

ATELIER REGIONAL DE FORMATION DES FORMATEURS SUR LES PROCESSUS DE PREVISION ET D'ALERTE PRECOCE DE BOUT EN BOUT DU VOLTALARM AUX INONDATIONS ET A LA SECHERESSE

Processus actuels de prévision et d'alerte précoce de bout en bout aux inondations

Collecte des données en continue - Modélisation, élaboration des prévisions et d'alerte

Hèou Maléki Badjana, PhD

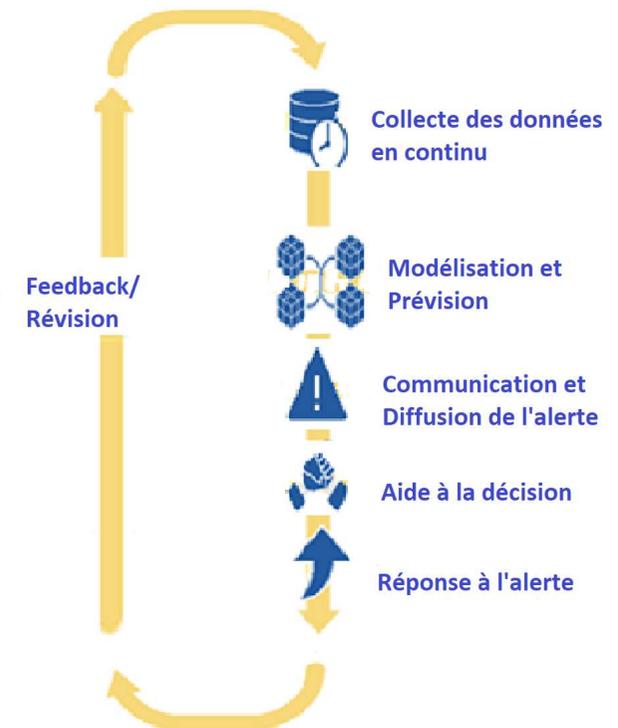
16-19 mai 2023

PLAN

- I. Introduction
- II. Exigences techniques
- III. Type de données et leur mesure
- IV. Principes et enjeux de la modélisation hydrologique
- V. Méthodes de prévision des crues
- VI. Types de modèles de simulation pluie-débit
- VII. Composantes types d'un modèle hydrologique
- VIII. Processus de développement d'un modèle de prévision des crues
- IX. Mode de fonctionnement des modèles de prévision des écoulement en temps réel
- X. Prévision et alertes de crues

I. Introduction 1/2

- ❖ La collecte des données et la modélisation constituent deux éléments essentiels sur lesquels se fonde un véritable système d'alerte précoce (SAP)
- ❖ Collecte des données: détermine la connaissance du risque notamment le danger, l'exposition, le risque, la vulnérabilité etc. mais aussi la surveillance et la prévision de l'aléas
- ❖ Prévision des crues/inondations : processus qui se déroule en temps réel donc nécessité de collecte des données en continue
- ❖ Echec dans la collecte des données = inefficacité dans le SAP aux inondation



I. Introduction 2/2

Une fois que les données sont disponibles, besoin de technique pour analyser ces données et faire la prévision: modélisation

La modélisation des bassins hydrographiques constitue l'un des éléments cruciaux sur lequel reposent l'efficience et l'efficacité d'un système de prévision et d'annonce des crues intégré

La collecte des données en continu et la modélisation : deux maillons essentiels du SAP-BEB-C

II. Exigences techniques 1/2

- ❖ Nécessité d'un système de collecte des données en temps réel pour la réception et le traitement des informations pertinentes:
 - ✓ informations météorologiques, les données de débit aux sections de rivières jaugées appropriées (ou les hauteurs d'eau et les courbes de tarage) et au niveau des retenues, les mesures d'humidité du sol, le cas échéant.
 - ✓ Les données : stations de mesure manuelles ou automatiques, plates-formes de collecte de données terrestres, radars au sol, satellites, capteurs aériens
 - ✓ Besoin d'un Système d'information géographique (SIG) pour présenter ces informations sur une carte

II. Exigences techniques 2/2

- ❖ L'accès aux résultats d'un modèle de prévision numérique du temps (PNT) pour les données des prévisions météorologiques
- ❖ Un modèle de prévision pour estimer le débit total à la sortie du bassin, aux intervalles de temps requis, y compris une évaluation des incertitudes
- ❖ Un modèle hydrodynamique pour estimer le déplacement de l'onde de crue le long du cours d'eau, les hauteurs d'eau, les effets des ruptures de digues, ainsi que l'interaction avec la plaine inondable et les zones inondées
- ❖ Des moyens de communications, des logiciels SIG et des systèmes d'aide à la décision appropriés

III. Types de données et leur mesure

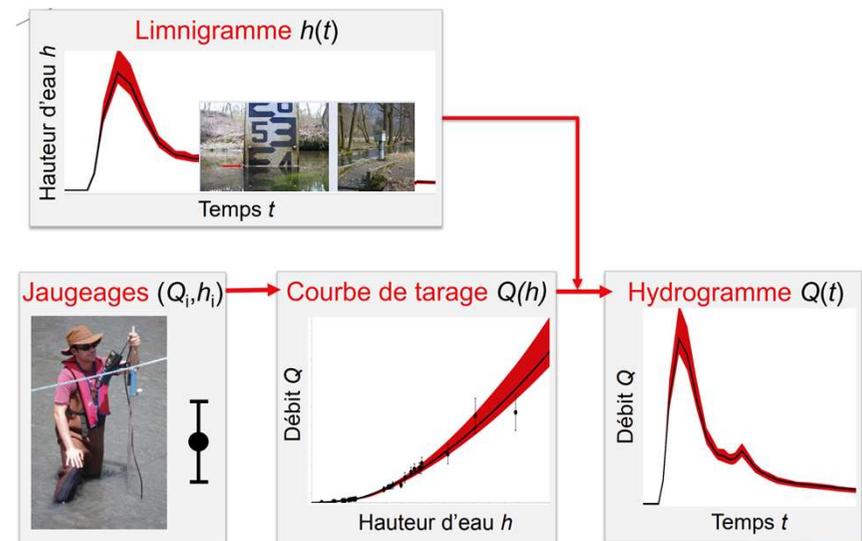
Données hydrologiques

- ✓ Débits = volume d'eau écoulé par unité de temps [$m^3.s^{-1}$ ou $l.s^{-1}$]
- ✓ Hauteur d'eau

Dans la plupart des rivières naturelles, on ne mesure pas le débit en continu

Ce qu'on sait mesurer « facilement »:

- La hauteur d'eau en continu
- Le débit ponctuellement (jaugeage)



(Renard, 2019)

III. Types de données et leur mesure 1/4

Données hydrologiques

- ❖ Il existe plusieurs techniques de jaugeage (jaugeage capacitif ou volumétrique, jaugeage par exploration du champ de vitesse, jaugeage par dilution) dont le choix dépend des conditions d'écoulement, la configuration du site (accès), l'exactitude que l'on souhaite obtenir, le matériel et le temps disponibles (Despax, 2016)
- ❖ Un système de prévision des crues nécessite un réseau de stations de mesure dont la composition est déterminée par les exigences en termes de délais et de précision mais aussi par les emplacements où les prévisions doivent être effectuées (points de prévision)
- ❖ Station de mesure au point de prévision: contrôle régulier de l'étalonnage et liaison télétransmise avec le centre de commande opérationnel

III. Types de données et leur mesure 2/4

Données météorologiques

- ✓ L'intensité et la durée des précipitations
- ✓ Les prévisions de précipitations
- ✓ Les données historiques (pluviométriques et climatologiques) pour l'étalonnage des modèles pluie-débit

La distribution des précipitations est la variable principale parmi les données météorologiques et elle provient d'un réseau de pluviomètres à télétransmission ou non, ou d'une couverture de radars météorologiques

III. Types de données et leur mesure 3/4

Données météorologiques

Les trois principaux avantages liés à l'utilisation de données radar sont :

- une résolution spatiale plus précise du champ de précipitations ;
- la disponibilité des données en temps réel ;
- la possibilité de suivre les orages annoncés avant qu'ils n'atteignent la limite du bassin hydrographique concerné.

❖ Les données climatologiques au-delà des instruments au sol peuvent provenir des satellites ou des modèles de prévision climatique numérique aux niveaux mondial, régional et local et servir de données d'entrée pour les modèles de prévision des crues

III. Types de données et leur mesure 4/4

Données topographiques

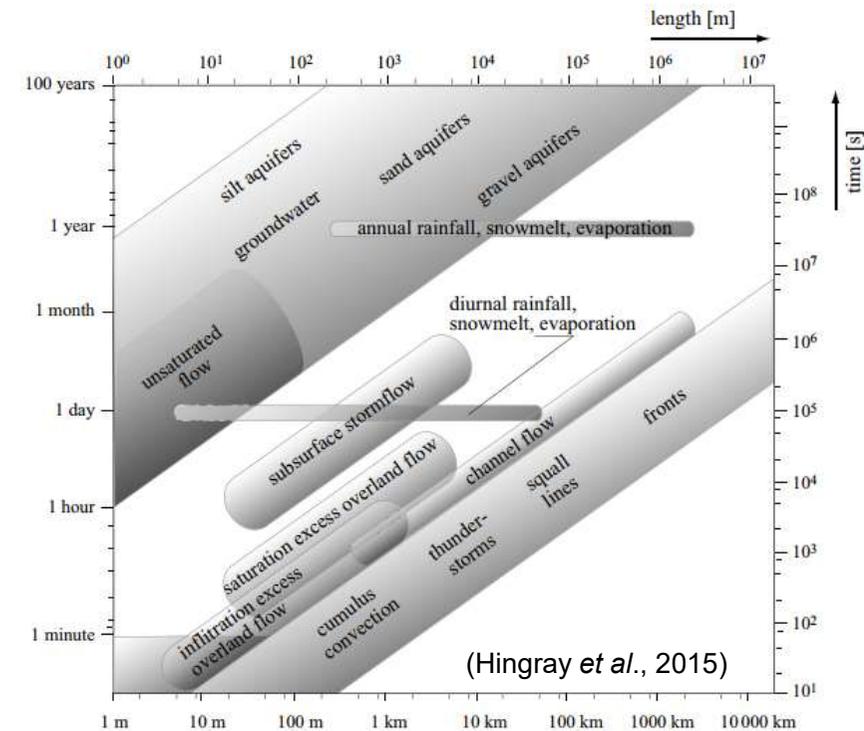
Modèle numérique d'élévation (MNE) issus des satellites

Autres informations et données

- Données physiques sur les bassins hydrographiques, comme des données sur la géologie, le sol et la végétation (occupation du sol)
- Population et données démographiques pour renseigner sur les zones à risque
- Inventaires des biens à risque
- Règles de contrôle des retenues et des infrastructures de protection contre les crues
- Emplacement des infrastructures de transport et de fourniture en électricité et en eau
- Évaluation systématique des dégâts post-crue.

IV. Principes et enjeux de la modélisation hydrologique 1/2

- ❖ L'hydrosystème le plus souvent modélisé en hydrologie est le bassin-versant.
- ❖ Quelque soit l'hydrosystème, la modélisation consiste à simuler une partie ou l'ensemble de son comportement hydrologique.
- ❖ Le comportement hydrologique d'un hydrosystème donné est extrêmement complexe (Musy & Hygy, 2011) à cause de la complexité et de l'hétérogénéité du milieu physique lui même



IV. Principes et enjeux de la modélisation hydrologique 2/2

- ❖ Tous les modèles sont donc une représentation extrêmement simplifiée de l'hydrosystème et de son fonctionnement.
- ❖ Les modèles sont axés sur les processus et les échelles spatio-temporelles qui sont tributaires du phénomène hydrologique à étudier.

Exemple : un modèle développé pour simuler la transformation pluie-débit en période de crue ignorera le plus souvent des processus liés l'évaporation et à la recharge de la nappe. Ces processus devront à l'inverse être prise en compte si le modèle vise à estimer la saisonnalité ou la variabilité interannuelle des ressources en eau.

V. Méthodes de prévision des crues 1/2

- ❖ Une prévision hydrologique est une estimation de l'état futur d'un paramètre hydrologique, tel que le débit, le volume cumulé, la hauteur d'eau, la zone inondée ou la vitesse d'écoulement moyenne à un site géographique particulier ou sur une section de cours d'eau donnée
- ❖ Délai de cette prévision : durée entre le moment où a été réalisée la prévision et celui dans le futur auquel s'applique cette prévision

Catégories de délais prévision subjectives :
court terme, moyen terme et long terme

V. Méthodes de prévision des crues 2/2

Deux catégories de méthodes :

- ✓ Méthodes stochastiques
- ✓ Méthodes utilisant les relations pluie-débit : analyse de la réponse hydrologique

VI. Types de modèles de simulation pluie-débit

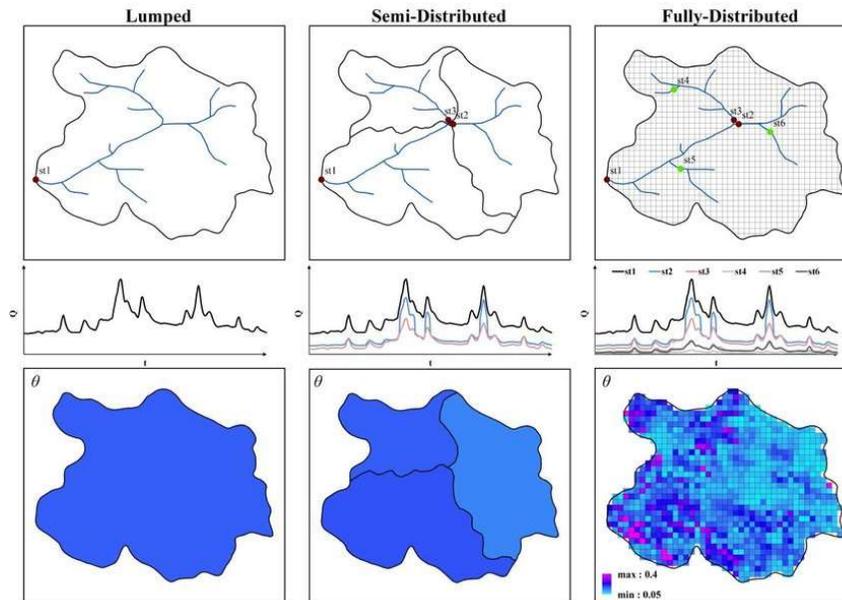
Critères de classification des modèles hydrologiques variés rendant difficile l'établissement d'une typologie commune.

- Suivant la nature des relations utilisées pour la représentation des processus, on distingue :
 - ✓ Les modèles pluie-débit empiriques
 - ✓ Les modèles pluie-débit conceptuels
 - ✓ Les modèles pluie-débit à base physique

VI. Types de modèles de simulation pluie-débit

➤ Suivant la manière de représenter le milieu et en particulier suivant la nature de l'unité spatiale à laquelle est attachée la résolution des équation, on distingue :

- ✓ Les modèles globaux
- ✓ Les modèles semi-distribués
- ✓ Les modèles distribués



Illustrations des modèles a) global, b) semi-distribués et c) distribués

VI. Types de modèles de simulation pluie-débit

Pour les modèles distribués, le comportement hydrologique du bassin versant est supposé pouvoir être expliqué par le biais du comportement d'un nombre illimité d'unités hydrologiques distinctes appelés Unités Hydrologiques Représentatives (UHRs) ou Unités Hydrologiques Relativement Homogènes UHRHs).

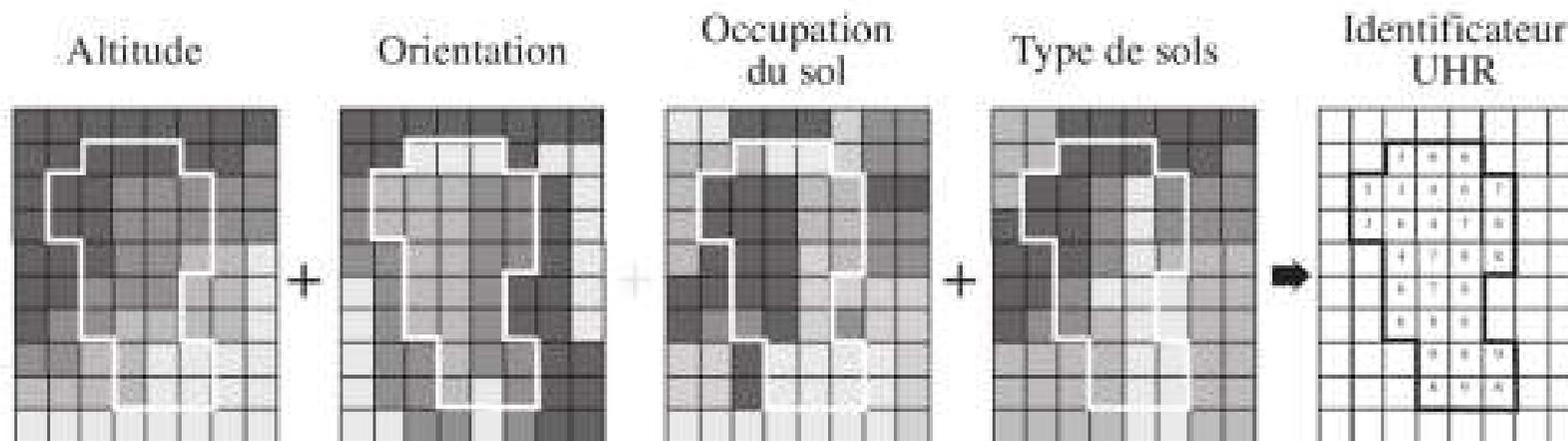
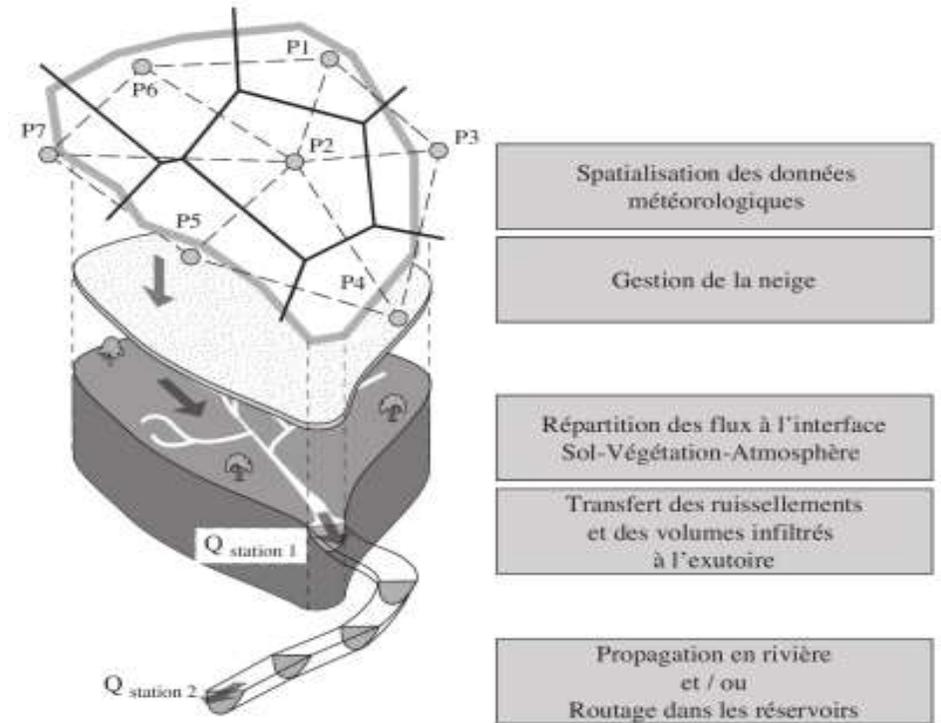


Illustration des UHRs obtenues sur la base des différentes caractéristiques du milieu (Hingray et al., 2015)

VII. Composantes types d'un modèle hydrologique

- ❑ Premier module: transformation des données météorologiques pour produire les données d'entrée aux résolutions spatiales et temporelles requises
- ❑ Deuxième module : description des processus qui conditionnent la répartition des flux hydriques à l'interface sol-végétation-atmosphère ; sortie de la pluie nette (Fonction de production)
- ❑ Troisième modulé (Fonction de transfert) : transfert des ruissellement et des volumes infiltrés à l'exutoire
- ❑ Quatrième module: propagation des écoulements en rivière et dans les ouvrage hydrauliques (Fonction d'acheminement)

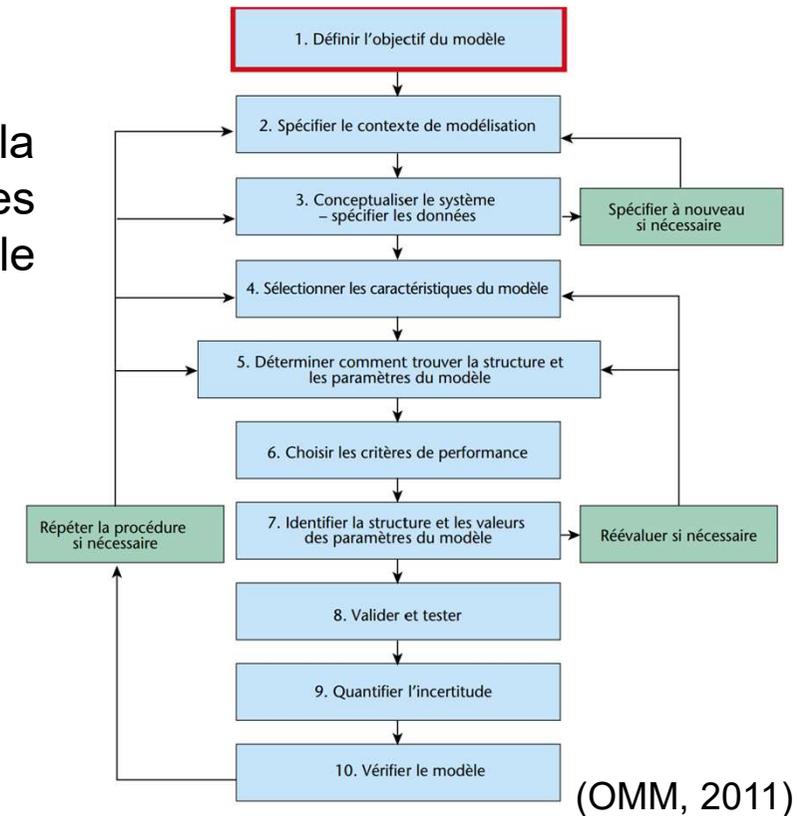


Modules types d'un modèle hydrologique (Hingray et al., 2015)

VIII. Processus de développement d'un modèle de prévision des crues 1/3

Préalablement : identification de l'objectif et du cadre de la modélisation (hydrosystème, nature des phénomènes hydrologiques à modéliser, données disponibles pour décrire le milieu et les variables hydrométéorologiques d'intérêt).

- Construction du modèle
- Calage du modèle
- Evaluation du modèle



VIII. Processus de développement d'un modèle de prévision des crues 2/3

Principes de calage

- ✓ Le calage peut se faire manuellement ou automatiquement à partir des algorithmes d'optimisation.
- ✓ Le calage peut s'accompagner de l'analyse de sensibilité des paramètres du modèle (sensitivités globale ou locale)
- ✓ Evaluation **qualitative** (analyse visuelle) et **quantitative** à partir d'un critère de performance (fonction mathématique) appelé **fonction objectif** ou **fonction critère** ou **fonction d'erreurs** ou **fonction de vraisemblance**.

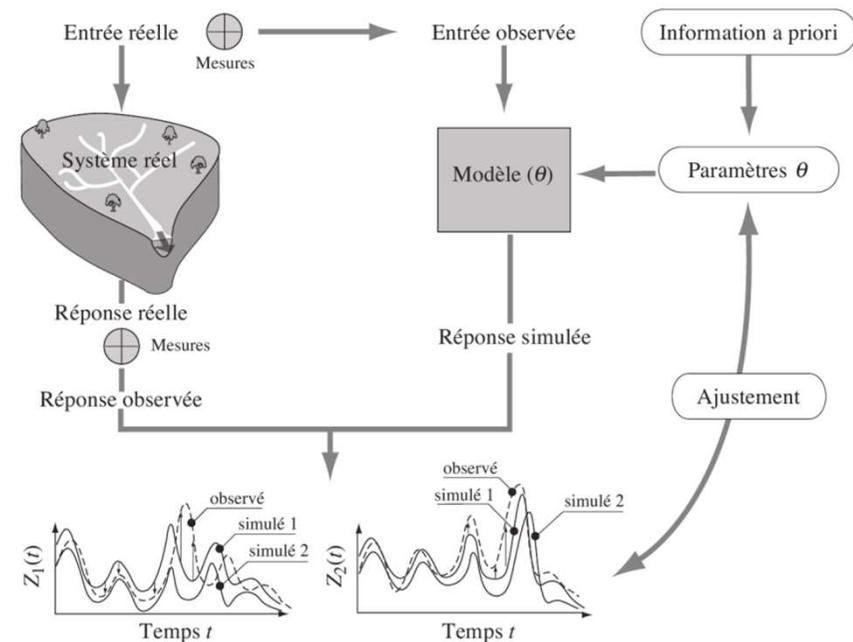


Illustration du processus de calage (Hingray et al., 2015)

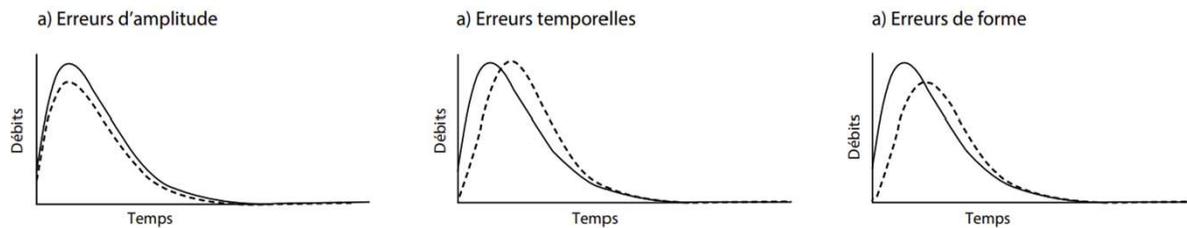
VIII. Processus de développement d'un modèle de prévision des crues 3/3

Principe de l'évaluation du modèle

- ❖ Un modèle doit être valide, parcimonieux, robuste, sensible
- ❖ Validation et vérification
 - ✓ Le modèle donne une représentation la plus exacte possible de la réalité: vérification
 - ✓ Le modèle donne une représentation raisonnable de la réalité adaptée à l'observation : validation
- ❖ Analyse d'incertitudes

IX. Mode de fonctionnement des modèles de prévision des écoulement en temps réel

- ✓ Modèles fonctionnant en mode sans mise à jour: inefficace pour la modélisation en temps réel

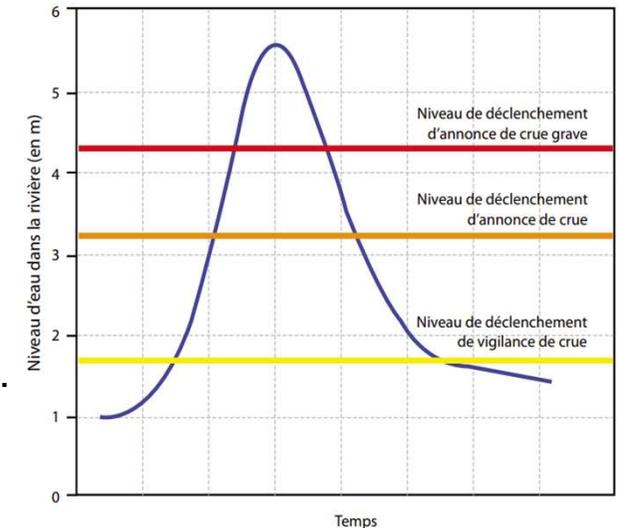


Types d'erreurs entre les hydrogrammes mesurés (___) et simulés (---) (OMM, 2011)

- ✓ Modèles avec mise à jour: plus adaptés pour la prévision des crues

X. Prévision et alertes de crues

- ❖ Deux types d'alerte de crue : alerte m t rologique et alerte hydrologique
- ❖ Les alertes de crues s'appuient sur des «seuils de déclenchement» en relation avec le niveau critique des rivières ou les quantités de précipitations qui sont indicatifs de l'approche ou de l'aggravation d'une crue
 - ✓ Alerte m t rologique : cumuls dépassant un certain seuil sur une période donnée, intensité des précipitation dépassant un taux donné, etc.
 - ✓ Alerte hydrologique : niveau des rivières augmentant jusqu'à un niveau de vigilance défini, vitesse de montée du niveau plus rapide qu'un seuil défini, etc.



Définition des seuils de déclenchement pour les divers niveaux d'annonce hydrologique de crue (OMM, 2011)

