



HAL
open science

Evaluation, calage et mise en oeuvre opérationnelle du modèle de prévision des crues GRP sur le bassin de la Dordogne: Mise en place du modèle de prévision des crues GRP sur le bassin de la Dordogne

Laurent Coron, Vazken Andréassian, Charles Perrin, Lionel Berthet, Julien Peschard

► To cite this version:

Laurent Coron, Vazken Andréassian, Charles Perrin, Lionel Berthet, Julien Peschard. Evaluation, calage et mise en oeuvre opérationnelle du modèle de prévision des crues GRP sur le bassin de la Dordogne: Mise en place du modèle de prévision des crues GRP sur le bassin de la Dordogne. irstea. 2010, pp.153. hal-02599593

HAL Id: hal-02599593

<https://hal.inrae.fr/hal-02599593v1>

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 LE
BASSIN DE LA DORDOGNE**

Rapport final

Janvier 2010

Cemagref, UR Hydrosystèmes et Bioprocédés,
Parc de Tourvoie, BP 44, 92163 Antony Cedex
Tel : 01 40 96 61 21 ; Fax : 01 40 96 61 99 ; www.cemagref.fr

Titre	MISE EN PLACE DU MODELE DE PREVISION DES CRUES GRP SUR LE BASSIN DE LA DORDOGNE
Auteurs	Laurent Coron, Vazken Andréassian, Charles Perrin, Lionel Berthet, Julien Peschard,
Date	Janvier 2010
Institution	Cemagref, UR HBAN (Antony)
Commanditaire	DDE24
Nb de pages du rapport	45 (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) Dordogne, 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 sous-bassins non influencés de la Dordogne et ses affluents (Dronne, Isle, Vézère, Corrèze, Céou). 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 à 72h.

Cette étude portait initialement sur 24 stations hydrométriques réparties sur le réseau hydrographiques, avec des bassins versants allant de 53 km² à 3745 km².

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 24 stations hydrométriques et les données de pluie sur 34 postes pluviométriques correspondant à ceux accessibles en temps réel. L'analyse des données hydrométriques a montré l'impossibilité de poursuivre l'étude sur 3 stations du fait de la présence de trop de lacunes, d'erreur dans les enregistrements ou d'influences locales (manœuvres d'ouvrages par exemple). L'analyse des données pluviométriques a quant à elle fait ressortir les cas des petits bassins avec très peu de postes disponibles, mais surtout 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.

- 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 vont de 3 à 24 heures pour les bassins étudiés. L'objectif de prévision de l'étude étant de 24-72 h, il est donc clair que pour atteindre cette échéance, des prévisions de pluie devront être intégrées à la chaîne de prévision pour tous les bassins.

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 convenables sur l'ensemble des bassins étudiés. Cela signifie qu'il apporte une information intéressante pour le prévisionniste, toujours de nettement meilleure qualité qu'un modèle simple de persistance. Cependant 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 Dordogne sur sa zone de compétence. La prise en compte des ouvrages et de la neige, non étudiée ici, reste par ailleurs une source potentielle d'amélioration significative des performances des modèles. Ces aspects nécessiteraient, avant leur mise en œuvre opérationnelle, des travaux de recherche complémentaires.

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	6
2.3.1. Sélection des postes pluviométriques	6
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	11
2.5. Sélection de postes pluviométriques pour chaque bassin versant	12
2.6. Sélection d'événements pour analyse	14
2.7. Périodes de test.....	15
2.8. Mise en forme des données pour les tests	16
2.9. Synthèse des résultats de la Phase 1	17
3. Résultats de la Phase 2 : Analyse hydrologique des bassins versants et présentation du modèle de prévision.....	19
3.1. Objectifs de la Phase 2	19
3.2. Méthodologie de caractérisation	20

3.3. Modèle de prévision sélectionné	21
3.4. Résultats	23
3.5. Synthèse des résultats de la Phase 2	25
4. Résultats de la Phase 3 : Calage et évaluation du modèle.....	27
4.1. Objectifs	27
4.2. Méthode d'évaluation du modèle.....	27
4.2.1. Procédure de calage / contrôle	28
4.2.2. Détermination des périodes	28
4.2.3. Algorithme de calage	29
4.2.4. Scénarios de pluie future considérés lors des tests	29
4.2.5. Horizons de calage et délais de prévision	30
4.2.6. Critères numériques d'évaluation	31
4.2.7. Critères graphiques d'évaluation	34
4.2.8. Représentation graphique des résultats	35
4.3. Présentation et analyse des résultats.....	36
4.3.1. Analyse à partir des fiches synthétiques de résultats	36
4.3.2. Hydrogrammes de prévision sur une sélection d'évènements.....	38
4.3.3. Synthèse des performances	38
4.4. Conclusion de la phase 3	40
5. Conclusion générale.....	43
Bibliographie.....	45
Annexe 1: Tableau récapitulatif des données disponibles par bassin	
Annexe 2 : Chroniques pluie-débit-ETP sur les 24 bassins initiaux	
Annexe 3: Fiches synthétiques de résultats obtenus sur les 21 stations étudiées	
Annexe 4 : Catalogue de prévisions réalisées sur les 21 stations étudiées	

Liste de figures

Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques, des contours des bassins associés et des postes pluviométriques.....	5
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	20
Figure 8 : Evolution des erreurs du modèle de prévision en fonction de l'échéance suivant deux scénarios de pluie future.....	21
Figure 9 : Schéma structurel du modèle GRP avec représentation de la procédure d'exploitation des débits observés	22
Figure 10 : Lien entre temps de réaction et superficie des bassins.....	24
Figure 11 : Temps de réaction aux pluies (en heures) sur les stations étudiées	25
Figure 12 : Illustration de la procédure de calage-contrôle adoptée (d'après Cemagref, 2005)	28
Figure 13 : Détermination des périodes de calage et tests dans un cas simple.....	29
Figure 14 : Représentation des différentes situations rencontrées avec la méthode de veille : (a) Alerte valable, (b) Fausse alerte, (c) Alerte manquée, (d) Non alerte valable	33
Figure 15 : Exemple de graphique comparant les variations de débit prévues et observées.....	34
Figure 16 : Exemple de fiche synthétique de résultats	35
Figure 17 : Exemple d'hydrogramme de prévision.....	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des bassins étudiés et des stations hydrométriques associées.....	4
Tableau 2 : Qualité des données hydrométriques disponibles (faible=rouge, moyenne=vert, bonne=bleu).....	10
Tableau 3 : Densité pluviométrique sur les bassins.....	14
Tableau 4 : Périodes d'études retenues pour les sous bassins étudiés	16
Tableau 5 : Temps de réaction des bassins aux pluies, estimés par modélisation.....	23
Tableau 6 : Horizons de calage retenus.....	31
Tableau 7 : Tableau de contingence de dépassement de seuil.....	33
Tableau 8 : Synthèse des résultats obtenus par le modèle GRP sur les 21 stations étudiées.....	39

1. Introduction

1.1. Objectifs de l'étude

La DDE de Dordogne (24), 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 des affluents de la Dordogne (Dronne, Isle, Vézère, Corrèze, Céou).

L'objectif de cette étude est de développer, pour des sous-bassins versants des affluents du bassin de la Dordogne, 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 Dordogne, 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 Dordogne 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 1986 au plus tôt à 2009) ;
- 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 succincte 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

Nous ne reviendrons donc pas ici sur les caractéristiques physiques du bassin. Nous pouvons simplement mentionner que le bassin présente un relief assez marqué, avec des altitudes relativement élevées à l'est et au nord-est, et des écoulements majoritairement orientés vers le sud-ouest. Le bassin est sous un climat à dominante océanique, avec des événements de crues générées par des pluies prolongées (plusieurs jours) ou des événements de forte intensité sur des courtes durées.

L'étude porte sur 24 stations hydrométriques réparties sur les différents affluents de la Dordogne. 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 53 km² à 3745 km² pour l'Isle à Abzac), avec une valeur médiane à 596 km².

Les sous-bassins étudiés sont situés sur 4 bassins principaux : le bassin de la Dronne (6 stations sur la Dronne ou la Côte), le bassin de l'Isle (7 stations sur l'Isle, l'Auvézère ou la Loue), le bassin de la Vézère excluant la Corrèze (5 stations sur la Vézère ou la Loyre), le bassin de la Corrèze (5 stations sur la Corrèze ou la Montane), le dernier sous bassin étant celui du Céou (1 station).

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

N	Nom Station	Code	Surface (km ²)
1	Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510	591
2	Auvézère à Lubersac	P6222510	112
3	Céou à Frayssinet [Pont de Rhodes]	P2404010	93
4	Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	173
5	Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520	946
6	Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510	170
7	Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510	53
8	Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510	371
9	Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510	1888
10	Dronne à Brantôme	P8102520	612
11	Dronne à Coutras	P8462510	2799
12	Dronne à Ribérac	P8162510	1095
13	Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	175
14	Isle à Abzac	P7261510	3745
15	Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510	454
16	Isle à Mussidan	P7121510	3177
17	Isle à Périgueux	P7041510	2160
18	Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020	203
19	Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010	257
20	Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010	108
21	Vézère à Larche	P4001010	2483
22	Vézère à Montignac	P4161010	3165
23	Vézère à Uzerche	P3131020	601
24	Vézère à Voutezac [Le Saillant]	P3201010	963

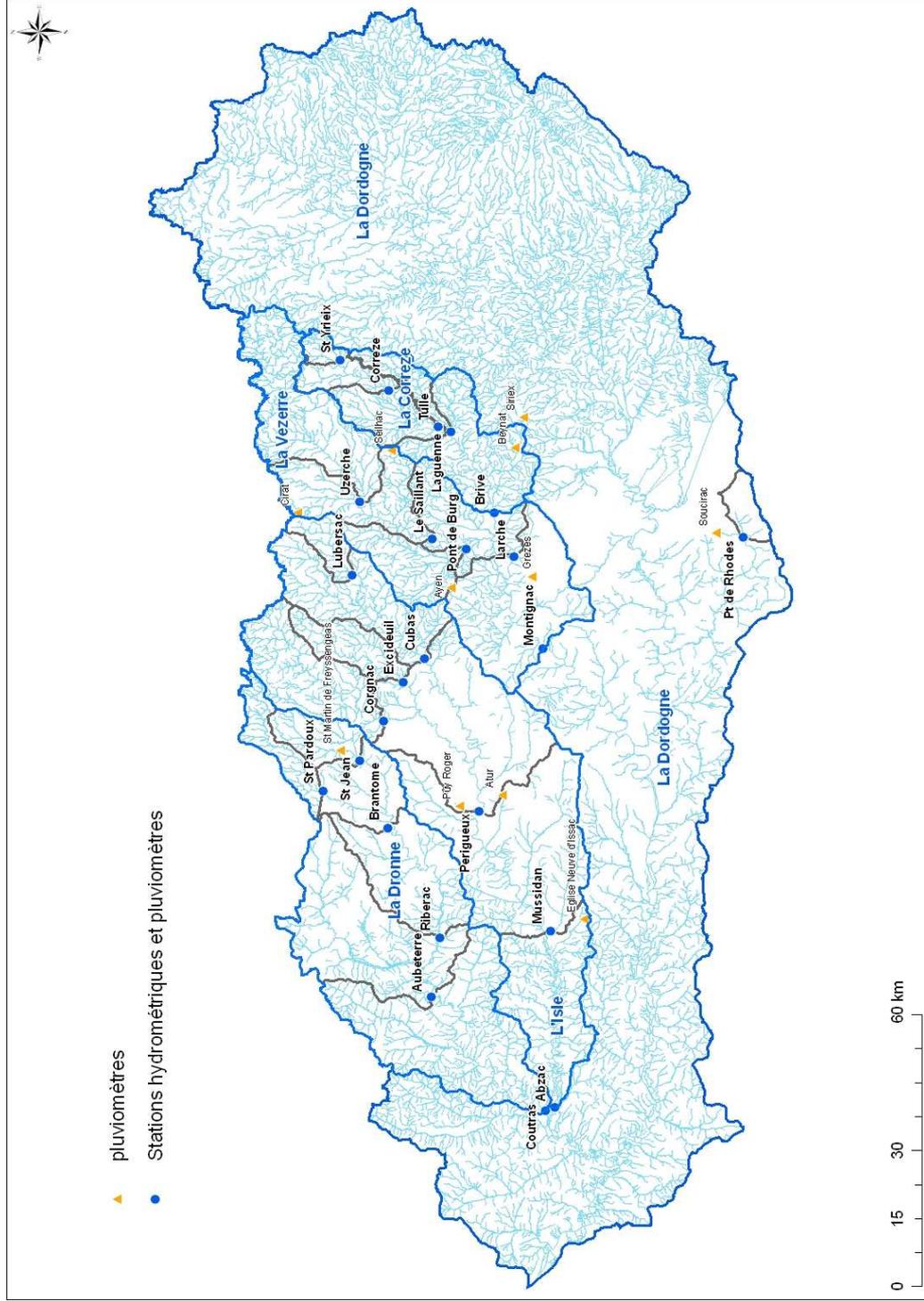


Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques, des contours des bassins associés et des postes pluviométriques

2.3. Collecte et mise en forme des données pluviométriques

2.3.1. Sélection des postes pluviométriques

La période d'analyse ciblée pour cette étude va de 1986 (au plus tôt) à 2009. 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 34 postes pluviométriques dont 23 sont situés au niveau d'une station hydrométrique (fond de vallée). La localisation des postes est illustrée à la Figure 1.

Les 34 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 au format CSV, suite à une extraction réalisée depuis le concentrateur de données du SPC Dordogne. La chronique de chaque poste pluviométrique était dans un fichier indépendant nommé selon la commune de localisation du poste.

2.3.3. Analyse des données pluviométriques

Les données pluviométriques reçues ont été critiquées visuellement afin d'écarter 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 deux sous-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 soit des pluies ponctuelles trop importantes pour être réalistes, soit des pluies horaires restant constantes sur plusieurs pas de temps de suite (ex : 13.3 mm/h pendant plusieurs jours).

Enfin, le SPC 24 avait également indiqué que pour certains pluviomètres durant certaines périodes, la pluie présente dans la base de données pouvait avoir été multipliée par 10. Aucune précision complémentaire n'étant disponible, toutes les chroniques horaires ont donc été parcourues pour détecter ces périodes et corriger la pluie en conséquence.

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 1986-2009 (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 34 postes considérés pour l'étude, seuls 19 couvrent globalement l'ensemble de la période 1986-2009. Les autres postes apparaissant progressivement en 1996, 2002 et 2007.

Il est à noter que le fait d'avoir des postes disponibles seulement depuis quelques années pose des problèmes quant à la stabilité de l'information pluviométrique, qui peut influencer les performances du modèle sur la période de test ainsi que la détermination des paramètres sur les bassins concernés. Cela génère en effet une différence entre les conditions dans lesquelles le modèle est calé et les conditions futures d'utilisation du modèle, ce qui peut affecter la qualité des prévisions en mode opérationnel. Pour éviter cette situation, nous aurions pu ne retenir que les pluviomètres étant majoritairement disponibles sur la période de calage. Toutefois, compte tenu du nombre limité de pluviomètres sur certains sous-bassins étudiés, nous avons choisi de favoriser la sécurisation de l'information pluviométrique en mode opérationnel et donc de conserver ces pluviomètres n'ayant que peu de données sur la période de calage mais qui seront disponibles et pérennes en utilisation.

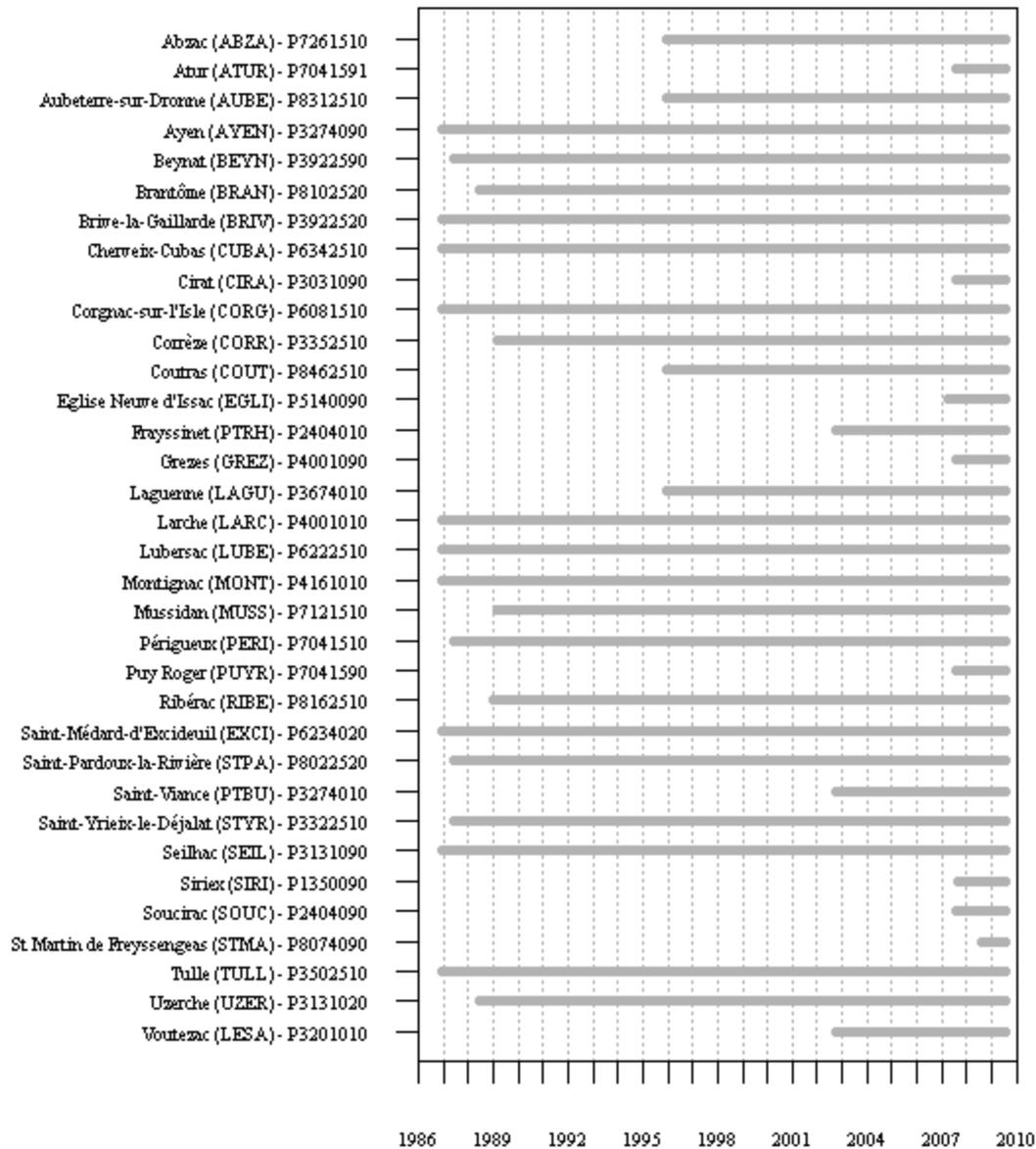


Figure 3 : Disponibilité des données pluviométriques

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 Dordogne au pas de temps horaire.

Toutefois il est à noter que ces données au pas de temps horaire correspondent aux valeurs instantanées aux heures fixes et non à des données intégrées sur l'heure passé. Cette solution est moins rigoureuse puisque ces données ne transcrivent pas exactement la quantité d'eau écoulée depuis la dernière mesure. Elle peut parfois conduire à de mauvais résultats sur les bassins à dynamique rapide.

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 0 et 1.

Lors de l'analyse des données hydrométriques, mise à part les données incohérentes qui viennent d'être mentionnées, nous avons été confrontés sur certaines stations de l'échantillon d'étude aux deux problèmes suivants :

- le rehaussement des hauteurs d'eau sur une période estivale variable, causé par des barrages mobiles (observés sur plusieurs stations de la Dronne)
- les oscillations des débits causées par les ouvrages hydrauliques, particulièrement en période d'étiage (observées sur les stations de la Vézère notamment)

Les barrages mobiles sont assez peu problématiques dans la mesure où leur influence est restreinte aux périodes estivales durant lesquelles les événements majeurs de crue ont peu de chances de se produire. Si ces périodes peuvent être identifiées, les données y seront déclarées manquantes afin ne pas perturber le calage. A l'inverse, l'influence des ouvrages hydrauliques est continue tout au long de l'année, bien qu'elle soit plus marquée en étiage qu'en période de crues. Cependant, si cette influence est importante, elle aura un effet néfaste tant sur le calage du modèle que lors de son utilisation. 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.

La phase d'analyse des données hydrométriques s'est conclue par la constitution du Tableau 2 ci-dessous, qui résume la qualité des données disponibles pour l'étude.

Sur les 24 bassins de l'échantillon initial,

- **12 bassins possèdent des chroniques de débits** d'une qualité permettant a priori un calage dans de bonnes conditions,
- **9 bassins possèdent des chroniques de débit de qualité moyenne**, causée soit par la présence de barrages mobiles entraînant la mise en lacune de longues périodes, soit par des oscillations en période d'étiage. Cependant, les conséquences de ces deux aspects 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,
- **3 bassins** (Céou à Frayssinet, de la Vézère à Uzerche et de la Vézère à Voutezac) **possèdent des chroniques jugées de qualité insuffisante pour réaliser la mise en œuvre du modèle** et pour lesquelles aucune méthode de correction n'a pu être appliquée. **En conséquence nous n'avons pas poursuivi l'étude sur ces bassins.** Ils présentent en effet des niveaux d'influences liées à des ouvrages jugées incompatibles avec la mise en œuvre opérationnelle du modèle GRP développé pour des conditions naturelles.

Tableau 2 : Qualité des données hydrométriques disponibles (faible=rouge, moyenne=vert, bonne=bleu)

Nom Station	Code		Commentaires
Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510		Oscillations des hauteurs-débits parfois observées à l'étiage.
Auvézère à Lubersac	P6222510		Oscillations des hauteurs-débits notamment à l'hiver 2008.
Céou à Frayssinet [Pont de Rhodes]	P2404010		Barrage mobile sur des périodes difficiles à déterminer.
Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010		-
Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520		Oscillations des hauteurs-débits à l'étiage. Zones de lacunes importantes.
Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510		-
Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510		Zones de lacunes importantes.
Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510		Oscillations des hauteurs-débits à l'étiage. Peu d'années disponibles.
Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510		Barrage mobile estival causant la mise en lacunes de nombreuses données. Oscillations des hauteurs-débits à l'étiage. Donnée journalière à 00h souvent absente.
Dronne à Brantôme	P8102520		Barrage mobile estival causant la mise en lacunes de nombreuses données.
Dronne à Coutras	P8462510		Donnée journalière à 00h souvent absente.
Dronne à Ribérac	P8162510		Oscillations des hauteurs-débits à l'étiage.
Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520		Barrage mobile estival causant la mise en lacunes de nombreuses données.
Isle à Abzac	P7261510		Oscillations des hauteurs-débits à l'étiage.
Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510		Zones de lacunes parfois importantes.
Isle à Mussidan	P7121510		Oscillations importantes des hauteurs-débits.
Isle à Périgueux	P7041510		-
Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020		-
Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010		-
Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010		-
Vézère à Larche	P4001010		Zones de lacunes importantes.
Vézère à Montignac	P4161010		Oscillations des hauteurs-débits à l'étiage. Zones de lacunes importantes.
Vézère à Uzerche	P3131020		Oscillations des hauteurs-débits très importantes causées par un ouvrage
Vézère à Voutezac [Le Saillant]	P3201010		Oscillations très importantes causées par un ouvrage

2.4.3. Mise en forme des données hydrométriques retenues

A l'issue de cette étape importante, une base de données des hauteurs et 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 1986-2009 (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 -9.9000.

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 la disponibilité des données hydrométriques retenues sur la période d'étude. Sur les 21 stations retenues pour l'étude, 6 possèdent une chronique d'observations depuis 1987, 4 depuis 1990, 1 depuis 1994, 8 depuis 1996, 1 depuis 1997 et enfin 1 depuis 2003. Ainsi pour toutes les stations sauf une, plus de 12 ans de données sont disponibles pour le calage et l'évaluation des modèles (jusqu'à 20 ans pour certaines) ce qui très satisfaisant puisque ces nombreuses années seront a priori bien représentatives de la variabilité des phénomènes climatiques sur le bassin. Le cas de la Corrèze à Tulle est plus problématique car

le calage ne pourra être fait que sur 6 années et l'évaluation des performances sur des périodes de 3 années. De telles situations sont gênantes 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. Dans notre cas, il apparaît que le bassin de la Corrèze à Tulle ne se trouve dans aucune de ces deux situations, mais l'utilisateur du modèle devra toujours garder à l'esprit ces éléments lorsqu'il calera le modèle sur de courtes périodes (<10 ans)

La quantité de lacune présente varie grandement d'une station à l'autre.

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

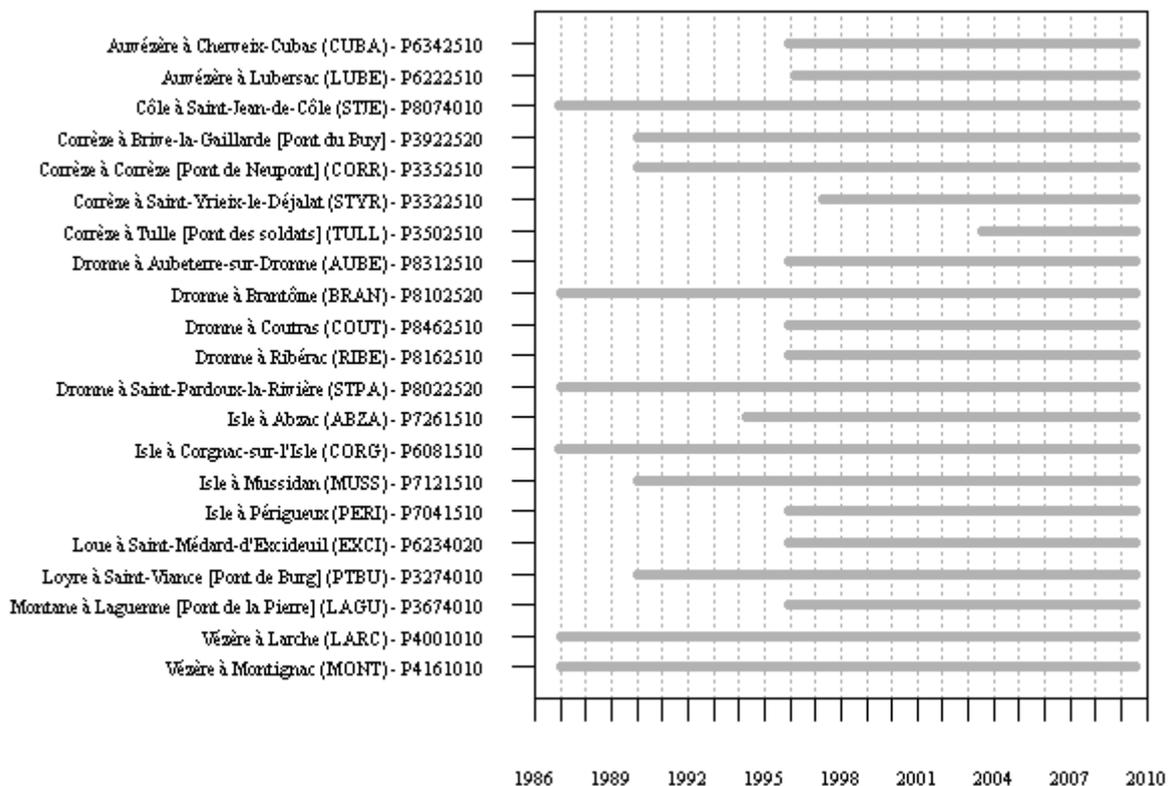


Figure 5 : Disponibilité des données hydrométriques

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.

Une sélection de postes a donc été réalisée pour chacun des 21 bassins étudiés. Elle est détaillée en Annexe 2 pour chaque bassin. Le Tableau 3 récapitule les densités en postes pluviométriques obtenues pour chaque bassin.

Pour chaque bassin, nous avons bien entendu pris en compte l'ensemble des postes implantés sur le bassin. Pour certains bassins présentant peu de postes dans leurs limites, nous avons en plus ajouté des postes situés en bordure du bassin. Ce choix est toujours un peu subjectif, mais permet, notamment pour les petits bassins, d'avoir une meilleure estimation de la pluie de bassin, et de sécuriser l'information pluviométrique en temps réel. C'est par exemple le cas des sous-bassins amont de l'Isle.

On constate que cinq bassins comportent seulement deux postes. Bien que les pannes simultanées sur deux postes distants soient a priori peu communes, elles peuvent cependant survenir, générant des situations où le modèle n'est pas alimenté. En consultant les données (cf. Annexe 2), on constate que ces cas de pannes simultanées sont beaucoup plus courants qu'on pourrait le penser, probablement causés par des problèmes de rapatriement plus que par des défaillances des postes eux-mêmes.

La situation apparaît plus favorable en ce qui concerne la couverture géographique des postes sur les bassins. Elle est en effet globalement bonne, la superficie moyenne relative à chaque poste étant au maximum de 466 km² (Dronne à Coutras) et est inférieure à 200 km² pour la majorité des bassins. Ainsi, la situation apparaît relativement satisfaisante.

A partir de cette configuration, une pluie moyenne de bassin est calculée à chaque pas de temps (heure) : cette pluie correspond à la moyenne arithmétique des observations disponibles sur les différents postes. Cependant, l'analyse des données a montré que les pas de temps sur

lesquels aucune observation n'est disponible sont parfois nombreux. Cette situation est problématique puisque le modèle doit impérativement être alimenté par des données de pluviométrie à chaque pas de temps. Remplacer de manière automatique ces lacunes (parfois nombreuses) par des valeurs nulles pourrait conduire à une large sous-estimation de la pluie du bassin et biaiser le processus de calage du modèle.

En conséquence, nous avons choisi d'introduire pour chaque bassin un pluviomètre virtuel correspondant à la pluie de bassin déduite des données du modèle SAFRAN de Météo France. Cette pluie SAFRAN de bassin est une interpolation journalière réalisée à partir des observations disponibles sur la zone géographique alentour. Elle a donc tendance à lisser les événements pluviométriques dans le temps et l'espace. Le modèle fonctionnant au pas de temps horaire, une répartition uniforme de cette pluie journalière (i.e. 1/24) a été retenue. Il est à noter que ce poste virtuel n'apparaît pas dans le décompte des postes disponibles présentés dans le Tableau 3 et l'Annexe 2.

Dans le calcul de la pluie de bassin pour notre modèle nous avons alors affecté une pondération de 1 aux données réelles disponibles pour des postes du SPC et une pondération de 0.1 pour le poste virtuel de pluie de bassin SAFRAN. Ainsi, lorsqu'un ou plusieurs postes pluviométriques sont disponibles, la pluie de SAFRAN a un poids négligeable dans le calcul de la pluie de bassin et à l'averse, lorsqu'aucun pluviomètre ne fonctionne, la pluie SAFRAN sert de pluie de bassin. Nous n'avons pas cherché à introduire de pondération particulière des postes pour le calcul de la pluie de bassin, une telle pondération ayant souvent un impact limité sur les performances des modèles. Cependant, elle pourrait être modifiée par l'utilisateur si cela est jugé nécessaire, moyennant le recalage du modèle avec cette nouvelle pondération.

Par cette méthode, nous arrivons à une situation où une information pluviométrique est disponible pour quasiment tous les pas de temps. Dans les quelques pas de temps restant où tous les postes et la pluie SAFRAN étaient lacunaires, nous n'avons pas eu d'autres choix que de remplacer ces lacunes ponctuelles de pluie de bassin par des zéros.

Tableau 3 : Densité pluviométrique sur les bassins

N	Nom Station	Code	Surface (km ²)	Nb postes disponibles	Indice densité (km ² /poste)
1	Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510	591	4	148
2	Auvézère à Lubersac	P6222510	112	3	37
3	Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	173	2	86
4	Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520	946	7	135
5	Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510	170	2	85
6	Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510	53	2	26
7	Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510	371	4	93
8	Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510	1888	5	378
9	Dronne à Brantôme	P8102520	612	3	204
10	Dronne à Coutras	P8462510	2799	6	466
11	Dronne à Ribérac	P8162510	1095	4	274
12	Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	175	2	88
13	Isle à Abzac	P7261510	3745	10	374
14	Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510	454	4	114
15	Isle à Mussidan	P7121510	3177	8	397
16	Isle à Périgueux	P7041510	2160	6	360
17	Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020	203	4	51
18	Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010	257	4	64
19	Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010	108	3	36
20	Vézère à Larche	P4001010	2483	12	207
21	Vézère à Montignac	P4161010	3165	15	211

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 20 jours,
2. un nouvel événement quel qu'il soit, ne peut débuter 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 4^{ème} ou 5^{ème} jour),

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

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	Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510	27/12/1995	14/07/2009
2	Auvézère à Lubersac	P6222510	01/03/1996	14/07/2009
3	Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	15/12/1986	14/07/2009
4	Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520	01/01/1990	14/07/2009
5	Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510	01/01/1990	14/07/2009
6	Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510	01/05/1997	14/07/2009
7	Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510	01/08/2003	14/07/2009
8	Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510	27/12/1995	14/07/2009
9	Dronne à Brantôme	P8102520	01/01/1987	14/07/2009
10	Dronne à Coutras	P8462510	27/12/1995	14/07/2009
11	Dronne à Ribérac	P8162510	27/12/1995	14/07/2009
12	Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	01/01/1987	14/07/2009
13	Isle à Abzac	P7261510	01/05/1994	14/07/2009
14	Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510	15/12/1986	14/07/2009
15	Isle à Mussidan	P7121510	01/01/1990	14/07/2009
16	Isle à Périgueux	P7041510	27/12/1995	14/07/2009
17	Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020	27/12/1995	14/07/2009
18	Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010	01/01/1990	14/07/2009
19	Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010	27/12/1995	14/07/2009
20	Vézère à Larche	P4001010	01/01/1987	14/07/2009
21	Vézère à Montignac	P4161010	01/01/1987	14/07/2009

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.

P3352510 - Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]								
Superficie bassin (km ²): 170.4								
Pondérations 1.0 1.0 1.0								
AAAAMMJJ	HH	Q(m3/s)	ETP(mm/h)	Nb poste	Pm(mm/h)	P3352510	P3322510	
19970828	14	3.050	0.324	2	3.865	4.200	-9.999	
19970828	15	3.395	0.286	2	3.320	3.600	-9.999	
19970828	16	3.395	0.233	2	0.956	1.000	-9.999	
19970828	17	3.395	0.182	2	0.956	1.000	-9.999	
19970828	18	3.395	0.104	2	1.320	1.400	-9.999	
19970828	19	3.395	0.000	3	0.691	1.400	0.000	
19970828	20	3.545	0.000	3	4.120	8.600	0.000	
19970828	21	3.545	0.000	3	4.120	8.600	0.000	
19970828	22	3.545	0.000	3	0.120	0.200	0.000	
19970828	23	3.545	0.000	3	0.025	0.000	0.000	
19970829	00	3.545	0.000	3	0.295	0.600	0.000	
19970829	01	3.545	0.000	3	0.295	0.600	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 12 à 23 ans pour la totalité des bassins à l'exception du bassin de la Corrèze à Tulle où seulement 6 années de données considérées valides ont été retenues. Pour ce bassin, la courte période disponible pourrait être handicapante lors de l'évaluation des performances du modèle et pour le calage final si elle n'est pas représentative des conditions générales du bassin (bien que l'observation de la chronique ne le laisse pas présager à ce stade). Pour tous les autres bassins, la situation est jugée satisfaisante, 12 années de données ou plus étant disponibles et reflétant donc à priori bien les variabilités climatiques et hydrologiques rencontrés sur ces bassins ;
- 3 bassins versants ont du être retirés du lot initial en raison de la très faible qualité des chroniques disponibles. Ces bassins sont ceux du Céou à Frayssinet, de la Vézère à Uzerche et de la Vézère à Voutezac.
- des données sur 34 postes pluviométriques réparties sur les 21 sous-bassins étudiés ont été fournies par le SPC. Ils couvrent globalement les périodes d'études retenues mais laissent toutefois lacunaires de nombreux pas de temps de pluie de bassin. En conséquence, des postes virtuels de pluie de bassin SAFRAN ont été introduits pour combler ces lacunes. Ils sont faiblement pondérés si bien que leur poids est négligeable sur le calcul de la pluie de bassin lorsque les données d'au moins un poste réel sont disponibles;
- la répartition géographique des postes est assez homogène avec un indice de densité acceptable ($180 \text{ km}^2/\text{poste}$ en moyenne). Quelques bassins ne disposent toutefois que de deux ou trois postes pour estimer la pluie, ce qui peut générer une configuration fragile pour la sécurisation de l'information pluviométrique si des pannes simultanées telles qu'elles ont été observées par le passé se produisent en utilisation opérationnelle ;
- 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.

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 généralement souhaité par les services de prévision des crues sont de l'ordre de 24 h à 72 h. Or il est clair que la plupart des bassins versants ciblés ont des temps de réponse aux pluies inférieurs à 72 h et même à 24 h. A titre d'exemple, les temps de réaction aux pluies des plus grands bassins (Isle à Abzac, Dronne à Coutras) sont de l'ordre de 24 h. Pour atteindre le délai de prévision de 72 h, 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.

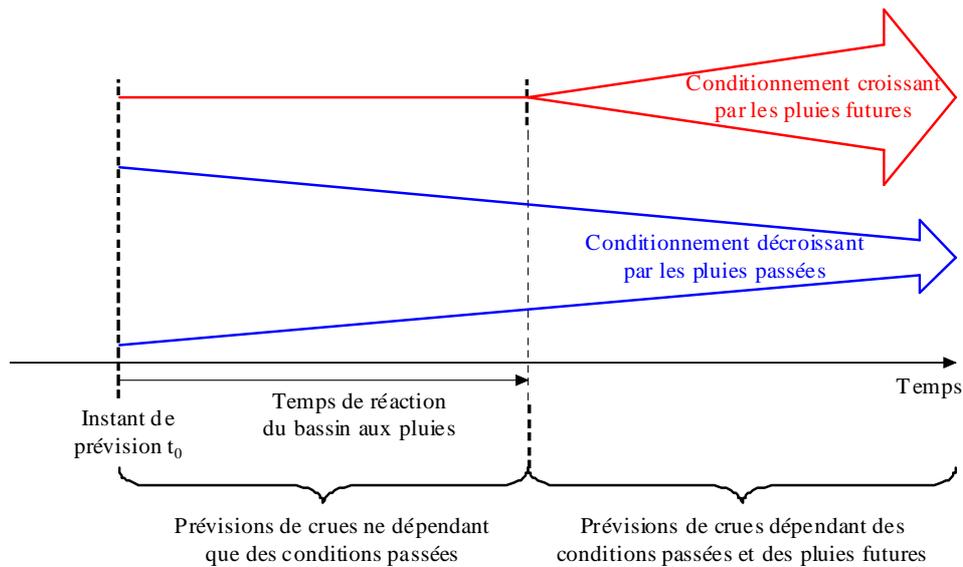


Figure 7 : Illustration de l'influence des conditions pluviométriques passées et futures sur la prévision de crue

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 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.

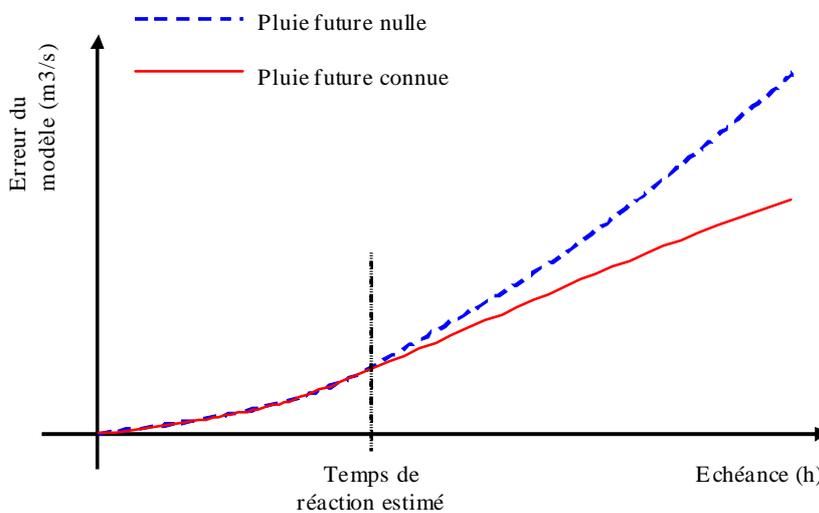


Figure 8 : Evolution des erreurs du modèle de prévision en fonction de l'échéance suivant deux scénarios de pluie future

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.

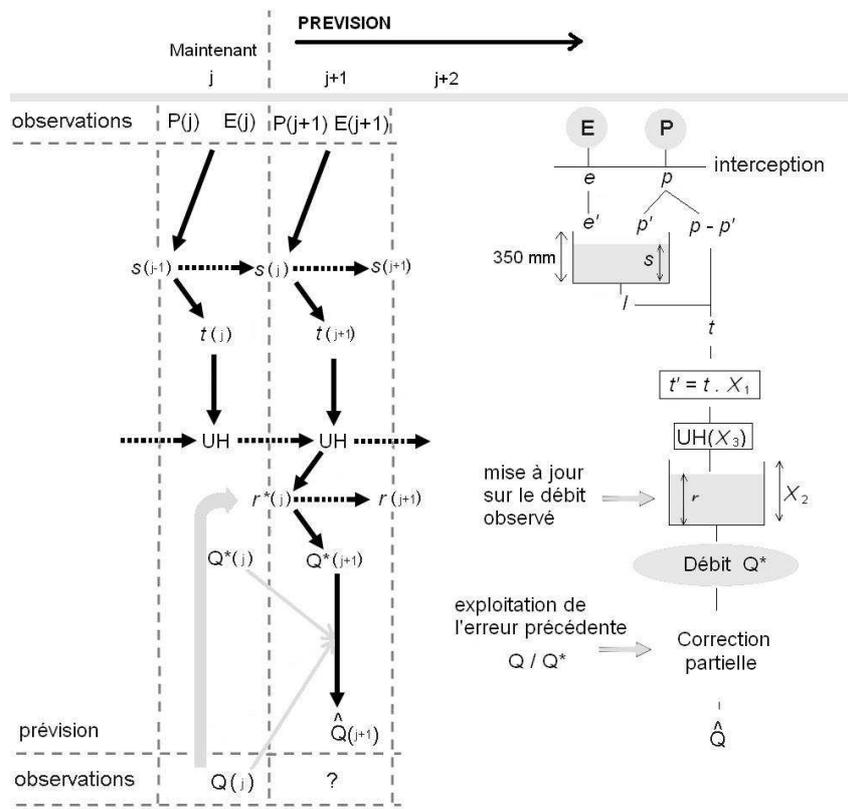


Figure 9 : Schéma structurel du modèle GRP avec représentation de la procédure d'exploitation des débits observés

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 à l'ensemble des 24 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.

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	Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510	591	6
2	Auvézère à Lubersac	P6222510	112	3
3	Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	173	3
4	Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520	946	6
5	Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510	170	6
6	Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510	53	3
7	Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510	371	6
8	Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510	1888	24
9	Dronne à Brantôme	P8102520	612	9
10	Dronne à Coutras	P8462510	2799	24
11	Dronne à Ribérac	P8162510	1095	18
12	Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	175	3
13	Isle à Abzac	P7261510	3745	24
14	Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510	454	3
15	Isle à Mussidan	P7121510	3177	18
16	Isle à Périgueux	P7041510	2160	12
17	Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020	203	3
18	Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010	257	3
19	Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010	108	6
20	Vézère à Larche	P4001010	2483	6
21	Vézère à Montignac	P4161010	3165	9

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 compris entre 3 et 24 h. Une majorité de bassins réagit rapidement puisque pour 13 bassins le temps de réaction est estimé inférieur ou égal à 6 h et seulement 6 bassins réagissent en plus de 12 h. Ces résultats indiquent également que :

- le pas de temps horaire choisi ici convient à la modélisation des plus petits bassins et au plus grands également ;
- le temps de réaction le plus grand étant de 24 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 tous les cas, la qualité de la prévision à cette échéance dépendra donc partiellement de la prévision de pluie, et ce d'autant plus que le temps de réaction du bassin est court, comme c'est le cas pour de nombreux bassins.

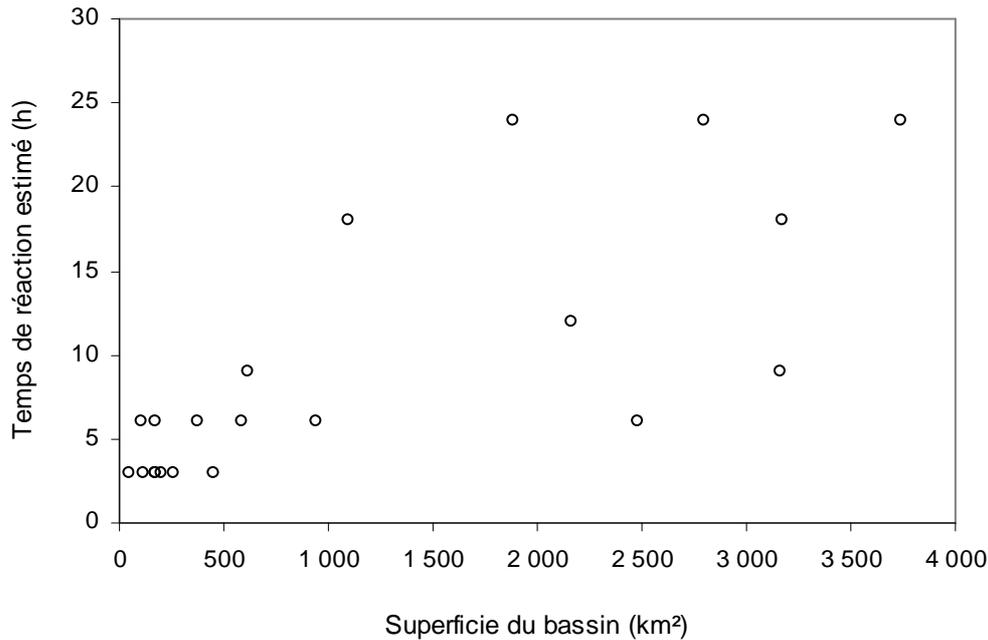


Figure 10 : Lien entre temps de réaction et superficie des bassins

La Figure 10 illustre le lien existant entre temps de réaction et superficie. Logiquement, on constate une tendance à l'augmentation avec la superficie, mais le lien entre temps de réaction et superficie est relativement faible.

Lorsqu'on regarde l'évolution des temps de réaction lorsque l'on va d'amont en aval d'un cours d'eau, le temps de réaction a tendance à augmenter. Cependant, cette relation n'est pas systématique. En effet, il peut arriver qu'un affluent à écoulement rapide vienne modifier le temps de réaction d'une rivière, qui sera plus faible en aval qu'en amont de la confluence. Aucun cas de ce type n'est observé dans l'échantillon de bassins étudiés, toutefois ce phénomène pourrait expliquer au moins en partie les cas où le temps de réaction n'évolue que faiblement d'amont vers l'aval. Ces résultats confirment, s'il en était besoin, le rôle des apports intermédiaires dans la dynamique des crues.

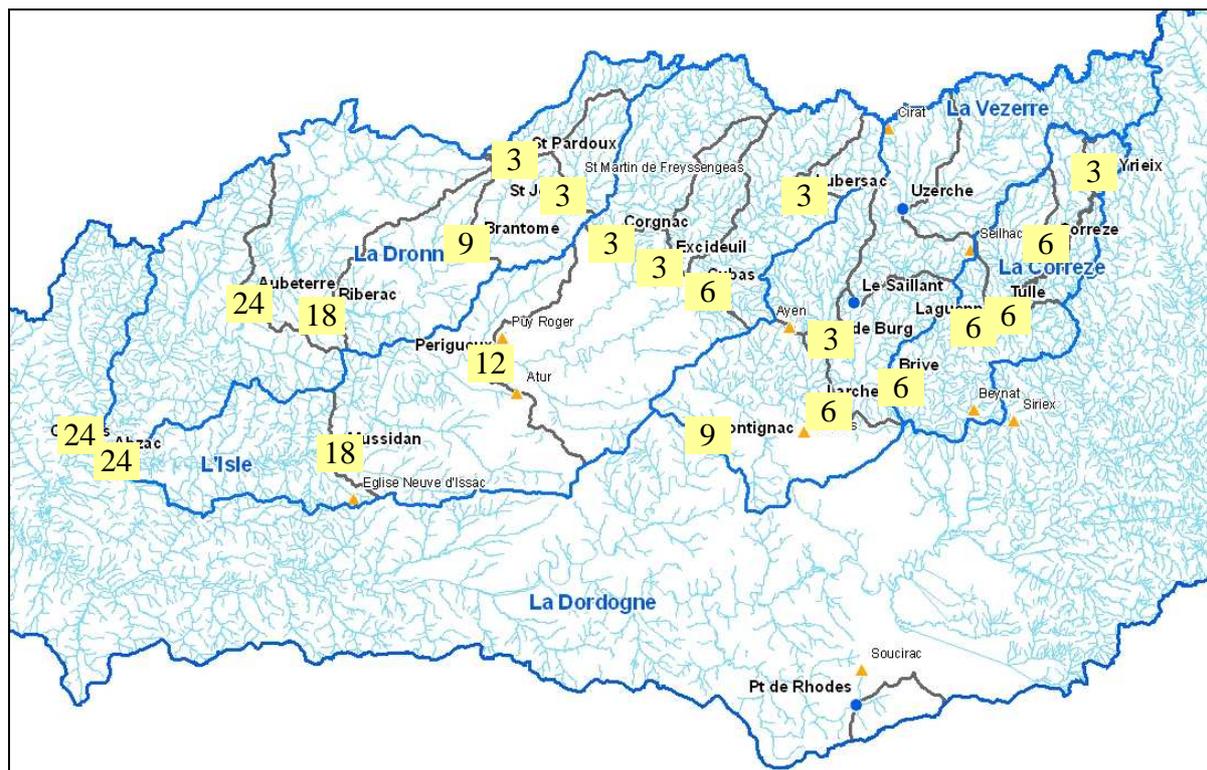


Figure 11 : Temps de réaction aux pluies (en heures) sur les stations étudiées

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 compris entre 3 et 24 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 cette prévision. L'obtention de prévisions au-delà de 24 h sera donc dans tous les cas conditionnée par les prévisions de pluie, et ce d'autant plus que le temps de réaction estimé est court.

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 12 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.

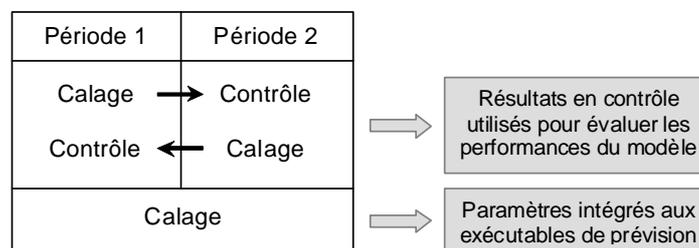


Figure 12 : Illustration de la procédure de calage-contrôle adoptée (d'après Cemagref, 2005)

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 13).

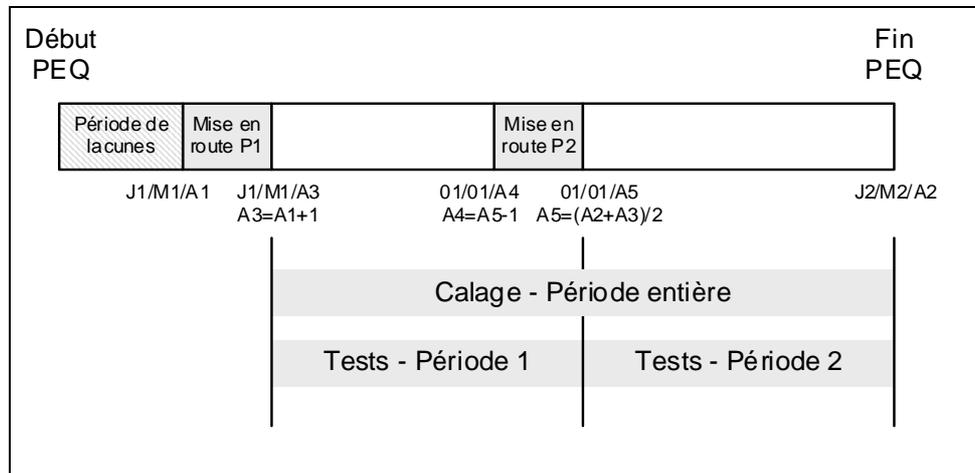


Figure 13 : Détermination des périodes de calage et tests dans un cas simple

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 24 à 72 h 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 24 h à 72 h si possible. 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. On privilégiera l'horizon de calage le plus étendu parmi les deux horizons cités précédemment.

En conséquence, les horizons de calage présentés dans le Tableau 6 ont été retenus, la règle suivante ayant été utilisée :

- Horizon calage = 12 h si Temps réaction bassin \leq 12
- Horizon calage = Tr si Temps réaction bassin $>$ 12

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.

Tableau 6 : Horizons de calage retenus

N	Nom Station	Code	Horizon de calage (h)
1	Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510	12
2	Auvézère à Lubersac	P6222510	12
3	Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	12
4	Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520	12
5	Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510	12
6	Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510	12
7	Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510	12
8	Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510	24
9	Dronne à Brantôme	P8102520	12
10	Dronne à Coutras	P8462510	24
11	Dronne à Ribérac	P8162510	18
12	Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	12
13	Isle à Abzac	P7261510	24
14	Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510	12
15	Isle à Mussidan	P7121510	18
16	Isle à Périgueux	P7041510	12
17	Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020	12
18	Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010	12
19	Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010	12
20	Vézère à Larche	P4001010	12
21	Vézère à Montignac	P4161010	12

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 14. En classant les prévisions réalisées dans chacune des quatre configurations, on obtient ainsi le tableau de contingence présenté au Tableau 7.

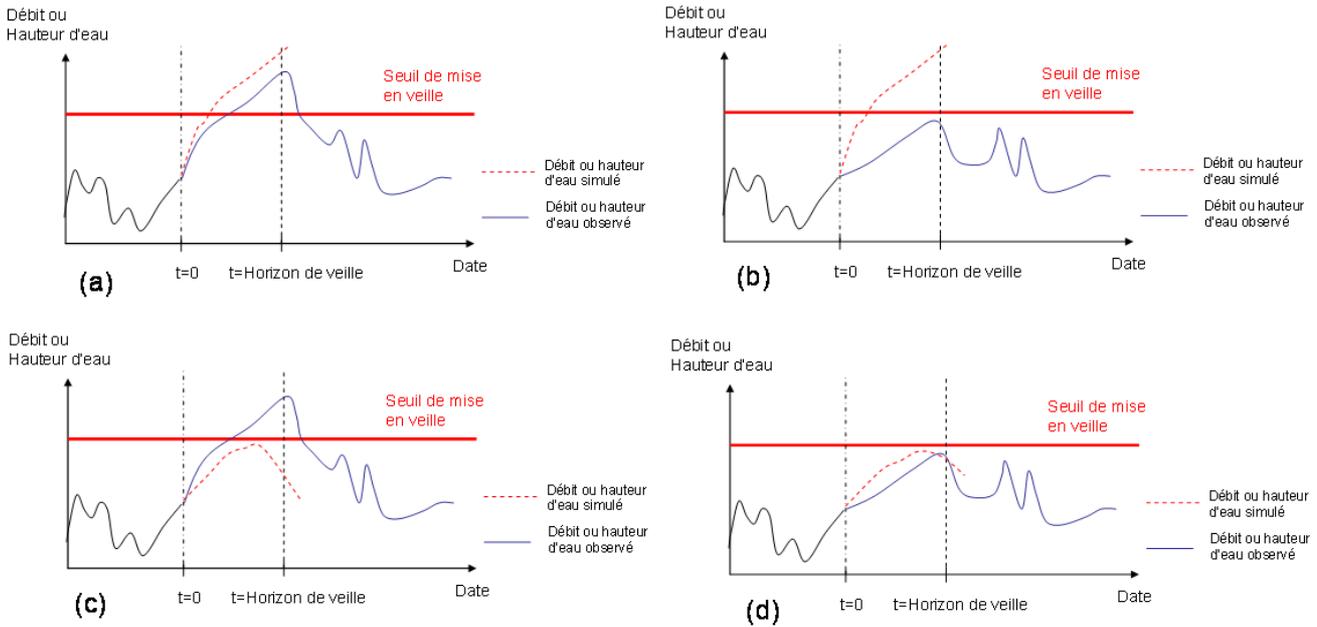


Figure 14 : Représentation des différentes situations rencontrées avec la méthode de veille : (a) Alerte valable, (b) Fausse alerte, (c) Alerte manquée, (d) Non alerte valable

Tableau 7 : 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 15). 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.

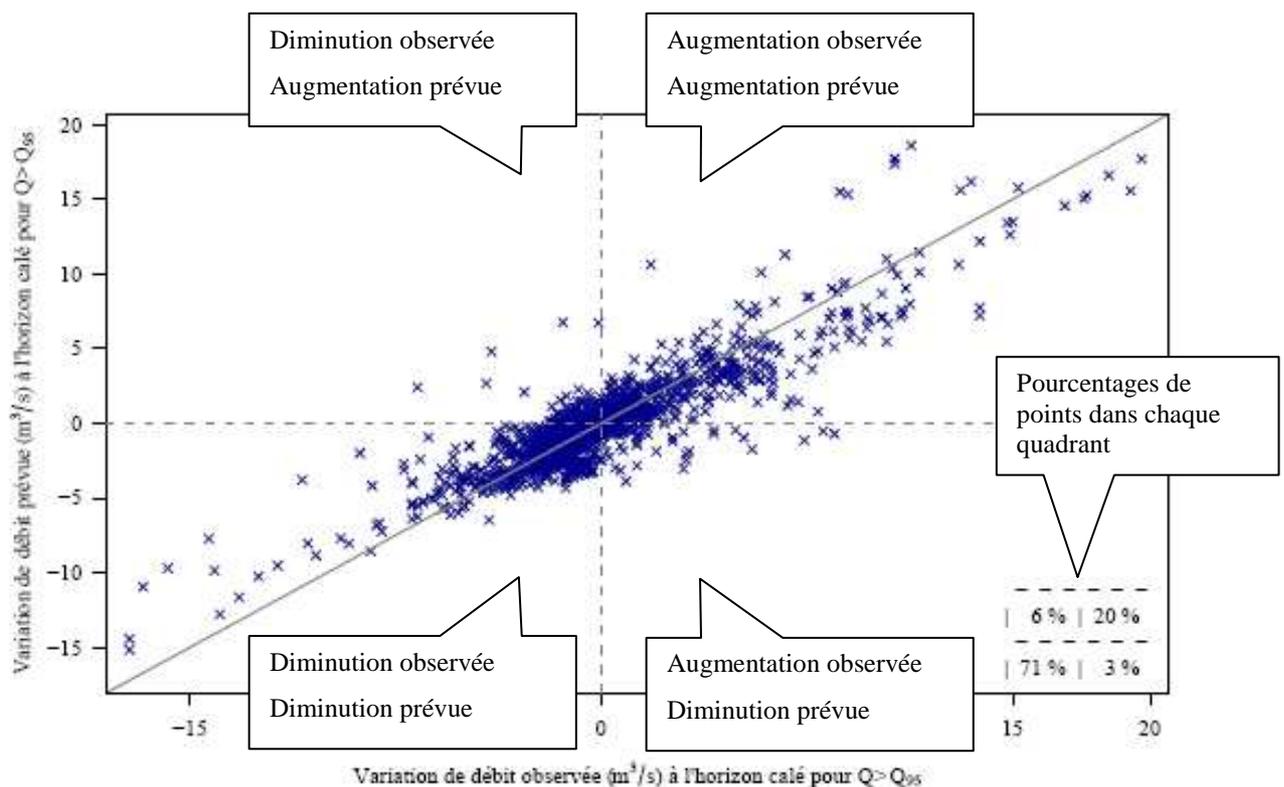


Figure 15 : Exemple de graphique comparant les variations de débit prévues et observées

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,

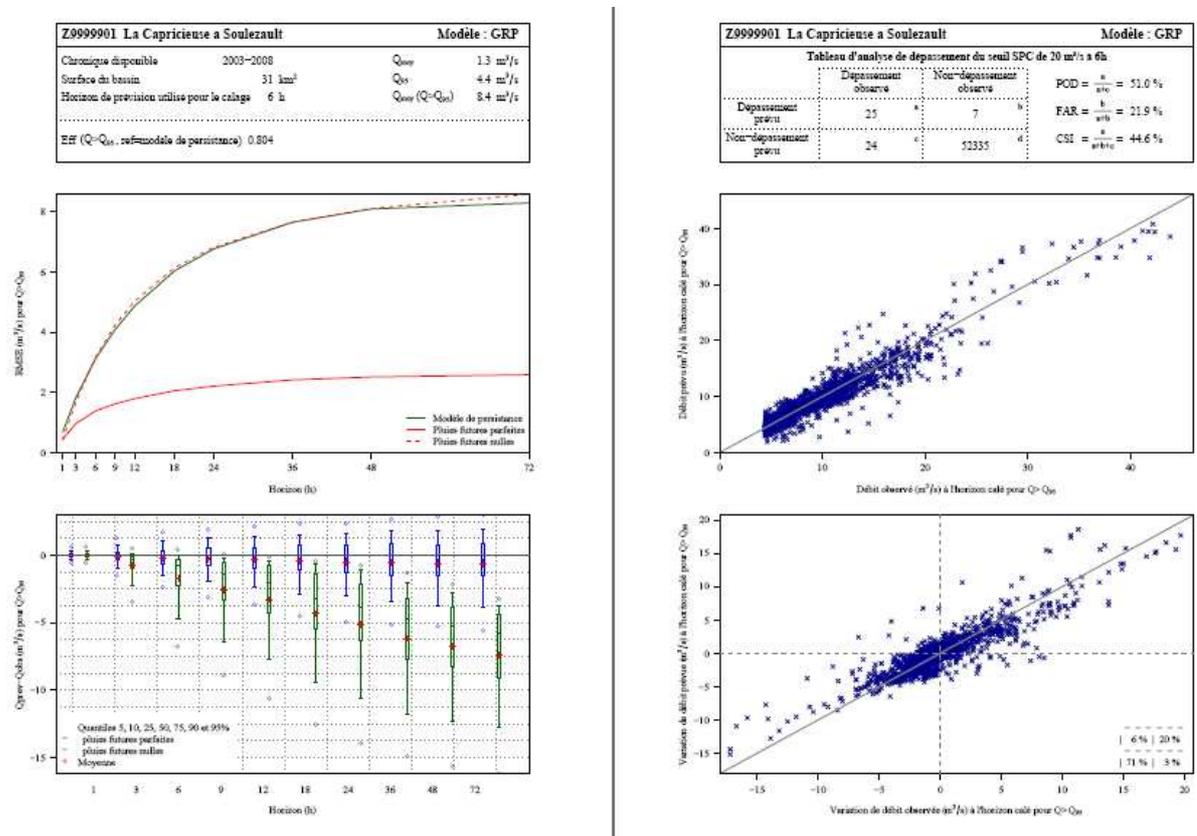
diminution prévue et augmentation observée, diminutions prévue et observée) le pourcentage de prévisions concernées.

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.

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 16. On y trouve :

- un tableau récapitulant 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.



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 17.

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.

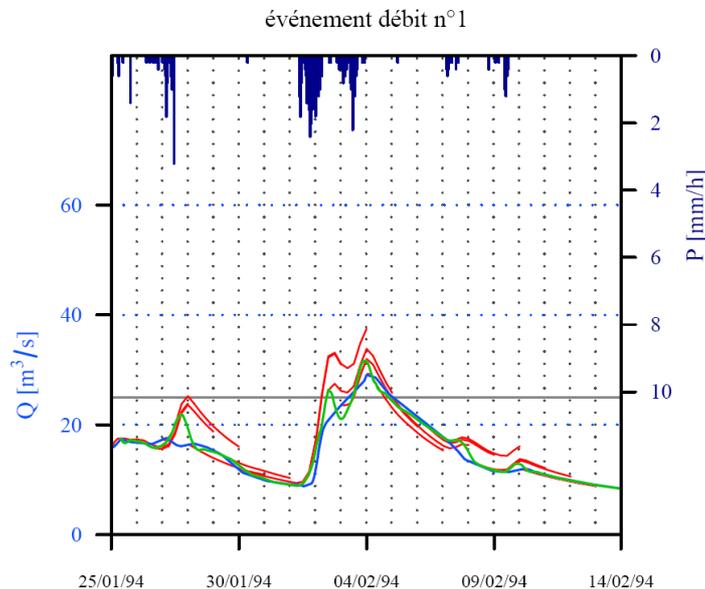


Figure 17 : Exemple d'hydrogramme de prévision

4.3. Présentation et analyse des résultats

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.

4.3.1. Analyse à partir des fiches synthétiques de résultats

Les fiches synthétiques des résultats établies pour les 21 bassins de l'étude sont disponibles en Annexe 3.

On peut constater aisément que quels que soient le bassin et l'horizon de prévision considérés, le modèle GRP est meilleur que le modèle 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. 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. Cependant, pour 18 stations sur les 21, le modèle reste meilleur que le modèle de persistance pour des horizons de prévisions inférieurs à 36 h, les performances se dégradant au-delà. La nette séparation des courbes de performance obtenues en conditions de pluies futures nulles et parfaites est souvent indicative d'une bonne capacité du modèle à valoriser des prévisions de pluie, et donc de bon comportement du modèle.

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. Certains bassins semblent montrer des déphasages à la montée et parfois à la descente (par exemple la Corrèze à Tulle). Ceci pourrait provenir de difficultés d'identification des paramètres ou d'une inadéquation structurelle du modèle GRP sur ces bassins.

Le modèle montre certaines difficultés à bien prévoir les gradients de débits sur certains bassins, alors que les débits eux-mêmes peuvent être relativement bien simulés. Dans ce cas, cela peut s'expliquer par des gammes de variations faibles sur les forts débits, que le modèle a du mal à suivre, même s'il réussit à prévoir à peu près les bonnes amplitudes. C'est le cas notamment des bassins comme la Dronne à Aubeterre ou l'Isle à Abzac. Dans ce cas, les variations sont beaucoup plus lentes et le modèle s'accommode mal des variations brutales autour de la courbe enveloppe tout en arrivant à suivre assez bien la tendance générale. La forme plutôt horizontale du nuage de point sur le graphe de variation indique que pour ce bassin, le modèle restitue un comportement trop inertiel par rapport à ce qu'il est réellement. Sur ces bassins, le modèle est très certainement handicapé par sa structure d'écoulement monobranche.

Les fiches synthétiques montrent que le modèle présente des niveaux de performance globalement assez homogène sur les bassins étudiés. Une analyse synthétique est fournie dans la suite.

Certains bassins peuvent présenter sur la série un événement relativement important par rapport aux autres (ex. la Corrèze à Brive-la-Gaillarde). Cela peut être générateur d'instabilité dans les résultats si cet événement a des caractéristiques assez différentes des autres.

4.3.2. Hydrogrammes de prévision sur une sélection d'évènements

Nous avons utilisé ici les 24 évènements sélectionnés pour chaque bassin lors de la phase 1, pour lesquels nous avons tracé les résultats du modèle (voir Annexe 4). Ils donnent une illustration très concrète des prévisions réalisées par le modèle sur les principaux évènements de crues (ou de pluie) observés sur les bassins. Ce catalogue de prévision peut être un outil utile pour le prévisionniste en temps réel.

Les traces de prévision successives permettent d'apprécier la capacité du modèle à prévoir une pointe de crue, ou encore la façon dont la prévision se dégrade lorsque l'on dépasse l'horizon pour lequel le modèle a été calé.

Bien que ces résultats soient évidemment présentés en contrôle et qu'ils n'aient donc pas influencé 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.

Les observations des événements recourent les éléments généraux obtenus sur les fiches, mais en donnent une illustration plus détaillée et concrète.

4.3.3. Synthèse des performances

Il n'est pas aisé de dresser une synthèse des résultats obtenus sur les 21 stations étudiées, certains critères laissant penser que le modèle est plutôt bon sur une station donnée, d'autres suggérant plutôt l'inverse. 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. Dans tous les cas, le SPC devra donc s'approprier ces résultats et en faire sa propre analyse relativement à ses objectifs spécifiques sur chaque bassin.

Le Tableau 8 synthétise les principaux résultats obtenus. Pour chaque bassin, il présente les informations générales et les performances du modèle. Il regroupe ainsi les données présentées dans chacune des fiches synthétiques, notamment les critères retenus pour estimer les performances du modèle. Il semble important de répéter que les critères sur lesquels le modèle est évalué ont été calculés sur les périodes de hautes eaux seulement (pour un débit supérieur au quantile 95%). 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.

L'analyse de ce tableau illustre une homogénéité générale des performances du modèle sur les 21 stations étudiées. Globalement, on peut juger les résultats acceptables, avec absence de gros échecs du modèle, mais également aucun bassin où les performances peuvent être qualifiées de très bonnes. En effet, ces résultats montrent que **GRP apporte toujours une information intéressante pour le prévisionniste** de meilleure qualité qu'un modèle simple de persistance. Les résultats des tests montrent clairement que la qualité de cette information dépend grandement de la qualité des prévisions de pluies qui alimentent le modèle, et que ce point devra faire l'objet d'une attention particulière en conditions d'utilisation opérationnelles.

Tableau 8 : Synthèse des résultats obtenus par le modèle GRP sur les 21 stations étudiées

Nom Abrégé	Code	Surface (km ²)	Nb Postes	Horizon de calage	Qmoy (m3/s)	Q95 (m3/s)	Pour Q > Q95				Qualification des performances
							Qmoy (m3/s)	RMSE(PP)/Qmoy	Eff (pers)	$\Delta Q_{prev>0}$ lorsque $\Delta Q_{obs>0}$	
Auvézère à Cherveix-Cubas	P6342510	591	4	12	11.1	29.1	45.0	0.09	0.69	64%	moyennes (+)
Auvézère à Lubersac	P6222510	112	3	12	1.4	3.5	6.7	0.22	0.59	65%	moyennes (-)
Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	173	2	12	2.7	8.0	15.3	0.13	0.65	70%	moyennes (-)
Corrèze à Brive-la-Gaillarde	P3922520	946	7	12	20.7	60.0	90.3	0.08	0.55	68%	moyennes (+)
Corrèze à Corrèze	P3352510	170	2	12	6.1	16.7	25.1	0.06	0.48	60%	moyennes (-)
Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat	P3322510	53	2	12	1.9	5.8	8.5	0.07	0.43	50%	moyennes (-)
Corrèze à Tulle	P3502510	371	4	12	9.2	29.9	44.0	0.08	0.38	59%	moyennes (-)
Dronne à Aubeterre	P8312510	1888	5	24	26.9	63.8	111.2	0.06	0.59	69%	moyennes
Dronne à Brantôme	P8102520	612	3	12	6.0	20.2	39.2	0.05	0.48	48%	moyennes (-)
Dronne à Coutras	P8462510	2799	6	24	26.3	74.9	128.1	0.09	0.53	69%	moyennes
Dronne à Ribérac	P8162510	1095	4	18	13.7	36.7	54.7	0.09	0.56	73%	moyennes (+)
Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	175	2	12	2.8	8.1	12.2	0.06	0.56	63%	moyennes (+)
Isle à Abzac	P7261510	3745	10	24	41.5	129.0	201.6	0.08	0.49	59%	moyennes
Isle à Cognac-sur-Isle	P6081510	454	4	12	6.4	19.1	32.8	0.11	0.54	56%	moyennes
Isle à Mussidan	P7121510	3177	8	18	36.2	98.2	158.9	0.09	0.50	57%	moyennes (-)
Isle à Périgueux	P7041510	2160	6	12	28.1	76.9	124.3	0.11	0.55	69%	moyennes (+)
Loue à Saint-Médard-d'Excideuil	P6234020	203	4	12	2.7	8.4	15.1	0.13	0.66	64%	moyennes (+)
Loyre à Saint-Viance	P3274010	257	4	12	3.9	11.5	21.3	0.15	0.56	52%	moyennes (-)
Montane à Laguenne	P3674010	108	3	12	3.8	12.9	21.6	0.12	0.41	64%	moyennes (-)
Vézère à Larche	P4001010	2483	12	12	69.9	163.7	218.0	0.05	0.54	71%	moyennes (-)
Vézère à Montignac	P4161010	3165	15	12	55.9	156.8	238.7	0.07	0.58	61%	moyennes

Dans le cadre des 21 bassins de l'étude, il est difficile de dégager les raisons précises qui peuvent expliquer les différences de performances. On peut seulement avancer les pistes suivantes :

Par nature, certains critères numériques utilisés ont tendance à être plus exigeants pour certains bassins que pour d'autres :

- la RMSE aura tendance à être plus élevée pour des bassins à débit moyen élevé que pour des bassins à débit moyen faible.
- le modèle de persistance étant plus pertinent sur des bassins ayant des variations lentes de débit que sur des bassins à variation rapides pour un même horizon, le critère de persistance sera plus exigeant pour les bassins lents.
- les faibles oscillations de débit autour d'un fort débit relativement stable étant difficiles à modéliser pour GRP, le pourcentage de montées bien modélisées est aussi plus faible sur ces bassins.

De plus, certaines têtes de bassins de l'échantillon comportent des ouvrages qui, même s'ils sont au fil de l'eau (notamment en période de crue) modifient légèrement les débits, ce qui peut rendre plus complexe le calage ainsi que la capacité du modèle à restituer ces débits non naturels en prévision.

Enfin, de faibles performances peuvent être mises en relation avec l'information pluviométrique disponible, bien que dans notre cas, les bassins pour lesquels l'information pluviométrique disponible semblait faible (cf. phase 1) ne présentent pas globalement des performances plus faibles que la moyenne.

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.
- Les performances du modèle sont relativement homogènes entre les différents bassins et ont été jugées globalement acceptables, sans échec patent du modèle ni performances très élevées.
- Le type 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.

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 21 sous-bassins d'affluents de la Dordogne. 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 (34 postes) présente une couverture globalement bonne du territoire bien que plusieurs bassins, généralement de tête, ne disposent que de deux postes, ce qui pose le problème de la sécurisation des entrées du modèle en information pluviométrique.

L'analyse de ces données pluviométriques a montré que les chroniques disponibles recouvrent généralement les périodes d'étude retenues, mais qu'elles comportent de nombreuses périodes lacunaires. Ce phénomène est problématique lorsque peu de postes sont disponibles sur un territoire pour le calcul de la pluie de bassin (cas des bassins de tête). Pour une majorité de bassins, nous avons observé des périodes lacunaires communes aux différents postes du territoire, rendant impossible la détermination d'une pluie de bassin. Cette pluie de bassin étant nécessaire au calage du modèle, nous avons choisi de reconstituer des postes virtuels représentatifs de la pluie SAFRAN de Météo France, utilisé lorsque tous les autres postes sont en pannes.

La critique des données pluviométriques et hydrométriques a permis d'écartier les données incohérentes où correspondant à des périodes d'influence du cours d'eau (par exemple des barrages estivaux). Trois bassins ont dû être écartés du fait d'une qualité des données hydrométriques non compatible avec l'application du modèle. Ce travail de critique a ainsi abouti à la construction de la base de données horaire (pluie – débit – ETP) sur les 21 bassins retenus sur des périodes variables entre 1987 et 2009. 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. Les problèmes constatés dans les données se produiront très certainement 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 vont de 3 à 24 heures pour les bassins étudiés et sont partiellement liés à la superficie des bassins, même s'il a pu être constaté que des bassins de tailles équivalentes pouvaient avoir des temps de réaction très différents. 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 24 et 72 heures. 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 21 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, bien que calculées sur des chroniques longues et un nombre significatif d'événements, 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 convenables sur l'ensemble des bassins étudiés, et qu'il apportait toujours une information intéressante pour le prévisionniste de meilleure qualité qu'un modèle simple de persistance. Cependant 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 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.

Bibliographie

- 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 Thesis, 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 Thesis, ENGREF (Paris) / Cemagref (Antony), 495 pp.
- Oudin, L. et al., 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 (m3/s)	Surface (km2)	Debit annuel (mm)	Pluie annuelle (mm)	Rapport Q/P (-)	Lacunes de débit (%)	Nb moyen postes disponibles (-)
Auvézère à Cherveux-Cubas	P6342510	11.50	591	614	1154	0.53	25%	2.07
Auvézère à Lubersac	P6222510	1.37	112	387	1330	0.29	19%	1.70
Céou à Frayssinet [Pont de Rhodes]	P2404010	0.96	93	326	884	0.37	60%	0.45
Côle à Saint-Jean-de-Côle	P8074010	2.89	173	527	1287	0.41	31%	0.63
Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy]	P3922520	19.41	946	647	1580	0.41	30%	4.34
Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont]	P3352510	5.95	170	1103	1903	0.58	32%	1.17
Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat [Pont de Lanour]	P3322510	1.94	53	1155	2006	0.58	28%	1.47
Corrèze à Tulle [Pont des soldats]	P3502510	8.62	371	732	1416	0.52	35%	3.56
Dronne à Aubeterre-sur-Dronne [Aubeterre]	P8312510	28.91	1888	483	1061	0.46	55%	3.32
Dronne à Brantôme	P8102520	6.04	612	311	1232	0.25	79%	1.29
Dronne à Coutras	P8462510	28.66	2799	323	1077	0.30	22%	4.16
Dronne à Ribérac	P8162510	15.48	1095	446	1056	0.42	20%	2.49
Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière	P8022520	2.67	175	481	1341	0.36	46%	0.66
Isle à Abzac	P7261510	40.86	3745	344	1171	0.29	26%	5.08
Isle à Cognac-sur-l'Isle	P6081510	6.49	454	451	1170	0.39	35%	1.34
Isle à Mussidan	P7121510	35.11	3177	349	1244	0.28	28%	3.79
Isle à Périgueux	P7041510	32.08	2160	468	1207	0.39	19%	3.66
Loue à Saint-Médard-d'Excideuil [Excideuil]	P6234020	3.08	203	478	1167	0.41	23%	2.75
Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg]	P3274010	3.71	257	455	1416	0.32	30%	1.83
Montane à Laguenne [Pont de la Pierre]	P3674010	4.13	108	1207	1763	0.68	26%	2.27
Vézère à Larche	P4001010	68.69	2483	872	1508	0.58	30%	6.14
Vézère à Montignac	P4161010	53.37	3165	532	1486	0.36	31%	7.60
Vézère à Uzerche	P3131020	14.37	601	754	1685	0.45	31%	1.81
Vézère à Voutezac [Le Saillant]	P3201010	23.40	963	766	1460	0.52	28%	1.57

Annexe 2 : Chroniques pluie, débit et ETP sur les 24 bassins initiaux

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

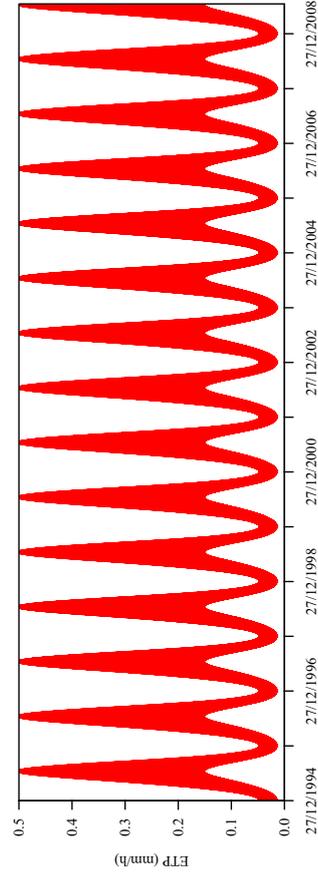
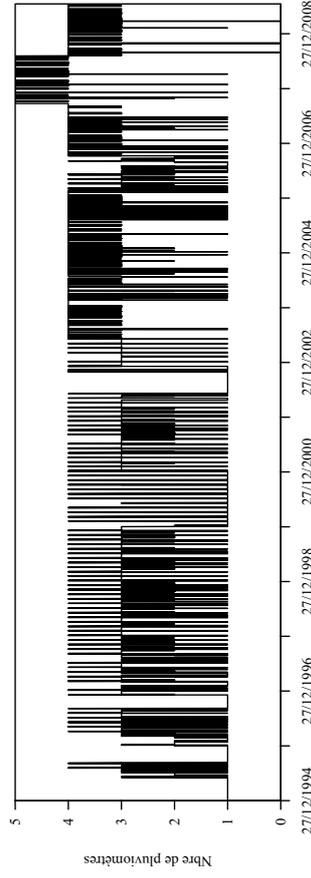
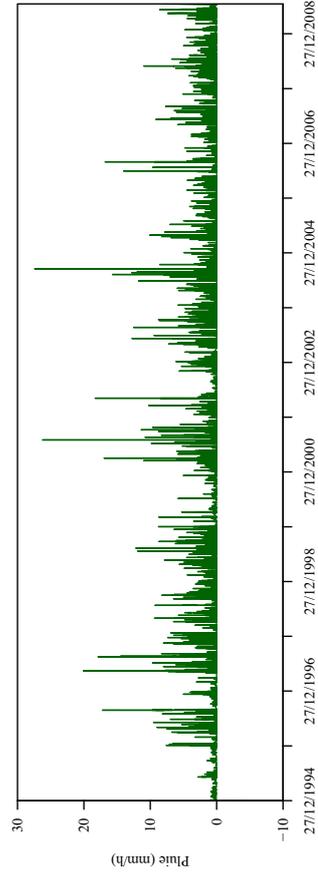
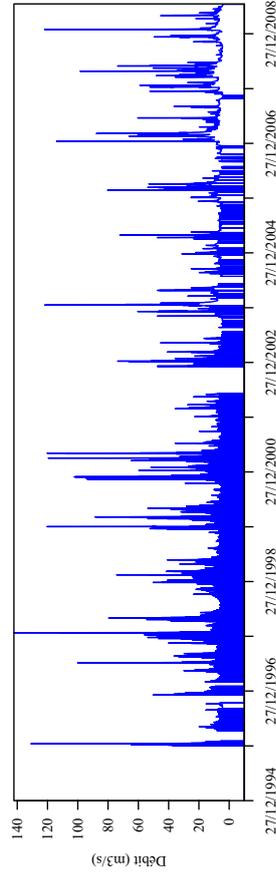
- l'hydrogramme observé sur la période
- le hyétogramme de pluie de bassin
- la chronique de disponibilité des postes
- la chronique d'ETP

P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas (CUBA) (S=591 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 4 (148 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P6342510	Cherveix-Cubas (CUBA)	01/12/1986	14/07/2009
P6234020	Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI)	01/12/1986	14/07/2009
P6222510	Lubersac (LUBE)	01/12/1986	14/07/2009
P3031090	Cirat (CIRA)	01/08/2007	14/07/2009
S6342510	Pluie Saffan du bassin		

P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas (CUBA) (S=591 km²)

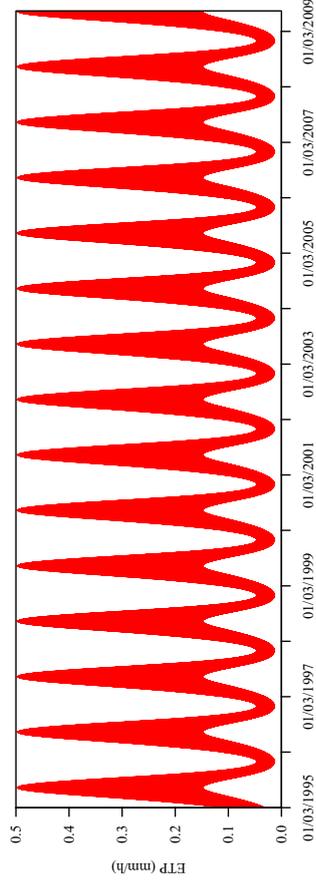
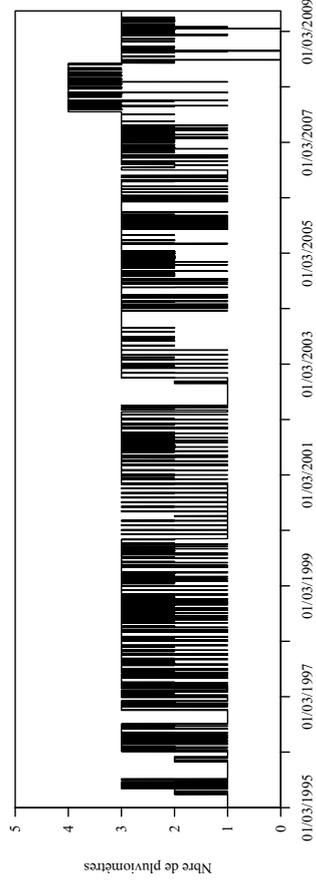
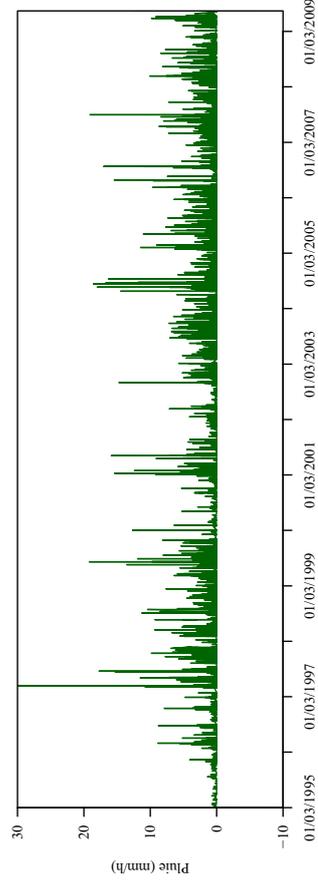
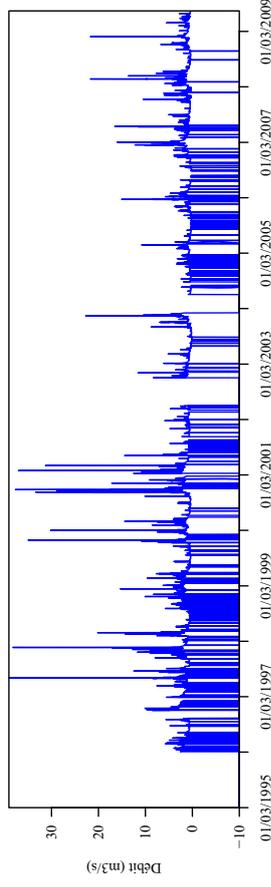


P6222510 Auvézère à Lubersac (LUBE) (S=112 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/03/1996 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 3 (57 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P6222510	Lubersac (LUBE)	01/12/1986	14/07/2009
P3131020	Uzerehe (UZER)	01/06/1988	14/07/2009
P3031090	Cirat (CIRA)	01/08/2007	14/07/2009
S6222510	Pluie Safran du bassin		

P6222510 Auvézère à Lubersac (LUBE) (S=112 km²)

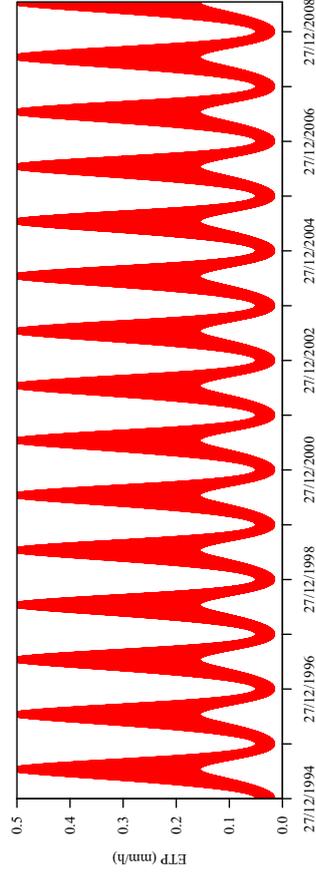
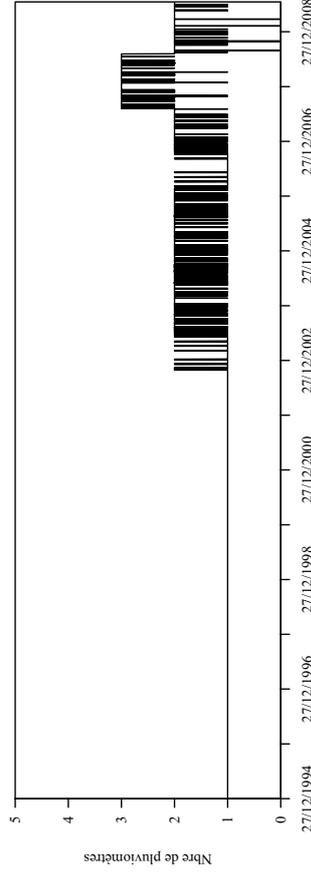
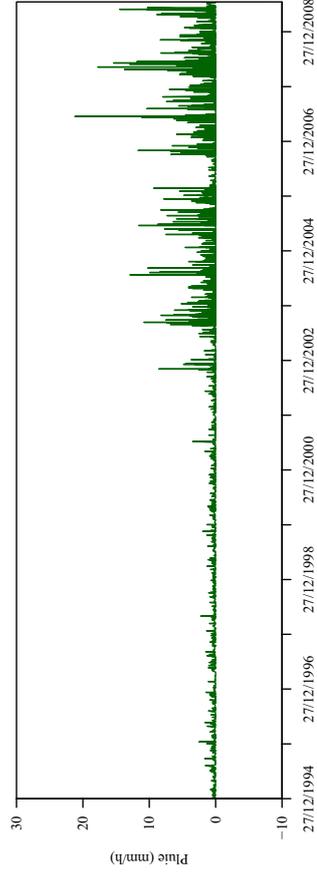
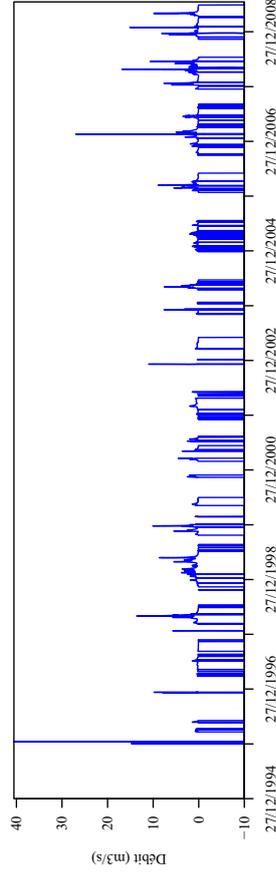


P2404010 Céo à Frayssinet [Pont de Rhodes] (PTRH) (S=93 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 2 (46 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P2404010	Frayssinet (PTRH)	01/10/2002	14/07/2009
P2404090	Souciac (SOIC)	01/08/2007	14/07/2009
S2404010	Pluie Stefan du bassin		

P2404010 Céo à Frayssinet [Pont de Rhodes] (PTRH) (S=93 km²)

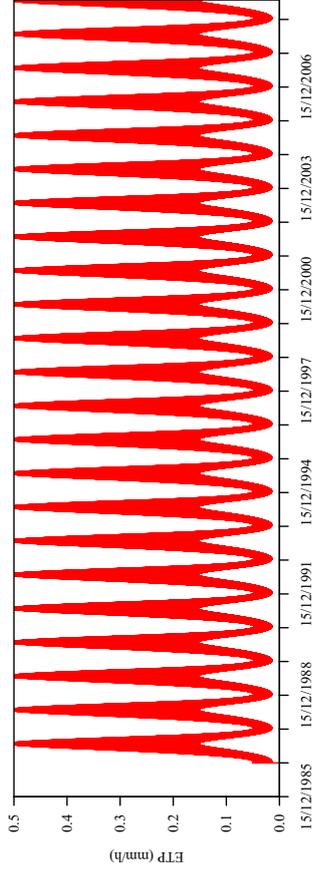
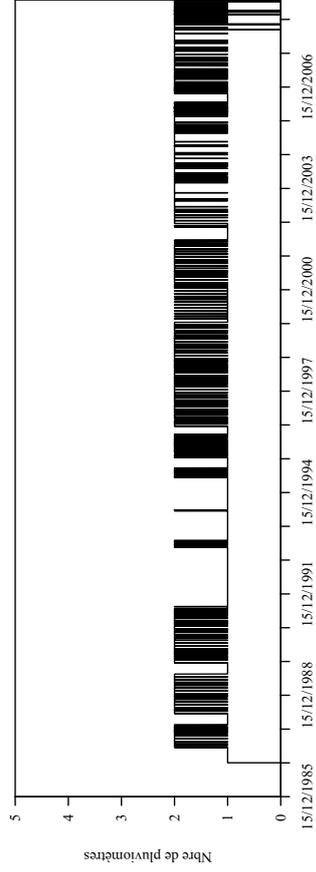
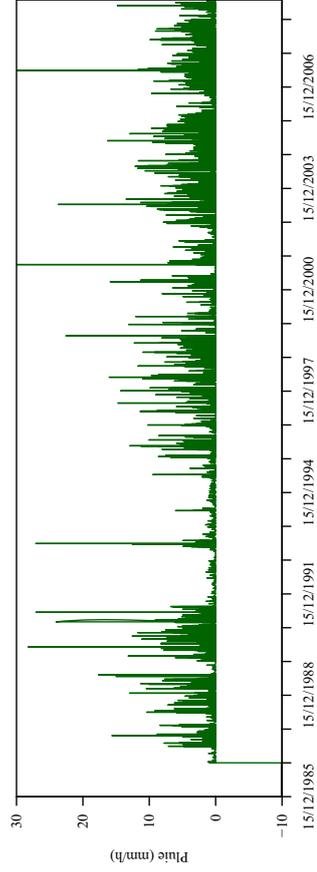
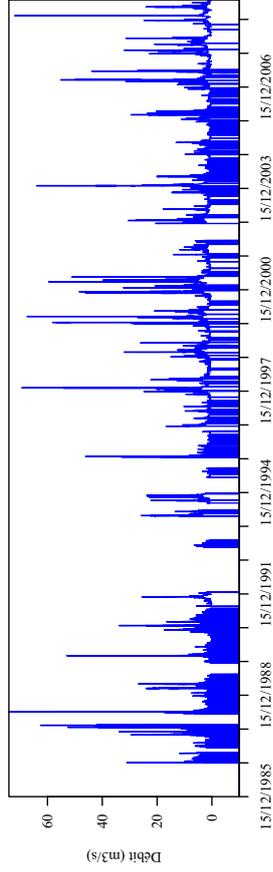


P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côte (STJE) (S=173 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 15/12/1986 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 2 (86 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P8022520	Saint-Pandoux-la-Rivière (STPA)	01/06/1987	14/07/2009
P8074090	St Marin de Freyssengeais (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
S8074010	Pluie Safin du bassin		

P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côte (STJE) (S=173 km²)

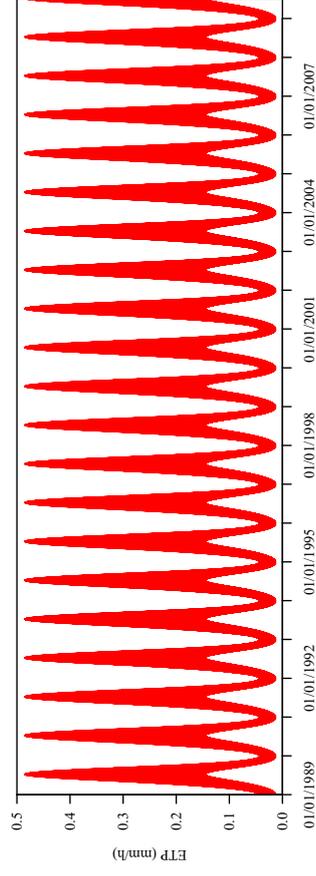
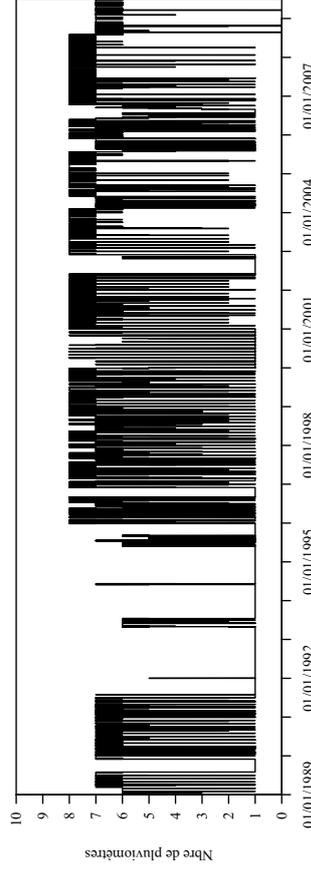
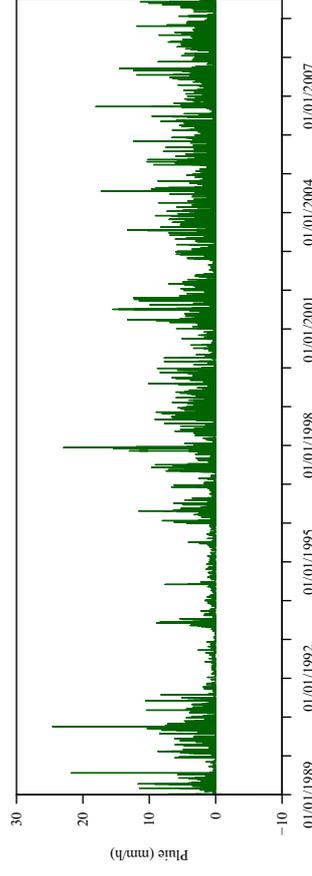
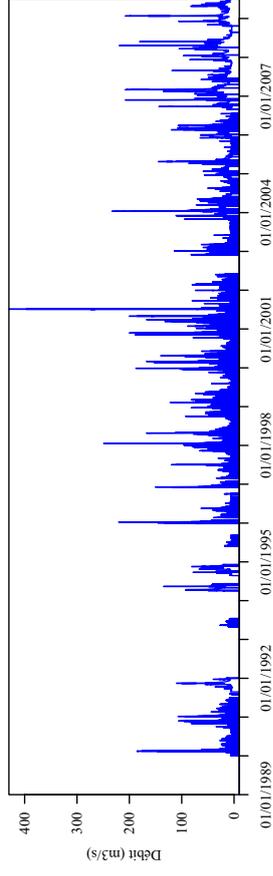


P3922520 Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy] (S=946 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1990 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 7 (135 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3922520	Brive-la-Gaillarde (BRIV)	01/12/1986	14/07/2009
P3922590	Beynat (BEYNS)	01/06/1987	14/07/2009
P3502510	Tulle (TULL)	01/12/1986	14/07/2009
P3674010	Laguennie (LAGU)	27/12/1995	14/07/2009
P3131090	Seilhac (SEIL)	01/12/1986	14/07/2009
P3352510	Corrèze (CORR)	01/03/1989	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
S3922520	Pluie Saffan du bassin		

P3922520 Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy] (S=946 km²)

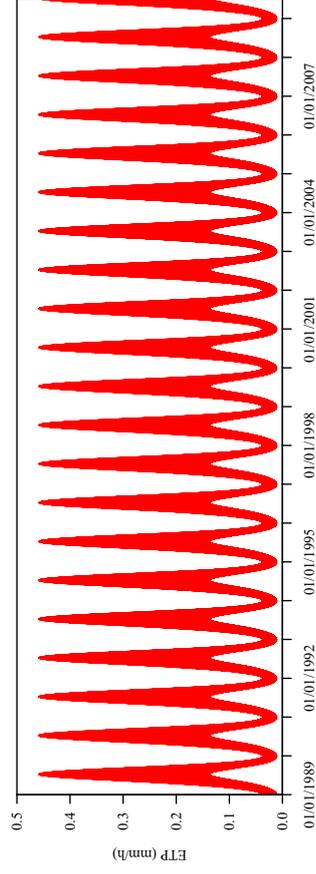
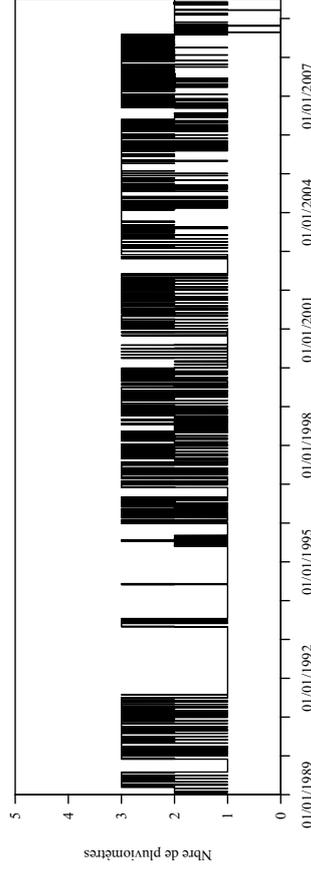
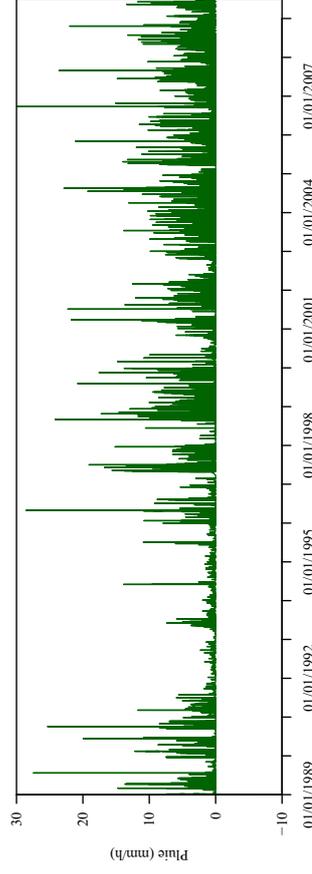
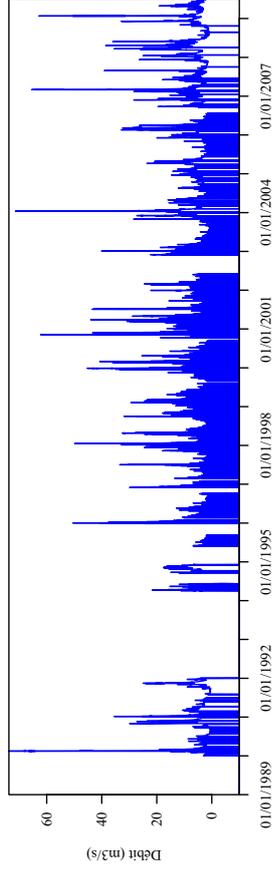


P3352510 Corrèze à Neupont [Pont de Neupont] (CORR) (S=170 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1990 – 14/07/2009
Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 2 (85 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3352510	Corrèze (CORR)	01/03/1989	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Désert (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
S3352510	Pluie Safan du bassin		

P3352510 Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont] (CORR) (S=170 km²)



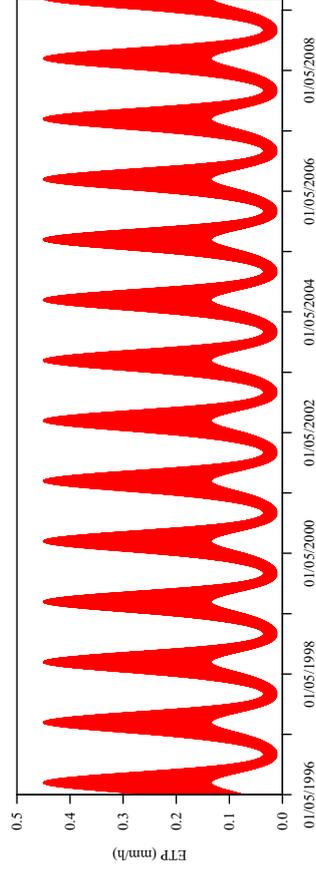
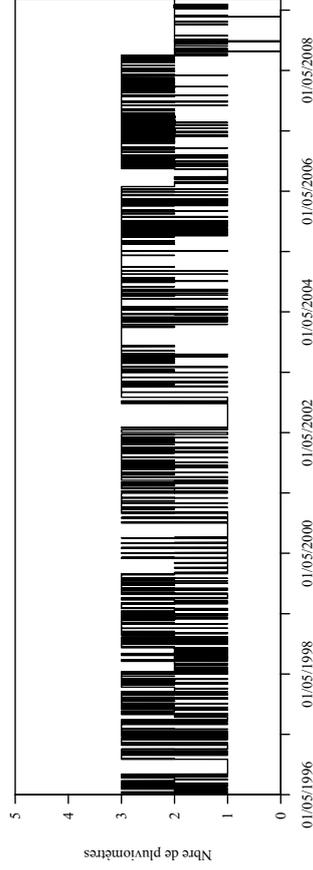
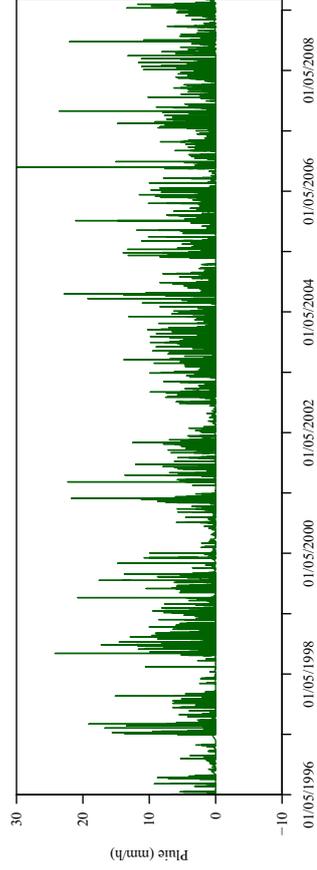
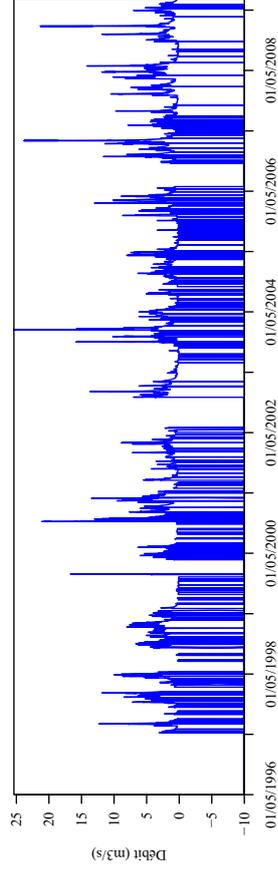
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR) (S=53 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/05/1997 – 14/07/2009

Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 2 (26 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3322510	Corrèze (CORR)	01/03/1989	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
S3322510	Pluie Safin du bassin		

P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR) (S=53 km²)

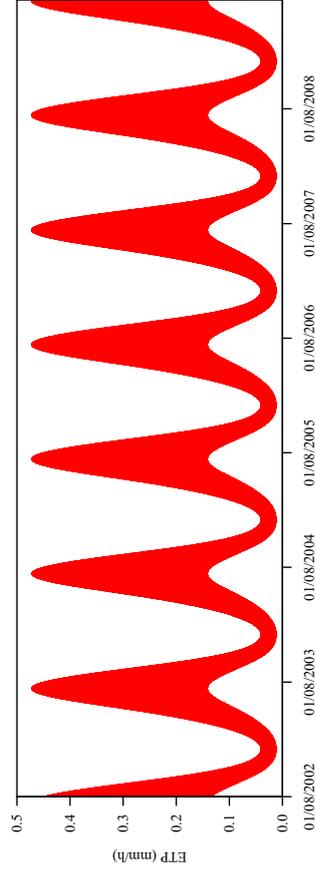
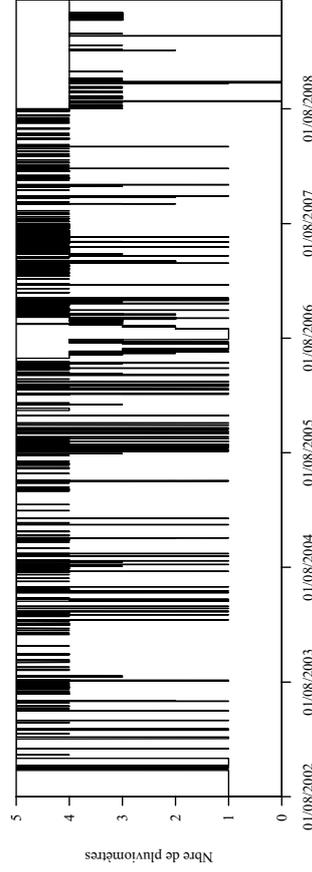
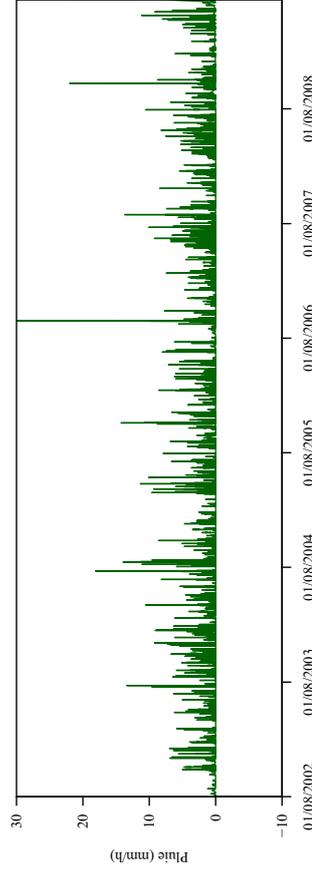
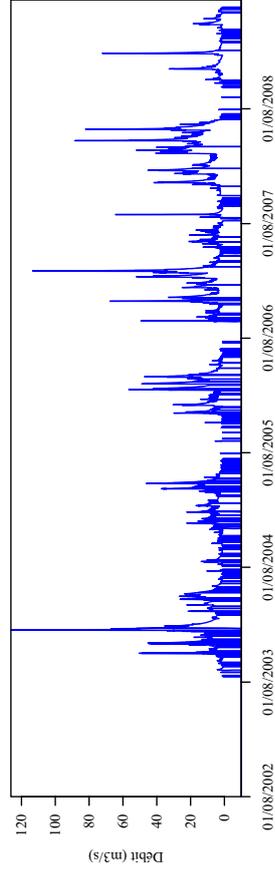


P3502510 Corrèze à Tulle [Pont des soldats] (TULL) (S=371 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/08/2003 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 4 (93 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3502510	Tulle (TULL)	01/12/1986	14/07/2009
P3131090	Seilhac (SEIL)	01/12/1986	14/07/2009
P3352510	Corrèze (CORK)	01/03/1989	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
S3502510	Pluie Saffan du bassin		

P3502510 Corrèze à Tulle [Pont des soldats] (TULL) (S=371 km²)

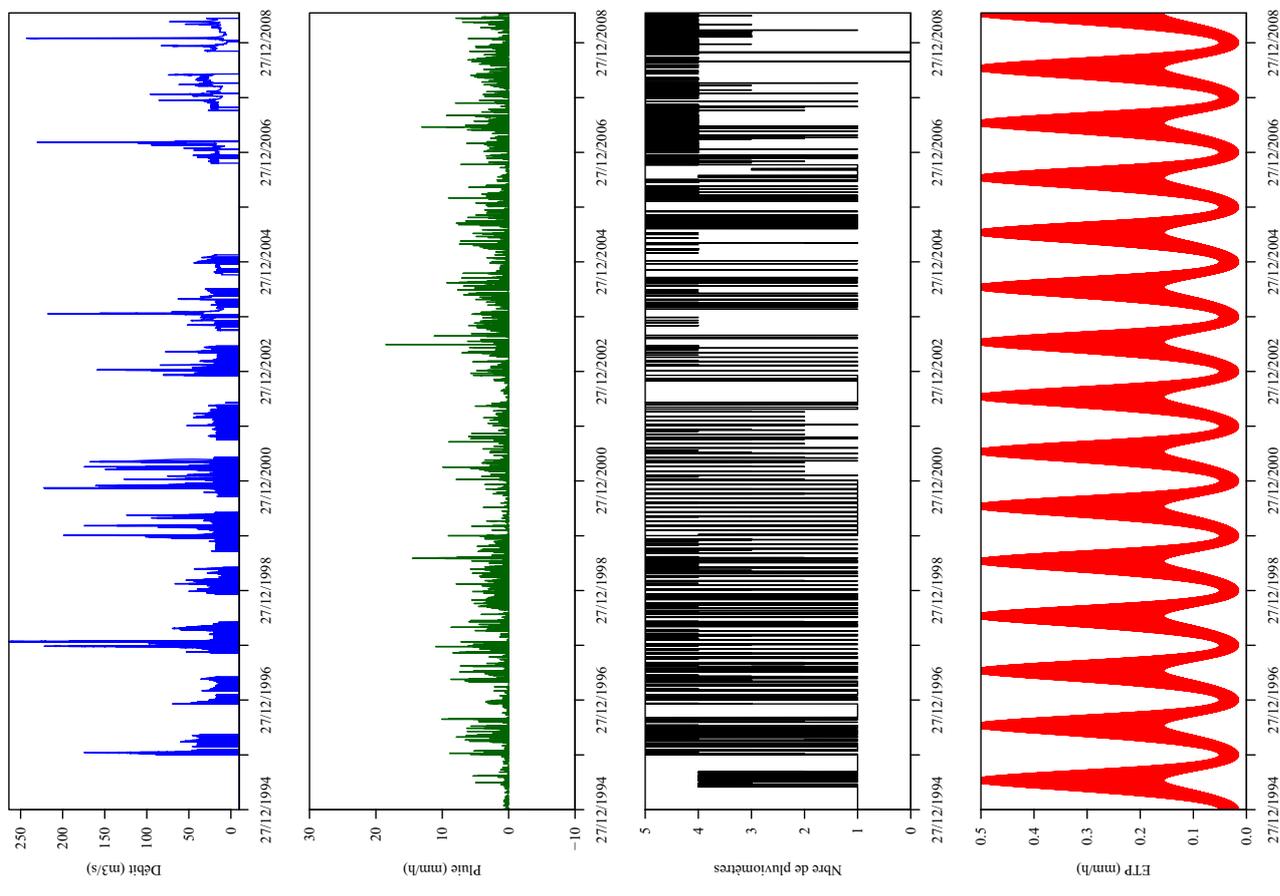


P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne (AUBE) (S=1887 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 5 (377 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P8312510	Aubeterre-sur-Dronne (AUBE)	27/12/1995	14/07/2009
P8102510	Ribécac (RIBE)	01/01/1989	14/07/2009
P8102520	Brantôme (BRAN)	01/06/1988	14/07/2009
P8022520	Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA)	01/06/1987	14/07/2009
P8074090	St Martin de Freyssengeais (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
S8312510	Pluie Saffan du bassin		

P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne (AUBE) (S=1887 km²)

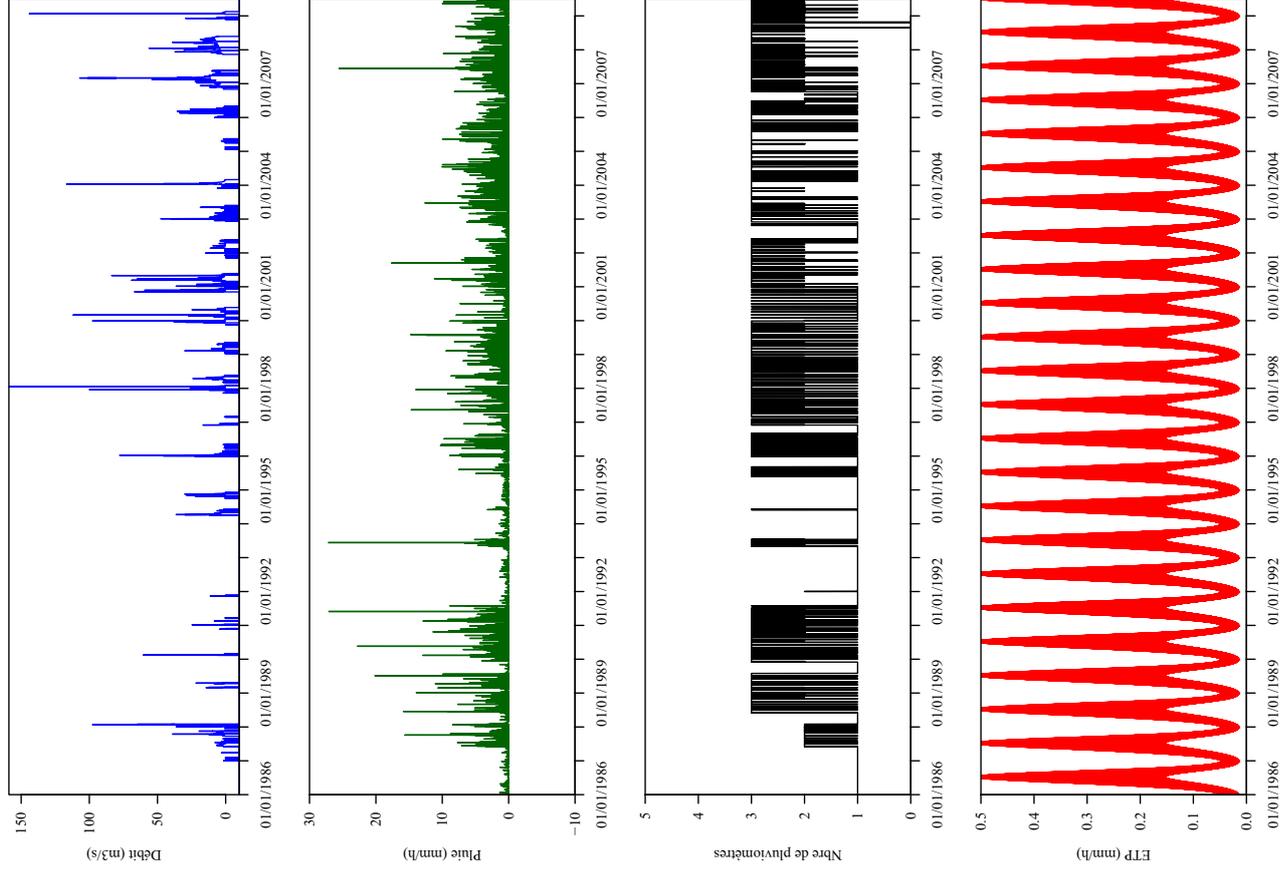


P8102520 Dronne à Brantôme (BRAN) (S=612 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1987 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 3 (204 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P8102520	Brantôme (BRAN)	01/06/1988	14/07/2009
P8022520	Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA)	01/06/1987	14/07/2009
P8074090	St Martin de Freyssengeais (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
SS102520	Pluie Safin du bassin		

P8102520 Dronne à Brantôme (BRAN) (S=612 km²)

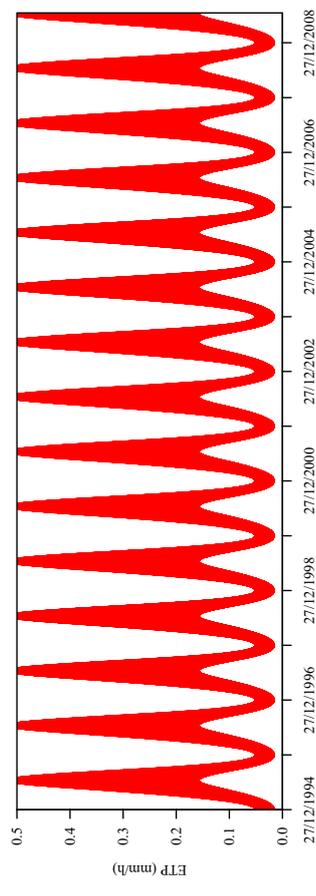
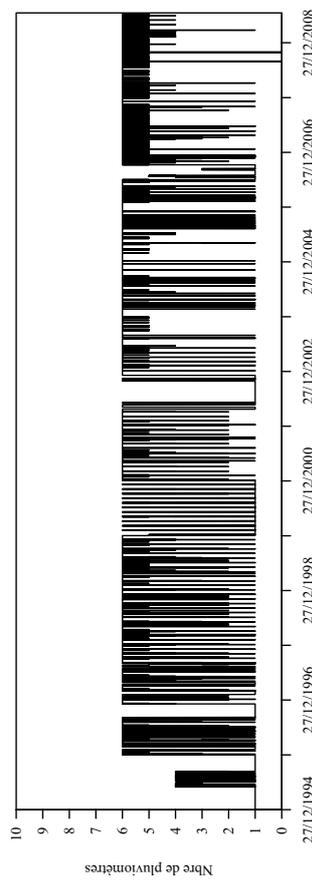
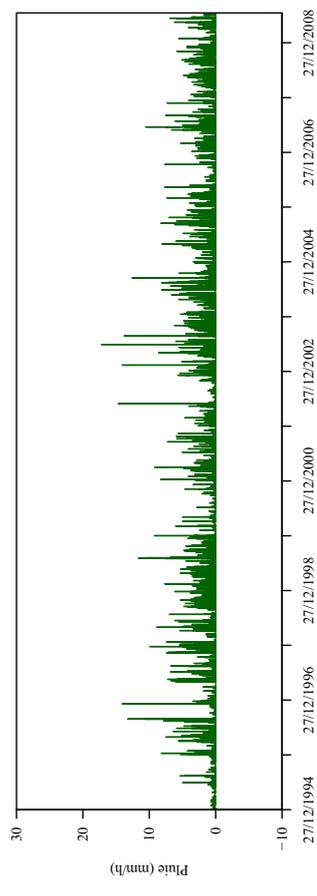
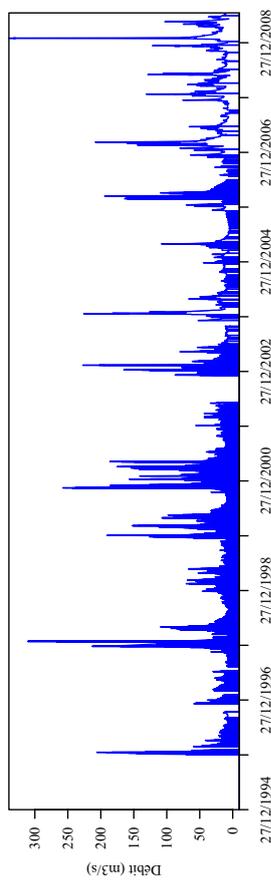


P8462510 Dronne à Coutras (COUT) (S=2798 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 6 (466 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P8462510	Coutras (COUT)	27/12/1995	14/07/2009
P8312510	Aubeterre-sur-Dronne (AUBE)	27/12/1995	14/07/2009
P8102510	Ribécac (RIBE)	01/01/1989	14/07/2009
P8102520	Brantôme (BRAN)	01/06/1988	14/07/2009
P8022520	Saint-Pardoux-lb-Rivière (STPA)	01/06/1987	14/07/2009
P8074890	St Martin de Freyssengeas (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
S8462510	Pluie Saffan du bassin		

P8462510 Dronne à Coutras (COUT) (S=2798 km²)

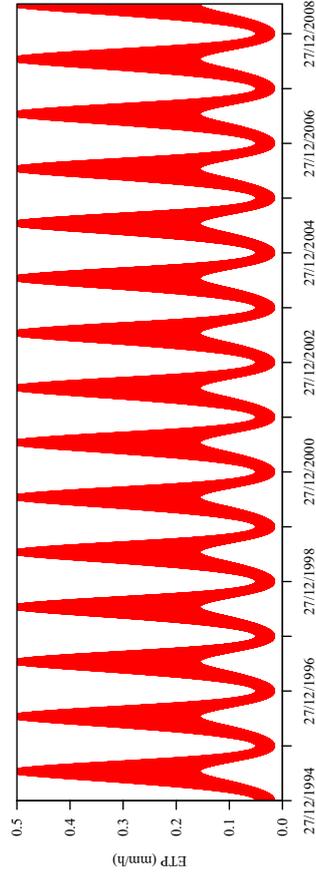
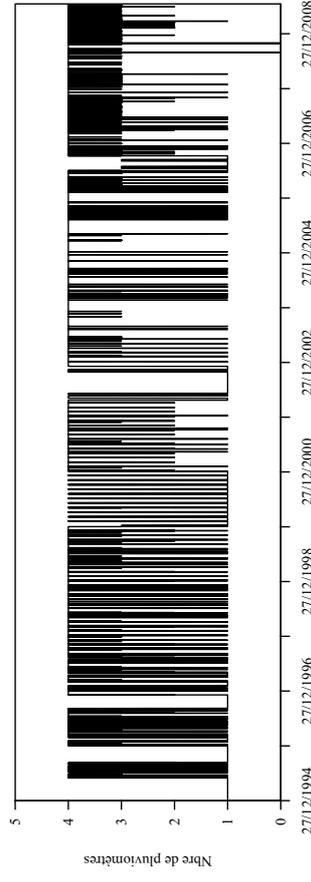
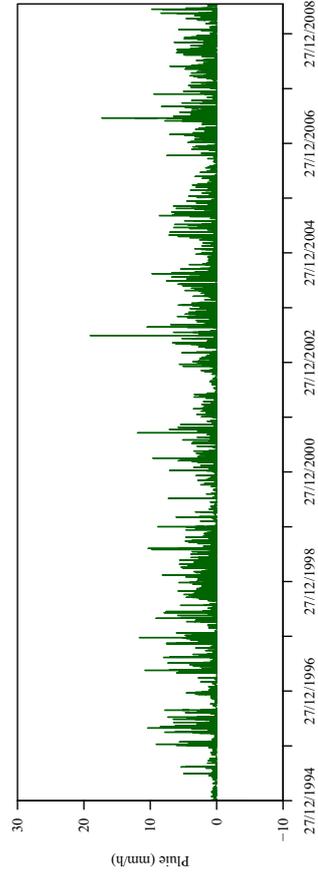
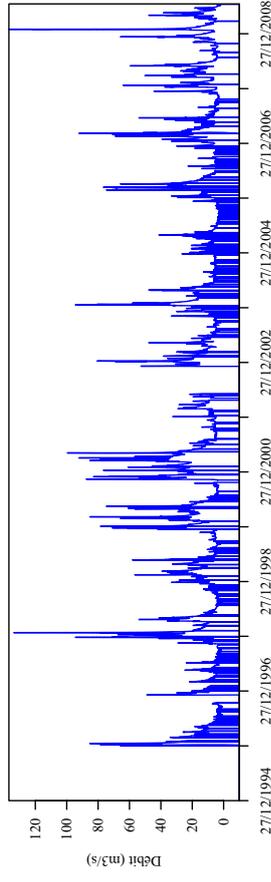


P8162510 Dronne à Ribérac (RIBE) (S=1094 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 4 (274 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P8162510	Ribérac (RIBE)	01/01/1989	14/07/2009
P8102520	Brantôme (BRAN)	01/06/1988	14/07/2009
P8022520	Saint-Pardoux-lès-Rivière (STPA)	01/06/1987	14/07/2009
P8074090	St Martin de Freyssengeais (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
S8162510	Pluie Saffan du bassin		

P8162510 Dronne à Ribérac (RIBE) (S=1094 km²)

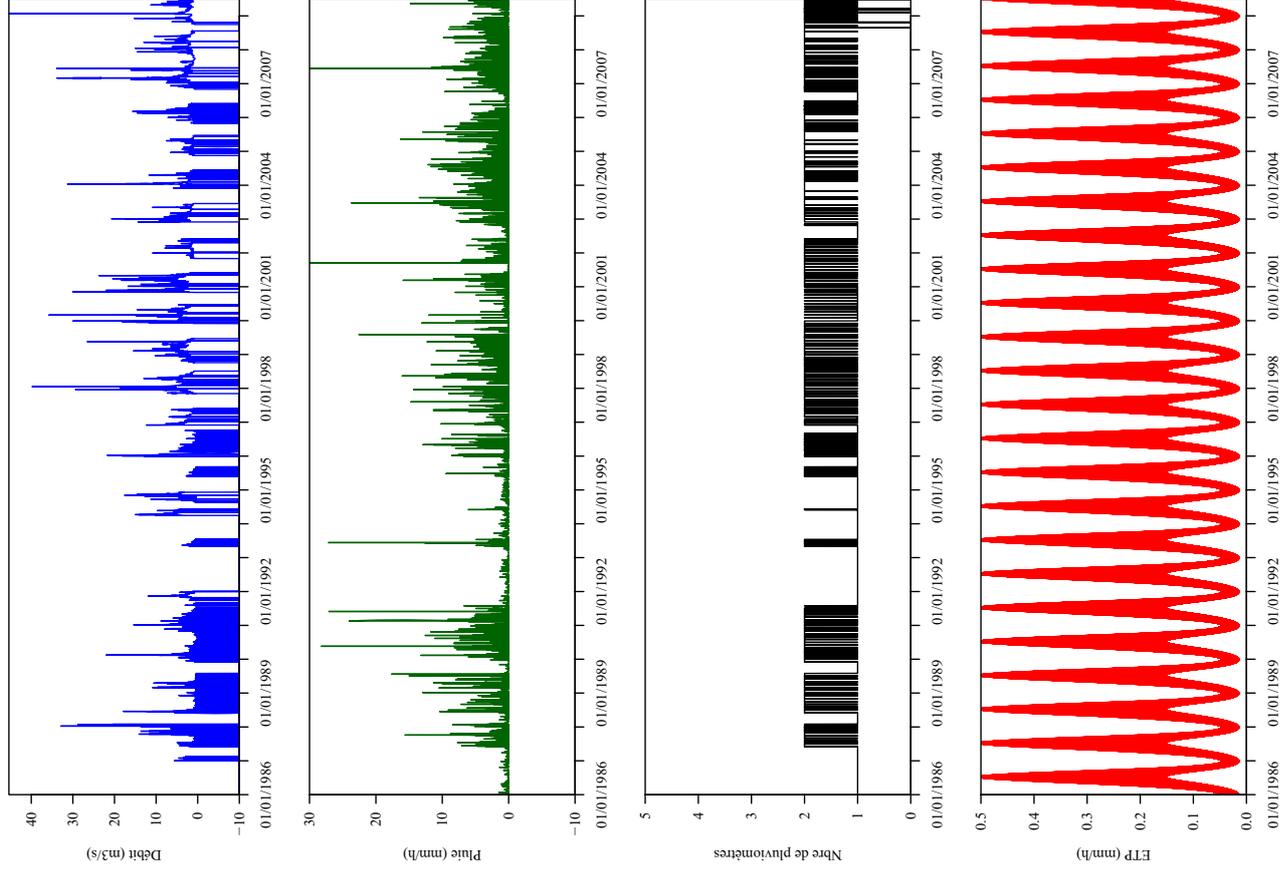


P8022520 Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA) (S=175 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1987 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 2 (88 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P8022520	Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA)	01/06/1987	14/07/2009
P8074090	St Marin de Freyssengeas (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
S8022520	Pluie Safan du bassin		

P8022520 Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA) (S=175 km²)

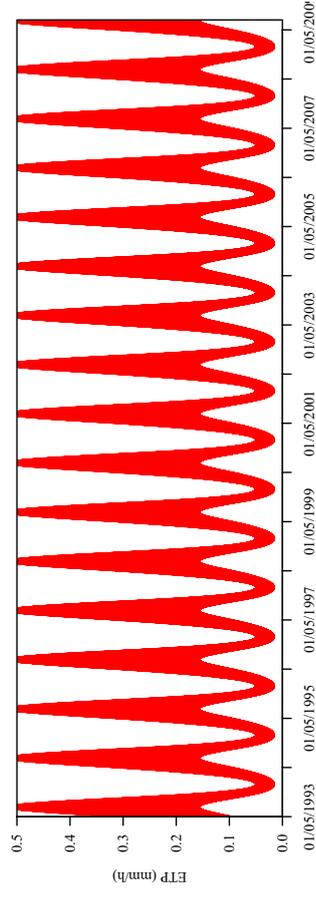
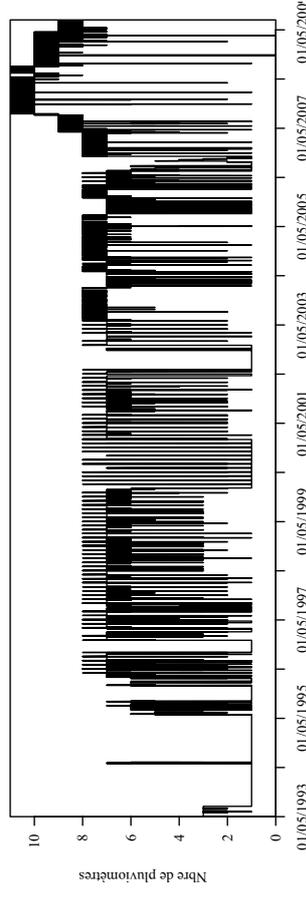
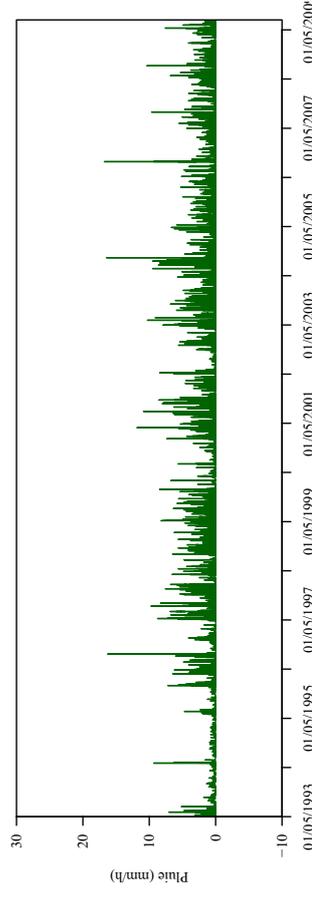
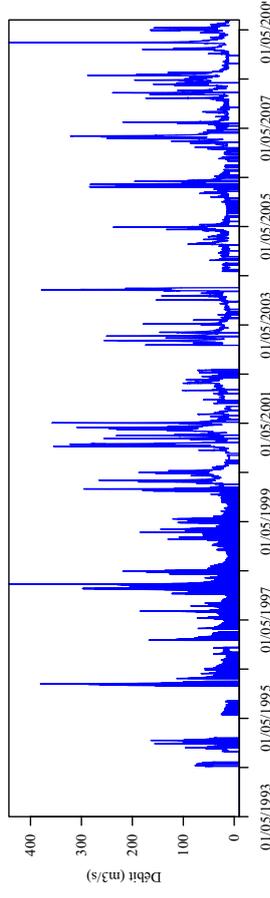


P7261510 Isle à Abzac (ABZA) (S=3745 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/05/1994 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 10 (374 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P7261510	Abzac (ABZA)	27/12/1995	14/07/2009
P7121510	Mussidan (MUSS)	28/02/1989	14/07/2009
P7041510	Pérignaux (PERI)	01/06/1987	14/07/2009
P6342510	Cherveix-Cubas (CUBA)	01/12/1986	14/07/2009
P6081510	Corgnac-sur-Isle (CORC)	01/12/1986	14/07/2009
P6234020	Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI)	01/12/1986	14/07/2009
P6222510	Lubersac (LUBE)	01/12/1986	14/07/2009
PS140090	Eglise Neuve d'Issac (EGLI)	01/04/2007	14/07/2009
P7041591	Puy Roger (PUYR)	01/08/2007	14/07/2009
P7041591	Aur (ATUR)	01/08/2007	14/07/2009
S7261510	Pluie Siffart du bassin		

P7261510 Isle à Abzac (ABZA) (S=3745 km²)

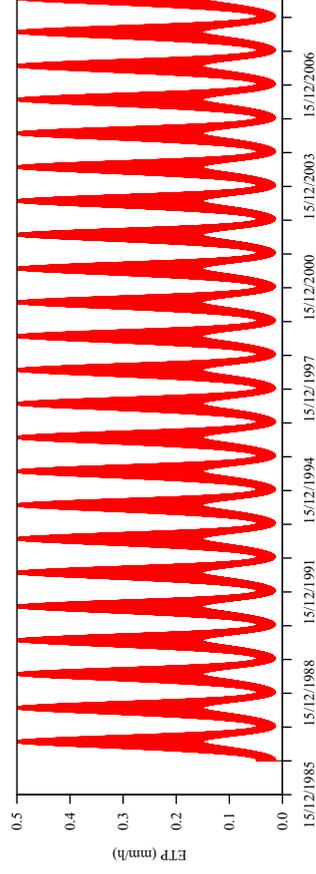
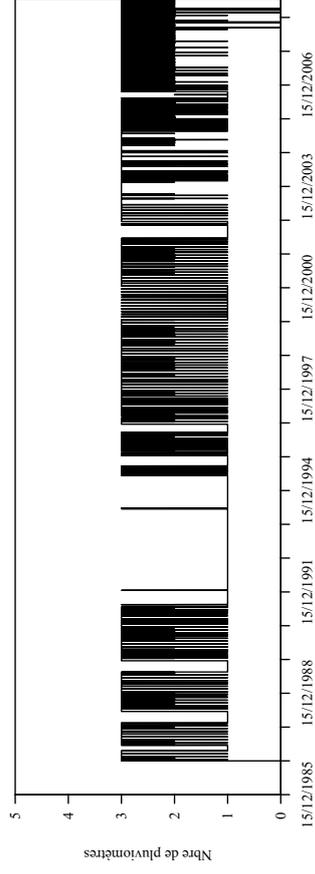
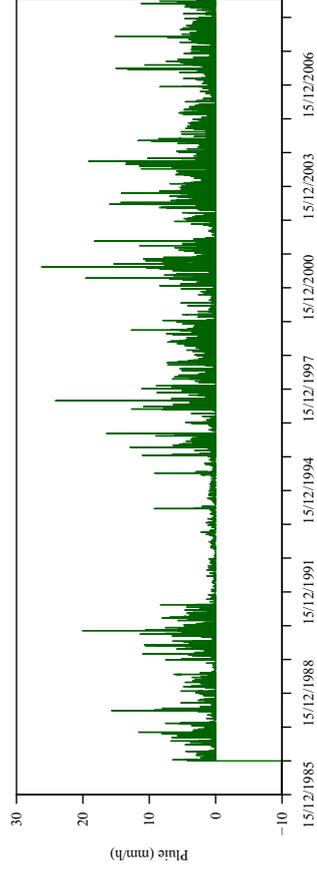
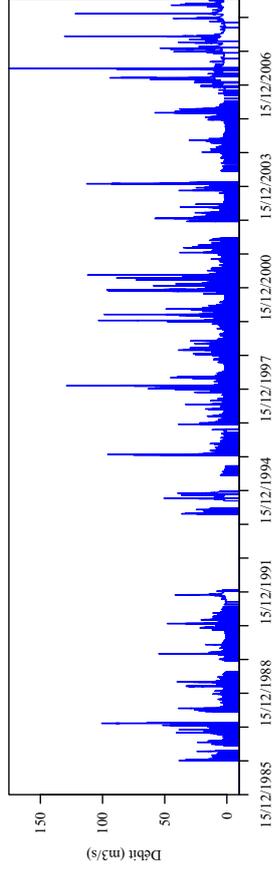


P6081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle (CORG) (S=454 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 15/12/1986 – 14/07/2009
Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 3 (151 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P6081510	Corgnac-sur-l'Isle (CORG)	01/12/1986	14/07/2009
P6234020	Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI)	01/12/1986	14/07/2009
P8074090	St Martin de Freyssengeais (STMA)	01/08/2008	14/07/2009
S6081510	Pluie Saffan du bassin		

P6081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle (CORG) (S=454 km²)

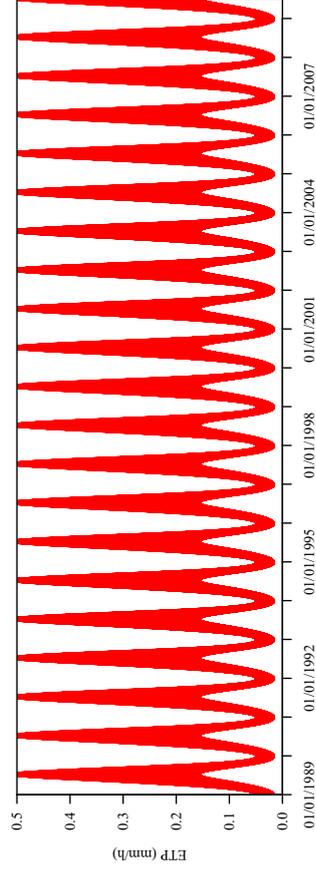
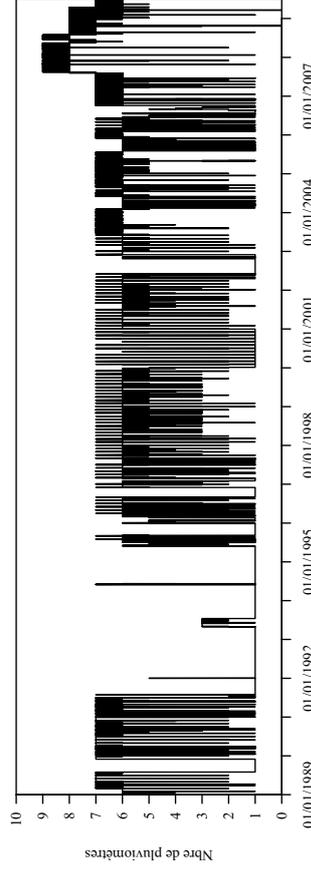
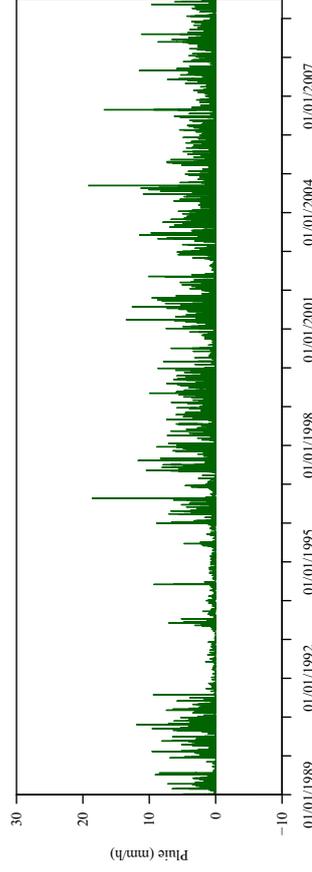
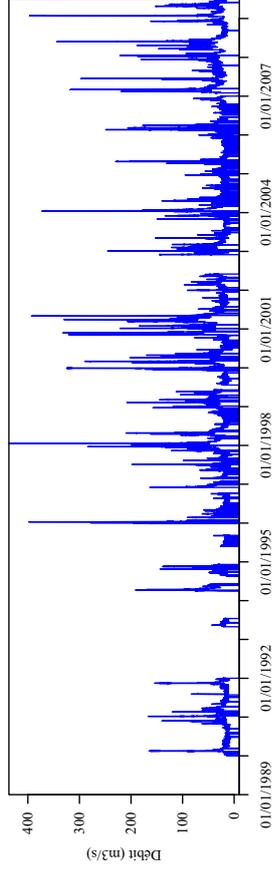


P7121510 Isle à Mussidan (MUSS) (S=3177 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1990 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 8 (397 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P7121510	Mussidan (MUSS)	28/02/1989	14/07/2009
P7041510	Périgueux (PERI)	01/06/1987	14/07/2009
P6342510	Cheroux-Cubas (CUBA)	01/12/1986	14/07/2009
P6081510	Corgnac-sur-Isle (CORC)	01/12/1986	14/07/2009
P6234020	Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI)	01/12/1986	14/07/2009
P6222510	Lubersac (LUBE)	01/12/1986	14/07/2009
P7041590	Puy Roger (PUYR)	01/08/2007	14/07/2009
P7041591	Aur (ATUR)	01/08/2007	14/07/2009
S7121510	Pluie Safinac du bassin		

P7121510 Isle à Mussidan (MUSS) (S=3177 km²)

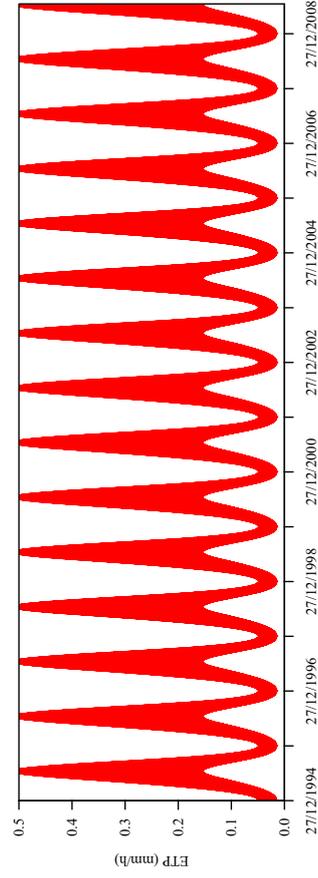
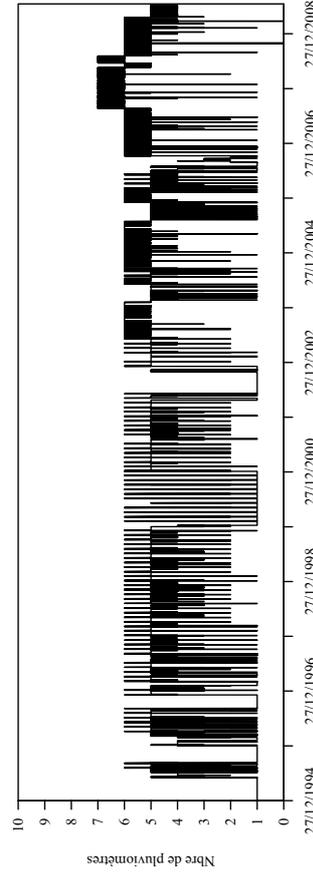
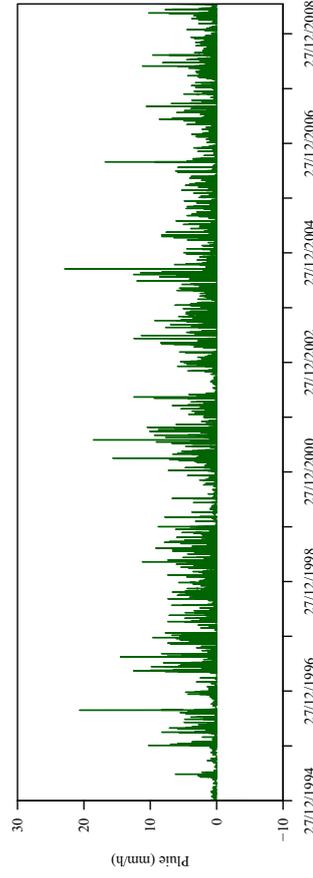
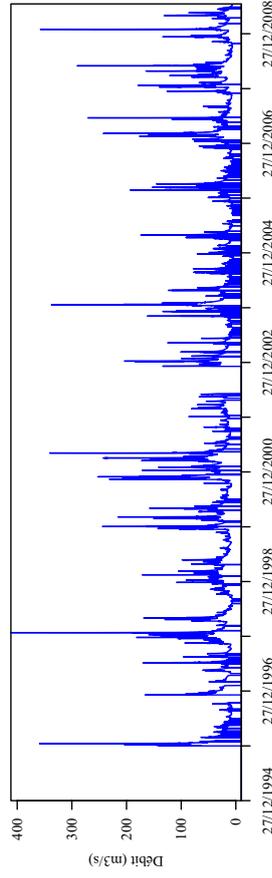


P7041510 Isle à Périgueux (PERI) (S=2160 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 6 (360 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P7041510	Périgueux (PERI)	01/06/1987	14/07/2009
P6342510	Cherveix-Cubas (CUBA)	01/12/1986	14/07/2009
P6081510	Corgnac-sur-Isle (CORGI)	01/12/1986	14/07/2009
P6234020	Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI)	01/12/1986	14/07/2009
P6222510	Lubersac (LUBE)	01/12/1986	14/07/2009
P7041590	Puy Roger (PUYR)	01/08/2007	14/07/2009
S7041510	Pluie Saffan du bassin		

P7041510 Isle à Périgueux (PERI) (S=2160 km²)

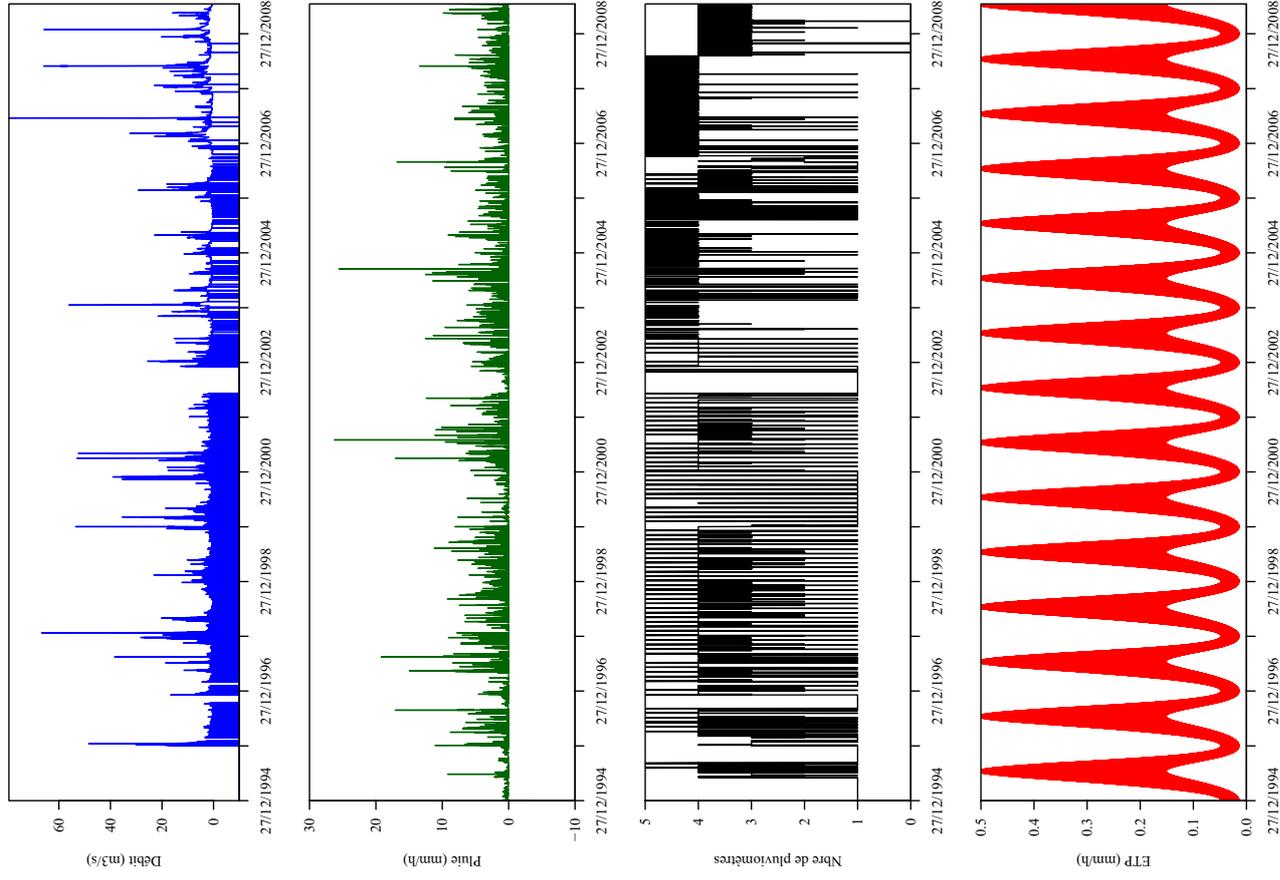


P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI) (S=203 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 4 (51 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P6342510	Cherveix-Cubas (CUBA)	01/12/1986	14/07/2009
P6081510	Cergnac-sur-Isle (CORG)	01/12/1986	14/07/2009
P6234020	Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI)	01/12/1986	14/07/2009
P6222510	Lubersac (LUBE)	01/12/1986	14/07/2009
S6234020	Pluie Saffan du bassin		

P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI) (S=203 km²)

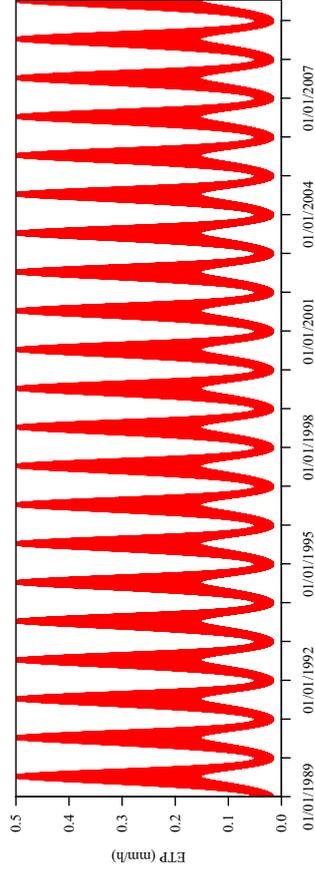
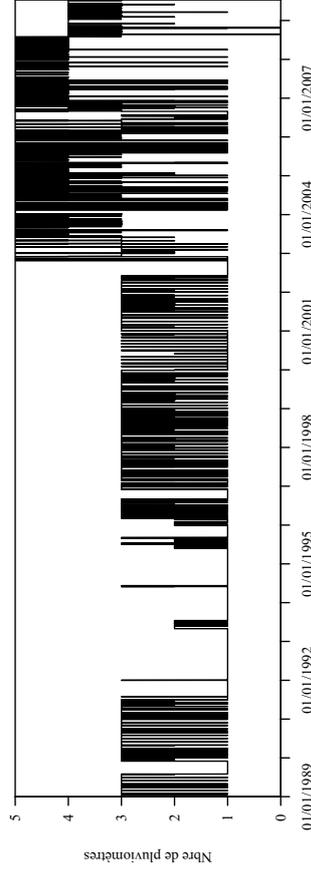
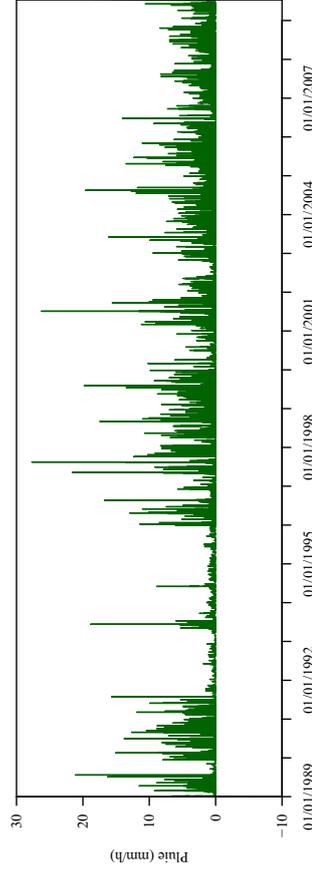
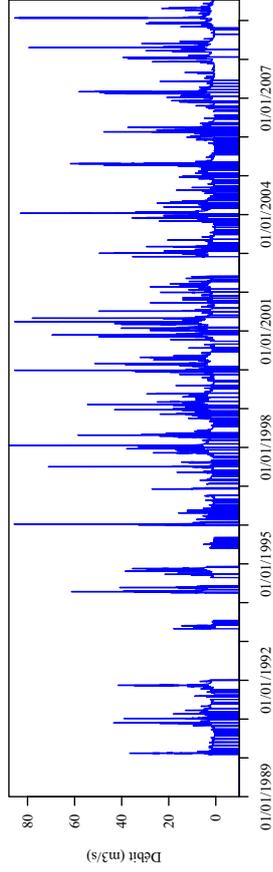


P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg] (PTBU) (S=257 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1990 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 4 (64 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P6222510	Lubersac (LUBEG)	01/12/1986	14/07/2009
P3274010	Saint-Viance (PTBU)	01/10/2002	14/07/2009
P3274090	Ayent (AYEN)	01/12/1986	14/07/2009
P3201010	Voutezac (LESA)	01/10/2002	14/07/2009
S3274010	Pluie Saffran du bassin		

P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg] (PTBU) (S=257 km²)



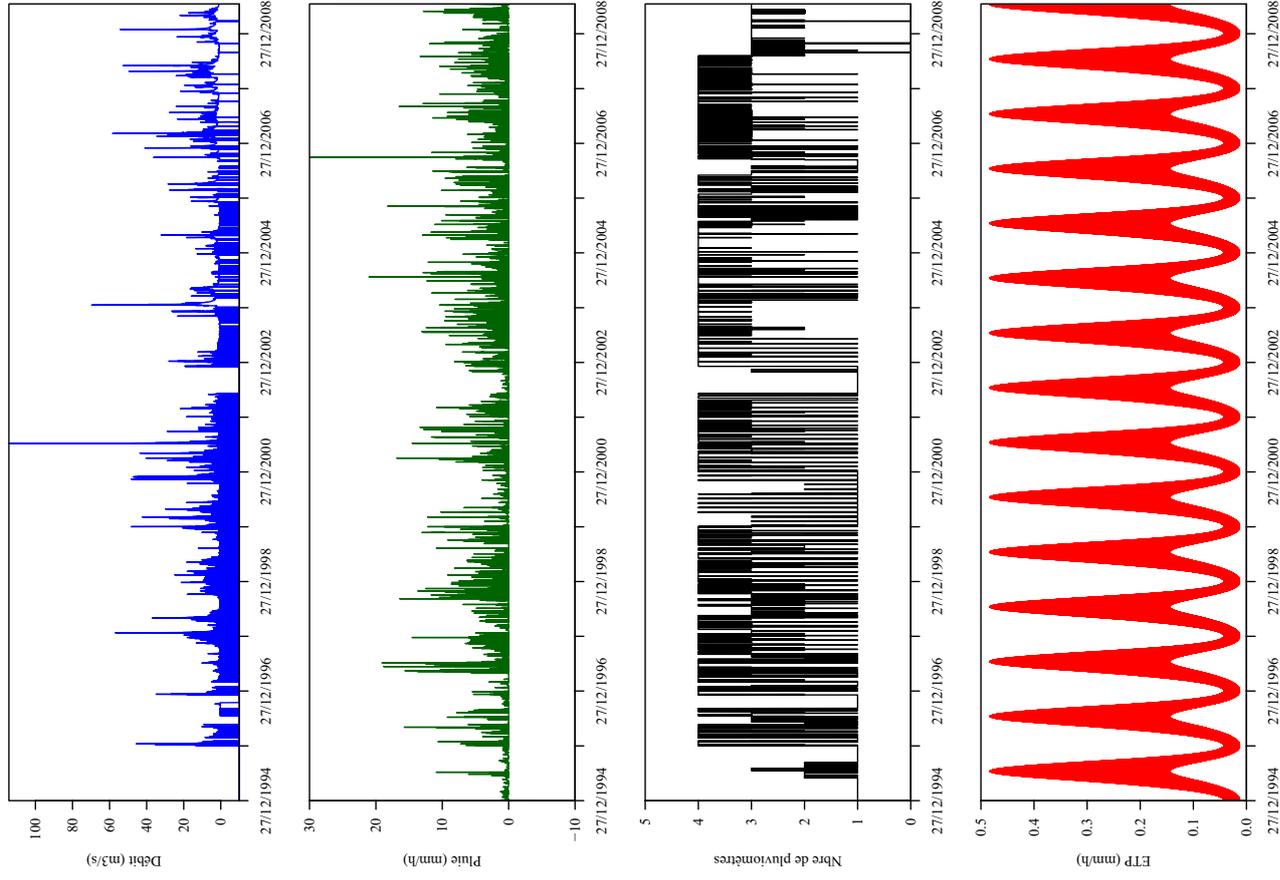
P3674010 Montane à Laguenne [Pont de la Pierre] (LAGU) (S=108 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 27/12/1995 – 14/07/2009

Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 3 (36 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3674010	Laguenne (LAGU)	27/12/1995	14/07/2009
P3352510	Cerzeze (CORR)	01/03/1989	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Désert (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
S3674010	Pluie Saffan du bassin		

P3674010 Montane à Laguenne [Pont de la Pierre] (LAGU) (S=108 km²)

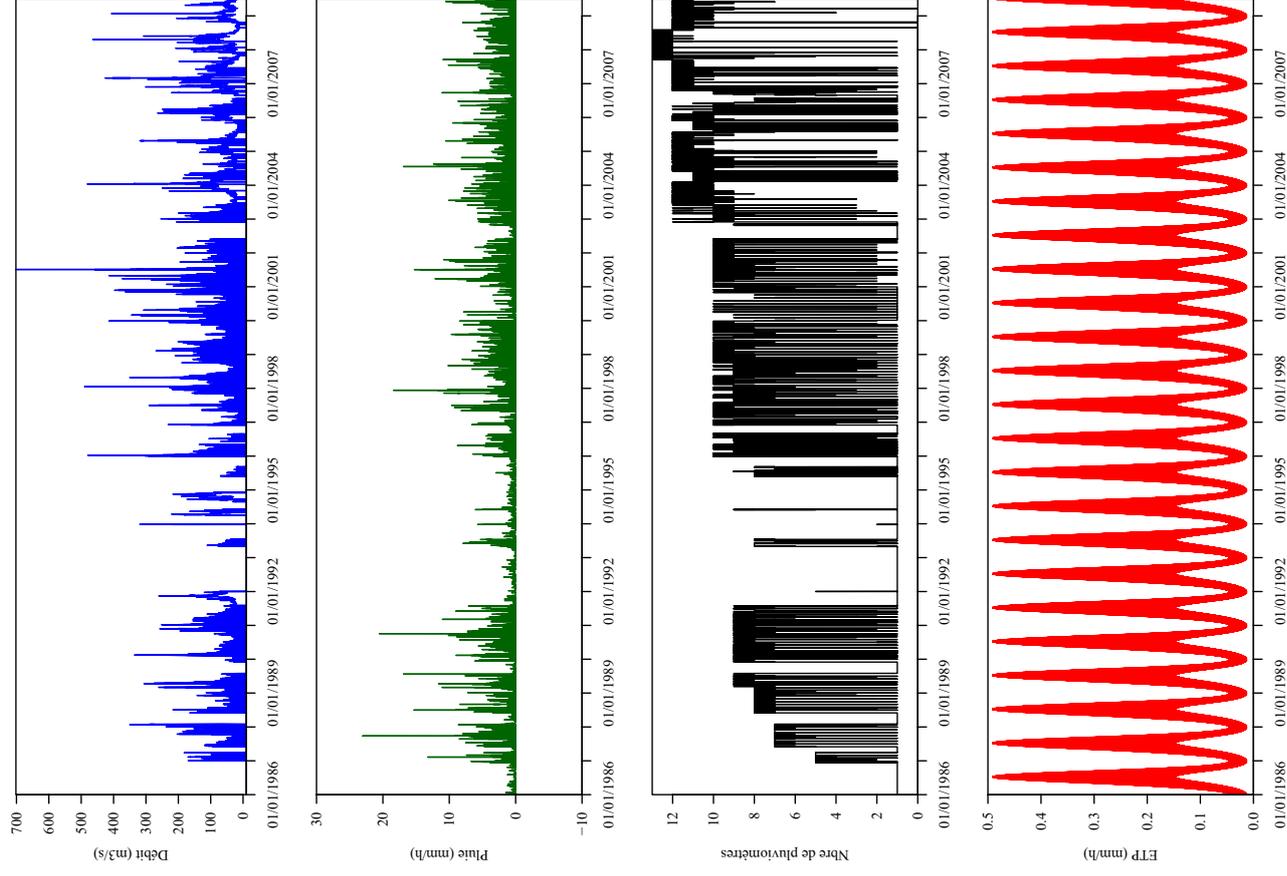


P4001010 Vézère à Larche (LARC) (S=2483 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1987 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 12 (207 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P4001010	Larche (LARC)	01/12/1986	14/07/2009
P3274010	Saint-Viance (PTBU)	01/10/2002	14/07/2009
P3201010	Vouzenc (LESA)	01/10/2002	14/07/2009
P3131020	Uzèze (UZER)	01/06/1988	14/07/2009
P3922320	Brive-la-Gaillarde (BRV)	01/12/1986	14/07/2009
P3922390	Bevat (BEYN)	01/06/1987	14/07/2009
P3802510	Tulle (TULL)	01/12/1986	14/07/2009
P3674010	Laguenne (LAGU)	27/12/1995	14/07/2009
P3131090	Sellhae (SEIL)	01/12/1986	14/07/2009
P3352510	Corze (CORR)	01/03/1989	14/07/2009
P3352510	Saint-Tréix-le-Déjant (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
P3331010	Prat (CRA)	01/08/2007	14/07/2009
S4001010	Plate Saffran du bassin		

P4001010 Vézère à Larche (LARC) (S=2483 km²)

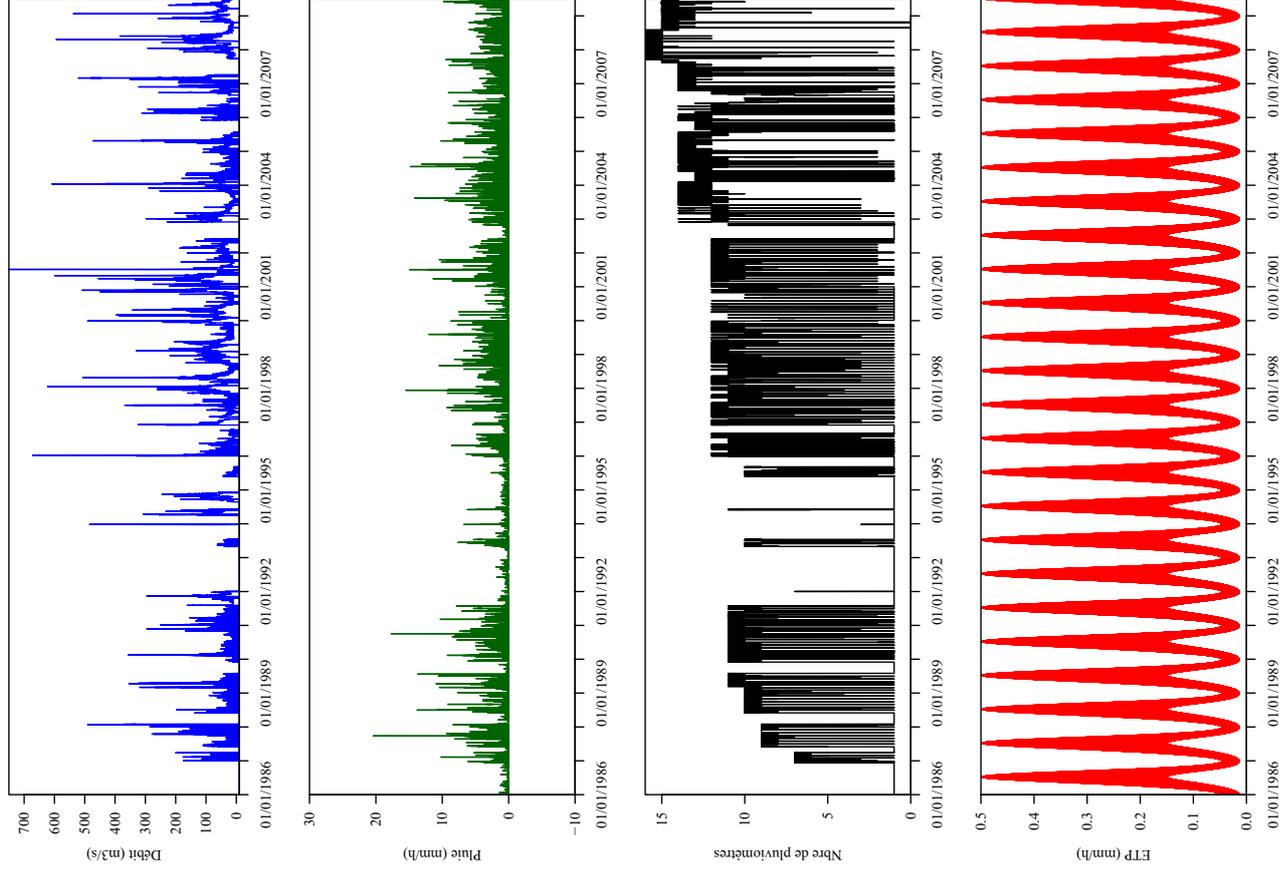


P4161010 Vézère à Montignac (MONT) (S=3165 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1987 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 15 (211 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P4161010	Montignac (MONT)	01/12/1986	14/07/2009
P4001010	Larche (LARC)	01/12/1986	14/07/2009
P3274010	Saint-Viance (PTBU)	01/10/2002	14/07/2009
P3274090	Ayent (AYEN)	01/12/1986	14/07/2009
P3201010	Voutezac (LESA)	01/10/2002	14/07/2009
P3131020	Uzerche (UZER)	01/06/1988	14/07/2009
P3922520	Brive-lb-Gaillarde (BRV)	01/12/1986	14/07/2009
P3922590	Beynat (BEYN)	01/06/1987	14/07/2009
P382510	Tulle (TULL)	01/12/1986	14/07/2009
P3674010	Lagnenne (LAGU)	27/12/1995	14/07/2009
P314090	Sellac (SELL)	01/12/1986	14/07/2009
P335210	Corbas (COR)	01/02/1986	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
P4001090	Grèzes (GREZ)	01/08/2007	14/07/2009
P3031090	Cirat (CIRA)	01/08/2007	14/07/2009
S4161010	Pluie Saffan du bassin		

P4161010 Vézère à Montignac (MONT) (S=3165 km²)

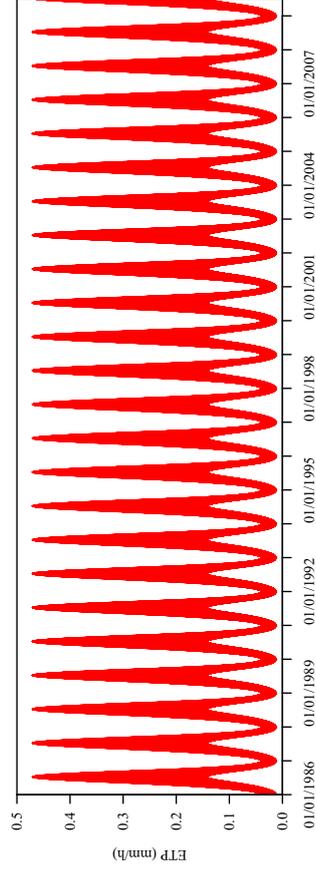
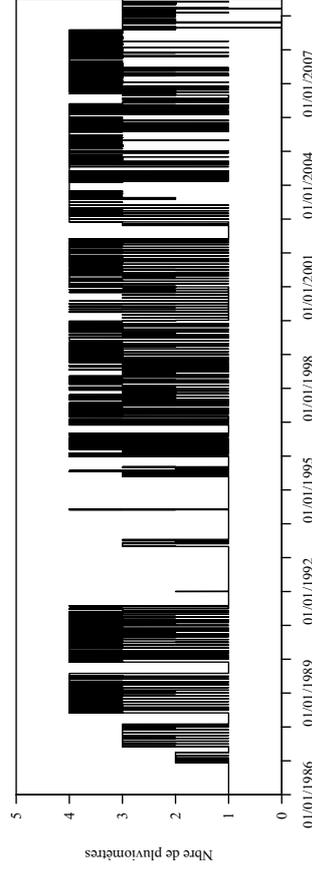
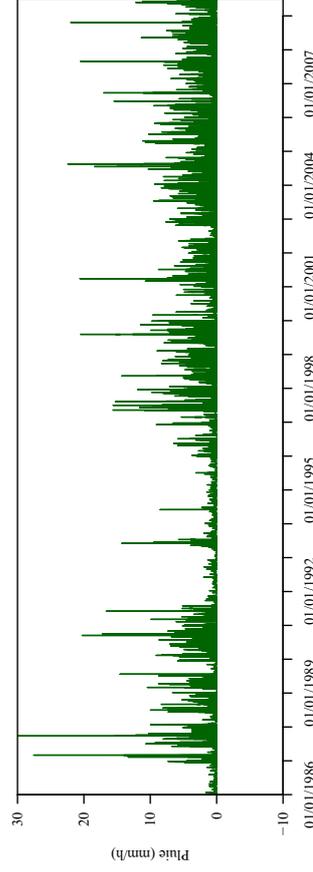
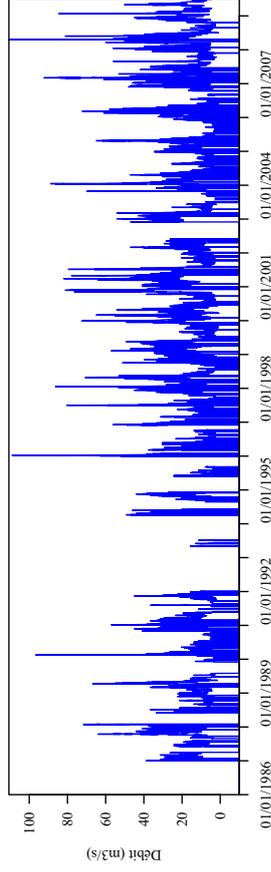


P3131020 Vézère à Uzerche (UZER) (S=601 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1987 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 3 (200 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3131020	Uzerche (UZER)	01/06/1988	14/07/2009
P3131090	Seilhac (SEIL)	01/12/1986	14/07/2009
P3322510	Saint-Yrieix-le-Désert (STYR)	01/06/1987	14/07/2009
S3131020	Pluie Safraan du bassin		

P3131020 Vézère à Uzerche (UZER) (S=601 km²)

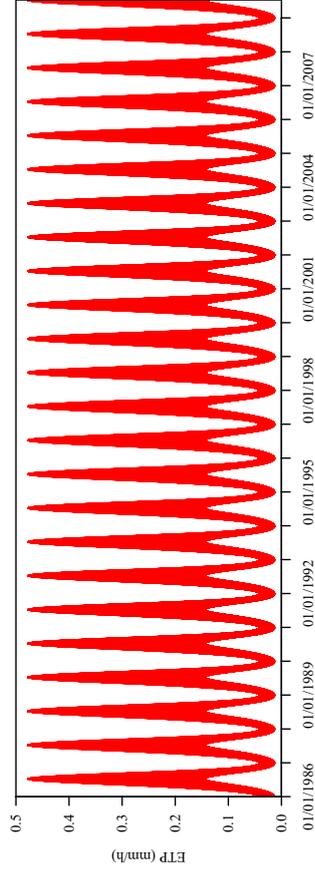
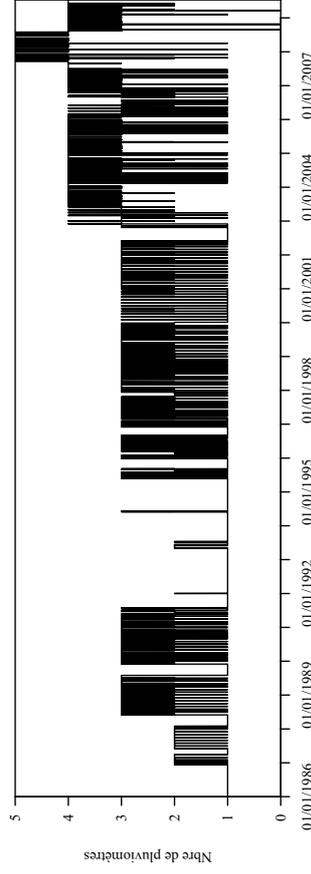
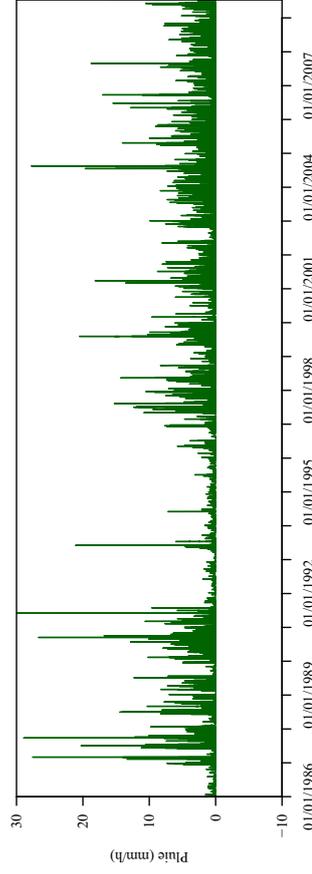
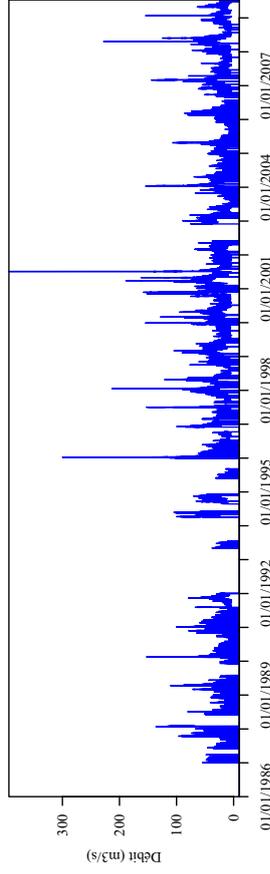


P3201010 Vézère à Voutezac [Le Saillant] (LESA) (S=963 km²)

Données hydrométriques disponibles sur la période : 01/01/1987 – 14/07/2009
 Nombre maximal de postes pluviométriques disponibles : 4 (241 km²/poste)

Code	Nom	Date début	Date fin
P3201010	Voutezac (LESA)	01/10/2002	14/07/2009
P3131020	Uzerche (UZER)	01/06/1988	14/07/2009
P3131090	Seilhac (SEIL)	01/12/1986	14/07/2009
P3031090	Cirat (CIRA)	01/08/2007	14/07/2009
S3201010	Pluie Safran du bassin		

P3201010 Vézère à Voutezac [Le Saillant] (LESA) (S=963 km²)



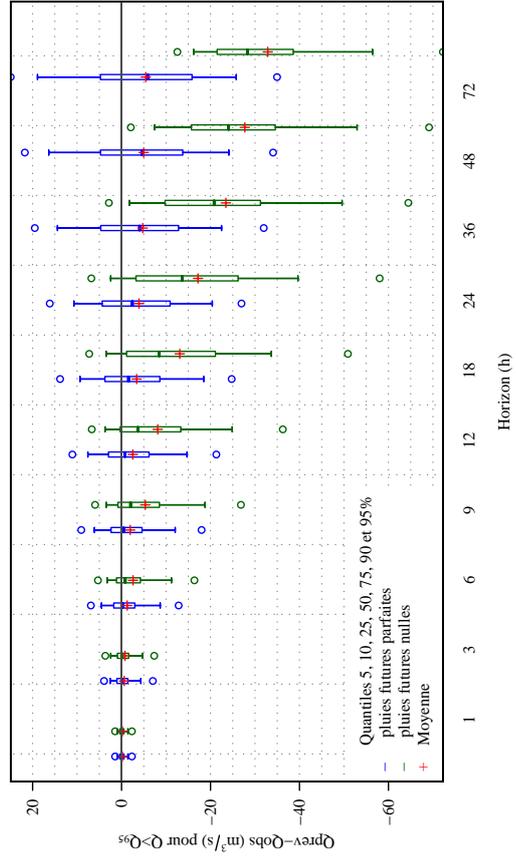
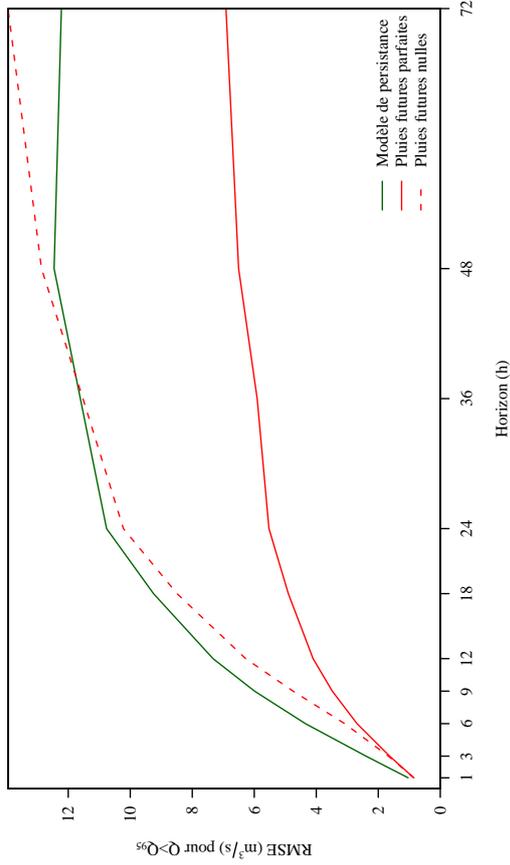
Annexe 3: Fiches synthétiques de résultats obtenus sur les 21 stations étudiées

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

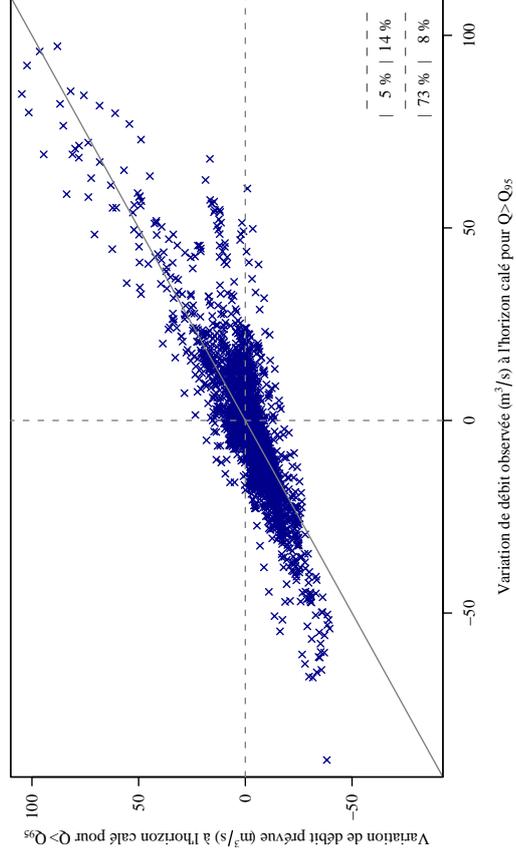
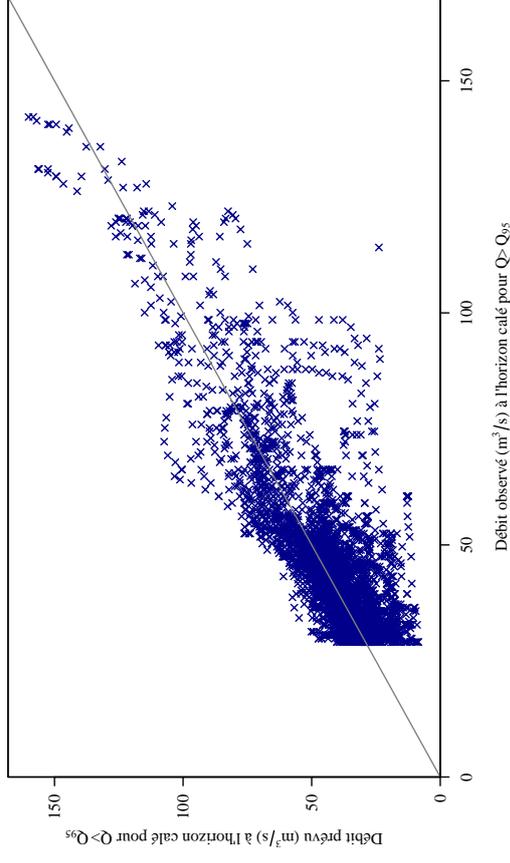
On retrouve sur ces fiches :

- un tableau récapitulatif 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 GR3P 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.

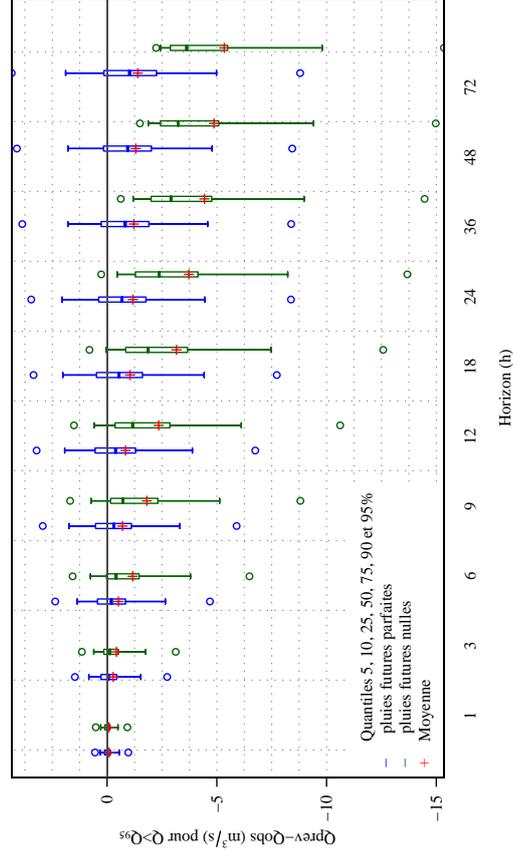
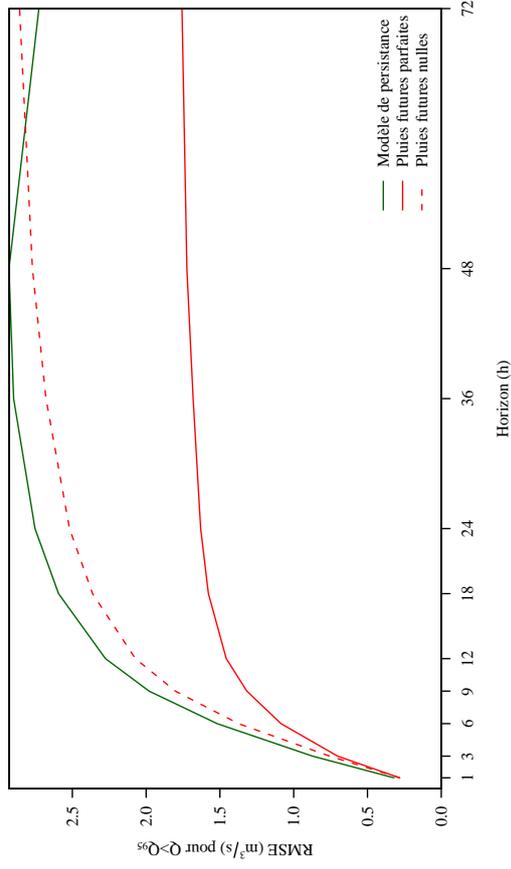
P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1995-2009	Q_{moy}	11.2 m ³ /s
Surface du bassin	591 km ²	Q_{95}	29.1 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	45.3 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.687			



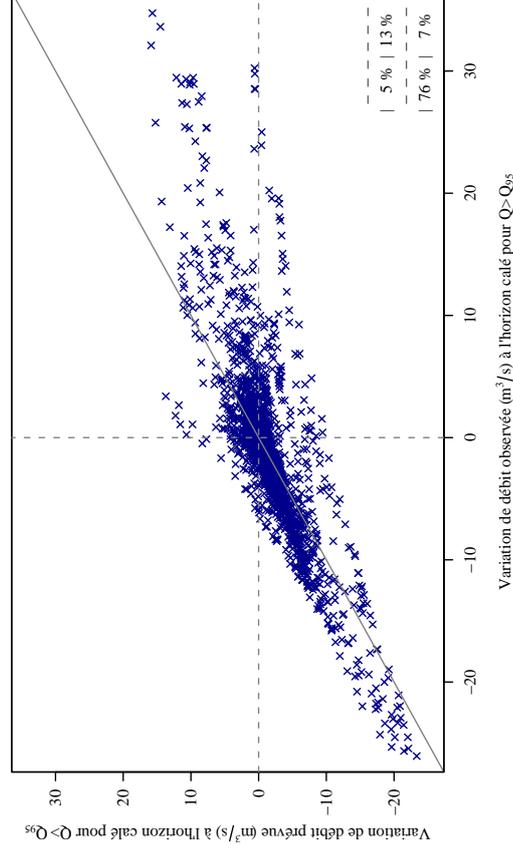
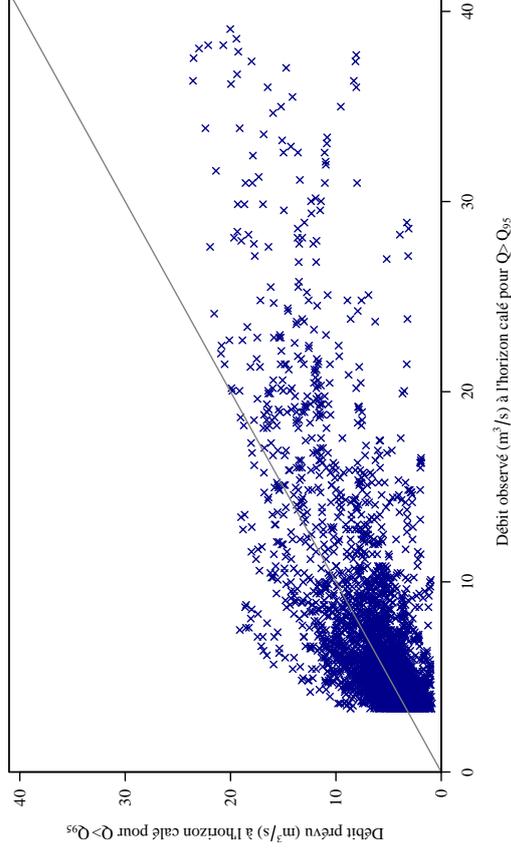
P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 24 m ³ /s à 12h			
Dépassement prévu	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
		a	b
Non-dépassement prévu	Non-dépassement observé	d	
		c	d
		631	291
		708	83850
		$POD = \frac{a}{a+c} = 47.1\%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 31.6\%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 38.7\%$	



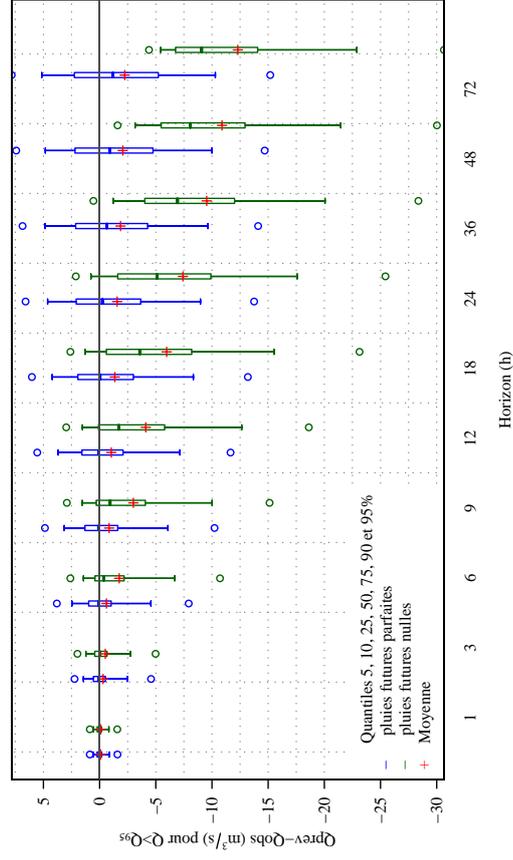
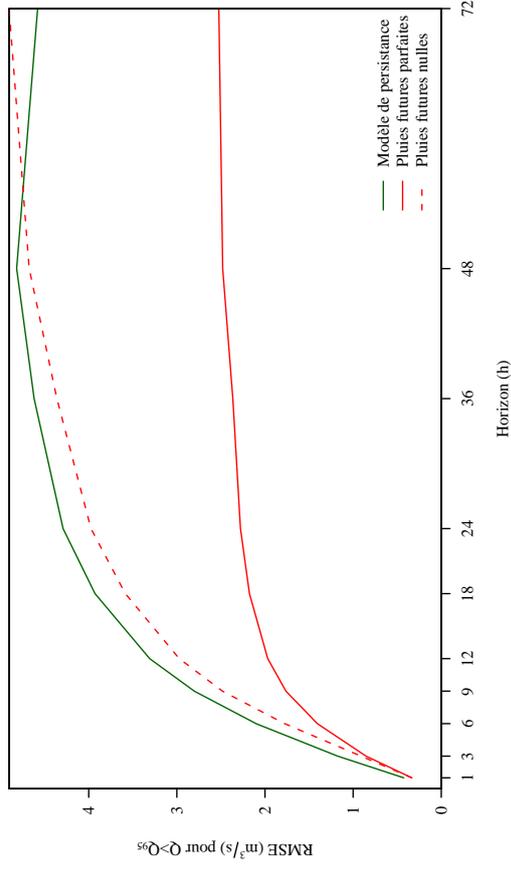
P6222510 Auvézère à Lubersac		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1996-2009	Q_{moy}	1.4 m ³ /s
Surface du bassin	112 km ²	Q_{95}	3.3 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	6.5 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.590			



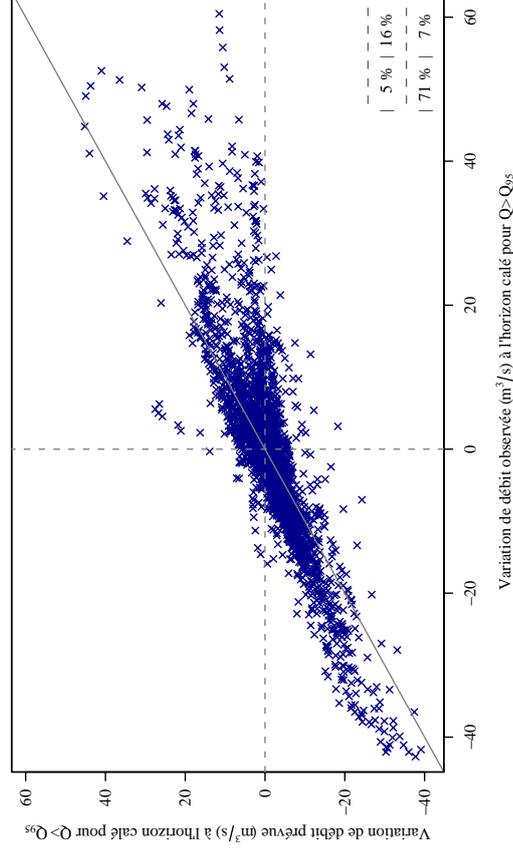
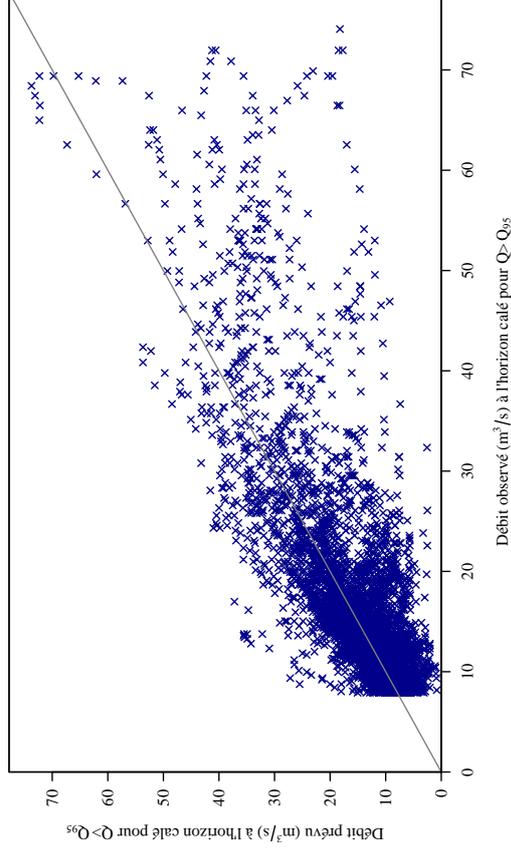
P6222510 Auvézère à Lubersac		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 14.5 m³/s à 12h			
Dépassement observé		Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	60	a	b
Non-dépassement prévu	171	c	d
		$POD = \frac{a}{a+c} = 26.0\%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 33.3\%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 23.0\%$	



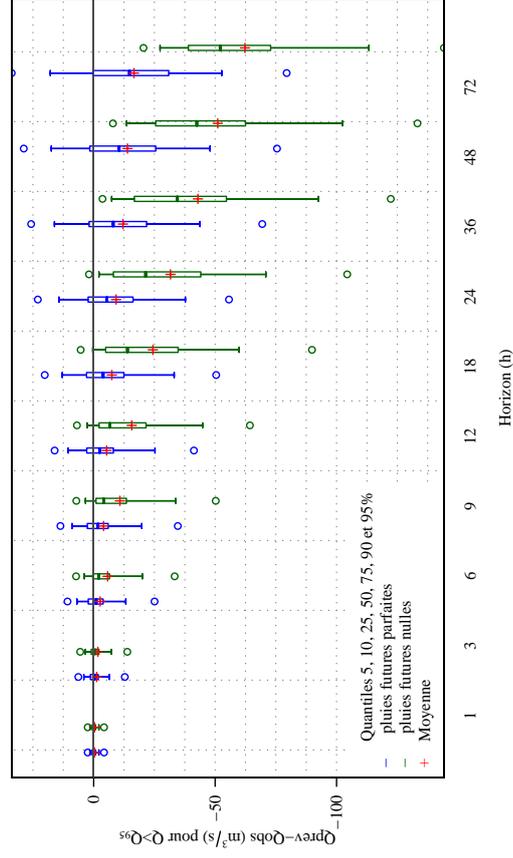
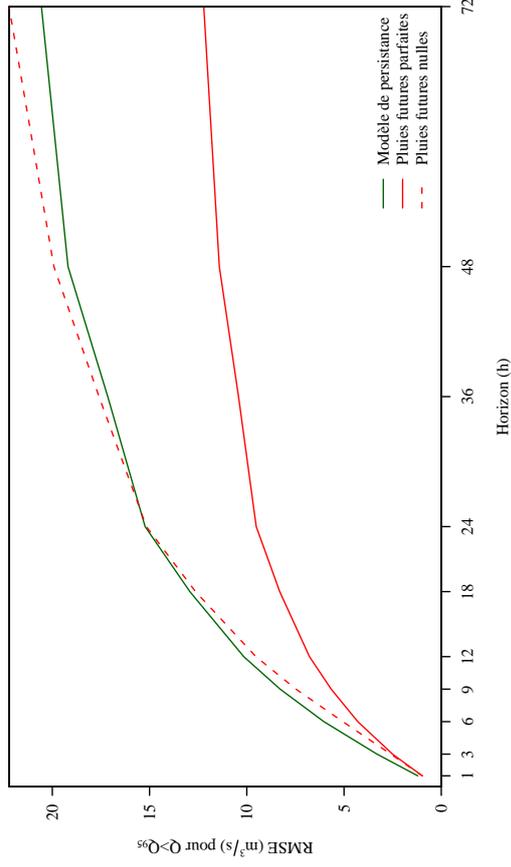
P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côte		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1987-2009	Q_{moy}	2.7 m ³ /s
Surface du bassin	173 km ²	Q_{95}	7.9 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	15.2 m ³ /s
Efficacité (Effic) (Q > Q ₉₅ , ref=modèle de persistance) 0.646			



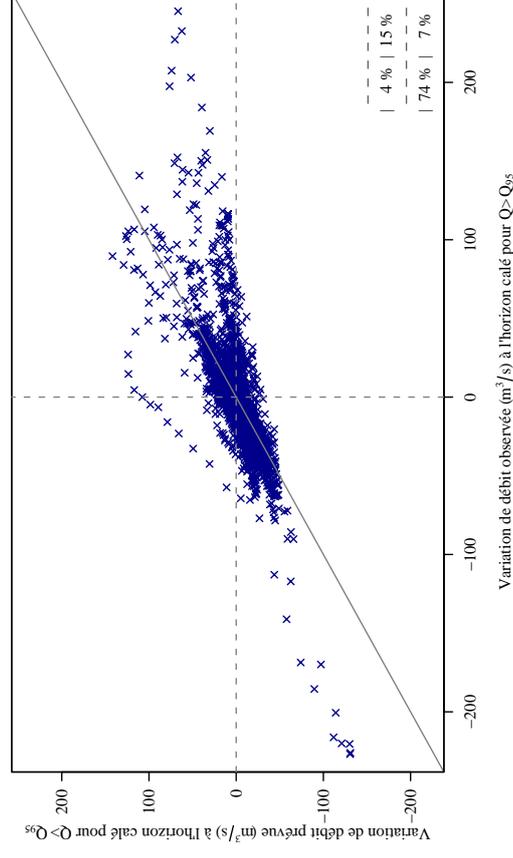
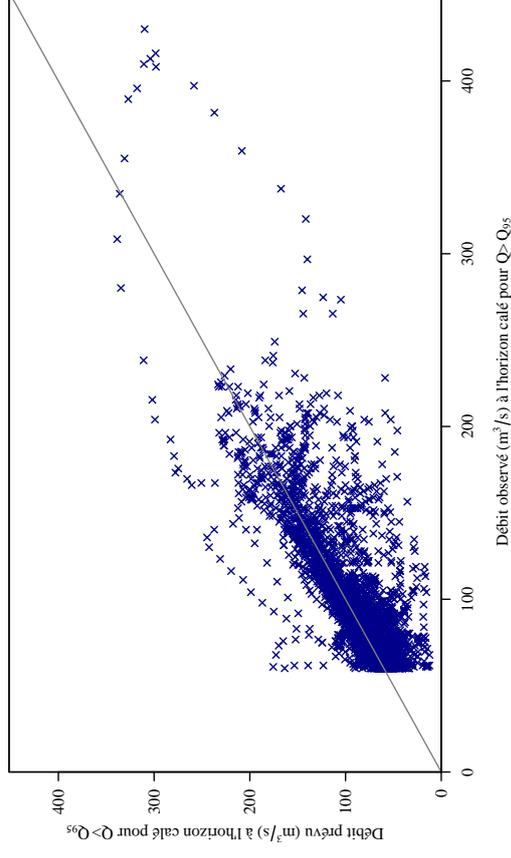
P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côte		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 26.7 m³/s à 12h			
Dépassement prévu	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
		a	b
Non-dépassement prévu	Non-dépassement observé	Non-dépassement observé	
		c	d
		160	34
		277	136123
		POD = $\frac{a}{a+c} = 36.6\%$	
		FAR = $\frac{b}{a+b} = 17.5\%$	
		CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 34.0\%$	



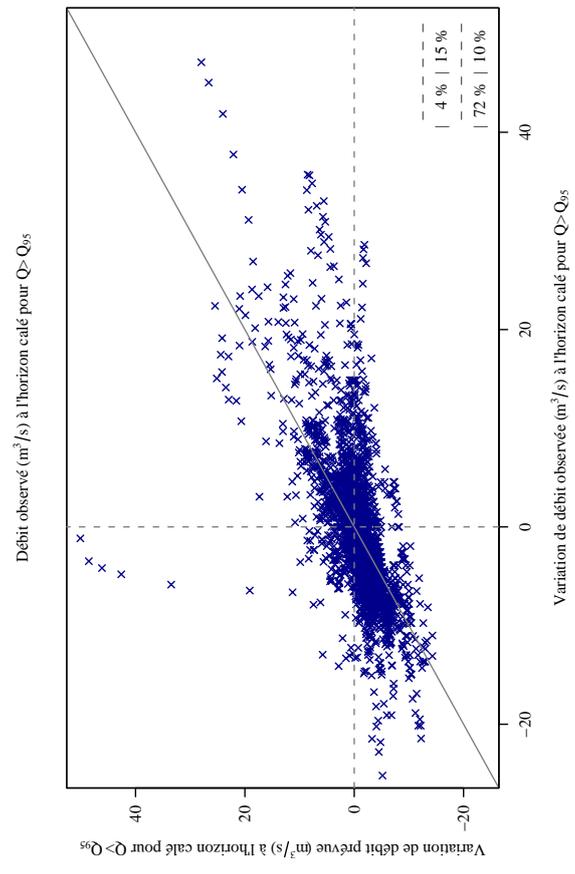
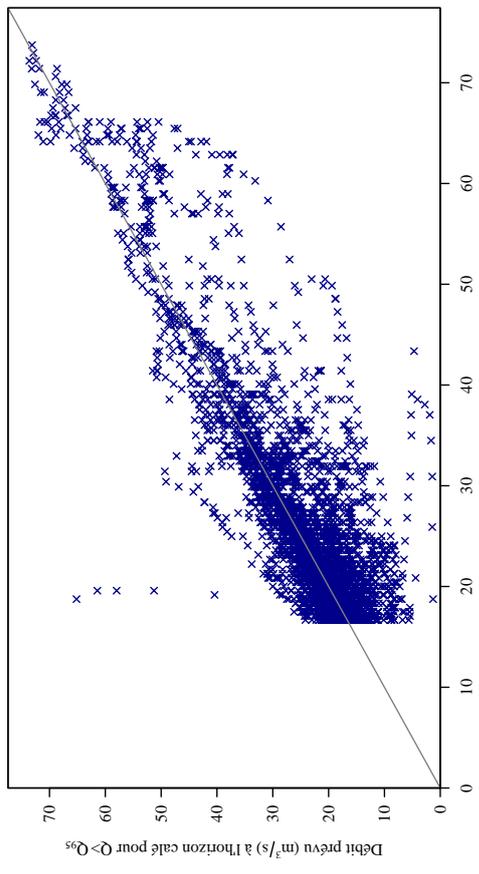
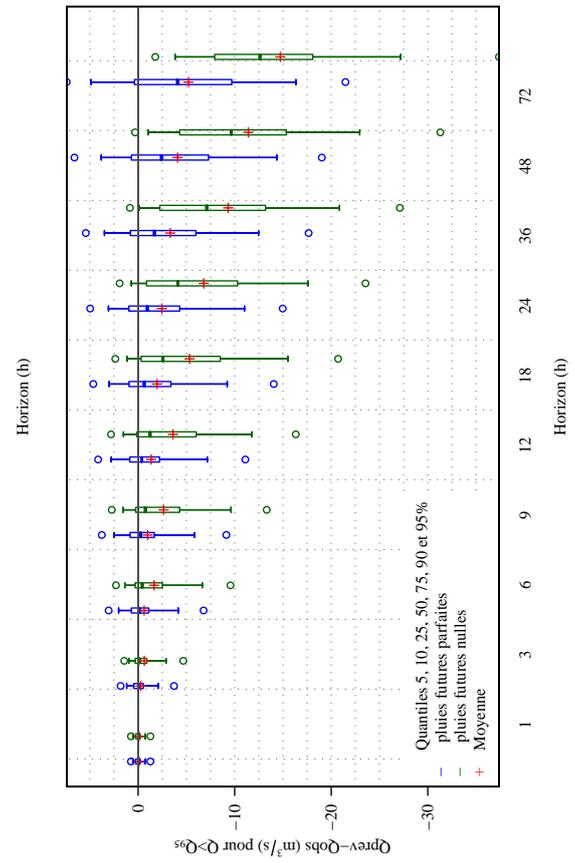
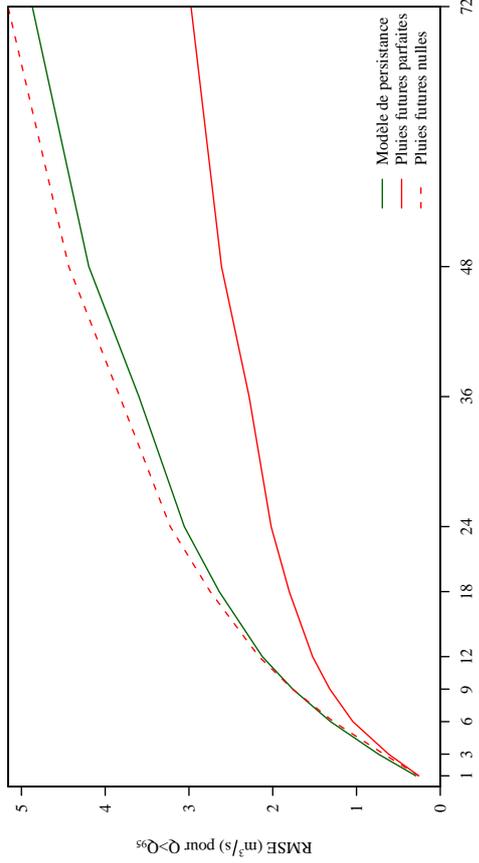
P3922520 Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Modèle : GRP	
Chronique disponible	1990-2009	Q_{moy}	20.8 m ³ /s
Surface du bassin	946 km ²	Q_{95}	60.0 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	90.5 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.555			



P3922520 Corrèze à Brive-la-Gaillarde [Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 207 m ³ /s à 12h			
Dépassement observé		Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	19	a	24
Non-dépassement prévu	56	c	115558
		d	
		CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 19.2\%$	
		POD = $\frac{a}{a+c} = 25.3\%$	
		FAR = $\frac{b}{a+b} = 55.8\%$	

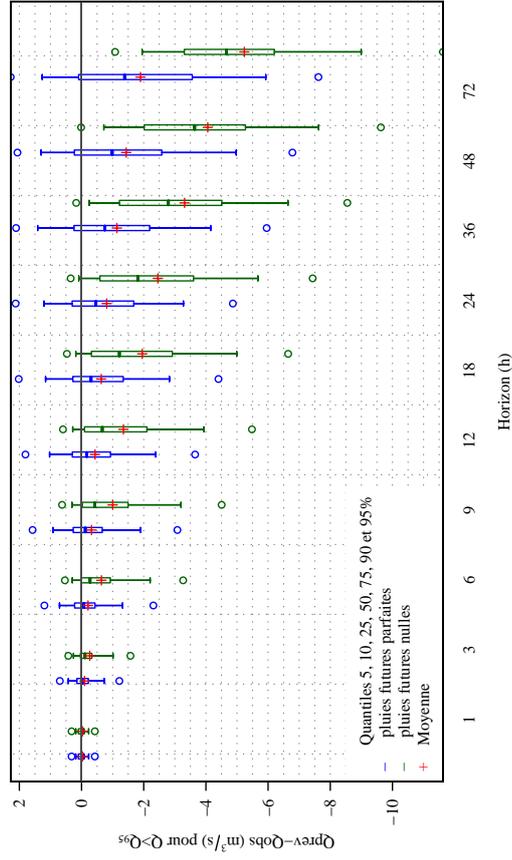
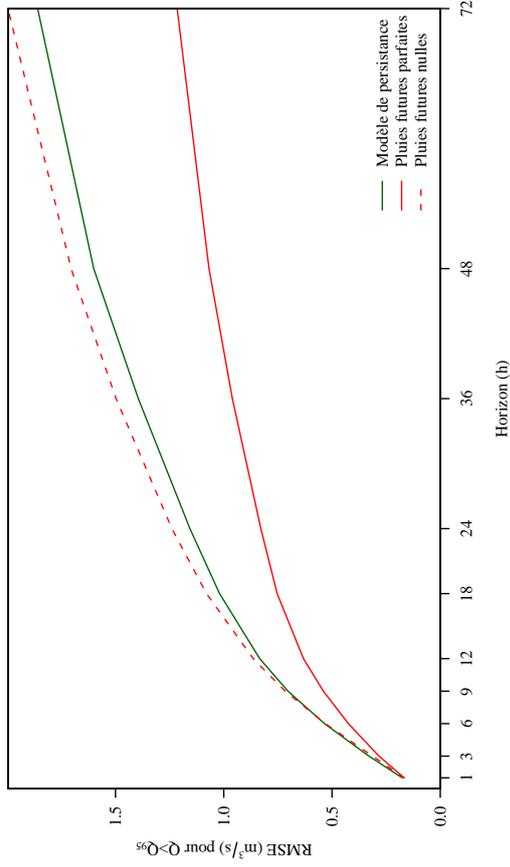


P3352510 Corréze à Corrèze [Pont de Neu]		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 36 m³/s à 12h			
Dépassement observé		Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	73	a	b
Non-dépassement prévu	150	c	d
		109404	
		32.7 %	
		17.0 %	
		30.7 %	

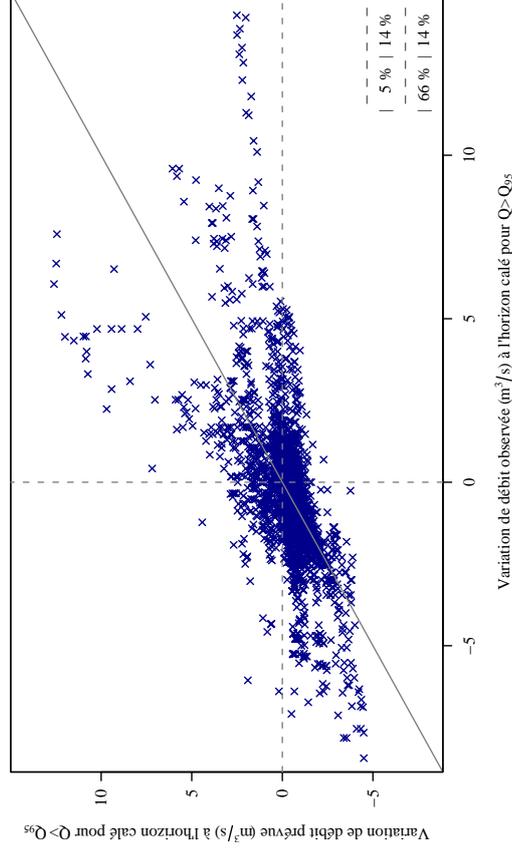
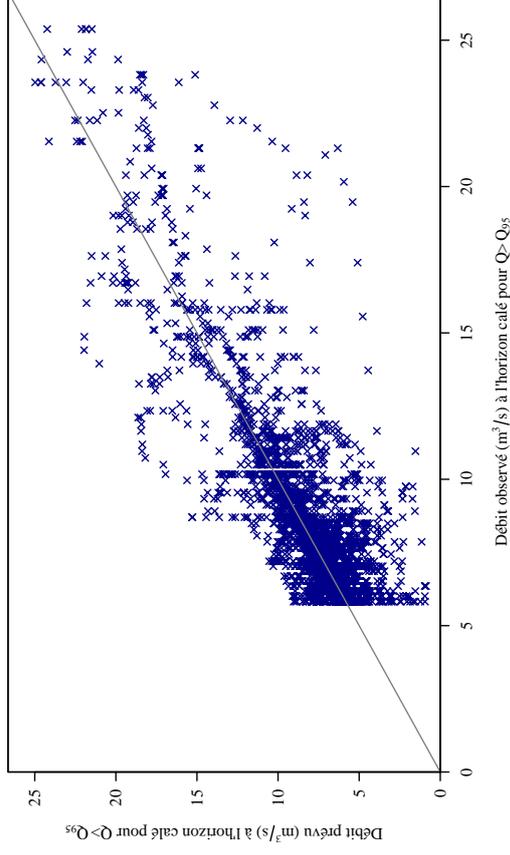


P3352510 Corréze à Corrèze [Pont de Neu]		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1990-2009	Q _{emoy}	6.1 m ³ /s
Surface du bassin	170 km ²	Q ₉₅	16.7 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	Q _{emoy} (Q > Q ₉₅)	25.3 m ³ /s
Eff (Q > Q ₉₅ , ref=modèle de persistance) 0.485			

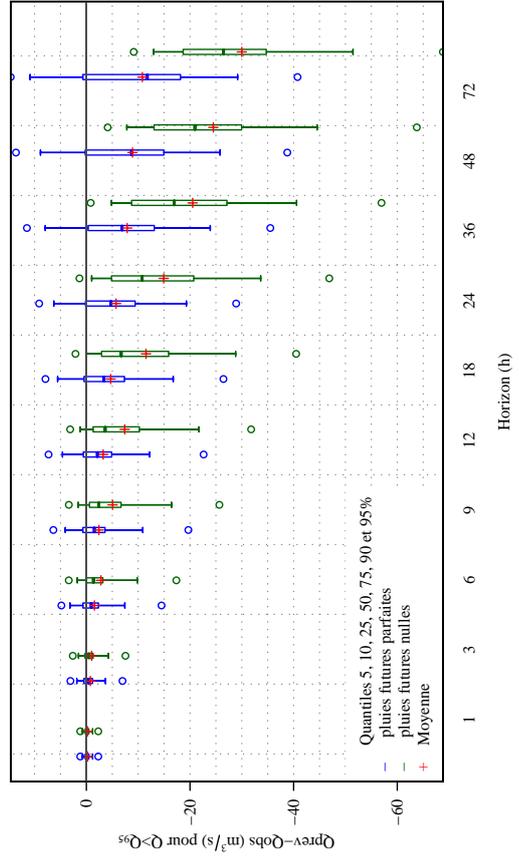
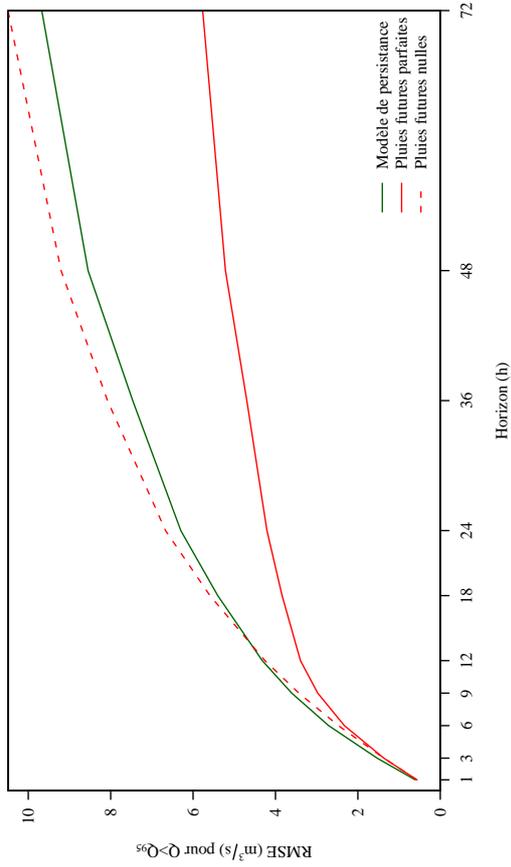
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déja		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1997-2009	Q_{moy}	1.9 m ³ /s
Surface du bassin	53 km ²	Q_{95}	5.8 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	8.5 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.426			



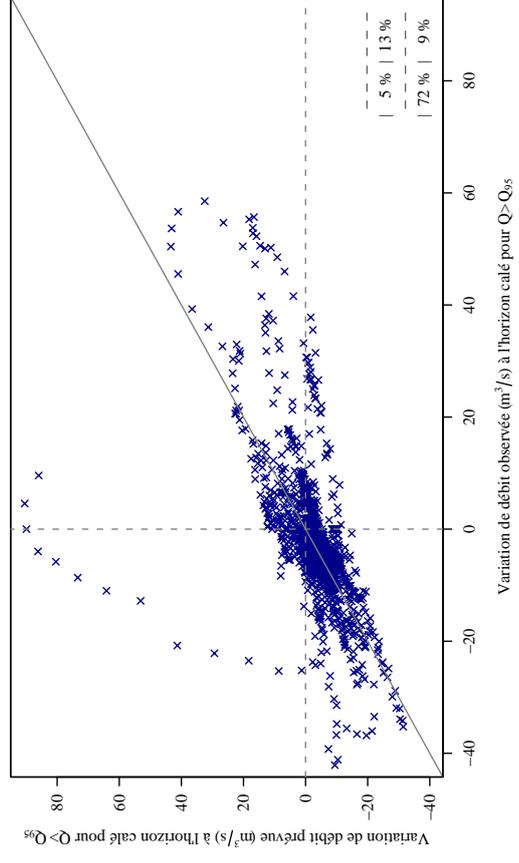
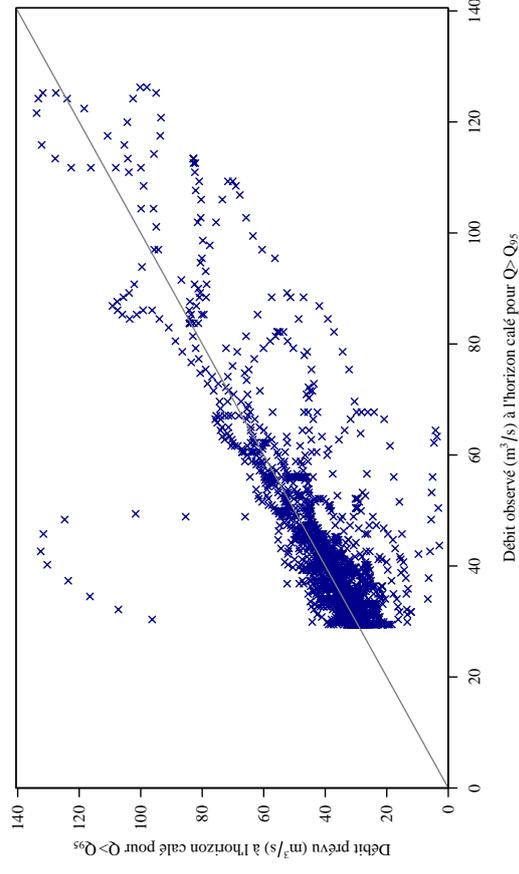
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déja		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 35 m ³ /s à 12h			
Dépassement observé		Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	0	a	b
Non-dépassement prévu	0	c	d
		76337	
		$POD = \frac{a}{a+c} = \text{NaN} \%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = \text{NaN} \%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = \text{NaN} \%$	



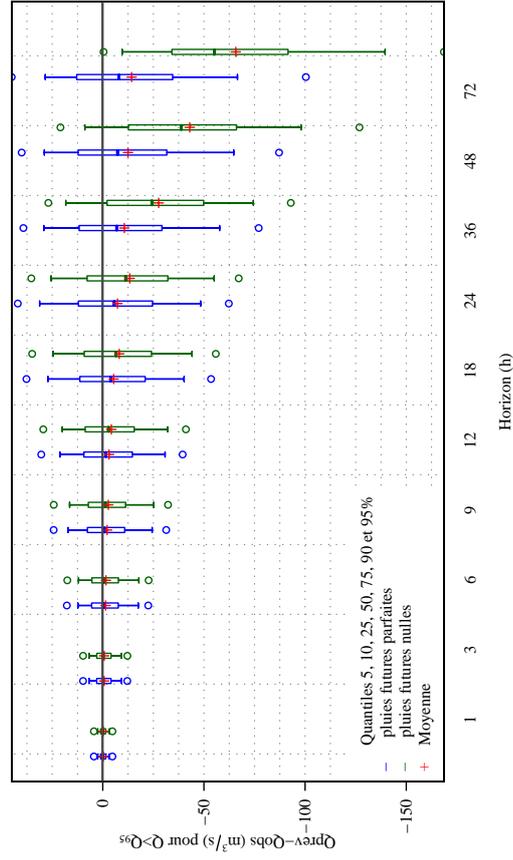
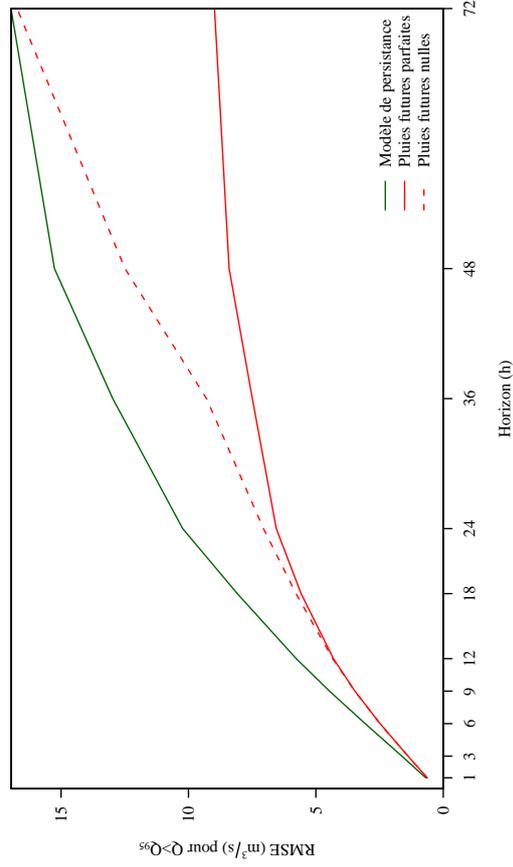
P3502510 Corrèze à Tulle [Pont des sold		Modèle : GRP	
Chronique disponible	2003-2009	Q_{moy}	9.1 m ³ /s
Surface du bassin	371 km ²	Q_{95}	29.5 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	44.2 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.383			



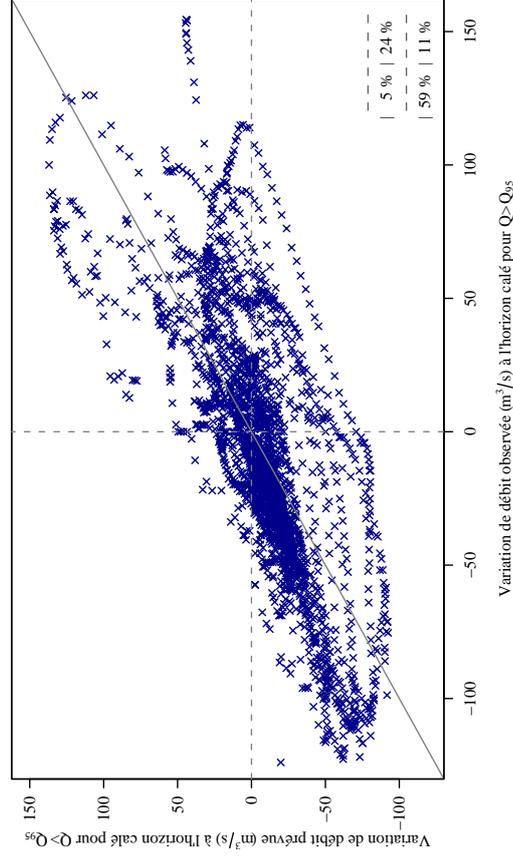
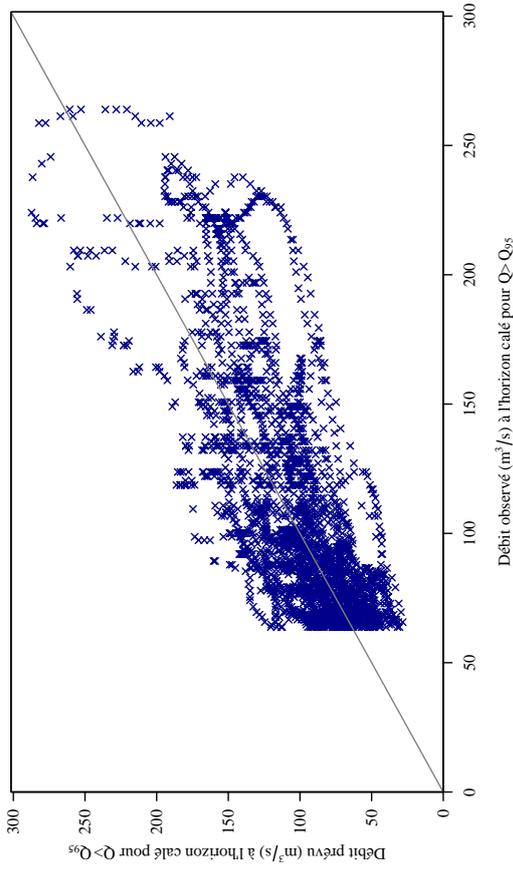
P3502510 Corrèze à Tulle [Pont des sold		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 86 m ³ /s à 12h			
Dépassement prévu	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
		a	b
Non-dépassement prévu	Non-dépassement observé	c	d
		13	11
		36862	
		$POD = \frac{a}{a+c} = 28.3\%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 45.8\%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 22.8\%$	



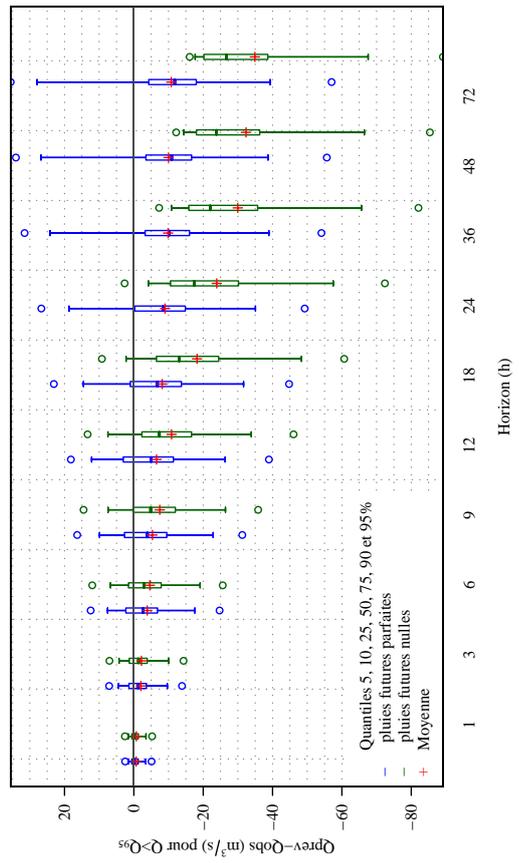
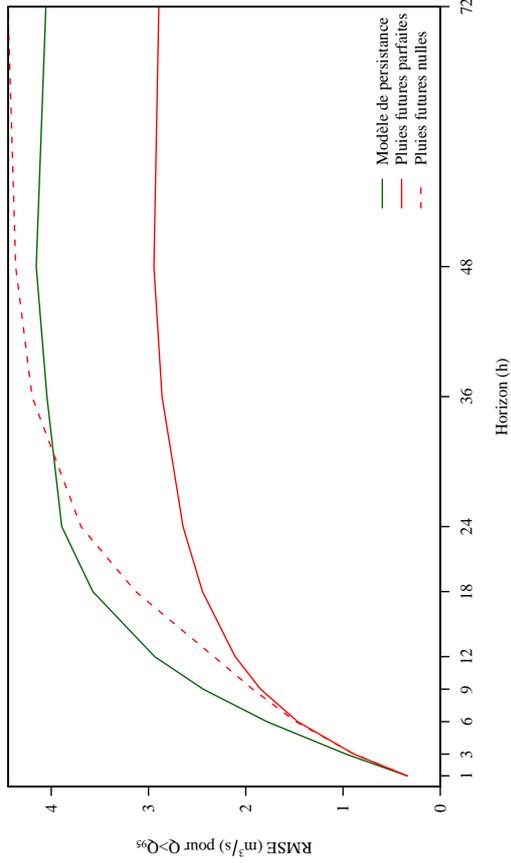
P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1995-2009	Q_{moy}	26.9 m ³ /s
Surface du bassin	1888 km ²	Q_{95}	63.8 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	24 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	111.7 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.589			



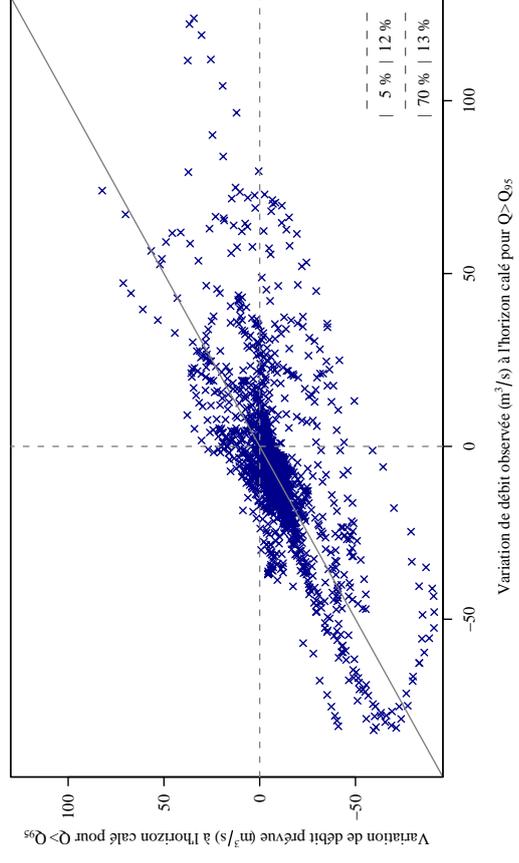
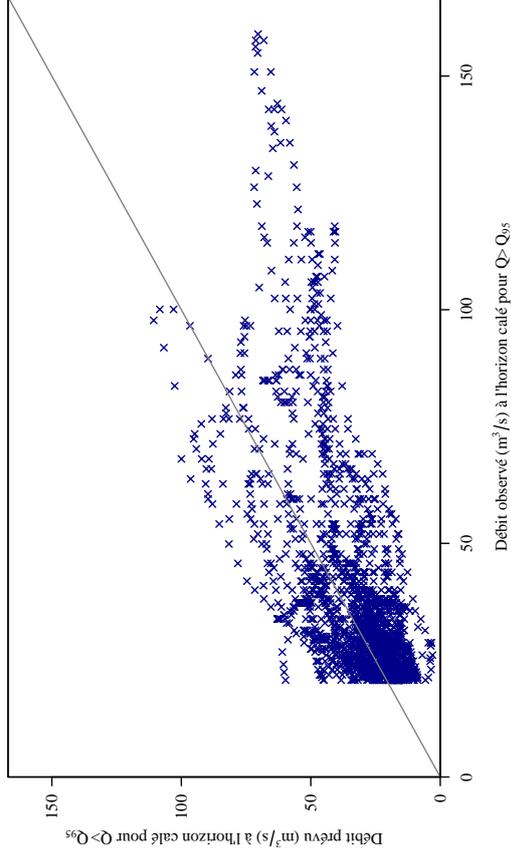
P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 110 m ³ /s à 24h			
Dépassement prévu	Dépassement observé	Non-dépassement observé	$POD = \frac{a}{a+c} = 44.7\%$
			$FAR = \frac{b}{a+b} = 22.8\%$
Non-dépassement prévu	Non-dépassement observé	Non-dépassement observé	$CSI = \frac{a}{a+b+c} = 39.5\%$



P8102520 Drome à Brantôme		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1987-2009	Q_{moy}	6.2 m ³ /s
Surface du bassin	612 km ²	Q_{95}	20.7 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	39.8 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.484			



P8102520 Drome à Brantôme		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 24 m ³ /s à 12h			
Dépassement observé	a	Non-dépassement observé	b
	240		193
Dépassement prévu	c	Non-dépassement prévu	d
	358		34575
POD = $\frac{a}{a+c} = 40.1\%$		FAR = $\frac{b}{a+b} = 44.6\%$	
CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 30.3\%$			

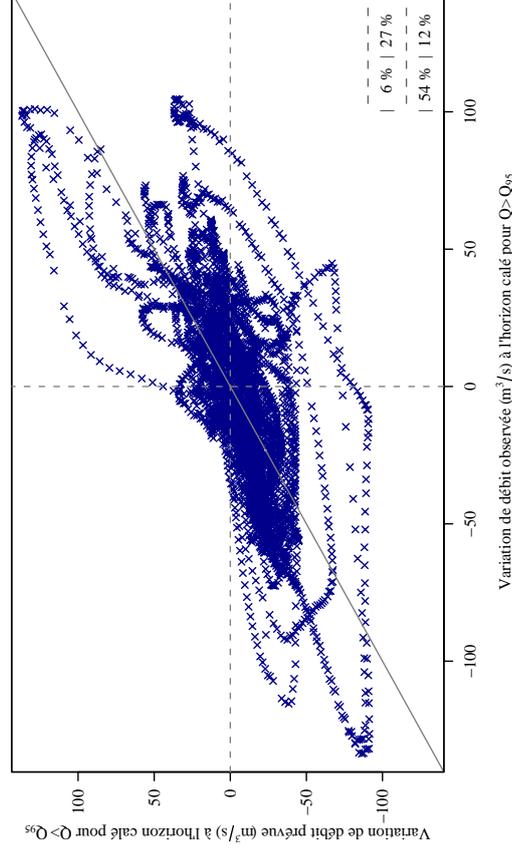
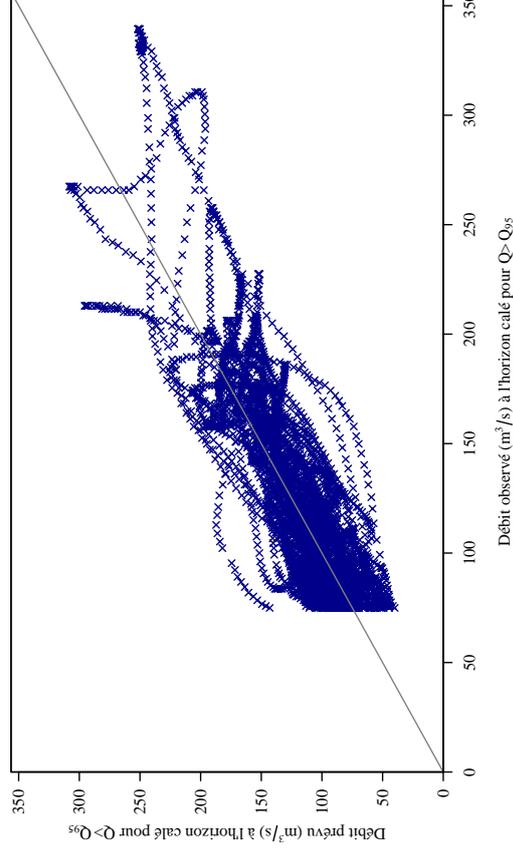
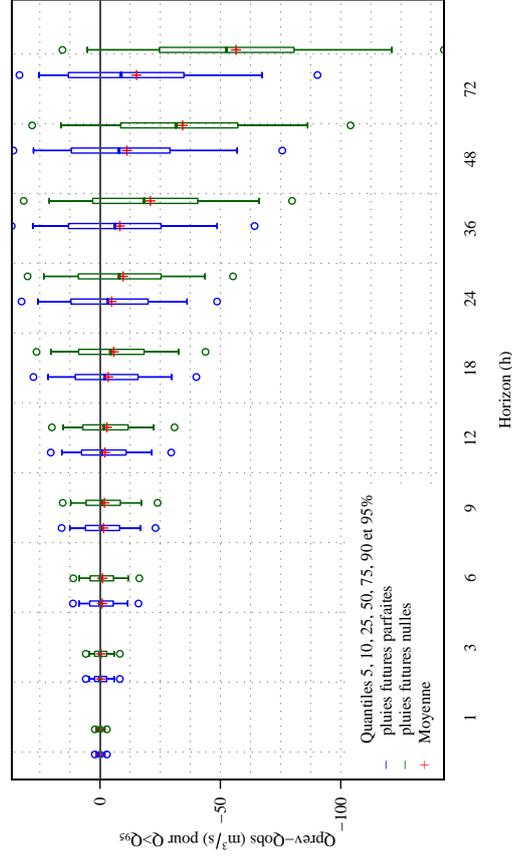
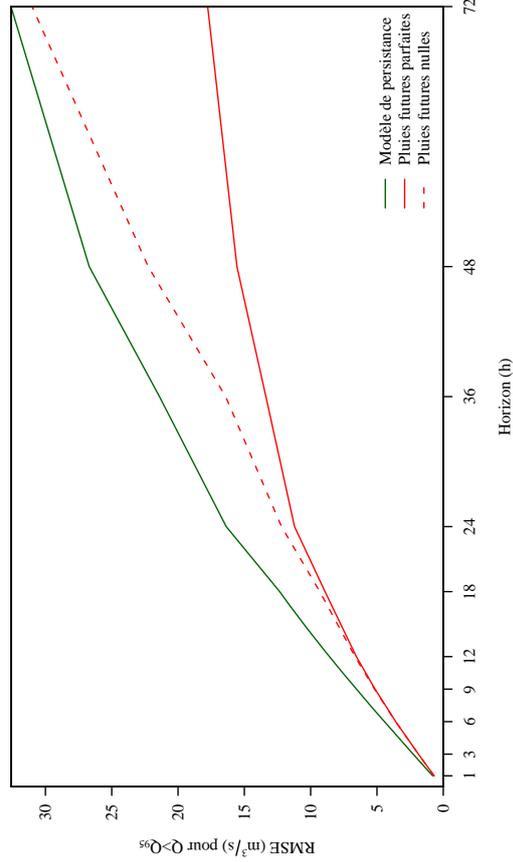


P8462510 Dronne à Coutras

Chronique disponible		1995-2009	Q_{moy}	$26.3 \text{ m}^3/\text{s}$
Surface du bassin		2799 km^2	Q_{95}	$74.9 \text{ m}^3/\text{s}$
Horizon de prévision utilisé pour le calage		24 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	$128.2 \text{ m}^3/\text{s}$
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.530				

P8462510 Dronne à Coutras

Dépassement prévu		247	a	Non-dépassement observé	b	Modèle : GRP	
Non-dépassement prévu		306	c	95879	d	Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de $131 \text{ m}^3/\text{s}$ à 24h	
						$POD = \frac{a}{a+c} = 44.7 \%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 11.5 \%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 42.2 \%$	

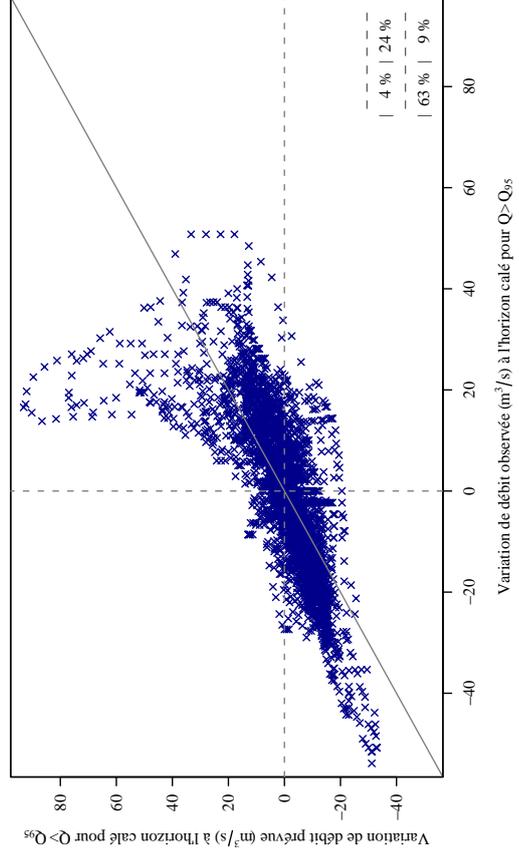
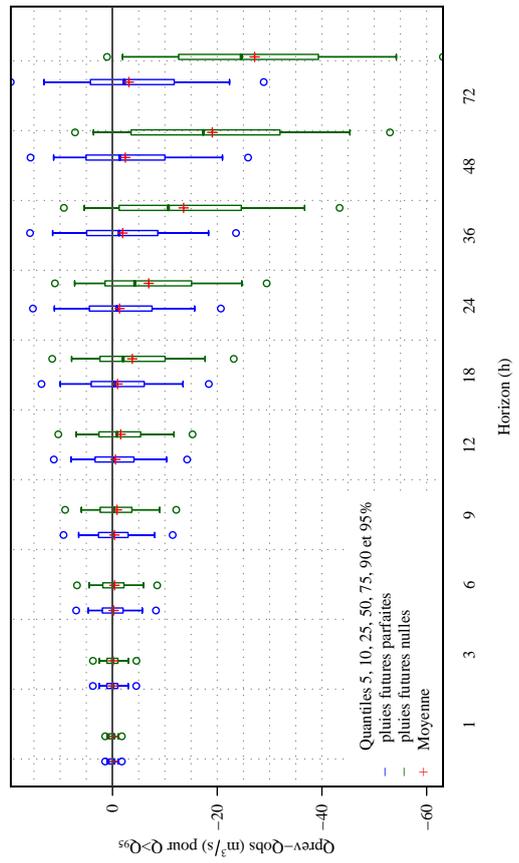
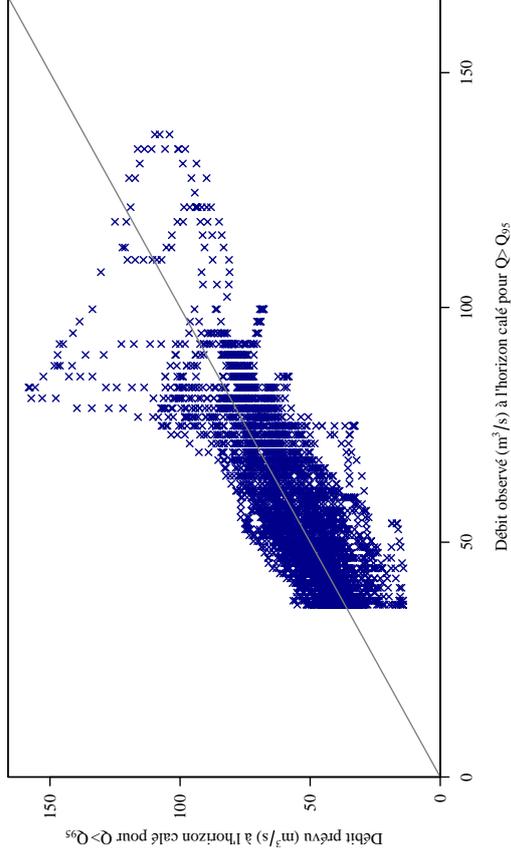
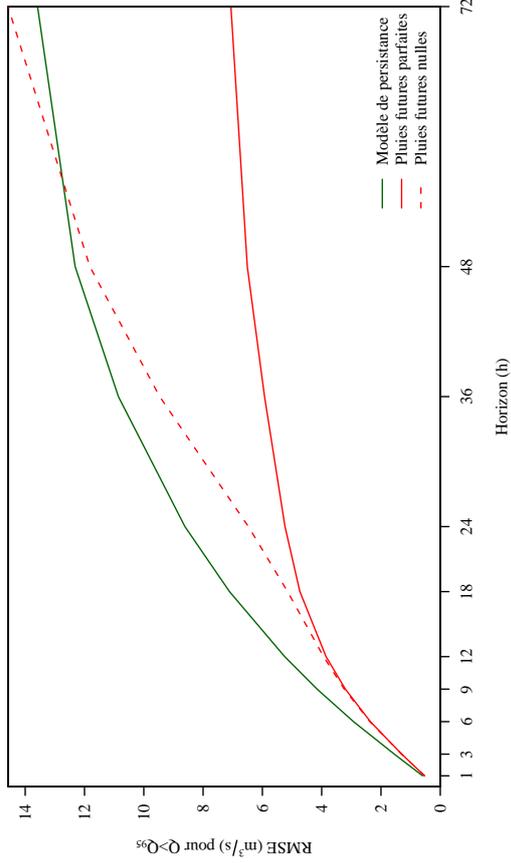


P8162510 Drome à Ribérac

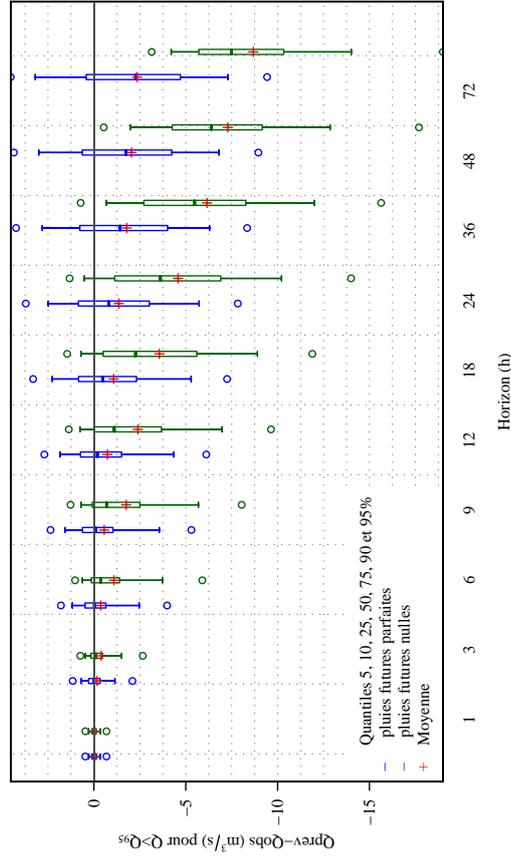
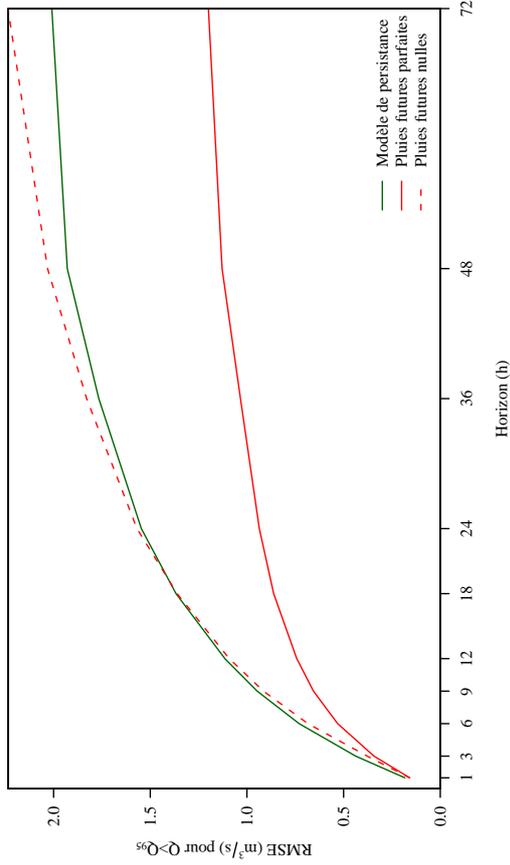
Chronique disponible	1995-2009	Q_{moy}	13.7 m ³ /s
Surface du bassin	1095 km ²	Q_{95}	36.7 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	18 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	54.9 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.556			

P8162510 Drome à Ribérac

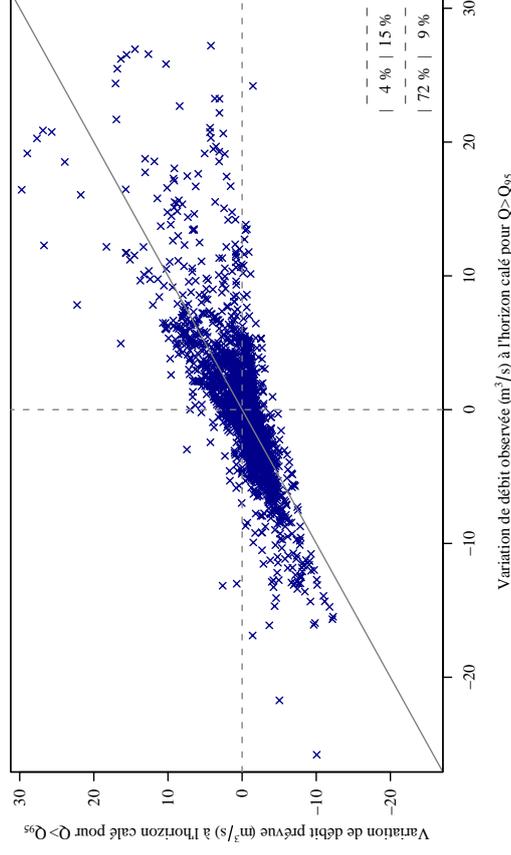
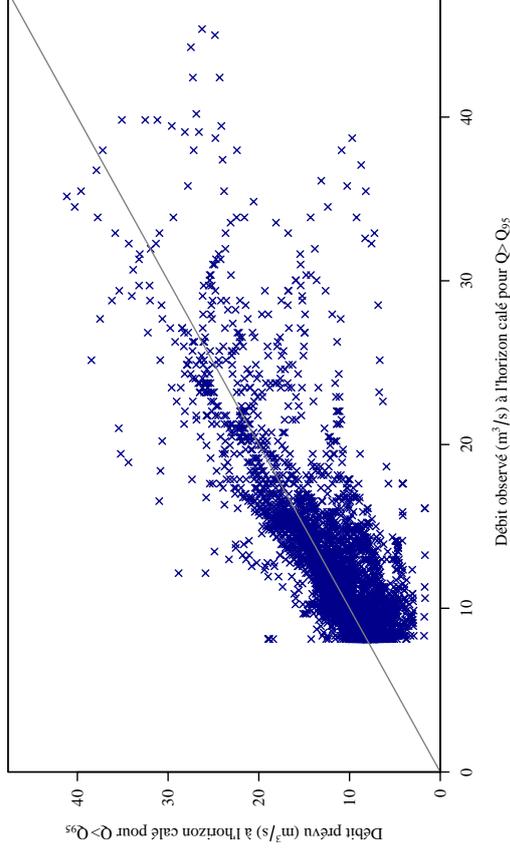
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 60 m ³ /s à 18h			
Dépassement prévu	318	a	
Non-dépassement prévu	296	c	
Dépassement observé	36	b	
Non-dépassement observé	97962	d	
$POD = \frac{a}{a+c} = 51.8 \%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 10.2 \%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 48.9 \%$			



P8022520 Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivi		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1987-2009	Q_{moy}	2.8 m ³ /s
Surface du bassin	175 km ²	Q_{95}	8.1 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	12.3 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.556			



P8022520 Dronne à Saint-Pardoux-la-Rivi		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 11.7 m³/s à 12h			
Dépassement prévu	Dépassement observé	Non-dépassement observé	Non-dépassement observé
		a	
Non-dépassement prévu	Dépassement observé	a	b
		c	d
		277	133
		505	98669
POD = $\frac{a}{a+c}$ = 35.4 %		FAR = $\frac{b}{a+b}$ = 32.4 %	
CSI = $\frac{a}{a+b+c}$ = 30.3 %			



P7261510 Isle à Abzac

Chronique disponible 1994-2009
 Surface du bassin 3745 km²
 Horizon de prévision utilisé pour le calage 24 h

Q_{emoy} 41.5 m³/s
 Q₉₅ 129.0 m³/s
 Q_{emoy}(Q>Q₉₅) 202.3 m³/s

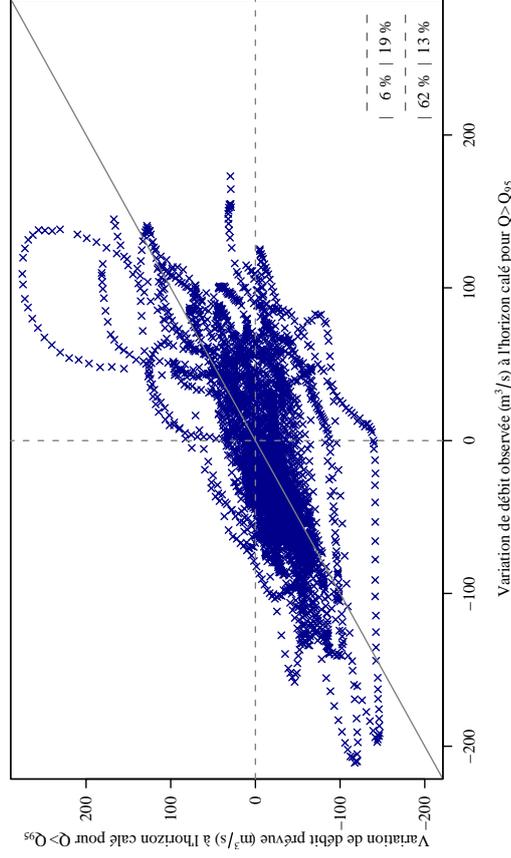
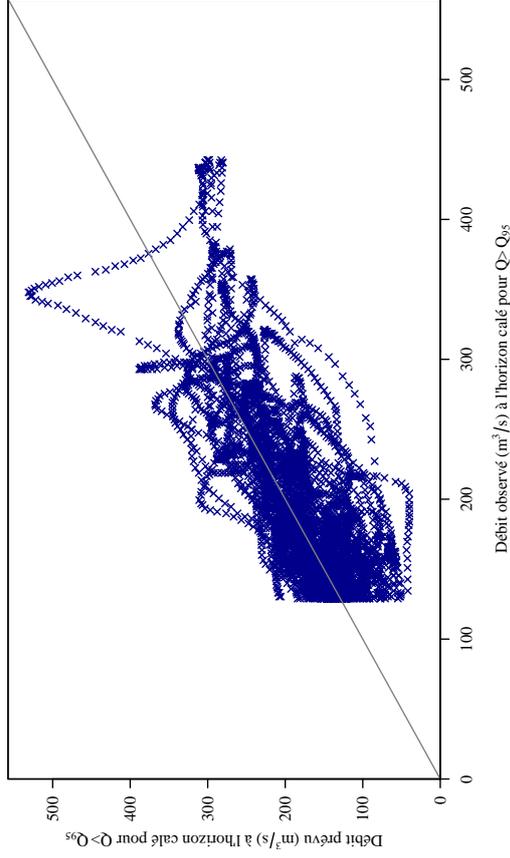
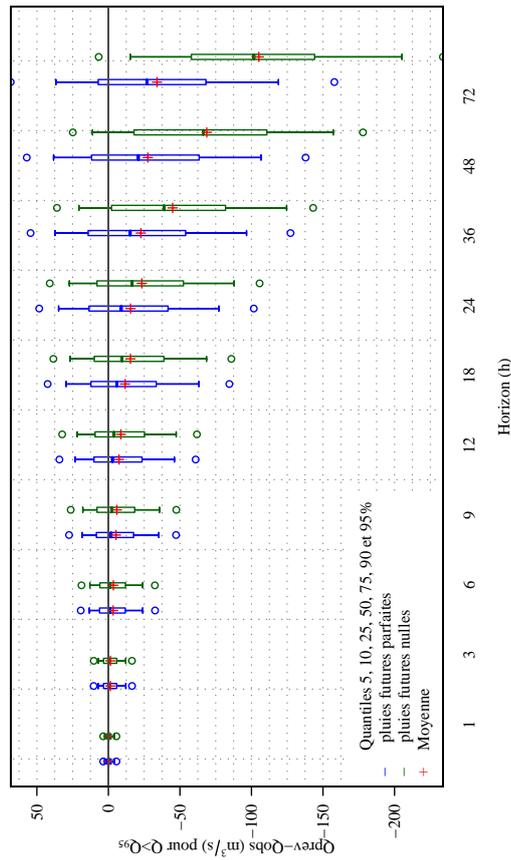
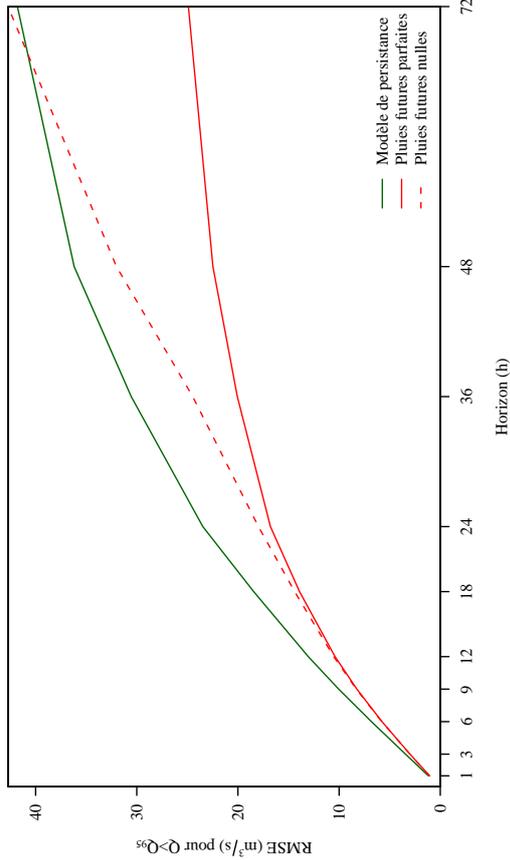
Eff (Q>Q₉₅, ref=modèle de persistance) 0.488

P7261510 Isle à Abzac

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 198 m³/s à 24h

Dépassement observé		Non-dépassement observé		Dépassement prévu		Non-dépassement prévu	
a	b	c	d	e	f	g	h
264	43	446	95516	446	95516	264	43
POD = $\frac{a}{a+c} = 37.2\%$		FAR = $\frac{b}{a+b} = 14.0\%$		CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 35.1\%$			

Modèle : GRP



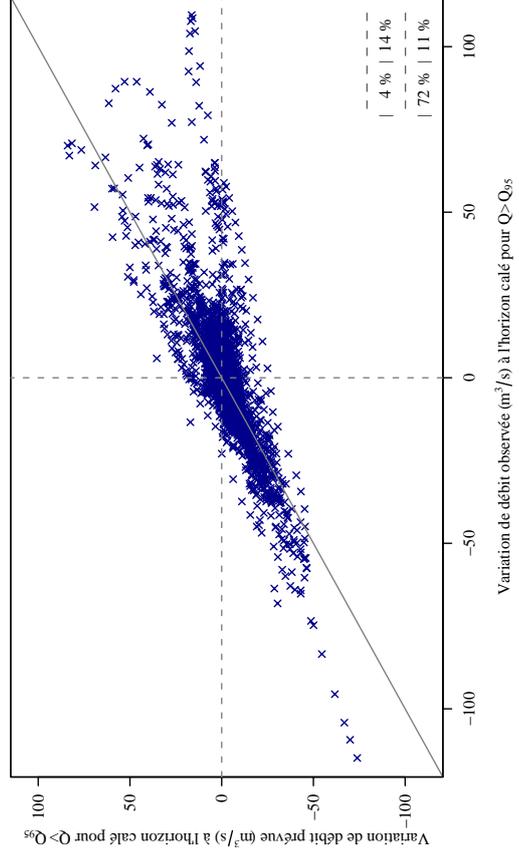
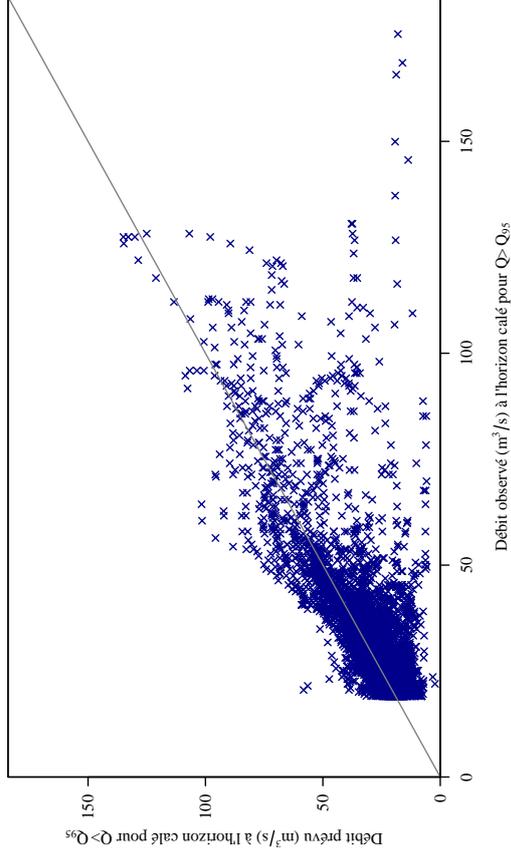
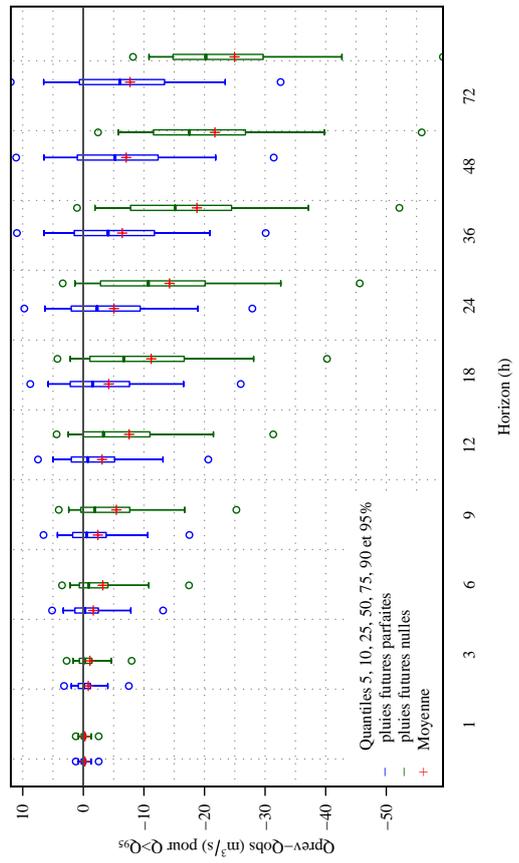
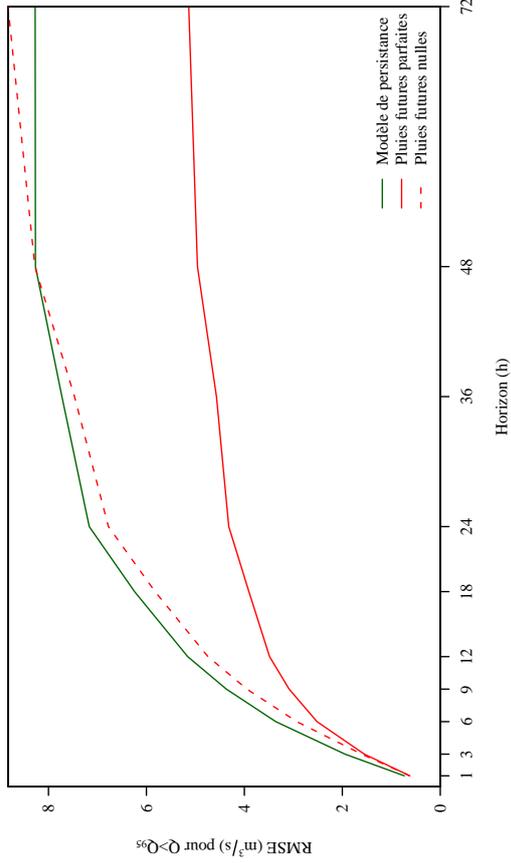
P6081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle

Chronique disponible		1987-2009	Q_{moy}	6.4 m ³ /s
Surface du bassin		454 km ²	Q_{95}	19.1 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage		12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	33.1 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.543				

P6081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle

Dépassement observé		a	Non-dépassement observé		b
Dépassement prévu		81	Dépassement observé		17
Non-dépassement prévu		158	Non-dépassement observé		128730
POD = $\frac{a}{a+c}$ = 33.9 % CSI = $\frac{a}{a+b+c}$ = 31.6 % FAR = $\frac{b}{a+b}$ = 17.3 %					

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 61.7 m³/s à 12h



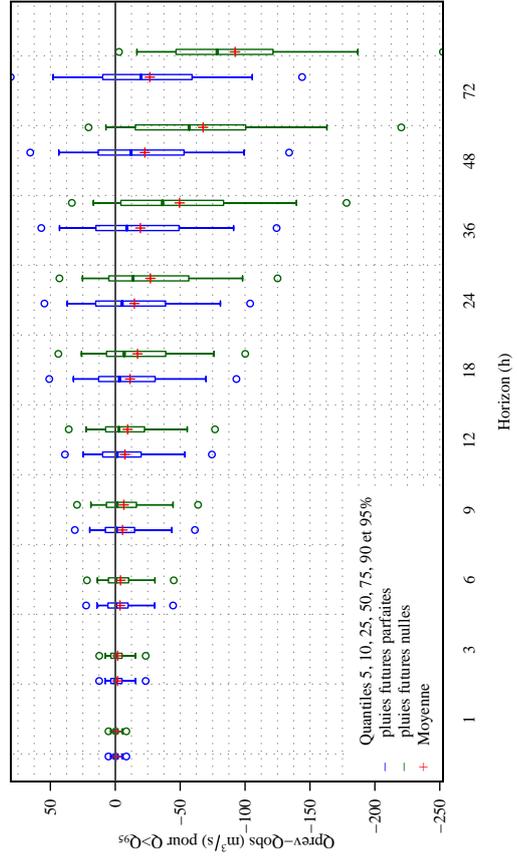
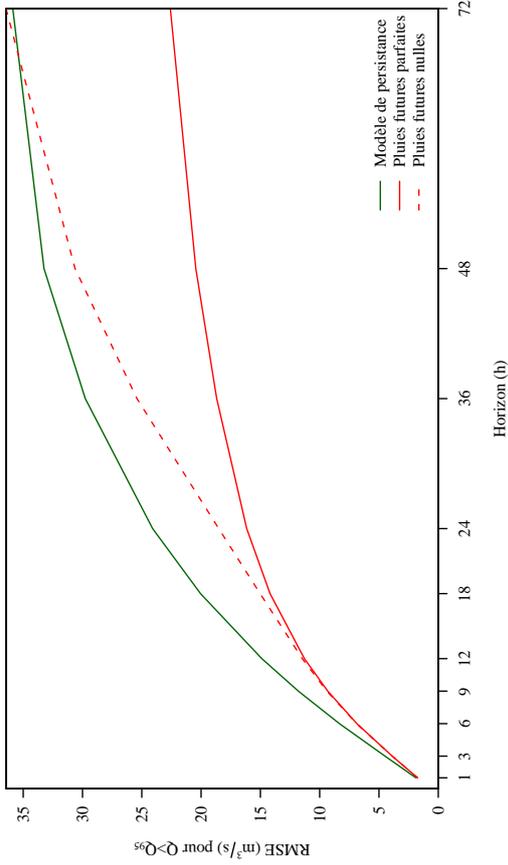
P7121510 Isle à Mussidan

Chronique disponible 1990-2009
 Surface du bassin 3177 km²
 Horizon de prévision utilisé pour le calage 18 h

Eff (Q>Q₉₅, ref=modèle de persistance) 0.499

Modèle : GRP

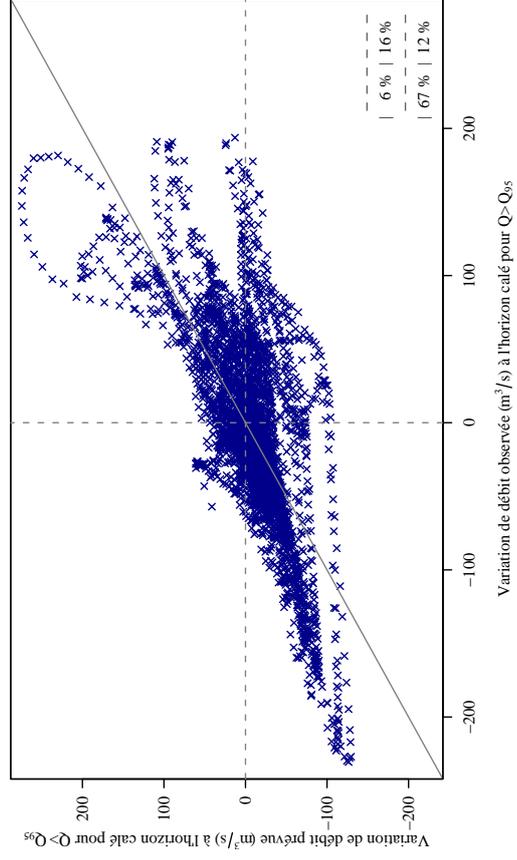
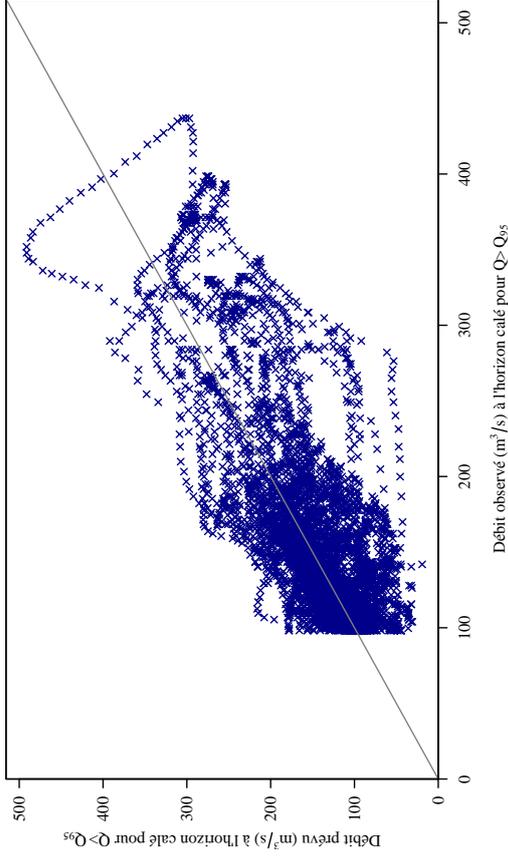
Q_{emoy} 36.4 m³/s
 Q₉₅ 98.2 m³/s
 Q_{emoy}(Q>Q₉₅) 159.0 m³/s



P7121510 Isle à Mussidan

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 158 m³/s à 18h

Dépassement observé		Non-dépassement observé	
a	b	a	b
330	165		
Dépassement prévu		Non-dépassement prévu	
c	d	c	d
589	115538		
POD = $\frac{a}{a+c} = 35.9\%$		FAR = $\frac{b}{a+b} = 33.3\%$	
CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 30.4\%$			



P7041510 Isle à Périgueux

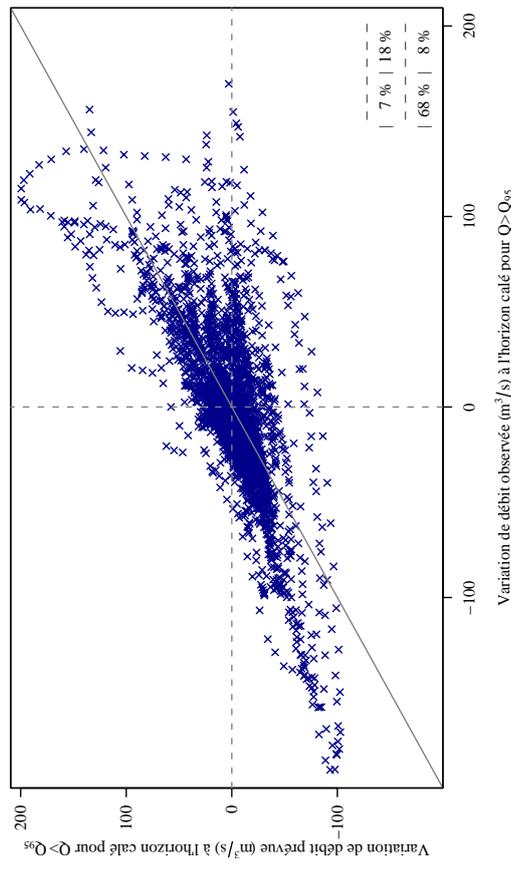
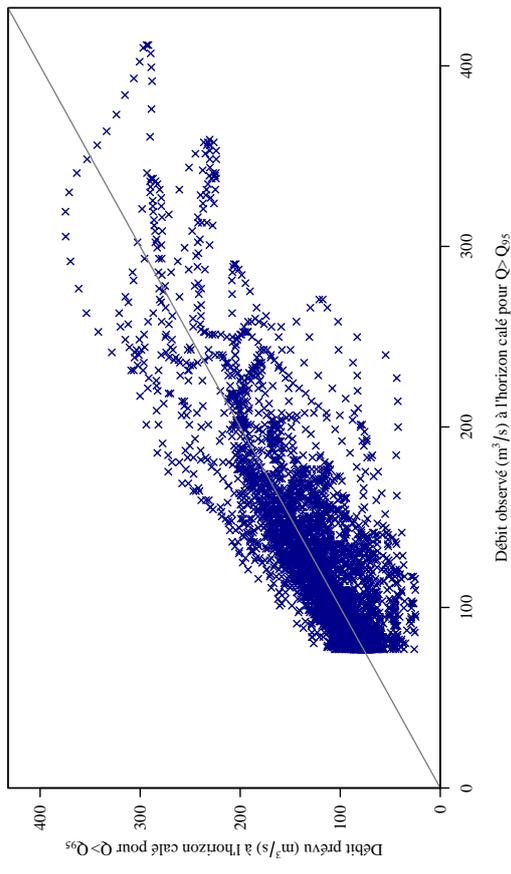
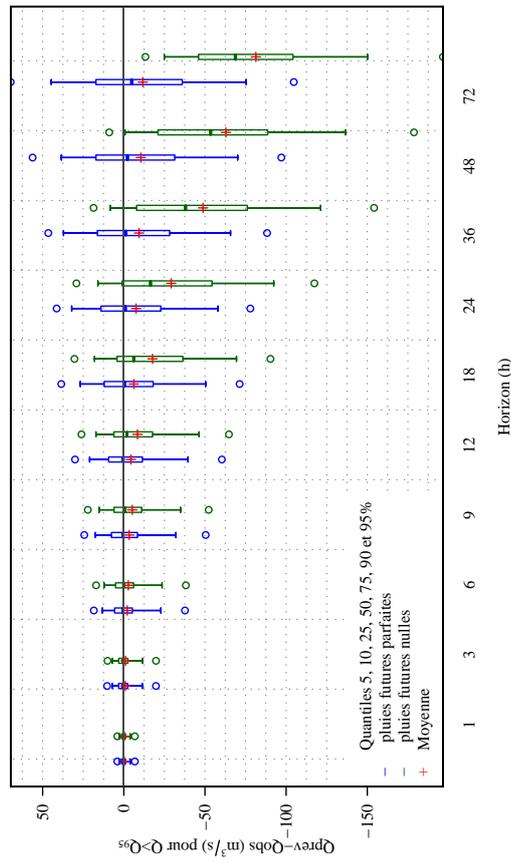
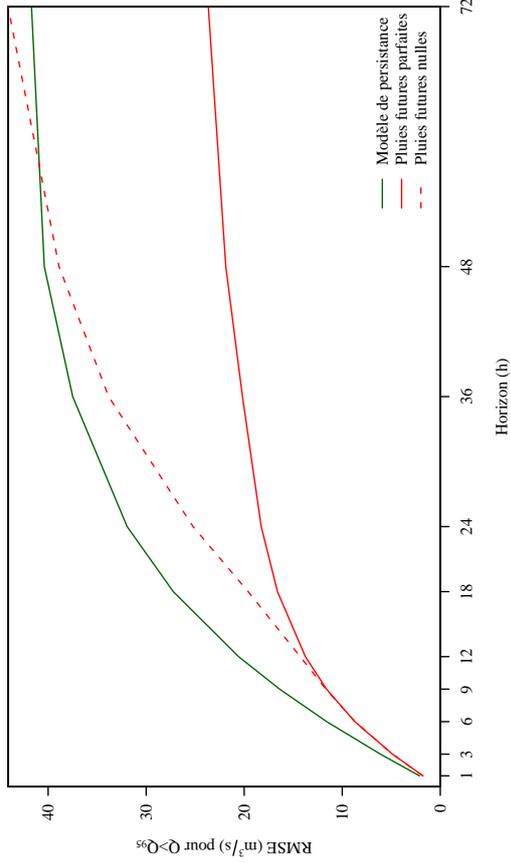
Chronique disponible	1995-2009	Q_{moy}	28.1 m ³ /s
Surface du bassin	2160 km ²	Q_{95}	76.9 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	125.5 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.552			

P7041510 Isle à Périgueux

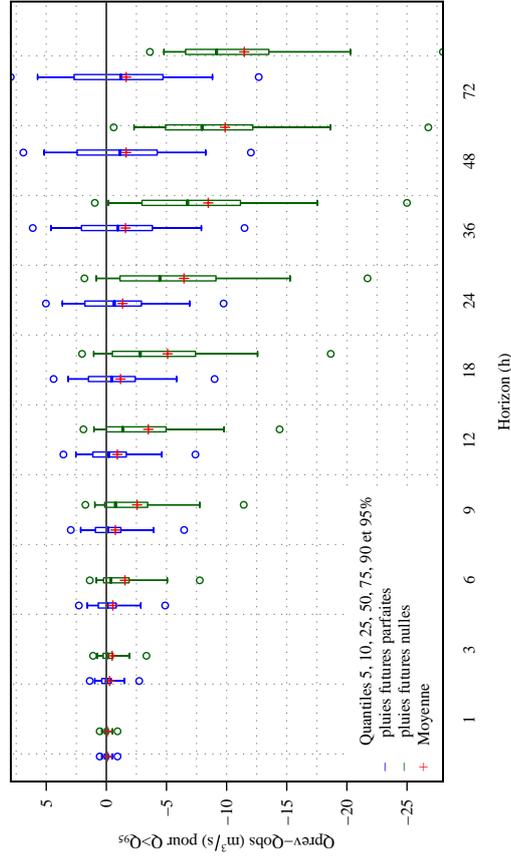
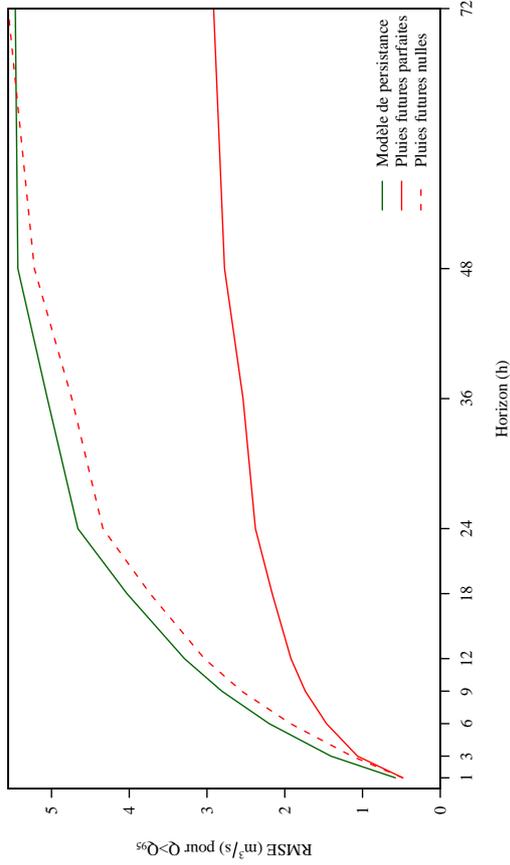
Dépassement prévu	335	a	Non-dépassement observé	b
Non-dépassement prévu	363	c		d
		98706		

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 111 m³/s à 12h

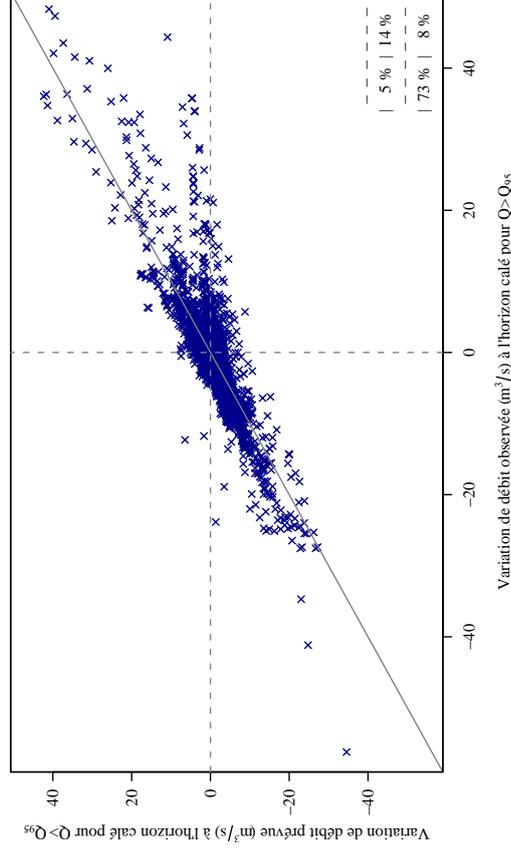
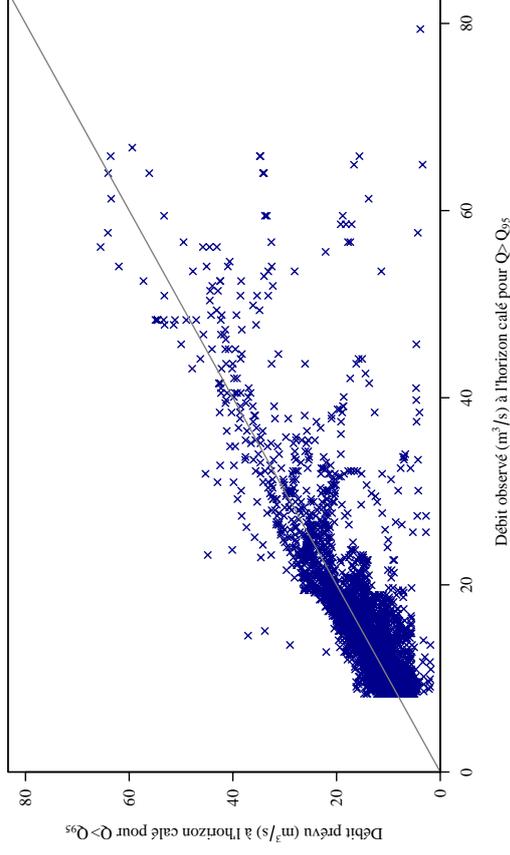
$POD = \frac{a}{a+c} = 48.0\%$
 $FAR = \frac{b}{a+b} = 27.5\%$
 $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 40.6\%$



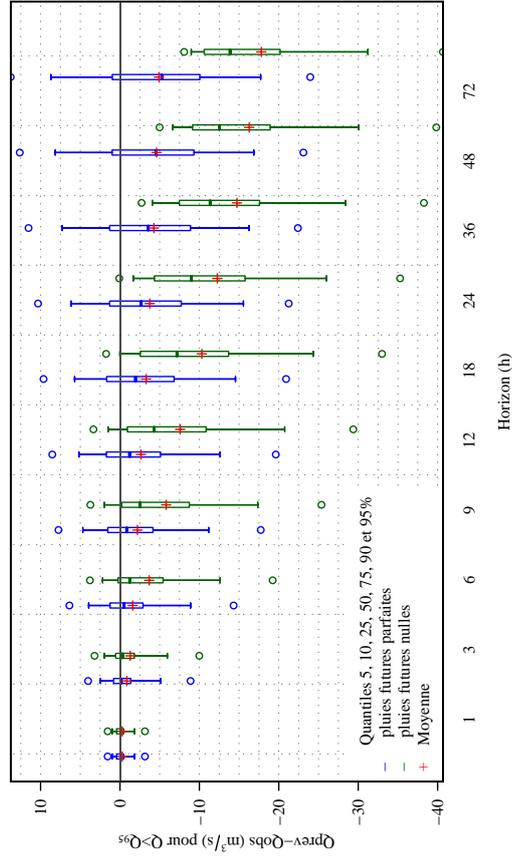
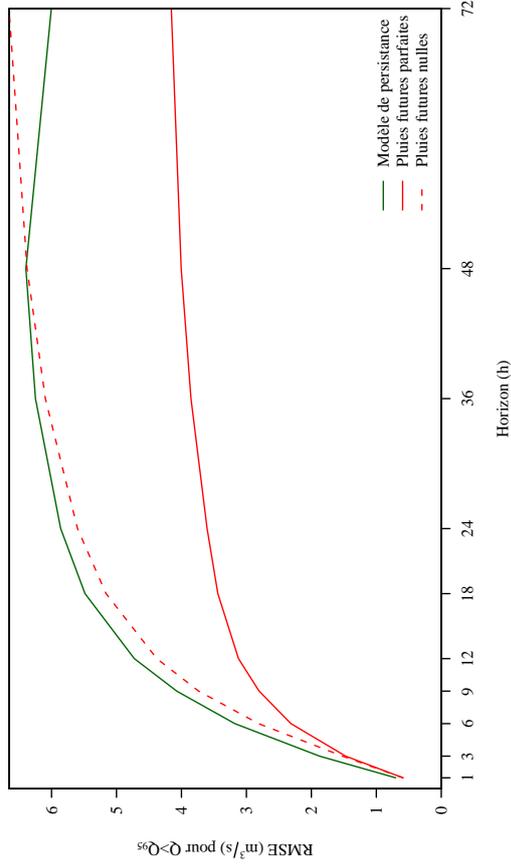
P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideui		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1995-2009	Q_{moy}	2.7 m ³ /s
Surface du bassin	203 km ²	Q_{95}	8.4 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	15.2 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.659			



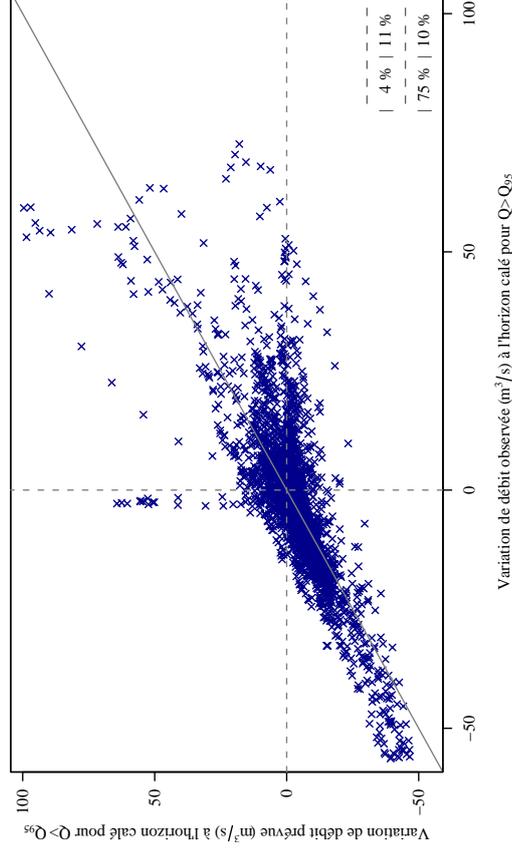
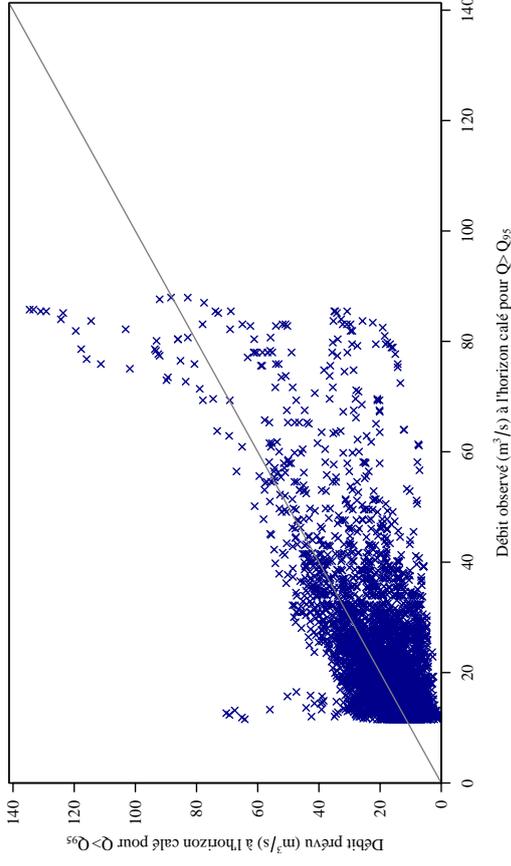
P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideui		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 25 m ³ /s à 12h			
Dépassement prévu	Dépassement observé	Non-dépassement observé	
		a	b
Non-dépassement prévu	Non-dépassement observé	d	
		c	d
		95	50
		125	94816
		POD = $\frac{a}{a+c} = 43.2\%$	
		FAR = $\frac{b}{a+b} = 34.5\%$	
		CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 35.2\%$	



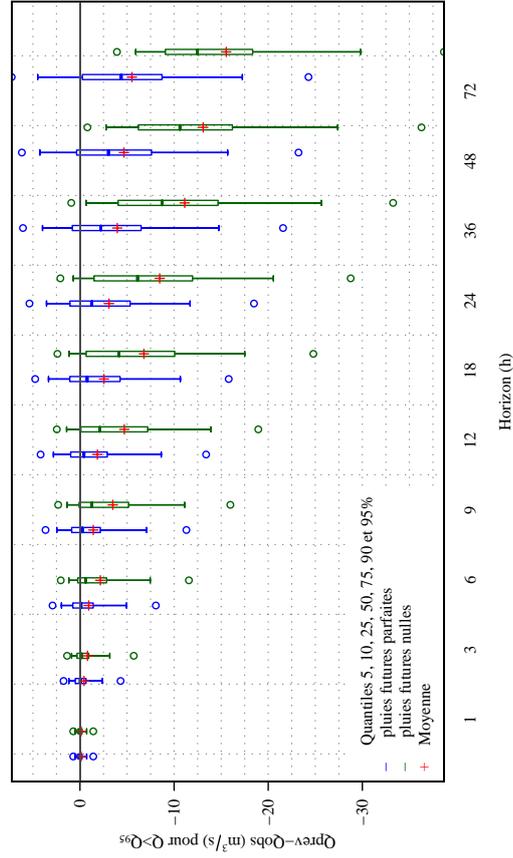
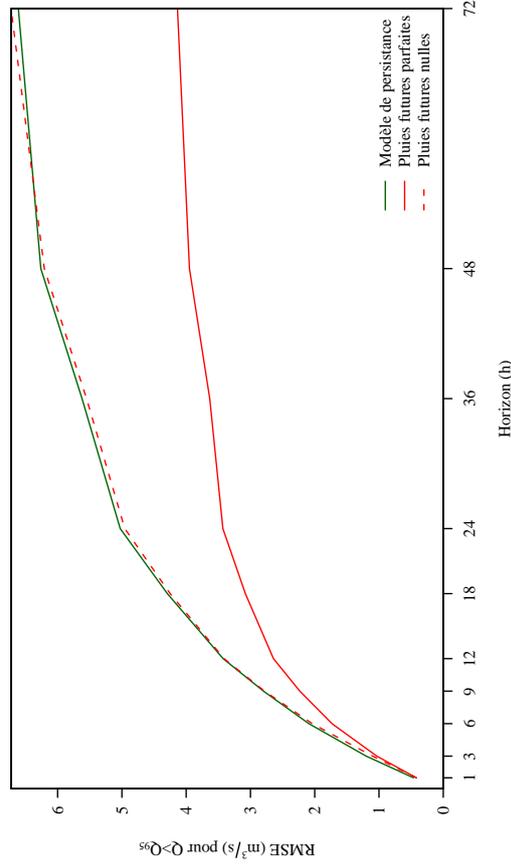
P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1990-2009	Q_{moy}	3.9 m ³ /s
Surface du bassin	257 km ²	Q_{95}	11.5 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{moy}(Q > Q_{95})$	21.4 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.564			



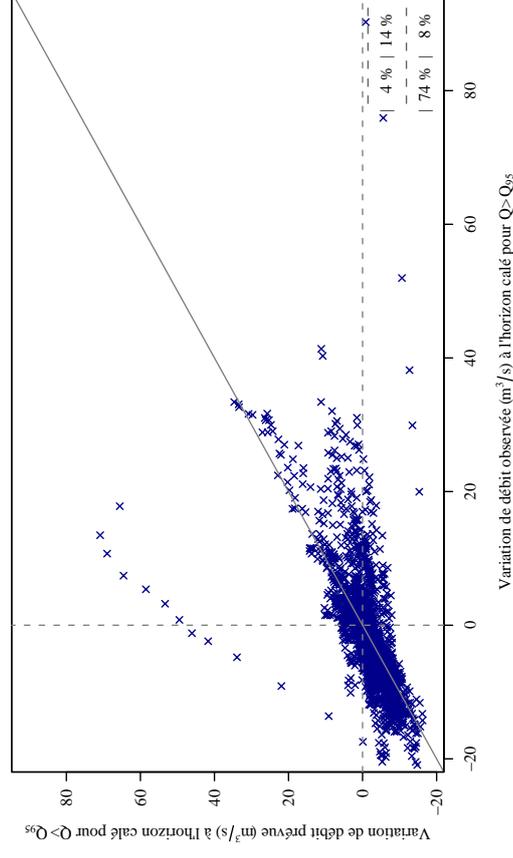
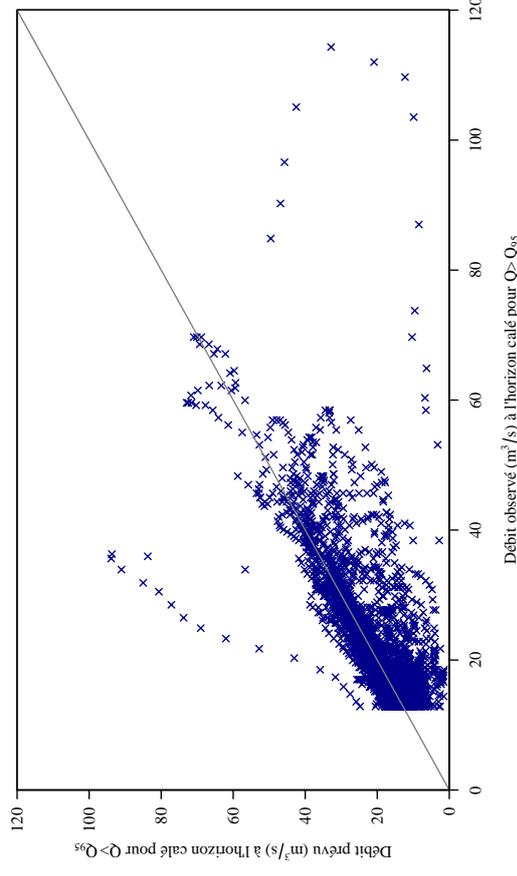
P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 32 m ³ /s à 12h			
Dépassement observé	180	Non-dépassement observé	82
Dépassement prévu	528	Non-dépassement prévu	114591
POD = $\frac{a}{a+c} = 25.4\%$		FAR = $\frac{b}{a+b} = 31.3\%$	
CSI = $\frac{a}{a+b+c} = 22.8\%$			



P3674010 Montane à Lagrenne [Pont de la		Modèle : GRP	
Chronique disponible	1995-2009	Q_{moy}	3.9 m ³ /s
Surface du bassin	108 km ²	Q_{95}	12.9 m ³ /s
Horizon de prévision utilisé pour le calage	12 h	$Q_{\text{moy}}(Q > Q_{95})$	21.1 m ³ /s
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.405			



P3674010 Montane à Lagrenne [Pont de la		Modèle : GRP	
Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 43.4 m³/s à 12h			
Dépassement prévu	21	Dépassement observé	15
Non-dépassement prévu	117	Non-dépassement observé	89997
		$POD = \frac{a}{a+c} = 15.2\%$ $FAR = \frac{b}{a+b} = 41.7\%$ $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 13.7\%$	



P4001010 Vézère à Larche

Chronique disponible 1987-2009 Q_{moy} 70.0 m³/s
 Surface du bassin 2483 km² Q_{95} 163.7 m³/s
 Horizon de prévision utilisé pour le calage 12 h $Q_{moy}(Q > Q_{95})$ 218.2 m³/s

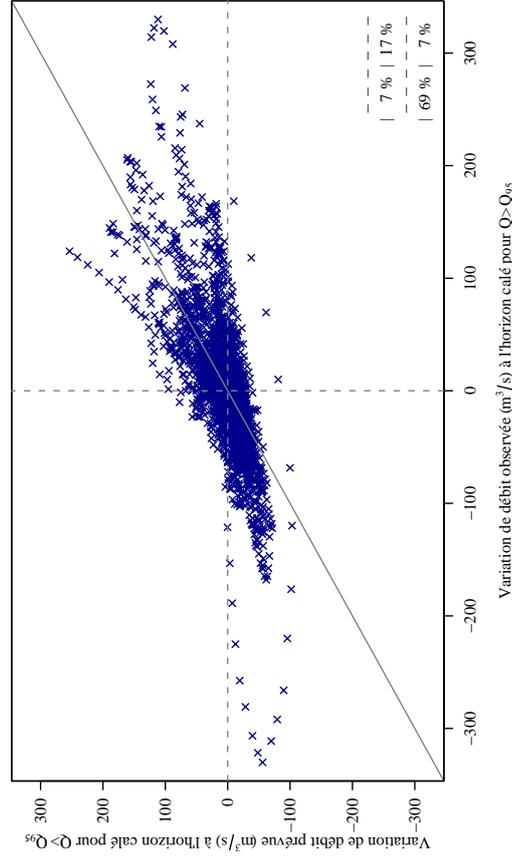
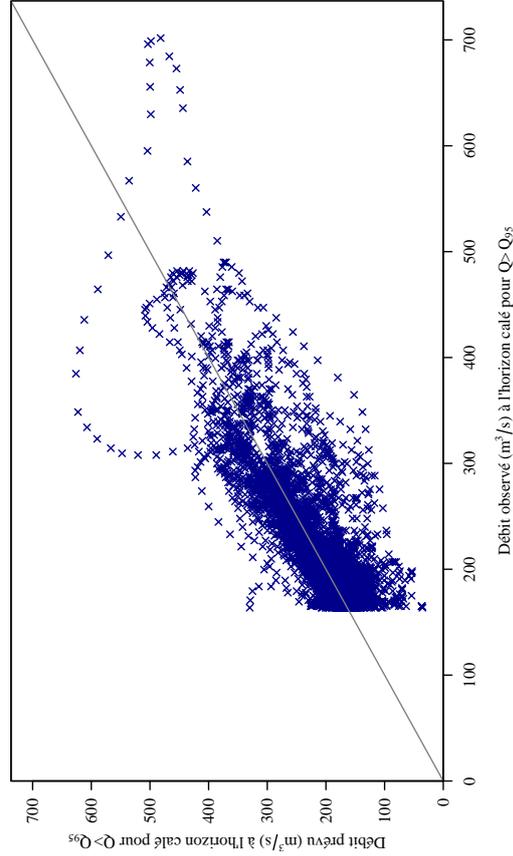
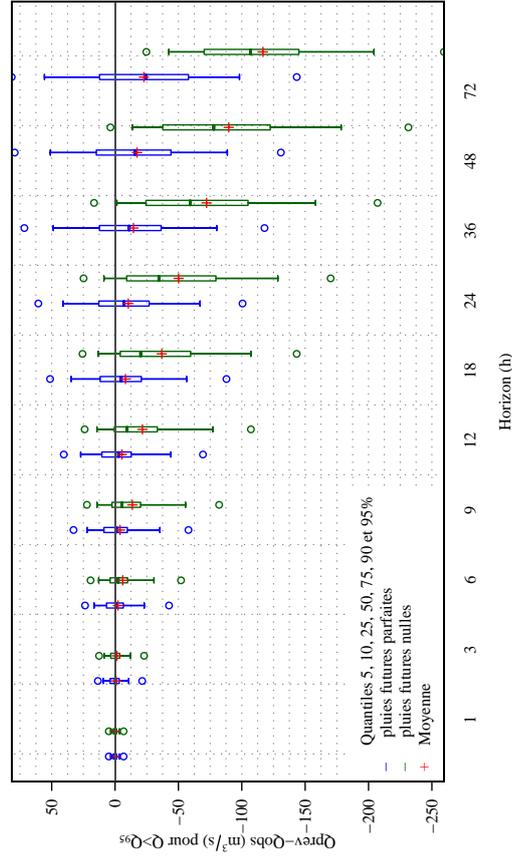
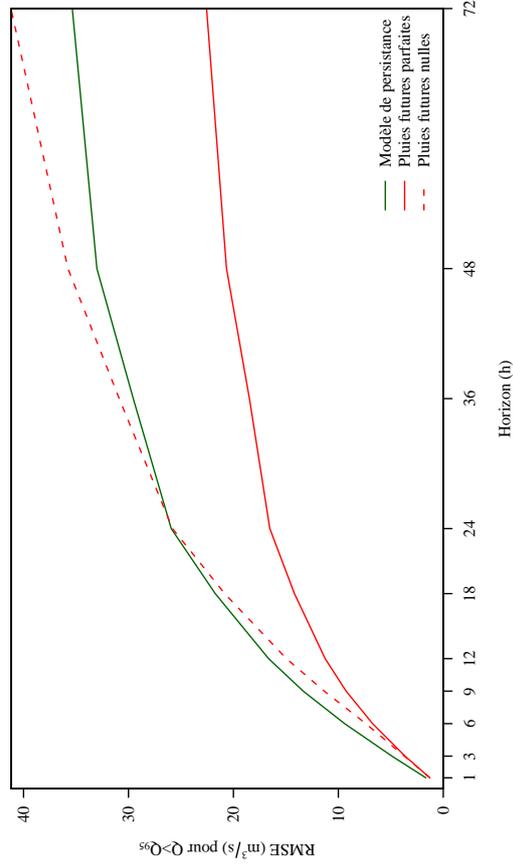
Eff ($Q > Q_{95}$, ref=modèle de persistance) 0.542

P4001010 Vézère à Larche

Tableau d'analyse de dépassement du seuil SPC de 238 m³/s à 12h

Dépassement observé		Non-dépassement observé	
Dépassement prévu	262	a	b
Non-dépassement prévu	252	c	d
		131113	

$POD = \frac{a}{a+c} = 51.0\%$
 $FAR = \frac{b}{a+b} = 25.4\%$
 $CSI = \frac{a}{a+b+c} = 43.4\%$



Annexe 4 : Catalogue de prévisions réalisées sur les 21 stations étudiées

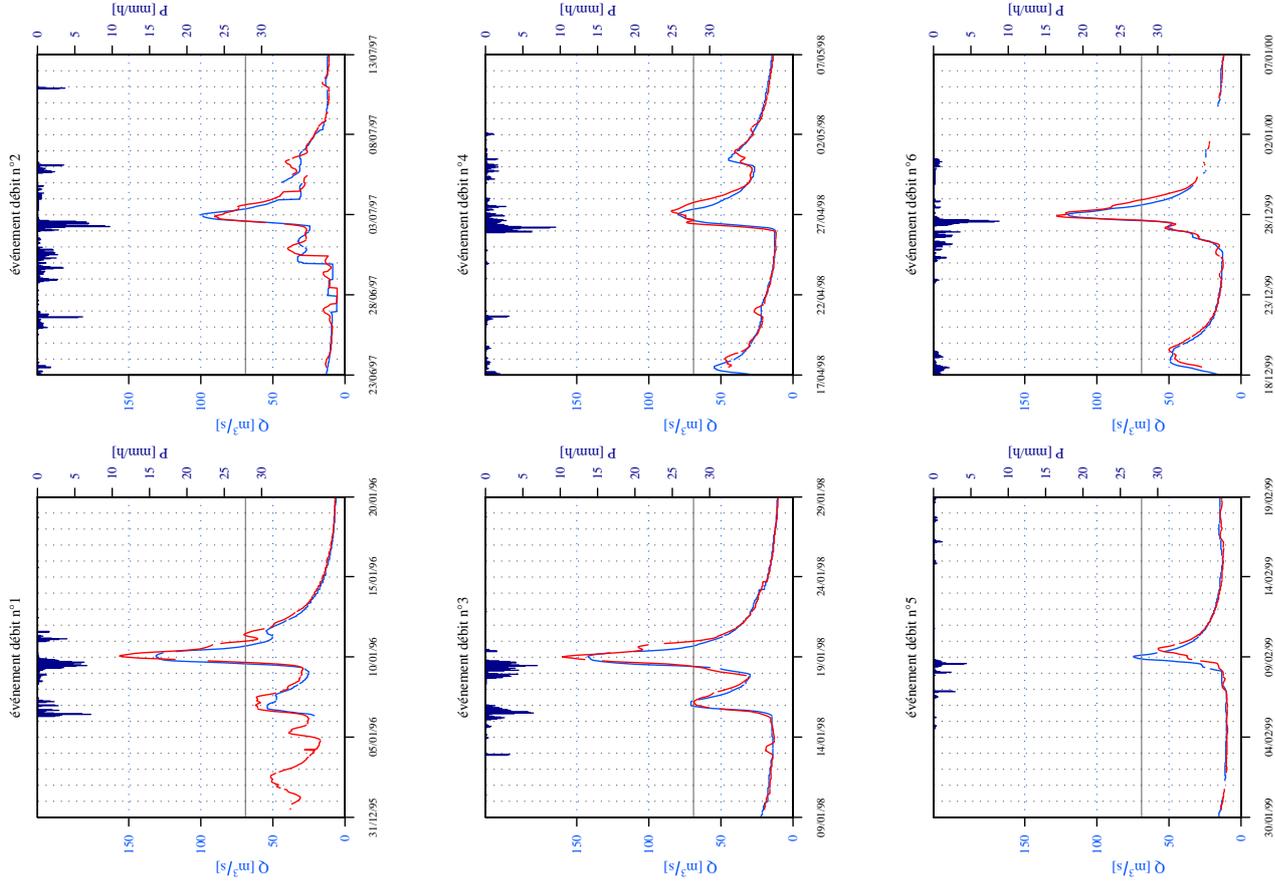
Pour chaque bassin, une sélection des 18 événements de débits majeurs et des 6 événements pluviométriques a été faite.

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 correspondant au temps de réaction estimé du bassin,
- les seuils de débits fournis par le SPC.

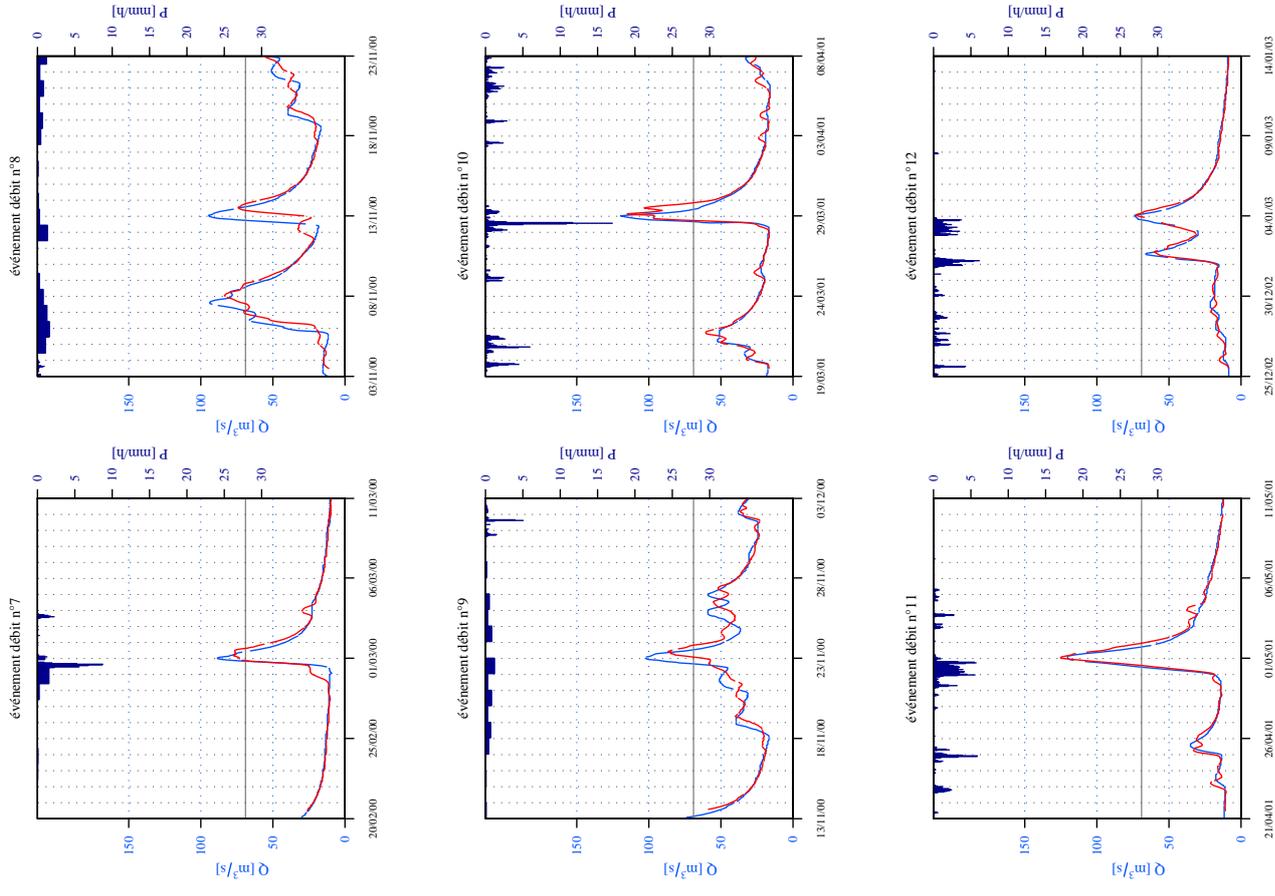
P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas (CUBA) (S=591 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



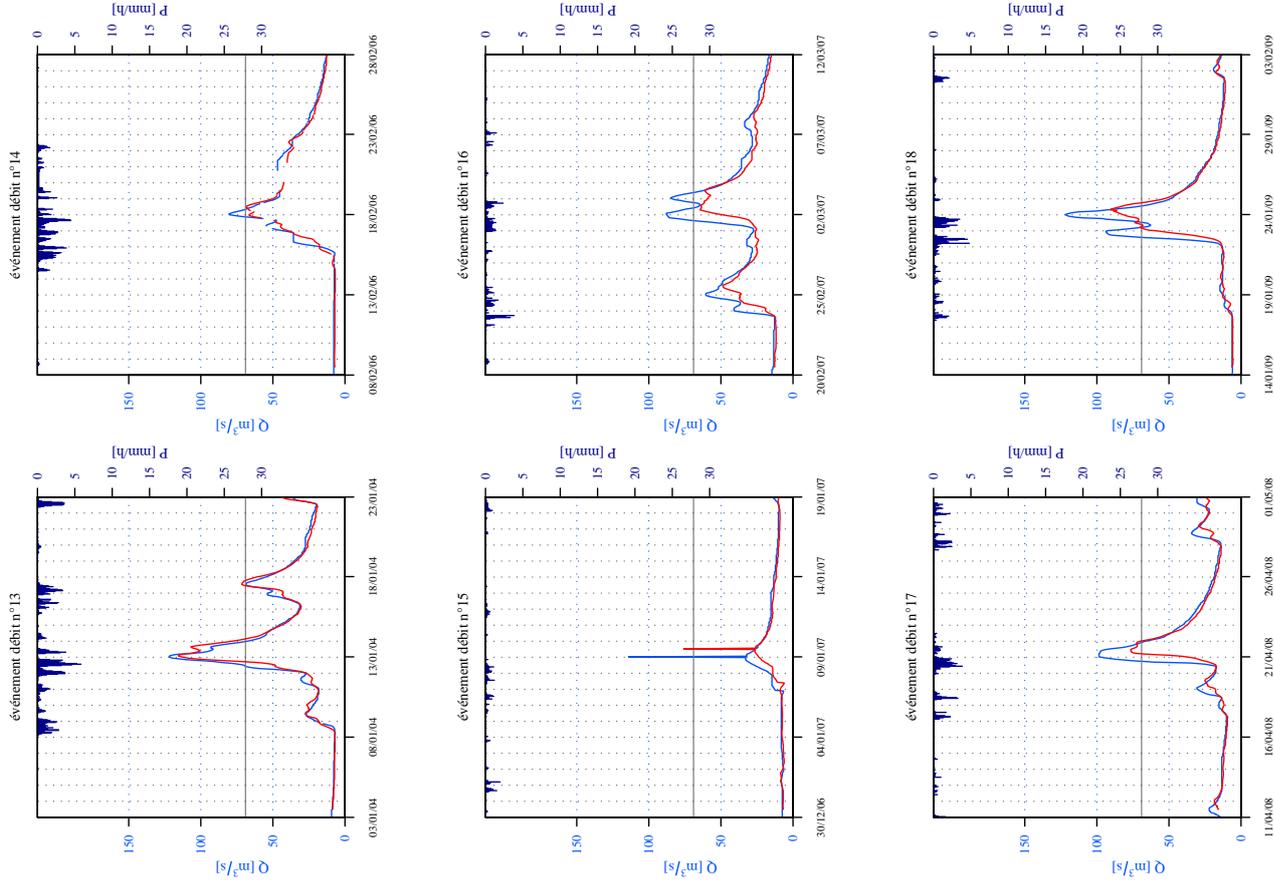
P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas (CUBA) (S=591 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



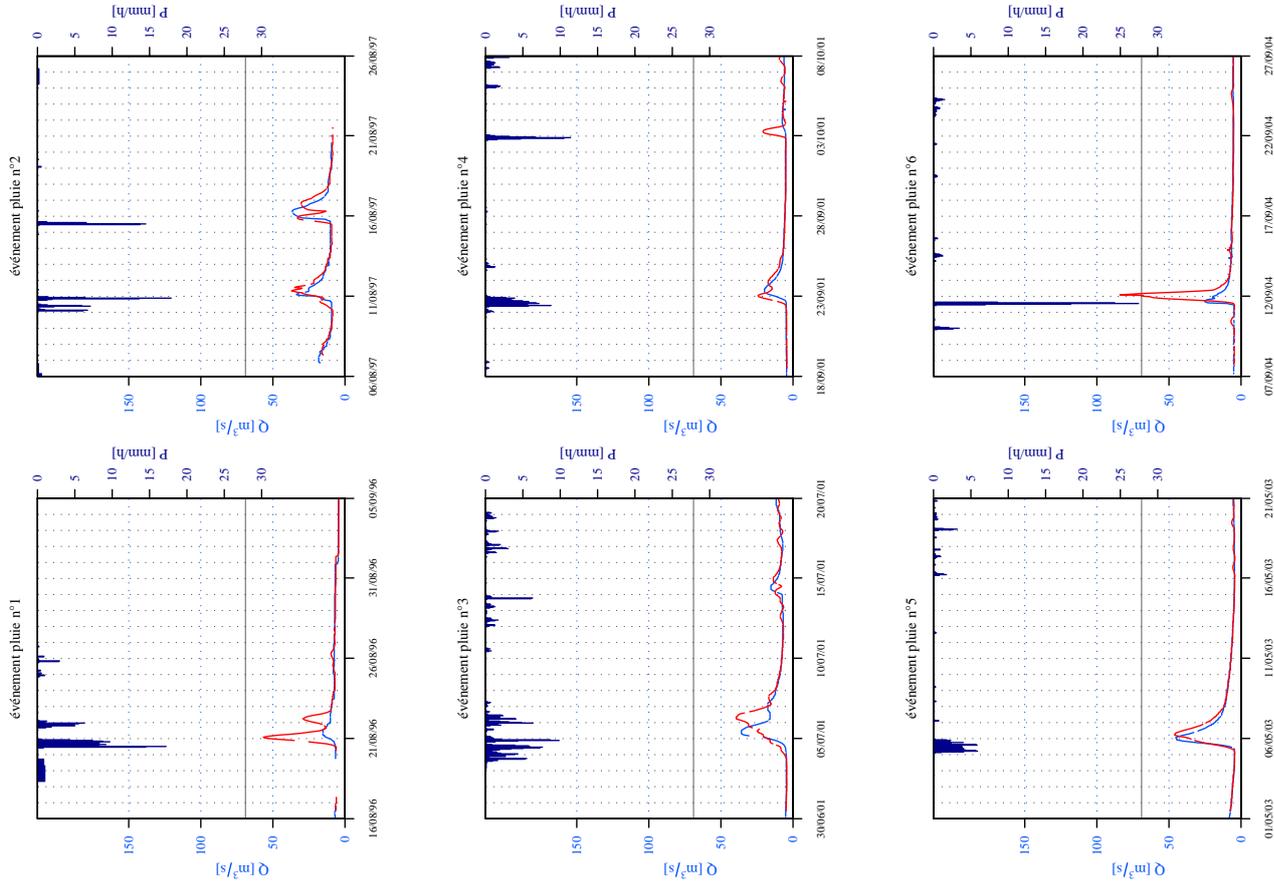
P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas (CUBA) (S=591 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



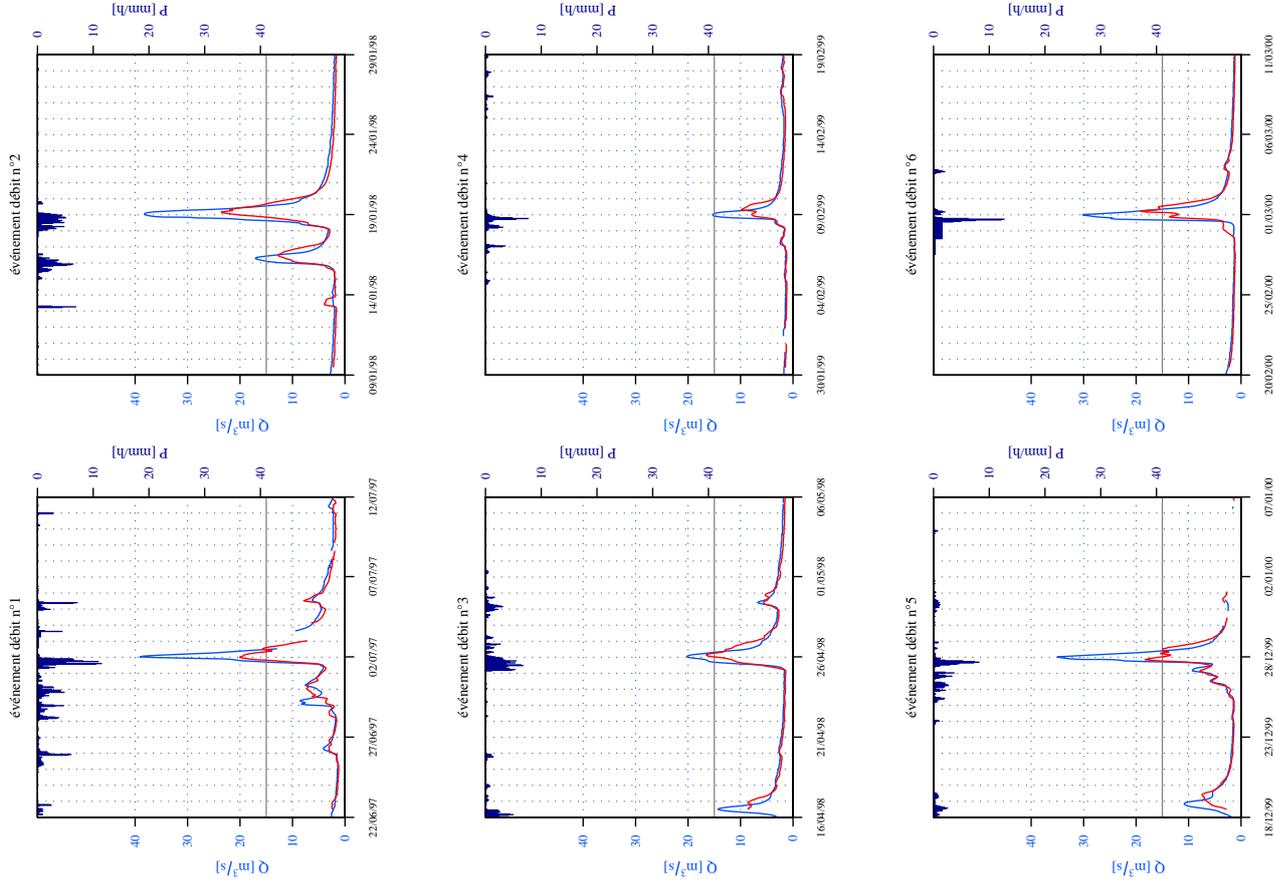
P6342510 Auvézère à Cherveix-Cubas (CUBA) (S=591 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



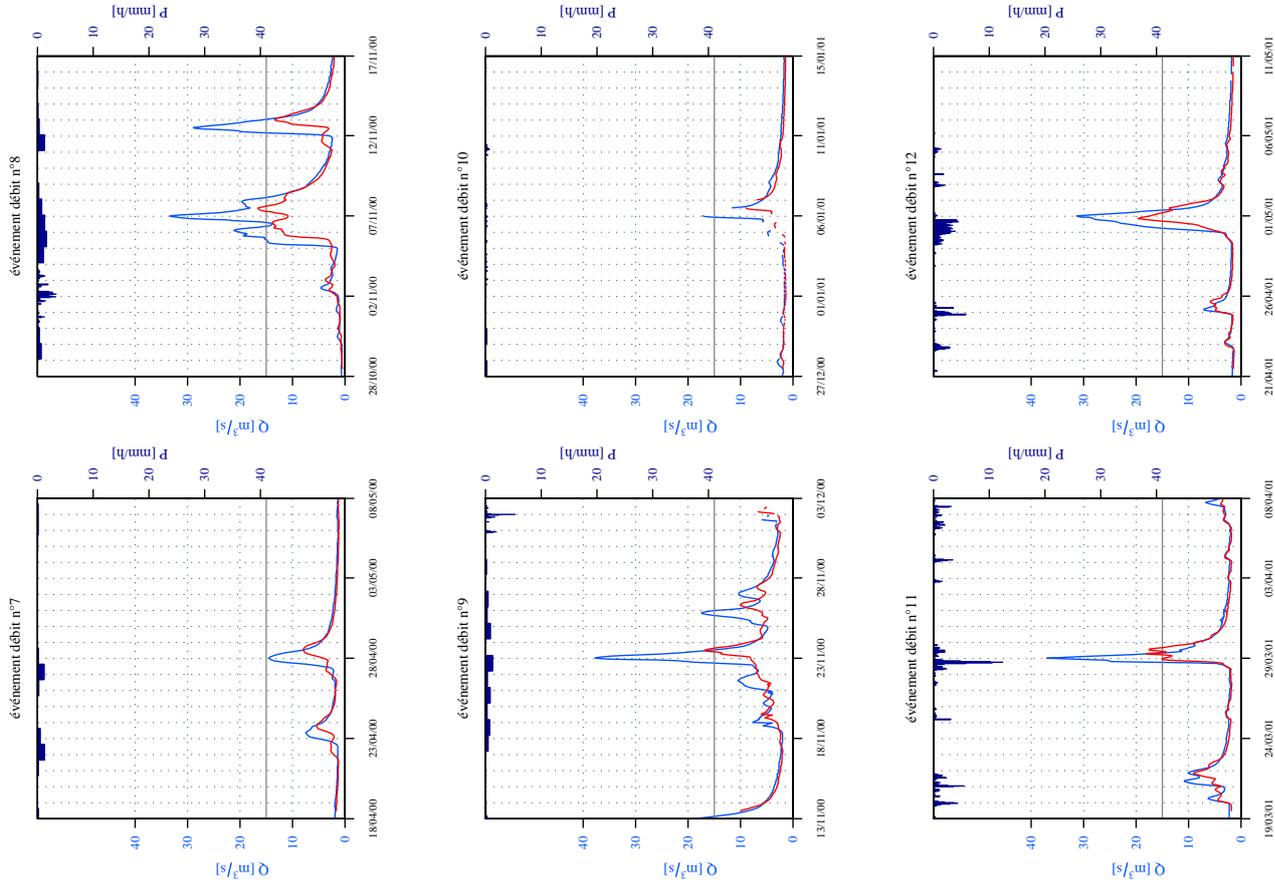
P6222510 Anvèzère à Lubersac (LUBE) (S=112 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



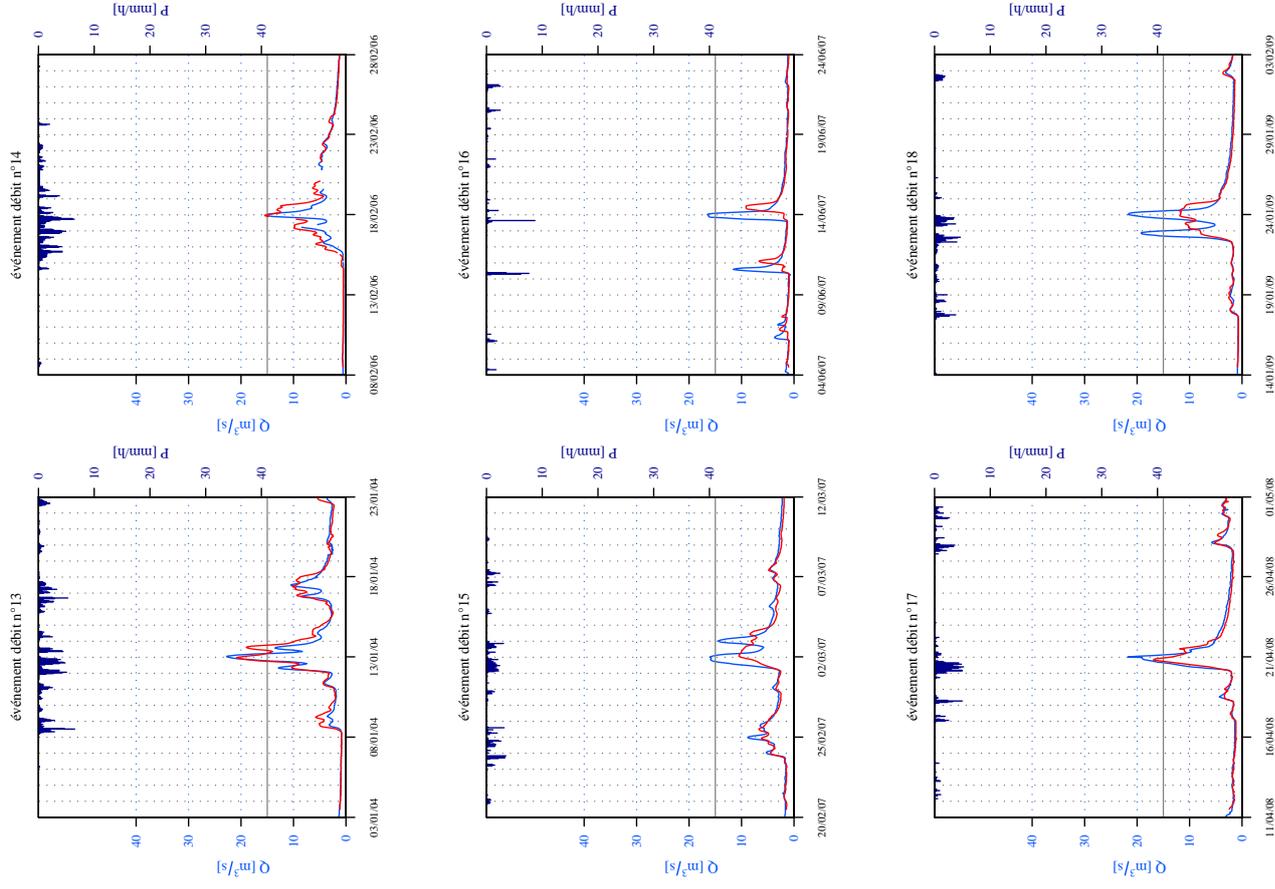
P6222510 Anvèzère à Lubersac (LUBE) (S=112 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



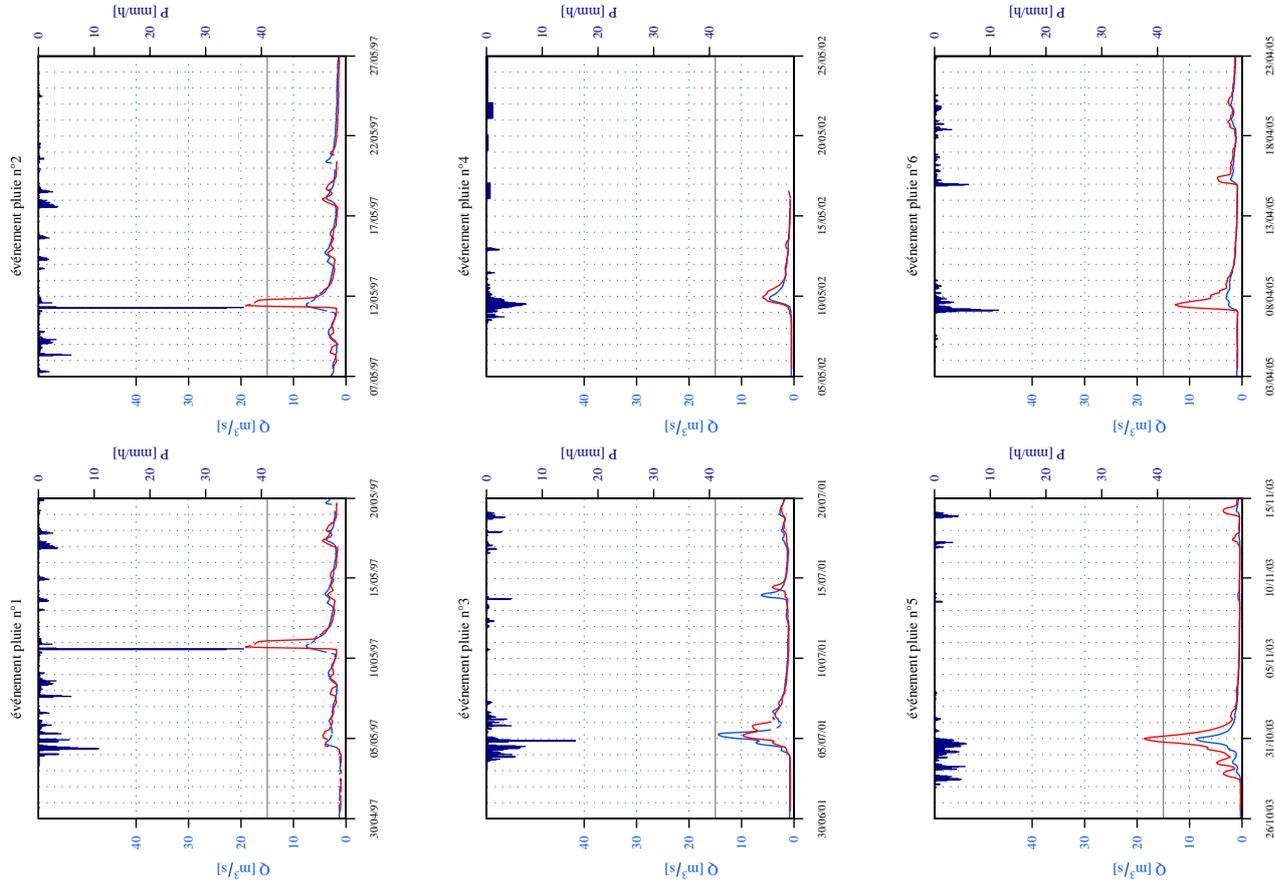
P6222510 Auvézère à Lubersac (LUBE) (S=112 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



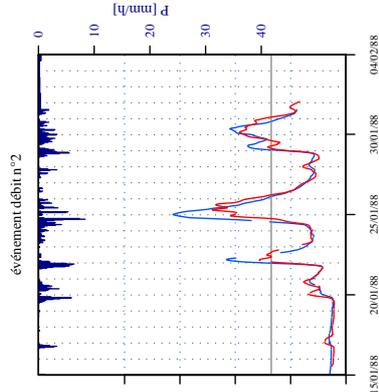
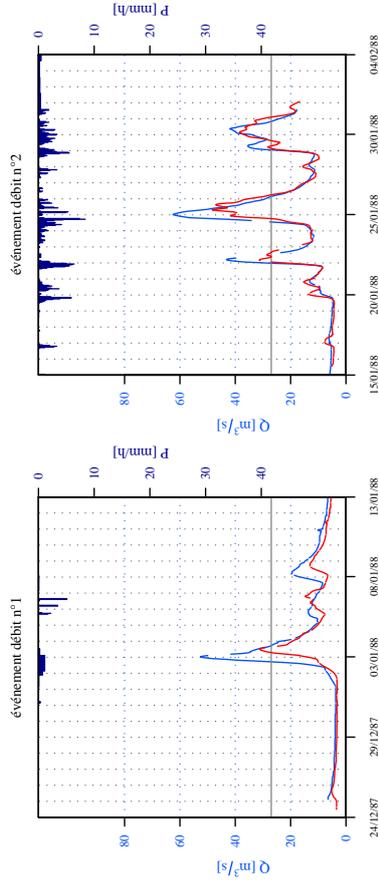
P6222510 Auvézère à Lubersac (LUBE) (S=112 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).

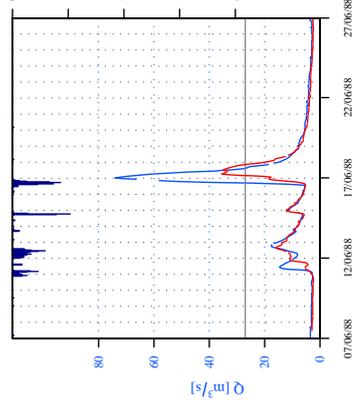


P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côle (STJE) (S=173 km², Hc=12 h, GRP)

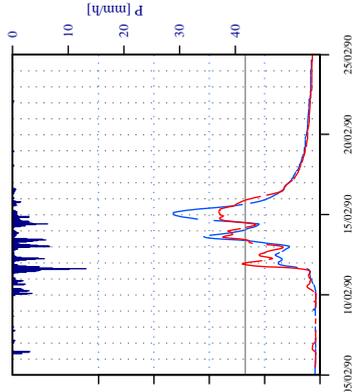
Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



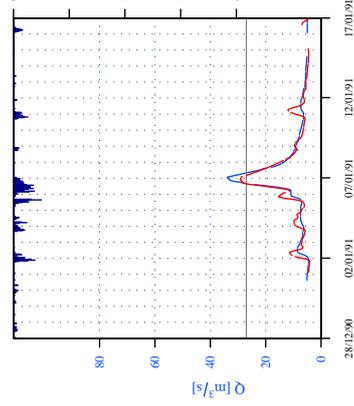
événement débit n°3



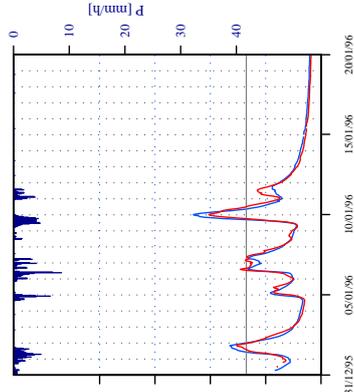
événement débit n°4



événement débit n°5

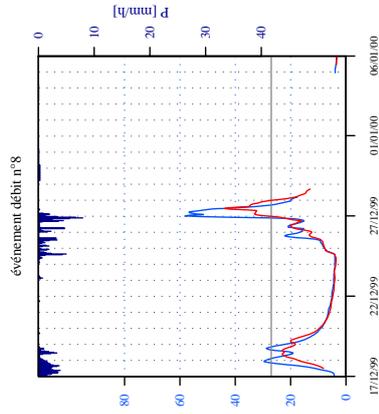
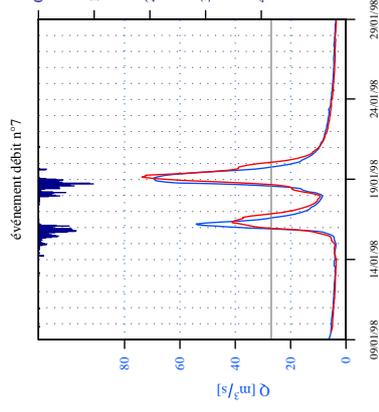


événement débit n°6

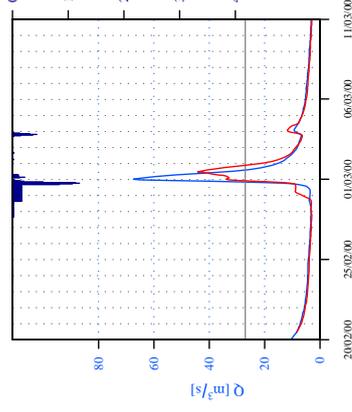


P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côle (STJE) (S=173 km², Hc=12 h, GRP)

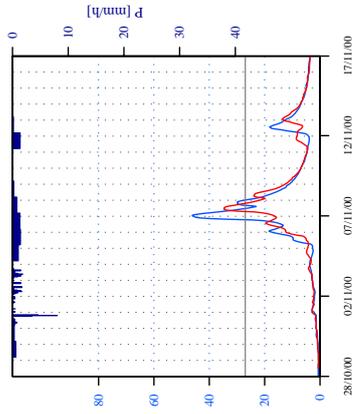
Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



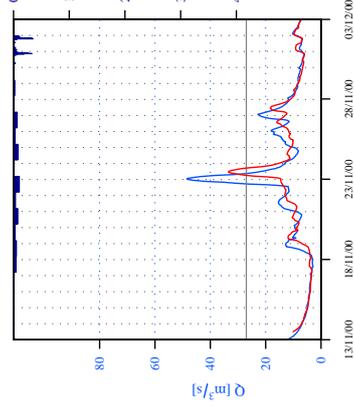
événement débit n°9



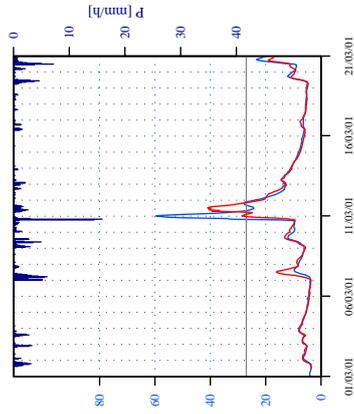
événement débit n°10



événement débit n°11

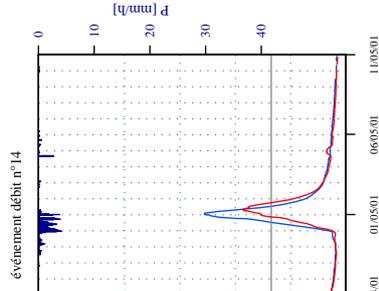
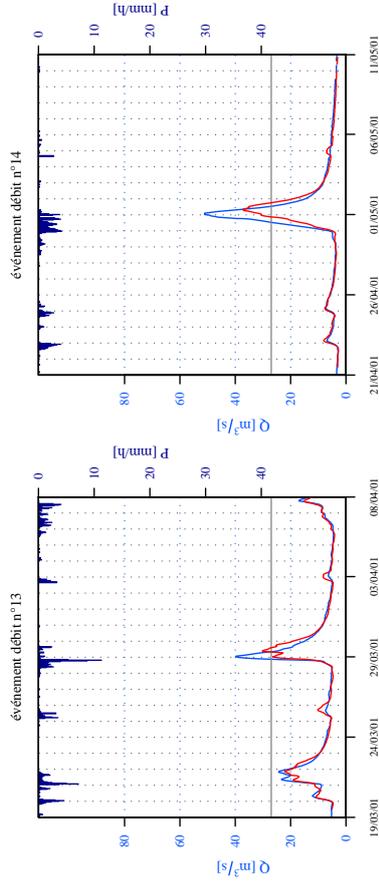


événement débit n°12

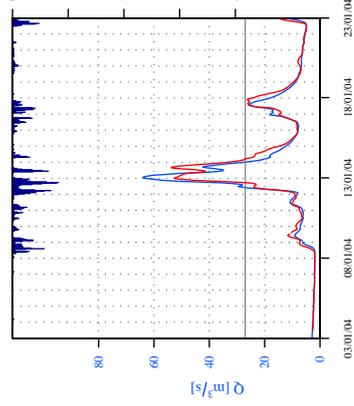


P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côle (STJE) (S=173 km², Hc=12 h, GRP)

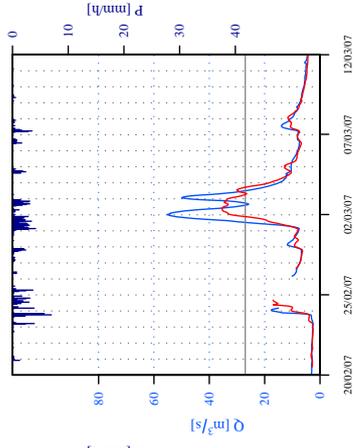
Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



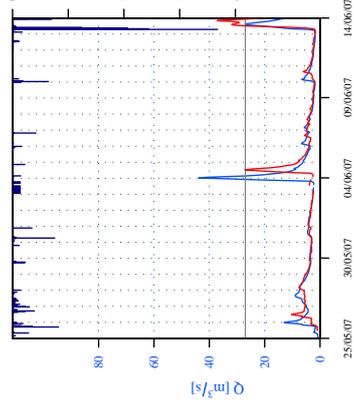
événement débit n°15



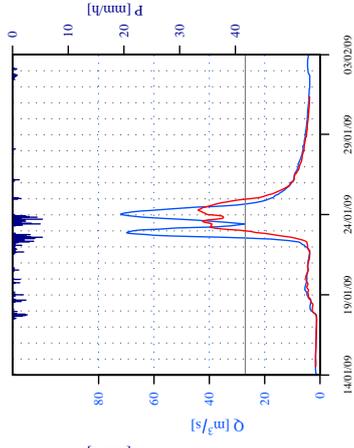
événement débit n°16



événement débit n°17

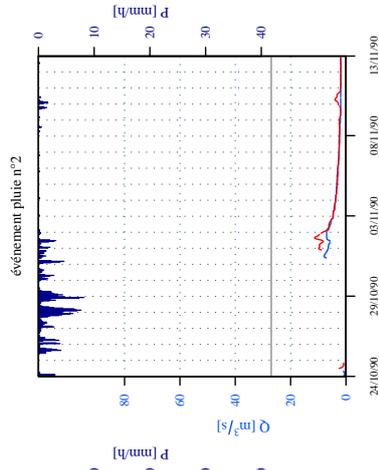
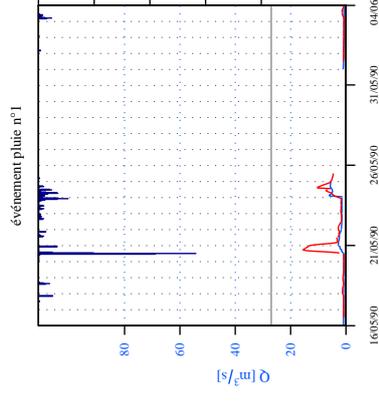


événement débit n°18

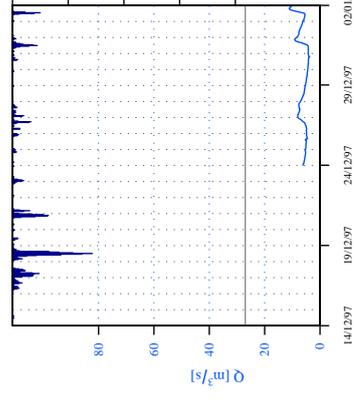


P8074010 Côte à Saint-Jean-de-Côle (STJE) (S=173 km², Hc=12 h, GRP)

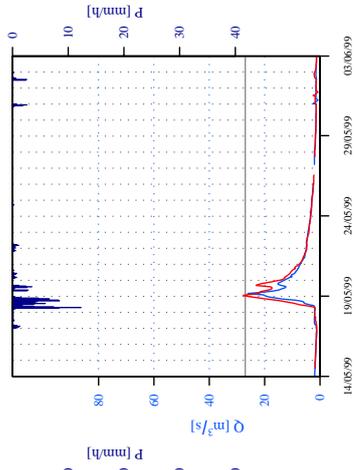
Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



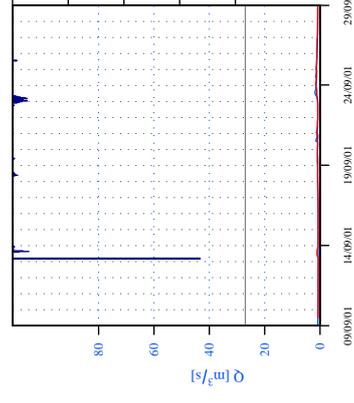
événement pluie n°3



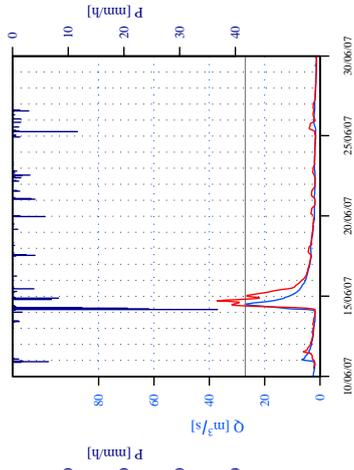
événement pluie n°4



événement pluie n°5

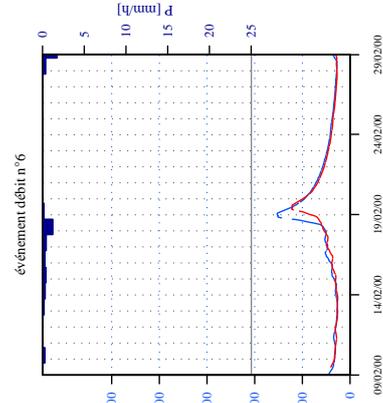
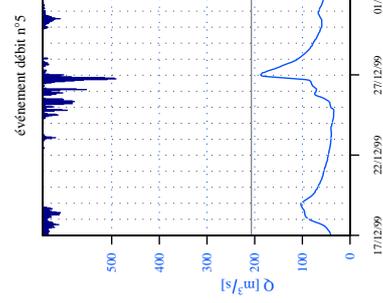
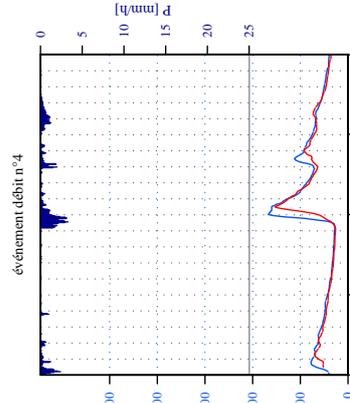
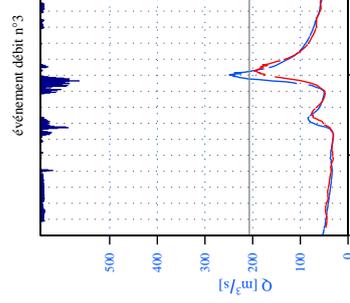
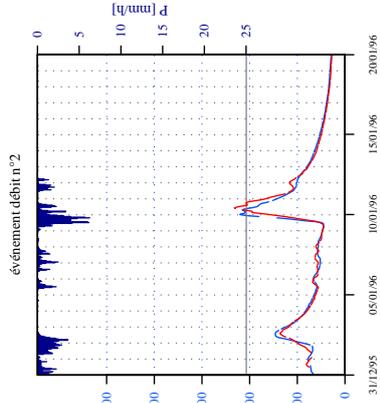
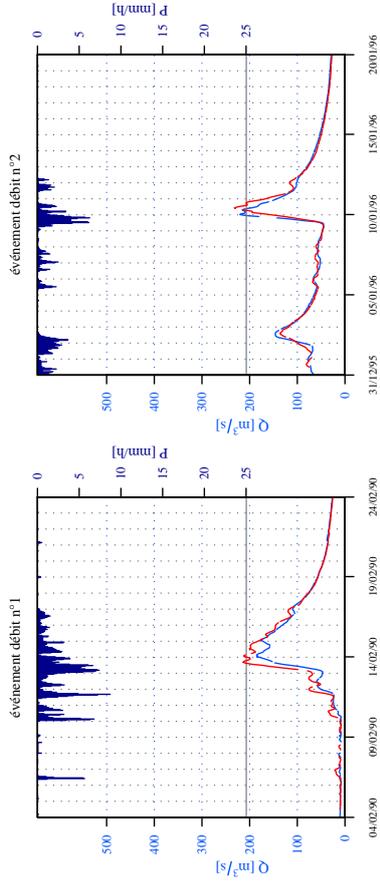


événement pluie n°6



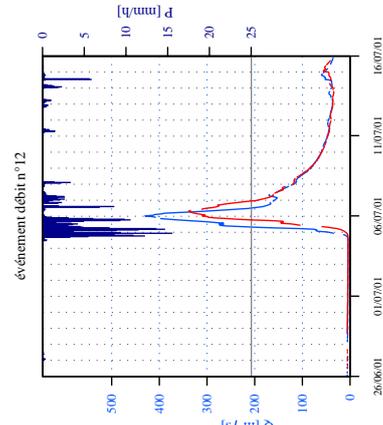
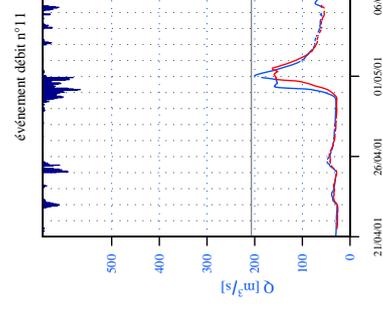
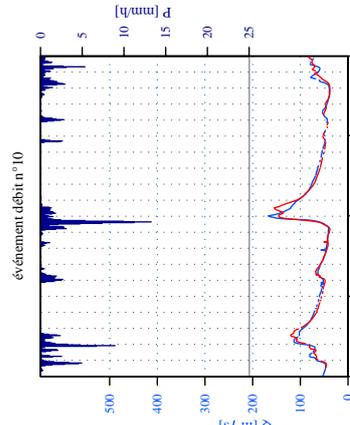
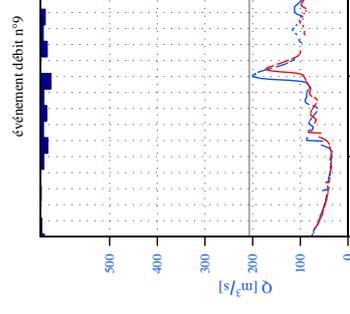
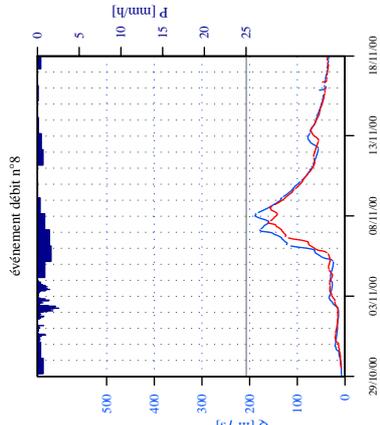
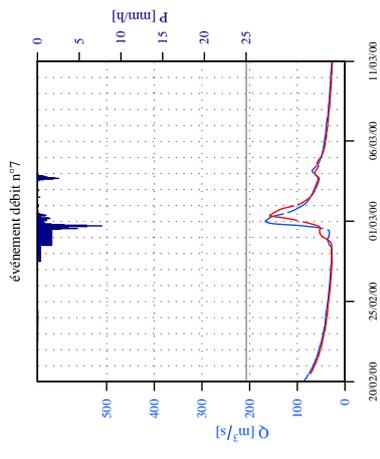
P3922520 Corréze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy] (S=946 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



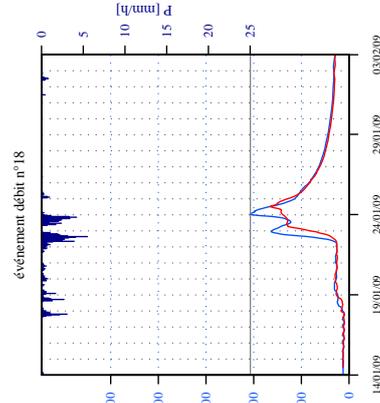
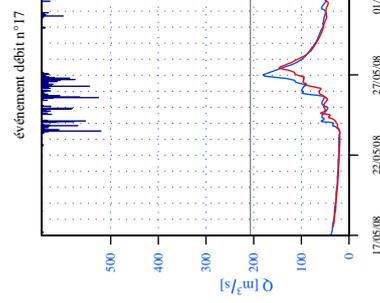
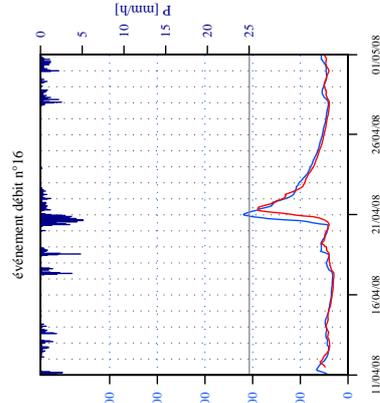
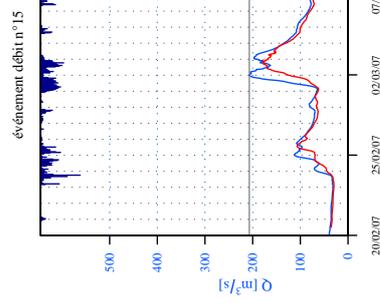
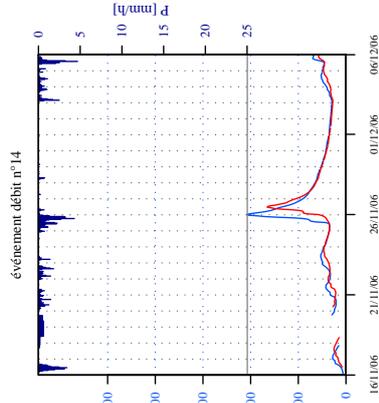
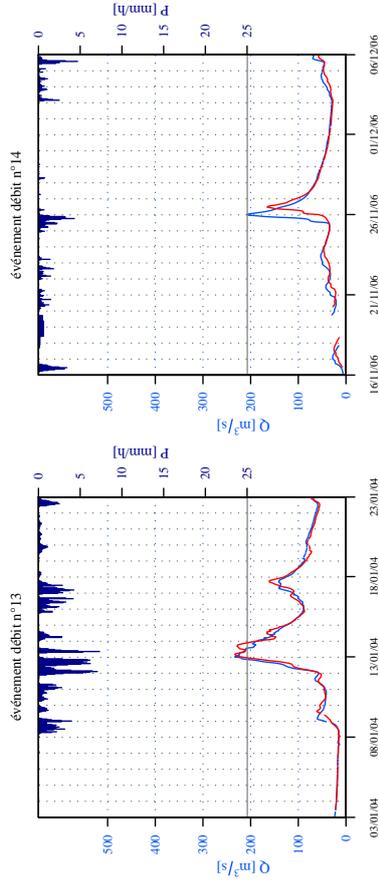
P3922520 Corréze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy] (S=946 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



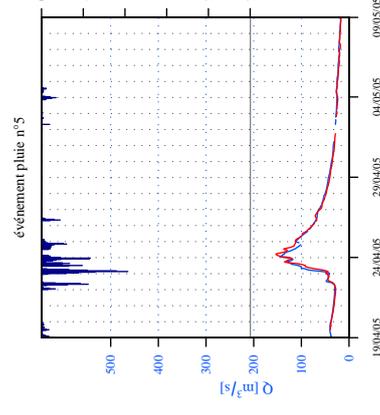
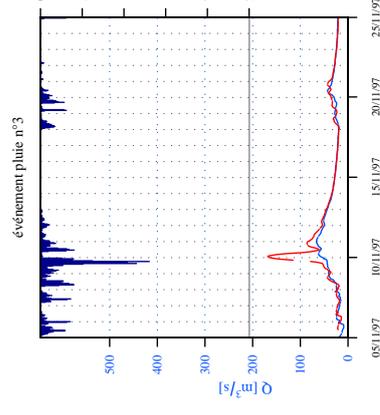
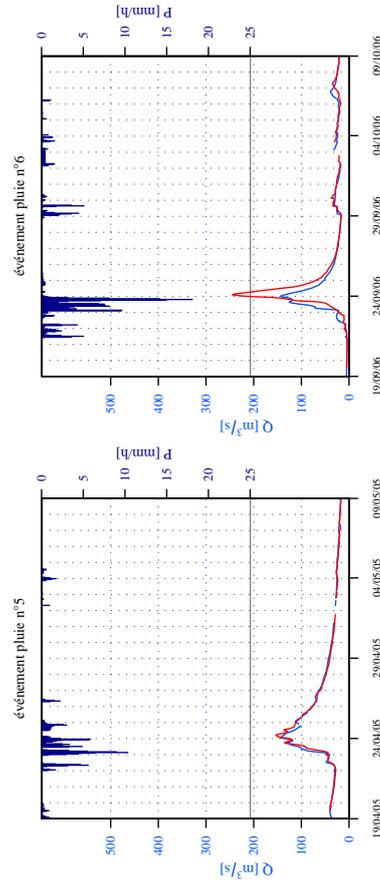
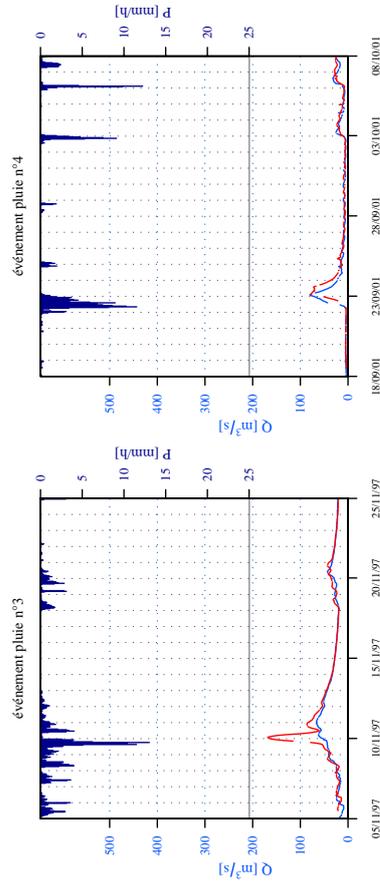
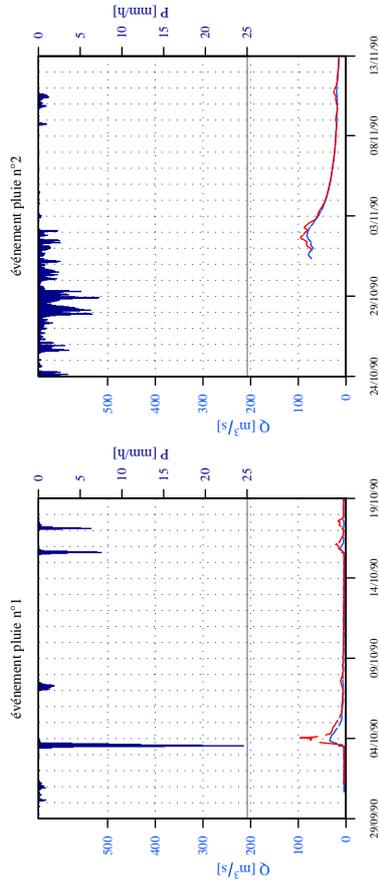
P3922520 Corréze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy] (S=946 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



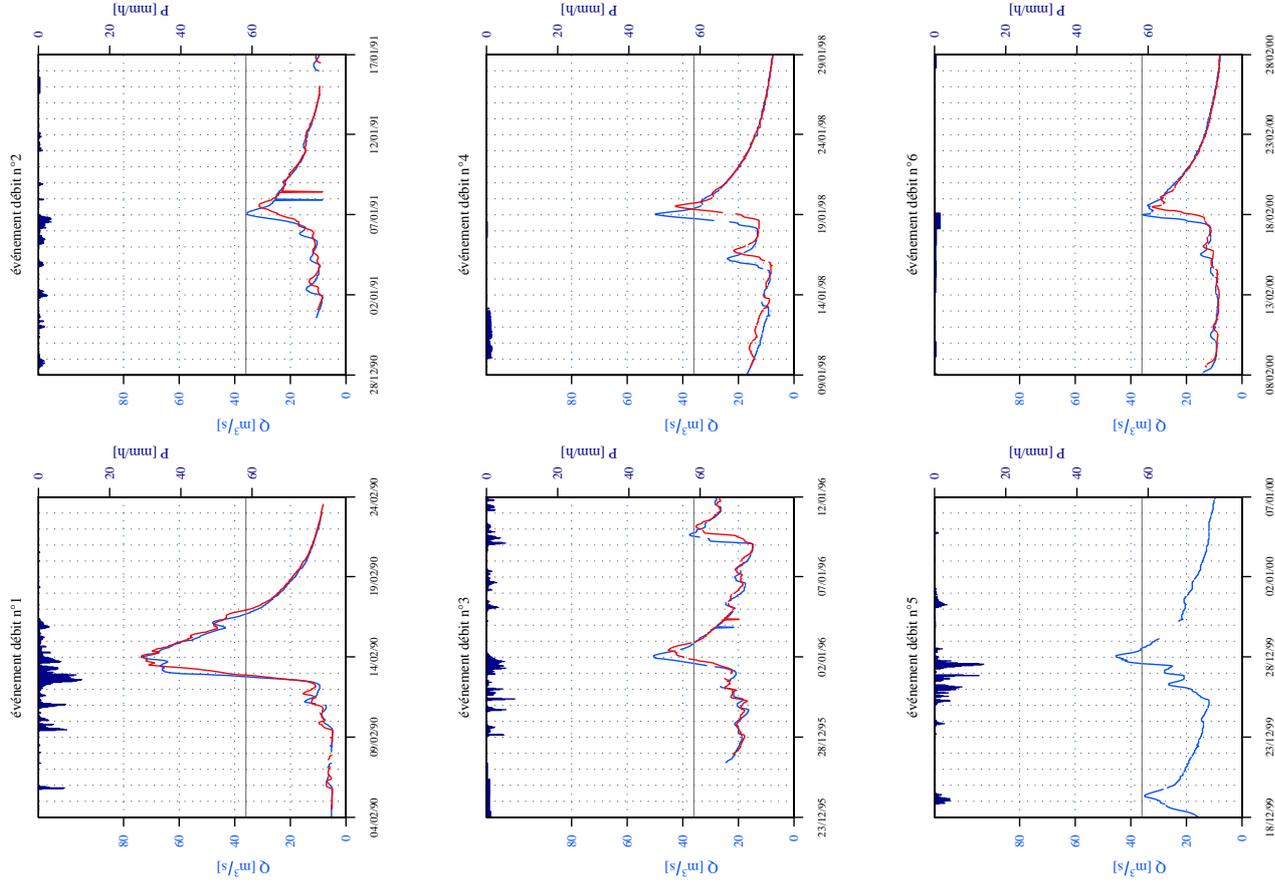
P3922520 Corréze à Brive-la-Gaillarde [Pont du Buy] (S=946 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



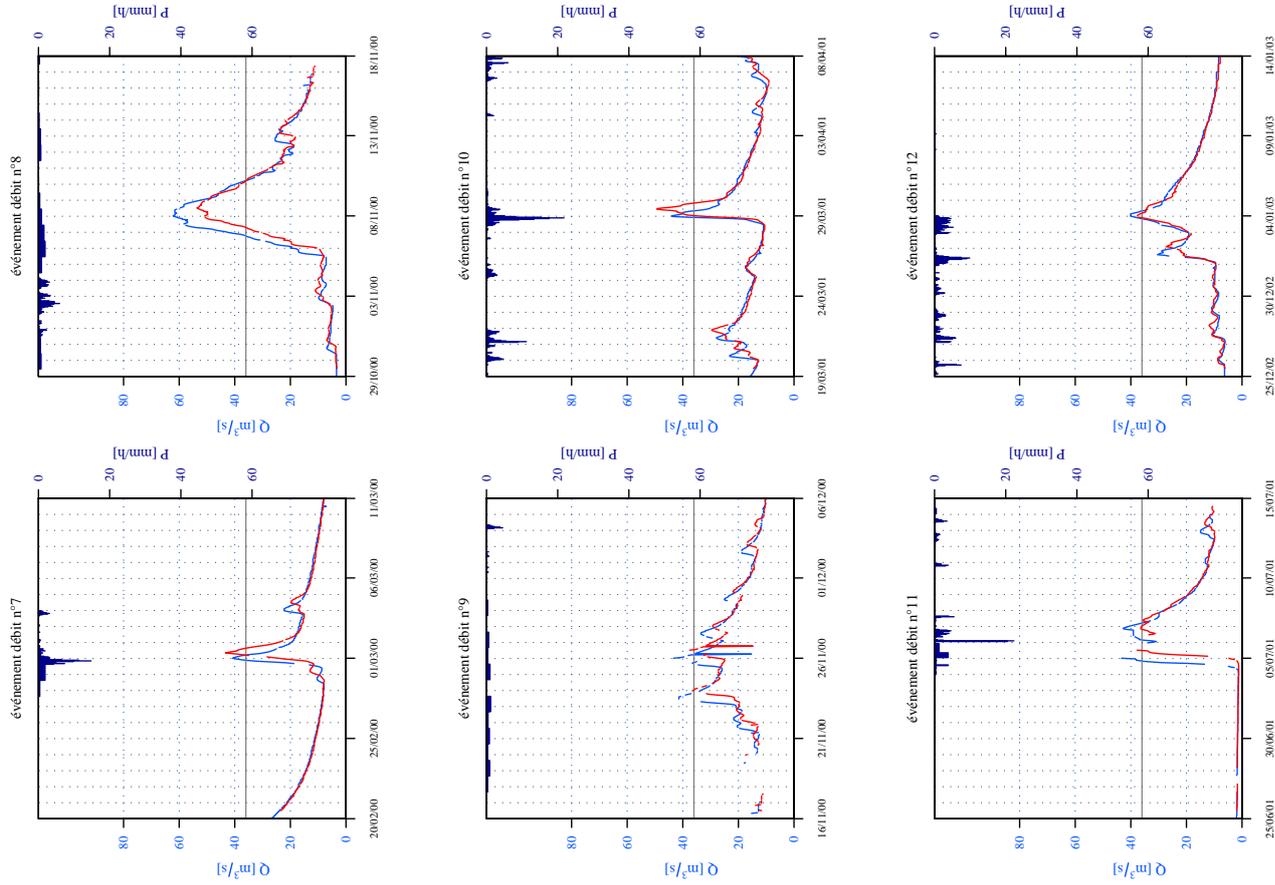
P3352510 Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont] (CORR) (S=170 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



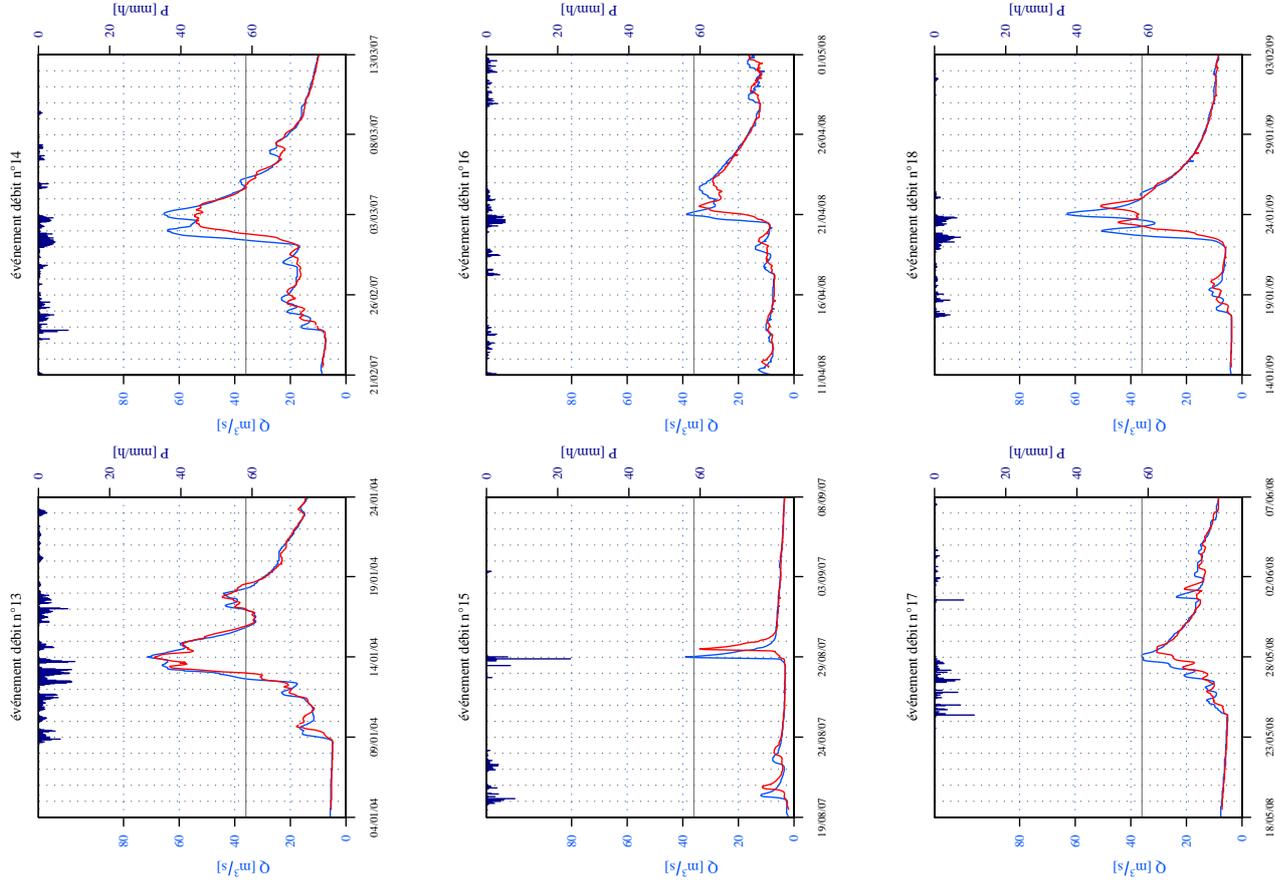
P3352510 Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont] (CORR) (S=170 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



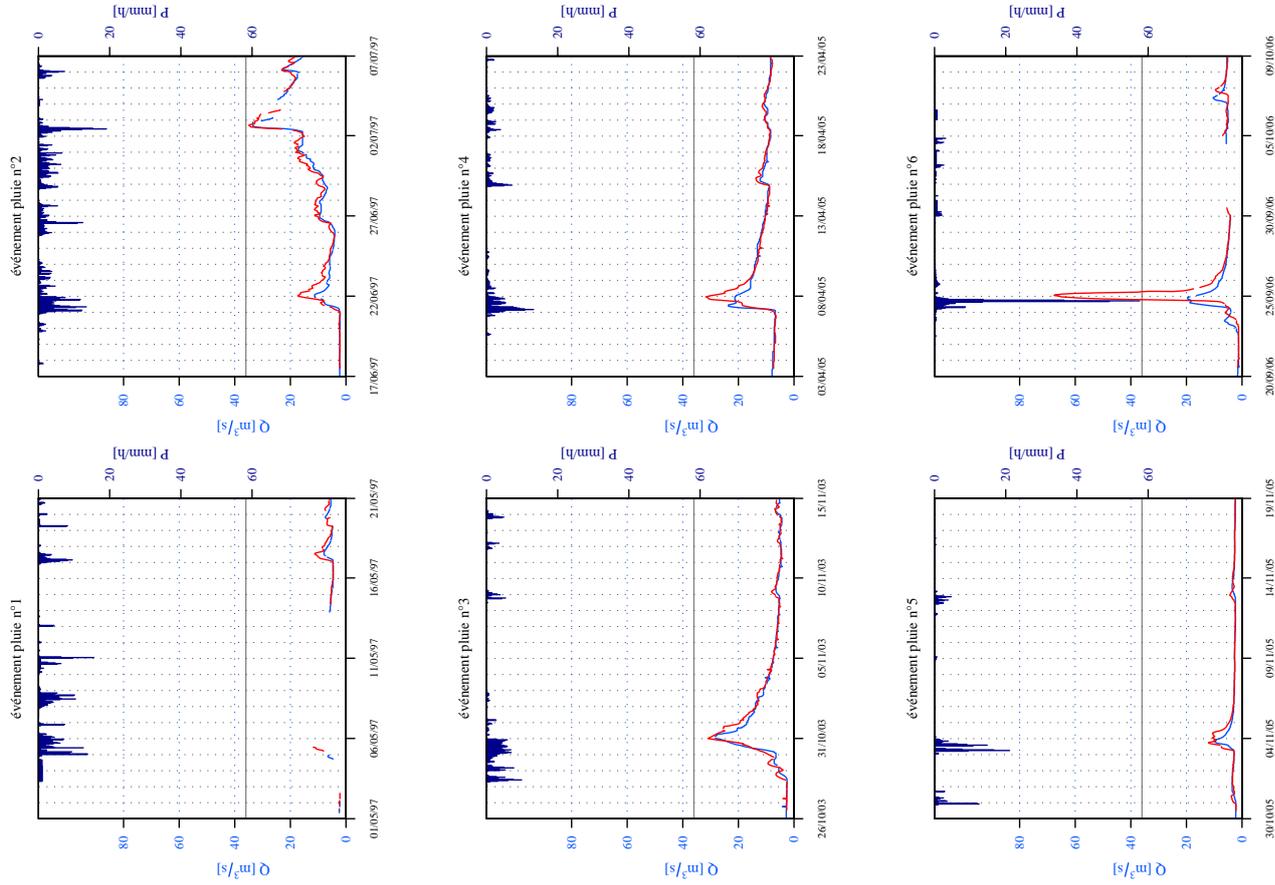
P3352510 Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont] (CORR) (S=170 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



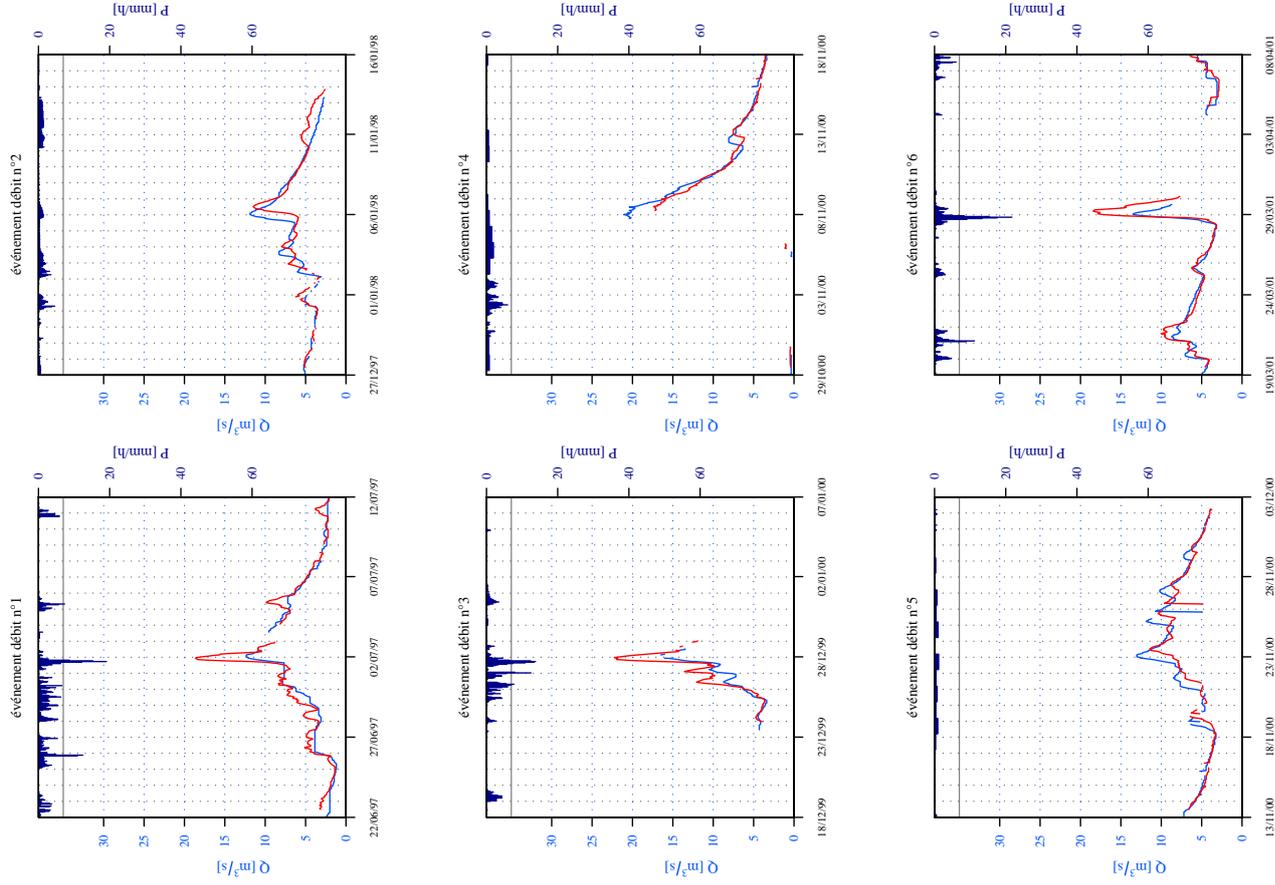
P3352510 Corrèze à Corrèze [Pont de Neupont] (CORR) (S=170 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



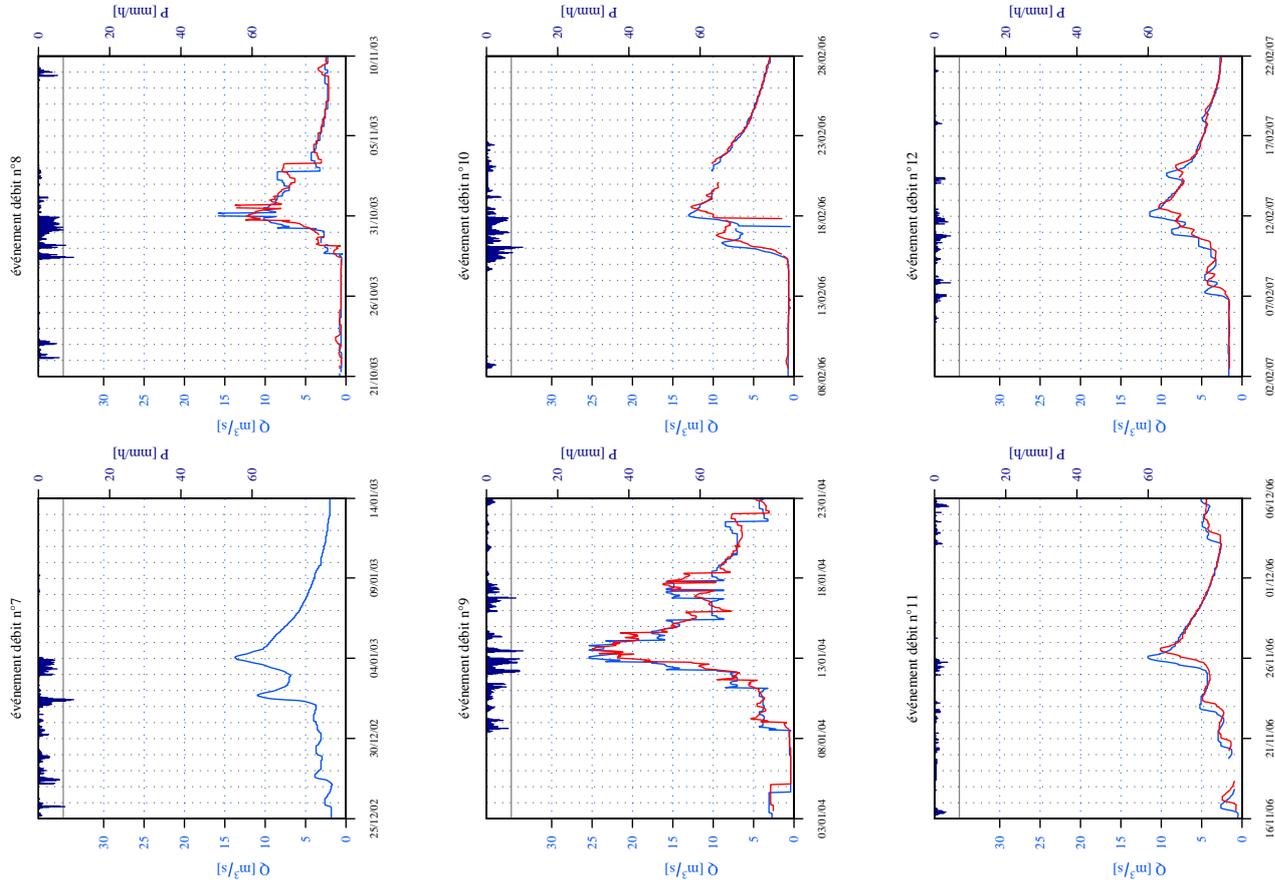
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR) (S=53 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



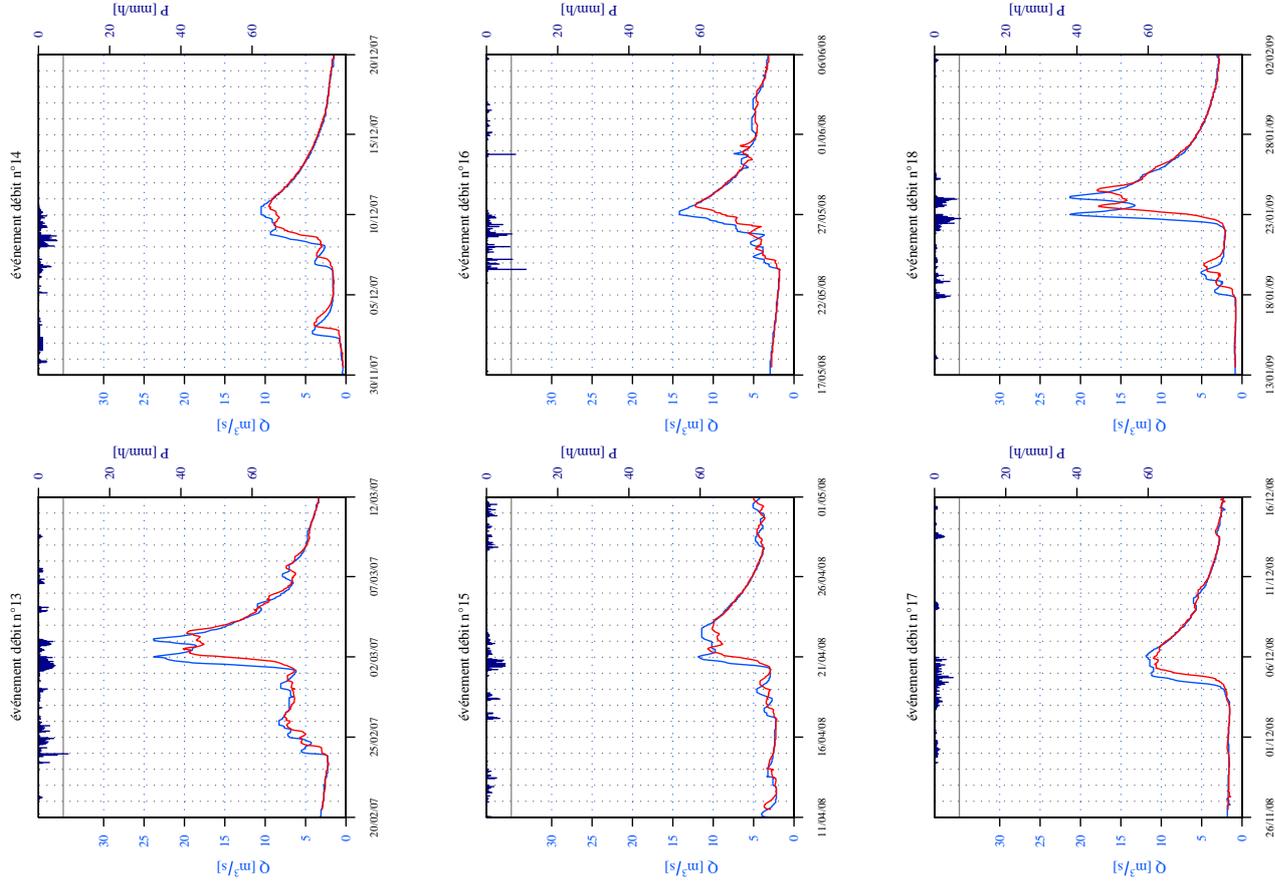
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR) (S=53 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



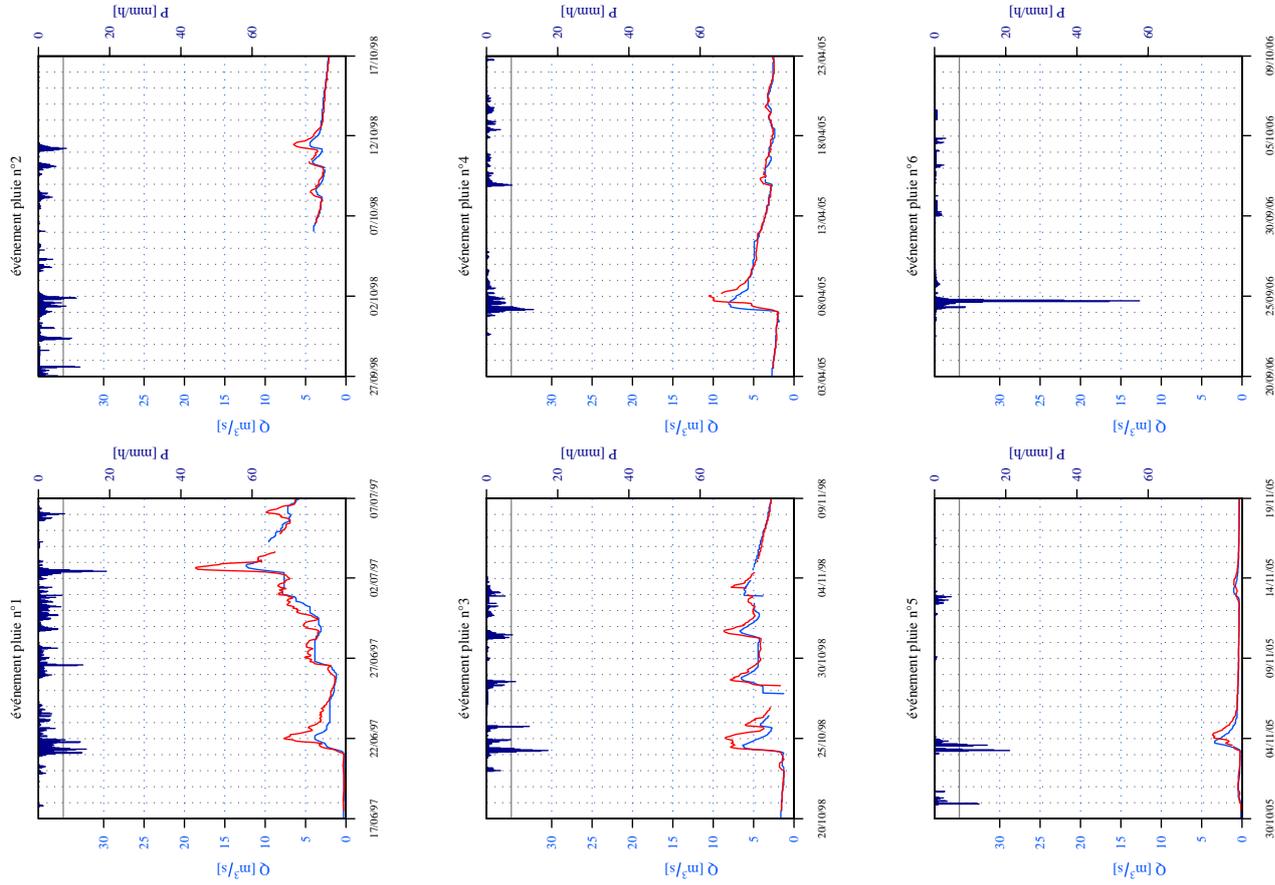
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR) (S=53 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



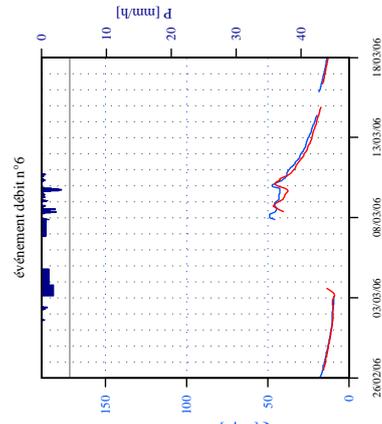
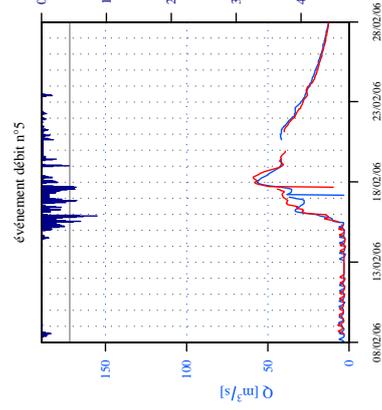
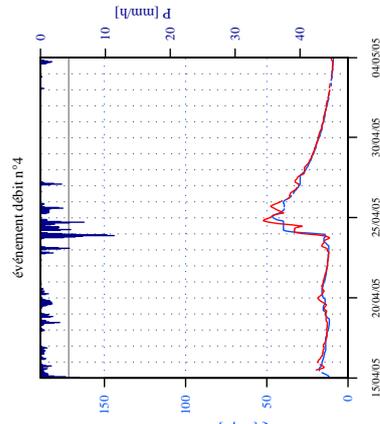
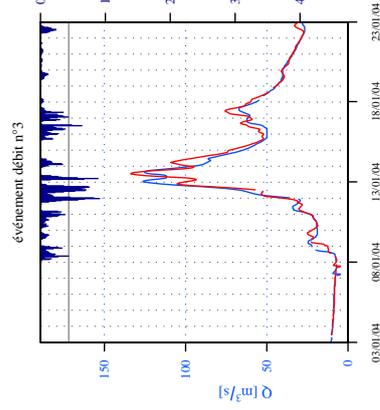
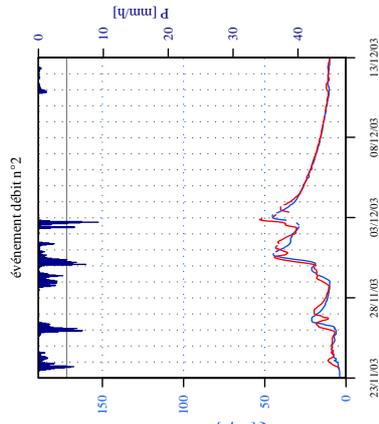
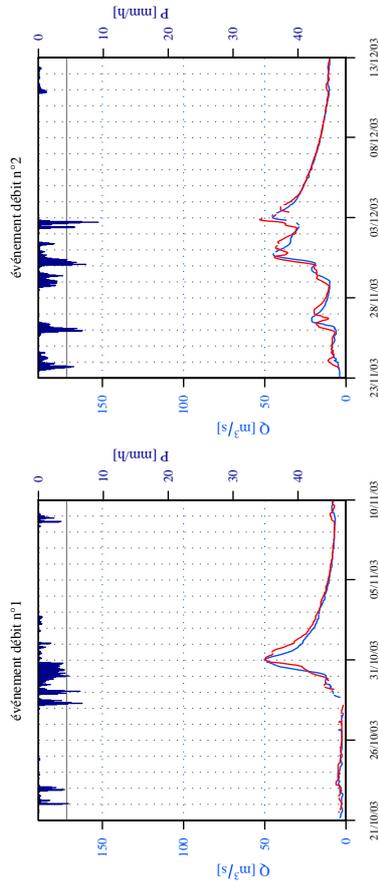
P3322510 Corrèze à Saint-Yrieix-le-Déjalat (STYR) (S=53 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



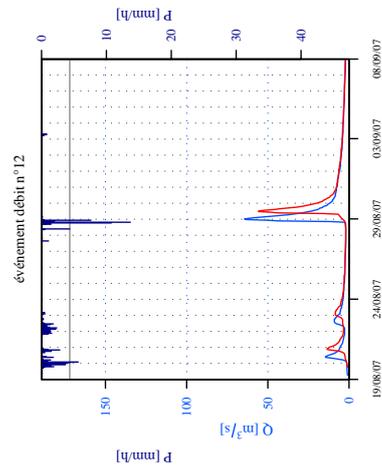
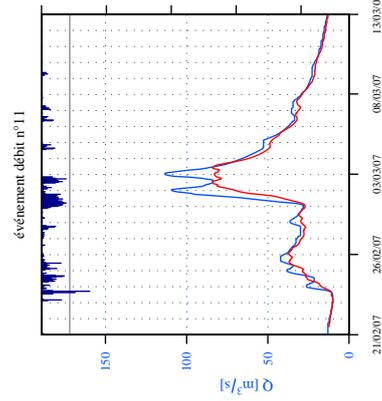
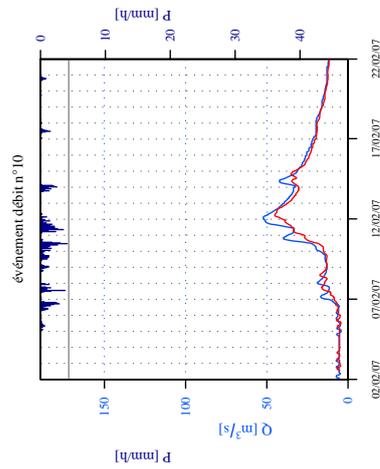
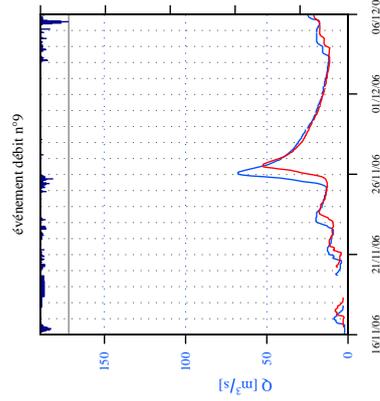
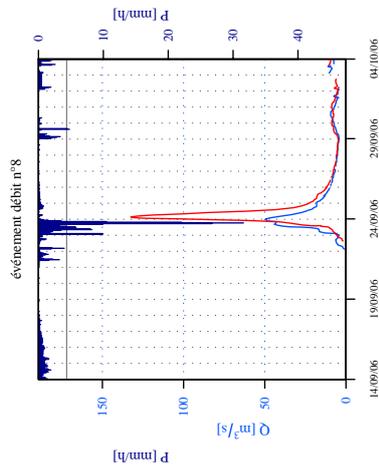
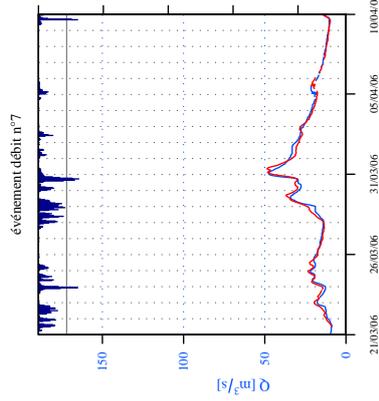
P3502510 Corréze à Tuile [Pont des soldats] (TULL) (S=371 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



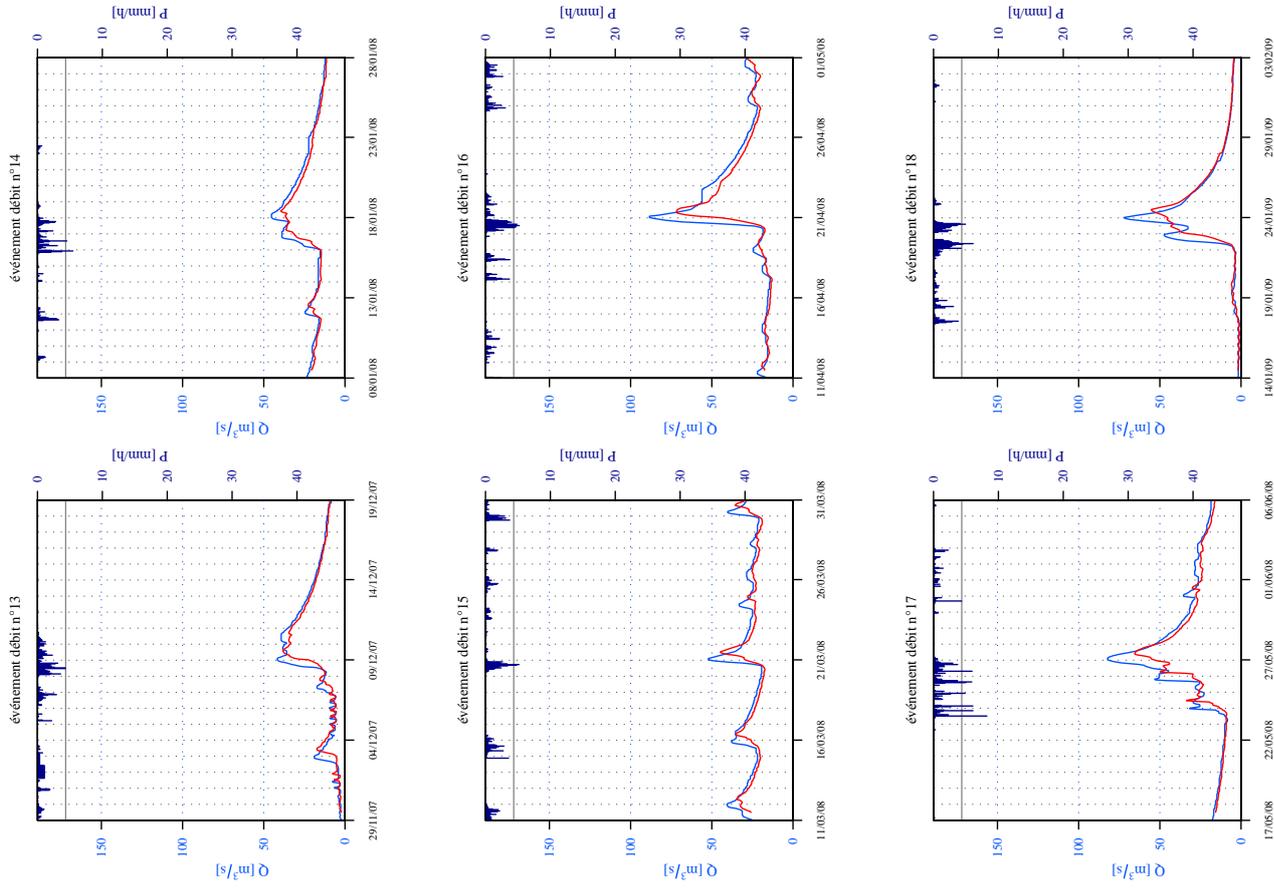
P3502510 Corréze à Tuile [Pont des soldats] (TULL) (S=371 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



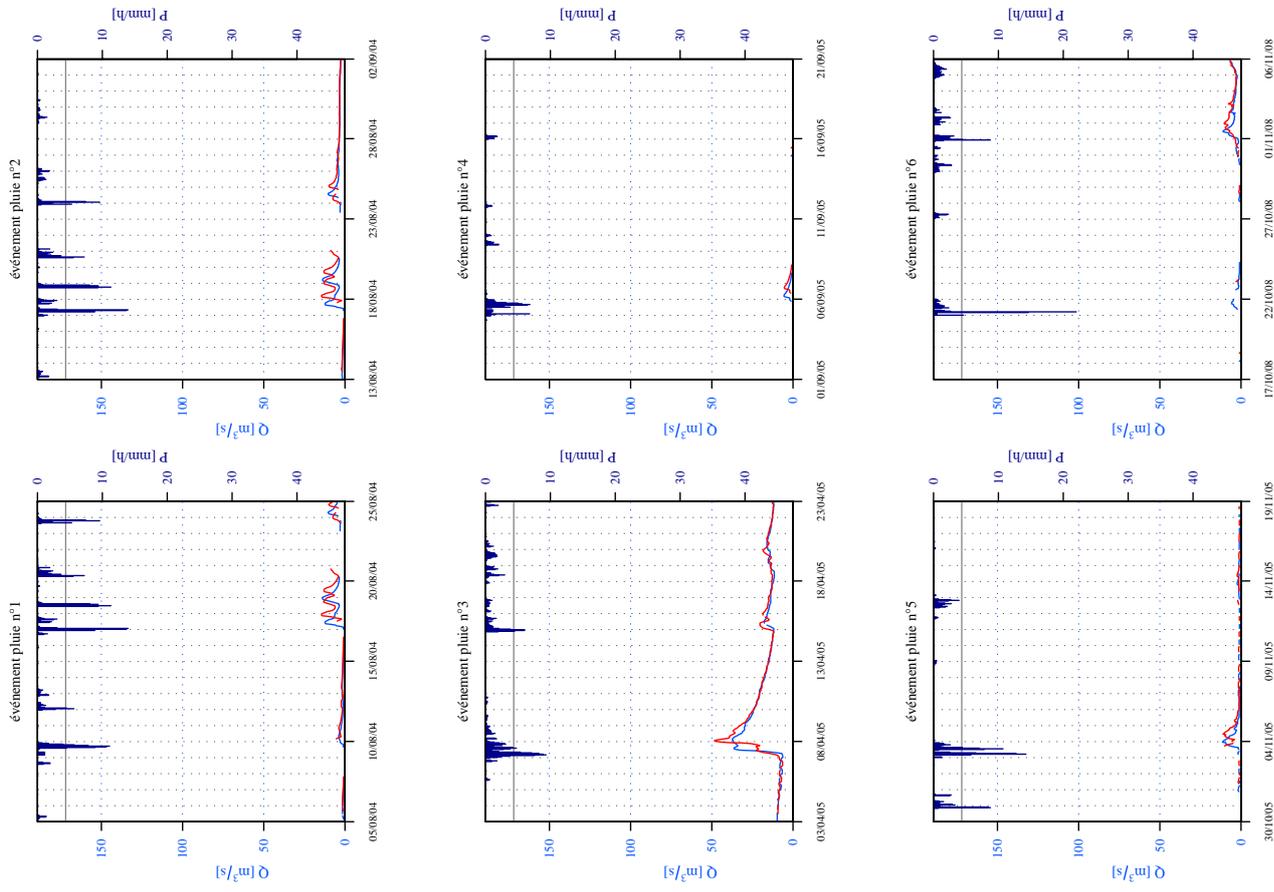
P3502510 Corréze à Tuile [Pont des soldats] (TULL) (S=371 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



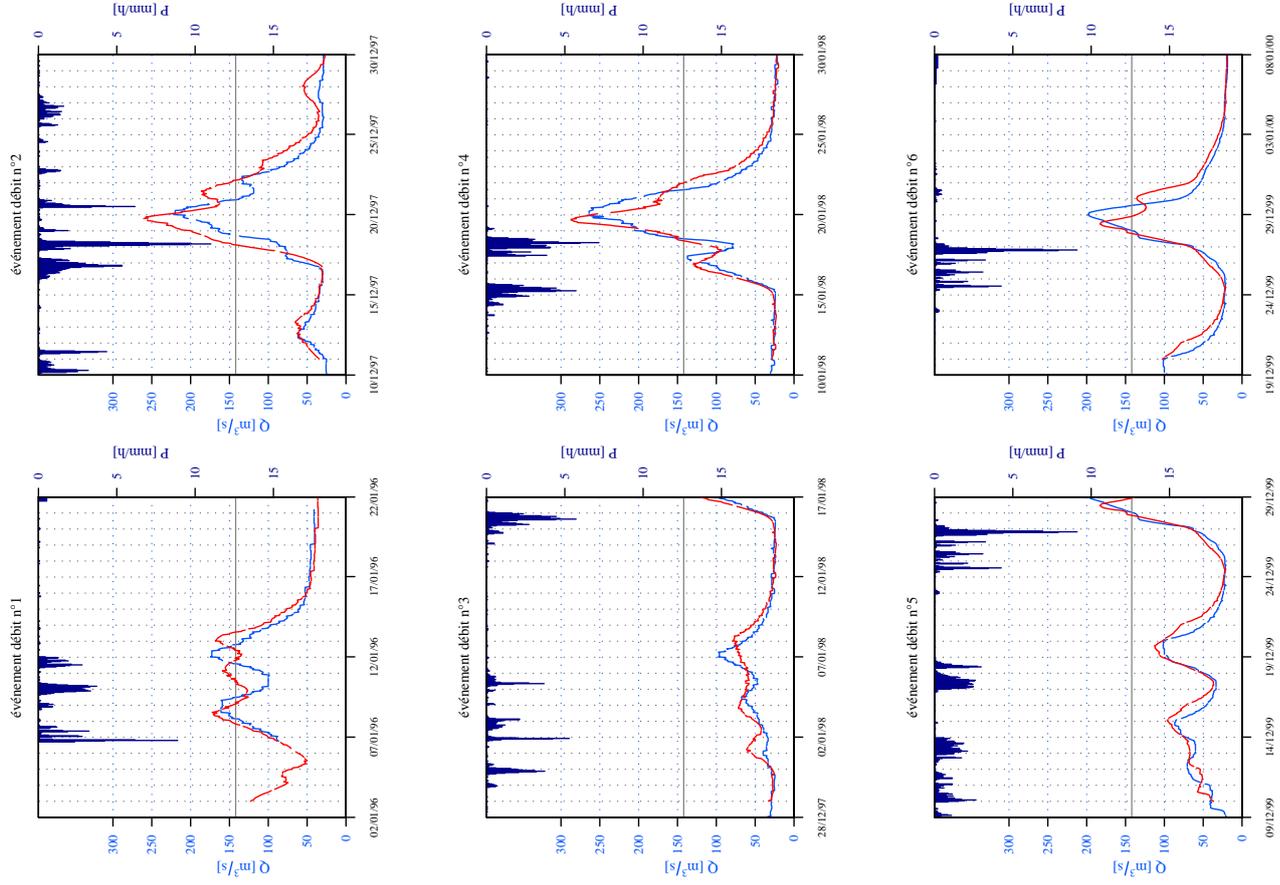
P3502510 Corréze à Tuile [Pont des soldats] (TULL) (S=371 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



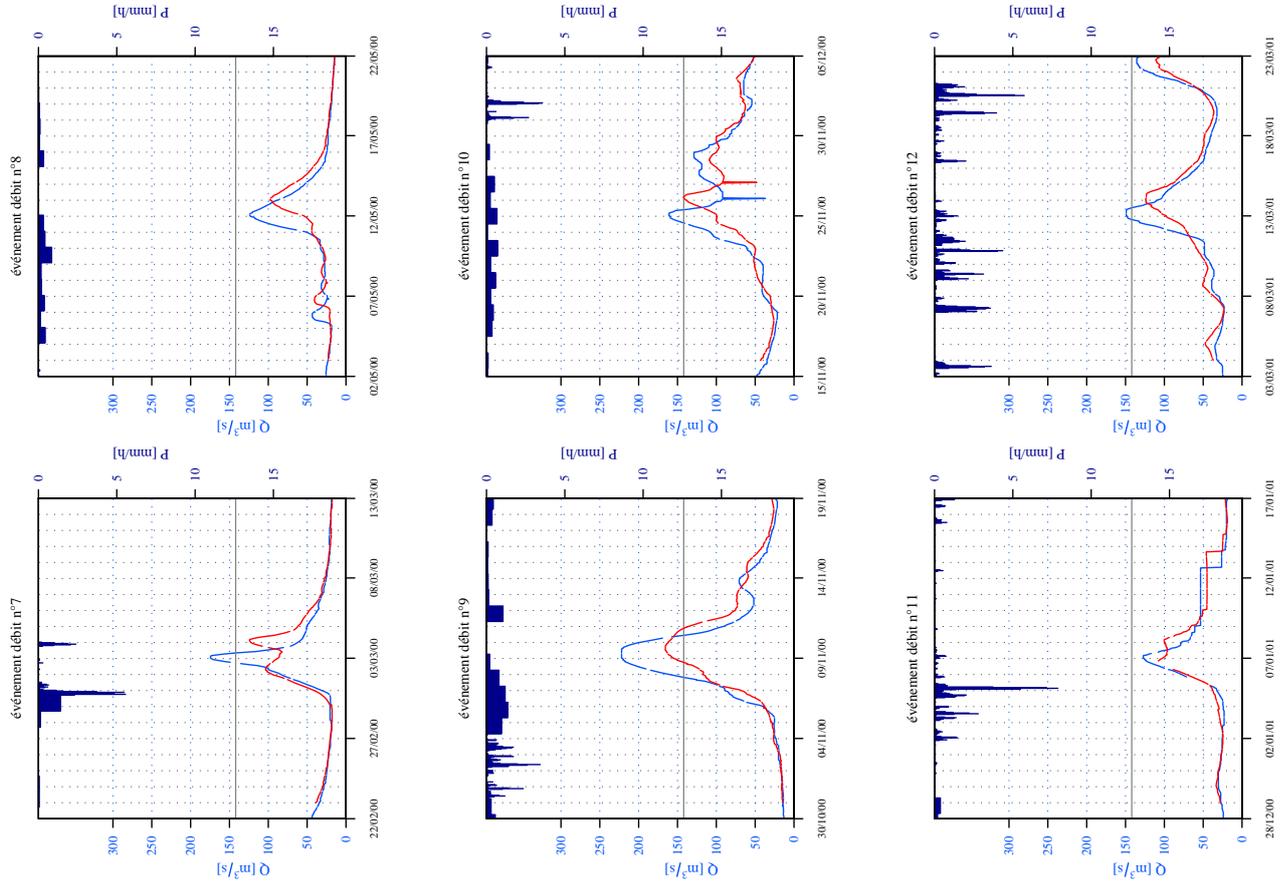
P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne (AUBE) (S=1887 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



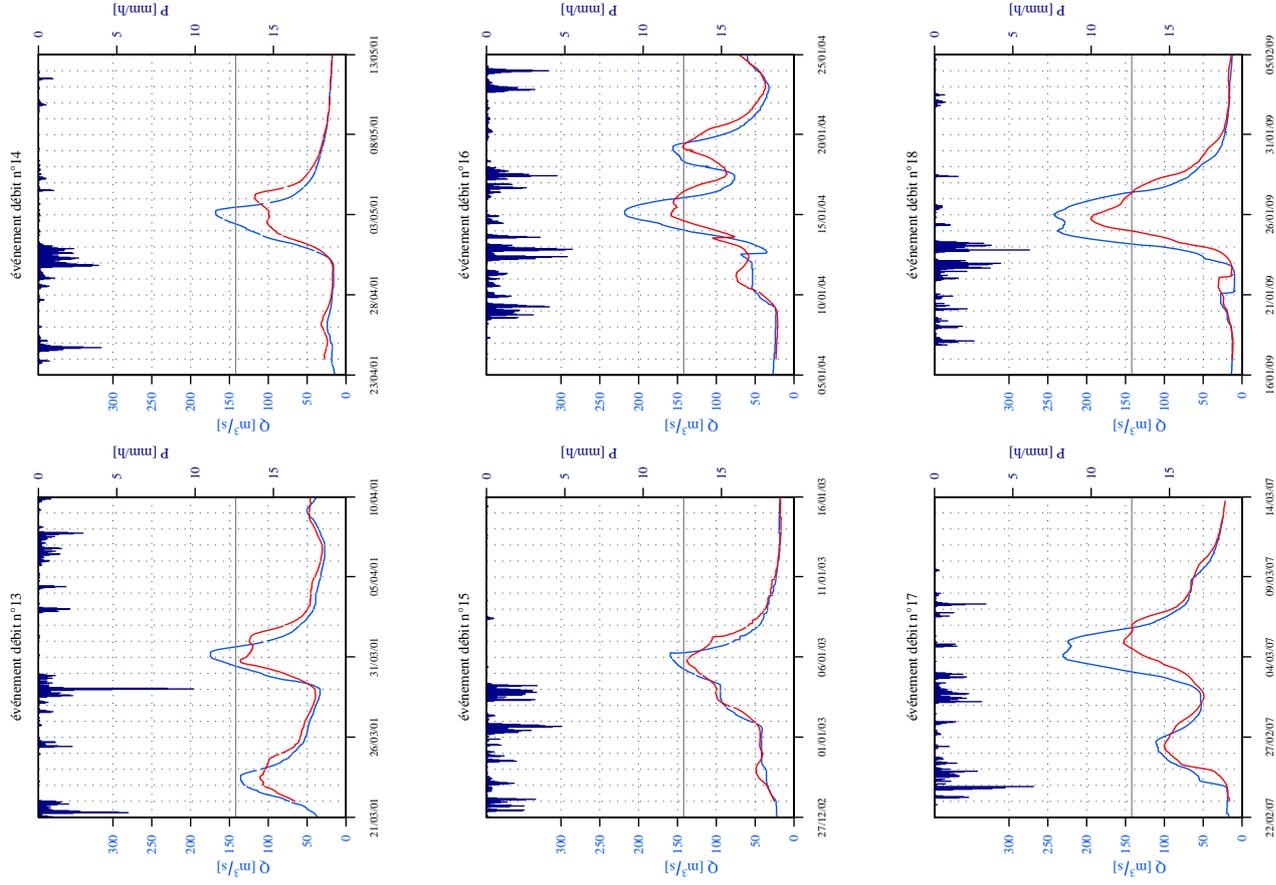
P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne (AUBE) (S=1887 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



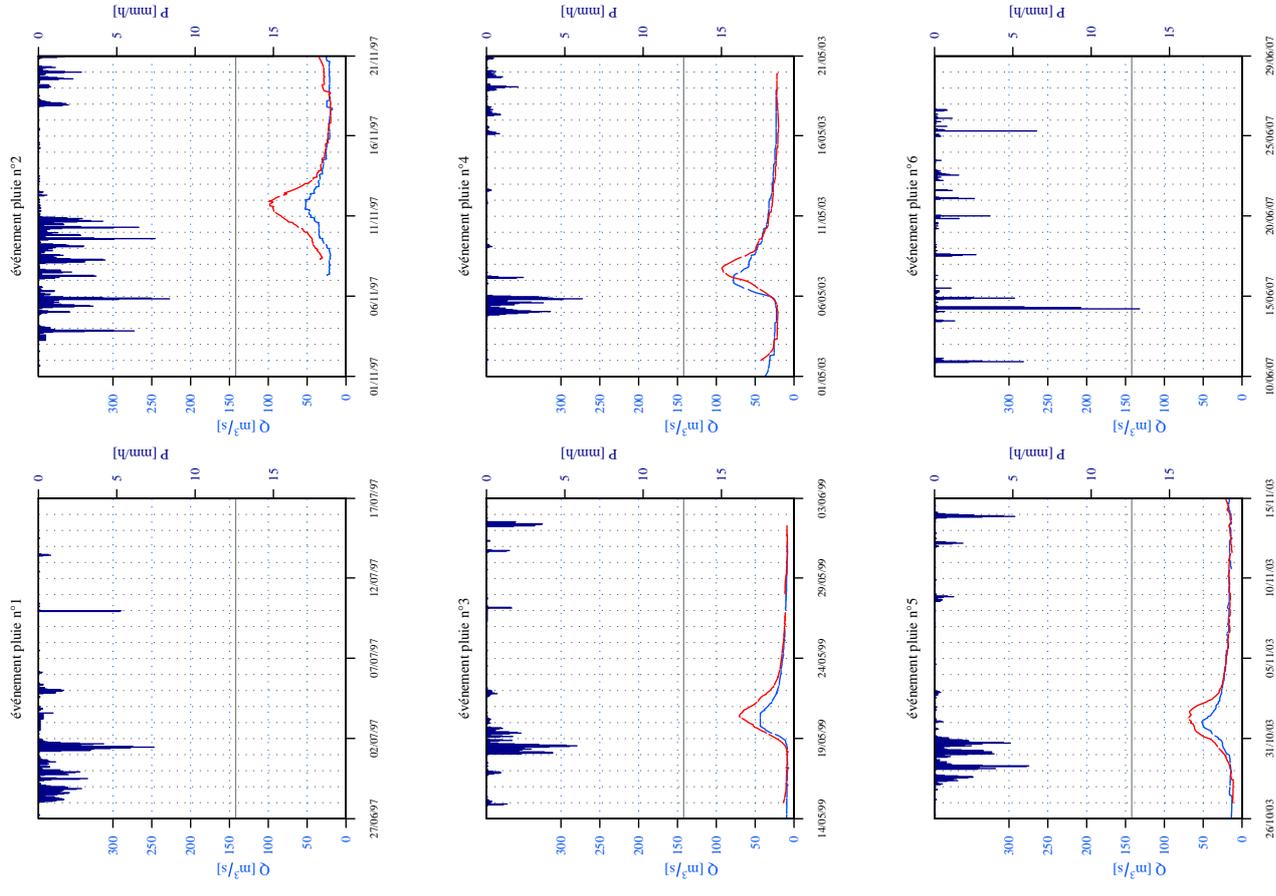
P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne (AUBE) (S=1887 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



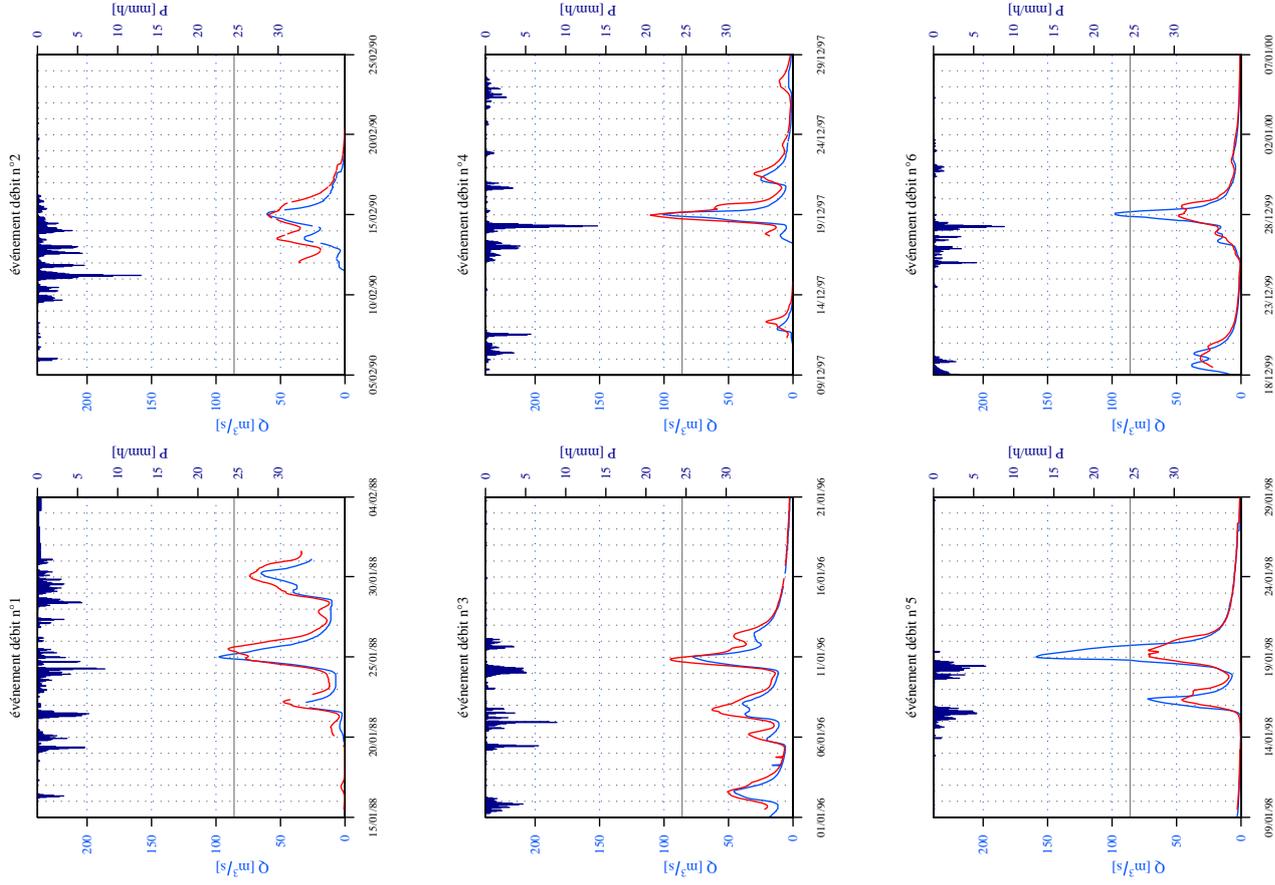
P8312510 Dronne à Aubeterre-sur-Dronne (AUBE) (S=1887 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



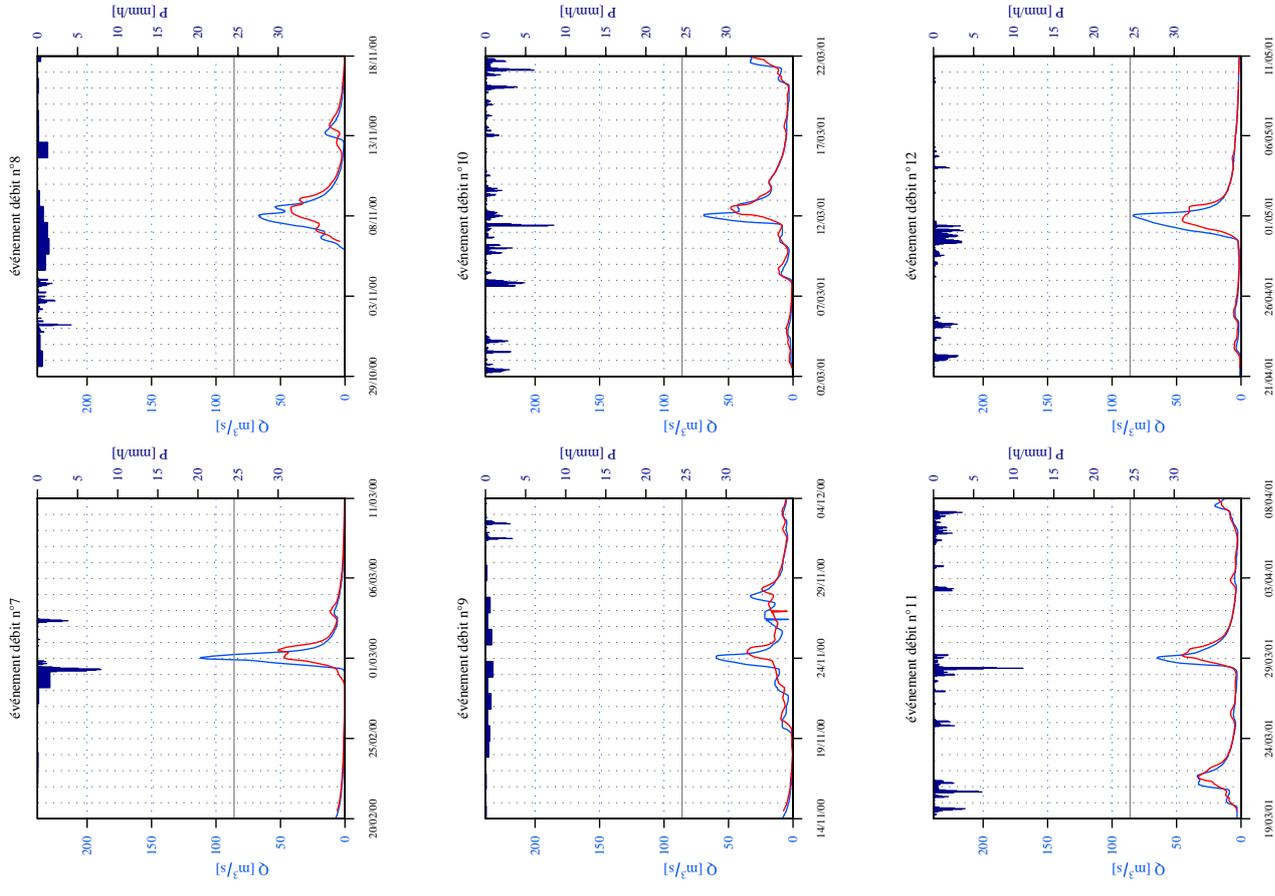
P8102520 Dromne à Brantôme (BRAN) (S=612 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



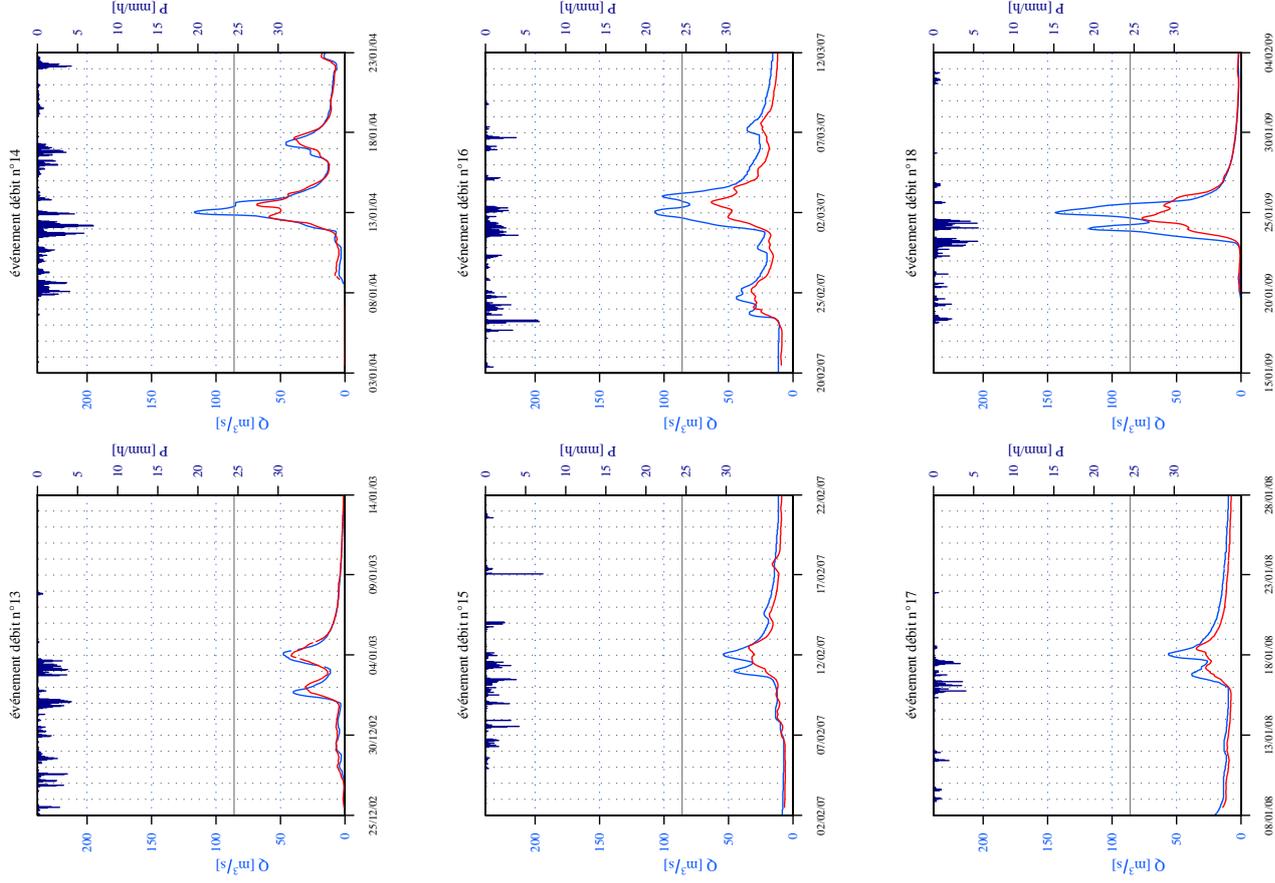
P8102520 Dromne à Brantôme (BRAN) (S=612 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



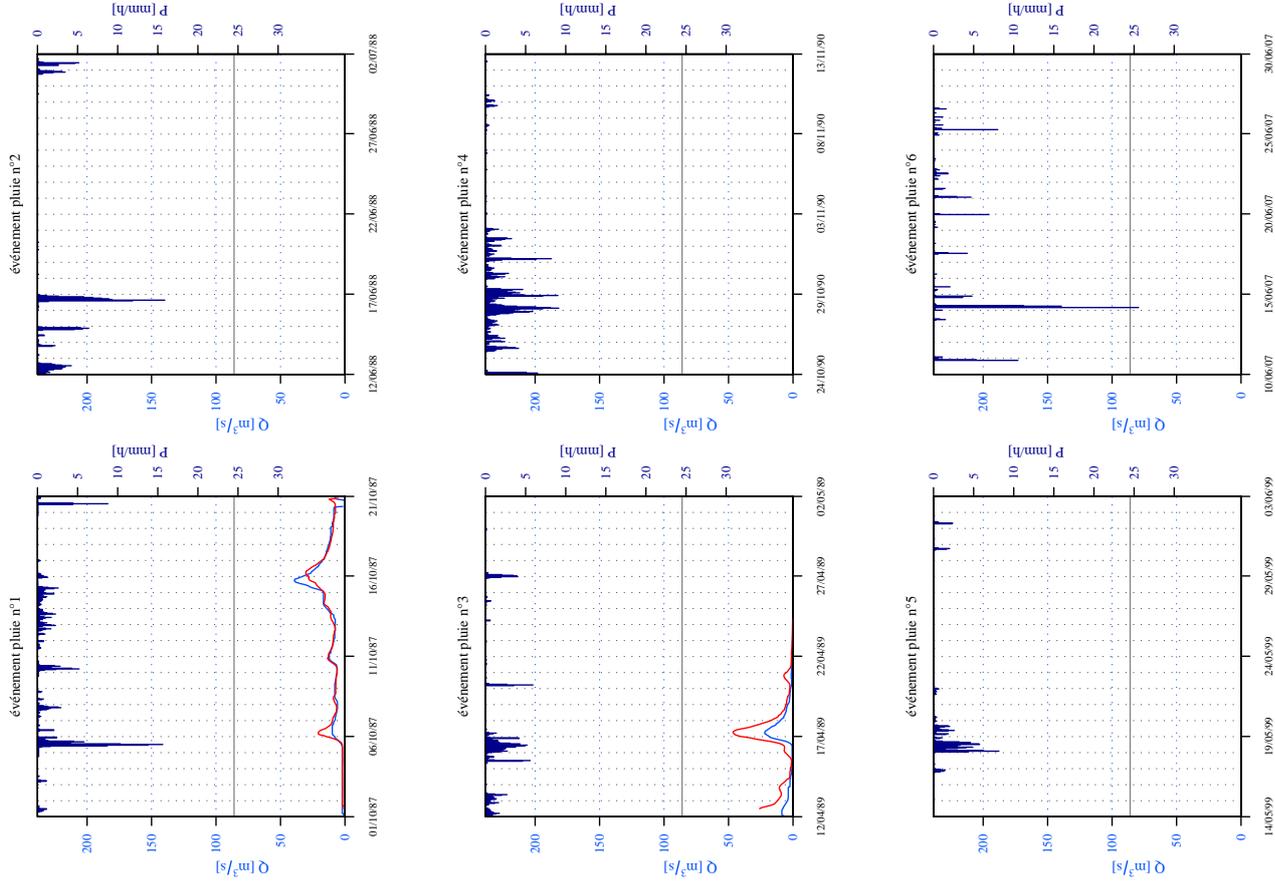
P8102520 Dronne à Brantôme (BRAN) (S=612 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



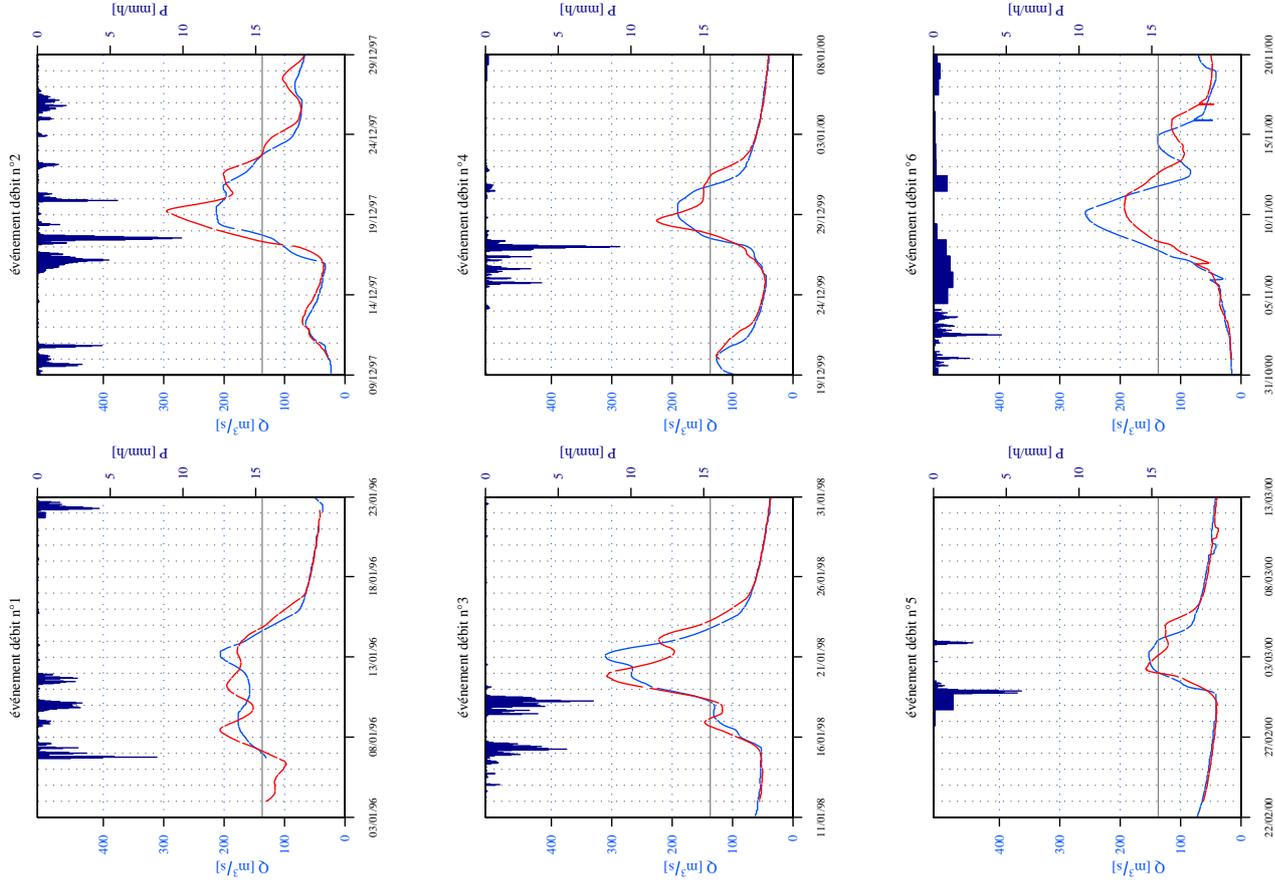
P8102520 Dronne à Brantôme (BRAN) (S=612 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



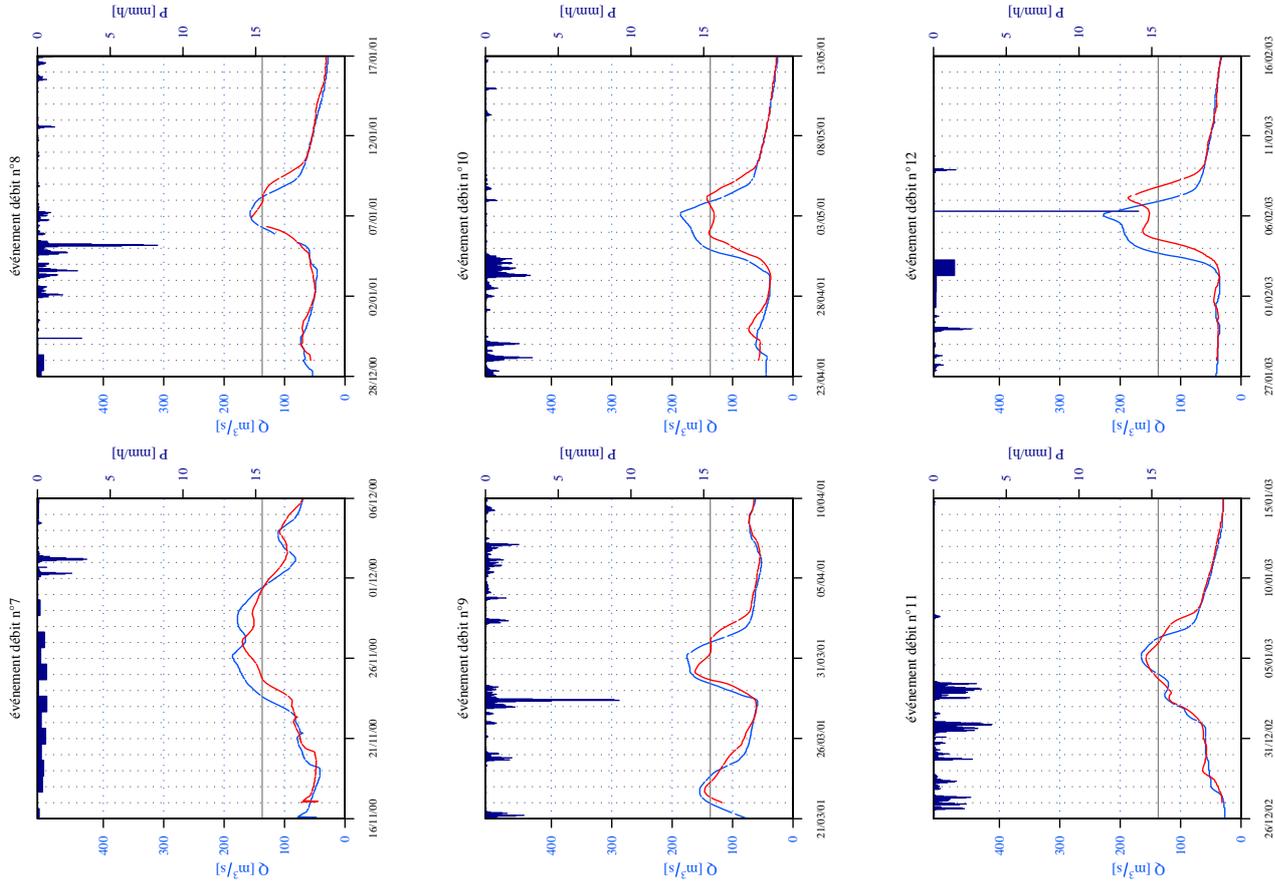
P8462510 Dronne à Coutras (COUT) (S=2798 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



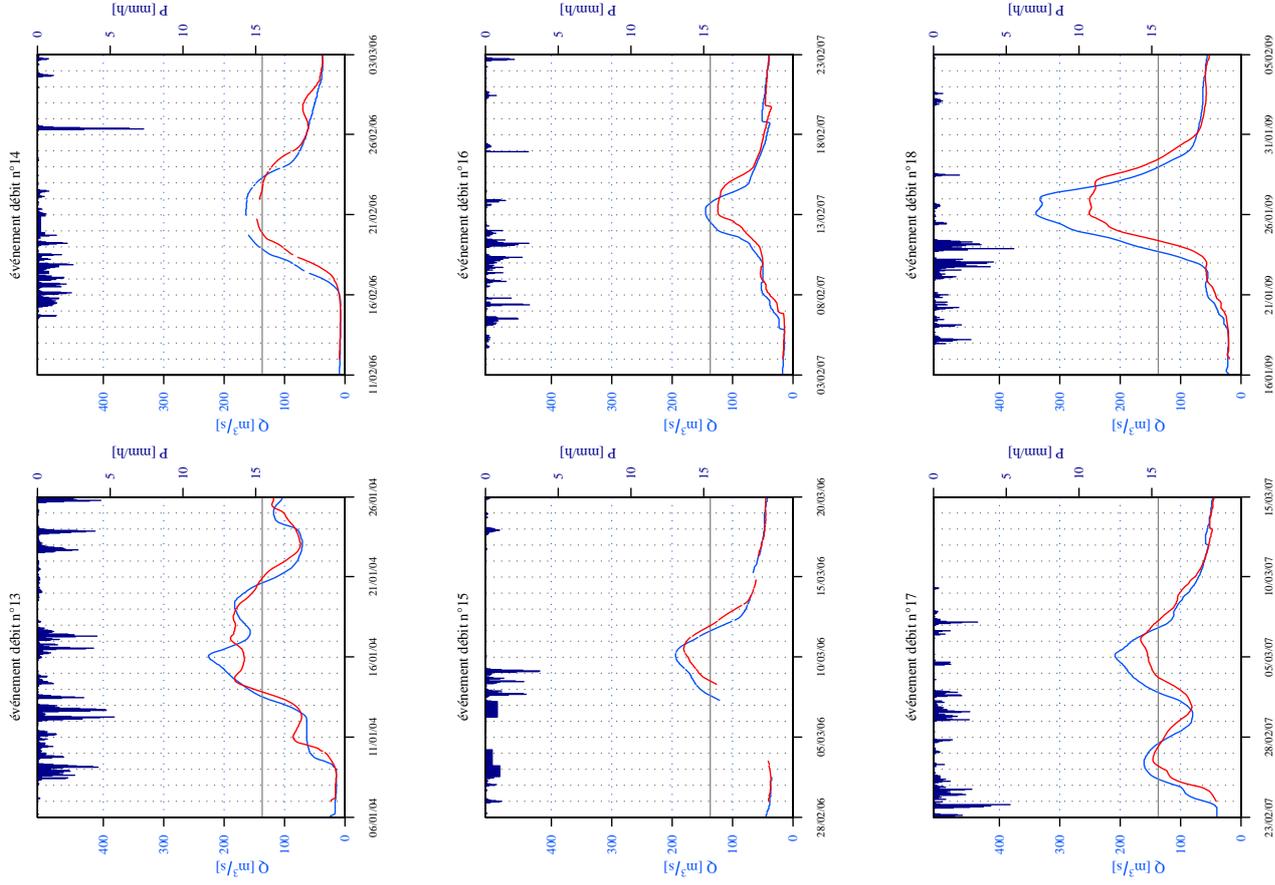
P8462510 Dronne à Coutras (COUT) (S=2798 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



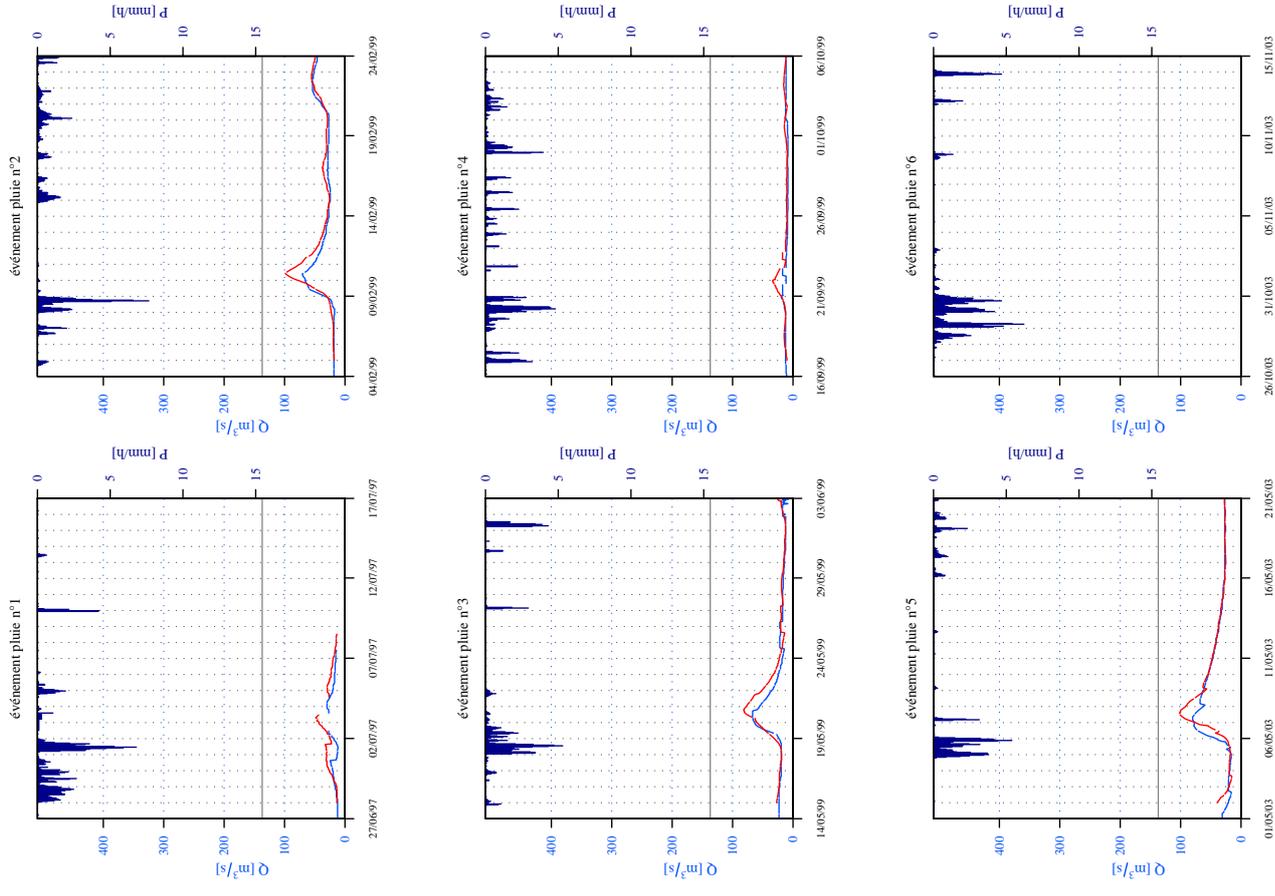
P8462510 Dronne à Coutras (COUT) (S=2798 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



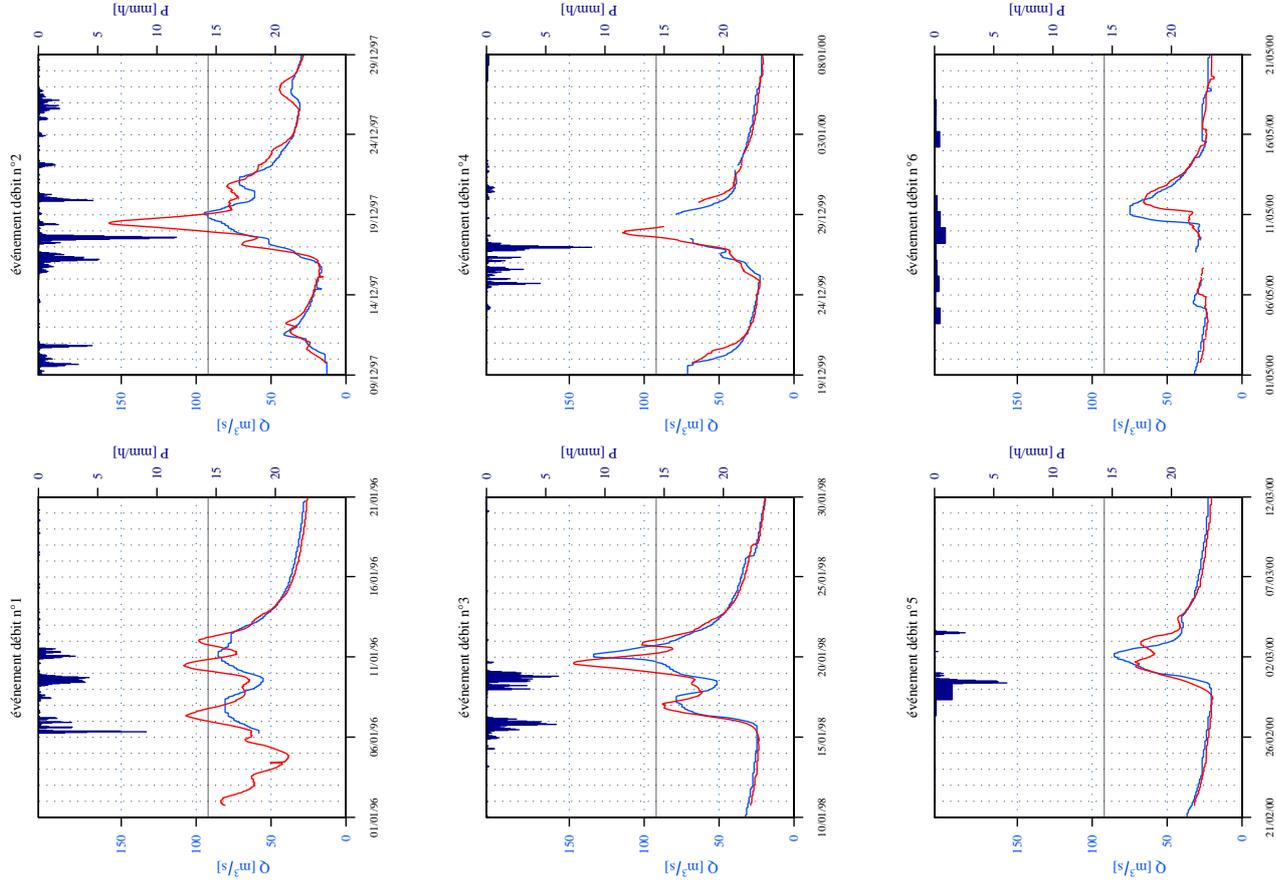
P8462510 Dronne à Coutras (COUT) (S=2798 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



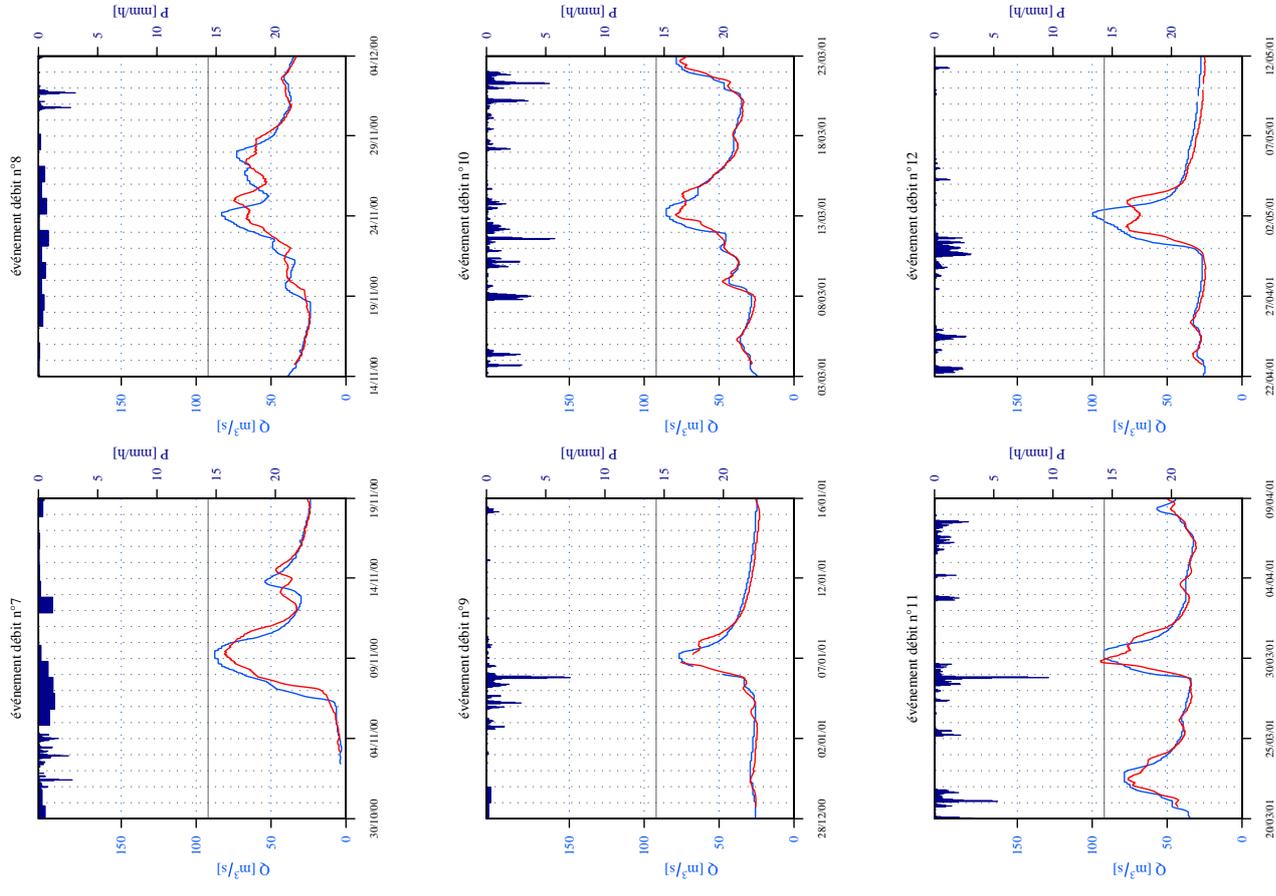
P8162510 Drome à Ribérac (RUBE) (S=1094 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



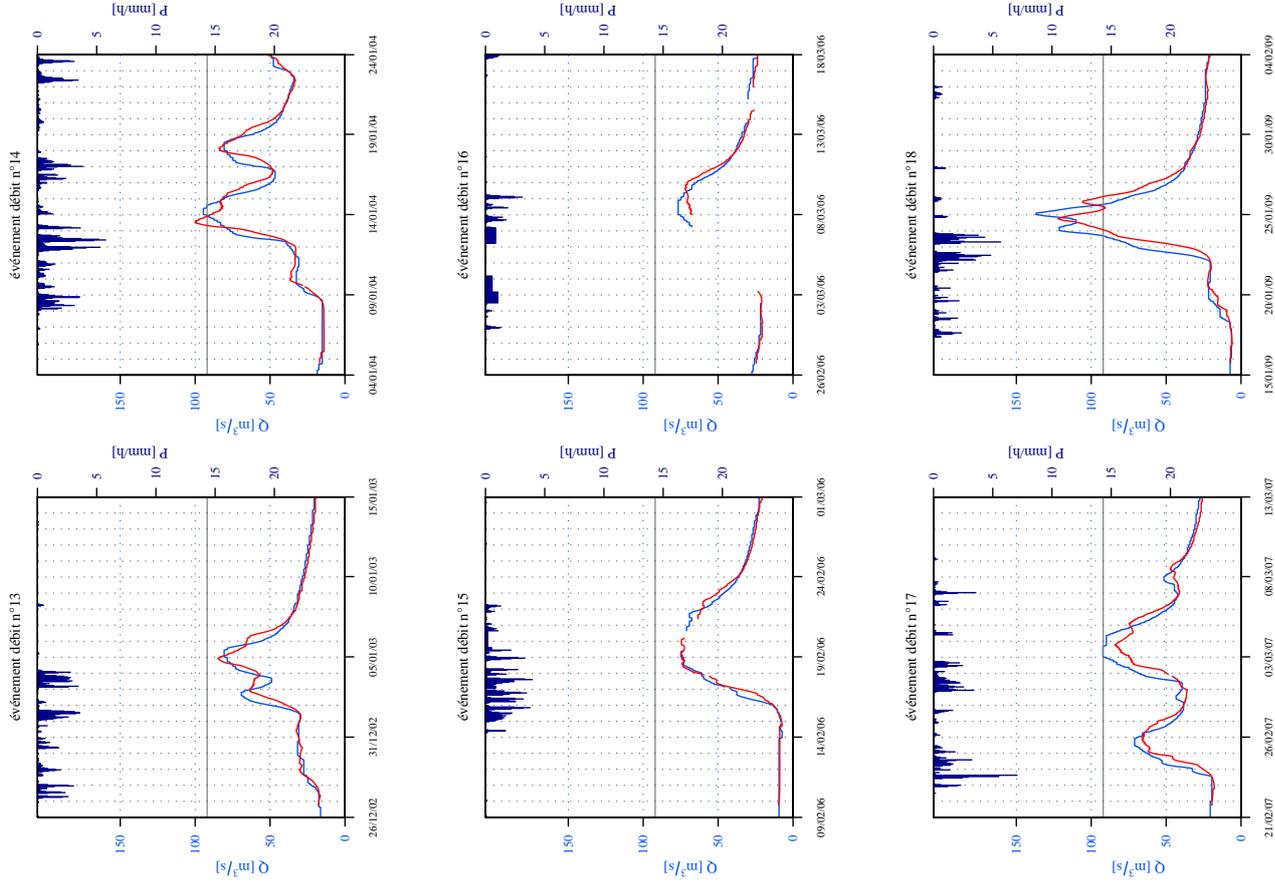
P8162510 Drome à Ribérac (RUBE) (S=1094 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



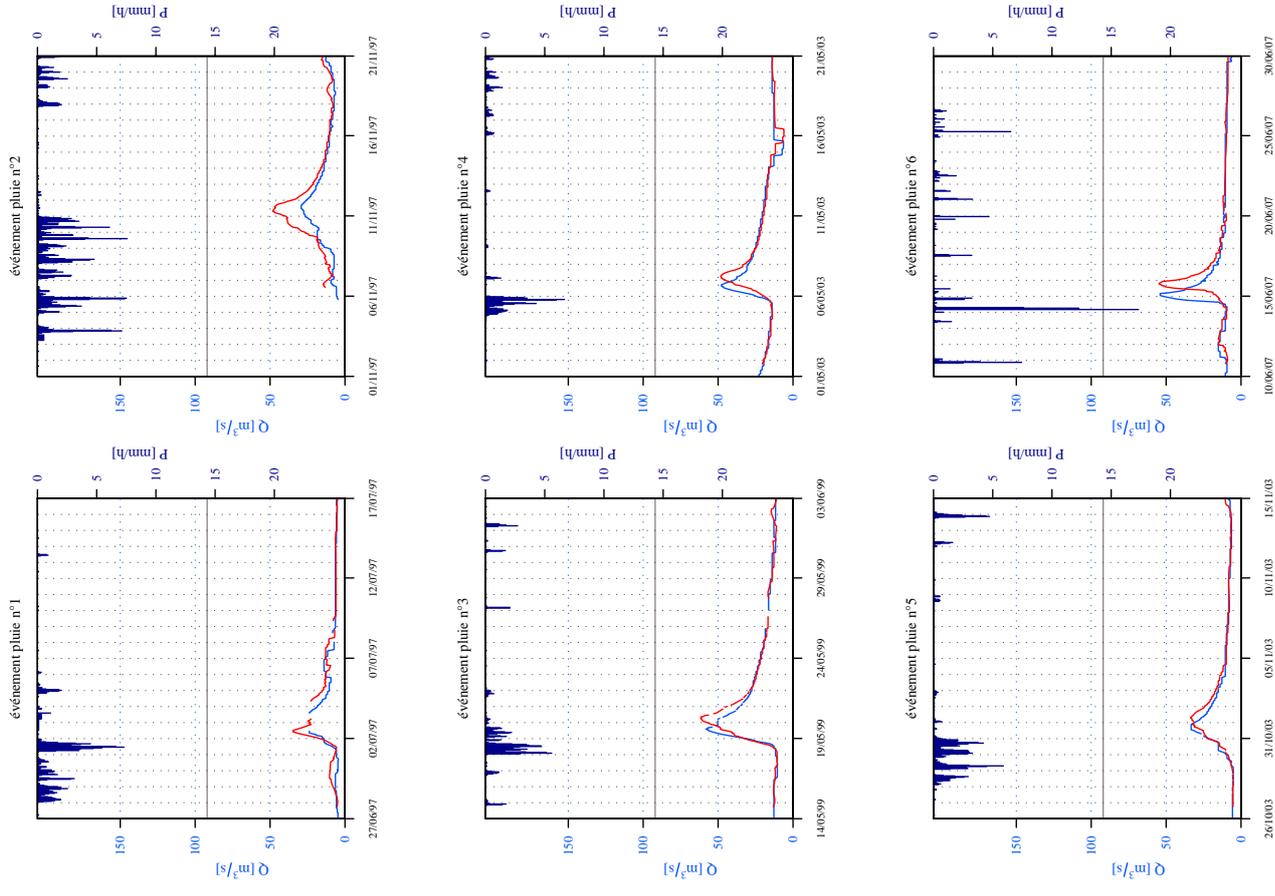
P8162510 Drome à Ribérac (RUBE) (S=1094 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



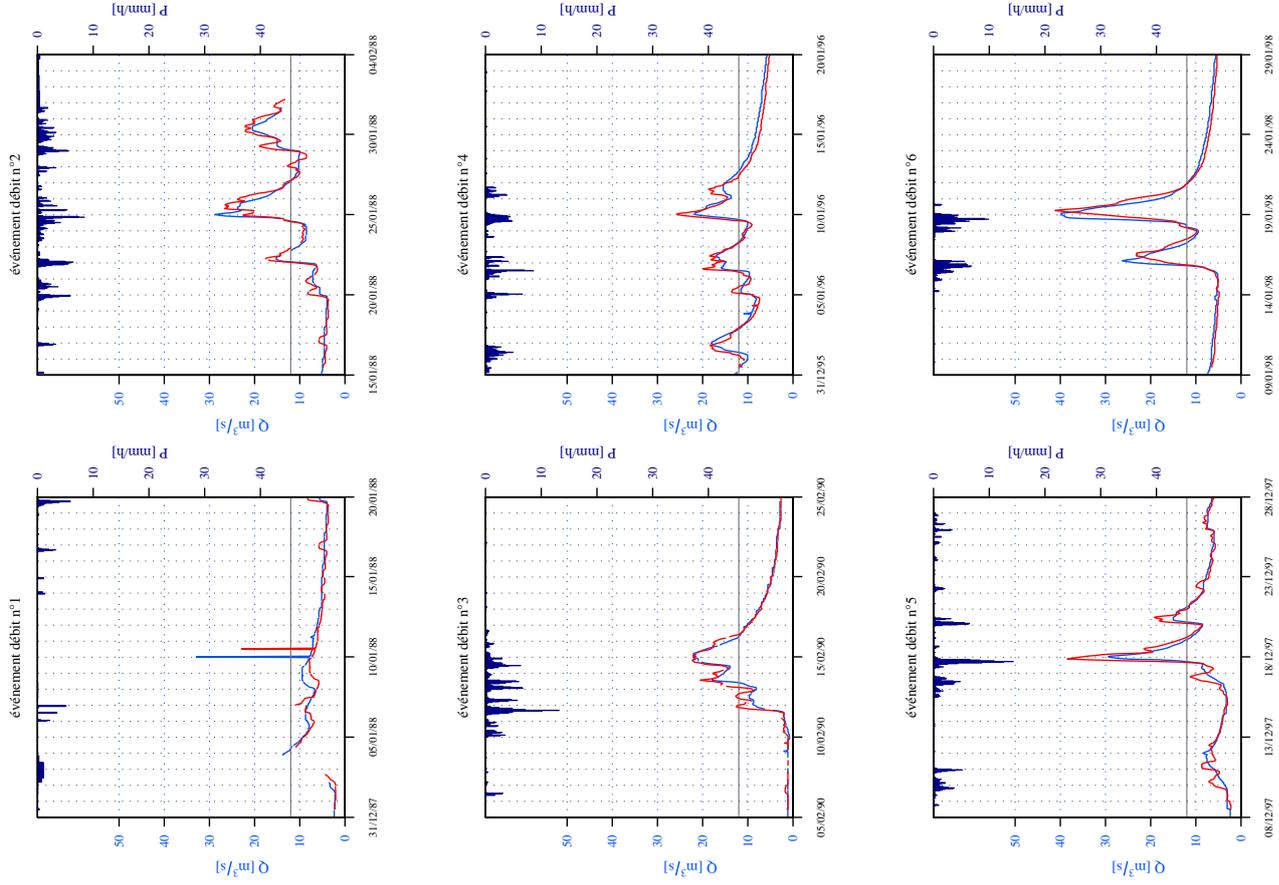
P8162510 Drome à Ribérac (RUBE) (S=1094 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



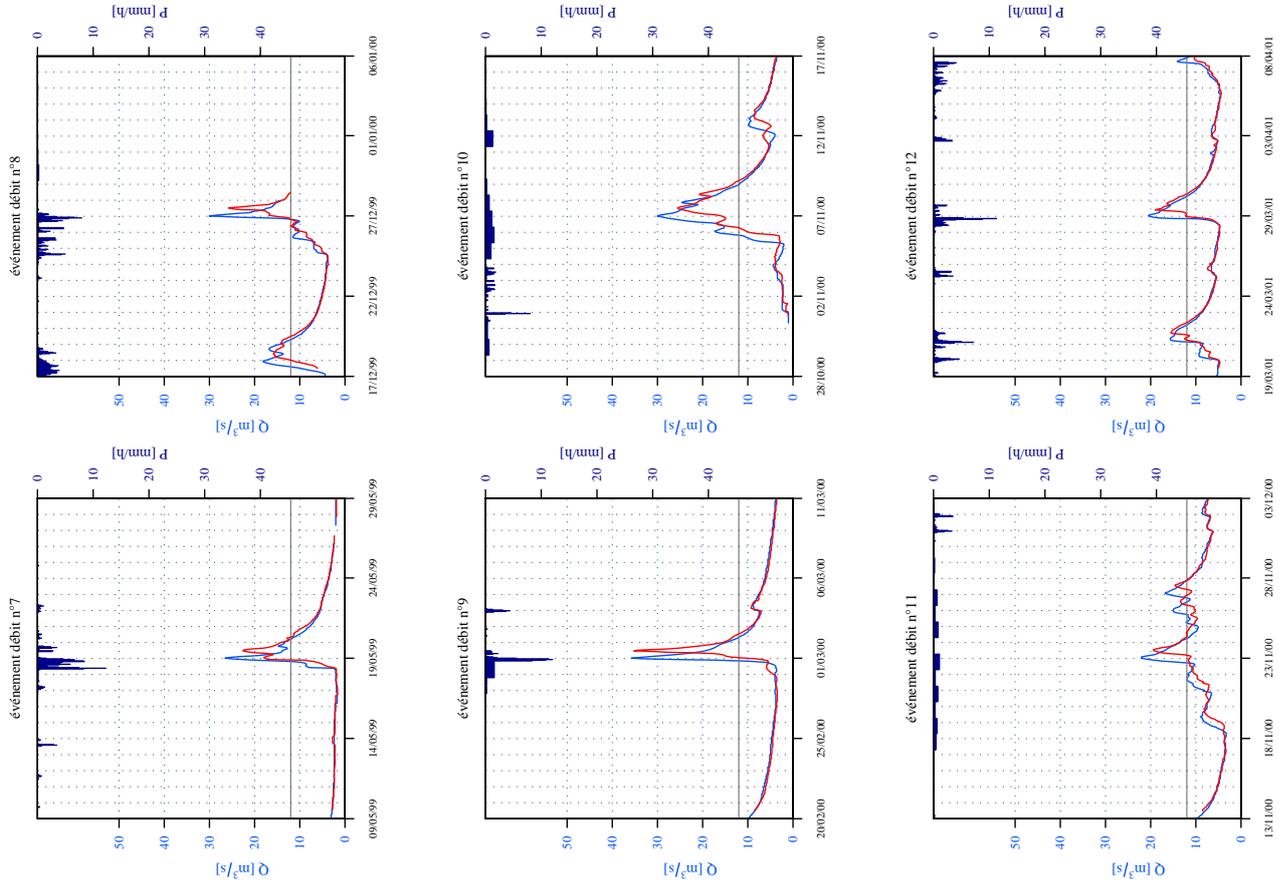
P8022520 Drome à Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA) (S=175 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



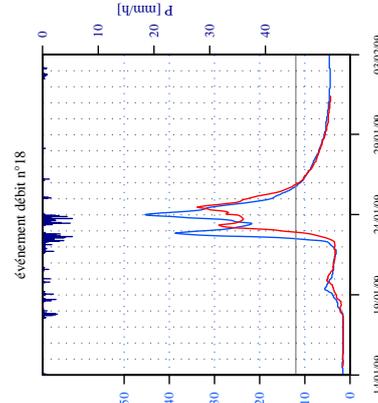
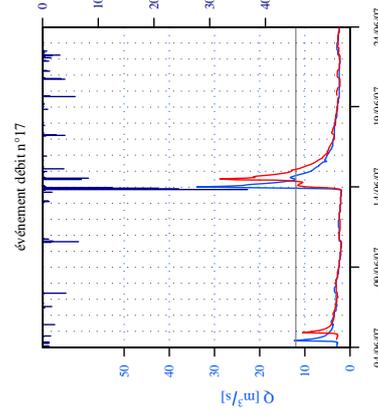
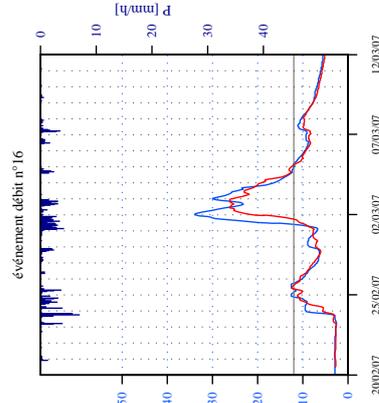
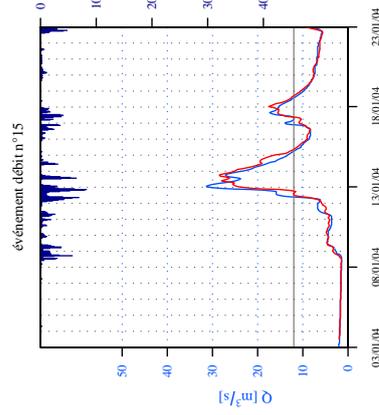
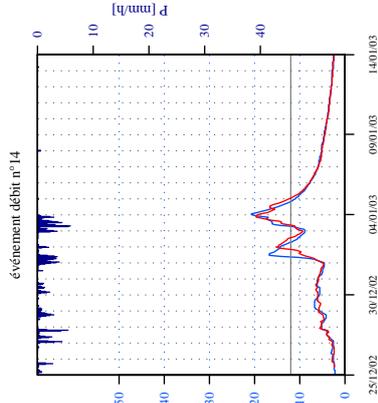
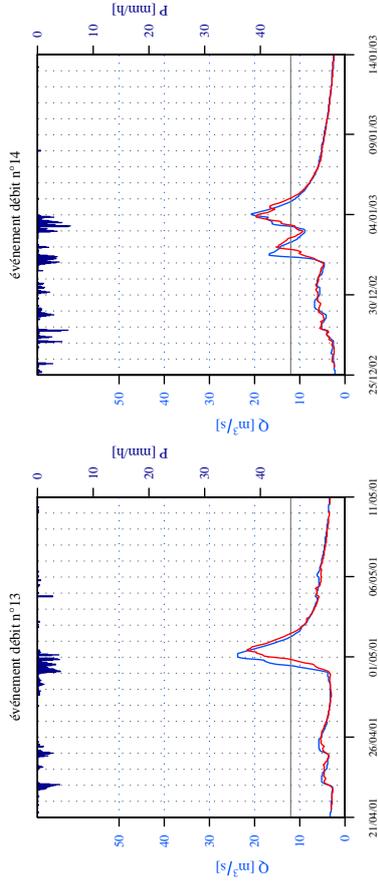
P8022520 Drome à Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA) (S=175 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



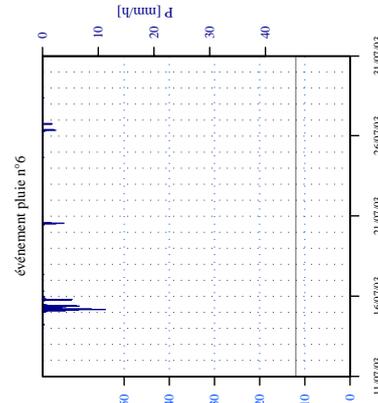
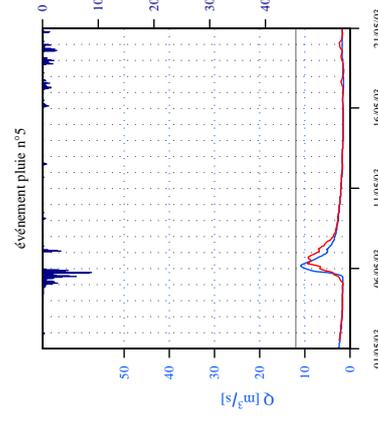
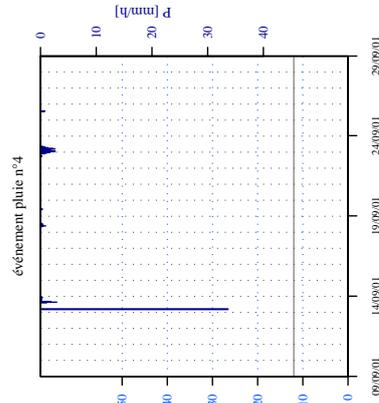
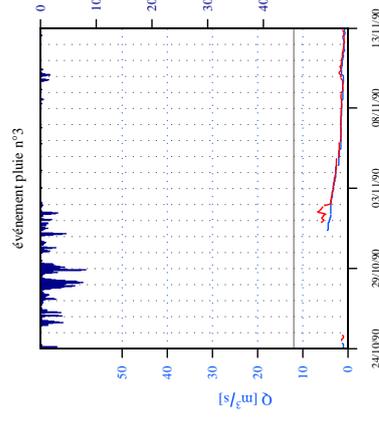
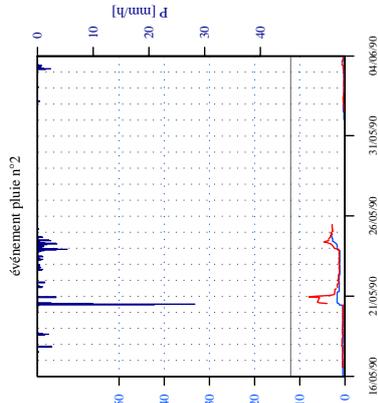
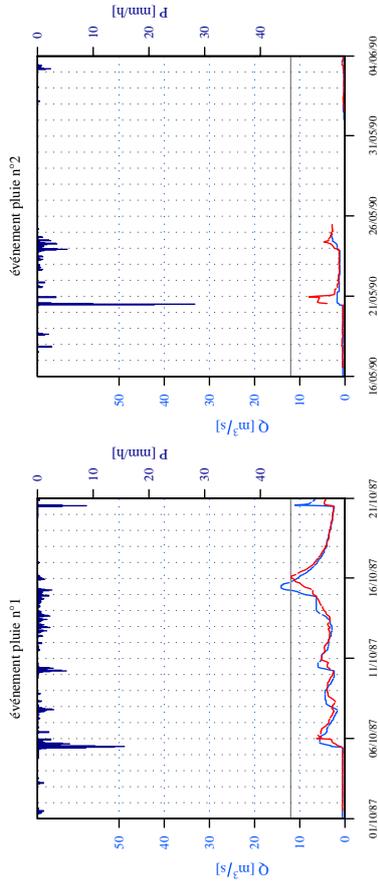
P8022520 Drome à Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA) (S=175 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



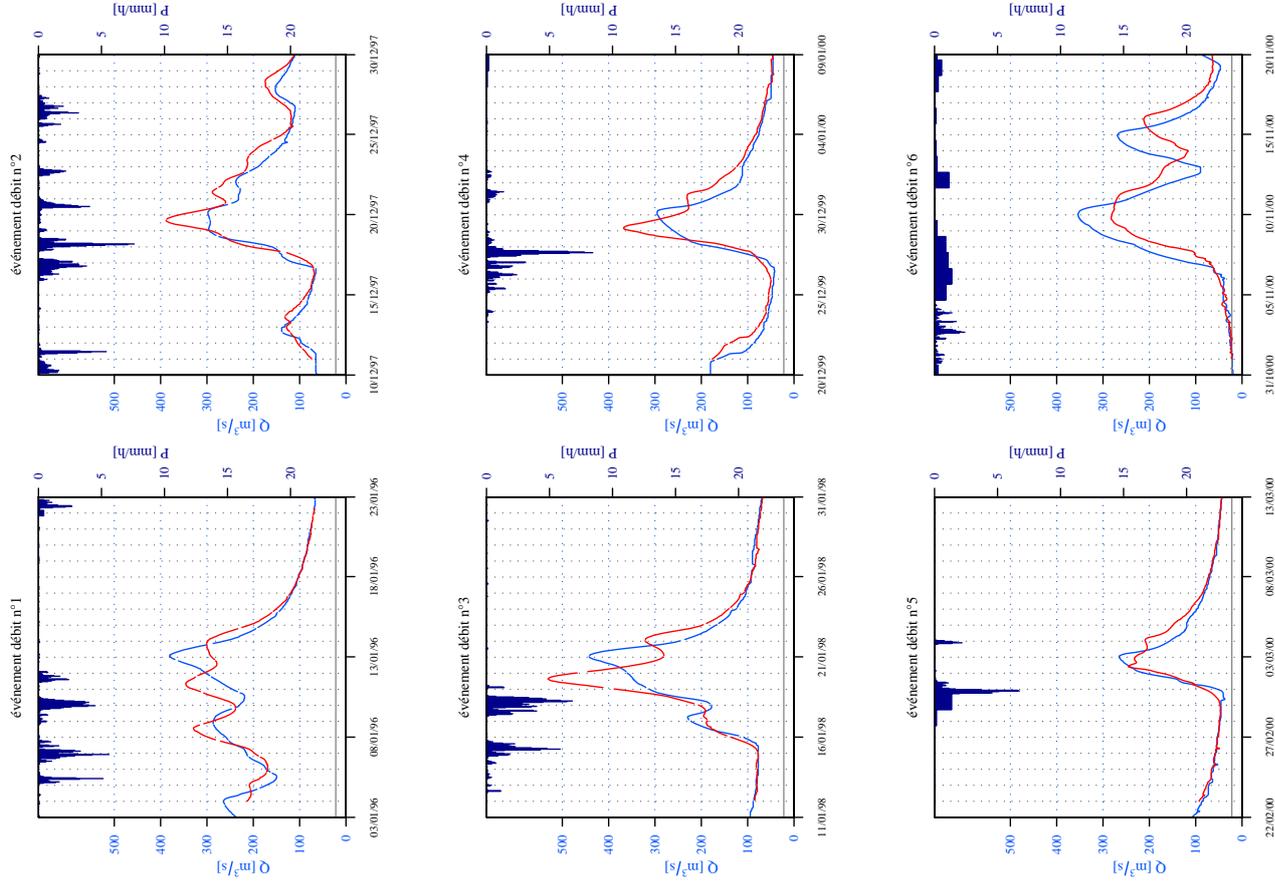
P8022520 Drome à Saint-Pardoux-la-Rivière (STPA) (S=175 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



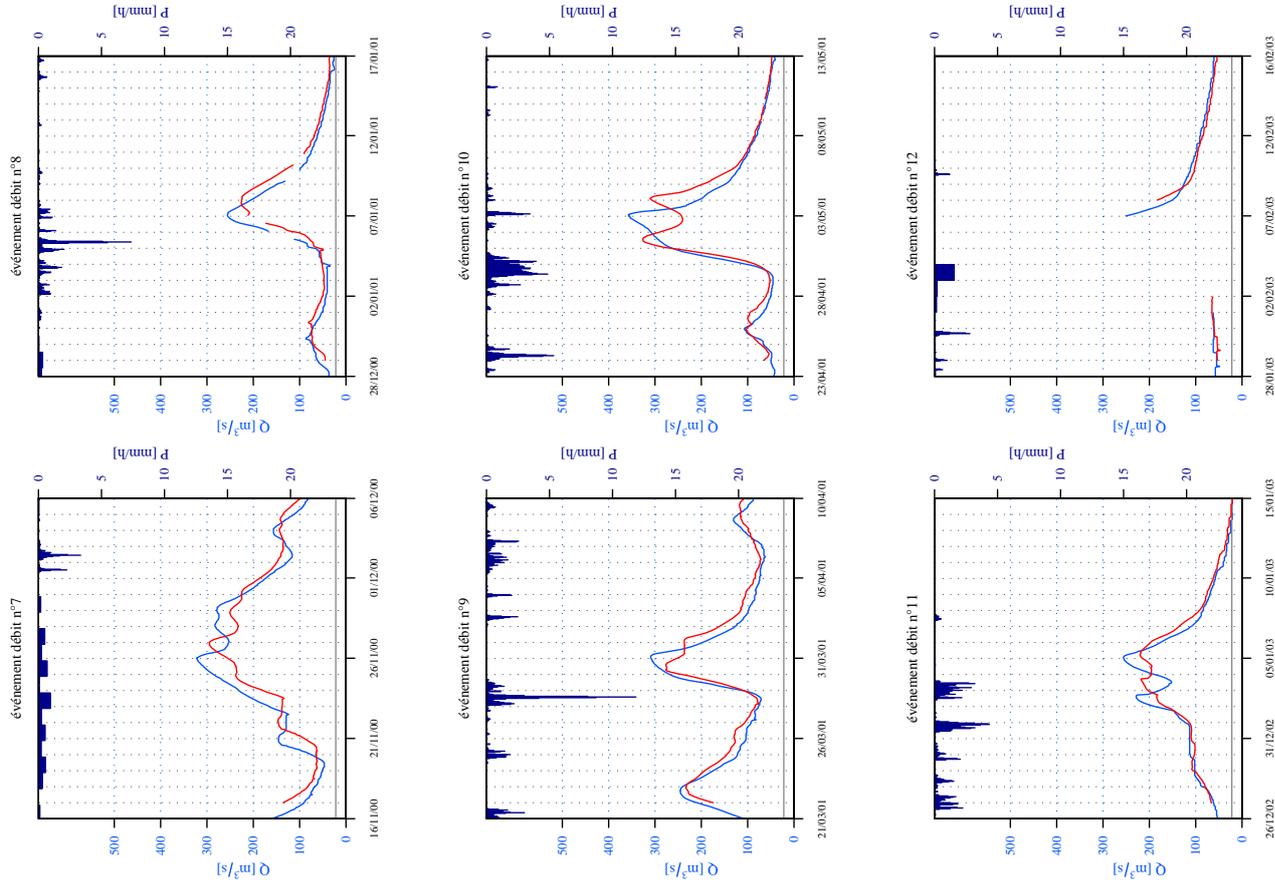
P7261510 Isle à Abzac (ABZA) (S=3745 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



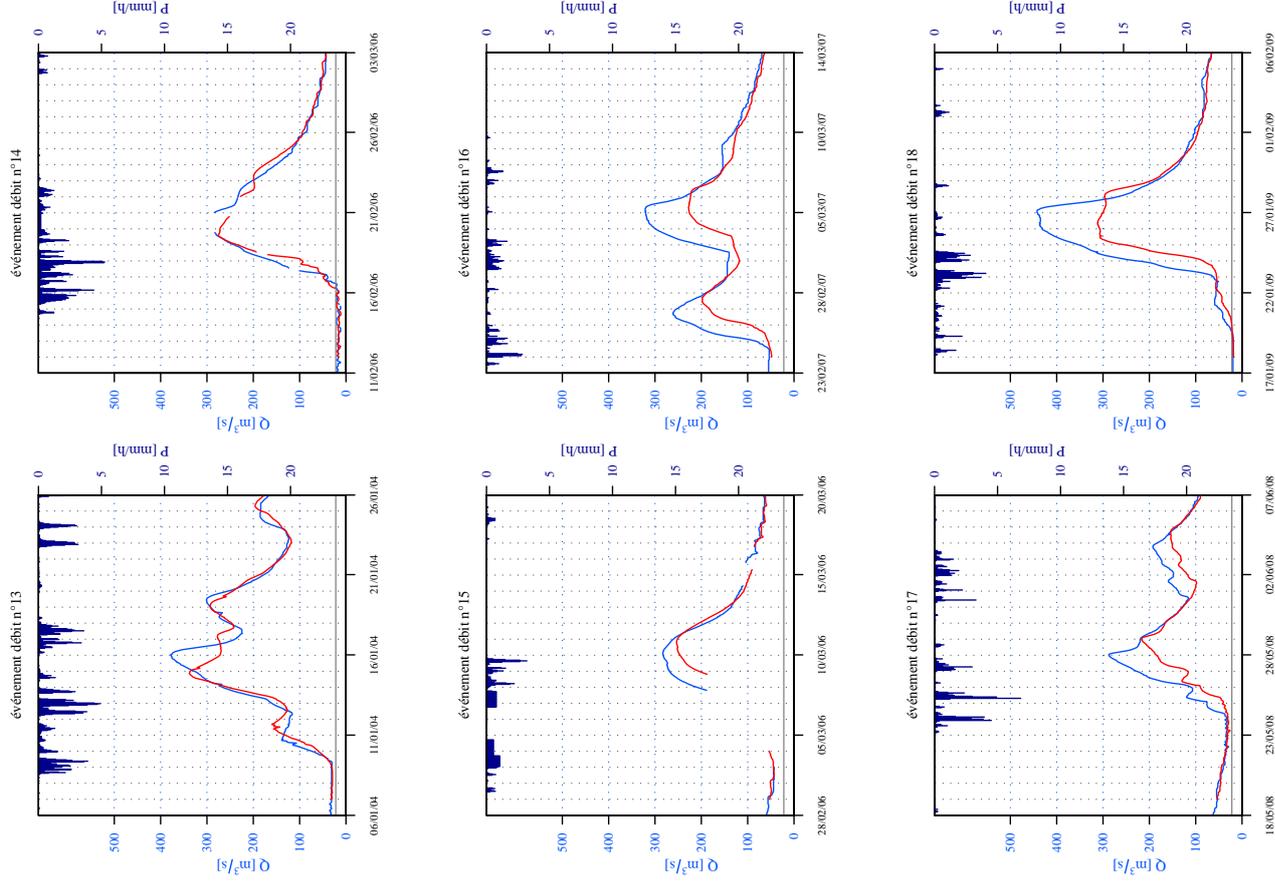
P7261510 Isle à Abzac (ABZA) (S=3745 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



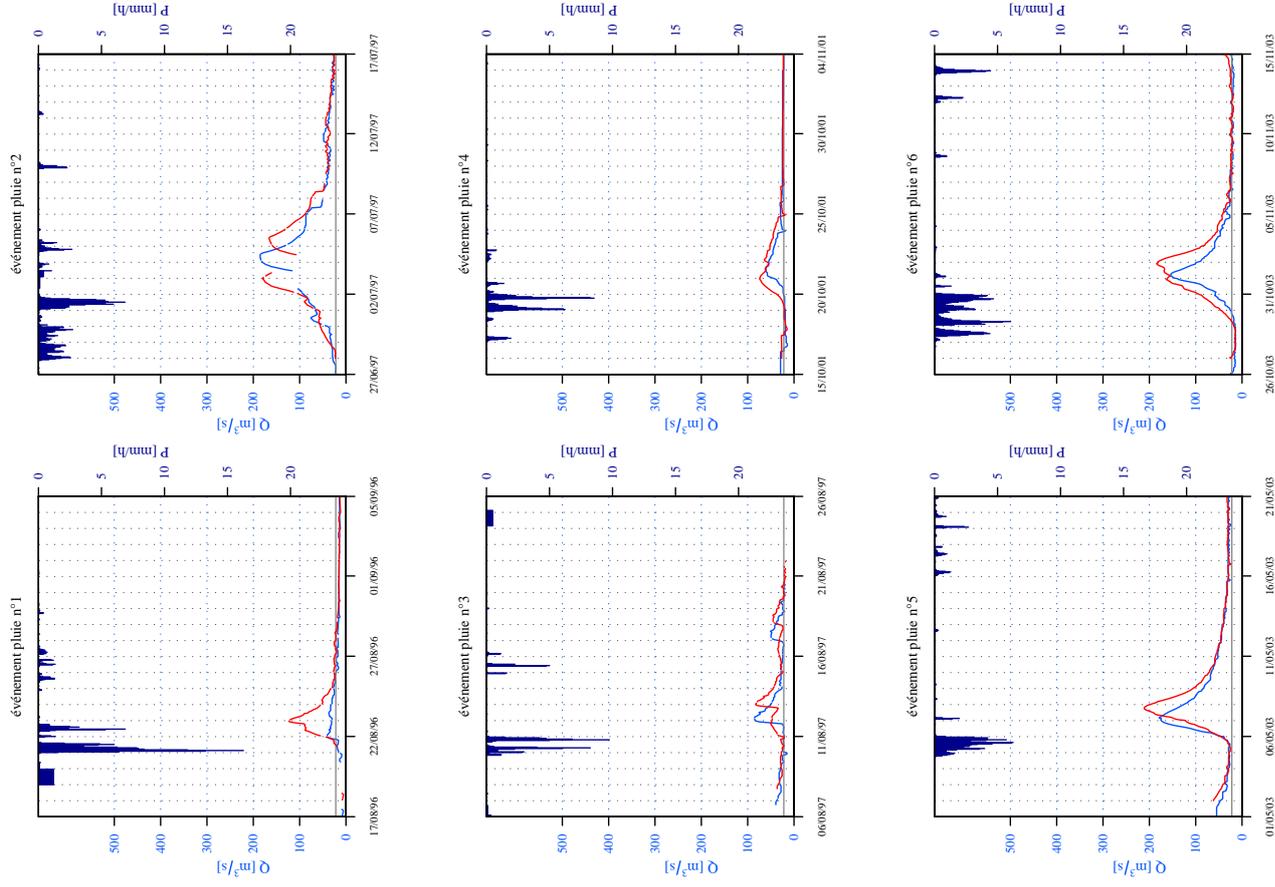
P7261510 Isle à Abzac (ABZA) (S=3745 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



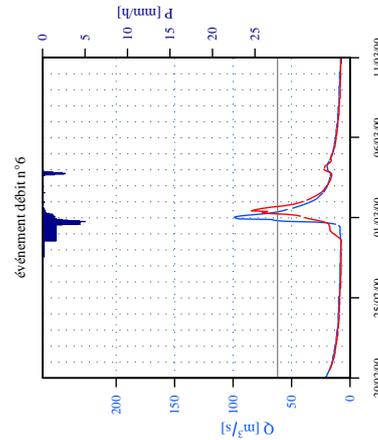
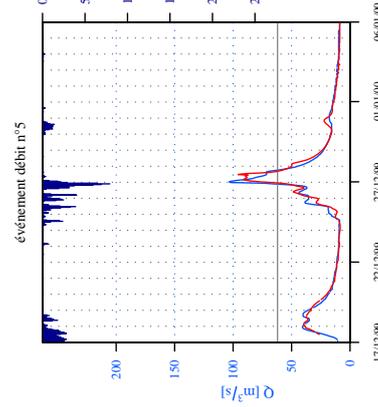
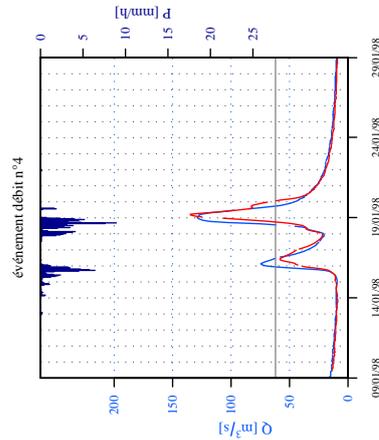
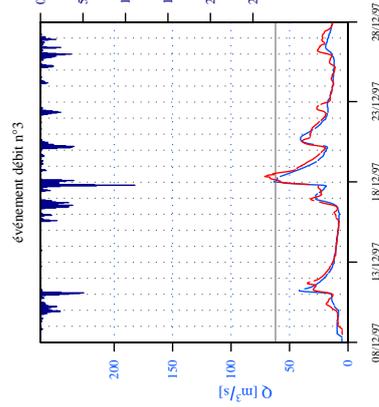
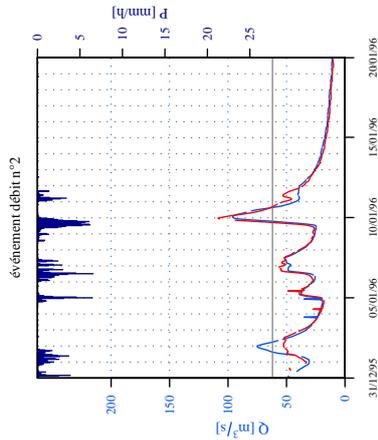
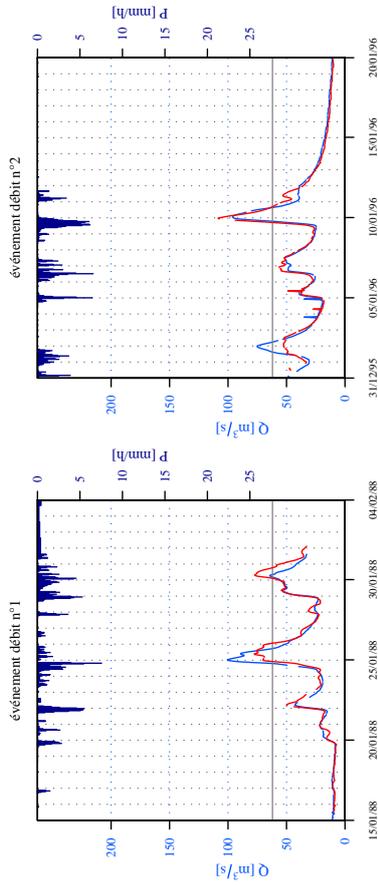
P7261510 Isle à Abzac (ABZA) (S=3745 km², Hc=24 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 24 h (en rouge).



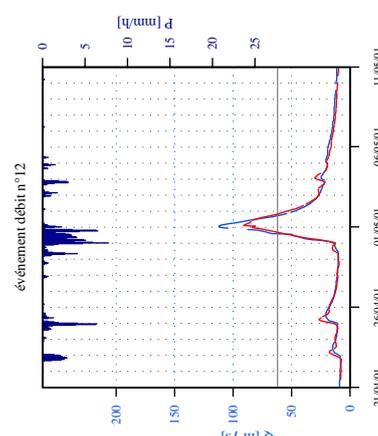
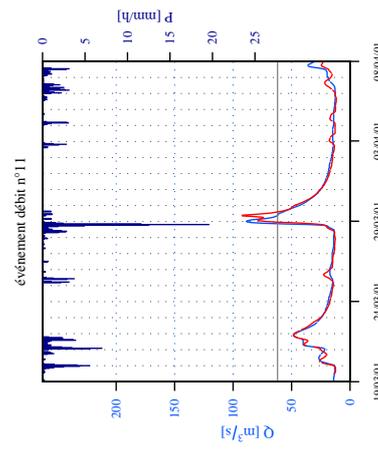
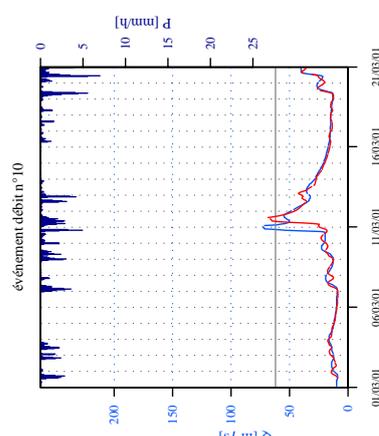
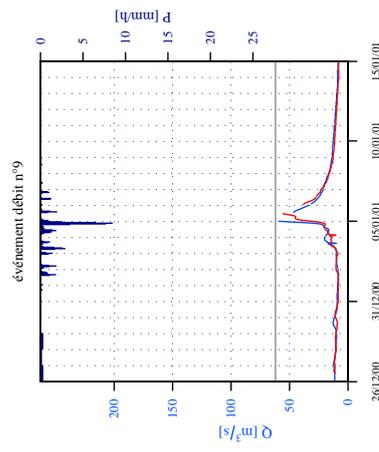
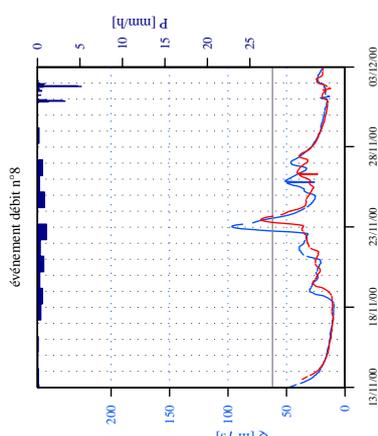
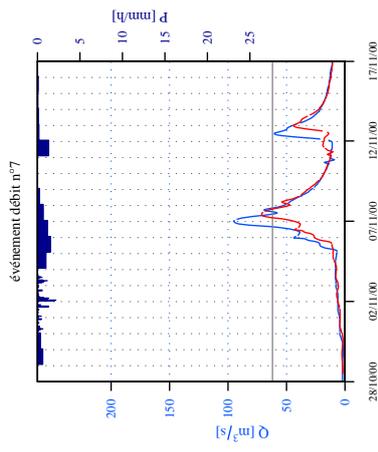
P0081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle (CORG) (S=454 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



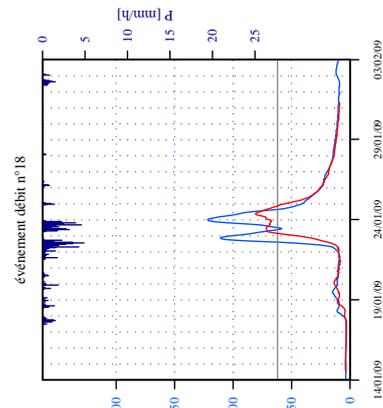
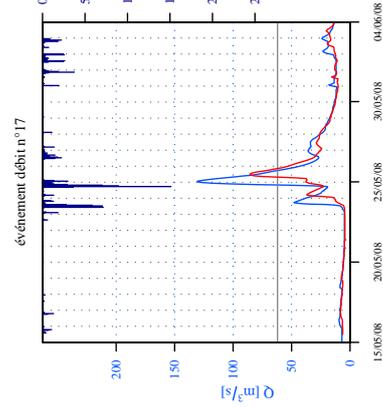
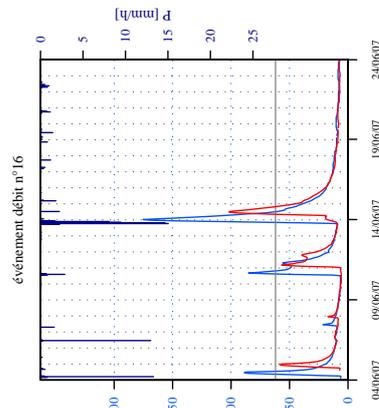
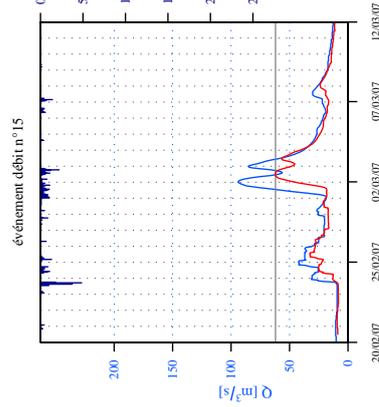
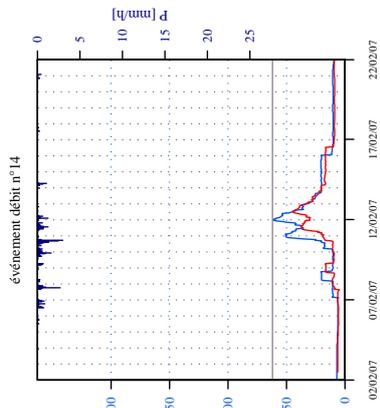
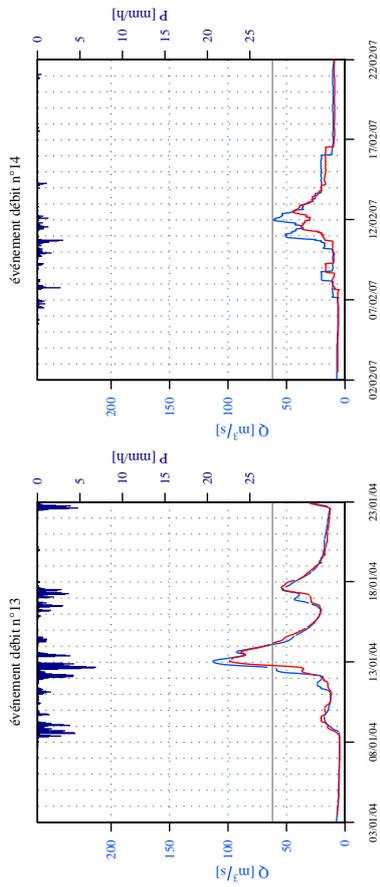
P0081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle (CORG) (S=454 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



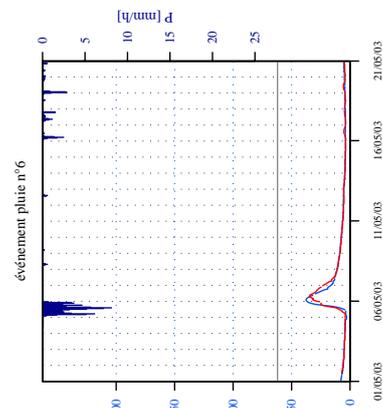
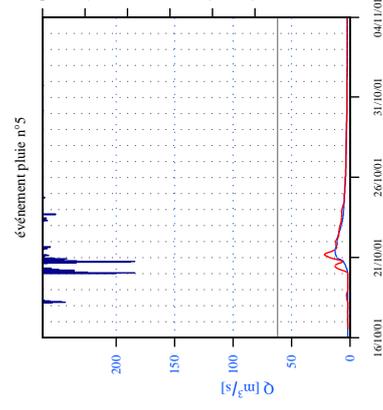
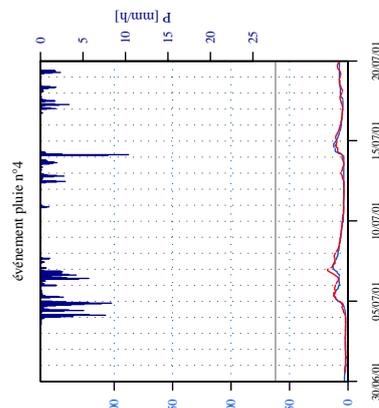
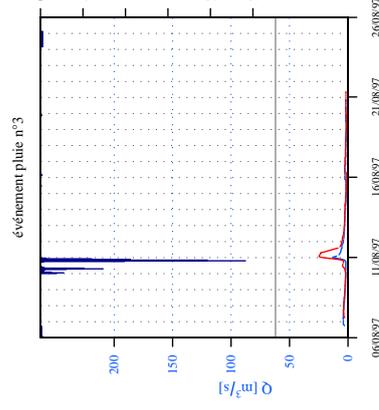
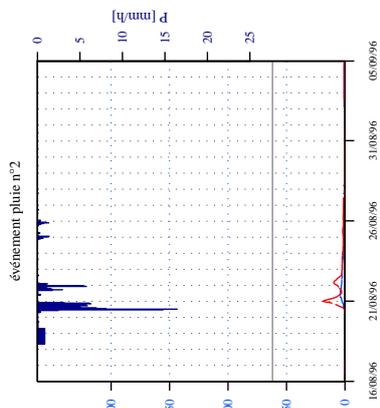
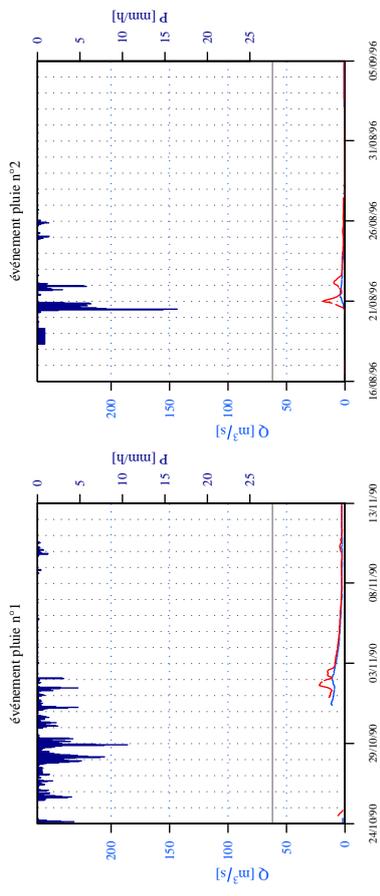
P0081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle (CORG) (S=454 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



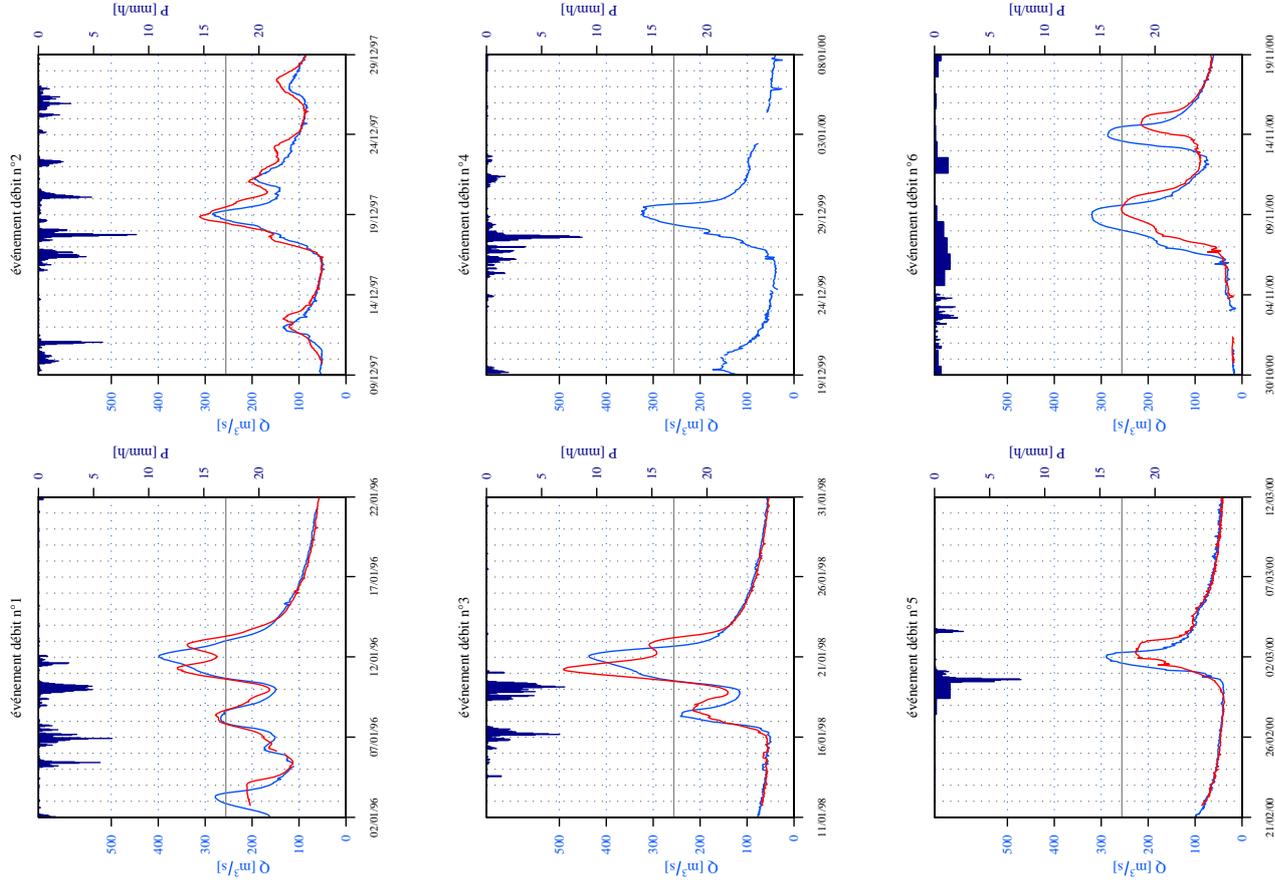
P0081510 Isle à Cognac-sur-l'Isle (CORG) (S=454 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



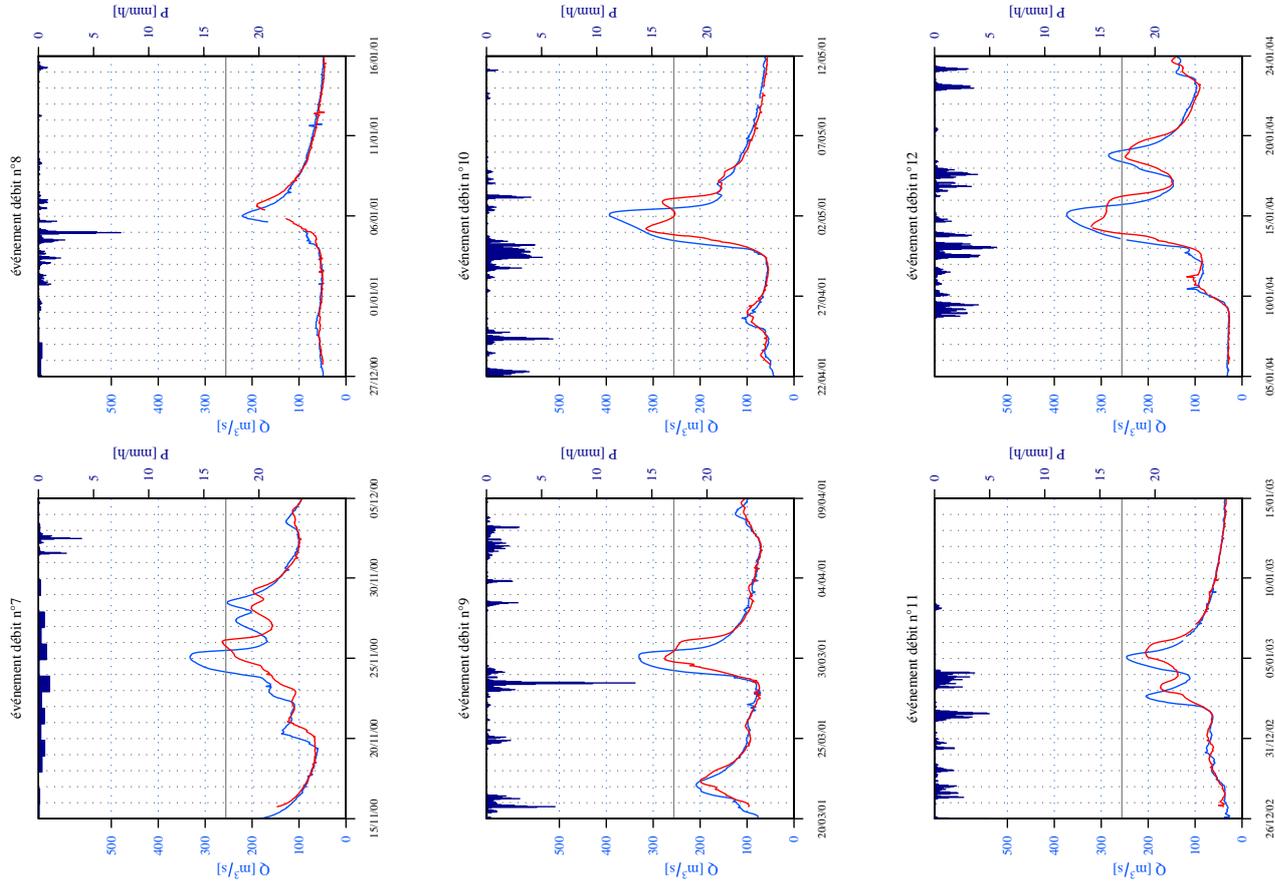
P7121510 Isle à Mussidan (MUSS) (S=3177 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



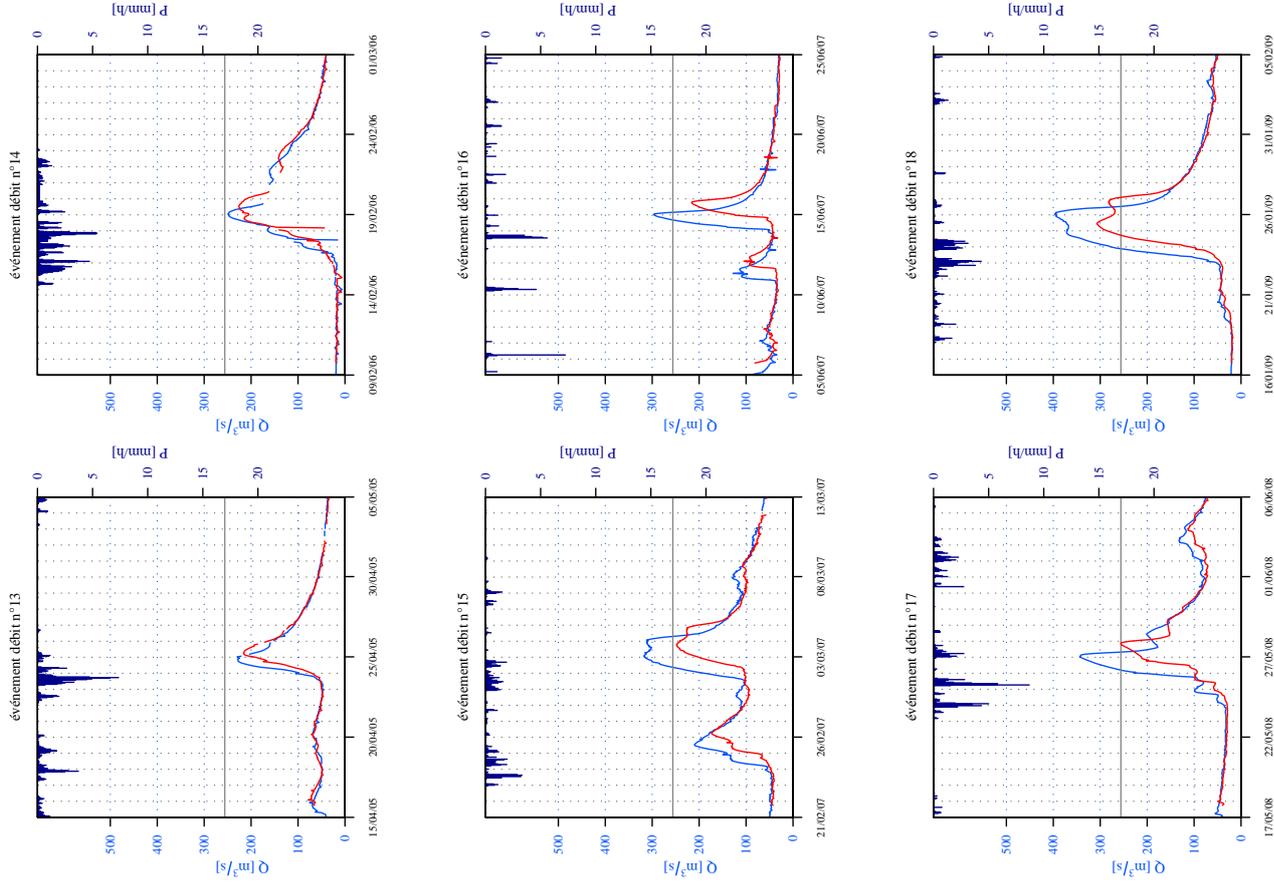
P7121510 Isle à Mussidan (MUSS) (S=3177 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



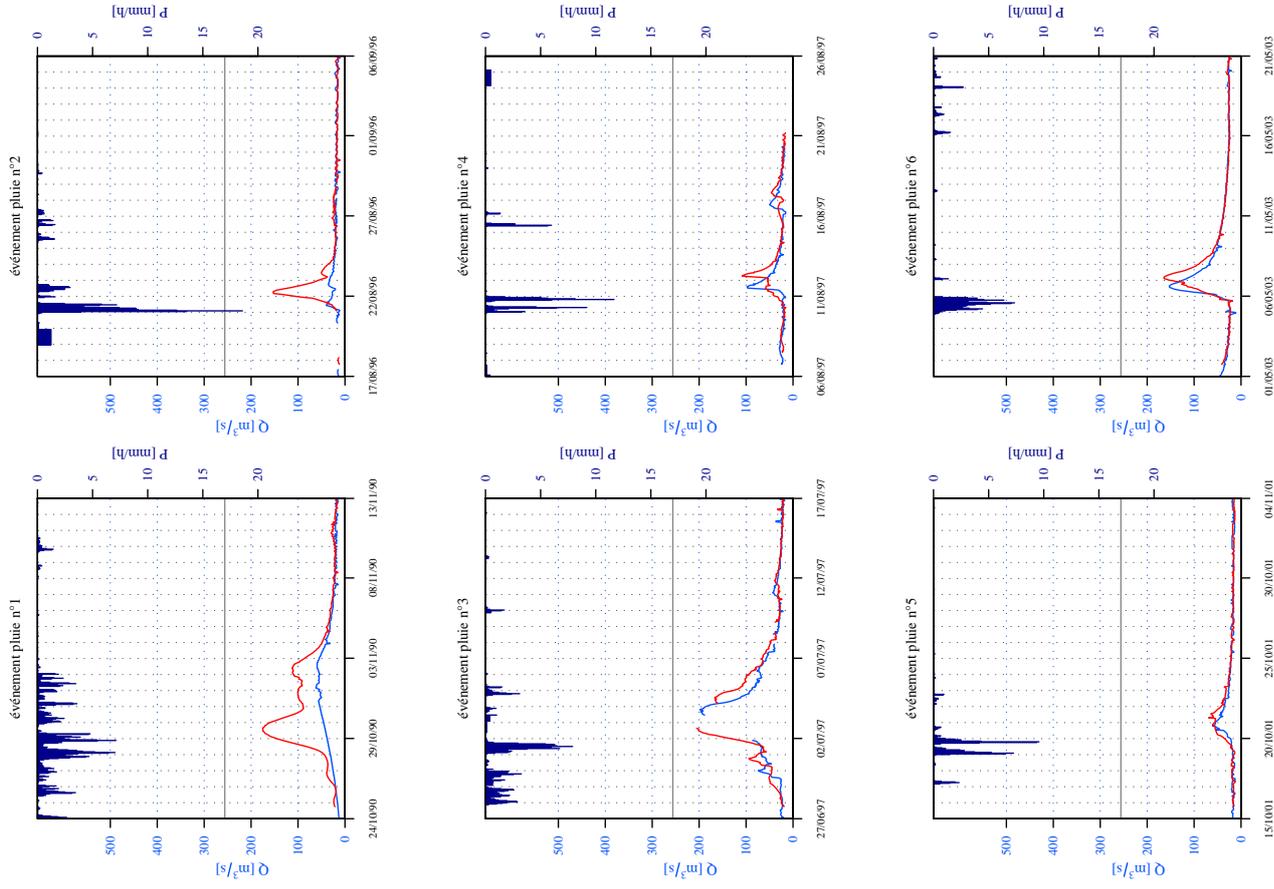
P7121510 Isle à Mussidan (MUSS) (S=3177 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



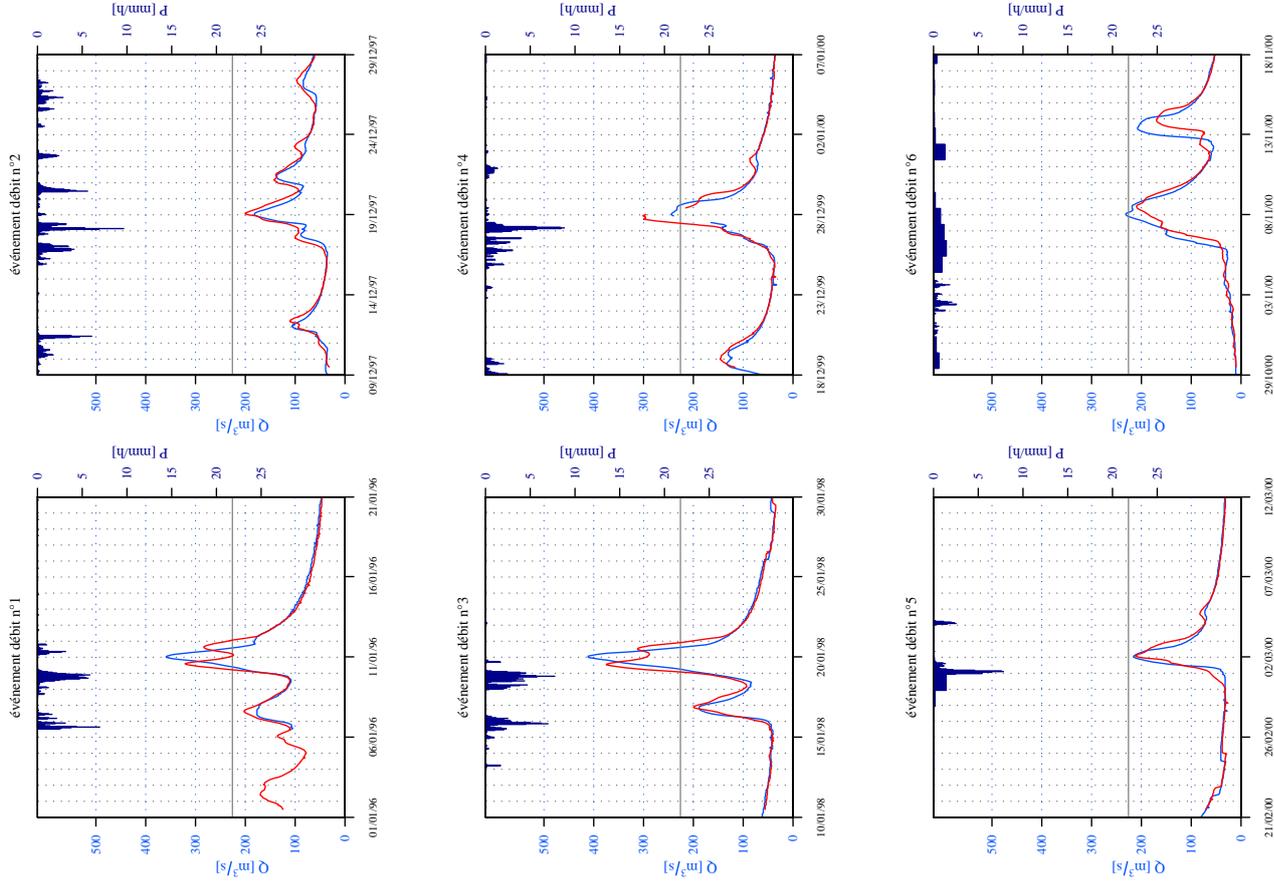
P7121510 Isle à Mussidan (MUSS) (S=3177 km², Hc=18 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 18 h (en rouge).



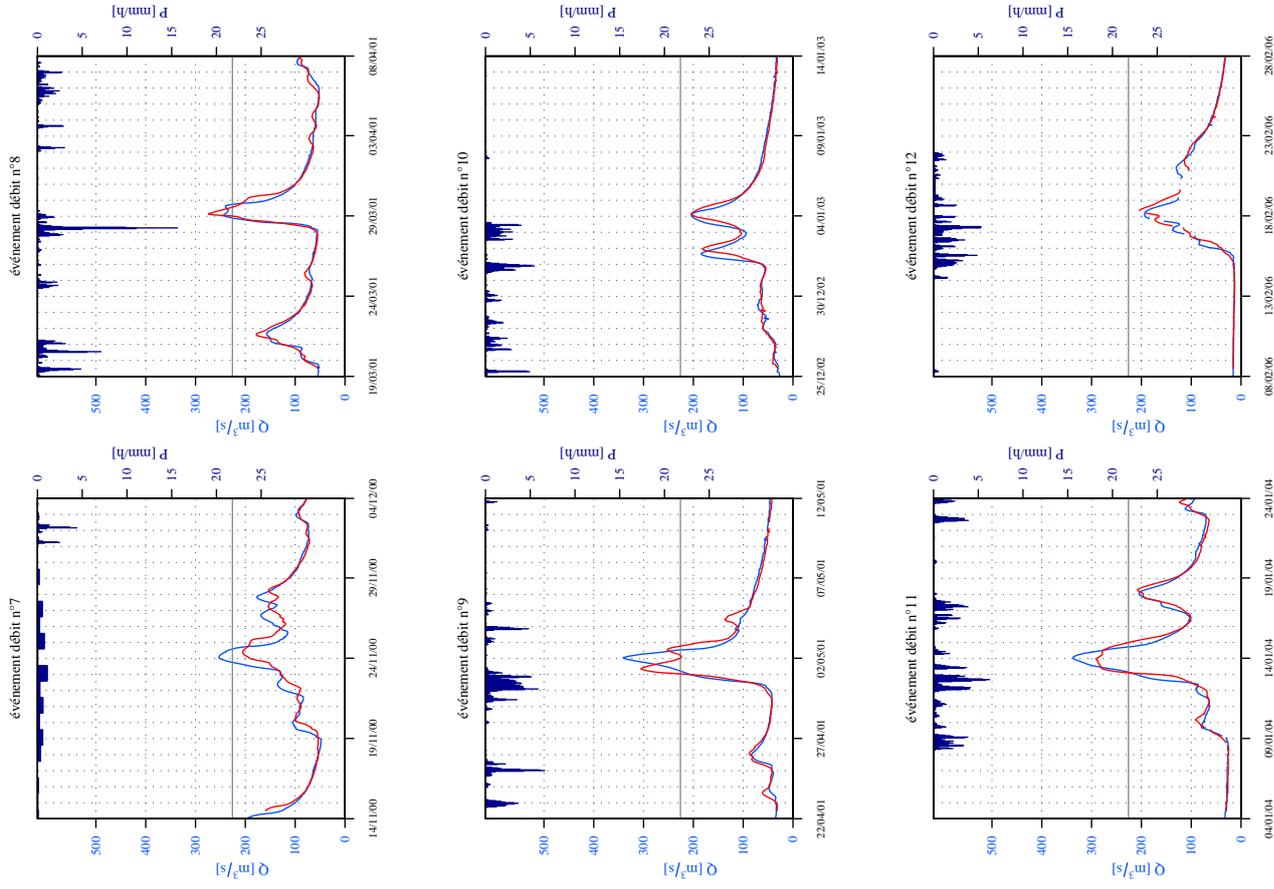
P7041510 Isle à Périgueux (PERU) (S=2160 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



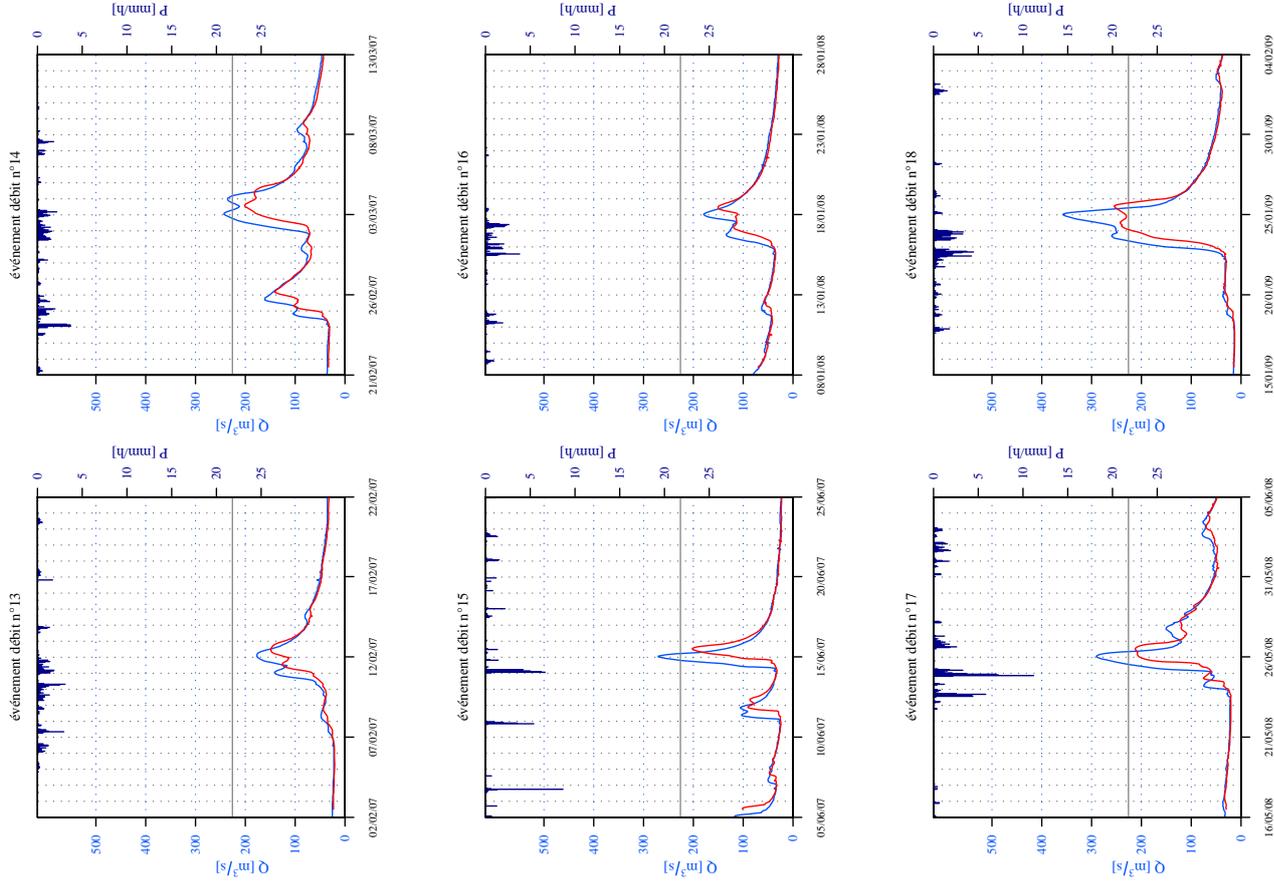
P7041510 Isle à Périgueux (PERU) (S=2160 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



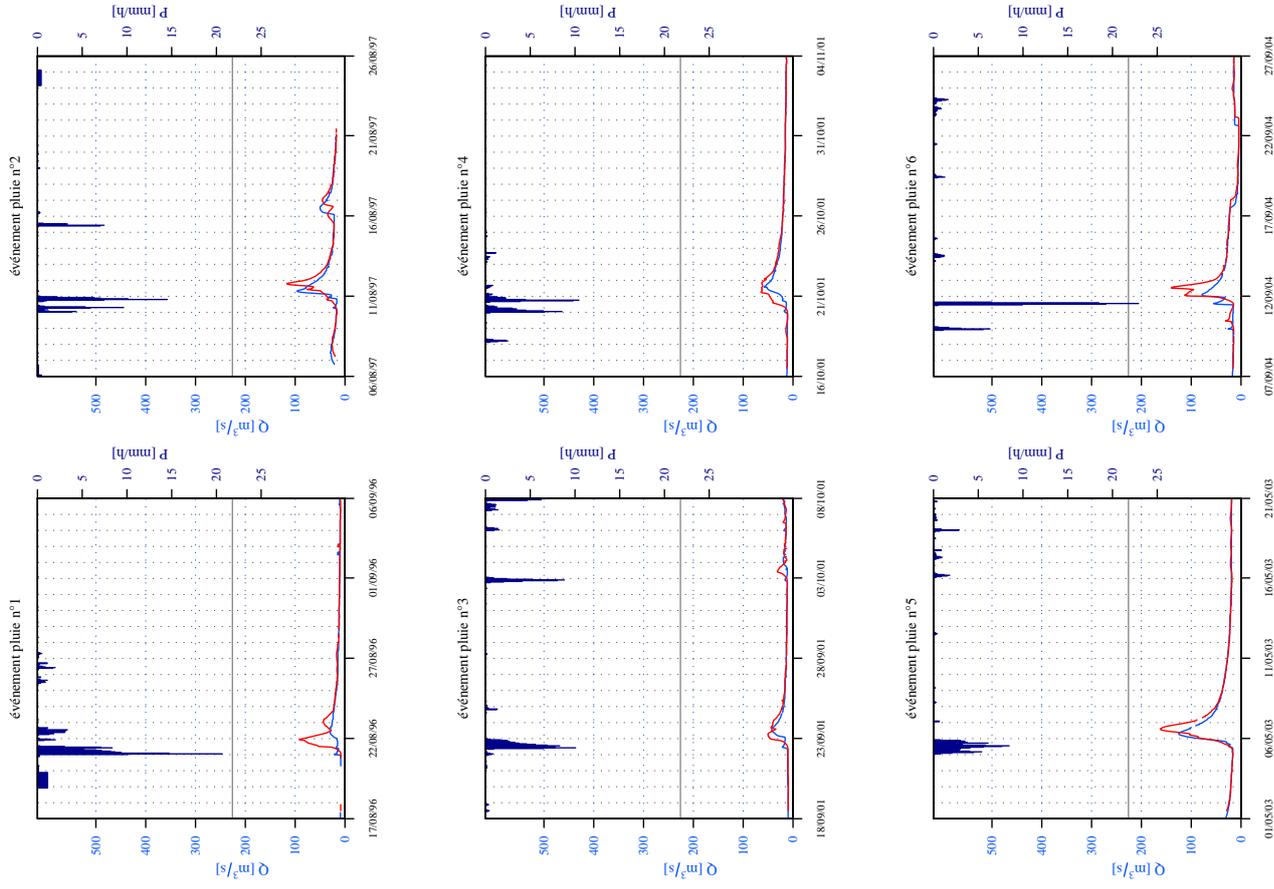
P7041510 Isle à Périgueux (PERU) (S=2160 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



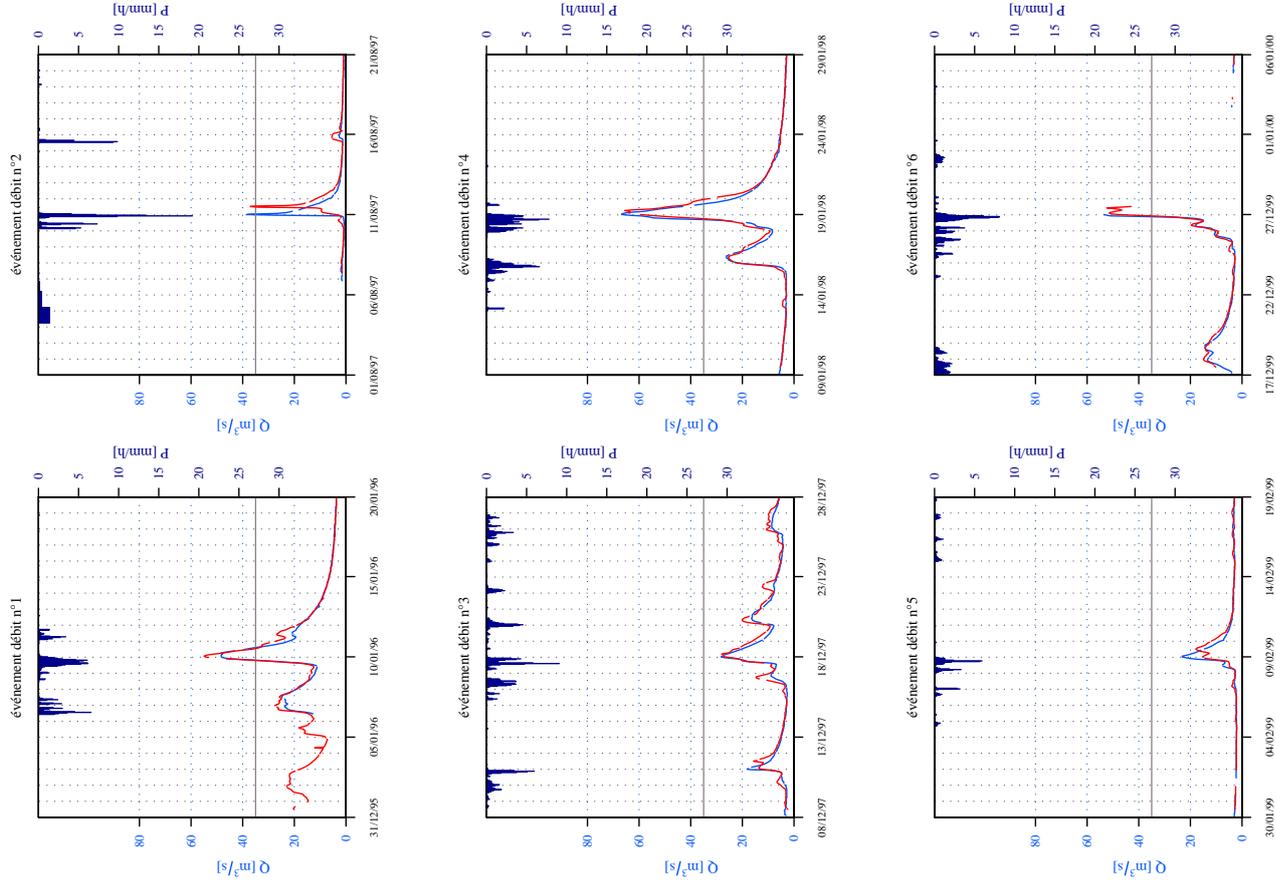
P7041510 Isle à Périgueux (PERU) (S=2160 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



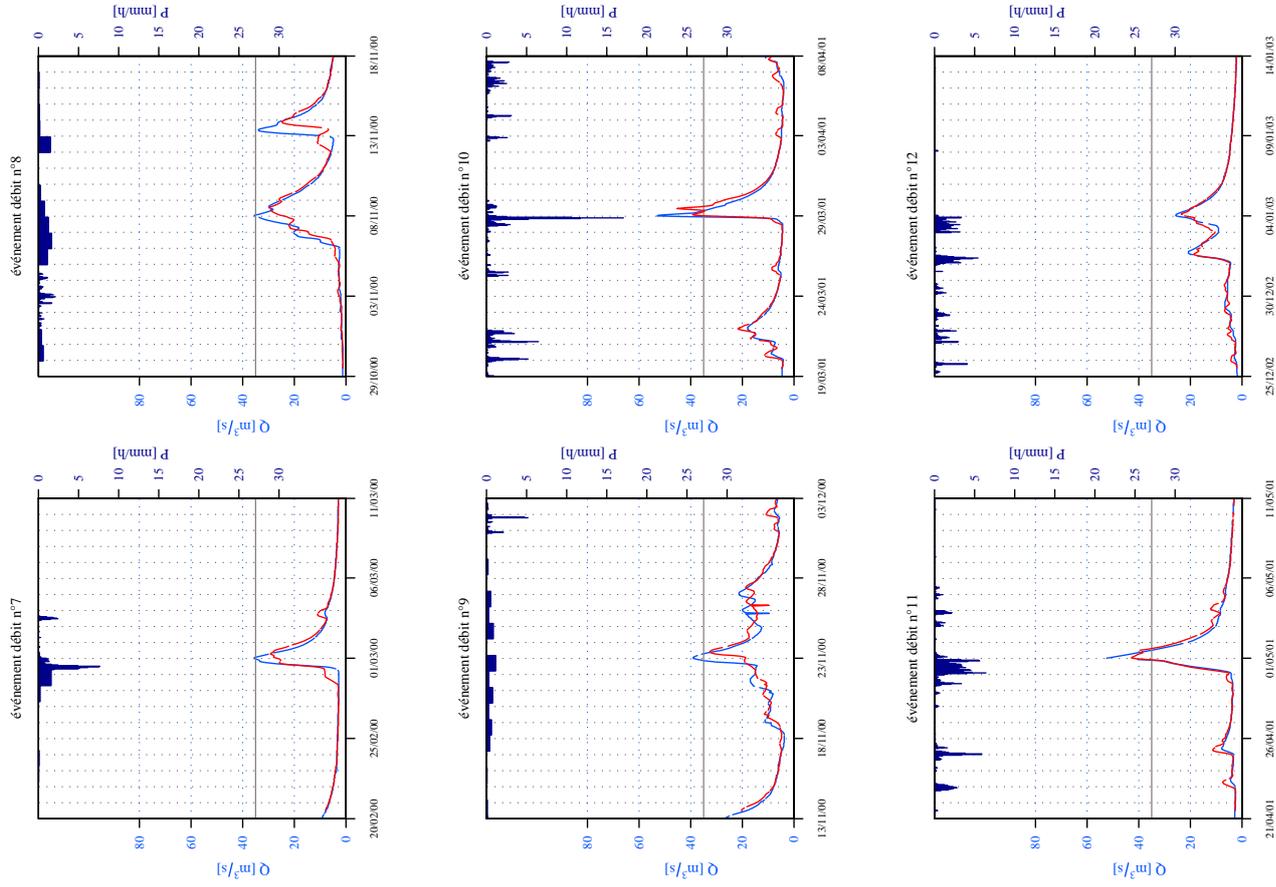
P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI) (S=203 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



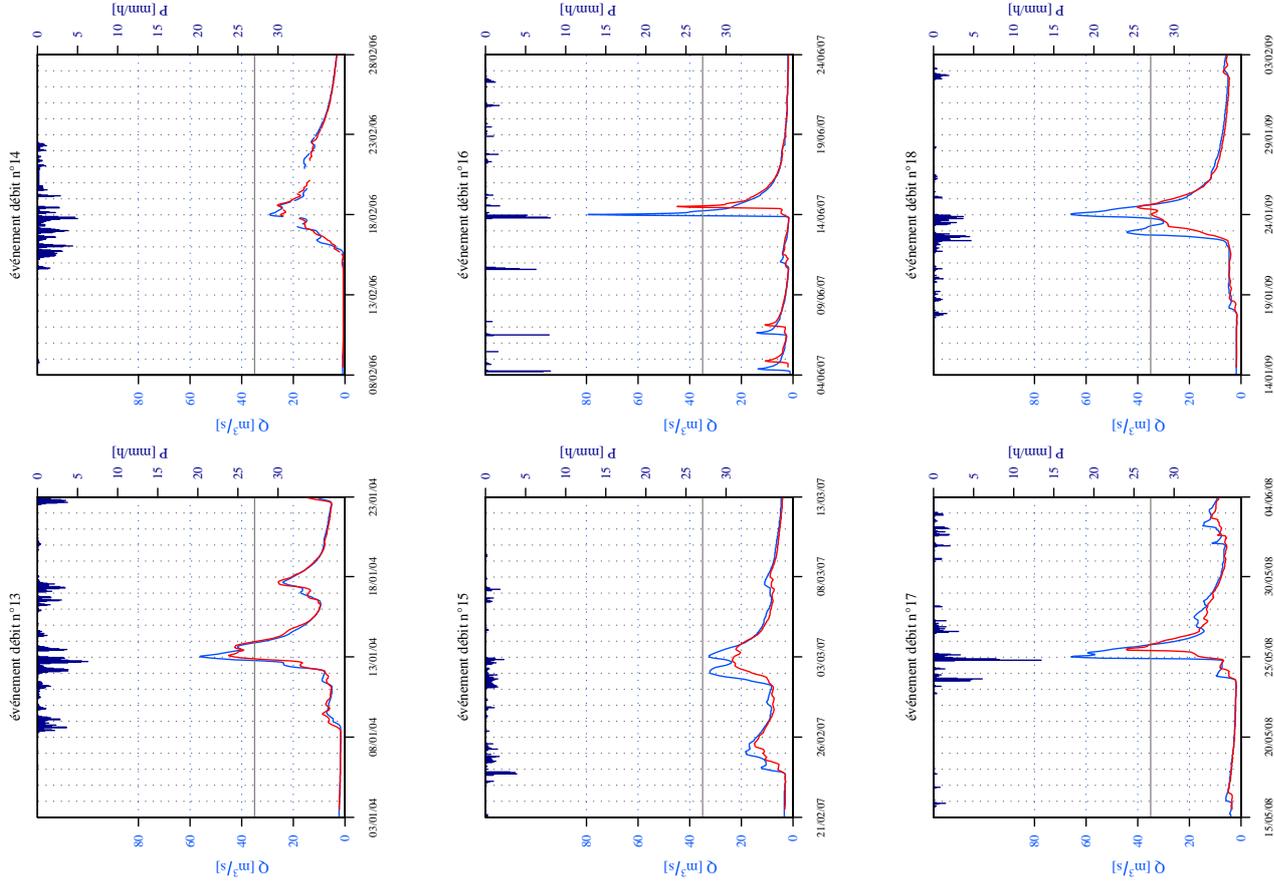
P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI) (S=203 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



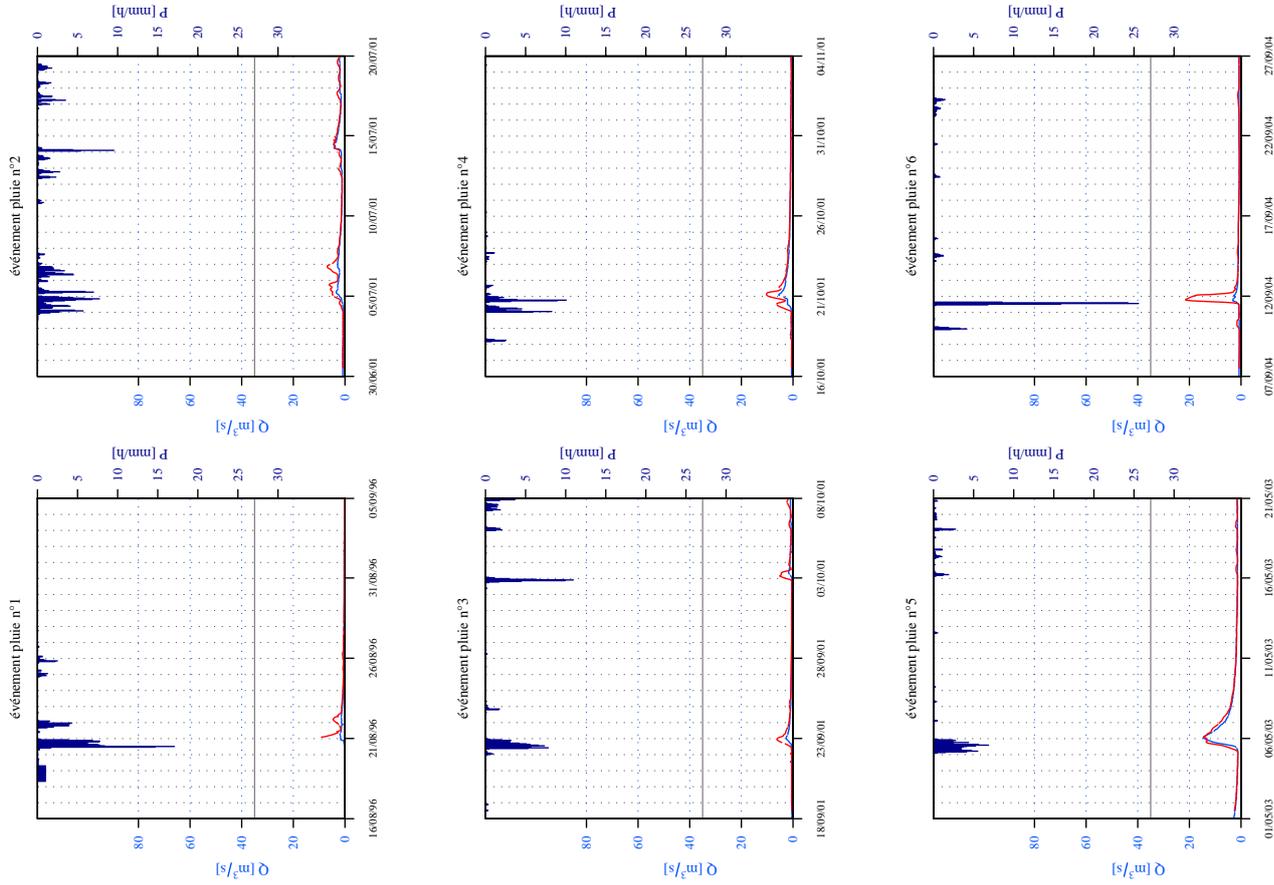
P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI) (S=203 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



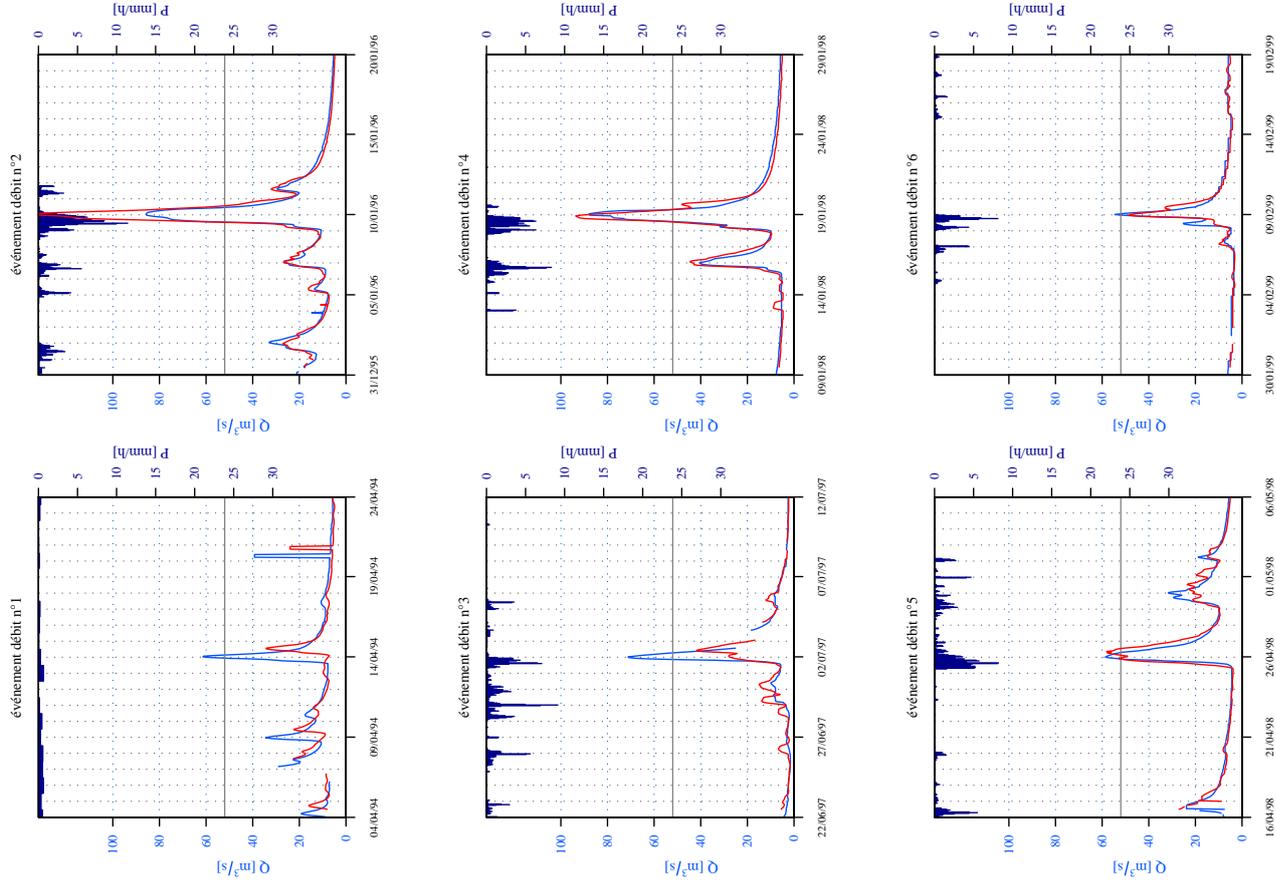
P6234020 Loue à Saint-Médard-d'Excideuil (EXCI) (S=203 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



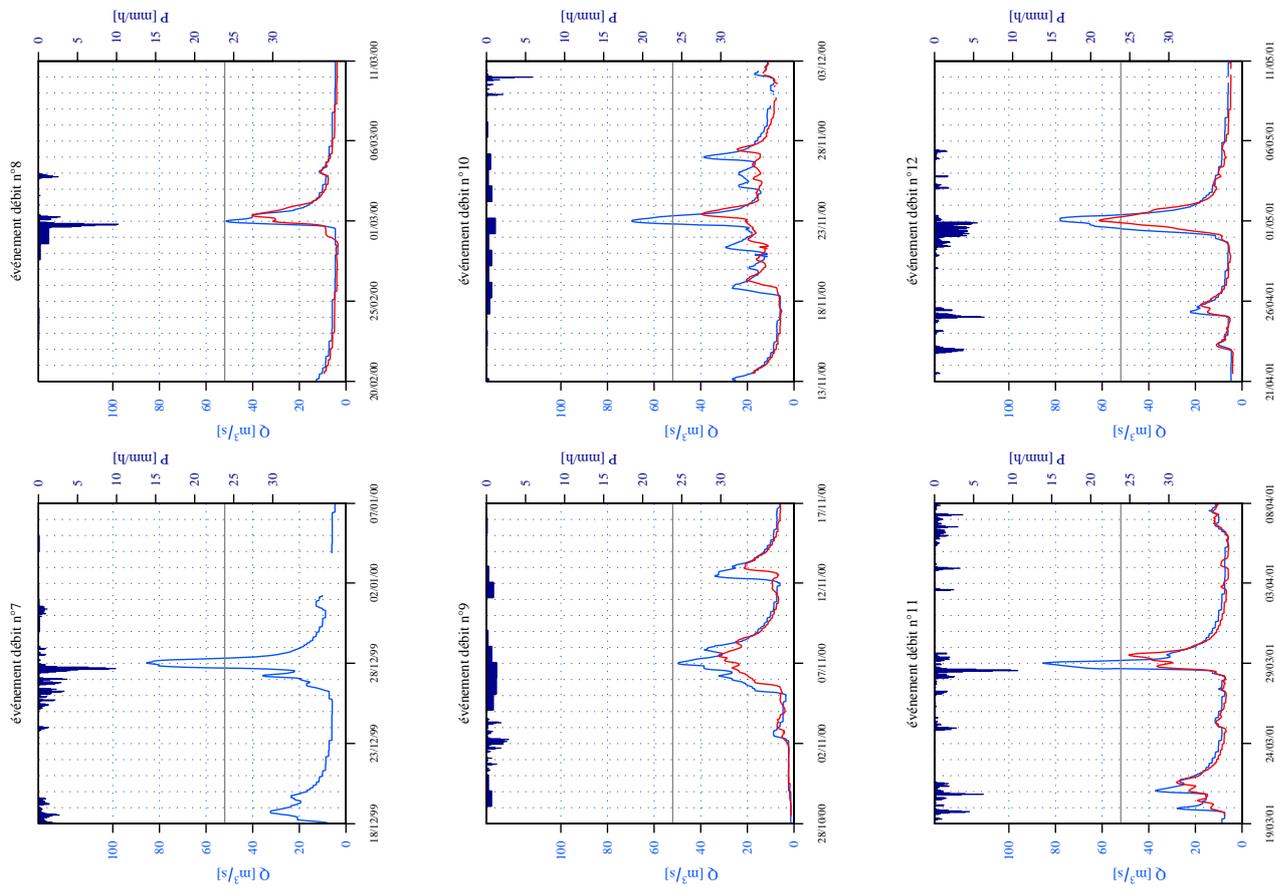
P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg] (PTBU) (S=257 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



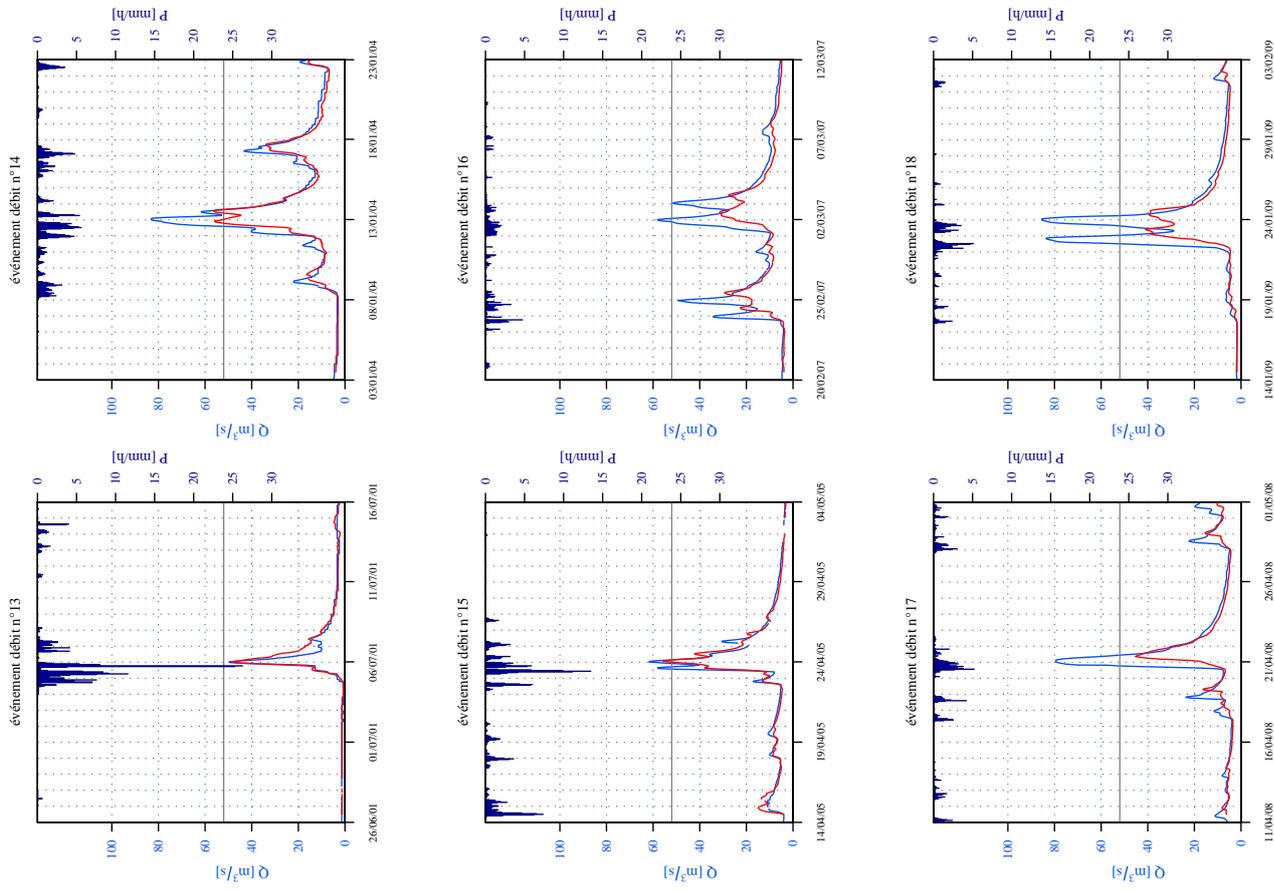
P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg] (PTBU) (S=257 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



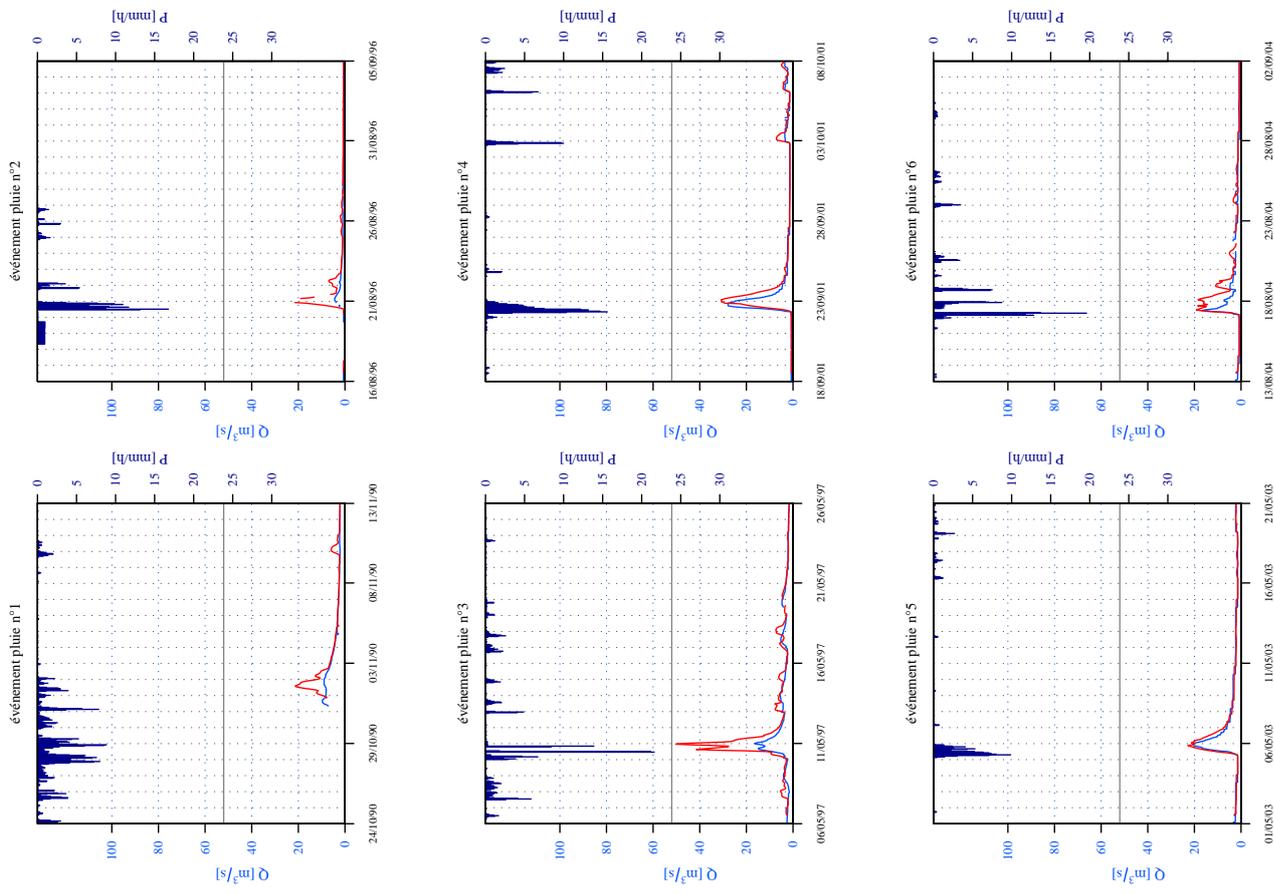
P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg] (PTBU) (S=257 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



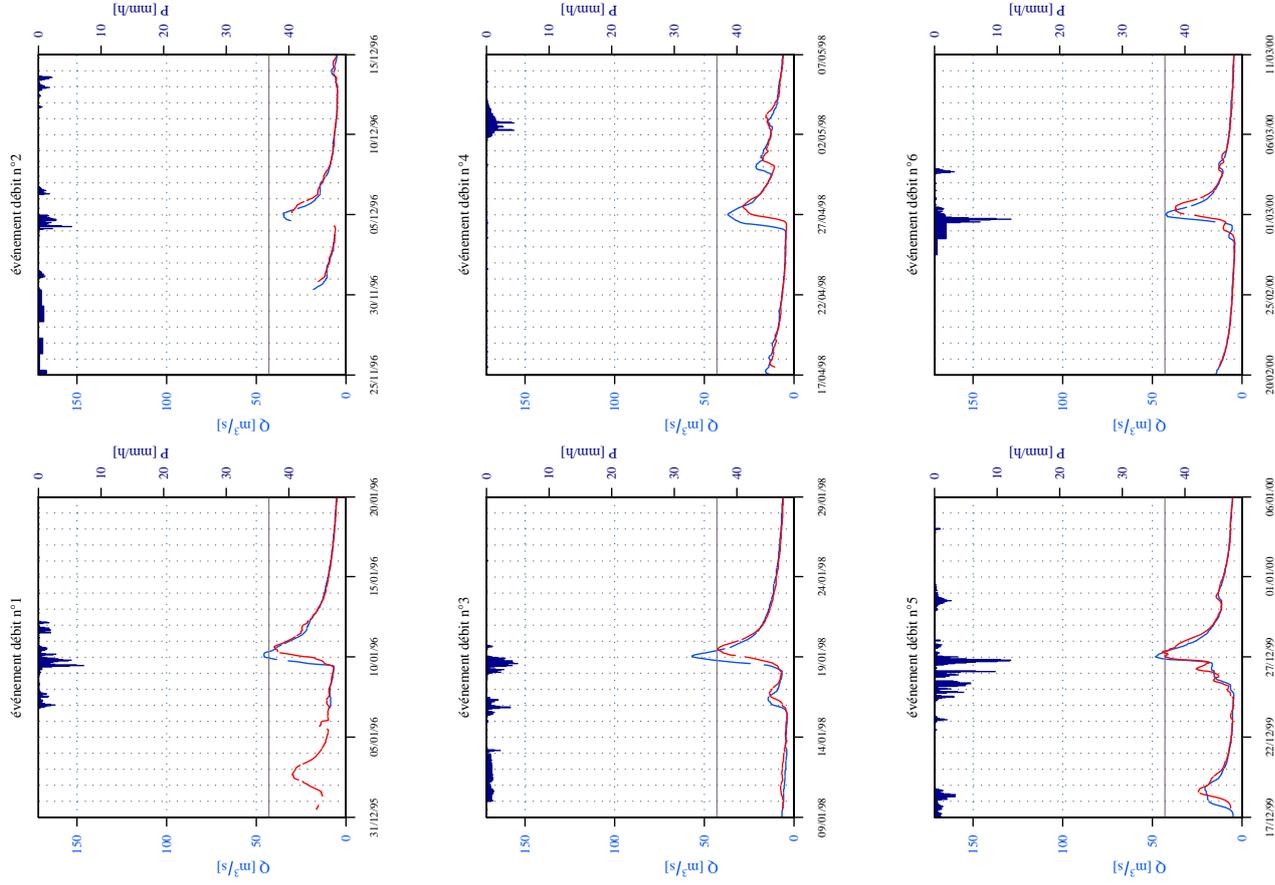
P3274010 Loyre à Saint-Viance [Pont de Burg] (PTBU) (S=257 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



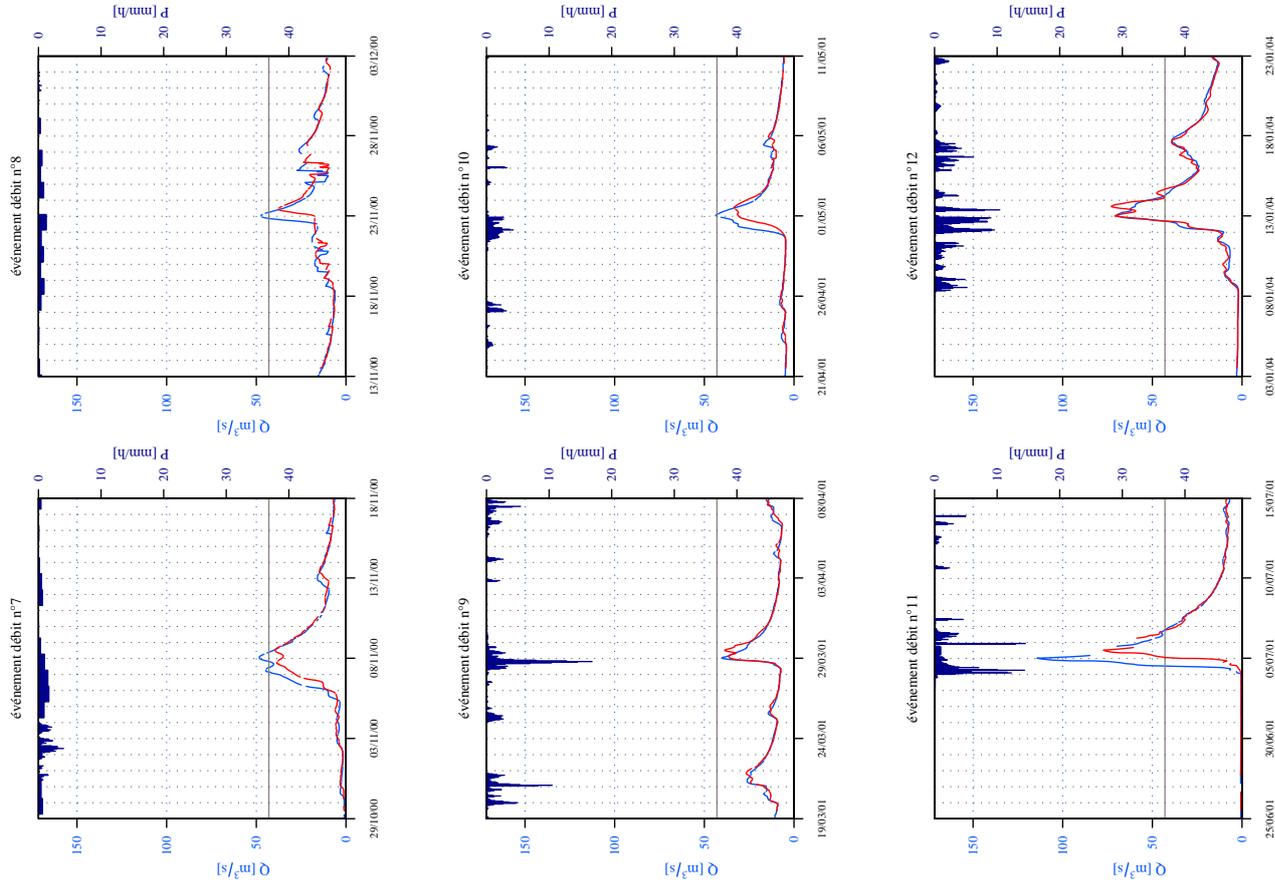
P3674010 Montane à Laguenne [Pont de la Pierre] (LAGU) (S=108 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



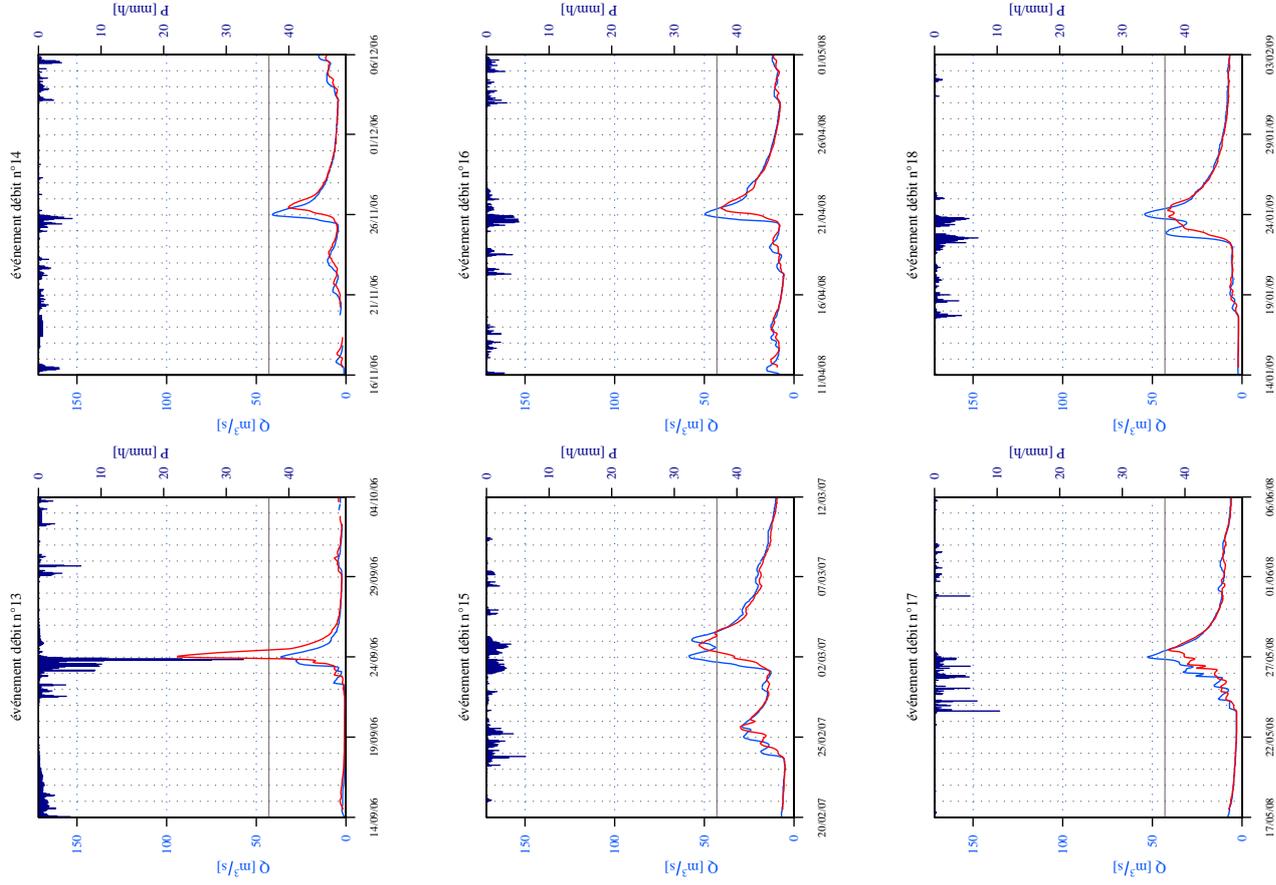
P3674010 Montane à Laguenne [Pont de la Pierre] (LAGU) (S=108 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



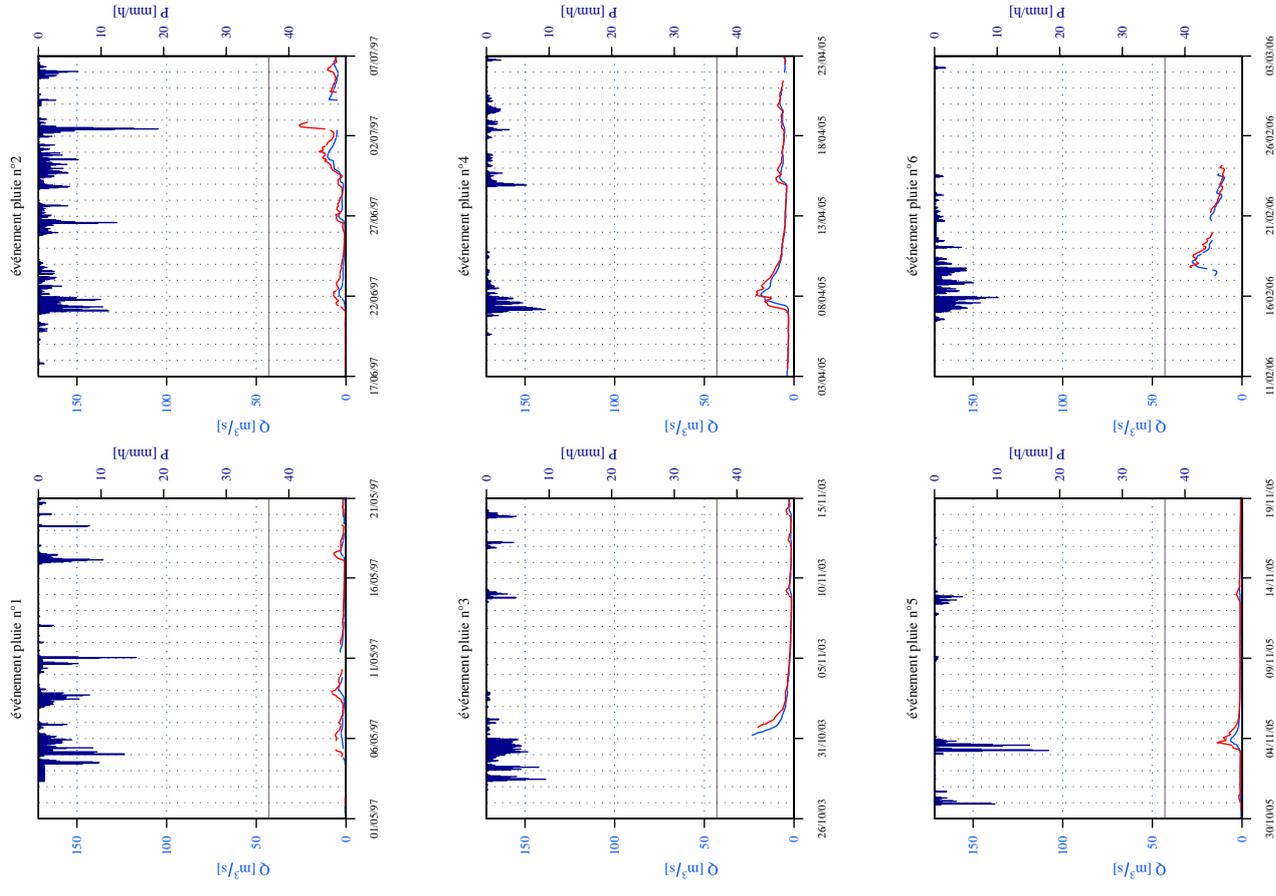
P3674010 Montane à Laguenne [Pont de la Pierre] (LAGU) (S=108 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



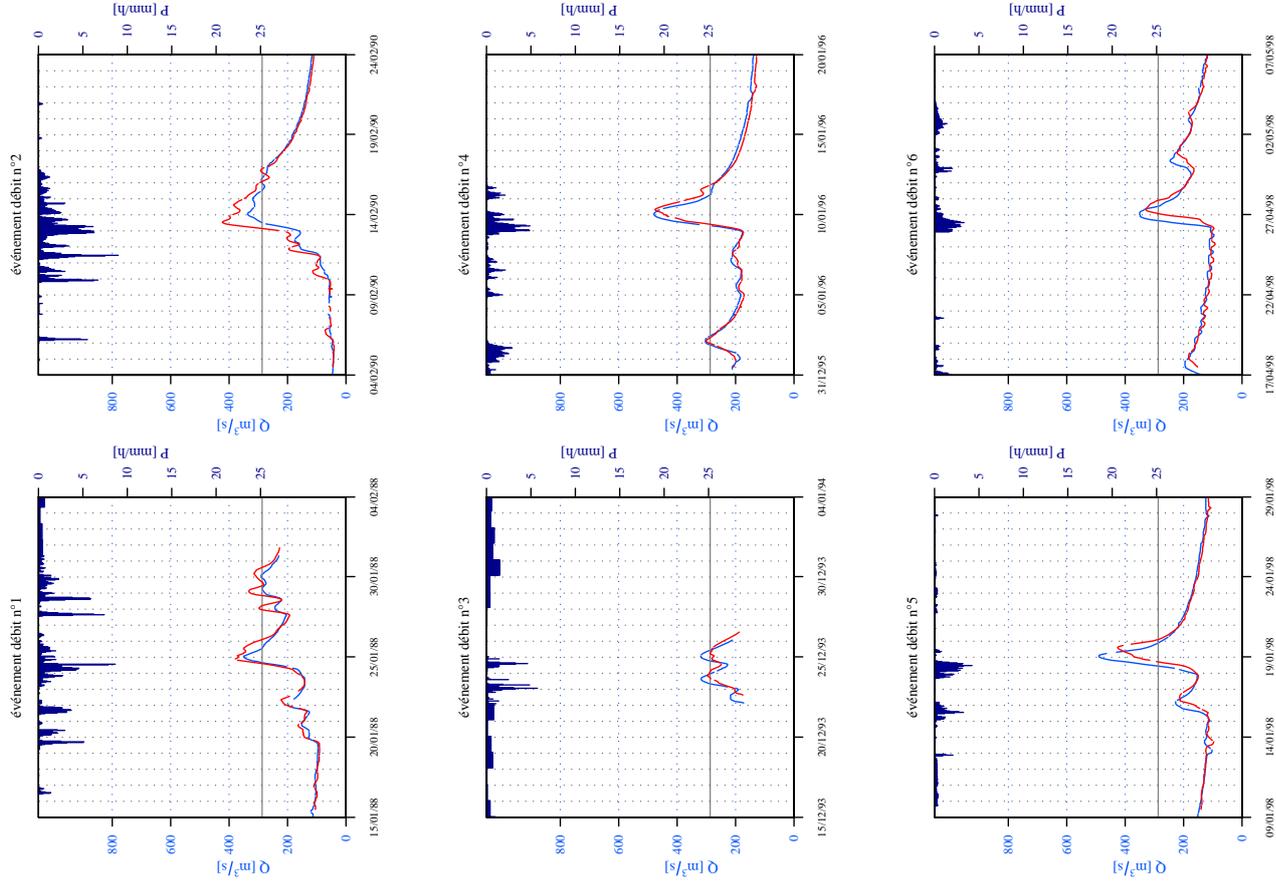
P3674010 Montane à Laguenne [Pont de la Pierre] (LAGU) (S=108 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



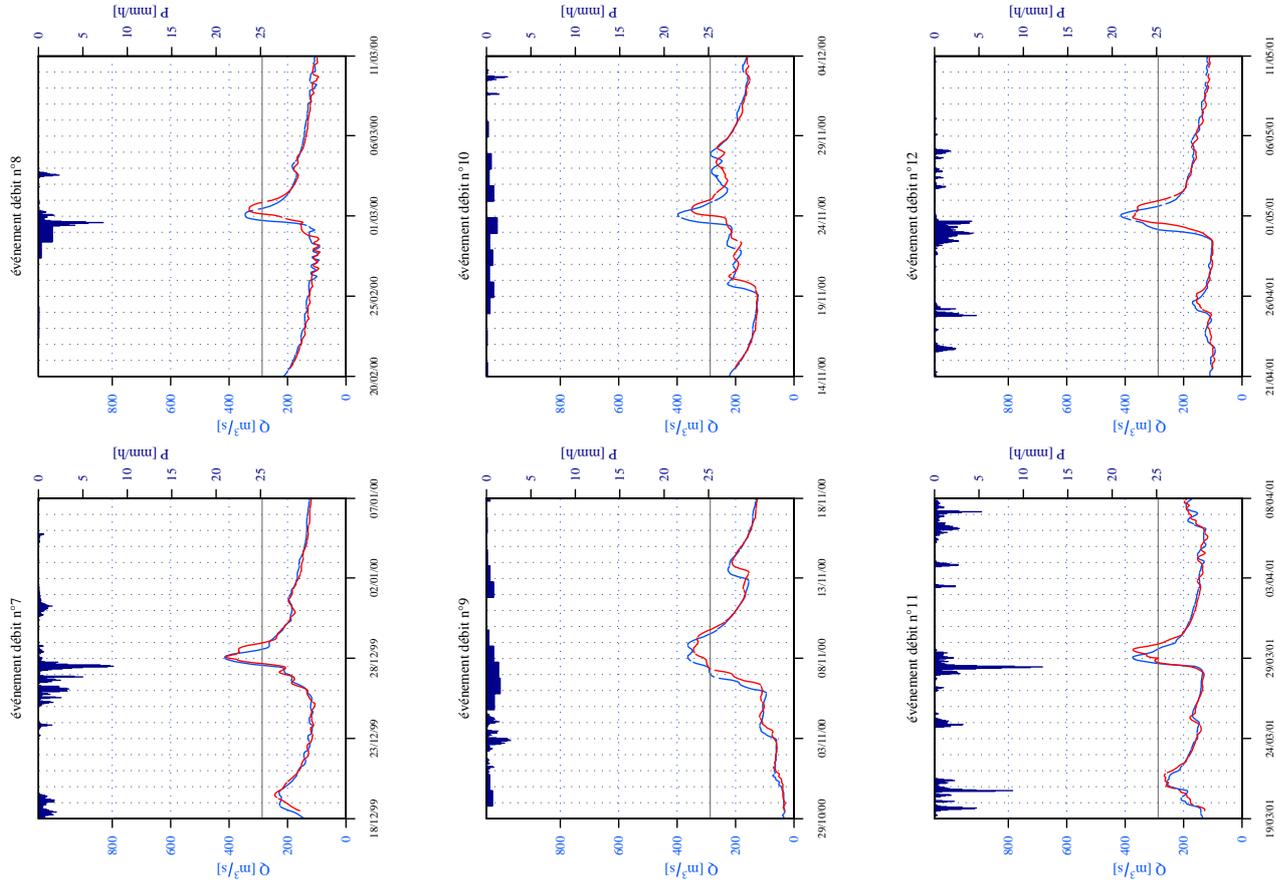
P4001010 Vézère à Larche (LARC) (S=2483 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



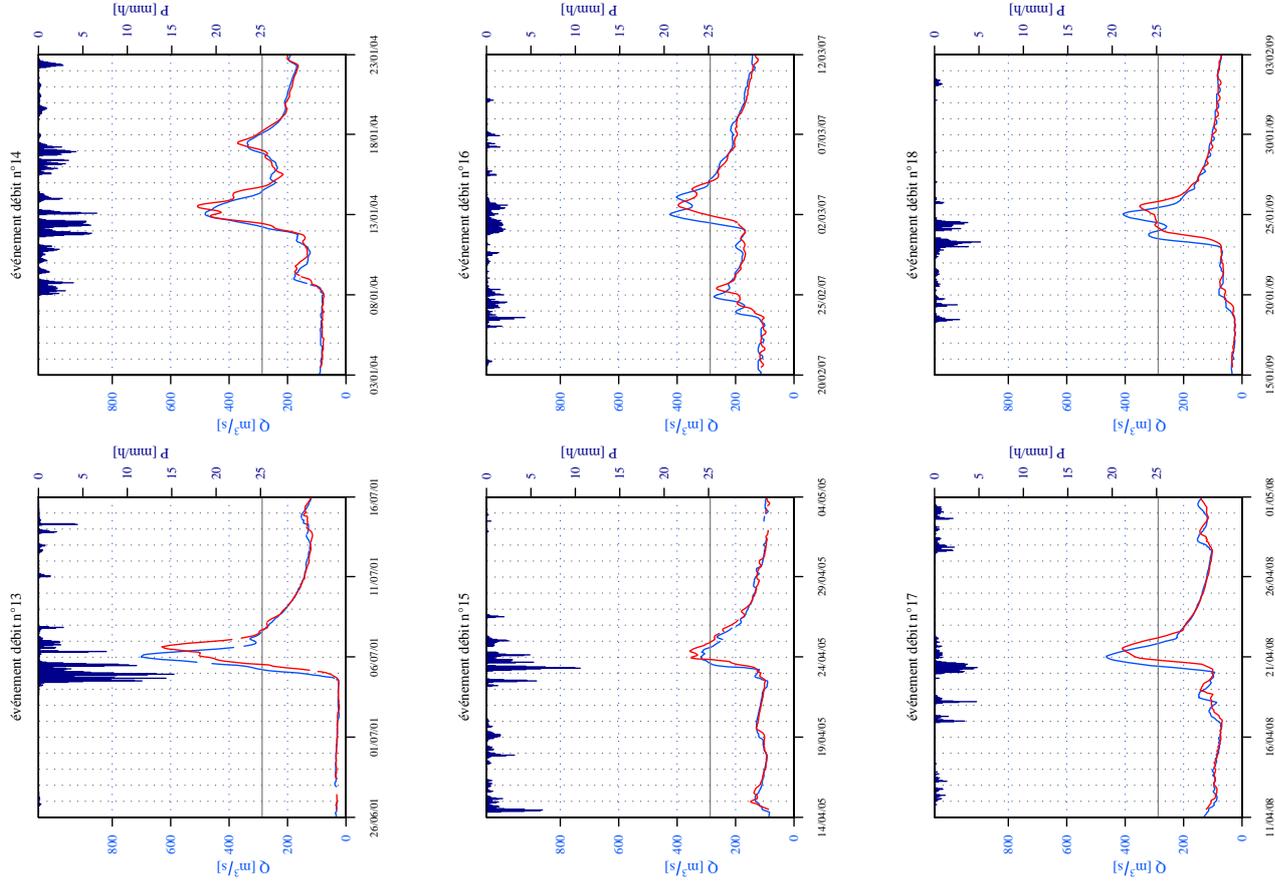
P4001010 Vézère à Larche (LARC) (S=2483 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



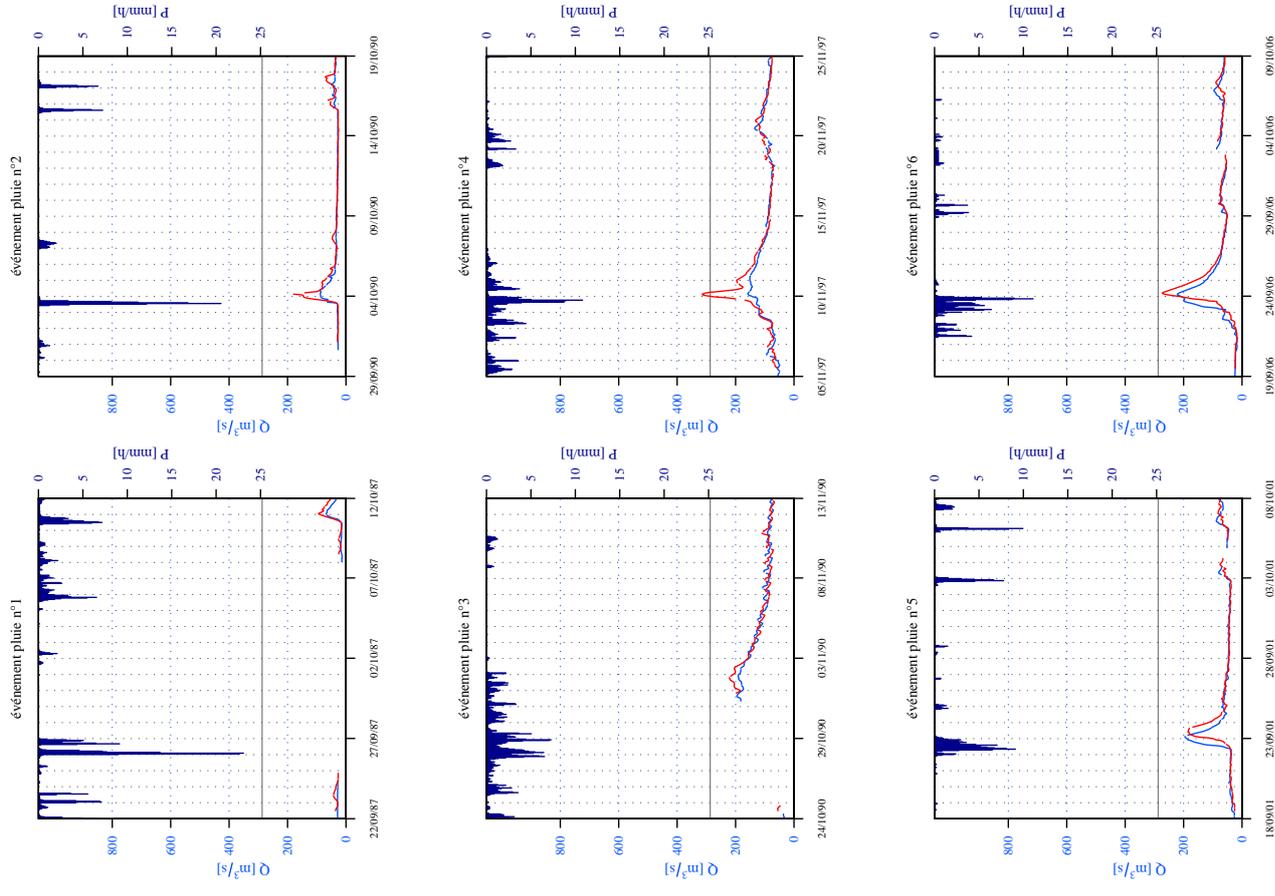
P4001010 Vézère à Larche (LARC) (S=2483 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



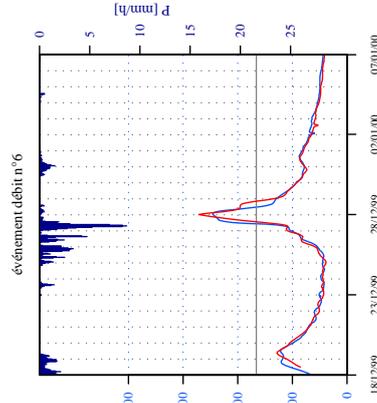
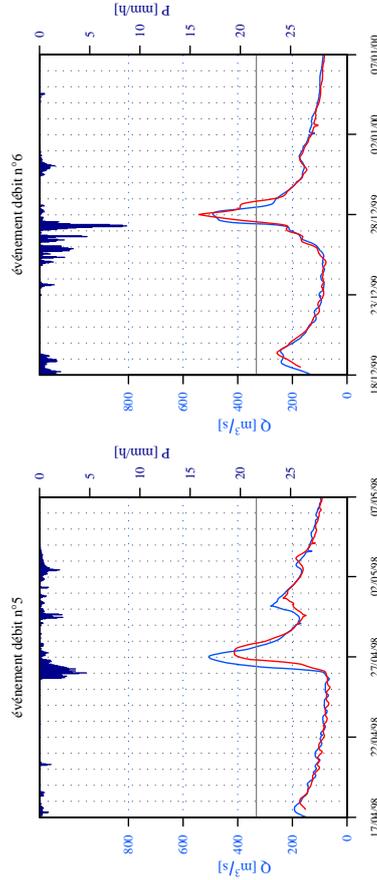
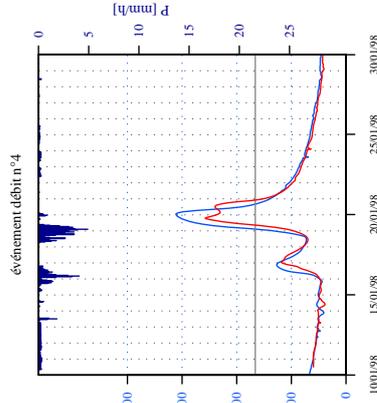
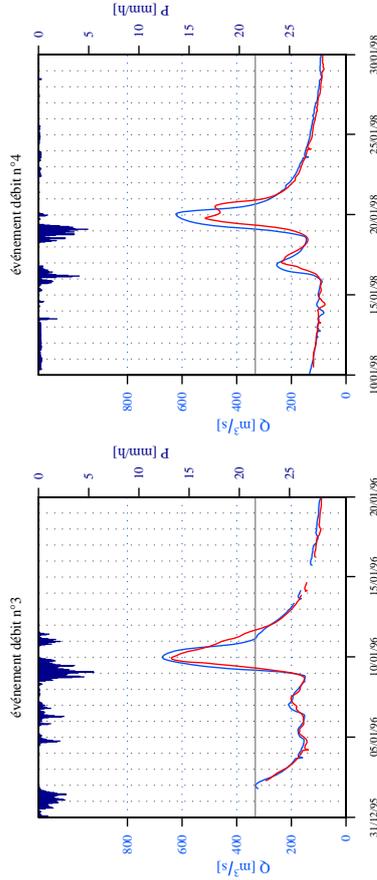
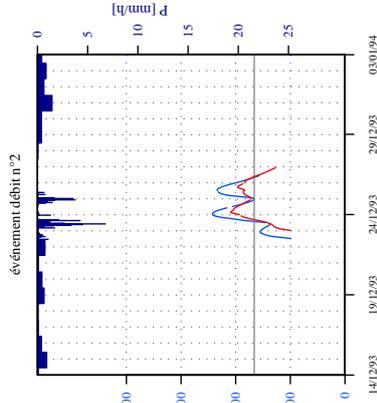
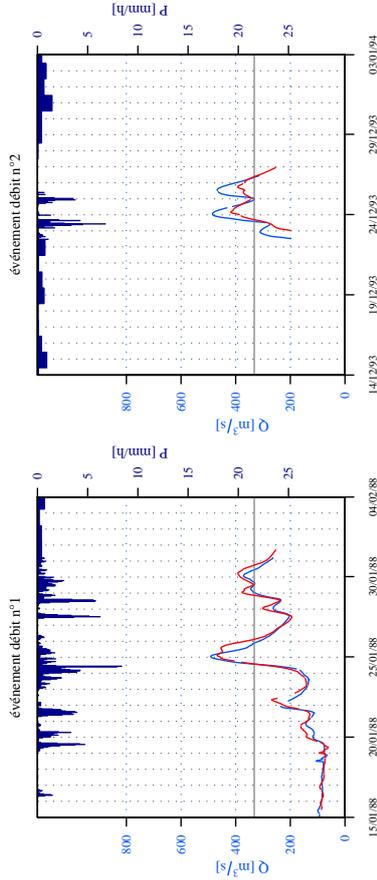
P4001010 Vézère à Larche (LARC) (S=2483 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



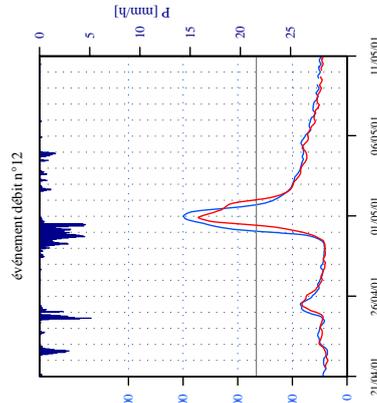
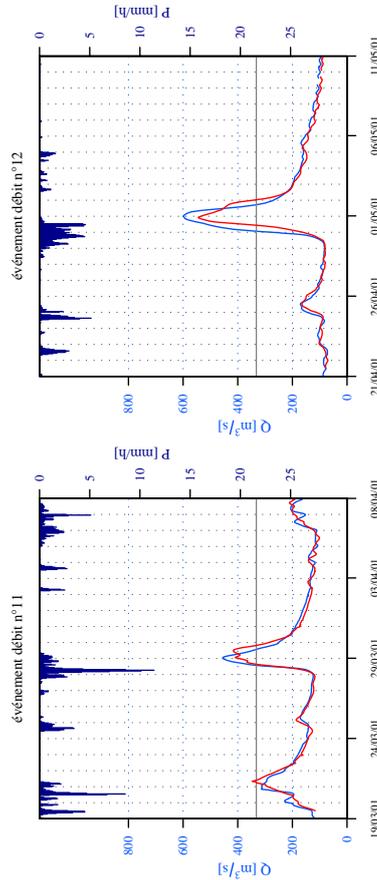
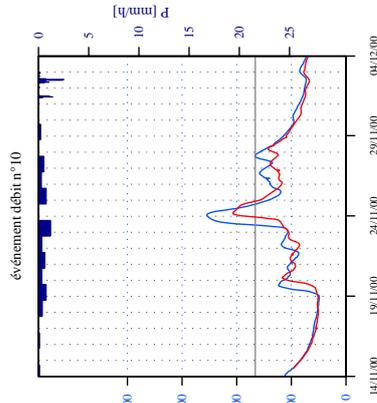
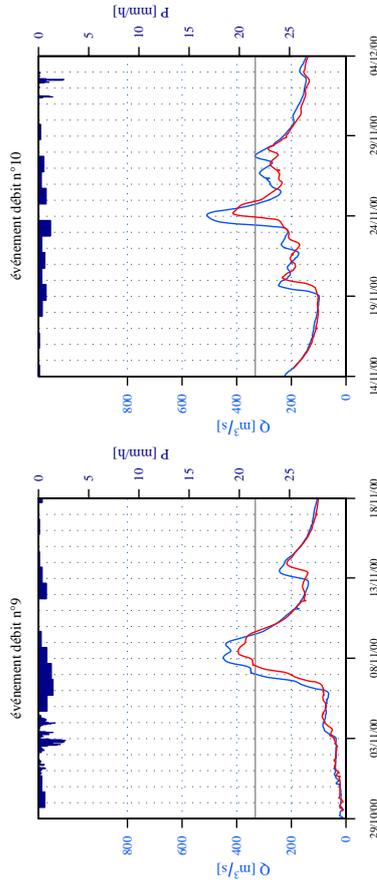
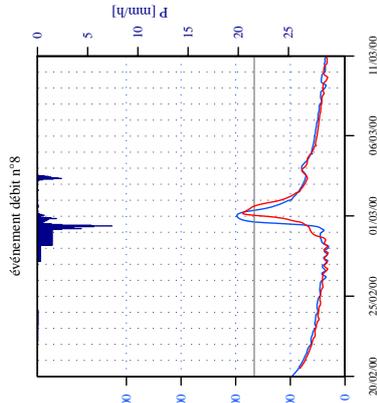
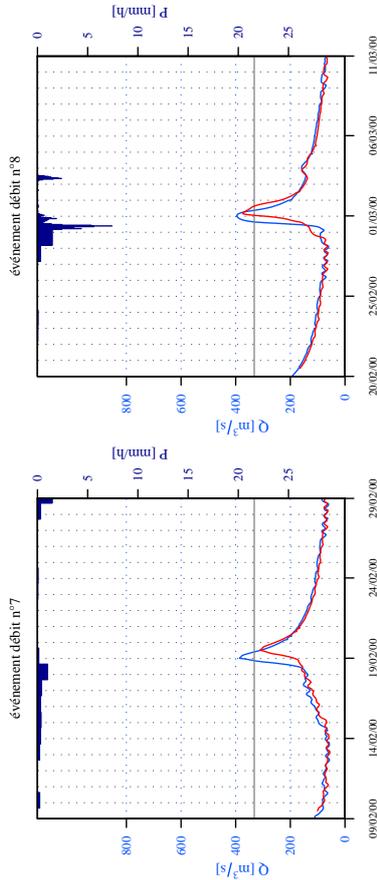
P4161010 Vézère à Montignac (MONT) (S=3165 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



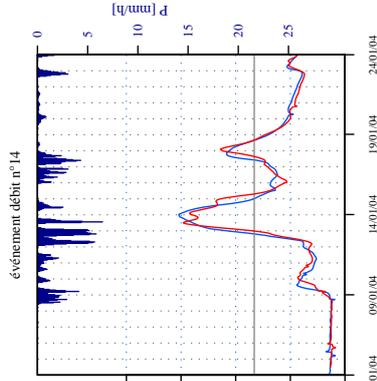
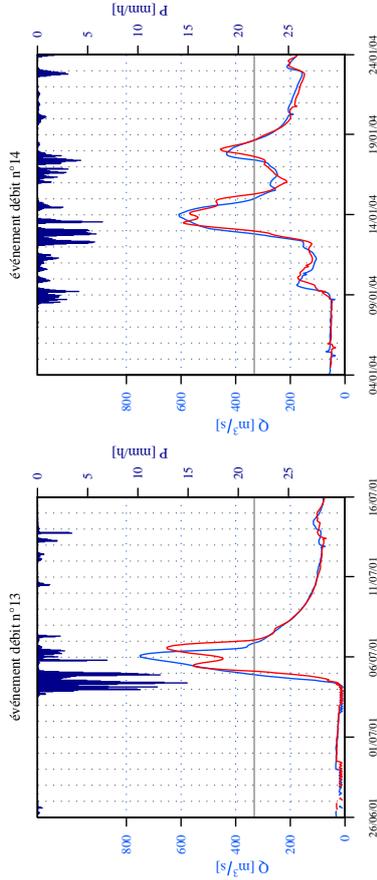
P4161010 Vézère à Montignac (MONT) (S=3165 km², Hc=12 h, GRP)

Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).

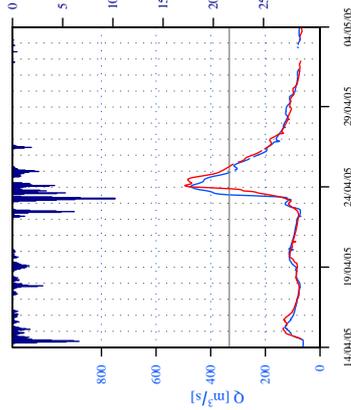


P4161010 Vézère à Montignac (MONT) (S=3165 km², Hc=12 h, GRP)

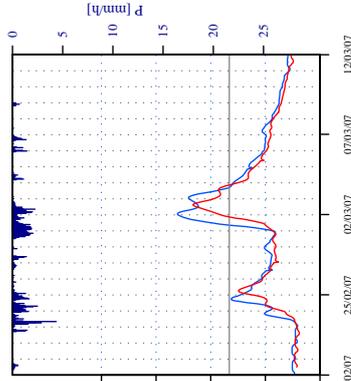
Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



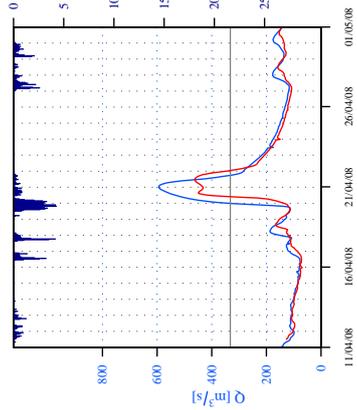
événement débit n°15



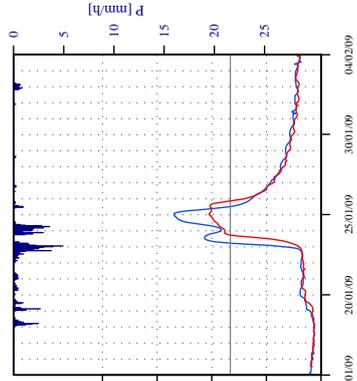
événement débit n°16



événement débit n°17

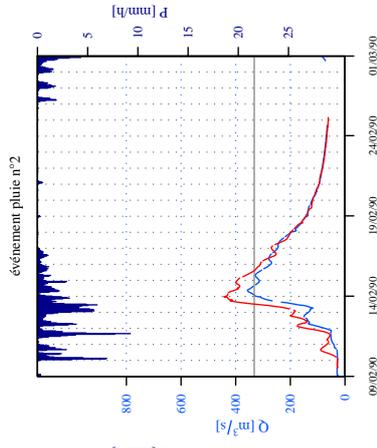
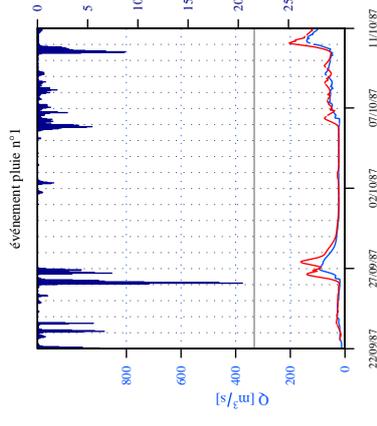


événement débit n°18

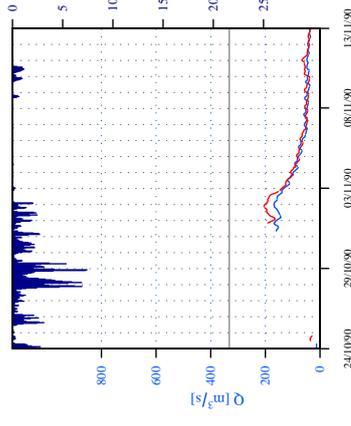


P4161010 Vézère à Montignac (MONT) (S=3165 km², Hc=12 h, GRP)

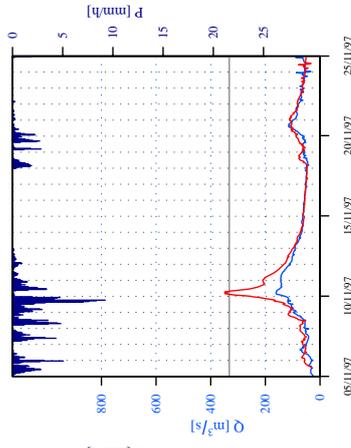
Débit observé (en bleu), série des prévisions à 12 h (en rouge).



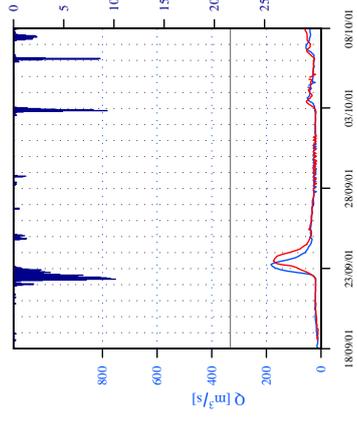
événement pluie n°3



événement pluie n°4



événement pluie n°5



événement pluie n°6

