

8<sup>èmes</sup> Journées

Fiabilité des  
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES

Aix-en-Provence,  
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTAUX  
**ECCOREV**  
ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX



# Prise en compte de l'aléa hydrologique dans le dimensionnement et la gestion des ouvrages hydrauliques

Patrick Arnaud et Yoann Aubert



**HYDRIS**  
*hydrologie*

Les systèmes ...

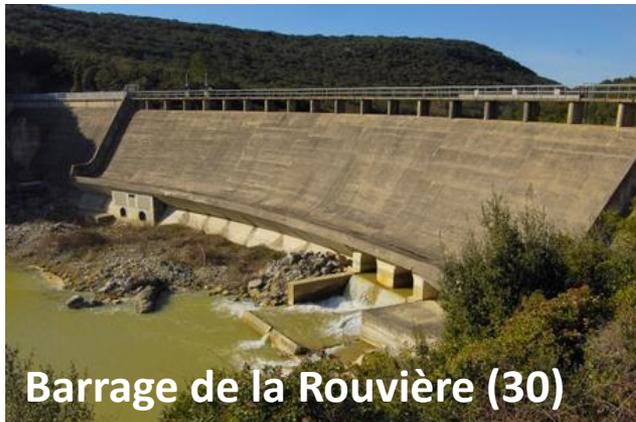
dans leur environnement.



Pont de Russan (30)



Septembre 2002



Barrage de la Rouvière (30)



Ouvrages à proximité de  
cours d'eau ... soumis aux risques hydrologiques  
(crues)

## Les systèmes ... dans leur environnement.

**Objectif** : étudier l'impact de l'aléa sur le comportement/fiabilité d'un ouvrage

Etape – 1 : Connaissance sur l'aléa

Etape – 2 : Interaction aléa-ouvrage



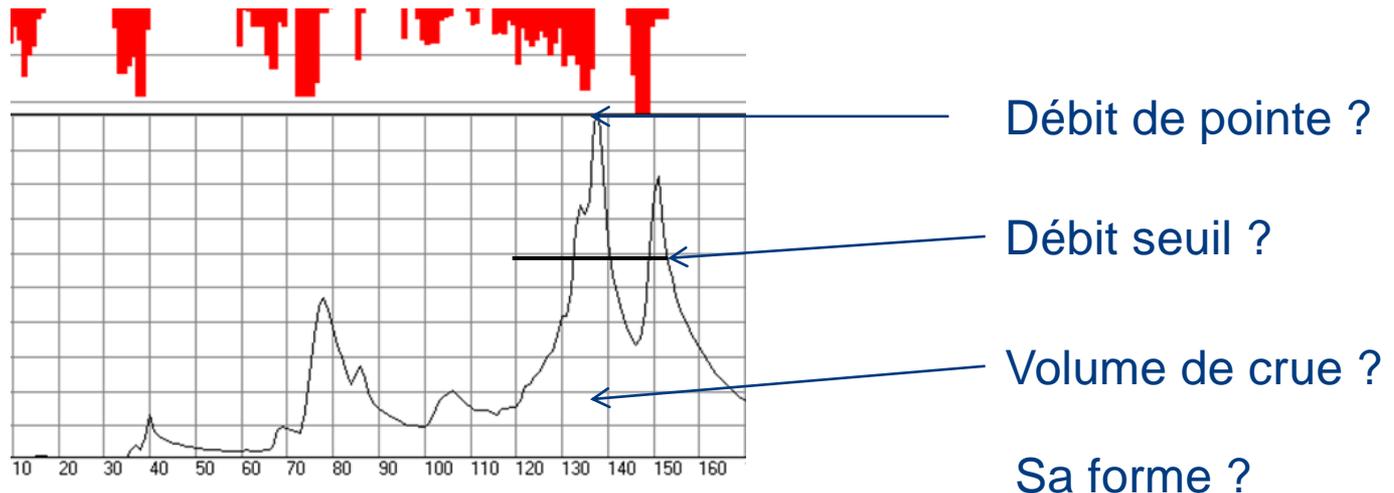
- Application à un barrage virtuel, écrêteur de crues.

## Partie 1 - Connaissance sur l'aléa hydrologique ?

- **Approche probabiliste** : un débit de crue est associée à une probabilité de dépassement.

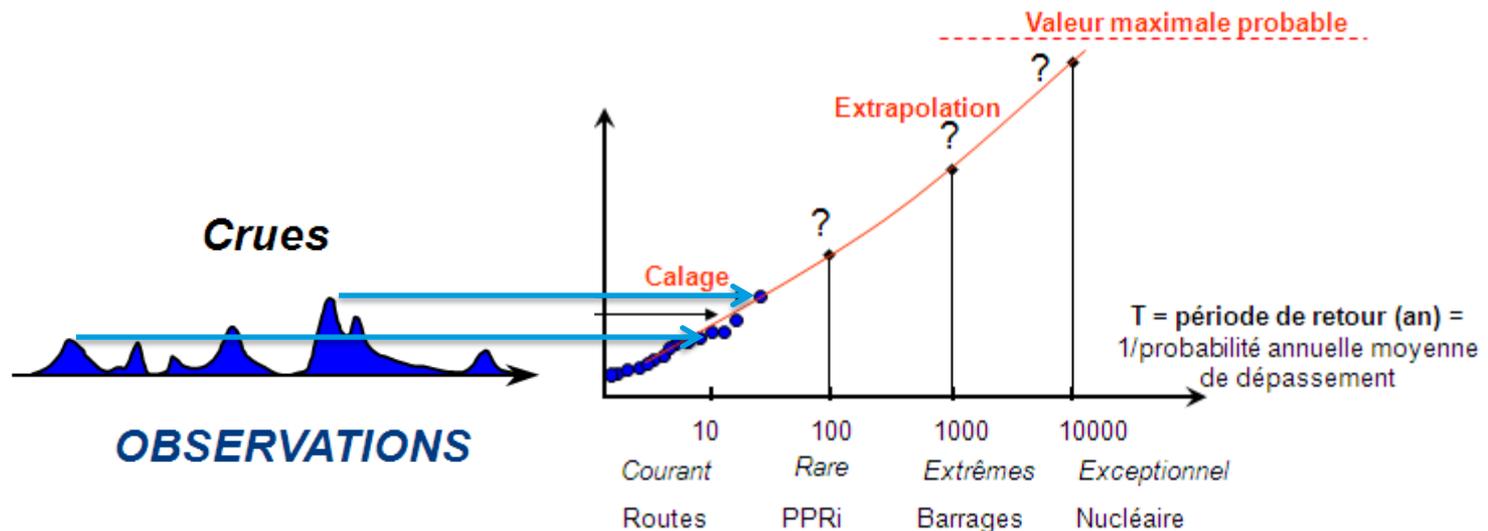
Probabilité annuelle que  $[Q > Q(T)] = 1 / T$

- **Variable d'intérêt** : comment caractériser une crue ?



## Partie 1 - Connaissance sur l'aléa hydrologique ?

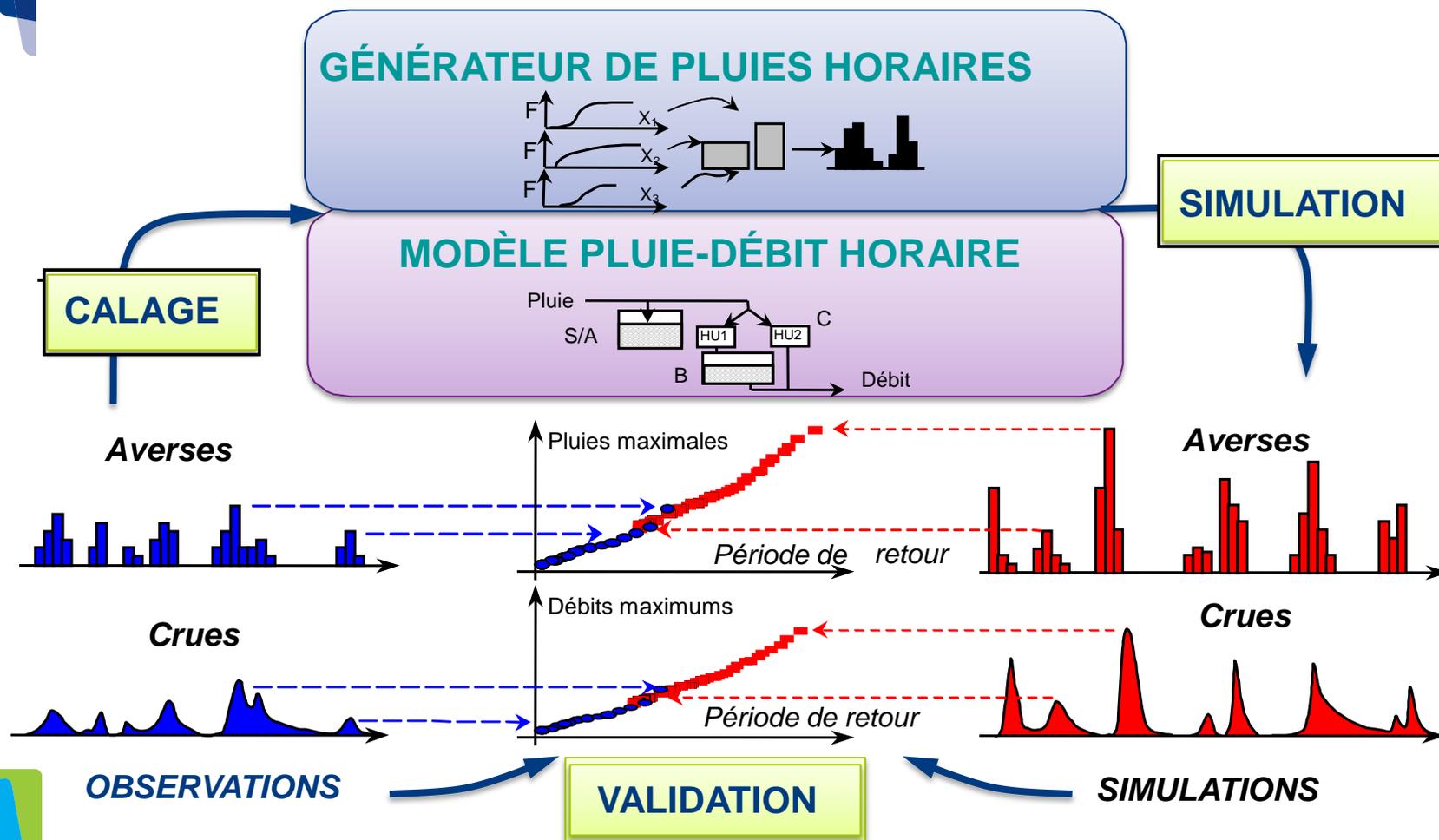
- **Comment déterminer l'aléa** : caler un modèle et extrapoler en fréquence vers les valeurs extrêmes.



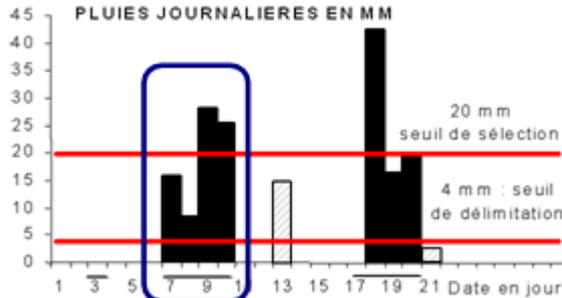
### • Quelle modélisation ?

- Ajustement statistique
- Modélisation des processus

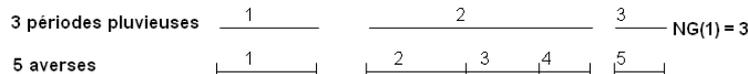
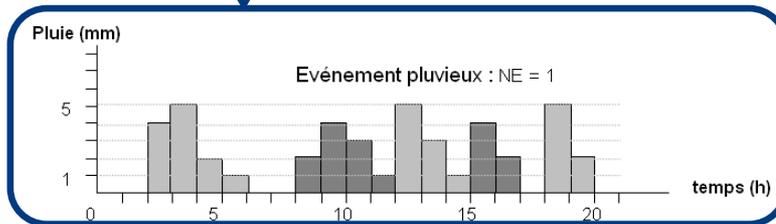
## Principe d'une approche par simulation de scénarios de crues



# Le principe du simulateur de pluies : description



☐ Sélection d'événement (critère journalier)



Durée (h)	4	4	3	2	2
Volume (mm)	12	10	9	6	7
RX	5/12	4/10	5/9	4/6	5/7
PRX	2/4	2/4	1/3	1/2	1/2

NA(1) = 1  
 NA(2) = 3  
 NA(3) = 1  
 (nombre d'averse)

DIA(1) = 2  
 DIA(2) = 1  
 (Durée inter-averse)

☐ Lois de probabilité uniques pour chaque variable

Variable	Loi de probabilité	Paramètres de détermination	Nombre de paramètres	Total
NE	• Loi de Poisson $P(k) = \sum_{j=0}^k e^{-p} \cdot \frac{p^j}{j!}$	$p = \text{moyenne}$	1 par saison	2
NG	• Loi Géométrique $P(x \leq k) = 1 - (1 - p)^k$	$p = 1 / \text{moyenne}$	1 par saison	2
DIA	• DIA < 12 h : loi Géométrique • DIA > 12 h : loi Uniforme	1 / moyenne et Seuil de troncature	2 par saison	4
NA	• Géométrique	1 / moyenne	1 par saison	2
DA	• Averse principale, saison Hiver : > Si DA < 10 h : loi de Poisson > DA de 10 à 20 h : loi Uniforme • Averse principale, saison Été : > Si DA < 8 h : loi de Poisson > DA de 8 à 14 h : loi Uniforme • Averse ordinaire : > Si DA < 6 h : loi de Poisson > DA de 6 à 12 h : loi Uniforme	Moyenne et seuil de troncature	2 par saison et par type d'averse	8
RPX	• Normale $F(x) = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\bar{x}}{\sigma_x} \right)^2}$	Moyenne et écart-type	2 par saison	4
VOL	• Type Exponentielle	Voir § 2.3.1	3 par saison et par type d'averse	12
NAV	• Type Exponentielle	Voir § 2.3.2	1 par saison	2
RX	• Type Uniforme	Voir § 2.3.4	1 par saison et par type d'averse	4



☐ Description des événements au pas de temps horaires

# Le principe du simulateur de pluies : simulation

Organisation des tirages aléatoires des différentes variables et reconstitution d'un hyétogramme.

## Pour chaque année à simuler ...

- Tirage du nombre d'événements

NE (hiver) et NE(été)

## Pour chaque événement ... lecture des paramètres de la saison

- Tirage du nombre de périodes pluvieuses

NG

## Pour chaque période pluvieuse ...

- Tirage de la durée sèche entre périodes pluvieuses
- Tirage du nombre d'averse

DIA

NA

## Pour chaque averse...

- Tirage de la durée
- Tirage du volume
- Tirage du ratio pluie maximale horaire /VOL
- Tirage de la position du max. horaire

DA

VOL

RX

RPX

- Positionnement des averses avec leur volume
- Calcul et positionnement de la pluie maximale horaire des averses
- Répartition aléatoire des pluies horaires autour du maximum de l'averse

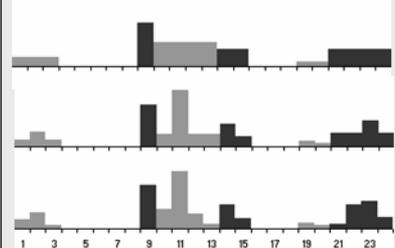
## EXEMPLE

NE = 3 pour l'hiver  
NE = 5 pour l'été

NG = 3

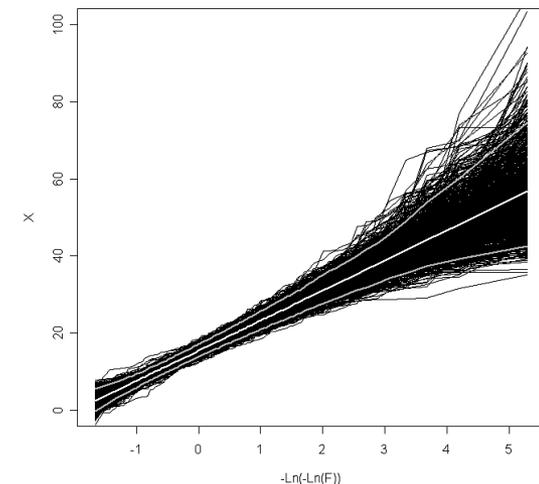
NA(1) = 1	DIA(1) = 5
NA(2) = 3	DIA(2) = 3
NA(2) = 2	

Averse	1	2	3	4	5	6
DA (h)	3	1	4	2	2	4
VOL (mm)	12	18	40	14	4	28
RX (%)	54	100	61	71	59	42
RPX	2/3	1/1	2/4	1/2	1/2	3/4



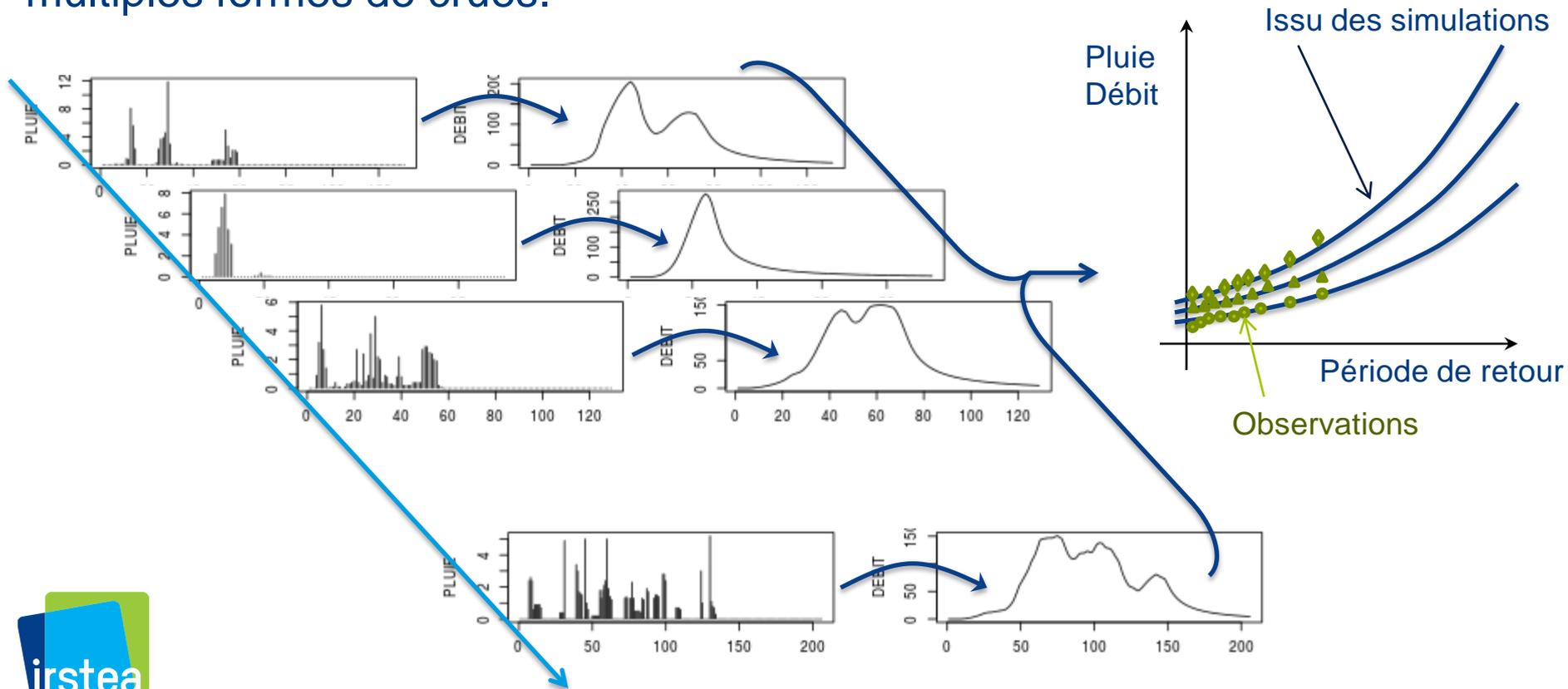
☐ Tirages aléatoires des variables et reconstitution des hyétogrammes

☐ Construction des distributions

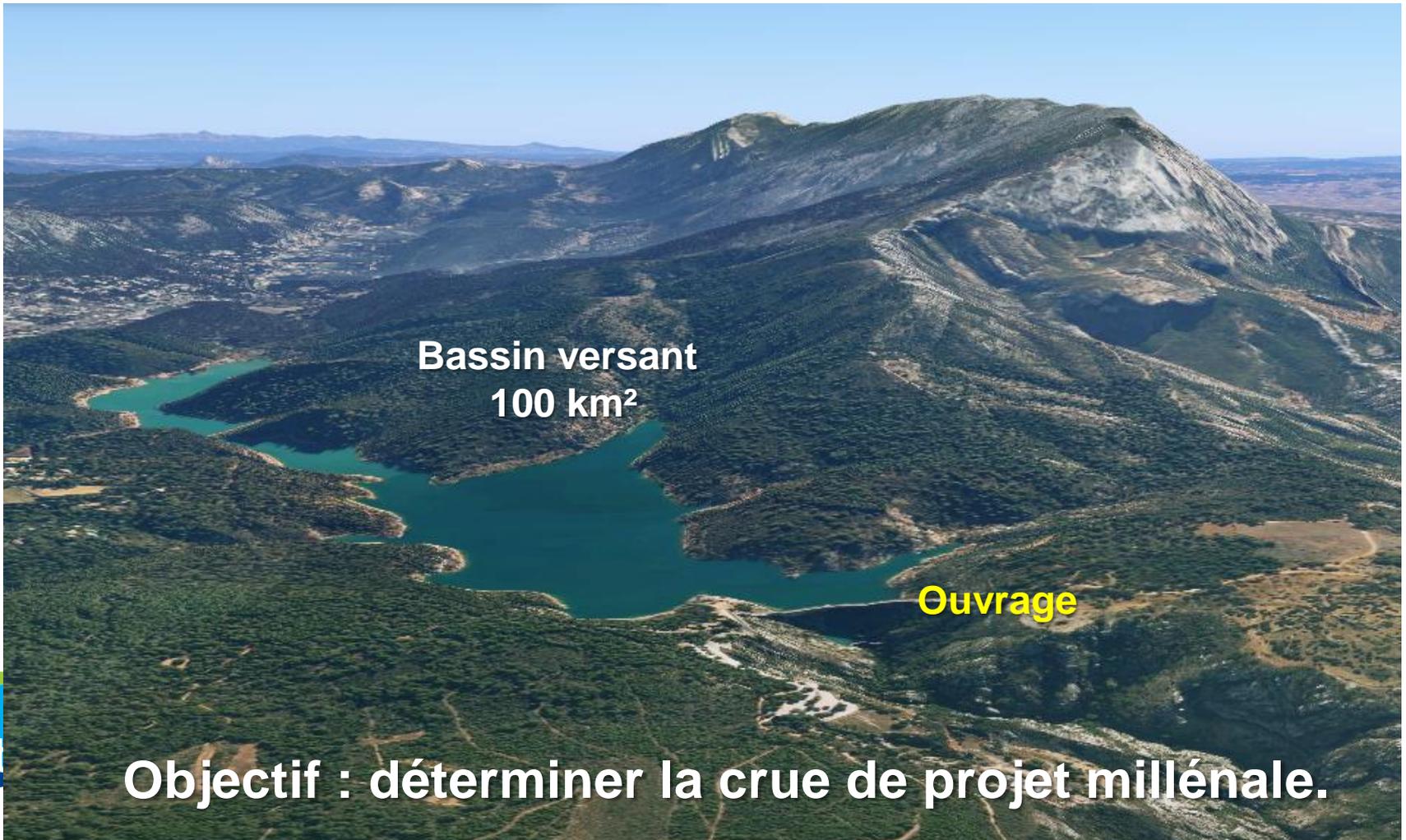


## Simulation de pluie et transformation en crues

Les multiples formes d'événements de pluies génèrent de multiples formes de crues.

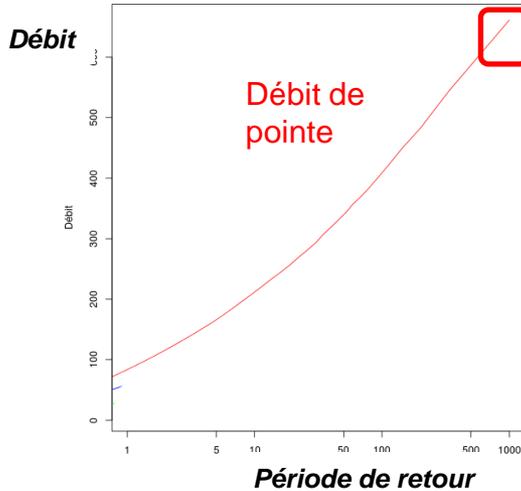


## Cas d'application : Dimensionnement d'un barrage écrêteur (cas virtuel mais réaliste)



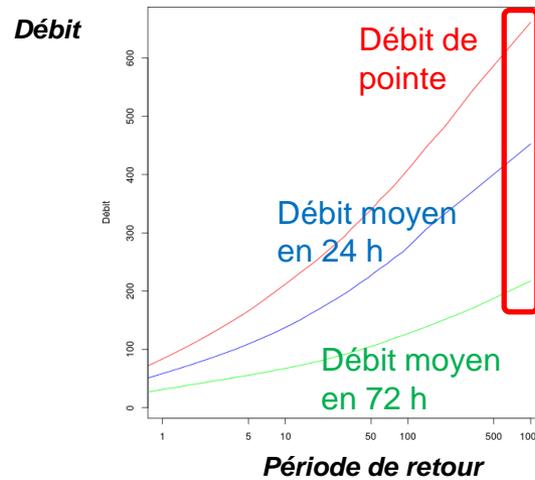
# Détermination de l'aléa : 3 cas

## Cas 1



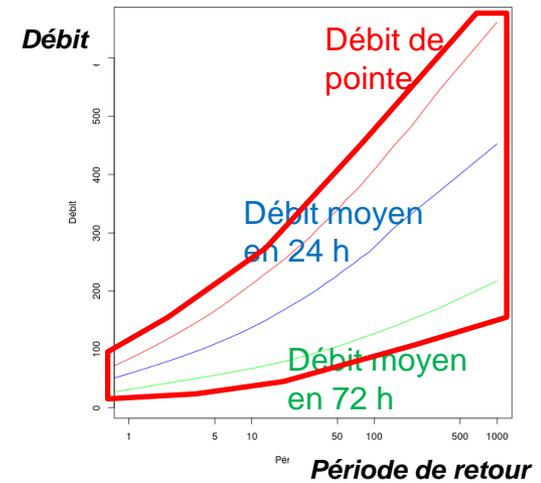
Crues de projets de pointe millénale

## Cas 2

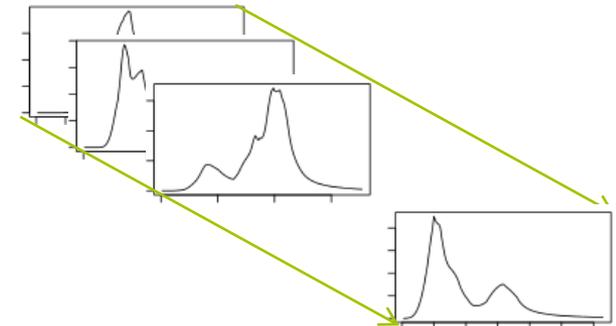
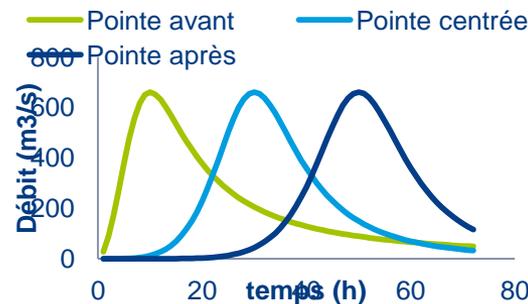
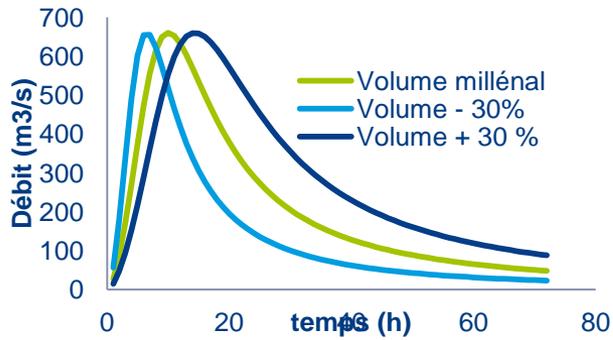


Crues de projets « monofréquence » millénales

## Cas 3



Equivalent de 100 000 ans de données



## Etape 2 – Interaction Aléa - Ouvrage

- **Objectif : assurer la sécurité du barrage**  
Le déversoir doit évacuer la crue de projet.



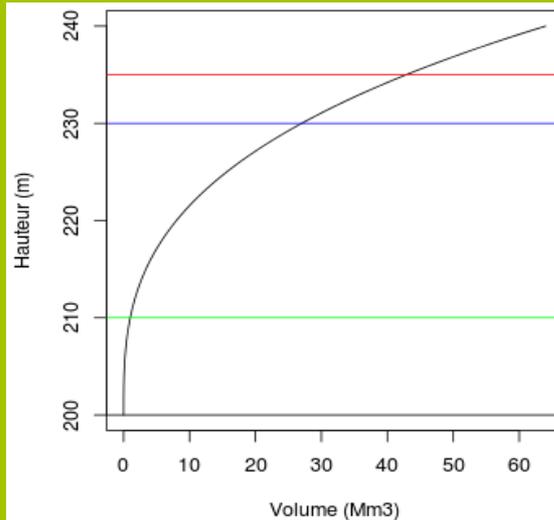
## Etape 2 – Interaction Aléa - Ouvrage

### Le bassin

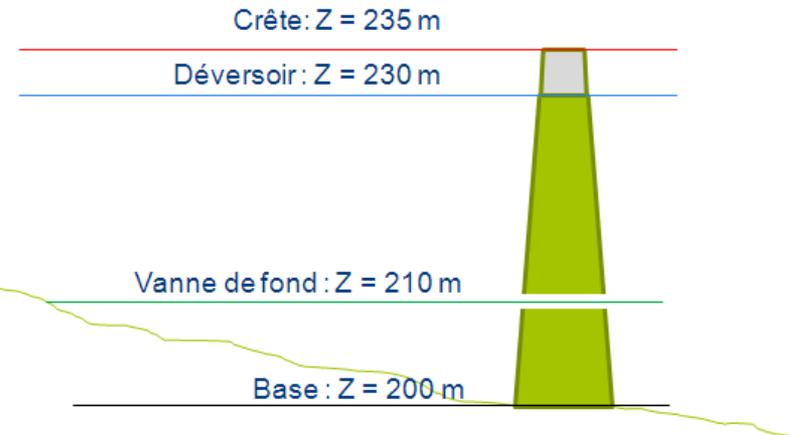
- Milieu méditerranéen
- Surface amont = 100 km<sup>2</sup>
- Courbe Hauteur - Volume

### L'ouvrage

- Vanne de fond  
 $Z = 210 \text{ m}$   
 $Q_v = \mu_v \cdot \sqrt{H}$
- Déversoir :  
 $Z = 230 \text{ m}$   
 $Q_d = \mu_d \cdot L_d \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$   
 Longueur = 50 m



Courbe Hauteur - Volume



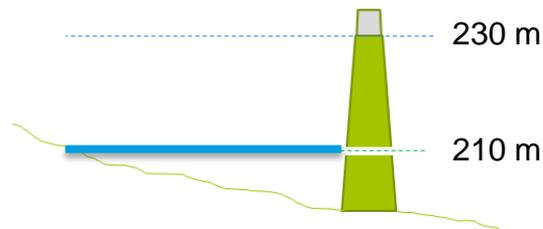
# Simulation du comportement hydraulique



- 1 – Détermination d'une crue entrante
- 2 – Détermination de la cote du plan d'eau
- 3 – Calcul hydraulique du passage de la crue
- 4 – Cote maximale atteinte du plan d'eau

Cas	Cas 1 et 2	Cas 3
<b>Crue entrante</b>	Crue de projet T = 1000 ans	Scénarios (+ 100 000 crues)
<b>Cote maximale</b>	Cote de projet T = 1000 ans	Distribution complète

## Résultats : influence de la connaissance de l'aléa

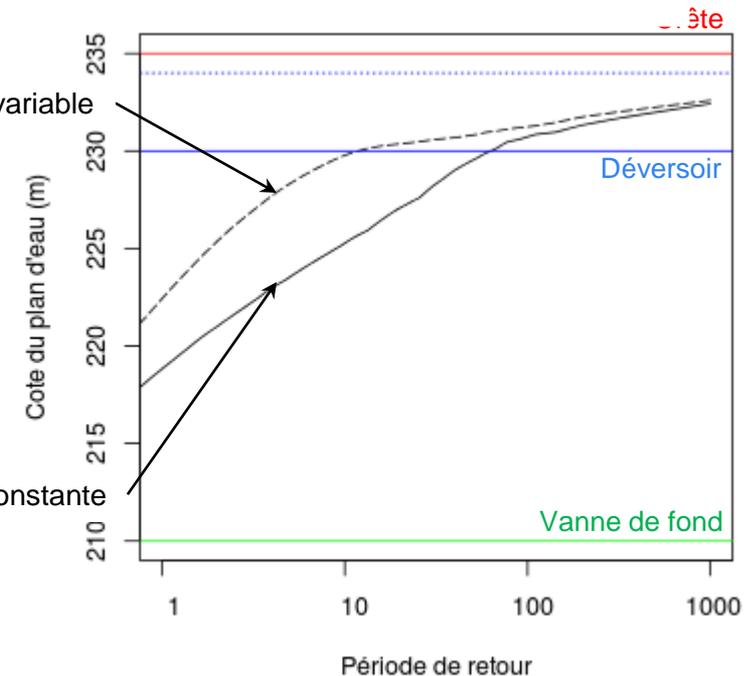
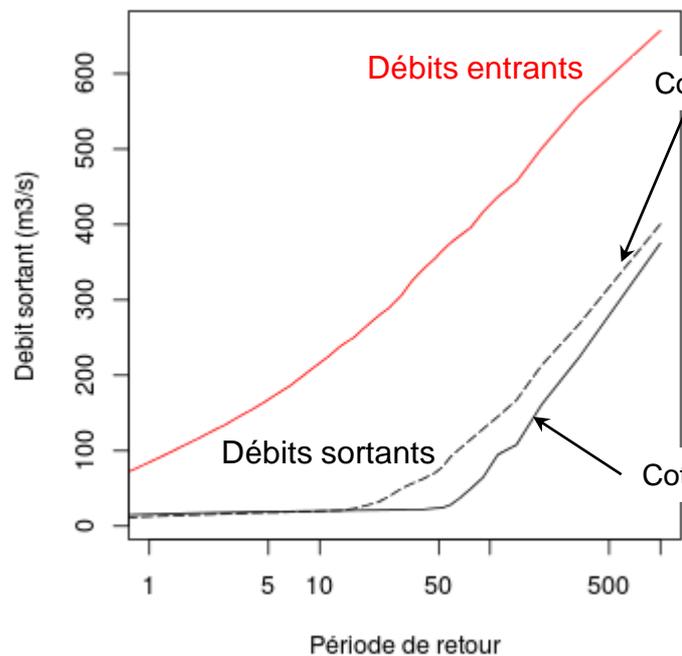
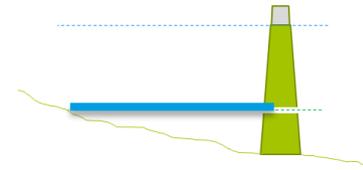


Cas	Biais sur le volume	Retenue vide
Cas 1	+ / - 30%	230,83 – 232,34
Cas 2	0 %	231,73 – 232,31
Cas 3	0 %	232,42

- Ecart plus importants si la retenue initialement vide
- Importance des hypothèses sur le volume de la crue et sa forme

## Résultats : modification de l'usage (soutien d'étiage)

Vannage	Loi de la cote initiale
Ouvert	Constante (barrage vide)

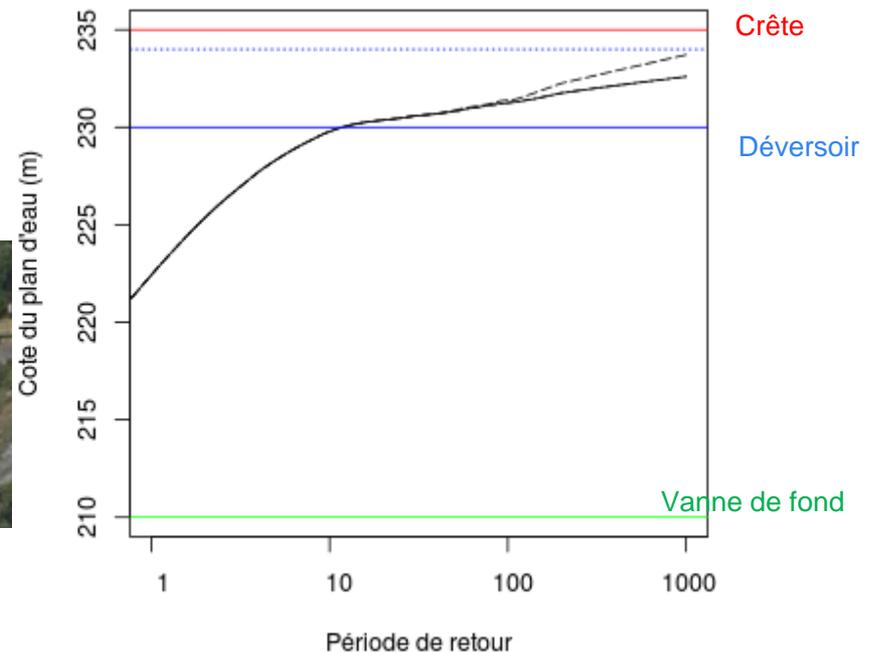


- Fonctionnement du déversoir 5 fois plus fréquent, à  $T = 13$  ans au lieu de 70 ans

## Résultats : simulation de la défaillance de l'ouvrage

Défaillance :  $f = 0,001$  (1 crue / 1000)

- 1 – Aléatoirement
- 2 – Pour les plus fortes crues



- 1 – si aléatoire : peu d'impact
- 2 – si conditionné : fort impact sur la sécurité de l'ouvrage



## Conclusions

### **Dans le cadre de cette application :**

- Limite des approches classiques par crue de projet.
- Prise en compte de lois de gestion et modes de défaillance.
- Possibilité d'optimiser le dimensionnement ou la gestion.

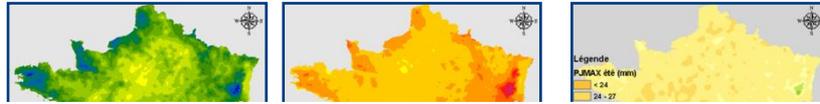
### **De manière générale :**

- Les approches par simulation de scénario permet une prise en complète de l'aléa.
- Le couplage avec d'autres modélisations est possible (hydraulique, physico-chimie, ...)
- Possibilité de prise en compte des incertitudes sur l'aléa et sur le fonctionnement des ouvrages (attention à la dépendance des phénomènes).

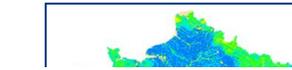
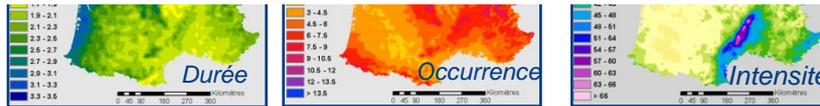


**Merci de votre attention !**

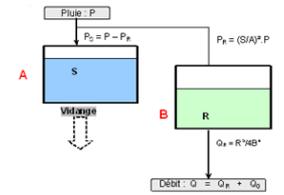
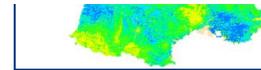
# Mise en œuvre nationale de la méthode SHYPRE



Paramètres régionalisés du générateur de pluie

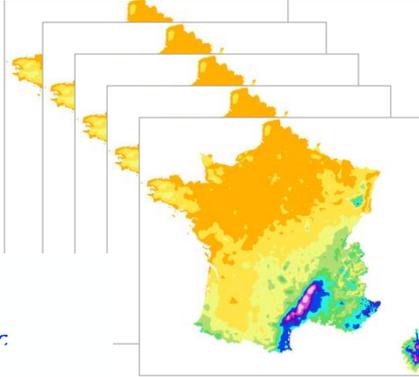


Paramètres régionalisés du modèle hydrologique

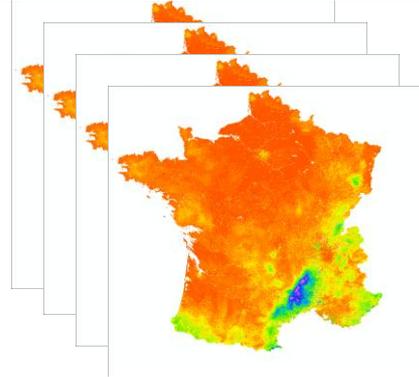


Modèle GR simplifié

Simulation de pluies horaires + transformation en hydrogrammes  
Extraction des quantiles de pluie et de débit

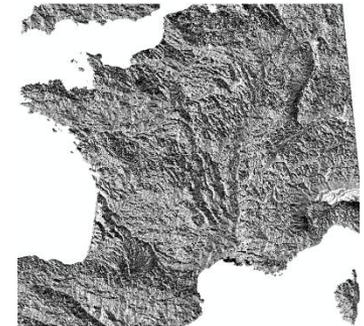


Bases SHYREG-pluie  
72 h – T = 2 à 1000 ans)



Bases des débits-spécifiques

Directions d'écoulement



Accumulation  
Abattement (FTS)

Bases SHYREG-débit

