



Intégration de l'information fournie par des photos aériennes pour l'estimation de paramètres en hydraulique fluviale

- Prévention du risque d'inondation



Paris
Janvier 1910



Vaison-la-Romaine
Septembre 1992



Montpellier
Décembre 2002

- Modèles numériques de plus en plus complexes
- Manque de données nécessaires à la modélisation

- Valorisation des données issues de la télédétection



Paramètres nécessaires à
la modélisation numérique
en hydraulique

- Problème inverse
- Techniques d'assimilation de données

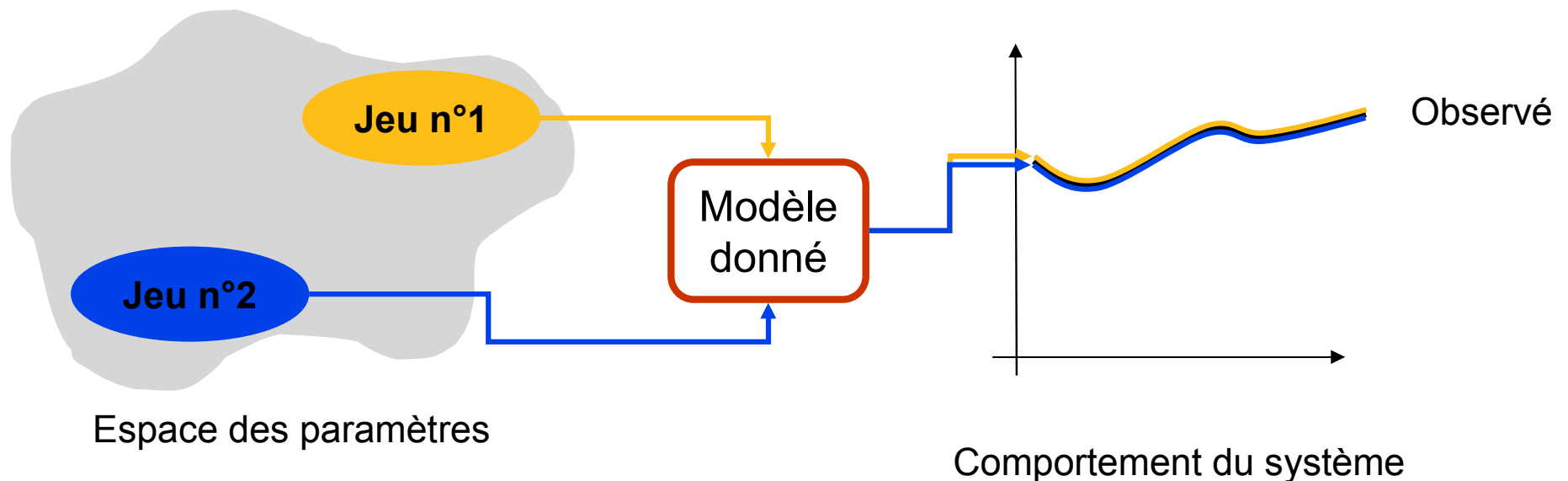
Estimation de paramètres

- Estimation de paramètres
 - Quel est le jeu de paramètres pour lequel la zone inondée calculée est la plus proche possible de la zone inondée observée ?
- Méthode présentée
 - Fonctionnelle mesurant l'écart entre la solution du modèle et les observations : fonction coût
 - Trouver le vecteur de paramètres minimisant cette fonctionnelle
- Mesure de l'écart
- Algorithme de minimisation
- Écueils potentiels

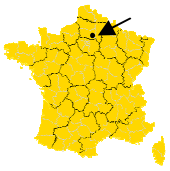
Le concept d'équifinalité

- Concept d'équifinalité (Beven, 1989)

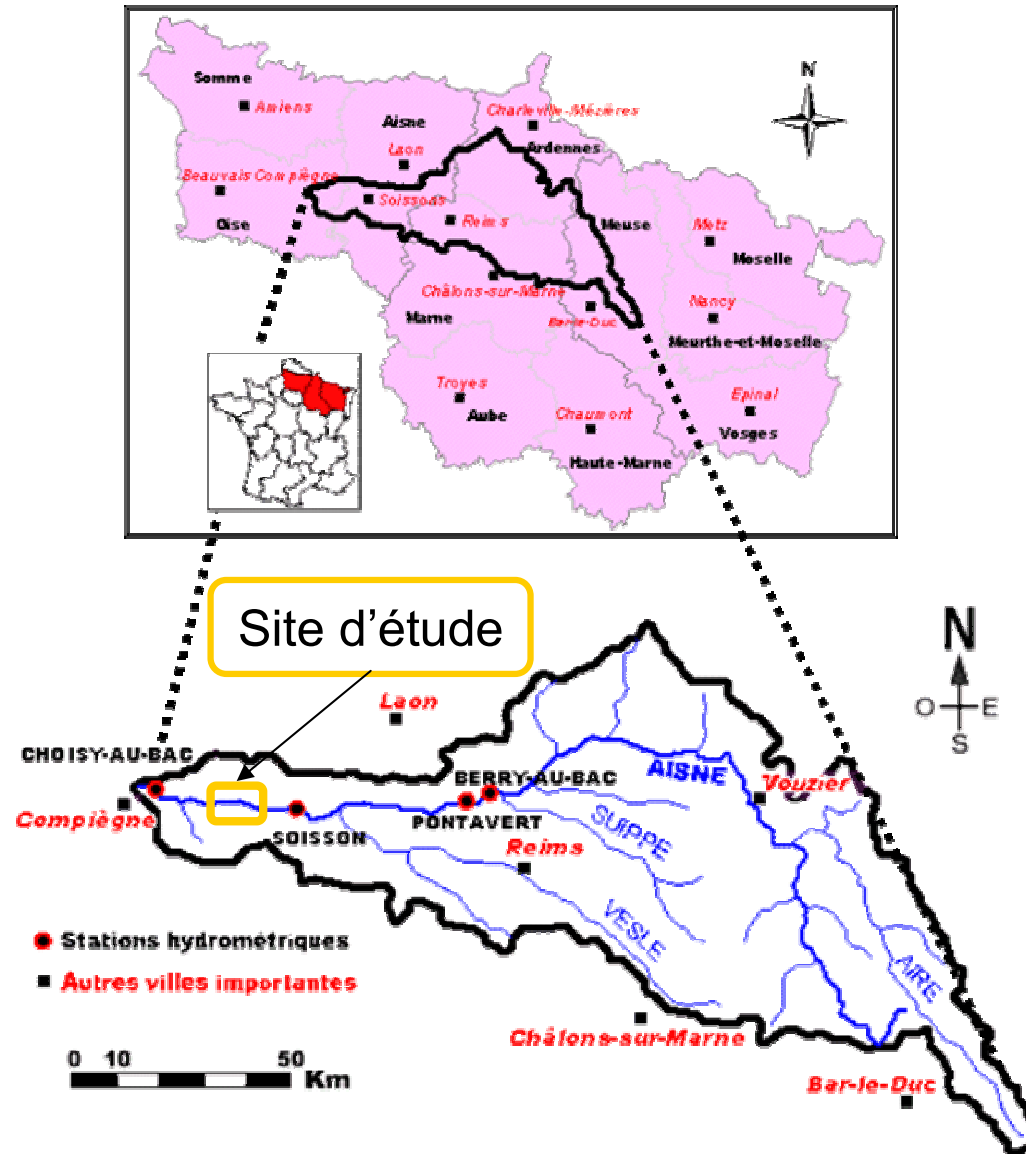
*It may be endemic to mechanistic modelling of complex environmental system that there are many different model structures and **many different parameter sets** within a chosen model structure that may be behavioural or **acceptable in reproducing the behaviour of that system**. This has been called the **equifinality** concept. (Beven & Freer, 2001)*

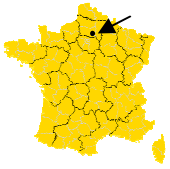


- Contexte probabiliste : méthode de Monte-Carlo
 - Analyse de sensibilité généralisée (Hornberger & Spear, 1981)
 - Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE, Beven & Binley, 1992)



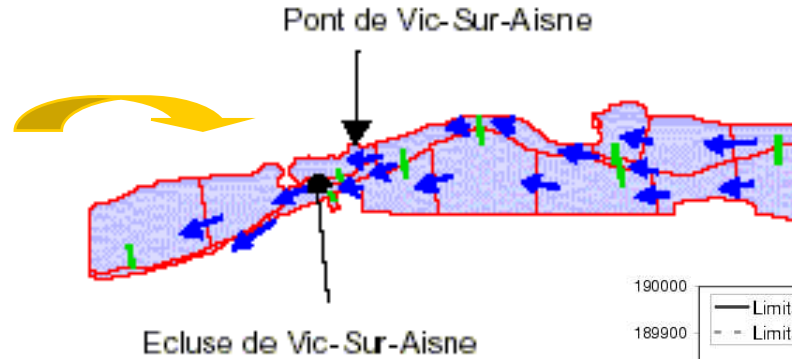
Application à un site d'étude : L'Aisne





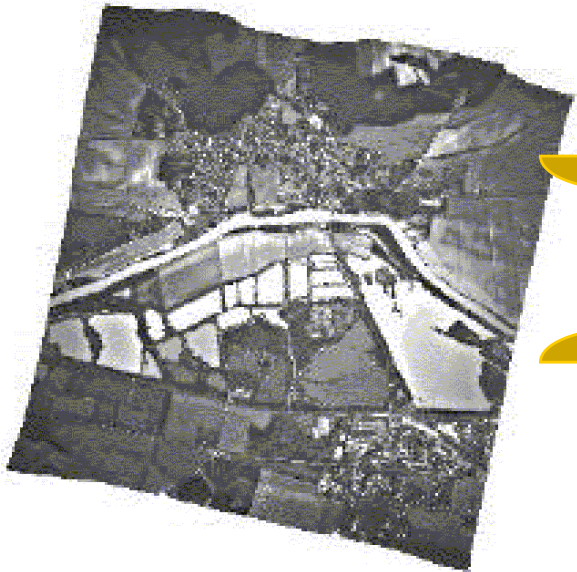
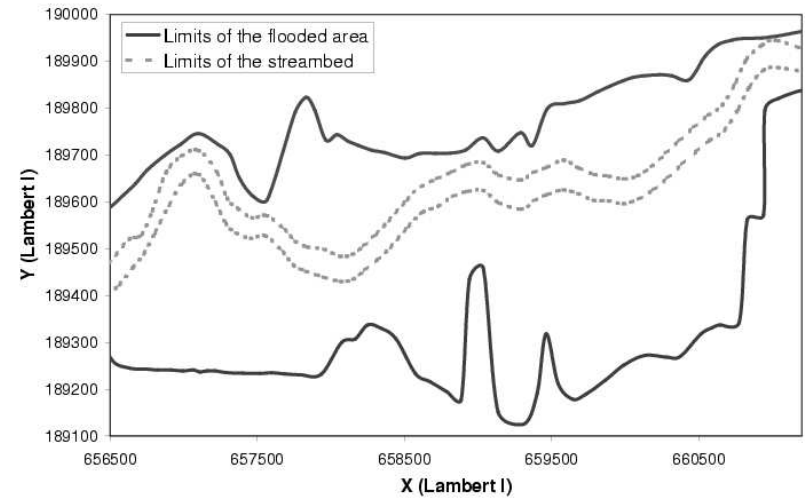
Données recueillies

(Raclot, Puech, 2000)

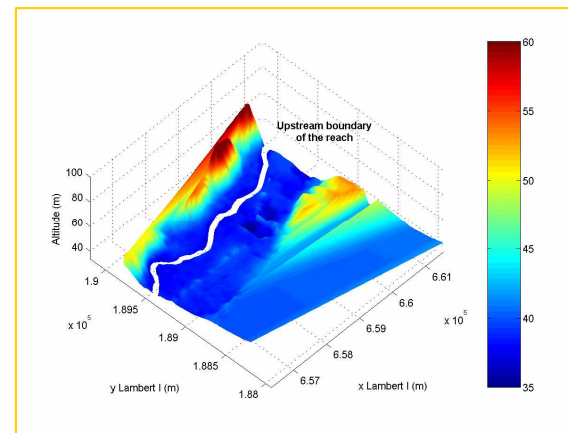


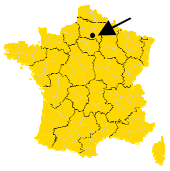
★ Etendue de la plaine d'inondation

★ Largeur du lit mineur
★ Axe de l'écoulement



★ Topographie de la zone hors d'eau



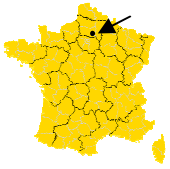


Données recueillies

(Raclot, Puech, 2000)

- Raclot, 2003
 - Crue de décembre 1993
 - Photos obliques à l'apogée de la crue
 - Photos verticales hors crue
- Informations disponibles
 - Extension maximale de la crue
 - Largeur de la crue de plein bord
 - Axe de l'écoulement
 - Topographie de la plaine d'inondation
- Caractéristiques hydrauliques de la crue
 - $Q^0 > 450 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 - $H^0 > 5 \text{ m}$





- Modélisation

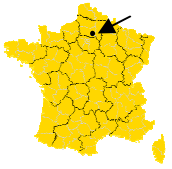
- Écoulement 1D permanent
- Pas d'affluent : $q_L=0$

$$\frac{dQ}{dx} = q_L$$
$$\frac{dH}{dx} = \frac{1 - J - 2Fr^2 \frac{S}{BQ} q_L}{1 - Fr^2}$$

- Lit composé

- Coefficient de Strickler K_s composite : formule d'Einstein (Carlier, 1982)

$$K_s = \left(\frac{P_w}{\sum_i (P_{w,i} / K_{s,i}^{3/2})} \right)^{2/3}$$



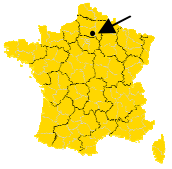
- Méthode d'estimation choisie

- Minimisation d'un critère d'erreur

$$\Phi_1 = \sum_j [(\mathbf{B}_d^o|_j - \mathbf{B}_d^s|_j)^2 + (\mathbf{B}_g^o|_j - \mathbf{B}_g^s|_j)^2]$$

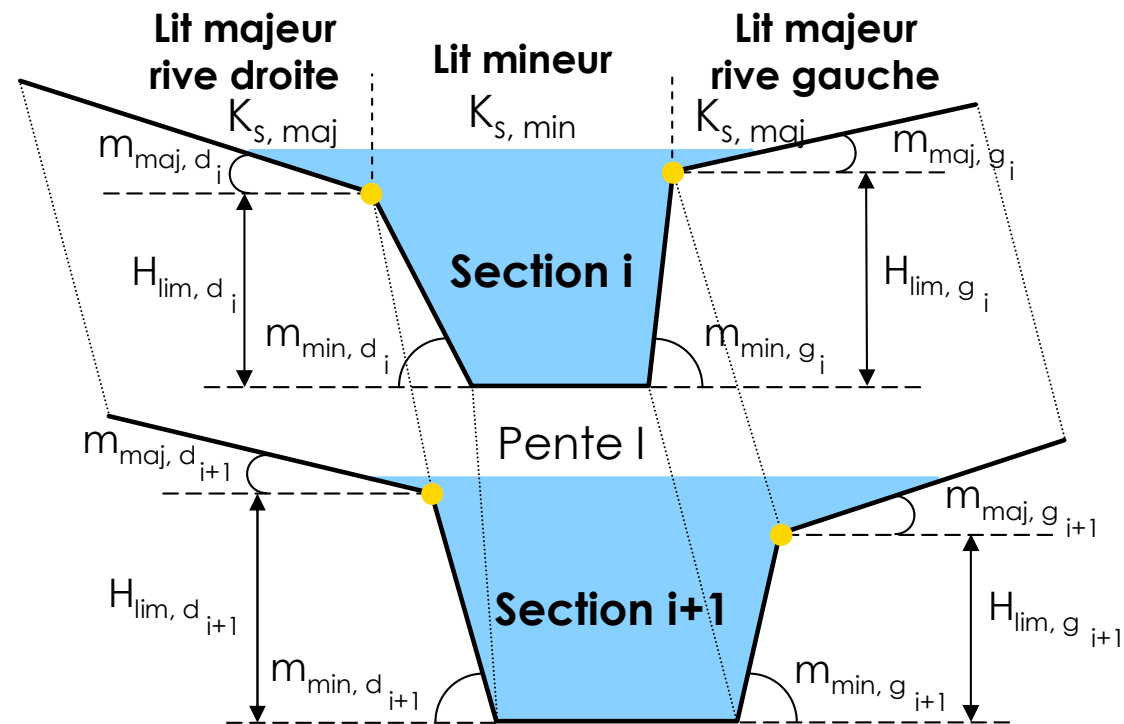
- Paramètres estimés

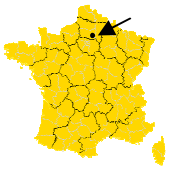
- Invariants en x :
 - Débit Q
 - Condition aval H_{av}
 - Coefficient de Strickler du lit mineur $K_{s, min}$
 - Coefficient de Strickler du lit majeur $K_{s, maj}$
 - Pente du fond du lit I
- Fonction de x : géométrie du cours d'eau
 - 2 approches différentes



Reconstitution d'une rivière équivalente

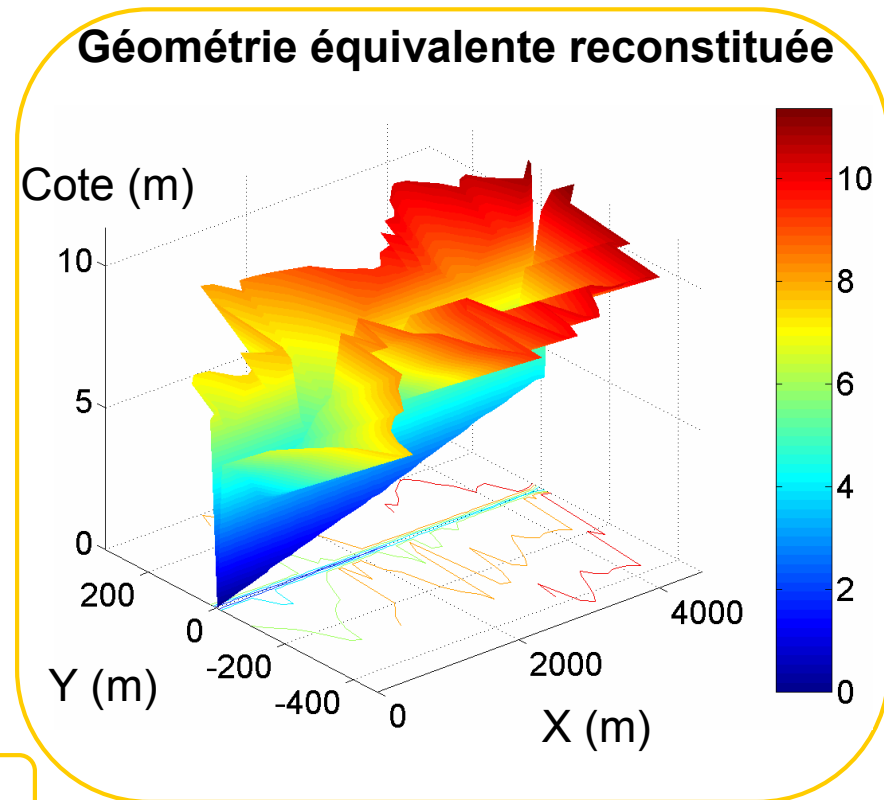
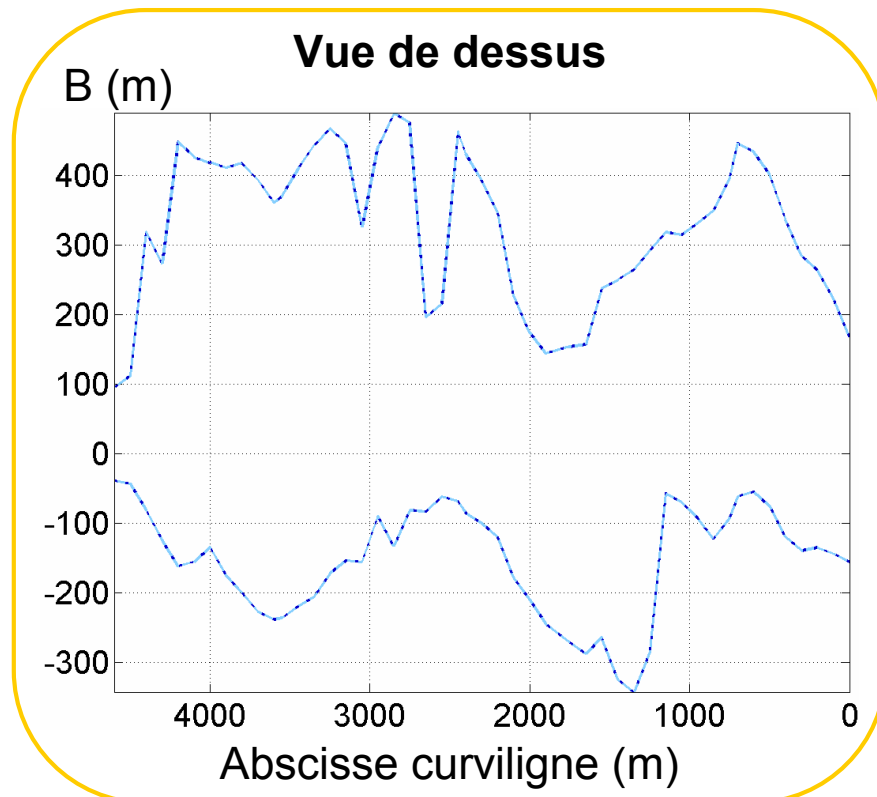
- 5 paramètres invariants en x
- Paramètres fonction de x : géométrie du cours d'eau
 - Hypothèse sur la forme du profil en travers
 - Caractéristiques du profil en travers choisi : 6 paramètres par section (288 paramètres)





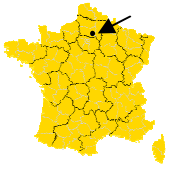
Reconstitution d'une rivière équivalente

- Résultats obtenus
 - Simulation de l'étendue de la zone inondée
 - Valeurs estimées cohérentes avec la morphologie



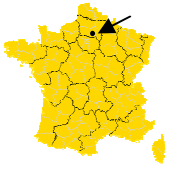
— Valeur observée

- - - Valeur simulée



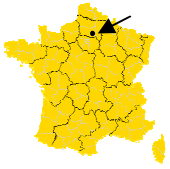
Reconstitution d'une rivière équivalente

- Résultats obtenus
 - Simulation de l'étendue de la zone inondée
 - Valeurs estimées cohérentes avec la morphologie
- Synthèse
 - Analyse de sensibilité et calcul d'incertitude sur \mathbf{B}^s
 - Portabilité de la géométrie équivalente



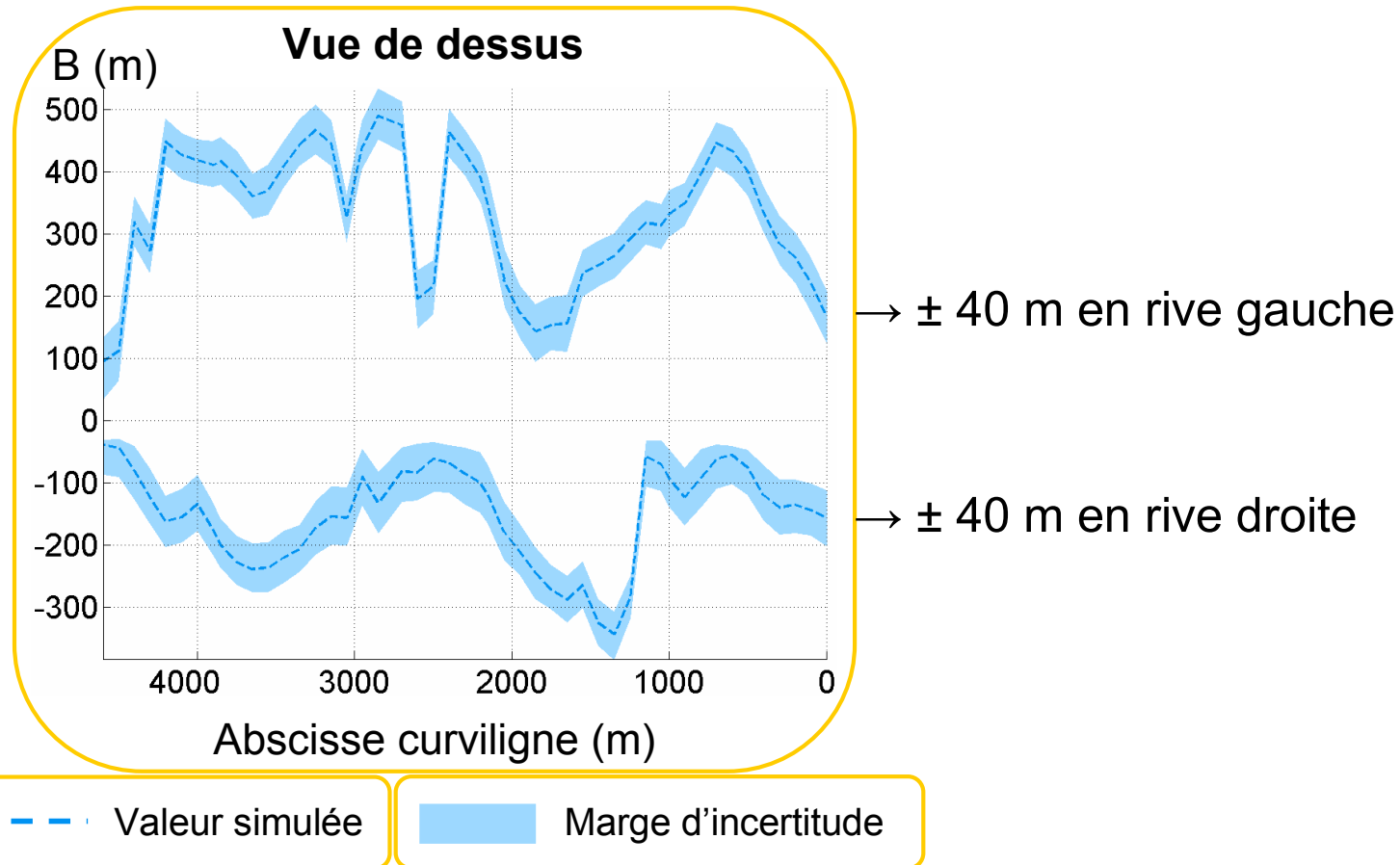
Analyse de sensibilité

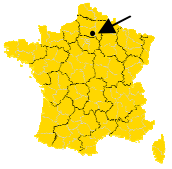
- Analyse de sensibilité généralisée (Hornberger & Spear, 1981)
- Résultats obtenus : analyse au premier ordre
 - Influence forte
 - Condition aval
 - Coefficient de Strickler du lit majeur
 - Influence moindre
 - Coefficient de Strickler du lit mineur
 - Pente transversale du lit mineur
- Corrélation entre les différents paramètres
 - Hauteur d'eau et débit à l'aval : $H_{av} = H_{av}(Q_{av})$



Calcul d'incertitude sur B^s

- Marges d'incertitude (10 % et 90 %)



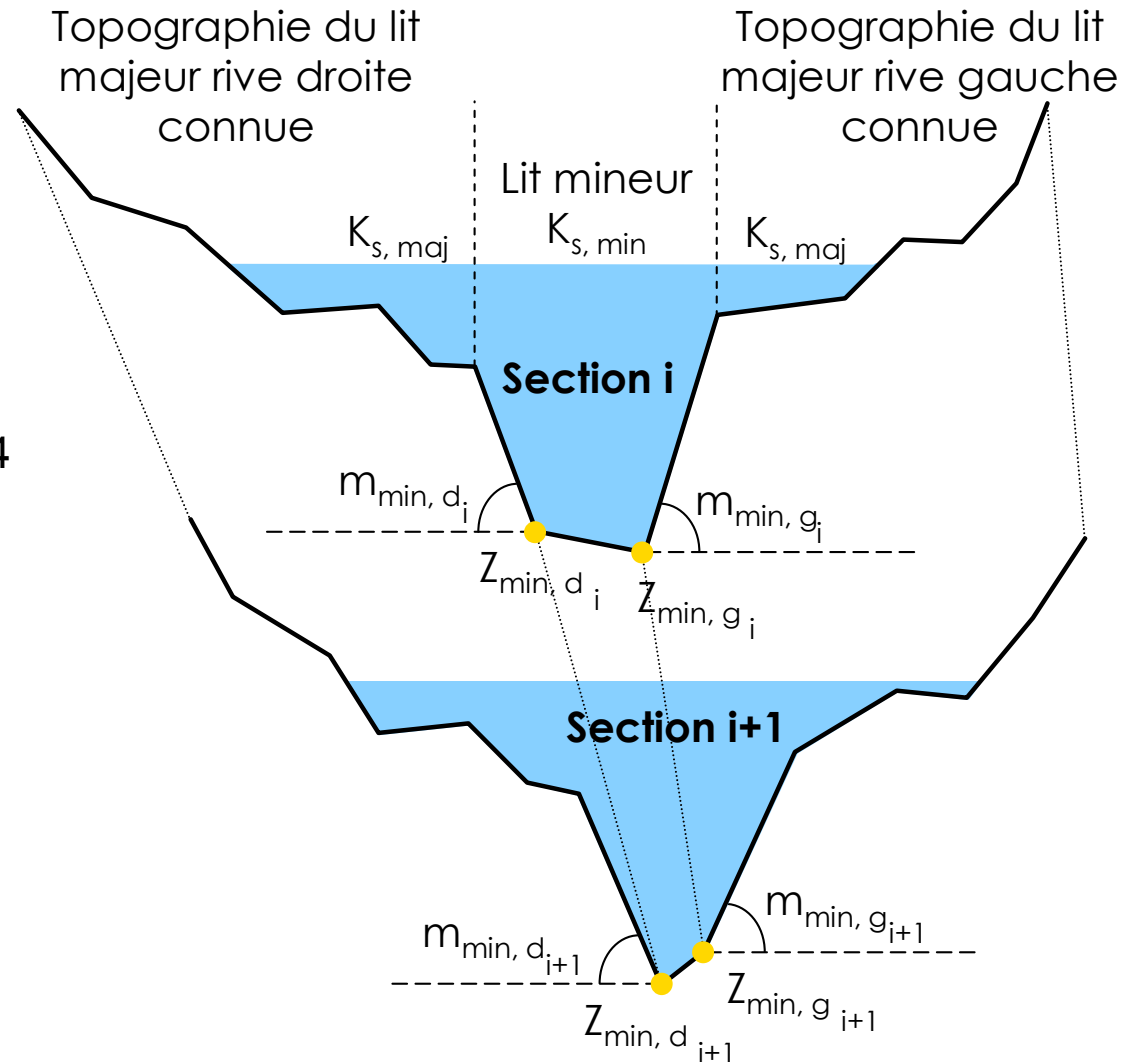


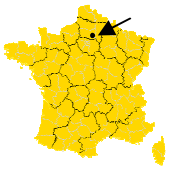
Utilisation de la topographie du lit majeur

- 5 paramètres invariants en x

- Géométrie du cours d'eau

- Topographie du lit majeur connue
- Reconstitution du lit mineur : 4 paramètres par section (192 paramètres)

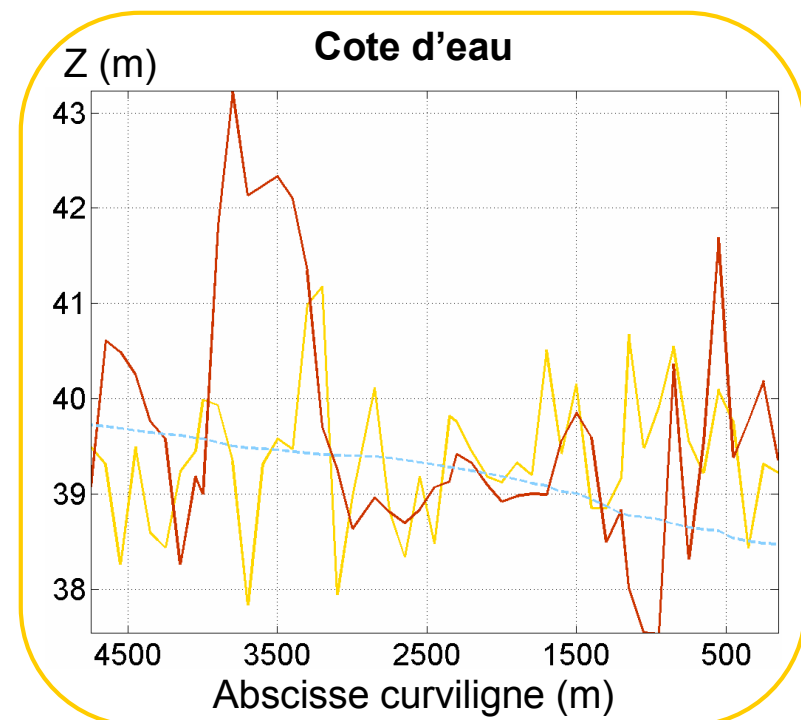
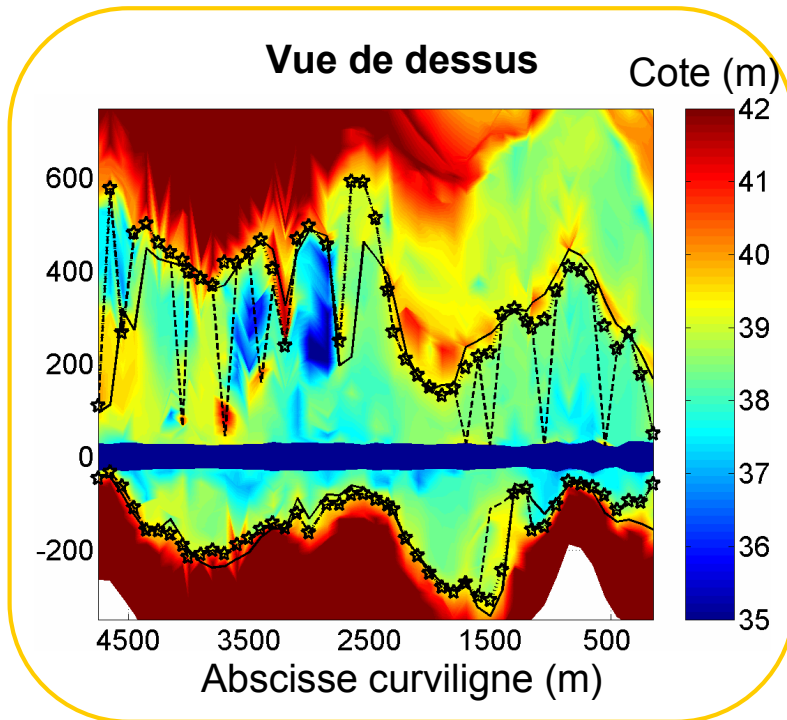
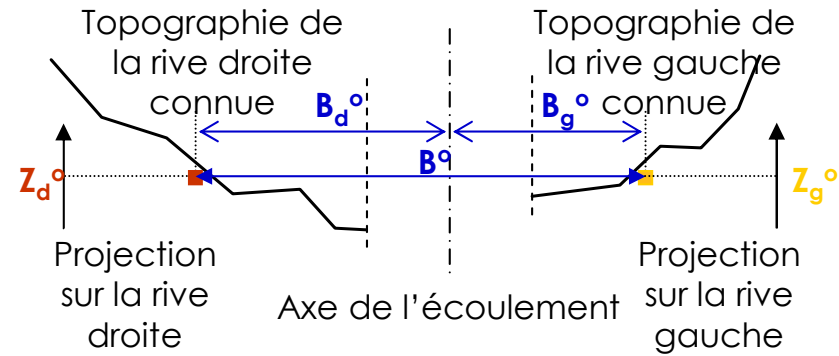




Utilisation de la topographie du lit majeur

Résultats obtenus

- Bonne reconstitution rive droite
- Obstacles rive gauche
- Bonne reconstitution de la cote d'eau
- Précision de la topographie



— Valeur observée
- - - Valeur simulée

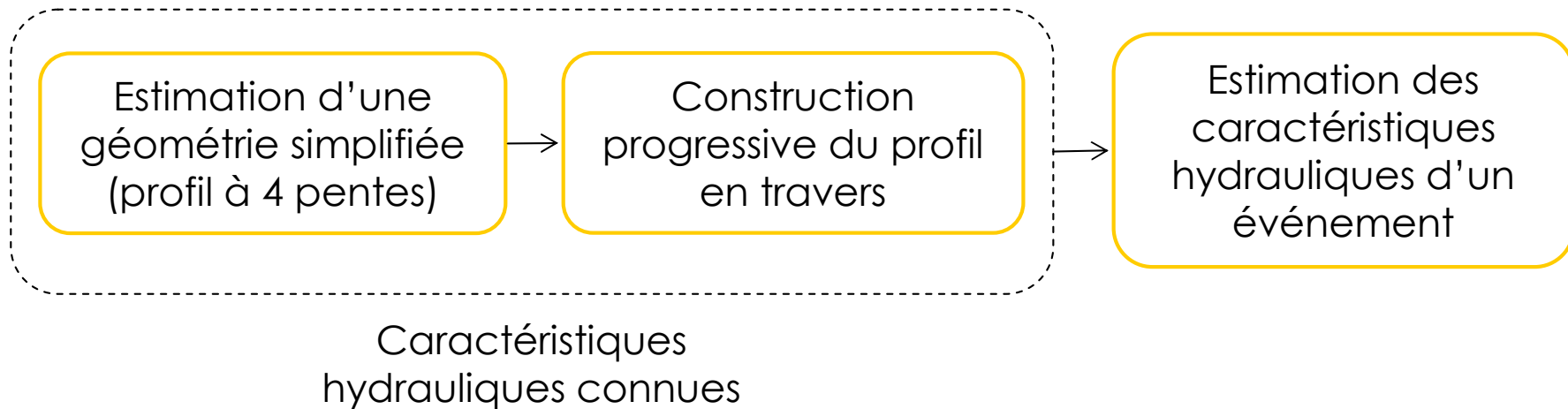
...★... Points dont l'altitude correspond à la cote d'eau reconstituée

— Projection rive gauche
— Projection rive droite

- - - Valeur estimée

- Objectifs
 - Pallier le manque d'information
 - Intégration de données issues de la télédétection
- Expériences jumelles
 - Simulation avec une précision sur $B^s < 1 \%$
 - Étape par étape
- Application aux sites d'étude
 - Peu d'information disponible
 - Paramètres non estimés
 - Influence moindre (pente transversale du lit mineur)
 - Corrélation (débit aval et hauteur d'eau aval)

- Procédure envisagée : étape par étape



- Méthodes d'optimisation
 - Formulation de la fonction coût
 - Algorithmes de minimisation
- Analyse de sensibilité approfondie
 - Corrélations entre les différents paramètres
 - Réduction de l'espace des paramètres
- Type d'observations
 - Largeur de la zone inondée
 - Cote d'eau
- Assimilation de données
 - Contexte multicritère
 - Adaptation du calage à la fonction du modèle
- Modélisation de l'écoulement