

HYDROLOGIE ET SURETÉ: ESTIMATION DES DÉBITS EXTRÊMES ET SIMULATION SCHADEX



Journée des jeunes ingénieurs (2021)
David PENOT (EDF-DTG)

Les débits extrêmes

Les crues:

Un aléa naturel majeur en termes de dégâts et de victimes, avec une diversité extrême...

Gammes d'échelles et de durées?

Échelles : 1 → 10⁵ km²

Durées : quelques heures → quelques mois

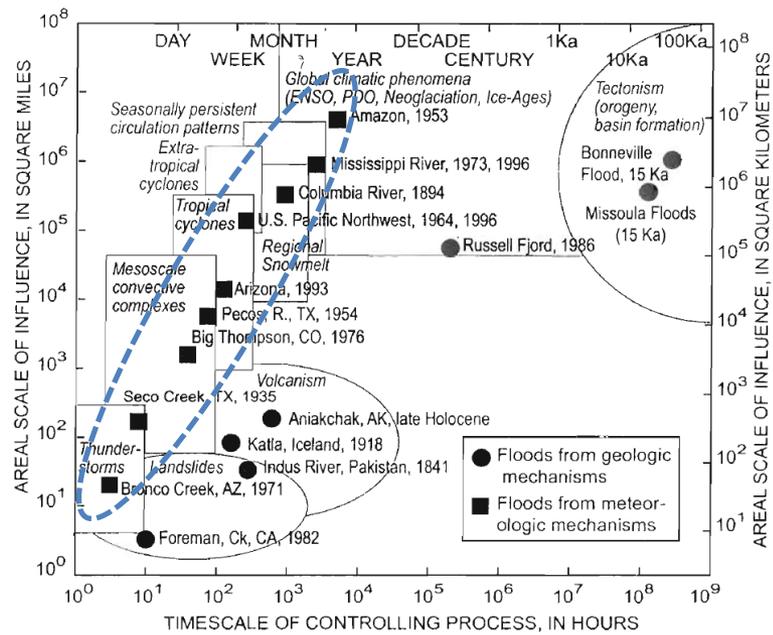
Climatologies concernées : toutes, de l'Arabie à la Norvège

Processus hydrologiques :

intensité, durée et extension des pluies, fonte des neiges, saturation des sols, remontées de nappes, sol gelé...

Processus hydrauliques :

débordements, embâcles, ruptures d'ouvrages, surcote marine...



Echelles spatiales et temporelles des phénomènes météorologiques et géologiques à l'origine des crues (O'Connor et al., 2002)



Inondation de 1856 à La Chapelle sur Loire (source www.valde Loire.org)

Les débits extrêmes

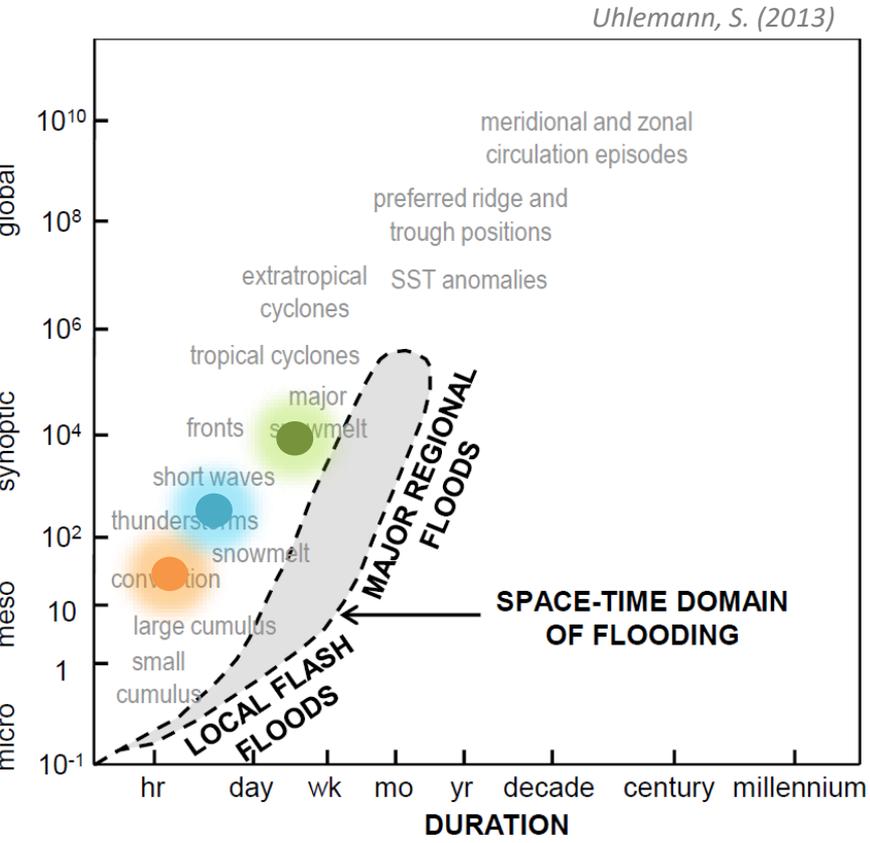
Les crues: Gammes d'échelles et de durées?

En France, l'aléa crue présente une large gamme d'extension et de durées

Rhône (France) – déc. 2003
1 semaine, 30 000 km²



Var-Roya (France) – oct. 2020
1 jour, 4000 km²



Nartuby (France) – juin 2010
12h, 250 km²



De la recherche de la **sécurité absolue**...

Les approches maximalistes: recherche de la crue maximale possible.

Si la **vulnérabilité** est trop importante, on recherche naturellement à se protéger contre **l'événement maximal** ...

Exemples d'approches: Coefficient multiplicatif appliqué à la crue maximale historique , crue maximale probable/possible (PMF).

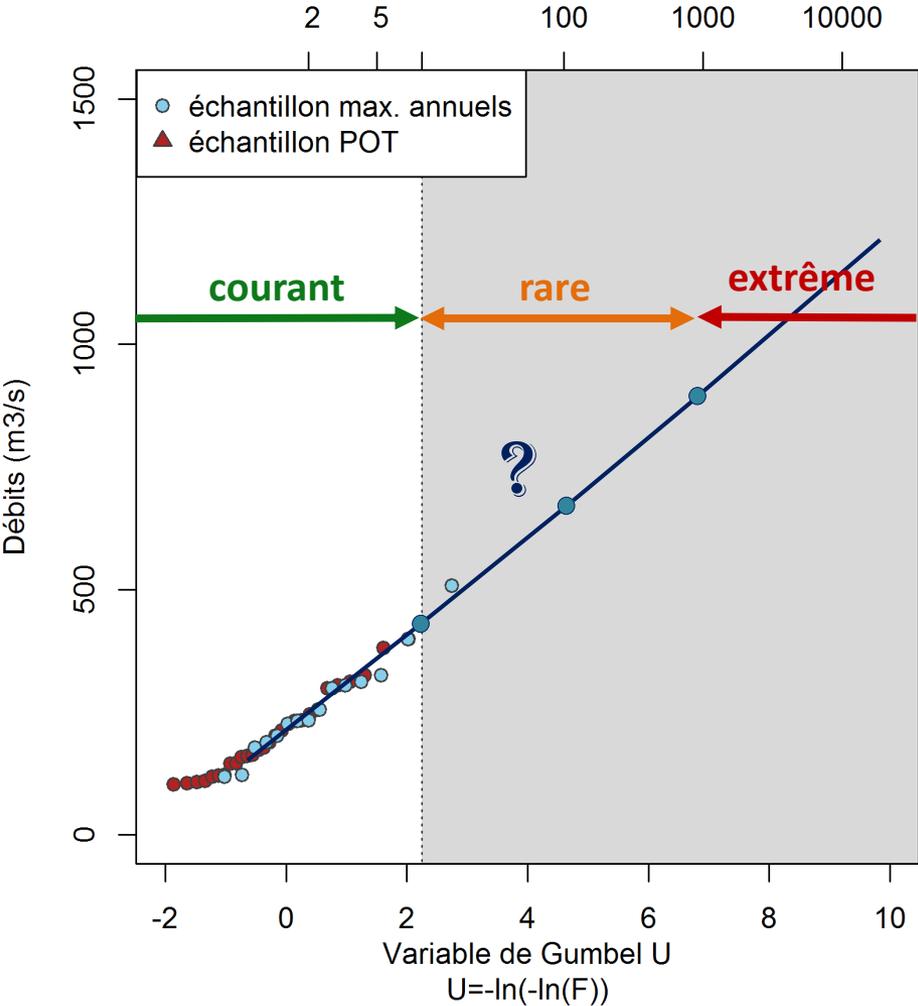
- Uniquement une valeur maximale
- Pas d'estimation des crues intermédiaires
- Estimation subjective de certains facteurs

La maximisation ne débouchant pas sur des **décisions rationnelles,
il reste alors...**

Comment se protéger du risque crues ?

De la recherche de la sécurité absolue...

...au recours aux **méthodes probabilistes**.



Les approches probabilistes: associer une intensité à une fréquence au non dépassement.

Accepter l'idée du risque et estimer la **probabilité** de dépasser des valeurs même très élevées

Problématique:
comment estimer la distribution des débits pour des fréquences (ou temps de retour) jamais observées?

Une grande variété d'approches possibles

Analyses fréquentielles sur les débits

Ajustement d'une distribution sur la distribution des débits observés.

Approches naturalistes

- Paléohydrologie:
Datation de dépôts de crues.
- Hydrogéomorphologie:
Analyse du fonctionnement des cours d'eau sur la base d'études morphologiques.

Approches historiques

Combinaison des données historiques et des chroniques observées.

De nombreuses méthodes existantes

Approches basées sur la pluie

Extrapolation la distribution des débits à l'aide de la distribution des pluies (ex: la méthode du GRADEX, SHYPRE, SCHADEX).

Méthodes régionales

Consolidation de l'estimation des crues en un site par de l'information provenant d'autres sites.



Comment se protéger du risque crues ?

Une grande variété d'approches possibles

De nombreuses méthodes existantes

Analyses fréquentielles sur les débits
Ajustement d'une distribution sur la distribution des débits observés.

Approches historiques
Combinaison des données historiques et des chroniques observées.

Approches naturalistes

- Paléohydrologie:
Datation de dépôts de crues.
- Hydrogéomorphologie:
Analyse du fonctionnement des cours d'eau sur la base d'études morphologiques.

Approches basées sur la pluie
Extrapolation la distribution des débits à l'aide de la distribution des pluies (ex: la méthode du GRADEX, SHYPRE, SCHADEX).

Méthodes régionales
Consolidation de l'estimation des crues en un site par de l'information provenant d'autres sites.

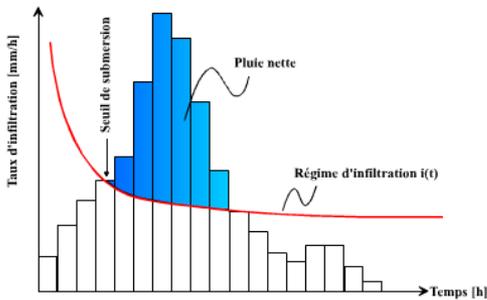


Références: SHYPRE- Arnaud et Lavabre, 2002 / GRADEX – CFGB, 1994

Comment se manifeste une crue ?

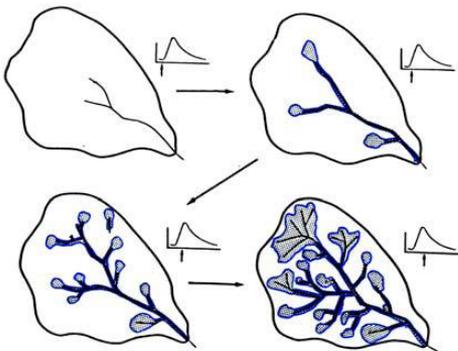
Aléa débit est en grande partie expliqué par:

+ Aléa pluie



Facteur explicatif majeur des débits
Plus de données donc plus facile à étudier

+ Mécanisme de saturation des sols

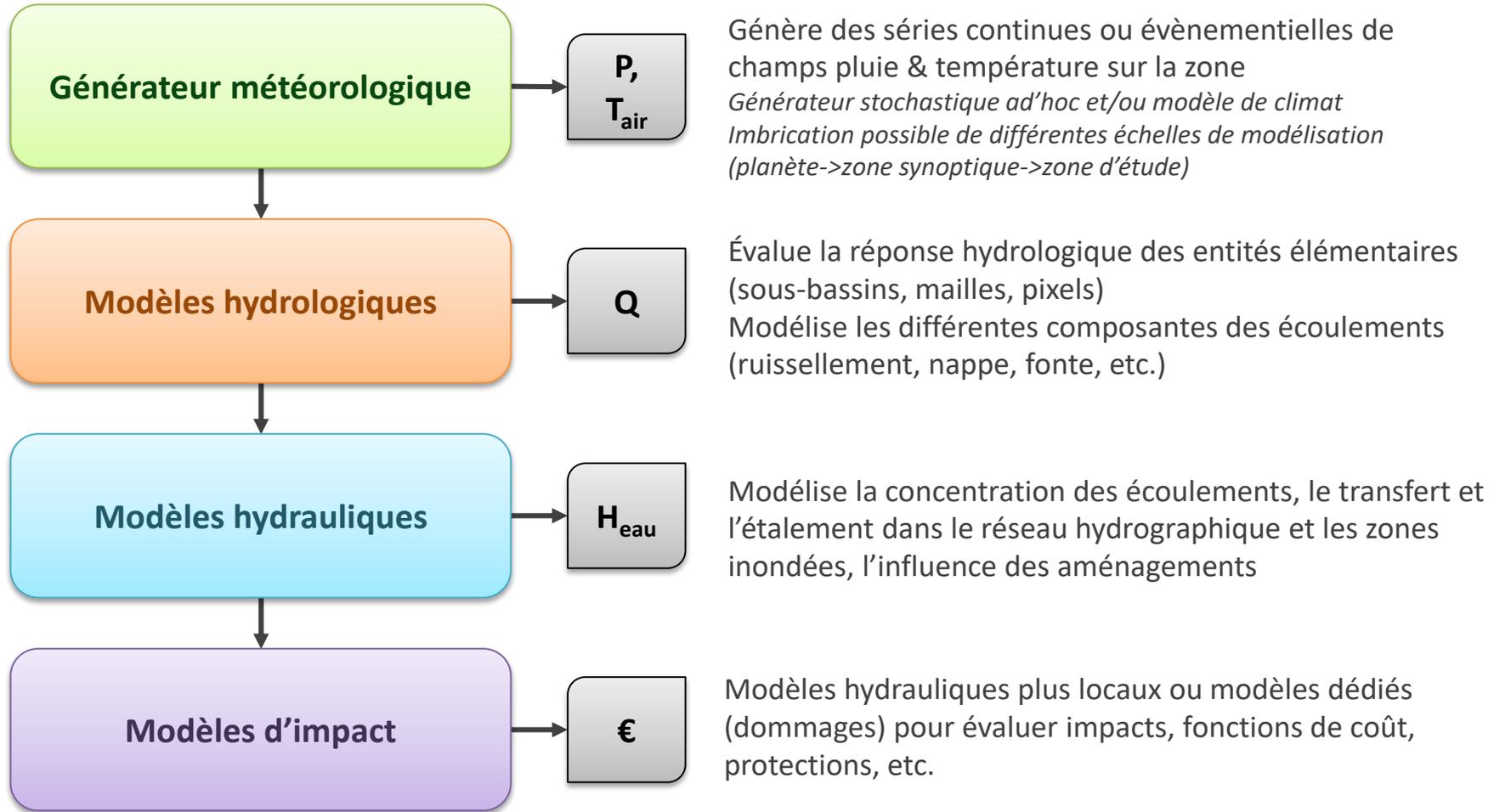


Évolution de l'aire contributive
du bassin versant lors de
fortes précipitations

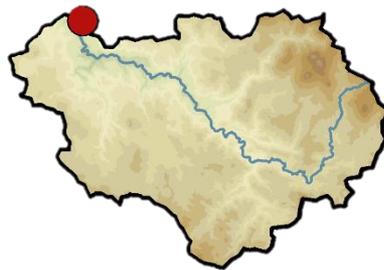
Méthodes de simulation : Généralités

Simulation explicite des phénomènes en jeu,
basée sur génération stochastique d'évènements
(continue ou évènementielle)

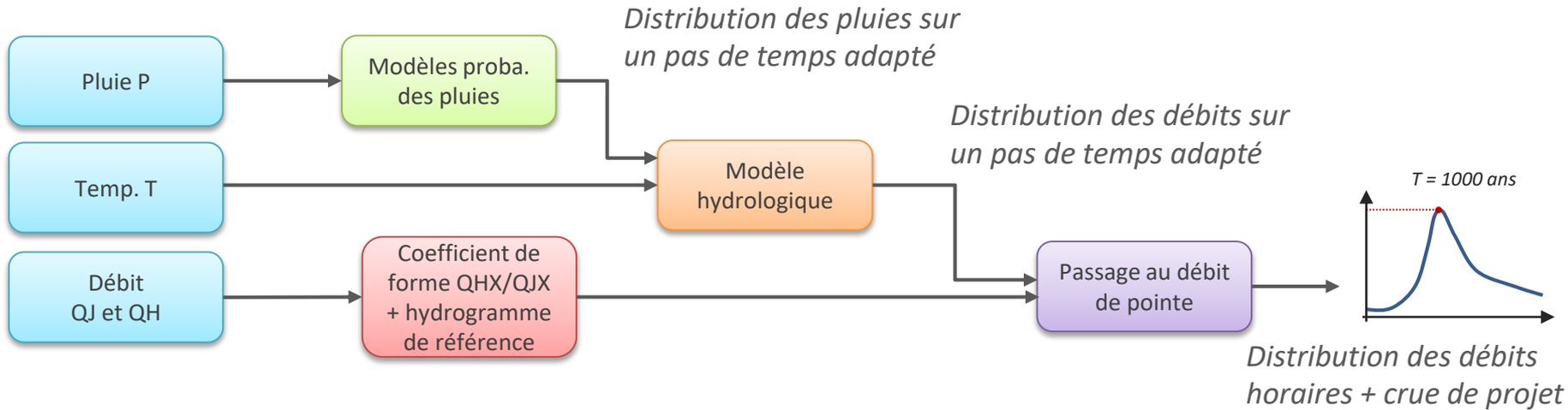
Architecture générale



Le méthode de simulation SCHADEX sur un bassin versant



Principe général de la simulation SCHADEX

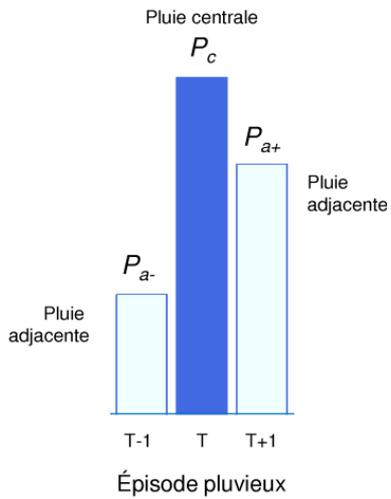


Les hypothèses sous-jacentes

 <p>Méthode probabiliste basée sur une simulation stochastique pluie-débit</p>	 <p>Estimations de débits de crues extrêmes (T= 10 000 ans)</p>	 <p>Surface de bassins de 10 à 10 000 km²</p>	 <p>Bien adaptée à l'hydrologie de montagne</p>
---	--	---	--

Aléa pluie et saturation du bassin versant

Modèle probabiliste des pluies:



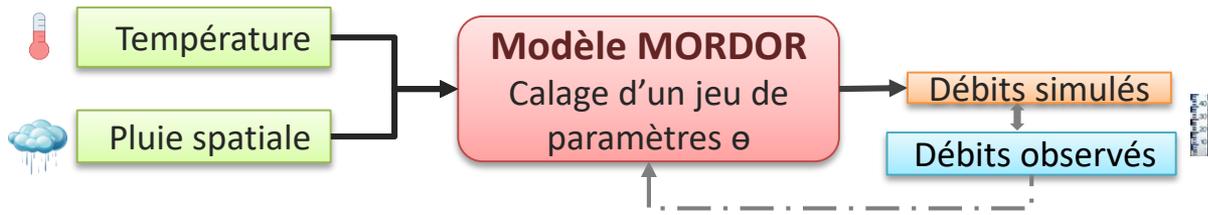
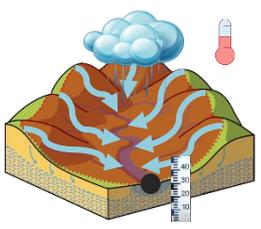
La probabilité d'un épisode de pluie est définie par:
2 modèles probabilistes pour les pluies

- MEWP: ajustement multi-exponentiel par types de temps
(*Multi-exponential weather pattern*)
- Probabilités conditionnelles à P_c pour les pluies adjacentes

Le passage pluie débit:

Utilisation du modèle hydrologique MORDOR pour représenter le comportement du bassin versant:

- Représentation de l'état de saturation des sols
- Gestion des stocks de neige...



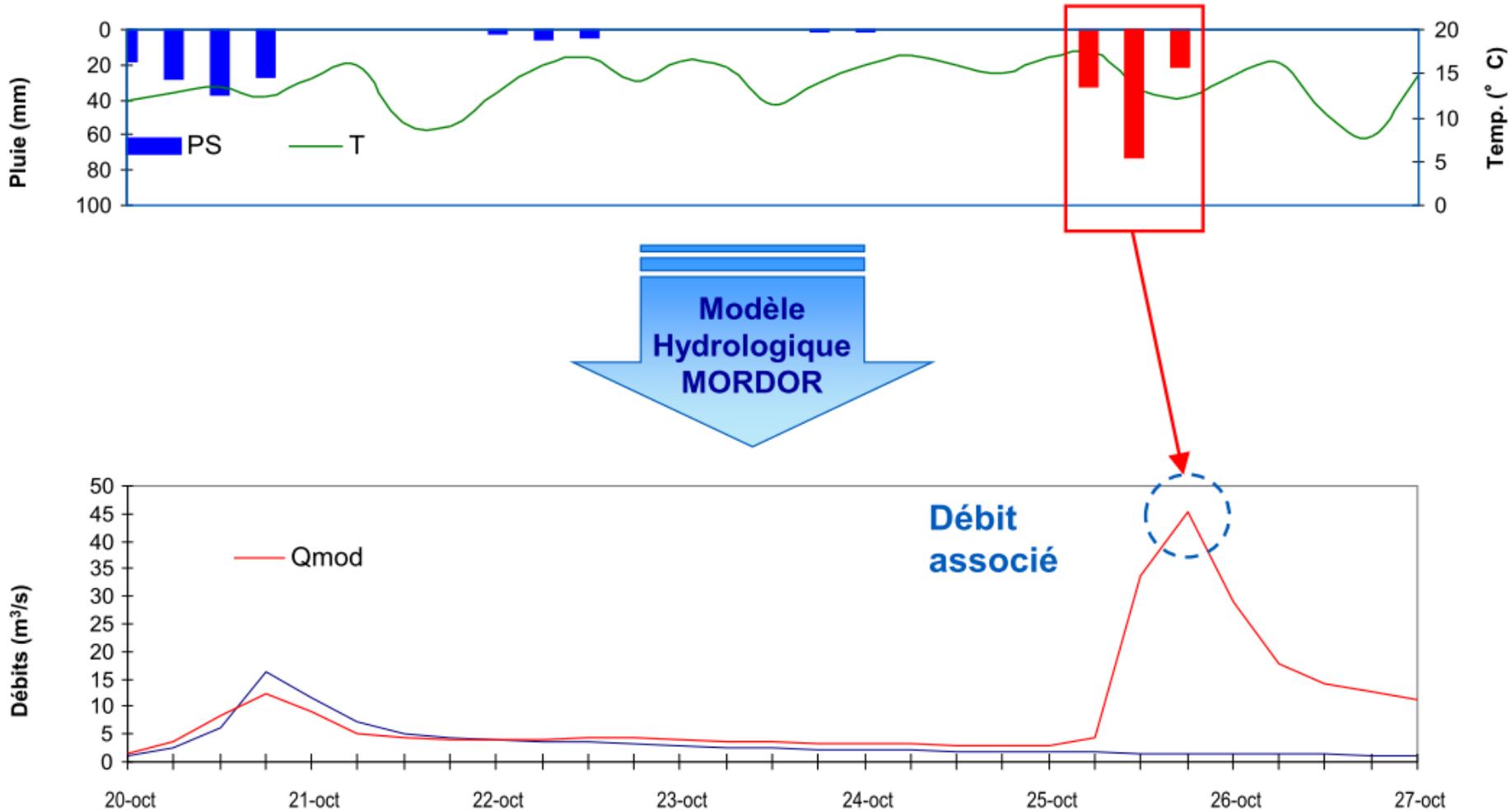
La simulation stochastique

Passage d'un épisode de pluie à un épisode de débit



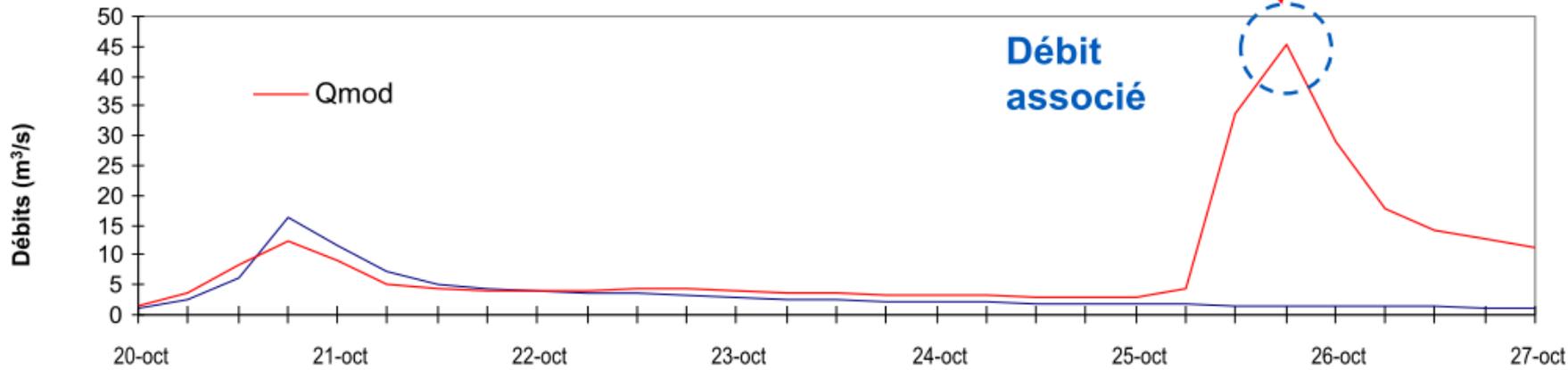
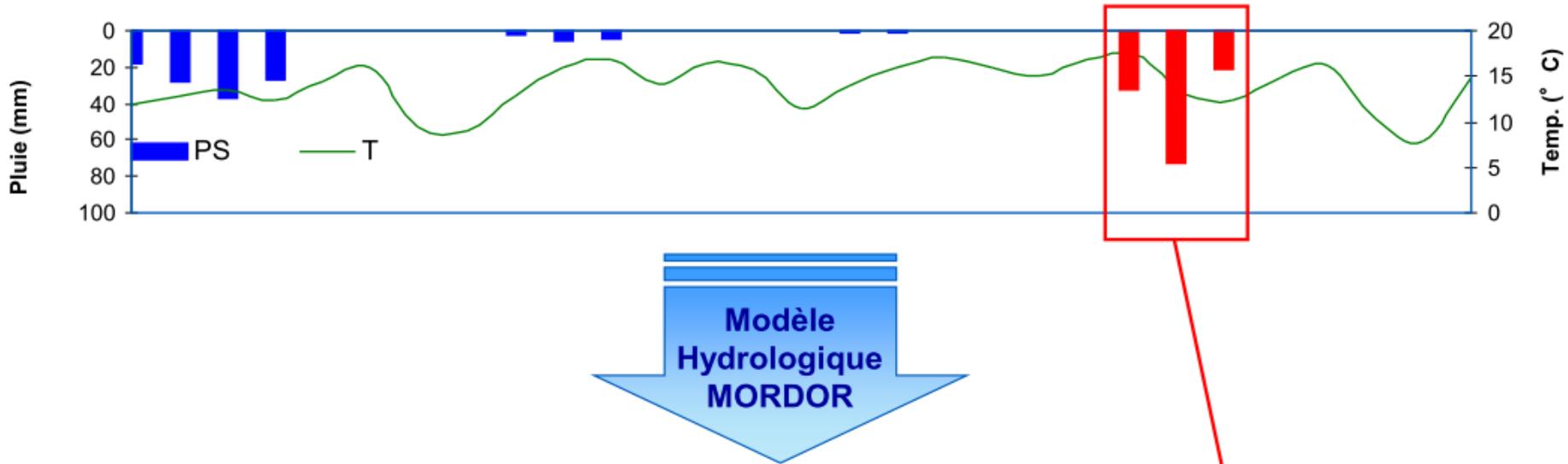
La simulation stochastique

Passage d'un épisode de pluie à un épisode de débit



La simulation stochastique

Passage d'un épisode de pluie à un épisode de débit



Répétition de cette génération un grand nombre de fois ...

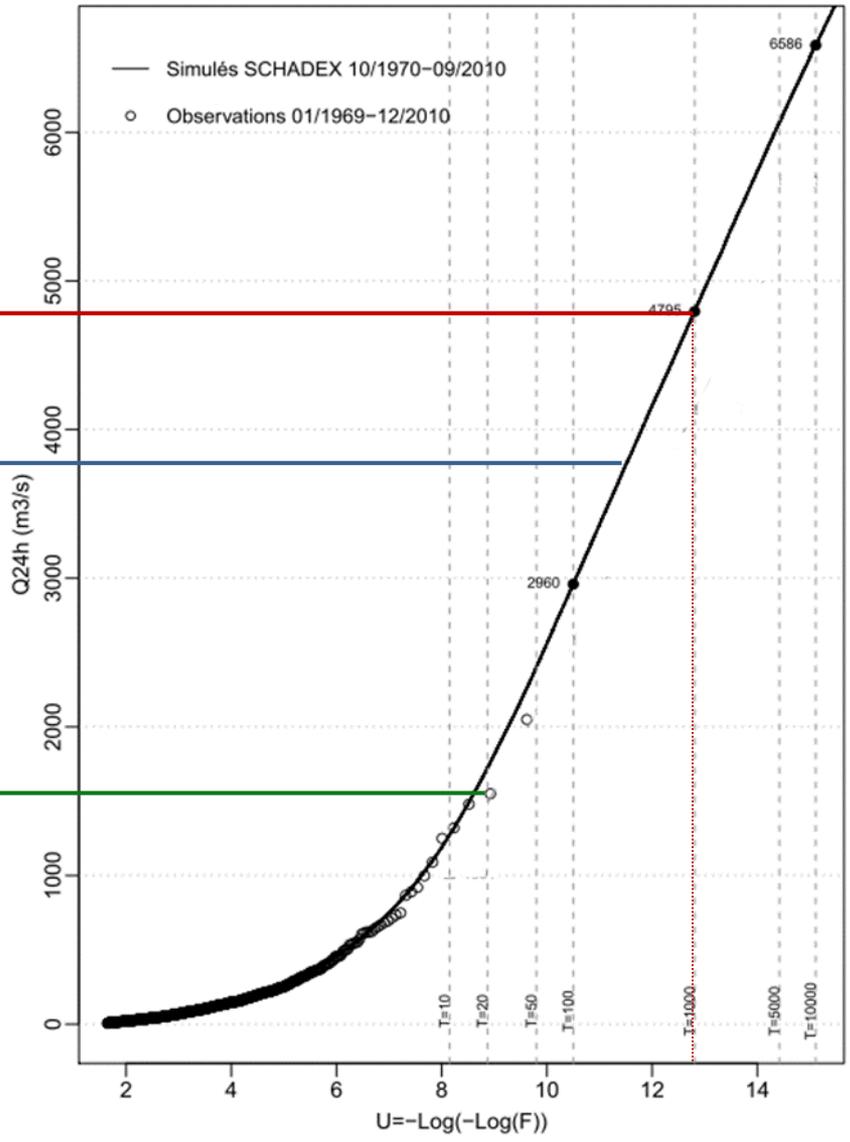
La simulation stochastique

Distribution des débits simulés versus distribution empirique observée

*Débit journalier millénaire
 $Q(T=1000 \text{ ans})$*

*distribution des débits journaliers
croisant l'aléa pluie et saturation du bassin
= 2 millions de scénarios*

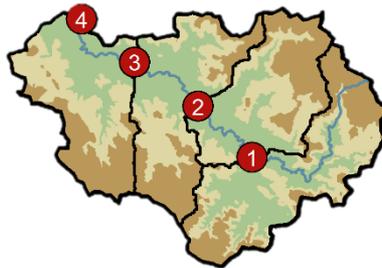
*Distribution empirique
des débits journaliers observés
Vérification de la cohérence de la distribution*



Intérêts de la méthode SCHADEX

- ✓ Exploiter le plus possible **toutes les données disponibles** sur le bassin.
- ✓ Utilisation des **types de temps** permet de se référer aux situations météo générant les **pluies intenses**, pour des extrapolations plus fiables.
- ✓ Le passage pluie-débit **s'appuie sur un modèle hydrologique** bien éprouvé pour gérer la réponse hydrologique.
- ✓ La simulation stochastique réalise un **croisement quasi-exhaustif entre les aléas pluies extrêmes et état hydrologique** du bassin.
- ✓ Une grande **diversité de scénarios hydrologiques de référence** est proposée, avec une saisonnalité précise.
- ✓ Contrôle sur différents modules pour garantir **robustesse et cohérence à l'échelle d'un territoire**.
- ✓ Évaluer les incertitudes liées aux différents modules (aléa pluie, modèle hydrologique)

Le méthode de simulation SCHADEX sur une vallée



Simulation grands bassins – Couplage hydrologie-hydraulique

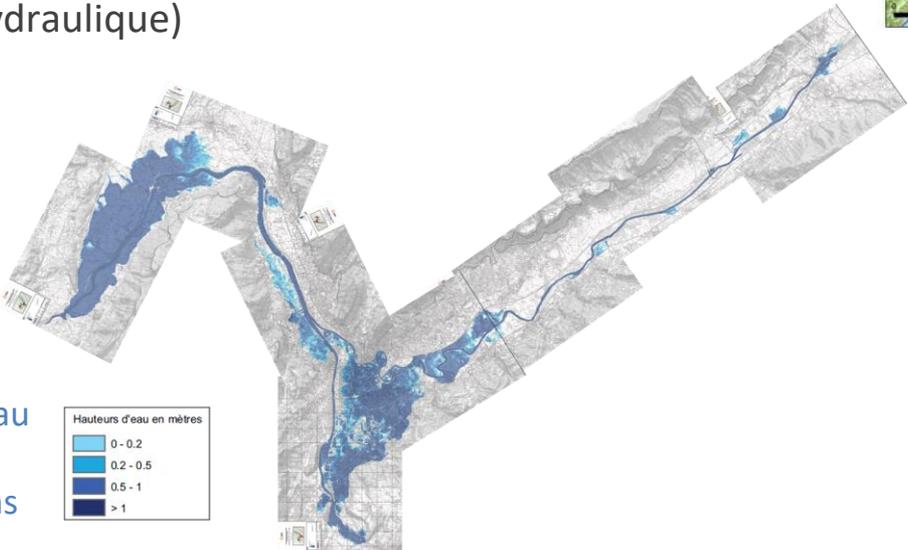
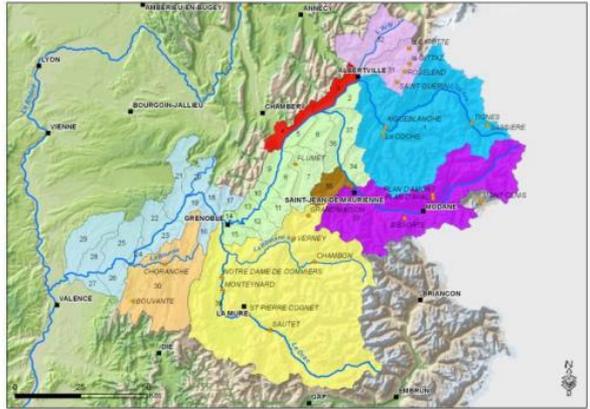
Caractériser les crues extrêmes sur un grand bassin versant

→ complexe car hétérogénéité spatiale de la pluie et des réponses hydrologiques

Objectifs :

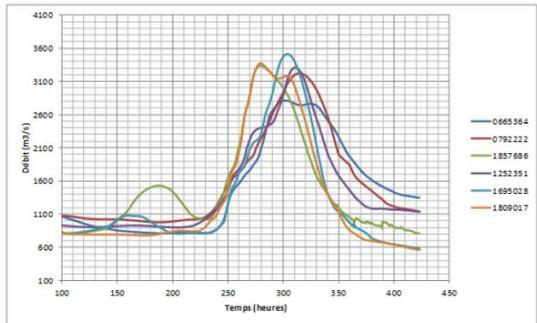
- ✓ Prendre en compte le laminage naturel et artificiel
- ✓ Prendre en compte les temps de transferts des crues
- ✓ modéliser le fonctionnement hydraulique des zones inondables et des aménagements
- ✓ Estimation des crues sur le domaine pour toute la gamme de temps de retour.
- ✓ Exploiter toute la richesse des informations (climatologie, hydrologie, hydraulique)

Domaine de simulation hydrologique :
Isère à Saint Gervais (9980 km²)



Carte des hauteurs d'eau modélisées pour un événement T=1000 ans

Hydrogrammes T=1000 à St Gervais





Barrage de Serre-Ponçon

Merci de votre attention



Barrage de Cap de Long



Barrage du Monteynard

Barrage de Roselend