

Evaluation des débits sur les cours d'eau dans une perspective de calcul des flux

Restitution de l'étude 2015-2017



Prof. François COLIN
Montpellier SupAgro, UMR LISAH

Problématique : estimation des débits sur des petits cours d'eau non jaugés

- Etablir des bilans de nutriments
- Flux = **Débit** x Concentration

Les difficultés intrinsèques aux bassins méditerranéens

Cours d'eau intermittents
Événements pluviométriques courts et intenses

L'option « tout mesure »

Coûts
Impacts

Nouvelles technologies
(capteurs, transmissions)

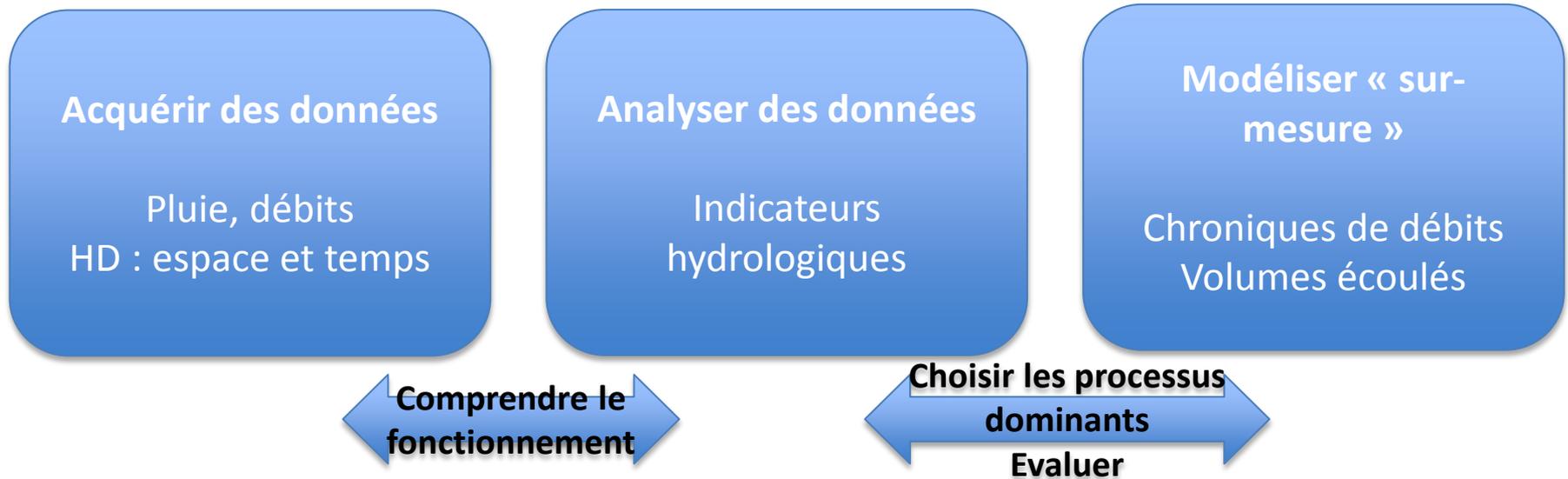
L'option « tout modèle »

Régionalisation de modèles globaux
Modèles à bases physiques distribués

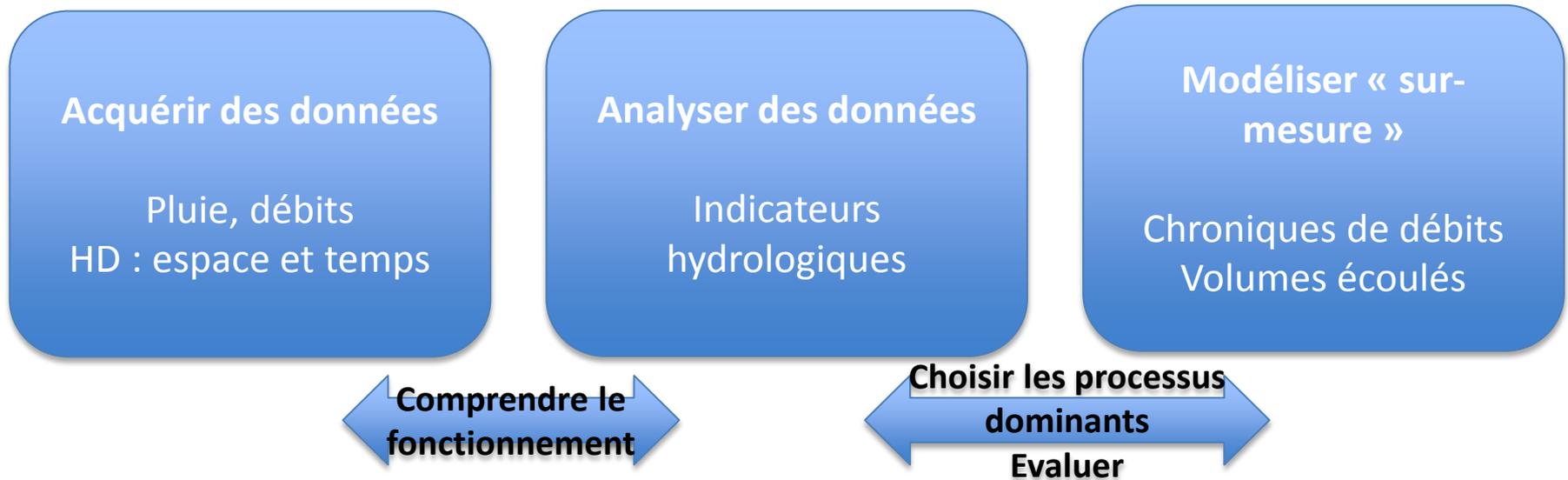
Modélisations
parcimonieuses



Proposition méthodologique



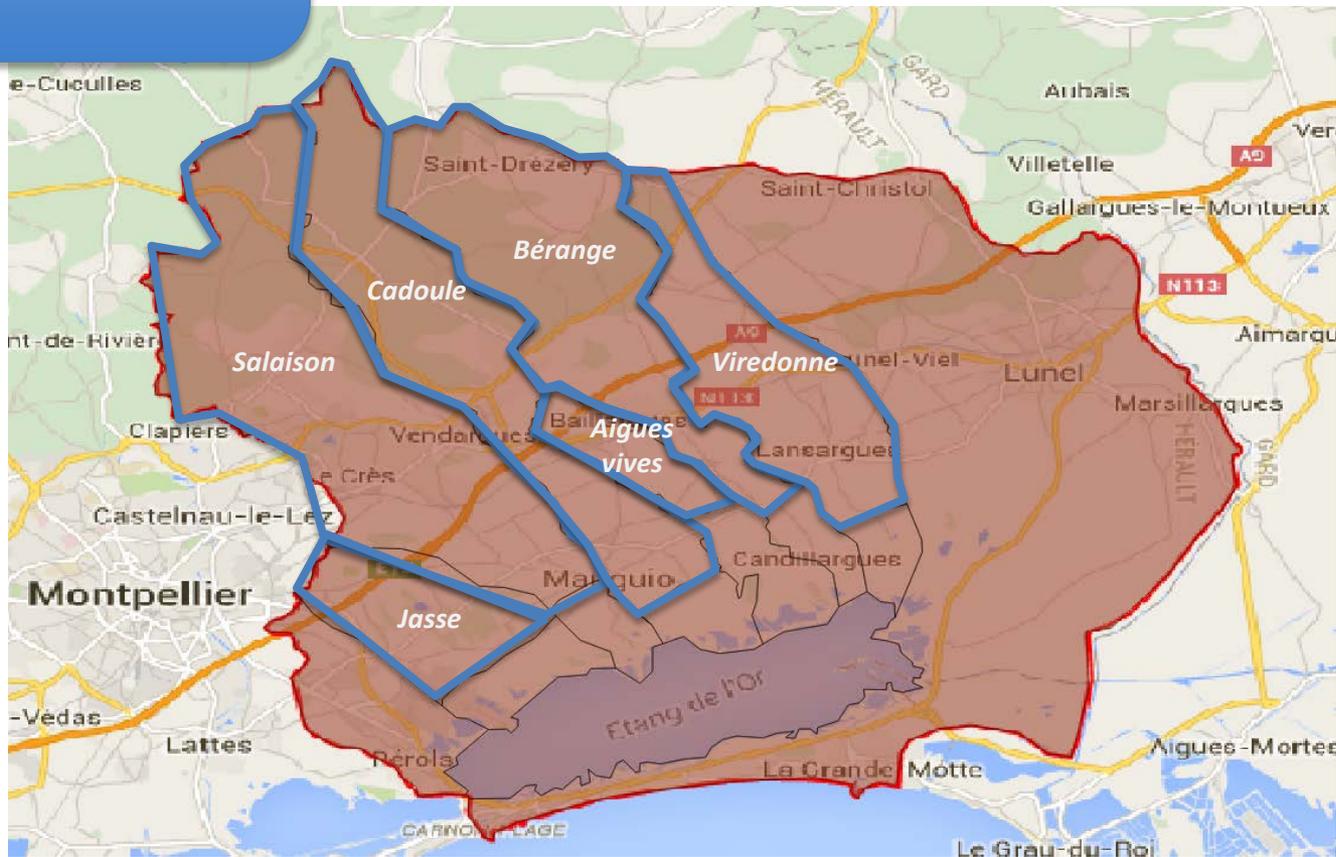
Proposition méthodologique



- *Projet septembre 2015 – novembre 2017*
co-financement Agence de l'Eau RMC-Montpellier SupAgro
- *Application au site du bassin de l'étang de l'Or*
- *Ressources*
 - *4 étudiants de Montpellier SupAgro (6 sem., Option Eau, Sol, Environnement)*
 - *Un contrat d'ingénieur : Julien Augas (12 mois)*
 - *Une équipe d'encadrants : F.Colin, A.Crabit*
 - *Comité de pilotage : A.Giraud, P. Théliet (SYMBO), C. Salles (HSM)*

Acquérir des données

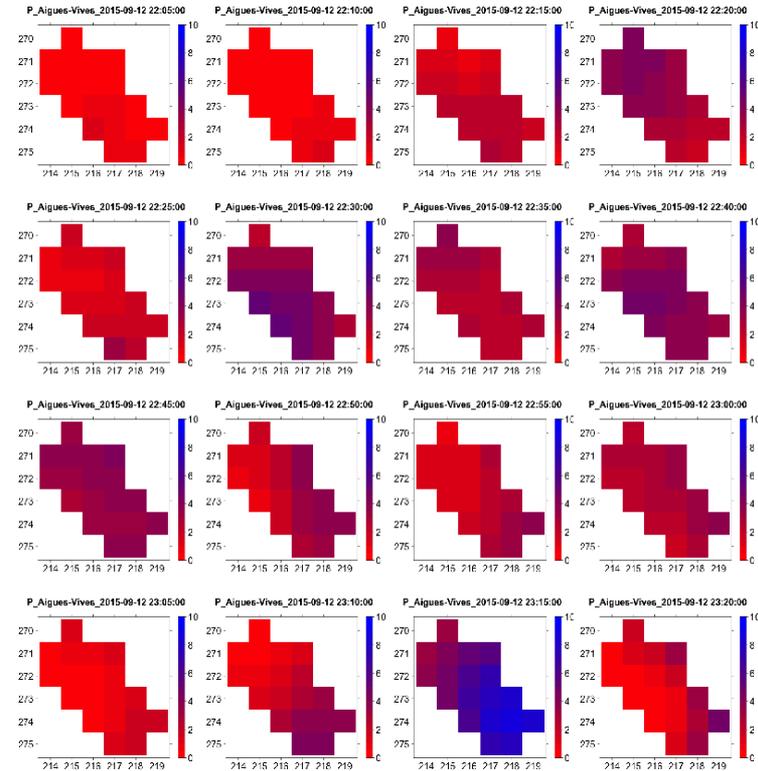
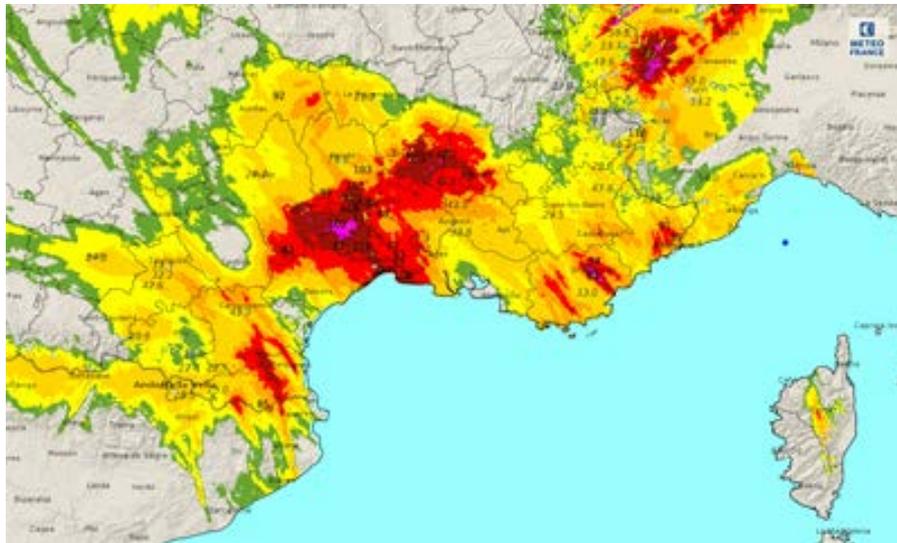
Site Atelier du BV de
l'étang de l'Or



Acquérir des données

Pluviométrie RADAR
METEO FRANCE

pas de temps 5'
Ex. bassin d'Aigues-Vives



Estimation de la pluie sur une maille de 1km*1km

Post-traitement → validation
sur des postes de référence

Acquérir des données

Estimation des débits : 1. Choix des sections

Jasse

Section naturelle



Aigues-Vives

Section régulière (pont)



Cadoule

Section naturelle + régulière (pont)



Bérange

Seuil dénoyé



Viredonne

Section naturelle



Régime d'écoulement, accessibilité

Acquérir des données

Estimation des débits : 2. Mesures des hauteurs d'eau

Furtif, non intrusif
nomade, coût bas ou modéré



- Mesure de pression
- Correction barométrique
- Effet température

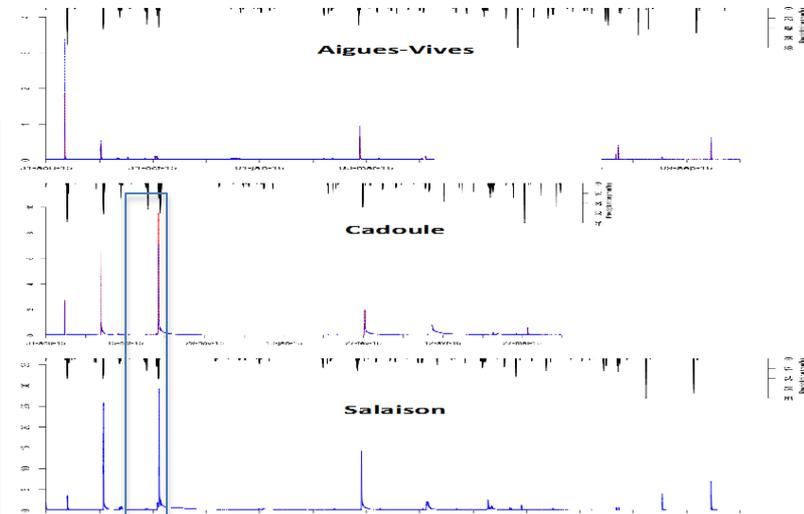
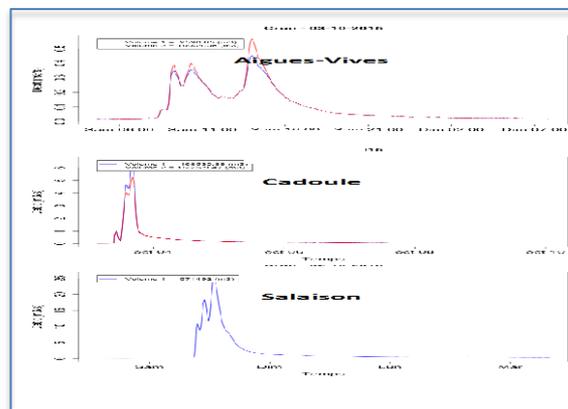
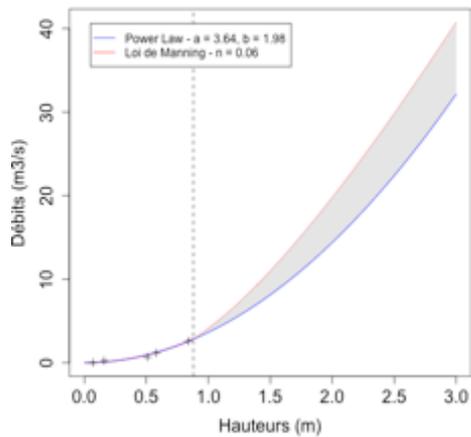
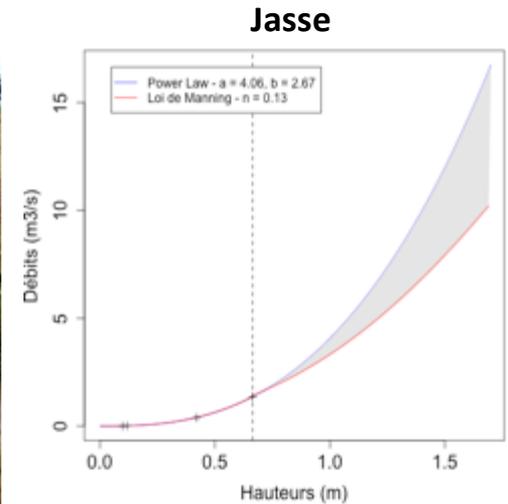


- Mesure de capacité électrique
- Prototypes en développement

Acquérir des données

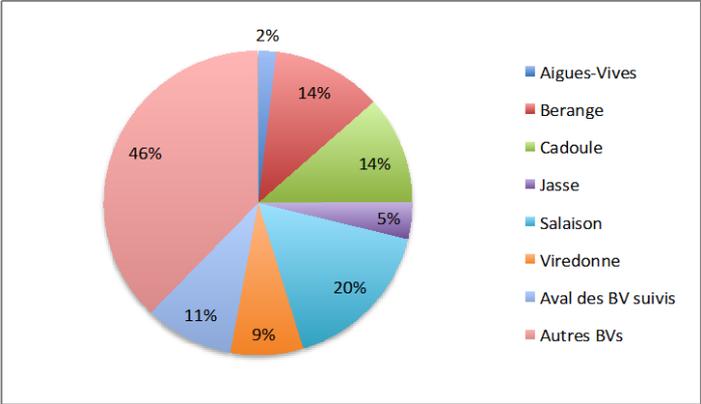
Estimation des débits : 3. Conversions hauteurs-débits

Jaugeages
Courbes de tarage
Incertitudes

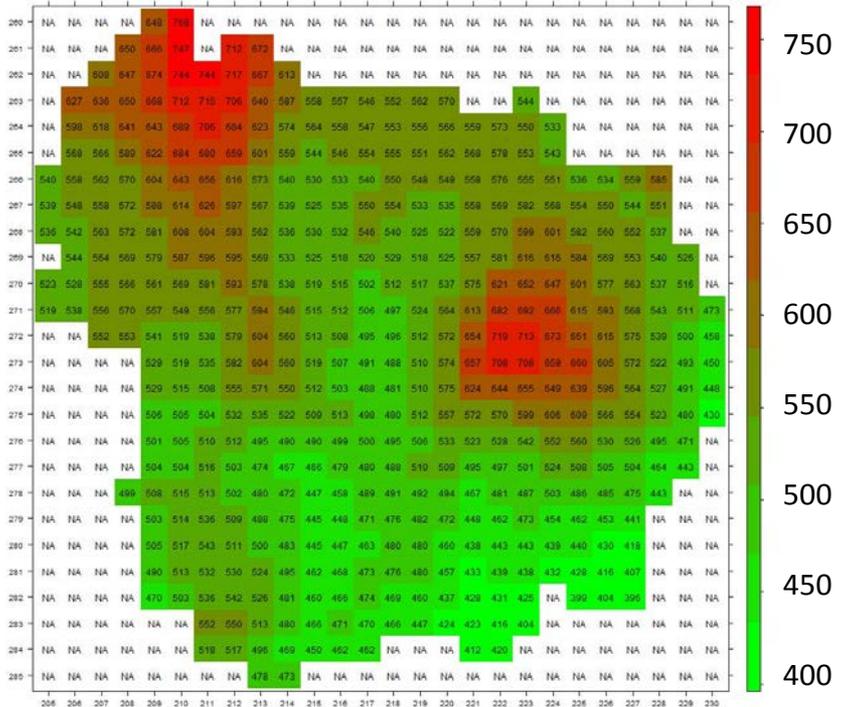


Analyser des données

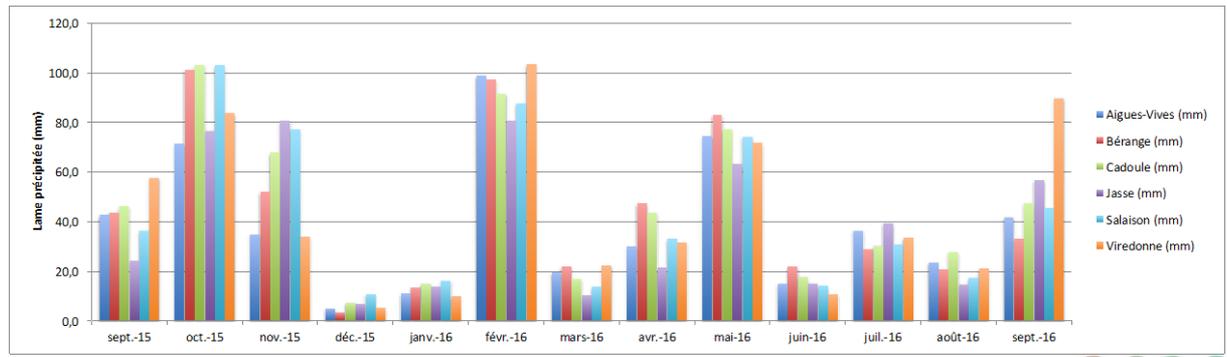
Indicateurs de pluies annuelle et mensuelles



P totale = 172 Mm3
 dont pluie directe sur l'étang = 15 Mm3



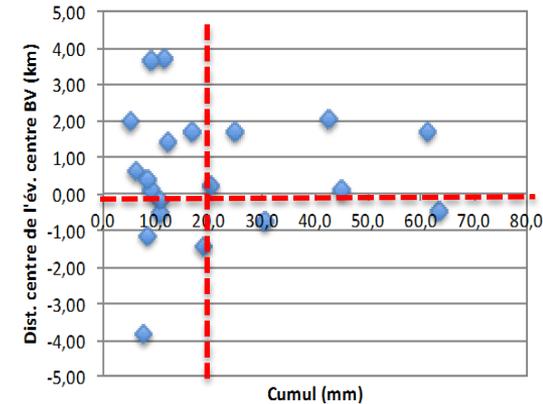
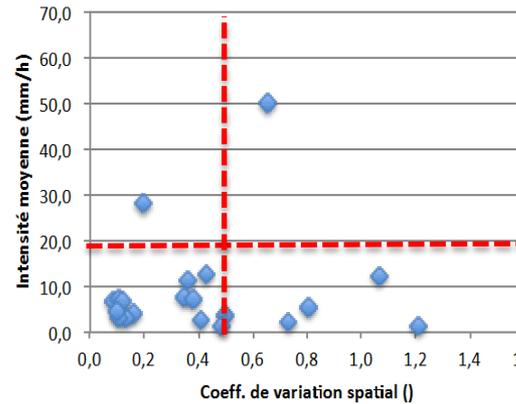
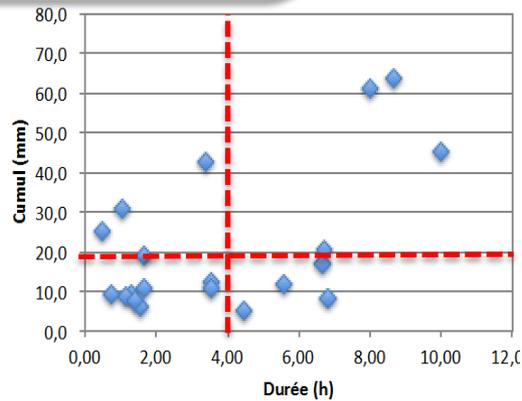
2015-2016
 $P_{\text{moy}} \text{ annuelle} = 540 \text{ mm}$
 $412 < < 747 \text{ mm}$
 ($P_{\text{moy}} \text{ interannuelle} : 621 \text{ mm}$)



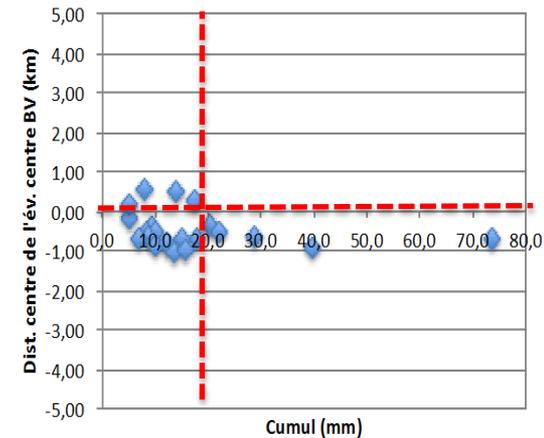
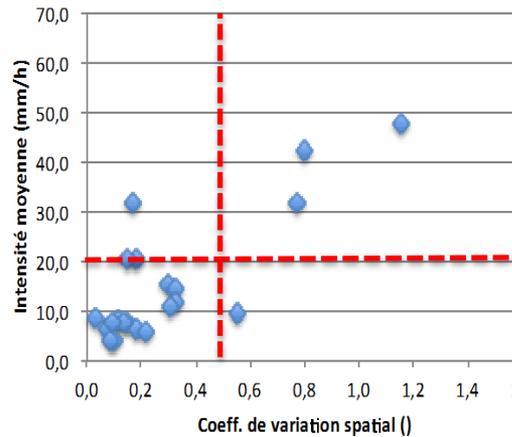
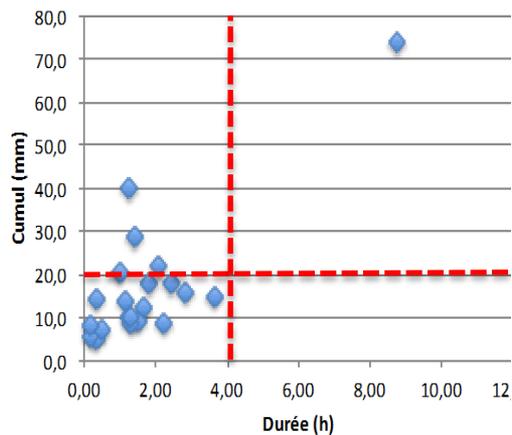
Analyser des données

Indicateurs de pluies événementielles

Cadoule



Aigues-Vives



Analyser des données

Indicateurs d'écoulements annuels

| | Surf. BV (km ²) | Période de mesure | V total (Mm ³) | Vcru (Mm ³) | Vhors-cru (Mm ³) | VSTEP (Mm ³) | Vcru/ Vtotal | Vhors-cru /Vtotal | VSTEP/ Vtotal | VSTEP/ Vhors-cru |
|--------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Aigues-Vives | 7,94 | 01/09/2015 - 17/06/2016 | 0,54 | 0,13 | 0,41 | 0,44 | 0,23 | 0,77 | 0,81 | 1,06 |
| | | 01/09/2015 - 31/08/2016 | 0,61 | 0,13 | 0,48 | - | 0,21 | 0,79 | - | - |
| Cadoule | 41,13 | 01/09/2015 - 17/06/2016 | 1,58 | 1,19 | 0,39 | - | 0,75 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| | | 01/09/2015 - 31/08/2016 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Salaison | 62 | 01/09/2015 - 17/06/2016 | 7,22 | 3,15 | 4,08 | - | 0,44 | 0,56 | 0,00 | 0,00 |
| | | 01/09/2015 - 31/08/2016 | 7,59 | 3,15 | 4,44 | - | 0,41 | 0,59 | 0,00 | 0,00 |

→ Salaison : plus gros contributeurs

→ Pas de rapport entre surface de bassins versants et apports à la lagune

→ Processus d'écoulement dominant(s)

- Aigues-Vives : apports STEP
- Cadoule : apports en crue
- Salaison : équilibres entre crue et hors-cru

Analyser des données

Indicateurs d'écoulements événementiels

| | | | 11/09/2015 - 14/09/2015 | 01/10/2015 - 07/10/2015 | 01/11/2015 - 11/11/2015 | 25/02/2016 - 04/03/2016 | 03/04/2016 - 17/04/2016 |
|---|------------|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Aigues-Vives (7,9 km ²) | Pluie (m3) | | 324675 | 330431 | 272628 | 632556 | 170392 |
| | | (mm) | 40,9 | 41,6 | 34,3 | 79,7 | 21,5 |
| | Vcrue (m3) | | 23018 | 20193 | 25300 | 27380 | 29945 |
| | | (mm) | 2,9 | 2,5 | 3,2 | 3,4 | 3,8 |
| | CE () | | 0,07 | 0,06 | 0,09 | 0,04 | 0,18 |
| Cadoule (41,1 km ²) | Pluie (m3) | | 1587824 | 2533978 | 2747525 | 2944661 | 7490925 |
| | | (mm) | 38,6 | 61,6 | 66,8 | 71,6 | 182,1 |
| | Vcrue (m3) | | 34043 | 166165 | 312557 | 146261 | 530118 |
| | | (mm) | 0,8 | 4,0 | 7,6 | 3,6 | 12,9 |
| | CE () | | 0,02 | 0,07 | 0,11 | 0,05 | 0,07 |
| Salaison (62,0 km ²) | Pluie (m3) | | 1706922 | 3601270 | 4691602 | 4262996 | 1268024 |
| | | (mm) | 27,5 | 58,1 | 75,7 | 68,8 | 20,5 |
| | Vcrue (m3) | | 101530 | 632462 | 1273580 | 682577 | 455969 |
| | | (mm) | 1,6 | 10,2 | 20,5 | 11,0 | 7,4 |
| | CE () | | 0,06 | 0,18 | 0,27 | 0,16 | 0,36 |

- 5 événements majeurs identifiés
- Coefficients d'écoulements : Salaison > Aigues-Vives, Cadoule
- Pas de relation simple entre pluies et débits (par BV et par év.)

Modéliser « sur- mesure »

Modèles existants

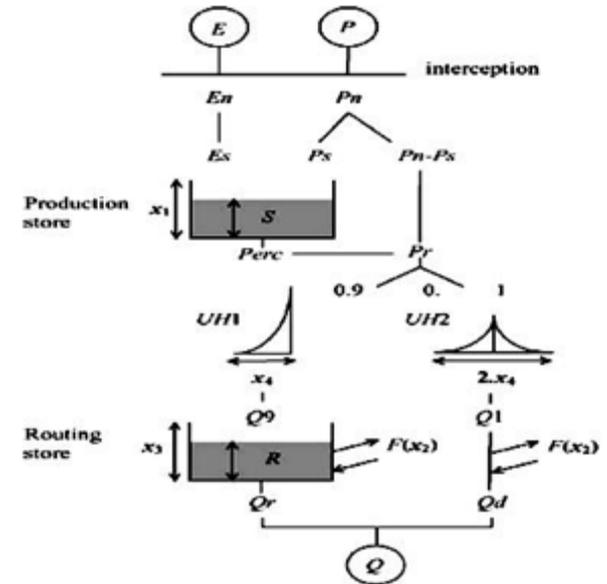
Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture



Equipe Hydrologie des bassins versants
Catchment hydrology research group



- *Modèle global*
- *pas de temps journalier*
- *4 paramètres*
- *Larges contextes d'utilisation*
- *Régionalisation*



Performances

- Saison : OK
- Autres : problèmes de paramètres et critères

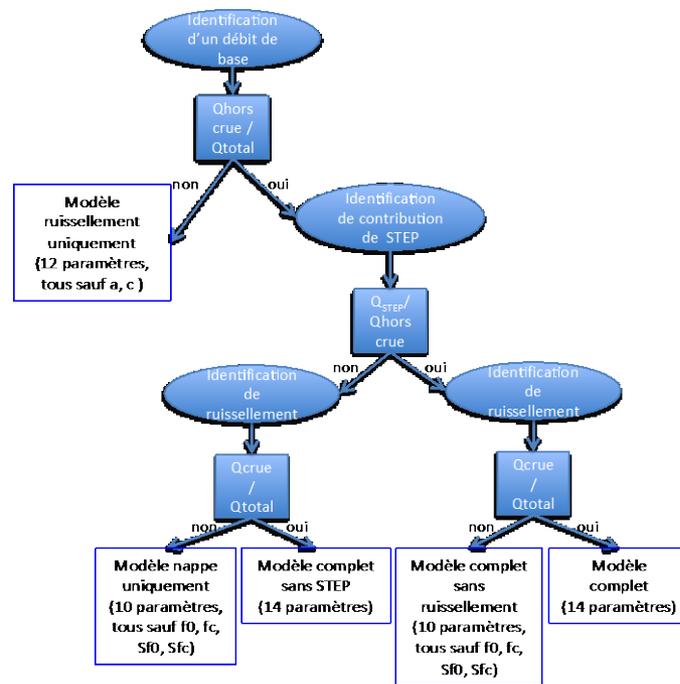
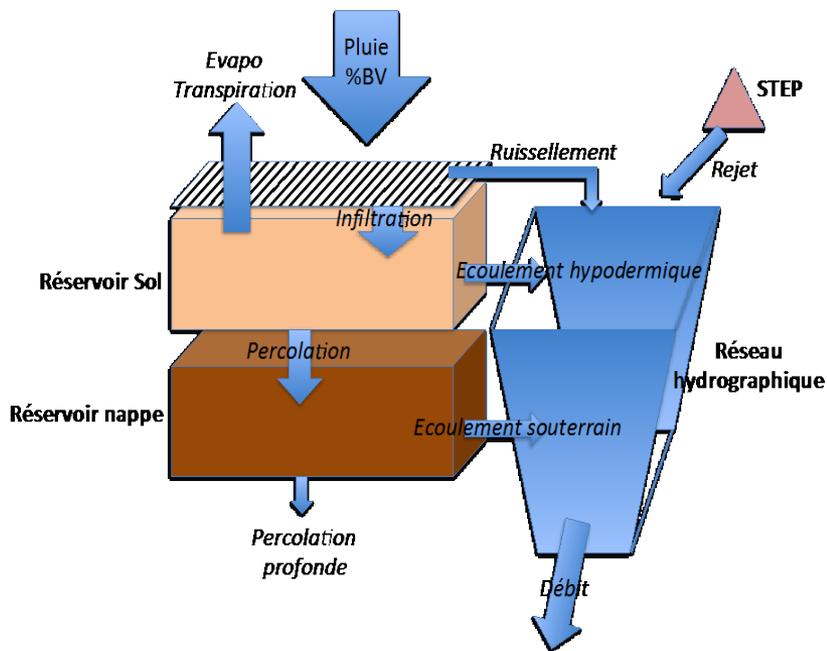
→ Limites d'utilisation

Modéliser « sur- mesure »

Conception du modèle

Principes :

- Modèle global à 3 réservoirs
- à pas de temps fin (5')
- pour chaque bassin en fonction des processus hydrologiques identifiés majeurs dans l'analyse des indicateurs



Modéliser « sur- mesure »

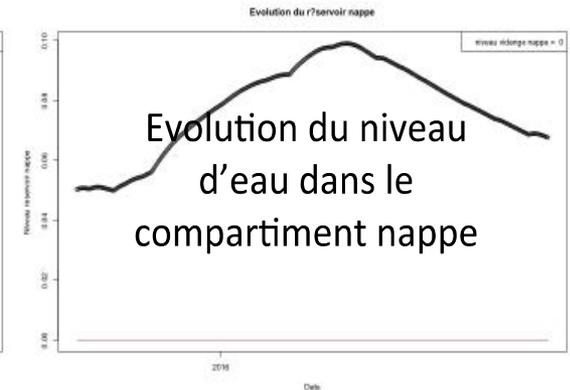
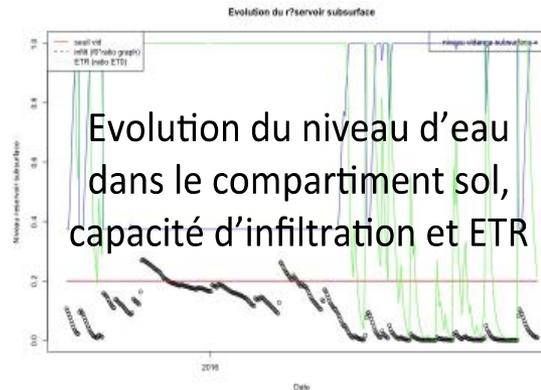
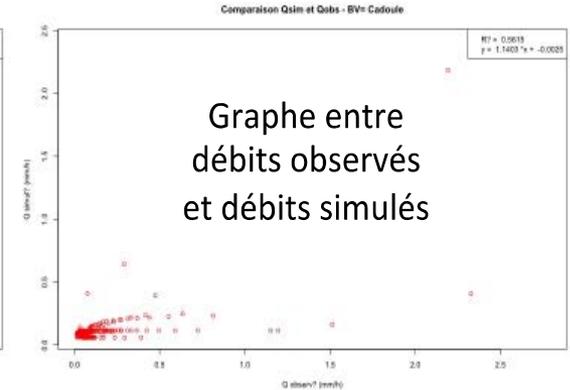
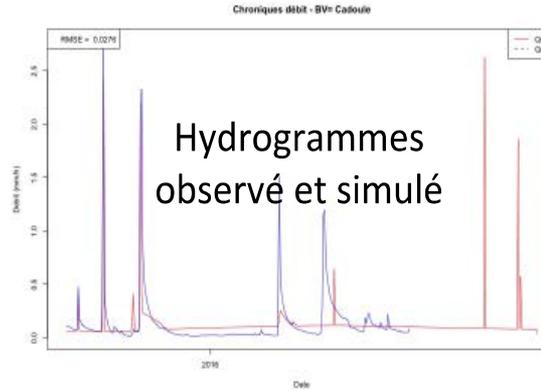
Paramétrisation et calibration

Stratégie de calibration

- fonction du nombre de paramètres
- fonction des critères et de l'optimum recherché
- Équi-finalité

Choix de la calibration manuelle

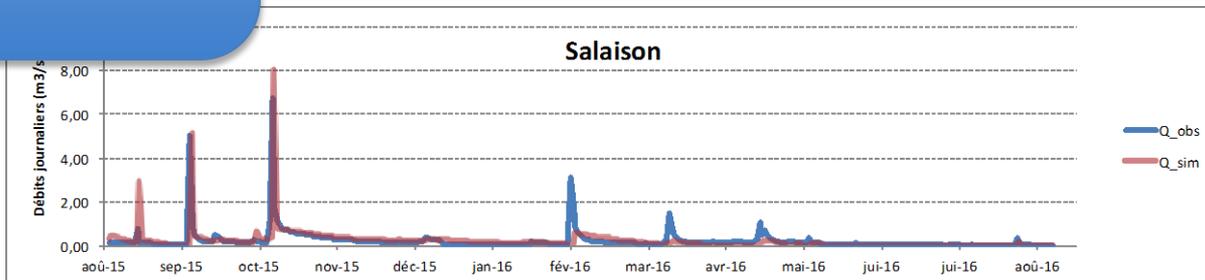
Appropriation du fonctionnement du bassin et expertise



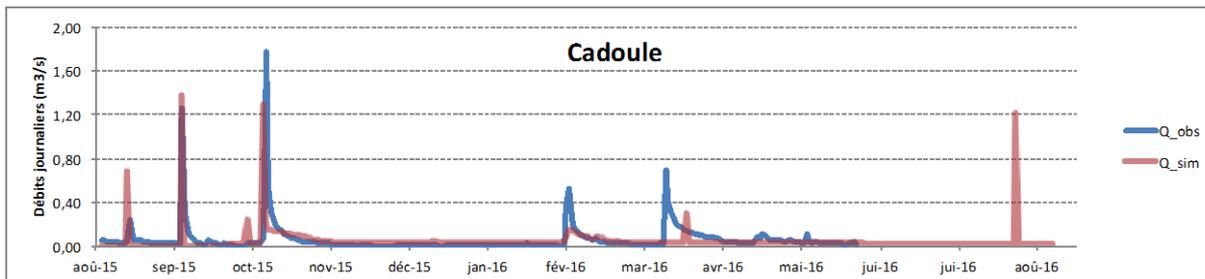
Modéliser « sur-
mesure »

Evaluation

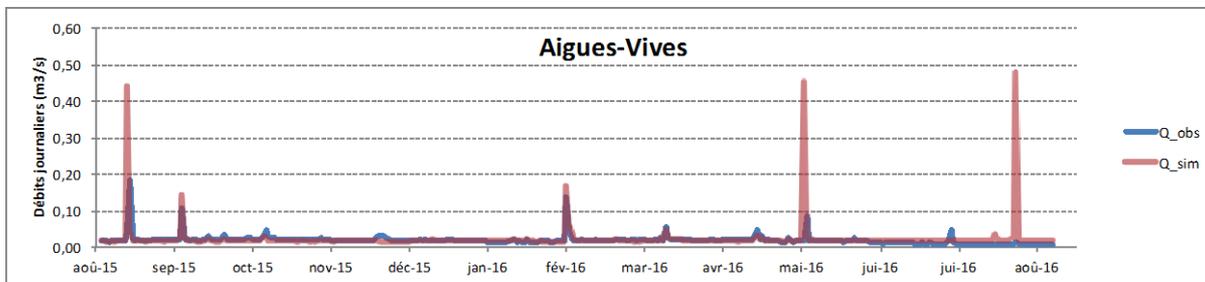
Evaluer, vérifier, valider...



$NS = 0,67$
 $R^2 = 0,72$
 $p = 0,8$
 $RMSE = 150 \text{ l/s}$



$NS = 0,51$
 $R^2 = 0,54$
 $p = 0,85$
 $RMSE = 30 \text{ l/s}$



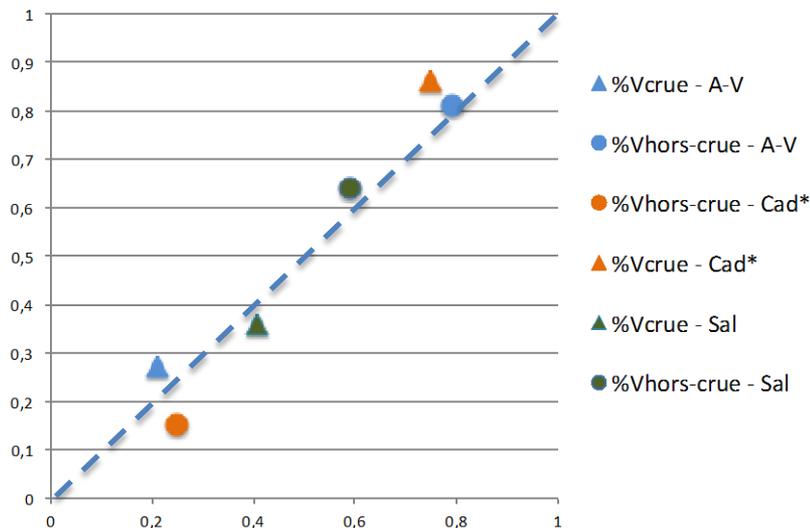
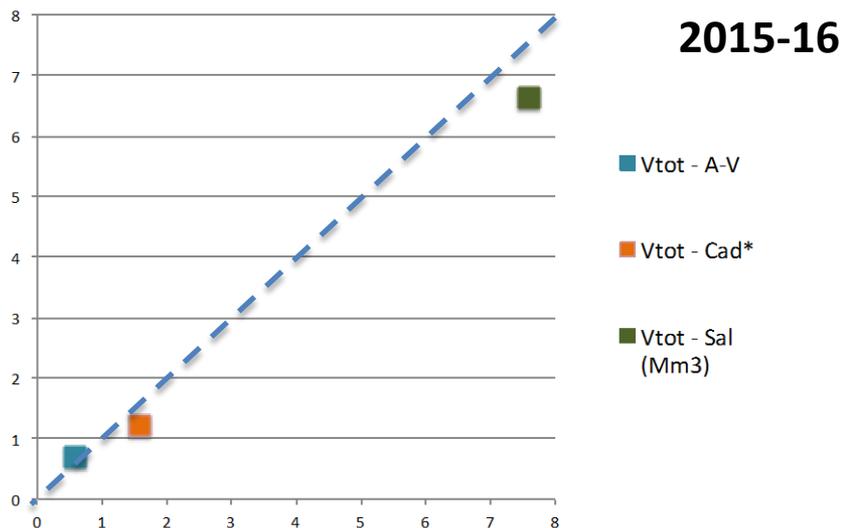
$NS = -7,8$
 $R^2 = 0,08$
 $p = 0,76$
 $RMSE = 2 \text{ l/s}$

Modéliser « sur-
mesure »

Performances

Les contributions totales et la part des périodes de contribution sont bien à très bien reproduits

Simulations



Observations

Les volumes sont donnés pour l'année 2015-16

* Les volumes sont donnés sur la Cadoule du 1^{er} sept. 2015 au 17 juin 2016

Retour d'expérience et perspectives

Acquérir des données

Pluie, débits
HD : espace et temps

Analyser des données

Indicateurs
hydrologiques

Modéliser « sur- mesure »

Chroniques de débits
Volumes écoulés

Pas d'originalité mais de l'ambition

Besoin d'une chaîne : acquisition – pré et post traitement – stockage

Jaugeages et incertitudes

Du suivi de quelques cours d'eau au monitoring

Retour d'expérience et perspectives

Acquérir des données

Pluie, débits
HD : espace et temps

Analyser des données

Indicateurs
hydrologiques

Modéliser « sur- mesure »

Chroniques de débits
Volumes écoulés

- Performance des modèles existants et taille des bassins
 - Du besoin de données de calibration / évaluation
 - Validité dans le temps des modèles calibrés et mesures complémentaires
- “plus on a de données, meilleurs sont les modèles et moins on a besoin des modèles”*
- Technicité requise et appropriation et expertise



Annexe 1

Modèles « sur-mesure » - Les variables

| Variables d'entrée | symbole | unité | pas de temps |
|---|----------------|--|---------------------|
| Pluie de bassin | $P(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Pourcentage de surface du bassin concernée par la pluie | $\%P(t)$ | () | 1 à 15 min |
| Evapotranspiration de référence | $Et_0(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Débit en sortie de station d'épuration | Q_{STEP} | (m ³ /s) | 1 à 15 min |
| | | | |
| Variables d'état | symbole | unité | pas de temps |
| Capacité d'infiltration | $f(t)$ | (mm/h) | 1 à 15 min |
| Stock d'eau dans le réservoir sol | $S(t)$ | (mm) ou (ratio en rapport à la capacité maximale de stockage du réservoir) | 1 à 15 min |
| Lame d'eau infiltrée | $LI(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Lame d'eau ruisselée | $LR(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Evapotranspiration | $ETR(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Lame d'eau contribuant aux écoulements hypodermiques | $LH(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Percolation du sol vers la nappe superficielle | $SP(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| Niveau d'eau dans le réservoir nappe | $N(t)$ | (mm) ou (ratio en rapport à la capacité maximale de stockage du réservoir) | 1 à 15 min |
| Lame d'eau contribuant aux écoulements de nappes | $LN(t)$ | (mm) | 1 à 15 min |
| | | | |
| Variable de sortie | symbole | unité | pas de temps |
| Débit dû au ruissellement | $QR(t)$ | (m ³ /s) | 1h à 1 jour |
| Débit dû aux écoulements hypodermiques | $QHyp(t)$ | (m ³ /s) | 1h à 1 jour |
| Débit dû aux écoulements de nappe | $QN(t)$ | (m ³ /s) | 1h à 1 jour |
| Débit total | $Q(t)$ | (m ³ /s) | 1h à 1 jour |
| | | | |

Annexe 2

Modèles « sur-mesure » - Les paramètres

| Conditions initiales | unité | symbole | Aigues-Vives | Cadoule | Salaison |
|---|--------|---------------|--------------|---------|----------|
| Stock d'eau initial dans le réservoir sol | (mm) | $S(t)$ | 60 | 62 | 80 |
| Niveau d'eau initial dans le réservoir nappe | (mm) | $N(t)$ | 8 | 8 | 8 |
| Paramètres | | | | | |
| Caractéristiques des réservoirs | | | | | |
| Capacité maximale du réservoir sol | (mm) | S_{max} | 400 | 400 | 400 |
| Seuil de déversement du réservoir sol dans le réseau hydrographique | (mm) | S_{vsol} | 40 | 70 | 20 |
| Capacité maximale du réservoir nappe | (mm) | N_{max} | 400 | 400 | 400 |
| Seuil de déversement de la nappe vers le réseau hydrographique | (mm) | NS_{Vnappe} | 6,8 | 6,8 | 40 |
| Calcul du ruissellement | | | | | |
| Capacité d'infiltration maximale en condition de sol sec | (mm/h) | f_0 | 55 | 75 | 80 |
| Capacité d'infiltration minimale en condition de sol humide | (mm/h) | f_c | 25 | 27 | 22 |
| Stock en deçà duquel le sol est considéré sec du point de vue du ruissellement | (mm) | Sf_0 | 20 | 10 | 10 |
| Stock au delà duquel le sol est considéré humide du point de vue du ruissellement | (mm) | Sf_c | 30 | 35 | 35 |
| Calcul de l'évapotranspiration | | | | | |
| Stock en deçà duquel le sol est considéré sec du point de vue de l'évapotranspiration | (mm) | S_{ETmin} | 0 | 0 | 0 |
| Stock au delà duquel le sol est considéré humide du point de vue de l'évapotranspiration | (mm) | S_{ETmax} | 15 | 15 | 52 |
| Coefficients de vidange | | | | | |
| du sol vers le réseau hydrographique | () | a | 0,00005 | 2.5e-05 | 0,00004 |
| du sol vers la nappe | () | b | 0,00005 | 0,00001 | 0,00001 |
| de la nappe vers le réseau hydrographique | () | c | 0 | 1.5e-05 | 0,00005 |
| de la nappe vers un compartiment profond | () | d | 0 | 0,00001 | 0 |
| Paramètres de la fonction de transfert | | | | | |
| Décalage temporel entre la production de ruissellement et son arrivée à l'exutoire du bassin | (h) | $lagR$ | 2,2 | 5,8 | 5,4 |
| Décalage temporel entre la production de d'écoulements sub-surface et leur arrivée à l'exutoire du bassin | (h) | $lagSS$ | 4,2 | 9,5 | 9,3 |
| Performances / hydrogramme | | | | | |
| Erreur quadratique moyenne | (m3/s) | $RMSE$ | 0,002 | 0,03 | 0,15 |
| Coefficient de détermination | () | R^2 | 0,08 | 0,54 | 0,72 |
| Pente entre débits obs. et débits sim. | () | p | 0,76 | 0,85 | 0,8 |
| Coefficient de Nash-Sutcliffe | () | NS | -7,8 | 0,51 | 0,67 |