

Colloque SHF "Prévision des crues et des inondations"

Toulouse - 28 au 30 novembre 2023



Prévisions hydrologiques d'ensemble au sein du réseau Vigicrues

— Nantes (Pont Anne de Bretagne) ...

Moulins (Allier) - **Hauteurs** - 16/06/2020 10:39

Afficher les données sur : 1 jour 3 jours 7 jours 14 jours 30 jours Zoom init.



Légende

— Moulins (Allier) — Crue du 3 juin 2016 - 0.93 m

TIBERI-WADIER Anne-Laure

Cerema Risques, Eaux et Mer, anne-laure.tiberi-wadier@cerema.fr

BELLEUDY Anne LE PAPE Etienne RAMOS Maria-Helena RICCI Sophie GOUTAL Nicole

Contexte et objectifs de l'étude

Historique

Historique

Travail de thèse *Prévisions d'ensemble hydrologiques et hydrauliques pour la vigilance crues* soutenu en 2021

⇒ Des prévisions d'ensemble sont réalisées sur le bassin versant de l'Odet (Finistère) avec la méthode de calibration statistique *Quantile Regression Forests* (QRF) appliquée sur un ensemble brut,

MAIS

le travail est effectué avec le code hydrologique semi-distribué MORDOR-TS (propriété EDF-DTG)

Contexte et objectifs de l'étude

Etudes présentées : 2022 et 2023

Etudes présentées aujourd'hui

Dans un objectif de passage vers l'opérationnel, le travail est désormais réalisé avec **le code hydrologique GRP** utilisé en opérationnel au sein du réseau Vigicrues. Deux méthodologies sont comparées :

- **calibration statistique QRF** d'un ensemble de prévision brut généré avec le modèle GRP
- **méthode OTAMIN** (INRAE), utilisée actuellement par le réseau Vigicrues pour l'estimation des incertitudes de prévision

⇒ La présentation synthétise des résultats de deux études (2022 et 2023) réalisées par le Cerema pour le SCHAPI

Plan

- 1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP
- 2 Les prévisions probabilistes
- 3 Mise en oeuvre des méthodologies QRF et OTAMIN
- 4 Résultats
- 5 Conclusions et perspectives

Plan

1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP

- Bassins versants d'étude
- Modèles GRP utilisés

2 Les prévisions probabilistes

- Présentation
- Apprentissage et validation

Bassins versants de l'Odet, SPC Vilaine et Côtiers Bretons (VCB)

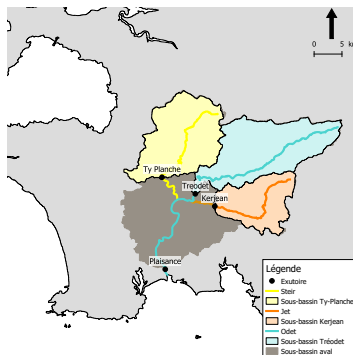
Etude 2022

Caractéristiques

→ Bassins versants sur lesquels a porté le travail de thèse et l'étude 2022

→ 3 sous-bassins à l'amont de Quimper

- Odet (205 km²) : exutoire à Tréodet
- Jet (107 km²) : exutoire à Kerjean
- Steir (180 km²) : exutoire à Ty Planche



Bassins versants du SPC Loire Allier Cher Indre (LACI)

Etude 2023



Caractéristiques

- 13 bassins versants sur lesquels a porté le travail de l'étude 2023
- Surfaces de BV variant entre 49 et 1523 km².

Plan

1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP

- Bassins versants d'étude
- Modèles GRP utilisés

2 Les prévisions probabilistes

- Présentation
- Apprentissage et validation

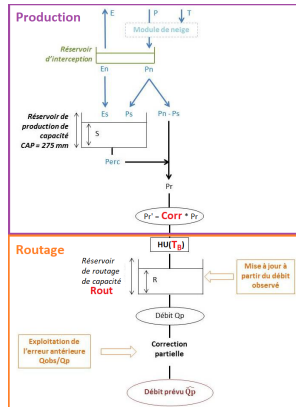
Modèle hydrologique GRP (INRAE)

PREVISION et SIMULATION

Paramètre	Unité	Rôle
C_{corr}	-	Coefficient correctif pour les précipitations
T_B	heures	Temps de base de l'hydrogramme unitaire
R_{out}	mm	Capacité du réservoir de routage

Fonctionnement en PREVISION ou SIMULATION

- **PREVISION** : mise à jour du contenu du réservoir de routage et exploitation de l'erreur antérieure (assimilation de données)
- **SIMULATION** : pas d'assimilation de données



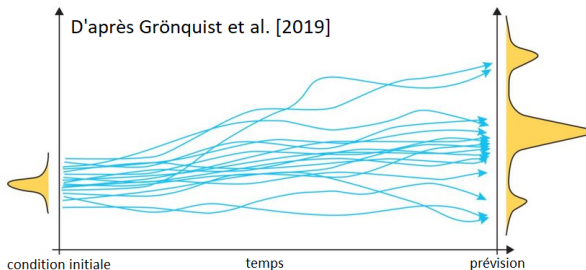
Plan

- 1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP
 - Bassins versants d'étude
 - Modèles GRP utilisés
- 2 Les prévisions probabilistes
 - Présentation
 - Apprentissage et validation
- 3 Mise en oeuvre des méthodologies QRF et OTAMIN
 - Post-traitement QRF d'un ensemble brut
 - Post-traitement OTAMIN

Les prévisions probabilistes

Plusieurs manières d'obtenir des prévisions probabilistes (Jolliffe et al, 2013) :

- application de méthodes statistiques : modèle déterministe + statistiques de performances passées → ex : OTAMIN
- ensemble de prévisions déterministes, indépendantes et équiprobables → **les prévisions d'ensemble** → ex : méthodologie QRF



Vérification des ensembles

Fiabilité et résolution

Fiabilité et **Résolution**, deux caractéristiques essentielles d'une prévision probabiliste (Jolliffe et al (2013)).

Fiabilité

Représente la cohérence statistique entre les prévisions réalisées *a priori* et les fréquences observées *a posteriori*.

Résolution

Capacité d'une prévision à discriminer *a priori* les cas pour lesquels l'événement se produit plus ou moins fréquemment que la climatologie de référence.

Score	Carac. évaluée	Valeur objectif
CRPS	fiabilité et résolution	→ 0
Norme histogramme de rang	fiabilité	→ 0
100*AUC (aire sous la courbe ROC)	résolution	→ 100

Plan

- 1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP
 - Bassins versants d'étude
 - Modèles GRP utilisés
- 2 Les prévisions probabilistes
 - Présentation
 - Apprentissage et validation
- 3 Mise en oeuvre des méthodologies QRF et OTAMIN
 - Post-traitement QRF d'un ensemble brut
 - Post-traitement OTAMIN

Apprentissage et validation

Périodes concernées

Périodes pour l'apprentissage

Les deux méthodologies mises en oeuvre (QRF et OTAMIN) nécessitent une période d'apprentissage qui doit couvrir une large typologie d'événements
→ on retient des périodes de 2 ou 3 ans

Validation (équivalent à l'opérationnel)

Période 2010-2019, dans laquelle sont retirées les périodes d'apprentissage.

Apprentissage et validation

Quelles données ?

Données utilisées pour l'apprentissage et la validation

Débits hydrologiques GRP

- Validation (=opérationnel) : GRP forcé avec des prévisions de pluie (RR3)
- Apprentissage : GRP forcé avec mesures ou prévisions de pluie ?

→ l'étude a montré que l'apprentissage avec la mesure de pluie ne dégrade pas significativement les performances des ensembles

→ beaucoup plus facile à mettre en oeuvre en opérationnel

→ C'est ce qui est présenté dans la suite

Plan

- 1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP
 - Bassins versants d'étude
 - Modèles GRP utilisés
- 2 Les prévisions probabilistes
 - Présentation
 - Apprentissage et validation
- 3 Mise en oeuvre des méthodologies QRF et OTAMIN
 - Post-traitement QRF d'un ensemble brut
 - Post-traitement OTAMIN

Génération d'une prévision d'ensemble brute

Espace incertain

Paramètres incertains

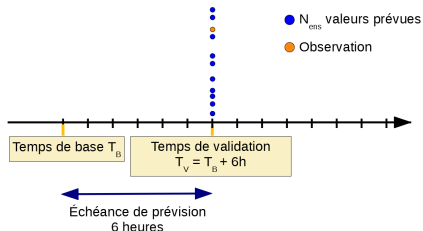
- les 3 paramètres de calage de GRP $Rout$, $Corr$, T_B
- bornes estimées par des séries de calage du modèle sur 2 et 3 ans entre 2007 et 2019
- tirage dans une loi uniforme continue : 99 membres générés

Méthode QRF

Présentation

Échantillon d'apprentissage

Ensemble de couples (prévision d'ensemble, observation associée)

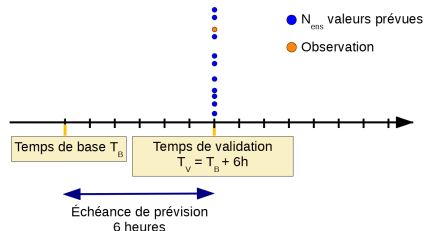


Méthode QRF

Présentation

Échantillon d'apprentissage

Ensemble de couples (prévision d'ensemble, observation associée)



Construction d'une forêt aléatoire constituée d'un ensemble d'arbres de décision.

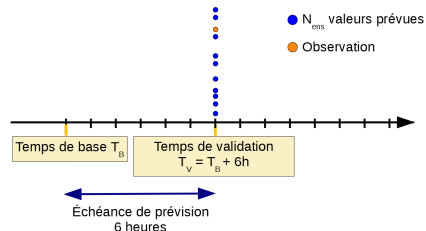
- Agrégation des observations dans des feuilles selon leur prévision, caractérisée par des prédicteurs (moyenne, écart-type, ...)

Méthode QRF

Présentation

Échantillon d'apprentissage

Ensemble de couples (prévision d'ensemble, observation associée)



Construction d'une forêt aléatoire constituée d'un ensemble d'arbres de décision.

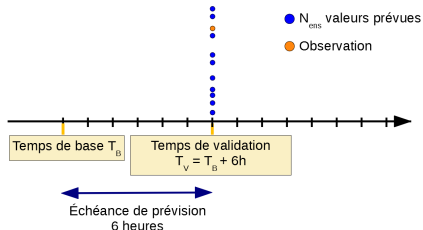
- Agrégation des observations dans des feuilles selon leur prévision, caractérisée par des prédicteurs (moyenne, écart-type, ...)
- A chaque noeud de l'arbre : choix des prédicteurs et seuils maximise l'homogénéité des observations dans les deux sous-groupes créés.

Méthode QRF

Présentation

Échantillon d'apprentissage

Ensemble de couples (prévision d'ensemble, observation associée)



Construction d'une forêt aléatoire constituée d'un ensemble d'arbres de décision.

- Agrégation des observations dans des feuilles selon leur prévision, caractérisée par des prédicteurs (moyenne, écart-type, ...)
- A chaque noeud de l'arbre : choix des prédicteurs et seuils maximise l'homogénéité des observations dans les deux sous-groupes créés.
- Calibration opérationnelle : les feuilles retenues sont agrégées et les observations qui les constituent forment une densité de probabilité empirique à partir de laquelle sont tirés des quantiles calibrés.

Méthode QRF - Application

Prédicteurs - A partir d'un ensemble brut

Nom	Unité	Description
<i>Mean</i>	m^3/s	Moyenne de l'ensemble brut
<i>Sigma</i>	m^3/s	Ecart-type de l'ensemble brut
<i>Month</i>		Mois de la prévision
<i>Period</i>		Moment prévision (0h-6h, 6h-12h, 12h-18h, 18h-24h)
<i>PrecQ₀</i>	m^3/s	Débit mesuré au temps de base
<i>GradQ₀</i>	m^3/s^2	Gradient du débit mesuré au temps de base
<i>P_{mes}</i>	mm	Pluie mesurée sur le bassin versant sur la période [24h-ech, T_B]
<i>P_{prev}</i>	mm	Pluie prévue sur le bassin versant sur la période [$T_B + 1$ heure, ech]

Méthode QRF - Application

Prédicteurs - A partir d'une prévision déterministe

Nom	Unité	Description
<i>Previ_{det}</i>	m ³ /s	Prévision déterministe du modèle calé
<i>Month</i>		Mois de la prévision
<i>Period</i>		Moment prévision (0h-6h, 6h-12h, 12h-18h, 18h-24h)
<i>PrecQ₀</i>	m ³ /s	Débit mesuré au temps de base
<i>GradQ₀</i>	m ³ /s ²	Gradient du débit mesuré au temps de base
<i>P_{mes}</i>	mm	Pluie mesurée sur le bassin versant sur la période [24h-ech, T_B]
<i>P_{prev}</i>	mm	Pluie prévue sur le bassin versant sur la période [$T_B + 1$ heure, ech]

Test réalisé

- on utilise le prédicteur *Previ_{det}* à la place de la moyenne et de l'écart-type de l'ensemble
- objectif : ne pas avoir à construire un ensemble brut avant de mettre en place la calibration QRF
- plus simple à mettre en oeuvre en opérationnel

Plan

- 1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP
 - Bassins versants d'étude
 - Modèles GRP utilisés
- 2 Les prévisions probabilistes
 - Présentation
 - Apprentissage et validation
- 3 Mise en oeuvre des méthodologies QRF et OTAMIN
 - Post-traitement QRF d'un ensemble brut
 - Post-traitement OTAMIN

Méthode OTAMIN (INRAE)

Présentation

Application du post-traitement OTAMIN

- OTAMIN : OuTil Automatique d'estiMation de l'INcertitude prédictive
- permet d'associer des intervalles prédictifs aux prévisions hydrologiques déterministes

Mise en place de conditionnements

Les conditionnements OTAMIN testés sont les suivants :

- aucun conditionnement
- conditionnement UPDW (up-down) : 2 groupes selon les montées et descentes de crue
- conditionnement SEAS (season) : quatre groupes selon les saisons

Plan

4 Résultats

- Quel GRP utiliser pour quelle méthodologie ?
- QRF : impact de la calibration à partir d'une prévision déterministe
- OTAMIN : impact de l'application de conditionnements
- Résultats comparés des deux méthodologies

5 Conclusions et perspectives

GRP en PREVISION ou en SIMULATION ?

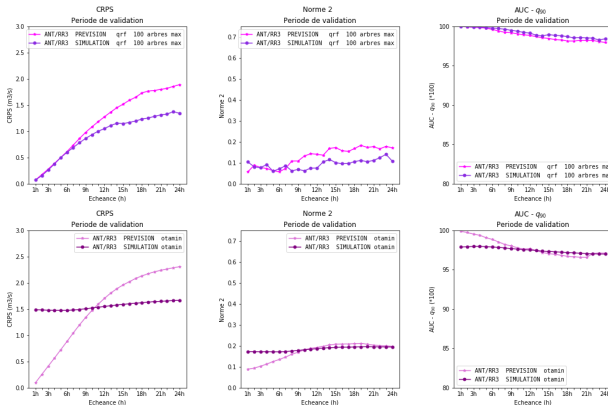
Exemple à Ty-Planche (Finistère)

Méthodologie QRF

— QRF - PREVISION
— QRF - SIMULATION

Méthodologie OTAMIN

— OTAMIN - PREVISION
— OTAMIN - SIMULATION



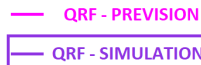
Conclusions : meilleurs ensembles sur la période de validation

- méthodologie QRF : ensembles calibrés à partir d'un ensemble brut construit avec GRP en **SIMULATION**
- méthodologie OTAMIN : les ensembles construits à partir du modèle GRP utilisé en **PREVISION** (avec assimilation de données)

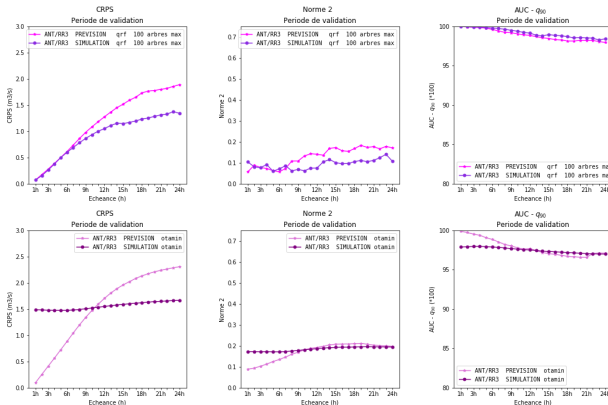
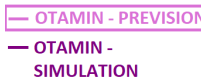
GRP en PREVISION ou en SIMULATION ?

Exemple à Ty-Planche (Finistère)

Méthodologie QRF



Méthodologie OTAMIN



Conclusions : meilleurs ensembles sur la période de validation

- méthodologie QRF : ensembles calibrés à partir d'un ensemble brut construit avec GRP en **SIMULATION**
- méthodologie OTAMIN : les ensembles construits à partir du modèle GRP utilisé en **PREVISION** (avec assimilation de données)

Plan

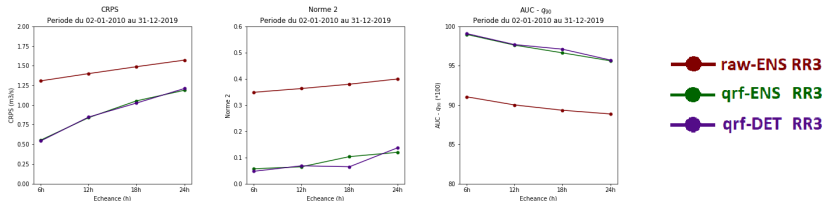
4 Résultats

- Quel GRP utiliser pour quelle méthodologie ?
- QRF : impact de la calibration à partir d'une prévision déterministe
- OTAMIN : impact de l'application de conditionnements
- Résultats comparés des deux méthodologies

5 Conclusions et perspectives

Méthodologie QRF

Calibration à partir d'une prévision déterministe - Exemple à Cusset



Conclusions

- La calibration QRF améliore nettement les scores par rapport à la prévision d'ensemble brute
- L'utilisation d'une prévision déterministe ne dégrade pas significativement les scores
- A noter : sous cette hypothèse, ce n'est pas possible de reconstruire des membres (i.e. des chroniques de débits) qui pourraient ensuite alimenter un modèle hydraulique par exemple

Plan

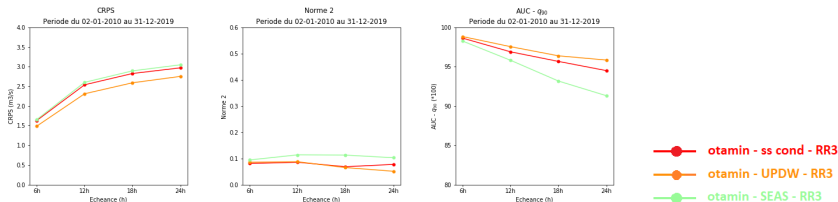
4 Résultats

- Quel GRP utiliser pour quelle méthodologie ?
- QRF : impact de la calibration à partir d'une prévision déterministe
- **OTAMIN : impact de l'application de conditionnements**
- Résultats comparés des deux méthodologies

5 Conclusions et perspectives

Méthodologie OTAMIN

Impact de l'application des conditionnements internes - Exemple à Chambon-sur-Lignon



Contionnement interne

- Rappel : conditionnements testés : aucun, UPDW et SEAS
- Le conditionnement UPDW permet d'obtenir les meilleurs scores pour les ensembles
- Caractéristique globalement retrouvée sur l'ensemble des 13 bassins versants du SCP LACI testés

Plan

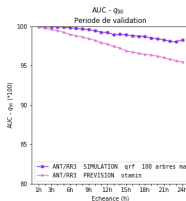
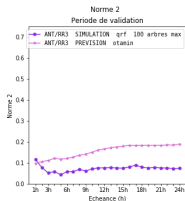
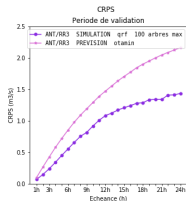
4 Résultats

- Quel GRP utiliser pour quelle méthodologie ?
- QRF : impact de la calibration à partir d'une prévision déterministe
- OTAMIN : impact de l'application de conditionnements
- Résultats comparés des deux méthodologies

5 Conclusions et perspectives

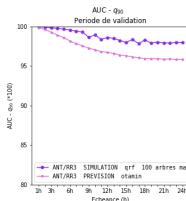
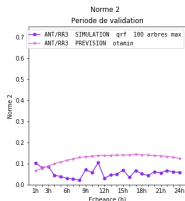
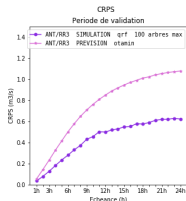
Comparaison post-traitements QRF et OTAMIN

Quand QRF est meilleur qu'OTAMIN...Tréodet et Kerjean (Odet)



— QRF

— OTAMIN

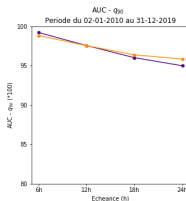
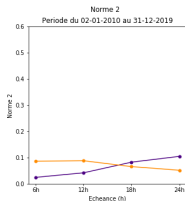
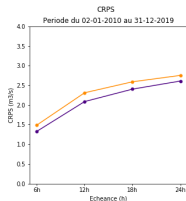


— QRF

— OTAMIN

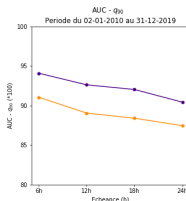
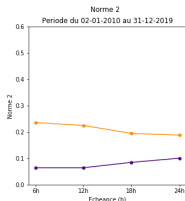
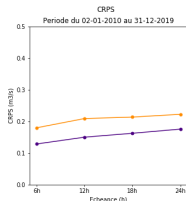
Comparaison post-traitements QRF et OTAMIN

Quand QRF est meilleur qu'OTAMIN...Chambon/Lignon et Clermont-Ferrand



qrf-DET

otamin - UPDW

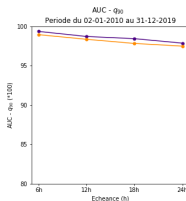
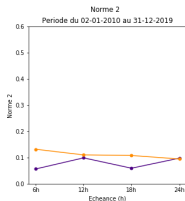
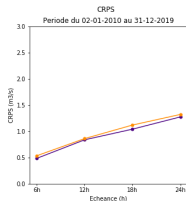


qrf-DET

otamin - UPDW

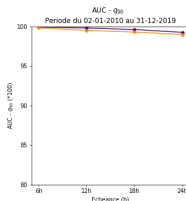
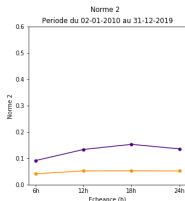
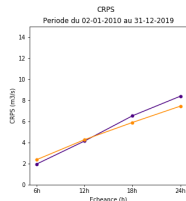
Comparaison post-traitements QRF et OTAMIN

Quand QRF et OTAMIN sont équivalents...Laveyrune et Verneuil



qrf-DET

otamin - UPDW

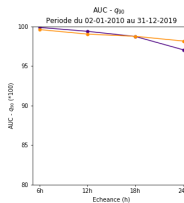
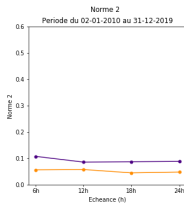
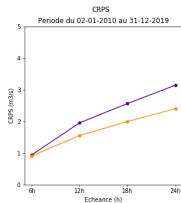


qrf-DET

otamin - UPDW

Comparaison post-traitements QRF et OTAMIN

Quand OTAMIN est meilleur que QRF... Ardentes



Comparaison post-traitements QRF et OTAMIN

Synthèse sur les 16 bassins versants - Etudes 2022 et 2023

id_site	Nom site hydro	CRPS	Norme	AUC ₉₀
J4211910	Tréodet	QRF	QRF	QRF
J4211910	Kerjean	QRF	QRF	QRF
J4211910	Ty-Planche	QRF	QRF	QRF
K0403010	Chambon-sur-Lignon	QRF	QRF-ota	QRF-ota
K0614010	Andrezieux-Bouthéon	QRF	QRF	QRF
K1251810	Dracy-Saint-Loup	otamin	QRF-ota	QRF-ota
K1773010	Verneuil	QRF-ota	otamin	QRF
K2010820	Laveyrune	QRF-ota	QRF	QRF
K2240820	Prades	otamin	QRF	QRF
K2593010	Lempdes-sur-Allagnon	otamin	QRF	QRF
K2724210	Clermont-Ferrand	QRF	QRF	QRF
K2981910	Dorat	otamin	QRF	QRF-ota
K3060310	Cusset	QRF-ota	QRF	QRF
K3373010	Chareil-Cintrat	QRF-ota	otamin	otamin
K5183020	Chambon-sur-Voueize	otamin	QRF-ota	QRF-ota
K7202610	Ardentes	otamin	otamin	otamin

Conclusion

- Aucune des deux méthodologies n'est la meilleure dans tous les cas
- QRF semble globalement meilleure pour la fiabilité et la discrimination
- CRPS : le meilleur score est obtenu avec chacune des deux méthodologies de manière relativement égale.

Plan

- 1 Bassins versants d'étude et modélisations GRP
- 2 Les prévisions probabilistes
- 3 Mise en oeuvre des méthodologies QRF et OTAMIN
- 4 Résultats
- 5 Conclusions et perspectives

Conclusions et perspectives

Synthèse des résultats obtenus

- On peut réaliser l'apprentissage à partir de la mesure de pluie
- Privilégier GRP-SIMULATION pour QRF et GRP-PREVISION pour OTAMIN
- QRF : on peut mettre en place la méthodologie à partir d'une prévision déterministe à la place d'une prévision d'ensemble
- OTAMIN : le conditionnement interne UPDW fournit les meilleurs ensembles opérationnels
- aucune stratégie ne se dégage, les deux présentent leurs avantages

Passage vers l'opérationnel de la méthode QRF

- Etudier s'il est possible de simplifier l'étape d'optimisation des forêts aléatoires : fixer le nombre d'arbres ? Fixer tous les paramètres de la forêt ?
- Mise en place des outils informatiques pour le passage vers l'opérationnel.

MERCI DE VOTRE ATTENTION