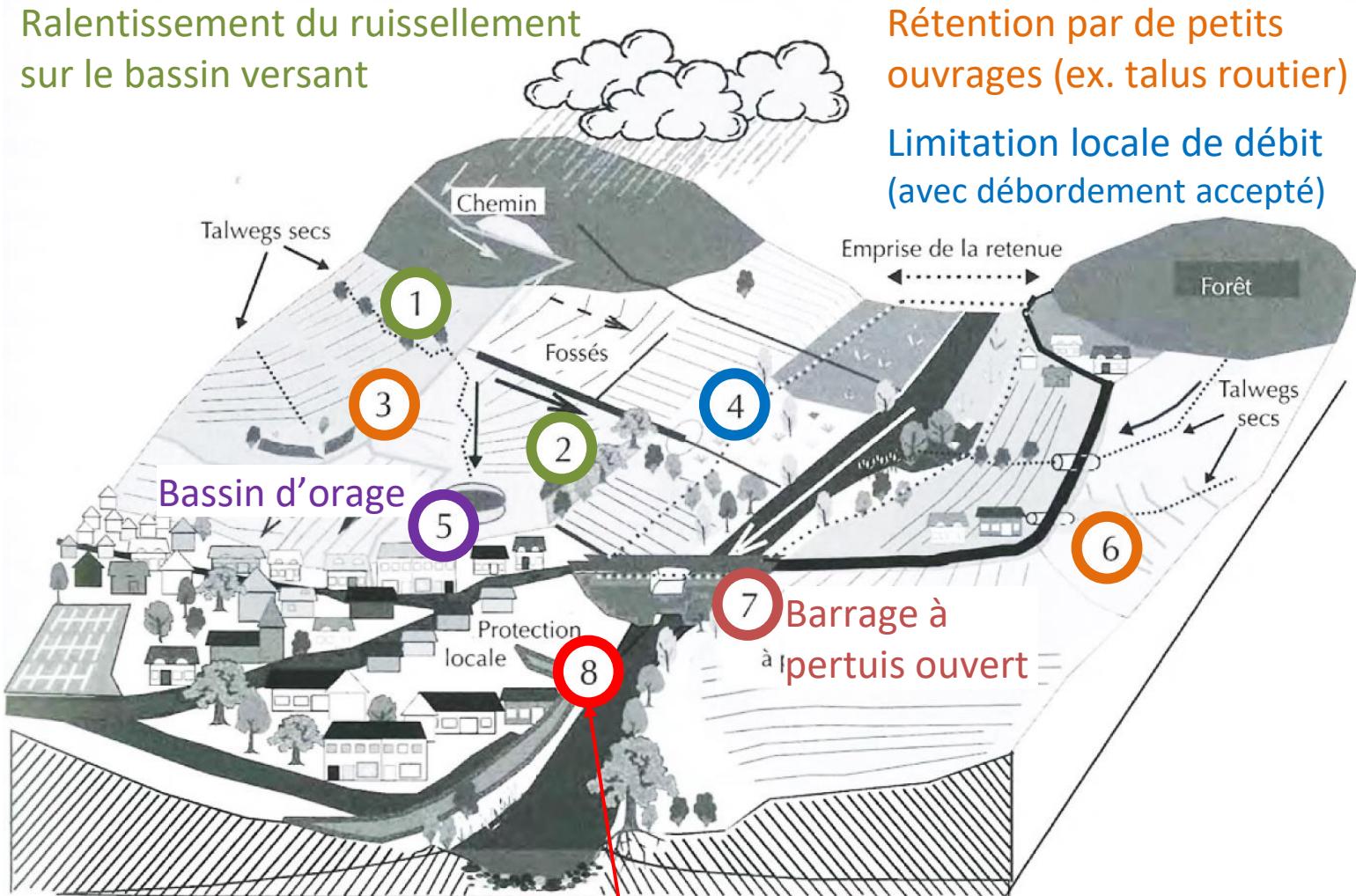


Time : 1.0 [hours]

Hauteur d'eau [m]



Se protéger de la rivière



Si nécessaire, protections localisées en complément au ralentissement dynamique

Se protéger de la rivière

RÉFÉRENTIEL

Constructions et aménagements en zone inondable



EDIWALL



INONDATIONS

RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ DES CONSTRUCTIONS EXISTANTES



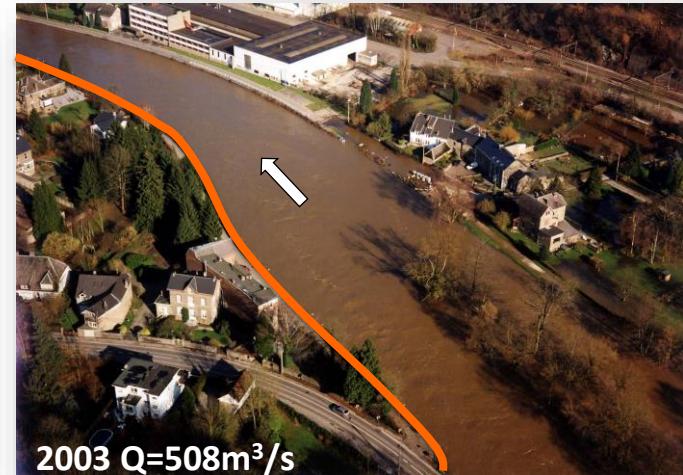
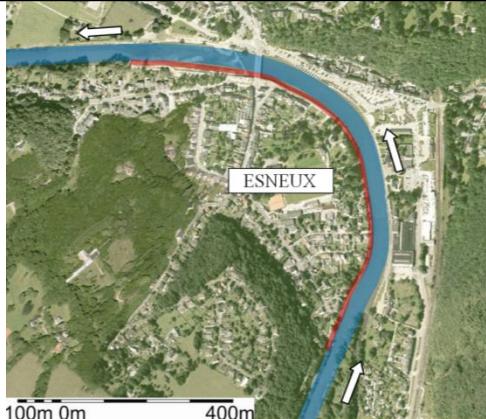
EDIWALL



<https://ediwall.wallonie.be/referentiel-constructions-et-amenagements-en-zone-inondable-2022-numerique-107594>

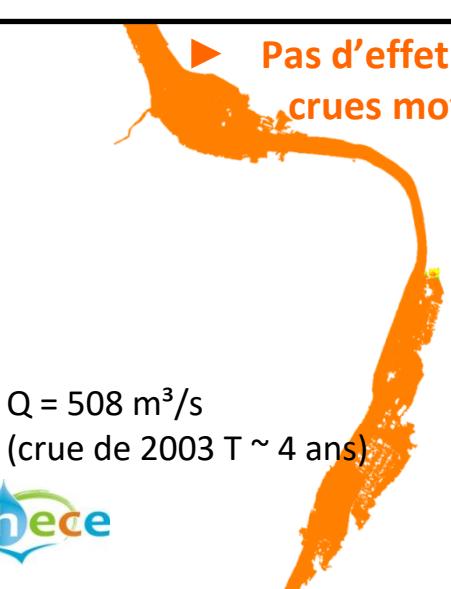
Les protections, favorables dans une gamme de débit, peuvent s'avérer défavorables en dehors

CONSTRUCTION DE MURS ANTI-CRUE

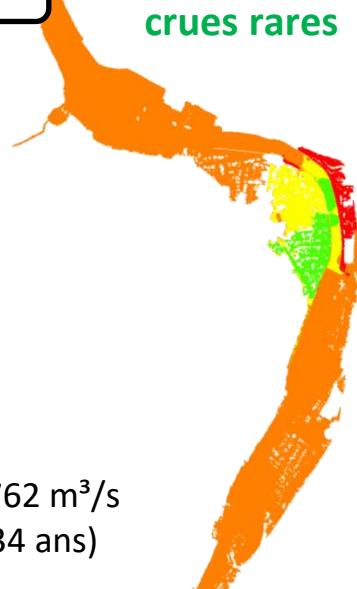


IMPACT HYDRAULIQUE

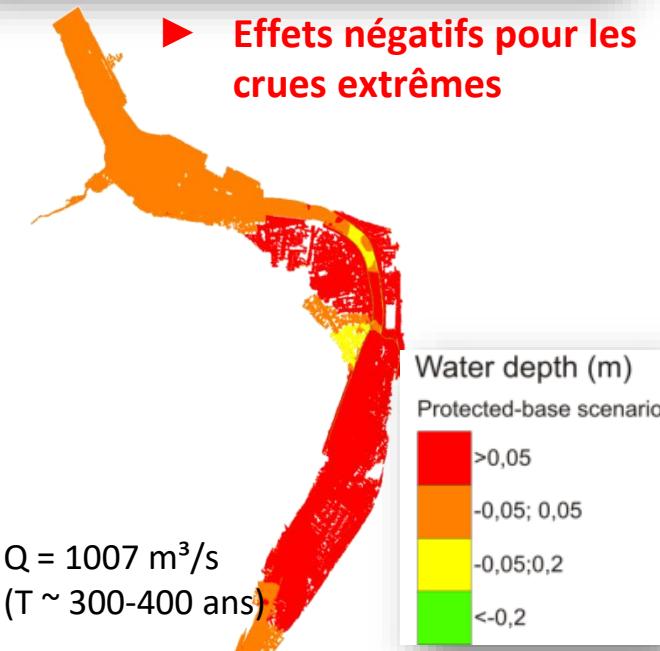
► Pas d'effet pour les crues moyennes



► Efficace pour les crues rares

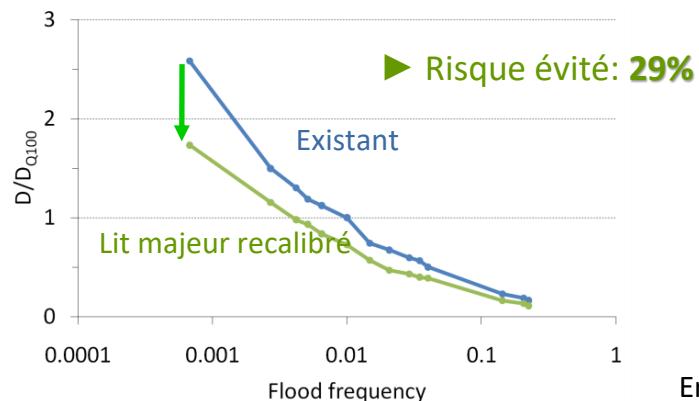
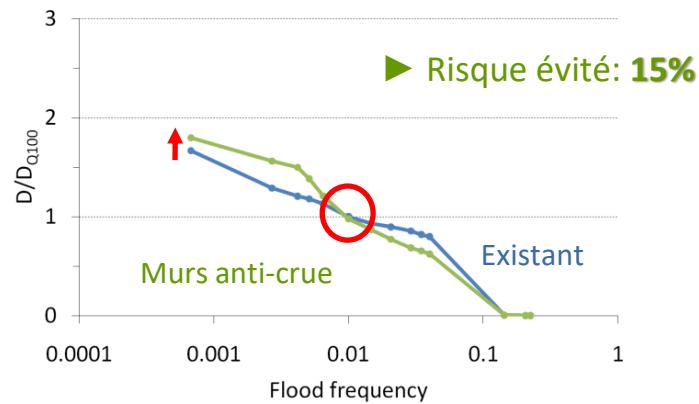


► Effets négatifs pour les crues extrêmes



Se protéger de la rivière

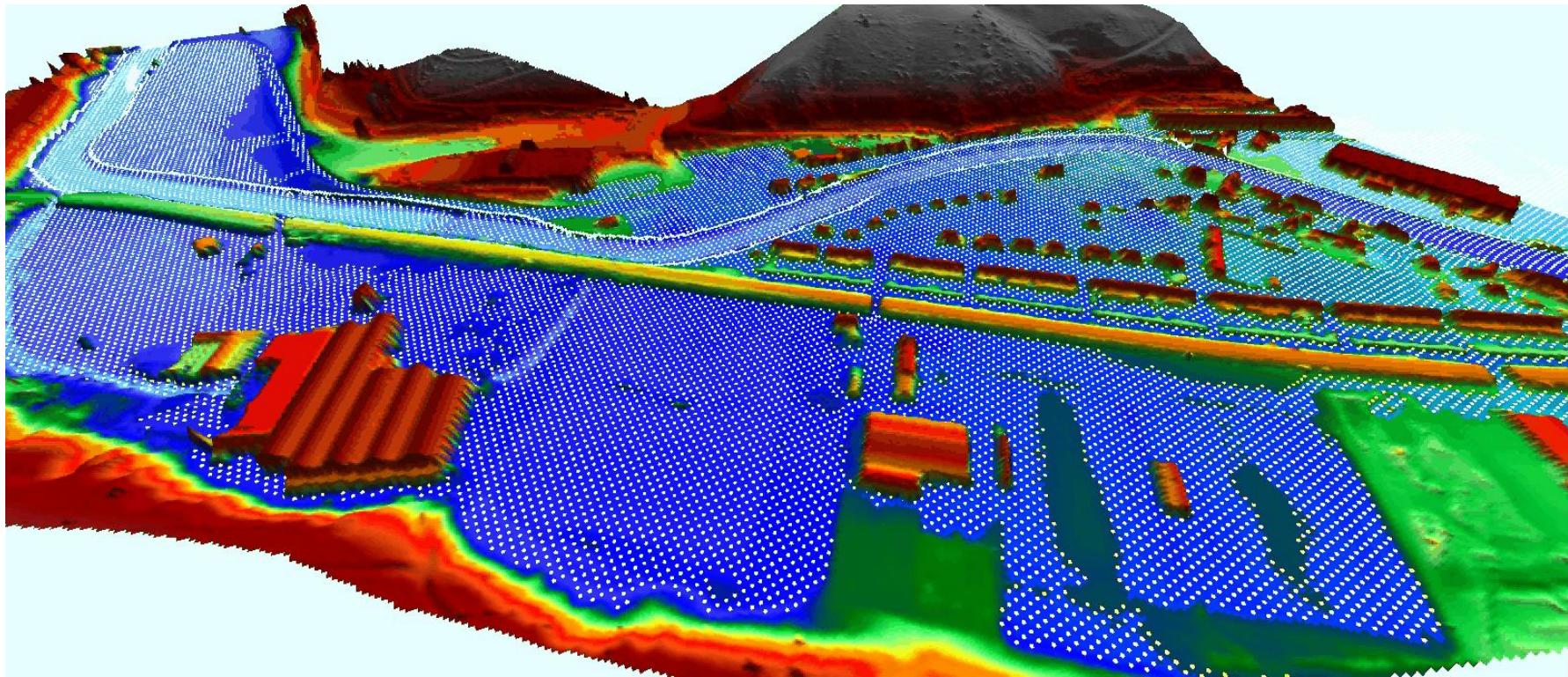
Les protections, favorables dans une gamme de débit, s'avèrent défavorables en dehors



Ernst et al., Natural Hazards, 2010

Se protéger, dans les limites du raisonnable

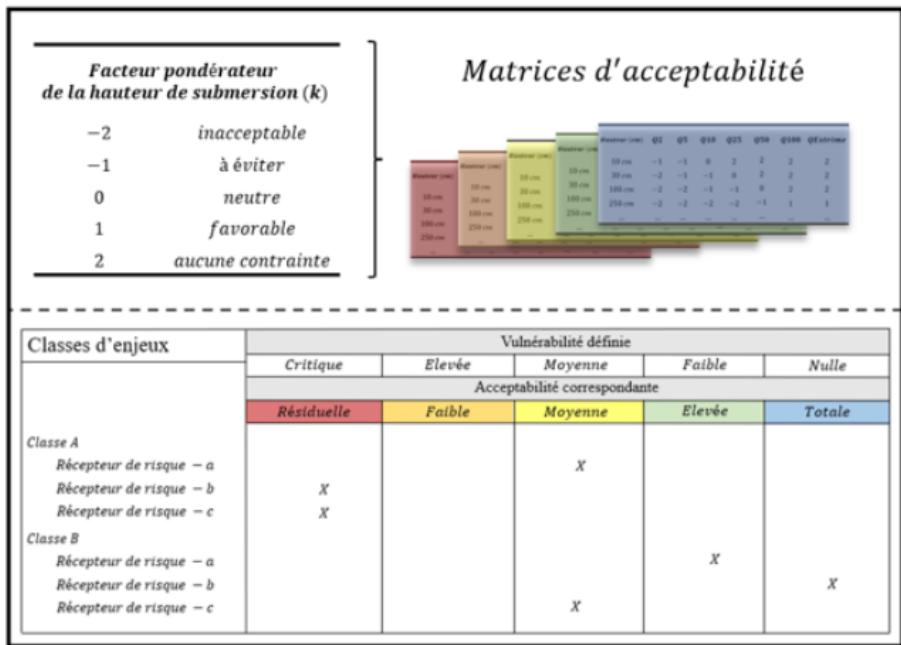
L'aménagement des plaines inondables doit être pensé en fonction du risque



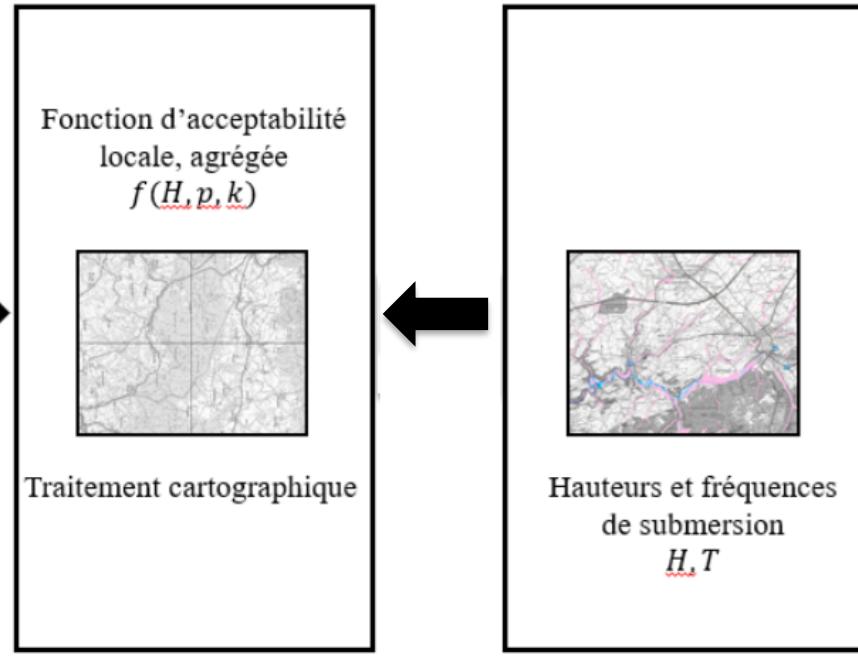
Ecoulements en zone inondable sur base de modélisations hydrauliques

Se protéger, dans les limites du raisonnable

Analyse coût-bénéfice



Conception des matrices et affectation des récepteurs de risques à un degré d'acceptabilité

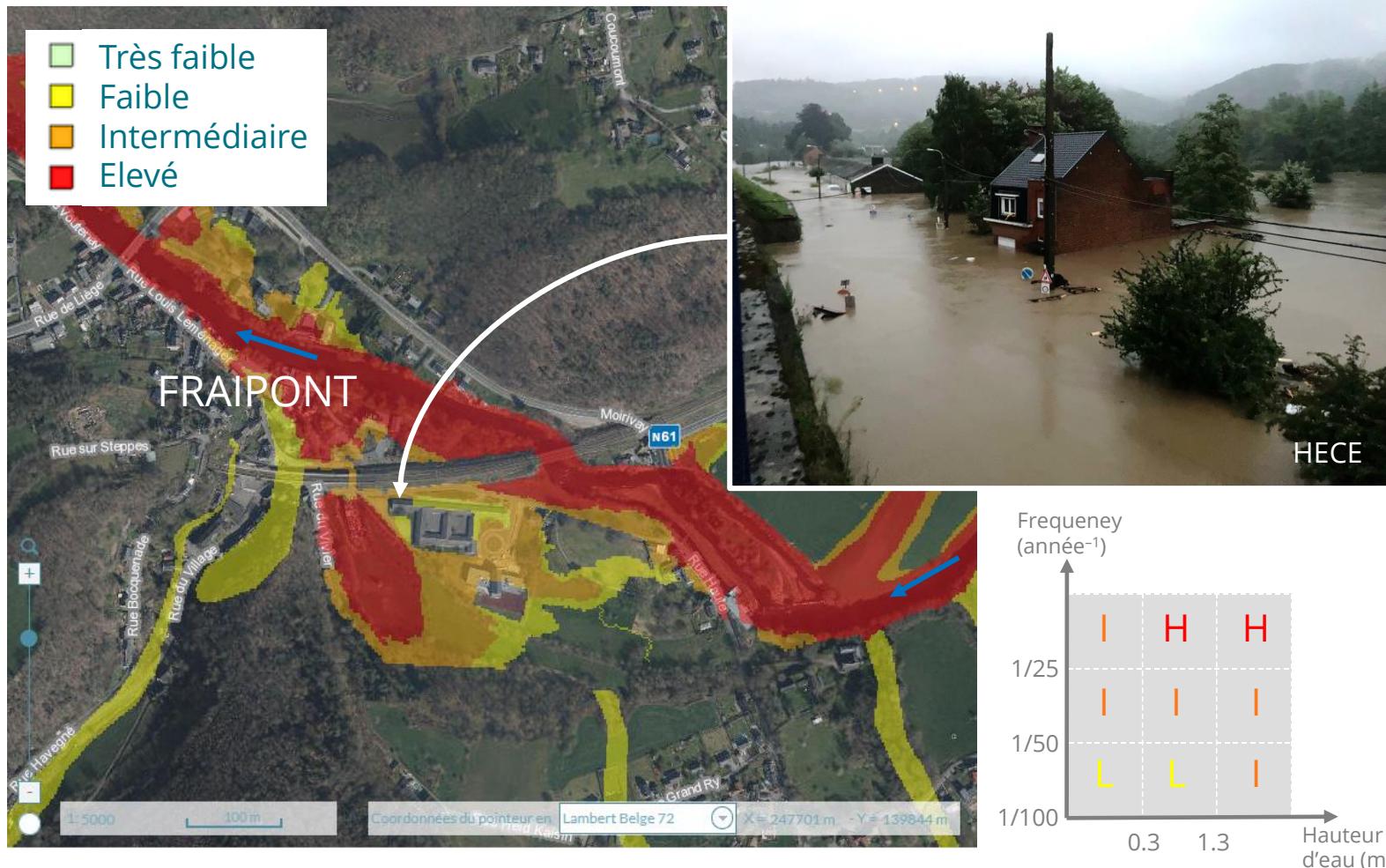


Source: GT Résilience – Groupe de Travail transversal Inondations - Wallonie

Se protéger, dans les limites du raisonnable

La conscience du risque contribue à atténuer les conséquences

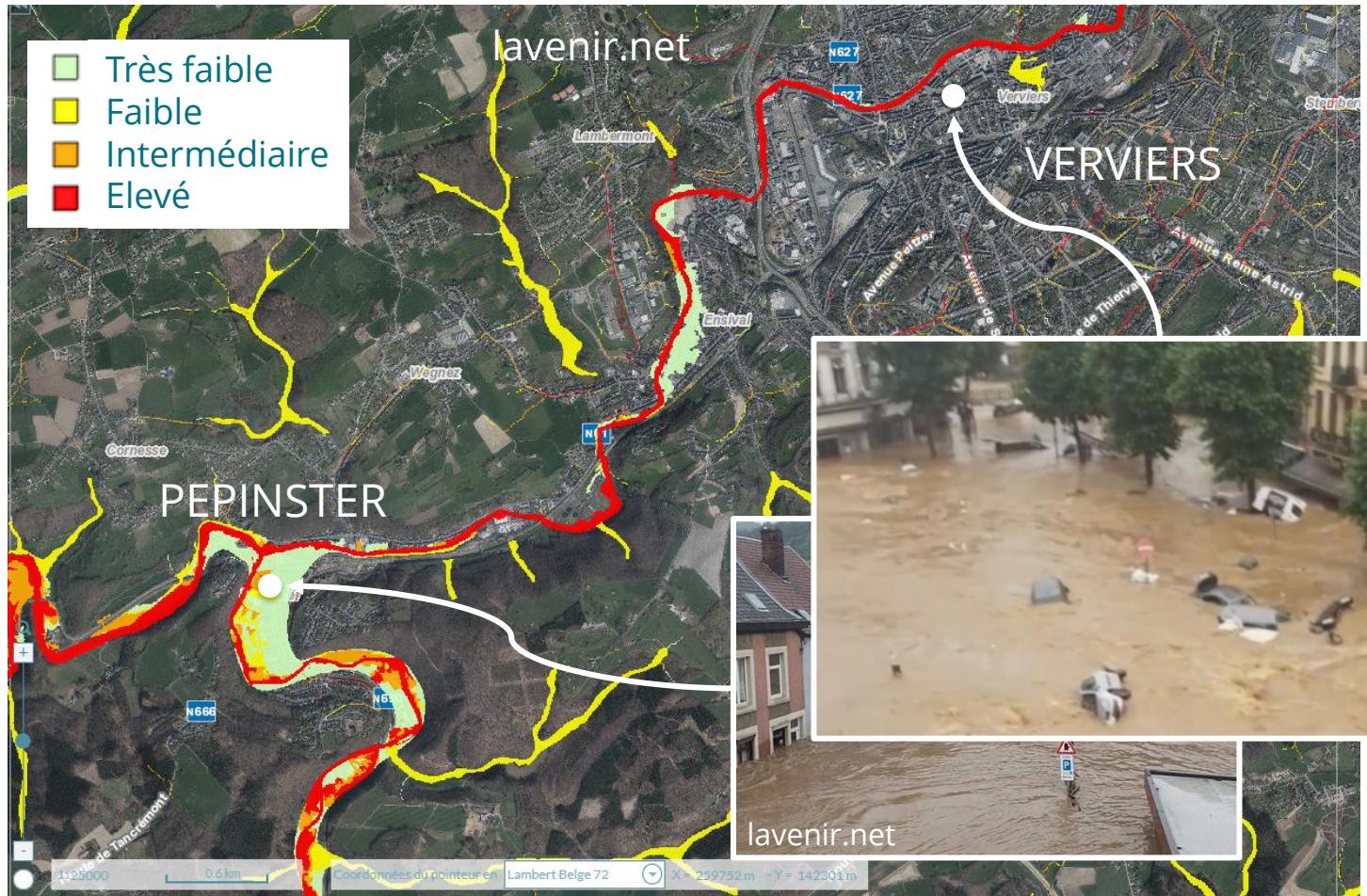
Carte de risque sur la Vesdre



Se protéger, dans les limites du raisonnable

Tout « effet de surprise » agrave les conséquences

Carte de risque sur la Vesdre



Conclusions

Une rivière se maîtrise peu, mais elle s'aménage

En tant que système naturel, elle doit surtout être comprise et respectée

Il faut parfois s'en protéger, mais il faut surtout être conscient du risque qu'elle représente

Clin d'oeil au cours du 12 février 2024 de P. Delforge

« Seul l'homme connaît des catastrophes naturelles,
pour autant qu'il y survive.
La nature ne connaît pas de catastrophes ».

(Max FRISCH, Der Mensch erscheint im Holozän, 1979)

« Une rivière ne déborde pas, une rivière coule »

(Petra VAN DAM, Denken over natuurrampen..., 2012)



Comment maîtriser la rivière ?

Sébastien Erpicum, Pierre Archambeau,
Benjamin Dewals, Michel Pirotton
S.Erpicum@uliege.be