

Utilisation de modèles hydrauliques-métier dans des plates- formes et application aux incertitudes

N.Goutal — E. Demay
EDF R&D

Utilisation de modèles hydrauliques-métier dans des plate-formes et application aux incertitudes

1. **Présentation de l'outil métier : Système Mascaret**
2. **Prise en compte des incertitudes en hydraulique : Pourquoi et comment ?**
3. **Intégration de l'outil métier dans Scilab**
4. **Cas d'application**
5. **Conclusions**

Collaboration LNHE-STEP-MRI

1

Présentation de l'outil métier : le système Mascaret

Le système Mascaret



Ensemble d'outils dédiés à la modélisation **monodimensionnelle** des écoulements à surface libre en rivière

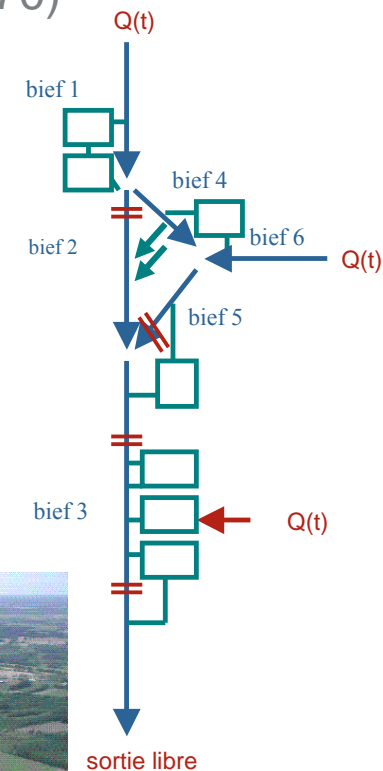
- Simulation des écoulements
- Transport de traceurs passifs
- Transport de sédiments cohésifs

✧ Développé depuis plus de 20 ans

✧ Copropriété EDF R&D – CETMEF

Hydraulique : fonctionnalités

- 3 noyaux de calcul basés sur la résolution des équations de Saint-Venant (EDP non linéaires – solutions discontinues)
 - Fluvial permanent, non permanent (différences finies –1970)
 - Transcritique non permanent (schémas volumes finis explicite et implicite)
- Réseau maillé et ramifié – Système de casiers
- Conditions limites :
 - Cote ou débit imposés – Loi de tarage – Sortie libre
 - Gestion du changement de régime en entrée de domaine
- Singularités (seuils, déversoirs,...)
- Calage automatique (noyau fluvial permanent)



L'interface graphique Fudaa-Mascaret

→ Co-développée avec le CETMEF en Java

Permet la construction des fichiers de données pour Mascaret :

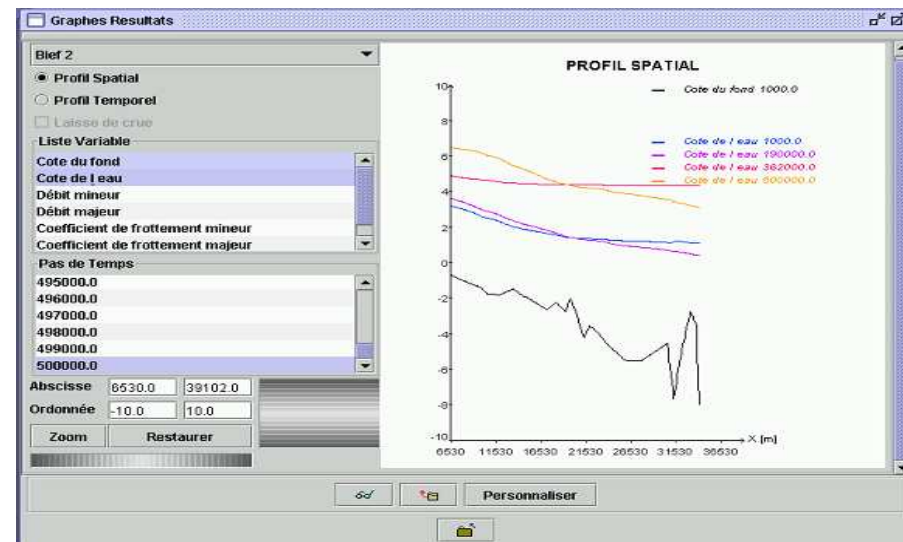
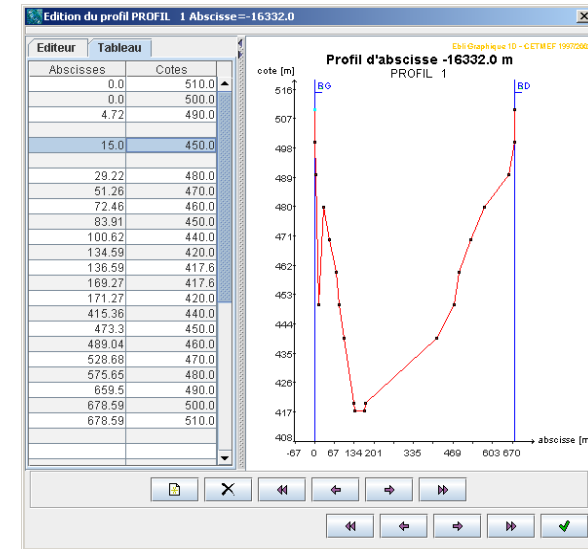
→ le traitement des données de bathymétrie

→ la construction du réseau hydraulique

→ Ligne d'eau initiale – Conditions aux limites

→ Paramètres de calcul

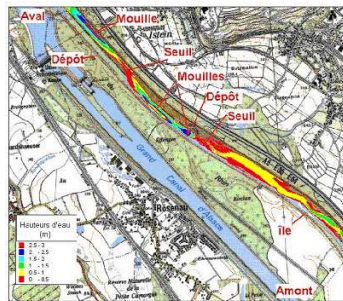
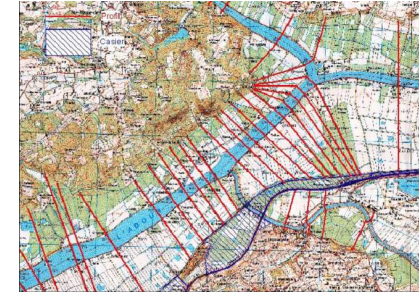
Traitement des résultats



Exemple d'applications



→ Propagation de crues et modélisation des champs latéraux d'inondation

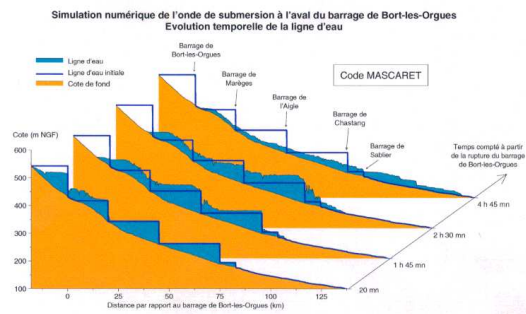


Modélisation du Vieux-Rhin entre les barrages de Kembs et Breisach, débit 30m³/s

→ Régulation - Calcul d'intumescences

← Étiage

→ Scénario de crues extrêmes pour le calage des plates-formes des centrales nucléaires



→ Onde de submersion résultant de rupture de barrage (PPI)

2

Prise en compte des incertitudes en hydraulique : pourquoi et comment ?

Prise en compte des incertitudes dans la modélisation hydraulique : Pourquoi ?

- Crues extrêmes : crue millénaire
 - Débit fourni par analyse hydrologique
 - Coefficient de frottement : non calé pour ces débits extrêmes
Pas de crues de référence
- Rupture de barrages en remblai par brèche ou érosion interne :
Détermination des zones inondées
 - Forte incertitude sur l'hydrogramme de vidange de la retenue pour les ouvrages en enrochements :
 - Formules déterministes basées sur une analyse statistique
 - Outils déterministes (Renard–Erosif) ne représentent pas la complexité du phénomène physique

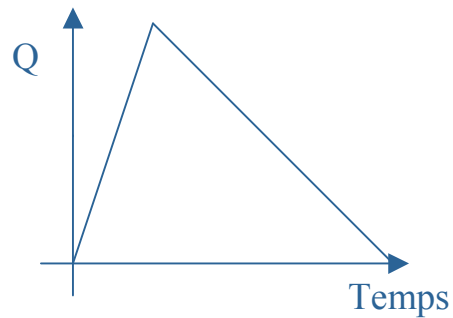
Formules	Hagen	Mac-donald	Costa	Evans	Froelich	Molinaro
Débit pointe (m3/s)	275 000	45 000	47 000	48 000	105 000	221 000

Code Renard
: 120 000 m3/s



Influence de l'hydrogramme de brèche

- Cas réel :



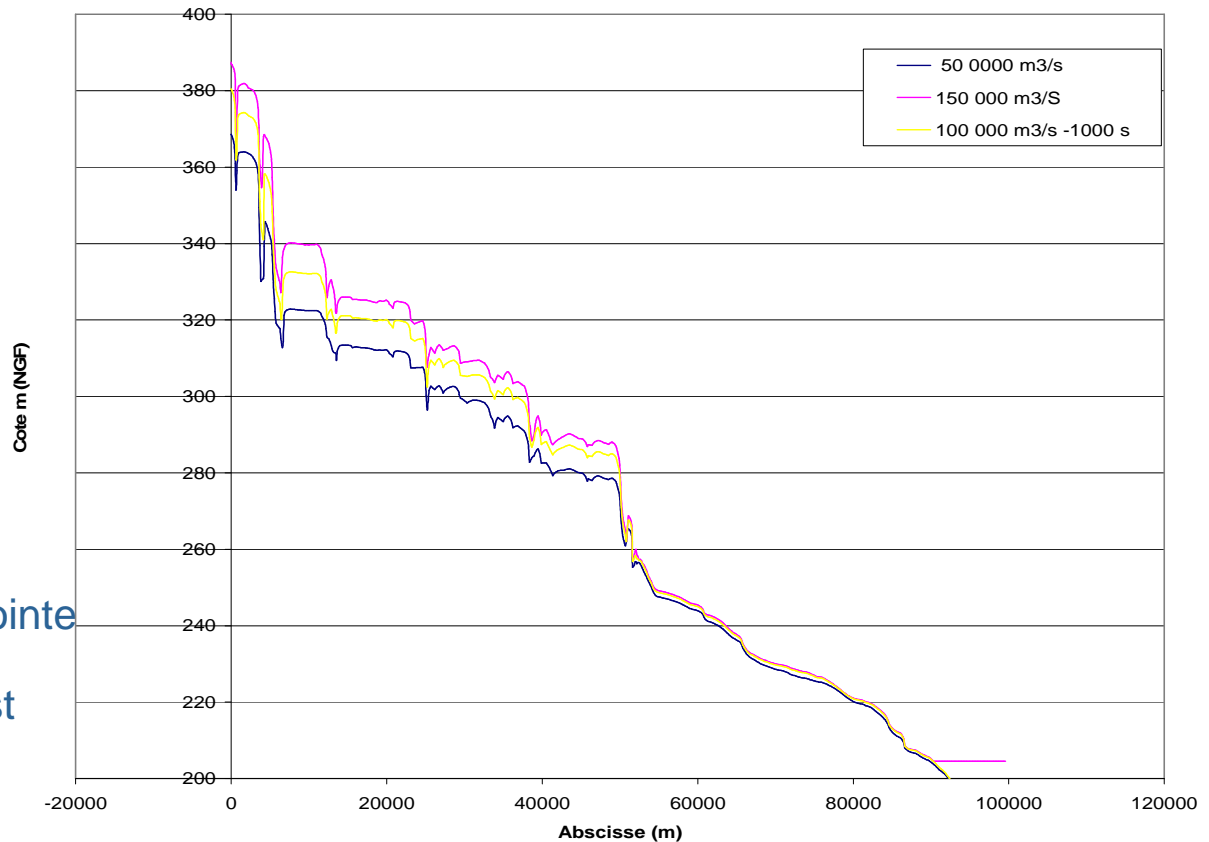
- Hypothèses :

- Facteur 3 sur le débit de pointe

- Le volume de la retenue est

conservée

Comparaison des côtes maximales



Propagation des incertitudes au travers des modèles hydrauliques : comment ?

ETAPES D'UNE ETUDE D'INCERTITUDE :

- ✓ Analyser les sources d'incertitudes du processus physique
- ✓ Quantifier les sources d'incertitudes (Bornes de variation Min-Max - Définir les lois des variables d'entrée)
- ✓ Etude de sensibilité globale
- ✓ Propager les incertitudes par une méthode de type Monte-Carlo
- ✓ Analyse des variables calculées

Méthodologie développée par MRI

Propagation des incertitudes au travers des modèles hydrauliques : comment ?

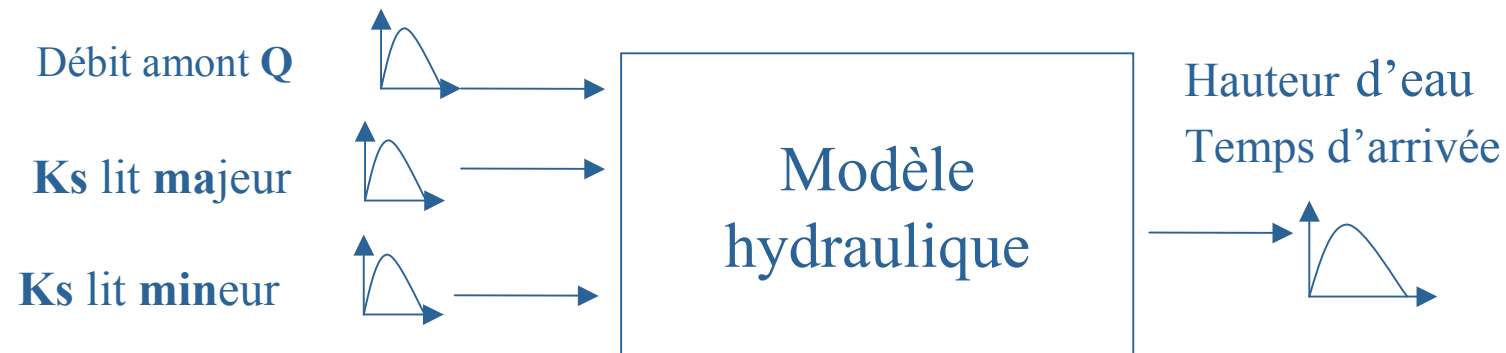
- Mise au point du modèle hydraulique (géométrie – réseau – CL – CI – paramètres numériques – calage)

- Tirage aléatoire des données d'entrée incertaines selon leur lois de probabilités :

Pour chaque jeu de données d'entrée :

- Réalisation d'un calcul hydraulique avec un nouveau jeu de données

- Analyse statistique des variables de sortie



3

Intégration d'outils métier (hydraulique) dans des plates-formes de simulation

Intégration de l'outil métier « hydraulique » dans des plates-formes de simulation

- Développement de « superviseur fortran » adapté à chaque application :
 - Temps de développement important
 - Pas d'environnement commun – Pas de mutualisation d'outils transverses
 - La gestion des interactions complexes est difficile
 - Pas de possibilité d'utiliser un code dont on ne dispose pas des sources
- Réalisation de scripts de commande qui gère les exécutable avec modification des fichiers de données
 - Gestion des fichiers d'entrée de données peut être lourde, voire impossible
 - Pas d'environnement commun - Pas de mutualisation d'outils transverses
 - La gestion des interactions complexes est difficile



Intégration de l'outil-métier dans des plates-formes de simulation

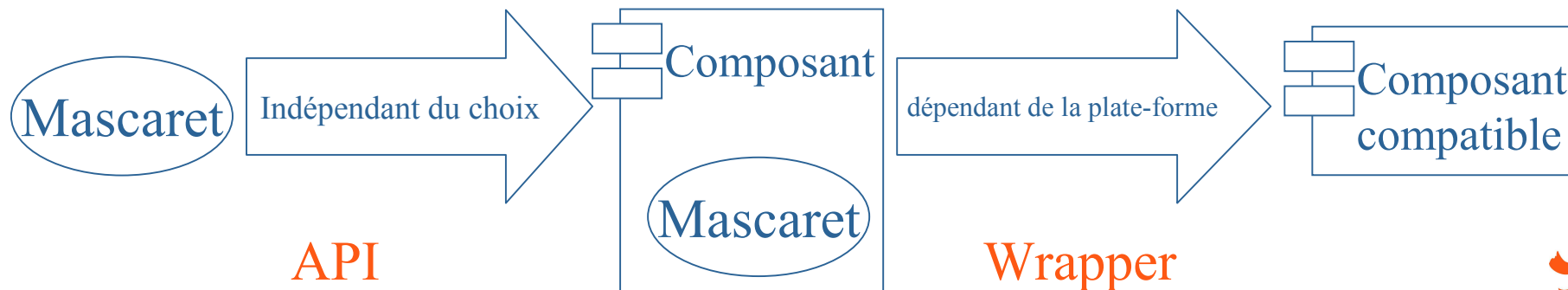
- L'outil-métier devient un composant-logiciel ré-utilisable pour différents types d'applications et pour différentes plates-formes
- Mutualisation des outils transverses
- Modélisation et simulation de couplages complexes

Intégration d'outils métier (hydraulique) dans des plates-formes de simulation

- Le code « Mascaret » : composant logiciel « métier » rendant un ou plusieurs services
 - calcul l'évolution « état hydraulique » sur un modèle donné entre un temps initial et un temps final : représentation d'état $X_{n+1} = F(X_n, P)$
 - ce composant pourra être appelé à partir de la plate-forme comme un sous-programme (DLL, API)
 - ce service pourra être utilisé avec d'autres composants de la plate-forme
- La plate-forme assurera
 - la simulation des interactions entre les différents composants
 - la mise à disposition de services complémentaires généraux (Solveurs, IHM etc)

Intégration d'outils métiers (hydraulique) dans des plates-formes de simulation

- Rendre inter-opérable le logiciel « Mascaret » :
 - Développer des API qui permettent au code d'être piloté de l'extérieur comme un sous-programme
 - Spécification et structuration du code
 - Définition des variables de l'état hydraulique
 - Identification des différentes phases d'un calcul
 - Définition des variables « modifiables » lors de l'appel au composant logiciel
- Développer des interfaces (Wrapper) entre le code et la plate-forme



Intégration de l'outil « métier » dans Scilab

Application aux incertitudes

Chargement du modèle d'étude mis au point à l'aide de Mascaret + Interface Fudaa-Mascaret
Boucle sur les variables incertaines – Tirage aléatoire sur les variables incertaines

Modification des conditions aux limites

```
QLim = [2750, 2750; 2750, 2750]
```

```
ZLim = [103.7, 103.7; 103.7, 103.7]
```

Modification des coefficients de Strickler pour chaque tirage

```
ST1 = GetDbIMascaret52("ST1")
```

```
ST1 = 37*ones(X)
```

```
SetDbIMascaret52("ST1",ST1)
```

```
[Q, Z, NumeroErreur, TexteErreur] =  
RunMascaret52(TempsLim, QLim, ZLim, TypeLim, TempsCalcul, TMPDIR+"\")
```

Stocke les variables de sortie

Fin de la boucle

Analyse statistique

4

Applications

17 avril 2008



Application : Propagation des incertitudes au travers des modèles hydrauliques

- Calcul de ligne d'eau de crue millénaire :
variables incertaines : **débit + coefficient de Strickler**
 - *Débit : loi de probabilité déterminée par une analyse hydrologique*
 - *Le coefficient de Strickler : Avis d'expert*
- Propagation des hydrogrammes de rupture progressive de barrage
 - Etude de sensibilité globale sur les variables :
Débit maximal de rupture + Temps de montée de l'hydrogramme + Coefficient de frottement

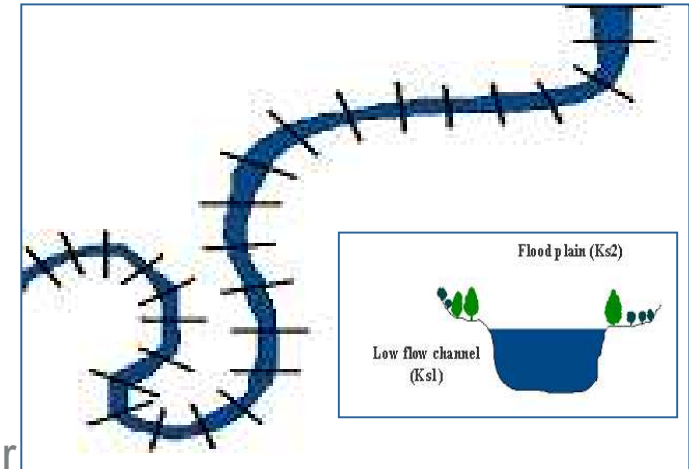
Crue millénaire :

- **Caractéristiques de l'étude :**

- Rivière de 13.5 km – Ecoulement permanent
- Lit composé

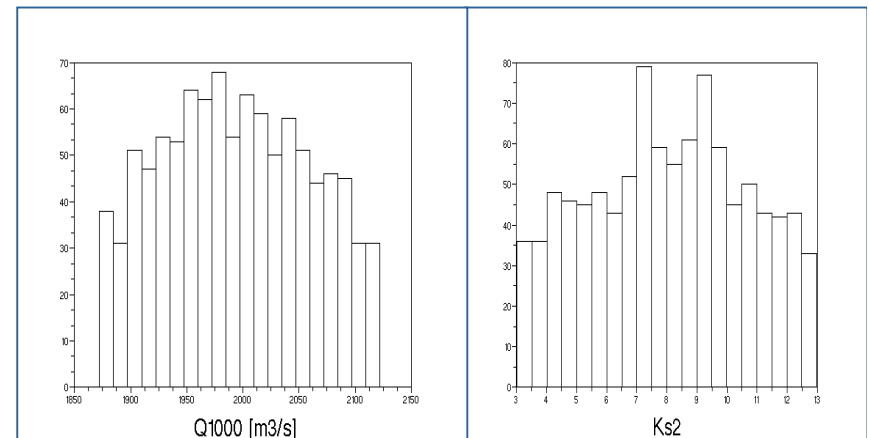
- **Sources d'incertitudes :**

- Débit millénnal
- Coefficients de frottement lit mineur- lit majeur



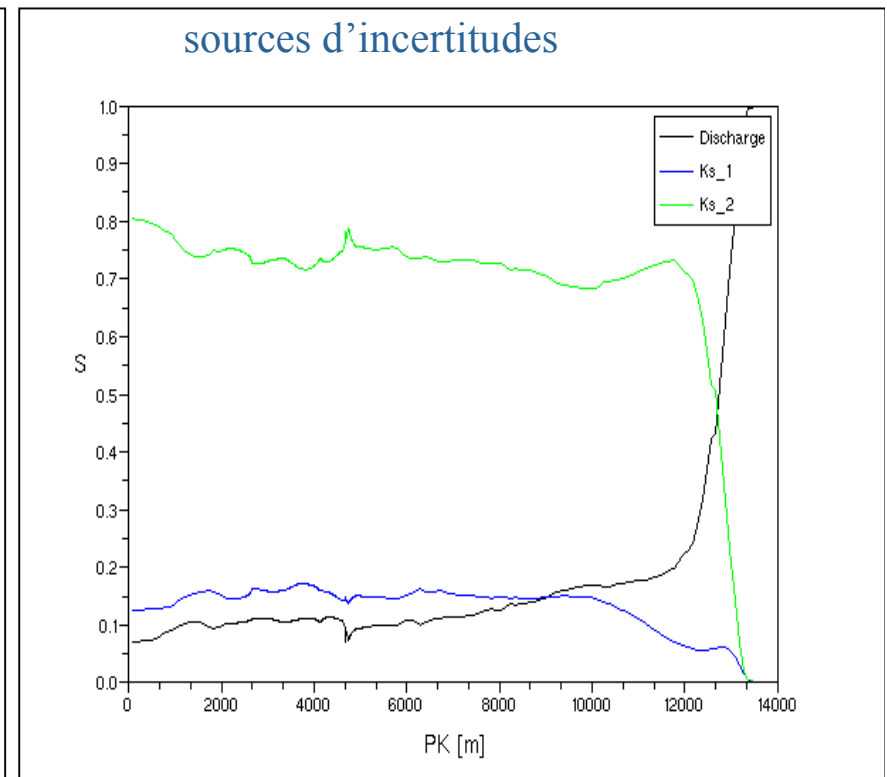
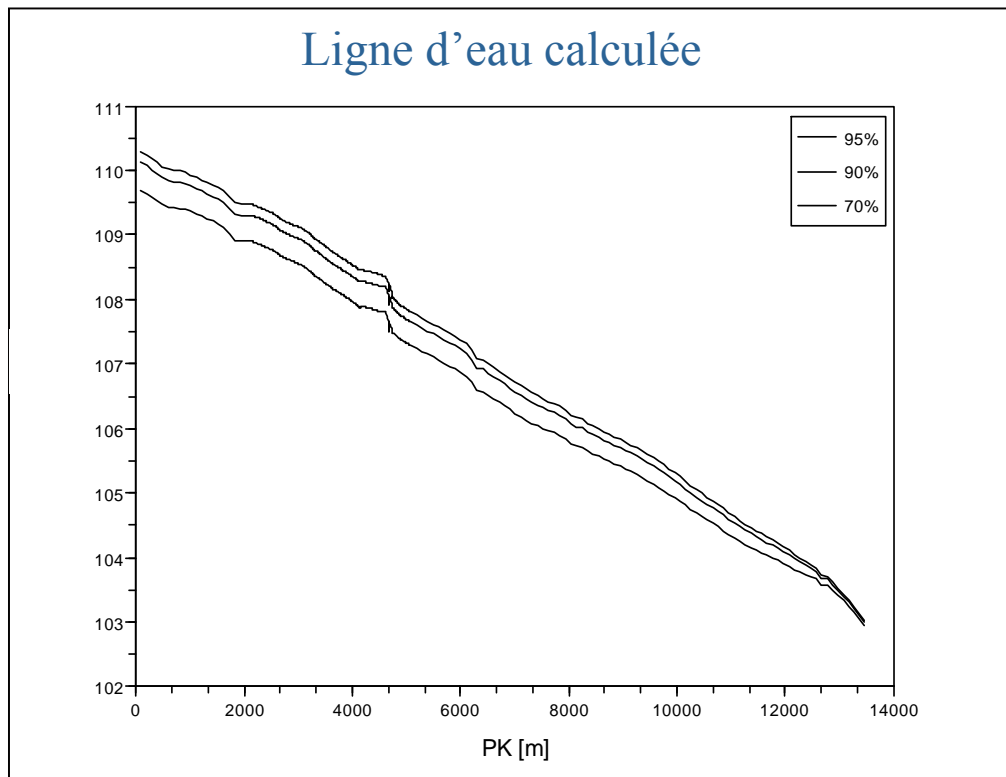
- **Quantification des incertitudes**

	μ	σ	C.V.	Borne inf.	Borne Sup.
Q^{1000}	1977	125	6%	977	2977
K_{s1}	37	3	8%	34	40
K_{s2}	8	5	62%	3	13



(3) Hauteurs d'eau millénales

- Indépendance entre le coefficient de Strickler et le débit
- Propagation par Monte-Carlo



Propagation d'hydrogramme de rupture d'un barrage en remblai

- Caractéristiques de l'étude :

- 120 km de longueur de vallée
- Ecoulement transitoire - Lit unique

- Sources d'incertitudes :

- Débit maximal – temps de montée
- Coefficients de frottement lit unique

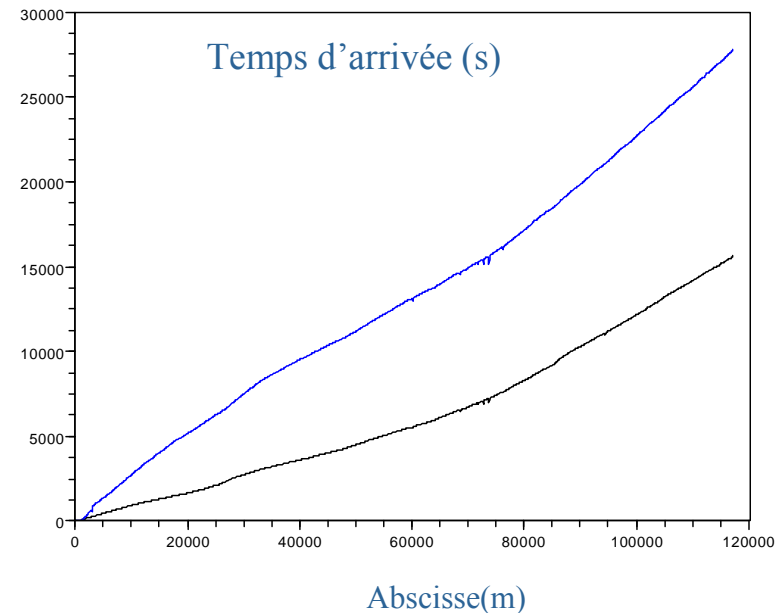
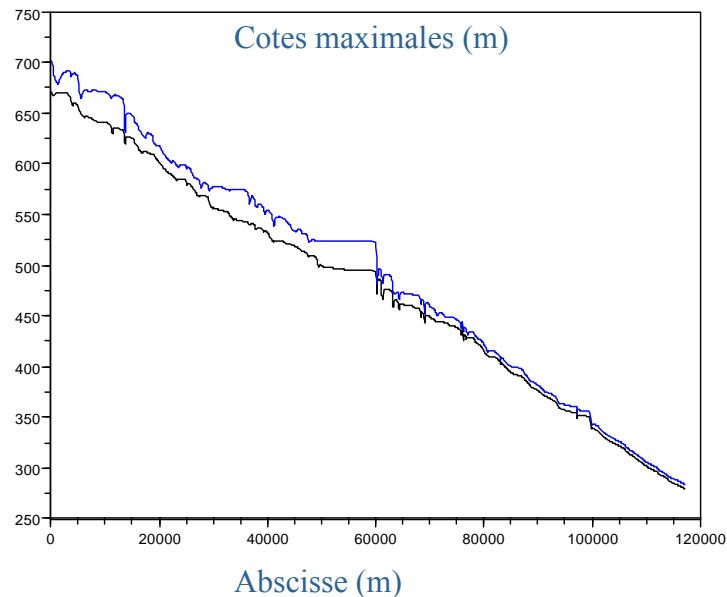
- Quantification des incertitudes

- Analyse statistique sur la base de données des cas de rupture
 - Pas suffisamment de données
- Sensibilité globale dans des bornes définies pas avis d'expert
 - Analyse des formules de la littérature (débit- temps de montée)
 - Coefficient de frottement : Variation de 10 points autour de la valeur fournie par un barème



Hydrogramme de rupture de barrage

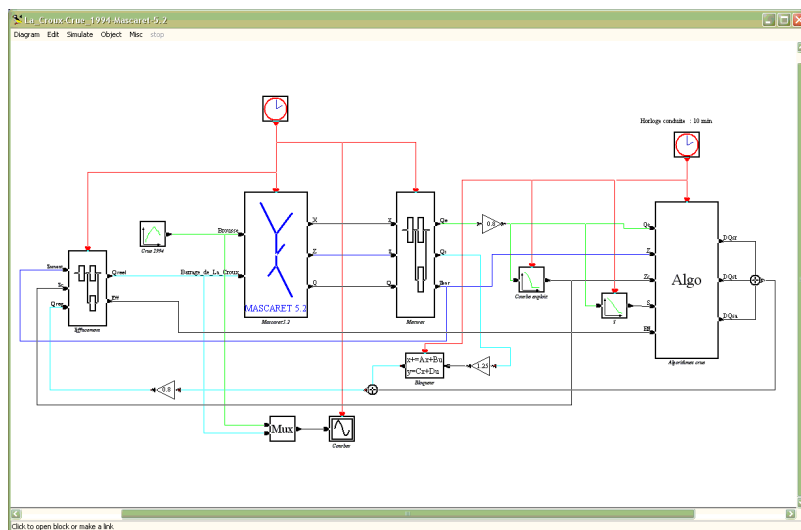
- Analyse des résultats :
 - Courbes enveloppes : Cotes maximales et temps d'arrivée de l'onde



Ce travail se poursuit par des analyses statistiques plus fines : Comparaison avec des marges forfaitaires

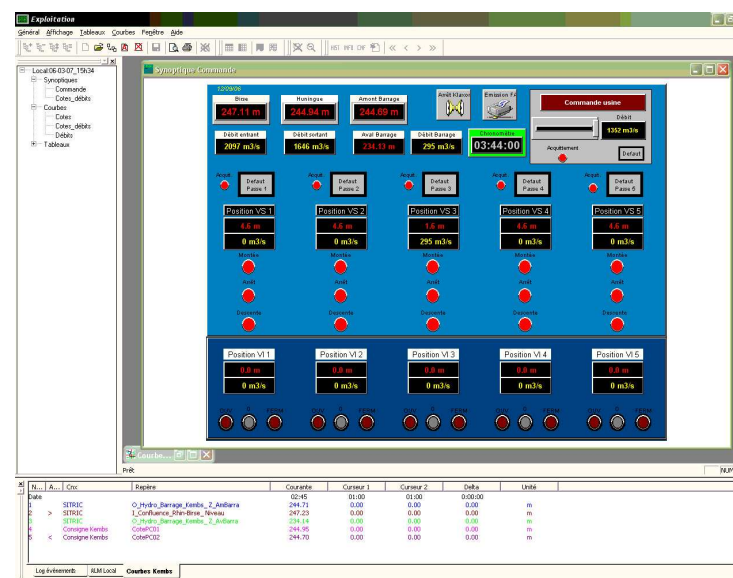
Simulateur de barrage

- Intégration du même composant de Mascaret dans le **simulateur de Barrages Mobiles** en Rivière SIMBA
- Permet la formation des exploitants à la **gestion en crue** de leur ouvrage
- Nombreux modèles Mascaret (70) intégrés à SIMBA et exploités pour la simulation de crues



Etudes : scicos

17 avril 2008



Formation : simba



5

Conclusions / Perspectives

17 avril 2008



Conclusions – Perspectives

- **Avantages :**

- Mutualisation des développements (Incertitudes, Simulation système et formation)
- Le composant logiciel peut être utilisé en «boîte noire » par des non-spécialistes du métier
- Peut être intégré dans différentes plates-formes :
 - Simulation système et formation : scilab-scicos
 - Incertitudes : Open-Turns
 - Couplage multi-échelle : Pal-Salomé

- **Inconvénients :**

- Nécessite des adaptations du code
- Nécessite un développement et une maintenance des « Interfaces-API»

Les perspectives du système Mascaret

- **Couplage** avec des logiciels complémentaires pour les études complexes (multi-dimensions – multi-processus) : coupage 1D-2D,...
- **Interopérabilité** : Intégration dans des plate-formes de simulation
- Prise en compte des **incertitudes**

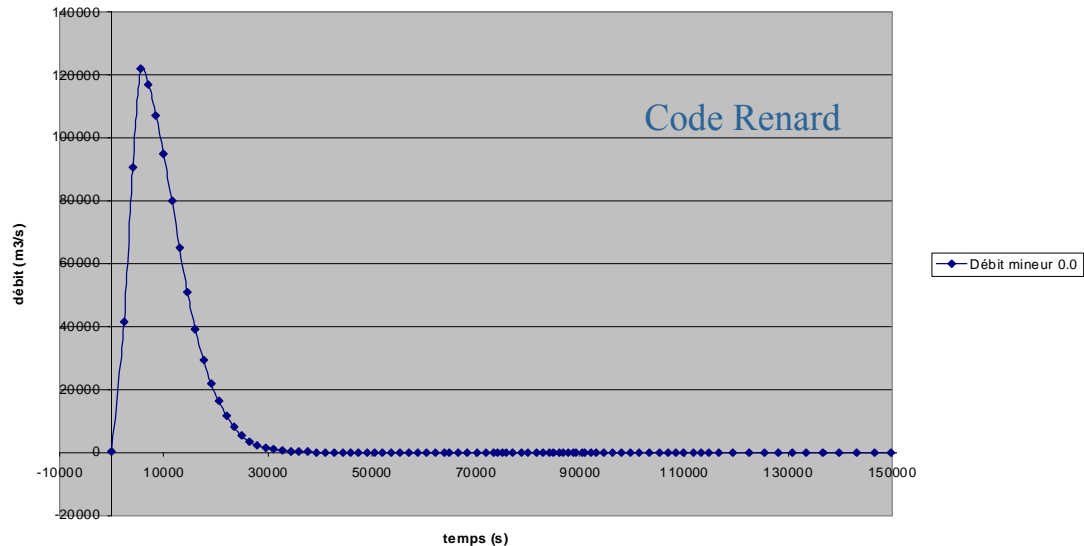


Application à un cas réel de barrage en remblai

- Formules issues de la littérature :

Formules	Hagen	Mac-donald	Costa	Evans	Froelich	Molinaro
Débit pointe (m3/s)	275 000	45 000	47 000	48000	105 000	221 000

Hydrogramme de rupture progressive



Forte incertitude sur le débit de pointe et le temps de montée de l'hydrogramme:

Facteur 3 sur le débit de pointe

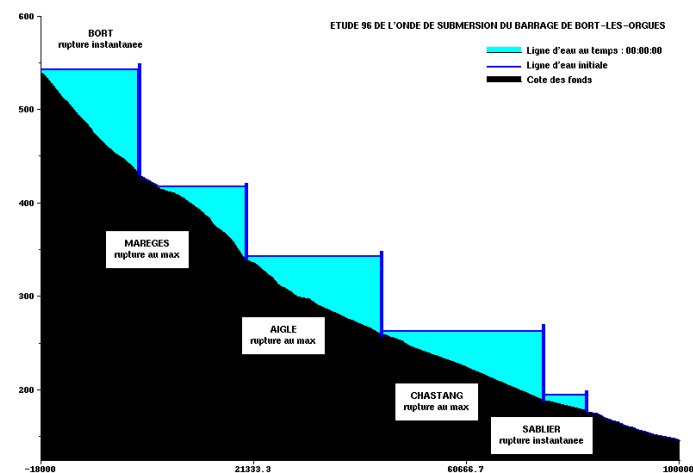
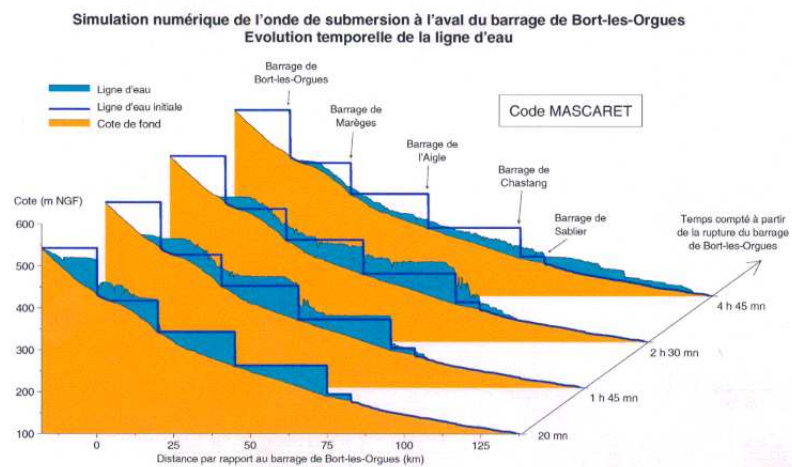
Facteur 2 sur le temps de montée

Onde de submersion et rupture de barrage

→ Nombreuses études d'onde de submersion réalisées :



- Études EDF pour tous les barrages soumis à la réglementation des Plans Particuliers d'Intervention (9000 km de vallée modélisés)
- Reconnaissance à l'international : étude de rupture des barrages par Hydro-Québec, SNC-Lavalin

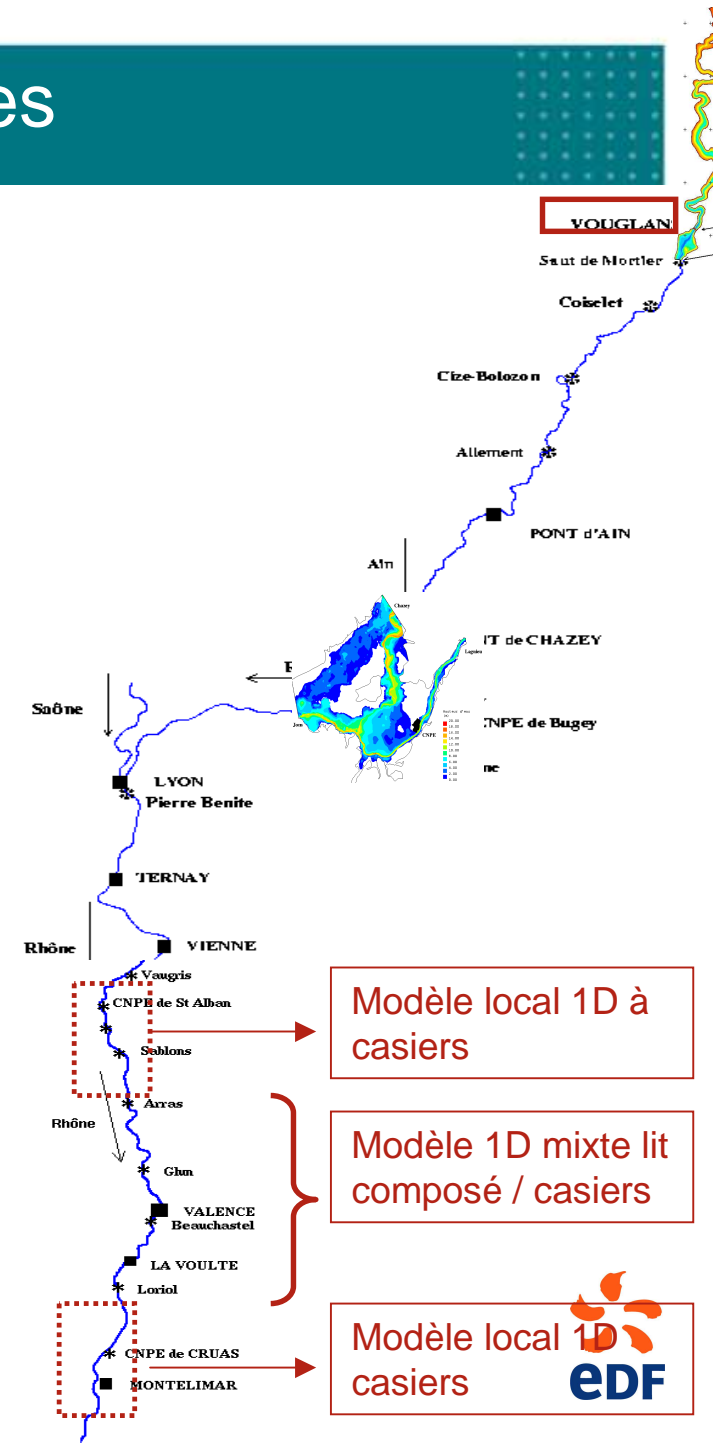


Protection des centrales nucléaires contre le risque inondation

- Étude de **crue extrême** pour la protection des centrales nucléaires contre le risque d'inondation d'origine externe (sûreté)
- Scénario réglementaire de **crue extrême** pour le dimensionnement des protections des centrales nucléaires
- Appui et accompagnement des dossiers auprès de l'Autorité de Sûreté Nucléaire



17 avril 2008



SYSTEME MASCARET

Hydraulique

3 noyaux

Écoulements permanents
Fluviaux - calage automatique

Régime fluvial non-permanent
Couplage avec "Casiers"

Régime transcritique non-permanent

Qualité d'eau

Tracer

Sédimentologie

Courlis

FUDAA-MASCARET

Interface graphique
Java
PC-UNIX-LINUX

OPHYCA

Post-Processeur – SIG

Intégration de l'outil métier « hydraulique » dans des plates-formes de simulation

- Intégrer les outils « métiers » dans des plate-formes de simulation
 - L'outil métier devient un composant logiciel ré-utilisable pour différents type d'applications et pour différentes plates-formes
 - Mutualise les outils transverses
 - La plate-forme gère la synchronisation et la communication entre les différents outils
 - Permet la modélisation et la simulation de couplage complexe