



**DIRECTION
RÉGIONALE
DE L'ENVIRONNEMENT,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DU LOGEMENT
GRAND EST**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Les modèles hydraulique 1D : principes et limites

Conférence technique territoriale

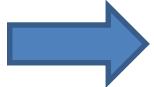
10/12/24

Jean-Pierre WAGNER

DREAL Grand Est

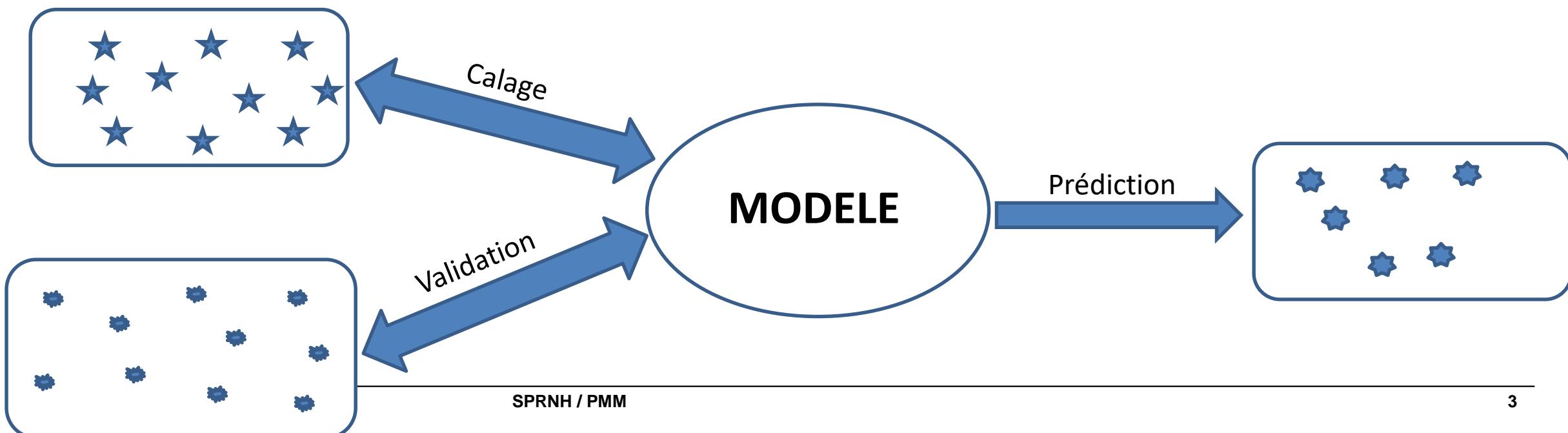
Qu'est-ce que l'hydraulique fluviale ?

- Branche de la **mécanique des fluides**
- **Etude de l'écoulement de l'eau** dans un tronçon de cours d'eau ou dans un canal
- Objectif : déterminer à partir de la quantité d'eau qui entre dans le tronçon étudié (= **débit**) les **hauteurs d'eau et les vitesses** que l'on va atteindre

Débit(s)  HYDRAULIQUE FLUVIALE  Hauteur(s) + Vitesse(s)

Qu'est qu'une modélisation en hydraulique fluviale ?

- Modélisation en science physique = **mise en équations mathématiques d'observations de la réalité**
- Trois étapes dans un travail de modélisation :
 - **Construction / calage** du modèle sur une série d'observations du réel = reproduction des mesures effectuées
 - **Validation** du modèle sur une autre série totalement indépendante d'observations du réel
 - **Prédiction** = simulation de résultats pour des situations non encore observées.
- On conserve le modèle tant que les résultats calculés sont en correspondance / concordance avec les résultats observés



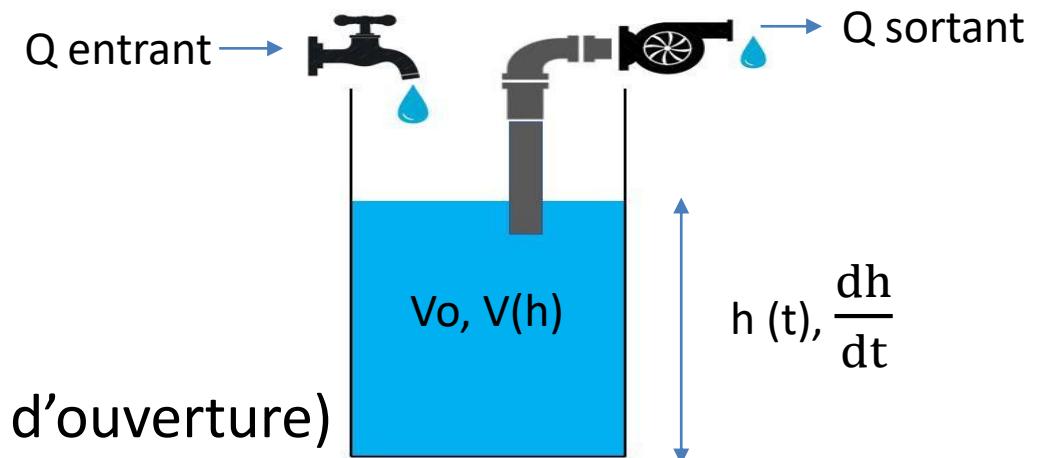
Quel est le 1^{er} principe fondamental d'une modélisation en hydraulique fluviale ?

- **Conservation de la matière** (= quantité d'eau) entre points de calculs voisins du modèle (= *équation de continuité*)

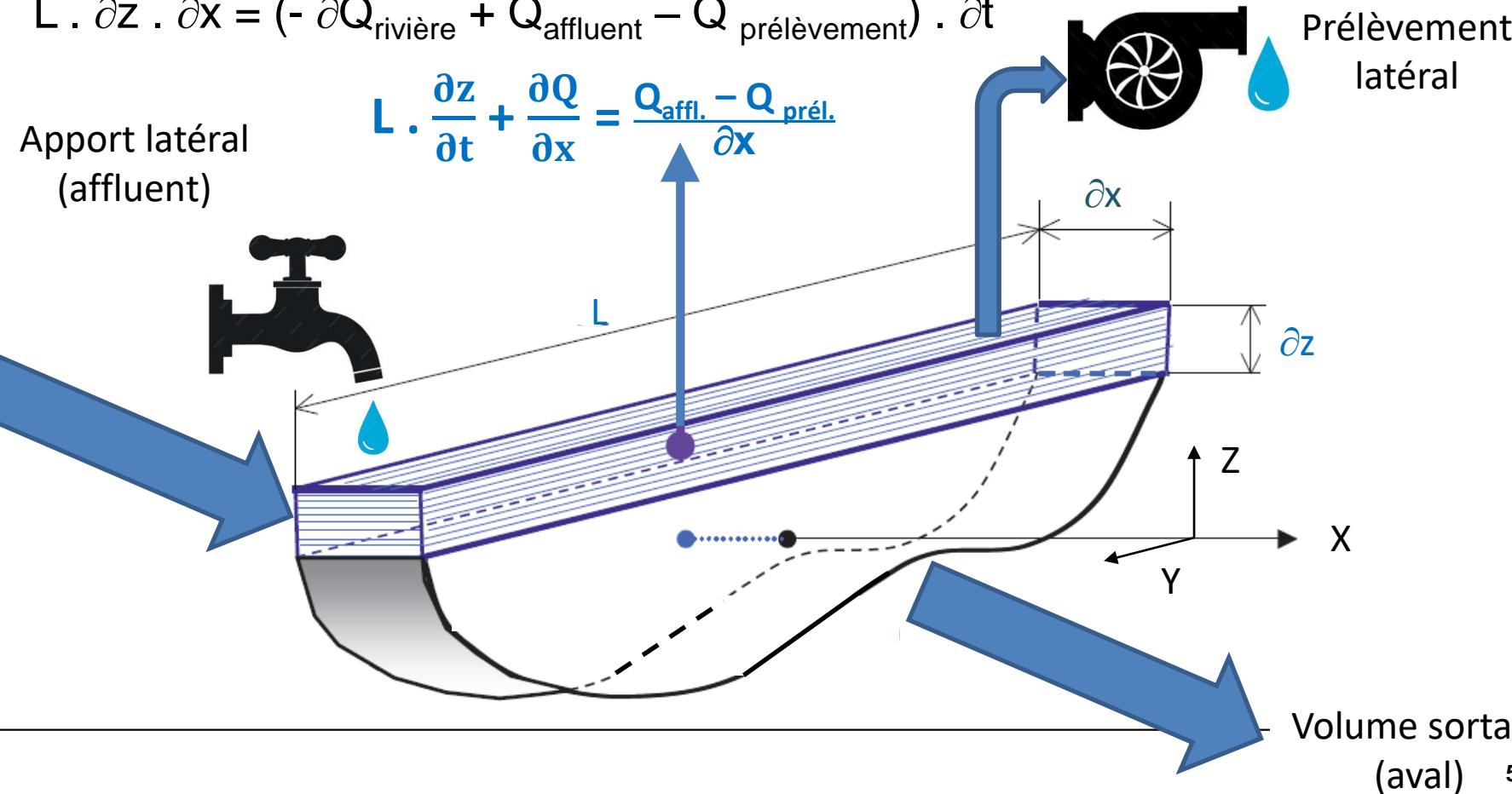
⇒ On néglige les pertes d'eau par infiltration dans le sol, évaporation dans l'air et les apports par les précipitations qui tombent directement dans le canal / la rivière

- **Evolution de la hauteur d'eau (h) et de la vitesse de remplissage du récipient**
 $\left(\frac{dh}{dt}\right)$ dépendent :

- du volume d'eau V_0 au début de l'étude
- de la géométrie du récipient (cf. relation $V(h)$)
- du volume entrant (cf. débit du robinet x durée d'ouverture)
- du volume sortant (cf. débit de la pompe x durée de fonctionnement)



- Variation de volume entre amont et aval = Volume entrant amont - Volume sortant aval + Volume entrant affluent – Volume sortant prélèvement
- Variation de volume entre amont et aval = $L \cdot \partial x \cdot \partial y$
- Volume = Débit x Temps = $Q \cdot \partial t$
- $L \cdot \partial x \cdot \partial z = (Q_{\text{amont}} - Q_{\text{aval}} + Q_{\text{affluent}} - Q_{\text{prélèvement}}) \cdot \partial t$
- $L \cdot \partial z \cdot \partial x = (-\partial Q_{\text{rivière}} + Q_{\text{affluent}} - Q_{\text{prélèvement}}) \cdot \partial t$



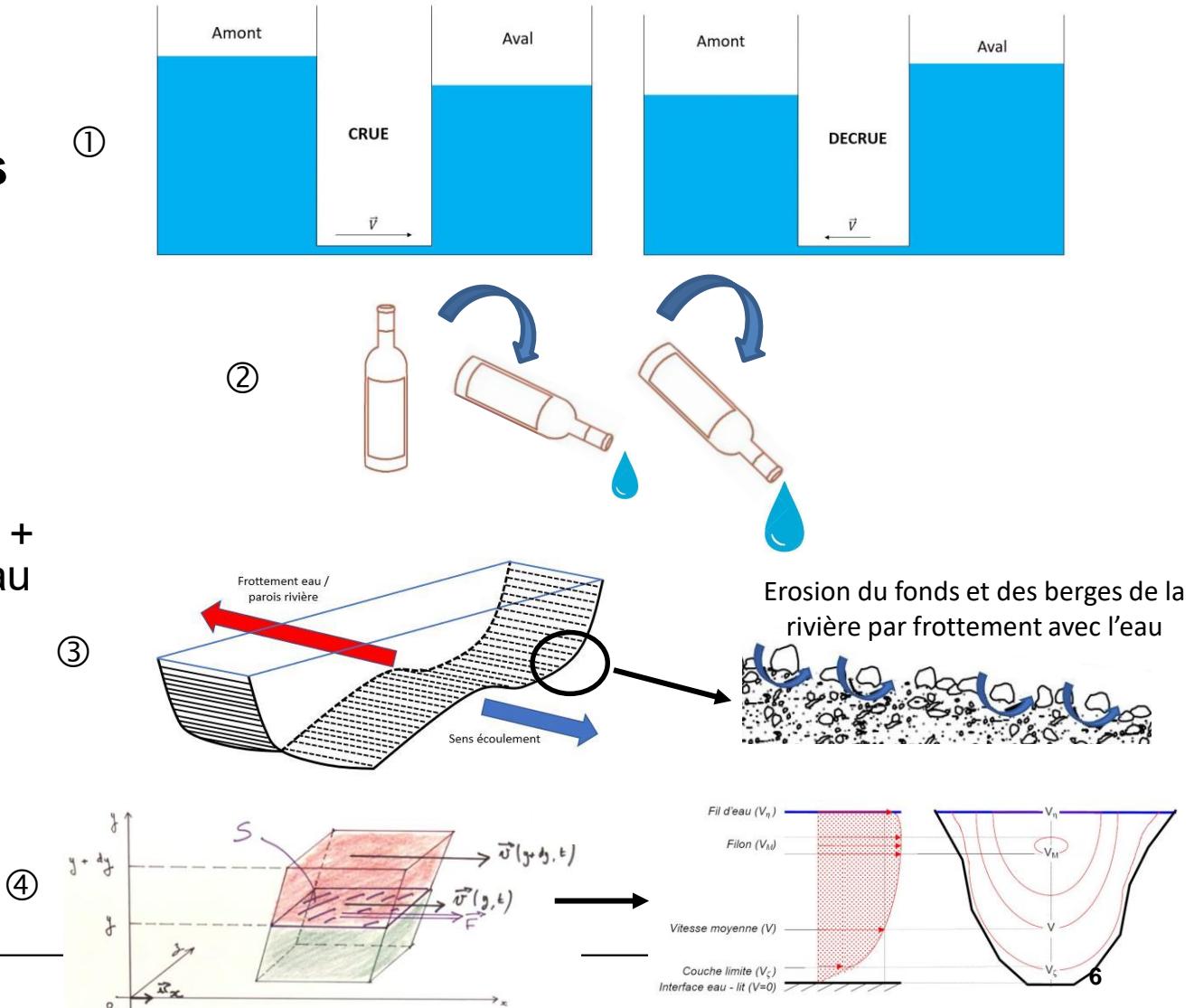
Quel est le 2nd principe fondamental d'une modélisation en hydraulique fluviale ?

- Mise en mouvement (= **accélération**) d'un volume élémentaire d'eau dans la rivière/canal est due aux **forces extérieures** (\vec{F}_k) qui s'exercent sur lui :

$$\Rightarrow m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}_k$$

- ## • Forces :

- 1) **Pression** atmosphérique à la surface de l'eau + pression hydrostatique au sein du volume d'eau (moteur si crue – frein si décrue)
 - 2) **Pesanteur** (cf. pente du canal / rivière)
 - 3) **Frottement de l'eau sur les parois** (fonds et berges) du canal / rivière (= frein à écoulement))
 - 4) **Frottement interne** (= viscosité) dans le volume d'eau (frein à écoulement) (4)

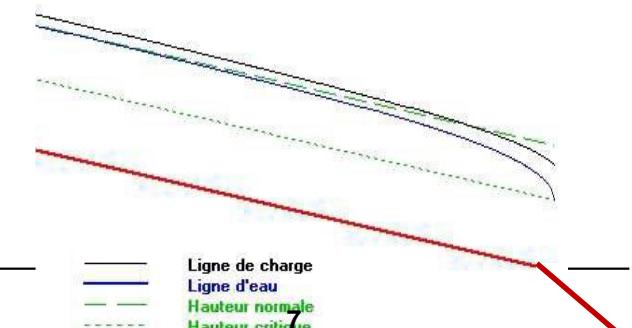
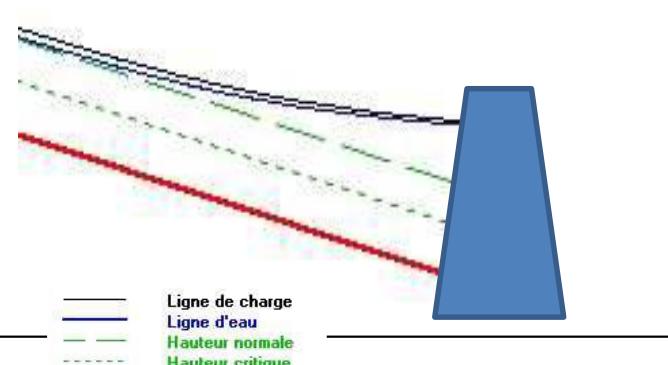
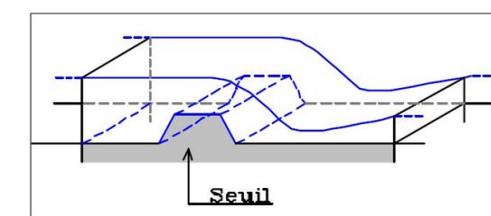
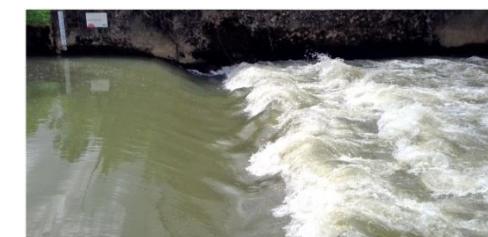
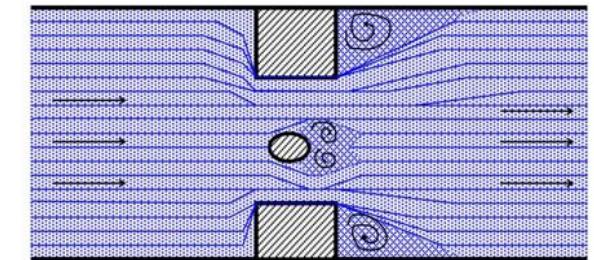


- Les points de contrôle de la hauteur d'eau dans un canal / rivière sont constitués par :

- Les réductions brutales de la section d'écoulement du lit mineur et/ou majeur (= goulots d'étranglement – cf. endiguement, vannes, orifices par exemple),
- Les changements brutaux dans la géométrie du canal / rivière (cf. seuils, barrages, rupture de pente par exemple)

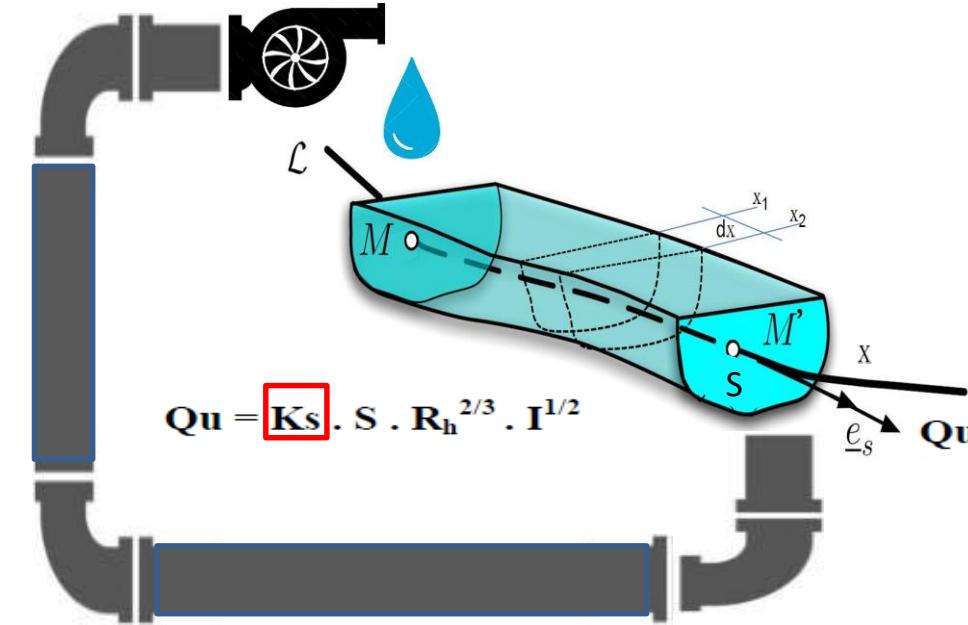
⇒ ce sont eux qui vont contrôler les hauteurs d'eau dans le canal / rivière

- En **régime d'écoulement de type fluvial** la hauteur d'eau atteinte à chacun des goulots d'étranglement va influencer les hauteurs d'eau sur le tronçon du canal / rivière situé en amont (= remous hydraulique)

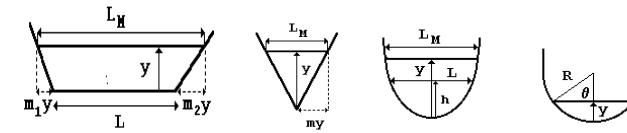


Les frottements : le soldat inconnu de l'hydraulique fluviale

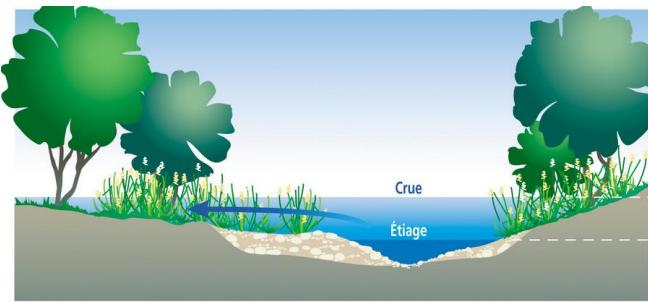
- La précision des résultats de calcul de hauteur et de vitesse d'écoulement de l'eau dans un canal / rivière dépend de la précision des paramètres qui interviennent dans les équations mathématiques
- **Difficulté** : on est capable de déterminer précisément tous les paramètres sauf un seul : la valeur du frottement entre l'eau et le support solide qui constitue le lit mineur et majeur de la rivière
- **Conséquence** : c'est comme si on essayait de calculer la trajectoire d'une voiture sur une route sans savoir comment fonctionnent ses freins ni les conditions d'adhérence entre les pneus et la chaussée !
- **Une exception** : l'écoulement en régime uniforme dans un canal fait avec un matériau homogène



- Géométrie de la section d'écoulement



- Etat de développement de la végétation

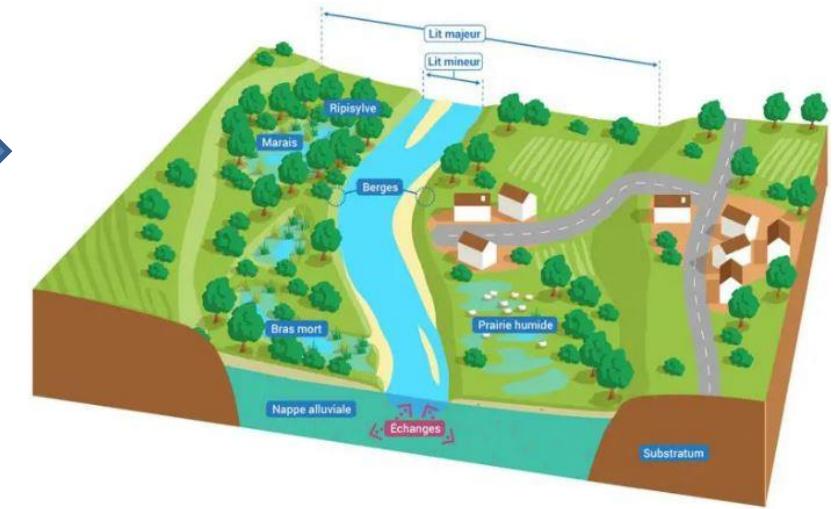


Rugosité

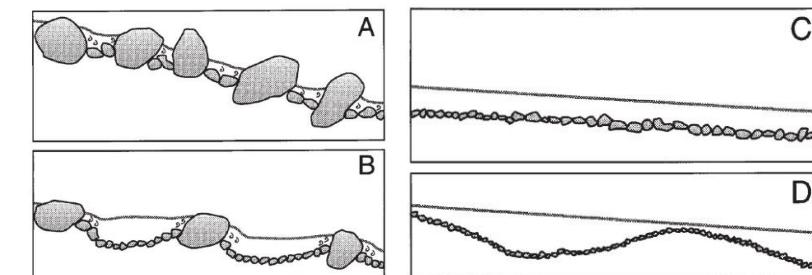
- Tracé de la rivière



- Occupation du sol



- Nature du sol



La solution du problème : le calage et la validation

- Observations = **laisses et photos** aériennes / satellitaires de crue **avec débits mesurés** correspondants
- Calage** = 2 crues au minimum :
 - Une **crue légèrement débordante** pour caler la rugosité du **lit mineur**
 - Une **crue fortement débordante** pour caler la rugosité du **lit majeur**
 - Méthode = on fait **varier la rugosité** jusqu'à obtention d'un écart acceptable entre les hauteurs d'eau calculées et les hauteurs d'eau observées (= laisse de crue)
- Validation** = 1 crue au minimum différente des crues de calage
 - Vérifier les écarts restent acceptables avec les valeurs du rugosité fixées lors du calage,
 - Estimer la précision des hauteurs d'eau calculées** par le modèle
- Photos aériennes / satellitaires** :
 - Comparer **extension de l'inondation** calculée et observée dans le **lit majeur**

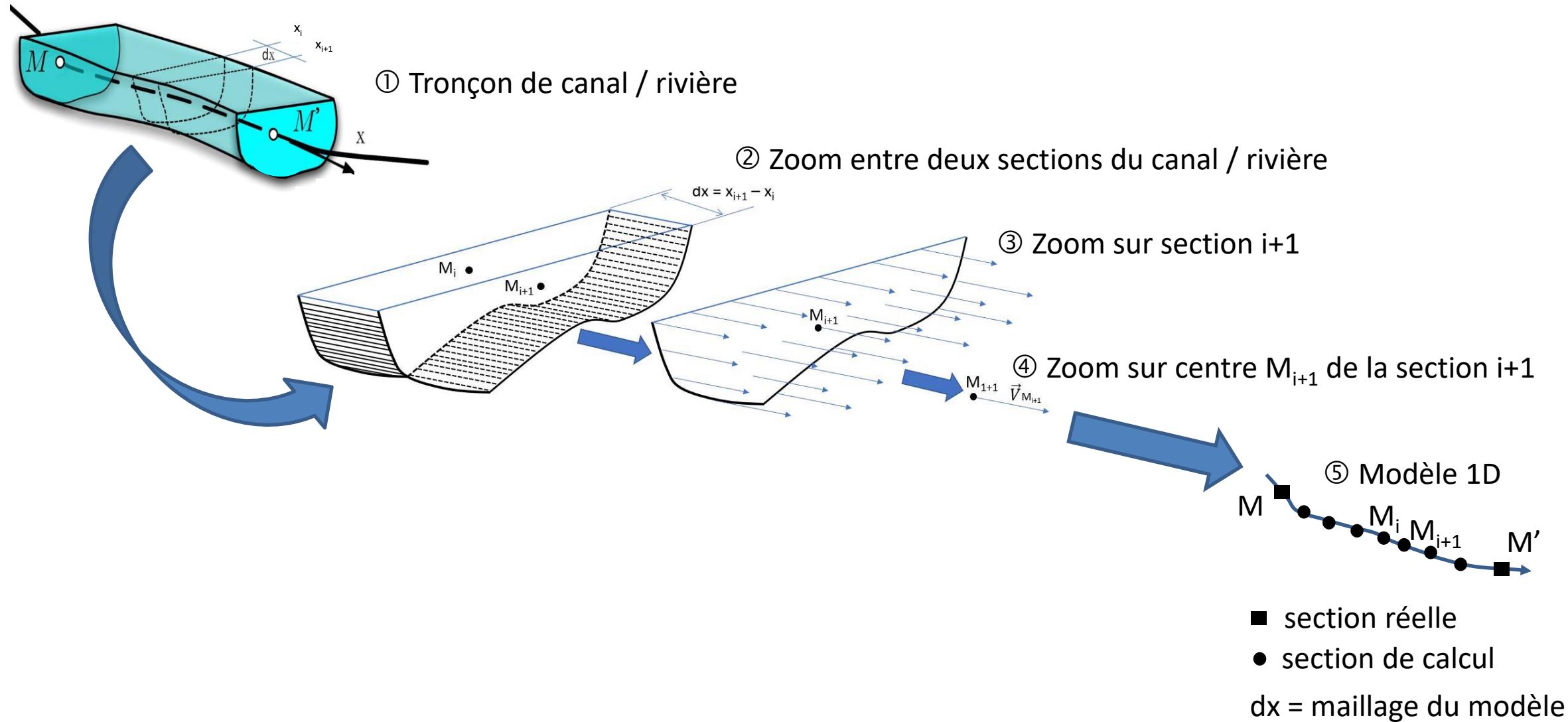
⇒ Vérifier que l'on n'a pas oublié ou mal dimensionné un ouvrage/passage de circulation de l'eau dans une zone située derrière un remblais, une digue, etc.



Identification des secteurs non inondés par modélisation

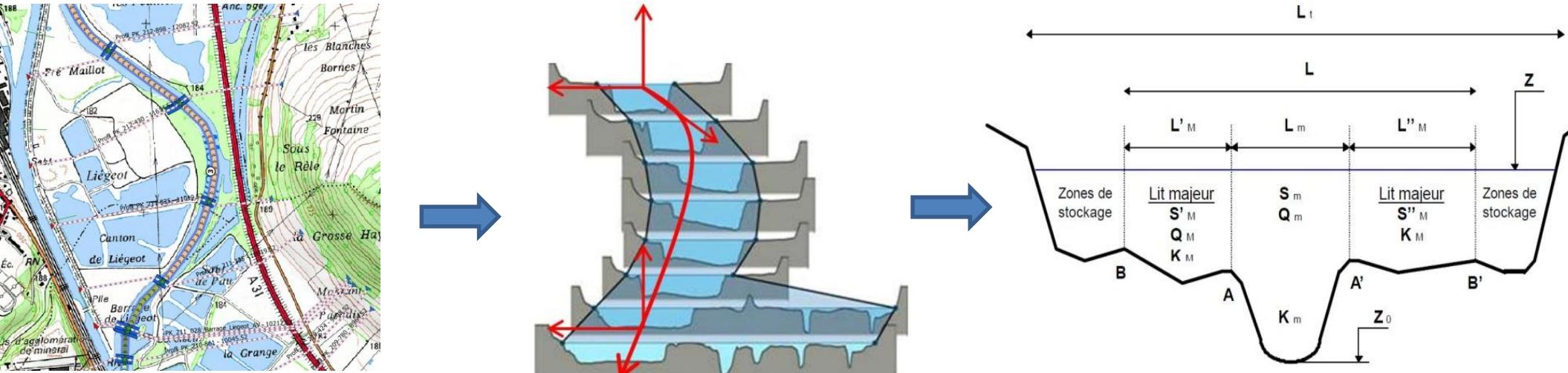


.Qu'est-ce qu'un modèle 1D ?

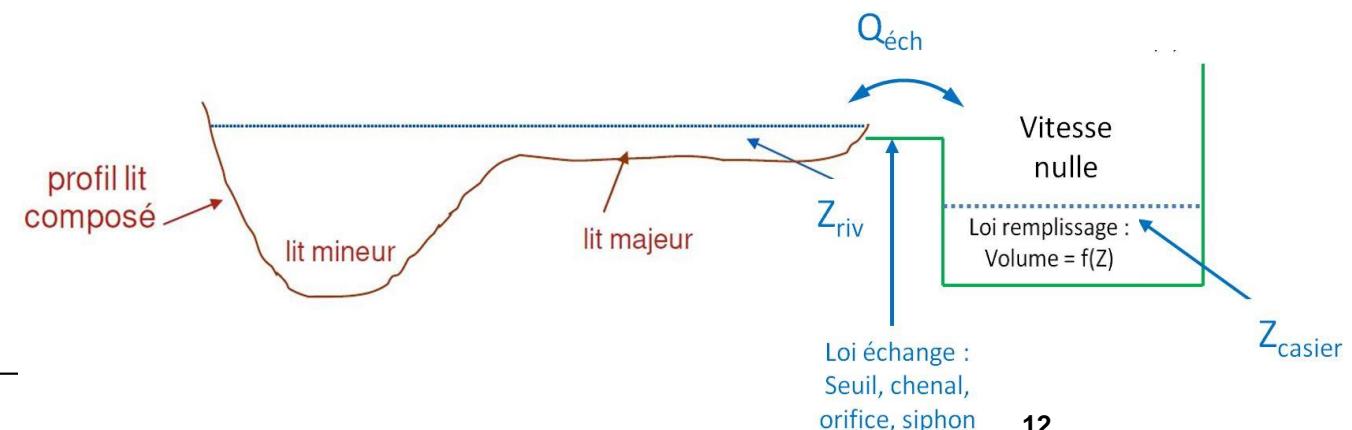
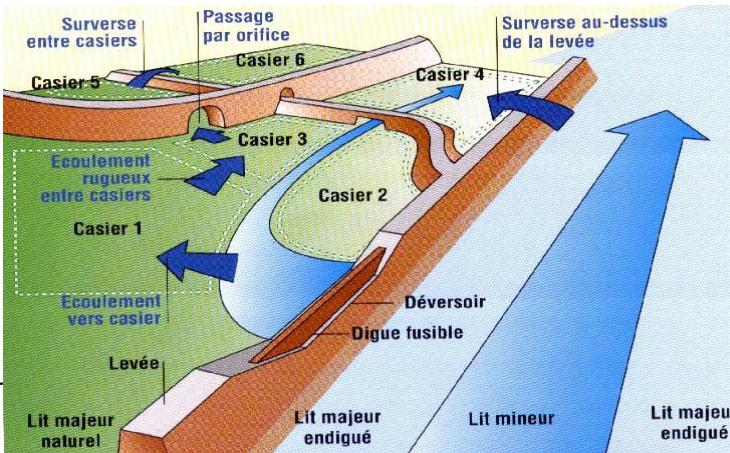


Les types de modèle hydraulique 1D

- **Modèle filaire intégral** : Géométrie = succession de profils en travers perpendiculaires à direction principale d'écoulement → profils réels + profils interpolés entre 2 profils réels

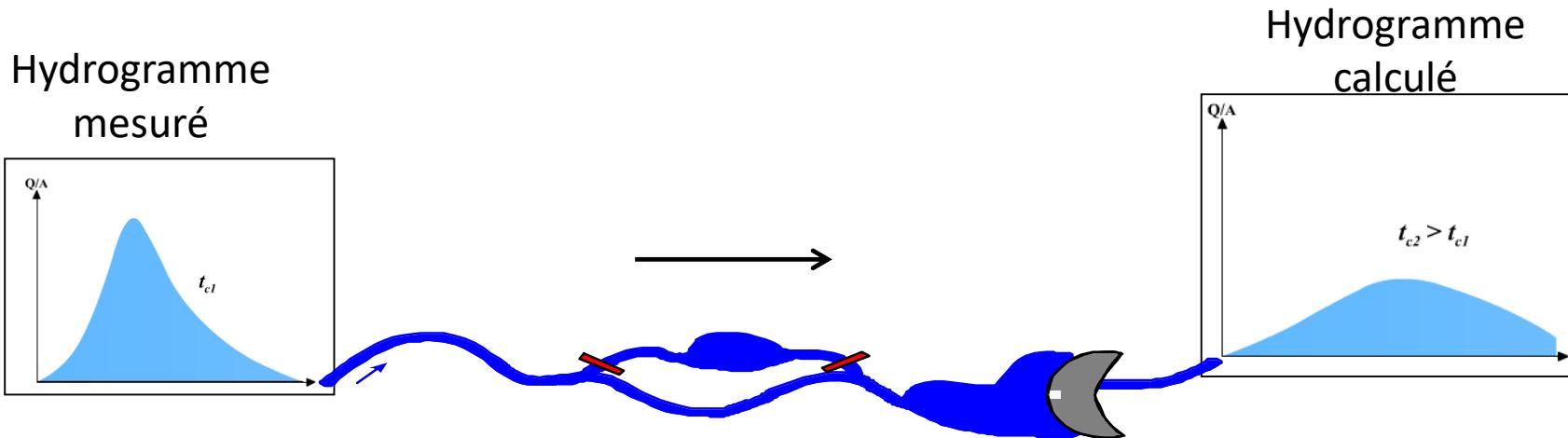


- **Modèle 1D à casiers** : Géométrie = succession de profils en travers et casiers (= zones de stockage d'eau) pour certaines parties du lit majeur



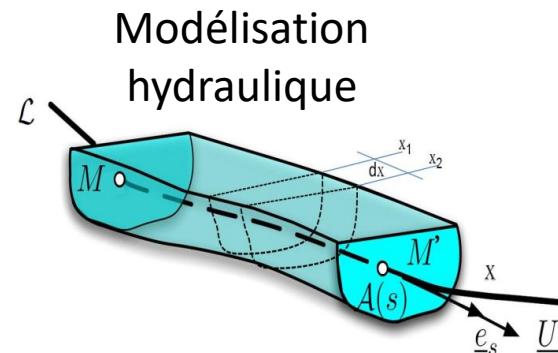
A quoi cela sert la modélisation 1D ?

- Propager un débit d'amont en aval d'une rivière



Applications :

- Prévision des crues
- Plan particulier d'intervention en cas de rupture accidentelle d'un barrage réservoir



1^o équation de Barré St Venant

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0$$

2^o équation de Barré St Venant

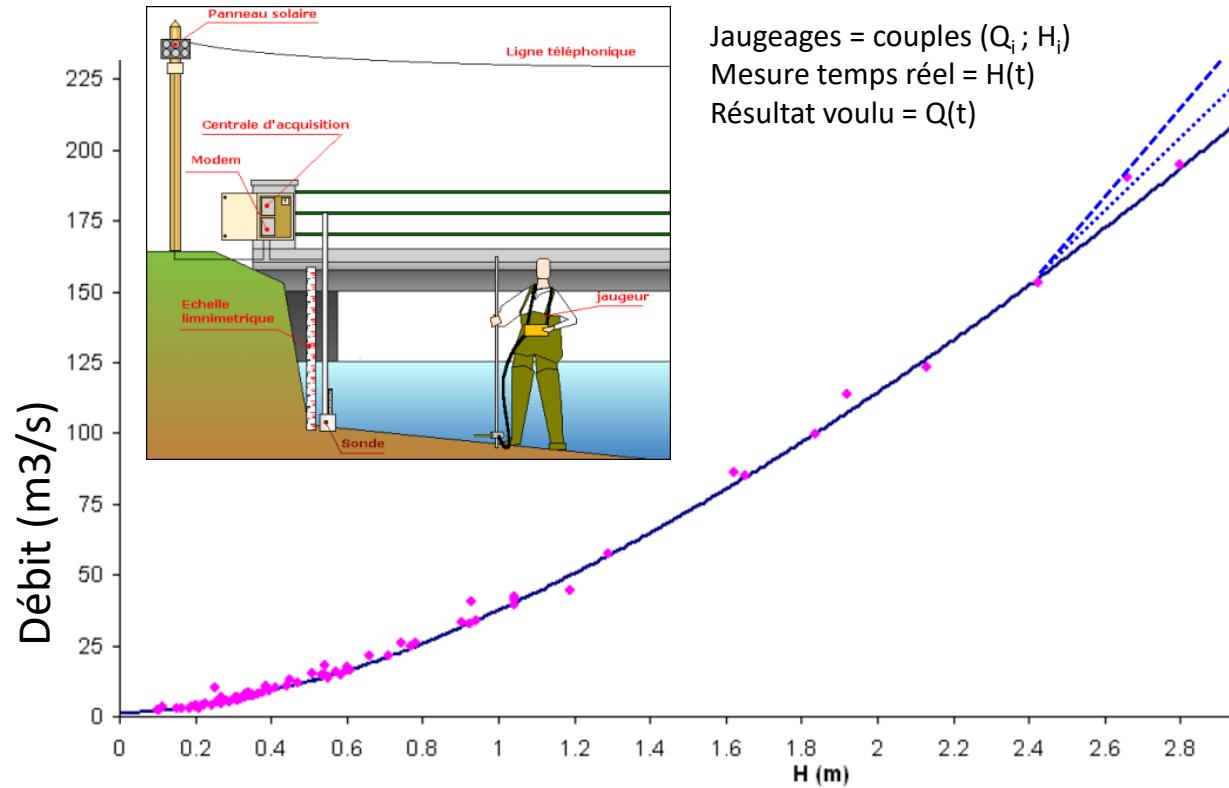
$$V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + g \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial x} - I + J \right) = 0$$

Avantage :

- Temps de calcul très courts
- ⇒ Possibilité de simuler un grand nombre de scénarii

A quoi cela sert la modélisation 1D ?

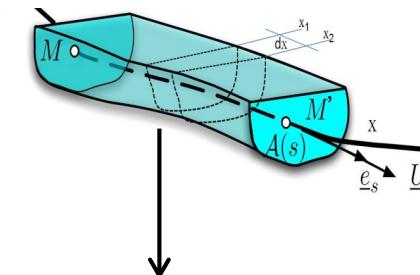
- Construire / Extrapoler une courbe de tarage



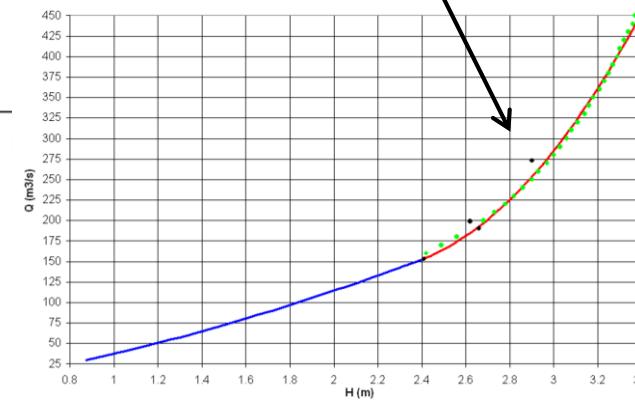
Avantage :

Pouvoir estimer les débits pour des hauteurs d'eau supérieures à la plus haute valeur mesurée

Hydraulique fluviale
 Q = donnée d'entrée

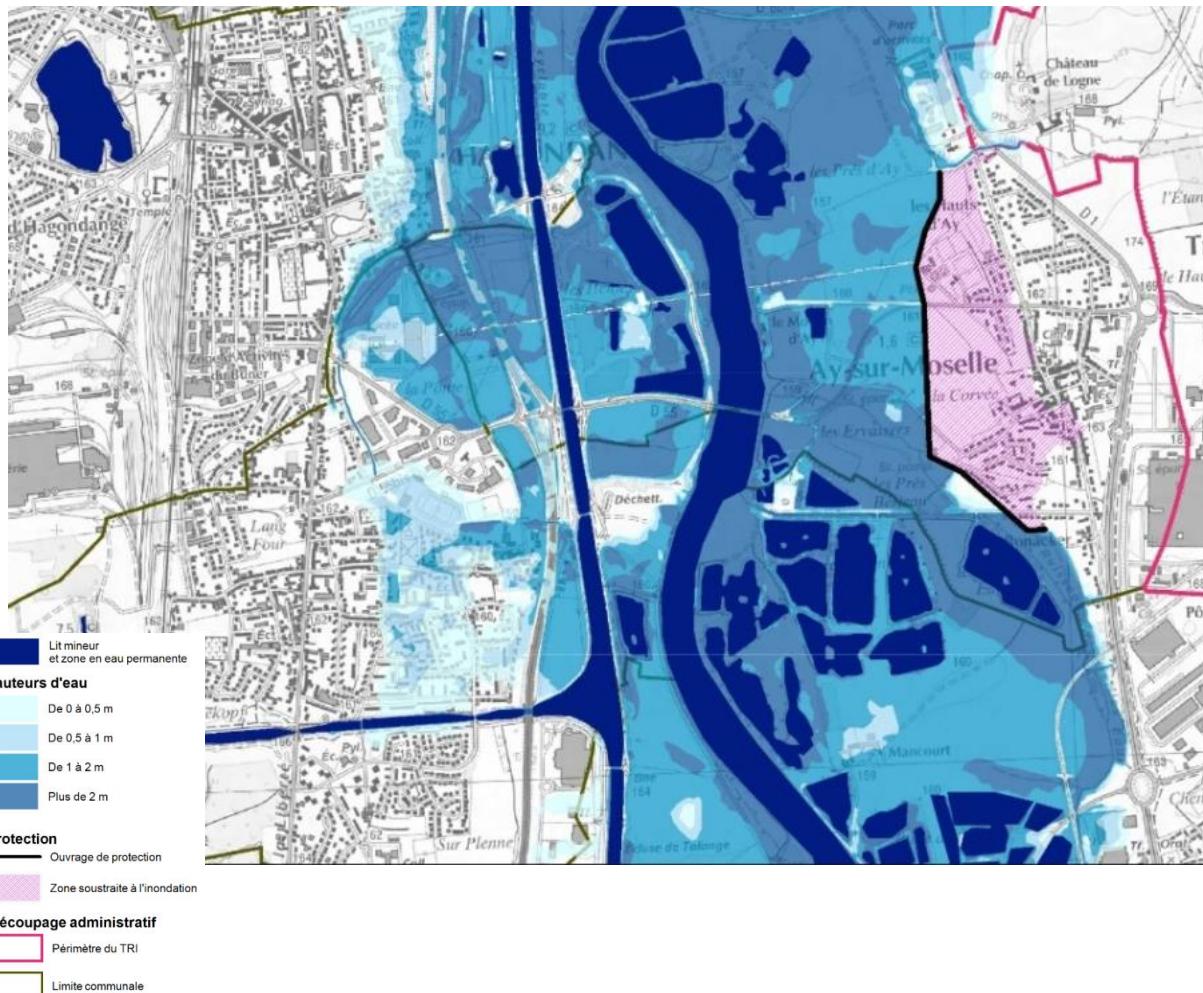


H = résultat



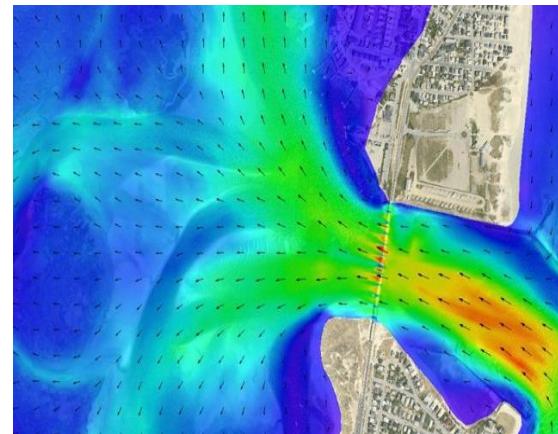
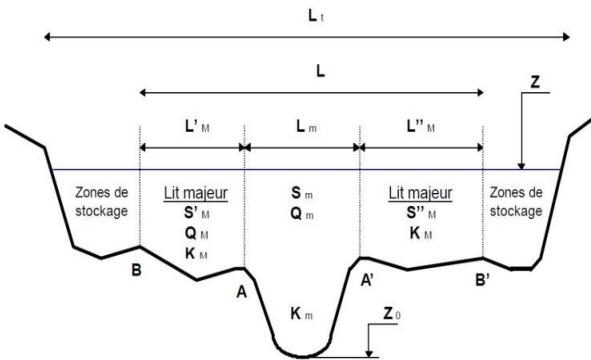
A quoi cela sert l'hydraulique fluviale ?

- Cartographier l'étendue de zones inondables pour :
 - mettre les personnes et les biens à l'abri en cas de crue (ZIP),
 - réglementer l'occupation des sols (PPRI),
 - réduire l'impact d'un projet d'aménagement en lit mineur/majeur d'un cours d'eau sur les conditions d'écoulement,



.Limites et avantages des modèles 1D

- Vitesses moyennes d'écoulement dans tout le lit majeur Vs classes d'aléas
- Modèle 1D = direction privilégiée d'écoulement (axe de la rivière) Vs rupture de digue avec écoulement en terrain plat



- Temps de calcul réduit => possibilités de faire un très grand nombre de simulations pour le calage du modèle ou des scénarii d'aménagement sur un linéaire très long
- Tronçons contiennent un grand nombre de ponts et de ponceaux, de déversoirs, de barrages etc.
- Cartographie de l'étendue de l'inondation dans des casiers

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2dum/6.0/steady-vs-unsteady-flow-and-1d-vs-2d-modeling/1d-vs-2d-hydraulic-modeling>

<https://www.gov.uk/government/publications/river-modelling-technical-standards-and-assessment/hydraulic-modelling-best-practice-model-approach>