



HAL
open science

Evaluation, calage et mise en oeuvre opérationnelle du modèle de prévision des crues GRP sur des affluents du Rhône aval

Laurent Coron, Thomas-Charles Fortier Filion, Charles Perrin, Lionel Berthet, Vazken Andréassian, Julien Peschard

► To cite this version:

Laurent Coron, Thomas-Charles Fortier Filion, Charles Perrin, Lionel Berthet, Vazken Andréassian, et al.. Evaluation, calage et mise en oeuvre opérationnelle du modèle de prévision des crues GRP sur des affluents du Rhône aval. irstea. 2010, pp.101. hal-02599594

HAL Id: hal-02599594

<https://hal.inrae.fr/hal-02599594>

Submitted on 16 May 2020

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.

EVALUATION, CALAGE ET MISE EN ŒUVRE OPERATIONNELLE DU MODELE DE PREVISION DES CRUES GRP SUR DES AFFLUENTS DU RHONE-AVAL

Rapport final

Février 2010

Titre	MISE EN PLACE DU MODELE DE PREVISION DES CRUES GRP SUR DES AFFLUENTS DU RHONE-AVAL
Auteurs	Laurent Coron, Thomas-Charles Fortier Filion, Charles Perrin, Lionel Berthet, Vazken Andréassian, Julien Peschard,
Date	Février 2010
Institution	Cemagref, UR HBAN (Antony)
Commanditaire	DDTM 30
Nb de pages du rapport	41 (hors annexes)
Fournis avec le rapport	<ul style="list-style-type: none">- base de données horaire complète sous format numérique- exécutable de calage et de prévision temps réel- guide d'utilisation des exécutables

Résumé

Le Service de Prévision des Crues (SPC) Grand-Delta, dans le cadre de la diversification de ses modèles de prévision des crues, a souhaité réaliser une étude de modélisation pour mettre en place le modèle de prévision des crues GRP sur des affluents situés à l'aval du Rhône (Doux, Eyrieux, Ardèche, Baume, Cèze, Ouvèze et Gardons). L'objectif était de développer pour ces bassins, des modèles de prévision de crue aussi fiables que possible, avec des horizons de prévision aussi grands que possible, idéalement de 24 pour alimenter la carte de vigilance crues.

Une sélection de 10 stations hydrométriques a été réalisée en fonction des besoins du SPC et des données disponibles. Les bassins correspondants sont de taille moyenne, avec des superficies allant de 200 à 2000 km² environ. Les tout petits bassins amont suivis par le SPC n'ont pas été ciblés dans cette étude car ils sont déjà couverts par le modèle ALTHAIR.

L'étude a été divisée en 3 phases dont les principales conclusions sont les suivantes :

- Phase 1 : Constitution de la base de données

Cette phase a permis de mettre au point une base de données continue au pas de temps horaire regroupant, sur les périodes les plus longues possibles, les données de débit sur les 10 stations hydrométriques et les données de pluie sur 52 postes pluviométriques correspondant à ceux accessibles en temps réel. Un important travail de mise en forme et de critiques des données a été réalisé. L'analyse des données pluviométriques a fait ressortir le problème des périodes lacunaires communes à de nombreux postes dans les historiques de données. Cependant, les périodes d'étude établies pour les bassins retenus présentent une intéressante diversité d'événements hydrométéorologiques, avec notamment la présence d'événements majeurs de type cévenol, comme celui de décembre 2003.

- Phase 2 : Analyse hydrologique du fonctionnement des bassins et présentation du modèle

Cette phase a permis de caractériser, par une méthode hydrologique, les temps moyens de réaction des bassins versants aux pluies. Ces temps de réaction sont inférieurs ou égaux à 6 heures pour les bassins étudiés. Pour un objectif de prévision de 12 à 24 h, il est donc clair que les prévisions de débit seront largement dépendantes de la qualité des prévisions de pluie.

Cette phase a également permis de présenter plus en détail le modèle de prévision GRP, son mode de calage ainsi que d'établir les procédures utilisés pour évaluer ses performances.

- Phase 3 : Evaluation et calage du modèle de prévision

Une procédure rigoureuse de test en calage-contrôle complétée par une sélection de critères numériques et graphiques a été utilisée pour analyser les résultats. Bien que l'évaluation puisse conduire à des interprétations légèrement différentes en fonction des critères choisis, il a été conclu que le modèle fournissait des résultats meilleurs que ceux du modèle de persistance sur l'ensemble des bassins étudiés. Ce modèle naïf n'étant cependant pas très exigeant sur les bassins étudiés, une analyse plus détaillée a permis de conclure que le modèle était satisfaisant sur deux stations, moyen sur sept et faible sur une. Les raisons des limites du modèles sont multiples (structure du modèle, variabilité des pluies, représentativité des événements, qualité des données, etc.) et demanderaient des analyses complémentaires. Un lien entre le scénario de pluie future utilisé et la qualité de la prévision a clairement été établi, montrant toute l'importance qu'auront les prévisions de pluie sur la capacité du modèle à prévoir les débits en conditions opérationnelles.

Cette étude devrait donc contribuer à renforcer le potentiel de prévision du SPC Grand Delta sur sa zone de compétence. Des progrès pourraient probablement être obtenus en poursuivant les travaux sur les bases de données.

Sommaire

1. Introduction	1
1.1. Objectifs de l'étude	1
1.2. Méthodologie adoptée	1
1.3. Contenu du rapport	1
2. Résultats de la Phase 1 : Mise en place de la base de données	3
2.1. Objectifs de la Phase 1	3
2.2. Bassins étudiés	3
2.3. Collecte et mise en forme des données pluviométriques	5
2.3.1. Sélection des postes pluviométriques	5
2.3.2. Données pluviométriques reçues	6
2.3.3. Analyse des données pluviométriques	6
2.3.4. Mise en forme des données pluviométriques retenues	6
2.4. Collecte et mise en forme des données hydrométriques	8
2.4.1. Données hydrométriques reçues	8
2.4.2. Analyse des données hydrométriques	9
2.4.3. Mise en forme des données hydrométriques retenues	10
2.4.4. Données d'évapotranspiration potentielle	12
2.5. Sélection de postes pluviométriques pour chaque bassin versant	12
2.6. Sélection d'événements pour analyse	13
2.7. Périodes de test	15
2.8. Mise en forme des données pour les tests	15
2.9. Synthèse des résultats de la Phase 1	16
3. Résultats de la Phase 2 : Analyse hydrologique des bassins versants et présentation du modèle de prévision	17
3.1. Objectifs de la Phase 2	17
3.2. Méthodologie de caractérisation	18

3.3. Modèle de prévision sélectionné	19
3.4. Résultats	21
3.5. Synthèse des résultats de la Phase 2	22
4. Résultats de la Phase 3 : Calage et évaluation du modèle.....	23
4.1. Objectifs	23
4.2. Méthode d'évaluation du modèle.....	23
4.2.1. Procédure de calage / contrôle	24
4.2.2. Détermination des périodes	24
4.2.3. Algorithme de calage	25
4.2.4. Scénarios de pluie future considérés lors des tests	25
4.2.5. Horizons de calage et délais de prévision	26
4.2.6. Critères numériques d'évaluation	27
4.2.7. Critères graphiques d'évaluation	29
4.2.8. Représentation graphique des résultats	30
4.3. Présentation et analyse des résultats.....	32
4.3.1. Détail des résultats fournis.....	32
4.3.2. Analyse des résultats.....	34
4.4. Conclusion de la phase 3	36
5. Conclusion générale.....	39
6. Bibliographie.....	41
Annexe 1: Tableau récapitulatif des données disponibles par bassin	
Annexe 2 : Chroniques pluie-débit-ETP sur les 10 bassins étudiés	
Annexe 3: Fiches synthétiques de résultats obtenus sur les 10 stations étudiées	
Annexe 4 : Catalogue de prévisions réalisées sur les 10 stations étudiées	

Liste de figures

Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques, des contours des bassins associés	4
Figure 2: Exemple de fichier de données pluviométriques.	7
Figure 3 : Disponibilité des données pluviométriques	8
Figure 4: Exemple de fichier de données hydrométriques.	10
Figure 5 : Disponibilité des données hydrométriques	11
Figure 6 : Exemple de fichier de données constitué pour le test des modèles.....	16
Figure 7 : Illustration de l'influence des conditions pluviométriques passées et futures sur la prévision de crue	18
Figure 8 : Evolution des erreurs du modèle de prévision en fonction de l'échéance suivant deux scénarios de pluie future.....	19
Figure 9 : Schéma structurel du modèle GRP avec représentation de la procédure d'exploitation des débits observés	20
Figure 10 : Temps de réaction aux pluies (en heures) sur les stations étudiées	22
Figure 11 : Illustration de la procédure de calage-contrôle adoptée (d'après Cemagref, 2005)	24
Figure 12 : Détermination des périodes de calage et tests dans un cas simple.....	25
Figure 13 : Représentation des différentes situations rencontrées avec la méthode de veille : (a) Alerte valable, (b) Fausse alerte, (c) Alerte manquée, (d) Non alerte valable	28
Figure 14 : Exemple de graphique comparant les variations de débit prévues et observées.....	30
Figure 15 : Exemple de fiche synthétique de résultats	31
Figure 16 : Exemple d'hydrogramme de prévision.....	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des bassins étudiés et des stations hydrométriques associées.....	5
Tableau 2 : Qualité des données hydrométriques disponibles (moyenne=jaune, bonne=vert)	10
Tableau 3 : Densité pluviométrique sur les bassins.....	13
Tableau 4 : Périodes d'études retenues pour les sous bassins étudiés	15
Tableau 5 : Temps de réaction des bassins aux pluies, estimés par modélisation.....	21
Tableau 6 : Tableau de contingence de dépassement de seuil.....	28
Tableau 7 : Synthèse des résultats obtenus par le modèle GRP sur les 10 stations étudiées.....	33
Tableau 8 : Analyse qualitative des résultats obtenus par le modèle GRP sur les 10 stations étudiées	35

1. Introduction

1.1. Objectifs de l'étude

La Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Gard (DDTM 30), dans le cadre de la modernisation de ses modèles de prévision des crues, a confié au Cemagref une étude d'analyse et de modélisation de sous-bassins du Rhône-aval (Doux, Eyrieux, Ardèche, Baume, Cèze, Ouvèze et Gardons).

L'objectif de cette étude est de développer, pour une sélection sous-bassins versants des affluents du Rhône, des modèles de prévision de crue aussi fiables que possible, avec des horizons de prévision aussi grands que possible.

1.2. Méthodologie adoptée

Pour répondre à la demande du SPC Grand-Delta, le Cemagref a proposé une méthodologie composée des trois phases de travail suivantes :

1. mise en place de la base de données destinée à évaluer et caler les modèles hydrologiques ;
2. analyse hydrologique des bassins versants ciblés dans cette étude ;
3. test, évaluation et calage des modèles de prévision ;

Ces travaux doivent conduire à la mise en fonctionnement opérationnel du modèle GRP au SPC.

1.3. Contenu du rapport

Ce rapport présente les résultats obtenus dans les différentes phases d'élaboration des modèles de prévision. Il fournit notamment :

- une description de la base de données constituée avec l'aide du SPC, avec une sélection d'événements de crue sur chaque bassin versant ;

- une caractérisation des temps de réponse des bassins versants à l'aide de la modélisation hydrologique ;
- une description de la méthodologie de test retenue et les critères utilisés pour évaluer les performances des modèles ;
- une analyse des résultats généraux du modèle sur les stations étudiées ;
- et enfin, les caractéristiques des outils informatiques livrés au SPC Grand Delta pour l'utilisation du modèle en conditions opérationnelles.

Ce rapport a été rendu au SPC avec les éléments informatiques suivants :

- base de données horaires disponible à chaque station étudiée (de 2000 au plus tôt à fin 2008) ;
- catalogue des résultats par événements ;
- exécutable de calage du modèle ;
- exécutables de prévision opérationnelle.

2.

Résultats de la Phase 1 : Mise en place de la base de données

2.1. Objectifs de la Phase 1

Cette première phase du travail était une phase préparatoire de collecte, mise en forme et analyse des données qui seront ensuite exploitées pour les travaux de modélisation.

Elle visait à :

- mettre au point, pour chaque bassin versant, un jeu de données nécessaire au calage et au test des modèles, dans un format uniforme ;
- définir les périodes exploitables pour le calage et le test des modèles ;
- définir pour chaque bassin des événements cibles sur lesquels les résultats des modèles seront analysés plus en détail.

Nous donnons ici les principaux résultats obtenus.

2.2. Bassins étudiés

L'étude porte sur 10 stations hydrométriques réparties sur les différents affluents du Rhône. La liste des stations est fournie dans le Tableau 1 et une carte de localisation est fournie à la Figure 1.

La gamme des superficies des bassins versants associés est assez étendue (de 210 km² à 1930 km² pour l'Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc), avec une valeur médiane à 870 km². L'échantillon ne comporte aucun de bassin de très petite taille ou de très grande taille.

Les 10 sous-bassins étudiés appartiennent à 6 bassins principaux : le bassin du Doux (1 station), le bassin de l'Eyrieux (1 station), le bassin de l'Ardèche (3 stations), le bassin de la Cèze (1 station), le bassin des Gardons (3 stations) et enfin le bassin de l'Ouvèze (1 station) qui est le seul de l'échantillon situé à l'est du Rhône.

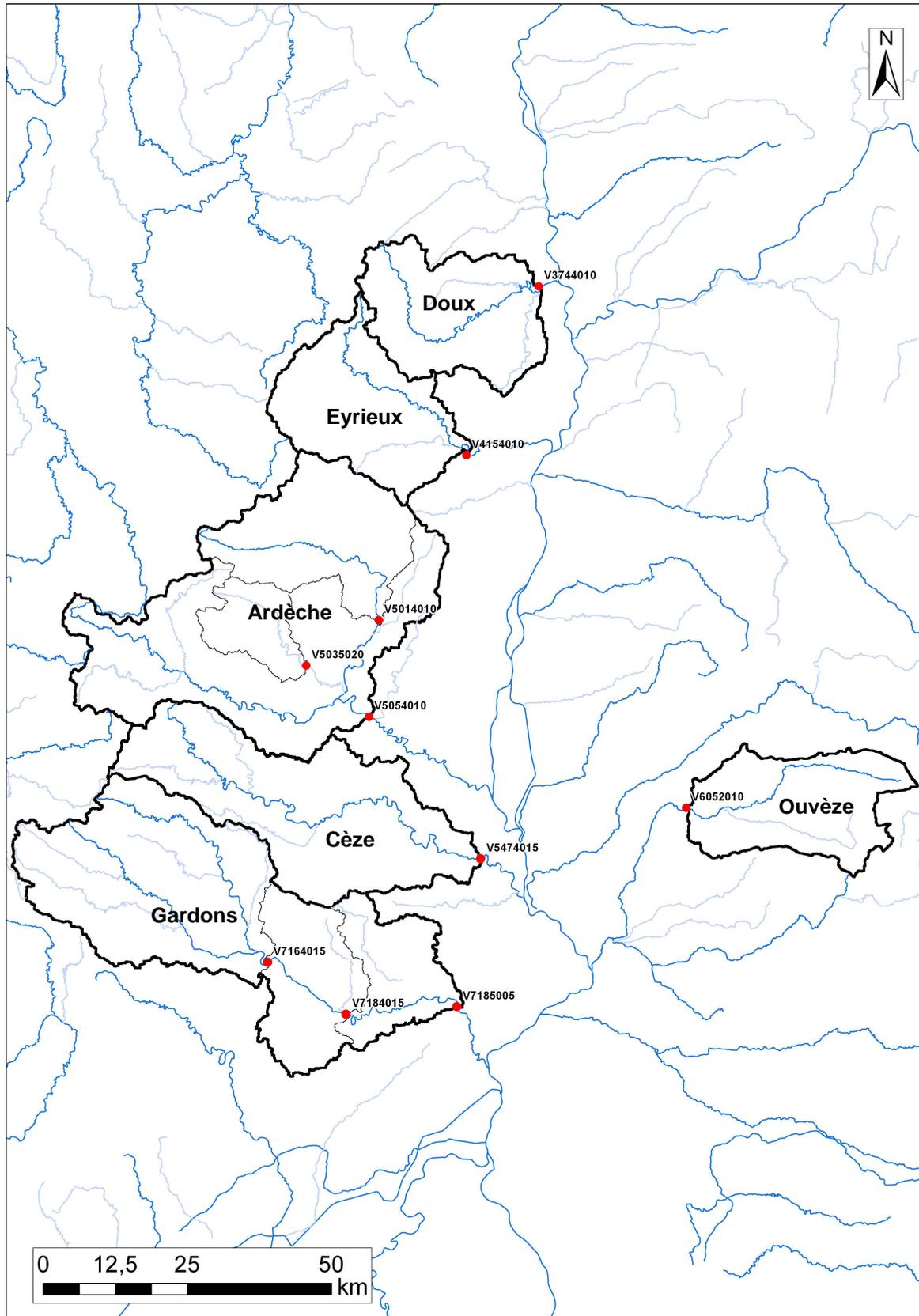


Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques, des contours des bassins associés

Tableau 1 : Liste des bassins étudiés et des stations hydrométriques associées

N	Nom Station	Code	Surface (km ²)
1	Doux à Tournon	V3744010	640
2	Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	600
3	Ardèche à Vogüe	V5014010	636
4	Baume à Rosières	V5035020	210
5	Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	V5054010	1930
6	Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	1120
7	Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	585
8	Gardon à Ners	V7164015	1100
9	Gardon à Russan	V7184015	1521
10	Gardon à Rémoulins	V7185005	1855

Nous ne reviendrons pas ici sur les caractéristiques physiques du bassin. Nous pouvons simplement mentionner que les bassins étudiés présentent un relief assez marqué. Les Gardons et la Cèze descendent des Cévennes avec des altitudes dépassant les 1500 m (Mont Aigoual, Mont Lozère). La Baume, l'Ardèche, l'Eyrieux et le Doux descendent des Monts du Vivarais avec des altitudes dépassant les 1000 m. Cette zone Cévennes-Vivarais est bien connue pour être soumise à des phénomènes de pluies intenses dites cévenoles survenant à la fin de l'été ou à l'automne, avec des cumuls pluviométriques représentant plusieurs centaines de millimètres sur quelques heures. Cette zone est largement suivie par la communauté hydrologique (voir www.lthe.fr/OHM-CV) et les nombreux travaux qui y sont réalisés montrent toute la difficulté d'obtenir des prévisions satisfaisantes. Le bassin de l'Ouvèze situé lui en rive gauche du Rhône, présente également un fort relief avec des altitudes allant jusqu'à près de 2000 m (Mont Ventoux).

Ces bassins sont soumis à un climat à influences méditerranéenne, avec des influences de montagnes et la présence de couverts neigeux temporaires. Les événements de pluie de forte intensité sont majoritairement à l'origine des crues les plus fortes.

2.3. Collecte et mise en forme des données pluviométriques

2.3.1. Sélection des postes pluviométriques

Compte tenu des limitations au niveau des données disponibles, la période d'analyse retenue pour cette étude va de la fin des années 1990 à fin 2008. Seuls les postes pluviométriques disponibles en temps réel au sein du SPC ont été considérés. Il apparaît en effet intéressant que les modèles soient calés avec l'information pluviométrique dont ils pourront effectivement disposer en conditions opérationnelles. Cela a abouti à la sélection de 52 postes pluviométriques dont 10 au moins sont situés au niveau d'une station hydrométrique (fond de vallée).

Les 52 postes sélectionnés pour cette étude sont, dans leur grande majorité, amenés à rester en fonctionnement sur le bassin et donc à alimenter le modèle lors de son fonctionnement opérationnel.

2.3.2. Données pluviométriques reçues

Les données pluviométriques au pas de temps horaire ont été fournies par le SPC pour la totalité des postes sélectionnés.

Les données ont été fournies sous forme de plusieurs bases Access et un ensemble de fichiers Excel, accompagnés des descriptifs les concernant. Les données sont organisées dans ces bases par année et par station ou poste pluviométrique. Une des premières tâches du Cemagref a donc été de développer un système d'export automatisé des données depuis ces bases dans un format texte plus facilement lisible pour la constitution de la base de données source sur les stations de l'étude. Cela a demandé un important travail d'homogénéisation des données, notamment au niveau de l'identification des postes dans les bases (initialement désignés par leur nom au lieu d'un code ayant un format fixe). Malgré une série de vérification, la complexité de cette tâche a pu engendrer des erreurs sur les données exportées ou encore la non-prise en compte de certaines données pourtant présentes dans les bases Access initiales.

2.3.3. Analyse des données pluviométriques

Les données pluviométriques reçues ont été critiquées visuellement afin d'écartier les données clairement aberrantes.

En conséquence, une première partie du travail du Cemagref a été de tracer toutes les chroniques horaires afin d'identifier à première vue les périodes où les données reçues étaient utilisables. Dans de nombreux cas, les premières années de données ont dû être écartées de la sélection du fait de la grande quantité de lacunes. Considérer ces années aurait conduit à un déséquilibre significatif dans le niveau d'information pluviométrique entre les périodes utilisées ultérieurement pour le calage-contrôle du modèle de prévision. De plus, la confiance accordée à la donnée disponible se trouve très nettement diminuée lorsque celle-ci est encadrée par de longues périodes lacunaires.

Ensuite, les données de pluie clairement irréalistes ont été écartées. Les cas rencontrés étaient généralement des pluies ponctuelles trop importantes pour être réalistes. Cependant, ce travail n'est pas facile car la notion de "donnée incohérente" comparativement au reste d'une chronique est beaucoup moins évidente lorsque l'on étudie des pluies que lorsque l'on traite de données de température ou même hauteur/débit.

2.3.4. Mise en forme des données pluviométriques retenues

A l'issue de ce travail qui a demandé un fort investissement en temps, une base de données pluviométriques validées a pu être constituée. Cette base se compose d'un fichier par poste au format colonne sur la période 1993-2008 (voir format en exemple en Figure 2). Dans ce fichier sont inscrits les dates au pas de temps horaire, les données de pluie après validation et les données de pluie telles qu'elles ont été reçues. Les données validées peuvent ainsi comporter de nouvelles lacunes ayant été identifiées ou avoir été corrigées dans les cas où un facteur 10 a été détecté sur la donnée. Les lacunes sont signifiées par des -9.9 dans ces fichiers.

Date;	P_validée;	P_brute
2007041311;	0.0;	0.0
2007041312;	1.5;	1.5
2007041313;	0.8;	0.8
2007041314;	-9.9;	-9.9
2007041315;	0.4;	0.4
2007041316;	-9.9;	124.0
2007041317;	1.6;	1.6
2007041318;	0.8;	0.8
2007041319;	0.4;	0.4
2007041320;	0.6;	0.6

Figure 2: Exemple de fichier de données pluviométriques.

La Figure 3 illustre la disponibilité des données horaires retenues sur les différents postes. Elle montre que pour les 52 postes considérés pour l'étude, seuls 8 couvrent l'ensemble de la période 1993-2008. Cependant la grande majorité des postes restant apparaissent entre 1998 et 2002 ce qui correspond globalement aux périodes retenues pour les chroniques de hauteurs/débits comme nous le verrons plus loin. En conséquence, la faible disponibilité de postes avant ces dates sera sans conséquence sur le travail de modélisation. On notera par contre que 8 postes pluviométriques ne sont disponibles que sur quelques années (généralement 2001-2002-2003). Des vérifications complémentaires devraient être faites avec le SPC pour vérifier si ces postes sont toujours en service ou s'il y a eu des problèmes d'export des bases de données.

D'une manière générale, la disponibilité des postes pluviométriques correspond à celles des données de hauteurs/débits. Les conditions de calage du modèle sont donc globalement proches des conditions futures d'utilisation du modèle, ce qui est important pour ne pas affecter négativement la qualité des prévisions en mode opérationnel.

De ce point de vue, si des postes utilisés s'avérait être actuellement hors service, il serait préférable de renouveler les tests en ne gardant que les postes effectivement exploitables actuellement.

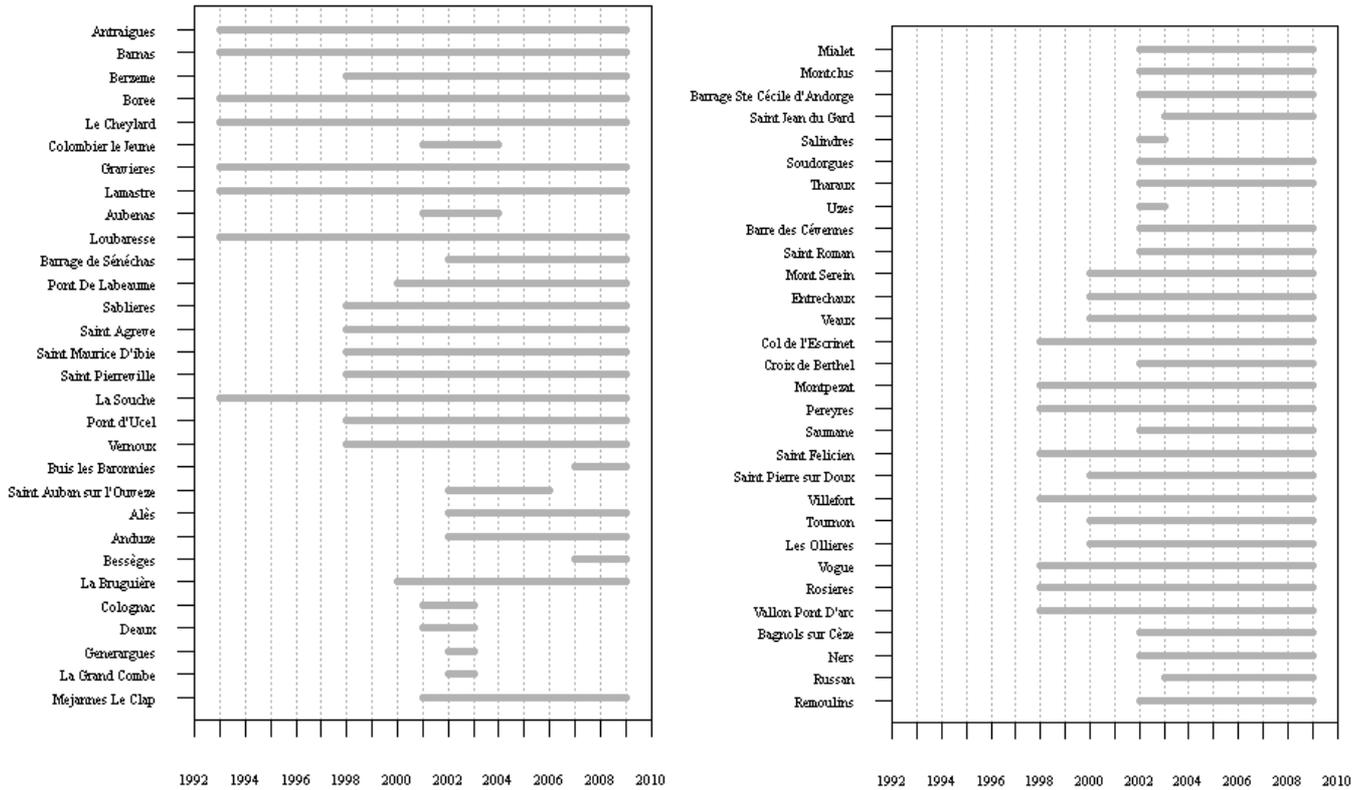


Figure 3 : Disponibilité des données pluviométriques

2.4. Collecte et mise en forme des données hydrométriques

2.4.1. Données hydrométriques reçues

Les stations ciblées dans l'étude sont toutes des stations jaugées. Les données de débit ont été fournies par le SPC Grand-Delta au pas de temps horaire sous forme de plusieurs bases Access et un ensemble de fichiers Excel, accompagnés des descriptifs les concernant. Les données sont organisées dans ces bases par année et par station. Tout comme pour les données de pluie, le Cemagref a donc mis en place un système d'export automatisé des données depuis ces bases dans un format texte plus facilement lisible pour la constitution de la base de données source sur les stations de l'étude. Là aussi, cela a donné lieu à un important travail d'homogénéisation des données, et les procédures utilisées ont pu conduire à ne pas prendre en compte de certaines données pourtant présentes dans les bases Access initiales.

D'autre part, il est à noter que ces données au pas de temps horaire correspondent aux valeurs instantanées de débit aux heures fixes et non à des valeurs moyennes sur l'heure passé. Le modèle hydrologique simulant, lui, des valeurs de débit moyennes sur une heure, la comparaison des sorties du modèle avec les valeurs instantanées peut conduire à des erreurs liées simplement à cette différence, particulièrement sur les bassins à dynamique rapide comme c'est le cas pour la plupart des bassins étudiés ici.

2.4.2. Analyse des données hydrométriques

La même démarche d'analyse que pour les données de pluies a été appliquée aux données hydrométriques, afin d'écartier ici encore les données clairement aberrantes.

Toutes les chroniques horaires de hauteurs et de débits reçues ont donc été tracées. Tout comme pour les pluies, les premières années de données ont dû être écartées de la sélection dans de nombreux cas du fait de la grande quantité de lacunes. Puis, les données clairement irréalistes ont été écartées. Les cas rencontrés étaient généralement des sauts des données d'un pas de temps à un autre passant d'une valeur cohérente à une valeur très forte, ou une valeur proche de -1 avec un retour le pas de temps suivant sur une valeur très proche de celle précédant le saut.

Lors de l'analyse des données hydrométriques, mise à part les données incohérentes qui viennent d'être mentionnées, nous avons pu observer sur certaines stations des oscillations des débits causées par les ouvrages hydrauliques, particulièrement en période d'étiage (observées sur les stations de l'Eyrieux, l'Ardèche et l'Ouvèze notamment).

L'influence des ouvrages hydrauliques est continue tout au long de l'année, même si elle est plus marquée en étiage qu'en période de crues. Dans le cadre de notre étude, nous observons une influence plutôt modérée sur les bassins de l'Eyrieux et de l'Ouvèze, et plus franche sur les stations situées sur l'Ardèche. On rappelle que, lorsqu'elle est prononcée, cette influence a un effet néfaste tant sur le calage du modèle que lors de son utilisation en temps réel. Lors du calage, il sera en effet difficile pour le modèle de trouver un jeu de paramètres lui permettant de reproduire les oscillations non naturelles du débit. Ensuite, lors de son utilisation en temps réel, l'interprétation des prévisions peut s'avérer très délicate puisque les débits observés (utilisés pour la mise à jour du modèle) peuvent grandement varier d'un pas de temps à l'autre.

Le Tableau 2 résume la phase d'analyse des données hydrométriques, en qualifiant la qualité des données disponibles pour l'étude.

Sur les 10 bassins de l'échantillon,

- **6 bassins possèdent des chroniques de débits de bonne qualité**, permettant a priori un calage dans de bonnes conditions,
- **4 bassins possèdent des chroniques de débit de qualité moyenne**, causée vraisemblablement par la présence d'un ouvrage hydraulique à l'amont de la station de jaugeage. Cependant, les conséquences de ces influences d'ouvrage sur le modèle sont à relativiser puisqu'ils ont généralement lieu durant les périodes de faibles débits. Or compte tenu du critère de calage utilisé, les données de ces périodes ne sont généralement pas cruciales dans le choix des paramètres du modèle.
- **1 bassin** (le Gardon à Rémoulins) **possède une chronique de débit de qualité moyenne**, composée de deux sous périodes de données cohérentes, mais avec un débit de base différent, séparées d'une période de données incohérentes. Seule la période la plus récente sera considérée pour la suite de l'étude. Bien qu'elle soit courte, **la sous période retenue présente des données de bonne qualité**.

Tableau 2 : Qualité des données hydrométriques disponibles (moyenne=jaune, bonne=vert)

Code	Nom	Commentaires
V3744010	Doux à Tournon	-
V4154010	Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	Légères oscillations observées sur les hauteurs notamment à l'étiage.
V5014010	Ardèche à Vogüe	Oscillations observées sur les hauteurs notamment à l'étiage.
V5035020	Baume à Rosières	-
V5054010	Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	Oscillations observées sur les hauteurs notamment à l'étiage.
V5474015	Cèze à Bagnols-sur-Cèze	-
V6052010	Ouvèze à Vaison-la-Romaine	Très légères oscillations observées sur les hauteurs notamment à l'étiage.
V7164015	Gardon à Ners	Données de bonnes qualité dès 1995, mais aucune donnée de pluie n'est disponible sur le bassin avant 2001. En conséquence, on ne peut malheureusement utiliser les données qu'à partir de 2002.
V7184015	Gardon à Russan	-
V7185005	Gardon à Rémoulins	Données plutôt cohérentes entre 01/1992 et 09/2002, suivie d'une période incohérente de 10/2002 à 11/2004, puis données à nouveau cohérentes entre 12/2004 et 12/2008 mais avec un débit de base différent de la période 1992-2002. En conséquence, on ne peut utiliser que les données ultérieures à 12/2004.

2.4.3. Mise en forme des données hydrométriques retenues

A l'issue de cette étape importante, une base de données de débits validés a pu être constituée sur un modèle similaire à ce qui a été fait pour les pluies. Cette base se compose ainsi d'un fichier par station au format colonne sur la période 1990-2008 (voir exemple à la Figure 4), dans lequel sont inscrites les données validées et les données brutes telles qu'elles ont été reçues. Les lacunes sont encore signifiées par des -9.9.

Date;	H_validée;	Q_validé;	H_brute;	Q_brut
2006061114;	0.2800;	19.6700;	0.2800;	19.6700
2006061115;	0.2800;	19.6700;	0.2800;	19.6700
2006061116;	0.2800;	19.6700;	0.2800;	19.6700
2006061117;	-9.9000;	-9.9000;	0.2800;	-9.9000
2006061118;	-9.9000;	-9.9000;	-9.9000;	-9.9000
2006061119;	0.2800;	19.6700;	0.2800;	19.6700
2006061120;	-9.9000;	-9.9000;	0.0000;	1.1200
2006061121;	0.2800;	19.6700;	0.2800;	19.6700

Figure 4: Exemple de fichier de données hydrométriques.

La Figure 5 illustre les périodes des données hydrométriques retenues pour l'étude. Sur les 10 stations de l'étude : 3 possèdent une chronique d'observations depuis 2000, 2001 et 2002, respectivement ; 6 depuis 2003 et 1 depuis fin 2004.

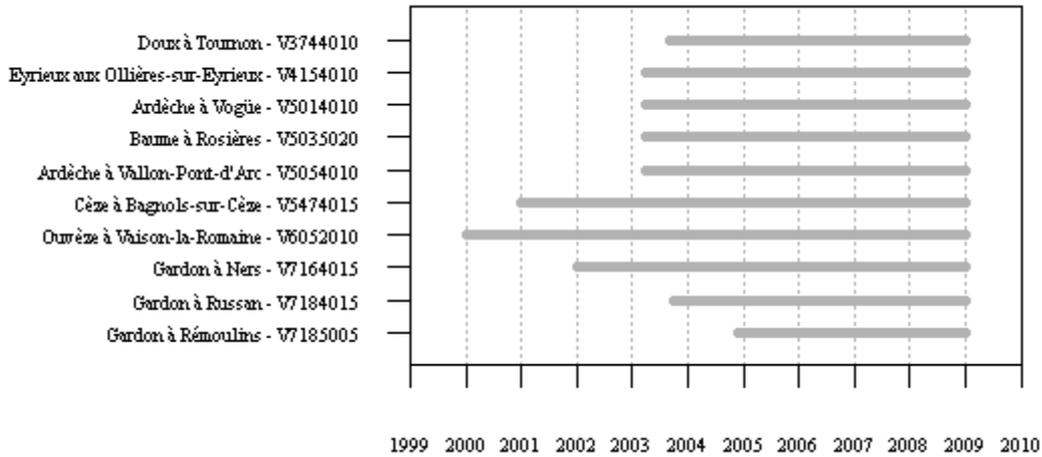


Figure 5 : Disponibilité des données hydrométriques

On remarquera les cas particuliers des stations du Gardon à Ners et du Gardon à Rémoulins. Pour la station de Ners, une chronique de débit plus longue que celle retenue ici est disponible, mais elle ne peut être utilisée du fait de l'absence de données de pluie sur le bassin avant 2001. Pour la station de Rémoulins, une chronique plus longue est également disponible mais en raison des problèmes mentionnés précédemment, seule la période la plus récente est conservée pour l'étude.

D'une manière générale, on constate qu'une chronique de 10 années ou plus n'a pu être constituée pour aucune station, une majorité des bassins ayant des données disponibles sur 6 années. Globalement peu d'années sont donc disponibles pour le calage et l'évaluation des modèles, ce qui peut limiter la portée des tests réalisés. En effet, lorsqu'une chronique de 6 années est par exemple disponible, cela signifie que le calage du modèle se fera sur ces 6 années et que l'évaluation de ses performances aura lieu sur des périodes de 3 années. Une telle situation est gênante pour les raisons suivantes :

- Il peut arriver que les quelques années disponibles ne soient pas suffisamment représentatives des conditions que le modèle rencontrera en temps réel. C'est par exemple le cas si ces années disponibles sont toutes plutôt sèches par rapport à la moyenne.
- Il peut également arriver que les quelques années de la chronique soient représentatives, mais que les sous-périodes de tests ne le soient pas. La procédure d'évaluation des performances ne sera alors pas représentative des performances réelles du modèle en opérationnel (elles seront sous-estimées). Cela pourrait se produire dans un cas où 6 années seraient disponibles, les 3 premières plutôt sèches et les 3 dernières plutôt humides.

En conséquence, l'utilisateur du modèle devra toujours garder à l'esprit ces éléments lorsqu'il calera le modèle sur de courtes périodes (<10 ans).

On notera enfin que la quantité de lacune présente varie grandement d'une station à l'autre, ainsi qu'on peut le voir dans le tableau présenté en Annexe 1.

L'observation des chroniques (voir Annexe 2) montre que les dynamiques des bassins sont rapides. Nous reviendrons sur ce point dans la présentation des résultats de la phase 2.

2.4.4. Données d'évapotranspiration potentielle

Outre des données pluviométriques et hydrométriques, les modèles pluie-débit testés dans cette étude utilisent des données permettant de quantifier la demande évaporatoire de l'air. Il s'agit de données d'évapotranspiration potentielle (ETP). Elles permettent au modèle de calculer les retours d'eau réels vers l'atmosphère à l'échelle du bassin versant. Ces données sont nécessaires pour permettre d'établir l'évolution de l'humidité du bassin, variable indispensable à la modélisation continue envisagée ici.

L'ETP n'est pas une variable directement mesurée, mais elle est estimée par une formule exploitant des variables météorologiques mesurées telles que la température, la vitesse du vent, l'insolation, l'humidité relative de l'air, etc. Suite aux travaux d'Oudin (2004) qui ont montré la faible sensibilité des modèles à la formulation et à la variabilité temporelle de l'ETP, nous avons choisi de retenir une formulation basée sur la température comme seule variable mesurée et sur la radiation extraterrestre (qui ne dépend que de la latitude) (Oudin et al., 2005). Des valeurs moyennes interannuelles pour chaque jour étant suffisantes, une courbe moyenne de régime d'ETP a donc été utilisée. Pour chaque bassin, nous avons calculé des ETP moyennes de bassin sur la base de valeurs moyennes interannuelles disponibles au Cemagref. Les courbes de régime ainsi obtenues sont illustrées en Annexe 2.

2.5. Sélection de postes pluviométriques pour chaque bassin versant

La modélisation pluie-débit telle qu'elle est envisagée dans cette étude requiert une estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant. **Cette lame d'eau est calculée comme une moyenne (arithmétique ou pondérée) des valeurs observées sur chaque poste pluviométrique situé sur ou à proximité du bassin versant.** Dans le cadre de cette étude, aucune pondération n'a été affectée aux différents postes et la moyenne des pluies est donc arithmétique.

Dans le cadre de cette étude, le Cemagref et le SPC Grand-Delta ont réalisé une sélection de postes pluviométriques à associer à chacun des 10 bassins étudiés. Elle est détaillée en Annexe 2 pour chaque bassin. Le Tableau 3 récapitule les densités en postes pluviométriques obtenues pour chaque bassin.

La situation est favorable en ce qui concerne la couverture géographique des postes sur les bassins. Elle est en effet globalement bonne, la superficie relative à chaque poste étant généralement de l'ordre d'une centaine de km² (au maximum de 120 km² pour l'Eyrieux à Ollières). Cependant, malgré cette bonne couverture géographique, il semble bon de rappeler que les bassins étudiés ici subissent parfois des événements pluviométriques très intenses et très localisés, ce qui renforce le besoin d'une forte densité en postes pluviométriques.

D'autre part, le modèle GRP doit impérativement être alimenté par des données de pluviométrie à chaque pas de temps. Or lorsque tous les postes d'un bassin sont lacunaires simultanément, nous n'avons pas d'autre choix que de considérer cette lacune comme une pluie nulle. Dans une majorité de cas, très peu de pas de temps sont concernés, et ce remplacement a un effet minime sur la qualité de l'estimation de la pluie de bassin. Cependant, si ces cas de lacunes s'avéraient nombreuses, un tel remplacement pourrait conduire à une large sous-estimation de la pluie du bassin et biaiser le processus de calage du modèle. Une procédure similaire de remplacement est appliquée lors de l'utilisation du modèle en temps réel si tous les postes d'un bassin sont lacunaires. Afin d'éviter que de tels

cas se produisent, il est important de veiller à sécuriser l'approvisionnement en information pluviométrique en s'assurant qu'un nombre suffisant de pluviomètres couvrent le bassin versant et que leur rapatriement en temps réel fonctionne correctement.

Tableau 3 : Densité pluviométrique sur les bassins

N	Nom Station	Code	Surface (km ²)	Nb postes disponibles	Indice densité (km ² /poste)
1	Doux à Tournon	V3744010	640	7	91
2	Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	600	5	120
3	Ardèche à Vogüe	V5014010	636	9	71
4	Baume à Rosières	V5035020	210	3	70
5	Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	V5054010	1930	19	102
6	Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	1120	12	93
7	Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	585	6	98
8	Gardon à Ners	V7164015	1100	16	69
9	Gardon à Russan	V7184015	1521	17	89
10	Gardon à Rémoulins	V7185005	1855	19	98

Si l'on revient à l'échantillon de bassins étudiés ici, on remarque qu'un des bassins comporte seulement trois postes (bassin de Baume à Rosières). Ce faible nombre de postes s'explique essentiellement par la petite taille du bassin (le plus petit de l'échantillon), la densité étant tout à fait satisfaisante.

Bien que les pannes simultanées sur plusieurs postes distants soient a priori peu communes, elles peuvent cependant survenir, générant des situations où le modèle n'est pas alimenté. La chronique du nombre de poste disponibles par bassin à chaque pas de temps (cf. Annexe 2) confirme cela puisqu'on observe que les cas de pannes simultanées sont beaucoup plus courants qu'on pourrait le penser. Ces cas sont même rencontrés sur des bassins où de nombreux postes sont disponibles comme par exemple sur ceux de l'Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc ou du Gardon à Rémoulins. Ces pannes sont d'ailleurs probablement causées par des problèmes de rapatriement plus que par des défaillances des postes eux-mêmes. On rappelle une fois encore l'importance pour le modèle de sécuriser l'approvisionnement en information pluviométrique. De ce point de vue, les travaux réalisés par le SPC pour sécuriser la transmission de l'information pluviométrique sont tout à fait positifs.

2.6. Sélection d'événements pour analyse

Pour mieux analyser et visualiser les performances des modèles hydrologiques, nous avons souhaité établir pour chaque bassin une sélection d'événements représentatifs de ses conditions hydrométéorologiques pouvant conduire à une crue.

Rappelons que le modèle hydrologique sélectionné fonctionne en continu (tout au long de l'année), mais cela n'est pas incompatible avec une évaluation qualitative sur des événements donnés.

Un algorithme automatique de sélection d'événements a été appliqué sur les séries hydro-météorologiques disponibles. L'originalité de cette procédure est de prendre des critères de sélection basés à la fois sur les débits et sur la pluie. Elle permet ainsi de ne pas ignorer les événements pluviométriques importants n'ayant pas conduit à des événements de crue significatifs, mais pour lesquels on souhaite vérifier que les prévisionnistes n'ont pas été induits en erreur. Certains modèles sont en effet trop réactifs aux pluies : les tester uniquement sur des événements de crue ne permettrait pas de mettre en évidence leurs fausses alertes.

Nous avons choisi de retenir 24 événements par bassin, ce qui représente entre 1 et 2 événements par an sur la période d'étude. Ces événements se décomposent en 18 événements de crue et 6 événements pluviométriques.

La procédure de sélection d'événements, qu'ils soient pluviométriques ou de crues, répond aux critères suivants :

1. chaque événement a une durée fixée à 10 jours,
2. un nouvel événement quel qu'il soit, ne peut débiter au plus tôt que 2 jours avant la fin d'un événement déjà existant (que celui-ci soit de débit ou de pluie),
3. aucune valeur manquante de pluie ou de débit n'est acceptée au cours d'un événement à l'exception des 2 derniers jours,
4. les événements de crues sont identifiés en premier, et c'est seulement lorsque les 18 événements de crues ont été retenus que les événements pluviométriques sont identifiés. On évite ainsi de resélectionner en tant qu'événement pluviométrique des pluies ayant entraîné des événements de crues déjà retenus,
5. les événements de crues sont construits à partir des débits horaires maximaux observés, et sont identifiés dans leur ordre décroissant d'importance (i.e. le 1^{er} événement identifié correspond à la plus forte crue observée, puis le 2^{ème} événement à la 2^{ème} plus forte et ainsi de suite),
6. pour les événements de crue, la période de l'événement est centrée sur le débit maximal,
7. les événements pluviométriques sont construits à partir des cumuls de pluie maximaux observés sur une fenêtre glissante de 24 heures et sont identifiés dans leur ordre décroissant d'importance (de manière analogue à la sélection des événements de crues),
8. pour les événements pluviométriques, le cumul de pluie sur 24 heures à l'origine de l'événement est placé à 1/5^{ème} de la période de l'événement (i.e. au 2^{ème} jour),

Les événements sélectionnés pour chaque bassin sont illustrés en Annexe 4, où ils sont présentés par ordre chronologique.

Notons d'ores et déjà que sur la période d'étude, quelques événements très importants se sont produits. On notera notamment :

- l'événement de septembre 2002 sur les Gardons et la Cèze,
- l'événement de décembre 2003 sur l'ensemble des cours d'eau,

- l'événement d'août 2004 sur la Baume,
- l'événement octobre-novembre 2008 sur les Gardons, la Cèze et l'Ardèche.

Ces événements majeurs, par leur importance, sont de nature à influencer de façon très significative le calage du modèle. A ce titre, lors du test du modèle, la présence d'un événement de type cévenol sur une sous-période de test et non sur l'autre mettra le modèle à rude épreuve et permettra d'évaluer sa capacité à s'adapter à des conditions très contrastées.

2.7. Périodes de test

Pour chaque station, nous avons retenu la plus longue période où des données pluviométriques et hydrométriques cohérentes existent en continu et de manière globalement concomitante. Ces périodes visibles sur la Figure 5 sont rappelées dans le Tableau 4.

Pour l'évaluation des performances, la période disponible sera divisée en deux sous-périodes approximativement d'égale longueur, pour pouvoir réaliser des tests en calage/contrôle croisés. Pour des questions d'initialisation des modèles, la première année de données de chaque période ne sera cependant pas prise en compte pour l'évaluation des modèles.

Tableau 4 : Périodes d'études retenues pour les sous bassins étudiés

N	Nom Station	Code	DateDebut	DateFin
1	Doux à Tournon	V3744010	01/09/2003	31/12/2008
2	Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	01/04/2003	31/12/2008
3	Ardèche à Vogüe	V5014010	01/04/2003	31/12/2008
4	Baume à Rosières	V5035020	01/04/2003	31/12/2008
5	Ardèche à Vallon-Pont-d-Arc	V5054010	01/04/2003	31/12/2008
6	Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	01/01/2001	31/12/2008
7	Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	01/01/2000	31/12/2008
8	Gardon à Ners	V7164015	01/01/2002	31/12/2008
9	Gardon à Russan	V7184015	01/10/2003	31/12/2008
10	Gardon à Rémoulins	V7185005	01/12/2004	31/12/2008

2.8. Mise en forme des données pour les tests

Pour chaque bassin versant, nous avons constitué un unique fichier texte au format colonne récapitulant l'ensemble des données nécessaires au test des modèles, à savoir les données de débit, d'ETP et de pluie. Un exemple de fichier est donné à la Figure 6.

V5035020 - Baume à Rosières						
Superficie bassin (km ²);		210.0				
	Debit	ETP01	Pluvio001	Pluvio002	Pluvio003	
Pondérations		1.0	1.0	1.0	1.0	
AAAAMMJJ	HH	Q(m3/s)	V5035020	07144002	07202003	V5035020
20060308	20	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000
20060308	21	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000
20060308	22	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000
20060308	23	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000
20060309	00	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000
20060309	01	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000
20060309	02	4.089	0.000	0.000	0.000	0.000

Figure 6 : Exemple de fichier de données constitué pour le test des modèles

2.9. Synthèse des résultats de la Phase 1

Cette phase du travail a permis de mettre en place la base de données nécessaire à la phase de modélisation. Les points suivants peuvent être mentionnés :

- on dispose selon les stations de périodes d'observation variant de 4 à 9 ans entre 2000 et 2008. Pour une majorité de stations une période de 6 ans (2003-2008) a été retenue pour le calage du modèle. Les périodes disponibles sont donc relativement courtes ce qui pourrait être handicapant lors de l'évaluation des performances du modèle et pour le calage final si elles ne sont pas représentative des conditions générales du bassin (bien que l'observation des chronique ne le laisse pas présager à ce stade).
- des données sur 52 postes pluviométriques répartis sur les 10 sous-bassins étudiés ont été fournies par le SPC. Ces postes couvrent globalement les périodes d'études retenues. On notera cependant qu'une série de postes ne sont disponibles que sur quelques années (2001-2003). De plus, l'absence de données antérieures à 2003 sur l'un des bassins a empêché l'utilisation de toute la chronique de débits disponibles.
- la répartition géographique des postes est assez homogène avec un indice de densité de bonne qualité (89 km²/poste en moyenne). Un bassin ne dispose toutefois que de trois postes pour estimer la pluie. L'absence de données simultanément sur tous les postes d'un bassin, que l'on peut observer dans les chroniques, laisse penser qu'il y a parfois des problèmes liés à la transmission des données. Les travaux de sécurisation des transmissions entrepris par le SPC sont, à ce titre, essentiels pour assurer la bonne continuité des chroniques pluviométriques.
- une sélection d'événements a été réalisée sur la base de critères pluviométriques et hydrologiques, conduisant à l'identification de 24 événements par bassin correspondant à des débits élevés et/ou des pluies importantes, avec la présence de quelques événements majeurs (par exemple celui de décembre 2003).

Cette base permettra de tester les modèles et d'analyser leurs résultats.

Notons que les problèmes constatés dans les bases de données seront vraisemblablement présents également dans les données brutes qui seront rapatriées en temps réel et utilisées par le modèle. Il est important qu'un niveau de vérification minimum des données soit opéré par le SPC avant alimentation du modèle GRP, sinon les résultats peuvent dans certains cas devenir désastreux voire incohérents à cause de ces problèmes de données.

3.

Résultats de la Phase 2 : Analyse hydrologique des bassins versants et présentation du modèle de prévision

3.1. Objectifs de la Phase 2

L'objectif essentiel de cette phase est de réaliser une caractérisation hydrologique simple des bassins versants, pour estimer leurs temps de réaction aux pluies.

Le délai de prévision souhaité par les services de prévision des crues sont généralement de l'ordre de 24 h (par exemple pour la carte de vigilance Météo) voire plus. Or il est clair que les bassins versants ciblés ont des temps de réponse aux pluies très inférieurs à ce délai. Pour atteindre un délai de prévision supérieur au temps de réaction du bassin (12h-24h par exemple), il faudra donc faire intervenir des prévisions de pluie. Deux zones temporelles devront donc être distinguées (voir Figure 7) :

- la première où les pluies futures n'ont pas d'impact sur les débits et la qualité des prévisions de débit ne dépend donc que des conditions passées (observées) et du modèle hydrologique ;
- la suivante où les prévisions de débit dépendront des prévisions de pluie, et ce d'autant plus que le délai de prévision s'allonge (la qualité de la prévision de pluie se dégradant logiquement avec l'augmentation de l'échéance).

La caractérisation de ces temps de réaction peut se faire par méthode géométrique (par exemple en mesurant le décalage temporel entre début d'événement et début de montée de crue). Cependant, de telles méthodes restent assez subjectives, notamment dans la détermination des débuts d'événements. Le recours à un modèle hydrologique semble plus adapté, puisqu'il est construit pour faire le lien entre la pluie et le débit.

Nous présentons donc ici une méthodologie basée sur le modèle pluie-débit sélectionné pour l'étude et nous en donnons les résultats.

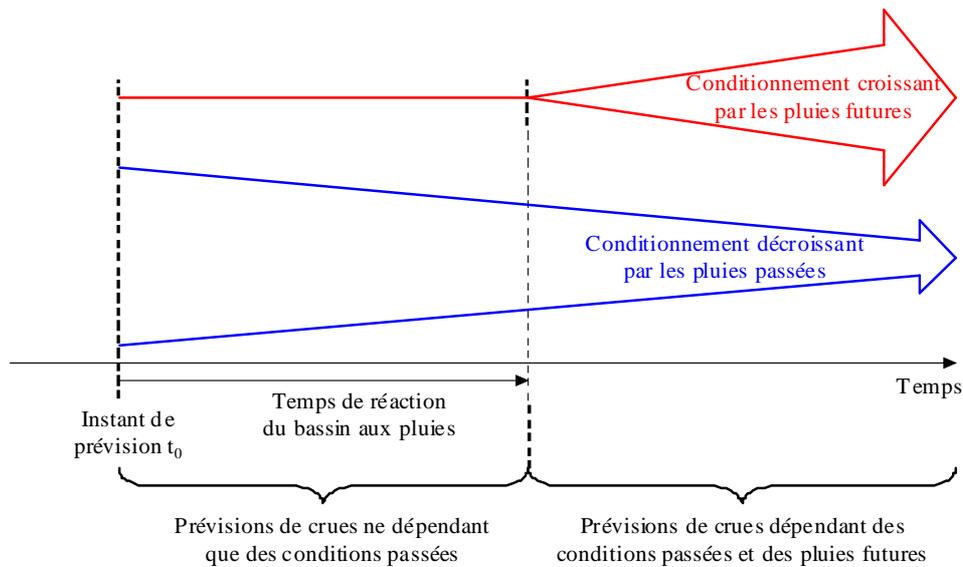


Figure 7 : Illustration de l'influence des conditions pluviométriques passées et futures sur la prévision de crue

3.2. Méthodologie de caractérisation

La méthode proposée consiste à analyser l'évolution des performances du modèle hydrologique de prévision en fonction de l'échéance, en fournissant au modèle deux scénarios de pluie future différents :

- un scénario de pluies futures nulles (la pluie s'arrête de tomber après l'instant de prévision) ;
- un scénario de pluies futures parfaitement connues (on fournit au modèle les données de pluie réellement observées a posteriori).

Dans ces deux tests, ce qui est important est que seul le scénario de pluie change, tout le reste étant égal par ailleurs. D'autres scénarios de pluie future auraient pu être choisis, mais les deux précédents ont l'avantage d'être commodes à mettre en œuvre.

Pour chaque échéance, on évalue l'erreur du modèle (voir Figure 8). En deçà du temps de réaction du bassin, les erreurs du modèle avec les deux scénarios sont généralement identiques, car elles ne sont pas conditionnées par les pluies futures. Au-delà, elles sont différentes. L'échéance correspondant à une différenciation des deux erreurs donne donc une estimation du temps de réaction du bassin.

Bien entendu, cette estimation du temps de réaction du bassin est moyennée sur l'ensemble des événements de la période. Certains événements auront des temps de réaction plus courts, d'autres plus longs.

Signalons enfin que cette estimation va dépendre partiellement :

- du modèle utilisé et des hypothèses de construction de ce modèle (par exemple mode global). Cependant, nous avons choisi d'utiliser ici le modèle qui sera mis en

œuvre dans le système de prévision, ce qui rend plus cohérente la démarche avec l'objectif final ;

- de l'information pluviométrique utilisée : dans le cas où les pluviomètres sont situés plutôt sur l'amont du bassin, le transfert simulé par le modèle devra être plus rapide que si les pluviomètres étaient situés plutôt à l'aval. La position des pluviomètres peut donc jouer un rôle sur le résultat obtenu (le problème serait le même avec une approche de type géométrique) ;
- la performance du modèle : des difficultés de modélisation peuvent conduire à des compensations de la part des paramètres qui vont avoir tendance à modifier les temps de réponse apparents. Par exemple, une durée plus grande de l'hydrogramme unitaire aura un effet de lissage supplémentaire des entrées du modèle, qui peut permettre au modèle de compenser des problèmes ayant d'autres origines.

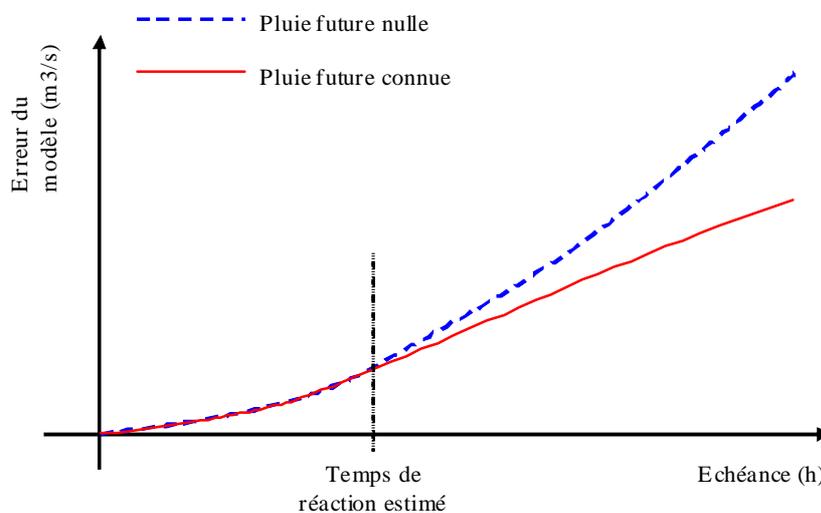


Figure 8 : Evolution des erreurs du modèle de prévision en fonction de l'échéance suivant deux scénarios de pluie future

Il faut donc globalement être prudent quant à l'interprétation de ces résultats. Rappelons aussi qu'il ne s'agit pas ici de déterminer des temps de propagation des crues d'amont en aval entre deux stations, mais bien des temps de réaction aux pluies (voir notamment Cemagref, 2004).

3.3. Modèle de prévision sélectionné

Pour réaliser la caractérisation hydrologique des bassins, nous utilisons le modèle GRP. Une description du modèle est donnée par le Cemagref (2005) et sera reprise dans la Phase 3 de la présente étude pour en détailler les nouvelles fonctionnalités. Nous reviendrons également au cours de la Phase 3 sur l'intérêt d'un tel modèle pour les objectifs de prévision annoncés.

Nous nous contentons à ce stade d'en donner les principales caractéristiques (voir schéma à la Figure 9). GRP est un modèle hydrologique de prévision :

- **continu** (par opposition à un modèle événementiel), c'est-à-dire qu'il fonctionne tout au long de l'année et se sert de l'historique des conditions pluviométriques

passées pour déterminer un état initial d'humidité du bassin à l'instant de la prévision ;

- **global** (par opposition à un modèle spatialement distribué), c'est-à-dire qu'il fait l'hypothèse que l'on peut représenter le comportement hydrologique du bassin versant sans tenir compte de l'hétérogénéité spatiale de ses caractéristiques et de ses précipitations. Autrement dit, il fait l'hypothèse que ces hétérogénéités ont un rôle de second ordre dans la réponse du bassin versant par rapport à l'influence des valeurs moyennes des caractéristiques et des quantités précipitées ;
- **avec une structure à réservoirs**, l'apparentant ainsi à des modèles conceptuels,
- construit pour une **exploitation directe des débits observés** en entrée (méthode de mise à jour directe) ;
- dépendant de **trois paramètres optimisables**. Ce faible niveau de complexité lui confère une bonne stabilité et une bonne robustesse.

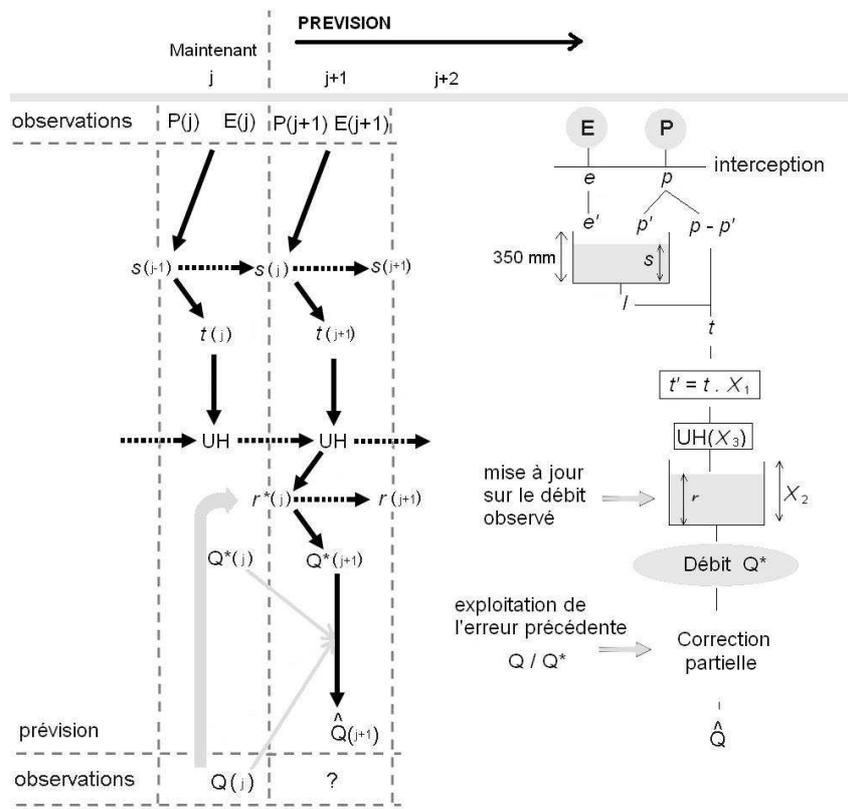


Figure 9 : Schéma structurel du modèle GRP avec représentation de la procédure d'exploitation des débits observés

Le décalage entre pluie et débit est essentiellement conditionné par l'hydrogramme unitaire du modèle. Cependant, son réservoir de routage réalise un lissage plus ou moins important de la pluie efficace, contribuant ainsi à simuler un effet tampon du bassin.

3.4. Résultats

Le modèle GRP a donc été appliqué aux 10 bassins de l'étude, en suivant la procédure décrite précédemment. Les performances ont été évaluées pour 10 échéances différentes : 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 et 72 h.

Les graphiques regroupés en Annexe 3 illustrent les résultats pour chacun des bassins. Le Tableau 5 récapitule les temps de réaction estimés en utilisant cette méthodologie. Ils sont tous très faibles puisqu'inférieurs à 6h. On constate une tendance à l'augmentation d'amont en aval sur les cours d'eau où l'on dispose de plusieurs stations, même si cette tendance est faible (voir Figure 10).

Tableau 5 : Temps de réaction des bassins aux pluies, estimés par modélisation

N	Nom Station	Code	Surface (km ²)	Temps de réaction estimé (h)
1	Doux à Tournon	V3744010	640	3
2	Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	600	3
3	Ardèche à Vogüe	V5014010	636	3
4	Baume à Rosières	V5035020	210	3
5	Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	V5054010	1930	3
6	Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	1120	6
7	Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	585	3
8	Gardon à Ners	V7164015	1100	3
9	Gardon à Russan	V7184015	1521	6
10	Gardon à Rémoulins	V7185005	1855	6

Ces résultats indiquent également que :

- le pas de temps horaire choisi ici est acceptable pour les bassins ayant un temps de réaction de l'ordre de 6 h mais trop large pour les bassins les plus réactifs. Dans ce second cas, ce pas de temps ne permettra probablement pas de suivre correctement la dynamique en crue et d'estimer les pointes. Un pas de temps infra-horaire serait préférable. Un tel pas de temps n'est cependant pas disponible actuellement dans GRP ;
- le temps de réaction le plus grand étant de 6 h, il n'est possible sur aucun des bassins d'atteindre un délai de prévision supérieur sans prendre en compte des prévisions de pluie. Dans la majorité des cas donc, la qualité de la prévision à une échéance de 9, 12 ou 24h dépendra partiellement (voire essentiellement) de la prévision de pluie.

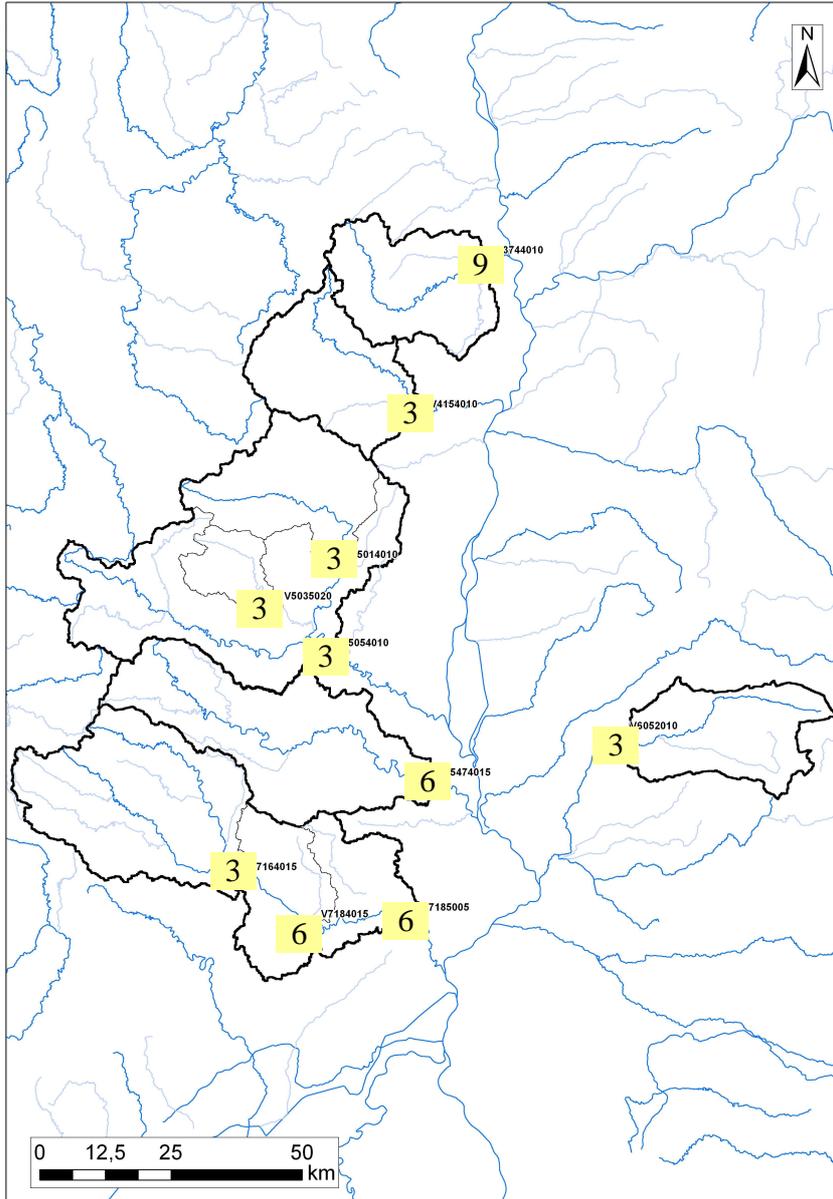


Figure 10 : Temps de réaction aux pluies (en heures) sur les stations étudiées

3.5. Synthèse des résultats de la Phase 2

Cette phase du travail a permis d'estimer les temps de réaction des bassins aux pluies. Globalement, ces temps sont très courts estimés entre 3 et 6 h.

Pour des échéances de prévision en deçà de ces temps, la pluie future ne joue aucun rôle sur la prévision de débit. Cependant, au-delà, elle conditionne partiellement (voire fortement) cette prévision. L'obtention de prévisions au-delà de 6 ou 12 h sera donc dans tous les cas conditionnée par les prévisions de pluie.

4.

Résultats de la Phase 3 : Calage et évaluation du modèle

4.1. Objectifs

Cette phase du travail constitue une étape majeure dans la réalisation de l'étude. Elle consiste en effet en une évaluation détaillée des capacités prédictives des modèles, ainsi qu'en une analyse de leur sensibilité aux pluies. Elle doit également fournir les jeux de paramètres calés pour une application opérationnelle. Enfin, elle permet de voir comment les nouveaux modèles proposés se situent par rapport à d'autres modèles de prévision.

L'évaluation des modèles permet de quantifier les niveaux d'erreur que l'on peut attendre en conditions opérationnelles avec les modèles proposés. Pour réaliser cette phase de test, nous nous sommes donc placés dans des conditions aussi proches que possible de celles d'une utilisation opérationnelle du modèle, même si nous verrons qu'il est délicat de prendre en compte dans une telle évaluation tous les paramètres pouvant influencer sur la qualité des prévisions en temps réel.

La structure choisie est celle du modèle GRP (voir phase 2) qui présente l'avantage d'être à la fois simple d'utilisation et peu gourmand en données, ce qui rend ce modèle bien adapté à la pratique opérationnelle.

Nous avons utilisé la base de données hydro-pluviométrique établie lors de la phase 1. Cette base offre une bonne diversité de conditions climatiques et hydrologiques. Elle a été établie en se calquant au maximum sur la disponibilité des données en temps réel.

Nous détaillons dans ce qui suit la méthodologie qui a été adoptée pour cette phase du travail.

4.2. Méthode d'évaluation du modèle

La procédure d'évaluation proposée a pour objectif de quantifier le niveau de fiabilité que l'on peut attendre du modèle GRP. Elle fournit un certain nombre d'indicateurs qualitatifs et quantitatifs sur le fonctionnement du modèle sur des données antérieures disponibles. Elle repose sur les éléments suivants.

4.2.1. Procédure de calage / contrôle

Le modèle de prévision est utilisé en temps réel, par définition, sur des événements non encore rencontrés. Il faut donc mettre le modèle de prévision dans une situation d'évaluation similaire, en testant son comportement sur des événements non rencontrés pendant la phase de calage. Pour cela, une procédure de calages / contrôles croisés sur sous-périodes indépendantes est adoptée (Klemeš, 1986). Cette procédure, illustrée à la Figure 11 consiste à caler alternativement le modèle sur l'une des sous-périodes et à le contrôler sur l'autre, et vice-versa. Ainsi, le modèle peut être évalué en contrôle sur l'intégralité des données disponibles. **C'est en phase de contrôle que les performances des modèles sont analysées**, puisque c'est dans cette phase (en dehors du calage) que fonctionnent les modèles en opérationnel. Les performances en calage donnent en effet une vision trop optimiste des capacités des modèles.

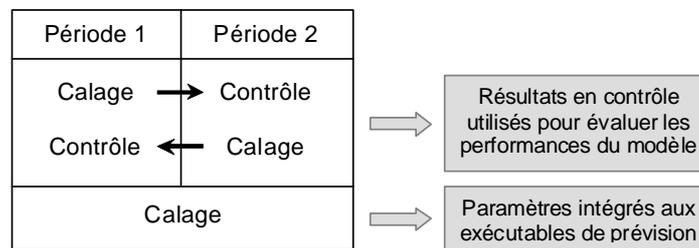


Figure 11 : Illustration de la procédure de calage-contrôle adoptée (d'après Cemagref, 2005)

Cette procédure de test permet de :

- quantifier l'efficacité du modèle (niveau de performance que l'on peut en attendre) ;
- quantifier la robustesse du modèle, c'est-à-dire sa capacité à conserver en phase de contrôle un niveau d'erreur similaire à celui rencontré lors du calage.

4.2.2. Détermination des périodes

La détermination de la période de calage et des périodes de tests du modèle est faite automatiquement en fonction des données disponibles dans les fichiers établis en Phase 1.

Le programme cherche des périodes aussi longues que possibles ne comportant aucune lacune de pluie ou d'ETP. Une fois les périodes répondant à ce critère identifiées, le programme cherche deux périodes non lacunaires. Parmi les périodes identifiées, il a le choix entre l'utilisation deux périodes non concomitantes (séparées par des lacunes) et le fait de scinder une période continue en deux sous périodes. Il choisit alors la solution optimale permettant d'obtenir deux périodes aussi longues que possibles (notées P1 et P2). Une fois ces deux périodes déterminées, elles sont utilisées alternativement comme plage de calage (en réservant la première année pour la mise en route) et plage de test de telle sorte que les tests du modèle soient toujours effectués sur la période n'ayant pas servie au calage.

Pour le calage final des paramètres, la plus longue période identifiée est utilisée pour bénéficier du maximum d'information disponible.

On notera que les débits peuvent être lacunaires durant la (les) année(s) de mise en route mais qu'un nombre minimum de pas de temps non lacunaires est requis sur la plage restante utilisée pour le calage (cf. Figure 12).

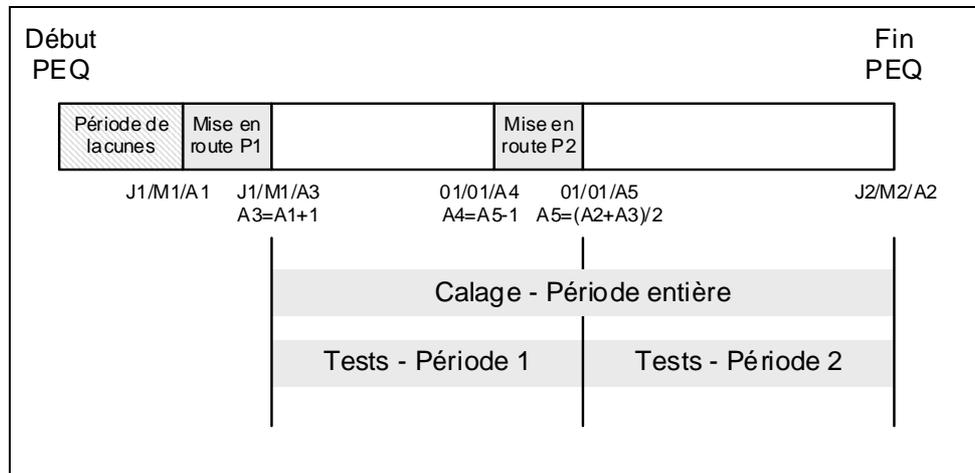


Figure 12 : Détermination des périodes de calage et tests dans un cas simple

4.2.3. Algorithme de calage

Le calage des paramètres a été réalisé à l'aide d'une procédure automatique, dite méthode « pas-à-pas », développée et largement testée au Cemagref. Cette procédure est une procédure locale de recherche d'un optimum dans l'espace des paramètres. Elle a prouvé son efficacité dans les travaux de recherche menés au Cemagref et est bien adaptée pour les modèles ayant un faible nombre de paramètres, comme c'est le cas ici. Des informations complémentaires sur cette procédure sont disponibles dans les travaux de Mathevet (2005).

La fonction objectif utilisée ici est l'erreur quadratique moyenne calculée sur les débits. Cette erreur donne par construction davantage de poids aux forts débits de la chronique (qui sont ceux sur lesquels on fait généralement les plus fortes erreurs en valeur absolue).

4.2.4. Scénarios de pluie future considérés lors des tests

Le test de modèles de prévision requiert l'utilisation de scénarios de pluie future. En effet, les prévisions quantitatives de pluie influencent notablement les prévisions hydrologiques, dès lors qu'on se situe au-delà du temps de réaction du bassin. Dans un contexte de vigilance crue, des horizons de 12, 24 (parfois 72 h pour les grands bassins) sont ciblés et rendent donc indispensable l'utilisation d'un scénario de pluie future. En conditions opérationnelles, les services de prévisions des crues disposent de prévisions quantitatives de pluie de Météo-France. Pour évaluer les performances du modèle, il serait donc logique d'utiliser des historiques de prévisions quantitatives de précipitations sur les bassins, ce qui permettrait de se mettre dans des conditions d'évaluations les plus proches possible des conditions opérationnelles. Cependant, de tels historiques sont rarement disponibles.

Par conséquent, deux scénarios simples de pluies futures, pouvant facilement être mis en place sans élaboration d'hypothèses très spécifiques sur les pluies, ont été utilisés pour tester le modèle :

- un scénario de **pluie future nulle**, qui représente un scénario défavorable, en particulier pour les horizons de prévisions supérieurs au temps de réaction du bassin. Un tel scénario est cependant utilisé par défaut en conditions opérationnelles en absence de prévision de pluie ;
- un scénario de **pluie future parfaitement connue**, qui représente des conditions de test idéalisées. Un tel scénario est irréaliste en conditions opérationnelles, mais permet d'avoir une évaluation des performances du modèle, sans y introduire les erreurs liées à la méconnaissance des pluies futures.

Les deux scénarios doivent conduire à des performances quasiment identiques en deçà du temps de réaction du bassin, les performances avec scénario de pluie future nulle se dégradant ensuite plus rapidement que celles avec scénario de pluie parfaitement connue.

Dans ces tests, on ne tient donc pas compte de la part de l'erreur qui pourrait être apportée par une mauvaise estimation des pluies futures. Tout ce que l'on peut dire à ce stade, c'est que les performances obtenues avec le second scénario sont ce que l'on obtiendra *au mieux* avec le modèle choisi et l'information pluviométrique disponible. Les performances obtenues avec les conditions de pluie future nulle ne sont pas forcément ce que l'on obtiendra au pire en conditions opérationnelles au-delà du temps de réaction du bassin, de mauvaises prévisions de pluie pouvant conduire à des erreurs plus importantes.

4.2.5. Horizons de calage et délais de prévision

Le calage du modèle a été réalisé pour un horizon fixe. Le choix des horizons de calage dépend :

- **du temps de réaction estimé du bassin.** Au delà de ce temps de réaction, les scénarios de pluies futures deviennent nécessaires au calcul d'une prévision réaliste. On pourra donc utiliser ce temps de réaction comme un horizon de calage intéressant.
- **de l'horizon souhaité par le SPC** pour ses objectifs de prévision et/ou vigilance. Ces échéances sont généralement de l'ordre de 12 ou 24 h. On pourra donc utiliser ces échéances comme horizon de calage.

Comme on l'imagine facilement, ces deux aspects sont souvent antagonistes sur les bassins de petite et moyenne taille comme c'est le cas dans cette étude.

En conséquence, la règle suivante ayant été utilisée :

- Horizon calage = 6 h si Temps réaction bassin \leq 6
- Horizon calage = Tr si Temps réaction bassin $>$ 6

Pour les bassins étudiés ici, cela revient donc à choisir un horizon de calage identique pour tous et égal à 6h.

Quelque soit horizon de calage choisi, des prévisions sont générées à différentes échéances. Ainsi, les performances sont évaluées pour 10 horizons de prévision différents : 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 et 72 h.

4.2.6. Critères numériques d'évaluation

L'utilisation de critères a pour objectif de quantifier l'*utilité* de la prévision (information supplémentaire apportée par le modèle au prévisionniste par rapport aux outils/connaissances existants pour sa prise de décision).

Plutôt que d'utiliser un seul critère, nous avons préféré utiliser plusieurs critères qui soient aussi parlants que possible pour le prévisionniste. Notons que seuls les critères en phase de contrôle sont calculés, car ils sont les plus représentatifs des performances du modèle en conditions opérationnelles.

- **Erreur quadratique moyenne**

Le principal critère numérique utilisé est l'**erreur quadratique moyenne** (exprimée en m³/s), définie par :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i+L) - Q_{prev}(i+L))^2}$$

où $Q_{obs}(i+L)$ et $Q_{prev}(i+L)$ sont les débits observés et prévus aux temps $i+L$, L est le délai de prévision et n le nombre de pas de temps pris en compte. On a restreint ce calcul à des débits au-dessus d'un seuil de crue. Ce seuil a été défini comme le quantile 0.95 de la courbe des débits horaires classés. Ce seuil correspond donc au débit sus-passé en moyenne pendant 438 heures chaque année.

Cette erreur renseigne sur l'erreur faite en moyenne sur les forts débits.

L'évolution de ce critère en fonction du délai de prévision permet de constater la vitesse de dégradation des prévisions du modèle lorsque l'horizon s'allonge. En conditions réelles, viendrait s'ajouter à l'erreur du modèle celle due à la méconnaissance des pluies futures, et ce d'autant plus que l'horizon de prévision est lointain.

Sont également calculés les quantiles de la **distribution des erreurs du modèle** (représentés sous forme de diagrammes à moustaches), ce qui permet notamment d'avoir un **intervalle de confiance à 80 % (intervalle entre les moustaches) sur les erreurs** du modèle. Par rapport à la RMSE, cette analyse des distributions permet de voir si le modèle a plutôt tendance à sous-estimer ou surestimer les débits. Ces intervalles de confiance sont représentés graphiquement en fonction du délai de prévision.

- **Critère de persistance**

Le modèle GRP a été évalué relativement à un modèle de référence simple qu'est le modèle de persistance. Ce modèle considère que le débit reste inchangé à partir de l'instant de prévision : ($Q_{prev}(i+L) = Q_{obs}(i)$).

Cette comparaison se fait sur les erreurs quadratiques moyennes en utilisant un critère adimensionnel d'efficacité défini par :

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i+L) - Q_{prev}(i+L))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i+L) - Q_{obs}(i))^2}$$

Un critère de 1 indique que le modèle testé est parfait, un critère de 0 indique que le modèle testé est équivalent au modèle de persistance, un critère négatif indique que le modèle testé fournit des prévisions moins bonnes que celles du modèle de référence. On a donc ainsi une comparaison quantitative directe des deux modèles.

Notons que l'interprétation de ce critère n'est pas toujours simple, car il faut bien se rappeler qu'on compare deux modèles. Ainsi, un critère d'efficacité négatif ne veut pas forcément dire que le modèle testé est mauvais si le modèle de persistance présente déjà une erreur très faible (par exemple pour des horizons courts sur un bassin très lent), cela veut seulement dire qu'il est moins bon que la référence.

- **Critères de franchissement de seuil**

Ces critères permettent d'évaluer la capacité du modèle à prévoir les dépassements de seuils prédéfinis (par exemple seuils de vigilance). Afin de les comptabiliser, on définit quatre configurations illustrées à la Figure 13. En classant les prévisions réalisées dans chacune des quatre configurations, on obtient ainsi le tableau de contingence présenté au Tableau 6.

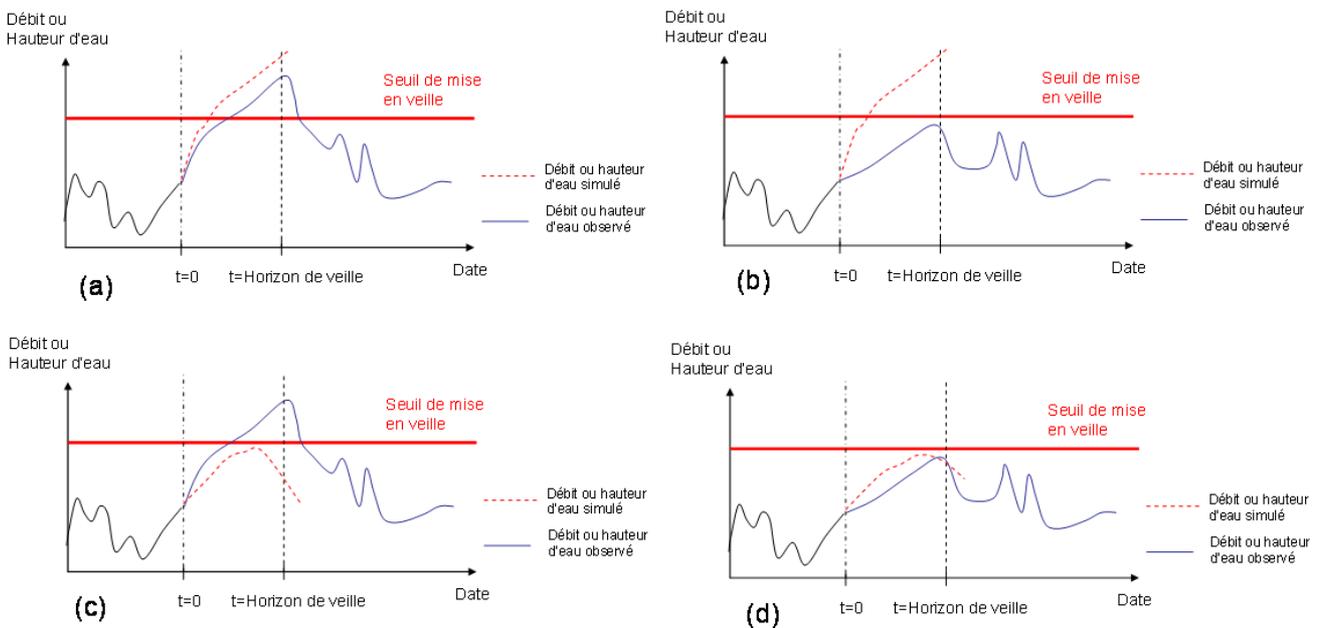


Figure 13 : Représentation des différentes situations rencontrées avec la méthode de veille : (a) Alerte valable, (b) Fausse alerte, (c) Alerte manquée, (d) Non alerte valable

Tableau 6 : Tableau de contingence de dépassement de seuil

		Observation	
		Dépassement	Non dépassement
Prévision	Dépassement	Alerte valable ^(a)	Fausse alerte ^(b)
	Non dépassement	Alerte manqué ^(c)	Non alerte valable ^(d)

Pour faciliter l'interprétation des valeurs contenues dans le tableau de contingence, trois scores d'efficacité qui en découlent sont calculés :

- la probabilité de détection (POD)

$$POD = \frac{a}{a + c}$$

La probabilité de détection, bien qu'elle ignore complètement la possibilité de fausses alertes, représente la probabilité qu'une alerte ait été prévue lorsqu'elle a effectivement lieu.

- le taux de fausses alertes (FAR)

$$FAR = \frac{b}{a + b}$$

Ce score est en quelque sorte l'inverse du premier en ce sens qu'il témoigne cette fois de la probabilité d'annoncer une alerte alors qu'elle n'aura pas lieu.

- l'indice de succès critique (CSI).

$$CSI = \frac{a}{a + b + c}$$

Ce score est intéressant puisqu'il résume en quelque sorte l'information en représentant les succès par rapport à ce qui a été prévu, mais aussi ce qui aurait dû l'être.

4.2.7. Critères graphiques d'évaluation

Les illustrations graphiques suivantes sont proposées pour aider à l'évaluation des prévisions :

1. **la comparaison des débits prévus et observés** à l'horizon utilisé pour le calage,
2. **la comparaison des variations de débit observées et prévues** à ce même horizon. Ce graphique permet de mettre en évidence la capacité à bien prévoir les variations observées (voir exemple en Figure 14). On cherche notamment à éviter les cas où le modèle prévoit une variation de débit opposée à celle réellement observée a posteriori, car ces situations sont souvent désastreuses pour le prévisionniste.

Dans ces deux graphiques, on cherche à obtenir des nuages de points proches de la bissectrice. Le deuxième graphique est généralement plus exigeant que le premier, et permet notamment de plus facilement détecter des problèmes lors de la montée de crue (moitié droite du graphique), qui est souvent la phase la plus délicate à prévoir. Pour avoir une évaluation quantitative correspondant à ce graphique, nous avons calculé pour les quatre quadrants qui le composent (augmentation prévue et observée, augmentation prévue et diminution observée, diminution prévue et augmentation observée, diminutions prévue et observée) le pourcentage de prévisions concernées.

On a également calculé la proportion des cas où une augmentation a été prévue quand une augmentation est effectivement observée (quadrant en haut à droite du graphique) par rapport au nombre total d'augmentations observées. Une valeur élevée de ce ratio indique une bonne capacité du modèle à prévoir les phases de montée.

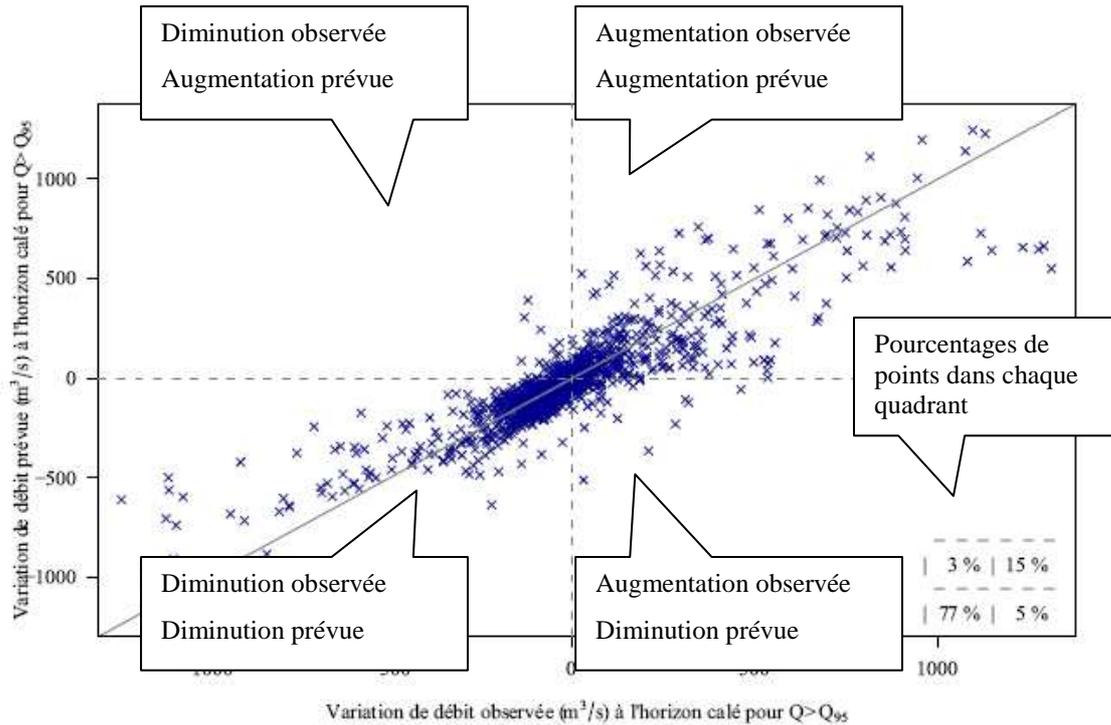


Figure 14 : Exemple de graphique comparant les variations de débit prévues et observées

4.2.8. Représentation graphique des résultats

Les résultats des tests précédemment mentionnés sont organisés sous la forme d'une fiche synthétique pour chaque bassin étudié. Un exemple de fiche de performances ainsi obtenue est donné à la Figure 15. On y trouve :

- un tableau récapitulatif brièvement les caractéristiques du bassin étudié et les critères numériques d'efficacité;
- un graphique montrant l'évolution de la RMSE en fonction du délai de prévision pour le modèle de persistance et le modèle GRP testé avec différents scénarios de pluies futures ;
- un second graphique représentant les distributions des erreurs de GRP en fonction de l'horizon de prévision pour des scénarios de pluies futures parfaitement connues et nulles;
- le tableau de contingence issu de l'analyse des dépassements de seuil;
- deux graphiques comparant les débits prévus et observés d'une part, et les variations prévues et observées d'autre part, pour le modèle GRP.

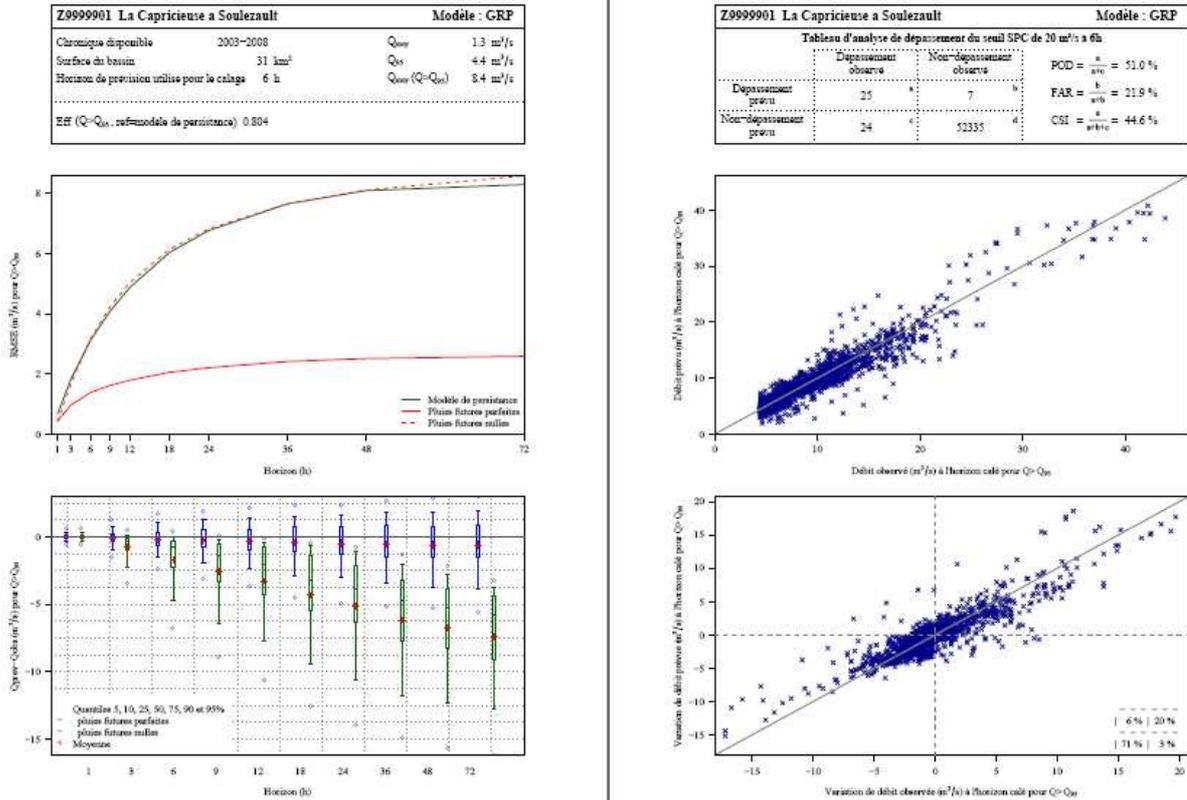


Figure 15 : Exemple de fiche synthétique de résultats

Ces fiches synthétiques de résultats ont été complétées par une illustration des hydrogrammes de prévision sur chacun des 24 événements sélectionnés lors de la phase 1 de l'étude. Un exemple d'hydrogramme de prévision est donné à la Figure 16.

Ont été tracés sur ces graphes :

- les débits observés,
- la courbe liant les débits prévus à l'horizon de prévision correspondant au temps de réaction du bassin,
- les traces de prévisions successives réalisées au cours de l'événement (faisant apparaître les prévisions sur des périodes de 72 h). Pour des raisons de lisibilité, nous avons limité le nombre de traces de prévision à une par jour,
- les seuils de débits fournis par le SPC,
- les précipitations observées.

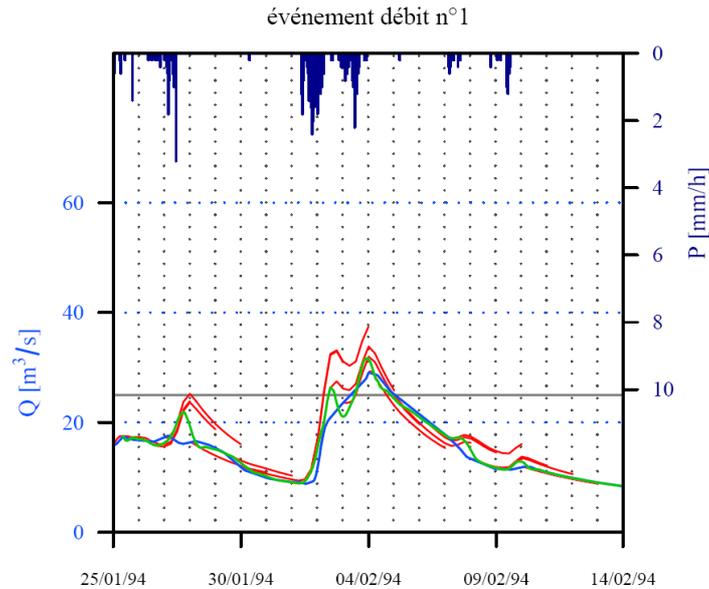


Figure 16 : Exemple d'hydrogramme de prévision

4.3. Présentation et analyse des résultats

4.3.1. Détail des résultats fournis

Les représentations graphiques des résultats des tests ont été favorisées afin de présenter, de la façon la plus claire possible, les différents critères utilisés pour évaluer les performances du modèle.

Les fiches synthétiques des résultats établies pour les 10 bassins de l'étude sont disponibles en Annexe 3. Nous avons par ailleurs représenté en Annexe 4 les prévisions faites sur les 24 événements sélectionnés pour chaque bassin lors de la phase 1. Ils donnent une illustration très concrète des prévisions réalisées par le modèle sur les principaux événements de crues (ou de pluie) observés sur les bassins. Ce catalogue de prévision peut être un outil utile pour le prévisionniste en temps réel.

Enfin, le Tableau 7 synthétise les principaux résultats obtenus. Pour chaque bassin, il présente les informations générales et les performances du modèle. Il regroupe ainsi les données numériques présentées dans chacune des fiches synthétiques. Ce tableau présente pour chaque station :

- la RMSE de GRP à l'horizon cible (utilisé pour le calage) pour des scénarios de pluies futures parfaitement connues (RMSE PP). Afin de comparer plus facilement les erreurs du modèle entre les différents bassins, seulement le rapport entre la RMSE PP et le débit moyen en période de hautes eaux est présenté.
- le critère d'efficacité basé sur le modèle de persistance
- les pourcentages des cas où, lors d'une montée de crue, le modèle prévoit également une augmentation du débit.

Ces critères ont été calculés sur les périodes de hautes eaux seulement (pour un débit supérieur au quantile 95%).

Tableau 7 : Synthèse des résultats obtenus par le modèle GRP sur les 10 stations étudiées

Nom Abrégé	Code	Surface (km ²)	Nb Postes	Horizon de calage	Qmoy (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	Pour Q > Q95				Qualification des performances
							Qmoy (m ³ /s)	RMSE(PP)/Qmoy	Eff (pers)	$\Delta Q_{prev>0}$ lorsque $\Delta Q_{obs>0}$	
Doux à Tournon	V3744010	640	7	6	4.9	23.8	64.9	0.32	0.16	47%	Faibles
Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	600	5	6	7.8	27.8	88.1	0.29	0.53	65%	Moyennes (+)
Ardèche à Vogüe	V5014010	636	10	6	23.0	81.0	187.2	0.10	0.75	80%	Bonnes
Baume à Rosières	V5035020	210	3	6	9.3	32.6	67.6	0.13	0.56	79%	Moyennes (+)
Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	V5054010	1930	19	6	56.2	185.7	429.6	0.24	0.69	75%	Bonnes
Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	1120	12	6	18.7	82.2	183.7	0.20	0.47	82%	Moyennes (-)
Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	585	6	6	4.3	13.3	24.9	0.21	0.51	14%	Moyennes (-)
Gardon à Ners	V7164015	1100	16	6	18.0	57.8	159.1	0.27	0.67	84%	Moyennes (+)
Gardon à Russan	V7184015	1521	17	6	25.2	71.8	186.5	0.12	0.77	85%	Moyennes (+)
Gardon à Rémoulins	V7185005	1855	19	6	43.2	137.0	256.1	0.08	0.63	71%	Moyennes (+)

Rappelons qu'il n'existe pas de critère unique d'évaluation des performances des modèles de prévision et que plusieurs aspects peuvent être intéressants à analyser. Il est donc difficile de qualifier les performances du modèle de manière absolue, celle-ci dépendant de nombreux facteurs et des attentes du SPC. Nous nous sommes tout de mêmes risqués à une telle analyse, en qualifiant la qualité globale des prévisions sur chaque bassin dans la dernière colonne du Tableau 7.

De plus, les résultats présentés dans cette étude sont évidemment présentés en contrôle et n'ont donc pas été influencés le calage. Il semble toutefois bon de rappeler que ces graphiques résultent de tests du modèle dans des conditions idéalisées (et donc assez peu réalistes) puisque les scénarios de pluie utilisés correspondent aux pluies parfaites observées a posteriori et qu'un filtrage préalable a été fait sur les données sources.

A partir des éléments mentionnés précédemment, nous donnons dans la partie suivante une analyse des résultats du modèle. Nos critères d'évaluation ne correspondant pas forcément exactement à ceux du SPC, il faudra que celui-ci s'approprie ces résultats et en fasse sa propre analyse relativement à ses objectifs spécifiques sur chaque bassin.

4.3.2. Analyse des résultats

Le modèle présente des niveaux de performance variés sur l'échantillon de bassins étudié. Globalement, on peut juger les résultats acceptables, avec seulement 1 bassin pour lequel les performances sont jugées faibles, 7 bassins pour lesquels elles sont moyennes et 2 bassins où elles sont considérées bonnes (voir Tableau 7). Nous donnons dans le Tableau 8 une brève analyse qualitative de ces résultats station par station.

On constate aisément que quels que soient le bassin et l'horizon de prévision considérés, le modèle GRP est meilleur que le modèle de persistance. En d'autres termes, on peut affirmer que **GRP apporte toujours une information intéressante pour le prévisionniste** de meilleure qualité qu'un modèle naïf de persistance. La différence est significative dès que l'on dépasse 3 h d'horizon de prévision et s'accroît logiquement ensuite en faveur de GRP à mesure que le délai s'allonge en condition de pluie parfaitement connue. Compte tenu de la rapidité des événements de crue sur les bassins étudiés, notons cependant que le modèle naïf de persistance est très rapidement un mauvais modèle lorsque le délai s'allonge, ce qui fait que le critère de persistance n'est pas forcément très exigeant.

En conditions de pluie future nulle, l'erreur sur l'estimation de la pluie future dégrade largement les performances du modèle lorsque l'on regarde au-delà du temps de réaction du bassin. La qualité des prévisions dépend donc grandement de la qualité des prévisions de pluies qui alimentent le modèle, ce point devra faire l'objet d'une attention particulière en conditions d'utilisation opérationnelles.

Pour la plupart des bassins, la séparation des courbes de performance obtenues en conditions de pluies futures nulles et parfaites est assez nette, ce qui est souvent un indicateur d'une bonne capacité du modèle à valoriser des prévisions de pluie, et donc de bon comportement du modèle. Cependant, pour deux bassins de l'échantillon (le Doux à Tournon et le Gardon à Rémoulins), une situation peu courante est observée puisque les erreurs du modèle sont plus faibles en conditions de pluies futures nulles qu'en conditions de pluies parfaites pour des horizons faibles (inférieurs à 12h). Cette situation peut probablement s'expliquer par le fait que le modèle a tendance sur certains événements à surestimer les débits futurs, c'est particulièrement visible pour le Gardon à Rémoulins lorsque l'on observe la distribution des erreurs du modèle (cf. Annexe 3, graphique en bas à gauche) ou encore les hydrogrammes sur la sélection d'événements de débits (cf. Annexe 4). Dans de tels cas, un scénario en pluies futures nulles (donc sans apports de pluie à venir) aboutira à des débits prévus moins forts qui

seront plus proches des observations, et correspondront ainsi à une erreur en RMSE plus faible. Des analyses complémentaires seraient à faire pour clarifier ce problème.

Tableau 8 : Analyse qualitative des résultats obtenus par le modèle GRP sur les 10 stations étudiées

Nom Abrégé	Code	Temps de réaction estimé (h)	Qualification des performances	Commentaires
Doux à Tournon	V3744010	3	Faibles	Résultats dominés par l'événement de décembre 2003, assez nettement surestimé. Prévisions globalement plutôt en retard sur le reste des événements. La présence d'un seul événement majeur sur la chronique déstabilise probablement le test du modèle.
Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	3	Moyennes (+)	Prévisions globalement assez satisfaisante. Surestimation du pic en 2003 mais bonne prévision de la montée de crue
Ardèche à Vogüe	V5014010	3	Bonnes	Modèle globalement bon, réussit à bien rendre compte de la dynamique sur le bassin (montée de crue et pointes). Stabilité des résultats probablement favorisée par la présence d'événements majeurs sur les deux sous-périodes
Baume à Rosières	V5035020	3	Moyennes (+)	Commentaires similaires à la station précédente, avec cependant une dispersion plus importante des prévisions
Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	V5054010	3	Bonnes	Résultats similaires à ceux de la station de Vogüe
Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	6	Moyennes (-)	Résultats dominés par l'événement de septembre 2002, qui est sous-estimé, les autres ayant plutôt tendance à être sous-estimés. La présence d'un seul événement majeur sur la chronique déstabilise probablement le test du modèle.
Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	3	Moyennes (-)	Tendance à la sous-estimation et au retard. Information pluviométrique peu stable.
Gardon à Ners	V7164015	3	Moyennes (+)	Résultats dominés par l'événement de septembre 2002, qui est sous-estimé. La présence d'un seul événement majeur sur la chronique déstabilise probablement le test du modèle.
Gardon à Russan	V7184015	6	Moyennes (+)	Résultats assez dispersés mais tendances globalement non biaisées
Gardon à Rémolins	V7185005	6	Moyennes (+)	Tendances globalement correctes mais fortes dispersion sur les pointes de crue

On note également que lorsque l'horizon de prévision augmente, l'erreur du modèle en conditions de pluie future parfaitement connue tend vers un palier, qui devrait correspondre à très longue échéance au niveau d'erreur du modèle obtenu en simulation (sans assimilation du débit observé). En effet, lorsque l'horizon augmente, l'effet de la mise à jour (c'est-à-dire de la prise en compte simultanée du dernier débit observé et de la dernière erreur du modèle) tend à s'atténuer progressivement. On remarquera que pour tous les bassins étudiés, la médiane des erreurs tend vers un palier souvent légèrement négatif, ce qui signifie que GRP a tendance à sous-estimer légèrement les débits (il sous-estime généralement les pointes de crues).

Parallèlement, l'écartement progressif des courbes de prévision obtenues avec les deux scénarios de pluie montre la part croissante de l'erreur sur l'estimation de la pluie future dans l'erreur totale de prévision. Notons que la courbe d'erreur obtenue en condition de pluie nulle ne constitue nullement une limite supérieure des erreurs : en effet, de mauvaises prévisions de pluie peuvent générer des erreurs plus importantes sur les prévisions de débit.

Certains graphiques de comparaison des débits prévus et observés font apparaître des sortes de « boucles ». Ces boucles correspondent en fait à des événements où les observations et les prévisions sont déphasées. C'est par exemple le cas lorsque le modèle est en retard à la montée. Les débits prévus sont alors inférieurs aux débits observés sur cette phase de montée, le modèle pouvant réussir à rattraper progressivement ce décalage au cours de l'événement, pour fournir des prévisions en phase avec les observations lors de la décrue. Un exemple très visible de cette situation est celui de la forte crue de septembre 2002 sur la Cèze à Bagnols.

Il est difficile de dégager une tendance nette sur les événements majeurs, certains étant sous-estimés, d'autres surestimés. Globalement, le modèle réussit quand même relativement bien à voir les montées. Le comportement du modèle sur les événements de pluie n'ayant pas occasionné de réactions fortes du bassin est globalement très satisfaisant.

Enfin, le fait d'avoir des périodes de test très contrastées (par exemple avec la présence d'un événement majeur sur une période et pas sur l'autre) semble être un facteur déstabilisant pour le modèle. En effet, la période présentant un seul événement majeur aura tendance à conduire à des jeux de paramètres moins représentatifs de l'ensemble des comportements. Pour les bassins où c'est le cas, les paramètres ne seront pas forcément très bien déterminés.

4.4. Conclusion de la phase 3

Cette phase de travail a représenté le cœur de l'étude des performances du modèle GRP. Nous avons adopté ici une approche permettant d'obtenir des résultats dans des conditions aussi proches que possible des conditions opérationnelles. Notons cependant que ces résultats de modélisation sont probablement "idéalisés" dans le sens où ils ont été obtenus à partir d'une base de données critiquées et validées, alors que la qualité est souvent moindre en temps réel. A contrario, ces résultats sont des résultats bruts de modélisation qui n'ont bénéficié d'aucune expertise a posteriori de la part des prévisionnistes, qui permettrait certainement d'affiner les résultats.

Les résultats qui ont été présentés sont donc une indication du niveau d'aide à la décision qui peut être fourni par le modèle GRP.

Les principaux résultats de ces tests sont les suivants :

- On constate que peu importent les bassins ou l'horizon de calage, il y a toujours avantage à utiliser GRP par rapport à un modèle de persistance (qui n'est cependant pas très exigeant sur ces bassins très réactifs).
- L'intérêt du modèle GRP semble cependant variable suivant les bassins. Nous avons ainsi réparti les bassins en trois catégories de performances. Ces performances sont jugées :
 - bonnes sur 2 bassins,
 - moyennes sur 7 bassins,
 - faibles sur 1 bassin.

- Le scénario de précipitations futures utilisé en opérationnel a aussi un rôle important, les pertes de performances étant en effet significatives dans un scénario de pluie futures nulles comparativement au scénario idéalisé de pluie parfaitement connues.
- le fait d'avoir un seul événement majeur dans la chronique test de certains bassins limitera la représentativité des paramètres calés.

Cette phase de l'étude a par ailleurs permis de fournir les bases temps réelle et les jeux de paramètres pour les différentes stations étudiées.

5. Conclusion générale

Ce rapport a présenté les résultats obtenus par le Cemagref dans le cadre de l'étude d'analyse et de modélisation de 10 sous-bassins d'affluents du Rhône-aval. Cette étude comprenait trois phases, dont nous rappelons ici les résultats essentiels.

La Phase 1 a consisté à mettre en place la base de données. Le réseau pluviométrique actuellement disponible sur le territoire du SPC pour des applications temps réel (52 postes) présente une couverture globalement bonne du territoire. La présence de lacunes simultanées sur de nombreux postes dans les chroniques laisse penser qu'il existe parfois des difficultés de rapatriement. Les travaux en cours au SPC pour sécuriser cela devraient donc permettre de fiabiliser l'information pluviométrique, qui est nécessaire en continu pour le modèle GRP.. Ce phénomène de lacune est cependant problématique pour le test du modèle car compte tenu du caractère continu du modèle nous n'avons pas d'autre choix que de considérer ces lacunes de pluies de bassins comme des pluies nulles.

L'analyse de ces données pluviométriques a montré que les chroniques disponibles recouvrent globalement les périodes d'étude retenues. Cependant, certains postes ne sont disponibles que sur deux ou trois années et l'absence de données de pluie sur l'un des bassins nous a contraint à réduire sa période d'étude tandis que des données hydrométriques étaient disponibles.

La critique des données pluviométriques et hydrométriques a permis d'écartier les données incohérentes. Ce travail a ainsi abouti à la construction de la base de données horaire (pluie – débit – ETP) sur les 10 bassins de l'étude sur des périodes variables entre 2000 et 2008. 24 événements ont ensuite été sélectionnés pour chaque bassin (les 18 plus gros événements de crue et les 6 plus gros événements de pluie complémentaires) pour l'analyse des performances. Ces bassins sont soumis à des événements de pluie de type cévenols, avec de très fortes intensités de pluie, qui créent des conditions très différentes très crues courantes.

Les problèmes constatés dans les données se produiront vraisemblablement lors de l'application du modèle en temps réel. Il est donc important à ce stade que le SPC mette en place des procédures pour réaliser un filtrage des données préalablement à l'alimentation du modèle, pour éviter que les prévisions ne pâtissent des incohérences dans les mesures.

La Phase 2 de l'étude a permis de caractériser, par une méthode hydrologique, les temps moyens de réaction des bassins versants aux pluies. Ces temps de réaction sont courts (de 3 à 6 heures). Ces temps de réactions sont très courts, indiquant que le pas de temps horaire est probablement trop grossier pour les bassins les plus réactifs de l'échantillon. Les temps de réaction estimés ont été mis en regard des objectifs de prévision de l'étude en termes de délais de prévision. En effet, l'horizon "idéal" d'un service de prévision varie généralement entre 12

et 24 heures (par exemple pour la carte de vigilance). Il est donc clair que pour atteindre ces échéances, des prévisions de pluie devront être intégrées à la chaîne de prévision, la qualité des prévisions de débit dépendant grandement de la qualité des prévisions de pluie. Cet aspect n'a cependant été que partiellement couvert lors de cette étude, car nous ne disposons pas de chroniques de prévision de pluie sur le bassin. Seuls des scénarios de pluie future nulle ou de pluie parfaitement connue (correspondant aux pluies observées a posteriori) ont été analysés.

Cette seconde phase a également l'occasion de présenter le modèle de prévision GRP.

La Phase 3 constituait le cœur de l'étude, avec le test du modèle hydrologique de prévision GRP choisi pour cette étude sur les 10 stations retenues. Une procédure rigoureuse de test en calage-contrôle a été établie et une sélection de critères numériques et graphiques a été faite pour analyser les résultats. La procédure de test avait pour objectif de se placer dans des conditions aussi proches que possible des conditions opérationnelles, afin d'évaluer le niveau de performance que l'on peut attendre du modèle dans ces conditions. Malgré cela, un certain nombre d'aspects (problème de critique des données en temps réel, disponibilité et qualité des prévisions de pluie) n'ont pas été analysés, bien qu'ils puissent avoir un impact significatif sur les performances. Par ailleurs, les valeurs des critères fournies ont été calculées sur des chroniques relativement courtes et, bien qu'un nombre significatif d'événements y soient présents, elles restent dépendantes des conditions rencontrées.

Bien que l'évaluation puisse conduire à des interprétations légèrement différentes en fonction des critères choisis, il a été conclu que le modèle fournissait des résultats bons sur deux stations, moyens sur 7 stations et faibles sur une station, et qu'il apportait toujours une information intéressante pour le prévisionniste de meilleure qualité qu'un modèle simple de persistance. Les difficultés rencontrées par le modèle sur certaines stations peuvent avoir plusieurs origines :

- défaut du modèle,
- problème dans la représentativité des données de pluie (due à la variabilité spatiale notamment),
- problème d'estimation des débits observés en crue.

Un lien entre le scénario de pluie future utilisé et la qualité de la prévision a clairement été établi, montrant toute l'importance qu'auront les prévisions de pluie sur la capacité du modèle à prévoir les débits en conditions opérationnelles. Les résultats semblent également sensibles à la présence plus ou moins abondante d'événements exceptionnels, leur rareté ayant tendance à déstabiliser le calage du modèle.

Cette étude a donc permis globalement une évaluation assez exhaustive des capacités du modèle de prévision GRP sur la zone d'étude. Elle a abouti à la mise en place des bases temps réel et au calcul des jeux de paramètres du modèle qui permettront son utilisation opérationnelle par le SPC. Le modèle, interfacé à SOPHIE, pourra donc être utilisé pour une application en temps réel.

6. Bibliographie

- Berthet, L., 2010. Prédiction des crues à pas de temps fin : comment mieux assimiler l'information de débit dans un modèle Pluie - Débit ? Thèse de Doctorat, AgroParisTech/ENGREF, Paris, en cours pp.
- Cemagref, 2004. Temps de propagation des crues sur le bassin versant de la Seine : analyse par l'estimation des temps de réaction des bassins aux pluies, Rapport d'étude, DIREN Ile-de-France, 27 p.
- Klemeš, V., 1986. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal* 31(1), 13-24.
- Mathevet, T., 2005. Quels modèles pluie-débit globaux pour le pas de temps horaire ? Développement empirique et comparaison de modèles sur un large échantillon de bassins versants. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris), Cemagref (Antony), France, 463 pp.
- Oudin, L., 2004. Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris) / Cemagref (Antony), 495 pp.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F. et Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a rainfall-runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient PE model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology* 303(1-4), 290-306.

Annexe 1:
Tableau récapitulatif des
données disponibles par bassin

Nom Station	Code	Debit moyen estimé (m3/s)	Surface (km2)	Debit annuel estimé (mm)	Pluie annuelle estimée (mm)	Rapport Q/P (-)	Lacunes de débit (%)	Nb moyen postes disponibles (-)
Doux à Tournon	V3744010	4.09	640	202	690	0.29	18%	5.91
Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux	V4154010	7.10	600	373	903	0.41	2%	4.91
Ardèche à Vogüe	V5014010	22.39	636	1110	1206	0.92	25%	8.81
Baume à Rosières	V5035020	8.55	210	1285	1331	0.97	22%	2.97
Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc	V5054010	54.05	1930	883	1170	0.75	1%	16.67
Cèze à Bagnols-sur-Cèze	V5474015	16.18	1120	455	1003	0.45	15%	6.81
Ouvèze à Vaison-la-Romaine	V6052010	4.28	585	231	771	0.30	11%	2.73
Gardon à Ners	V7164015	18.05	1100	518	1307	0.40	20%	11.13
Gardon à Russan	V7184015	22.36	1521	464	1182	0.39	32%	11.91
Gardon à Rémoulins	V7185005	34.09	1855	580	1217	0.48	46%	12.88

Annexe 2 : Chroniques pluie, débit et ETP sur les 10 bassins étudiés

Pour chaque bassin, la liste de pluviomètres associés est fournie, puis sont tracés successivement sur les périodes retenues pour chaque bassin :

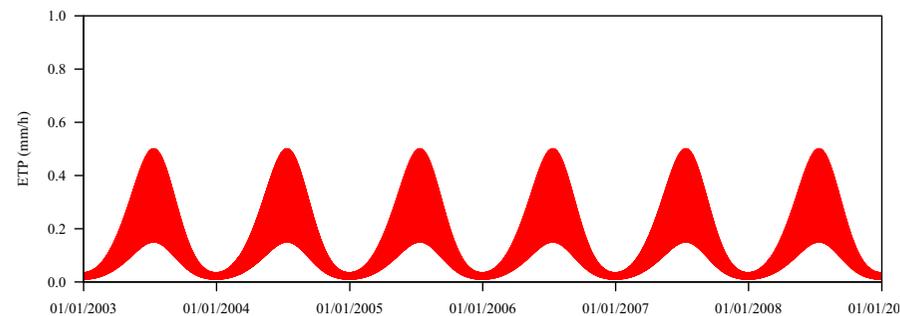
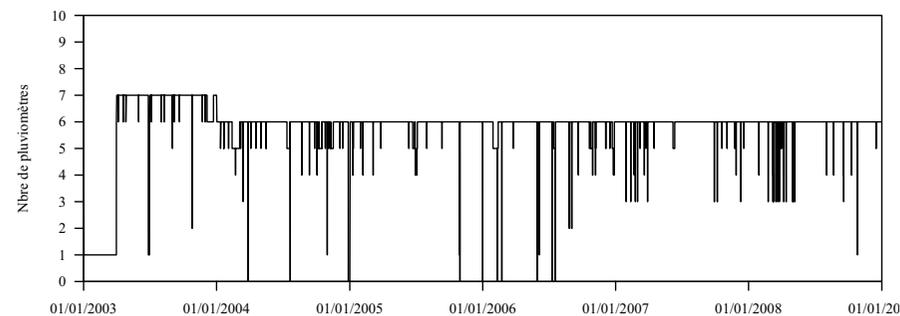
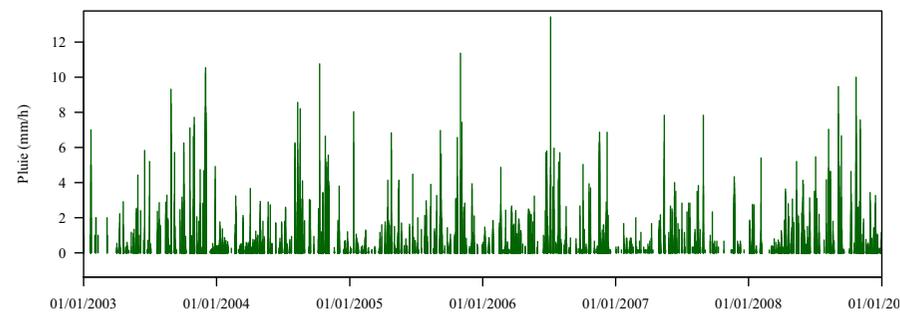
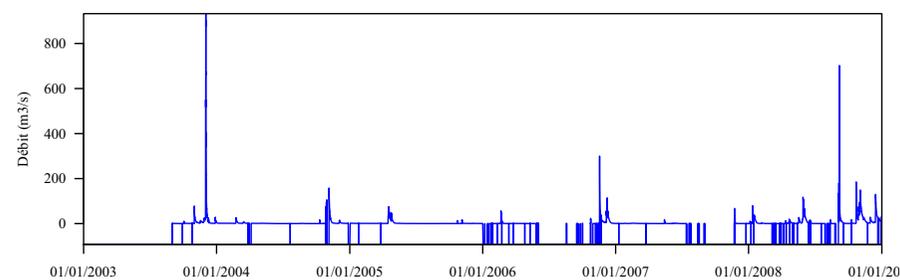
- l'hydrogramme observé sur la période
- le hyétogramme de pluie de bassin
- la chronique de disponibilité des postes
- la chronique d'ETP

V3744010 Doux à Tournon (S=640 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/09/2003 – 31/12/2008
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 7 (91 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
07129003	Lamastre	01/01/1993	31/12/2008
07204008	Saint Agreve	01/01/1998	31/12/2008
P0000007	Saint Felicien	01/01/1998	31/12/2008
P0000008	Saint Pierre sur Doux	01/01/2000	31/12/2008
07338006	Vernoux	01/01/1998	31/12/2008
V3744010	Tournon	01/01/2000	31/12/2008
07068001	Colombier le Jeune	01/01/2001	31/12/2003

V3744010 Doux à Tournon (S=640 km²)

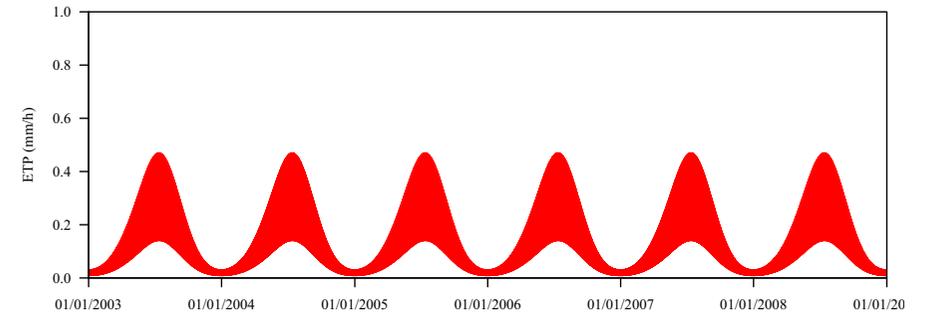
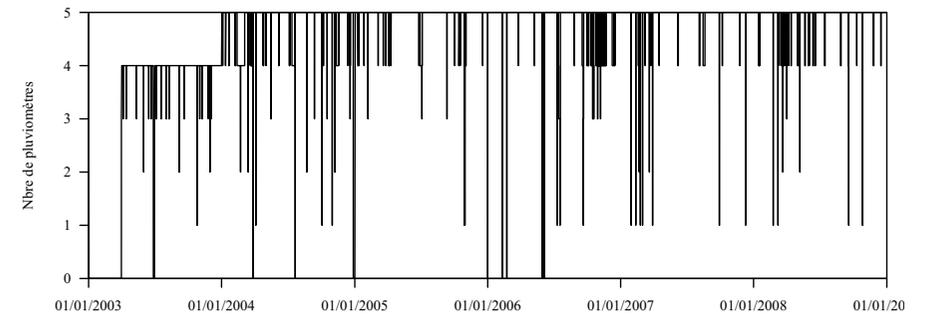
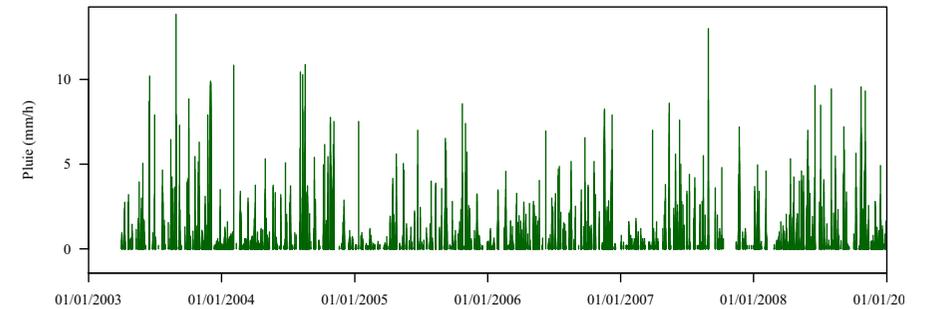
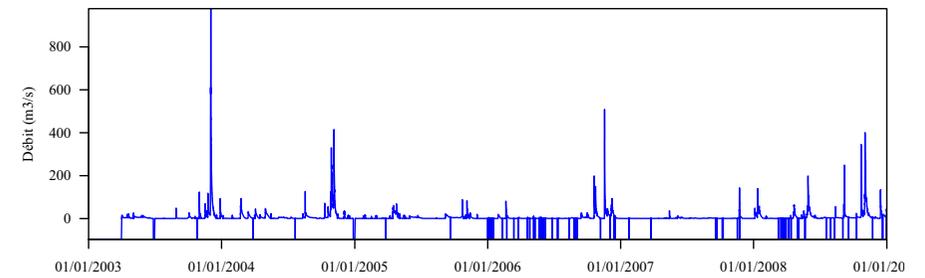


V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux (S=600 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/04/2003 – 31/12/2008
Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 5 (120 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
07037001	Borec	01/01/1993	31/12/2008
07064004	Le Cheylard	01/01/1993	31/12/2008
07204008	Saint Agreve	01/01/1998	31/12/2008
07286005	Saint Pierreville	01/01/1998	31/12/2008
V4154010	Les Ollieres	01/01/2000	31/12/2008

V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux (S=600 km²)

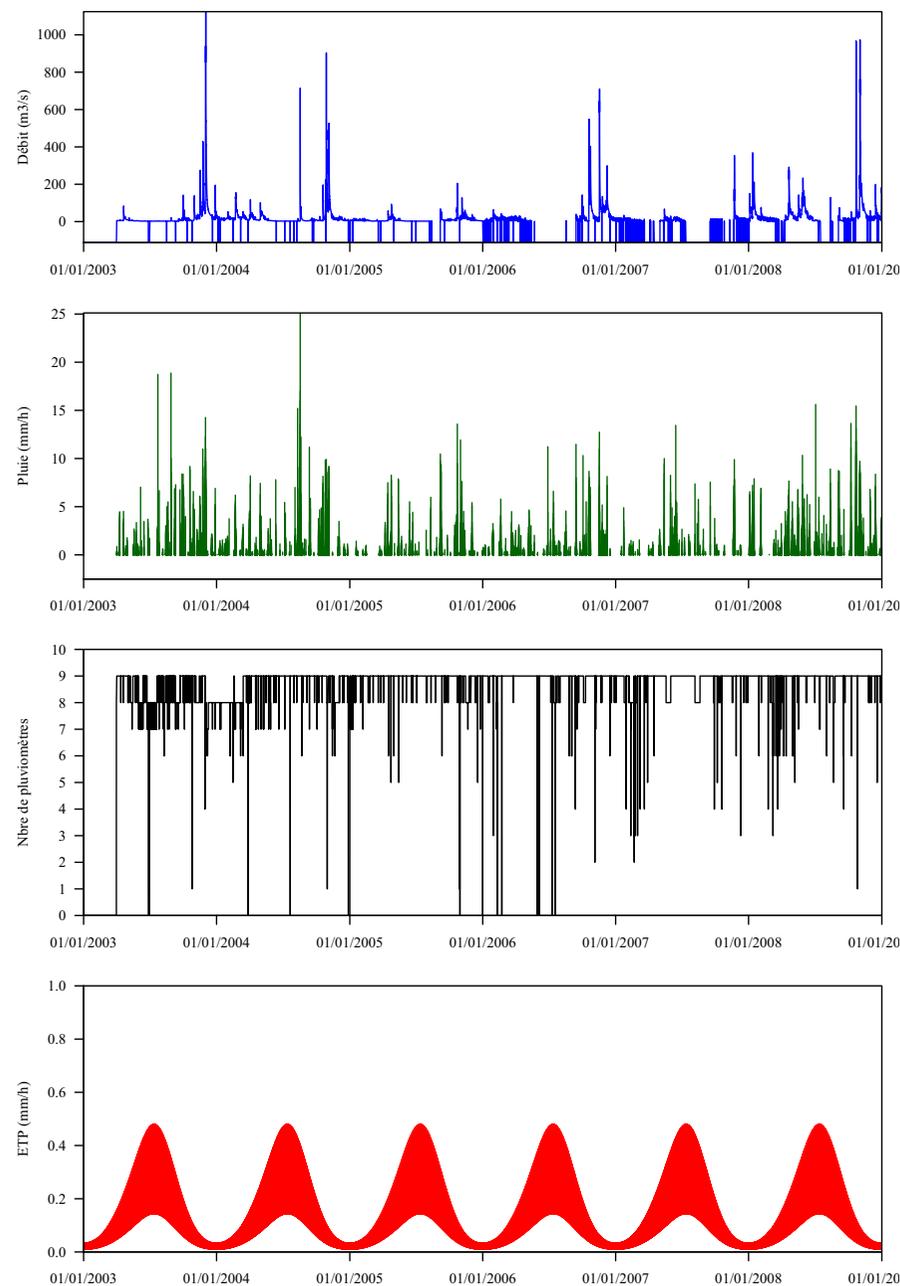


V5014010 Ardèche à Vogüe (S=636 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/04/2003 – 31/12/2008
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 9 (71 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
07011006	Antraigues	01/01/1993	31/12/2008
07025001	Barnas	01/01/1993	31/12/2008
P0000001	Col de l'Escrinet	01/01/1998	31/12/2008
07315005	La Souche	01/01/1993	31/12/2008
P0000004	Montpezat	01/01/1998	31/12/2008
P0000005	Pereyres	01/01/1998	31/12/2008
07178001	Pont De Labeaume	01/01/2000	31/12/2008
07325001	Pont d'Ucel	01/01/1998	31/12/2008
V5014010	Vogüe	01/01/1998	31/12/2008

V5014010 Ardèche à Vogüe (S=636 km²)

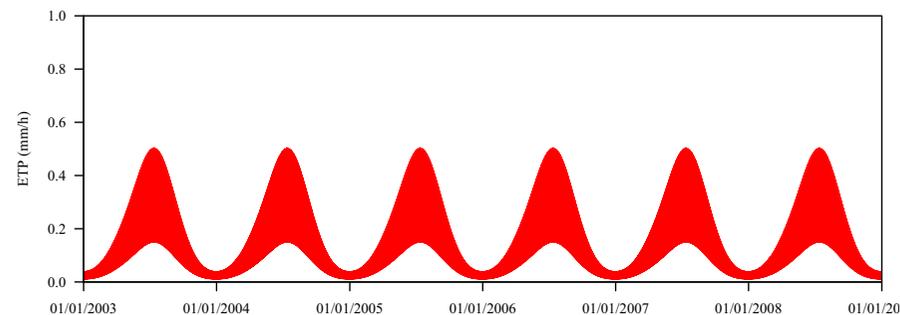
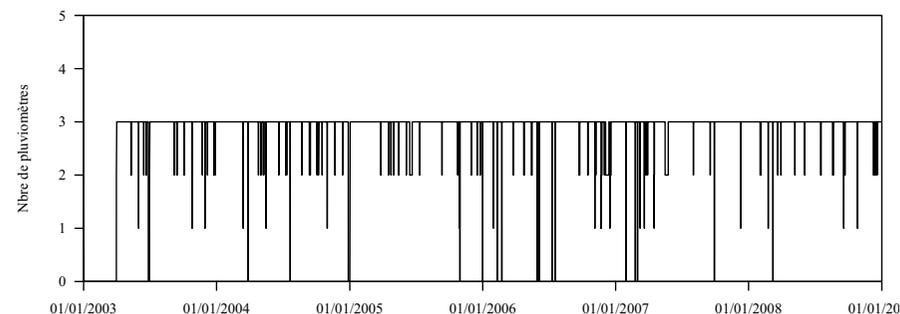
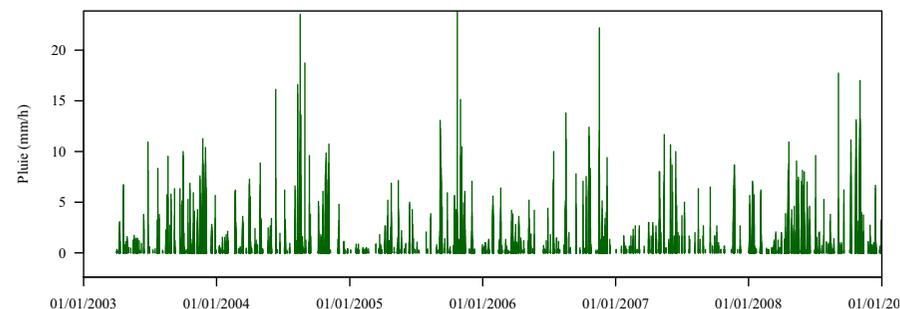
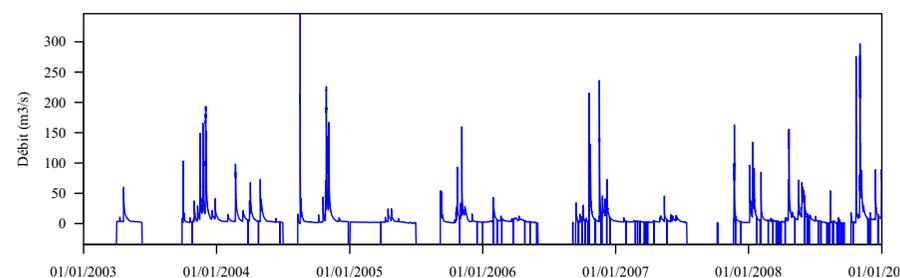


V5035020 Baume à Rosières (S=210 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/04/2003 – 31/12/2008
Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 3 (70 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
07144002	Loubaresse	01/01/1993	31/12/2008
07202003	Sabieres	01/01/1998	31/12/2008
V5035020	Rosieres	01/01/1998	31/12/2008

V5035020 Baume à Rosières (S=210 km²)



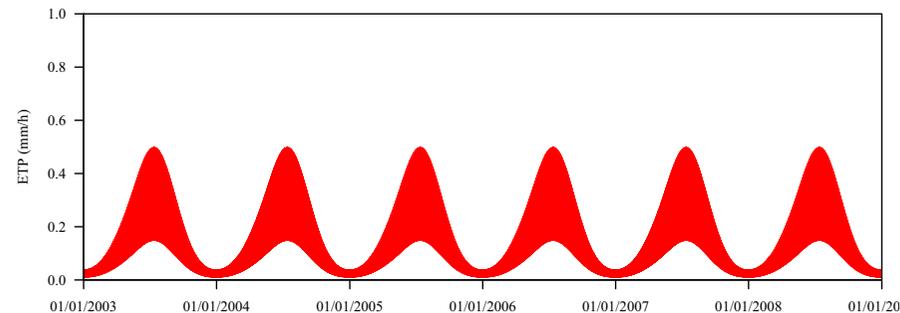
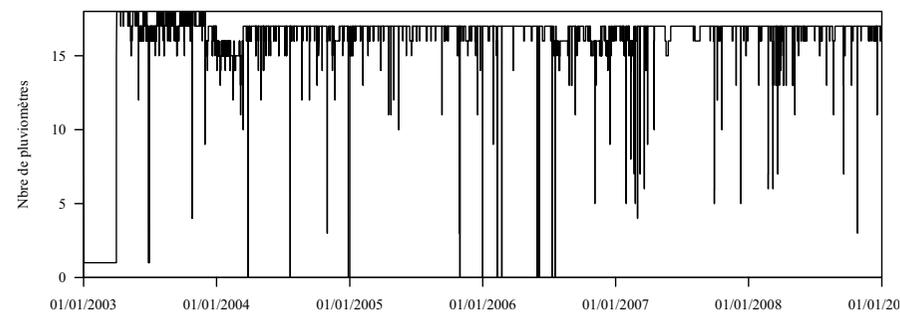
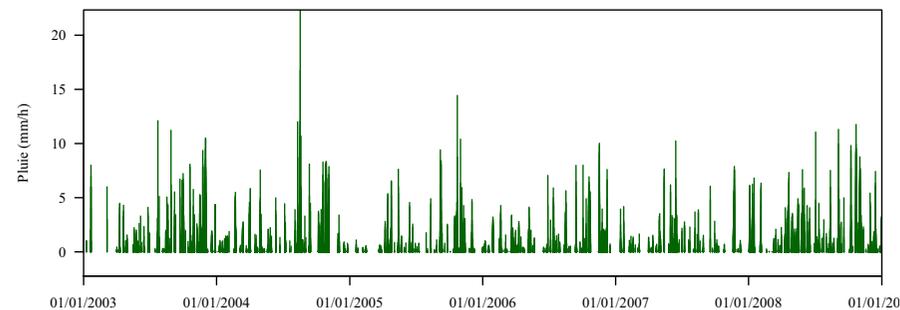
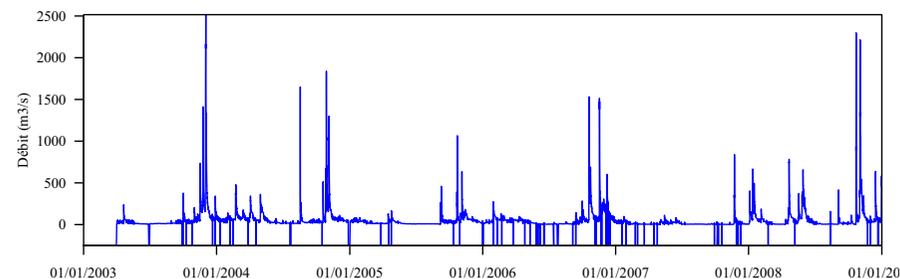
V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (S=1930 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/04/2003 – 31/12/2008

Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 19 (102 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
07011006	Antraigues	01/01/1993	31/12/2008
07025001	Barnas	01/01/1993	31/12/2008
07032002	Berzeme	01/01/1998	31/12/2008
P0000001	Col de l'Escrinet	01/01/1998	31/12/2008
07100002	Gravieres	01/01/1993	31/12/2008
07315005	La Souche	01/01/1993	31/12/2008
07144002	Loubresse	01/01/1993	31/12/2008
P0000003	Malons	01/01/2000	01/01/2000
P0000004	Montpezat	01/01/1998	31/12/2008
P0000005	Pereyres	01/01/1998	31/12/2008
07178001	Pont De Labeaume	01/01/2000	31/12/2008
07325001	Pont d'Ucel	01/01/1998	31/12/2008
07202003	Sablieres	01/01/1998	31/12/2008
07273002	Saint Maurice D'ibie	01/01/1998	31/12/2008
P0000009	Villefort	01/01/1998	31/12/2008
V5014010	Vogeu	01/01/1998	31/12/2008
V5035020	Rosieres	01/01/1998	31/12/2008
V5054010	Vallon Pont D'arc	01/01/1998	31/12/2008
07131001	Aubenas	01/01/2001	31/12/2003

V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (S=1930 km²)



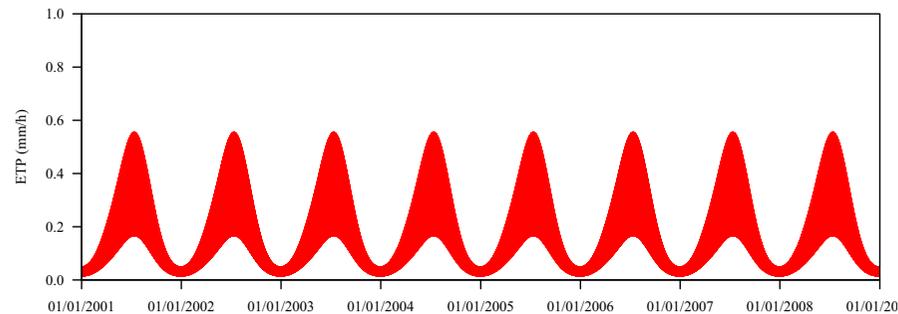
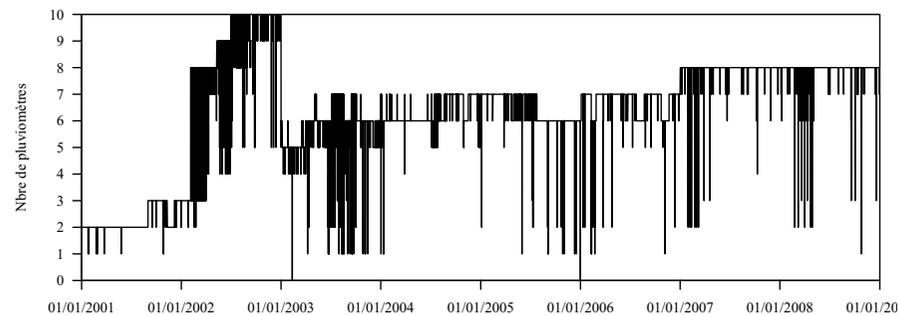
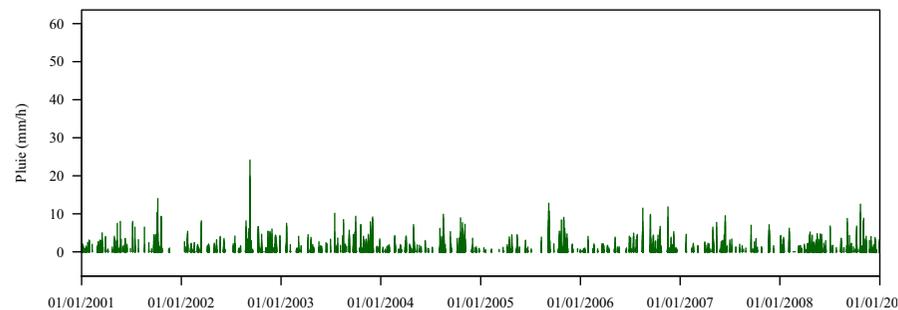
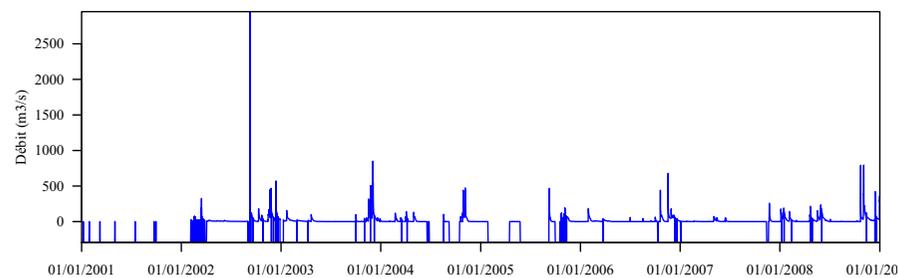
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze (S=1120 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/2001 – 31/12/2008

Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 12 (93 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
30037002	Bessèges	01/01/2007	31/12/2008
P0000002	Croix de Berthel	01/01/2002	31/12/2008
30056001	La Bruguière	01/01/2000	31/12/2008
P0000003	Malons	01/01/2000	01/01/2000
30175002	Montclus	01/01/2002	31/12/2008
07148001	Barrage de Sénéchas	01/01/2002	31/12/2008
30327001	Tharoux	01/01/2002	31/12/2008
P0000009	Villefort	01/01/1998	31/12/2008
V5474015	Bagnols sur Cèze	01/01/2002	31/12/2008
30164001	Mejannes Le Clap	01/01/2001	31/12/2002
30305001	Salindres	01/01/2002	31/12/2002
30132004	La Grand Combe	01/01/2002	31/12/2002

V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze (S=1120 km²)



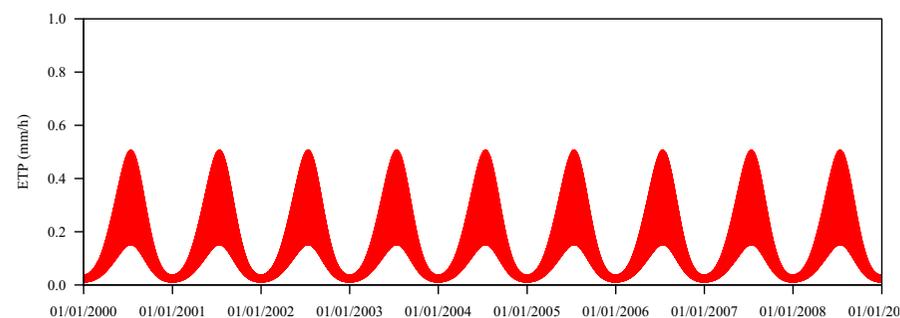
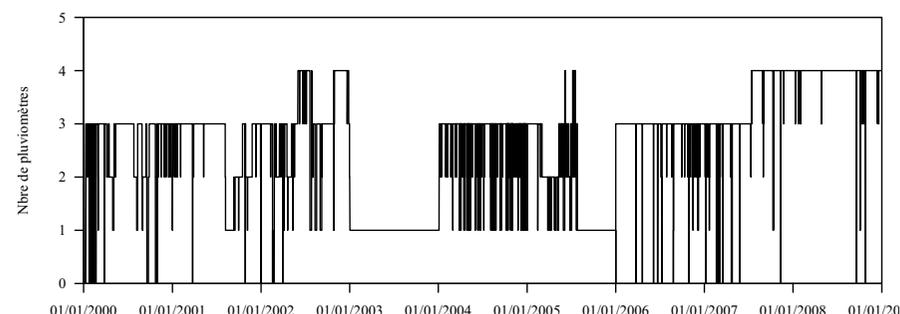
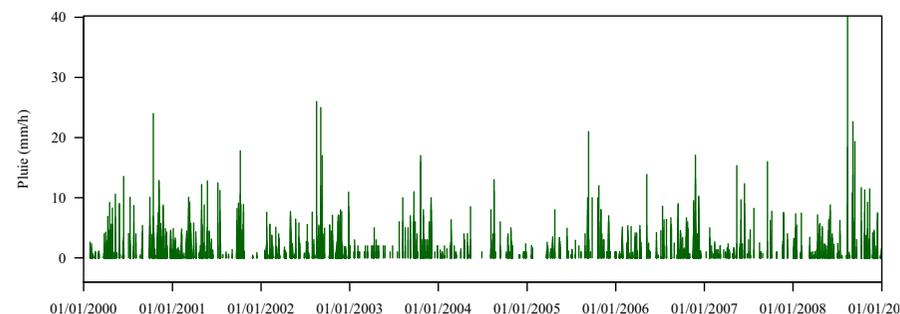
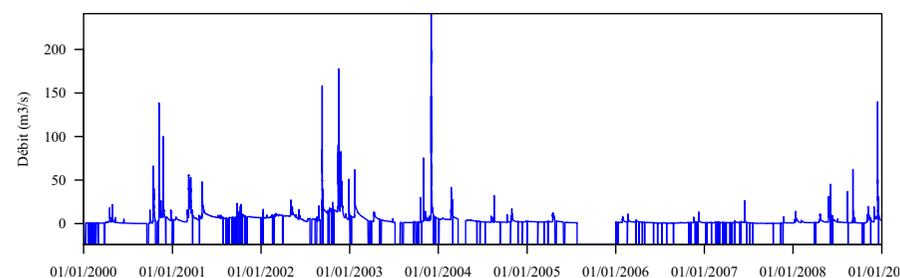
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine (S=585 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/2000 – 31/12/2008

Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 6 (98 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
26063003	Buis les Baronnies	01/01/2007	31/12/2008
84044002	Entrechaux	01/01/2000	31/12/2008
84015003	Mont Serein	01/01/2000	31/12/2008
84069002	Veaux	01/01/2000	31/12/2008
V6052010	Vaison la Romaine	01/01/2000	01/01/2000
26292002	Saint Auban sur l'Ouveze	01/01/2002	31/12/2005

V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine (S=585 km²)

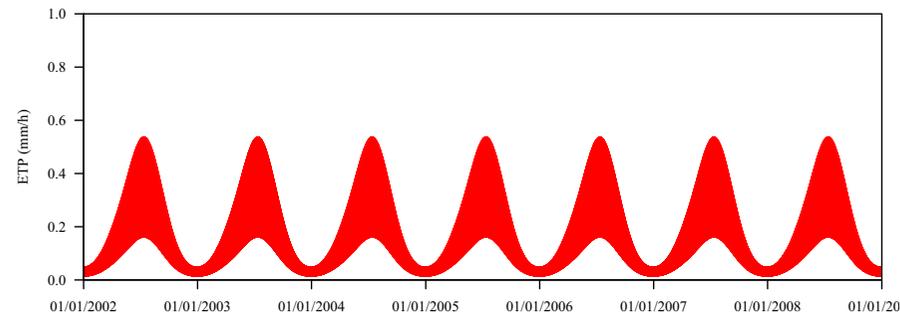
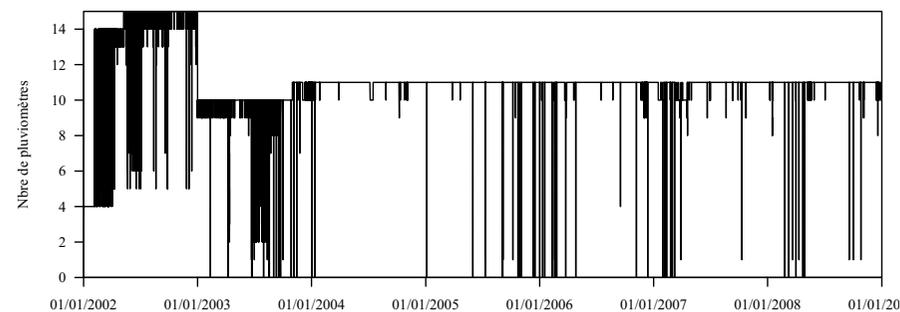
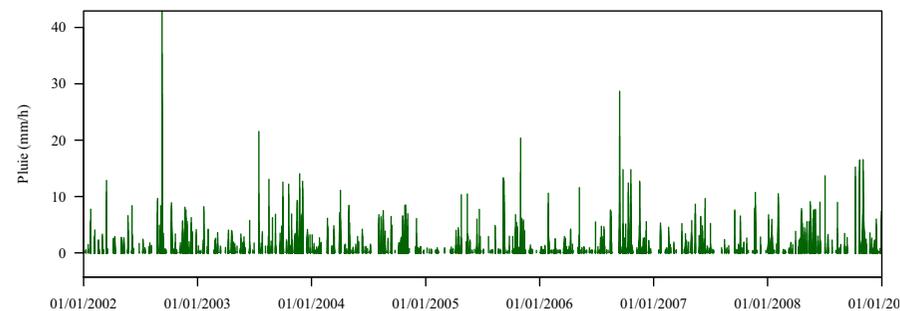
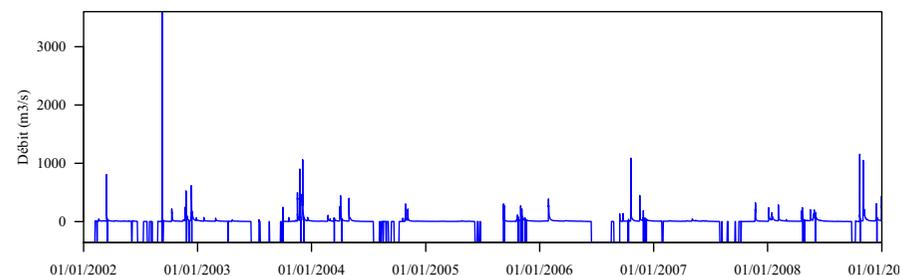


V7164015 Gardon à Ners (S=1100 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/2002 – 31/12/2008
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 16 (69 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
30007007	Alès	01/01/2002	31/12/2008
30010003	Anduze	01/01/2002	31/12/2008
48019003	Barre des Cévennes	01/01/2002	31/12/2008
P0000002	Croix de Berthel	01/01/2002	31/12/2008
30168001	Mialet	01/01/2002	31/12/2008
P0000006	Saumane	01/01/2002	31/12/2008
30322002	Soudorgues	01/01/2002	31/12/2008
30239002	Barrage Ste Cécile d'Andorge	01/01/2002	31/12/2008
30269007	Saint Jean du Gard	01/01/2003	31/12/2008
48097002	Saint Roman	01/01/2002	31/12/2008
V7164015	Ners	01/01/2002	31/12/2008
30132004	La Grand Combe	01/01/2002	31/12/2002
30087002	Cognac	01/01/2001	31/12/2002
30129001	Generargues	01/01/2002	31/12/2002
30305001	Salindres	01/01/2002	31/12/2002
30101001	Deaux	01/01/2001	31/12/2002

V7164015 Gardon à Ners (S=1100 km²)

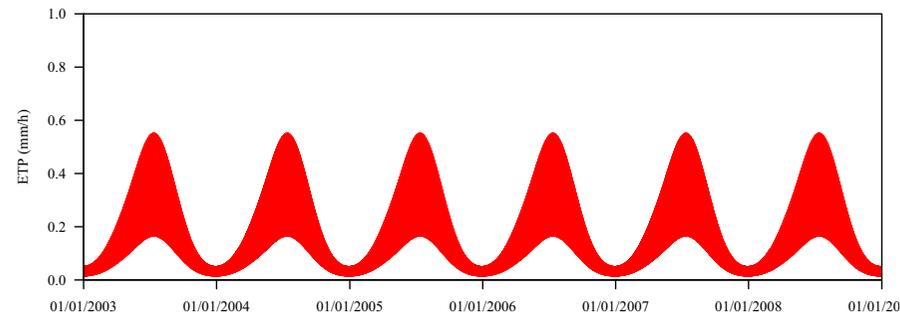
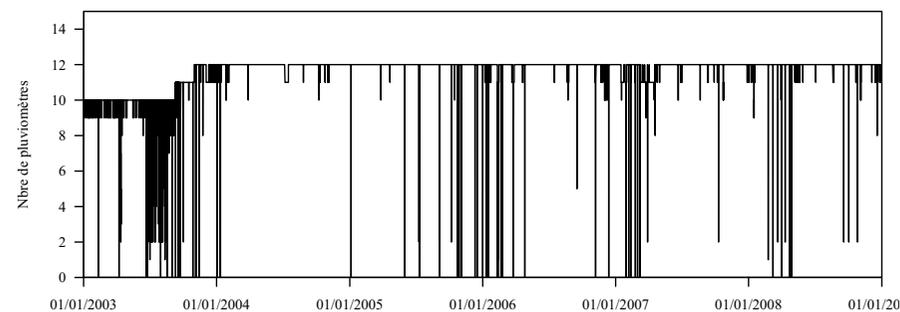
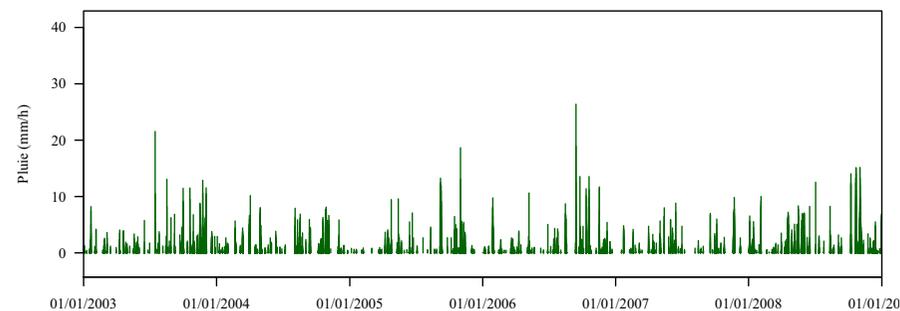
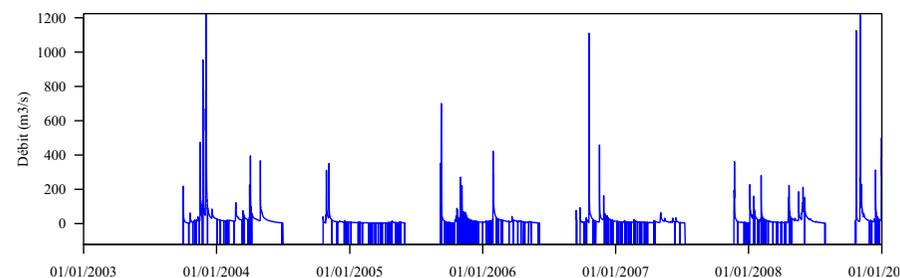


V7184015 Gardon à Russan (S=1521 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/10/2003 – 31/12/2008
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 17 (89 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
30007007	Alès	01/01/2002	31/12/2008
30010003	Anduze	01/01/2002	31/12/2008
48019003	Barre des Cévennes	01/01/2002	31/12/2008
P0000002	Croix de Berthel	01/01/2002	31/12/2008
30168001	Mialet	01/01/2002	31/12/2008
P0000006	Saumane	01/01/2002	31/12/2008
30322002	Soudorgues	01/01/2002	31/12/2008
30239002	Barrage Ste Cécile d'Andorge	01/01/2002	31/12/2008
30269007	Saint Jean du Gard	01/01/2003	31/12/2008
48097002	Saint Roman	01/01/2002	31/12/2008
N7164015	Niers	01/01/2002	31/12/2008
V7184015	Russan	01/01/2003	31/12/2008
30132004	La Grand Combe	01/01/2002	31/12/2002
30087002	Colognac	01/01/2001	31/12/2002
30129001	Generargues	01/01/2002	31/12/2002
30305001	Salindres	01/01/2002	31/12/2002
30101001	Deaux	01/01/2001	31/12/2001

V7184015 Gardon à Russan (S=1521 km²)

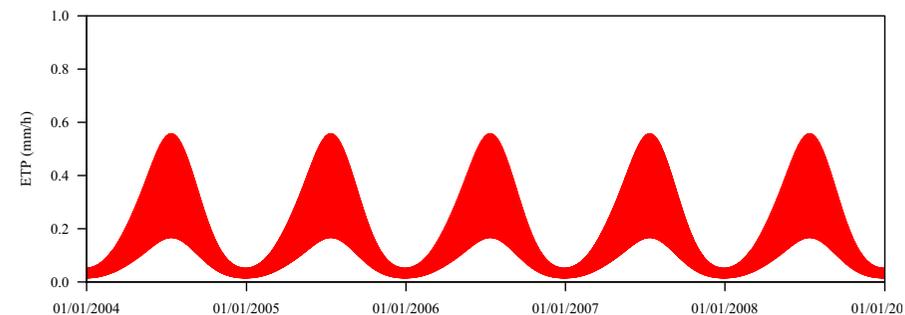
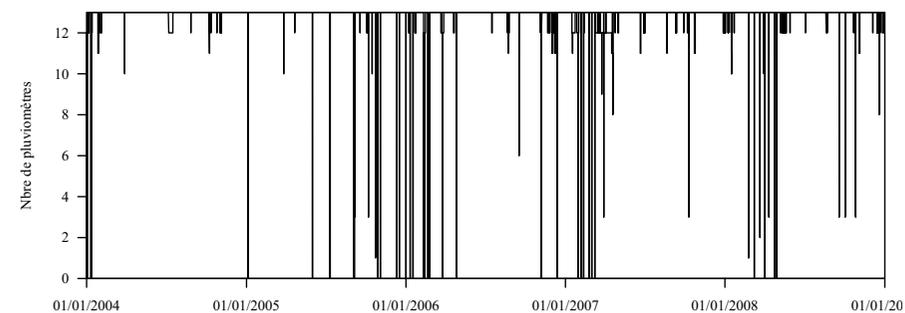
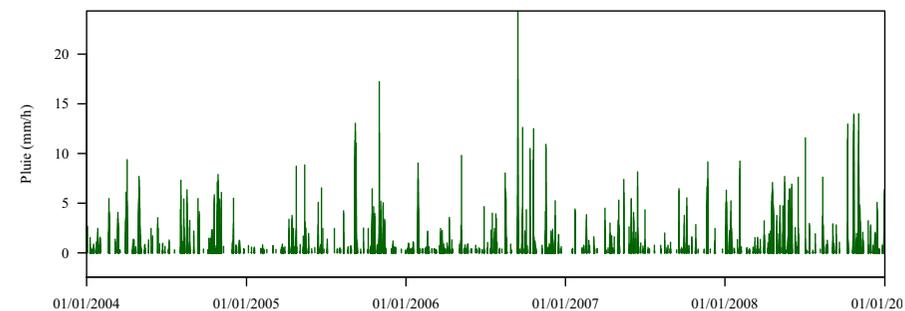
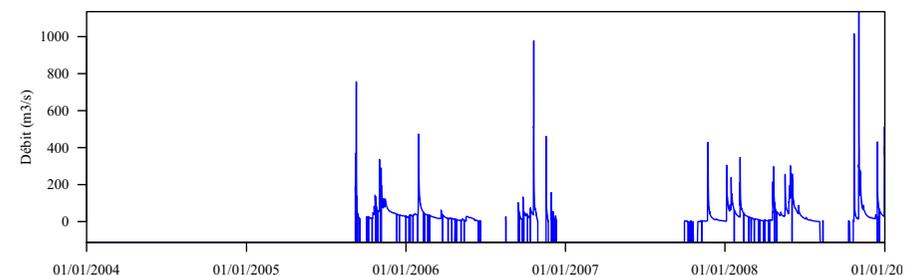


V7185005 Gardon à Rémoulins (S=1855 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/12/2004 – 31/12/2008
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 19 (98 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
30007007	Alès	01/01/2002	31/12/2008
30010003	Anduze	01/01/2002	31/12/2008
48019003	Barre des Cévennes	01/01/2002	31/12/2008
P0000002	Croix de Berthel	01/01/2002	31/12/2008
30168001	Mialet	01/01/2002	31/12/2008
P0000006	Saumane	01/01/2002	31/12/2008
30322002	Soudorgues	01/01/2002	31/12/2008
30239002	Barrage Ste Cécile d'Andorge	01/01/2002	31/12/2008
30269007	Saint Jean du Gard	01/01/2003	31/12/2008
48097002	Saint Roman	01/01/2002	31/12/2008
V7164015	Niers	01/01/2002	31/12/2008
V7184015	Russan	01/01/2003	31/12/2008
V7185005	Rémoulins	01/01/2002	31/12/2008
30132004	La Grand Combe	01/01/2002	31/12/2002
30087002	Cognac	01/01/2001	31/12/2002
30129001	Generargues	01/01/2002	31/12/2002
30305001	Salindres	01/01/2002	31/12/2002
30334003	Uzes	01/01/2002	31/12/2002
30101001	Deaux	01/01/2001	31/12/2002

V7185005 Gardon à Rémoulins (S=1855 km²)



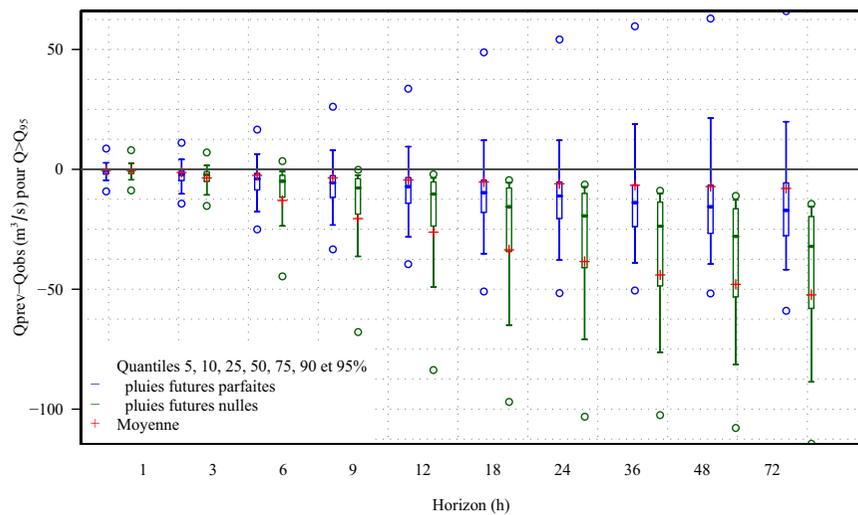
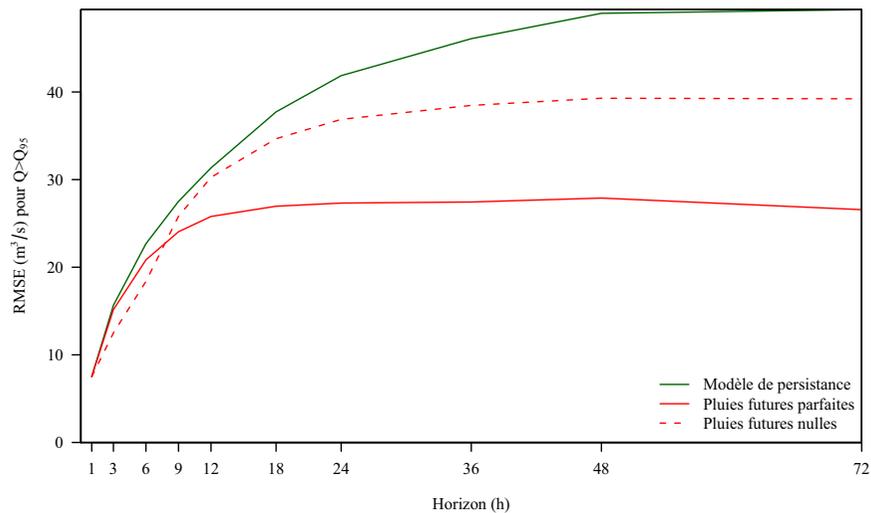
Annexe 3: Fiches synthétiques de résultats obtenus sur les 10 stations étudiées

Pour chaque bassin, une fiche synthétique des performances du modèle GRP en contrôle est établie.

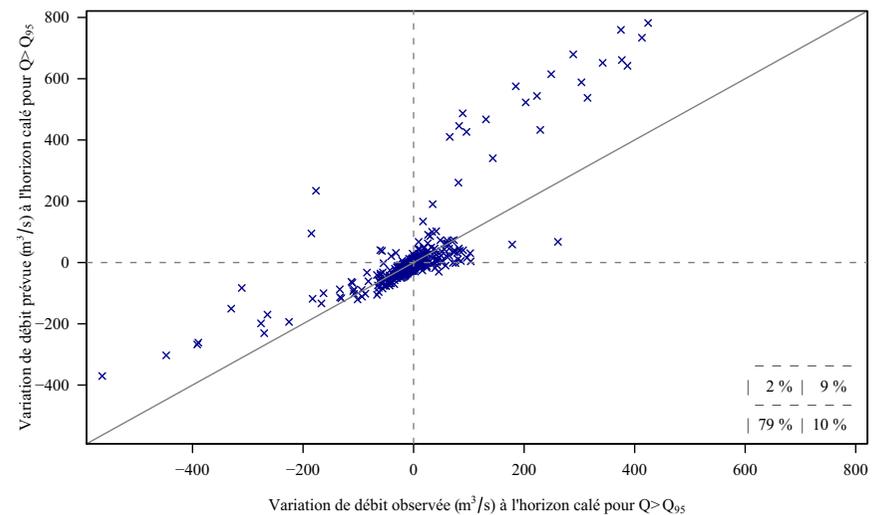
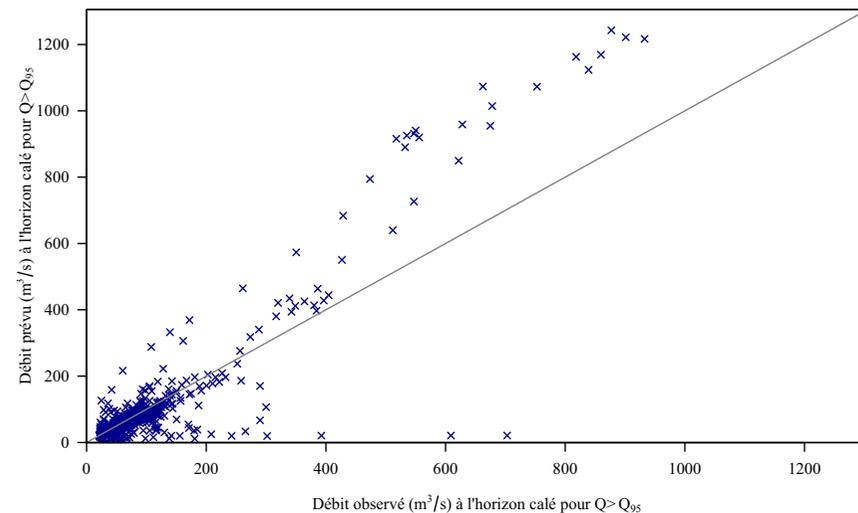
On retrouve sur ces fiches :

- un tableau récapitulant brièvement les caractéristiques du bassin étudié et les critères numérique d'efficacité,
- un graphique montrant l'évolution de la RMSE en fonction du délai de prévision pour le modèle de persistance et le modèle GRP testé avec deux scénarios de pluies futures,
- un second graphique représentant les distributions des erreurs de GRP en fonction de l'horizon de prévision pour des scénarios de pluie futures parfaitement connues et nulles,
- deux graphiques comparant les débits prévus et observés d'une part, et les variations prévues et observées d'autre part, pour le modèle GRP,
- un tableau de contingence de dépassement du seuil fourni par le SPC pour chaque bassin ainsi que trois scores d'efficacité qui en découlent.

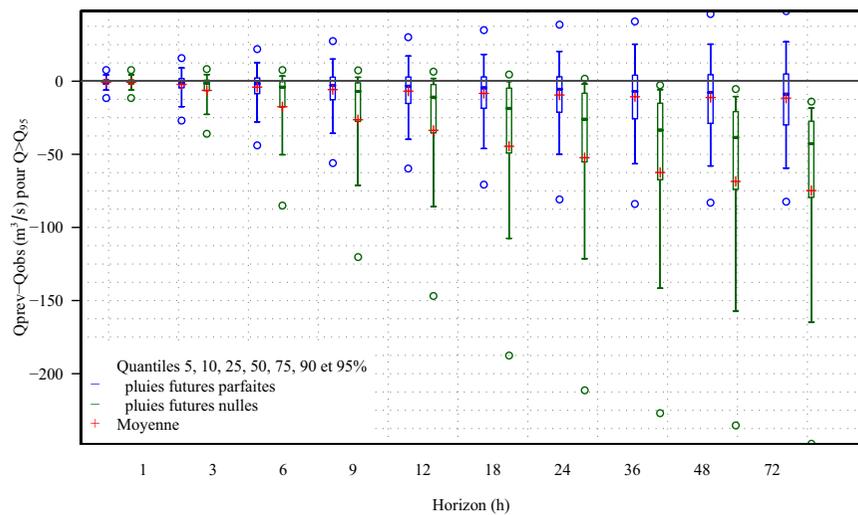
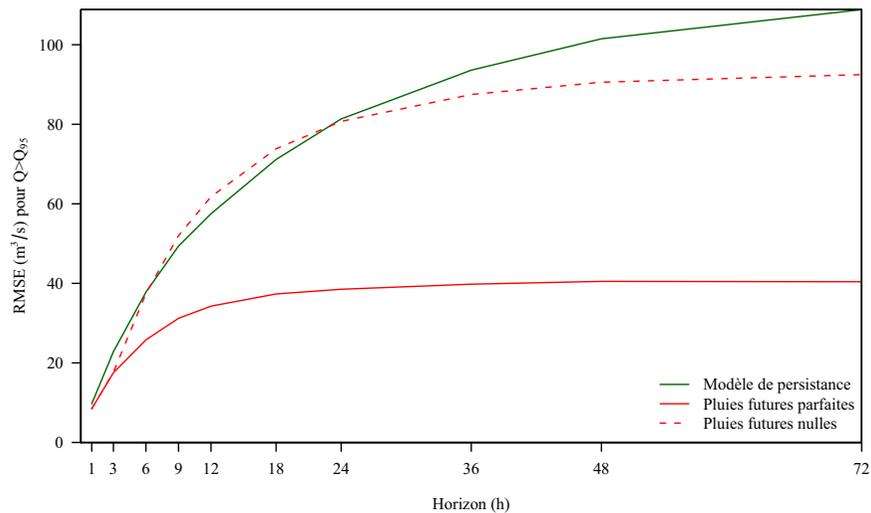
V3744010 Doux à Tournon		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003–2008	Q_{moy}	4.6 m ³ /s
Surface du bassin	640 km ²	Q_{95}	22.5 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	60.2 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.156			



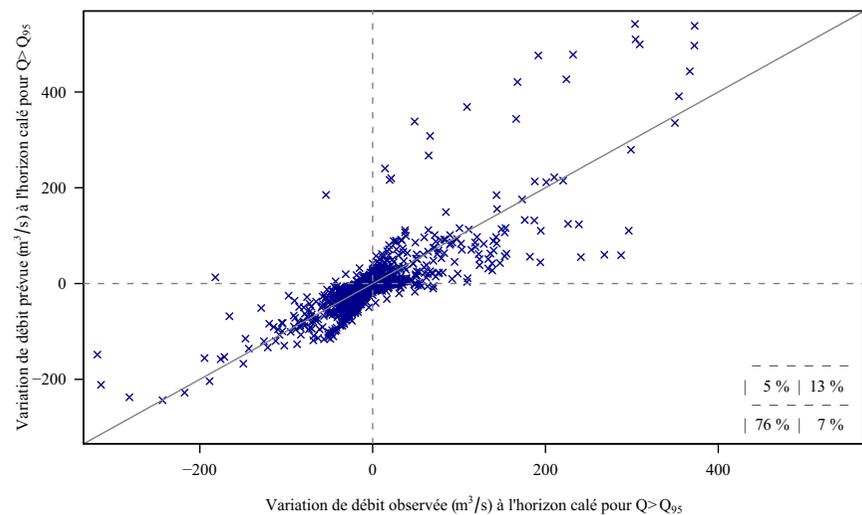
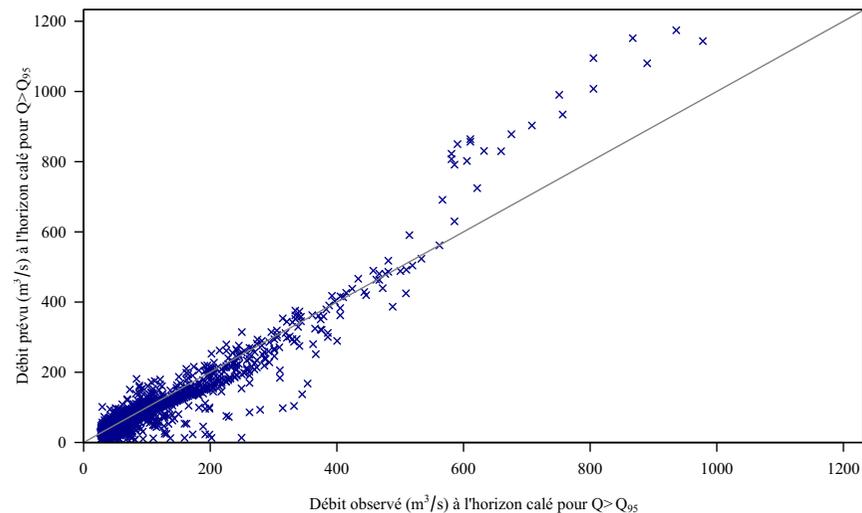
V3744010 Doux à Tournon		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 200 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 33.3\%$
Dépassement prévu	6 a	4 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 40.0\%$
Non-dépassement prévu	12 c	37364 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 27.3\%$



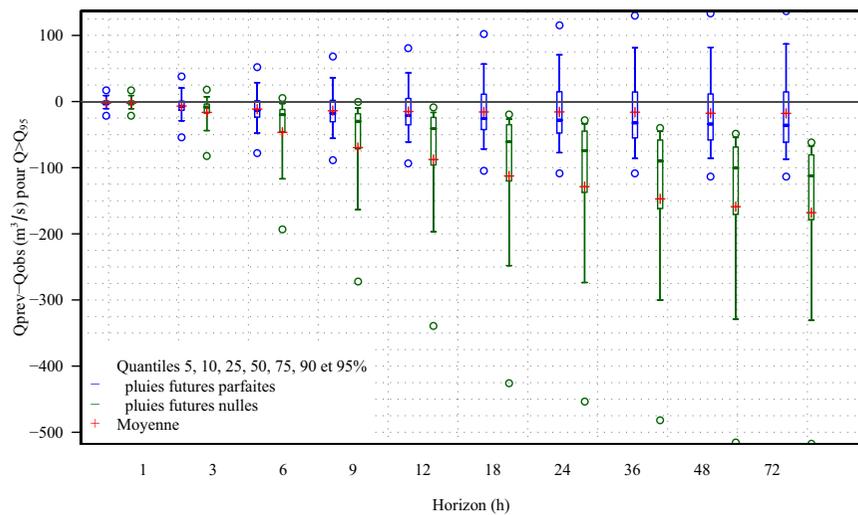
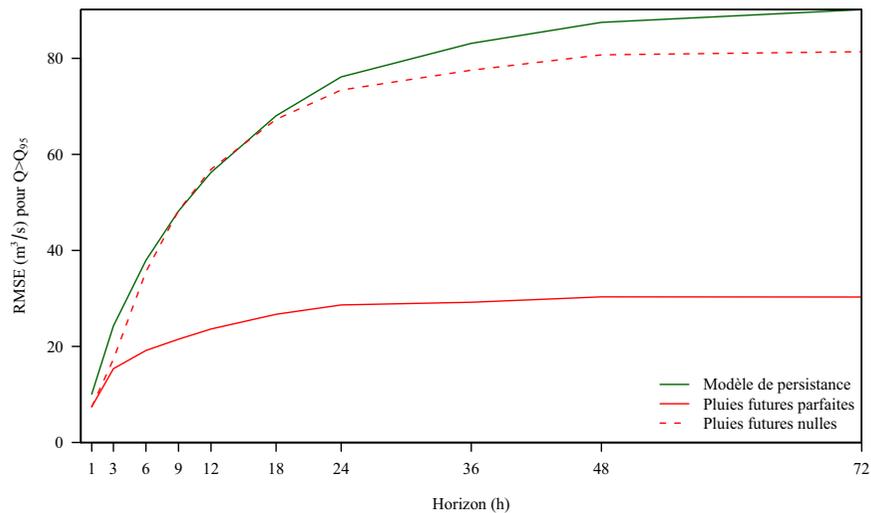
V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrie		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003–2008	Q_{moy}	7.9 m ³ /s
Surface du bassin	600 km ²	Q_{95}	27.8 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}} (Q > Q_{95})$	87.5 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.534			



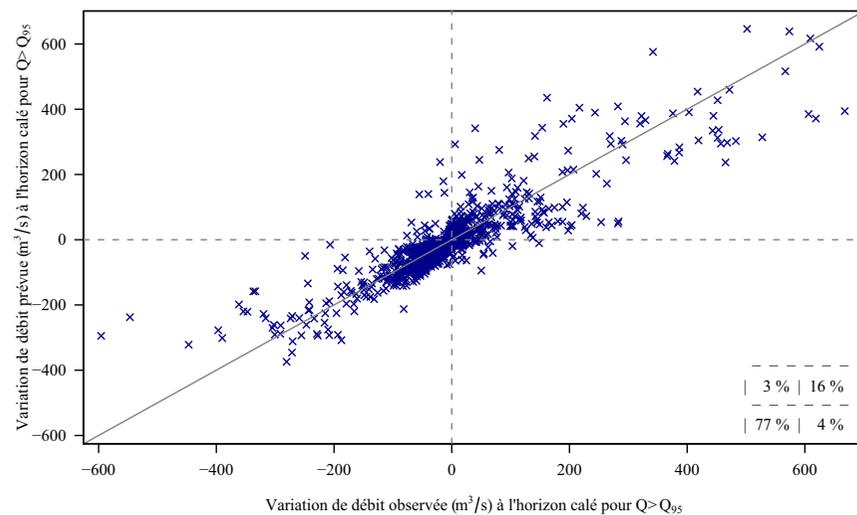
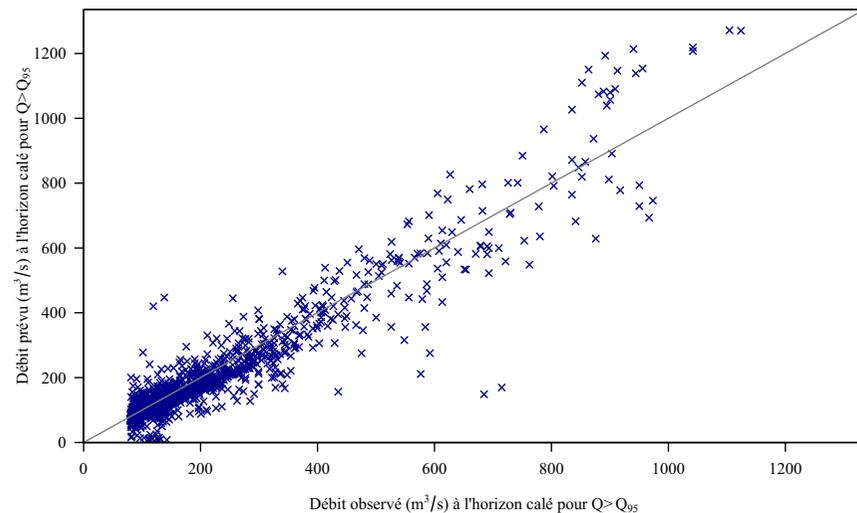
V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrie		Modèle : GRP			
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 200 m³/s à 6h					
	Dépassement observé	Non-dépassement observé		POD = $\frac{a}{a+c}$ = 44.9 %	
Dépassement prévu	22	a	5		b
Non-dépassement prévu	27	c	48383	d	CSI = $\frac{a}{a+b+c}$ = 40.7 %



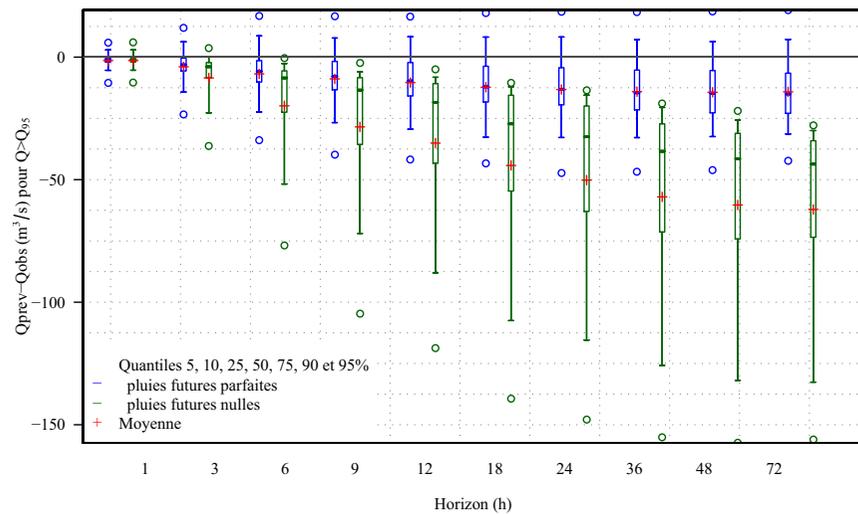
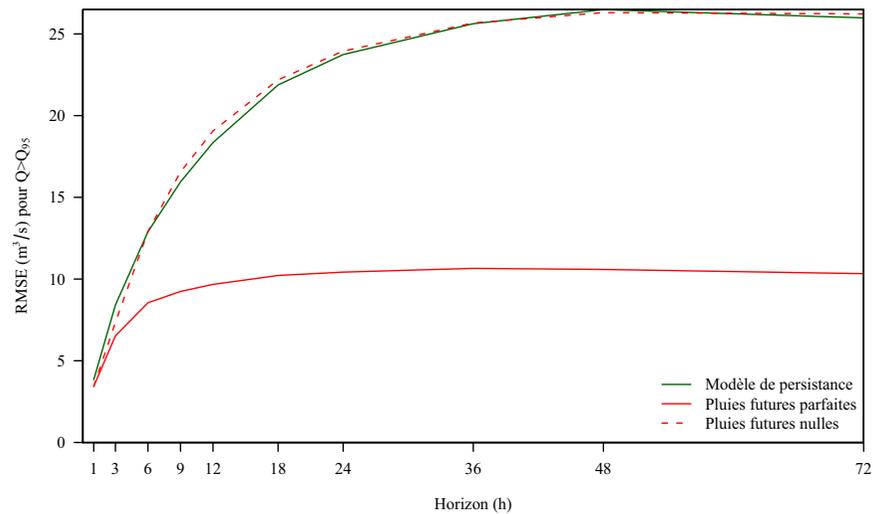
V5014010 Ardèche à Vogüe		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003–2008	Q_{moy}	23.0 m ³ /s
Surface du bassin	636 km ²	Q_{95}	80.2 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}} (Q > Q_{95})$	185.4 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.745			



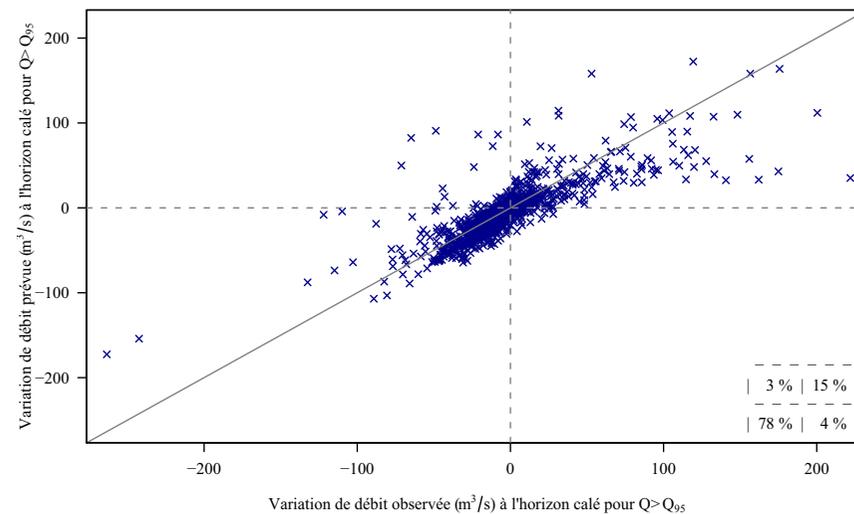
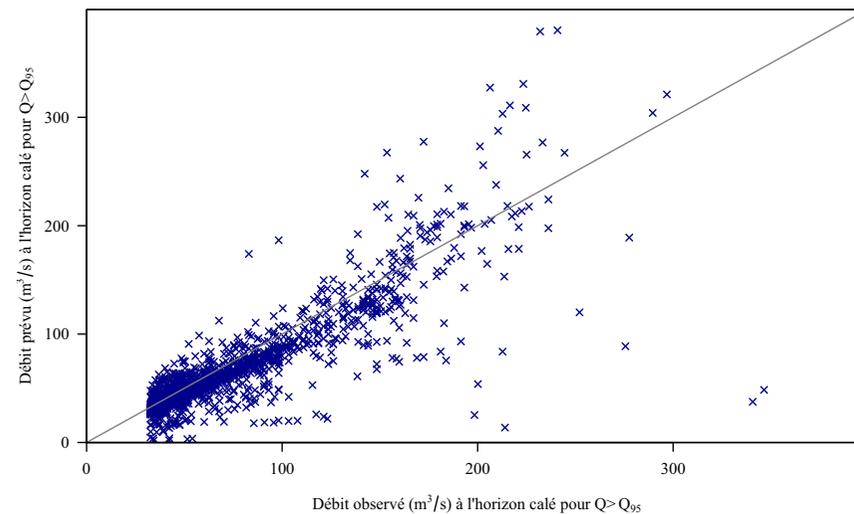
V5014010 Ardèche à Vogüe		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 200 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 56.5\%$
Dépassement prévu	74 a	21 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 22.1\%$
Non-dépassement prévu	57 c	36713 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 48.7\%$



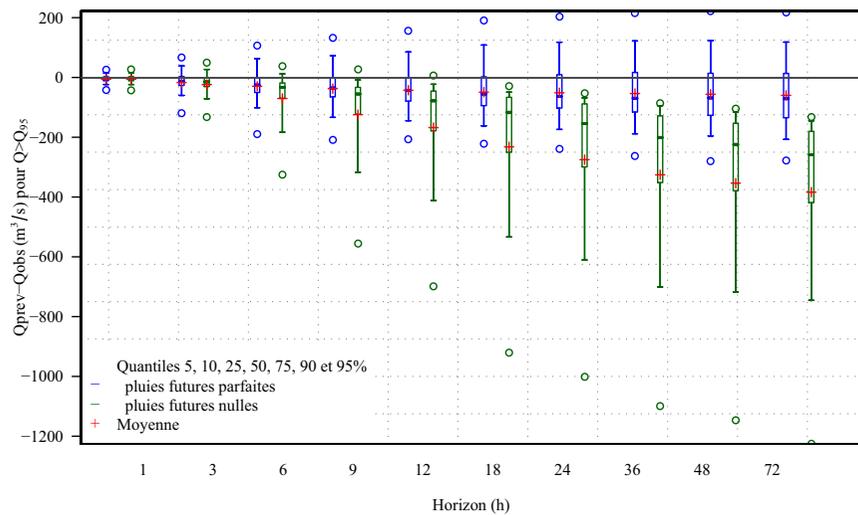
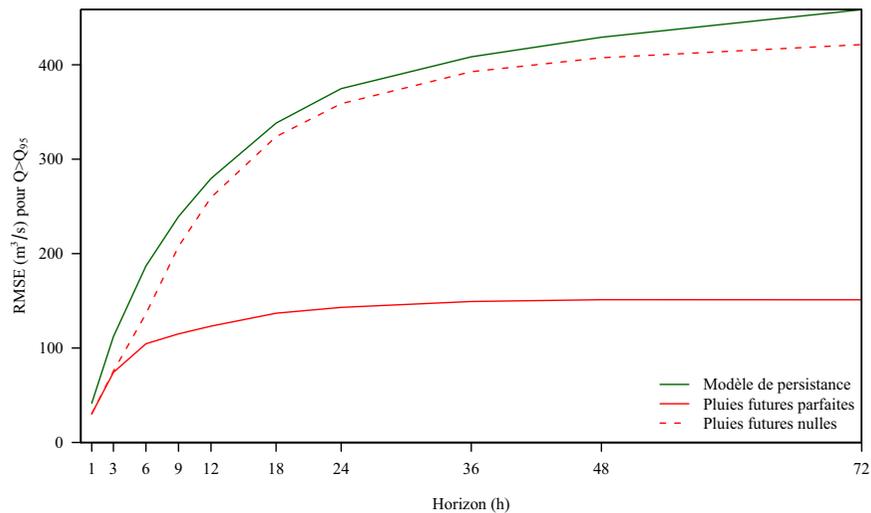
V5035020 Baume à Rosières		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003–2008	Q_{moy}	9.2 m ³ /s
Surface du bassin	210 km ²	Q_{95}	32.6 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}} (Q > Q_{95})$	66.8 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.561			



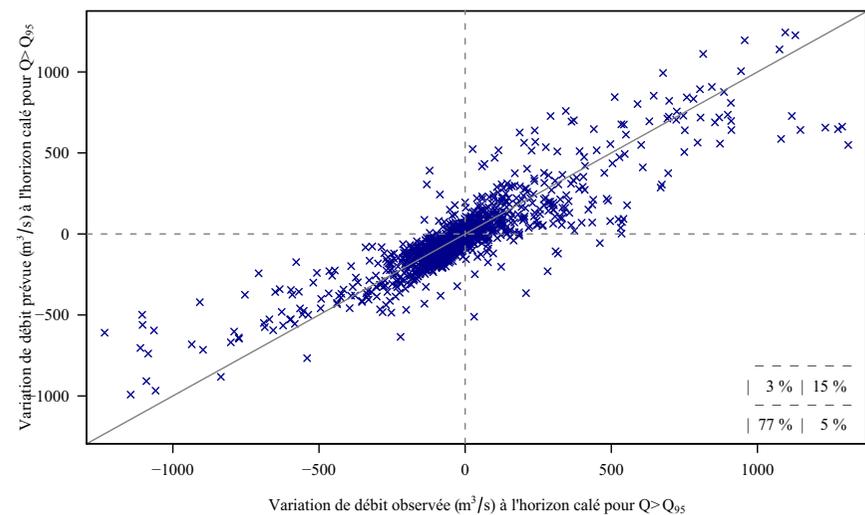
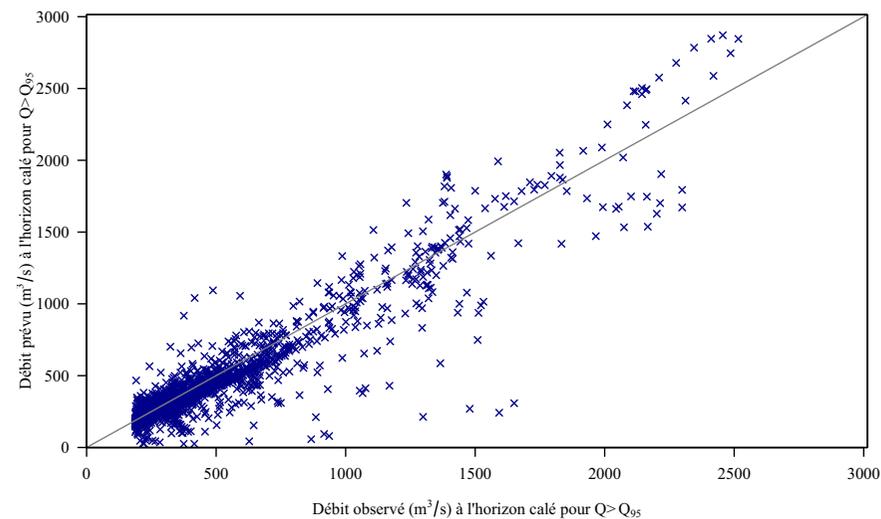
V5035020 Baume à Rosières		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 120 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 39.4\%$
Dépassement prévu	39 a	3 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 7.1\%$
Non-dépassement prévu	60 c	36446 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 38.2\%$



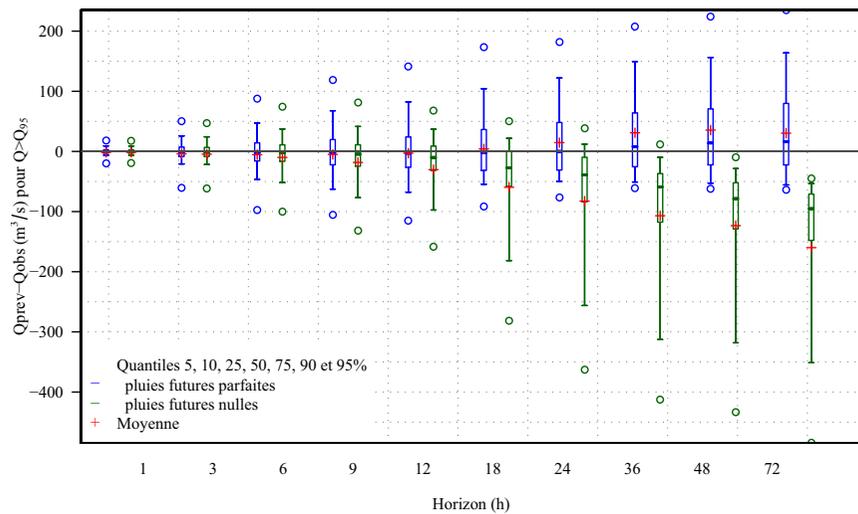
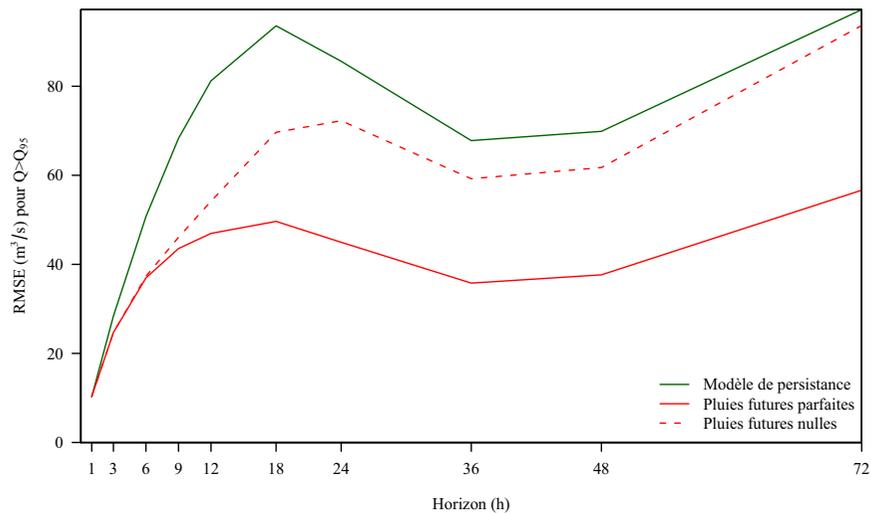
V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003-2008	Q_{moy}	56.7 m ³ /s
Surface du bassin	1930 km ²	Q_{95}	187.6 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	430.6 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.687			



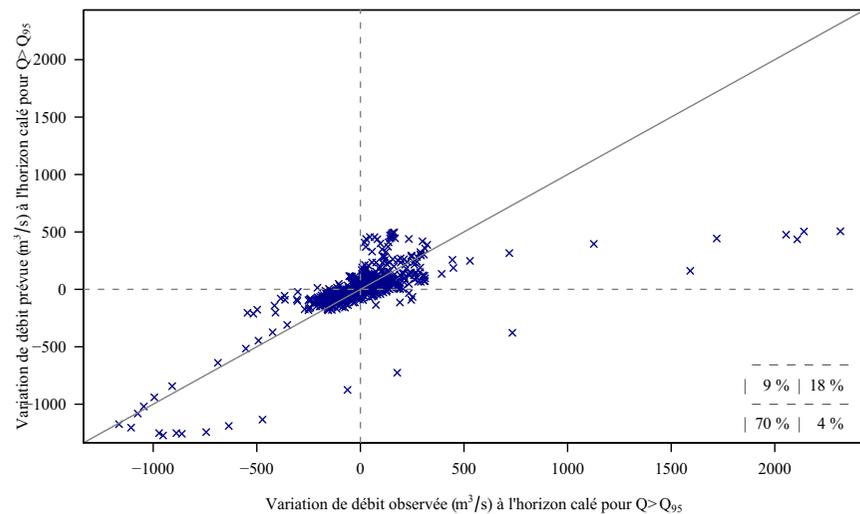
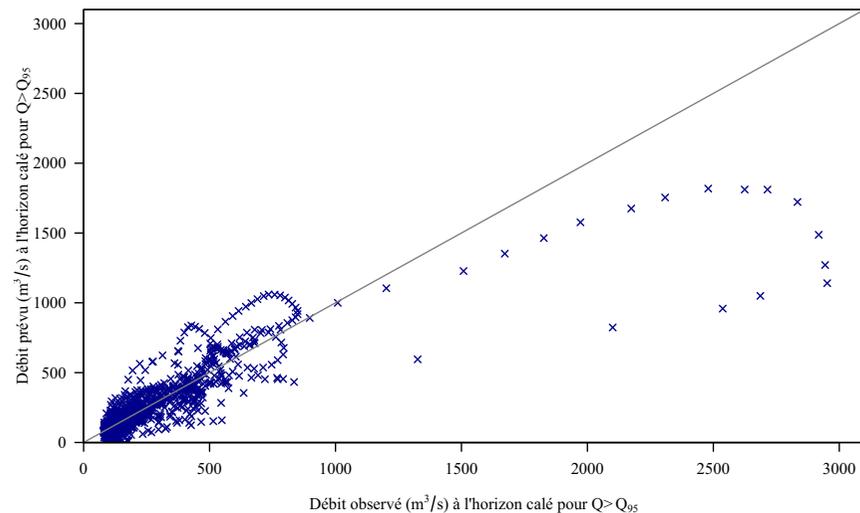
V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 500 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 48.9\%$
Dépassement prévu	66 a	19 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 22.4\%$
Non-dépassement prévu	69 c	48390 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 42.9\%$



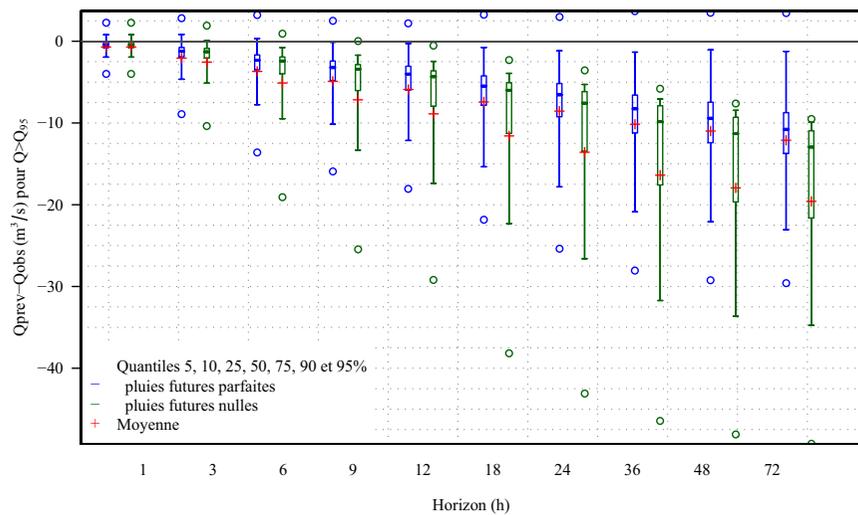
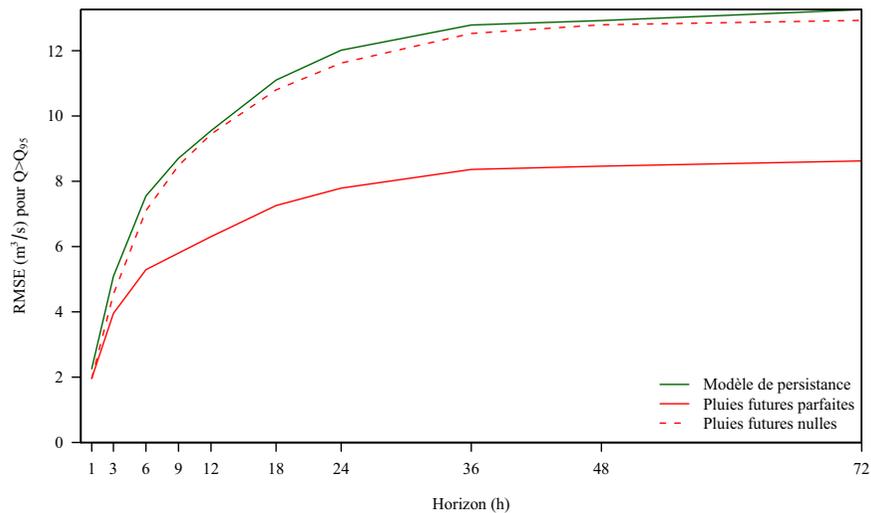
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2000-2008	Q_{moy}	18.8 m ³ /s
Surface du bassin	1120 km ²	Q_{95}	81.5 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	185.1 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.469			



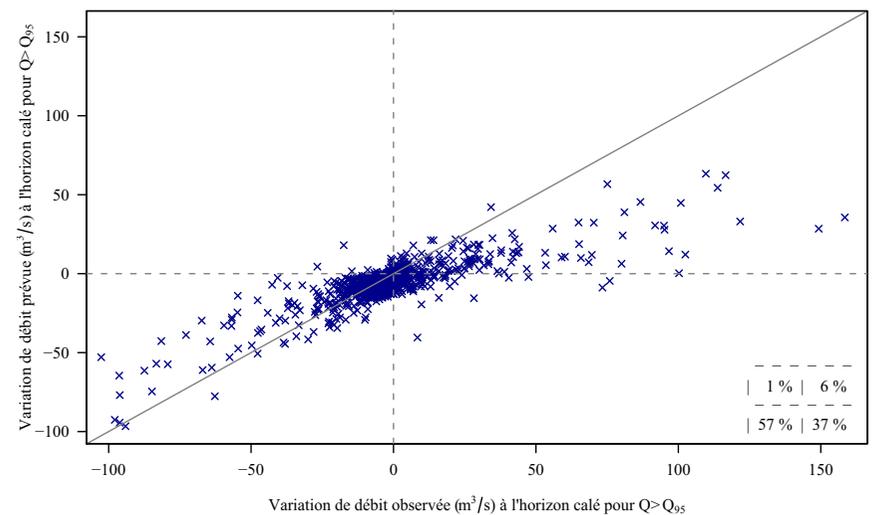
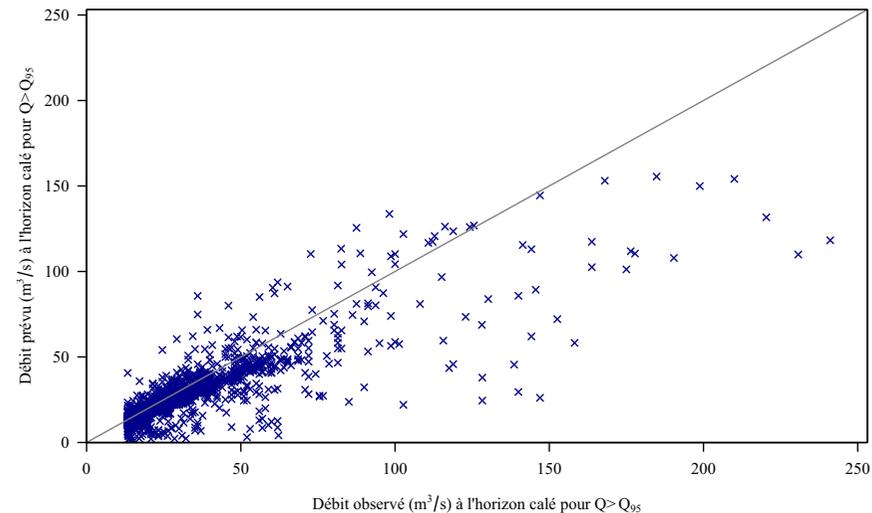
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 300 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 49.4\%$
Dépassement prévu	44 a	9 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 17.0\%$
Non-dépassement prévu	45 c	49689 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 44.9\%$



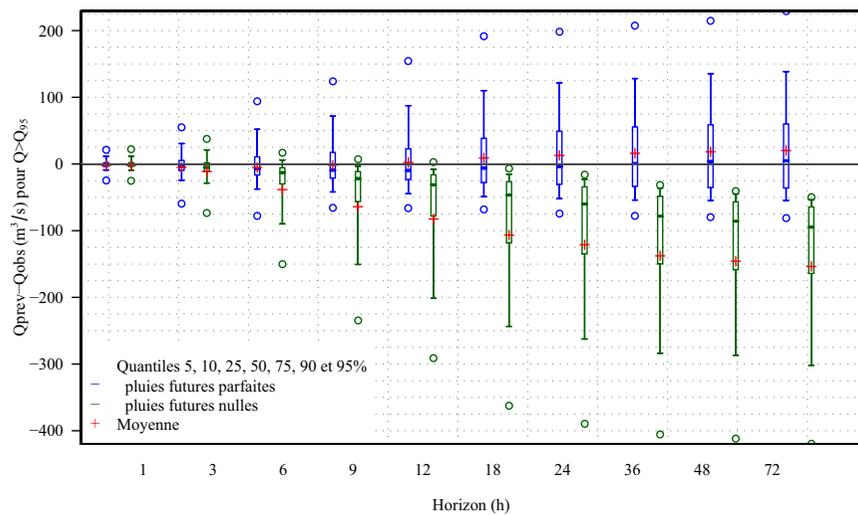
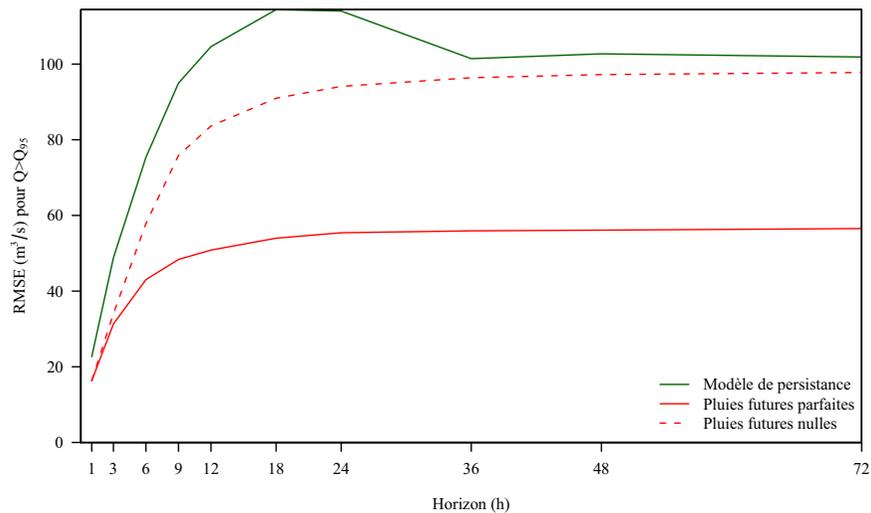
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2000–2008	Q_{moy}	4.3 m ³ /s
Surface du bassin	585 km ²	Q_{95}	13.3 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}} (Q > Q_{95})$	24.5 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.509			



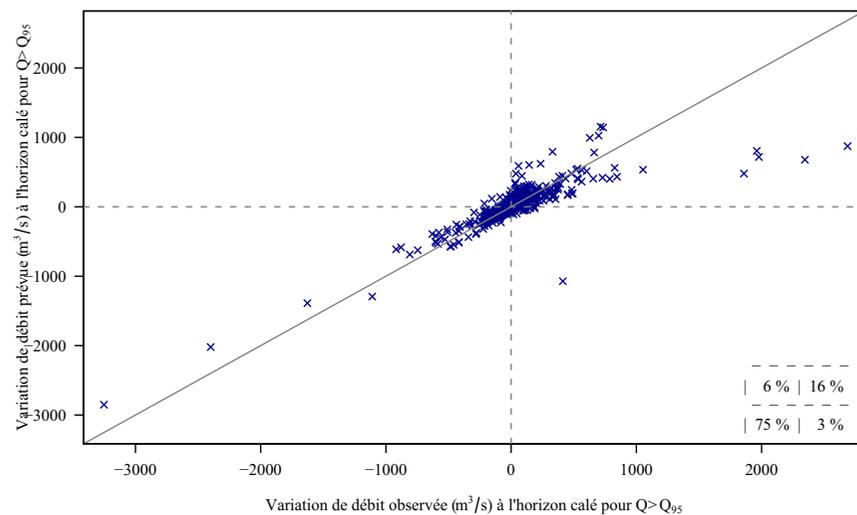
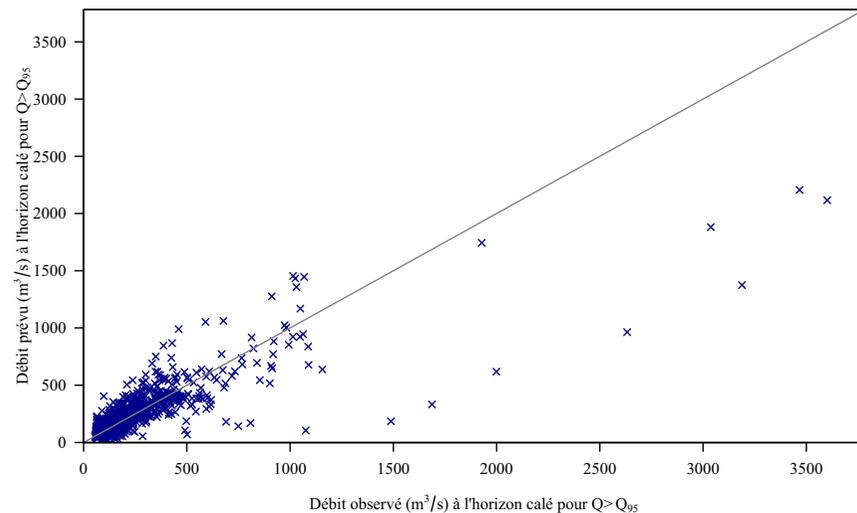
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 100 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	10	0	$POD = \frac{a}{a+c} = 27.0\%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 0.0\%$
Non-dépassement prévu	27	67209	$CSI = \frac{a}{a+b+c} = 27.0\%$



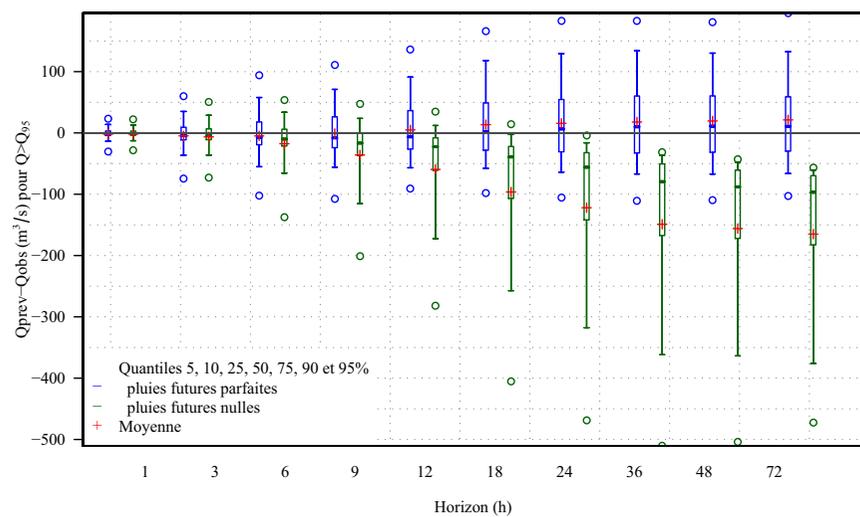
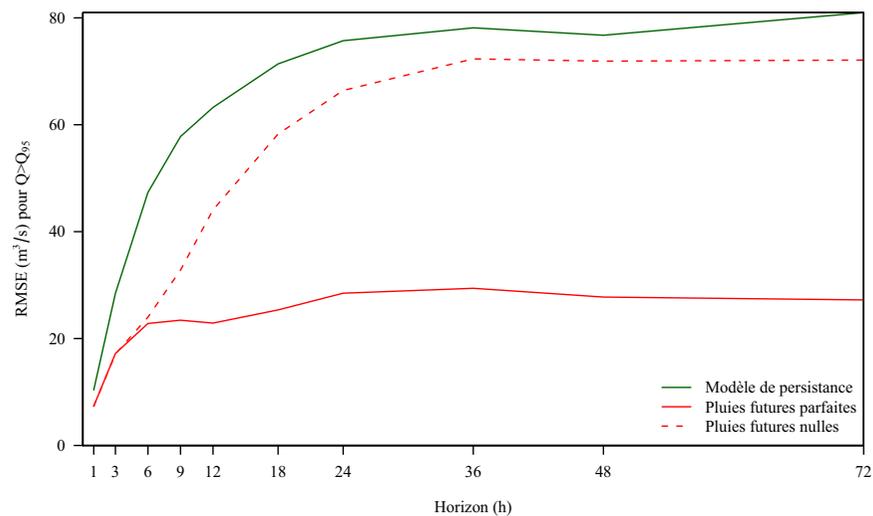
V7164015 Gardon à Ners		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2002–2008	Q_{moy}	18.5 m ³ /s
Surface du bassin	1100 km ²	Q_{95}	59.5 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	164.1 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.674			



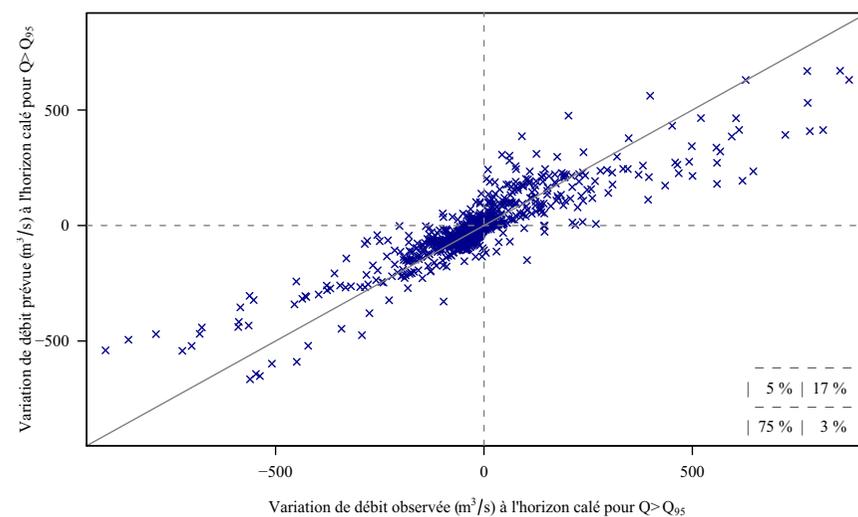
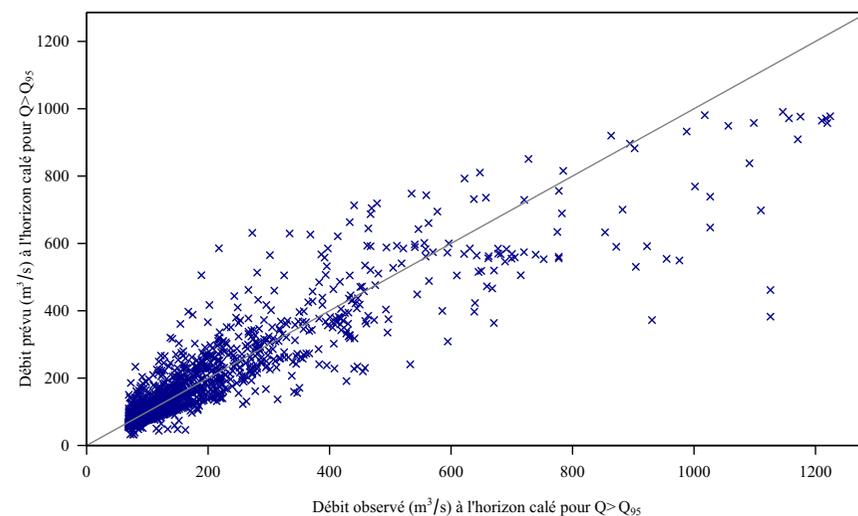
V7164015 Gardon à Ners		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 700 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 57.1\%$
Dépassement prévu	20 a	6 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 23.1\%$
Non-dépassement prévu	15 c	46963 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 48.8\%$



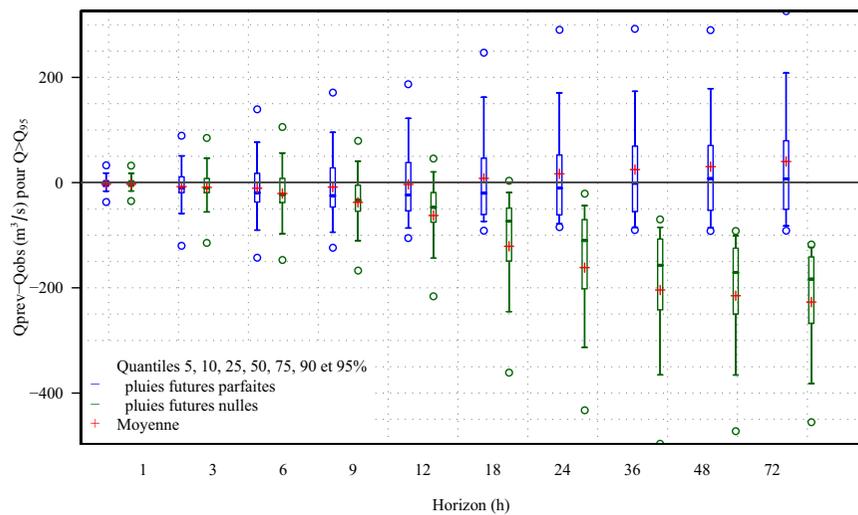
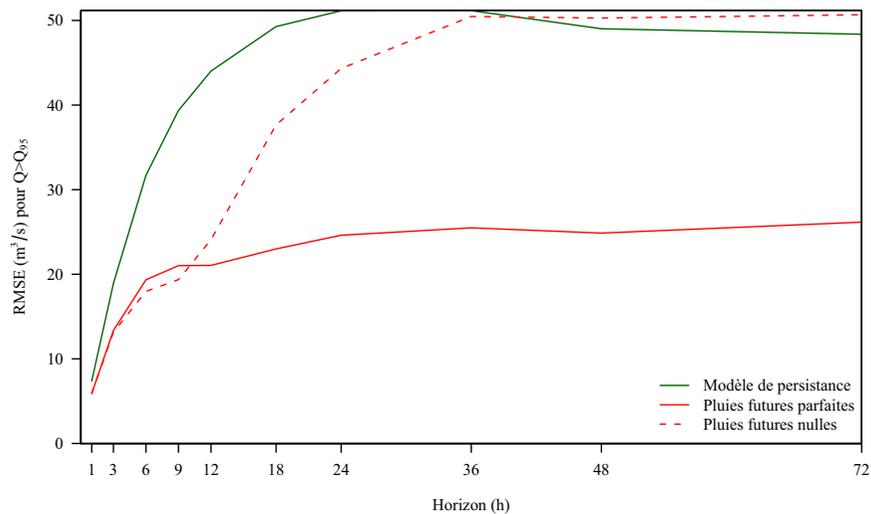
V7184015 Gardon à Russan		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003–2008	Q_{moy}	24.6 m ³ /s
Surface du bassin	1521 km ²	Q_{95}	69.5 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	179.7 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.768			



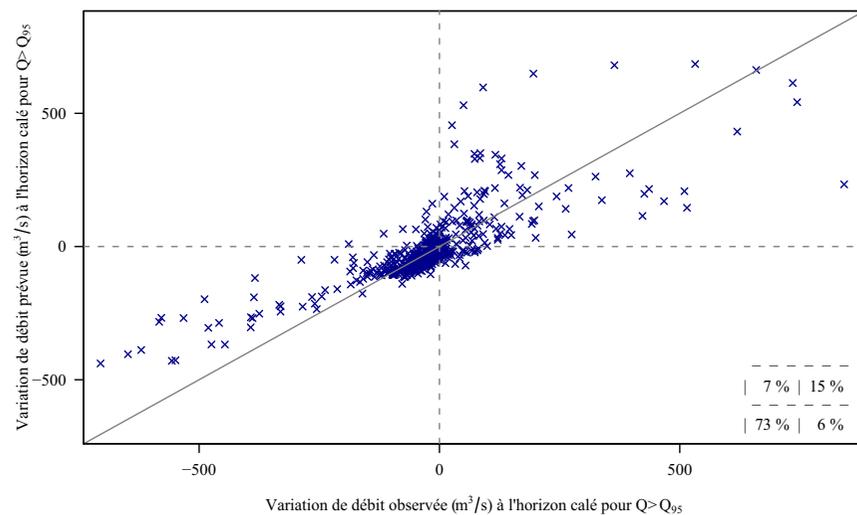
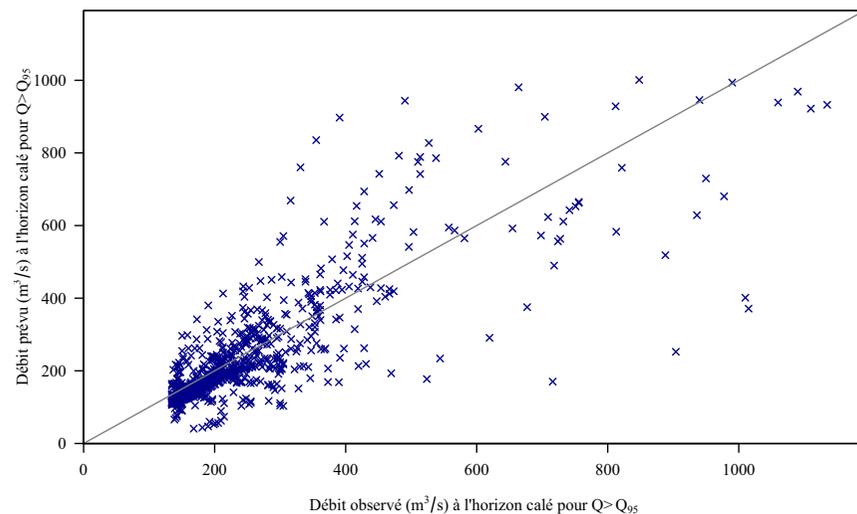
V7184015 Gardon à Russan		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 1000 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	POD = $\frac{a}{a+c} = 13.0\%$
Dépassement prévu	3 a	0 b	FAR = $\frac{b}{a+b} = 0.0\%$
Non-dépassement prévu	20 c	30621 d	CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 13.0\%$



V7185005 Gardon à Rémoulins		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2004–2008	Q_{moy}	42.8 m ³ /s
Surface du bassin	1855 km ²	Q_{95}	134.8 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	6 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	246.0 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.628			



V7185005 Gardon à Rémoulins		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 1000 m³/s à 6h			
	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	2	1	POD = $\frac{a}{a+c} = 18.2\%$
Non-dépassement prévu	9	15251	FAR = $\frac{b}{a+b} = 33.3\%$
			CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 16.7\%$



Annexe 4 : Catalogue de prévisions réalisées sur les 10 stations étudiées

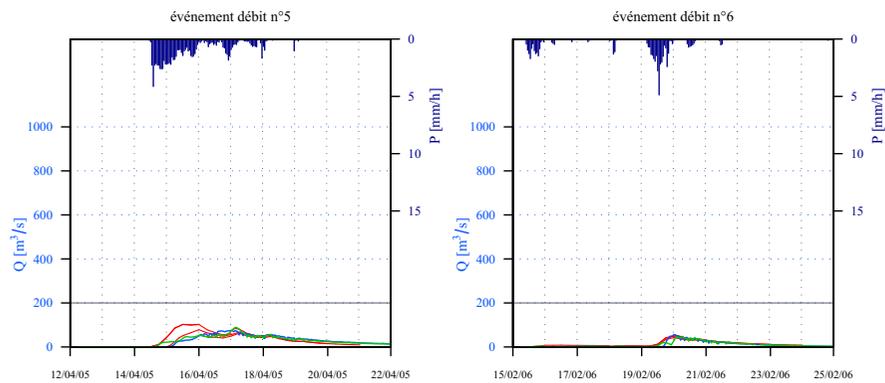
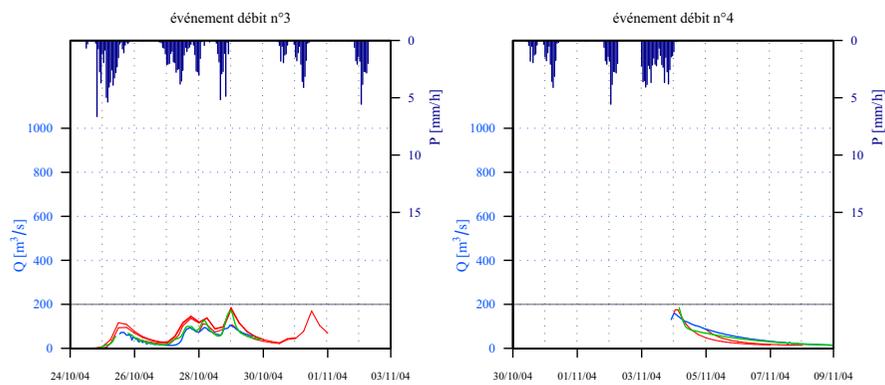
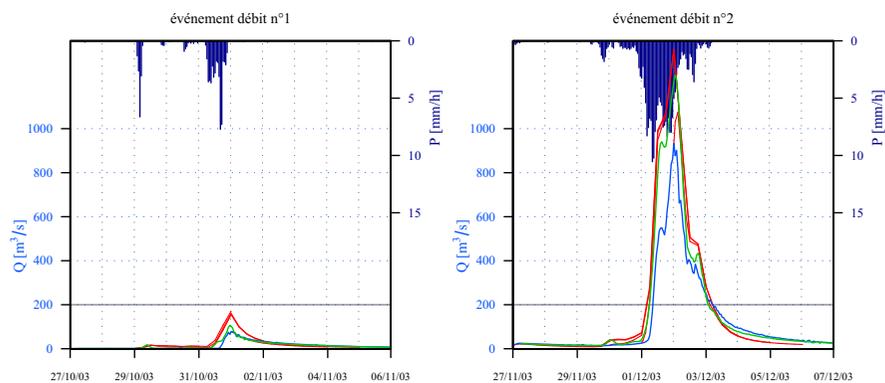
Pour chaque bassin, une sélection des 18 événements de débits majeurs et des 6 événements pluviométriques a été faite.

Pour chaque événement, un hydrogramme de prévision a été tracé et regroupe :

- le débit observé,
- les précipitations observées,
- les traces de prévisions successives par GRP, réalisées au cours de l'événement (faisant apparaître les prévisions sur des périodes de 72 h). Pour des raisons de lisibilité, nous avons limité le nombre de traces de prévision à une par jour.
- la courbe liant les prévisions à l'horizon retenu pour le calage,
- les seuils de débits fournis par le SPC.

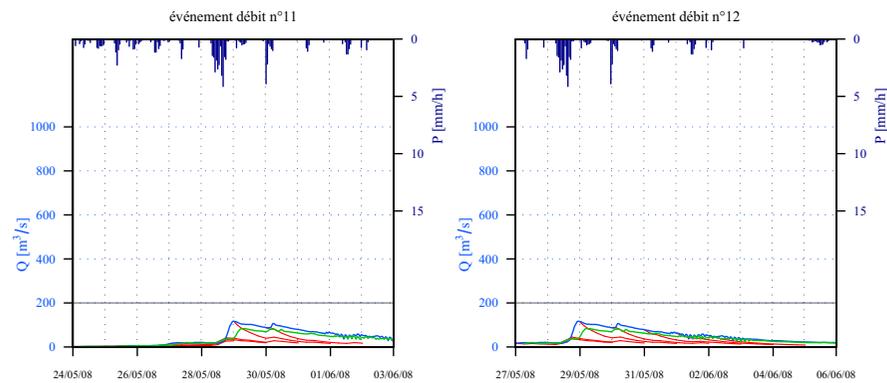
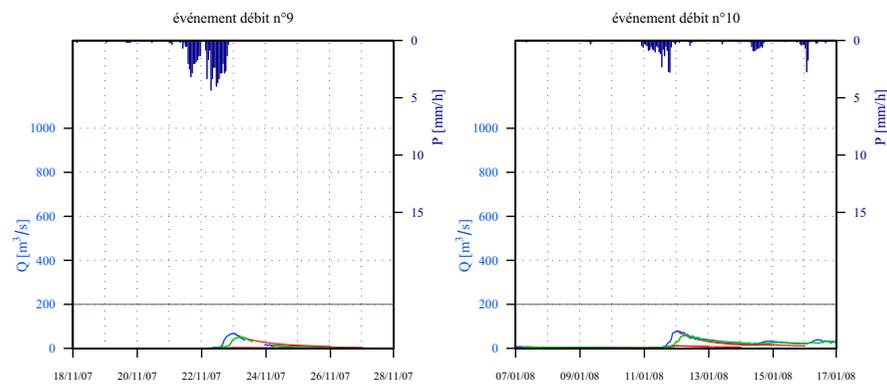
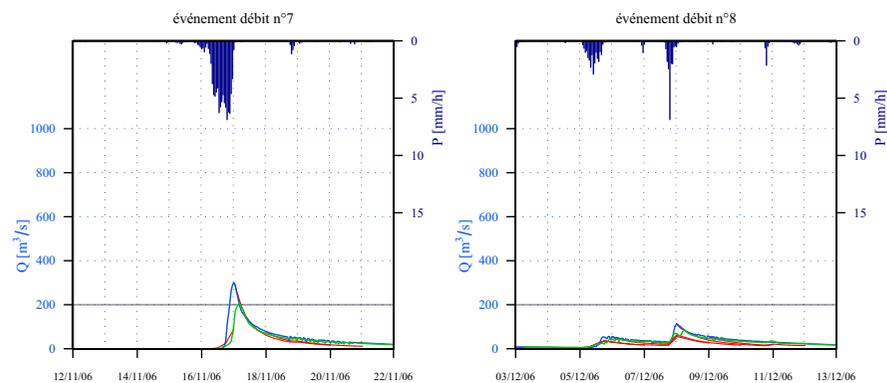
V3744010 Doux à Tournon (S=640 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



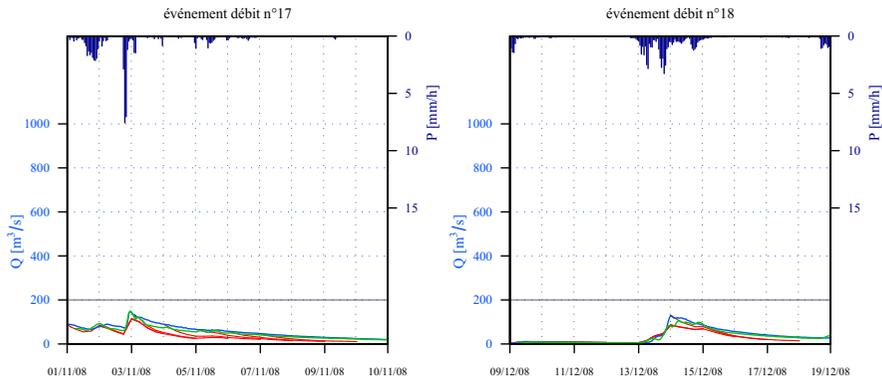
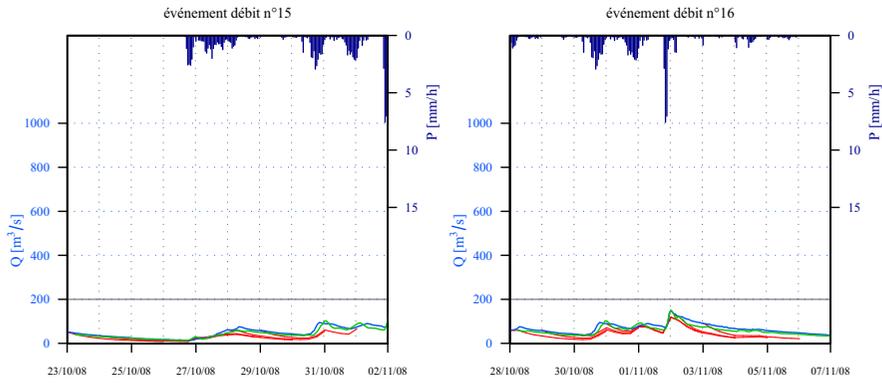
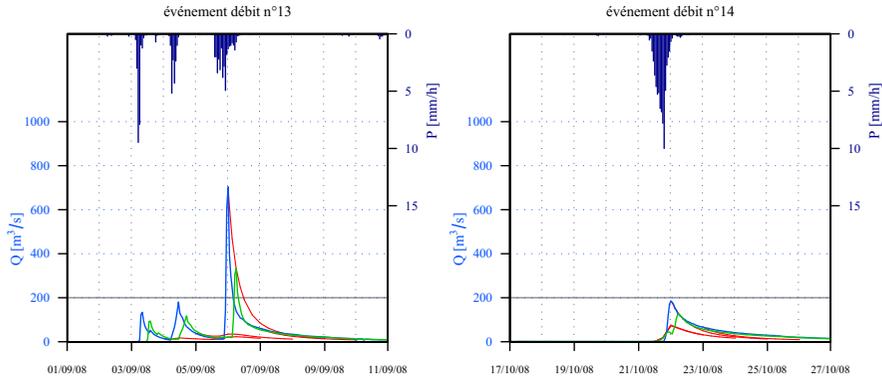
V3744010 Doux à Tournon (S=640 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



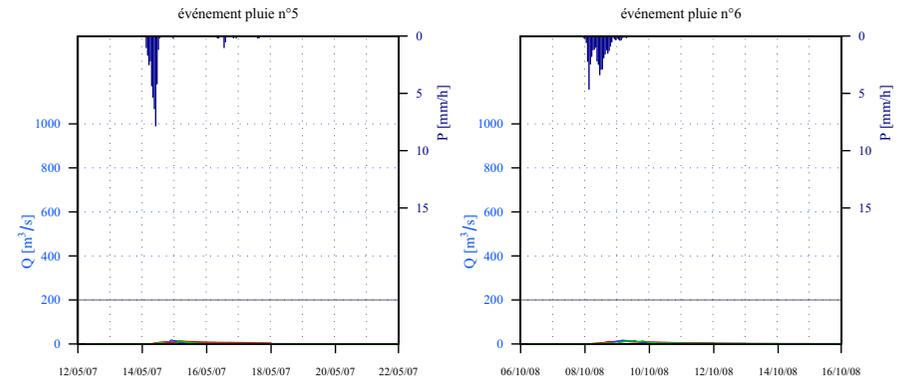
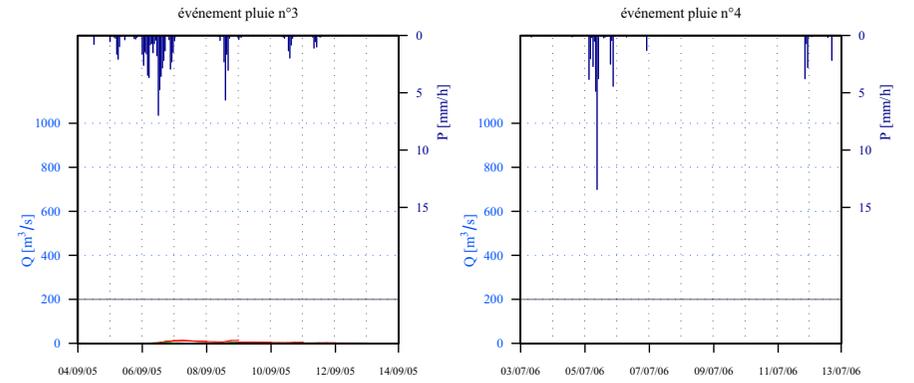
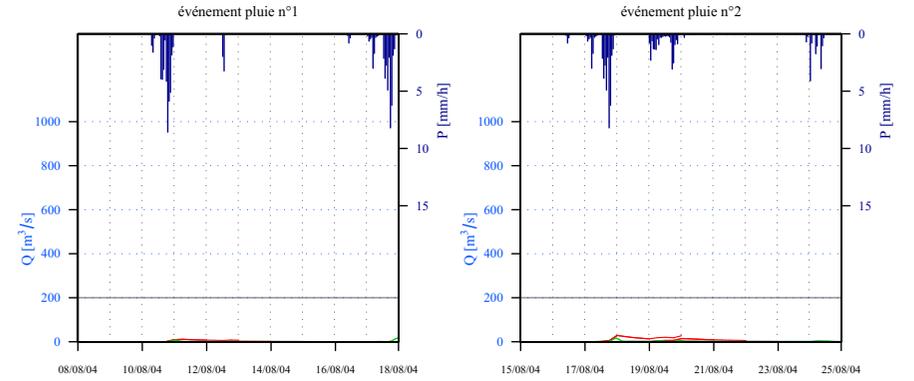
V3744010 Doux à Tournon (S=640 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).

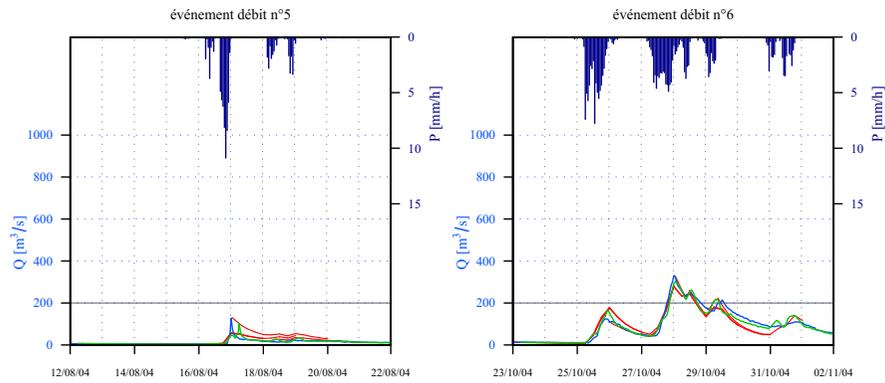
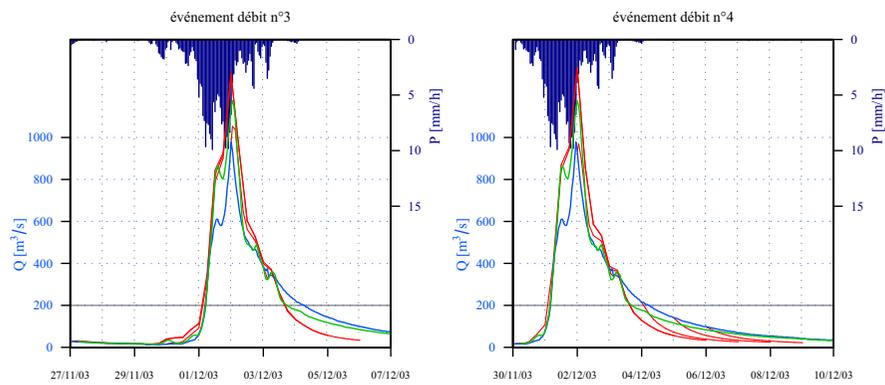
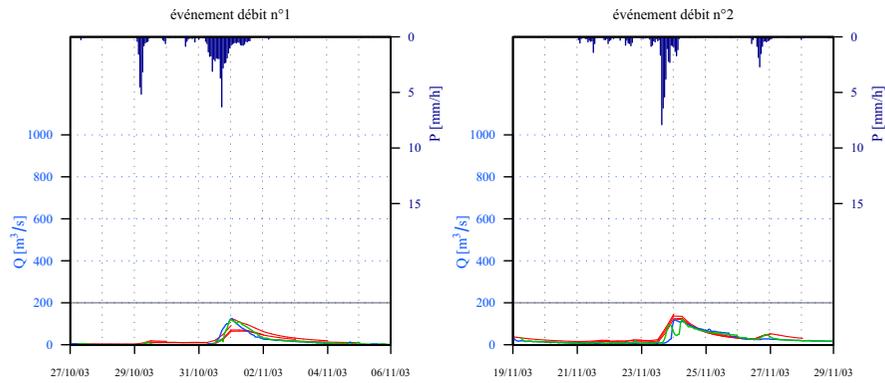


V3744010 Doux à Tournon (S=640 km², Hc=6 h, GRP)

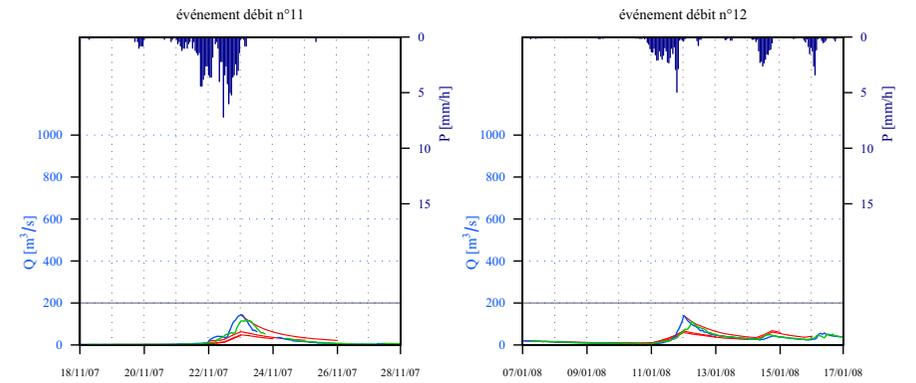
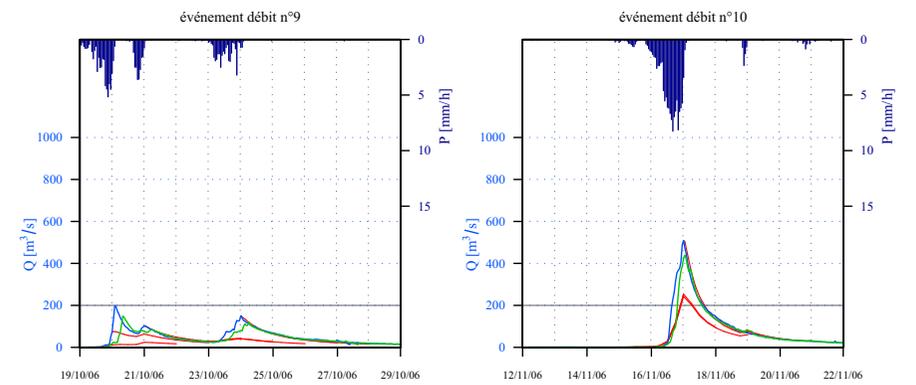
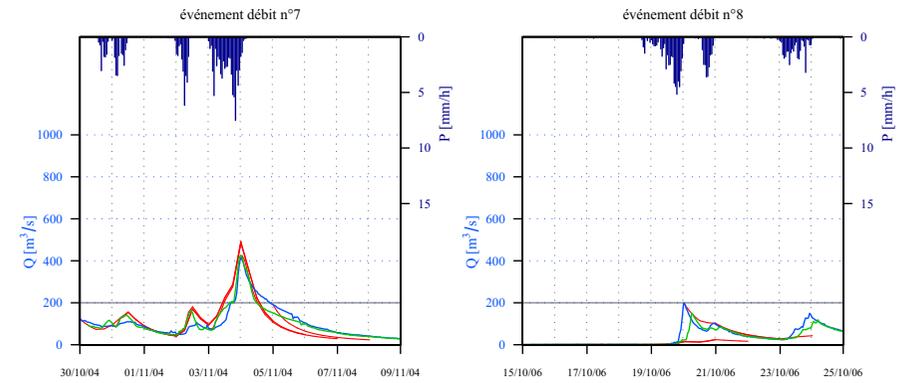
Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



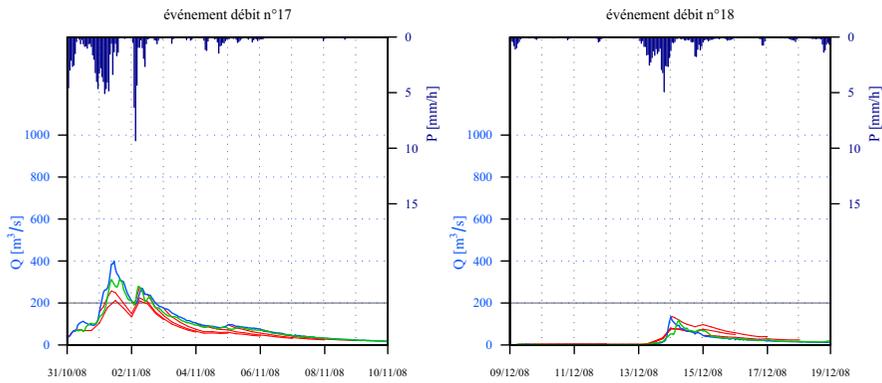
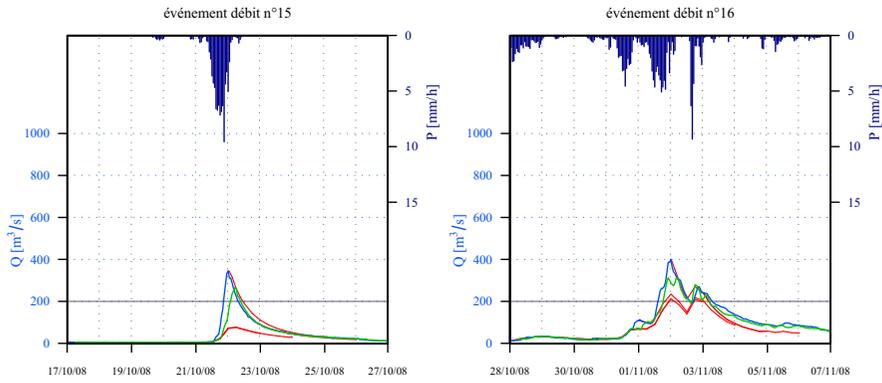
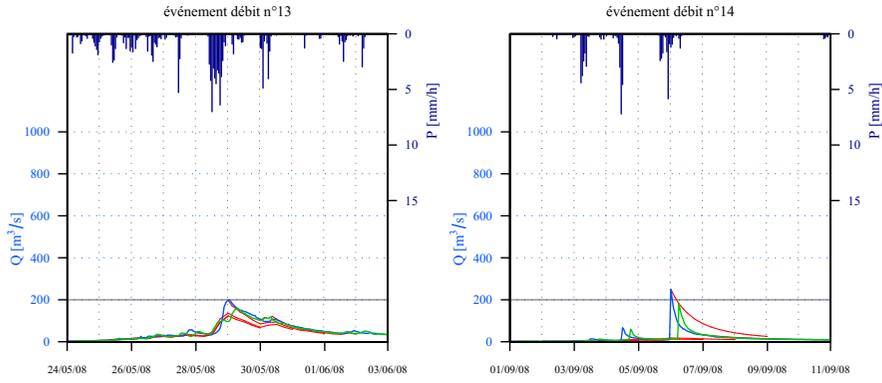
V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux (S=600 km², Hc=6 h, GRP)
Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



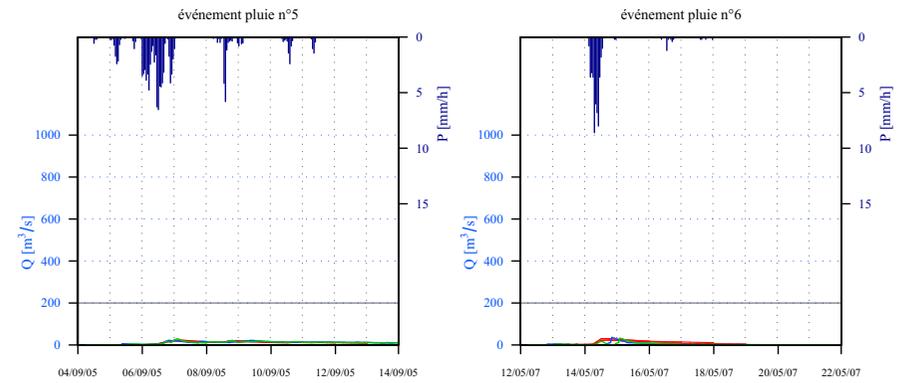
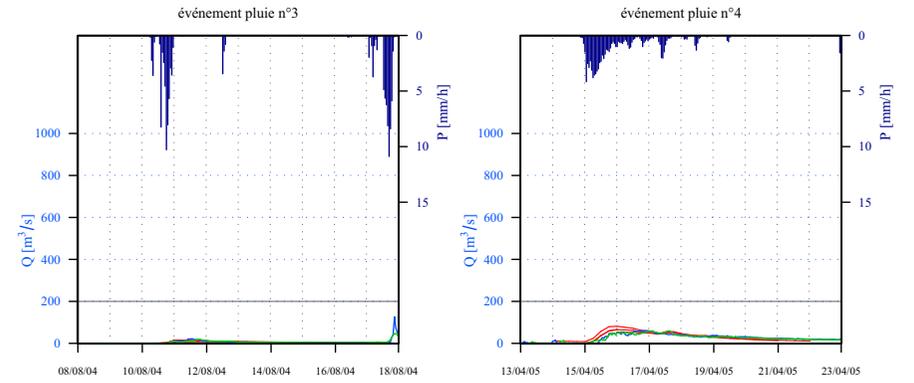
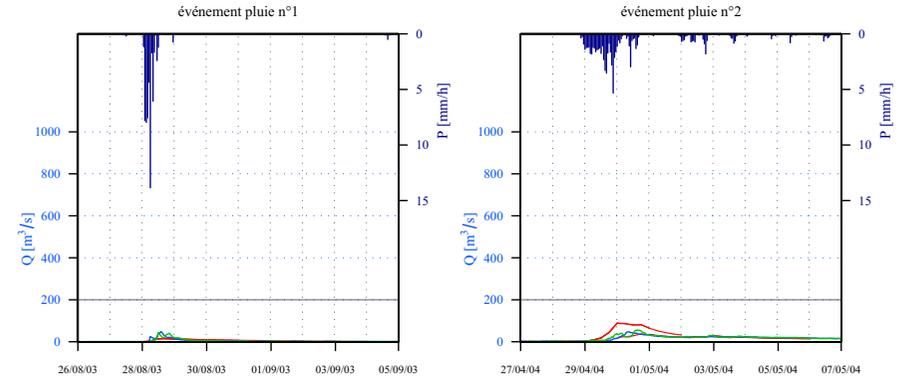
V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux (S=600 km², Hc=6 h, GRP)
Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux (S=600 km², Hc=6 h, GRP)
 Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).

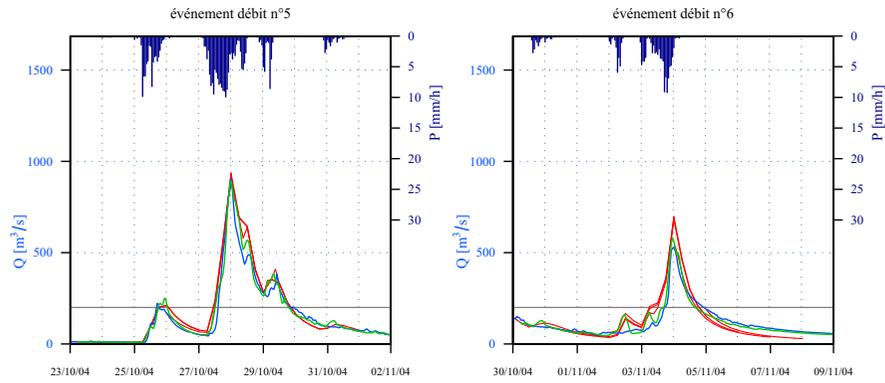
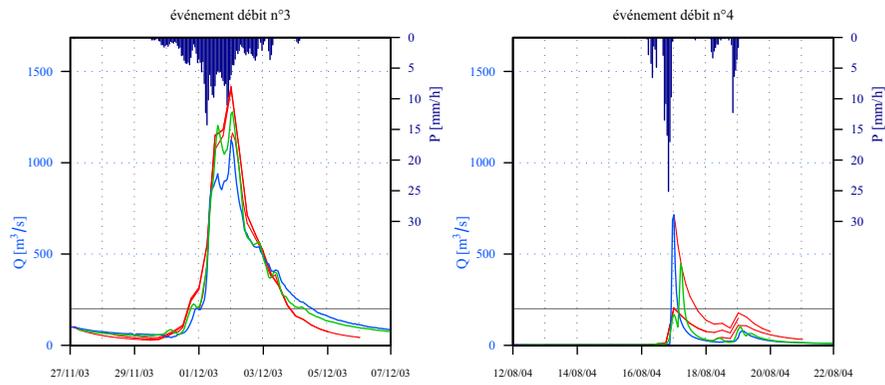
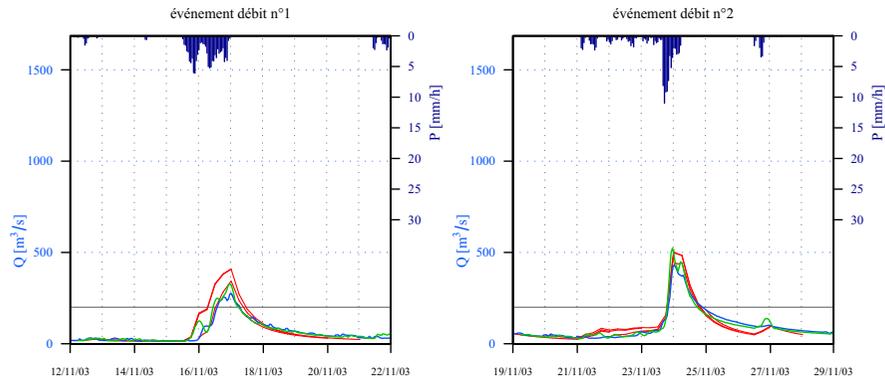


V4154010 Eyrieux aux Ollières-sur-Eyrieux (S=600 km², Hc=6 h, GRP)
 Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



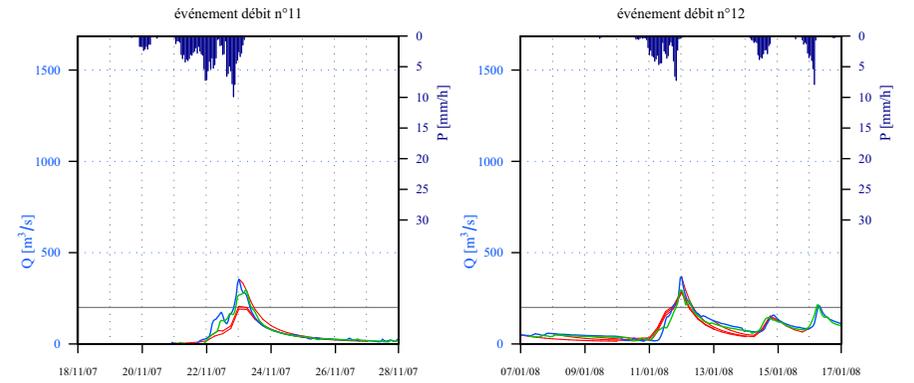
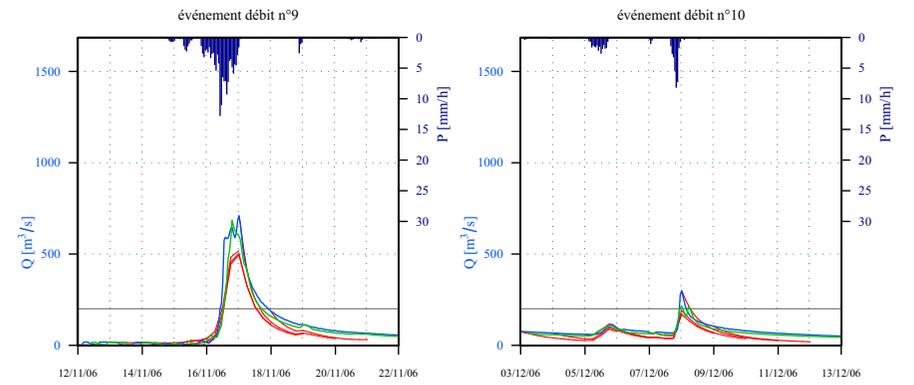
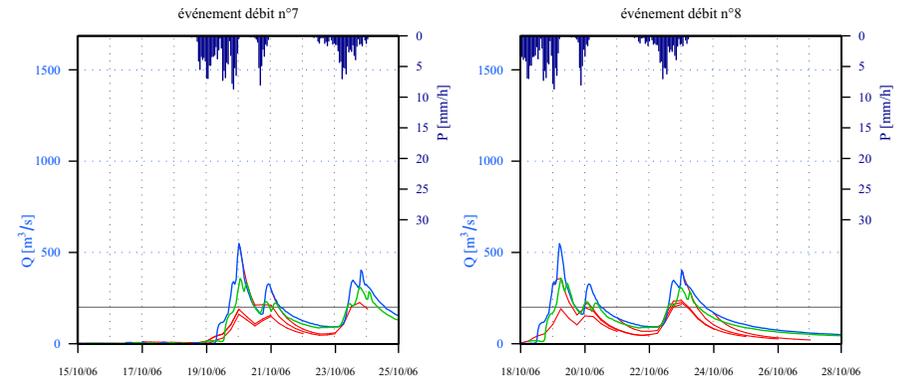
V5014010 Ardèche à Vogüe (S=636 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



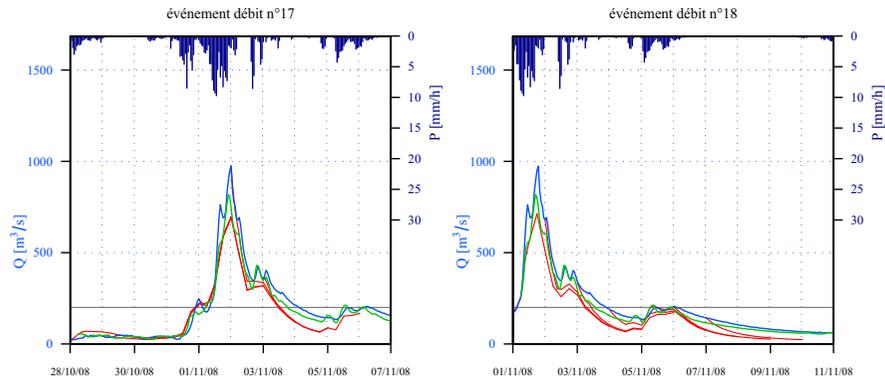
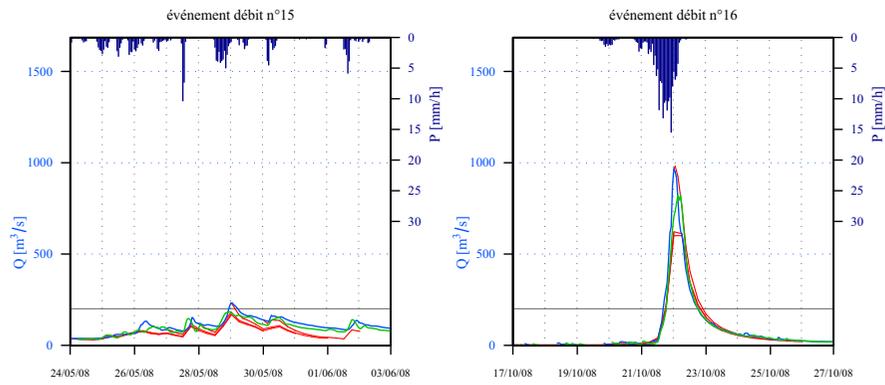
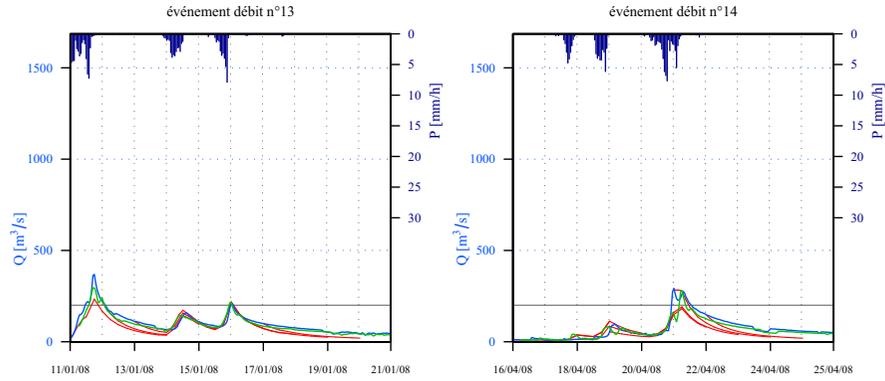
V5014010 Ardèche à Vogüe (S=636 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



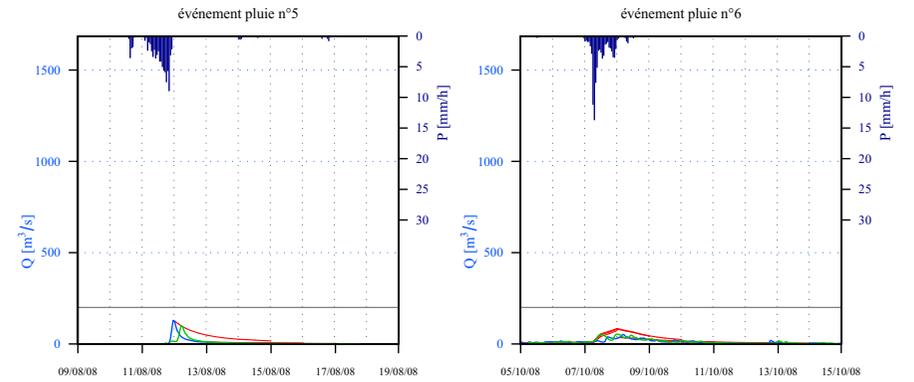
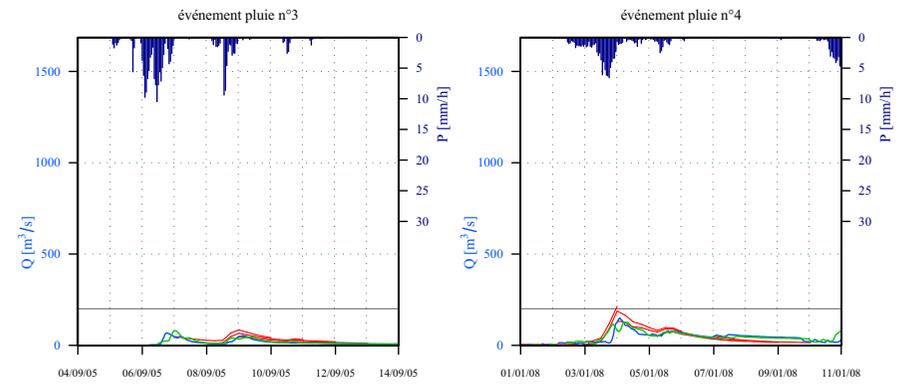
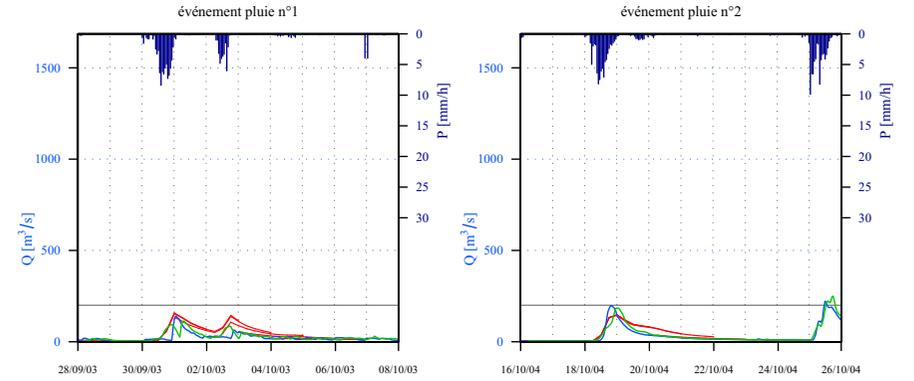
V5014010 Ardèche à Vogüe (S=636 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



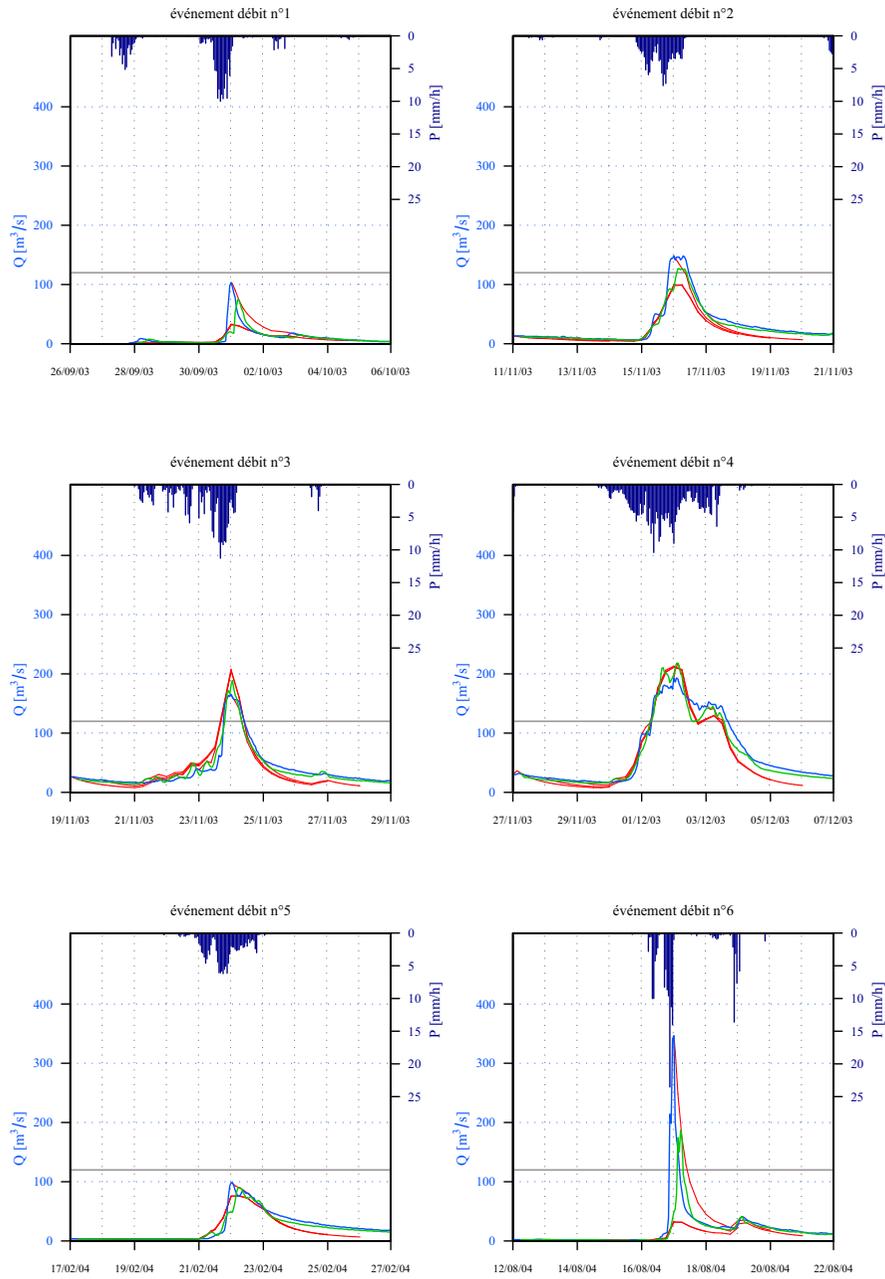
V5014010 Ardèche à Vogüe (S=636 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



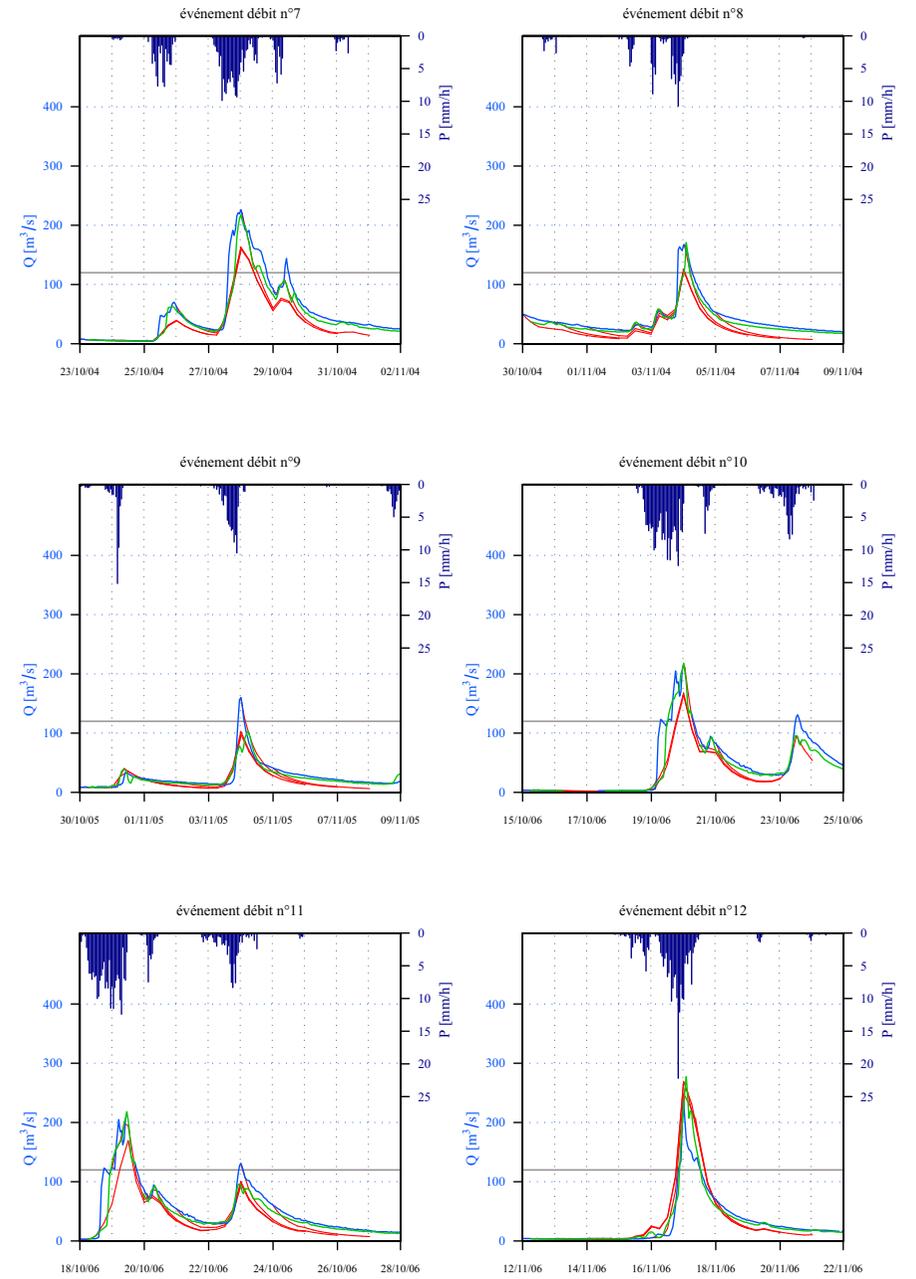
V5035020 Baume à Rosières (S=210 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



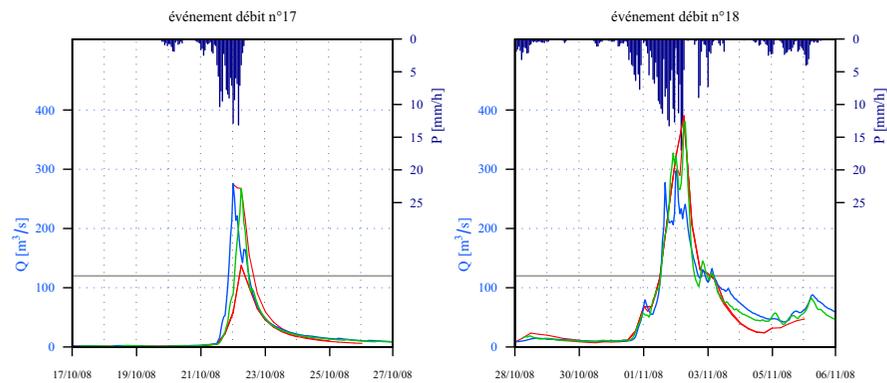
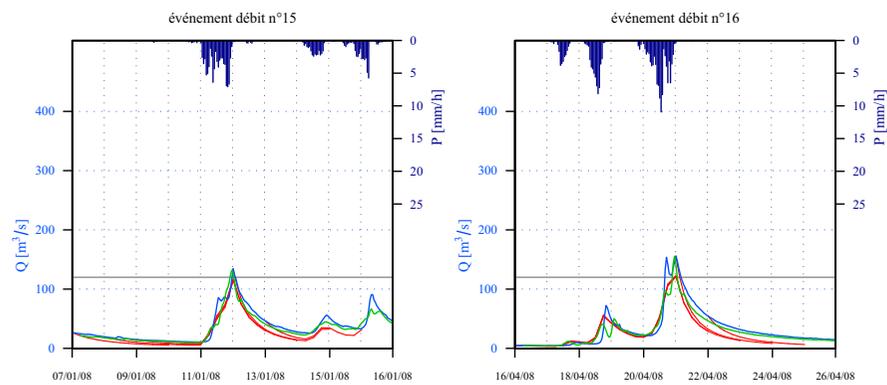
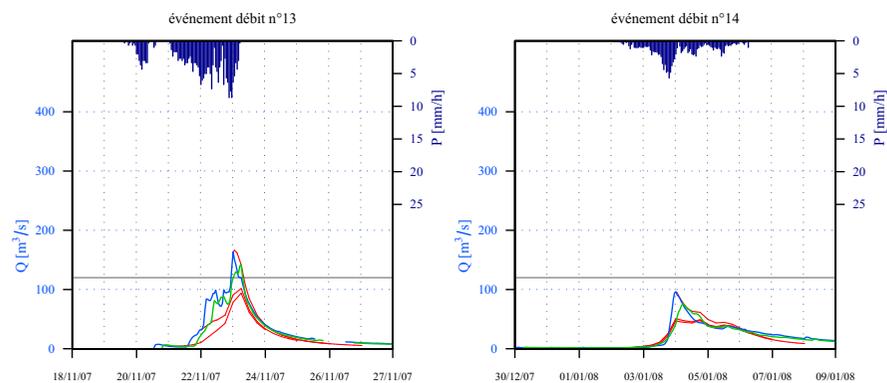
V5035020 Baume à Rosières (S=210 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



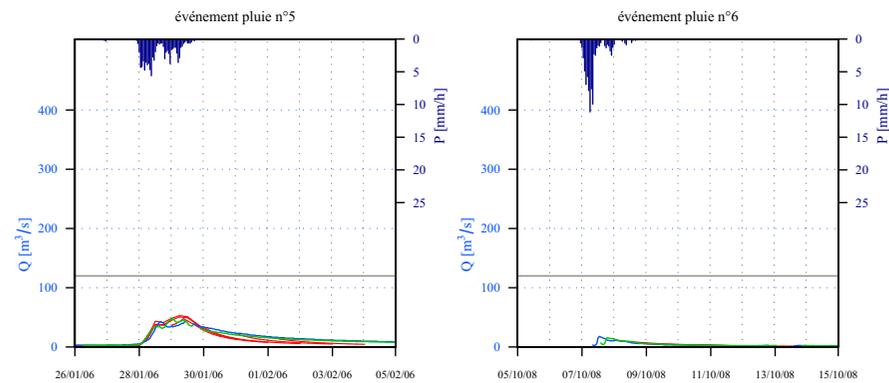
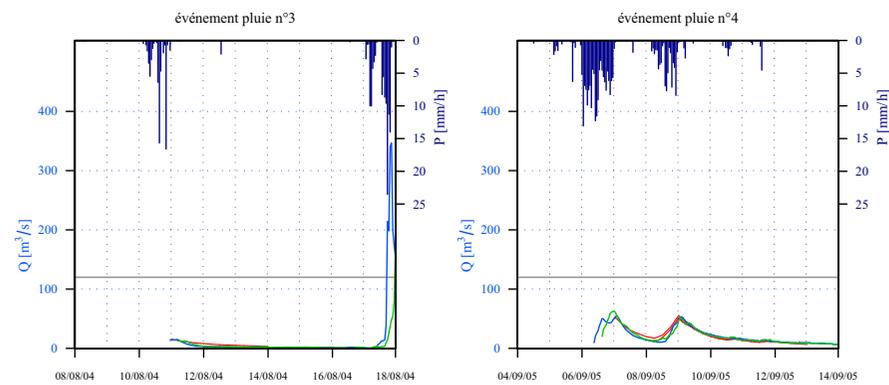
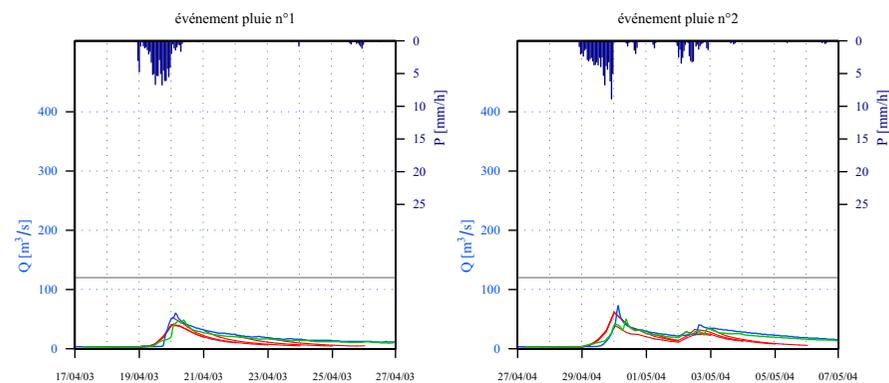
V5035020 Baume à Rosières (S=210 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).

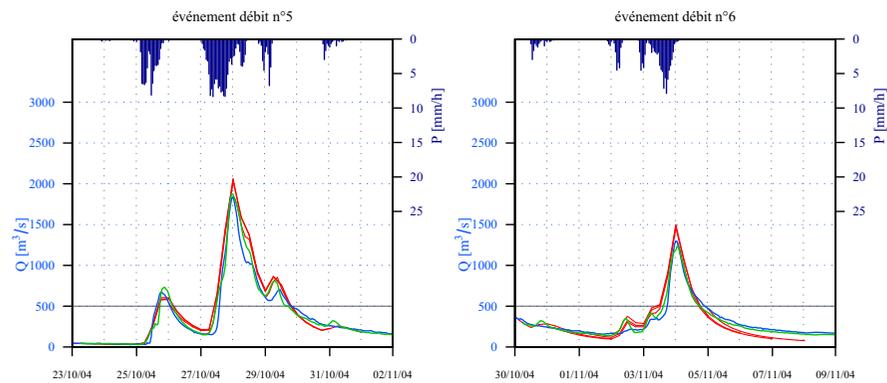
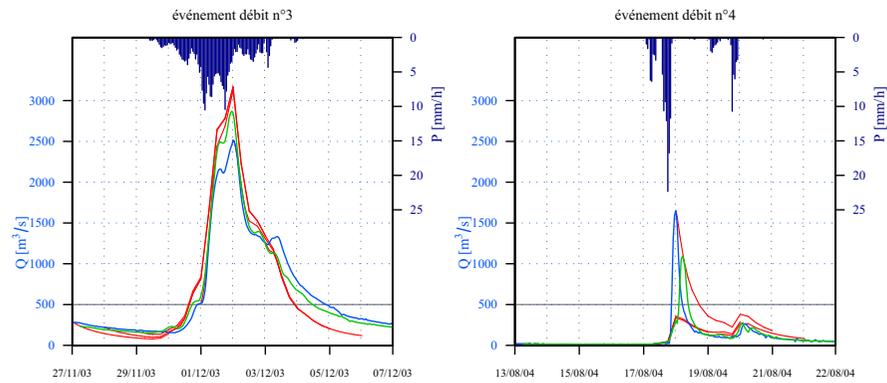
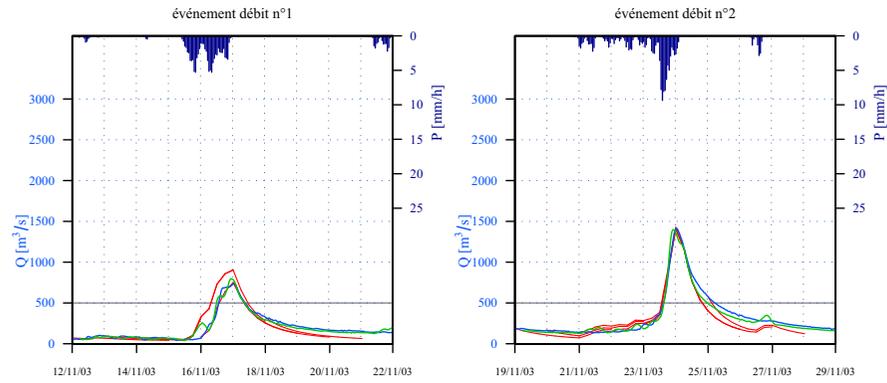


V5035020 Baume à Rosières (S=210 km², Hc=6 h, GRP)

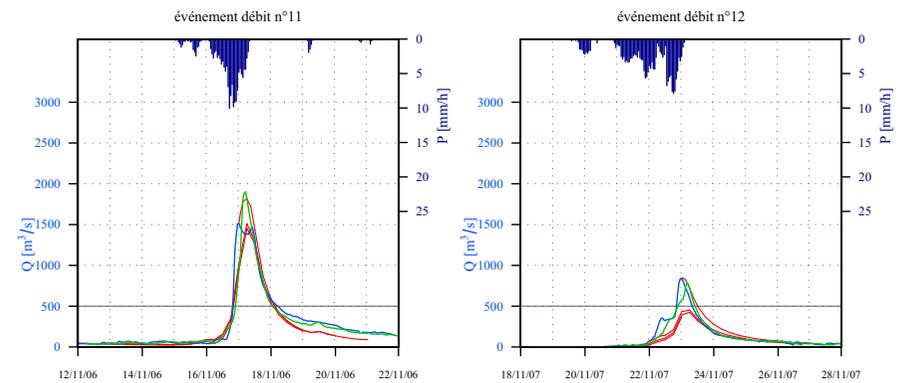
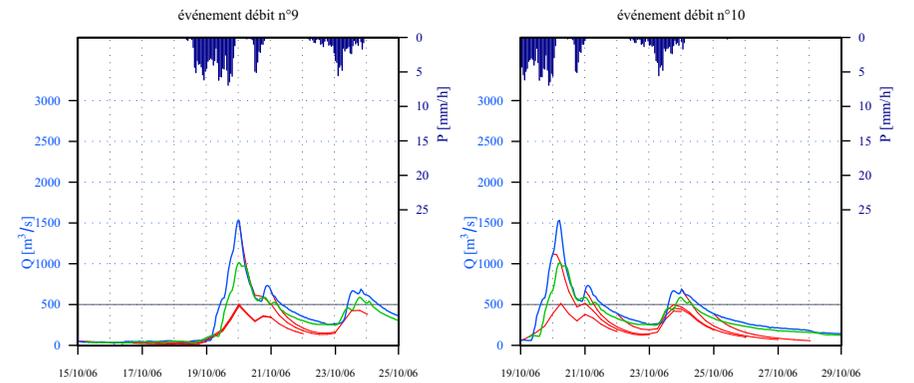
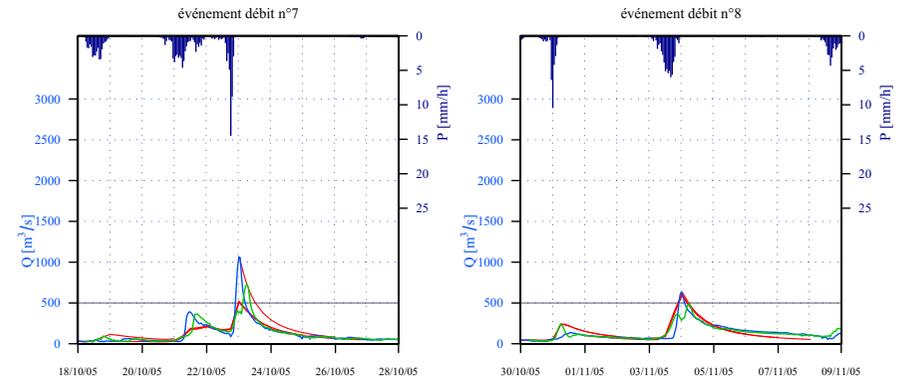
Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



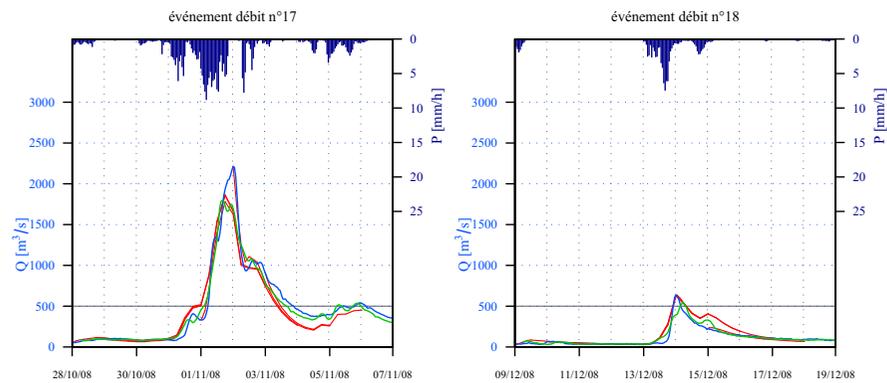
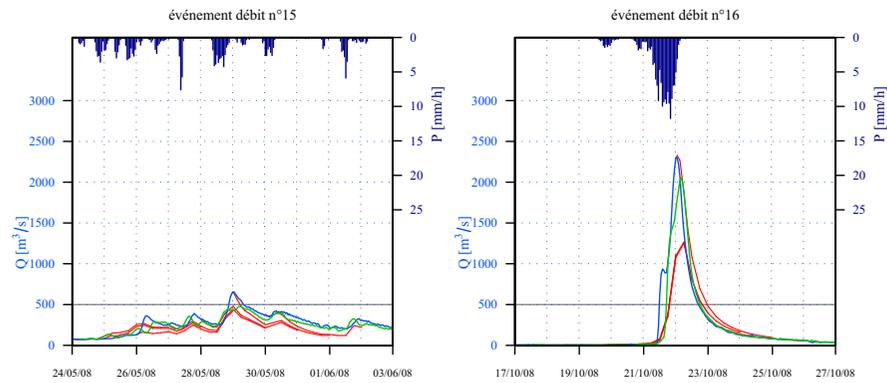
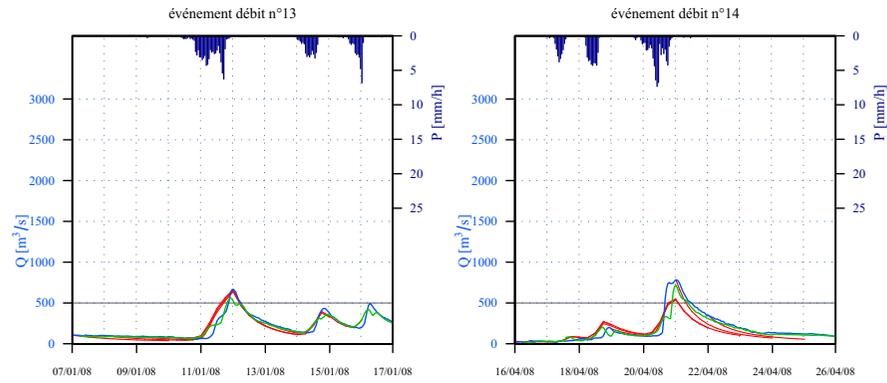
V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (S=1930 km², Hc=6 h, GRP)
Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



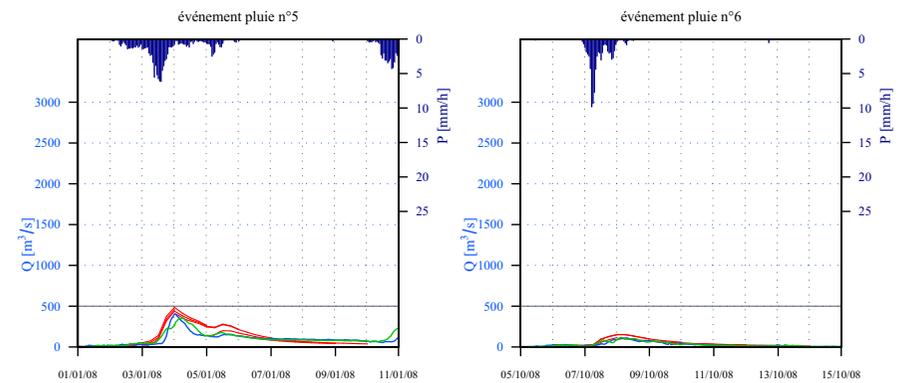
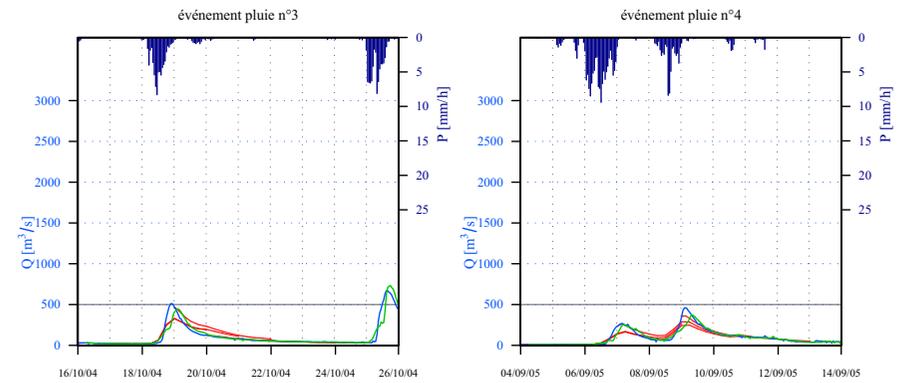
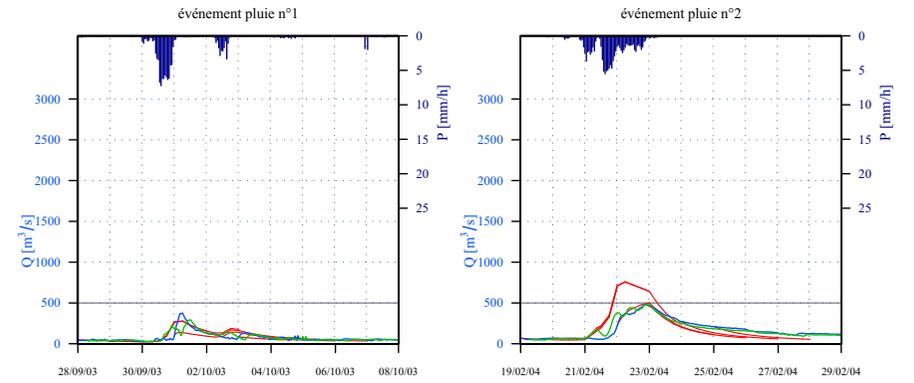
V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (S=1930 km², Hc=6 h, GRP)
Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (S=1930 km², Hc=6 h, GRP)
 Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).

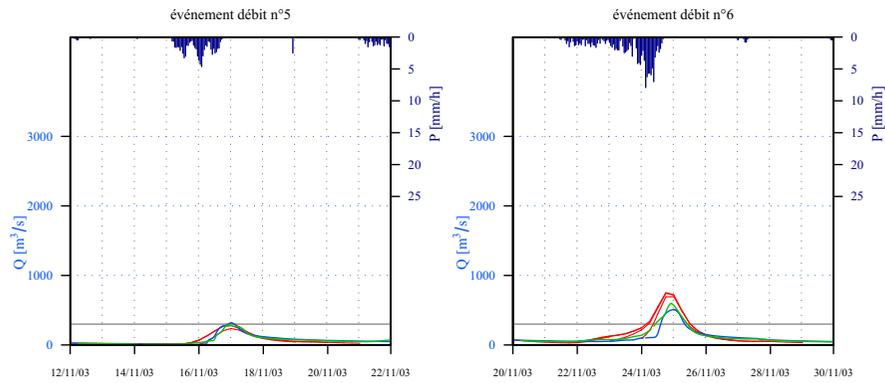
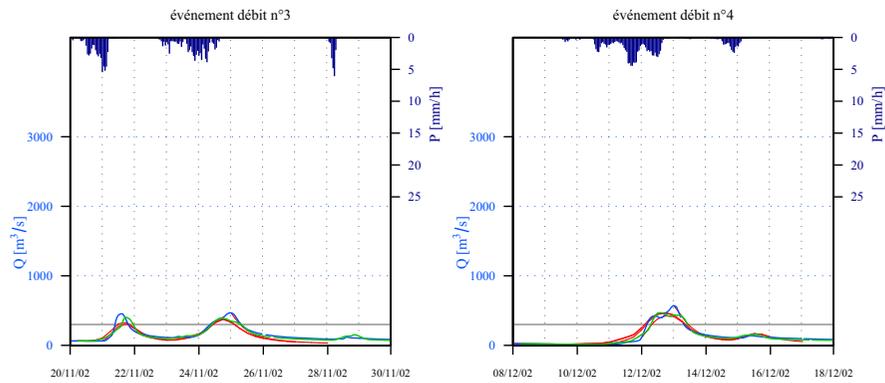
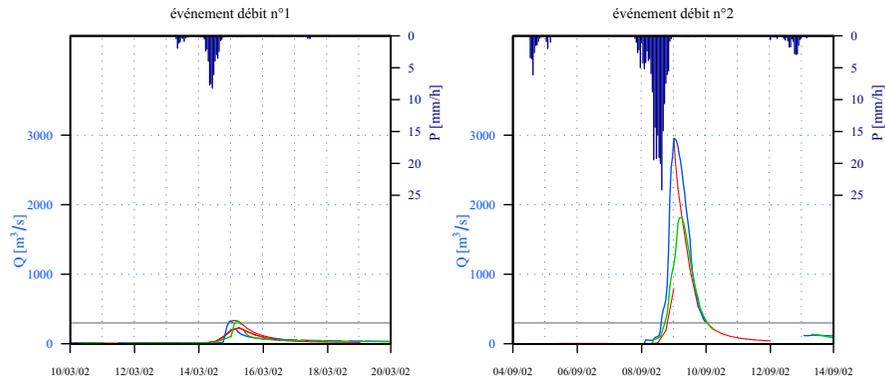


V5054010 Ardèche à Vallon-Pont-d'Arc (S=1930 km², Hc=6 h, GRP)
 Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



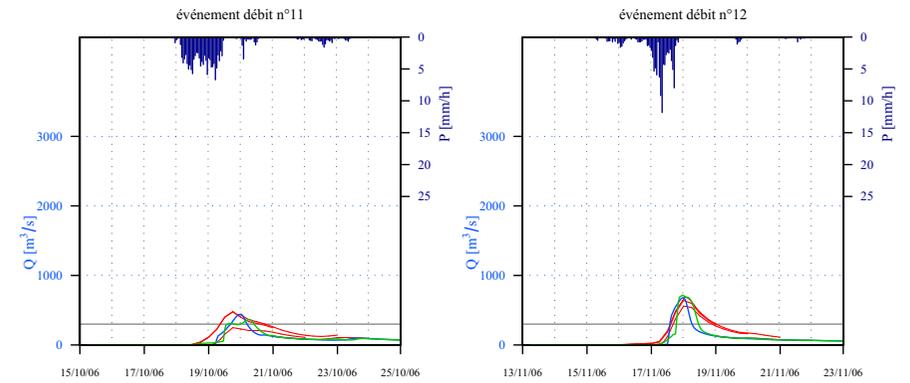
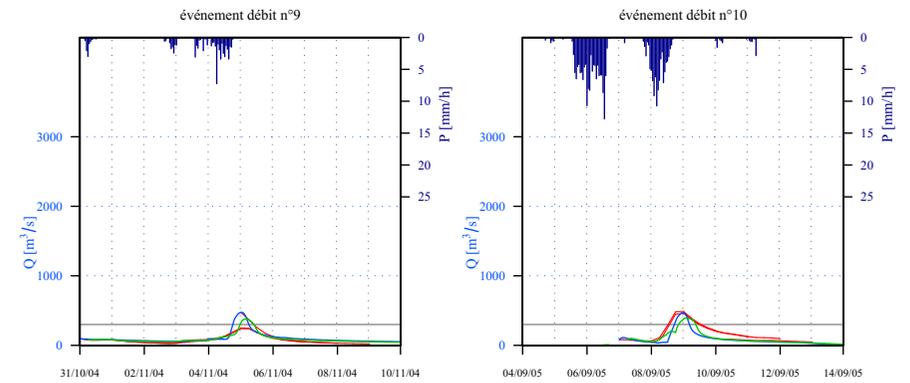
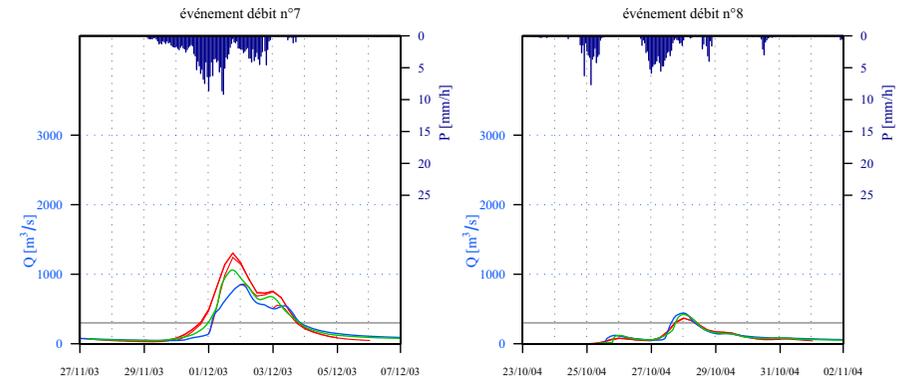
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze (S=1120 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



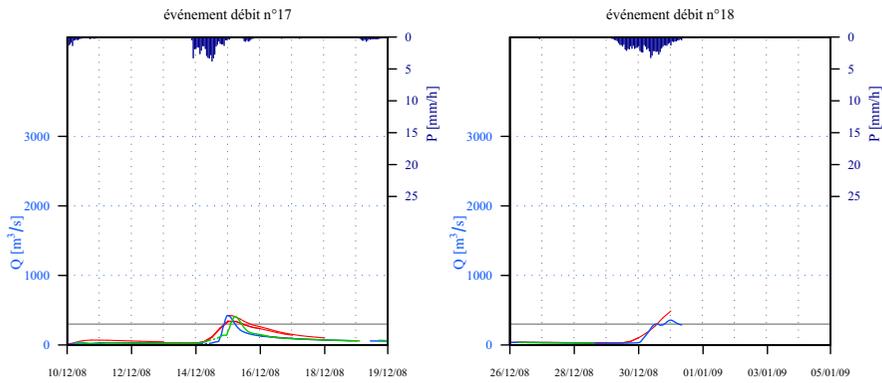
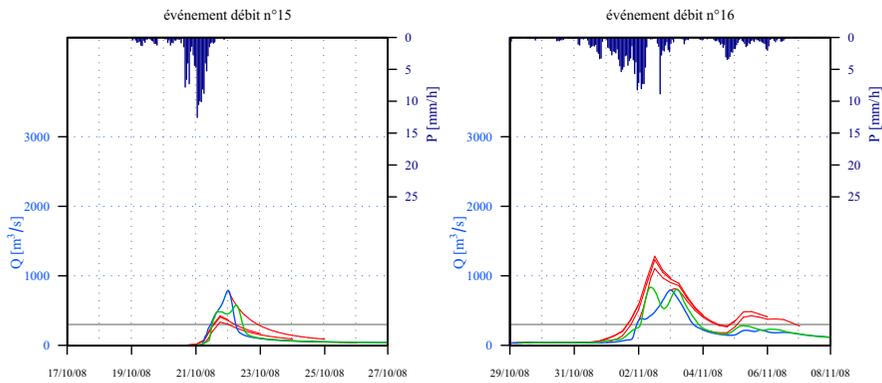
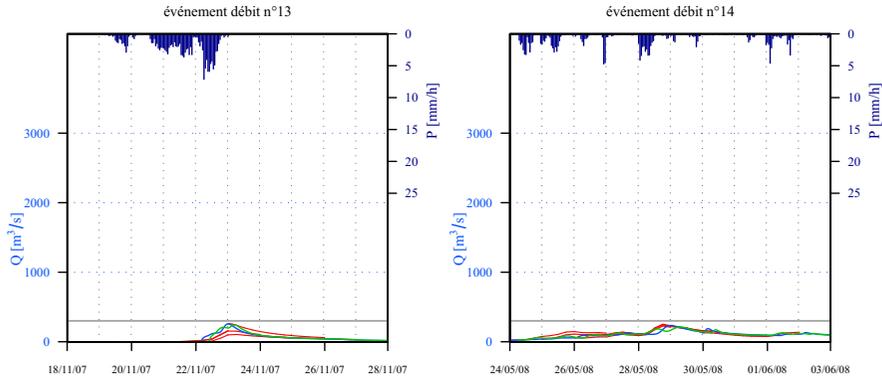
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze (S=1120 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



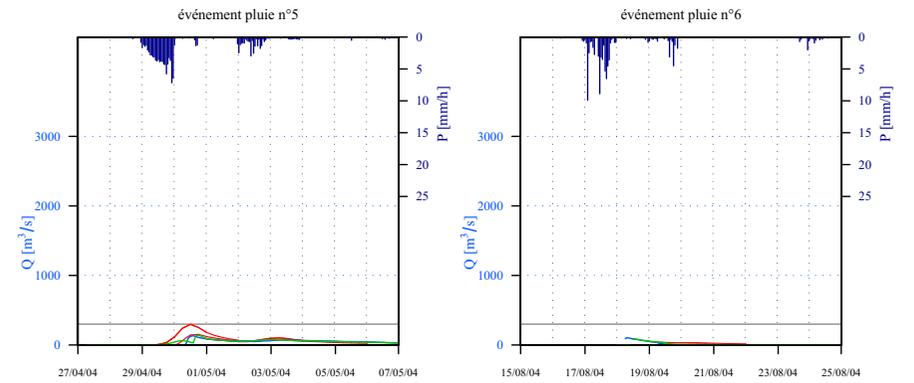
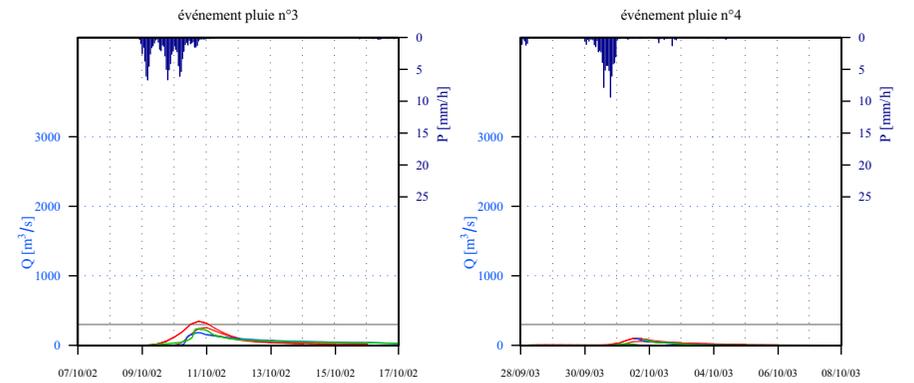
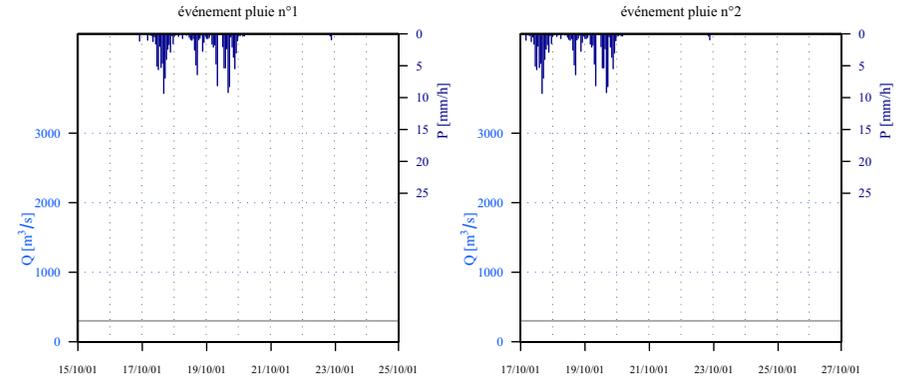
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze (S=1120 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



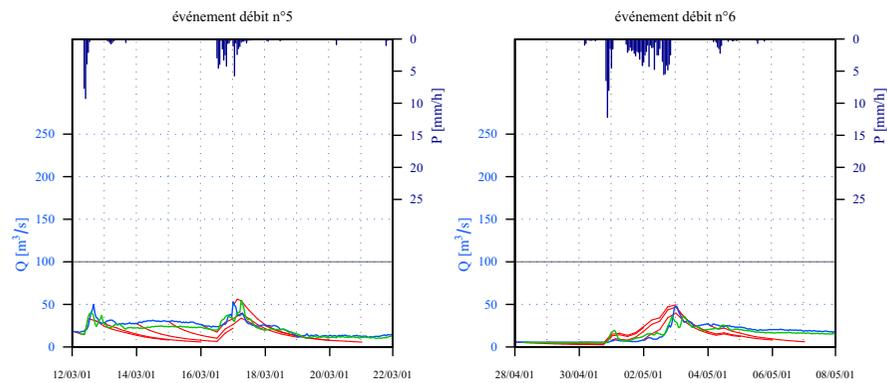
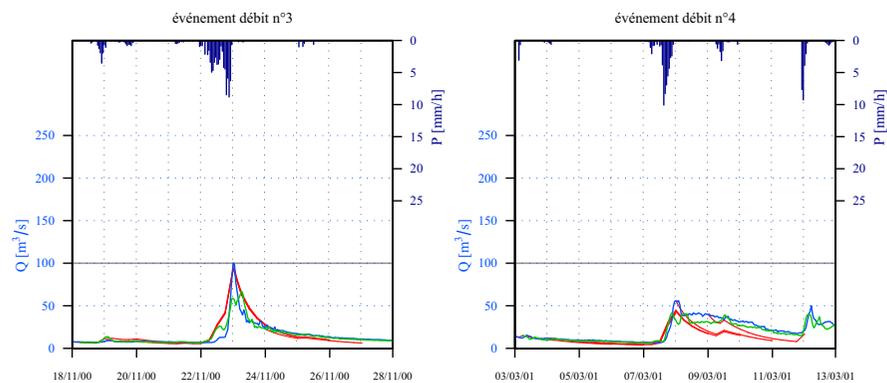
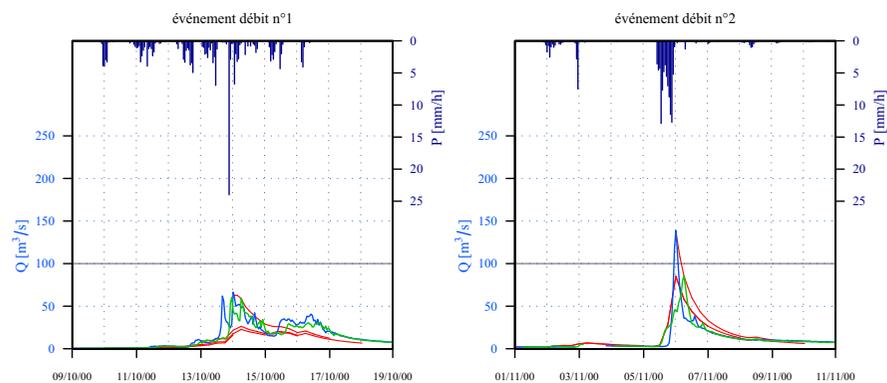
V5474015 Cèze à Bagnols-sur-Cèze (S=1120 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



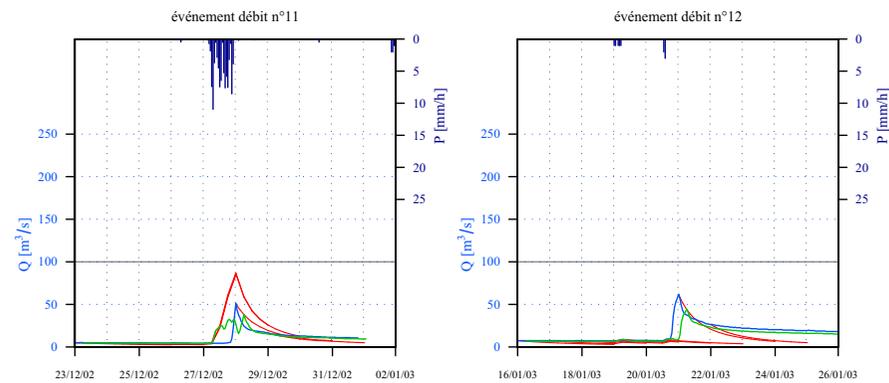
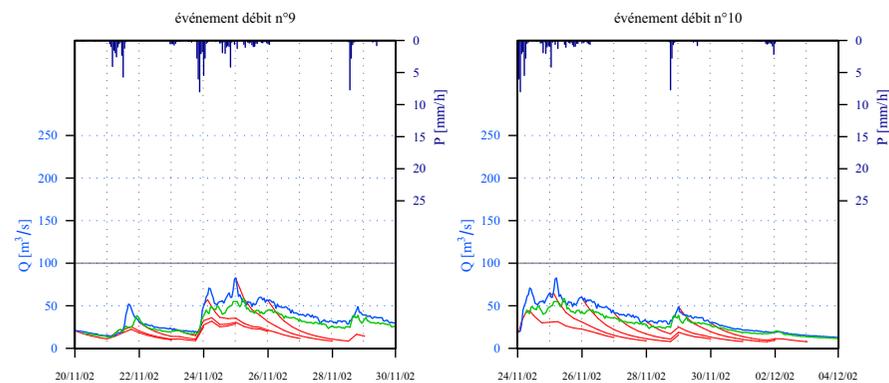
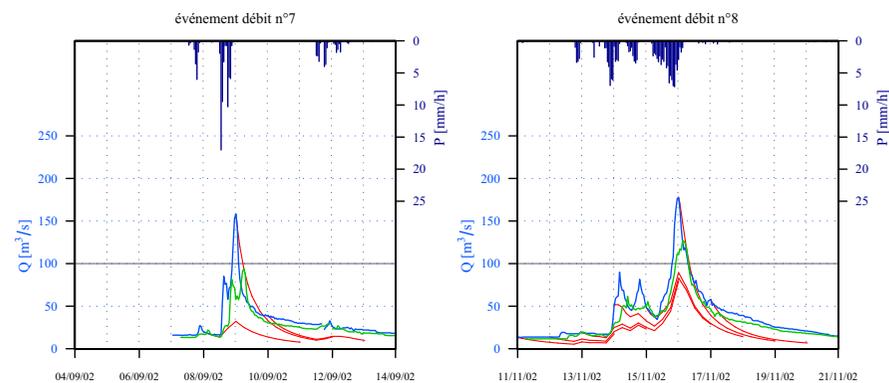
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine (S=585 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



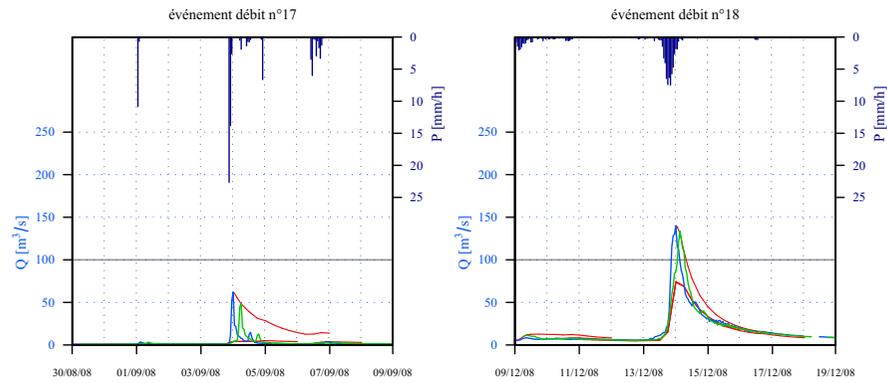
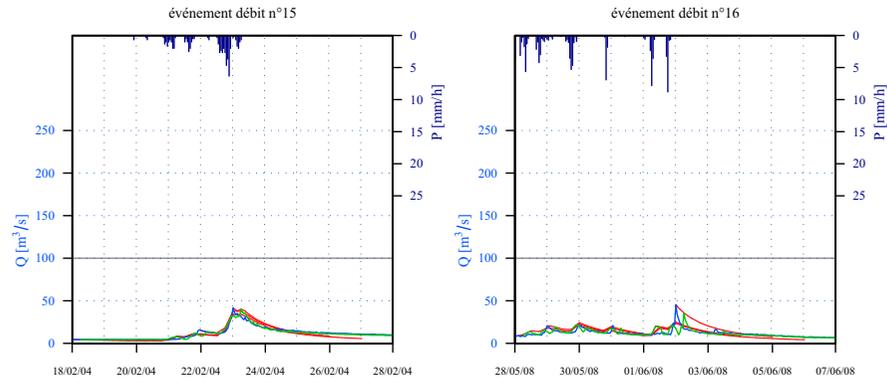
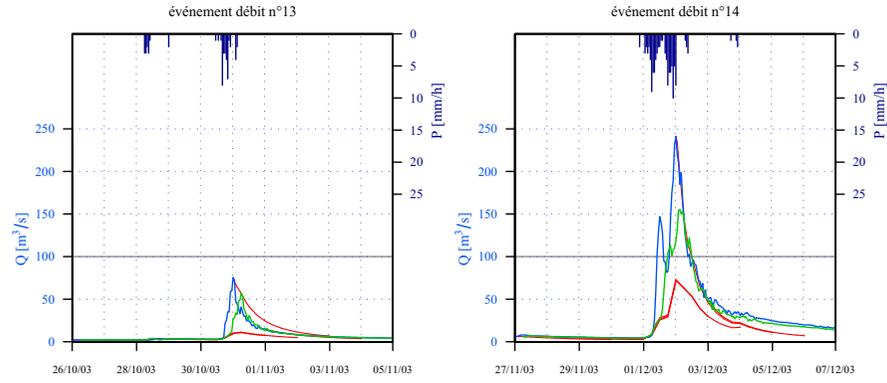
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine (S=585 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



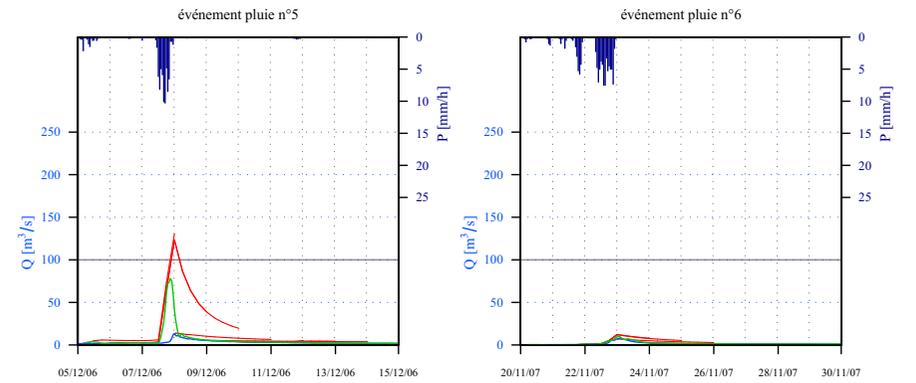
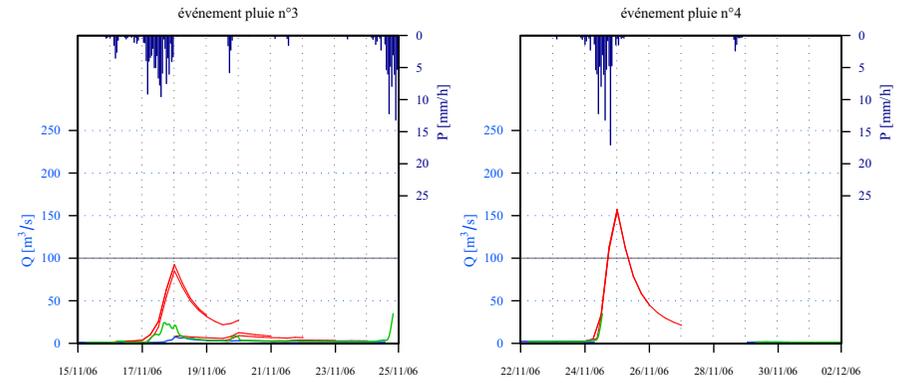
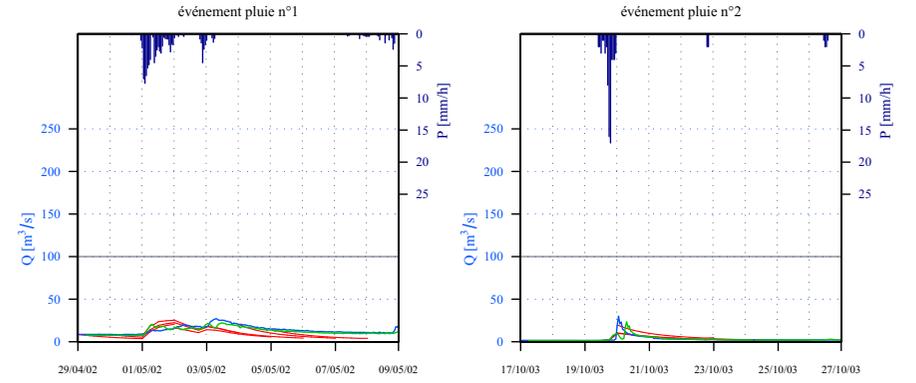
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine (S=585 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



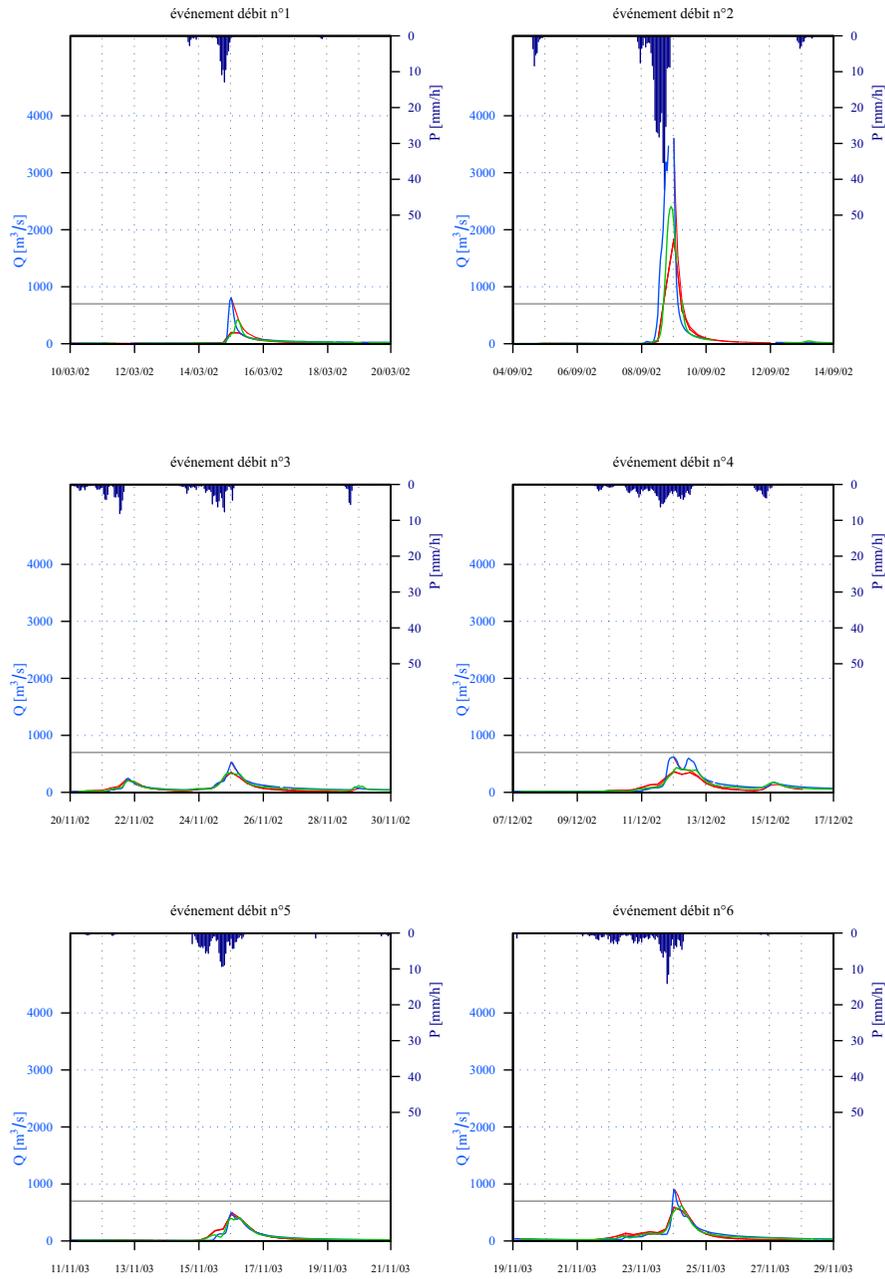
V6052010 Ouvèze à Vaison-la-Romaine (S=585 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



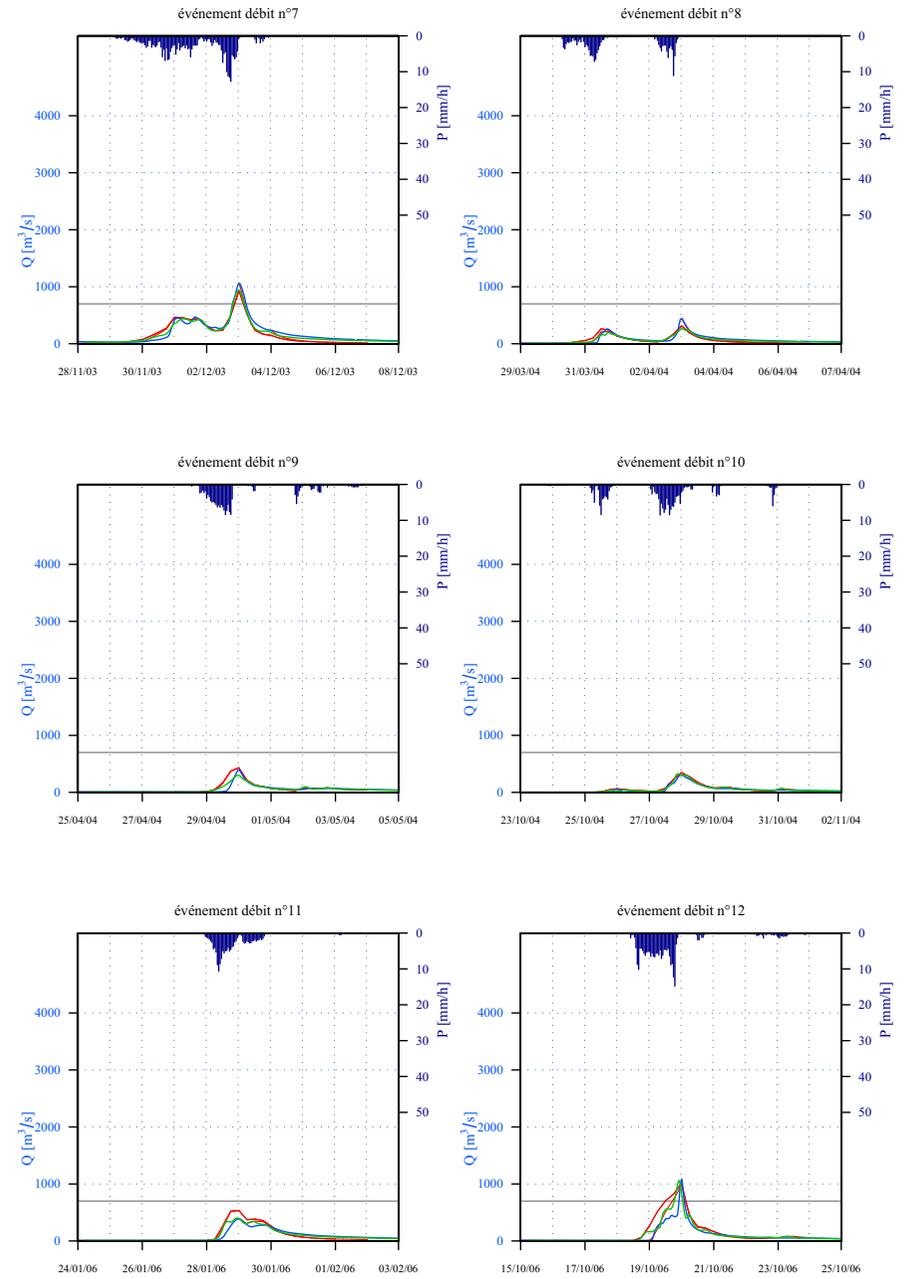
V7164015 Gardon à Ners (S=1100 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



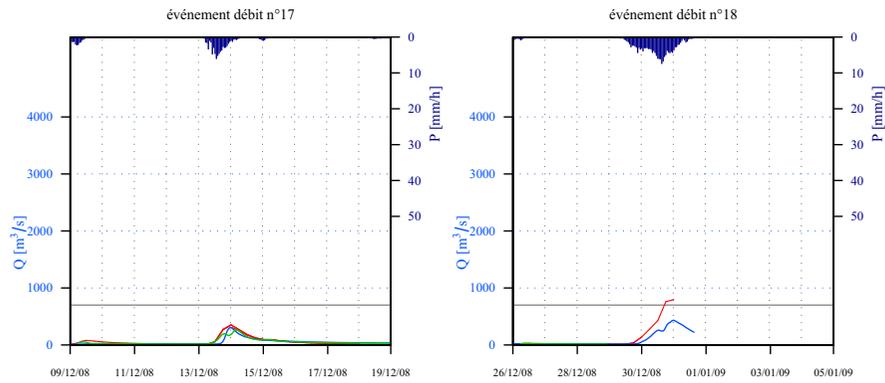
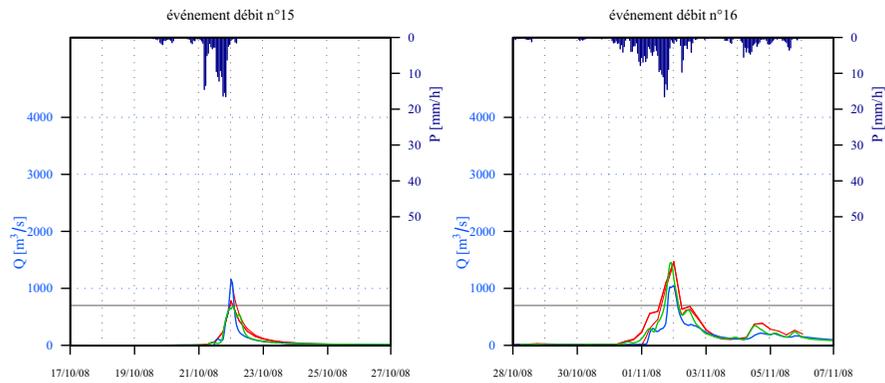
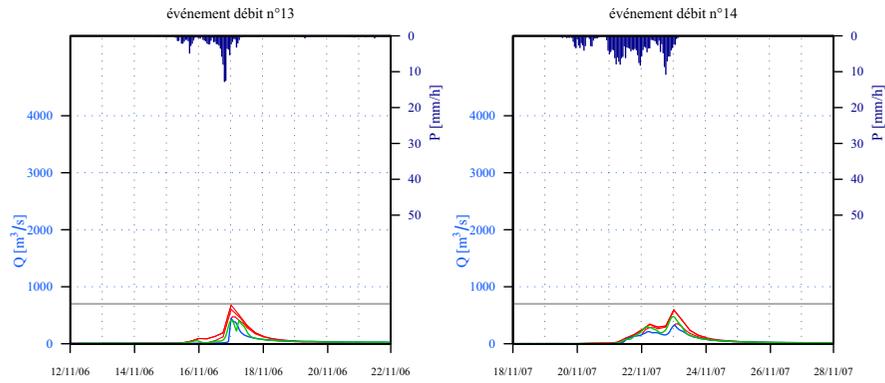
V7164015 Gardon à Ners (S=1100 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



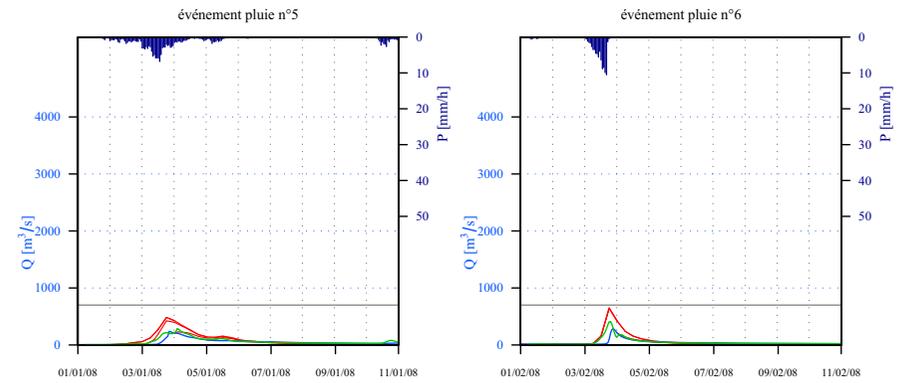
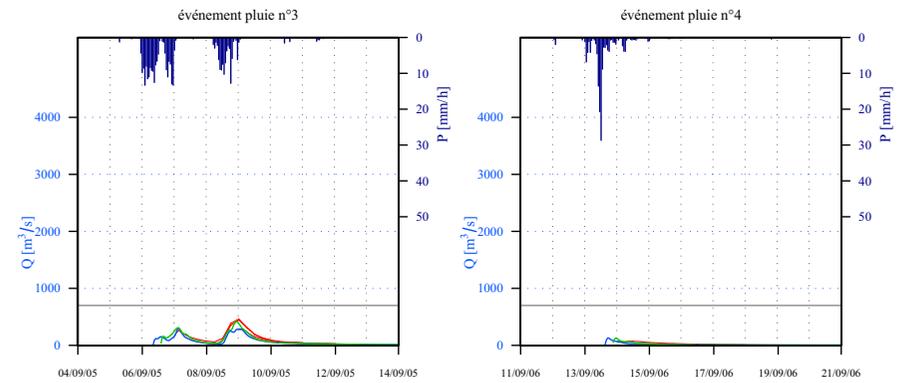
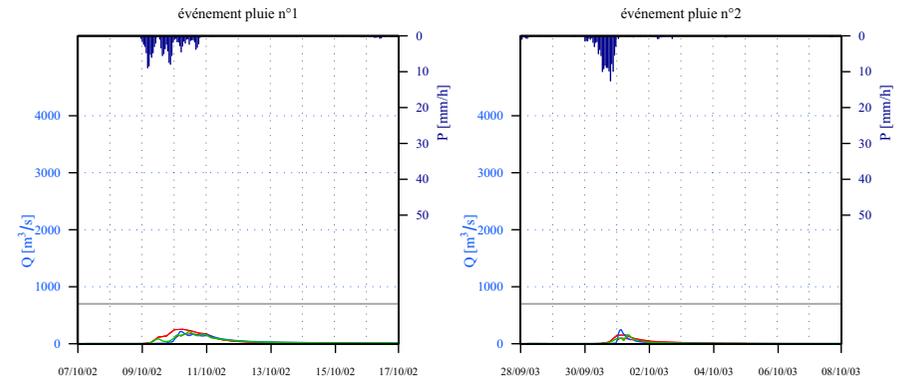
V7164015 Gardon à Ners (S=1100 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



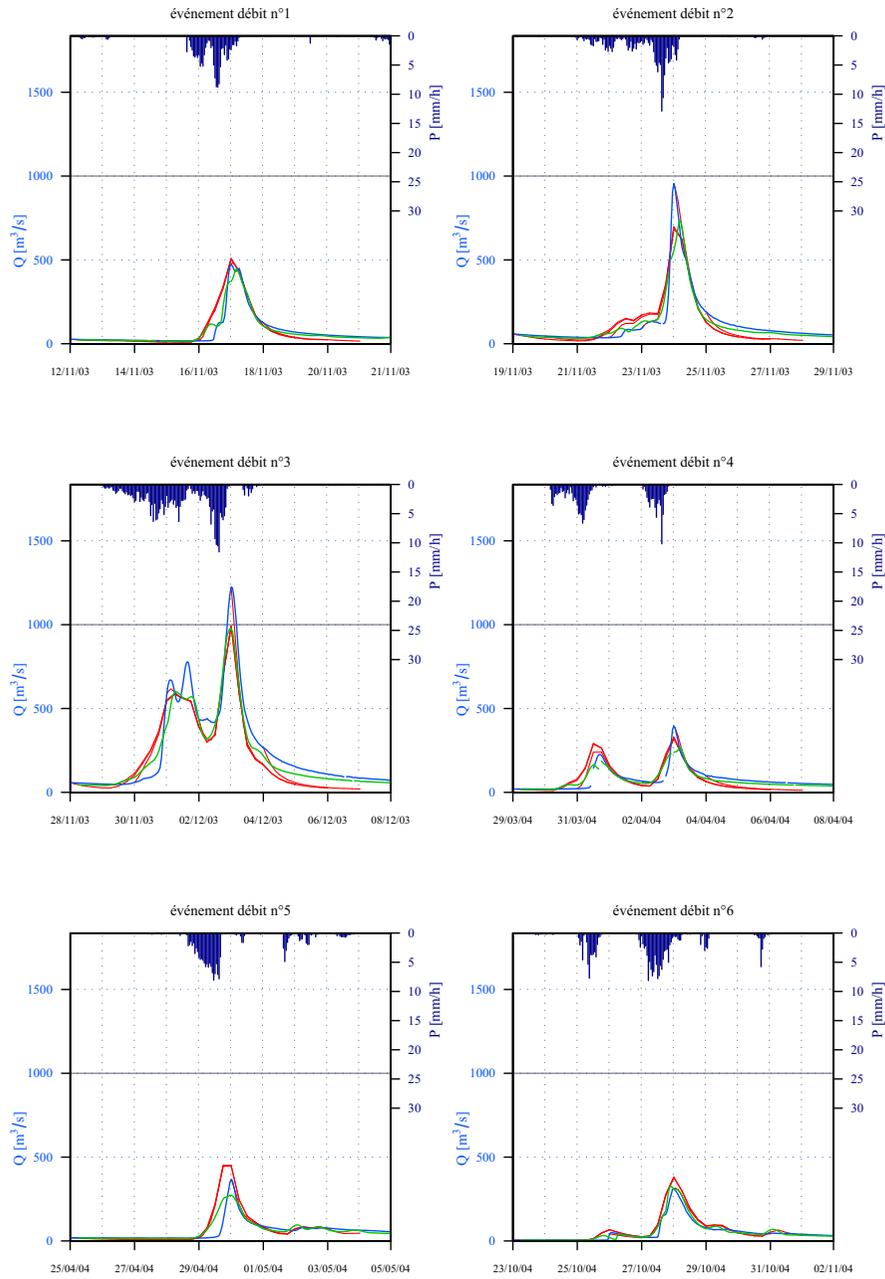
V7164015 Gardon à Ners (S=1100 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



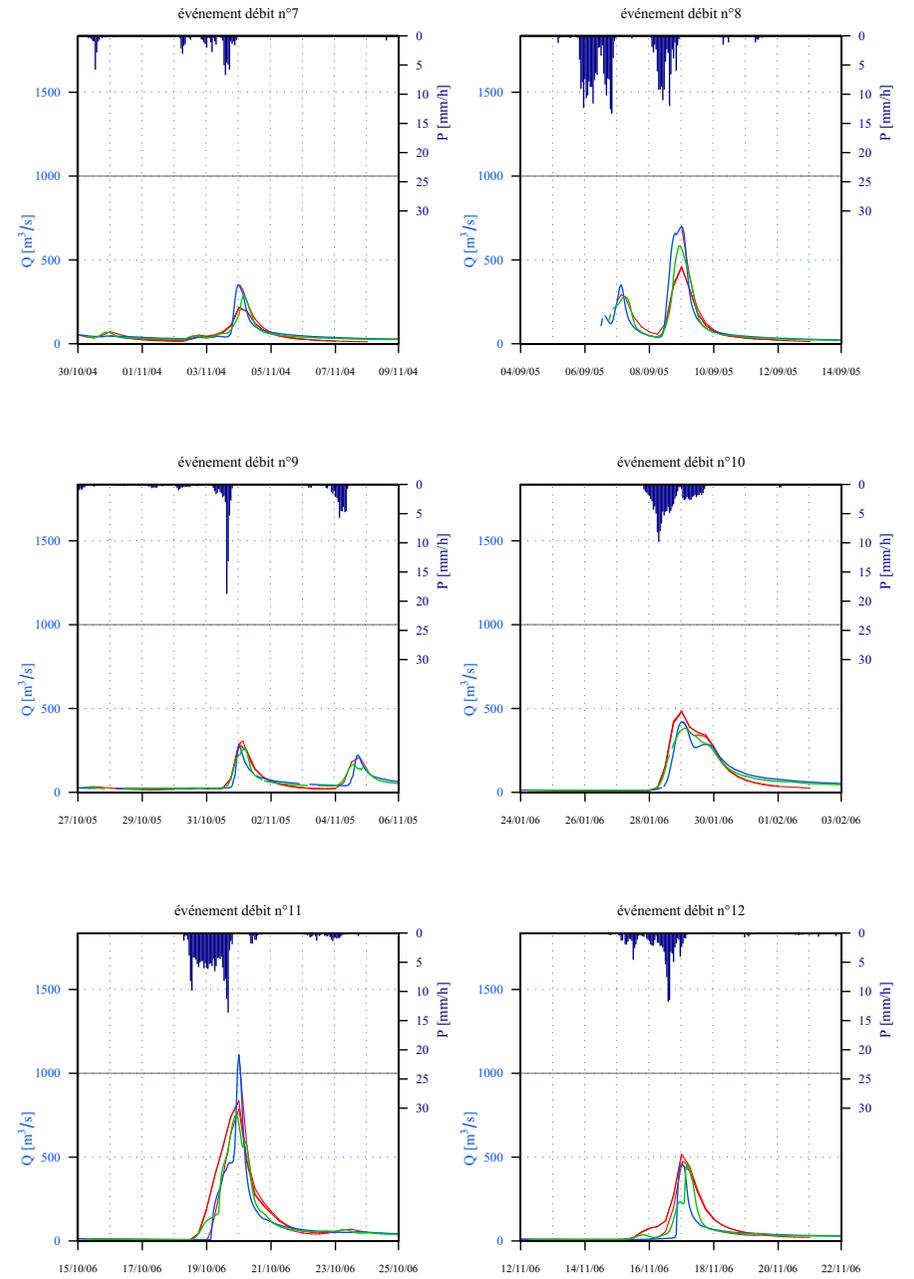
V7184015 Gardon à Russan (S=1521 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



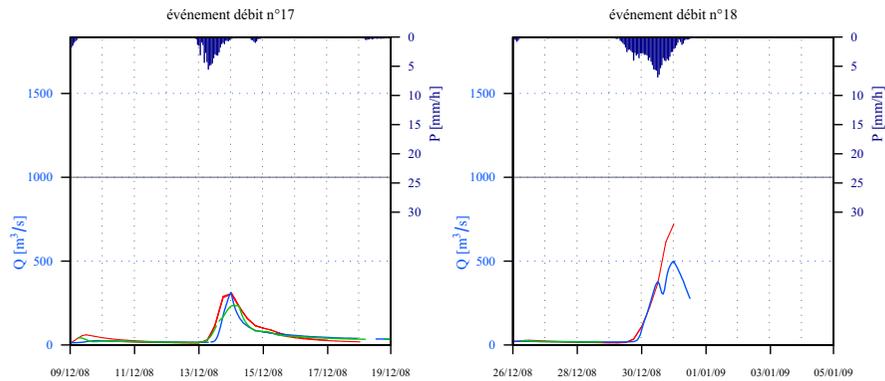
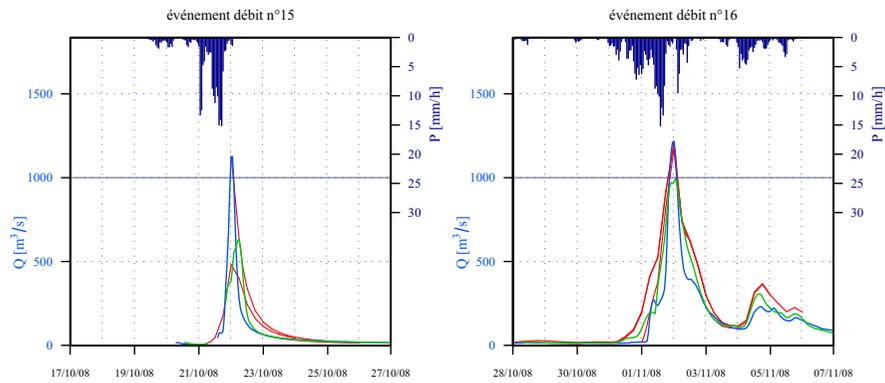
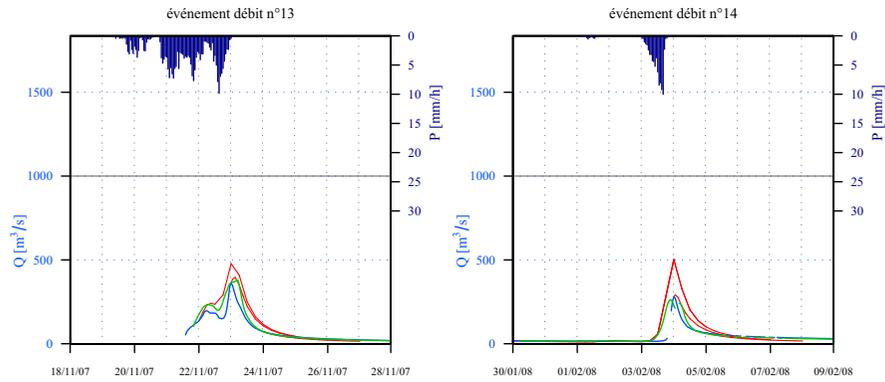
V7184015 Gardon à Russan (S=1521 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



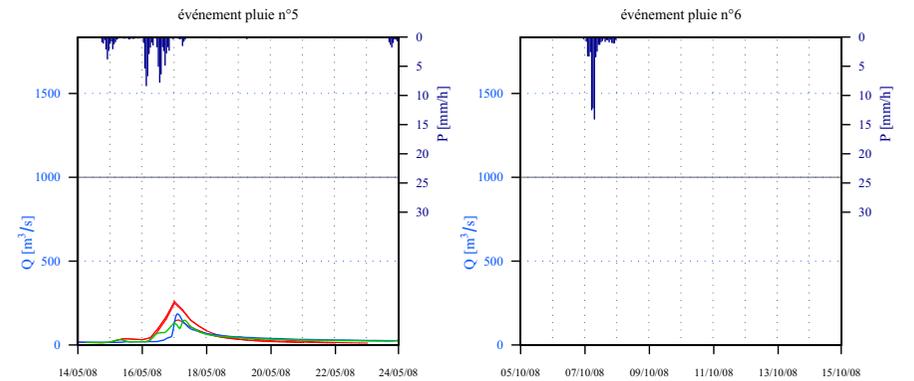
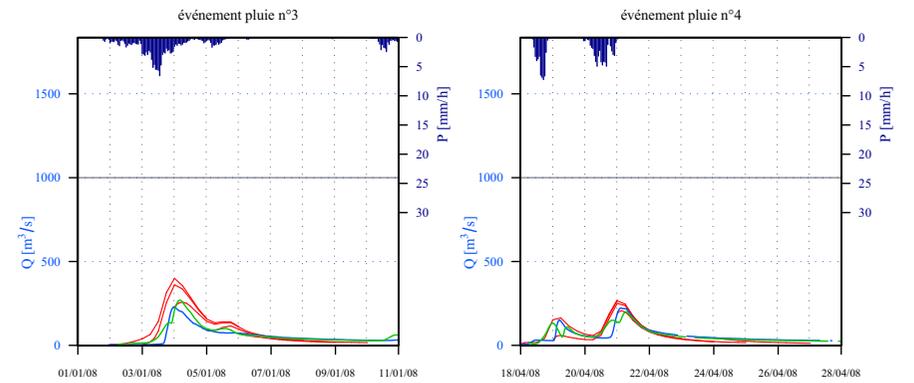
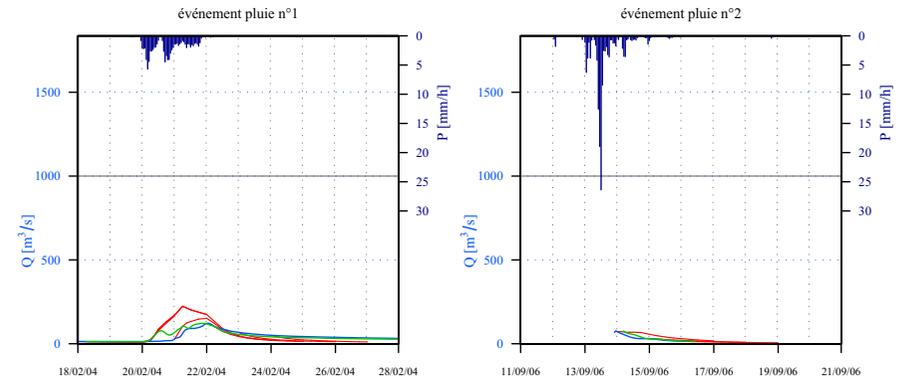
V7184015 Gardon à Russan (S=1521 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



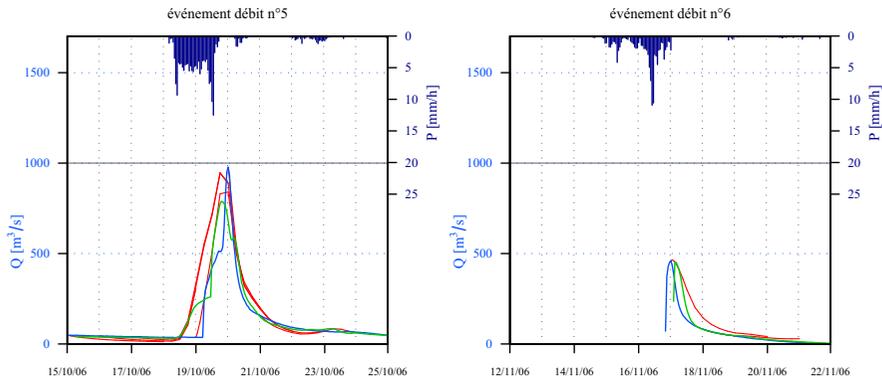
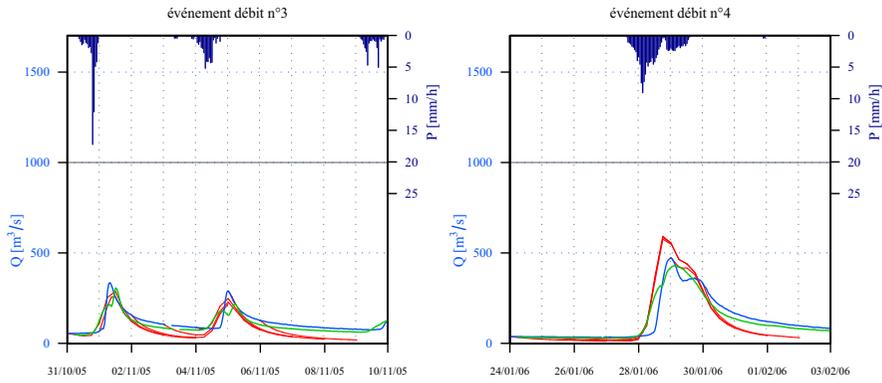
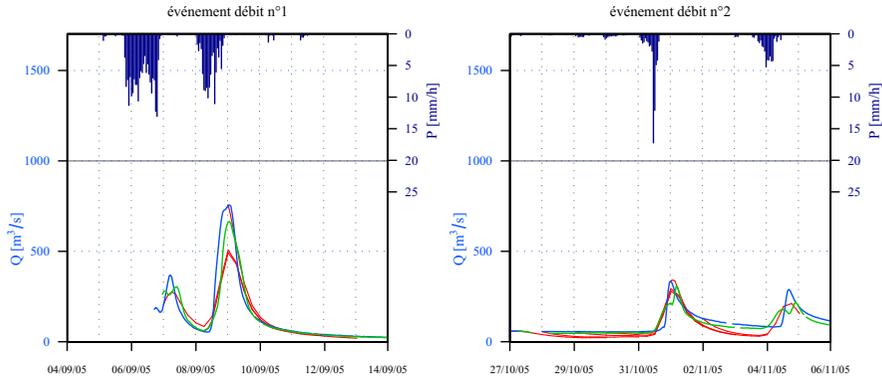
V7184015 Gardon à Russan (S=1521 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



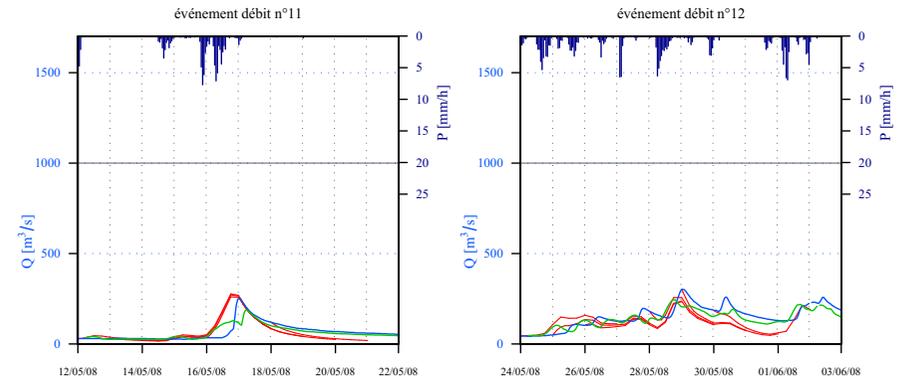
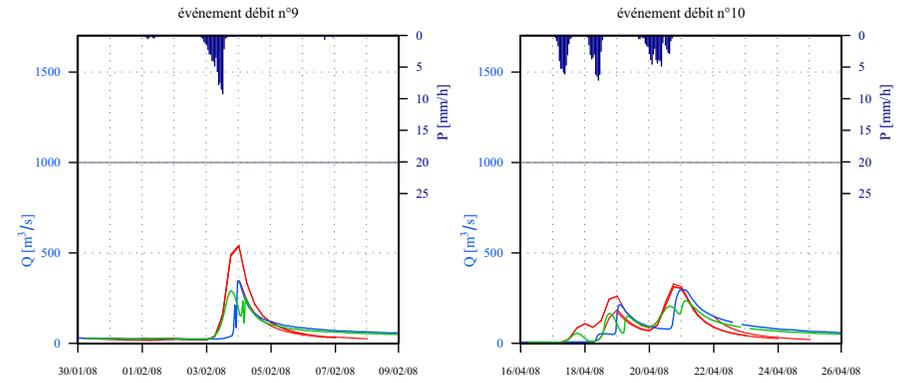
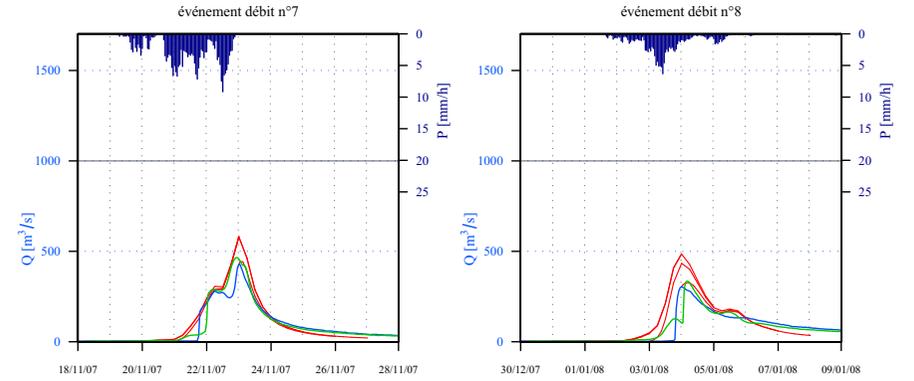
V7185005 Gardon à Rémoulins (S=1855 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



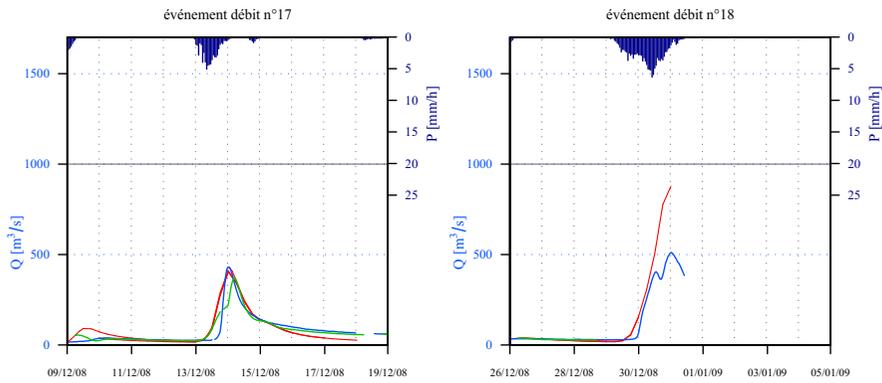
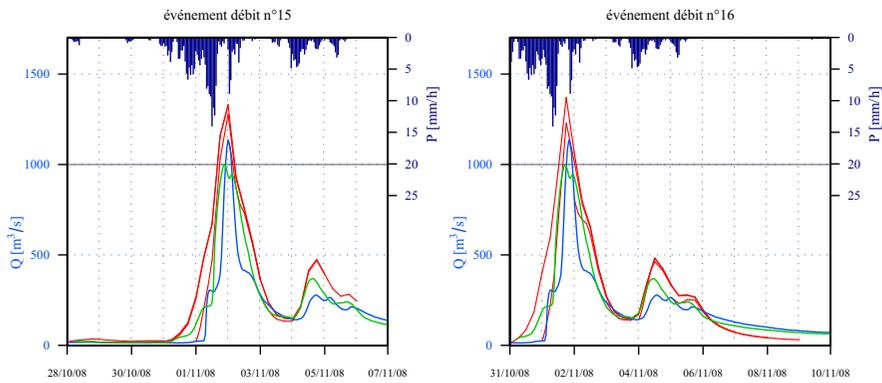
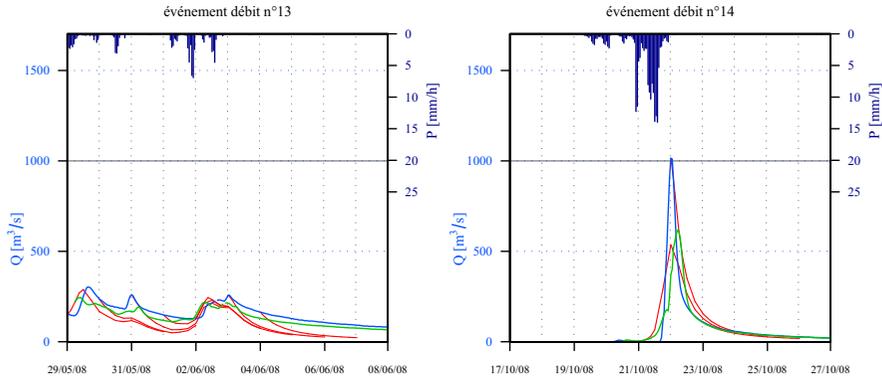
V7185005 Gardon à Rémoulins (S=1855 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



V7185005 Gardon à Rémoulins (S=1855 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).



V7185005 Gardon à Rémoulins (S=1855 km², Hc=6 h, GRP)

Débit observé (en bleu), prévisions jusqu'à 72 h (en rouge), série des prévisions à 6 h (en vert).

