

Comment maîtriser la rivière ?

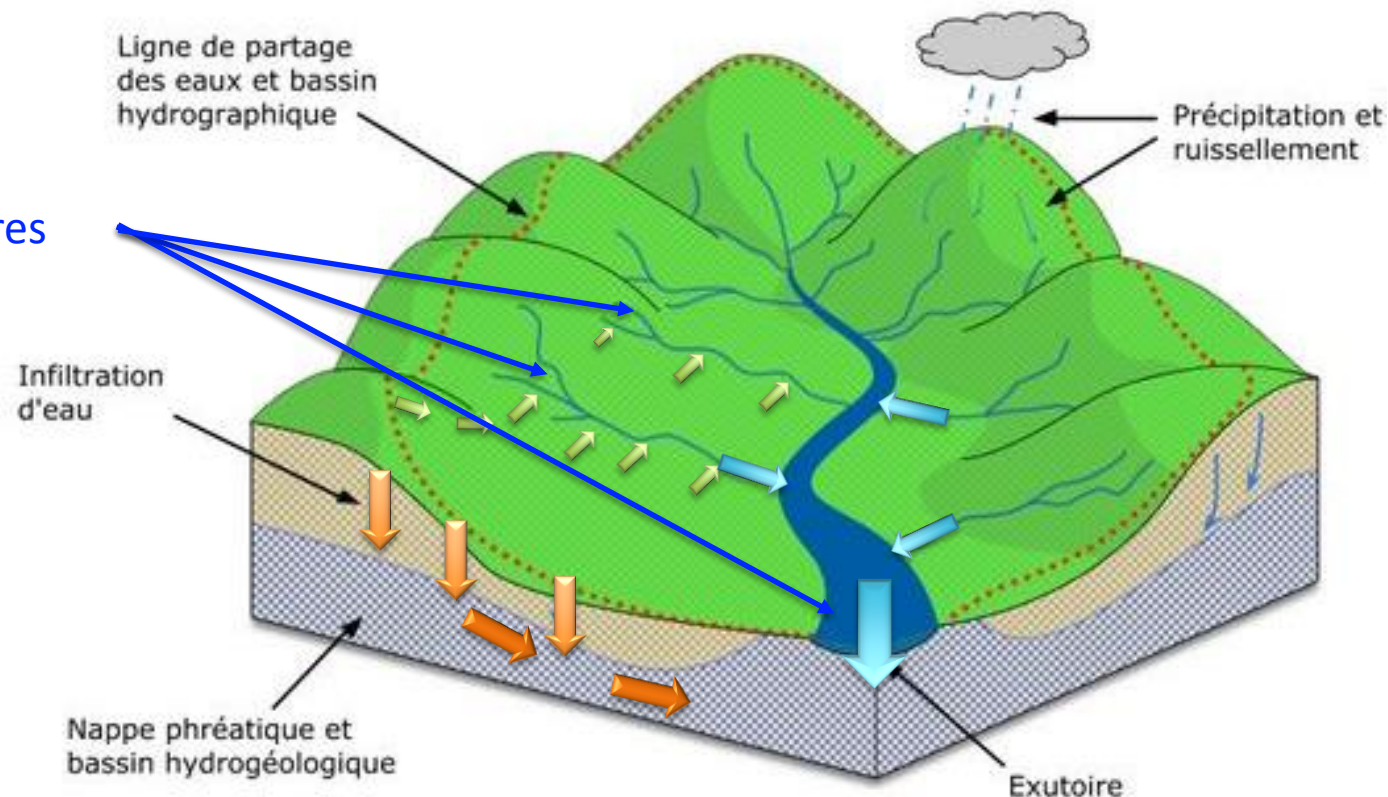
Sébastien Erpicum, Pierre Archambeau,
Benjamin Dewals, Michel Piroton
Verviers - 13 mai 2024

Une rivière...

... ne se maîtrise (presque) pas.

Concentration des écoulements gravitaires résultant des précipitations

Réseau de rivières



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

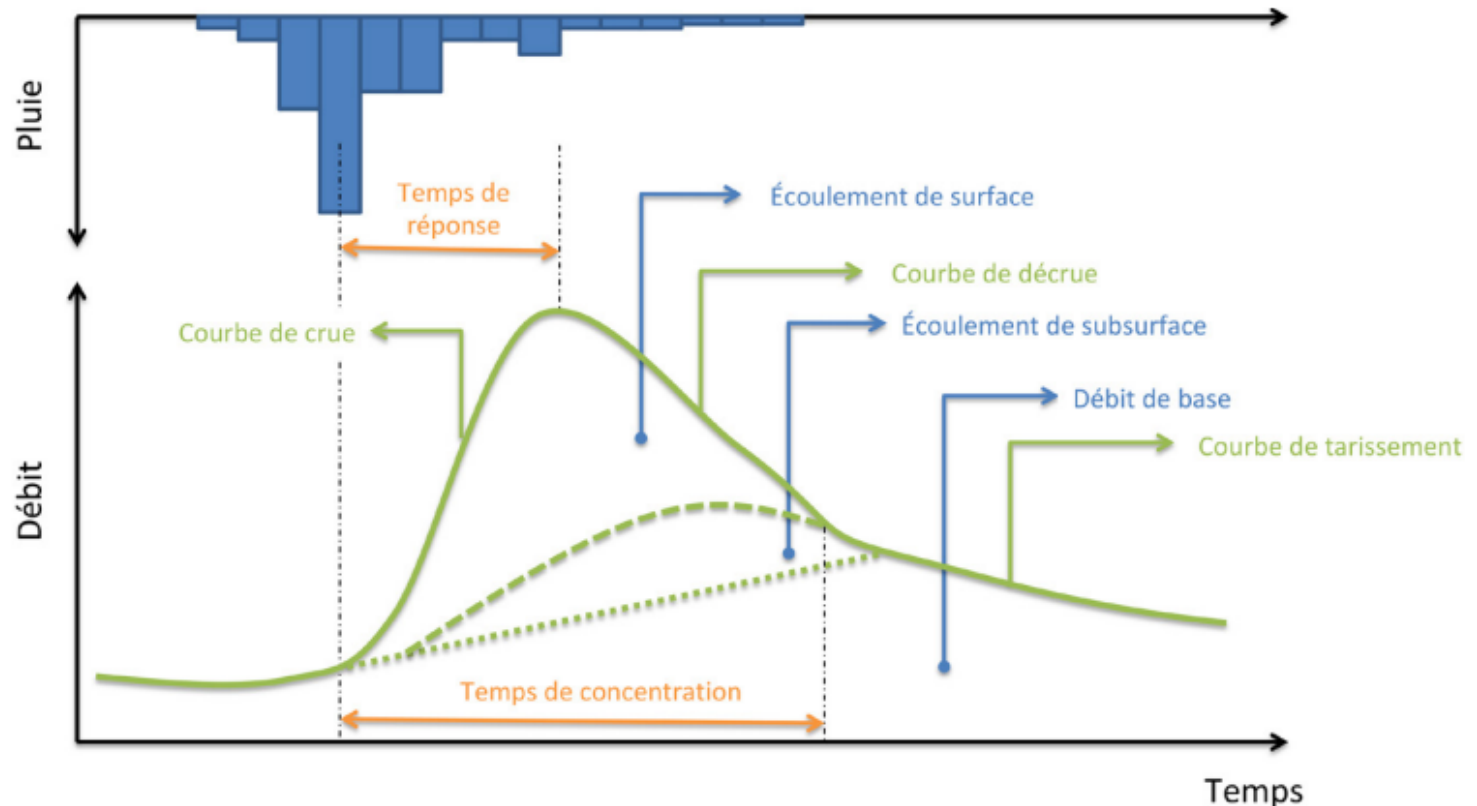
(débit = quantité d'eau qui s'écoule par unité de temps)

- 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:

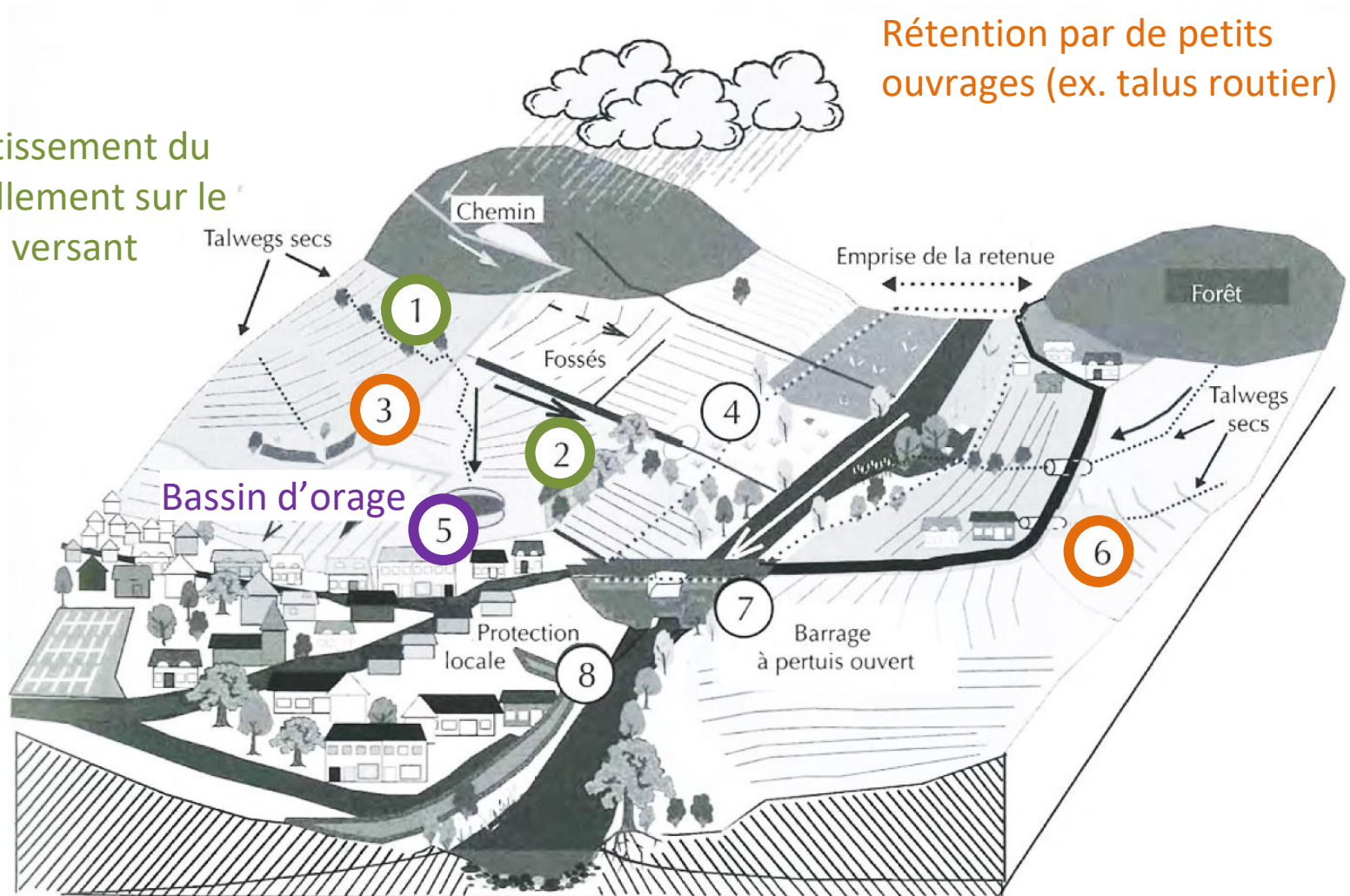
- Favoriser l'infiltration
- Ralentir les écoulements de surface



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

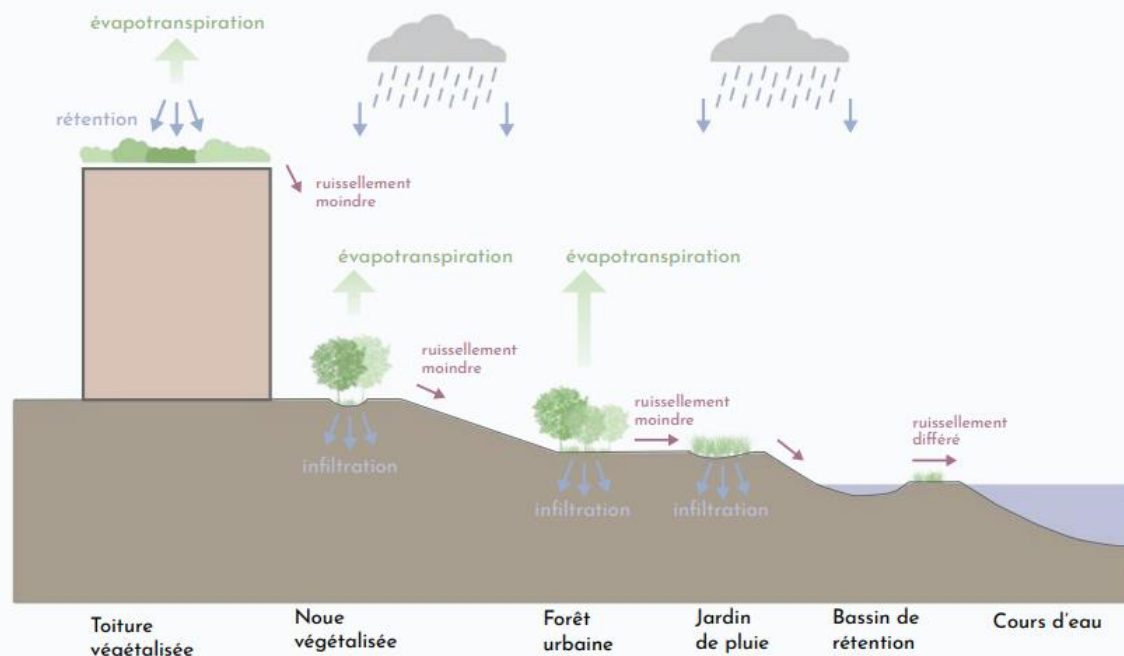
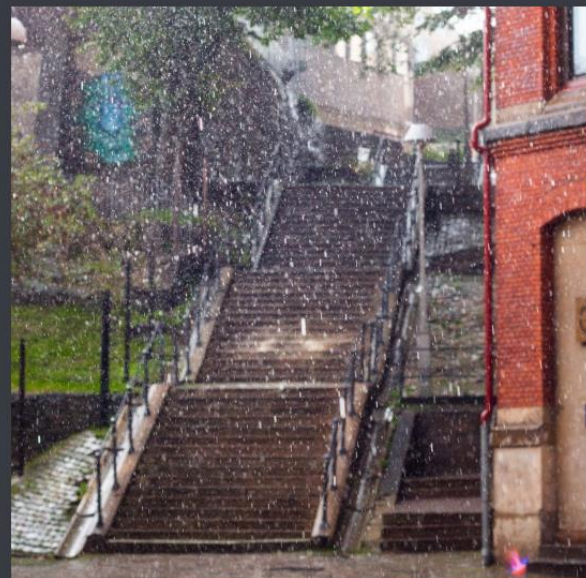


Figure 4. Différents dispositifs d'infiltration fondés sur la nature respectant la hiérarchie des exutoires.

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

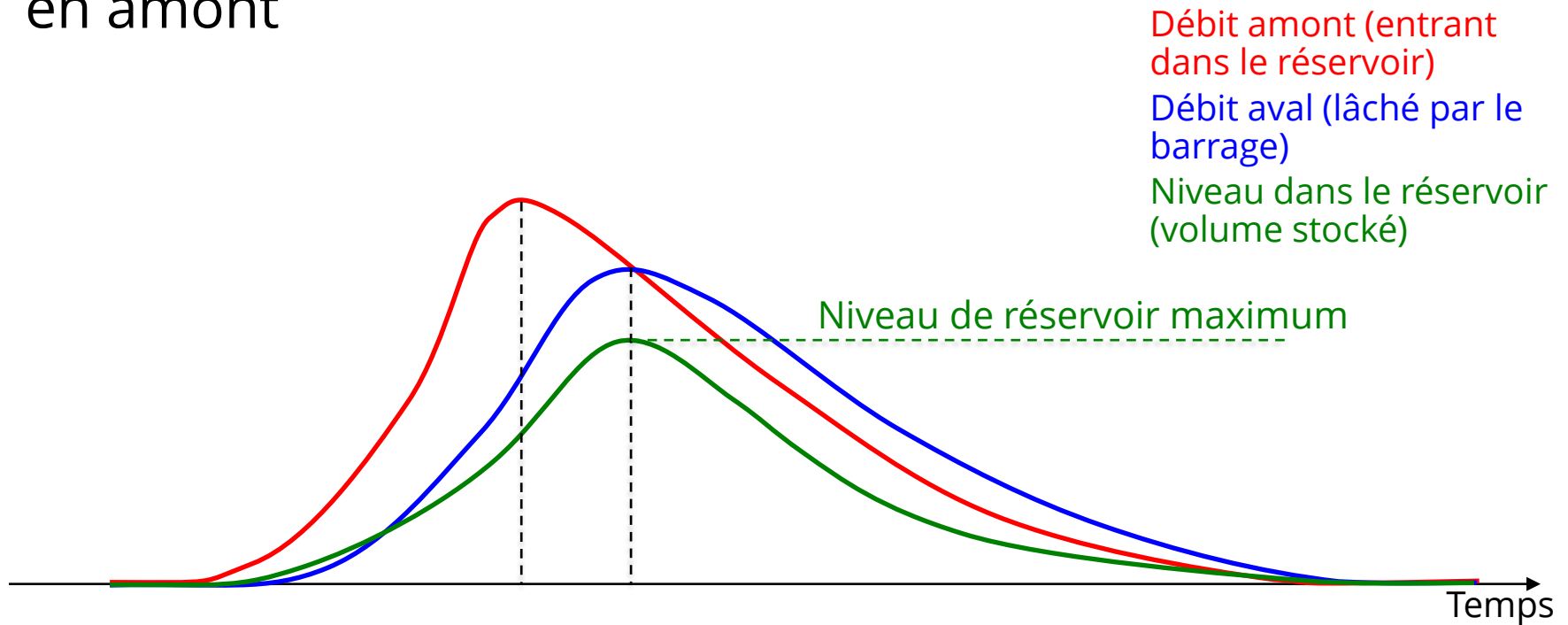
Objectif:

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



Maîtrise de la rivière: stockage

Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont



Maîtrise de la rivière: stockage

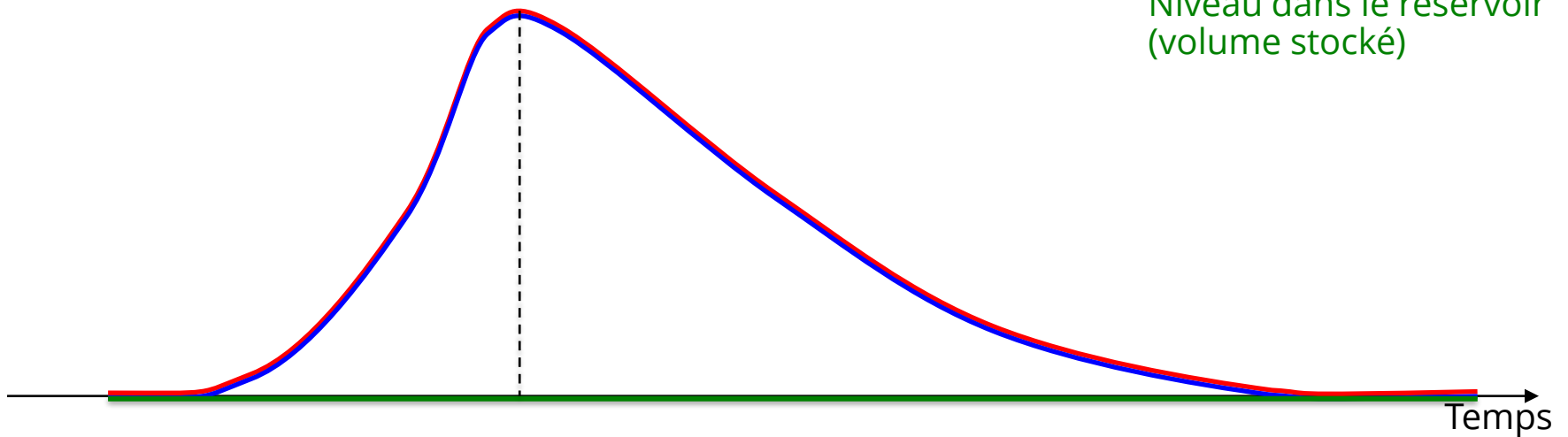
Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

Si aucune capacité de stockage

Débit amont (entrant dans le réservoir)

Débit aval (lâché par le barrage)

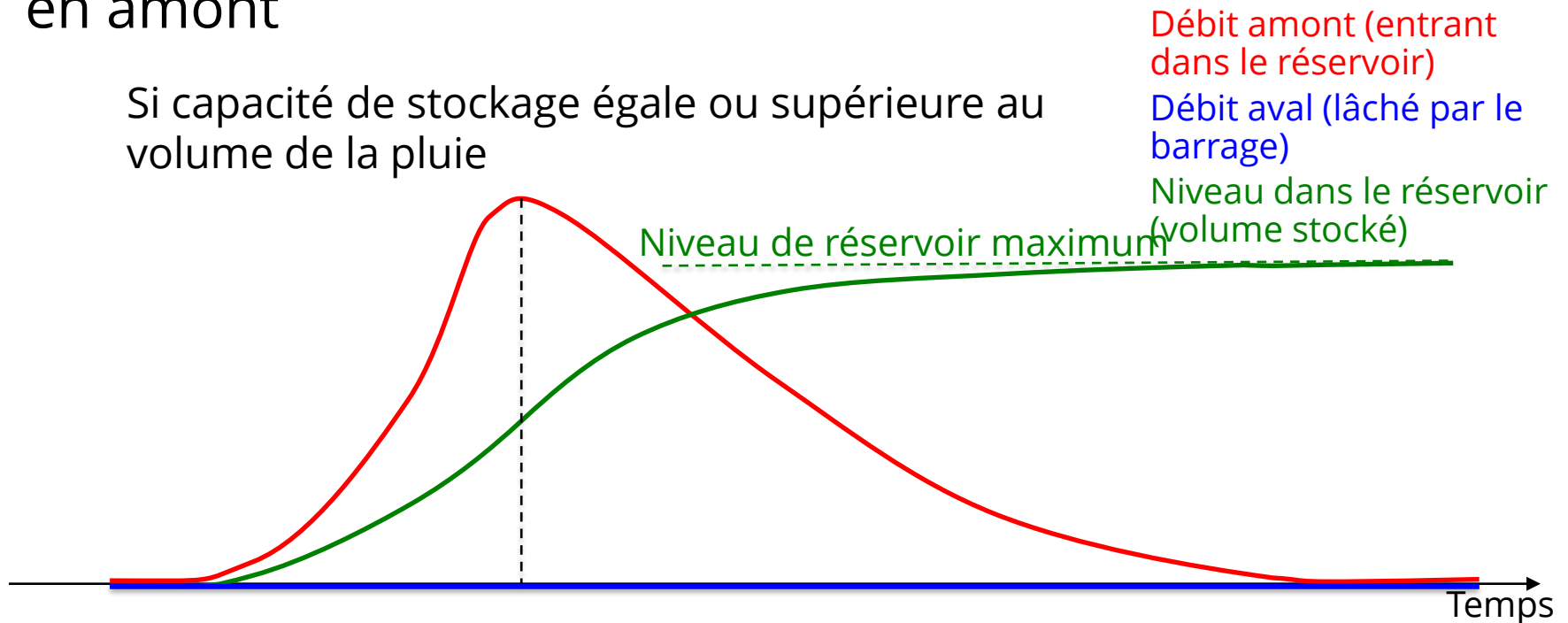
Niveau dans le réservoir (volume stocké)



Maîtrise de la rivière: stockage

Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

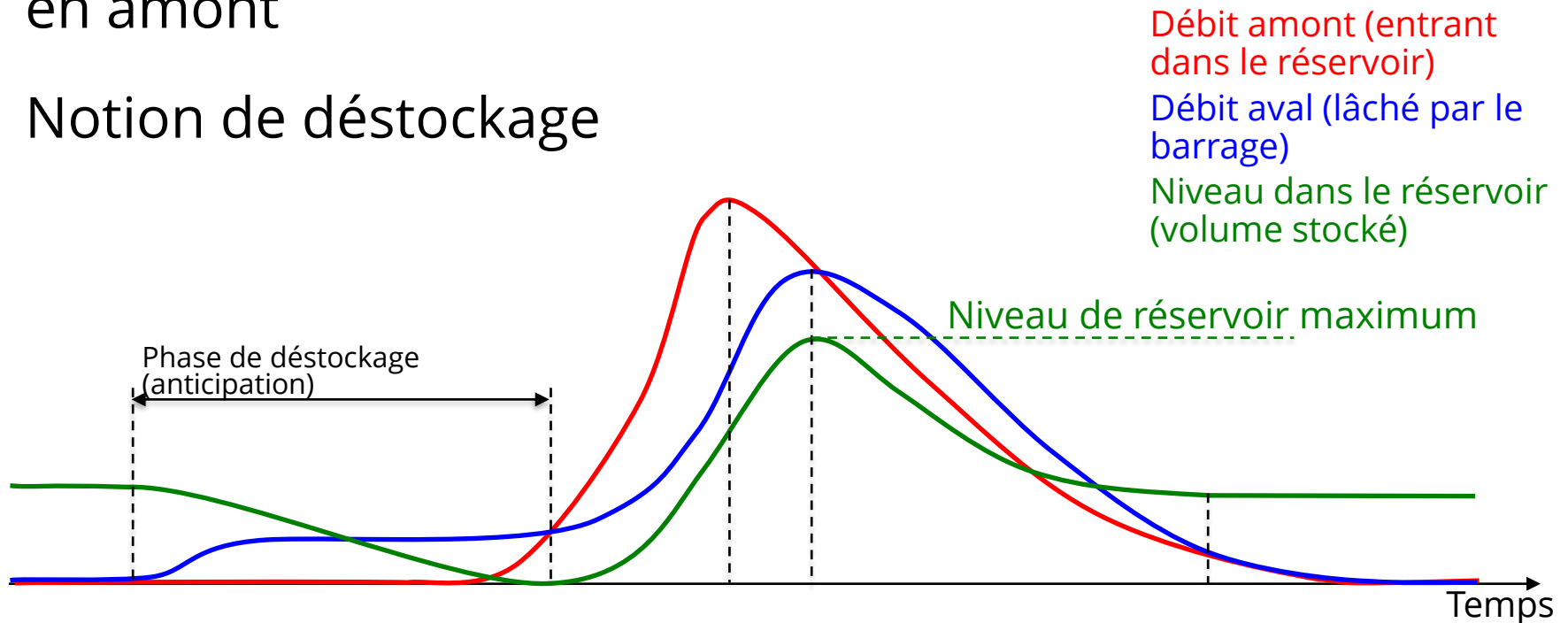
Si capacité de stockage égale ou supérieure au volume de la pluie



Maîtrise de la rivière: stockage

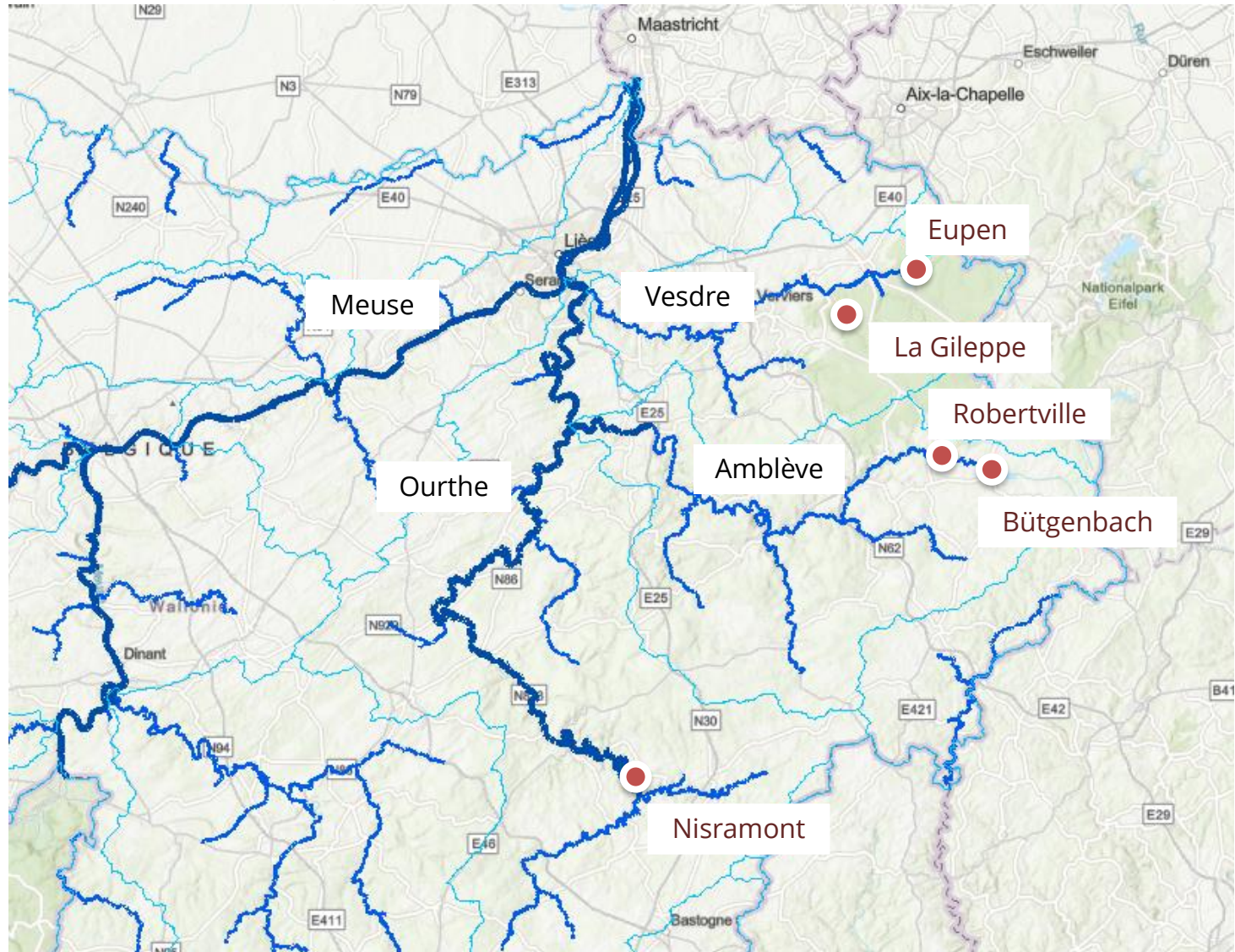
Barrage réservoir = ouvrage avec capacité de stockage en amont

Notion de déstockage



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

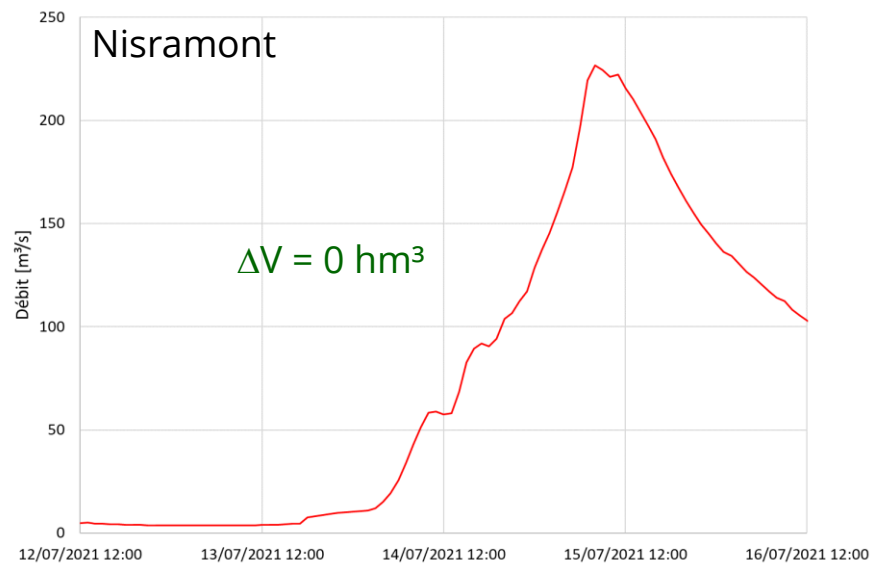
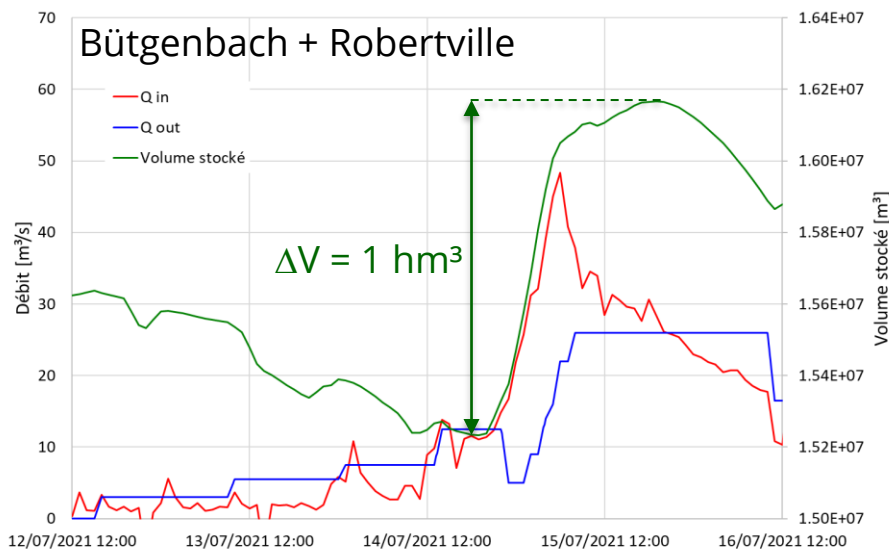
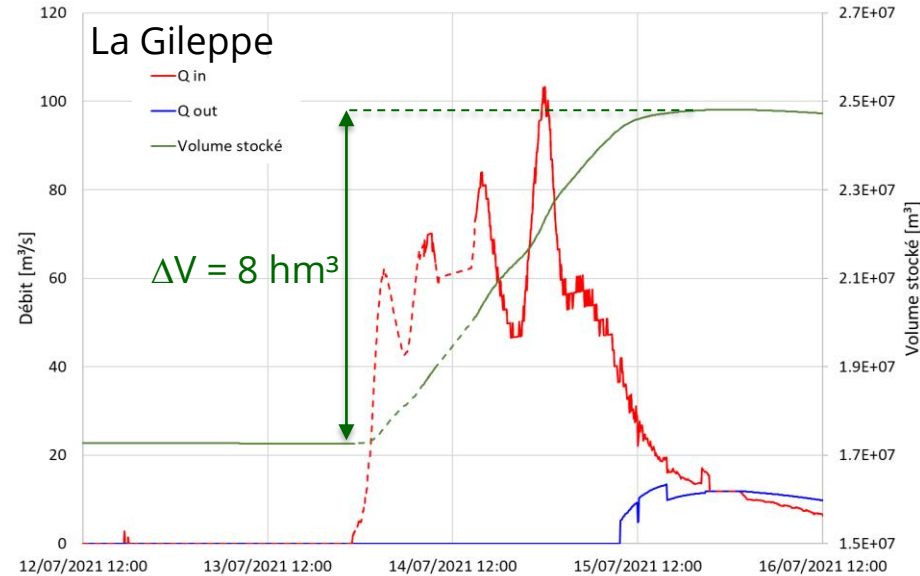
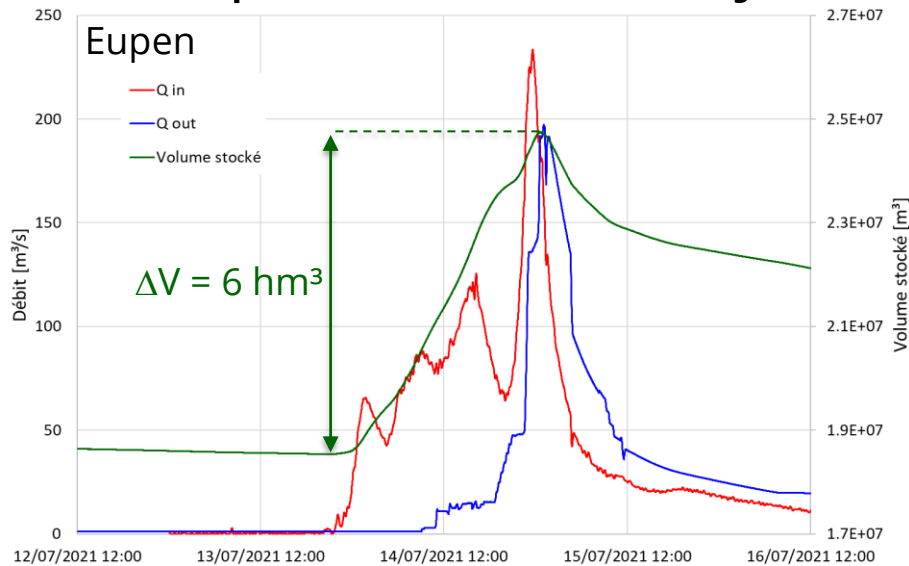
Maîtrise de la rivière: stockage

Exemple de la crue de juillet 2021

	Eupen	La Gileppe	Bütgenbach + Robertville	Nisramont
BV [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	-

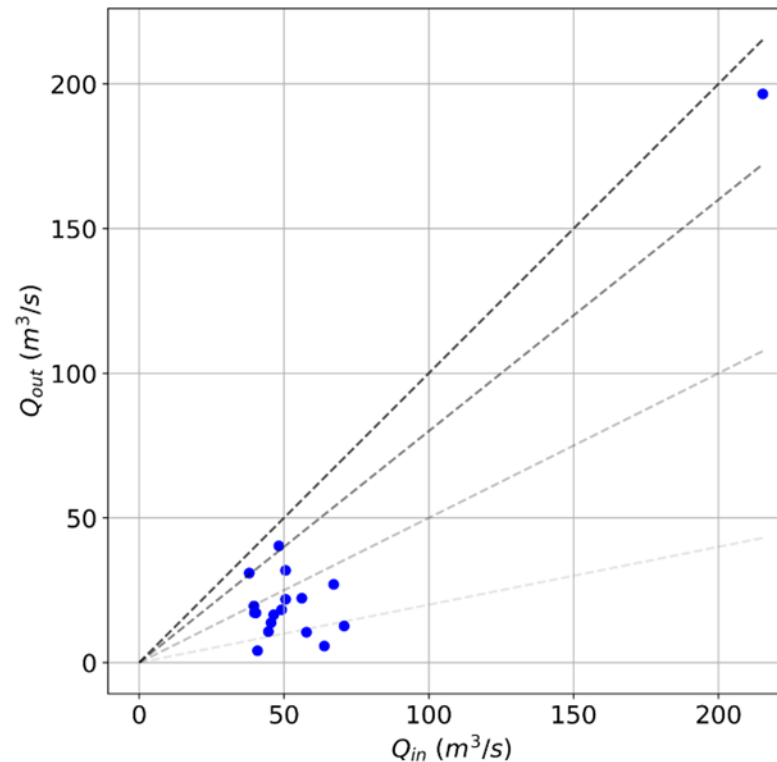
Maîtrise de la rivière: stockage

Exemple de la crue de juillet 2021



Maîtrise de la rivière: stockage

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



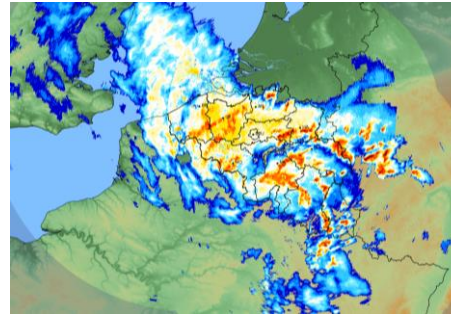
Effet d'atténuation des crues par le barrage d'Eupen sur les 18 événements les plus importants de la période 1995-2022

Source: Chakraborty et al., submitted

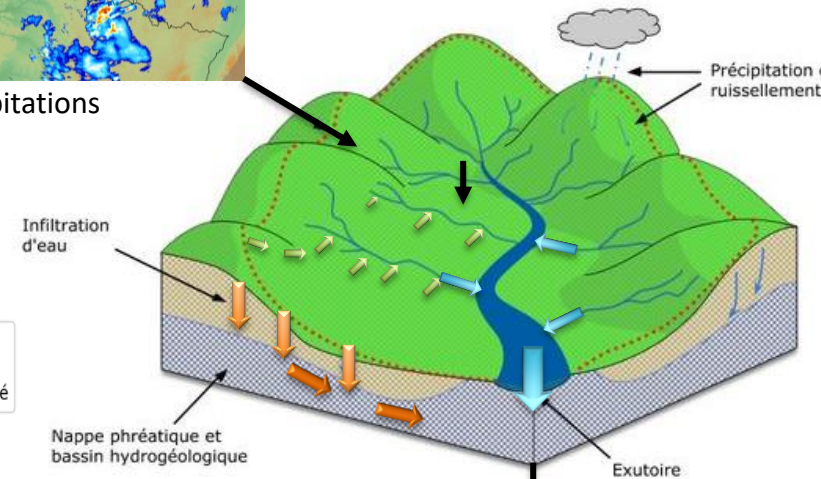
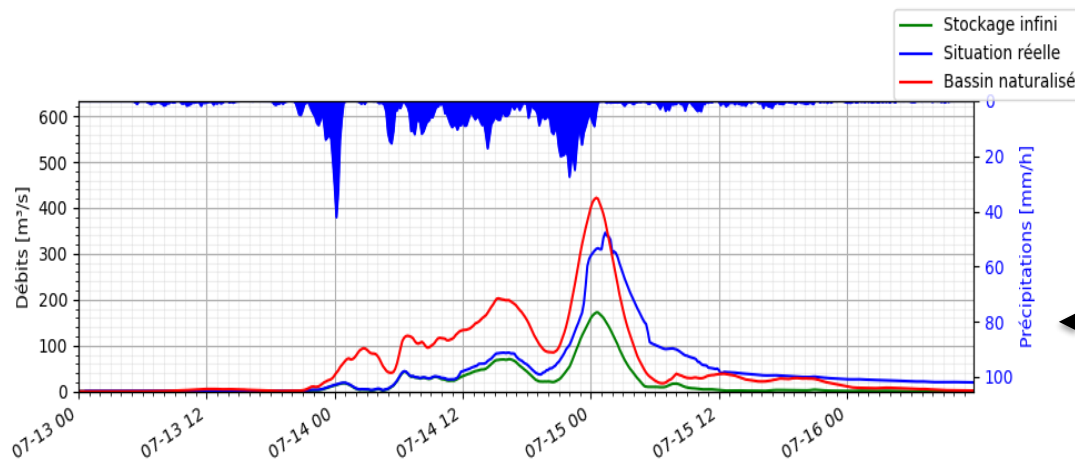
Comprendre et respecter la rivière

Modèles pluie/débit/hauteur

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



Carte des précipitations
(source IRM)

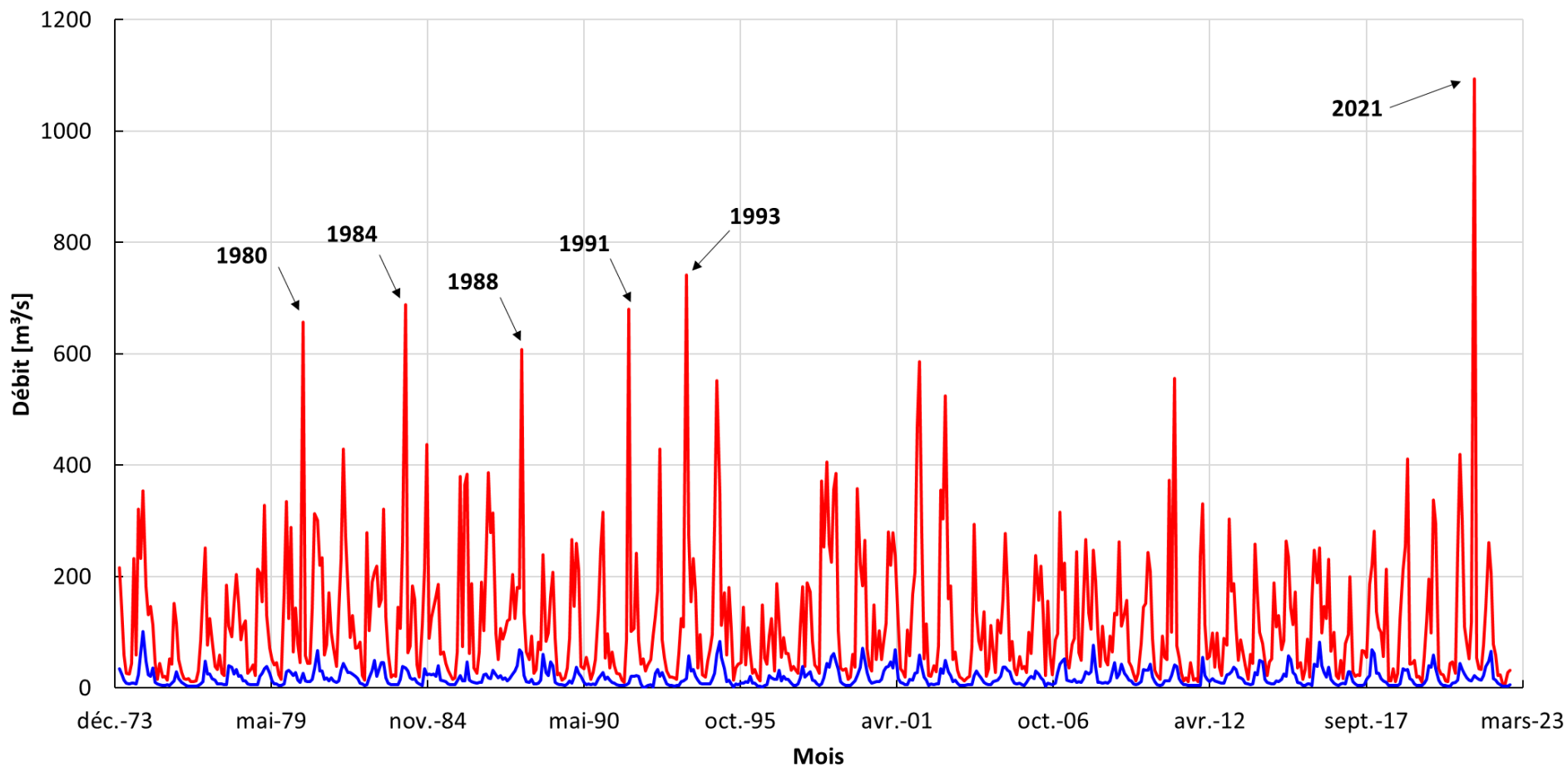


Logiciel de modélisation
(par exemple Wolf développé
par ULiege-HECE)

Comprendre et respecter la rivière

Extrêmes hydrologiques

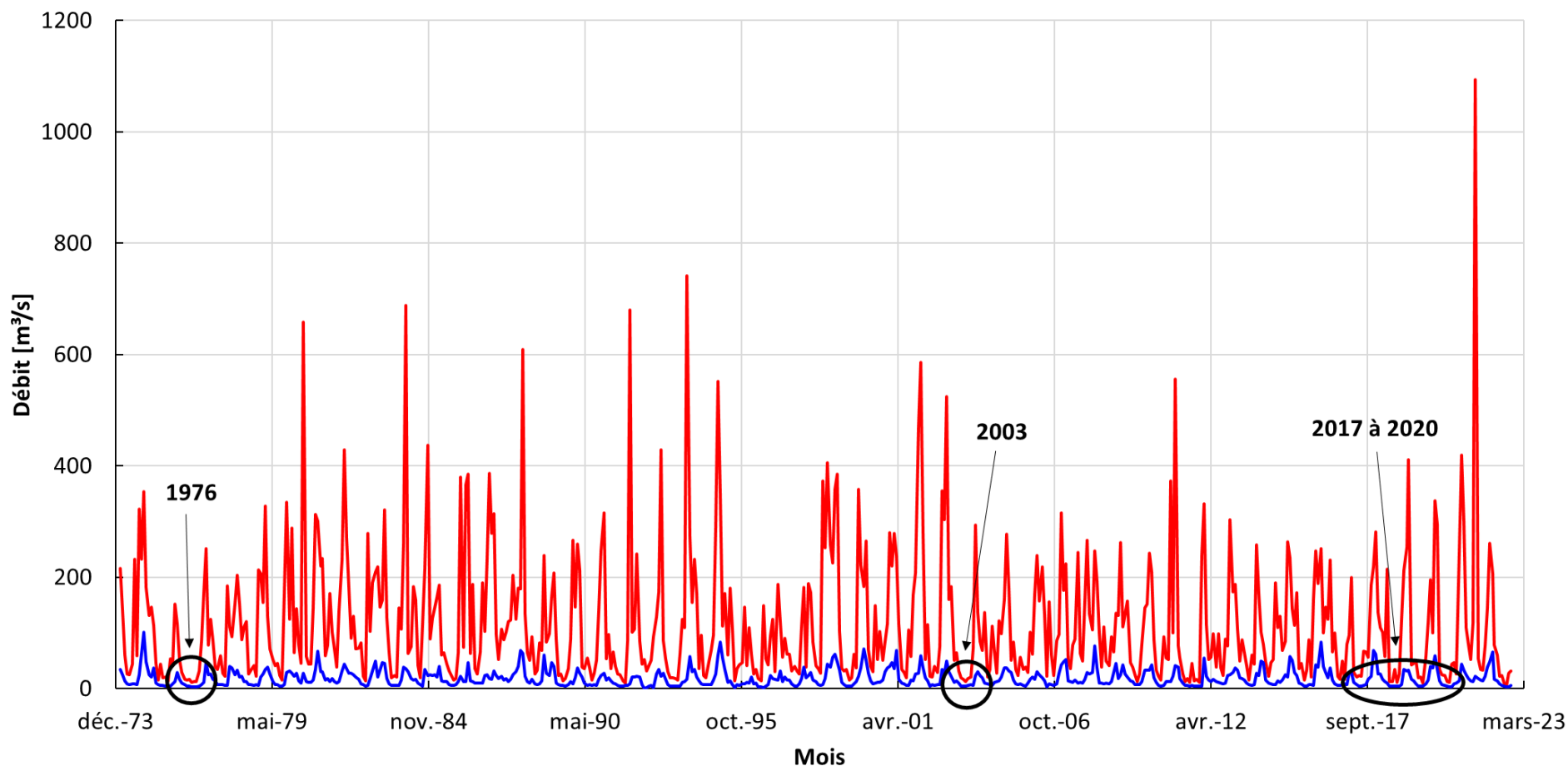
Débits min et max à Sauheid sur l'Ourthe (Source: SPW - <https://hydrometrie.wallonie.be/>)



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



Bvd Avroy



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 ...)

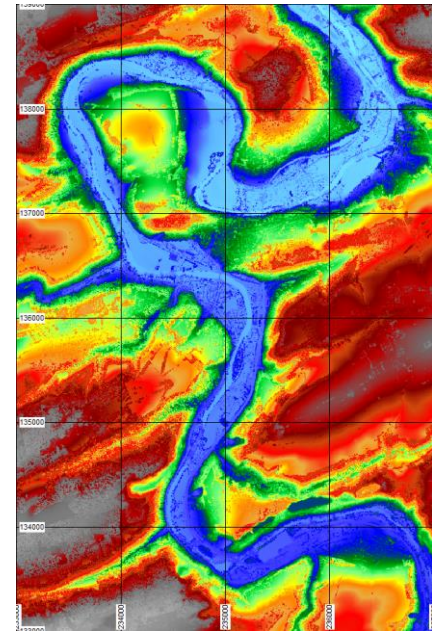
Comprendre et respecter la rivière

Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation

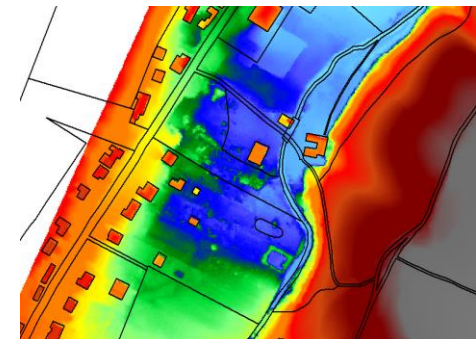
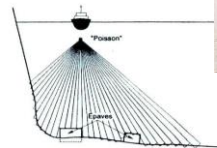
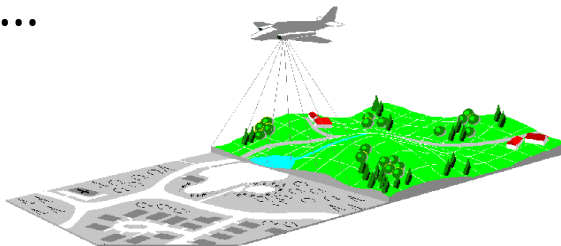
Pré-requis fondamental: disposer d'un modèle numérique de terrain de qualité

→ Exploitation de données du SPW

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



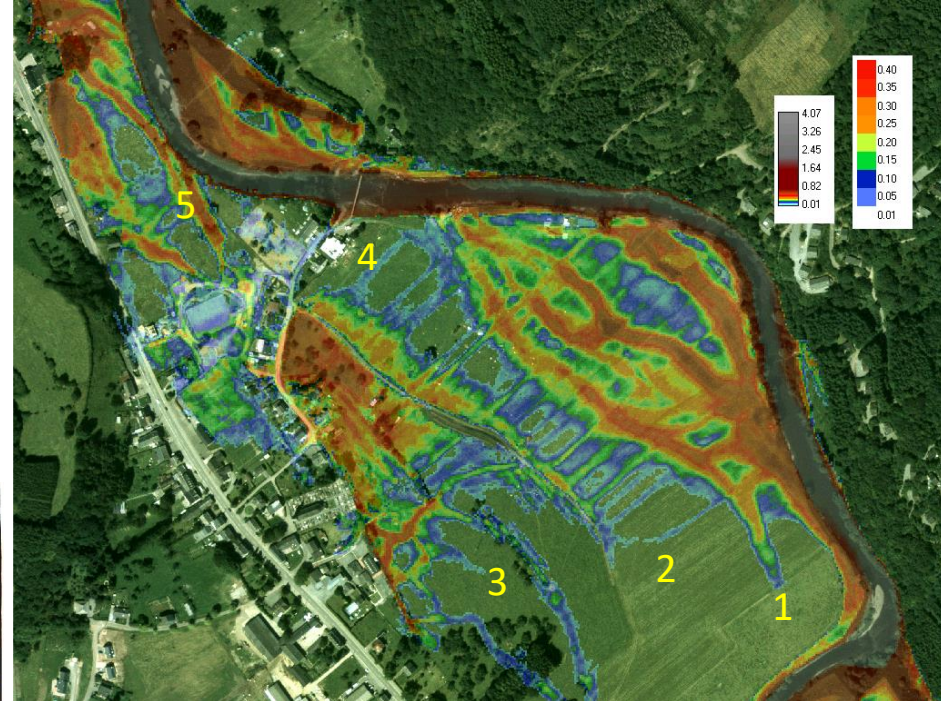
Source : SPW – Lidar – MNS 2013-2014



Ex. : trace des bâtiments sur base du
PICC

Comprendre et respecter la rivière

Comparaison entre événement réel et modélisation

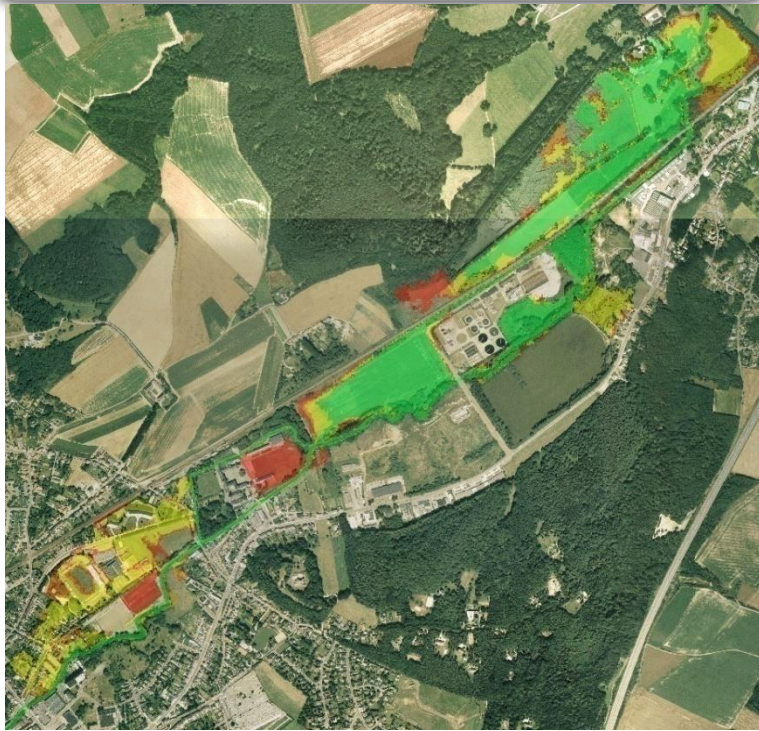


Crue de février 2002 à Rendeux-Bas
(Ourthe) – 165 m³/s

Comprendre et respecter la rivière

Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation

Conditions d'inondation pour différentes périodes de retour

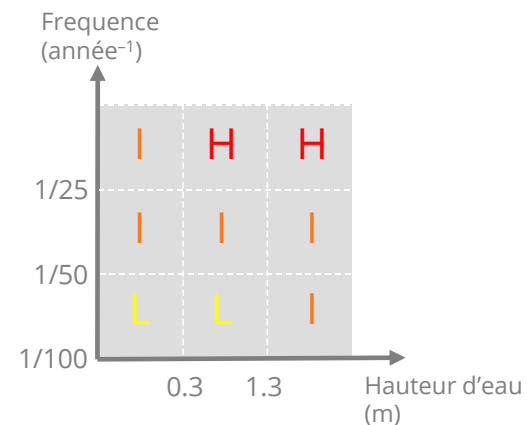
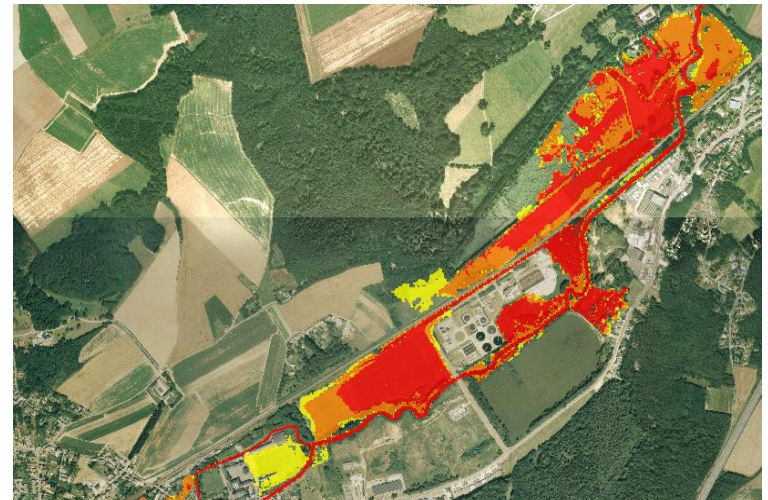


Evénement historique

Crue de fréquence $\geq 1/50$

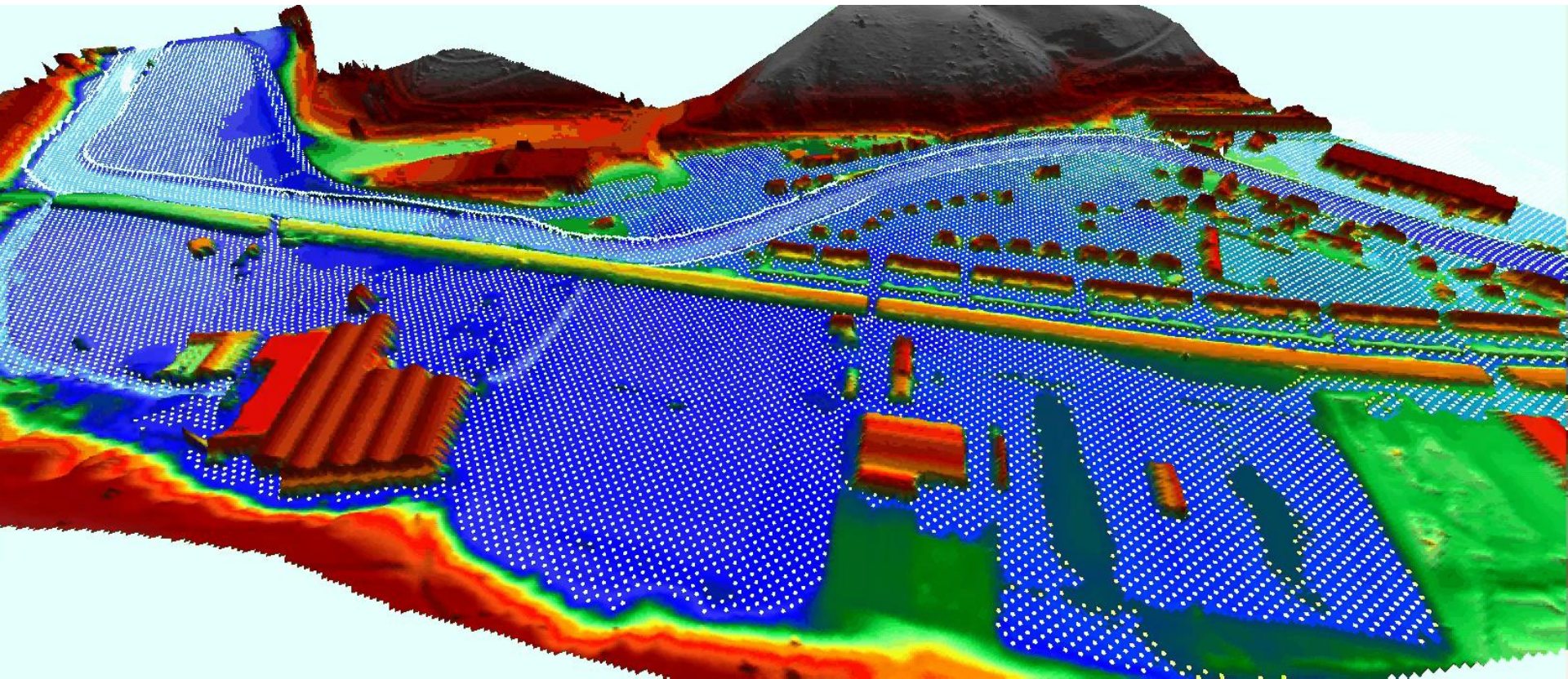
Crue de fréquence $\geq 1/100$

Carte de risque



Comprendre et respecter la rivière

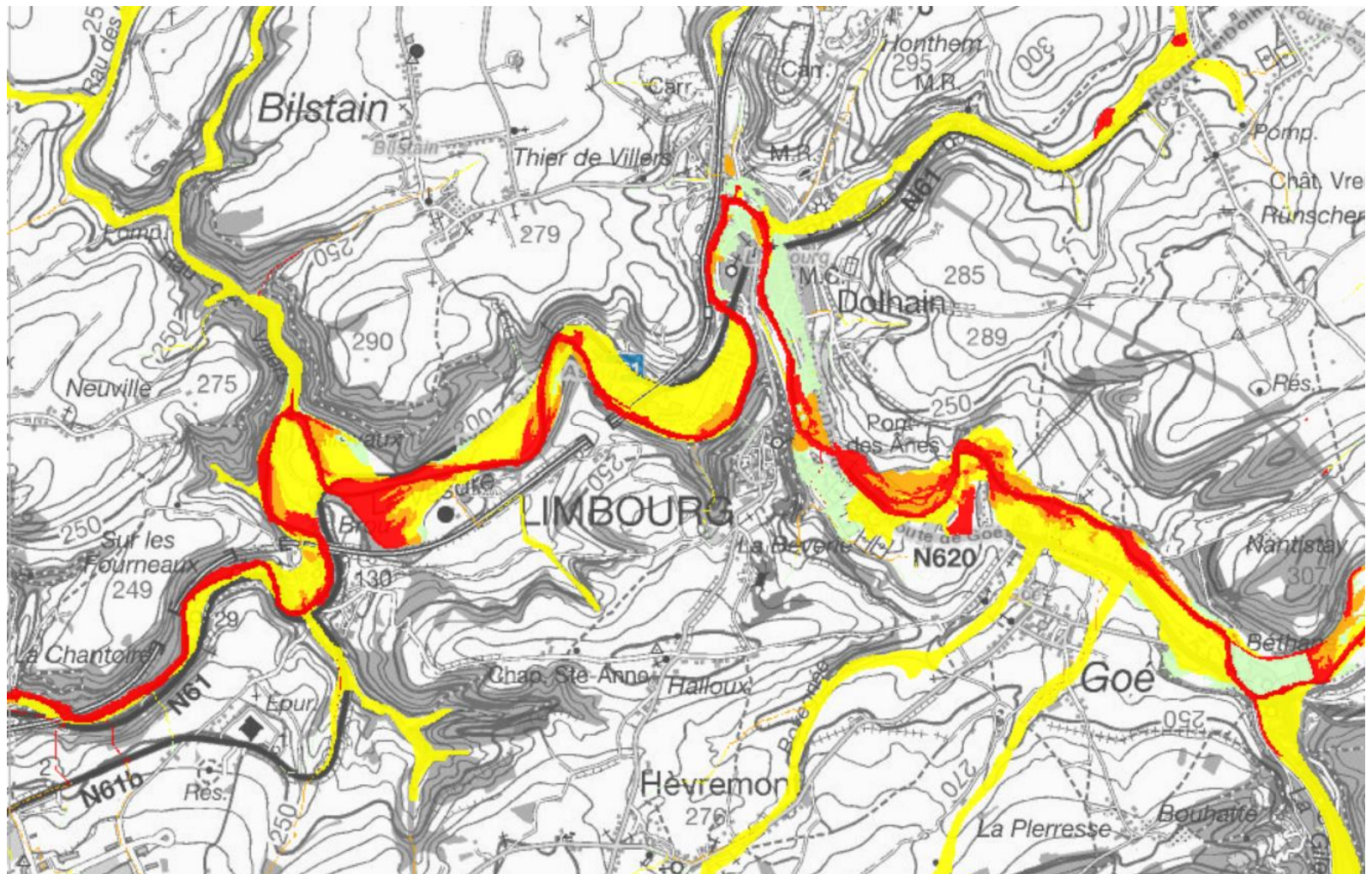
Modélisation / Cartographie de l'aléa d'inondation



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)

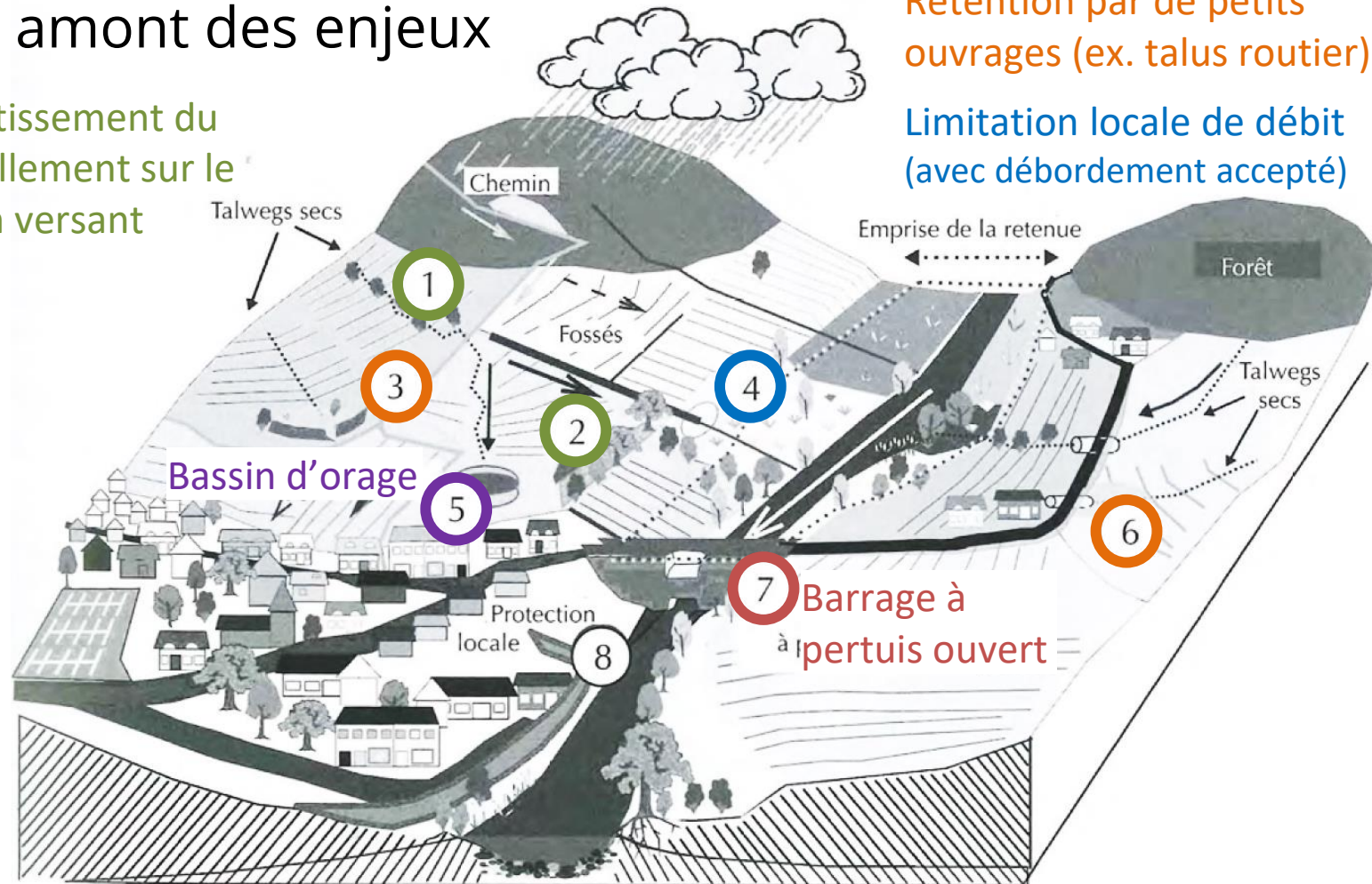
Aménager la rivière

Ralentissement dynamique : écrêter les crues en amont des enjeux

Ralentissement du ruissellement sur le bassin versant

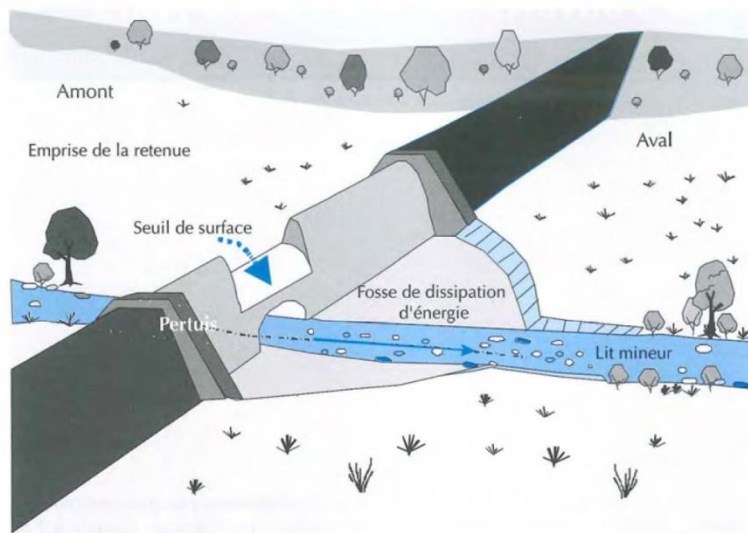
Rétention par de petits ouvrages (ex. talus routier)

Limitation locale de débit (avec débordement accepté)



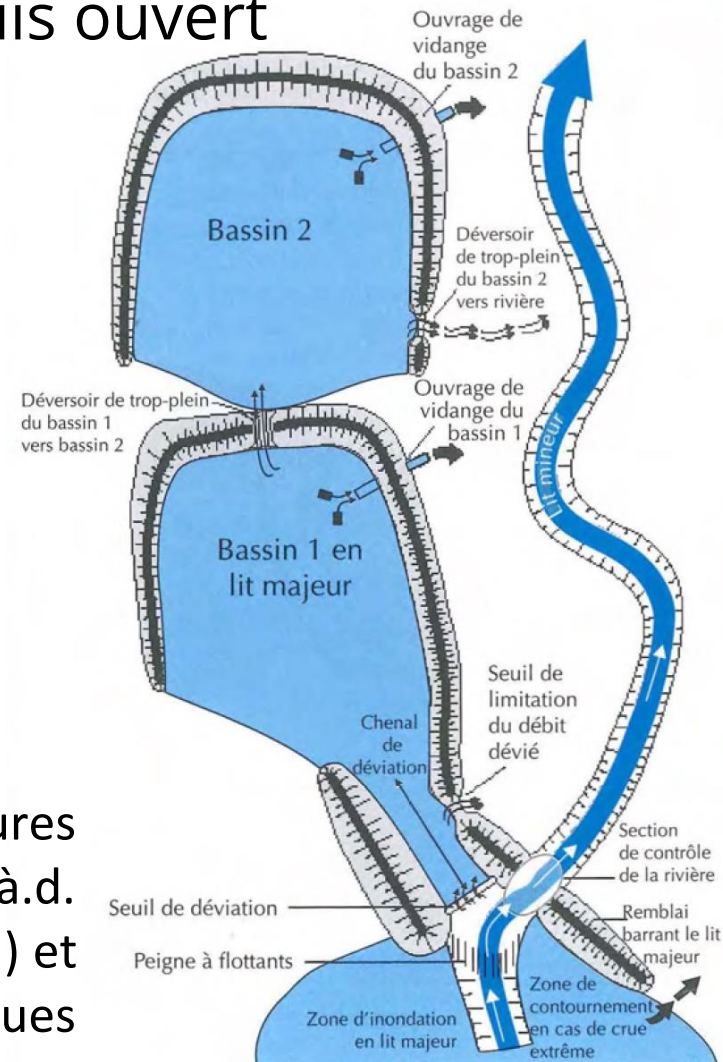
Aménager la rivière

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



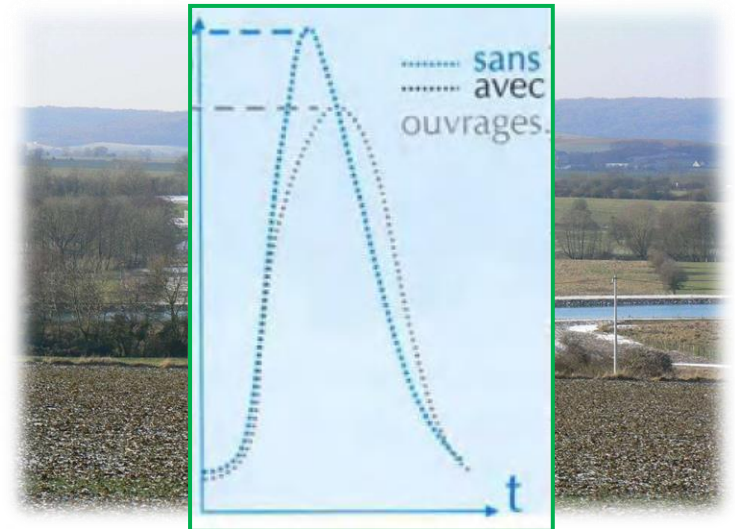
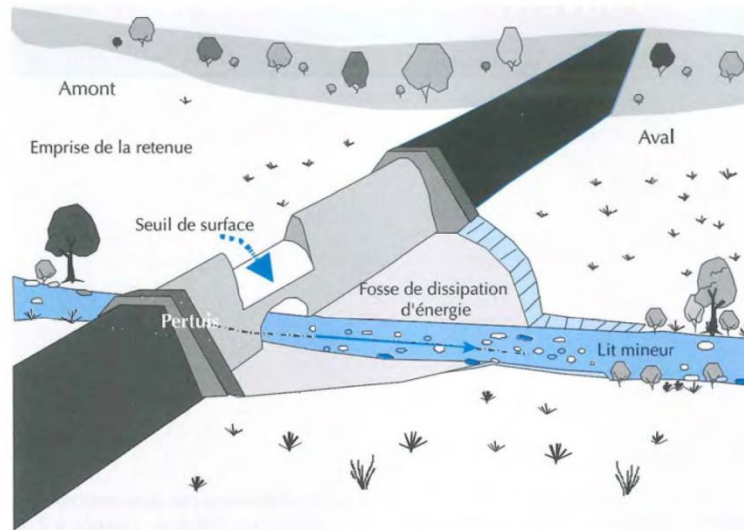
Les **barrages à pertuis ouvert** (= « barrages secs ») sont construits en travers des lits mineur et majeur

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

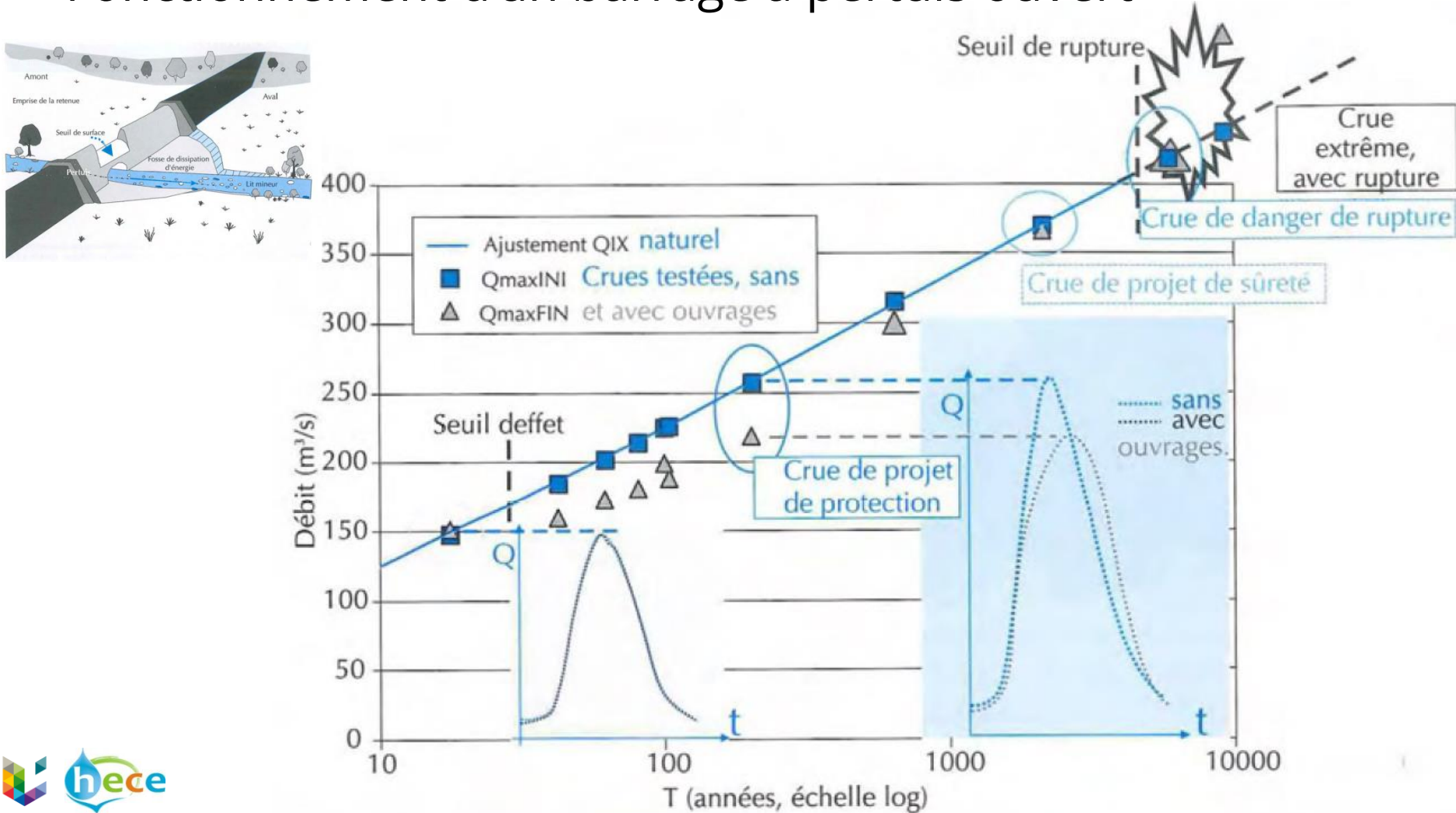
Fonctionnement d'un barrage à pertuis ouvert



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



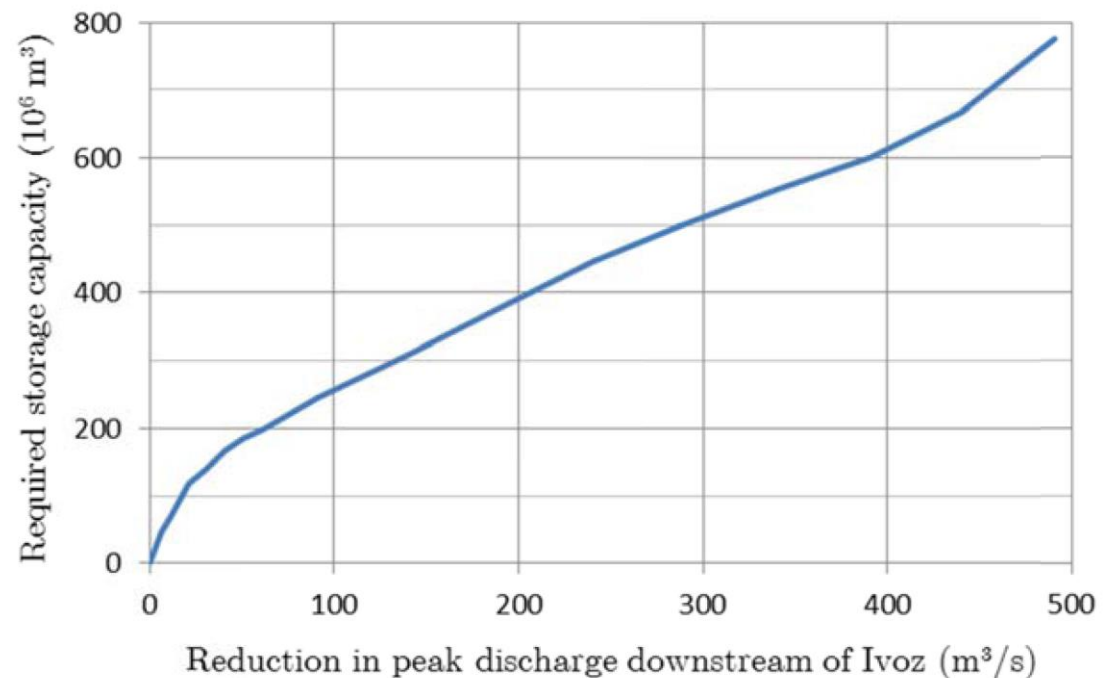
Aménager la rivière

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

Aménager la rivière

Solutions « basées sur la nature »

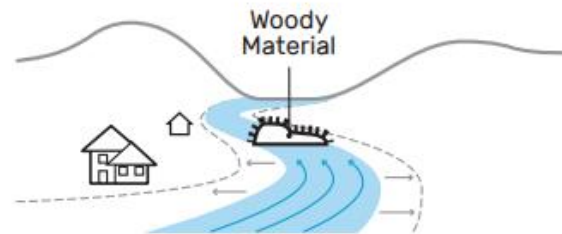
Interreg



Co-funded by
the European Union

North-West Europe

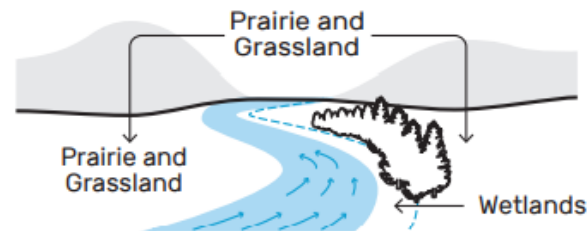
ResiRiver



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

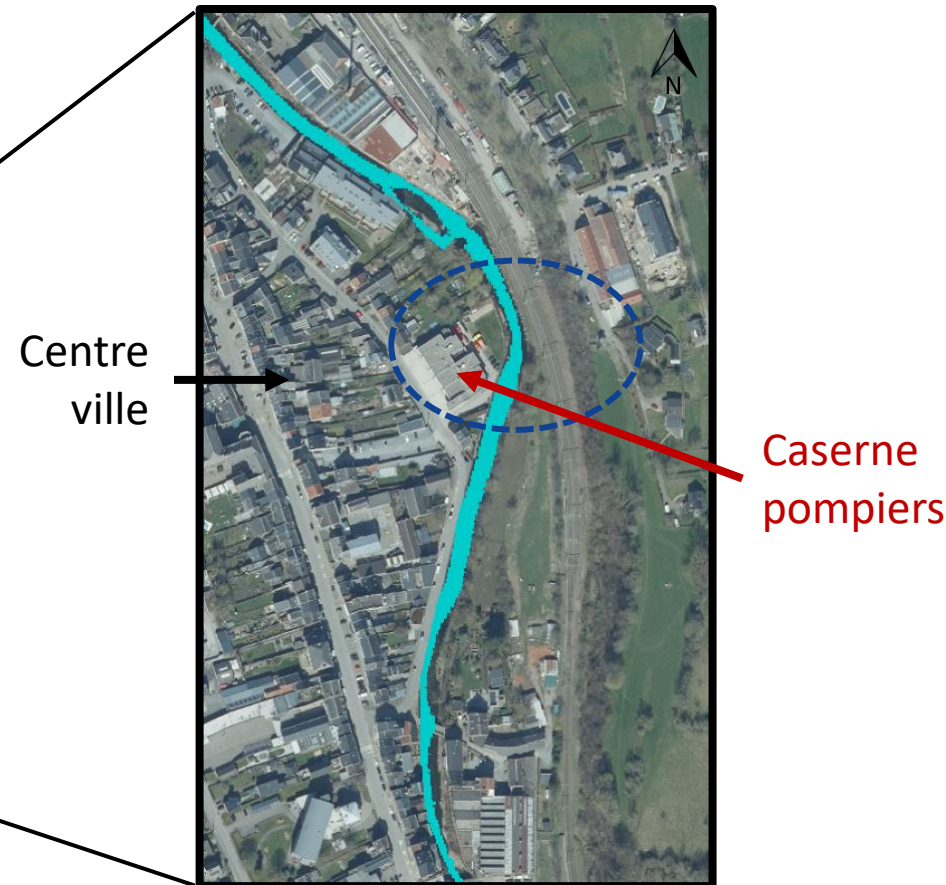
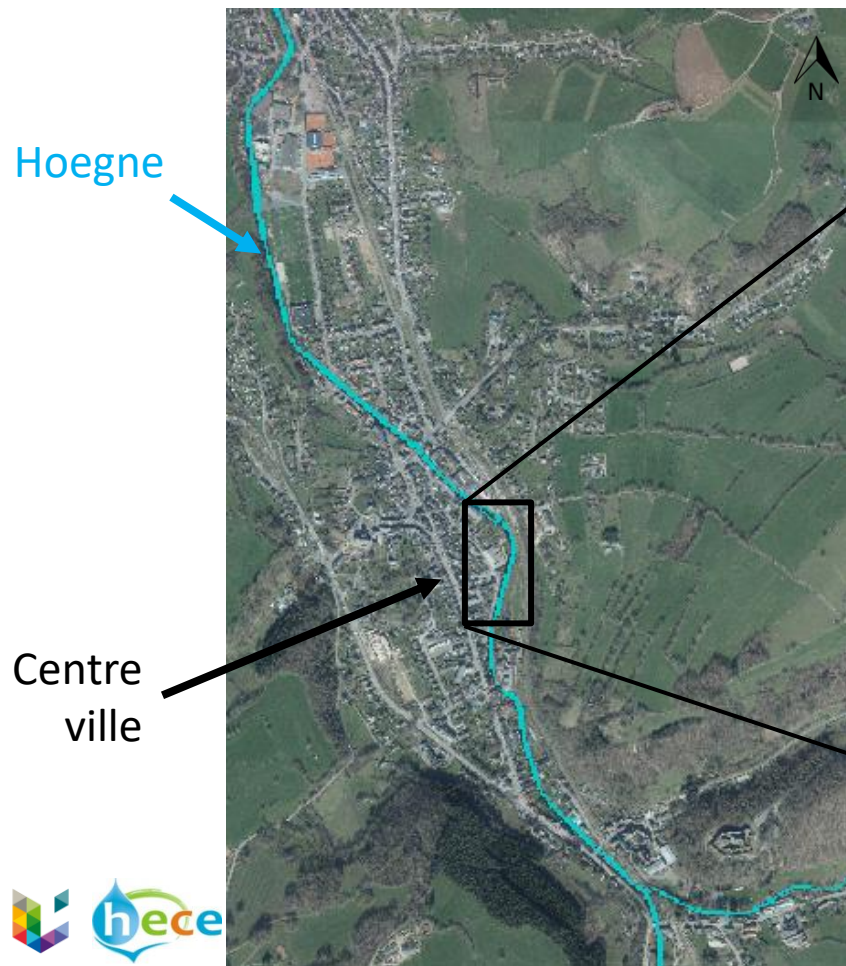
Amélioration des solutions traditionnelles (grises)



Aménager la rivière

Solutions « basées sur la nature »

Exemple de Theux

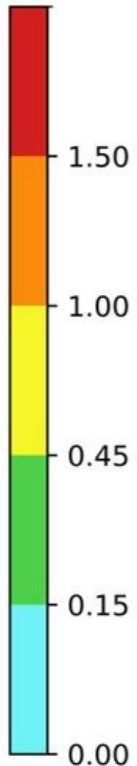


Rétrécissement du lit de la rivière au droit de la caserne – conséquences ?

Aménager la rivière

Exemple de Theux

Hauteur
d'eau
[m]



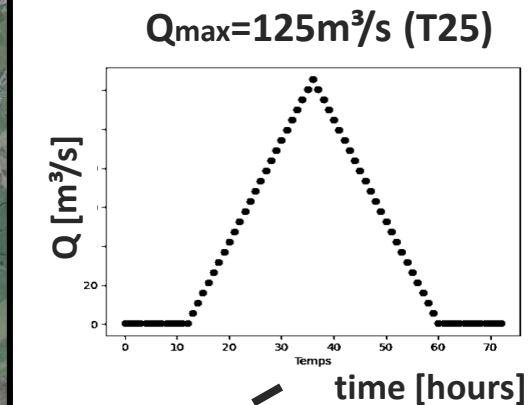
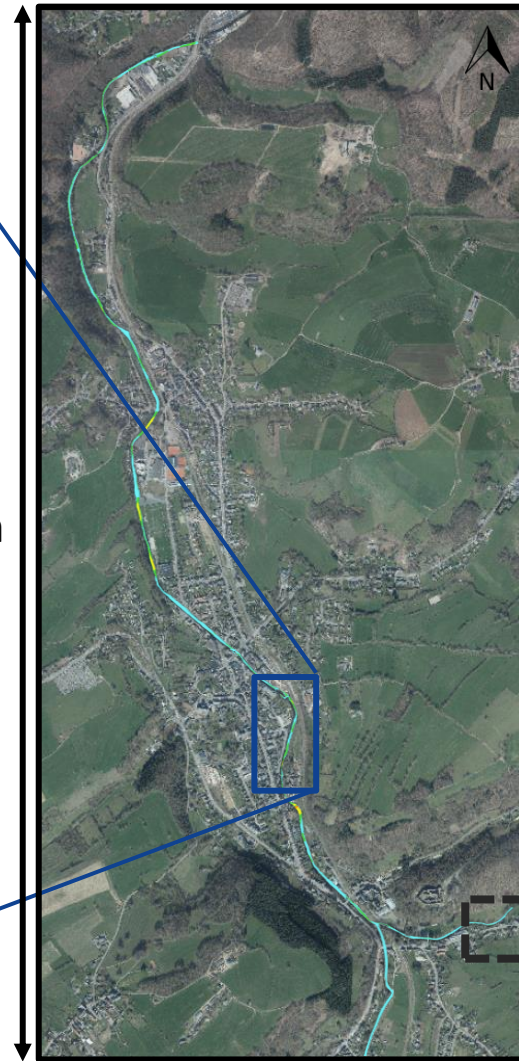
Zoom sur le centre ville



4km

Point faible pour les
crues

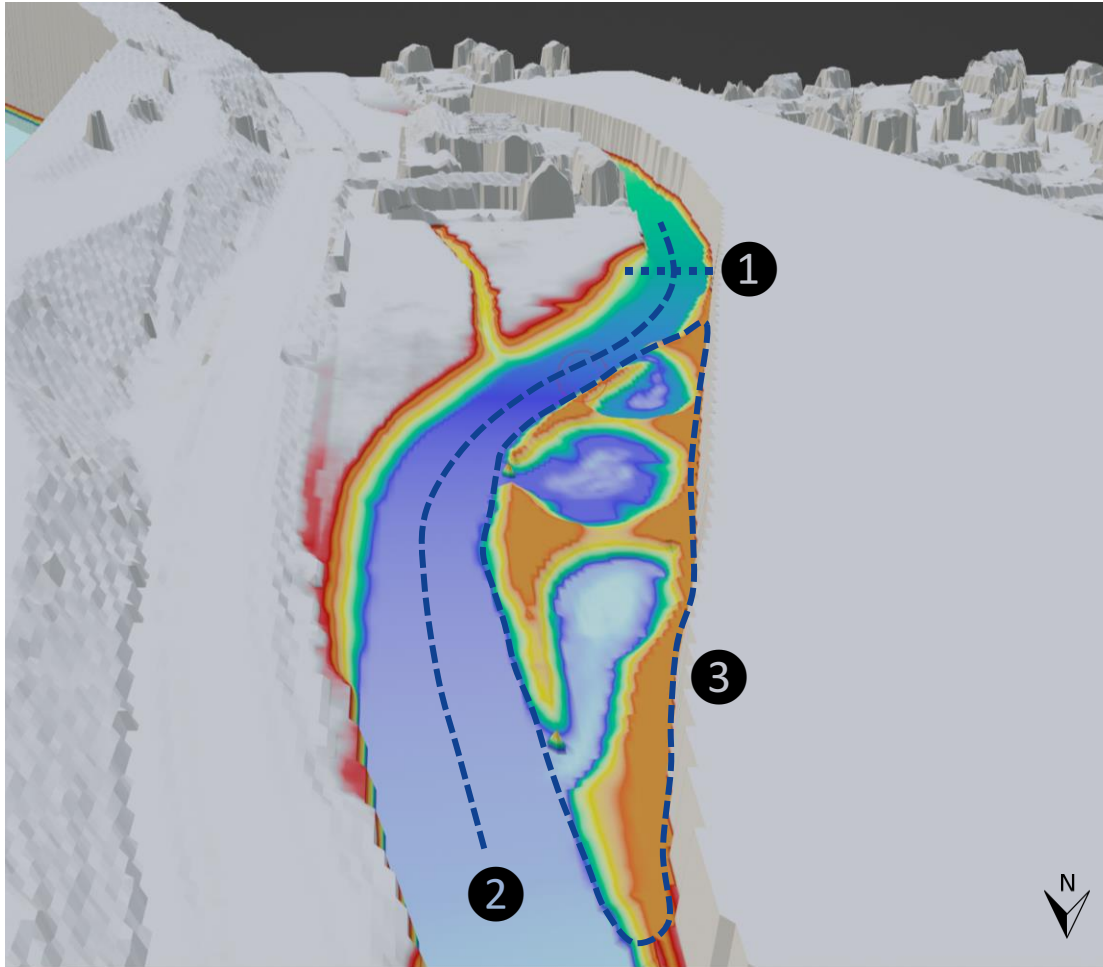
Time : 1.0 [h]



3km

Aménager la rivière

Exemple de Theux



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

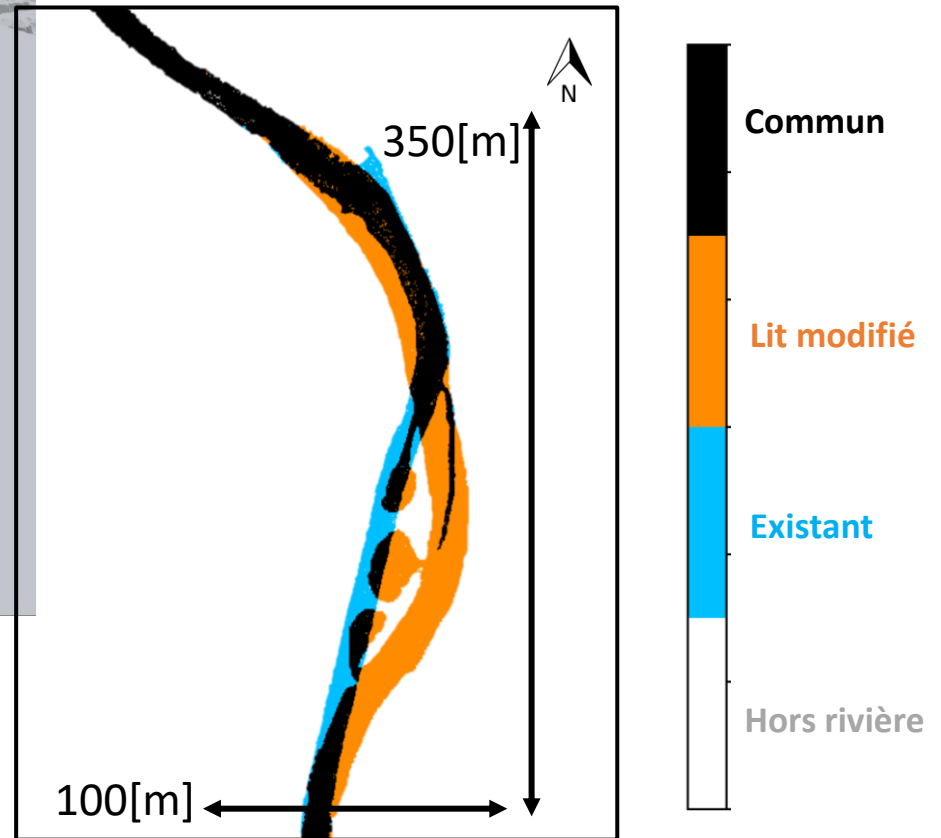
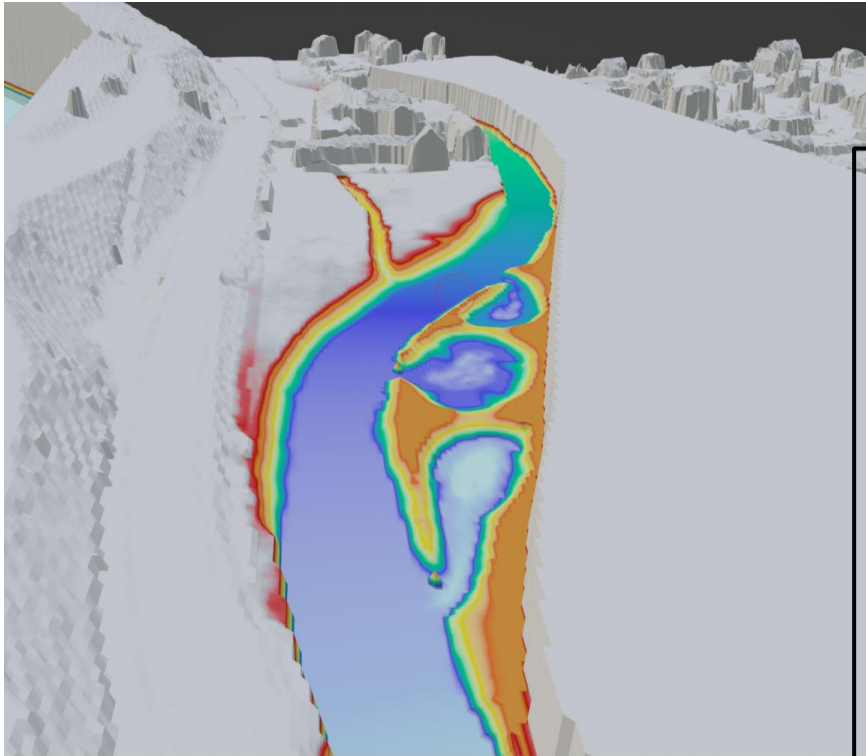
- ① Largeur de la Hoegne augmentée
- ② Modification de l'axe du lit
Améliorent les conditions d'écoulement
- ③ Création de dépressions pour le stockage

Capacité de stockage supplémentaire durant la crue

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

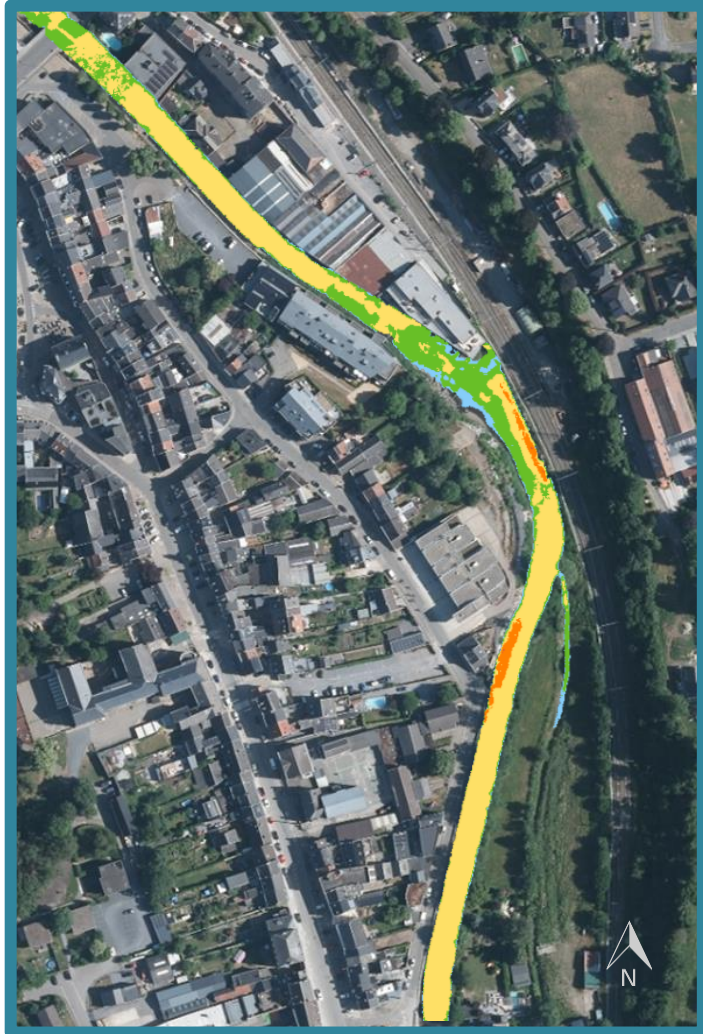
Aménager la rivière

Exemple de Theux

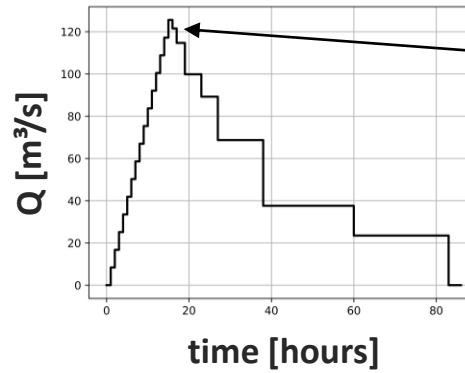
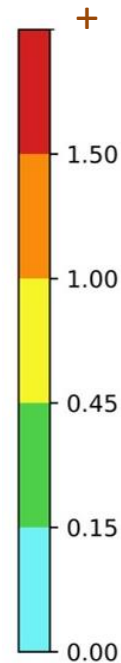


Aménager la rivière

Situation actuelle



Hauteur d'eau [m]



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

Situation modifiée

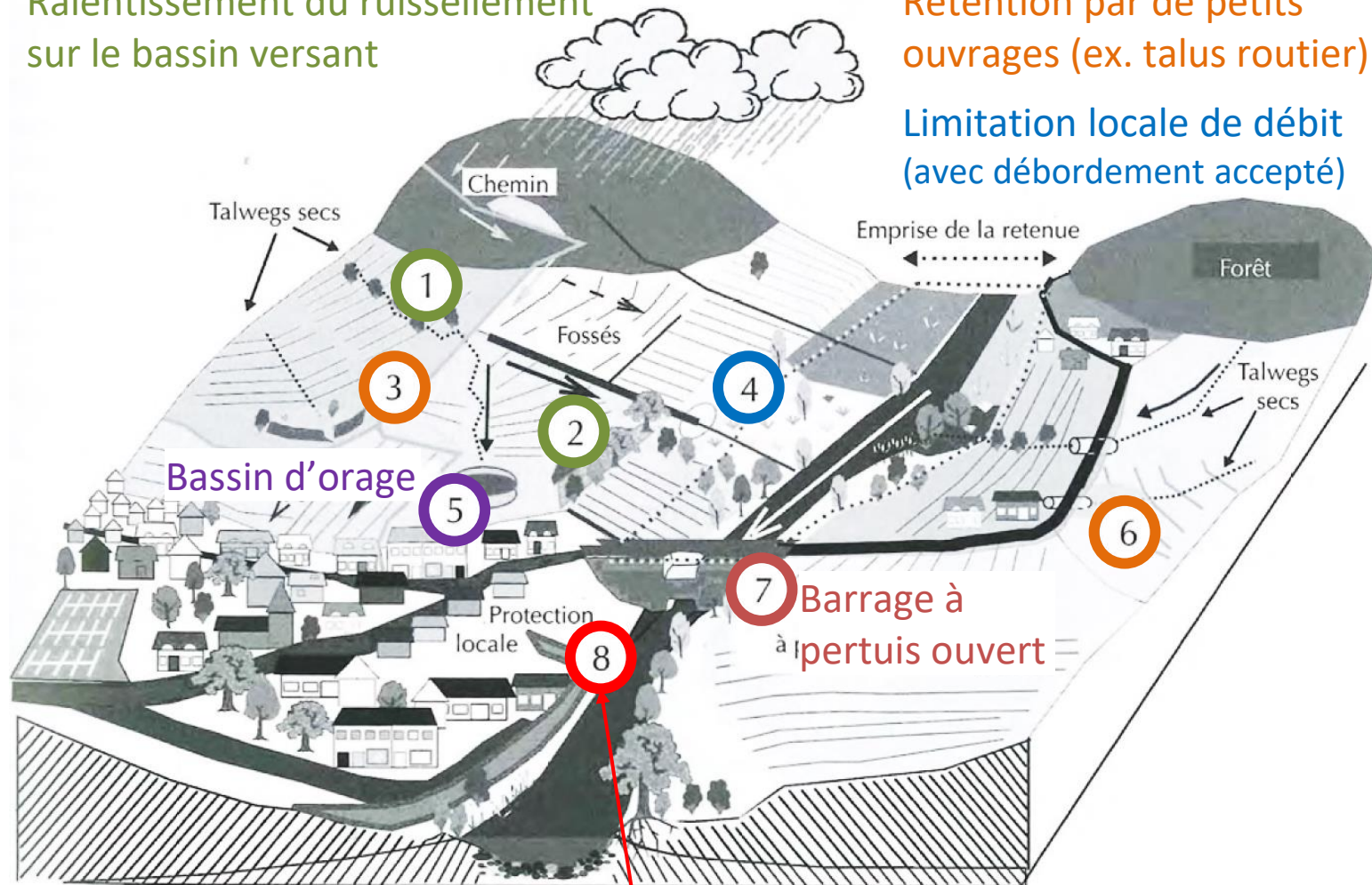


Se protéger de la rivière

Ralentissement du ruissellement
sur le bassin versant

Rétention par de petits
ouvrages (ex. talus routier)

Limitation locale de débit
(avec débordement accepté)



Se protéger de la rivière

RÉFÉRENTIEL

Constructions et aménagements en zone inondable



EDIWALL



INONDATIONS

RÉDUIRE LA VULNÉRABILITÉ DES
CONSTRUCTIONS EXISTANTES

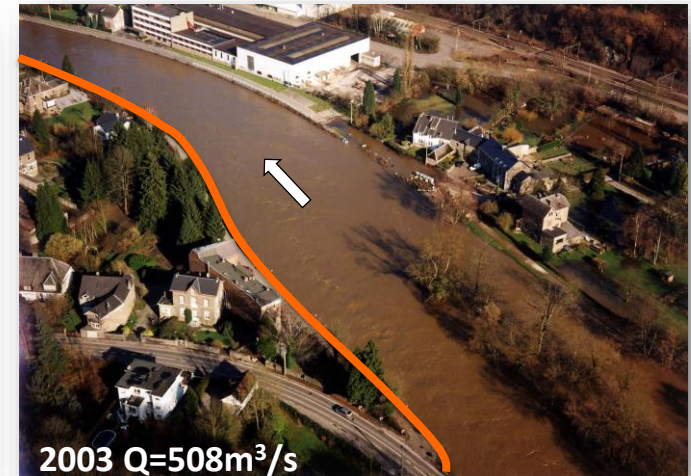
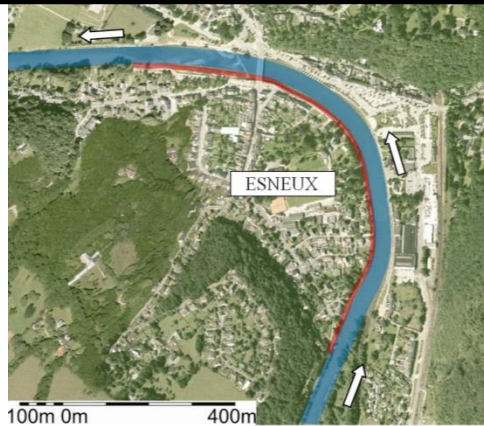


EDIWALL



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

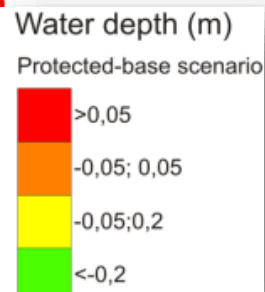
► Efficace pour les crues rares

► Effets négatifs pour les crues extrêmes

$Q = 508 \text{ m}^3/\text{s}$
(crue de 2003 $T \sim 4$ ans)

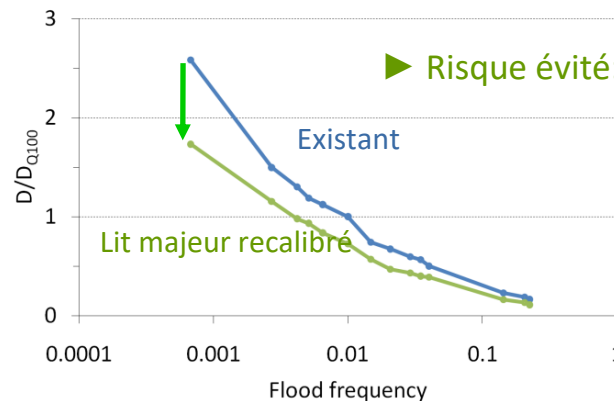
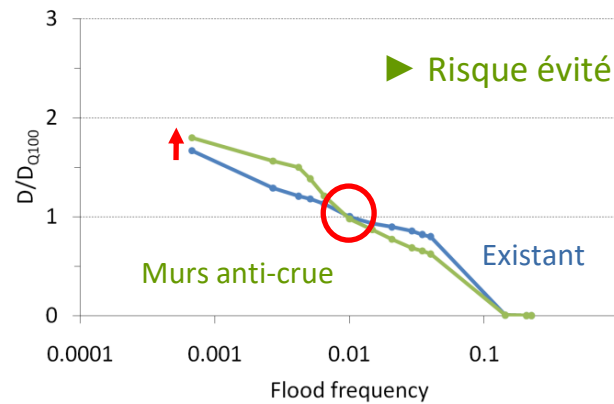
$Q = 762 \text{ m}^3/\text{s}$
($T \sim 34$ ans)

$Q = 1007 \text{ m}^3/\text{s}$
($T \sim 300-400$ ans)



Se protéger de la rivière

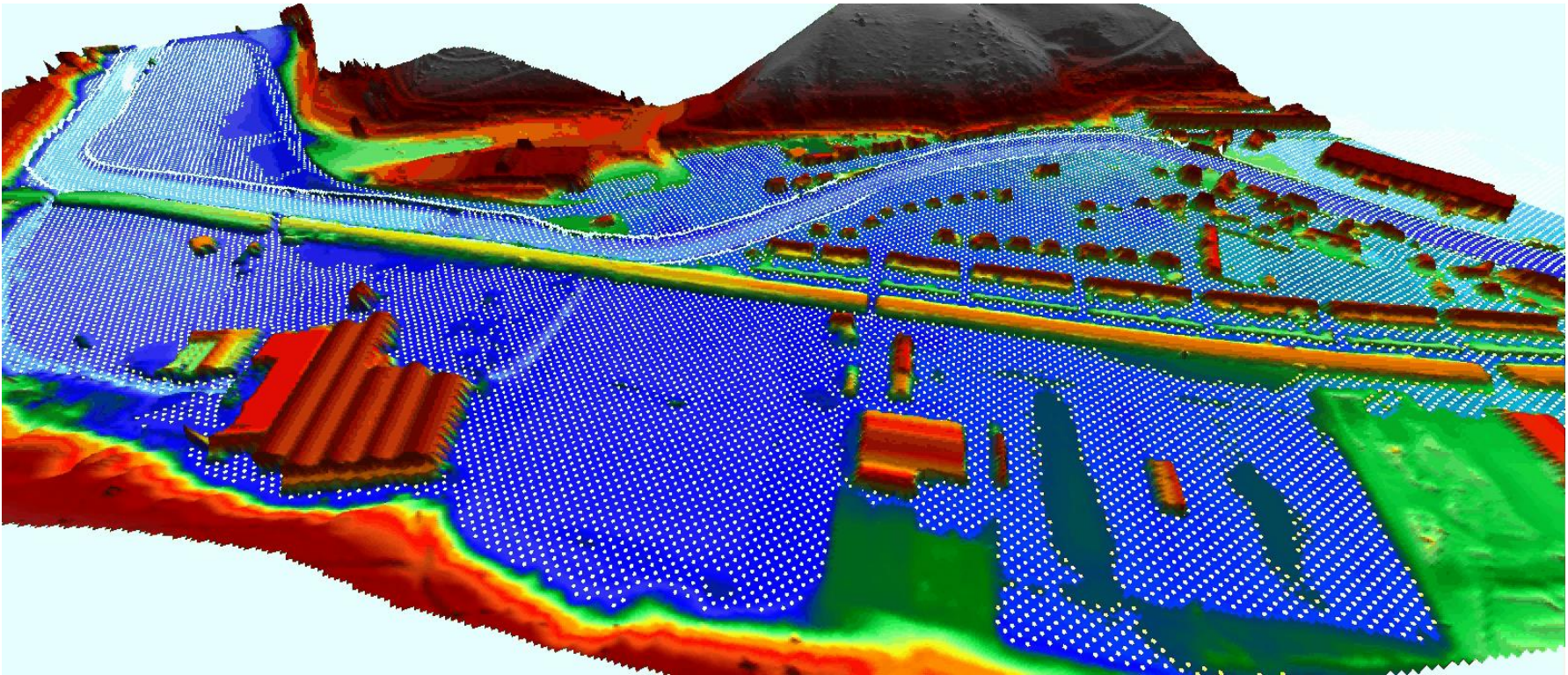
Les protections, favorables dans une gamme de débit, s'avèrent défavorables en dehors



Ernst et al., Natural Hazards, 2010

Se protéger, dans les limites du raisonnable

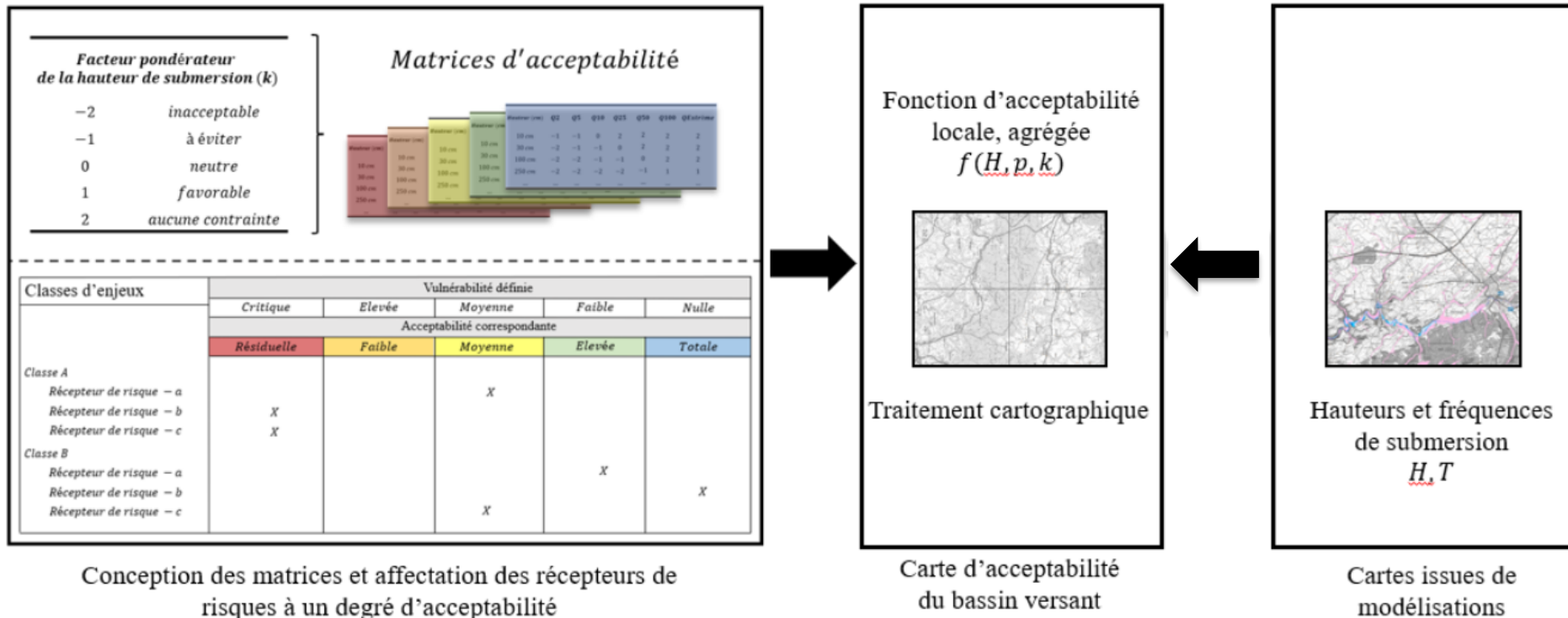
L'aménagement des plaines inondables doit être pensé en fonction du risque



Ecoulements en zone inondable sur base de
modélisations hydrauliques

Se protéger, dans les limites du raisonnable

Analyse coût-bénéfice

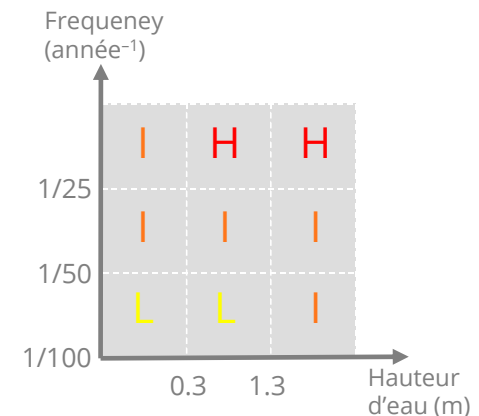
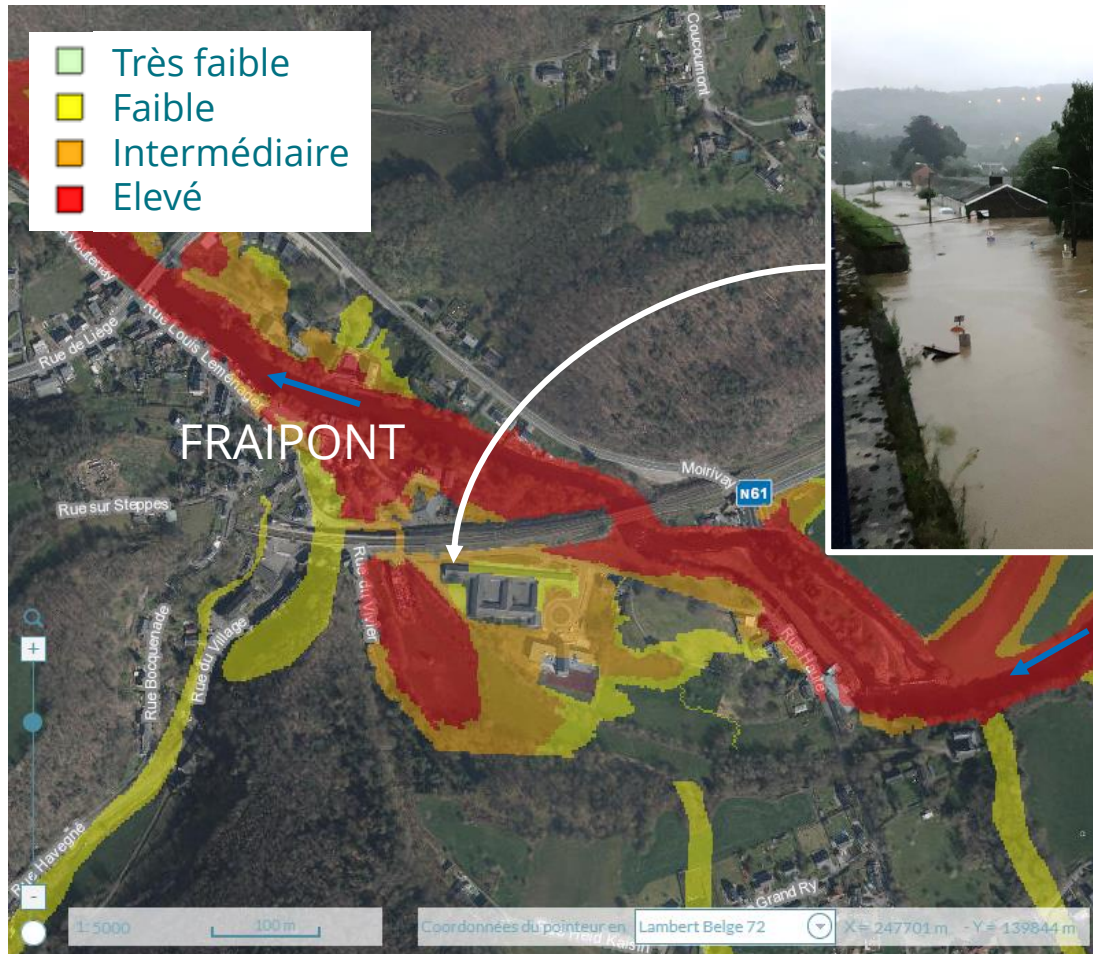


Source: GT Résilience – Groupe de Travail transversal Inondations - Wallonie

Se protéger, dans les limites du raisonnable

La conscience du risque contribue à atténuer les conséquences

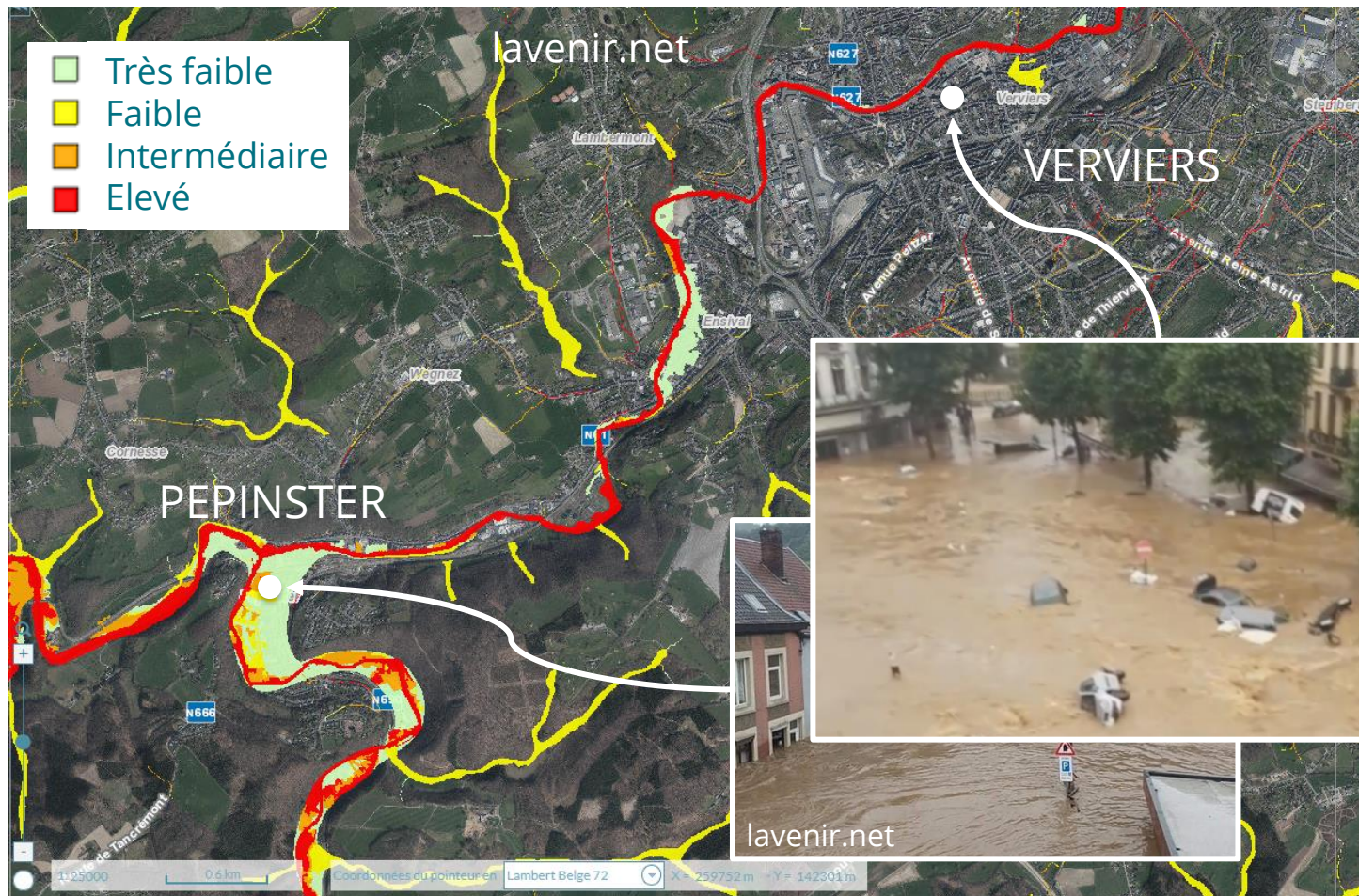
Carte de risque sur la Vesdre



Se protéger, dans les limites du raisonnable

Tout « effet de surprise » aggrave 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 Piroton

S.Erpicum@uliege.be