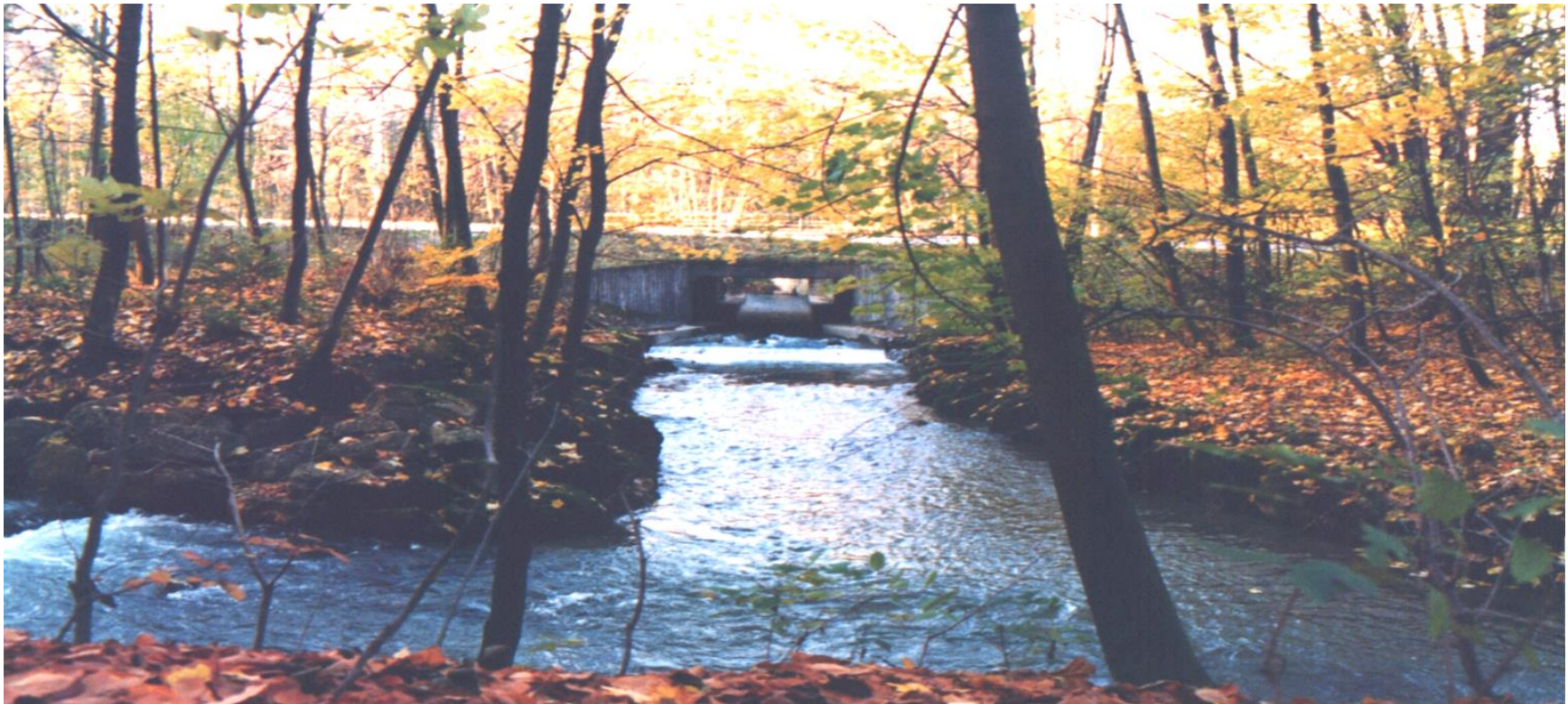


Dimensionnement et optimisation de bassins de rétention multiples sur un réseau de cours d'eau en milieu urbain

L'exemple de Mèbre-Sorge



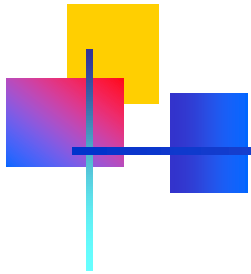
G. De Cesare

Dimensionnement et optimisation de bassins de rétention multiples sur un réseau de cours d'eau en milieu urbain.

L'exemple de Mèbre-Sorge



G. De Cesare



Plan de la présentation

- Introduction
- Les éléments du projet
- Les étapes de modélisation
- L'optimisation de la rétention
- Le risque résiduel
- Conclusions



Les partenaires du projet

■ Maître d'oeuvre

- Entreprise de correction fluviale Mèbre-Sorge

■ Direction et suivi

- Direction générale de l'environnement (DGE) du cant. VD
- Office fédéral de l'environnement

■ Etudes et élaboration

- Bureau d'ingénieurs Boss SA, Renens
- Bureau d'environnement Ecoscan, Lausanne

■ Support scientifique et expertise

- Institut d'aménagement des terres et des eaux, EPFL
- Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL

Introduction

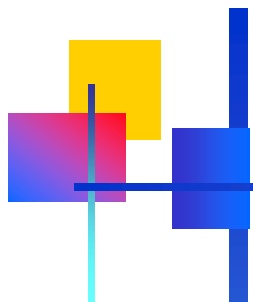
Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

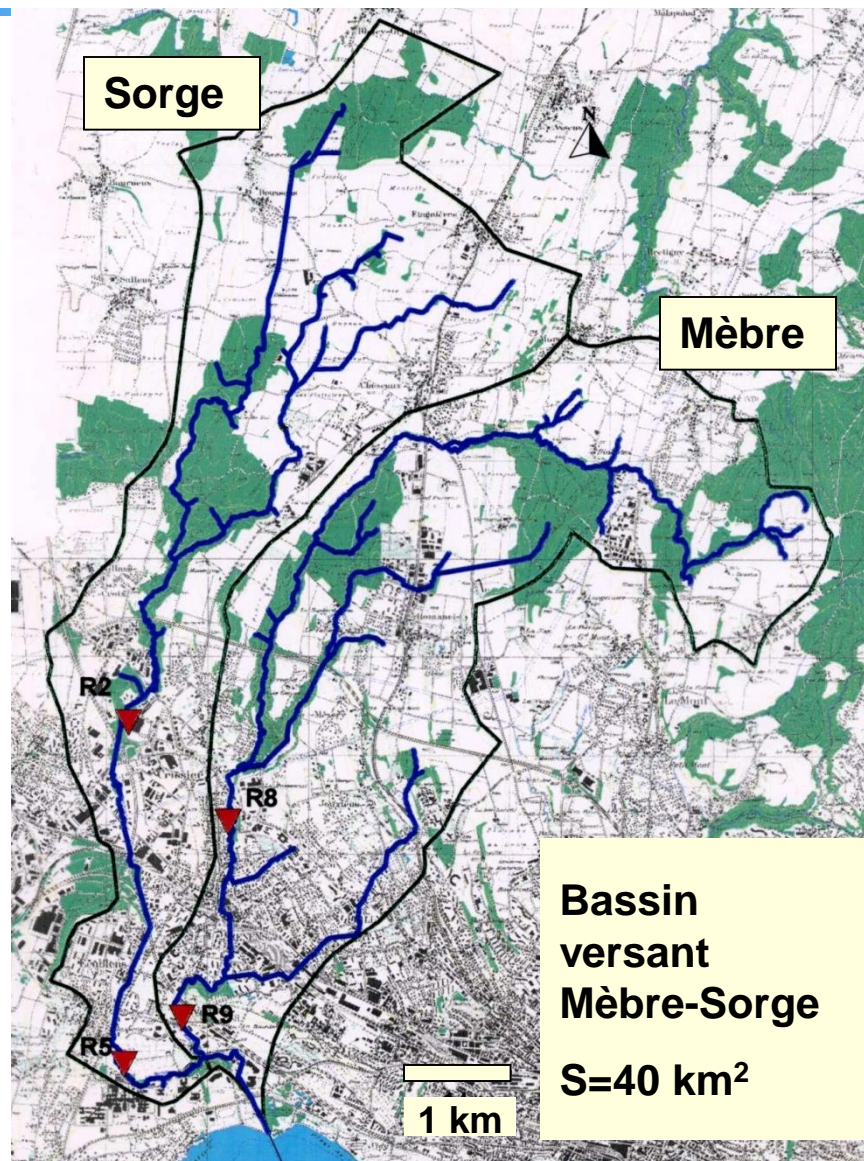


Éléments du projet

Le bassin versant

- **Superficie**

Mèbre	19 km ²
Sorge	19 km ²
Totale	40 km ²
Urbanisée	10 km ²
- **plus de 50'000 habitants**
- **21 communes**



Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

Éléments du projet

Cours d'eau et bassins

■ Longueur

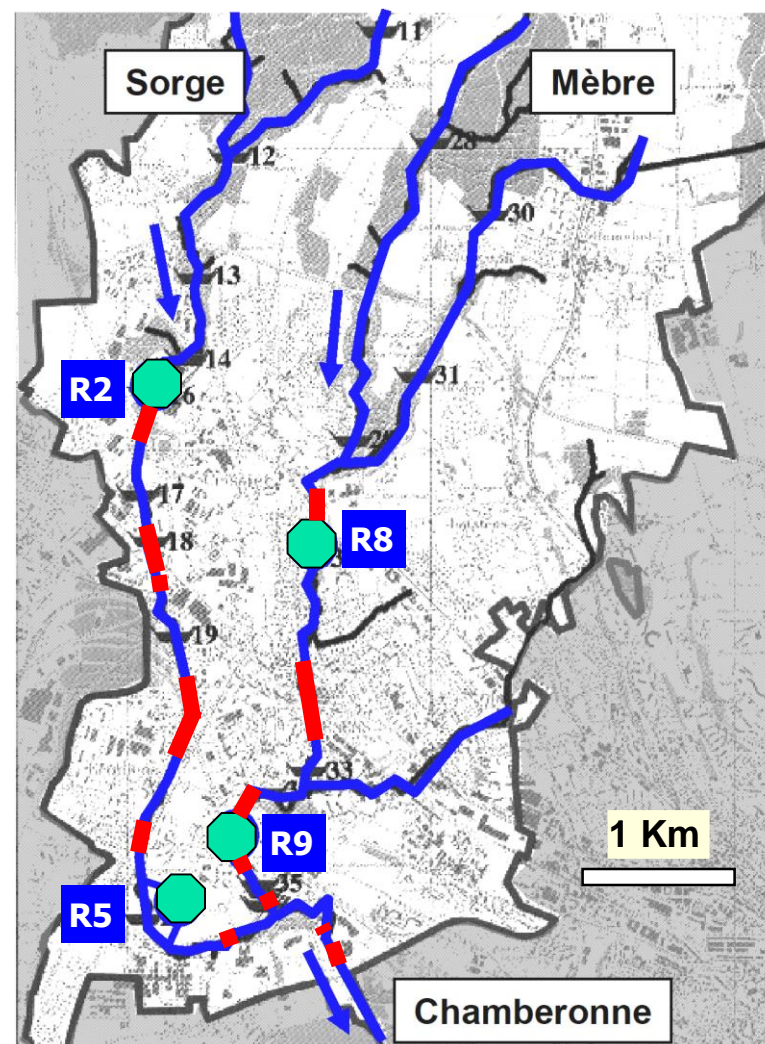
Mèbre	15 km
Sorge	15 km
Chamb.	1.5 km

■ Tronçons canalisés

Mèbre	5	(1.2 km)
Sorge	6	(1.3 km)
Chamb.	2	(0.3 km)

■ Bassins de rétention

Mèbre	2	(48'000 m ³)
Sorge	2	(46'000 m ³)



Introduction

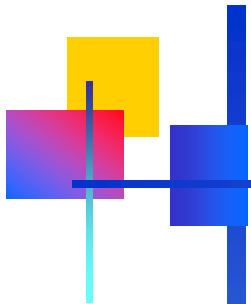
Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

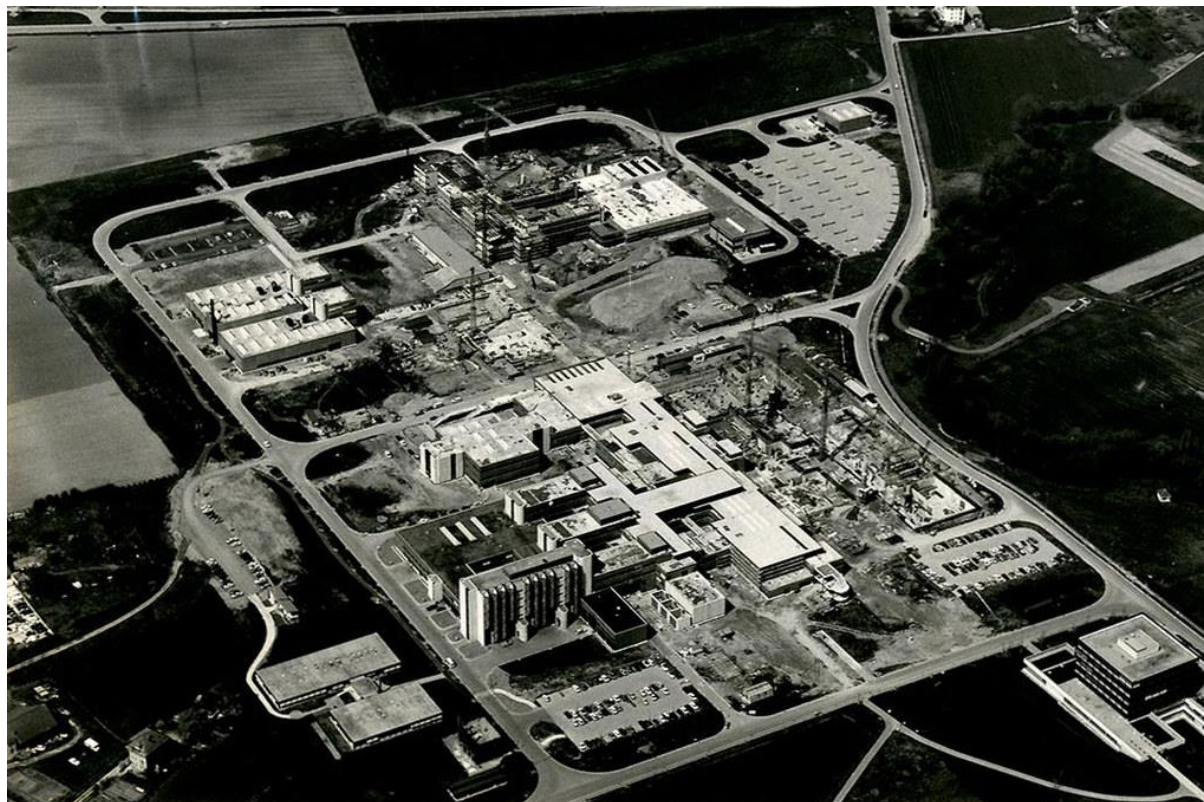
Risque
résiduel

Conclusions



La problématique

- Insuffisance de capacité consécutive à l'urbanisation du bassin versant et canalisation des cours d'eau



vue aérienne 1978
source: archives
catorales VD

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

La problématique

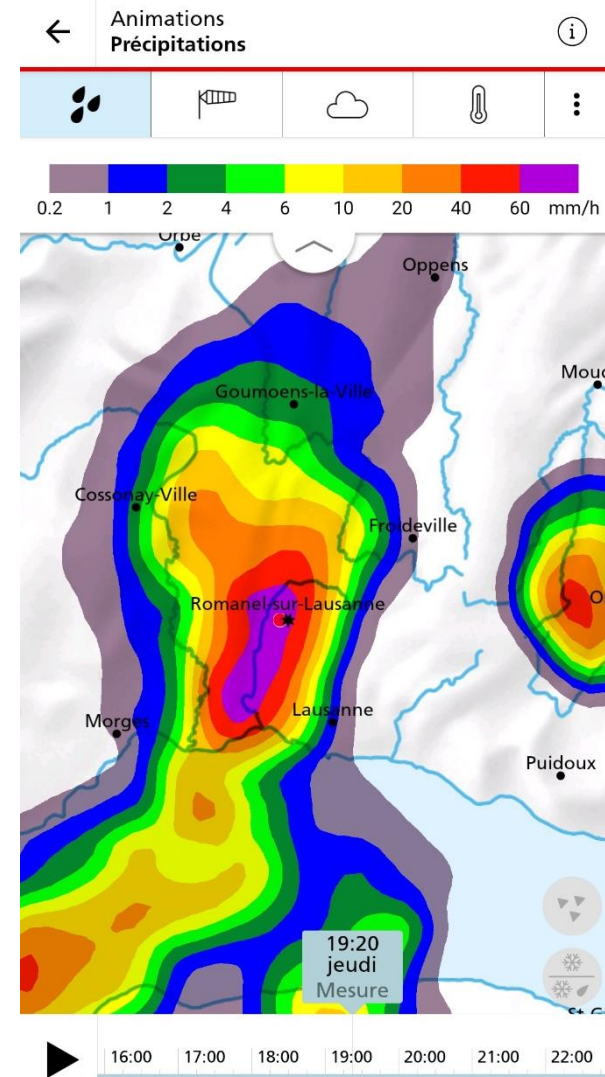
- Insuffisance de capacité consécutive à l'urbanisation du bassin versant et canalisation des cours d'eau



vue aérienne 1997
source:
médiathèque EPFL

La problématique

- Forte précipitation sur quasi l'ensemble du bassin versant
- Orage d'été typique
 - juin 2020, vers 19h00
 - intensité supérieure à 60mm/h
 - avec grêle
 - à la Station de Lausanne, 12.7mm en 10 minutes
 - (source: météo suisse)
 - Précédé d'une série d'orage



La problématique

- Pointes de crues de courte durée avec temps de montée très rapide

juin 2020, en moins de 30 minutes de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ à $24 \text{ m}^3/\text{s}$
(source: Veille Hydro-météorologique du Canton de Vaud)

Carte

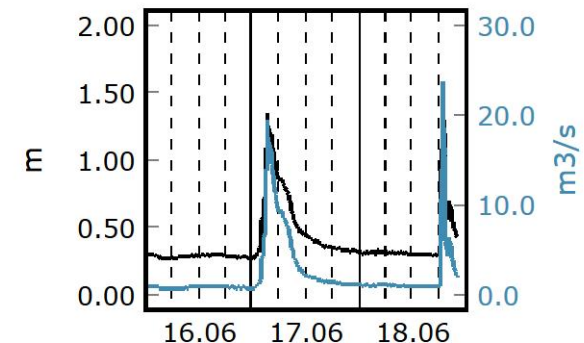
Stations

Liste des stations - Débit et Niveau



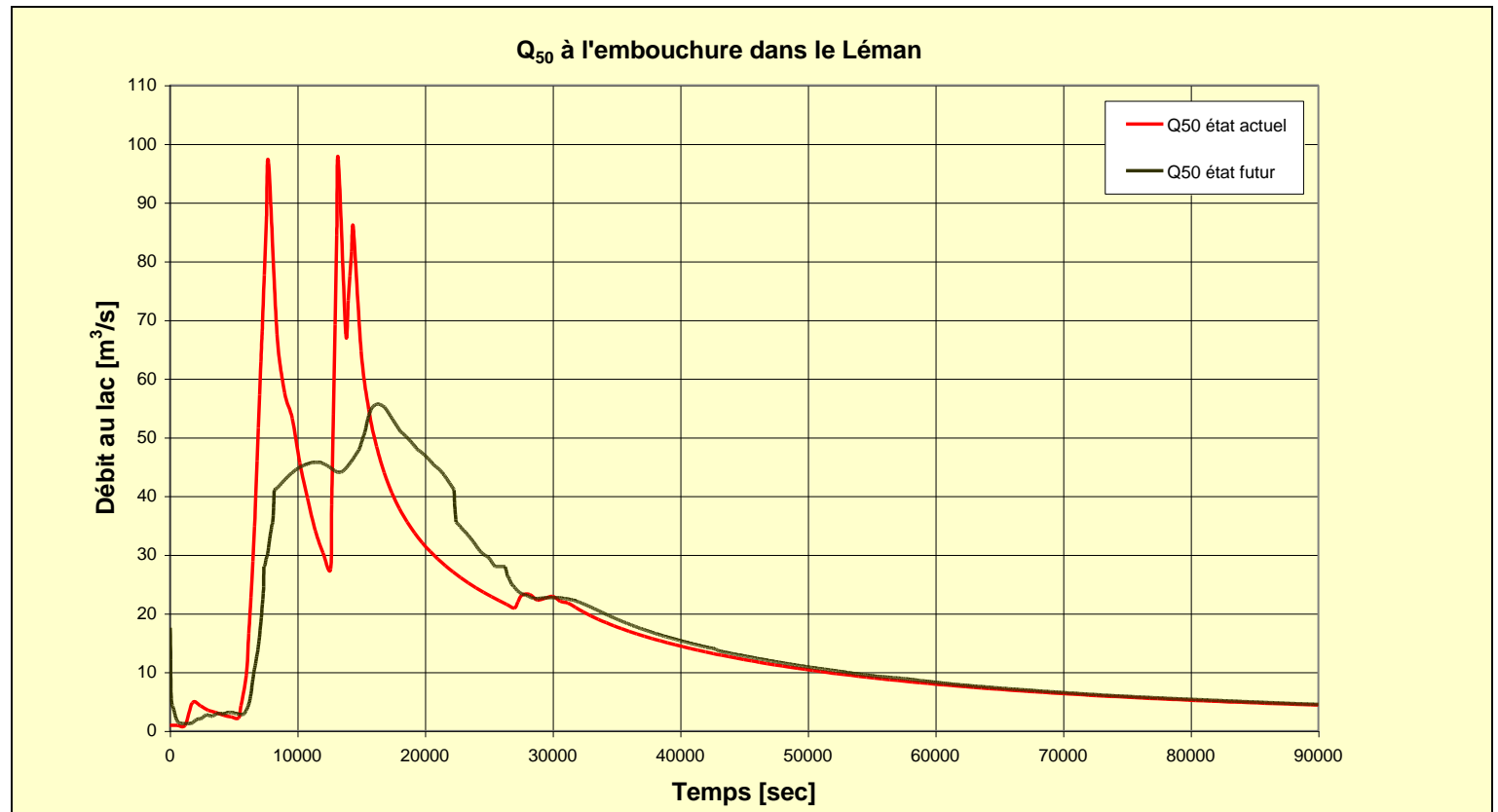
Chamberonne, Chavannes-près-Renens (DGE-DIRNA-EAU)

Débit et niveau d'eau



La problématique

- Pointes de crues de courte durée
➡ laminage possible avec de *faibles* volumes



Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

Les étapes de modélisation

Introduction

Éléments
du projet

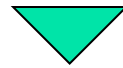
Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

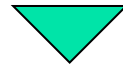
Risque
résiduel

Conclusions

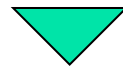
Hydrologie



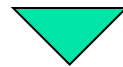
Capacité hydraulique



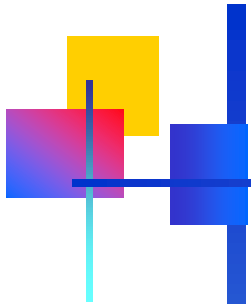
Ouvrages de contrôle



Optimisation du laminage



Risque résiduel



Hydrologie

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

■ Première étape

- au début des études, on disposait de 4 ans de mesures sur le bassin versant (3 stations pluviométriques, 4 stations limnimétriques)
- Calage d'un modèle de simulation continue pluie-débit

Hydrologie

Introduction

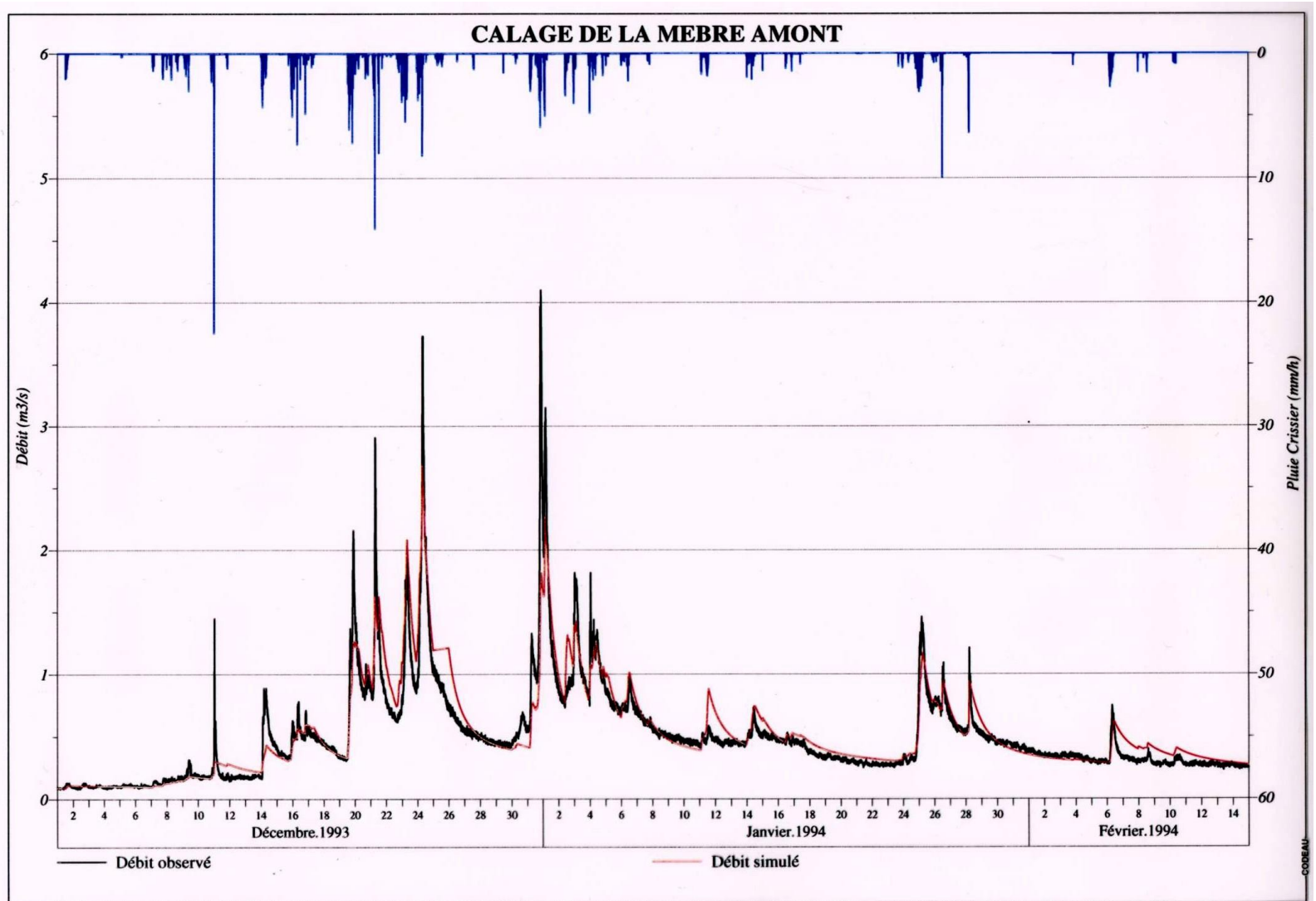
Éléments
du projet

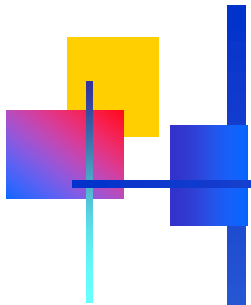
Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions





Hydrologie

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

■ Deuxième étape

- Interprétation de 17 années de mesures à la station MeteoSuisse de Pully pour le calage d'un modèle de génération stochastique de précipitations (Neyman-Scott)*
- Génération de 10 séries de 100 ans de précipitations et simulation continue pluie-débit

Hydrologie

Introduction

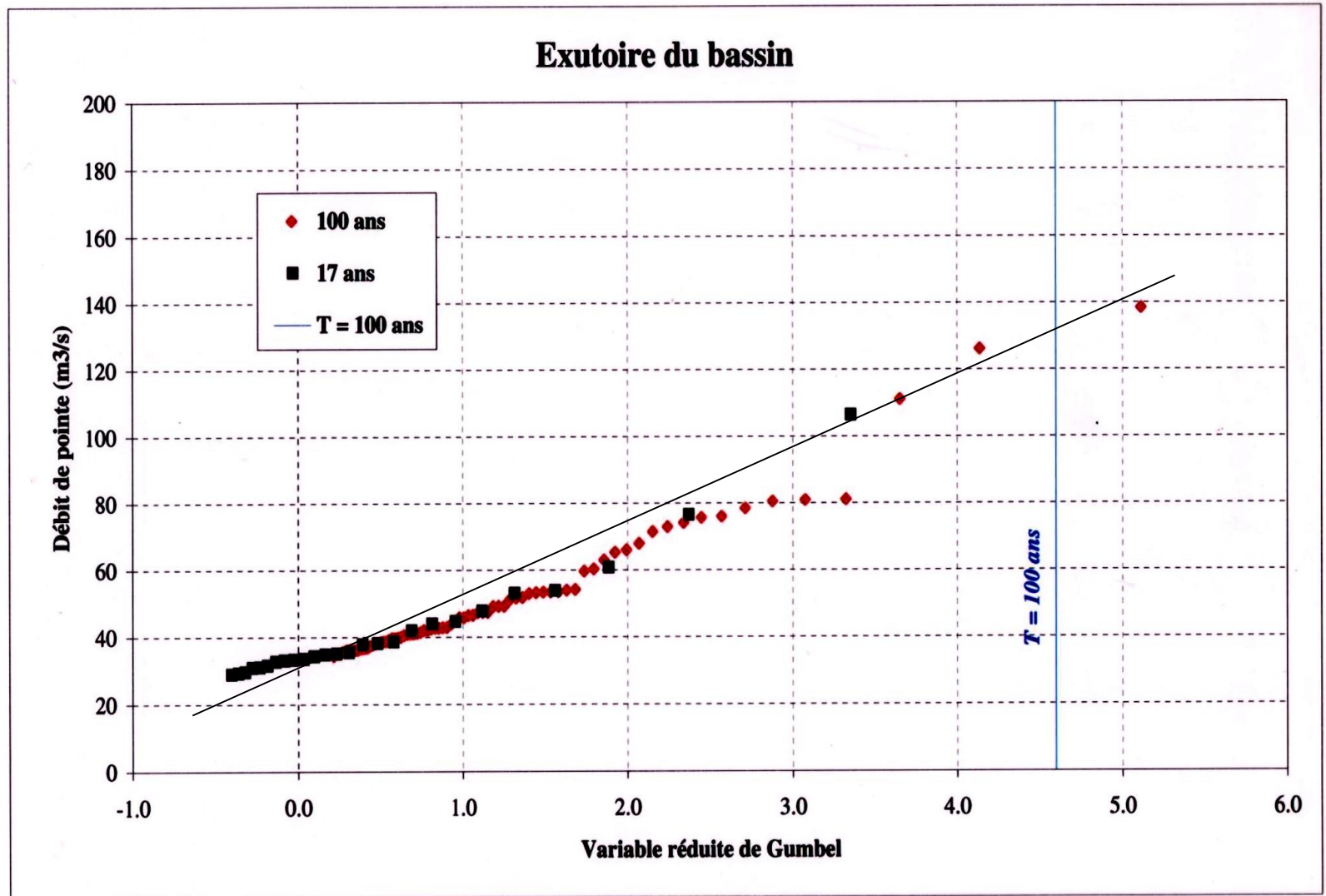
Éléments
du projet

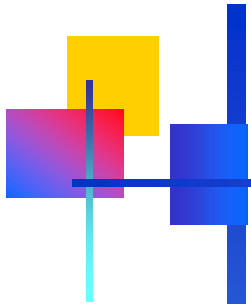
Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions





Capacité hydraulique

■ Calcul des lignes d'eau

- Modélisation 1D du réseau des cours d'eau et calcul de lignes d'eau en régime stationnaire (HEC-RAS)
- Détermination de la capacité hydraulique des cours d'eau en distinguant rive gauche et rive droite

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

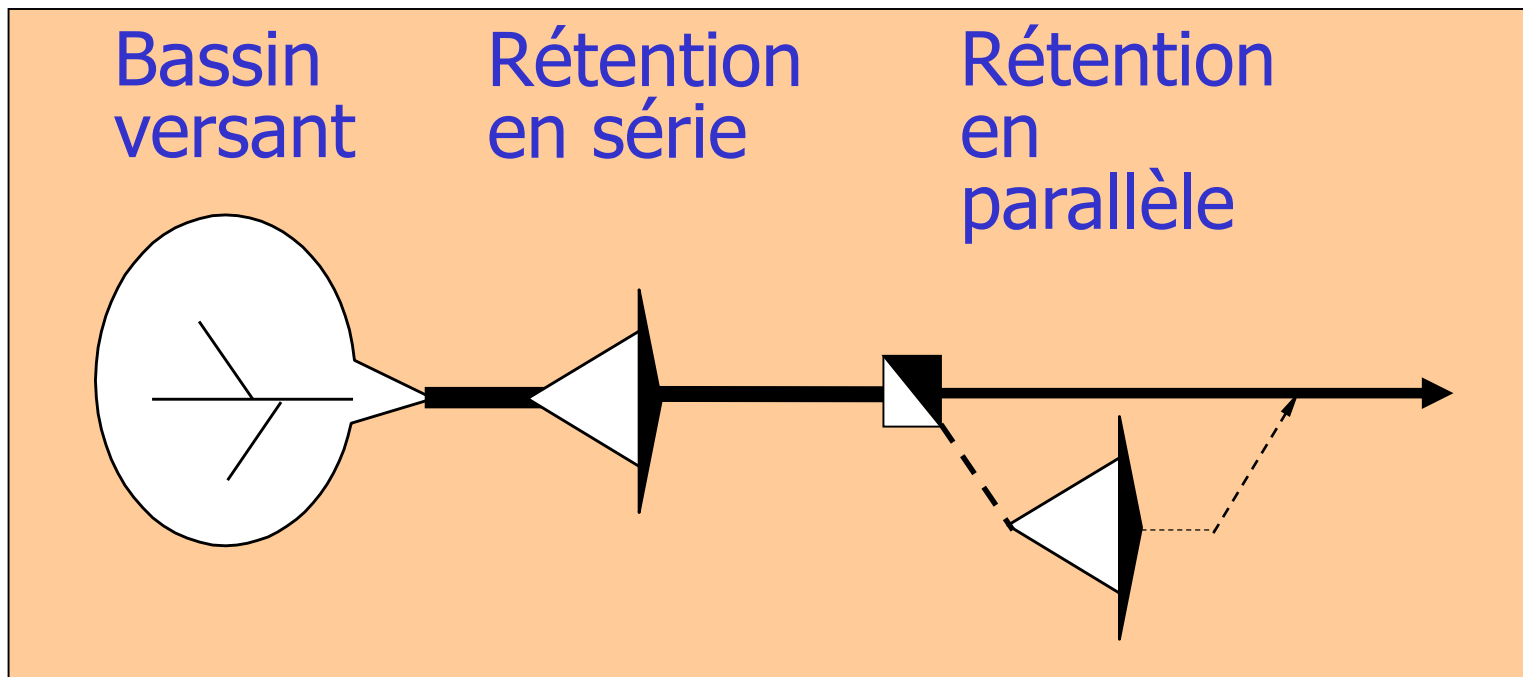
Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

Ouvrage R5

- Cas particulier de la retenue R5 avec bassin de rétention en parallèle



Ouvrage R5

Introduction

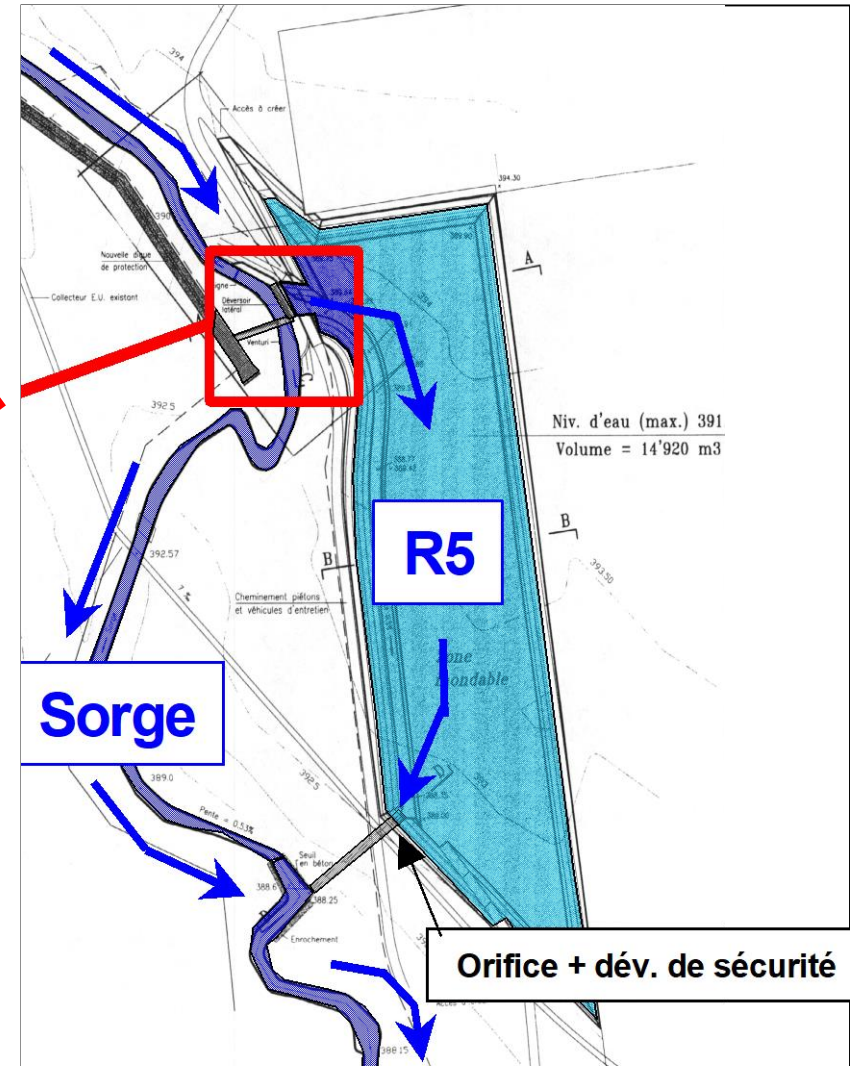
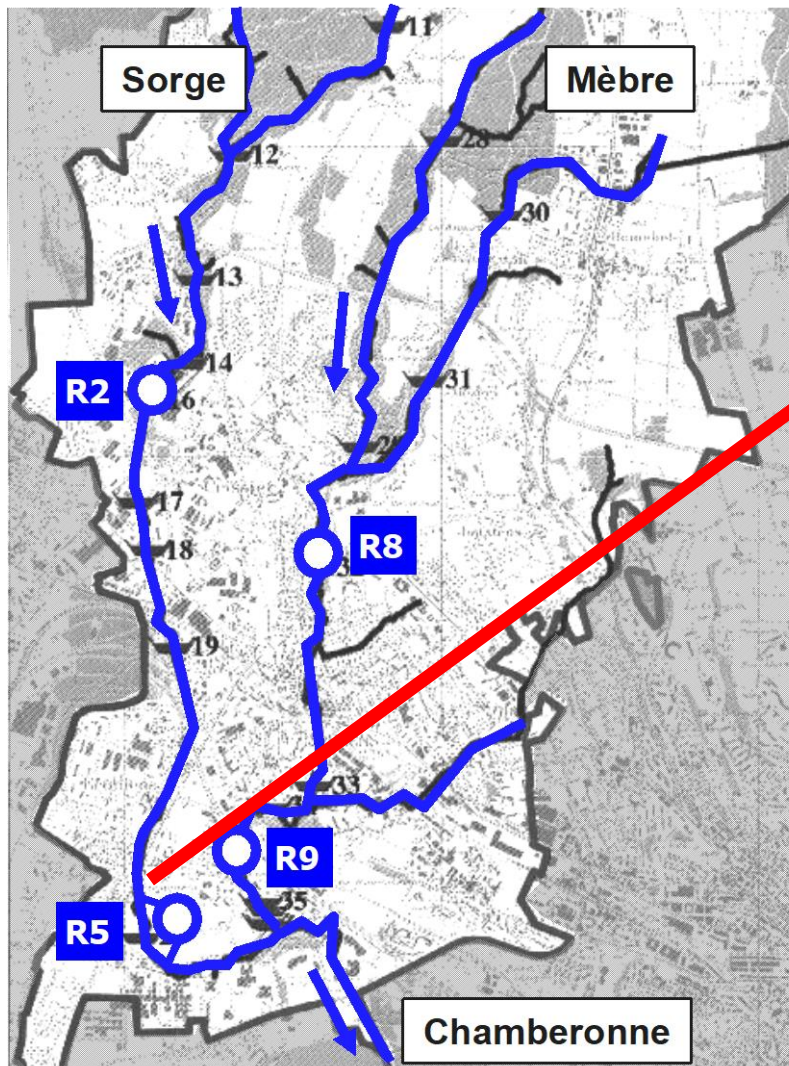
Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



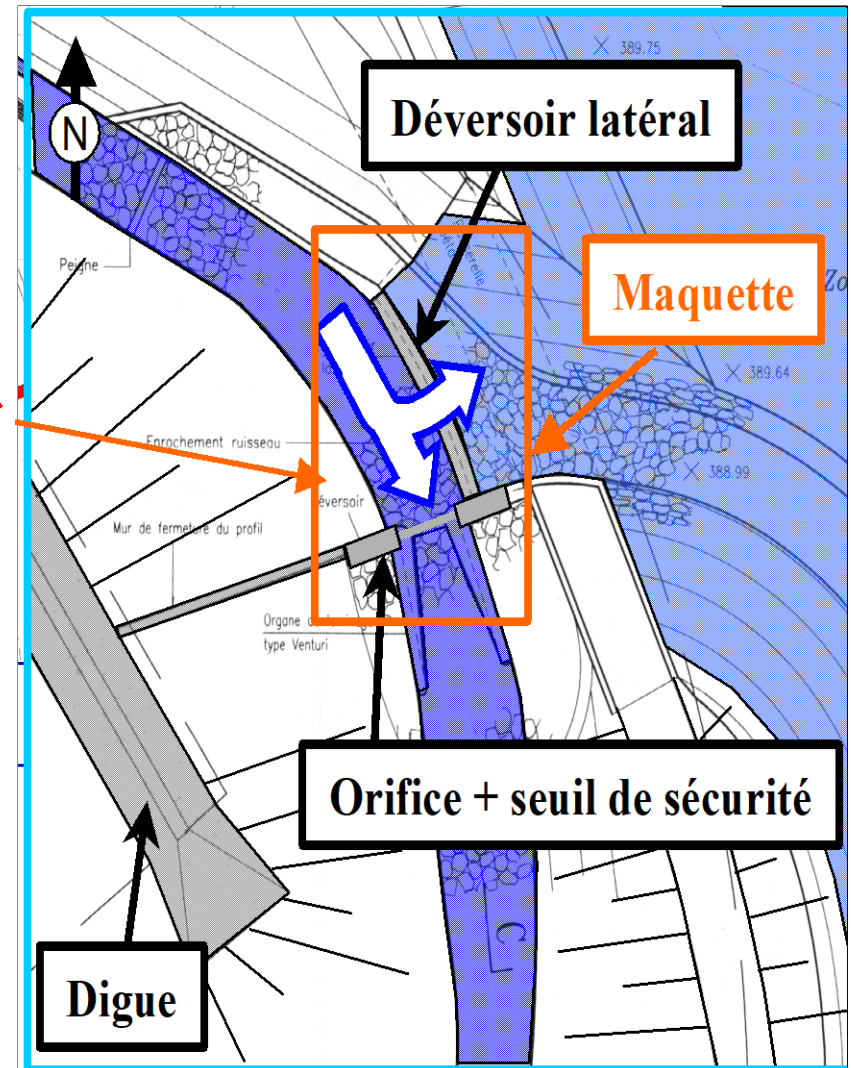
Eléments du projet

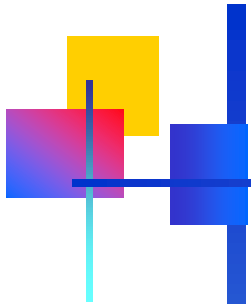
Etapes de modélisation

Optimisation du laminage

Risque résiduel

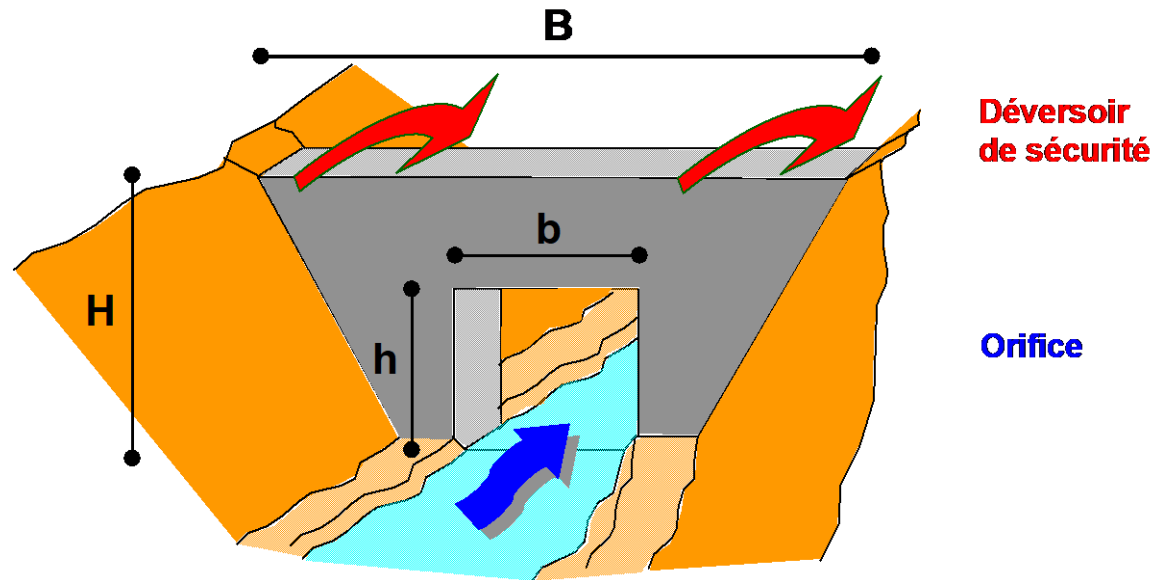
Conclusions





Ouvrages de contrôle

■ Ouvrages de contrôle pour la rétention



- Détermination de la relation théorique « hauteur d'eau – débit » à l'amont des ouvrages de contrôle

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

Ouvrages de contrôle

Introduction

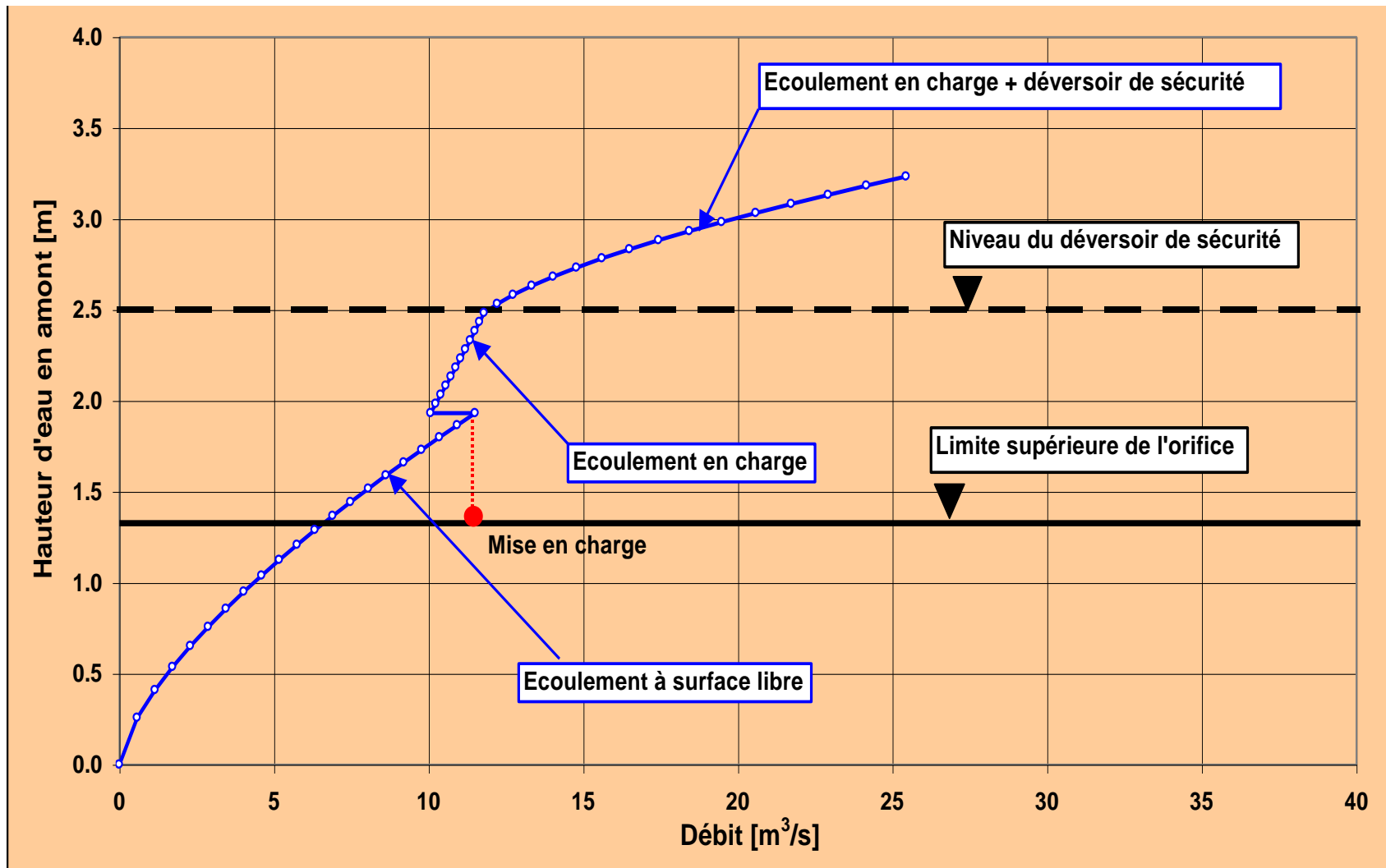
Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



Ouvrage R5

Introduction

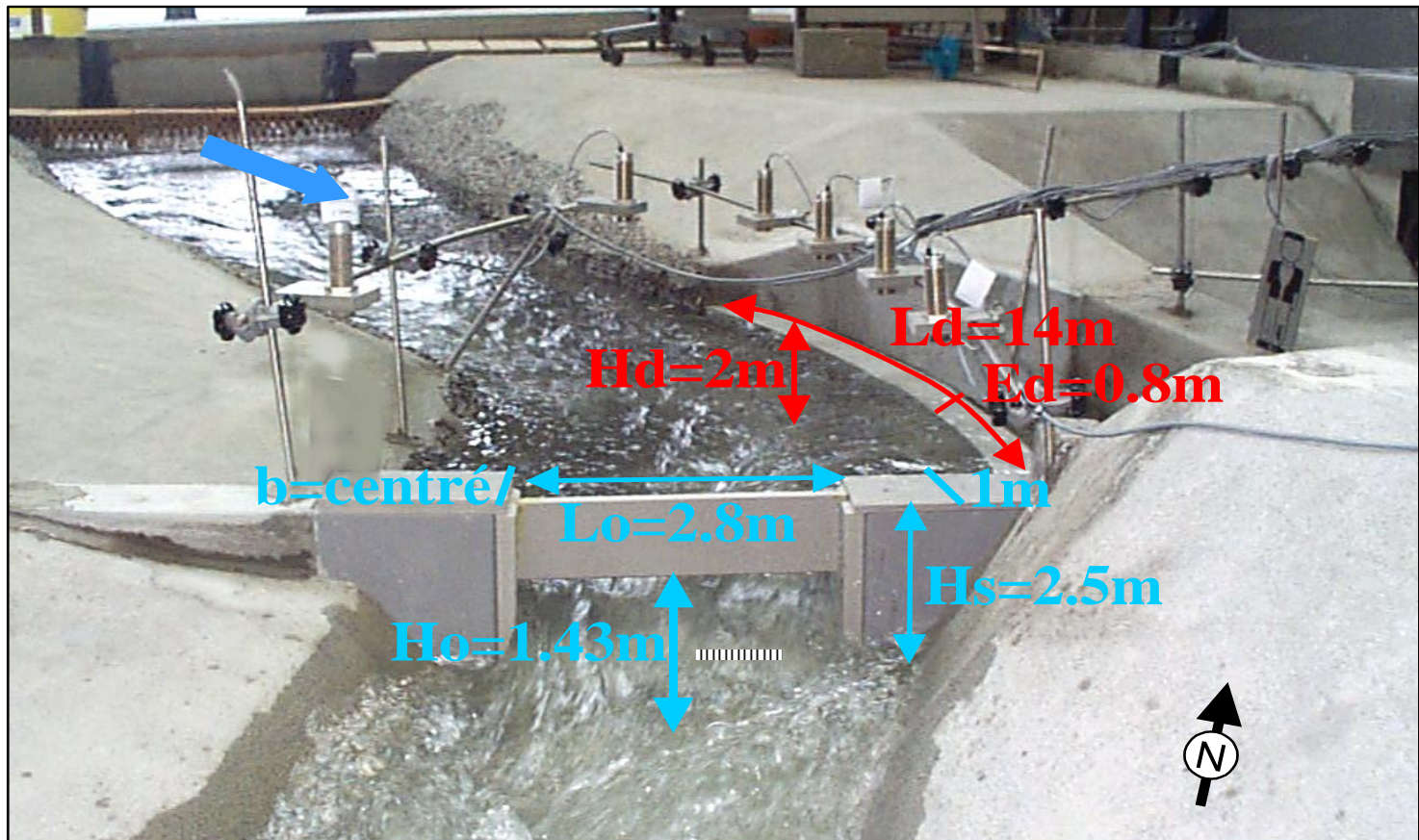
Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



Ouvrage R5

Introduction

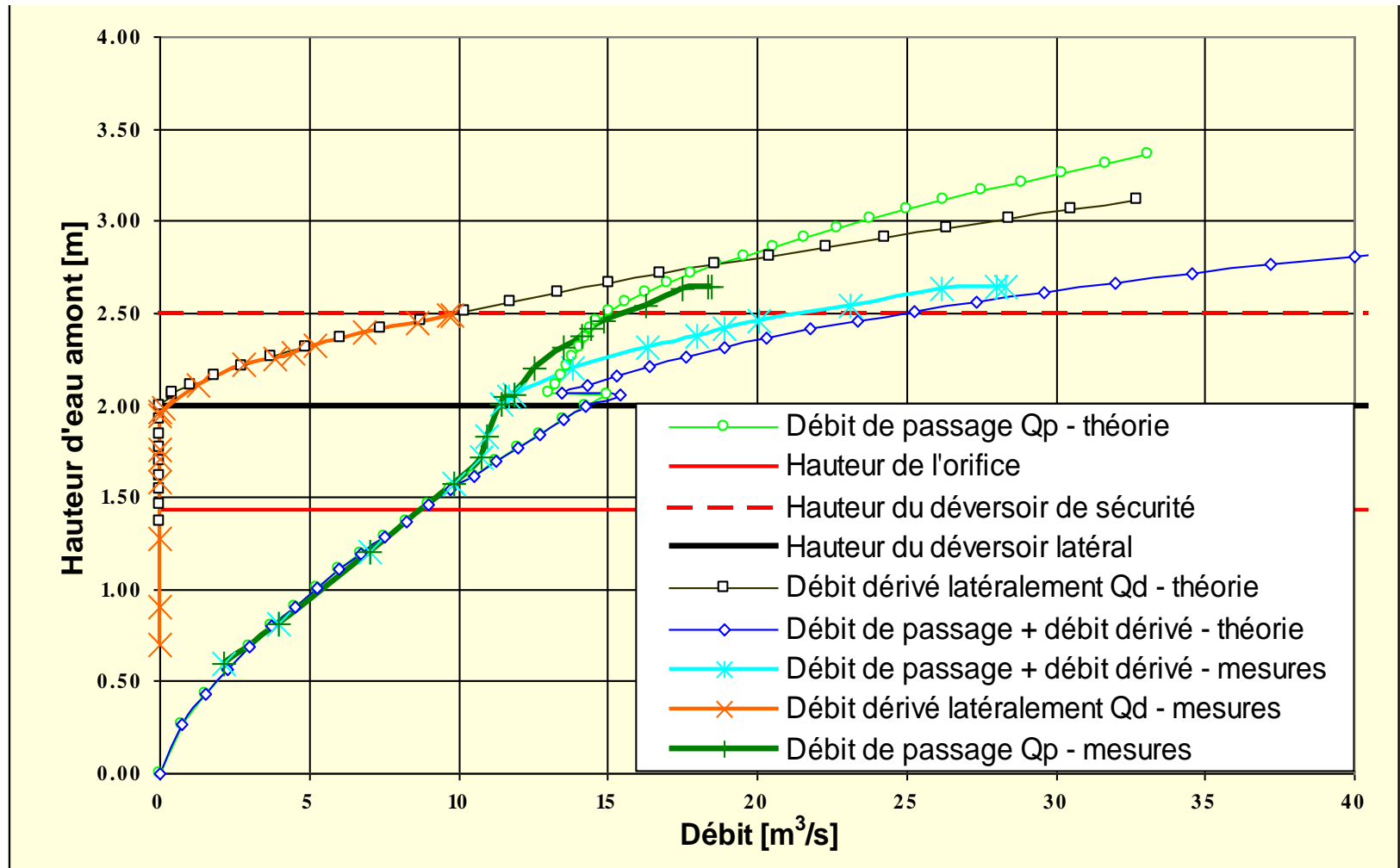
Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



Le modèle global

Introduction

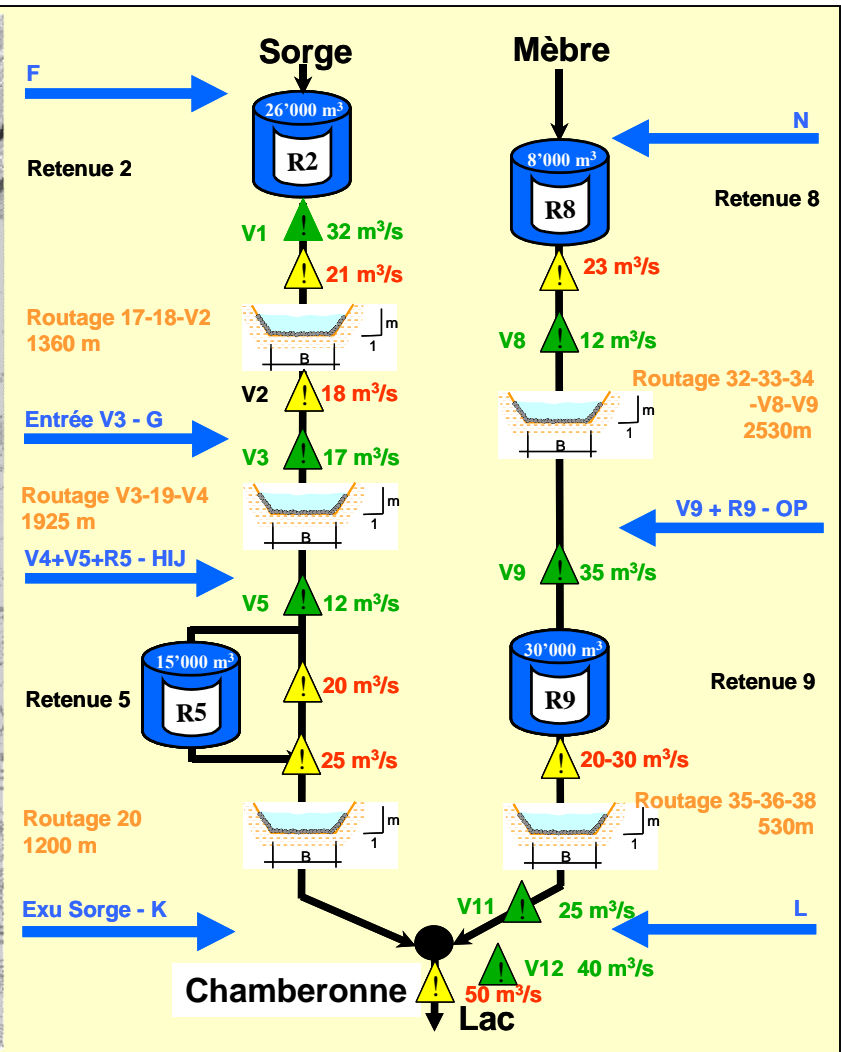
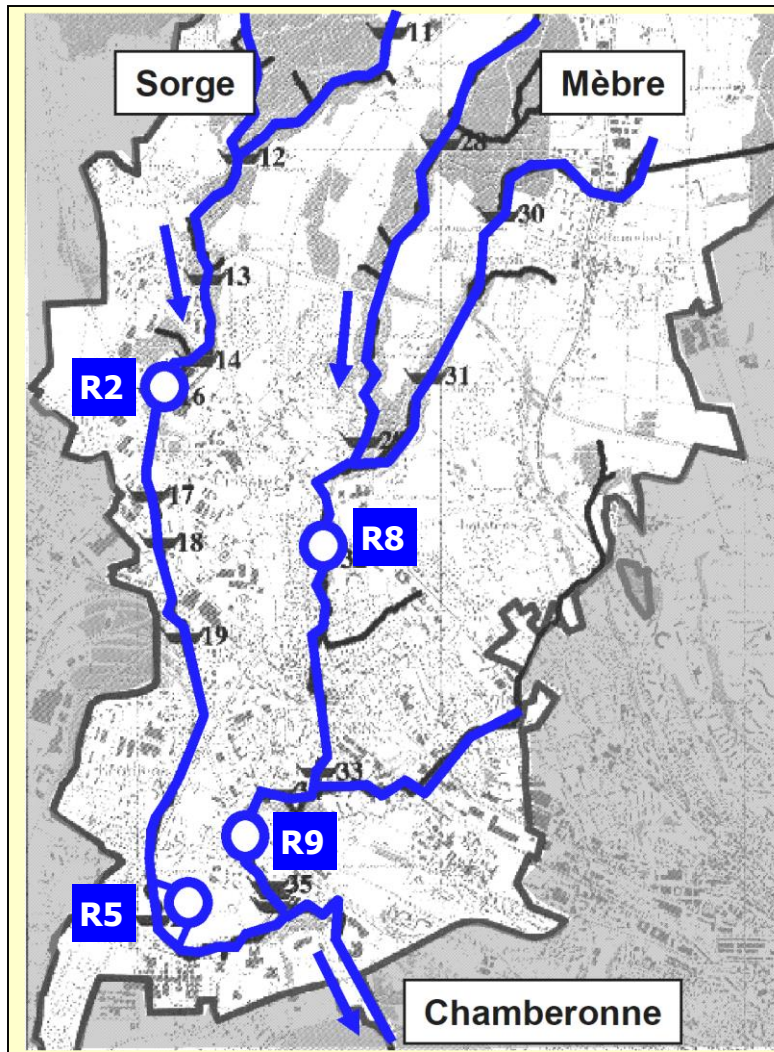
Éléments
du projet

Concept de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



La modélisation « Routing System »

Introduction

Éléments
du projet

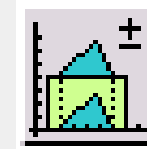
Concept de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

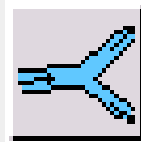
Conclusions

génération



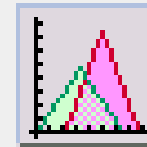
addition

séparation



stockage

transport



régulation



Optimisation du laminage

- Parmi les 10 séries de 100 ans générées
➡ sélection des 40 crues les plus importantes en pointe et/ou en volume pour l'optimisation de la rétention

Introduction

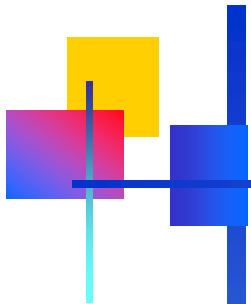
Éléments
du projet

Concept de
modélisation

Optimisation
du laminage

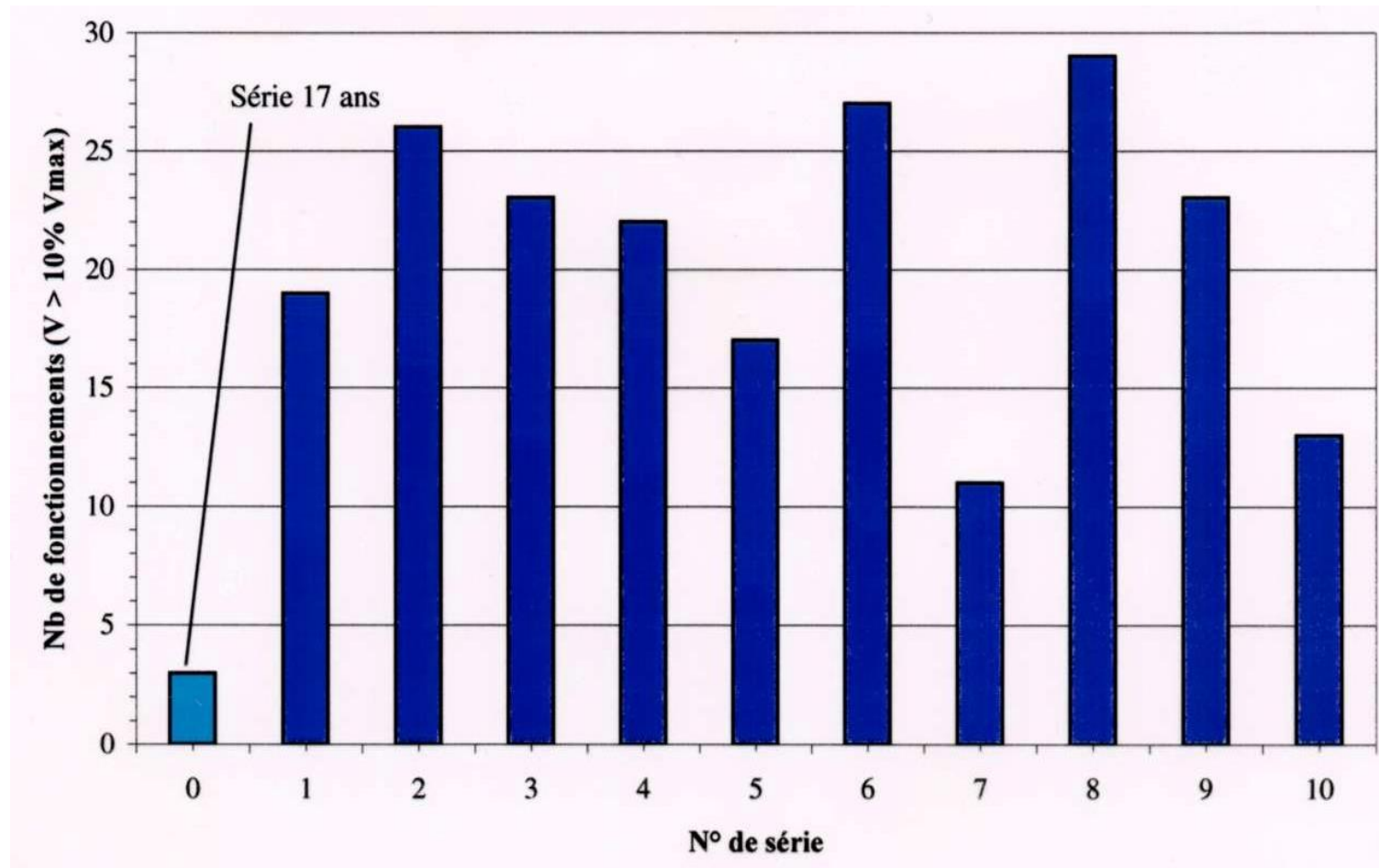
Risque
résiduel

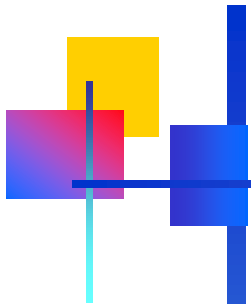
Conclusions



Statistique de fonctionnement

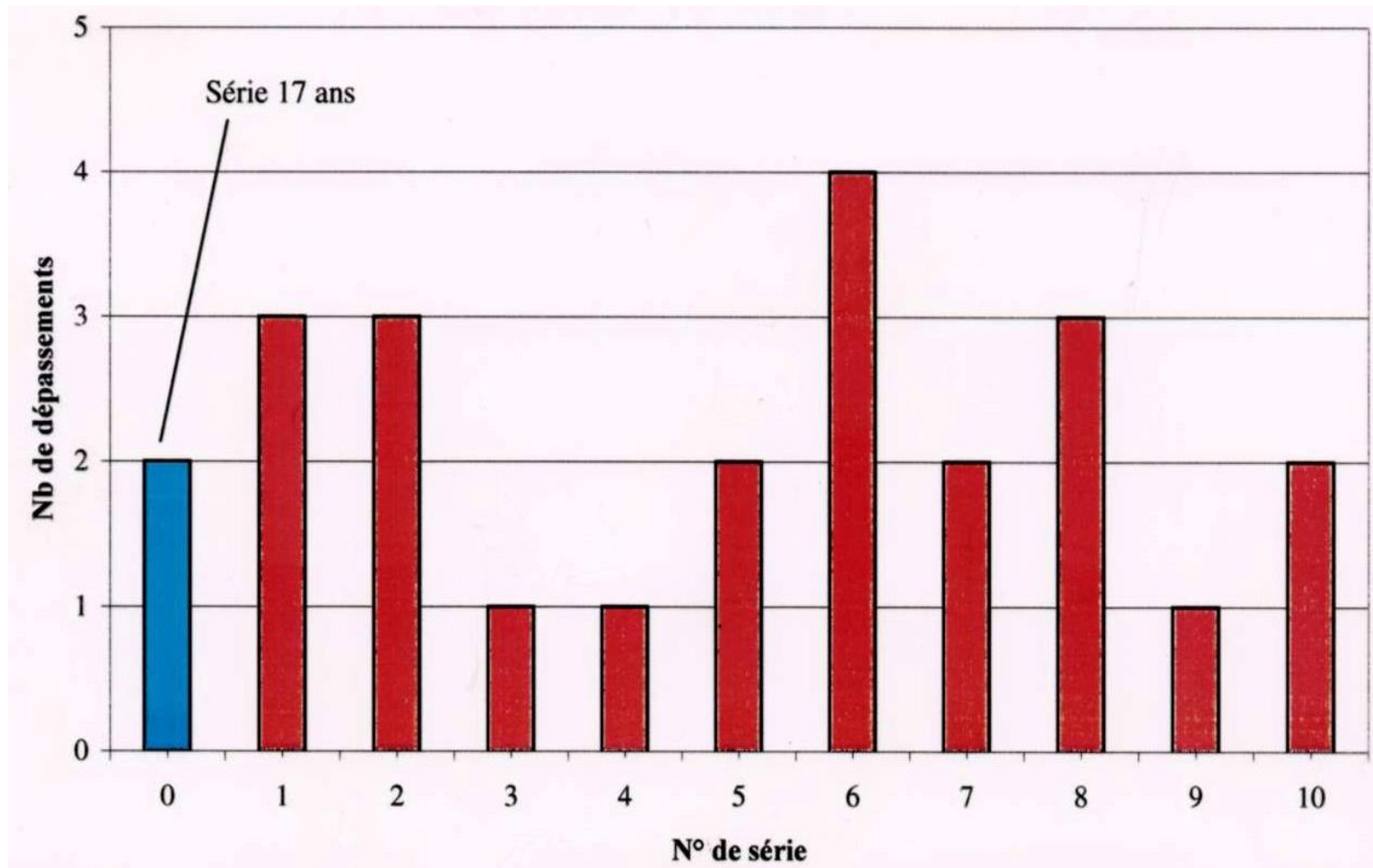
■ R5: Nombre de fonctionnements par siècle

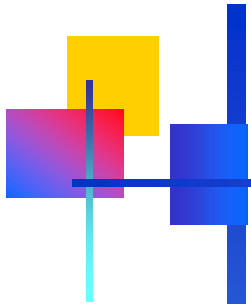




Statistique de dépassement

■ R5: Nombre de dépassements par siècle





Crues « objectifs »

- Définition de crues de référence:
 $T=30, 50, 100$ ans et extrême

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

Carte de danger

- Etat avant aménagement pour Q_{30} Q_{50} Q_{100}



Carte de danger

- Risque résiduel pour $Q_{\text{extrême}}$ après aménagement



Conclusions

- Optimisation de projet nécessaire en raison des faibles espaces disponibles
- Collaboration efficace entre bureaux d'ingénieurs et instituts de recherche
→ transfert de connaissances
- Développement d'une méthode originale de génération et d'analyse des crues
- Travaux démarrés en décembre 2000
- Projet à 8.5 mio Fr.

Ouvrage sur la Sorge, R5

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



Ouvrage sur la Sorge, $V = 15'000 \text{ m}^3$

Introduction

Éléments
du projet

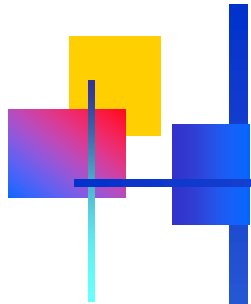
Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions





Ouvrage sur la Mèbre, R9

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



Ouvrage sur la Mèbre, $V=30'000 \text{ m}^3$

Introduction

Éléments
du projet

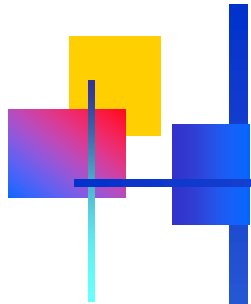
Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions





Ouvrage sur la Mèbre

Introduction

Éléments
du projet

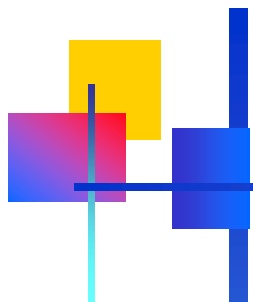
Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions





Ouvrage sur la Mère

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



11 décembre 2023, bassin de rétention «Sous-Lavaux» en «fonction»
à Romanel-sur-Lausanne, photo: De Cesare



Crue du 26 au 27 juillet 2008

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions

- Un orage d'une rare violence s'est abattu sur la région dans la nuit du 26 au 27 juillet 2008 et de nombreux immeubles de Renens ont été inondés.
- La crue de la Mèbre était plus que centennale.
- Le 26 juillet, des orages se sont accumulés sur le bassin versant de la Mèbre, avec des pluies torrentielles dépassant 100 mm/h.
- Elles ont occasionné une crue de la Mèbre estimée à 44 m³/s, bien plus élevé que la crues centennales de projet (30 m³/s).
- Les ouvrages de protection et rétention ont joué leur rôle en évitant une catastrophe plus grande, sans eux, les inondations et les dégâts à Renens auraient été beaucoup plus importants.
- Quelque 10 millions CHF de dégâts enregistrés dans la région
- Dégâts potentiels dans l'Ouest Lausannois estimés à 200 millions

sources: Information au Conseil communal et aux médias
Renens - Inondations durant la nuit du 26 au 27 juillet 2008 et Article du 24 Heures du 09.07.2019 «Une rivière souterraine contre les inondations»

Basin de rétention R9, 27 juil. 2008

Introduction

Éléments
du projet

Étapes de
modélisation

Optimisation
du laminage

Risque
résiduel

Conclusions



Photo: 24 Heures du 09.07.2019 «Une rivière souterraine contre les inondations»



Entreprise de correction fluviale

Supplément

Exemple: Détournement des débits de pointe des ruisseaux des Baumettes et de Broye, détournement du Galicien, création d'une galerie du ruisseau de Broye et renaturation de la Chamberonne (et nouvelle île au large de Dorigny).

Communes: Prilly, Renens, Jouxens-Mézery, Romanel-sur-Lausanne, Lausanne

Clé de Répartition des coûts entre les communes partenaires:

	Débit (m³/s)	Avant subventions	
		Part (%)	Part honoraires TTC
Prilly	21.8	39.28	561'861.10
Renens	20.4	36.76	525'615.05
Jouxens-Mézery	7.2	12.97	185'522.90
Romanel-sur-Lausanne	5.2	9.37	134'028.50
Lausanne	0.9	1.62	23'170.50
Total	55.5	100.00	1'430'400.00



Entreprise de correction fluviale

Devis du projet: 75 mio. CHF

Montant des études:

Prestations	Montants
Etudes avant-projet, ingénieur et géotechnicien ***	284'400.-
Ingénieur hydraulicien et BAMO *	140'000.-
Modélisation 3D des ouvrages *	135'000.-
Construction des modèles réduits *	135'000.-
Essais sur modèles réduits *	130'000.-
Ingénieur génie civil *	95'000.-
Notice d'impact sur l'environnement *	25'000.-
Etude d'impact sur l'environnement **	200'000.-
Ingénieur marchés publics *	70'000.-
Avocat spécialisé marchés publics **	10'000.-
Divers et imprévus (env. 10 %)	100'000.-
Sous-total HT	1'324'400.-
TVA 8 %	106'000.-
Total honoraires TTC	1'430'400.-
Subventions déjà reçues pour études avant-projet	-253'000.-
Total après subventions pour études avant-projet	1'177'400.-

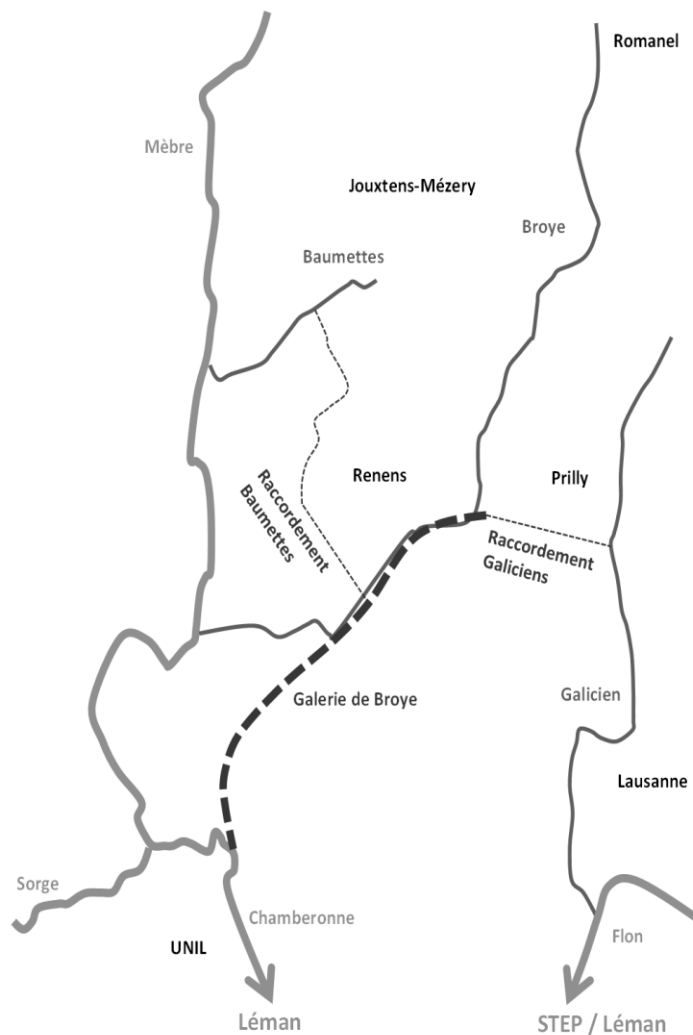
* Offres

** Estimations

*** Factures reçues et payées par les communes

Projet Galerie du Ruisseau de Broye

Supplément



Projet de dérivation par une galerie souterraine des eaux

- du Ruisseau de Broye
- et du haut Galicien

directement vers la Chamberonne

Contient également la revitalisation de la Chamberonne jusqu'au Léman



Broye-Chamberonne: Gestion des crues et renaturation

Le projet Broye-Chamberonne vise à minimiser le risque d'inondations dans l'Ouest lausannois grâce à l'acheminement sécurisé des eaux claires jusqu'au lac lors de crues.



**BROYE-
CHAMBERONNE**

Gestion des crues et renaturation



<https://broye-chamberonne.ch/>



Génération stochastique de données météorologiques

Supplément

Les générateurs stochastiques de données météorologiques sont des outils qui permettent de reproduire les propriétés des distributions statistiques de variables climatiques à l'origine de la précipitation.

Ils sont utilisés en particulier dans le cadre de la modélisation des crues pour fournir une large gamme d'entrées météorologiques aux modèles de simulation.

Ces générateurs stochastiques sont constitués en règle générale de deux parties :

1. une approche estimation qui permet à partir de données météorologiques observées d'estimer les paramètres des distributions des variables.
2. une partie simulation permet la génération des données météorologiques en s'appuyant sur les paramètres estimés dans l'étape précédente.