



**HAL**  
open science

# La modélisation en sciences de l'environnement: Principes et Méthodes de construction et d'utilisation

Patrick Durand

## ► To cite this version:

Patrick Durand. La modélisation en sciences de l'environnement: Principes et Méthodes de construction et d'utilisation. Carrefour des gestions locales de l'eau, Jan 2019, Rennes, France. <hal-03340245>

**HAL Id: hal-03340245**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03340245v1>**

Submitted on 10 Sep 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

30 • 31  
Janvier 2019

20  
ans!

RENNES  
Parc des expositions

# CARREFOUR des GESTIONS LOCALES de l'eau

80  
Conférences  
.....  
470  
Exposants  
.....  
12 000  
Participants  
.....

Vous souhaitez les supports de  
présentation des deux journées ?  
Rendez-vous sur le stand 5-174 et sur



Une manifestation



En partenariat avec



Établissement public du ministère  
chargé du développement durable



Évènement labellisé



Réagissez sur  
Twitter :

@CarrefourEau  
#CGLE20

20  
ans!

CARREFOUR  
des GESTIONS  
LOCALES de

l'eau

30 • 31  
Janvier 2019

RENNES  
Parc des expositions

[www.carrefour-eau.com](http://www.carrefour-eau.com)

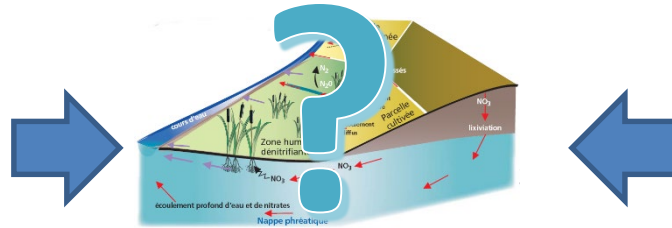


# La modélisation en sciences de l'environnement

Principes et méthodes de  
construction et d'utilisation

# C'est quoi?

- Une **représentation mathématique simplifiée** de l'évolution d'un système complexe.
- Autrement dit, un objet hybride, entre théorie et réalité



$\overline{u_x u_y} < 0$

$\frac{\partial U_x}{\partial y} > 0$

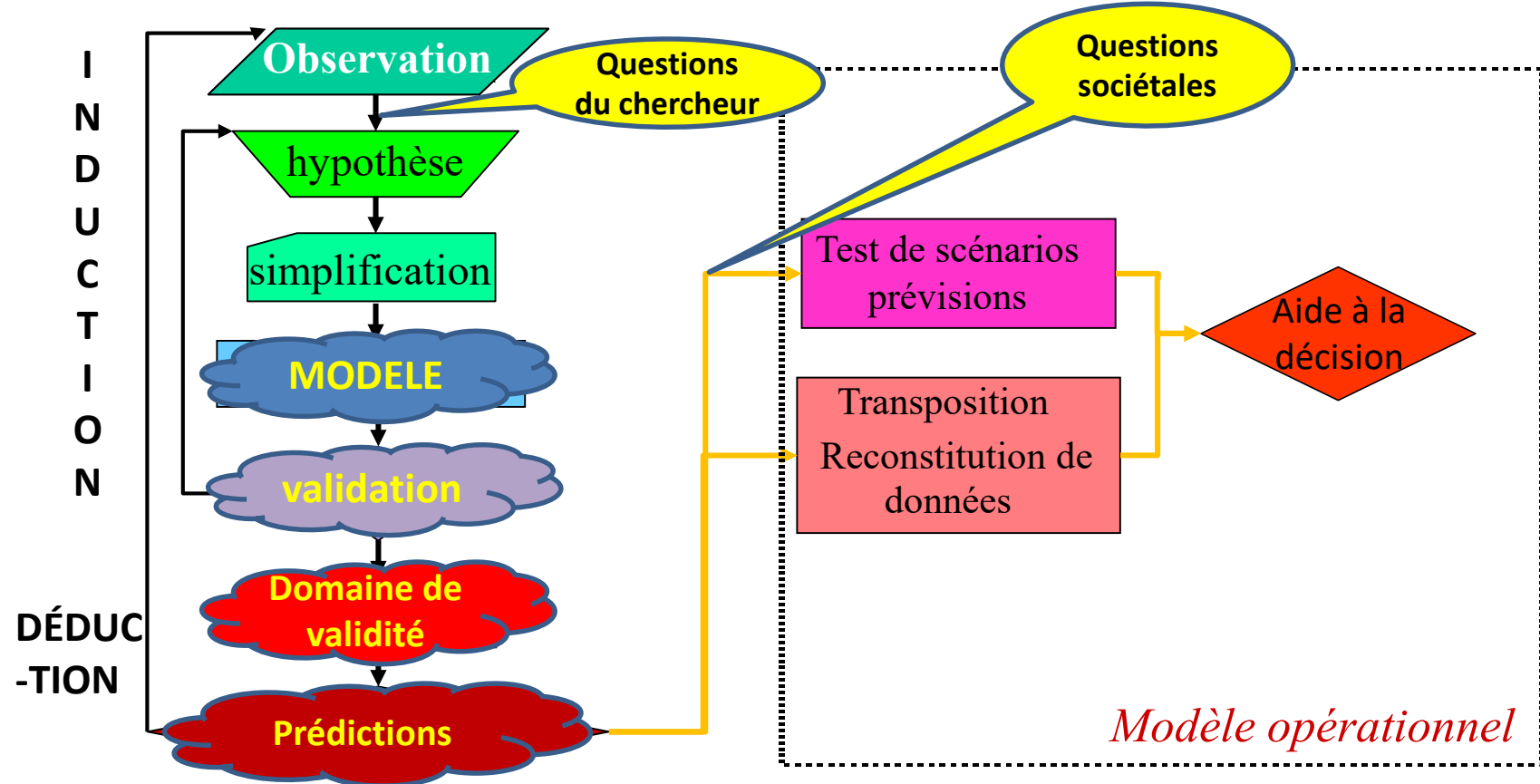
$\overline{u_x u_y} > 0$

$\frac{\partial U_x}{\partial y} < 0$

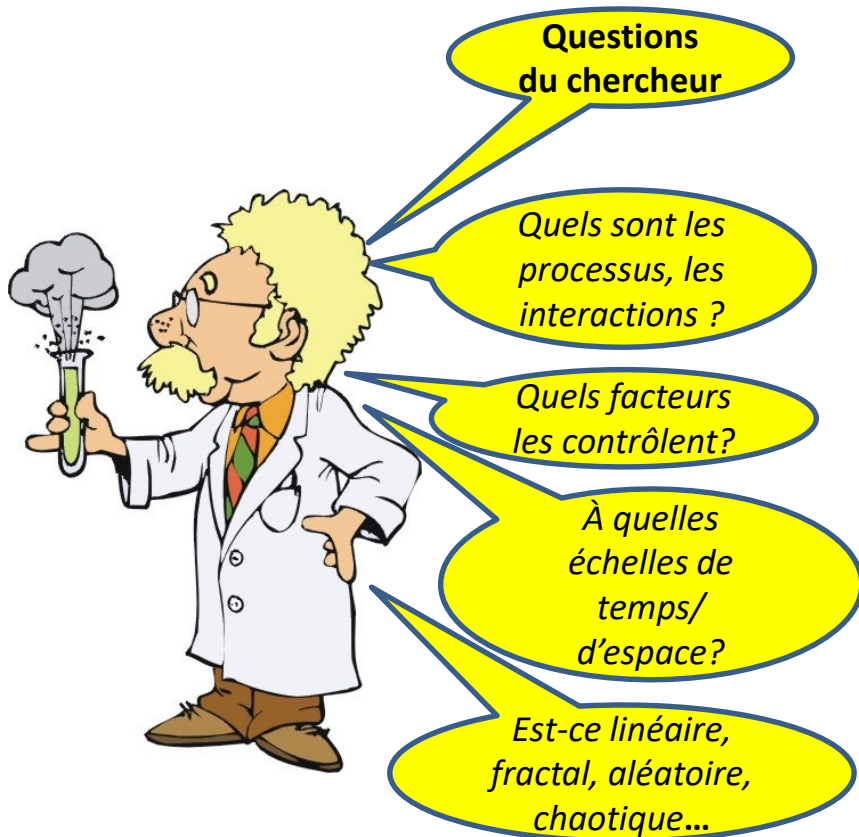
$\overline{u_x u_y} \propto l \cdot P \cdot u_n$

$-\frac{\partial U_x}{\partial y} > 0$

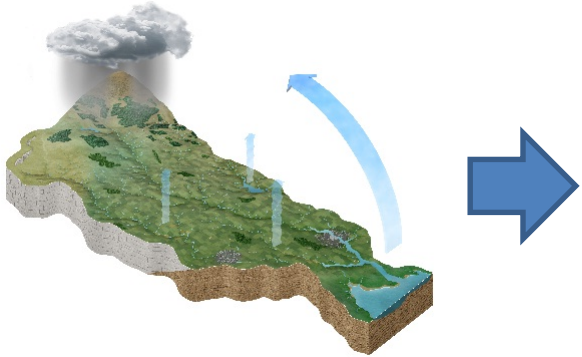
# Pourquoi?



# Pourquoi?

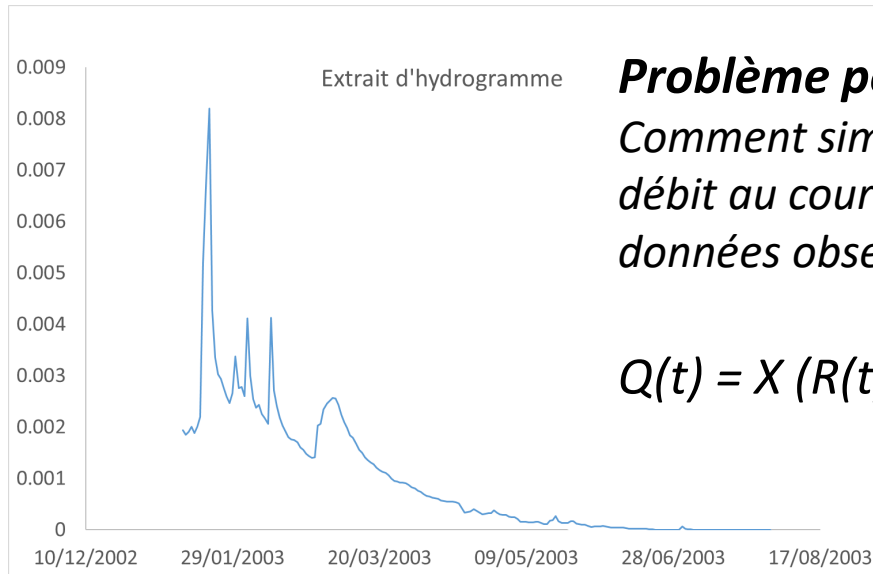


# Comment c'est fait?



**Series d'observations et de mesures :**

Topographie, occupation du sol, météo, débits...

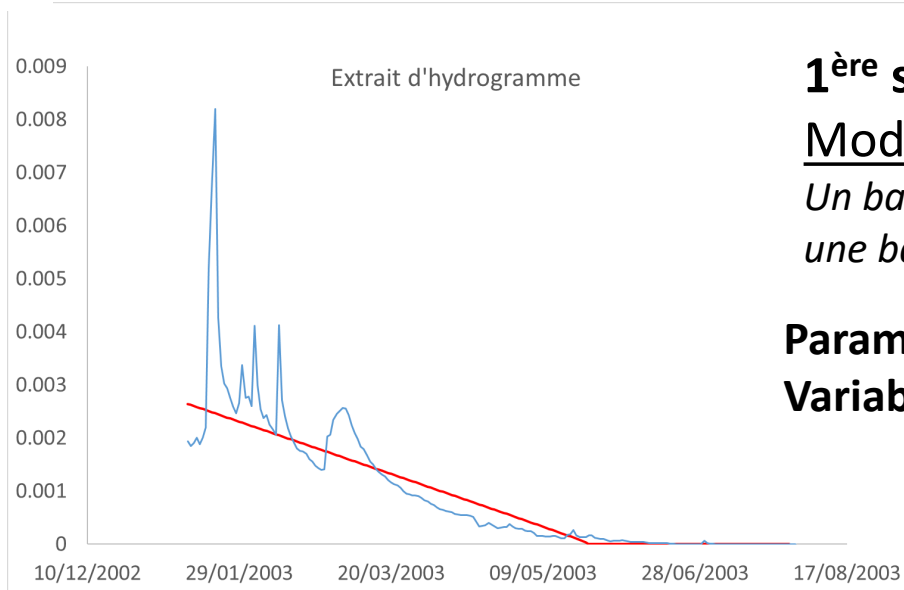
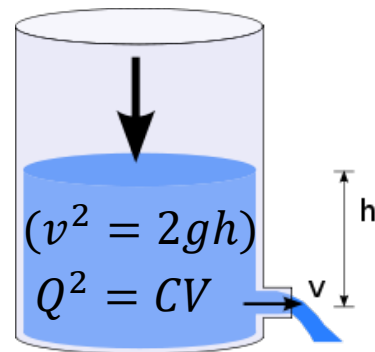
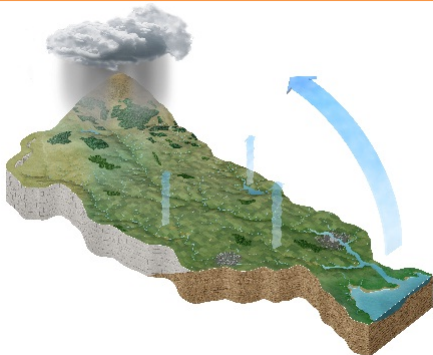


**Problème posé:**

*Comment simuler les variations de débit au cours du temps à partir des données observées?*

$$Q(t) = X (R(t), ET(t), Ks, z, A, \dots)$$

# Comment c'est fait?



**1<sup>ère</sup> solution:**

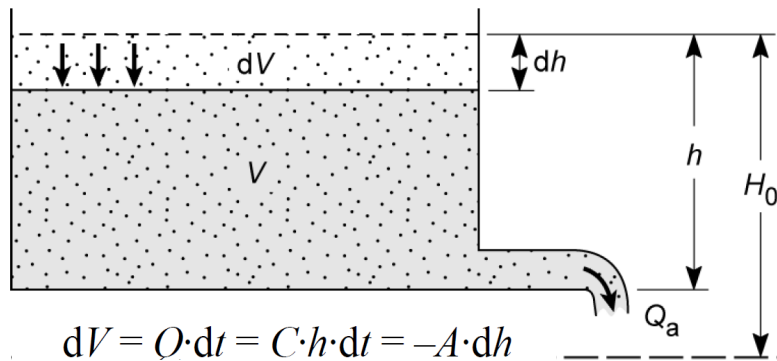
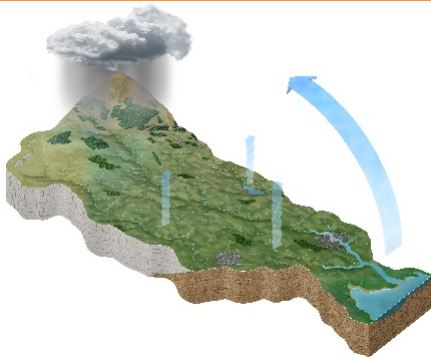
Modèle conceptuel:

*Un bassin versant, c'est comme une baignoire qui se vide*

**Paramètre : C**

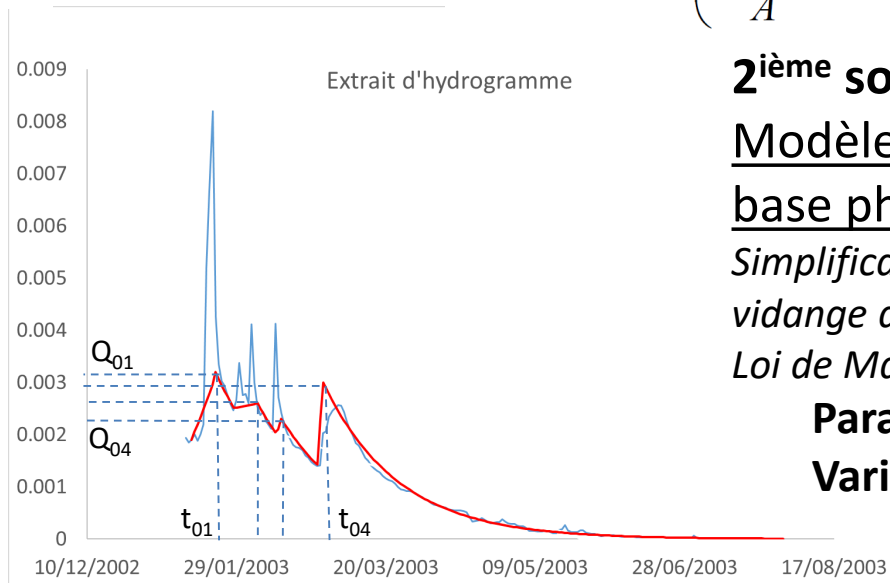
**Variable de forçage :  $Q_0$**

# Comment c'est fait?



$$dV = O \cdot dt = C \cdot h \cdot dt = -A \cdot dh$$

$$Q = Q_0 \cdot \exp\left(-\frac{C}{A} \cdot (t - t_0)\right)$$



## 2<sup>ème</sup> solution:

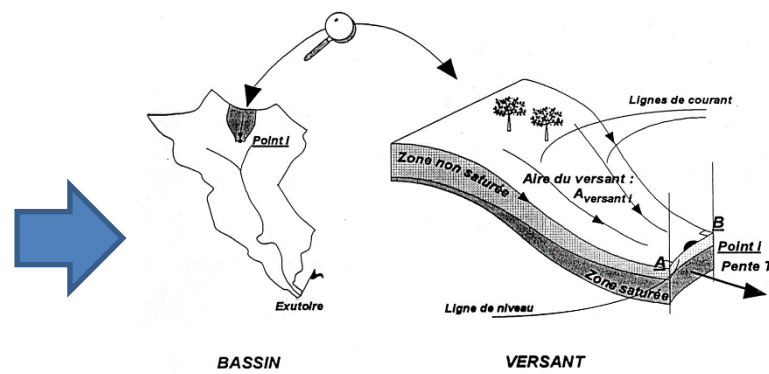
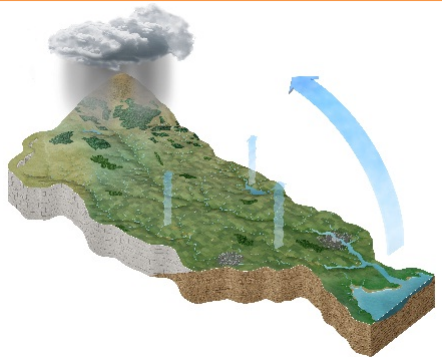
Modèle conceptuel global à base physique:

*Simplification des équations de vidange d'un réservoir poreux:  
Loi de Maillet*

**Paramètre : C**

**Variables de forçage : (Q<sub>0i</sub>, t<sub>0i</sub>)**

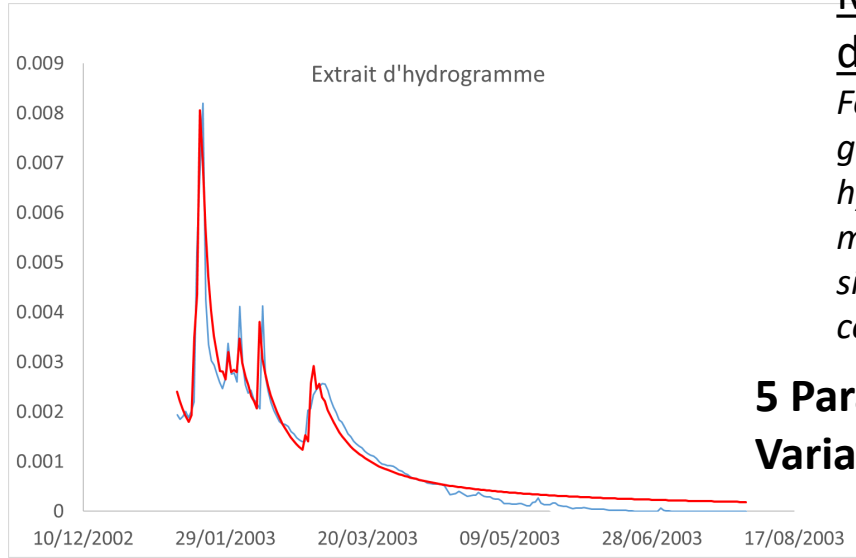
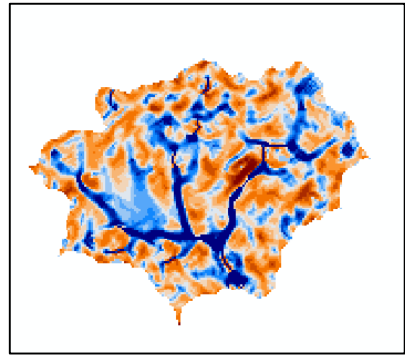
# Comment c'est fait?



- ↗ évaporation (calculé sur le bv):
  - $Ea_i = Ep_i \cdot (1 - SRZ_i / SRMAX)$  (SRZ, SRMAX = déficits)
  - ensuite, si  $P_i - Ea_i > SRZ_i$
- ↗ ruissellement (partout où  $sd_{i,t} < 0$ , c'est à dire  $\text{Log}(a/ig\beta) > \lambda + SD/M$ ):
  - $qof_{i,t} = suz_{i,t} + (P_i - Ea_i - SRZ_i)$
- ↗ écoulement gravitaire (de SUZ vers SD)
  - $qv_{i,t} = suz_{i,t} / (sd_{i,t} \cdot TD)$  (TD = constante de temps)
  - ou bien:
  - $qv_{i,t} = Ko \cdot \exp(-sd_{i,t}/M)$  ( $Ko$  = conductivité hydraulique à saturation)  $\cong To/M$
- ↗ écoulement en saturé (calculé sur le bv):
  - $(qb_{i,t} = To \cdot \exp(-sd_{i,t}/M) \cdot tg\beta_i)$
  - $Qb_i = To \cdot \exp(-SD/M) \cdot \exp(-\lambda)$
  - $tq : 1/Qb_{i,t} - 1/Qb_0 = (1/M \cdot A) \cdot (t - t_0)$  (récession hyperbolique)

## TOPMODEL

Remplissage de nappe



### 3<sup>ème</sup> solution:

### Modèle conceptuel semi-distribué à base physique:

*Formulation d'hypothèses génériques sur le fonctionnement hydrologique; développements mathématiques; formalismes simplifiés des processus annexes; codage informatique*

**5 Paramètres + MNT**  
**Variables de forçage :  $Q_0$ , P, ETP**

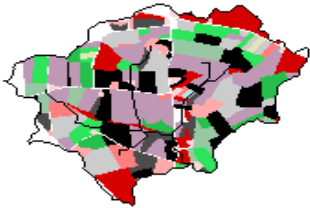
# Comment c'est fait?



**boîte noire / implicite / empirique**  
**Statistique ou I.A.**



**Conceptuel global**



**Mécaniste / orienté processus...**  
**distribué**



**Multiagent**



**Physique Distribué**

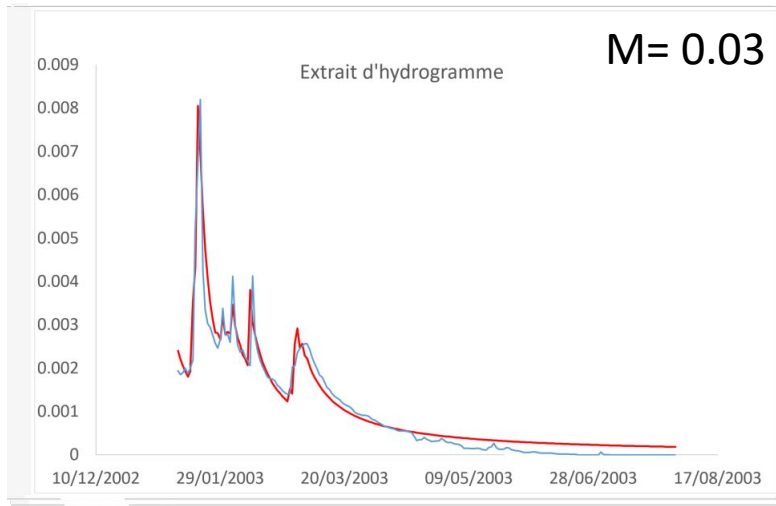
# Comment on s'en sert?

**1<sup>ière</sup> étape** : analyse du modèle : cohérence, sensibilité, propagation d'incertitude...

**2<sup>ième</sup> étape** : application à un cas réel: spécification, **paramétrage**

**calibration**

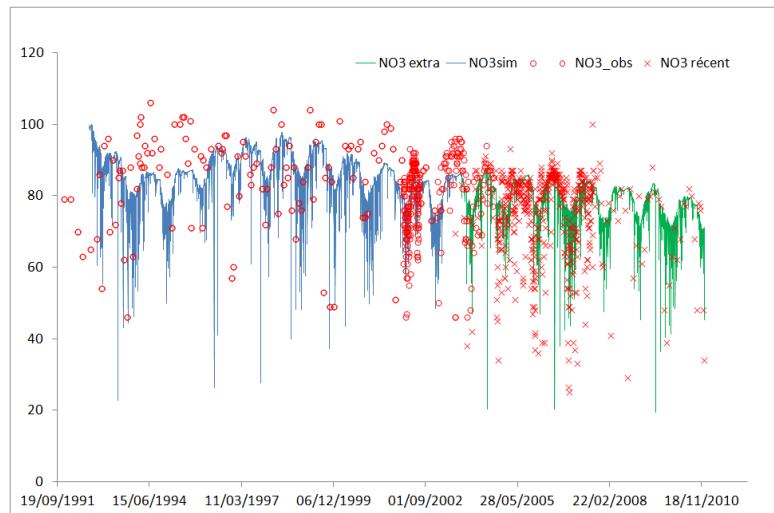
**à base de propriétés  
mesurées**



*Pour des paramètres  
ayant un sens  
physique, chimique,  
biologique...*

# Comment on s'en sert?

3<sup>ème</sup> étape : « validation »



*Méthode classique : le test par  
transposition/ extrapolation*

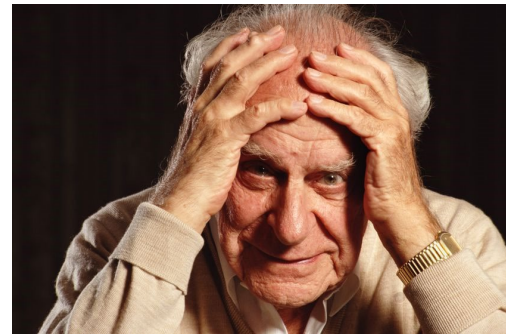
# Comment on s'en sert?

3<sup>ème</sup> étape : « validation »

*En réalité, ça ne prouve ni que le modèle est basé sur une représentation correcte de la réalité, ni qu'il donnera de bon résultats, pour la bonne raison, dans toutes situations.*

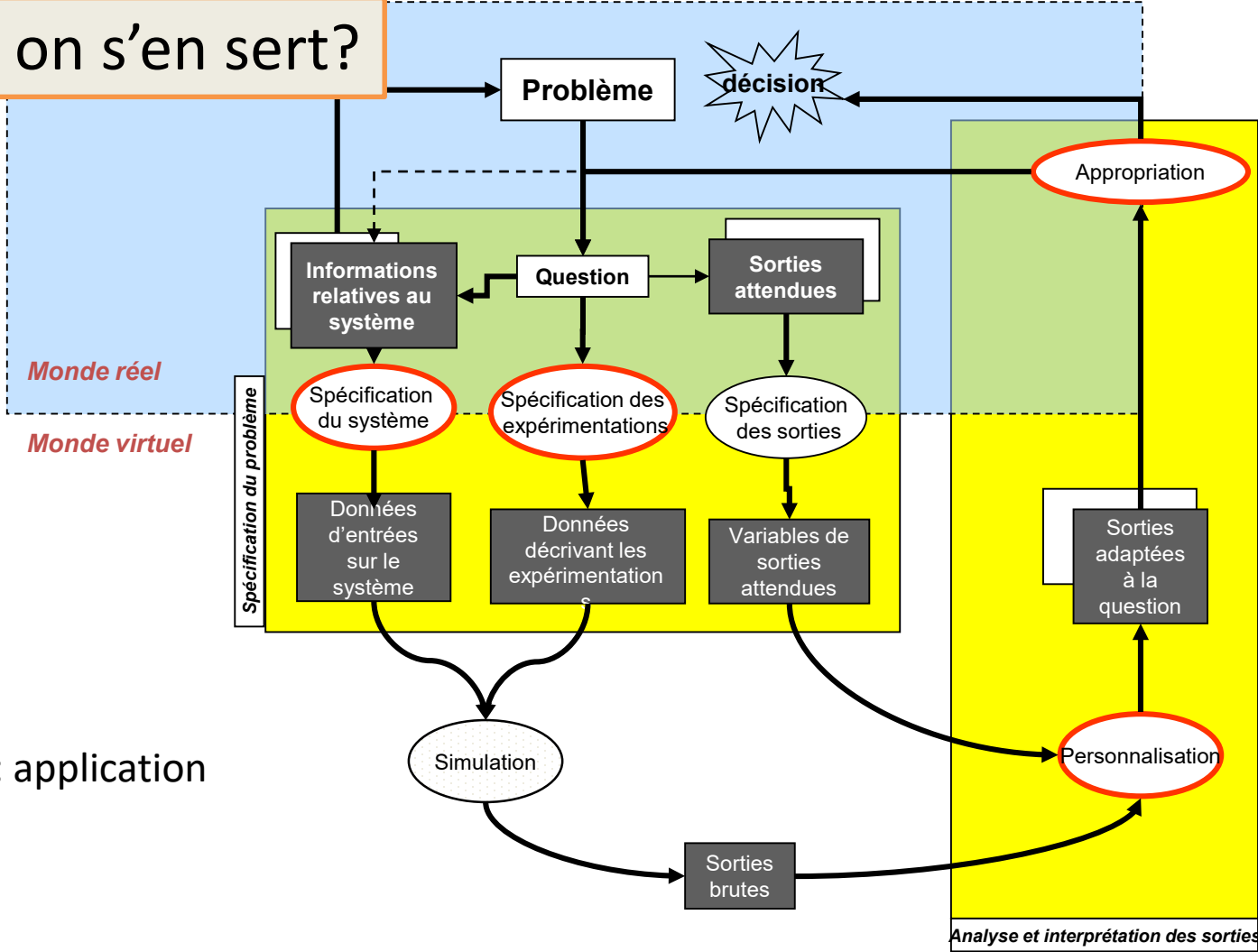
*Plus utile, et plus correct scientifiquement, est de chercher à définir **le domaine de validité** et les **incertitudes** de prédictions*

*En application opérationnelle, on peut aussi avoir une vision utilitariste de la validation : **est valide un modèle qui aide à prendre de bonnes décisions***



Sir Karl Popper

# Comment on s'en sert?



5<sup>ème</sup> étape : application

Analyse et interprétation des sorties

# Conclusions

*"Essentially, all models are wrong, but some are useful"*  
*George Box*

- ✓ **Quelques conditions à leur utilité :**
  - ✓ Transparence : quelles hypothèses, quels processus représentés, quels facteurs de contrôle?
  - ✓ Domaine de validité défini et incertitudes estimées
  - ✓ *Et, avant tout, une utilisation correcte et responsable!*