



ECOLE PRATIQUE DES HAUTES ETUDES DE PARIS

Ecole doctorale : Sciences de la Vie et de la Terre,

Laboratoire : Hydrologie et Environnement

N° attribué par la bibliothèque

//////////

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR de l'EPHE

Spécialité : Milieux, Organismes et Evolution

Préparée dans l'Unité de Recherche Hydrosystèmes et Bioprocédés
Cemagref, Antony

présentée et soutenue publiquement par

Mamoutou TANGARA

Ingénieur CNAM

21 Novembre 2005

**Nouvelle méthode de prévision de crue
utilisant un modèle pluie-débit global**

JURY

M. Philippe BOIS
M. Roger MOUSSA
M. Ghislain de MARSILY
M. Claude MICHEL
M. Pierre JAVELLE
M. Daniel DUBAND

Rapporteur
Rapporteur
Directeur de thèse
Encadrant Cemagref
Examineur
Membre invité

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait jamais abouti sans le soutien et la participation de toutes les personnes qui, de loin ou de près, m'ont assisté dans sa réalisation. Je tiens donc à remercier chaleureusement celles et ceux qui ont participé au projet de thèse dont vous pouvez lire aujourd'hui les résultats. Ces recherches ont reçu le soutien de la Direction de l'Eau du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sur la période 2003-2005.

Tout d'abord je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur Ghislain de Marsily, Directeur du Laboratoire Hydrologie et Environnement - Département Milieux, Organisme et Evolution – Section des Sciences de la Vie et de la Terre - de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE), pour avoir accepté la direction de cette thèse, pour le suivi de mon travail, ses conseils au cours de ces trois années et ses suggestions pour améliorer la qualité de mes recherches.

Toute ma reconnaissance va à Claude Michel, Ingénieur en Chef du Génie Rural et des Eaux et Forêts - Hydrologue au Cemagref d'Antony, qui a encadré ce travail de recherche. Aux moments opportuns il a toujours su, par la clairovoyance de ses idées, ses conseils adéquats, ses explications claires et ses critiques constructives, insuffler constamment de l'élan à cette recherche. Quotidiennement j'ai bénéficié de son expérience en hydrologie. La confiance qu'il m'a accordée et son soutien constant ont été précieux dans la conduite de cette thèse.

Je tiens également à assurer de ma gratitude et à remercier Monsieur Philippe Bois, Professeur d'hydrologie à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble (ENSHMG) et Monsieur Roger Moussa, Directeur de recherche à l'INRA de Montpellier, pour avoir accepté d'être rapporteurs de mes travaux.

Monsieur Pierre Javelle, Chercheur à la Direction Régionale de l'Environnement Ile-de-France – Bassin Seine-Normandie – Gentilly, a accepté d'être examinateur. Je lui exprime ma sincère reconnaissance.

Je remercie chaleureusement Monsieur Daniel Duband, Président de la Division Eau et Environnement de la Société Hydrotechnique de France (SHF), d'avoir accepté de faire partie de mon comité de suivi de thèse et de mon jury de soutenance.

Le comité de suivi de thèse (une expérience passionnante et enrichissante) comprenait également Jacques Lavabre, Vazken Andréassian, Cécile Loumagne et Charles Perrin, ingénieurs-chercheurs au Cemagref. Je les remercie d'avoir accepté de suivre activement l'avancement de mes travaux. Leurs idées, critiques, conseils au quotidien et relectures ont été très utiles.

Un grand merci à l'ensemble des membres permanents ou stagiaires de l'Unité de Recherche HBAN – et en particulier à l'équipe Hydrologie (Claudia, Charles-Henry, Golnoush, Jean-Louis, Jean-Luc, Josep, Julien, Ludovic, Marie, Marine, Nanée, Nicolas, Thibault, et sans oublier Edijatno) – pour m'avoir fait partager un peu de leurs diverses connaissances et expériences. Merci à Vazken Andréassian pour l'efficacité de son rôle d'animateur de l'équipe, à Jean-Louis Rosique pour son aide quotidienne en informatique et en SIG, à Valerie Dansin et Sophie Morin pour leurs aides administrative et en bureautique. Et, je n'oublie pas Francis Goeta et Michel Poirson pour leur aide en informatique, Cantin Nicole, Chemise Jean-Luc, Le Boulout Michaël, Le Henaff Charles, Rzepka Christophe, Sellier Bruno et Tanguy Nathalie, du service de la reprographie d'Antony, pour leur disponibilité et leur efficacité et

enfin, l'équipe de foot de l'ASCCR d'Antony pour les agréables instants de décompression et de bonne humeur qu'elle m'a apporté.

Merci aussi à Cécile Loumagne et Gildas Le Bozec, successivement chefs de l'Unité de Recherche Hydrosystèmes et Bioprocédés (HBAN) du Cemagref d'Antony, mon unité de rattachement et à Gérard Sachon, Directeur Régional du groupement du Cemagref d'Antony pour les bonnes conditions dans lesquelles j'ai pu réaliser mes travaux.

Enfin, j'adresse mes chaleureuses pensées à toute ma famille et à mes amis pour leurs soutiens et leurs encouragements tout au long de ces années de thèse.

RESUME

En cette période de vulnérabilité accrue de nos sociétés aux inondations, il existe une forte demande sociale pour prévenir et prévoir ces catastrophes naturelles qui posent de graves problèmes humains et économiques. Pour protéger la population contre les inondations provoquées par les crues, il faut pouvoir disposer d'outils de prévision opérationnels et fiables. Mais la prévision des crues est un problème ancien, qui reste encore aujourd'hui difficile à résoudre. D'une part, parce que les utilisateurs des prévisions sont de plus en plus exigeants, ils souhaitent combiner précision et délai d'anticipation et d'autre part, parce que de nombreuses propriétés intrinsèques du bassin versant, qui est un système naturel très complexe, jouent un rôle dans la genèse des crues.

L'approche pluie-débit utilise la connaissance de la pluviométrie et est applicable en tout point du réseau hydrographique. De plus, elle peut être combinée à des informations sur les pluies futures et d'autres données hydrométéorologiques dans le bassin versant pour une plus grande anticipation. Le modèle pluie-débit nous semble donc être l'outil incontournable pour anticiper les conséquences hydrologiques des pluies que l'on observe. Toutefois, un tel modèle ne permet pas de résoudre complètement le problème car les modèles pluie-débit existants restent encore beaucoup trop imprécis lorsqu'ils n'utilisent que des données de pluie : des erreurs allant du simple au double sont fréquentes en modélisation pluie-débit. Le modèle ne peut donc pas être utilisé tel quel en contexte opérationnel pour réaliser des prévisions : il est indispensable de disposer en temps réel d'informations limnimétriques en plus des informations pluviométriques, afin de « recalcr » mathématiquement le modèle sur ces observations à l'instant de la prévision pour améliorer les prévisions. Cette façon de corriger les dérives du modèle se traduit par ce qu'on appelle une méthode de mise à jour du modèle. Dans la littérature, cette mise à jour peut être effectuée à quatre niveaux différents.

La démarche entreprise ici consiste à examiner rétrospectivement, à l'aide d'un modèle global pluie-débit au niveau du bassin versant, toutes les possibilités qui sont offertes sur les données de 188 bassins versants, situés en France, en Australie, au Brésil, en Côte d'Ivoire et aux Etats-Unis, pour dégager des règles générales concernant les mérites respectifs de ces approches. L'objectif final est de mettre au point la stratégie optimale de mise à jour permettant d'escompter globalement le meilleur succès de prévision.

Nous avons été très vite confrontés aux limites (très faibles performances) des méthodes de prévision de crue courantes disponibles pour ce type de modèle conceptuel pluie-débit ainsi qu'à celles de leurs procédures de mise à jour. Nous avons alors mené une réflexion sur les structures des modèles conceptuels et testé les conséquences de leur agencement sur leurs performances en prévision de crue en sélectionnant plusieurs structures simples de modèles. Cette réflexion nous a alors montré que même le modèle conceptuel GR4J, pourtant simple et parcimonieux dans sa structure (seulement quatre paramètres) et très performant en simulation de débits, devait encore être simplifié pour se prêter à une mise à jour efficace permettant d'obtenir une performance significative en prévision de crue.

Nous avons ensuite entamé, toujours dans une démarche empirique, le processus de développement d'un modèle global pluie-débit et de sa procédure de mise à jour, au travers de multiples structures de modèles et de procédures de mise à jour qui a conduit au modèle de prévision très simple GRP (Génie Rural pour la Prévision de crue) performant et qui laisse, de part sa simplicité, une large place à de futures améliorations.

ABSTRACT

In the present times of increased vulnerability of our societies to inundations, a strong social demand exists to forecast and prevent these natural hazards that cause important human and economic problems. In this context of protection of population against the inundations induced by flood events, operational and efficient tools are required for forecasting. But flood forecasting is an old issue that remains today difficult to solve. On the one hand, the end-users of flood forecasts are more and more demanding and they wish to have both precision on peak values and long lead times of forecast. On the other hand, many of the intrinsic characteristics of the catchment, which is a very complex natural system, play a role in the flood generation.

The rainfall-runoff modelling approach uses the knowledge of rainfall and is applicable at any point along a channel network. It can also use the information on future precipitations and on other hydrological or meteorological variables for a better anticipation. Rainfall-runoff models seem therefore to be essential tools to anticipate the possible consequences of observed precipitations. However such a model cannot solve the whole problem: the existing models are much too imprecise when they use only precipitations as input. Therefore the model cannot be used alone for operational forecasting applications. So in addition to the information on rainfall, it is necessary to get real-time information on flow values to “recalibrate” the model on these observations to improve model predictions. This way to correct model errors at the time of issuing the forecast is called *updating*. The literature proposes four main approaches for model updating.

Our research consisted in analysing a wide panel of forecasting approaches, using a lumped rainfall-runoff model. They were tested on a large set of data collected for 188 catchments situated in France, Australia, Brazil, the Ivory Coast and the United States, to get general conclusions on the respective merits and drawbacks of these different approaches.

Quickly we were confronted to the limits (very low performance) of existing forecasting and updating approaches available for this type of hydrological models. Therefore we decided to take a new direction in our research, to assess different model structures and the effect of their different formulations on their results in forecasting. We started from the analysis of several simple model structures. This part of our work showed that, although the GR4J model has a very simple and parsimonious structure (only four parameters to calibrate) and gets good performances in simulation, it ought to be simplified to lend itself to efficient updating and thus to get satisfactory performances in flood forecasting.

Following an empirical approach, we then designed a new lumped rainfall-runoff model and its associated updating procedure, by testing a large number of combinations of model structures and updating approaches and selecting the best one. This led to the GRP model (modèle du Génie Rural pour la Prévision des crues – rural engineering model for flood forecasting) that is efficient and that could support future improvements thanks to its simplicity.

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	3
RESUME.....	5
ABSTRACT	7
LISTE DES FIGURES.....	15
LISTE DES TABLEAUX.....	17
INTRODUCTION GENERALE	21
CHAPITRE 1 CONTEXTE GENERAL DE LA PREVISION DE CRUES ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE	27
1.1. Définitions de la prévision des crues.....	27
1.2. Contexte et analyse hydrologique de la prévision de crues	29
1.3. Comment réaliser des prévisions avec des modèles pluie-débit ?	31
1.4. Objectifs de nos travaux de recherche et méthodologie générale	32
1.5. Critère d'évaluation d'une méthode de simulation.....	33
1.6. Introduction d'un critère d'évaluation adapté à la prévision	36
1.7. Conclusion	36
<hr/> CHAPITRE 2 DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNÉES UTILISÉE.....	39
2.1. Pourquoi une large base de données ?.....	39
2.1.1 Données en France	39
2.1.2 Données en Australie.....	40
2.1.3 Données au Brésil.....	40
2.1.4 Données en Côte d'Ivoire.....	40
2.1.5 Données aux Etats-Unis	40
2.2. Analyse statistique de la base de données.....	42
2.2.1 Analyse en Composantes Principales normée (ACP) avec huit variables explicatives.....	46
2.2.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) avec huit variables explicatives	50
2.3. Conclusion	56
<hr/> CHAPITRE 3 QUELQUES MÉTHODES DE PRÉVISION DE CRUE UTILISANT UN MODÈLE GLOBAL PLUIE-DÉBIT OU UN RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIELS	59
3.1. Méthode proposée par YANG.....	59
3.1.1 Caractéristiques de la méthode de Yang	59
3.1.2 Structure générale de l'approche de Yang.....	60

3.2. Méthode des Réseaux de Neurones Artificiels (RNA)	61
3.2.1 Formulation de problème RNA.....	61
3.2.2 Méthode de modélisation par RNA.....	62
3.3. Méthode PQb	63
3.4. Méthode GR3H	63
3.4.1 Présentation du modèle GR3H.....	63
3.4.2 Prévion avec GR3H : Méthodologie.....	64
3.5. Prévion avec la Procédure Multi-Modèles (PMM)	65
3.6. Conclusion	66
<hr/>	
CHAPITRE 4 ANALYSE DES RESULTATS DES MÉTHODES DE PRÉVISION DE CRUES EXISTANTES	69
4.1. Résultats obtenus par l'approche de Yang sur la base de données	69
4.2. Comparaison des prévisions par RNA et d'autres modèles de prévision pluie-débit	74
4.3. Comparaison des prévisions PQb et GR3H	74
4.4. Réflexions à la lumière des résultats précédents et proposition d'une démarche plus simple	75
4.5. Le modèle empirique global choisi comme référence	76
4.6. Vers une nouvelle approche : comparaison de méthodes directes de base (GR4JSI, PQb et GR3JPR)	79
4.7. Conclusions et perspectives pour la poursuite de ce travail	80
<hr/>	
CHAPITRE 5 JUSQU'OU PEUT ALLER LA MISE Á JOUR D'UN MODÈLE TEL QUE GR4J ?	83
5.1. Méthodes directes de mise à jour par assimilation du dernier débit observé ... 83	
5.2. Tentative d'amélioration du modèle GR3JPR par approche empirique	85
5.2.1 Mise à jour graduelle de la fonction de production de GR3JPR (Variante GR3JPR ₁)	86
5.2.2 Mise à jour de la fonction de rendement avec l'option supplémentaire de prise en compte ou de non-prise en compte du débit futur correspondant à la pointe de l'hydrogramme unitaire (Variante GR3JPR ₂)	89
5.3. Tentative d'amélioration de la mise à jour du modèle GR4J par approche empirique	91
5.3.1 Essais sur la variante GR4J	91
5.3.2 Essais sur la variante GR4JSE (GR4J Sans les Echanges)	93
5.3.3 Essais sur la variante GR4JSI (GR4J Simplifié).....	101
<hr/>	
CHAPITRE 6 MODIFICATION DU MODÈLE DE BASE POUR UNE PLUS GRANDE EFFICACITÉ EN PRÉVISION DE CRUE	111
6.1. Augmentation de la versatilité du transfert dans le modèle GR4JSI (GR4JSI à 4 paramètres)	111
6.1.1 Variante de quadratique à cubique GR4JSI.....	111
6.1.2 Variante de cubique à quadratique GR4JSI ₅	112

6.2.	Introduction de deux réservoirs quadratiques de transfert dans le modèle GR4JSI (modèle GR4JSI₆)	114
6.3.	Introduction d'une fonction d'échange dans la variante GR4JSI (Variante GR4JSI₇)	115
6.4.	Réexamen de l'hydrogramme unitaire dans la variante GR4JSI₇ précédente	118
6.4.1	Variante GR4JSI ₈ (utilisation de HU3**2.5 au lieu de HU1).....	118
6.4.2	Variante GR4JSI ₉ (utilisation de HU3**2.0 au lieu de HU1).....	120
6.4.3	Variante GR4JSI ₁₀ (utilisation de HU3**1.5 au lieu de HU1)	121
6.4.4	Comparaison des meilleurs résultats des quatre variantes de GR4JSI ₇	123
6.4.5	Recherche d'une expression dérivable pour l'hydrogramme unitaire (variante GR4JSI ₁₁)	125
6.5.	Retour à trois paramètres avec la variante GR4JSI₇	126
6.5.1	Variante GR4JSI ₁₂ (utilisation de HU3**2.5 et une capacité fixe du réservoir sol S).....	126
6.5.2	Variante GR4JSI ₁₃ (recherche de la capacité optimale A du réservoir sol S)....	128
6.6.	Synthèse de l'ensemble des essais	131
<hr/>		
CHAPITRE 7 INTRODUCTION D'UN TRAITEMENT D'ERREUR DANS LE MODELE GR4JSIPR ET SYNTHESE GENERALE POUR LA PRÉVISION DE CRUE A UN JOUR : LE MODELE GRP (MODELE GENIE RURAL DE PREVISION DE CRUE)		137
7.1.	Introduction d'un traitement d'erreur dans le modèle GR4JSIPR	137
7.2.	Synthèse générale pour la prévision de crue à un jour	139
7.2.1	Analyse en Composantes Principales Normée (ACP) avec 10 variables explicatives.....	140
7.2.2	Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) avec 10 variables explicatives	144
7.2.3	Analyse statistique des 130 bassins versants français	150
7.2.4	Comparaison des paramètres du modèle utilisé en prévision et en simulation ..	152
<hr/>		
CHAPITRE 8 OPTIMISATION ET ANALYSE DU MODÈLE GRP DE PRÉVISION DIRECTE DE CRUE POUR DES DÉLAIS DE PRÉVISION SUPÉRIEURS À UN JOUR		155
8.1.	La correction a posteriori ($\beta = 0.25$) ne doit-elle pas être réexaminée pour des délais supérieurs à un jour ?	155
8.2.	Le critère de persistance est-il bien adapté quand le délai est supérieur à un jour ?	157
8.3.	Le modèle GRP (modèle Génie Rural de Prévision de crue)	158
8.3.1	Lien éventuel entre le temps de base de l'hydrogramme unitaire et le délai maximum de prévision	161
8.3.2	Exemples d'hydrogrammes prévues et de courbes de corrélation obtenues :	162
<hr/>		
CONCLUSION GÉNÉRALE		167
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		171
ANNEXE 1 : LISTES ET PERIODES DES BASSINS VERSANTS DE LA BASE DONNEES		179

A1.1	Listes des 188 bassins versants de la base de données.....	179
A1.2	Listes par pays des périodes de séries chronologiques des données (pluies, débits, ETP), des bassins fluviaux et des durées des 188 bassins versants de la base de données.....	182
<hr/>		
ANNEXE 2 : BASE DE DONNEES UTILISEE ET ANALYSE STATISTIQUE SOMMAIRE DES VARIABLES		185
A2.1	Base de données utilisée pour les analyses statistiques	185
A2.2	Statistiques élémentaires des variables utilisées dans les différentes analyses	188
<p>Cette galerie de graphiques permet d'examiner de façon multivariée l'ensemble des données de base de données utilisée. Nous obtenons dans ce tableau tous les graphiques définis par le croisement deux à deux de toutes les variables actives de analyse statistique de nos données. Dans chaque cellule de la galerie, sauf celles sur la diagonale, figure le nuage des bassins versants dans le plan défini par les variables dont le nom se trouve en tête des lignes et des colonnes. Sur la diagonale principale, se trouvent des informations statistiques et des histogrammes pour chaque variable.....</p>		
A2.3	Résultats de la 1 ^{ière} Analyse en Composantes Principales Normée (ACP_8 variables explicatives)	192
A2.4	Résultats de la 1 ^{ière} Classification Ascendante Hiérarchique (CAH_8 variables explicatives).....	201
A2.5	Résultats de la 2 ^{ème} Analyse en Composantes Principales Normée (ACP_10 variables explicatives)	220
A2.6	Résultats de la 2 ^{ème} Classification Ascendante Hiérarchique (CAH_10 variables explicatives)	229
<hr/>		
ANNEXE 3 : RESULTATS DES METHODES « DIRECTES » DE BASE : PQB, GR3JPR ET GR4JSI.....		246
A3.1	Modèle PQB-Fabret	246
A3.2	Modèle GR3JPR (GR3J-PREVISION).....	248
A3.3	Modèle GR4JSI (GR4J Simplifié).....	251
<hr/>		
ANNEXE 4 : RESULTATS DES ESSAIS DES VARIANTES DU MODELE GR3JPR (GR3J-PREVISION).....		255
A4.1	Variante GR3JPR ₁	255
A4.2	Variante GR3JPR ₂	258
<hr/>		
ANNEXE 5 : RESULTATS DES ESSAIS DU MODELE GR4J COMPLET.....		261
<hr/>		
ANNEXE 6 : RESULTATS DES ESSAIS DES VARIANTES DU MODELE GR4JSE (GR4J SAUF LES ECHANGES).....		264
A6.1	Modèle GR4JSE : avec deux branches d'écoulement traitées de façon identique	264
A6.2	Variante GR4JSE ₁	266
A6.3	Variante GR4JSE ₂	268
A6.4	Variante GR4JSE ₃	271

ANNEXE 7 : RESULTATS DES ESSAIS DES VARIANTES DU MODELE GR4JSI 274

A7.1 Variante GR4JSI₁	274
A7.2 Variante GR4JSI₂	276
A7.3 Variante GR4JSI₃	278
A7.4 Variantes de GR4JSI avec 4 Paramètres dont 2 affectés au réservoir de transfert R	280
A7.5 Variante GR4JSI₅	283
A7.6 Variante GR4JSI₆	285
A7.7 Variante GR4JSI₇	286
A7.8 Variante GR4JSI₈	290
A7.9 Variante GR4JSI₉	294
A7.10 Variante GR4JSI₁₀	298
A7.11 Variante GR4JSI₁₁	302
A7.12 Variante GR4JSI₁₂	305
A7.13 Variante GR4JSI₁₃	308
A7.14 Synthèse de l'ensemble des essais : le modèle GR4JSIPR	312

ANNEXE 8 : RESULTATS DES ESSAIS DES VARIANTES DU MODELE GR4JSIPR

.....	315
A8.1 Variante GR4JSIPR avec correction des débits en sortie	315
A8.2 Variante GR4JSIPR optimale : le modèle GRP	317

ANNEXE 9 RESULTATS DES ESSAIS DU MODELE GRP..... 320

ANNEXE 10 : EXEMPLES D'HYDROGRAMMES PREVUS POUR QUELQUES BASSINS VERSANTS 323

A10.1 Prévision à UN JOUR avec le Modèle GRP (3 Paramètres)	323
A10.2 Prévision à TROIS JOURS avec le Modèle GRP (3 Paramètres)	342

ANNEXE 11 : EXEMPLES DE COURBES DE CORRELATION OBTENUES POUR QUELQUES BASSINS VERSANTS..... 361

A11.1 Courbes de corrélation pour quelques bassins versants (prévision à UN JOUR) 361	
A11.2 Courbes de corrélation pour quelques bassins versants (prévision à TROIS JOURS)	368

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Relation entre le critère de Nash-Sutcliffe et le critère C_{2M} (d'après Mathevet, 2005)	35
Figure 2.1 : Situations géographiques des 188 bassins versants de la base de données retenue	42
Figure 2.2 : Plan principal 1-2 des deux premières composantes principales (axe1, axe2).....	48
Figure 2.3 : Cercle des corrélations (plan principal axe 1 – axe 2).....	49
Figure 2.4 : Allure du dendrogramme de la CAH avec 8 variables explicatives.....	52
Figure 2.5 : CAH en quatre Classes avec huit variables actives sur le plan principal (axe1, axe2).....	54
Figure 2.6 : Cartes de localisations des quatre classes de la CAH avec huit variables explicatives.....	55
Figure 3.1 : Structure de la prévision des crues	60
Figure 3.2 : Schéma structurel du modèle GR3H	64
Figure 4.1 : Schéma de la structure du modèle GR4J (d'après Perrin, 2002).....	76
Figure 5.1 : Exemple de diagramme de la mise à jour par assimilation	84
Figure 5.2 : Procédure d'élaboration d'une méthode de prévision de crue.....	85
Figure 5.3 : Schéma de fonctionnement du modèle GR3JPR ₁	86
Figure 5.4 : Performances moyennes du modèle GR3JPR ₁ pour différentes fonctions de production	87
Figure 5.5 : Performances moyennes du modèle GR3JPR ₁ pour différentes fonctions de transfert et différentes valeurs de l'exposant γ	88
Figure 5.6 : Schéma de fonctionnement du modèle GR3JPR ₂ permettant d'analyser l'intérêt de prendre le débit de pointe de HU1 dans la mise à jour (date notée k).....	90
Figure 5.7 : Résultats des essais du modèle GR3JPR ₂	91
Figure 5.8 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4J avec mise à jour uniquement du débit en sortie (les deux branches d'écoulement sont traitées de façon identique) ...	92
Figure 5.9 : Résultats des essais du modèle GR4J	93
Figure 5.10 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE, avec deux branches d'écoulement traitées de façon identique.....	94
Figure 5.11 : Résultats du modèle GR4JSE	95
Figure 5.12 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE ₁ , sans mise à jour de la branche directe liée à celle sur le réservoir de transfert R.....	96
Figure 5.13 : Résultats de GR4JSE ₁	97
Figure 5.14 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE ₂ , avec tentative de mise à jour différenciée des deux branches de GR4JSE.....	98
Figure 5.15 : Résultats de GR4JSE ₂	99
Figure 5.16 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE ₃ (GR4JSE avec mise à jour des pluies sorties de HU1).....	100
Figure 5.17 : Résultats du modèle GR4JSE ₃ (mise à jour des pluies sorties de HU1 et part(R) = 0.9).....	101
Figure 5.18 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI ₁ (GR4JSI avec Report Partiel sur le réservoir S).....	102
Figure 5.19 : Résultats de la variante GR4JSI ₁	103
Figure 5.20 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI ₂ avec mise à jour après l'action de l'hydrogramme unitaire.....	104
Figure 5.21 : Résultats de la variante GR4JSI ₂	105

Figure 5.22 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI ₃ avec ajustement après fonctionnement du réservoir sol (S).....	106
Figure 5.23 : Résultats de la variante GR4JSI ₃	107
Figure 6.1 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI à 4 paramètres (dont 2 pour le réservoir de transfert R). Les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour	112
Figure 6.2 : Résultats des variantes GR4JSI ₄ et GR4JSI ₅	114
Figure 6.3 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI ₆ (GR4JSI à deux réservoirs de transfert quadratiques en parallèle).....	115
Figure 6.4 : Schéma de fonctionnement de la variante GR4JSI ₇ (GR4JSI avec introduction d'une fonction d'échanges). Les R _i ' sont mis à jour si et seulement si l'option mise à jour de R est sélectionnée dans les choix possibles offerts au lancement du programme.	116
Figure 6.5 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₇	117
Figure 6.6 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₈	119
Figure 6.7 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₉	121
Figure 6.8 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₀	122
Figure 6.9 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₁	126
Figure 6.10 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₂	128
Figure 6.11 : Résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₃	130
Figure 6.12 : Comparaison des distributions des résultats des essais de meilleures persistances des différents modèles testés.....	131
Figure 6.13 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSIPR	133
Figure 7.1 : Schéma de fonctionnement du modèle GRP	138
Figure 7.2 : Plan principal 1-2 des deux premières composantes principales (axe1, axe2)...	142
Figure 7.3 : Cercle des corrélations (plan principal axes 1 et 2).....	143
Figure 7.4 : Allure du dendrogramme de la CAH avec 10 variables explicatives actives.....	145
Figure 7.5 : CAH en 8 Classes avec 10 variables actives sur le Plan principal (axe1, axe) ..	147
Figure 7.6 : Cartes de localisations des 5 Classes de la CAH avec 10 variables explicatives	149
Figure 7.7 : Plan principal axe1xaxe2 : CAH en 5 classes des 130 bassins versants français	150
Figure 7.8 : Cercle de corrélation et Carte de situation des classes de bassins versants.....	151
Figure 7.9 : Comparaison des valeurs transformées de paramètres a, b et c du modèle GRP obtenus en simulation et en prévision	0152
Figure 8.1 : Performances du modèle GRP en fonction de l'exposant β de la correction sur les débits en sortie pour des délais de prévision L allant de un à sept jours	156
Figure 8.2 : Valeurs du nombre NBV de bassins versants où $C_{2M/P}(2j) > C_{2M/P}(1j)$ en fonction de l'exposant α (pour le délai L = 2 jours et l'exposant de la correction des débits $\beta = 0.15$)	158
Figure 8.3 : Schéma de fonctionnement du modèle GRP (modèle Génie Rural de Prévision de crue)	159
Figure 8.4 : Performances du modèle GRP en fonction du délai de prévision	160
Figure 8.5 : Délai maximal de prévision par bassin versant	161

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Définition des huit variables explicatives de l'analyse statistique.....	45
Tableau 2.2 : Statistiques sommaires des 8 variables continues (effectif total : 188 ; poids total : 188.0)	46
Tableau 2.3 : Matrice des corrélations	47
Tableau 2.4 : Valeurs propres et variance cumulée des composantes principales (trace avant diagonalisation = 8. ; sommes des valeurs propres = 8. ; histogramme des huit premières valeurs propres)	47
Tableau 2.5 : Coordonnées des variables sur les axes principaux 1 à 5 (variables actives)	47
Tableau 2.6 : Sommes des carrés des coefficients de corrélation des variables avec les axes principaux 1 et 2.....	47
Tableau 2.7 : Descriptions des axes factoriels	49
Tableau 2.8 : Description des 50 nœuds d'indices les plus élevés (classification hiérarchique - voisins réciproques – sur les huit premiers axes factoriels).....	51
Tableau 2.9 : Composition de la coupure de l'arbre en quatre classes (huit variables explicatives)	53
Tableau 4.1 : Critères de persistance moyens ($C_{2M/P}$, en %) obtenus par différentes méthodes de prévision pour un délai de un jour.....	70
Tableau 4.2 : Points forts et points faibles respectifs des modèles GR4J et PQb	75
Tableau 4.3 : Comparaisons des résultats ($C_{2M/P}$, en %) obtenus par différentes méthodes « directes » de prévision sur l'ensemble de l'échantillon de bassins.....	79
Tableau 5.1 : Meilleurs résultats des essais du modèle GR3JPR ₂	90
Tableau 5.2 : Meilleur résultat des essais du modèle GR4J	92
Tableau 5.3 : Meilleurs résultats des essais du modèle GR4JSE ₃	100
Tableau 5.4 : Récapitulatif des essais et des résultats	108
Tableau 6.1 : Meilleurs résultats des variantes GR4JSI ₄ et GR4JSI ₅	113
Tableau 6.2 : Résultats de la variante GR4JSI ₆	114
Tableau 6.3 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₇	117
Tableau 6.4 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₈	118
Tableau 6.5 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₉	120
Tableau 6.6 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₀	122
Tableau 6.7 : Comparaison des quatre Variantes de GR4JSI ₇	123
Tableau 6.8 : Gains par rapport à GR4JSI de base (sans fonction d'échange)	123
Tableau 6.9 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₁	125
Tableau 6.10 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₂ (capacité du réservoir sol S fixée à 400 mm)	127
Tableau 6.11 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI ₁₃	129
Tableau 6.12 : Résultats détaillés des différents modèles sur l'échantillon de bassins versants	131
Tableau 7.1 : Meilleurs résultats du modèle GRP (mise à jour du réservoir de transfert R quadratique)	139
Tableau 7.2 : Définition des deux variables explicatives supplémentaires de l'analyse statistique	139
Tableau 7.3 : Statistiques sommaires des 10 variables continues (effectif total : 188 ; poids total : 188.0)	140
Tableau 7.4 : Matrice des corrélations des 10 variables continues	140

Tableau 7.5 : Histogramme des 10 premières valeurs propres et variance cumulée des composantes principales (trace avant diagonalisation = 10.0 ; somme des valeurs propres = 10.0)	141
Tableau 7.6 : Coordonnées des variables sur les axes principaux 1 à 5 (variables actives) ..	141
Tableau 7.7 : Sommes des carrés des coefficients de corrélation des variables avec les axes principaux 1 et 2.....	141
Tableau 7.8 : Description des axes factoriels.....	143
Tableau 7.9 : Description des 50 nœuds d'indices les plus élevés.....	144
Tableau 7.10 : Composition de la coupure de l'arbre en 8 classes (10 variables explicatives)	146
Tableau 8.1 : Valeurs du nombre NBV de bassins versants où $C_{2M/P}(2j) > C_{2M/P}(1j)$ en fonction de l'exposant α (pour le délai $L = 2$ jours et l'exposant de la correction des débits en sortie $\beta = 0.15$).....	157
Tableau 8.2 : Performances du modèle GRP en fonction du délai de prévision.....	160
Tableau 8.3 : Gains (en moyenne du critère de persistance) du modèle GRP en fonction du délai.....	160

*« Je peux prévoir la route des corps célestes,
mais je ne peux rien dire sur le mouvement
d'une petite goutte d'eau. »*
GALILÉO GALILÉI
(1564 – 1642)

*« Le travail mental de prévision est une
des bases essentielles de la civilisation.
Prévoir est à la fois l'origine et le moyen
de toutes les entreprises, grandes ou petites. »*
PAUL VALÉRY, Variété, III.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les inondations sont une cause importante des dommages causés aux personnes et aux biens. Actuellement, une forte demande sociale existe pour prévenir et prévoir ces catastrophes naturelles qui posent de graves problèmes humains et économiques. En cette période de vulnérabilité accrue de la société à ces événements, cette demande devient pressante (Sehmi, 1988; Assemblée Nationale, 1994; Assemblée Nationale, 2001; Takeushi, 2002).

Depuis près d'un demi-siècle, d'importantes ressources humaines et matérielles ont été consacrées à la recherche sur la protection contre le phénomène de crues. De nombreuses solutions de prévention sont mises en œuvre pour lutter contre les crues génératrices d'inondations : on cherche soit à empêcher les débordements localement au moyen de levées de terre ou digues, soit à stocker l'eau en amont des zones à protéger dans les lacs artificiels que constituent les barrages-réservoirs, soit enfin à favoriser le plus possible l'infiltration des eaux sur les versants en conservant ceux-ci sous un couvert de prairies ou de forêts. Cependant, pour les crues exceptionnelles ou quand les autres mesures se sont révélées impuissantes, il est important d'apprendre à anticiper les crues au moyen de systèmes de prévision.

Malgré tous les efforts d'aménagement, il apparaît bien aujourd'hui que pour les crues de grande période de retour, les inondations demeureront une fatalité. La seule chose à faire reste d'alerter avec le plus d'anticipation possible la population, afin de réduire les dégâts que causeront ces grandes inondations (Andréassian, 2005).

La prévision des crues est un problème ancien, qui reste encore aujourd'hui difficile à résoudre (Champion, 1858; Goubet, 1997). Pourquoi est-ce si difficile ? :

D'une part, parce que les utilisateurs des prévisions sont exigeants : ils souhaitent combiner précision et délai d'anticipation (afin d'avoir le temps de réagir à la crue). Et intuitivement, il est facile de comprendre que plus on cherche à prévoir à long terme, plus les incertitudes sont fortes.

D'autre part, parce que les propriétés intrinsèques du bassin versant, telles que son temps de concentration (propriété du bassin versant qui traduit sa capacité à concentrer plus ou moins vite les eaux de pluie en les acheminant vers la rivière et définie par le temps qui sépare le milieu de l'averse de la pointe de crue) interviennent :

- si l'on se place dans le proche avenir (délai très inférieur au temps de concentration du bassin versant), l'évolution du débit sera sous la seule dépendance des pluies déjà tombées ;
- si l'on se projette à moyen terme (délai supérieur ou égal au temps de concentration du bassin versant), il est clair que les pluies à venir vont influencer sur le débit que l'on cherche à prévoir. Il faudra alors au préalable réaliser une prévision de pluie, ce qui ajoute une autre source d'incertitude.

La prévision des crues est fondamentalement un problème hydrologique. L'hydraulique intervient essentiellement pour examiner les conséquences des débits prévus par l'hydrologie sur le niveau des eaux dans le lit majeur du bassin versant (sauf dans le cas des grands bassins versants où on dispose de données observées de débit en amont de la station étudiée et pour lesquels on applique une modélisation hydraulique débit-débit). Les modèles hydrologiques conceptuels s'approchent de la réalité des fonctionnements hydrologiques tout en étant moins

complexes que les modèles à base physique (Clarke, 1973; Duband et al., 1988; Beven, 1989; Michel, 1989; Yang, 1993; Nascimento, 1995; Lavabre et al., 1999). L'approche hydrologique pluie-débit utilise la connaissance de la pluviométrie et est applicable en tout point du réseau hydrographique. Elle permet de bénéficier d'un temps d'annonce supérieur à celui de l'approche hydraulique débit-débit (qui utilise le cadre théorique des équations de la physique permettant de donner une représentation des flux et stocks au sein du bassin versant et de prévoir le débit qui sera observé à une station en aval à partir de mesures réalisées à une station plus en amont) en prenant en compte la totalité du temps de réponse du bassin à la pluie. De plus, elle peut être combinée à des prévisions de pluie et d'autres données hydrométéorologiques dans le bassin versant pour une plus grande anticipation. La majeure partie du délai de prévision disponible pour l'homme réside dans le laps de temps entre la chute d'une précipitation et l'occurrence de la crue qui lui est associée. Dans le futur, avec les progrès de la prévision quantitative des précipitations, ce délai pourra être augmenté d'autant, mais la prévision de crue nécessitera toujours un modèle hydrologique.

Dans un contexte de protection de la population contre les inondations provoquées par les crues, il faut pouvoir disposer d'outils opérationnels et fiables pour pouvoir prendre les dispositions nécessaires afin d'atténuer les dégâts éventuels. Le prévisionniste doit pouvoir prévoir quelle va être l'évolution du débit de la rivière dans un futur proche avant d'activer le système d'alerte des populations. Une amélioration de la prévision des débits amène donc à une amélioration des opérations de prévention. En général, le problème nécessite au préalable des prévisions météorologiques et par conséquent, les résultats sont souvent donnés sous forme conditionnelle en fonction des pluies à venir (Michel, 1989).

Dans le contexte opérationnel français actuel (BEN ALI, 2000), les prévisions s'appuient généralement sur des modèles hydrauliques débit-débit plus ou moins simplifiés, (Roche, 1985; Ollivier, 2004), règles de Bachet (1934) par exemple. Cependant, les prévisionnistes qui utilisent des **modèles pluie-débit** peuvent gagner un temps précieux par rapport aux modèles débit-débit basés sur des formules hydrauliques de propagation de l'onde de crue. Un des problèmes lié à l'utilisation de ces modèles est la connaissance des conditions initiales du bassin versant et notamment de son état hydrique. La méthode présentée dans ces travaux, fondée sur une simulation continue en temps, permet de s'affranchir de cette limitation.

Le modèle pluie-débit nous semble être l'outil incontournable pour anticiper les conséquences hydrologiques des pluies que l'on observe. Toutefois, un tel modèle ne permet pas de résoudre complètement le problème: les modèles existants sont encore trop imprécis lorsqu'ils n'utilisent que des données de pluie : en contexte opérationnel, il est indispensable de disposer en temps réel d'informations limnimétriques en plus des informations pluviométriques, afin de « recalculer » mathématiquement le modèle sur ces observations à l'instant de la prévision pour améliorer les prévisions.

Cette façon raisonnée d'exploiter un modèle pluie-débit se traduit le plus souvent par ce qu'on appelle **une méthode de mise à jour du modèle**.

Dans la littérature, cette mise à jour peut être effectuée à quatre niveaux différents :

- (1) mise à jour des pluies en entrée ;
- (2) mise à jour des paramètres du modèle ;
- (3) mise à jour des états du modèle ;
- (4) prévision de l'évolution de l'erreur du modèle.

La démarche adoptée ici consiste à examiner rétrospectivement toutes les possibilités qui sont offertes, sur un grand nombre de bassins versants réels, pour dégager des règles générales

concernant les mérites respectifs de ces approches. L'objectif final est de mettre au point la stratégie optimale de mise à jour permettant d'escompter globalement (sur un ensemble de bassins versants) le meilleur succès de prévision.

Nous nous intéressons ici à un outil permettant la prévision des crues en temps réel. Nous ne pouvons pas prendre en compte l'expertise du prévisionniste, qui contribue souvent pour près de 50% au succès de l'opération. Notre étude sera restreinte à une évaluation rétrospective, sur des données historiques, de l'efficacité de modèles de prévision, réalisée à l'aide d'**un modèle global pluie-débit** au niveau du bassin versant.

En raison de la disponibilité de chroniques de données de tailles suffisantes pour les calculs au pas de temps journalier pour un plus grand nombre de bassins versants, l'exercice de prévision concernera, dans un premier temps, **le délai de un jour** et sera réalisé **en avenir certain** (pluies à venir connues). Nous cherchons ainsi à nous concentrer sur l'amélioration de la méthode de prévision, en mettant de côté les problèmes liés aux incertitudes sur les pluies futures. Par la suite, on étendra l'étude au cas **des délais de plusieurs jours**.

Notre but principal est d'exploiter et de transformer le fonctionnement d'un modèle conceptuel global de simulation des débits performant, celui du Génie Rural "GR" (Perrin, 2002), en un modèle de prévision des crues ayant globalement le meilleur succès de prévision.

Nous avons choisi de travailler sur **un large échantillon de données** avec **une démarche empirique** (data-driven). L'objectif est :

- 1) de soumettre le modèle à des conditions climatiques et hydrologiques très variées,
- 2) de lui demander de reproduire la transformation pluie-débit opérée par des bassins versants aux caractéristiques très diversifiées,
- 3) de fournir une prévision du débit la plus juste possible pour un délai donné et une pluie connue.

Les données de 188 Bassins Versants ont donc été rassemblées. Ces bassins versants sont principalement situés en France mais également en Australie, au Brésil, en Côte d'Ivoire et au Etats-Unis (Chapitre 2).

Le présent rapport de thèse se compose de huit chapitres :

Le chapitre 1 définit le contexte général de la prévision de crues et le problème de la mise à jour des modèles hydrologiques. C'est aussi dans ce chapitre que nous exposons notre méthodologie de recherche et le choix du critère d'évaluation utilisé pour juger de la capacité des modèles testés à reproduire les débits observés et à prévoir des débits futurs pertinents.

Le chapitre 2 décrit la base de données de 188 bassins versants soumis à des conditions climatiques et hydrologiques très variées utilisée au cours de nos travaux de recherche. Nous y présentons également les résultats d'une première analyse statistique de ces données en fonction de huit variables hydrologiques explicatives déterminées pour chaque bassin versant sur l'ensemble des données disponibles.

Le chapitre 3 introduit différentes approches utilisées pour résoudre le problème de prévision de crues (méthode de Yang, Réseaux de Neurones Artificiels (RNA), modèles PQb (de Fabret), GR3H et approche multi-modèles).

Le chapitre 4 présente les résultats de l'application de quelques méthodes de prévision de crues de la littérature à notre base de données ainsi que les raisons de notre proposition d'une nouvelle approche en prévision de crues. C'est également ici que nous faisons un bref rappel sur le modèle conceptuel pluie-débit GR4J (Perrin, 2002). Dans nos recherches, nous avons conçu une méthodologie pour la prévision des crues, qui est essentiellement une recherche

d'adaptation de la structure du modèle et d'intégration de la technique de mise à jour des états du modèle en temps réel, en nous basant sur cette version du modèle global pluie-débit GR4J.

Au *chapitre 5*, nous expérimentons de multiples procédures de mises à jour du modèle de base et nous en établissons leurs limites.

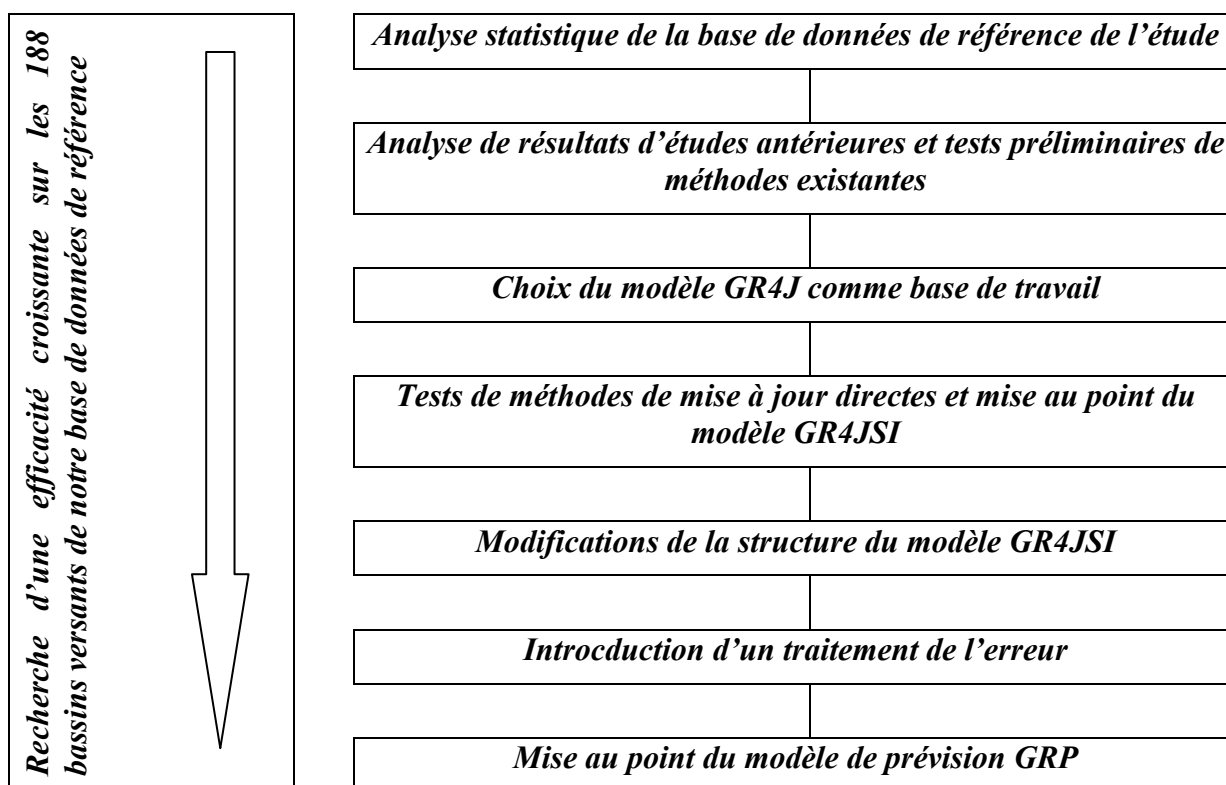
C'est dans *le chapitre 6* que, sur la base des travaux précédents et à travers une démarche empirique, nous développons des modifications de la structure du modèle de base pour une plus grande efficacité en prévision et validons une nouvelle approche de la prévision des crues : le modèle GRP (Génie Rural Journalier pour la Prévision des crues). L'approche mise en œuvre pour l'optimisation du modèle est « directe » en ce sens qu'à tout instant, à chaque valeur simulée par le modèle, est associée la valeur prévue correspondante ainsi qu'une mise à jour automatique du modèle. Autrement dit, un calage direct du modèle pour la prévision, sans réajustement rétroactif du modèle en simulation.

Le chapitre 7 propose une optimisation de cette approche « directe » par l'introduction d'un traitement des erreurs des sorties du modèle et une synthèse générale pour la prévision à un jour.

Enfin, dans *le chapitre 8*, nous analysons et optimisons le comportement du modèle GRP à des délais de prévision supérieurs à un jour.

La conclusion générale est dédiée à la méthode très simple qui a émergé de façon assez inattendue au cours de cette recherche et qui laisse, par sa simplicité, une large place à de futures améliorations.

Et un tableau résumé des travaux réalisés au cours de notre recherche est le suivant :



Ce premier chapitre définit le contexte général de notre recherche et les objectifs de la prévision des crues. C'est aussi dans ce chapitre que nous exposons notre méthodologie générale et le choix des critères d'évaluation (C_{2M} et $C_{2M/P}$) pour juger de la capacité des modèles testés à reproduire les débits observés et à prévoir les débits futurs de façon fiable.

CHAPITRE 1

CHAPITRE 1

CONTEXTE GENERAL DE LA PREVISION DE CRUES ET METHODOLOGIE DE RECHERCHE

1.1. Définitions de la prévision des crues

La prévision des crues consiste à estimer en temps réel le niveau futur du débit, le temps d'apparition et la durée d'une crue, en particulier la valeur de la pointe de crue pour un site spécifique, qui résulte des pluies et/ou des fontes de neige. Elle comporte trois aspects : les valeurs prévues, les objectifs de la prévision et les délais de prévision (WMO, 1974, 1975, 1993).

Elle est très orientée aujourd'hui vers la prévention des crues catastrophiques et consiste à estimer a priori les valeurs futures des débits en temps réel. Elle constitue un moyen direct pour réduire les dommages humains et matériels causés par les inondations. L'alerte devant une crue imminente permet d'évacuer la population, le cheptel et l'équipement en minimisant les pertes. Selon leur délai, les prévisions sont classées en prévision à court terme (moins de 48 heures), prévision à moyen terme (entre 2 et 10 jours) et prévision à long terme (plus de 10 jours). En outre, il existe aussi une prévision saisonnière.

L'importance de la prévision des crues a été renforcée par les exigences de la gestion des barrages réservoirs. Il existe aussi une prévision hydrologique pour la demande en eau, la navigation, l'agriculture et les étiages. Le conflit entre les différents utilisateurs des ressources en eau est un problème classique. L'efficacité des arbitrages en temps réel entre ces activités est fortement déterminée par la qualité de la prévision. Pour une prévision, qui est émise maintenant, le résultat sera comparé à la réalité quelques heures plus tard, et les professionnels comme les profanes peuvent alors aisément la critiquer. La prévision de crue est donc parfois ressentie comme une activité intellectuelle assez risquée (Klemeš, 1982).

Les méthodes hydrologiques de prévision des crues peuvent être divisées en deux catégories, à savoir les méthodes d'écoulement en rivière (modèles hydrauliques débit-débit, que nous ne traiterons pas ici) et les méthodes pluie-débit (Roche, 1985; Vidal et al., 1998; Ben Ali, 2000). Kitanidis et Bras (1980a) ont montré l'applicabilité de ces dernières à la prévision des crues et O'Connell et Clarke (1981) ont traité le problème de la prévision des crues en utilisant un modèle hydrologique pluie-débit.

La modélisation hydrologique et la mise au point des méthodes de prévision composent le noyau de n'importe quel système de prévision hydrologique. Un système de prévision des crues (Hérigault, 1991; Tourasse, 1991) repose sur trois éléments principaux :

- 1) que le bassin versant à l'exutoire duquel on prévoit les débits futurs soit bien équipé en vue d'une télémétrie des pluies et des niveaux d'eau ;
- 2) que les niveaux d'eau soient enregistrés sur des intervalles Δt souvent mais non pas nécessairement égaux, et que ces enregistrements de pluies puissent être traités sur des intervalles égaux ;

- 3) que l'on ait un modèle pluie-débit, qui permette de calculer le débit : $q_t = f[\{p_i ; i = 1, \dots, t\}, \{\theta_j ; j = 1, \dots, n\}] + \varepsilon_t$, dont les n paramètres $\{\theta_j ; j = 1, \dots, n\}$ soient tels que ce modèle puisse transformer la série des pluies mesurées jusqu'au moment t , $\{p_i ; i = 1, \dots, t\}$, en débit actuel q_t avec une erreur ε_t .

Sous ces conditions, on ajuste ce modèle pour la prévision de $\hat{q}_{t+m\Delta t}$, m étant un entier et $m\Delta t$ étant le délai de prévision, en tâchant de réduire l'erreur ε_t dès que les nouvelles observations, p_t et q_t , seront arrivées. On procède de même pour la prévision de $\hat{q}_{t+(1+m)\Delta t}$, qui est produite après l'ajustement du modèle selon les nouvelles observations de $p_{t+\Delta t}$ et $q_{t+\Delta t}$ et ainsi de suite.

Il existe aujourd'hui un grand nombre de modèles mathématiques de simulation de la transformation de la pluie en débit à l'échelle du bassin versant (Roche, 1971; de Marsily, 1981; Roche, 1988; Michel, 1989; Dezetter, 1991; Moussa, 1991; de Marsily, 1994; Cosandey et Robinson, 2000; Perrin, 2000), parmi lesquels on trouve les modèles conceptuels ou empiriques globaux, dont fait partie le modèle GR4J. Ces modèles représentent le lien entre la pluie et le débit par des agencements variés de réservoirs et de fonctions mathématiques simples (schémas structurels). Ils correspondent à des idées variées de modélisateurs sur la façon la plus pertinente de représenter le comportement hydrologique du bassin versant, en ne retenant que les aspects les plus significatifs des processus impliqués dans le cycle de l'eau.

Parmi les premiers outils de modélisation hydrologique développés, on trouve des modèles linéaires tels que l'hydrogramme unitaire et le réservoir linéaire de stockage. Ces outils simples ont été intégrés par la suite dans de nombreux modèles pluie-débit conceptuels ayant une structure plus complexe. Ces modèles ne sont pourtant que des approximations du monde réel, reposant généralement sur des hypothèses subjectives sur la réalité du comportement hydrologique des bassins. De ce fait, des méthodes d'ajustement sont nécessaires pour fiabiliser une méthodologie de prévision des crues se basant sur un modèle hydrologique. Toutefois, le modèle hydrologique est une partie importante dans une méthodologie de prévision des crues.

En ce qui concerne la prévision des crues à court terme, les conditions nécessaires minimales qu'un modèle de prévision des crues doit satisfaire sont indiquées par O'Connell (1980) :

- 1) le modèle doit être adaptatif dans le sens que le modèle doit pouvoir être ajusté lorsque des données nouvelles deviennent disponibles ;
- 2) des mesures de la précision des prévisions doivent être fournies ;
- 3) les modèles doivent être efficaces en temps de calcul (économique pour la recherche).

Les prévisionnistes chargés de cette tâche recourent généralement à ces modèles hydrologiques particuliers, appelés modèles de prévision en temps réel. Actuellement, la méthode de prévision des crues n'existe donc pas toute seule et elle constitue une partie importante d'un système de prévision des crues.

Bien que l'idée de la prévision adaptative ne soit pas nouvelle, l'utilisation de procédures (algorithmes) numériques développées autour des modèles hydrologiques pour élaborer des prévisions est un développement relativement récent. Les méthodes de prévision des crues sont classées en cinq types selon leur rapport avec le modèle hydrologique :

- 1) méthode adaptée aux modèles de type boîte noire (Lambert, 1969; Lambert, 1972; McKerchar, 1975; Green, 1979) ;

- 2) méthode développée sur modèles conceptuels (Tucci et Clarke, 1980; Brath et Rosso, 1993) ;
- 3) méthode de traitement des écarts des modèles hydrologiques (Jones et Moore, 1980; Moore, 1982; Roche et Tamin, 1987) ;
- 4) technique état-espace et méthode du filtrage de Kalman (Kalman, 1960; Kalman et Bucy, 1961) ;
- 5) méthode purement statistique sans rapport avec un modèle hydrologique (Yakowitz, 1985; Kalsson et Yakowitz, 1987a; Kalsson et Yakowitz, 1987b; Yakowitz et Kalsson, 1987).

Pour un modèle hydrologique nécessitant des ajustements en temps réel pour la prévision, il est naturel de penser que, plus souvent on effectue la mise à jour, plus précise est la prévision. Mais, ce point est mis en question par Kachroo (1992) qui estime qu'il est intuitivement difficile d'accepter que la conduite d'un système hydrologique puisse changer significativement sur un intervalle aussi court que celui des observations. Dans ces conditions, une méthode d'ajustement doit non seulement fonctionner pour faire évoluer le modèle, mais doit aussi permettre de décider s'il est nécessaire de mettre à jour le modèle.

1.2. Contexte et analyse hydrologique de la prévision de crues

Bien qu'un modèle hydrologique conceptuel puisse représenter la relation hydrologique d'une façon relativement précise en simulation, sa complexité structurale pose de grosses difficultés pour son application à la prévision des crues.

Les modèles pluie-débit fonctionnant en continu (tels que le modèle GR4J développé au Cemagref) sont classiquement utilisés pour faire des simulations, c'est-à-dire en condition où l'on dispose essentiellement de la pluie et de l'ETP pour simuler les débits. Ce mode d'utilisation du modèle correspond typiquement au cas où l'on reconstitue des chroniques de débit à partir de chroniques de pluie et d'ETP observées.

En prévision, les conditions d'application du modèle sont différentes puisque l'on souhaite se projeter dans l'avenir et simuler, à partir d'un instant t , ce que seront les débits après une durée L . Dans ce contexte, on peut disposer à l'instant t d'une information supplémentaire sur l'état du bassin versant, à savoir le débit mesuré à la station hydrométrique. Or, le débit n'est pas, comme la pluie et l'ETP, une entrée du modèle pluie-débit. Il faut donc trouver une méthode pour exploiter cette information supplémentaire (*l'assimiler*) et tenter d'améliorer ainsi les prévisions : c'est l'objet des méthodes de mise à jour. Ces méthodes partent en fait du principe que l'on aura d'autant plus de chance de fournir de bonnes prévisions à l'instant $t+L$ que l'on sera proche du débit observé à l'instant t . Elles permettent de mettre le modèle le plus possible en conformité avec la réalité des débits observés à l'instant de la prévision, en exploitant l'information dont on dispose sur les débits.

De nombreuses méthodes de mise à jour ont été développées pour améliorer la prévision des crues en modélisation hydrologique (Lambert, 1969; Lambert, 1972; McKerchar, 1975; Green, 1979; Tucci et Clarke, 1980; Roche, 1985; Abbott et al., 1986; Georgakakos, 1986; Roche et Tamin, 1987; Duband et al., 1988; Roche et Torterotot, 1988; Duband et al., 1993; Yang, 1993; Georgakakos et al., 1998), allant d'une simple correction d'erreur d'un modèle conceptuel à l'utilisation d'un réseau de neurones artificiels (Anctil et al., 2003).

Parmi ces méthodes, la mise à jour par assimilation, définie comme étant l'utilisation simultanée de l'information contenue dans un modèle et dans un ensemble de données

externes, a suscité de nombreux travaux non seulement en hydrologie mais aussi en océanographie, climatologie, météorologie,..., domaines dans lesquels cette méthode est considérée comme présentant un grand potentiel d'amélioration des connaissances sur notre environnement (Daley, 1997). Le processus d'assimilation permet d'établir un lien entre une information externe (une variable observée) et les variables internes calculées par le modèle afin de réduire la divergence du modèle au cours de la prévision.

La prévision se fait en dehors de la période de calage une fois les paramètres optimisés. Si l'on fait confiance entièrement à la valeur prise par la variable observée, celle-ci peut venir directement remplacer les variables internes calculées par le modèle au cours de la prévision, c'est ce qu'on appelle le mode forcé. Si l'on ne fait entièrement confiance ni à la variable observée, ni aux variables calculées par le modèle, alors on établit une relation pondérant la confiance accordée à chacune des informations.

Le filtre de Kalman est un cadre rationnel permettant une pondération théoriquement optimale (Kalman, 1960). Le filtrage de Kalman est une structure et son utilisation doit être accompagnée d'une description mathématique (même imparfaite) du processus considéré (ici le modèle hydrologique). Il faut transformer le modèle du processus en une formulation mathématique particulière nommée « technique état-espace » à laquelle le filtrage de Kalman peut être appliqué. Cette formulation comporte d'une part une équation pour l'évolution du système consistant en une composante déterministe et une composante stochastique prenant en compte les incertitudes du modèle, et d'autre part une équation de mesure visant à prendre en compte les erreurs d'observation. De ce fait, le bruit du système et le bruit des mesures sont pris en compte explicitement, ce qui n'est généralement pas le cas des modèles traditionnels dans lesquels les bruits sont considérés globalement. La base de la formulation état-espace consiste à indiquer l'importance des effets aléatoires fonctionnant dans un système et n'étant pas pris en compte dans un modèle déterministe.

L'amélioration des performances des modèles en prévision nécessite en premier lieu une correction de la trajectoire du modèle pour en limiter la divergence. Quatre types de méthodologies de mise à jour ont été recensées en hydrologie (Roche, 1985; Refsgaard, 1997). Elles diffèrent dans l'interprétation des origines des écarts entre les débits observés et simulés :

- La première suppose que le désaccord est dû aux erreurs faites sur l'estimation des données du modèle (pluie, évapotranspiration potentielle, initialisation des réservoirs,...). Dans cette approche, seules ces données sont corrigées afin d'améliorer les simulations du modèle. Cette méthodologie est appelée mise à jour des entrées (*input updating*).
- La deuxième méthodologie propose de modifier, durant les périodes à problème, les variables d'état du système afin que les simulations se rapprochent des observations (*state updating*).
- La troisième consiste à modifier les paramètres du modèle au cours de la prévision. Les paramètres du modèle ayant été calés par optimisation sur une longue période d'observation, ils ne sont pas toujours bien adaptés lorsqu'il s'agit de prévoir des événements particuliers tels que les crues. Une manière naturelle de réajuster le modèle au cours de la prévision est de modifier ces paramètres sur une période assez longue qui précède le jour de prévision pour réduire la différence entre les débits observés et simulés le jour de la prévision et de les ajuster conjointement avec les stocks. L'avantage de cette méthode est de ne pas modifier les quantités d'eau prises en compte et de conserver le bilan hydrique (*parameter updating*).

- Enfin, la quatrième méthodologie suppose que le désaccord est dû aux erreurs du modèle (*output updating*) et aux erreurs sur les mesures (*error correction*).

Dans le domaine de la prévision de crue, ce sont essentiellement des méthodes d'assimilation de débits qui ont été développées. On verra plus loin que l'originalité de la démarche présentée dans cette thèse est d'utiliser le calage simultané du modèle et sa technique d'utilisation en prévision, malgré la complexité et la non-linéarité des composants du modèle.

Dans cette méthode, l'information externe est le débit observé. Cette information est utilisée pour la mise à jour des états du modèle de manière à corriger le système modélisé à partir d'observations datées du jour de la prévision.

Dans la suite de ce chapitre, nous détaillons ce problème de la mise à jour et la façon dont les méthodes de mise à jour s'appliquent aux modèles hydrologiques. Nous présentons ensuite la méthodologie de recherche que nous avons adoptée pour traiter ce problème de la prévision des crues.

1.3. Comment réaliser des prévisions avec des modèles pluie-débit ?

Dès lors que l'on souhaite utiliser un modèle pluie-débit en mode prévision, se pose la question de la mise à jour de ses paramètres et/ou de ses états internes. L'objet de la mise à jour est de réduire au maximum les erreurs de simulation dans le ou les derniers pas de temps, en effectuant une véritable assimilation des débits observés au cours du ou des derniers pas de temps.

Deux approches sont possibles pour la mise à jour :

- la première (la plus classique) consiste à partir d'un modèle dont les paramètres ont été optimisés en mode simulation, et à effectuer la mise à jour indépendamment de la calibration du modèle. Nous appellerons cette approche *mise à jour séquentielle* ;
- la seconde fait de la procédure de mise à jour, une partie intégrante du modèle hydrologique, ce qui fait que lors de la phase d'optimisation, l'erreur du modèle (que l'on cherchera à minimiser) sera une erreur de prévision et non pas de simulation. Nous appellerons cette approche *mise à jour directe* ;

La différence entre les deux approches peut paraître subtile, mais elle est très importante : par exemple, avec la première approche, les paramètres optimisés du modèle seront les mêmes quel que soit l'horizon de prévision (1, 2, 3, ..., 7 jours), alors qu'avec la deuxième approche, le jeu de paramètres dépendra de l'horizon de prévision retenu.

Mise à jour séquentielle :

Comme nous l'avons vu précédemment, quatre grands types de mises à jour existent (Ide et al., 1997; Refsgaard, 1997). Elles dépendent de ce qui est jugé par le modélisateur comme étant la cause principale d'erreur dans la modélisation (mise à jour des entrées, mise à jour des états du modèle, mise à jour des paramètres et mise à jour des sorties).

Ces procédures peuvent être couplées. On peut aussi combiner les prévisions issues de divers modèles. Le filtre de Kalman est également une approche possible, et correspond à peu près à une mise à jour des états du système (Kalman, 1960; Aubert et al., 2000; Aubert et al., 2003).

Parmi ces méthodes, on trouve l'approche mise au point au Cemagref d'Antony par Yang et Michel (2000) à partir des travaux de Yang (1993). Cette méthode s'applique à des modèles préalablement calés en simulation et repose sur la modification des paramètres du modèle

pour sa mise à jour lors de l'exercice de prévision. Cette méthode de mise à jour a constitué le point de départ de notre réflexion, comme nous le verrons plus en détail au Chapitre 3.

▪ **Mise à jour directe :**

L'exemple le plus typique d'une mise à jour directe est celui du Réseau de Neurones Artificiel (RNA). Pour prévoir un débit à $t+L$, le réseau utilise en entrée un certain nombre de valeurs de débit, dont le débit au temps t . Ainsi, la dernière valeur connue entre dans le calcul de la valeur prévue : elle est donc *assimilée* à ce calcul dès la phase de calage (d'apprentissage) du réseau. Et naturellement, un réseau entraîné pour prévoir à 2 jours sera différent d'un réseau entraîné pour prévoir à 1 jour.

Du point de vue de la robustesse, il semble que la mise à jour directe puisse présenter un avantage sur sa concurrente, en permettant de « mettre en condition » le modèle dès la phase d'optimisation, qui est ainsi mieux adapté à l'exercice de prévision.

1.4. Objectifs de nos travaux de recherche et méthodologie générale

Le problème que nous entreprenons d'étudier dans le cadre de nos recherches est donc celui de la prévision de crue à l'aide d'un modèle hydrologique pluie-débit conceptuel fonctionnant en continu (tout au long de l'année). L'intérêt d'un modèle continu est de limiter les problèmes d'initialisation rencontrés par les méthodes événementielles qui fonctionnent à l'échelle de l'événement de crue sans prise en compte de l'historique des conditions antérieures.

L'objectif de notre travail est de mettre au point une méthode de prévision reposant sur un modèle hydrologique simple, en essayant d'améliorer l'efficacité des méthodes existantes.

Nous avons vu précédemment qu'il existe de nombreuses méthodes de mise à jour. Le point de départ de notre travail a été une réflexion sur les méthodes de prévision existantes et l'expérience acquise au Cemagref, notamment à partir des travaux de Yang (1993). En dressant un constat de l'efficacité de ces méthodes (Chapitres 3 et 4), nous avons pu sélectionner les voies de recherche qui nous paraissaient les plus prometteuses pour améliorer les méthodes de prévision actuelles.

Pour éviter des problèmes méthodologiques liés à la trop grande sophistication du modèle hydrologique, l'essentiel de notre travail part d'un modèle hydrologique simple et facile à utiliser. Il s'agit du modèle GR4J développé au Cemagref, qui est un modèle conceptuel, à quatre paramètres, fonctionnant au pas de temps journalier et que nous détaillerons dans la suite.

Notre travail d'évaluation de méthodes de prévision s'appuie sur une large base de données, regroupant un grand nombre de bassins versants (188 au total), ce qui permet de donner plus de généralité aux conclusions de nos recherches (Chapitre 2). En effet, de nombreuses études ont été menées pour comparer les performances de différents modèles, la plupart du temps sur très peu de bassins versants. Il est par conséquent difficile de généraliser les résultats de ces études, leurs conclusions étant trop dépendantes des caractéristiques des quelques bassins versants utilisés.

L'évaluation des méthodes a été conduite de manière comparative, en testant toutes les méthodes dans un même cadre (mêmes données, même méthode d'optimisation, évaluation sur les mêmes périodes). Elle a été faite de manière systématique par une procédure de calage-contrôle sur périodes indépendantes (Klemeš, 1986) : pour chaque bassin versant, les données seront partagées en deux sous périodes de longueurs équivalentes ; le modèle est calé

sur une sous-période de données et validé (contrôlé) en prévision sur l'autre sous période et vice versa. Il ne s'agit donc pas d'un test de méthodes de prévision en temps réel, mais d'une "**simulation de prévision**", puisque l'évaluation est faite de manière rétrospective en se remplaçant aux dates successives de la série de données (simulation) et en faisant à chaque fois une prévision (mise à jour) à cette date. Nous nous sommes essentiellement intéressés à une prévision à un jour, mais nous testons la méthode mise au point sur des délais plus grands au Chapitre 8. Pour simplifier notre travail et limiter l'influence des incertitudes sur les pluies futures, nous avons travaillé avec des scénarios de pluies futures (à un ou plusieurs jours) parfaitement connues.

Pour chaque test réalisé sur un bassin, on calcule un critère d'efficacité de la prévision. Nous avons utilisé des critères numériques, plus objectifs que les critères graphiques (cf ci-après). L'évaluation des méthodes est faite sur les résultats en phase de contrôle (validation) obtenus sur l'ensemble de l'échantillon de bassins.

1.5. Critère d'évaluation d'une méthode de simulation

Les modèles pluie-débit sont des outils pratiques pour la recherche en hydrologie, en génie hydraulique et dans les études de l'environnement. Dans les applications opérationnelles tout particulièrement, ils doivent être aussi robustes et fiables que possible (O'Donnell et Canedo, 1980).

Pour l'évaluation comparative des modèles sur un grand échantillon de bassins versants, seuls les critères quantitatifs permettent une évaluation et une comparaison objective et facile des performances des modèles. Le critère devra aussi être relatif (c'est-à-dire non absolu, car il est très subjectif de dire qu'un modèle est *bon* ou *mauvais* de manière absolue ; par contre, dans un cadre comparatif, il est beaucoup plus objectif de dire qu'un modèle est *meilleur* ou *moins bon* qu'un autre modèle) pour permettre des comparaisons significatives entre bassins versants.

Considérons qu'à une station de jaugeage donnée dans un bassin versant on dispose d'une série de débits observés O :

$$O_1, O_2, \dots, O_{i-1}, O_i, O_{i+1}, \dots, O_n$$

En simulation de débits, le modèle hydrologique pluie-débit calcule la série des débits simulés correspondants C :

$$C_1, C_2, \dots, C_{i-1}, C_i, C_{i+1}, \dots, C_n$$

L'évaluation d'un modèle repose sur la comparaison de ces deux séries et la quantification de l'écart existant entre elles.

Dans leur article de référence, Nash et Sutcliffe (1970) ont discuté le calage et la validation de modèles dans le contexte de la modélisation pluie-débit. La construction de leur indice de proximité entre les débits observés et calculés est résumée ici. Ils partent d'une erreur de modèle quadratique donnée par :

$$F = \sum_{i=1}^n (O_i - C_i)^2 \tag{Eq. 1.1}$$

où F est l'indice de convergence, O_i et C_i sont les débits observés et simulés à l'instant i , la somme étant prise sur n pas de temps d'une période présélectionnée. F est analogue à la variance résiduelle d'une analyse de régression.

Initialement dans nos travaux les jours 'i' correspondaient aux jours où des crues étaient observées, avec comme définition arbitraire de la crue, le dépassement ininterrompu de quatre fois le module pour les débits observés. Cette façon de procéder risque de négliger l'impact, sur les performances, des 'fausses crues' prévues par le modèle utilisé (causées par des embâcles, des lachers de barrage, des états de saturation limite du bassin versant, ... qui ne sont pas pris en compte comme entrée du modèle). Par la suite on s'est aperçu qu'étendre la prévision à tous les jours de la période considérée ne modifiait pas le jugement global sur une méthode de prévision. Dans ce qui suit, on considèrera en général que la prévision est effectuée en permanence et que tous les jours seront pris en compte dans le critère.

La variance F_0 initiale est donnée par :

$$F_0 = \sum_{i=1}^n \left(O_i - \bar{O} \right)^2 \quad \text{Eq. 1.2}$$

où \bar{O} est la moyenne des débits observés :

$$\bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i \quad \text{Eq. 1.3}$$

F_0 peut être définie comme la valeur « sans modèle » de F .

Nash et Sutcliffe (1970) définissent ensuite l'efficacité du modèle (NS) comme la proportion de la variance initiale expliquée par le modèle :

$$NS = 1 - \frac{F}{F_0} \quad \text{Eq. 1.4}$$

où NS peut prendre des valeurs comprises entre $-\infty$ et 1. Une valeur de 1 indique un accord parfait et une valeur de 0 indique que le modèle n'explique aucune part de la variance initiale.

Le critère de Nash et Sutcliffe peut aussi être interprété comme un critère qui détermine l'amélioration apportée par un modèle donné en simulation des écoulements par rapport à un modèle de référence qui simule un écoulement égal à \bar{O} à chaque pas de temps. Une valeur zéro du critère signifie par conséquent que le modèle n'est pas meilleur que ce modèle rudimentaire (mais calé), et une valeur négative indique que le modèle est pire que le modèle de référence. Le critère de Nash et Sutcliffe est largement utilisé en hydrologie, bien qu'il ait certains inconvénients. Garrick et al. (1978) et Martinec et Rango (1989) font remarquer que le critère NS produit relativement des valeurs fortes, même pour des modèles assez médiocres.

Cela est surtout dû au fait que le modèle de référence ($O_i = \bar{O}$ pour tout i) peut, dans certains cas, être très primitif : le surpasser devient alors facile ($F \ll F_0$). Ces auteurs recommandent l'utilisation d'un autre modèle simple de référence, comme par exemple un "modèle saisonnier" ou "modèle du paysan" (comparant le débit calculé à la moyenne inter-annuelle des débits journaliers mesurés le même jour calendaire). Un autre inconvénient est qu'il est difficile d'obtenir des valeurs élevées pour des périodes ou des bassins où l'écoulement ne varie pas beaucoup (car dans ce cas, le modèle de référence est déjà plutôt bon).

Dans le cadre d'une thèse au Cemagref, Mathevet et al. (2005) a discuté de l'intérêt qu'il y a à mener des études comparatives sur un grand échantillon de bassins versants, avec un critère d'évaluation approprié. A cette fin, une comparaison extensive des performances de cinq modèles pluie-débit a été menée sur un grand échantillon de 313 bassins versants et sur des sous-échantillons aléatoires de différentes tailles. Les performances ont été évaluées avec le

critère de Nash-Sutcliffe et une version bornée de ce critère (appelée C_{2M}), adaptée à une telle évaluation extensive.

Les résultats montrent que le critère borné C_{2M} est plus interprétable en terme de moyenne que celui de Nash-Sutcliffe pour des comparaisons de performance de modèles sur de grands échantillons tests de bassins versants. De plus, étant donné la variabilité des performances, il est montré que les échantillons requièrent plus de 100 bassins versants pour rendre fiables les comparaisons d'efficacité des modèles. Un test statistique, Mathevet et al. (2005), montre que 100 bassins versants sont généralement requis pour avoir une certaine garantie qu'il existe des différences significatives entre les efficacités moyennes des modèles.

Nous utiliserons ici et dans toute la suite de nos recherches, ce critère d'évaluation C_{2M} , sur notre base de données constituée d'**un échantillon de 188 bassins versants**. C_{2M} est une formulation bornée du critère de Nash-Sutcliffe, définie comme ci-après. Afin de mettre une borne inférieure au critère de Nash-Sutcliffe tout en respectant la référence à la valeur zéro comme valeur obtenue par le modèle naïf F tel que $C_i = \bar{O}$, Mathevet et al. (2005) proposent la formulation suivante :

$$C_{2M} = \frac{F_0 - F}{F_0 + F} = \frac{1 - \frac{F}{F_0}}{1 + \frac{F}{F_0}} \quad \text{Eq. 1.5}$$

Les critères NS de Nash-Sutcliffe et C_{2M} sont reliés par la relation suivante :

$$NS = \frac{2C_{2M}}{1 + C_{2M}} \quad \text{soit} \quad C_{2M} = \frac{NS}{2 - NS} \quad \text{Eq. 1.6}$$

Ce critère se comporte comme le critère de Nash-Sutcliffe : les valeurs négatives de C_{2M} correspondent aux valeurs négatives de NS , et la valeur 0 dans le C_{2M} correspond au même niveau d'erreur dans le critère de NS . Cependant la borne inférieure de C_{2M} est -1 au lieu de $-\infty$ ce qui rend le calcul de sa moyenne sur un gros échantillon de bassins plus fiable.

La relation entre NS et le critère C_{2M} est dessinée sur la Figure 1.1.

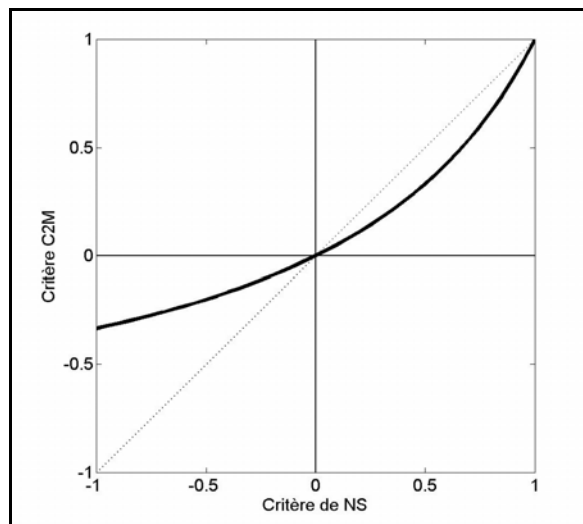


Figure 1.1 : Relation entre le critère de Nash-Sutcliffe et le critère C_{2M} (Mathevet et al, 2005)

Notons que le C_{2M} est moins optimiste que le critère NS pour les valeurs positives. Étant donné que la distribution des performances possibles est maintenant bornée, il est possible d'utiliser la moyenne pour résumer les performances obtenues sur un grand nombre de tests.

1.6. Introduction d'un critère d'évaluation adapté à la prévision

En prévision de crue, le critère de Nash-Sutcliffe est peu adapté car le modèle naïf utilisé comme référence (le débit moyen) est peu pertinent en condition de crue, et donc très facile à battre. Cela conduit donc à des critères de Nash très élevés et peu discriminants. Il faut donc choisir un modèle de référence plus pertinent.

En prévision de crue à 1 jour, on prend comme modèle de référence F_0 tel que : $C_i = O_{i-1}$. Cela signifie que le modèle de référence est un modèle naïf où le débit prévu est égal au débit observé au pas de temps précédent. On a alors :

$$FP_0 = \sum_{i=1}^n (O_i - O_{i-1})^2 \quad \text{et} \quad FP = \sum_{i=1}^n (O_i - C_i)^2 \quad \text{Eq. 1.7}$$

En prévision de crue à L jours, on mesure l'efficacité de la prévision du modèle avec le coefficient de persistance défini par la généralisation de l'équation précédente :

$$Persistance = \frac{FP_0 - FP}{FP_0 + FP} = 1 - \frac{FP}{FP_0} \quad \text{Eq. 1.8}$$

$$\text{avec } FP_0 = \sum_{i=1}^{n-L} (O_{i+L} - O_i)^2 \quad \text{et} \quad FP = \sum_{i=1}^{n-L} (O_{i+L} - C_{i+L})^2 \quad \text{Eq. 1.9}$$

où L est le délai de prévision et les C_i sont les débits calculés par le modèle.

De manière analogue à la transformation du critère de Nash, le critère de persistance est pris ici sous la forme $C_{2M/P}$ défini sur $]-1, +1]$ et calculé sous la forme :

$$C_{2M/P} = \frac{FP_0 - FP}{FP_0 + FP} \quad \text{soit} \quad C_{2M/P} = \frac{Persistance}{2 - Persistance} \quad \text{Eq. 1.10}$$

La valeur moyenne des critères de persistance sur tous les bassins versants traités est le critère final d'appréciation des méthodes, chaque fois qu'on a besoin de n'en retenir qu'un seul.

1.7. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que la prévision de crue à l'aide de modèles hydrologiques doit faire appel à des méthodes de mise à jour pour exploiter l'information contenue dans les données de débit. Cependant, la mise à jour des modèles hydrologiques est un problème complexe, qui n'a pas encore trouvé de réponse entièrement satisfaisante.

Dans notre travail, nous avons choisi de travailler à partir d'un modèle simple, le modèle GR4J, et de rechercher la façon la plus efficace de l'appliquer en prévision de crue. Notre démarche de recherche, partant d'un état de l'art, est empirique et repose sur le test d'un grand nombre de variantes. Elle est cependant axée sur des méthodes de mise à jour directes permettant de caler et d'utiliser le modèle simultanément en mode prévisionnel.

Nous nous appuyerons pour cela sur une large base de données pour conférer plus de généralité à nos résultats

Ce deuxième chapitre décrit la base de données de 188 bassins versants utilisée au cours de nos travaux de recherche. Cet échantillon de bassin regroupe des conditions climatiques et hydrologiques très variées. On y présente les résultats d'une première analyse statistique de ces données en fonction de huit variables hydrologiques explicatives déterminées pour chaque bassin versant sur l'ensemble des données disponibles.

CHAPITRE 2

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNÉES UTILISÉE

2.1. Pourquoi une large base de données ?

Afin d'obtenir des conclusions de portée générale (cf chap.1 § 1.2), nous avons choisi de travailler sur un large échantillon de données permettant de soumettre le modèle à des conditions climatiques et hydrologiques très variées. Le modèle appliqué à l'ensemble de cet échantillon est censé reproduire la transformation pluie-débit opérée par des bassins versants aux caractéristiques très diverses et fournir une prévision du débit la plus juste possible.

Pour disposer d'un grand nombre de bassins versants, nous avons choisi de travailler au **pas de temps journalier**. Comme nous travaillons au pas de temps journalier, nous n'avons retenu que les bassins versants ayant un **temps de concentration** (ici vu sous l'angle du paramètre de l'hydrogramme unitaire de GR4J) **supérieur ou égal à 1.5 jours**, c'est-à-dire des bassins versants pour lesquels nous estimons que le pas de temps journalier reste pertinent.

Ces données ont été rassemblées dans le cadre de précédents travaux de recherche (thèses de Perrin, 2000; Andréassian, 2002; Oudin, 2004) menés au Cemagref.

188 bassins versants satisfont à la condition d'un temps de concentration supérieur à 1.5 jours dont 130 bassins en France, 4 bassins en Australie, 2 bassins au Brésil, 9 bassins en Côte d'Ivoire et 43 bassins aux Etats-Unis. Les superficies des bassins versants s'échelonnent entre **0.4 et 43800 km²** avec une superficie moyenne de 1916 km² et leurs temps de concentration varient entre 1.5 et 14 jours avec un temps de concentration moyen de 3.7 jours.

Pour tous les bassins versants, les données nécessaires pour l'utilisation des différents modèles utilisés dans nos recherches se composent de chroniques concomitantes de pluie et débit au même pas de temps, et de données d'évapotranspiration potentielle (ETP). Etant donné le caractère global des modèles auxquels nous nous intéressons (pas de prise en compte explicite dans le modèle de l'hétérogénéité spatiale du bassin versant), les données d'entrée du modèle (pluie et ETP) sont des moyennes réalisées la plupart du temps à partir de plusieurs stations de mesures. Les pluies et les débits ont toujours été collectés au pas de temps journalier auquel nous nous intéressons ici.

Les localisations géographiques de ces 188 bassins versants sont représentées à la Figure 2.1. L'Annexe 1 donne les listes par pays des bassins utilisés avec leurs caractéristiques détaillées (A1.1), ainsi que les listes des périodes de données utilisées (A1.2). L'Annexe 2 donne la base de données utilisée pour les analyses statistiques ainsi que la table d'équivalence entre les noms utilisés dans les analyses statistiques et les codes des bassins versants (A2.1).

2.1.1 Données en France

Nous avons retenu 130 bassins versants répartis sur le territoire métropolitain français (Figure 2.1a). Les données hydrométriques sont issues de la banque HYDRO du ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et les données pluviométriques de la banque de données PLUVIO de Météo France. Les données d'ETP sont fournies également par Météo France. Ce sont des données calculées à partir de la formule de Penman (1948). Les séries

utilisées ici sont en fait constituées de moyennes décennales interannuelles. Pour revenir à des valeurs journalières, une formule de lissage polynomiale a été utilisée (Edijatno, 1991).

2.1.2 Données en Australie

Les quatre bassins versants australiens retenus ici ont été sélectionnés à partir de la base de l'Australian Bureau of Meteorology (Figure 2.1b). Les chroniques pluie-débit-évaporation de ces bassins versants ont été préparées par Chiew et McMahon (1994) pour tester le modèle MODHYDROLOG. Les données de pluies fournies sont des moyennes de bassin. Les données d'ETP sont des valeurs journalières datées, estimées à partir de la formule de Morton (1983). L'étude de Chiew et McMahon (1991) montre que cette formule est fiable dans le contexte australien.

2.1.3 Données au Brésil

Les données des deux bassins versants brésiliens proviennent de l'Université de Minas Gerais, Belo Horizonte, au Brésil (Figure 2.1c). Ces bassins versants ont été utilisés par Melo et Nascimento (1999) pour des tests comparatifs de modèles. Les données d'ETP sont des données moyennes interannuelles, issues de mesures par bac Colorado.

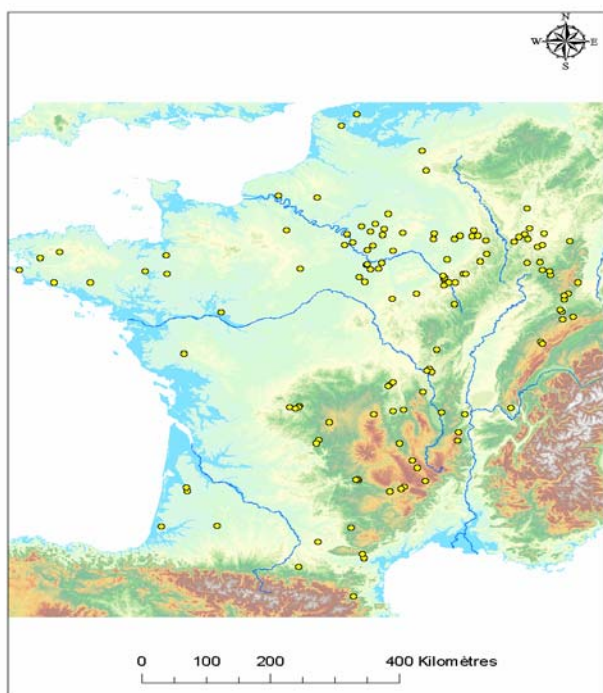
2.1.4 Données en Côte d'Ivoire

Le jeu de données des neuf bassins versants ivoiriens ont été fournis par l'équipe d'hydrologie de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD, ex-ORSTOM) à Abidjan (Figure 2.1d). L'étude de ces bassins versants par l'IRD s'inscrit dans le cadre des programmes de recherche ERREAU (Evaluation Régionale des Ressources en Eau) et ICCARE (Identification et Conséquences d'une variabilité du Climat en Afrique de l'ouest non sahélienne) dans le cadre de FRIEND-AOC (Flow Regimes from International Experimental and Network Data – Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne) coordonné par l'UNESCO. Ce programme a pour objet l'identification, dans toute la sous-région AOC, d'une éventuelle fluctuation climatique et l'étude de ses conséquences sur les ressources en eau (Delafosse, 1912 ; Dezetter, 1991 ; Servat et al., 1997). Les données d'ETP sont calculées à partir de la formule de Penman (1948) et sont au pas de temps décennal.

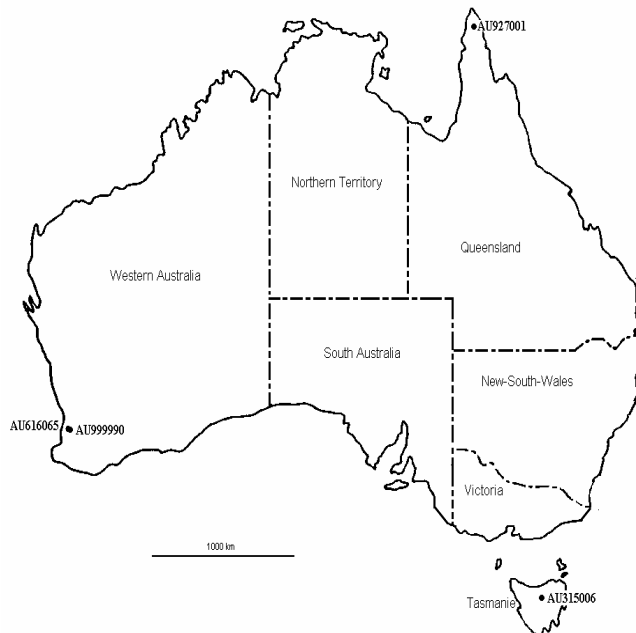
2.1.5 Données aux Etats-Unis

Les données des 43 bassins versants américains (Figure 2.1e) ont trois origines : 8 bassins versants sont de la base de données de l'Agricultural Research Service (ARS), 6 bassins versants sont de la base de données du Model Parameter Estimation Experiment (MOPEX) et les 29 autres bassins versants ont été obtenus par un Système d'Information Géographique en couplant des données de pluies, de débits et climatiques, issues de plusieurs sources fournies par les sites Internet de l'Agricultural Research Service (ARS), de l'United States Department of Agriculture (USDA) et du Carbone Dioxyde Information Analysis Center (CDIAC). Les données de débit ont été obtenues à partir du site Internet de l'United States Geological Survey (USGS). Les données climatiques ont été obtenues sur le CD-ROM Solar and Meteorologique Surface Observation Network (NOAA, 1993) qui fournit des données journalières pour 237 stations réparties aux Etats-Unis.

a) Données en France : 130 bassins versants (●)



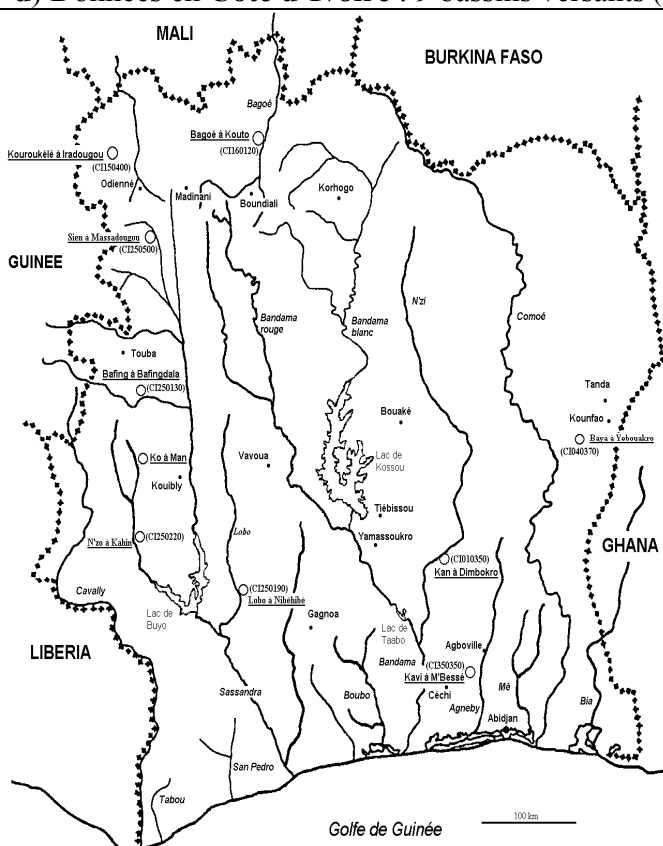
b) Données en Australie : 4 bassins versants (●)



c) Données au Brésil : 2 bassins versants



d) Données en Côte d'Ivoire : 9 bassins versants (○)



e) Données aux **Etats-Unis** : 43 bassins versants (●)

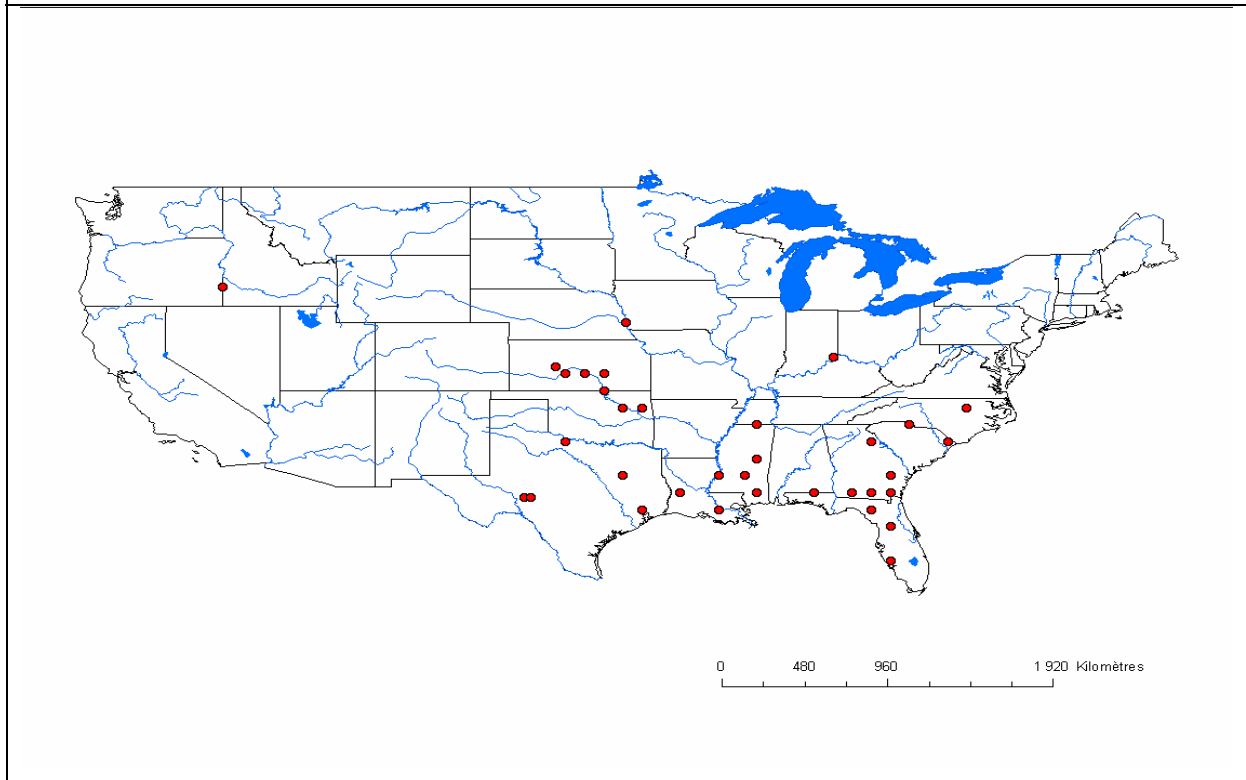


Figure 2.1 : Situations géographiques des 188 bassins versants de la base de données retenue

2.2. Analyse statistique de la base de données

Nous présentons ici une première analyse statistique des 188 bassins versants étudiés en exploitant les informations hydrologiques issues de leurs données journalières de débit. L'objectif est de mettre en évidence la variété des bassins versants utilisés pour tester les méthodes de prévision. Nous proposons une typologie des bassins versants de cette base de données. Cette classification sera fondée uniquement sur huit variables hydrologiques synthétiques explicatives en appliquant à nos données une Analyse en Composantes Principales (ACP) normée (sur les données centrées-réduites) suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) (algorithme des voisins réciproques-méthode de Ward). Signalons que le but principal de l'analyse statistique menée ici est de démontrer que la base de données utilisée dans notre recherche est bien variée, constituée de diverses classes de bassins versants et non de faire une étude statistique exhaustive des classes qui la constitue.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode statistique essentiellement descriptive : son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données constitué, en lignes, par des "Individus" (ici 188 Bassins Versants) sur lesquels sont mesurées des "Variables quantitatives" (ici 8 variables hydrologiques synthétiques classées en quatre types), disponibles en colonnes et dont on trouve ci-après les définitions précises.

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est aussi une méthode statistique descriptive. Elle consiste à fournir des suites de partitions de l'ensemble des objets initiaux en classes de moins en moins fines obtenues par regroupements successifs. Elle se représente sous forme d'un dendrogramme ou arbre de classification (Dagnelie, 1984; Saporta, 1990).

Les durées respectives des chroniques de données disponibles par bassin versant sont indiquées en annexe A1.2. Nous nous proposons ici d'établir une typologie des 188 bassins versants, de la base de données de référence de notre étude, fondée uniquement sur leurs caractéristiques hydrologiques traduites à travers huit variables synthétiques classées en quatre types : régimes d'écoulement, valeurs extrêmes, disponibilités et besoins, superficies. A nos huit variables correspondent ci-après huit paragraphes dans lesquels on les définit :

1°) - Variables de régimes d'écoulement :

a) Ecoulement annuel moyen : → variable LAM (en mm)

On peut donner trois présentations à cette variable :

1. un volume d'eau sur une année ;
2. un débit moyen, en divisant ce volume par la durée de l'année en secondes ;
3. une lame d'eau, en divisant ce même volume par la superficie du bassin versant, et que l'on exprime en mm.

C'est cette troisième forme que l'on utilisera pour présenter les résultats. La lame d'eau correspondante évolue au fil des ans et la variable qui a été retenue est la moyenne sur toutes les années de mesure des débits : → **LAM = (Volume annuel moyen) / Surface** (en mm). Sur l'ensemble des bassins versants cette variable suit une loi log-normale qu'on approxime par : **LAM = 290.exp(0.97u)** avec u la variable de Gauss centrée, réduite.

b) Indices d'irrégularité saisonnière : → variable IND (en %)

Pour décrire l'importance de l'irrégularité saisonnière de l'écoulement on a utilisé l'indice suivant : → **IND = 100*(Q_{mx} - Q_{mn}) / Q_a** (en %)

{ Q_{mx} = débit mensuel moyen du mois qui présente le plus grand écoulement
avec { Q_{mn} = débit mensuel moyen du mois qui présente le plus faible écoulement
{ Q_a = débit annuel moyen

C'est a priori une variable approximativement normale de moyenne 199 et d'écart-type 148 qu'on estime par : **IND = 199 + 148u** avec u le quantile de Gauss.

2°) - Variables des valeurs extrêmes :

a) Débits spécifiques d'étiage : → variable ETI (en dl/s/km²)

Pour d'écrire la rigueur des étiages, on a utilisé la variable classique DCN.10 c'est-à-dire, pour chaque année, le dixième débit journalier lorsque l'on range les débits journaliers par ordre croissant. On a retenu la valeur médiane de l'échantillon des valeurs annuelles pour chaque station. On l'appelle le dixième débit journalier biennal et on le note DCN.10₂. Pour permettre les comparaisons de bassin à bassin, il est judicieux de déterminer un débit spécifique en divisant par la superficie du bassin versant. On obtient ainsi une variable : → **ETI = DCN.10₂ / Surface** (en dl/s/km²). Sa distribution statistique, a priori, est log-normale et on l'approxime par :

ETI = 14.exp(1.22u) avec u la variable de Gauss centrée, réduite.

b) Coefficients d'étiage modulaire : → variable ESM (en %)

L'article 10 du code Rural, institué par la loi N° 84-512 du 29 Juin 1984 relative à la pêche en douce et à la gestion des ressources piscicoles, prévoit de maintenir, à partir du 30 Juin 1987, un débit réservé égal au 1/10^{ème} du module inter-annuel lors des étiages de fréquence quinquennale et décennale.

En application de cet article, on a défini comme variable descriptive des débits réservés, la variable ESM égale au rapport du débit spécifique d'étiage au 1/10^{ème} de l'écoulement annuel moyen : → **ESM = ETI / (LAM / 10)** (en %). C'est une variable dont la distribution statistique, a priori, est log-normale et on l'approxime par :

ESM = 126.exp(1.22u) avec u la variable de Gauss centrée, réduite.

c) Ecoulements de crue biennale : → variable CRU (en l/s/km^{1.6})

Pour caractériser les écoulements de crue, on s'est intéressé au débit journalier maximum de chaque année et l'on a retenu la valeur médiane de l'échantillon ainsi constitué pour chaque station. On a l'appelle débit journalier maximum biennal et on le note Q_{jx2} . En général les débits de crue n'augmentent pas proportionnellement à la taille du bassin versant, mais, approximativement, à la puissance 0.8 de cette taille. On a donc retenu comme variable descriptive des crues, la variable CRU égale au rapport de débit maximum journalier biennal à la puissance 0.8 de la superficie du bassin versant : → **CRU = $Q_{jx2} / S^{0.8}$** (en l/s/km^{1.6}). La distribution a priori (au sens baesin) de ce coefficient biennale est sensiblement log-normale et on l'approxime par :

CRU = 235.exp(1.1u) avec u la variable de Gauss centrée, réduite.

3°) - Variables de disponibilités / besoins :

a) Indices d'écoulement de base : → variable BFI (en %)

Une pratique habituelle (bien que délicate et contestable) de la description des écoulements est la séparation entre écoulement rapide (lors des crues) et écoulement lent (tarissement, écoulement dit « souterrain » ou encore écoulement de base).

Pour représenter les poids de ces deux écoulements on a utilisé la variable « index d'écoulement de base » développée par LVOVICH et représentée comme suit dans la synthèse des étiages de Grande-Bretagne : On considère, pour chaque année, la chronique des débits journaliers comme une suite de quintuplets. On retient pour chaque quintuplet, la plus faible valeur. Puis, on conserve celles des valeurs précédentes qui sont inférieures aux deux valeurs qui les encadrent dans le temps divisées par 0.9. La ligne qui joint ces différents points englobe un volume annuel. L'index d'écoulement de base est le rapport de ce volume au volume total d'écoulement. Une réalisation de cette variable est obtenue chaque année. Nous retiendrons comme indice d'écoulement de base la valeur :

→ **BFI = (Volume d'écoulement de base) / (Volume d'écoulement total)** (en %). C'est a priori une variable approximativement normale de moyenne 51 et d'écart-type 19 qu'on estime par : **BFI = 51 + 19u** avec u le quantile de Gauss.

b) Lames d'eau a stocker pour faire face à un besoin quadriennal de 3 l/s/km² (en mm)

Un handicap bien connu de l'irrégularité saisonnière des débits est la difficulté d'effectuer un prélèvement continu et constant sur la ressource en eau superficielle. Ce

phénomène est partiellement traduit par l'état des trois variables précédemment décrites. Cependant la mise en œuvre d'une variable plus opérationnelle n'est pas un luxe superflu, étant donné l'importance économique du problème posé. On imagine une demande en eau constante par exemple 3 l/s/km² (ce choix, un peu arbitraire, doit tenir compte de la faiblesse de l'apport annuel dans certaines régions) et l'on cherche à déterminer le volume VOL du réservoir à mettre en œuvre pour que la défaillance ne soit que quadriennale ; en moyenne, trois ans sur quatre, la présence de la réserve permet de « passer » la période estivale. Pour faciliter les comparaisons, cette réserve à stocker est exprimée en lame d'eau par répartition uniforme sur la surface du bassin versant. On crée ainsi une variable VOL exprimée en mm d'eau. :

→ **Vol = (Volume de la demande en eau) / (Superficie du bassin versant)** (en mm). Sa distribution statistique, a priori, est log-normale et on l'approxime par :

VOL = 29.exp(0.95u) avec u la variable de Gauss centrée, réduite.

4°) Superficies des bassins versants : → variable SUR (en km²)

Sur l'ensemble des bassins versants sa distribution statistique, a priori, est log-normale et on l'approxime par : **SUR = 1800.exp(1.72u)** avec u la variable de Gauss centrée, réduite.

Pour caractériser le fonctionnement des 188 bassins versants, nous avons choisi ces caractéristiques hydrologiques simples calculées sur des séries de données utilisées par les modèles. Le résumé des huit variables explicatives utilisées sont données au Tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Définition des huit variables explicatives de l'analyse statistique

Type	Définition	Expression
Géographique	Superficies (en km ²)	SUR = Surface
Régime d'écoulement	Écoulement annuel moyen (en mm)	$LAM = \frac{\text{Volume annuel}}{\text{Surface}}$
	Irrégularité saisonnière (en %) avec : - Q _{mx} = moyenne du débit du mois de plus grand écoulement, - Q _{mn} = moyenne du débit du mois de plus faible écoulement, - Q _a = débit annuel moyen.	$IND = 100 \frac{(Q_{mx} - Q_{mn})}{Q_a}$
	Débits spécifiques d'étiage (en dl/s/km ²) DCN.10 ₂ =dixième débit journalier biennal	$ETI = \frac{DCN.10_2}{\text{Surface}}$
Valeurs extrêmes	Etiage modulaire (en %)	$ESM = \frac{ETI}{0.10 * LAM}$
	Coefficients de crue biennale (l/s/km ^{1.6}) Q _{JX2} = débit journalier maximum biennal	$CRU = \frac{Q_{JX2}}{(\text{Surface})^{0.8}}$
Disponibilités et Besoins en eau	Indice d'écoulement de base (en %)	$BFI = \frac{\text{Volume d'écoulement de base}}{\text{Volume d'écoulement total}}$
	Besoins pour faire face à une demande en eau égale à 3 ls⁻¹km⁻² (en mm)	$VOL = \frac{\text{Volume de la demande en eau}}{\text{Surface}}$

Les variables hydrologiques du Tableau 2.1 ont été calculées à partir des données hydrométriques de chaque bassin versant. Elles ont été déterminées selon le protocole utilisé

pour l'établissement de "Tableaux résumés sur les données hydrologiques des stations de jaugeage" dans une étude pour l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie sur les potentialités hydroélectriques de la France (Thomas et Michel, 1985; Tangara, 1991).

2.2.1 Analyse en Composantes Principales normée (ACP) avec huit variables explicatives

Le but de l'ACP est de trouver des espaces de dimensions plus petites dans lesquels il soit possible d'observer au mieux les individus. Sa démarche essentielle consiste donc à transformer les p variables quantitatives initiales, plus ou moins corrélées entre elles, en p variables quantitatives, non corrélées, combinaisons linéaires des variables initiales et appelées composantes principales. La première composante principale est celle qui permet de distinguer au mieux les individus, c'est-à-dire celle pour laquelle la variance des individus est maximale. Elle constitue le premier axe principal. La deuxième composante principale est celle qui a une corrélation linéaire nulle avec la première et a, à son tour, la plus grande variance. Elle constitue le deuxième axe principal. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la $p^{\text{ième}}$ et dernière composante principale, p étant la taille de l'espace de départ.

Afin de donner la même importance à toutes les variables de l'analyse, nous entreprenons ici une analyse en composantes principales normée avec les variables centrées et réduites. Pour observer les individus, on construit les plans principaux à partir des composantes principales (axes principaux) les plus intéressantes. Tout logiquement, nous nous intéresserons ici en priorité au premier plan principal engendré par les deux premiers axes principaux (plan principal 1-2) qui est, par définition, celui sur lequel le maximum d'information est visible.

A l'aide de la version 4 du logiciel d'analyse de données SPAD du CISIA (Lebart et al., 1998), nous entreprenons ici cette première analyse statistique des données de notre base de données fondée sur les huit variables hydrologiques définies précédemment. Nous présentons ci-après les résultats de cette première analyse statistique (des résultats plus complets sont donnés en Annexe 2). Des statistiques sommaires sur les huit variables, calculées sur la totalité de l'échantillon de bassins, sont données au Tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Statistiques sommaires des huit variables continues (effectif total : 188)

LIBELLES	EFFECTIFS	POIDS	MOYENNES	ECART-TYPES	MINIMUM	MAXIMUM
LAM	188	188.00	308.40	299.76	0.00	1330.00
IND	188	188.00	199.31	147.95	20.00	1200.00
ETI	188	188.00	15.21	28.13	0.00	320.00
CRU	188	188.00	237.79	258.53	1.00	1422.00
BFI	188	188.00	51.20	19.09	0.00	94.00
VOL	188	188.00	39.20	38.24	0.00	100.00
ESM	188	188.00	126.64	155.87	0.00	770.00
SUR	188	188.00	1915.78	3895.13	0.40	43800.00

On remarque, dans la matrice des corrélations (Tableau 2.3), que les variables les plus corrélées entre elles sont :

- **positivement** : (CRU, LAM, 0.82), (ESM, ETI, 0.60), (ESM, BFI, 0.57) et (ETI, LAM, 0.56). Ces variables sont respectivement liées (de très fortement à fortement) et varient dans le même sens.

- **négativement** : (VOL, LAM, -0.66), (VOL, CRU, -0.57) et (BFI, IND, -0.56). Ces variables sont respectivement liées (de assez fortement à fortement) et varient dans des sens contraires.

La variable SUR semble, assez logiquement, non dépendante des autres variables utilisées.

Tableau 2.3 : Matrice des corrélations

	LAM	IND	ETI	CRU	BFI	VOL	ESM	SUR
LAM	1.00							
IND	-0.20	1.00						
ETI	0.56	-0.25	1.00					
CRU	0.82	-0.13	0.24	1.00				
BFI	0.17	-0.56	0.37	0.01	1.00			
VOL	-0.66	0.00	-0.43	-0.57	-0.14	1.00		
ESM	0.17	-0.37	0.60	-0.01	0.57	-0.37	1.00	
SUR	-0.23	-0.06	-0.10	-0.12	0.06	0.24	-0.08	1.00

Tableau 2.4 : Valeurs propres et variance cumulée des composantes principales (trace avant diagonalisation = 8. ; sommes des valeurs propres = 8. ; histogramme des huit premières valeurs propres)

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE	
1	3.14197	39.37	39.37	*****
2	1.8501	23.13	62.50	*****
3	1.0180	12.72	75.22	*****
4	0.8088	10.11	85.33	*****
5	0.5008	6.26	91.59	*****
6	0.3576	4.47	96.06	*****
7	0.2310	2.89	98.95	*****
8	0.0839	1.05	100.00	***

Le plan principal (axe1, axe2) renferme plus de 62 % de toute l'information contenue dans nos données. C'est naturellement à ce plan principal (axe1, axe2) que nous limiterons notre analyse.

Tableau 2.5 : Coordonnées des variables sur les axes principaux 1 à 5 (variables actives)

Variable	COORDONNEES					CORRELATIONS VARIABLES-FACTEURS					ANCIENS AXES-UNITAIRES				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
LAM	-0.83	0.43	0.20	-0.04	-0.15	-0.83	0.43	0.20	-0.04	-0.15	-0.47	0.32	0.20	-0.05	-0.21
IND	0.44	0.56	-0.37	0.48	0.10	0.44	0.56	-0.37	0.48	0.10	0.25	0.41	-0.37	0.54	0.15
ETI	-0.76	-0.17	-0.19	0.31	-0.48	-0.76	-0.17	-0.19	0.31	-0.48	-0.43	-0.13	-0.19	0.34	-0.68
CRU	-0.64	0.57	0.41	-0.11	0.06	-0.64	0.57	0.41	-0.11	0.06	-0.36	0.42	0.41	-0.12	0.09
BFI	-0.52	-0.68	0.09	-0.13	0.26	-0.52	-0.68	0.09	-0.13	0.26	-0.29	-0.50	0.08	-0.15	0.37
VOL	0.75	-0.37	0.14	-0.22	-0.39	0.75	-0.37	0.14	-0.22	-0.39	0.42	-0.27	0.14	-0.24	-0.55
ESM	-0.63	-0.54	-0.35	0.22	0.12	-0.63	-0.54	-0.35	0.22	0.12	-0.35	-0.40	-0.35	0.24	0.18
SUR	0.24	-0.32	0.70	0.59	0.04	0.24	-0.32	0.70	0.59	0.04	0.13	-0.23	0.69	0.66	0.05

Tableau 2.6 : Sommes des carrés des coefficients de corrélation des variables avec les axes principaux 1 et 2

Variable	LAM	IND	ETI	CRU	BFI	VOL	ESM	SUR
$\sum(r_1^2+r_2^2)$	0.87	0.51	0.61	0.74	0.73	0.70	0.69	0.16

La part de variation d'une variable expliquée par k axes est égale à la somme des carrés de ces coefficients de corrélation pour ces k axes. Ainsi pour le plan principal (axe1, axe2), on obtient le Tableau 2.6 qui montre que pour les huit variables actives de l'analyse :

- LAM est très bien représentée dans le plan principal ($\sum r^2 > 0.80$),
- CRU, BFI, VOL, ESM et ETI sont bien représentées ($0.60 < \sum r^2 < 0.80$),
- IND est moyennement représentée ($0.40 < \sum r^2 < 0.60$),
- SUR est médiocrement représentée ($\sum r^2 \leq 0.40$).

On remarque, dans le Tableau 2.5, que les variables les plus corrélées avec les facteurs principaux et qui expliquent le mieux les axes principaux 1, 2 et 3 sont :

- avec l'axe 1 :
 - positivement : (VOL, 0.75),
 - négativement : (LAM, -0.83), (ETI, -0.76), (CRU, -0.64), (ESM, -0.63) et (BFI, -0.52) ;
- avec l'axe 2 :
 - positivement : (CRU, 0.57) et (IND, 0.56),
 - négativement : (BFI, -0.68) et (ESM, -0.54) ;
- avec l'axe 3 :
 - positivement : (SUR, 0.70),
 - négativement : (IND, -0.37) et (ESM, -0.35).

Ainsi l'axe 1 est caractéristique des **régimes d'écoulement**, l'axe 2 est caractéristique des **disponibilités** et l'axe 3 est caractéristique des **superficies**.

Comme il a été annoncé précédemment, reportons-nous au plan principal (axe1, axe2) des deux premières composantes principales de l'ensemble des bassins versants présenté sur la Figure 2.2 (notons que la correspondance des codes des bassins versants avec leurs noms dans les analyses statistiques est fournie en Annexe A2.1).

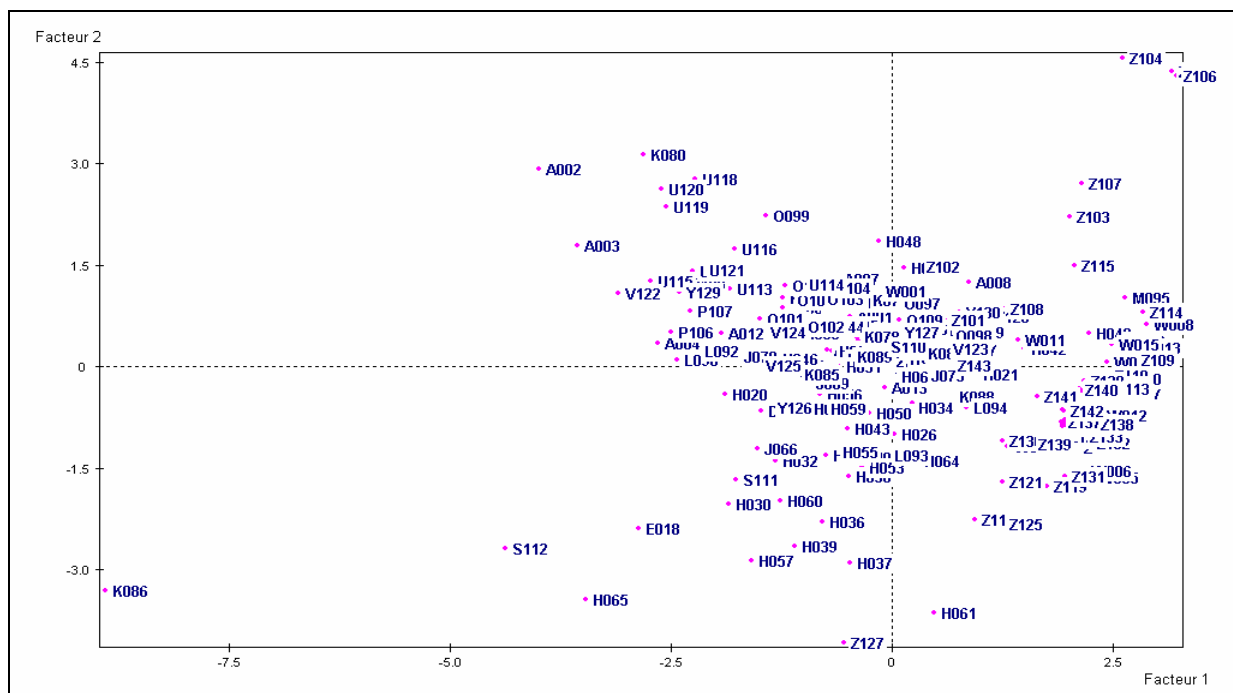


Figure 2.2 : Plan principal 1-2 des deux premières composantes principales (axe1, axe2)

Nous constatons, sur la Figure 2.2, que nos bassins versants se répartissent assez bien dans le plan principal (axe1, axe2). Il est à remarquer que seul l'élément K086, correspondant au bassin versant K3206010 : La Source-de-chez-Pierre à Ceysat dont les données sont par ailleurs douteuses, semble isolé dans ce plan principal. Nous pouvons donc examiner les autres résultats fournis par l'ACP normée.

La Figure 2.3 nous montre comment les variables de notre analyse sont structurées (notons qu'une variable est d'autant mieux représentée sur le plan principal qu'elle est proche du cercle de corrélation et que l'interprétation des variables se fait à partir de leurs directions). Le Tableau 2.7 donne la description des trois premiers axes factoriels de l'ACP normée.

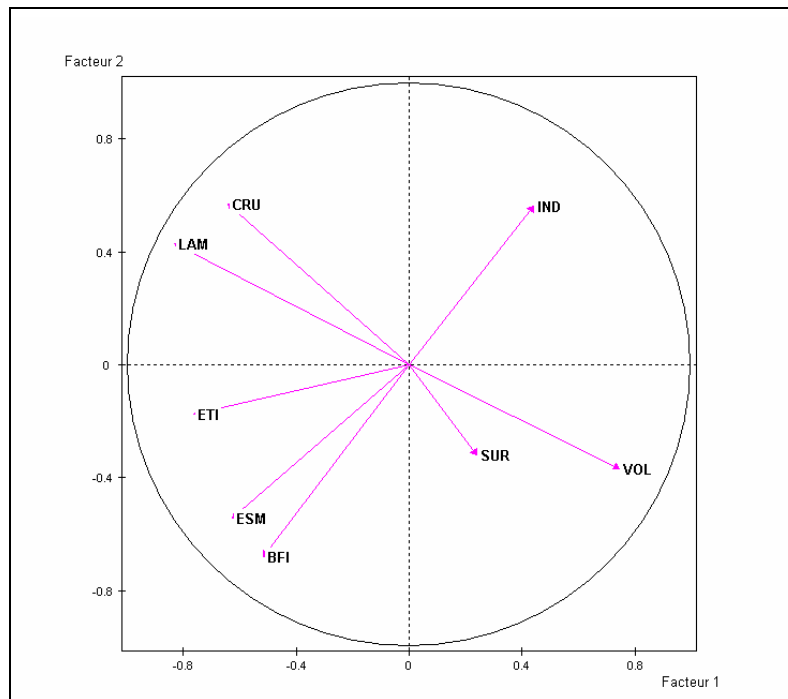


Figure 2.3 : Cercle des corrélations (plan principal axe 1 – axe 2)

Tableau 2.7 : Descriptions des axes factoriels

DESCRIPTION DU FACTEUR 1 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES						
COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.83	188.00	LAM		308.40	299.06	1
-0.76	188.00	ETI		15.21	28.13	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.44	188.00	IND		199.31	147.95	7
0.75	188.00	VOL		39.20	38.24	8
DESCRIPTION DU FACTEUR 2 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES						
COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.68	188.00	BFI		51.20	19.09	1
-0.54	188.00	ESM		126.64	155.87	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.56	188.00	IND		199.31	147.95	7
0.57	188.00	CRU		237.79	258.53	8
DESCRIPTION DU FACTEUR 3 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES						
COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.37	188.00	IND		199.31	147.95	1
-0.35	188.00	ESM		126.64	155.87	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.41	188.00	CRU		237.79	258.53	7
0.70	188.00	SUR		1915.78	3895.13	8

Ainsi, l'analyse et l'interprétation de la Figure 2.3 et des Tableaux 2.5, Tableau 2.6 et Tableau 2.7 précédents nous permettent d'énoncer des observations suivantes :

- l'**axe 1** est défini de manière :
 - **néglative** très fortement par la variable LAM et fortement par la variable ETI,
 - **positive** fortement par la variable VOL et assez faiblement par la variable IND.

Il oppose ainsi les bassins versants produisant de très fortes lames d'eau aux bassins versants avec de forts besoins de stockage. Il est donc caractéristique des bassins versants à régime d'écoulement relativement extrême.

- l'**axe 2** est défini de manière :
 - **néglative** fortement par la variable BFI et moyennement par la variable ESM,
 - **positive** moyennement par les variables CRU et IND.

Il oppose les bassins avec de fortes disponibilités aux bassins avec des régimes d'écoulement de moyennes crues moyennement irrégulières. Il est donc caractéristique des bassins à régime d'écoulement relativement stable.

- l'**axe 3** est défini de manière :
 - **néglative** assez faiblement par les variables IND et ESM,
 - **positive** fortement par la variable SUR et faiblement par la variable CRU.

Il oppose les bassins versants avec régimes d'écoulement faiblement irréguliers aux bassins versants de superficies importantes et aux régimes d'écoulement de faibles crues. Il est donc caractéristique de la taille des bassins versants. Mais nous n'analyserons pas ici cet axe3 car, comme indiqué précédemment, nous nous limiterons au seul plan principal (axe 1, axe 2) qui renferme plus de 62 % de l'inertie totale des données de la base étudiée.

2.2.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) avec huit variables explicatives

Le but des méthodes de classification est de construire une partition en classes ou une suite de partitions emboîtées, d'un ensemble d'objets dont on connaît les distances deux à deux. Les classes formées doivent être aussi homogènes que possible. La classification hiérarchique consiste à fournir plusieurs partitions de l'ensemble des objets en classes de moins en moins fines obtenues par regroupements successifs.

Elle se représente sous forme d'un dendrogramme ou arbre de classification. Cet arbre est obtenu dans la plupart des méthodes de manière ascendante : on regroupe d'abord les deux individus les plus proches qui forment un « sommet », il ne reste plus que $n-1$ objets et on itère le processus jusqu'à regroupement complet. Un des problèmes consiste à définir une mesure de dissimilarité entre parties.

La méthode de Ward utilise les distances euclidiennes. Elle consiste à agréger les individus qui font le moins varier l'inertie intra-classe. En d'autres termes, on cherche à obtenir à chaque pas un minimum local de l'inertie intra-classe ou un maximum de l'inertie inter-classe.

L'indice de dissimilarité entre deux classes (ou niveau d'agrégation de ces deux classes) est alors égal à la perte d'inertie intra-classe résultant de leur regroupement. Cette perte d'inertie se calcule à l'aide de la formule de Lance et Williams (1967) généralisée par Jambu (1978).

On notera que la somme des niveaux d'agrégation des différents nœuds de l'arbre doit être égale à l'inertie totale du nuage puisque la somme des pertes d'inertie est égale à l'inertie totale.

Cette méthode est donc complémentaire de l'Analyse en Composantes Principales et repose sur un critère d'optimisation assez naturel. Les données concernant nos 188 bassins versants ont été alors soumises à la précédente méthode de typologie, toujours grâce à la version 4 du logiciel d'analyse de données SPAD du CISIA.

Tableau 2.8 : Description des 50 nœuds d'indices les plus élevés (classification hiérarchique - voisins réciproques – sur les huit premiers axes factoriels)

NUM.	AINE	BENJ	EFF.	POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
326	313	289	10	10.00	0.00910	*
327	270	99	4	4.00	0.00912	*
328	203	260	6	6.00	0.00933	*
329	318	290	8	8.00	0.00979	*
330	310	3	3	3.00	0.01104	*
331	328	7	7	7.00	0.01130	*
332	272	257	4	4.00	0.01147	*
333	294	317	12	12.00	0.01153	*
334	319	298	10	10.00	0.01215	*
335	326	16	11	11.00	0.01231	*
336	227	322	9	9.00	0.01274	*
337	311	309	15	15.00	0.01298	*
338	325	334	24	24.00	0.01471	*
339	287	307	8	8.00	0.01562	*
340	224	306	8	8.00	0.01622	*
341	321	312	5	5.00	0.01679	*
342	112	324	3	3.00	0.01680	*
343	299	333	19	19.00	0.01762	*
344	303	286	7	7.00	0.01771	*
345	172	308	5	5.00	0.01813	*
346	316	32	4	4.00	0.02090	*
347	296	320	8	8.00	0.02149	*
348	338	301	27	27.00	0.02169	*
349	327	305	9	9.00	0.02373	**
350	339	138	9	9.00	0.02412	**
351	315	170	4	4.00	0.02502	**
352	337	331	22	22.00	0.02904	**
353	332	340	12	12.00	0.03036	**
354	343	351	23	23.00	0.03596	**
355	352	292	32	32.00	0.03610	**
356	280	341	7	7.00	0.04323	**
357	323	350	15	15.00	0.05043	***
358	330	349	12	12.00	0.05386	***
359	348	347	35	35.00	0.05446	***
360	329	335	19	19.00	0.06526	***
361	345	353	17	17.00	0.07676	****
362	346	355	36	36.00	0.07883	****
363	336	354	32	32.00	0.08548	****
364	344	359	42	42.00	0.09415	*****
365	360	362	55	55.00	0.12052	*****
366	361	342	20	20.00	0.13898	*****
367	363	357	47	47.00	0.16898	*****
368	356	364	49	49.00	0.19897	*****
369	358	365	67	67.00	0.32659	*****
370	61	367	48	48.00	0.60878	*****
371	366	86	21	21.00	0.63737	*****
372	369	368	116	116.00	0.65626	*****
373	370	293	51	51.00	0.85501	*****
374	371	372	137	137.00	0.95614	*****
375	373	374	188	188.00	1.87088	*****

SOMME DES INDICES DE NIVEAU = 8.00000

On trouve dans le Tableau 2.8 la liste de description des 50 nœuds d'indices de niveau les plus élevés et la Figure 2.4 l'allure du dendrogramme de la classification hiérarchique avec les numéros des nœuds fournis par la CAH. Sur ce dernier, il est clair qu'une coupure de l'arbre de la CAH est à effectuer aux coudes du diagramme des indices de niveau correspondants :

- a) soit au-dessous du nœud N°370, pour obtenir une partition en sept classes stables dont les effectifs sont respectivement de :
 - 65 bassins versants pour la classe n°1 (avec 26 % de l'inertie),

- **44** bassins versants pour la classe n°2 (avec 36 % de l'inertie),
- **1** bassin versant pour la classe n°3 (avec 1 % de l'inertie),
- **25** bassins versants pour la classe n°4 (avec 11 % de l'inertie),
- **4** bassins versants pour la classe n°5 (avec 2 % de l'inertie),
- **48** bassins versants pour la classe n°5 (avec 25 % de l'inertie),
- **1** bassin versant pour la classe n°5 (avec 1 % de l'inertie).

On constate que la troisième classe et la septième classe sont constituées d'un seul bassin versant et la cinquième classe est constituée de seulement quatre bassins versants. On pourra fusionner ces trois classes ayant très peu d'effectifs avec les classes dont elles sont les plus proches pour obtenir quatre classes typologiques homogènes. Ce cas n'est pas étudié ici.

b) soit au-dessous du nœud N°373, pour obtenir une partition en **quatre** classes stables dont la troisième est constituée de seulement cinq bassins versants. C'est le cas présenté ci-dessous :

- **101** bassins versants pour la classe n°1 (avec 62 % de l'inertie),
- **26** bassins versants pour la classe n°2 (avec 11 % de l'inertie),
- **5** bassins versants pour la classe n°3 (avec 1 % de l'inertie),
- **56** bassins versants pour la classe n°4 (avec 26 % de l'inertie).

Les compositions et les caractéristiques des quatre classes de bassins versants, de la partition en quatre classes étudiée ici, sont données et précisées dans les pages suivantes (des résultats plus complets sont donnés en Annexe 2).

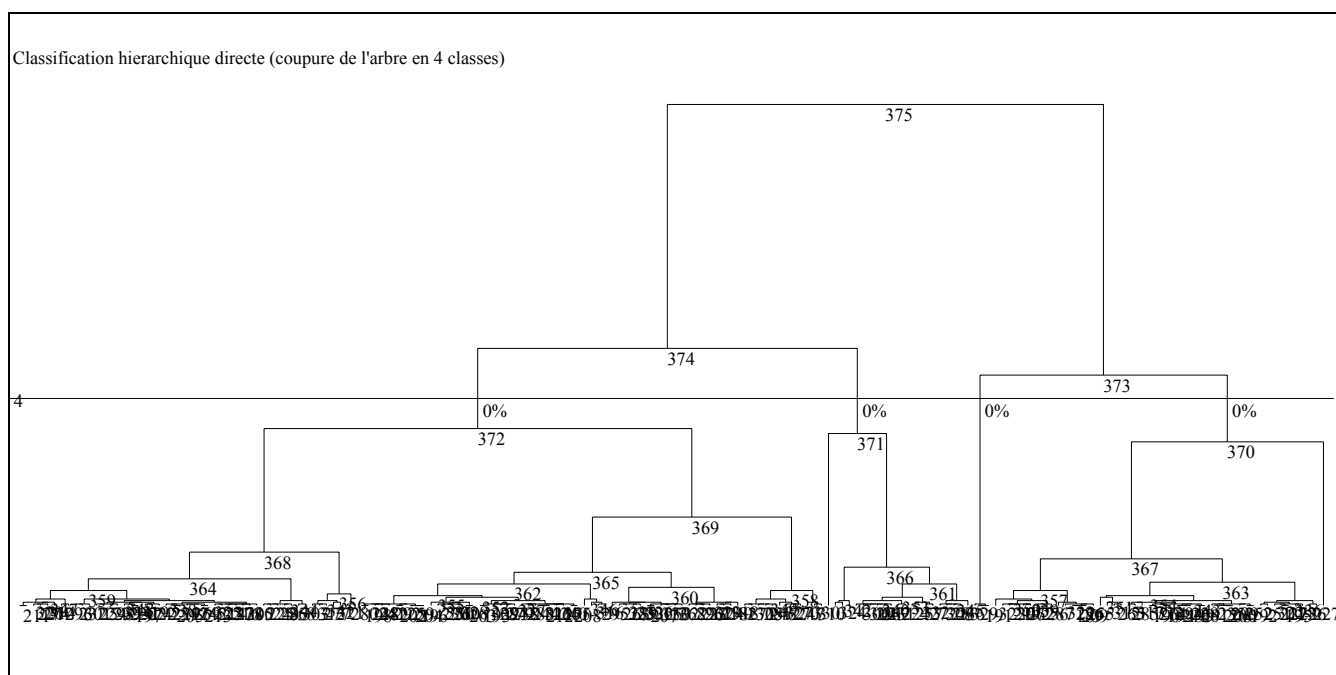


Figure 2.4 : Allure du dendrogramme de la CAH avec 8 variables explicatives

Tableau 2.9 : Composition de la coupure de l'arbre en quatre classes (huit variables explicatives)

CLASSE 1 / 4 (101 BV):				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
A001 A1515810	H024 H0321030	H063 H8012010	K087 K3373010	S110 S2224610
A002 A4200630	H025 H0321040	J067 J3601810	K089 K3382010	U113 U2022010
A003 A4250640	H026 H0400010	J068 J3834010	L090 L0140610	U114 U2035020
A004 A4362010	H027 H1051020	J069 J4014010	L091 L0321510	U115 U2142010
A005 A4442010	H028 H1122010	J070 J4623010	L092 L0400610	U116 U2215020
A006 A5251010	H029 H1231010	J071 J5613010	L093 L0615810	U117 U2222010
A007 A5730610	H031 H2342010	J072 J7060620	N096 N3001610	U118 U2305210
A008 A5842010	H033 H3102010	J073 J7373110	O097 O1814040	U119 U2345030
A009 A6271010	H034 H3201010	K074 K0724510	O098 O2304020	U120 U2345820
A010 A6561110	H044 H5062010	K075 K1084010	O099 O4704030	U121 U2402010
A011 A6941010	H045 H5102010	K076 K1321810	O100 O7021530	V122 V1454310
A012 A7010610	H046 H5102020	K077 K1341810	O101 O7041510	V123 V3015010
A013 A7581010	H047 H5122310	K078 K1383010	O102 O7101510	V124 V3115010
A014 A7821010	H048 H5123210	K079 K1391810	O103 O7191510	V125 V3515610
A015 A7930610	H049 H5142610	K080 K2010810	O104 O7692510	Y127 Y0474030
A016 A9013050	H050 H5153010	K081 K2173010	O105 O7701510	Y129 Y1605030
D019 E4905710	H051 H5172010	K082 K2210810	P106 P3001010	Y130 Y7615010
H020 H0100020	H052 H5173110	K083 K2330810	P107 P3464010	W001 AU315006
H022 H0203020	H058 H5723010	K084 K2714010	P108 P3522510	Z101 ARS68011
H023 H0210010	H062 H7021010	K085 K2951910	Q109 Q2094310	Z102 ARS68013
				Z143 USALEAFR
CLASSE 2 / 4 (26 BV) :				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
D017 D0206010	E018 E4035710	H030 H1932010	H032 H2721010	H035 H3522010
H036 H3613010	H037 H3613020	H038 H3621010	H039 H3623010	H041 H4232040
H043 H4332020	H053 H5213310	H054 H5412010	H055 H5412020	H056 H5522010
H057 H5613020	H059 H5752020	H060 H5813010	H064 H9402010	H065 H9923010
J066 J0144010	K086 K3206010	S111 S2235610	S112 S4214010	Y126 Y0444010
				Z127 Us232250
CLASSE 3 / 4 (5 BV):				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
Z103 ARS70002	Z104 ARS71001	Z105 ARS71002	Z106 ARS71003	Z107 ARS71004
CLASSE 4 / 4 (56 BV):				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
H021 H0203010	W005 BRES0002	Z108 ARS71005	Z119 Us215650	Z131 Us236550
H040 H3923010	W006 BRES0003	Z109 Mo714120	Z120 Us220300	Z132 Us247500
H042 H4322010	W007 CI010350	Z110 Mo714420	Z121 Us221850	Z133 Us247850
H061 H5920010	W008 CI040370	Z111 Mo714478	Z122 Us222550	Z134 Us248200
K088 K3374710	W009 CI150400	Z112 Mo714780	Z123 Us222800	Z135 Us336400
L094 L9214510	W010 CI160120	Z113 Mo724350	Z124 Us229675	Z136 Us702950
M095 M1024810	W011 CI250130	Z114 Mo731450	Z125 Us231300	Z137 Us719650
Y128 Y1445010	W012 CI250190	Z115 US141200	Z126 Us231750	Z138 Us729000
W002 AU616065	W013 CI250220	Z116 Us208350	Z128 Us232750	Z139 Us737850
W003 AU927001	W014 CI250500	Z117 Us211050	Z129 Us232900	Z140 Us801350
W004 AU999990	W015 CI350350	Z118 Us213450	Z130 Us236100	Z141 Us806480
				Z142 Us807000

Les classes 1 et 2 sont composées principalement de bassins français. La classe 3 se compose de 5 bassins USA : ARS70002 et les 4 bassins emboîtés ARS71001, ARS71002, ARS71003, ARS71004. La classes 4 renferme l'ensemble des bassins étrangers restant et huit bassins du Centre-Nord de la France.

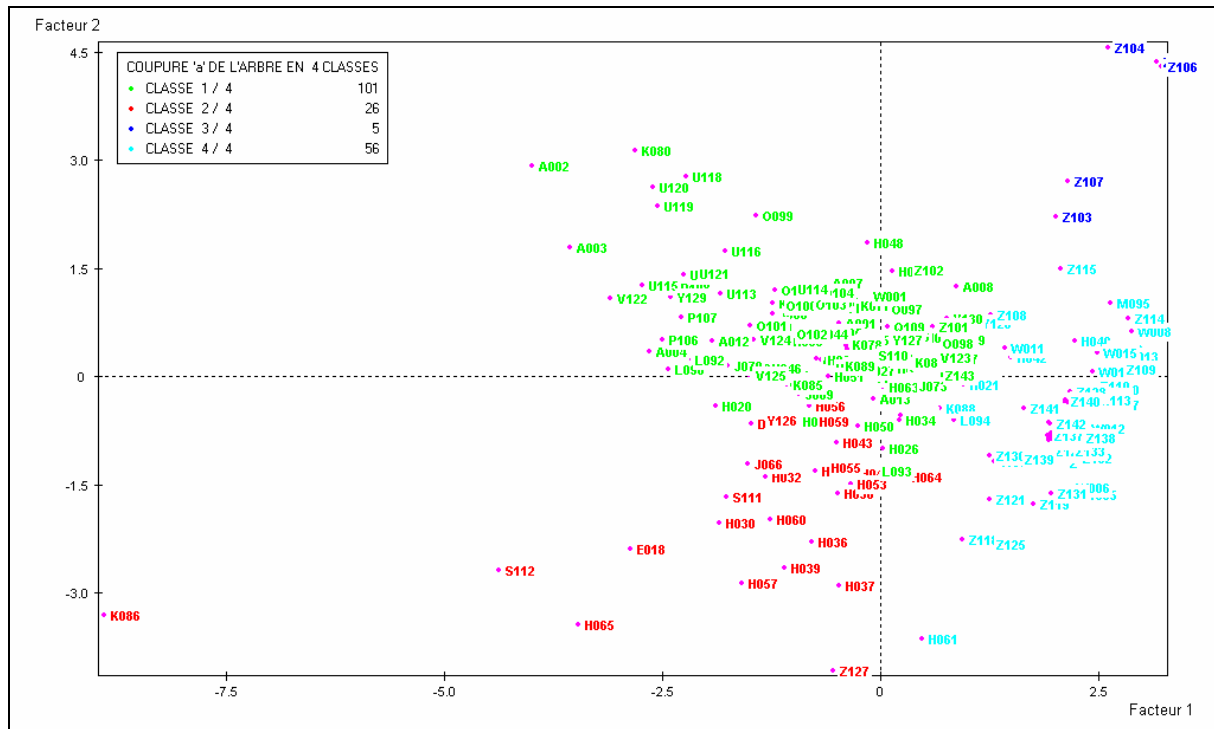


Figure 2.5 : CAH en quatre Classes avec huit variables actives sur le plan principal (axe1, axe2)

Sur la Figure 2.5, nous distinguons nettement sur le plan principal (axe1, axe2) les localisations des quatre classes typologiques homogènes de la partition définie par la CAH.

Ensuite, en nous référant à la Figure 2.3 (Cercle des Corrélations) et au Tableau 2.7 (Description des Axes Factoriels), nous pouvons définir et préciser ci-après les caractéristiques principales de chacune des quatre classes de la CAH qui nous intéressent ici.

Ces caractéristiques sont respectivement :

- la classe n°1 (en vert) est autour de l'origine des deux premiers axes factoriels du plan principal (axe1, axe2) et principalement dans le cadran nord-ouest de ce plan principal. Elle concerne l'ensemble des bassins versants caractérisés par leurs forts niveaux de crues et de lames d'eau ainsi que leurs faibles besoins de stockage dont la superficie est très en dessous de la moyenne de celle de l'ensemble des bassins étudiés (101 bassins versants, 62 % d'inertie),
- la classe n°2 (en rouge) est située presque en totalité dans le cadran sud-ouest des deux premiers axes factoriels du plan principal (axe1, axe2). Elle concerne l'ensemble des bassins versants caractérisés par leur très forte disponibilité en eau et leurs très faibles besoins de stockage (26 bassins versants, 11 % d'inertie),
- la classe n°3 (en bleu) est située dans l'angle nord-est du cadran nord-est du plan principal et concerne un groupe de bassins versants des Etats Unis (Sonora : ARS70002 et Treynor : ARS71001, ARS71002, ARS71003, ARS71004) ayant des très fortes irrégularités saisonnières (5 bassins versants, 1% d'inertie),
- la classe n°4 (en turquoise) est centrée autour du milieu de l'axe 1, assez bien répartie dans les deux cadrans nord-est et sud-est du plan principal et concerne l'ensemble des bassins versants qui sont caractérisés par leurs très forts besoins de stockage, leurs superficies très au-dessus de la moyenne de celle de l'ensemble des bassins étudiés et

leurs très faibles niveaux d'écoulement et de disponibilités (56 bassins versants, 26 % d'inertie).

- les deux premières classes (n°1 et n°2) se composent presque en totalité (respectivement 96% chacune) de bassins versants de France métropolitaine,
- les deux autres classes (n°3 et n°4) contiennent chacune une majorité de bassins versants hors-France métropolitaine (classe 3 : 100% à l'étranger (tous aux Etats-Unis) ; classe 4 : 86% à l'étranger (61% aux Etats-Unis, 16% en Côte d'Ivoire, 5% en Australie, 4% au Brésil).

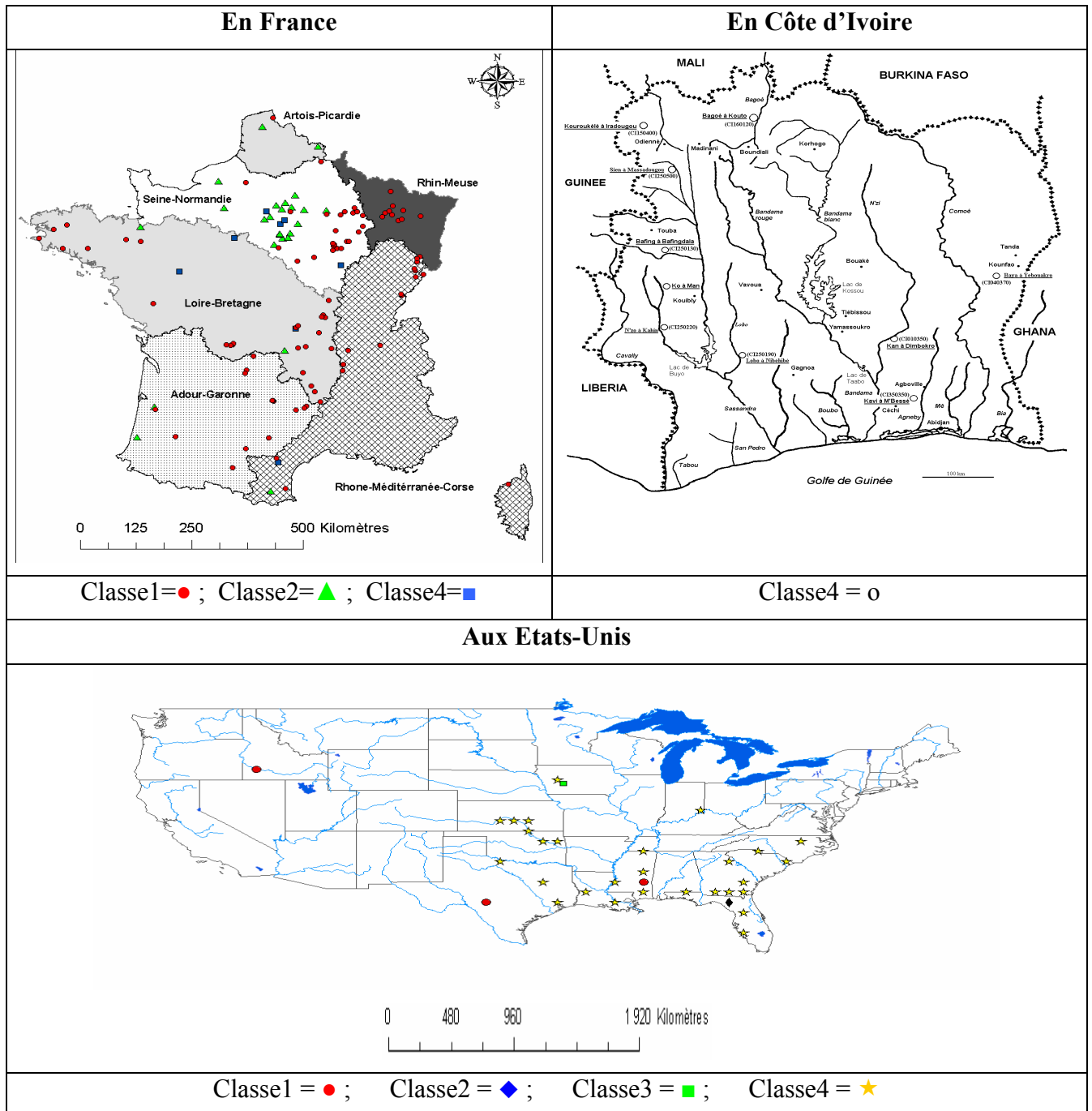


Figure 2.6 : Cartes de localisations des quatre classes de la CAH avec huit variables explicatives

2.3. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la base de données de 188 bassins versants qui sera utilisée dans la suite pour tester nos méthodes de prévision. L'importance de cette base de données permettra de donner plus de généralité à nos résultats.

Notre base de données est au pas de temps journalier et nous avons donc sélectionné des bassins pouvant être étudiés avec un tel pas de temps.

Une analyse statistique de cet échantillon de 188 bassins versants a permis de montrer qu'il regroupe une bonne variété de conditions hydrologiques permettant de diviser l'échantillon en au moins 4 classes de bassins versants. C'est cette diversité de conditions hydrologiques, des bassins versants de la base de données utilisée tout au cours de notre recherche, qui assurera au modèle proposé ici sa généralité et la robustesse.

Cette analyse statistique sera reprise au chapitre 7, en y introduisant deux variables explicatives actives supplémentaires, pour nous permettre de conforter ces premiers résultats.

Ce troisième chapitre introduit différentes approches proposées dans la littérature pour résoudre le problème de prévision de crues. Il s'agit de la méthode de Yang, des Réseaux de Neurones Artificiels (RNA), des modèles hydrologiques PQb et GR3H et de la procédure multi-modèles (PMM). Pour chacune de ces méthodes, nous décrivons succinctement les principes et les modalités d'application. L'analyse des performances de ces méthodes (détaillée au Chapitre 4) a constitué le point de départ de notre réflexion.

CHAPITRE 3

CHAPITRE 3

QUELQUES MÉTHODES DE PRÉVISION DE CRUE UTILISANT UN MODÈLE GLOBAL PLUIE-DÉBIT OU UN RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIELS

3.1. Méthode proposée par YANG

Dans ses travaux de recherche à l'ENPC, Yang (1993) a mis au point un cadre très général pour la mise à jour d'un modèle conceptuel global pluie-débit. Cette méthode est actuellement utilisée par le Cemagref dans des applications opérationnelles en temps réel.

A l'origine, la méthode de Yang portait essentiellement sur la modification des paramètres du modèle. L'expérience récente accumulée au Cemagref tend à montrer qu'il vaudrait mieux retenir la méthode portant sur les états du modèle. En fait, la méthode de Yang est un cadre assez souple pour pouvoir intégrer toutes ces méthodes à la fois (mise à jour des pluies en entrée ; mise à jour des paramètres du modèle ; mise à jour des états du modèle ; prévision de l'évolution de l'erreur du modèle).

3.1.1 Caractéristiques de la méthode de Yang

Yang part des deux constats suivants :

- il existe une forte tendance dans les études de prévision de crue en temps réel à favoriser les méthodes simples (Lambert, 1972; Kitanidis et Bras, 1980a;b; Tucci et Clarke, 1980; Brath et Rosso, 1993) ;
- les hypothèses d'utilisation des outils mathématiques (filtrage de Kalman, modèle ARMA, modèle PPV,...) ne sont pas toujours satisfaites dans le contexte hydrologique et on ne doit pas dépendre totalement de l'adaptabilité d'une méthode mathématique (Kitanidis et Bras, 1980a) ; par conséquent, sacrifier un modèle hydrologique pour utiliser un outil mathématique est très discutable.

Il en déduit que trois caractères sont indispensables pour une méthode de prévision des crues :

- le principe de rétroaction (l'état antérieur du système est ajusté en fonction de la sortie du système),
- la récursivité de la méthode (elle est utilisée pour l'estimation des paramètres du modèle en temps réel et le suivi de leurs variations temporelles),
- la rapidité d'adaptation aux conditions du moment (elle consistera à trouver un compromis entre adaptabilité et rusticité, c'est-à-dire entre souplesse pour tenir compte des informations récentes et rigueur pour respecter la logique d'évaluation du système conceptuel).

Yang propose alors une méthodologie de prévision de crue permettant d'ajuster les paramètres d'un modèle selon les dernières observations hydrologiques.

Cette méthodologie est caractérisée par les quatre points principaux suivants :

1. l'ajustement des paramètres du modèle en temps réel selon une fonction « objectif » spéciale qui ne tient compte que de la dernière erreur de prévision et des écarts des paramètres ajustés et qui se déroule sur la Durée Rétroactive d'Ajustement (DRA). Tous les paramètres sont sollicités dans la limite de leur incertitude et dans la mesure où ils peuvent contribuer à réduire la dernière erreur constatée ;
2. l'application d'un modèle pluie-débit en mode continu ;
3. la combinaison dans sa structure d'ajustement du mode simulation et du mode adaptatif ;
4. l'ajustement des paramètres du modèle conjointement avec les stocks en vue de maintenir la continuité des flux d'eaux calculés par le modèle.

3.1.2 Structure générale de l'approche de Yang

Dans la Figure 3.1, on voit que la Durée Rétroactive d'Ajustement (DRA), d'environ 100 pas de temps pour optimiser la fonction « objectif » (Yang, 1993), permet de passer de façon progressive du processus simulé avec le jeu de paramètres standard au processus observé. Le calcul du processus simulé doit être effectué de façon continue. Au contraire, le calcul du processus de mise à jour est effectué selon les besoins de la prévision, lorsque l'on dépasse un seuil de pluie ou de débit défini a priori.

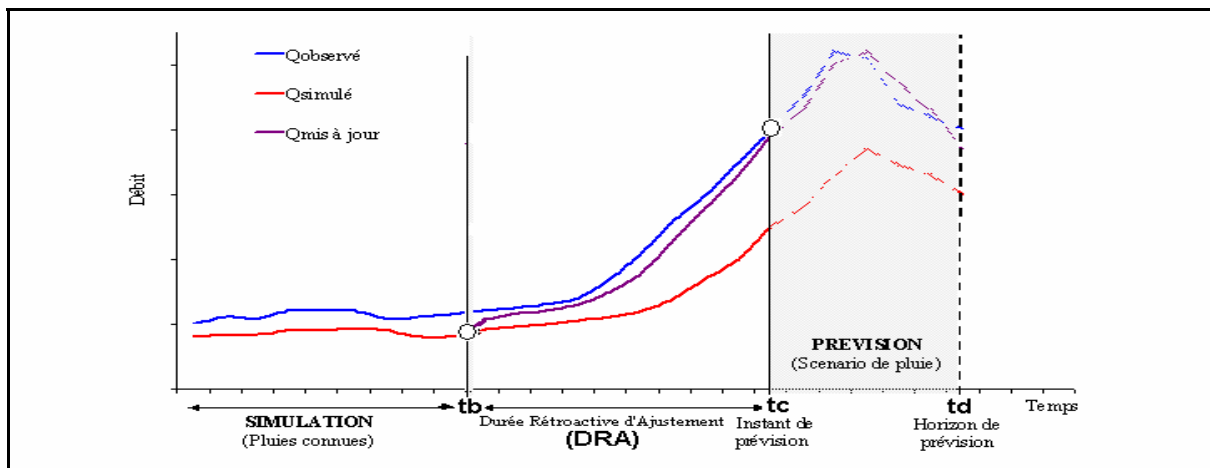


Figure 3.1 : Structure de la prévision des crues

Ainsi, la prévision des crues se déroule pas à pas comme suit :

- 1) fonctionnement du modèle sur une longue période de données (par exemple un an) pour pouvoir connaître l'état du système à l'instant t_b (début de la DRA). Pour cela, le modèle fonctionne en mode de simulation et les valeurs des paramètres utilisées sont celles ayant été calées sur une longue période de données historiques ;
- 2) en partant de t_b avec l'état du système fourni précédemment, modification progressive de l'ensemble des paramètres du modèle sur la DRA pour trouver les valeurs des paramètres permettant d'optimiser une fonction objectif qui quantifie l'écart entre débits simulé et observé à l'instant de la prévision t_c ;
- 3) prolongement des calculs sur la base du processus mis à jour depuis t_b jusqu'à t_c (instant de prévision);

- 4) utilisation du modèle mis à jour pour les pas de temps suivants avec des pluies prévues ou supposées jusqu'à concurrence du délai de prévision L à $t_d = t_c + L$ (horizon de prévision). Ces dates t_b , t_c et t_d sont incrémentées d'une unité à chaque pas de temps. Pour les pas de temps suivants, on répète les étapes 2, 3 et 4 à l'identique mais l'étape 1 ne porte que sur un seul pas de temps à chaque fois, de façon à ce que l'origine de la DRA avance parallèlement à l'évolution du temps actuel t_c . Ainsi, l'état du système est maintenu au niveau le plus fiable.

3.2. Méthode des Réseaux de Neurones Artificiels (RNA)

3.2.1 Formulation de problème RNA

L'analyse statistique des séries chronologiques multi-variées est un outil statistique important pour l'étude de données hydrologiques. Elle permet d'étudier leur comportement et de prévoir les valeurs futures les plus probables en fonction des valeurs passées. En contrepartie, ceci est fait sans explication des relations liant les données. Les relations entre variables, modèle et précipitations sont établies une fois que le modèle simulant les données est mis en place. Plusieurs techniques disponibles pour l'analyse des séries chronologiques supposent la linéarité des relations entre les variables (Box et Jenkins, 1970).

Dans la réalité, les séquences de données hydrologiques présentent des irrégularités importantes. Les variables météorologiques et les écoulements sont liés par des relations non-linéaires. Ainsi, les variations du débit ne peuvent pas être décrites facilement par des relations linéaires. Le recours à des méthodes non-linéaires s'avère donc nécessaire. Parmi les plus prometteuses figurent les approches basées sur les Réseaux de Neurones Artificiels (RNA).

Depuis quelques années, les RNA (ou réseaux connexionnistes) ont trouvé une vaste utilisation dans la modélisation des séries chronologiques (Chakraborty et al., 1992; Gencay, 1993; Hoptroff, 1993; Weigend, 1993). Ceci est dû à leur capacité d'interpoler des données liées par des relations non-linéaires. Les réseaux les plus répandus sont les réseaux de neurones multicouches avec ajustement des paramètres par rétro-propagation (Rumelhart et al., 1986).

Etant donné que les processus étudiés se présentent sous la forme de séries chronologiques, un modèle de l'hydrogramme comme fonction d'un certain nombre de paramètres hydrologiques peut être représenté par l'équation :

$$y(t) = f(w, x(t)) + e(t) \quad \text{Eq. 3.1}$$

où $y(t)$ est la variable à prédire au moment t , ici le débit ; f est une fonction linéaire ou non-linéaire ; w est le vecteur de paramètres du modèle ; $x(t)$ sont les variables d'entrées et $e(t)$ est l'erreur du modèle.

On considère que les paramètres sont invariants ou présentent des variations relativement faibles au cours du temps :

$x(t) = (y(t-ih), x_1(t-jh), x_2(t-kh), \dots)$ est le vecteur d'entrée ou de variables explicatives ;

pour $t = 1, \dots, T$, avec T le nombre d'observations disponibles ;

h est l'intervalle d'échantillonnage, égal à un jour, une semaine, etc ... ;

i, j, k sont des indices de retard, $i \in \{1, \dots, I\}$, $j \in \{1, \dots, J\}$, $k \in \{1, \dots, K\}$;

I, J, K sont les retards maximums pour les différentes entrées ;

$e(t)$ est un terme aléatoire qui représente l'erreur de prévision (résidu).

L'identification du modèle consiste, après avoir défini les différentes variables d'entrée et la fonction f , à chercher un vecteur w tel qu'une fonction critère, mesurant l'accord entre la série observée et la sortie calculée par le modèle, soit optimale.

3.2.2 Méthode de modélisation par RNA

Les RNA multicouches sont constitués d'éléments de calcul, appelés neurones formels ou artificiels, répartis en couches. A chaque élément sont associés un état d'activation et une fonction d'activation (ou fonction de transfert) qui déterminent la valeur de son activation (ou sa sortie). Contrairement aux couches intermédiaires, appelées couches cachées, les couches d'entrée et de sortie codent des informations spécifiques au problème traité.

La fonction d'un tel réseau est de modéliser la transformation entre un espace d'entrée, représenté par les variables explicatives ($x(t)$), et un espace de sortie, représenté par la (les) variable(s) à expliquer ($y(t)$).

Le fonctionnement d'un réseau de neurones formels est défini par sa structure (nombre de couches et de neurones par couche) et par les valeurs des connexions (w) qui relient les neurones entre eux, appelées poids synaptiques.

Ainsi, on peut dire que la fonction f implémentée par le réseau de neurones est définie implicitement par la structure du réseau et la ou les fonctions d'activation.

Divers mécanismes, appelés méthodes d'apprentissage, permettent d'ajuster les poids synaptiques. Un des plus utilisés est la méthode de rétro-propagation (Rumelhart et al., 1986).

Le principe d'apprentissage de cette méthode est d'appliquer des corrections aux poids synaptiques selon un algorithme de gradient stochastique visant à minimiser l'erreur quadratique moyenne entre la sortie du réseau, $y_e(t)$, et la sortie désirée, $y_o(t)$.

D'après le théorème de Kolmogorov (Cybenko, 1989), sous certaines conditions peu restrictives sur les fonctions d'activation, un réseau de neurones ayant une couche cachée avec un nombre suffisant de neurones peut approcher n'importe quelle fonction continue.

En pratique cette grande capacité d'interpolation peut poser des problèmes, le réseau ayant tendance à modifier ses poids synaptiques pour modéliser chaque variation, même due à des erreurs dans les données, indépendante de la dynamique du phénomène étudié.

Pour contrôler ce sur-apprentissage, la série de données est découpée en deux ensembles ; l'ensemble de calage (l'ensemble d'apprentissage en terminologie connexionniste), servant à calculer les paramètres w , et l'ensemble de validation. Ce dernier n'ayant pour rôle que de contrôler l'apprentissage sur des données n'appartenant pas à l'ensemble d'apprentissage, il n'intervient en fait pas directement dans l'estimation des paramètres.

Le théorème précédent n'est toutefois qu'un théorème d'existence et il ne dit rien sur la taille (nombre de neurones de la couche cachée) adéquate du réseau dans une application spécifique. La taille du réseau est étroitement dépendante de données concernant l'ensemble d'apprentissage.

Si le réseau est relativement grand par rapport à la complexité du système étudié, il devient sensible au sur-apprentissage, si le nombre de neurones est trop petit, le réseau se montre incapable d'approcher la relation entre les variables étudiées.

Dans la pratique, le nombre des neurones est défini empiriquement ; après l'essai de réseaux de tailles différentes, le réseau de taille minimale, satisfaisant un critère de performance pour l'ensemble d'apprentissage et l'ensemble de validation, est retenu.

Des méthodes de constructions de réseaux d'une taille minimale existent (Hirose et al., 1991; Weigend et al., 1991), mais aucune d'entre elles ne peut garantir, de manière théorique, qu'un réseau est optimal.

Aussi, bien qu'attrayante pour les hydrologues (voir par exemple Coulibaly et al., 1999; Coulibaly et al., 2000; Anctil et al., 2003; Anctil et al., 2004a; Anctil et al., 2004b), la modélisation par réseaux de neurones artificiels manque toujours de normes qui aideraient les concepteurs de modèles hydrologiques à créer et à former des modèles pluie-débit efficaces d'une manière systématique.

3.3. Méthode PQb

Lors de l'étude sur la prévision des crues de la Savoureuse à Belfort (code HYDRO U2345030 dans notre base de données, 141 km²), Fourmigué (2003) a testé le modèle de prévision pluie-débit PQb de la DIREN Midi Pyrénées (initialement conçu par Fabret (1968)).

Il s'agit d'une formule qui lie les précipitations sur l'ensemble du bassin versant avec le débit à l'exutoire. La formule de prévision utilisée est la suivante :

$$Q(t+L) = \frac{\alpha-1}{\alpha} \cdot Q(t) + \frac{S \cdot b}{\alpha \cdot L} \cdot \Pi \quad \text{Eq. 3.2}$$

avec : α : le coefficient de décrue (supérieur à 1)

L : le délai de prévision souhaité

S : la surface du bassin versant

b : coefficient de réduction des pluies. Il s'agit du rapport entre la pluie tombée et la pluie ruisselée. La valeur de ce coefficient appartient à [0,1].

Π : le cumul de pluie tombée entre $t-\beta L$ et t . Cette valeur est connue. Originellement β est pris égal à 1.

Pour estimer les capacités de ce modèle en prévision à 3 heures à Belfort, ses résultats ont été comparés à ceux du modèle GR3H (présenté ci-après) grâce à la Procédure de prévision Multi-Modèles (PMM) utilisée dans le logiciel SOPHIE du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Direction de l'Eau (Vidal et al., 1998 ; MEDD, 2004). Les résultats sont proches, avec néanmoins un léger avantage pour PQb. La comparaison avec des modèles au pas de temps journalier, sur notre base de données, est présentée au Chapitre 4.

3.4. Méthode GR3H

3.4.1 Présentation du modèle GR3H

Le modèle pluie-débit GR3H (GR pour Génie Rural, 3 pour les trois paramètres ABC, H pour Horaire) développé au Cemagref, est de type conceptuel et est un précurseur du modèle GR4J présenté au chapitre 4. Le bassin versant y est considéré comme une «boîte noire» dont le signal d'entrée est la pluie horaire sur le bassin et le signal de sortie le débit horaire à l'exutoire. Il associe :

- une fonction de production à un paramètre A (niveau maximal du « réservoir-sol » S). Elle assure la transformation de la pluie brute P en pluie nette Pr, la différence Ps étant stockée définitivement dans le réservoir S.
- une fonction de transfert définie par deux paramètres : B (capacité maximale sur un pas de temps d'un réservoir de transfert R) et C (temps de montée des hydrogrammes unitaires HU1 et HU2). Elle assure la transformation de la pluie nette Pr en débit Q à l'exutoire, avec un retard (apporté par C) et un étalement dans le temps (assuré par le réservoir de transfert R, qui stocke partiellement pour assurer la décrue).

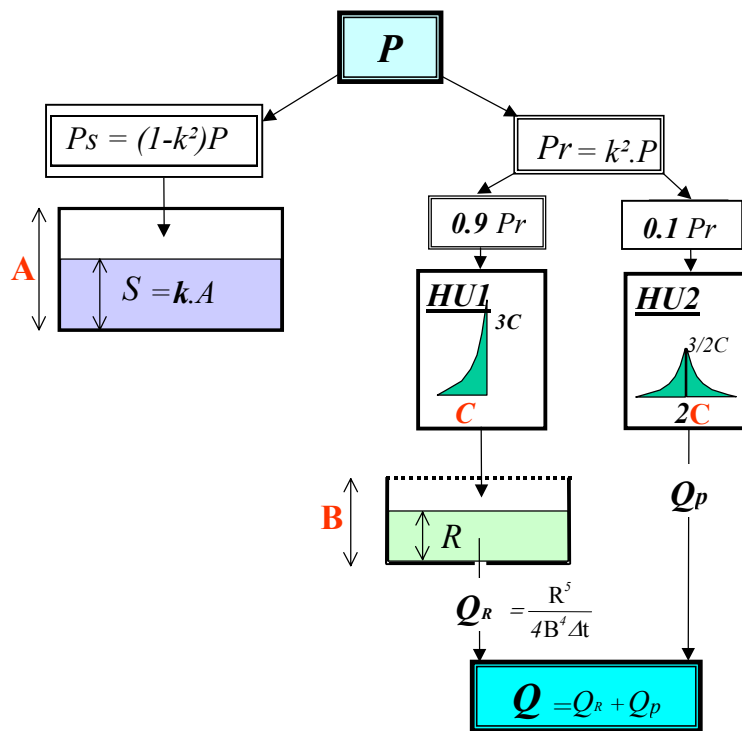


Figure 3.2 : Schéma structurel du modèle GR3H

Le fonctionnement en mode événementiel (i.e. discontinu dans le temps) nécessite l'initialisation, en début de crue, des niveaux des réservoirs A et B :

- pour R : le niveau R_0 est directement déduit de la valeur du débit initial Q_0 .
- pour S : le niveau S_0 est un paramètre supplémentaire propre à chaque événement, théoriquement fonction des antécédents pluviométriques. On l'utilise plutôt sous la forme d'un taux de remplissage noté S_0/A .

Avant d'utiliser ce modèle hydrologique comme outil de prévision, il est nécessaire de caler ce modèle en simulation sur des événements pluie-débit connus. Le calage du modèle consiste à optimiser les valeurs des paramètres que l'on décide de laisser libres pour essayer, à partir de l'information pluviométrique, de reproduire au mieux l'hydrogramme de crue observé.

3.4.2 Prévision avec GR3H : Méthodologie

Pour utiliser le modèle GR3H en prévision, on fait certaines hypothèses :

- ♦ Réservoir S : on garde la valeur du paramètre A obtenue au calage sur toutes les crues. Initialisation : pour un fonctionnement en prévision "temps réel", la valeur du niveau initial S_0/A n'est pas connue a priori (contrairement au calage) et doit donc être approchée par une procédure d'optimisation. Ainsi, à chaque instant de prévision, on va chercher la

valeur de S_0/A qui permet de reconstituer au mieux les dernières valeurs connues de l'hydrogramme observé. On procède par minimisation de l'écart entre les débits observés et les débits calculés sur un nombre d'heures égal à C (temps de montée de l'hydrogramme unitaire). La plage de variation autorisée pour S_0/A est celle trouvée au calage.

- ◆ Réservoir R : on garde la valeur du paramètre B obtenue au calage sur toutes les crues.
- Initialisation : le niveau initial reste calculé à partir du débit Q_0 en début de crue, comme au calage.
- ◆ Paramètre C du modèle : des analyses de sensibilité, dans le cadre de l'étude sur la prévision des crues de la Savoureuse à Belfort (Fourmigué, 2003), ont montré que la prévision était meilleure avec une valeur plus faible de 10 à 20% environ que celle obtenue au calage, surtout pour les crues dont le C au calage crue par crue est inférieur au C du calage sur toutes les crues.
- ◆ Repositionnement sur le débit observé : vu que le S_0/A optimisé ne permet pas de trouver la valeur exacte du débit observé à l'instant de prévision $Q_{obs}(t)$, on applique la formule ci-dessous pour compenser l'écart correspondant :

$$Q_{repositionné}^{prévu}(t_0 + L) = Q_{calculé}^{modèle}(t_0 + L) + [Q_{obs}(t_0) - Q_{calculé}^{modèle}(t_0)] \quad \text{Eq. 3.3}$$

3.5. Prévision avec la Procédure Multi-Modèles (PMM)

La procédure multi-modèles, dite *simplifiée* (Roche et Tamin, 1986 ; Roche et Torterotot, 1987), est celle utilisée dans le logiciel SOPHIE du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Direction de l'Eau (Vidal et al., 1998 ; MEDD, 2004). Le principe de la méthode est de combiner les sorties de différents modèles fonctionnant en parallèle, en fonction de leurs niveaux d'erreurs en général ou à l'instant de prévision en particulier. Les débits simulés par les différents modèles sont combinés de la manière suivante :

$$Q(t+L) = \sum_{i=1}^n W_{i,t+L} \cdot Q_i(t+L) \quad \text{Eq. 3.4}$$

où les Q_i et les $W_{i,t+L}$ sont respectivement les prévisions et les poids des n différents modèles, pour i variant de 1 à n .

L'expression du poids $W_{i,t+L}$ dans cette procédure simplifiée est issue de démarches empiriques. Roche et Tamin (1987) ont choisi un poids composé de deux termes :

- un terme stationnaire $w_{i,0}$ dit *poids stationnaire*. Il traduit le fonctionnement dans le mode normal, c'est-à-dire les configurations recensées par les crues utilisées pour le calage des modèles.
- un terme non stationnaire $W_{i,t+L}$ dit *poids évolutif*. Ce poids dépend de t , il traduit l'adaptation de la procédure aux données les plus récentes, dans des configurations hydrologiques et météorologiques non prévues lors du calage des modèles.

Ces poids sont inversement proportionnels aux *variances des erreurs*, passées pour le poids stationnaire, récentes pour le poids évolutif :

- pour le modèle i et quel que soit t , l'expression du **poids stationnaire** est:

$$w_{i,0} = \frac{V_i^{-1}}{\sum_i V_i^{-1}} \quad \text{Eq. 3.5}$$

où les V_i sont les variances des n modèles calculées lors de leur calage.

- et l'expression du **poids évolutif** du modèle i à l'instant $t+L$ est:

$$w_{i,t+L} = \frac{V_{i,t}^{-1}}{\sum_i V_{i,t}^{-1}} \quad \text{Eq. 3.6}$$

{ $V_{i,t}$ est la variance lissée des erreurs du modèle i (à t),

avec $V_{i,t} = \alpha.V_{i,t-1} + (1-\alpha).e_{i,t}^2$, où $\{e_{i,t}$ est l'erreur du modèle i à l'instant t ,

et $\{\alpha$ est un coefficient constant compris entre 0 et 1.

Le calcul du **poids total** se fait par combinaison linéaire des poids stationnaire et évolutif:

$$W_{i,t+L} = \beta.w_{i,0} + (1-\beta).w_{i,t+L} \quad \text{Eq. 3.7}$$

β est une constante comprise entre 0 et 1, qui traduit la probabilité d'être dans les conditions de fonctionnement normal, tandis que $(1-\beta)$ traduit la probabilité de se trouver dans les conditions de fonctionnement spécifiques aux dernières données reçues.

En pratique, l'introduction d'une partie stationnaire dans le poids des modèles permet d'en atténuer de trop fortes fluctuations. Nous remarquons que le poids évolutif attribué à la prévision à $t+L$ est calculé à partir des écarts quadratiques de l'instant t . On considère donc que le meilleur modèle à $t+L$ est le meilleur modèle à t .

Les résultats de la prévision étant peu influencés par la variation des constantes α et β (Roche et Tamin, 1986), des valeurs moyennes $\alpha = \beta = 0.5$ ont donc été adoptées. Ainsi, on accorde autant d'importance aux erreurs passées qu'aux erreurs récentes; le fonctionnement normal et le fonctionnement récent sont également conséquents dans le calcul du poids.

La procédure multi-modèles est une bonne adaptation aux **contraintes du temps réel**, en réponse aux différentes configurations hydrologiques prévues et non prévues, en fournissant une pondération optimale des résultats de plusieurs modèles. Elle est, de ce point de vue, meilleure que les méthodes de changement de modèles qui peuvent entraîner de fortes discontinuités dans les prévisions lors des passages d'un modèle à un autre (Loumagne et al., 1995).

3.6. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les détails de quelques méthodes de prévision des crues couramment utilisées. Nous avons pu constater que les approches pour résoudre le problème de prévision sont assez variées. Elles font appel (1) à des modèles hydrologiques de niveaux de complexité variés, allant de la simple formule rationnelle aux réseaux de neurones comportant beaucoup de paramètres, en passant par des modèles conceptuels et (2) à diverses stratégies de mise à jour pour exploiter l'information contenue dans les séries de débits observés (utilisation directe du débit, mise à jour séquentielle, approche multi-modèle).

Dans la suite, nous analysons le comportement de ces méthodes en prévision sur notre base de données et nous en déduisons les pistes de travail les plus prometteuses pour nos recherches.

Ce quatrième chapitre analyse les résultats de l'application des méthodes de prévision de crues de la littérature présentées précédemment, soit à notre base de données soit dans le cadre d'autres études de prévision. A partir de cet état des lieux des performances de ces méthodes, nous identifions certaines voies de travail que nous proposons de suivre, en particulier l'adaptation de la structure du modèle pluie-débit GR4J à l'exercice de prévision et l'intégration de la technique de mise à jour des états du modèle en temps réel. Nous faisons ici également un bref rappel sur le modèle GR4J que nous utiliserons dans la suite de recherche.

CHAPITRE 4

CHAPITRE 4

ANALYSE DES RESULTATS DES MÉTHODES DE PRÉVISION DE CRUES EXISTANTES

Certains des résultats présentés dans ce chapitre sont issus d'études antérieures menées uniquement sur certains bassins versants de notre base de données (Yang et Michel, 2000 ; Anctil et al., 2003, 2004a,b ; Fourmigué, 2003).

4.1. Résultats obtenus par l'approche de Yang sur la base de données

Pour tester l'approche de Yang sur notre base de données, nous avons fait appel aux deux modèles globaux pluie-débit suivants, dont les performances sont connues en simulation :

- XTOPMODEL (10 paramètres), modèle dérivé du modèle TOPMODEL à 8 paramètres,
- XGR4J (6 paramètres), modèle dérivé du modèle GR4J à 4 paramètres.

Ces modèles comportent chacun deux paramètres de plus que les versions initiales (décrites ici en 4.1 et 4.5 ci-après) car deux paramètres supplémentaires α et β ont été ajoutés à chaque modèle pour réduire les erreurs systématiques sur les pointes de crue. Ils agissent de la façon suivante :

Si le modèle de base donne Q_I , *alors* le modèle avec ajout donne $Q = \alpha Q_I^\beta$.

α et β sont ajustés après les autres paramètres du modèle (dans la zone proche de l'optimum).

On souhaite en effet que leur rôle soit restreint à la correction d'erreurs systématiques, telles que celles qui pourraient affecter la courbe de tarage.

Nous avons testé ces modèles sur l'ensemble de nos bassins versants. Chaque modèle est calé sur une première partie des données et utilisé en prévision sur l'autre partie (de taille équivalente à la première) et vice versa. Le critère de persistance, sous la forme du $C_{2M/P}$ défini au Chapitre 1, est calculé sur l'ensemble des deux opérations de prévision.

La valeur moyenne des 188 critères de persistance sur tous les bassins versants traités, notée \bar{E} , est le critère final d'appréciation des méthodes.

Les résultats présentés ici concernent trois variantes de la méthode de mise à jour de Yang (cf chapitre 2 § 2.2) :

- méthode de Yang-pluies (ajuste les pluies en entrée du modèle),
- méthode de Yang-paramètres (ajuste les paramètres du modèle),
- méthode de Yang-états (ajuste les états du modèle),

et une méthode de correction des erreurs de sortie du modèle, qui consiste en un report pur et simple de l'erreur relative constatée en mode de simulation par

$$Q(t+1) = C(t+1) \frac{O(t)}{C(t)} \quad \text{Eq. 4.1}$$

où C est le débit simulé, O est le débit observé et Q est le débit prévu.

Tableau 4.1 : Critères de persistance moyens ($C_{2M/P}$, en %) obtenus par différentes méthodes de prévision pour un délai de un jour

	Sans Mise à Jour	Modèle d'Erreur	Yang-Paramètres	Yang-Etats	Yang-Pluies
C2M/P (XTOPMODEL)	-42.9	12.3	-19.5	-32.3	-41.5
C2M/P (XGR4J)	-26.5	22.9	12.9	7.0	-24.6

Les résultats obtenus (critères $C_{2M/P}$ moyens sur l'ensemble des 188 bassins versants) sont très décevants puisque c'est le simple report d'erreur qui se révèle la méthode la plus efficace pour les deux modèles. Notons que les résultats sont très irréguliers avec, selon les bassins versants, des résultats très bons ou très mauvais (Annexe 2, § A2.1). Cette irrégularité par bassin versant est très troublante mais ne met pas cause dans notre esprit notre approche généraliste du problème posé.

Modèle : TOPMODEL (TOPography-based hydrological MODEL) par Beven et Kirkby (1979)

(Institute of Environmental and Biological Sciences, University of Lancaster, Lancaster, Royaume-Uni - School of Geography, University of Leeds, Leeds, Royaume-Uni)

Buts de modélisation et domaines d'application :

Utilisation d'un indice topographique et de la notion de zone contributive variable en modélisation pluie-débit; désir d'un compromis entre modélisation conceptuelle simple, modélisation prenant en compte la variabilité spatiale du bassin et possibilité d'avoir des paramètres mesurables sur le terrain. Nombreuses applications, notamment par couplage aux SIG (voir Beven *et al.*, 1995).

Description du modèle :

Nous décrivons ici la version originale présentée par Beven et Kirkby (1979); (voir également description par Beven *et al.*, 1995)

- Interception :

Le concept de base de TOMODEL est l'interception de la pluie brute par des zones contributives variables, dont l'état de saturation dépend du niveau du réservoir souterrain. La pluie brute tombant sur les zones saturées (zones contributives) est directement transformée en ruissellement de surface q_{of} :

$$q_{of} = i \cdot A_c$$

où i est l'intensité de pluie et A_c l'aire contributive, A_c étant telle que l'indice topographique vérifie :

$$\ln(a/\tan \beta) > (S_T - S_3)/m + \lambda$$

où $a/\tan \beta$ représente l'indice topographique (avec a l'aire drainée au point considéré par unité de contour et $\tan \beta$ la pente en ce point), S_T est le déficit à saturation moyen, S_3 le niveau du réservoir souterrain, m un paramètre de vidange du réservoir souterrain exponentiel et λ un paramètre représentant une moyenne de l'indice topographique sur le bassin. λ correspond à l'intégration sur l'aire totale du bassin A de la valeur de l'indice topographique :



Cette intégrale peut être calculée à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT).

Le réservoir d'interception de capacité maximale S_D , reçoit la partie complémentaire de la pluie brute et est soumis à l'ETP (taux potentiel). Le débordement P' du réservoir est séparé en deux

composantes, l'une allant dans un réservoir d'infiltration, l'autre servant à alimenter le débit de surface Q_{of} .

- Réservoir d'infiltration :

Le réservoir d'infiltration, de capacité maximale S_C et de niveau S_2 se remplit avec les débordements issus du réservoir d'interception si leur intensité est inférieure à i_{max} :

$$i_{max} = i_0 + b/S_2$$

où b est une constante et i_0 représente l'infiltration constante du réservoir d'infiltration vers le réservoir souterrain. Dans le cas où i_{max} est dépassée, l'excédant d'infiltration alimente le débit de surface. Le réservoir est soumis au restant d'évapotranspiration ETP' à un taux réel déterminé par :

$$e_a = ETP' \cdot S_2/S_C$$

Le réservoir peut déborder, le débordement servant également à alimenter le débit de surface.

- Réservoir eau-souterraine :

Il reçoit l'infiltration i_0 du réservoir infiltration. C'est un réservoir sans fond de capacité infinie. Il se vidange en un débit de base q_b suivant une loi exponentielle :

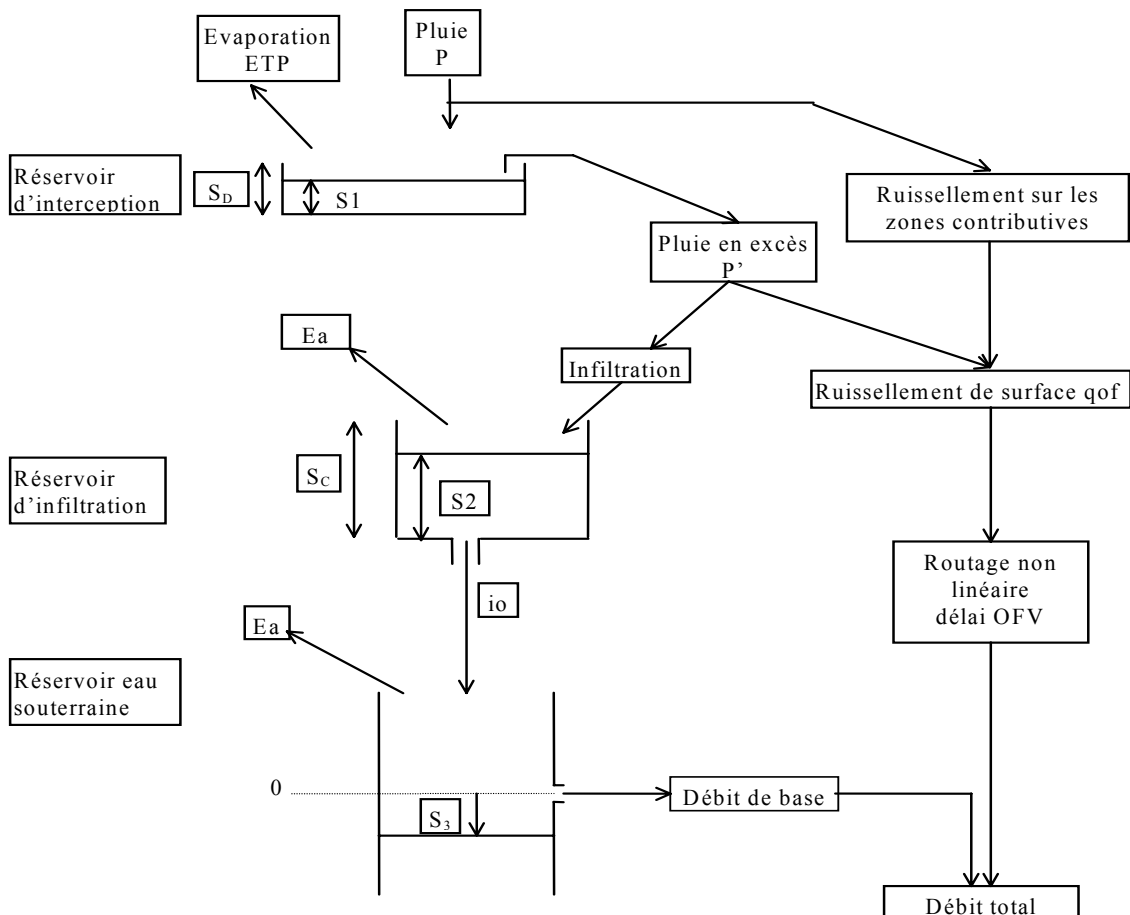
$$q_b = q_0 \cdot \exp(-S_3/m)$$

où S_3 représente le déficit à saturation, m est une constante et q_0 est le débit juste à saturation. q_0 peut être écrit sous la forme $q_0 = K_0 \cdot \tan\beta$, où K_0 est la transmissivité.

- Routage du débit de surface :

Un délai OFV permet de retarder l'écoulement de surface. Le routage est assuré de façon non-linéaire avec un routage en fonction puissance, l'exposant CHB et une constante CHA étant à optimiser.

Schéma structurel :



Paramètres :

Version à 10 paramètres + détermination de la distribution de l'indice topographique :

- SD, SC : capacité maximale des réservoirs d'interception et d'infiltration
- io, b : paramètres d'infiltration
- qo, m : paramètres de vidange du réservoir souterrain.
- OFV : délai
- CHA, CHB : paramètres de routage
- λ : paramètre dépendant de l'indice topographique

Technique d'optimisation des paramètres :

A l'origine, calcul de λ grâce à un MNT; autres paramètres (SD, SC, io, B et OFV) peuvent être déterminés par mesure sur le terrain. Calage automatique : Rosenbrock

Module neige : oui

Données :

En entrée, chroniques de pluies (+ débits en calage); Evaporation de Penman; Distribution de l'indice topographique sur le bassin

Pas de temps : Journalier

Commentaires :

Utilisation du modèle essentiellement avec un MNT qui permet d'estimer la distribution spatiale de l'indice topographique et de calculer la valeur du paramètre λ .

Site Internet: <http://www.es.lancs.ac.uk/es/research/hfdg/TOPMODEL.html>

Description et schéma de la version retenue : Symbole utilisé: XTOPMODEL

On retient une version à sept paramètres où la distribution de l'indice topographique est approximée par une fonction logistique dépendant de deux paramètres (dont m) (on ne dispose en effet pas d'informations sur les distributions des indices topographiques des bassins testés et le modèle paraît de plus en plus sensible à cette distribution). On supprime le réservoir d'infiltration jugé souvent inopérant. On suppose que le ruissellement est déterminé seulement par écoulement sur les zones contributives variables, sans activer de processus hortonien. On impose un même délai sur les deux composantes de l'écoulement, à la sortie des réservoirs. Le routage du ruissellement de surface est effectué par un réservoir de vidange quadratique. L'évapotranspiration agit à un taux potentiel sur le réservoir d'interception et à un taux réel sur le réservoir souterrain commandé par le taux de déficit à saturation de ce réservoir.

Paramètre X1 : Capacité du réservoir de routage quadratique

Paramètre X2 : Paramètre de vidange exponentielle

Paramètre X3 : Capacité du réservoir d'interception (pouvant éventuellement être fixée)

Paramètre X4 : Délai

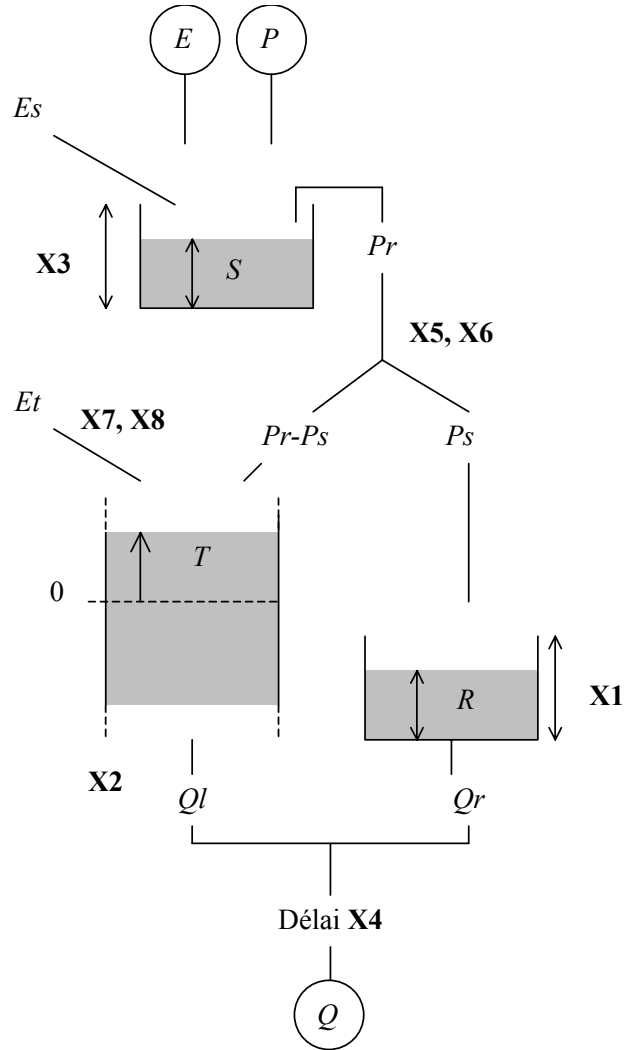
Paramètre X5 : Paramètre m

Paramètre X6 : Paramètre de l'indice topographique

Paramètre X7 : Paramètre d'ETP

Paramètre X8 : Paramètre d'ETP

Structure XTOPMODEL :



$$S = S + P$$

$$Es = \min(S, E)$$

$$S = S - Es$$

$$E' = E - Es$$

$$Pr = \max(0, S - X3)$$

$$S = S - Pr$$

$$Ps = \frac{Pr}{1 + \exp(X6 - T/X5)}$$

$$T = T + Pr - Ps$$

$$Es = \frac{E'}{1 + \exp(X7 - T/X5)}$$

$$T = T + Es$$

$$R = R + Ps$$

$$Qr = \frac{R^2}{R + X1}$$

$$R = R - Qr$$

$$Qt = X2 \cdot \exp\left(\frac{T}{X2}\right)$$

$$T = T - Qt$$

$$Q = Qt + Qr \quad (\text{avec translation dans le temps de } X4 \text{ pas de temps})$$

4.2. Comparaison des prévisions par RNA et d'autres modèles de prévision pluie-débit

Dans une étude sur le bassin versant du Serein à Chablis (code HYDRO H2342010 dans la base de données) menée au Cemagref (Anctil et al., 2003), des Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) ont été testés pour la mise à jour des sorties des prévisions à un et trois jours issues de trois modèles conceptuels globaux pluie-débit : GR4J, IHAC et TOPMODEL.

Sur ce bassin versant, la mise à jour des sorties des modèles par les RNA prouva sa supériorité sur le schéma de mise à jour des paramètres de Yang et Michel (2000) et sur un schéma de mise à jour élémentaire par report d'erreur des sorties, qui reporte la dernière erreur de simulation.

En fait, la mise à jour des sorties des modèles par des RNA a été capable de compenser de fortes différences dans les performances initiales des trois modèles conceptuels pluie-débit, ce que les autres approches de mise à jour n'ont pas été capables de réaliser. Ceci a été fait principalement par incorporation des vecteurs d'entrée usuellement exploités pour la modélisation pluie-débit des RNA tels que les observations de pluie et débit antérieurs.

Pour les prévisions avec un délai de **un jour**, les performances des trois modèles conceptuels globaux pluie-débit, utilisés conjointement avec la mise à jour par les RNA, étaient équivalentes à celle de RNA utilisés seuls.

Pour un délai de prévision de **trois jours**, les performances des modèles conceptuels avec mise à jour des sorties des modèles étaient souvent supérieures à celles du RNA utilisé seul, révélant ainsi que les modèles conceptuels ont un rôle sur la mémoire du système que les RNAs ne prennent pas compte. Toutefois, des recherches complémentaires s'appuyant sur une variété de bassins versants semblent nécessaires pour confirmer cette dernière assertion.

4.3. Comparaison des prévisions PQb et GR3H

La conclusion générale de l'étude de la prévision des crues de la Savoureuse à Belfort (Fourmigué, 2003) sur la comparaison des prévisions PQb et GR3H est la suivante :

« Avec le modèle pluie-débit GR3H du Cemagref, on a obtenu une bonne reconstitution des hydrogrammes aux quatre stations hydrométriques sur 2/3 des événements de crue (en moyenne). Cependant, le calage fut meilleur pour les deux bassins de plus grande superficie, Belfort et Giromagny. L'utilisation de ce modèle en prévision des crues aux trois stations amont a donné de bons résultats pour plus de la moitié des crues (un tiers seulement, à la station de Chaux sur la Rosemontoise). En combinant ces prévisions pluie-débit avec une formule de propagation, le délai de prévision à Belfort est porté de 3 à 6 heures, avec des résultats intéressants, malgré une certaine tendance à la surestimation des pointes de crues.

La comparaison des modèles pluie-débit GR3H et PQb (utilisés avec une procédure multimodèle), pour une prévision à 3h à Belfort, a mis en évidence des comportements assez proches, mais avec une légère supériorité pour PQb, du moins sur ce bassin. »

4.4. Réflexions à la lumière des résultats précédents et proposition d'une démarche plus simple

Pourquoi envisager une autre approche du problème de prévision de crue ?

Les constats des études précédentes sont les suivants :

- Insuffisance très marquée des résultats obtenus par l'application de la méthode de Yang (1993) à notre base de données,
- Résultats très probants obtenus par Anctil et al. (2003) sur quelques bassins versants de notre base de données avec son approche de Réseau de Neurones Artificiels simple ($Q_{t+1} = f(Q_t, P_t, P_{t-1}, P_{t-2})$),
- Résultats, tout aussi intéressants, obtenus par Fourmigué (2003) lors d'une étude sur la prévision des crues de la Savoureuse à Belfort avec le modèle de prévision pluie-débit simple PQb.

Ces premiers résultats tendent à montrer que l'approche de Yang (approche combinant mode simulation et mode adaptatif), adoptée en première intention pour le canevas de notre thèse, est peut-être trop sophistiquée comparée à des approches plus simples, orientées directement vers la prévision de crue. Nous proposons donc de ne pas pousser plus loin son étude dans le cadre de cette recherche, mais plutôt de nous orienter vers une nouvelle approche.

Par ailleurs, le Tableau 4.2 illustre bien la situation paradoxale dans laquelle on se trouve lorsque l'on compare les modèles GR4J et PQb. Le premier semble avoir plus d'atouts d'un point de vue de sa consistance hydrologique mais il obtient de moins bons résultats en prévision.

Tableau 4.2 : Points forts et points faibles respectifs des modèles GR4J et PQb

Modèle	Caractéristiques en Simulation				Efficacité en Prévision
	Rendement	Routage	Calage-Paramètres	Mise à jour	
PQb	- linéaire	- - linéaire	+ calage global	- R seul	+
GR4J	+ non linéaire	+ + non linéaire	- calages en simulation	+ toutes les possibilités	-

Enfin, les modèles fonctionnant directement en mode de prévision pour la détermination des paramètres (tels que les RNA) semblent performants. Partant du constat d'une situation apparemment paradoxale (**un modèle peu performant en simulation peut-il réellement s'avérer meilleur en prévision qu'un modèle très performant en simulation ?**), nous tentons de bien identifier les causes de ce phénomène pour mieux le comprendre, en initiant une nouvelle approche du problème de prévision de crue posé.

Nous nous proposons de partir de modèles pluie-débit classiques simplifiés (performants en simulation) et plus complets que le modèle PQb (un peu rustique), pour rechercher une méthode de prévision de crue avec un calage direct du modèle pluie-débit en situation de prévision, sans calage préalable du modèle en simulation.

Parmi les voies de recherche particulièrement intéressantes, nous avons axé notre travail sur la définition d'une **formulation simplifiée de la structure du modèle pluie-débit GR4J, mieux adaptée à la prévision de crue**, permettant en particulier de réaliser une **optimisation des paramètres dans un contexte prévisionnel** et une **actualisation directe des états du modèle** en fonction du dernier débit observé. Par la suite, cette nouvelle stratégie plus simple de prévision sera nommée « **méthode directe** » de prévision de crue. Nous partons pour cela du modèle GR4J. Nous nous proposons d'en donner ici une courte description pour mieux comprendre son fonctionnement.

4.5. Le modèle empirique global choisi comme référence

Le modèle GR4J (Perrin, 2002) qui va servir de base de départ à cette recherche est un modèle pluie-débit global à quatre paramètres journalier. Sa structure est illustrée à la Figure 4.1. Nous donnons une description de son fonctionnement dans ce qui suit.

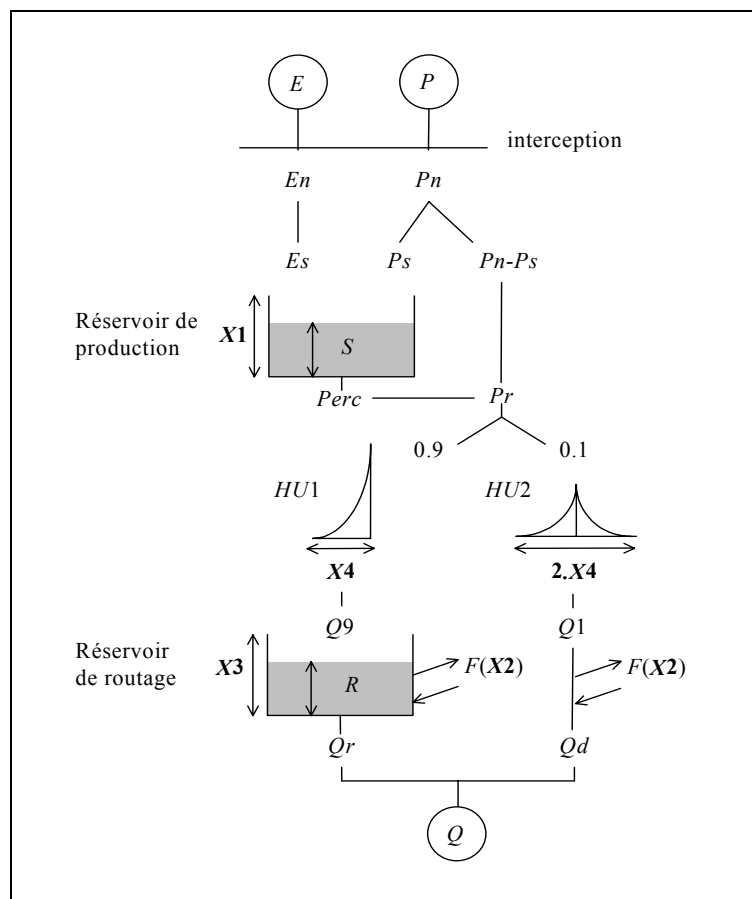


Figure 4.1 : Schéma de la structure du modèle GR4J (d'après Perrin, 2002)

Dans la suite, on désignera par P (mm) la hauteur du pluie et par E (mm) l'évapotranspiration potentielle (ETP). P est une estimation de la pluie de bassin et E peut-être issue d'une courbe d'ETP moyenne inter-annuelle. Les équations suivantes correspondent aux équations intégrées sur un pas de temps.

La première opération est la neutralisation de P par E pour déterminer une pluie nette P_n et une évapotranspiration nette E_n calculée par :

$$\text{Si } P \geq E, \text{ alors } Pn = P - E \quad \text{et} \quad En = 0 \quad \text{Eq. 4.2}$$

$$\text{Si } P < E, \text{ alors } Pn = 0 \quad \text{et} \quad En = E - P \quad \text{Eq. 4.3}$$

Dans le cas où Pn est différente de zéro, une partie Ps de Pn alimente le réservoir de production et est calculée par :

$$Ps = \frac{X1 \cdot \left(1 - \left(\frac{S}{X1}\right)^2\right) \cdot \tanh\left(\frac{Pn}{X1}\right)}{1 + \frac{S}{X1} \cdot \tanh\left(\frac{Pn}{X1}\right)} \quad \text{Eq. 4.4}$$

où $X1$ (mm) est la capacité maximum du réservoir de production.

Dans le cas contraire, lorsque En est différent de zéro, une quantité d'évaporation Es est retirée du réservoir de production. Elle est donnée par :

$$Es = \frac{S \cdot \left(2 - \frac{S}{X1}\right) \cdot \tanh\left(\frac{En}{X1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{X1}\right) \cdot \tanh\left(\frac{En}{X1}\right)} \quad \text{Eq. 4.5}$$

Le contenu du réservoir est mis à jour par :

$$S = S - Es + Ps \quad \text{Eq. 4.6}$$

Une percolation $Perc$ issue du réservoir de production est alors calculée par l'équation suivante :

$$Perc = S \cdot \left\{1 - \left[1 + \left(\frac{4}{9} \frac{S}{X1}\right)^4\right]^{\frac{1}{4}}\right\} \quad \text{Eq. 4.7}$$

Le contenu du réservoir est mis à jour par :

$$S = S - Perc \quad \text{Eq. 4.8}$$

et la quantité d'eau Pr qui atteint finalement la partie transfert du modèle est donnée par :

$$Pr = Perc + (Pn - Ps) \quad \text{Eq. 4.9}$$

Pr est divisée en deux composantes d'écoulement, 90 % étant transférés par un hydrogramme unitaire $HU1$ et un réservoir de routage et 10 % par un unique hydrogramme unitaire $HU2$. $HU1$ et $HU2$ dépendent du même paramètre $X4$, temps de base de $HU1$ exprimé en jours.

Les ordonnées des hydrogrammes sont calculées à partir des courbes en S notées respectivement $SH1$ et $SH2$.

$SH1$ est définie en fonction du temps par :

$$\text{Pour } t \leq 0, \quad SH1(t) = 0 \quad \text{Eq. 4.10}$$

$$\text{Pour } 0 < t < X4, \quad SH1(t) = \left(\frac{t}{X4}\right)^{\frac{5}{2}} \quad \text{Eq. 4.11}$$

$$\text{Pour } t \geq X4, \quad SH1(t) = 1 \quad \text{Eq. 4.12}$$

$SH2$ est définie de façon similaire par :

Pour $t \leq 0$, $SH2(t) = 0$ Eq. 4.13

Pour $0 < t \leq X4$, $SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$ Eq. 4.14

Pour $X3 < t < 2.X4$, $SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left(2 - \frac{t}{X4} \right)^{\frac{5}{2}}$ Eq. 4.15

Pour $t \geq 2.X4$, $SH2(t) = 1$ Eq. 4.16

Les ordonnées de $HU1$ et $HU2$ sont alors calculées par :

$UH1(j) = SH1(j) - SH1(j - 1)$ Eq. 4.17

$UH2(j) = SH2(j) - SH2(j - 1)$ Eq. 4.18

où j est un entier.

Un échange souterrain en eau est calculé par :

$F = X2 \left(\frac{R}{X3} \right)^{7/2}$ Eq. 4.19

où R est le niveau dans le réservoir, $X3$ la capacité à un jour du réservoir et $X2$ le coefficient d'échange en eau qui peut être positif dans le cas d'apports, négatif dans le cas de pertes vers des nappes profondes ou nul.

Le niveau dans le réservoir de transfert est mis à jour en ajoutant la sortie $Q9$ de l'hydrogramme $HU1$ et F :

$R = \max (0 ; R + Q9 + F)$ Eq. 4.20

Il se vidange ensuite en une sortie Qr donnée par :

$Qr = R \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X3} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\}$ Eq. 4.21

Le niveau dans le réservoir devient :

$R = R - Qr$ Eq. 4.22

La sortie $Q1$ de l'hydrogramme $HU2$ est soumise au même échange pour donner la composante d'écoulement Qd :

$Qd = \max (0 ; Q1 + F)$ Eq. 4.23

Le débit total Q est alors donné par :

$Q = Qr + Qd$ Eq. 4.24

Les quatre paramètres optimisables du modèle sont :

- $X1$: capacité du réservoir de production (mm)
- $X2$: coefficient d'échanges souterrains (mm)
- $X3$: capacité à un jour du réservoir de transfert (mm)
- $X4$: temps de base de l'hydrogramme unitaire $HU1$ (jour)

4.6. Vers une nouvelle approche : comparaison de méthodes directes de base (GR4JSI, PQb et GR3JPR)

Partant des observations précédentes, un nouveau mode de fonctionnement des modèles a donc été mis au point dans un cadre qui permet le calage simultané d'un modèle et de son utilisation en prévision (nous appelons cela une approche directe). Trois modèles journaliers simples, dont les diagrammes et les schémas structurels sont donnés en Annexe 2, ont été préparés pour initier les recherches. Il s'agit du modèle PQb de Fabret et de deux versions simplifiées du modèle GR4J présenté précédemment :

- GR4JSI (GR4J-Simplifié, 3 paramètres),
- PQb (PQb-Fabret, 3 paramètres),
- GR3JPR (GR3J-Prévision, 3 paramètres).

La caractéristique principale des deux versions simplifiées du modèle GR4J est de ne pas présenter de branche d'écoulement directe et de réaliser une mise à jour directe des états du modèle. Dans GR4JSI, la mise à jour directe est appliquée au seul réservoir de transfert, alors qu'elle est appliquée aux deux réservoirs (de production et de transfert) dans GR3JPR. Deux versions du modèle GR4JSI ont été testées (avec un réservoir de transfert quadratique et avec un réservoir de transfert cubique).

Pour tester ces modèles, nous utilisons la même approche que celle utilisée précédemment pour tester la méthode de Yang, avec des tests en calage-contrôle sur périodes indépendantes sur chaque bassin et une évaluation des performances par l'intermédiaire du critère de persistance $C_{2M/P}$, moyenné sur l'ensemble de l'échantillon de bassins.

Tableau 4.3 : Comparaisons des résultats ($C_{2M/P}$, en %) obtenus par différentes méthodes « directes » de prévision sur l'ensemble de l'échantillon de bassins

Critère de Persistance ($C_{2M/P}$)	GR4JSI (GR4J-Simplifié)		PQb (PQb-Fabret)	GR3JPR (GR3J-Prévision)
	Réservoir quadratique	Réservoir cubique		
$C_{2M/P}$ minimal	-73.3	-61.6	-3.8	-3.1
$C_{2M/P}$ moyen	26.2	26.7	13.0	26.5
$C_{2M/P}$ maximal	66.4	68.2	37.2	70.0
% de BV où $C_{2M/P}$ moyen ≥ 0	94	94	97	97

Les résultats du Tableau 4.3 montrent que :

- dans ces versions de l'approche directe, la tendance s'inverse par rapport à celle qui a été constatée précédemment dans l'approche de Yang : ici, ce sont les deux modèles GR4JSI et GR3JPR, presque équivalents (26.7% et 26.5%), qui sont tous deux meilleurs en prévision que le modèle PQb (13.0%) ;
- pour le modèle GR4JSI, le réservoir de transfert cubique est meilleur d'un demi point au quadratique (26.7% et 26.2%) ;

- la suppression du réservoir de production dans GR3JPR ne semble apparemment pas poser de problème particulier ;
- les modèles PQb et GR3JPR sont tous deux plus robustes (97% de succès) que le modèle GR4JSI (94% de succès), quel que soit son type de réservoir de transfert. Mais GR4JSI cubique (26.7%), légèrement supérieur à GR3JPR (26.5%), est beaucoup plus performant que PQb (13.0%). Et GR4JSI quadratique (26.2%), légèrement inférieur à GR3JPR (26.5%), est aussi beaucoup plus performant que PQb (13.0%).

Par ailleurs, l'analyse des résultats présentés en Annexe 2 montre que, pour les deux modèles GR4JSI et GR3JPR, les fluctuations du critère de persistance moyen ($C_{2M/P \text{ moyen}}$) avec les fonctions de production et de transfert sont limitées.

4.7. Conclusions et perspectives pour la poursuite de ce travail

Les résultats obtenus permettent de tirer quelques premières conclusions :

- a) la démarche qui consiste à caler simultanément le modèle et sa technique d'utilisation en prévision se révèle très robuste avec peu d'échecs (de 3% pour GR3JPR à 6% pour GR4JSI). Cette façon de faire constitue donc une piste de recherche à privilégier pour la suite de notre recherche, contrairement à ce qui a été paradoxalement observé avec la méthode de Yang ;
- b) la complexité et la non-linéarité des composants des modèles utilisés ne semblent pas des handicaps pour leur utilisation en prévision, les versions simplifiées de GR4J, plus complexes que PQb, obtenant de meilleurs résultats ;
- c) il est probable que l'on gagnera à proposer une correction de la fonction de rendement car GR3JPR semble aussi efficace que GR4JSI, probablement grâce à la correction de sa fonction de rendement.

Ainsi, la leçon essentielle à retenir des essais précédents est qu'il faut travailler en une seule étape, c'est à dire concevoir et caler un modèle global pluie-débit directement en mode de prévision.

Dans la suite, nous cherchons à trouver les versions les plus performantes de ces modèles simples de prévision.

Dans ce cinquième chapitre, nous analysons en détail plusieurs configurations successives de la structure du modèle conceptuel du Génie Rural (GR) retenu comme référence. Nous partons de sa structure la plus simple (GR3JPR) jusqu'à sa structure la plus complexe (GR4J) en passant par celle ne possédant pas les fonctions d'échanges (GR4JSE). Sur chacune de ces structures, nous expérimentons de multiples procédures et points d'application des mises à jour et nous en découvrons leurs limites. Ensuite, nous entreprenons une étude exhaustive, sur la même base que précédemment, de différentes versions de sa structure simplifiée (GR4JSI) qui apparaît comme la structure de base la plus prometteuse en prévision de crue.

CHAPITRE 5

CHAPITRE 5

JUSQU'OU PEUT ALLER LA MISE Á JOUR D'UN MODÈLE TEL QUE GR4J ?

5.1. Méthodes directes de mise à jour par assimilation du dernier débit observé

Parmi les méthodes directes de mise à jour, deux d'entre elles, mise à jour des états et mise à jour des paramètres, sont plus particulièrement adaptées aux modèles non linéaires tels que les modèles conceptuels utilisés (car leur ajustement conjoint avec les stocks assure le maintien de la continuité des flux d'eaux calculés par le modèle).

Dans le cadre de nos travaux de recherche, un algorithme associé à la mise à jour des états du modèle a été développé pour réajuster le modèle pluie-débit, calé en prévision à chaque pas de calcul, à partir des observations. Une approche directe réajuste le modèle à chaque fois qu'un débit observé est disponible, la nouvelle observation fournissant alors les nouvelles conditions initiales du modèle.

Le but de la démarche est d'étudier l'amélioration apportée par une méthode de mise à jour des états des réservoirs d'un modèle pluie-débit, calé simultanément en même temps que sa technique d'utilisation en prévision, basée sur l'assimilation du dernier débit observé. Cette méthodologie se différencie de celle de Yang par le calage direct du modèle en prévision et non pas en simulation réajustée sur une durée rétroactive d'ajustement pour effectuer la prévision.

L'algorithme utilisé dans cette démarche (exemple en Figure 5.1), que l'on retrouve dans tous les diagrammes des variantes des modèles testées successivement au cours de notre travail, est le suivant : **aujourd'hui** est le jour de l'opération de prévision et **demain** le jour où le débit est prévu (l'indice **1** est utilisé pour le jour où est effectuée la prévision et l'indice **2** pour le lendemain, le jour où le débit est prévu) :

- a) Soient P_1 et E_1 la pluie et l'évapotranspiration potentielle observées pour aujourd'hui. Ces entrées font évoluer le niveau du réservoir sol S pour fournir le niveau S_1 , simulé par le modèle, pour le début du jour d'aujourd'hui. Ce niveau S_1 du réservoir sol évolue au cours de la journée pour tendre vers le niveau S_2 à la fin d'aujourd'hui en délivrant une pluie nette PR_1 en sortie du réservoir sol S . Cette pluie nette PR_1 est retardée par l'hydrogramme unitaire (HU) qui délivre une pluie PH_1 en sa sortie, qui finalement s'ajoute au niveau du réservoir de transfert R . Ce niveau R_1 du réservoir de transfert R évolue au cours de la journée pour tendre vers le niveau R_2 à la fin du jour d'aujourd'hui en délivrant un débit Q_1 simulé, pour le jour d'aujourd'hui.
- b) En réalité, on a observé pour ce jour le débit O_1 qui est différent du débit Q_1 calculé par le modèle pour ce même jour. Aussi, il faut entreprendre une mise à jour du réservoir R pour rendre Q_1 égal à O_1 .
- c) Pour cela, on réajuste le niveau R_1 du réservoir de transfert R jusqu'à atteindre le niveau R_1' qu'il faudrait avoir, pour le début d'aujourd'hui, pour délivrer le débit Q_1' égal au débit O_1 observé ce jour, et fournir le niveau R_2' en fin de jour.
- d) Le processus précédent se répète de la même façon pour les jours suivants jusqu'à la fin des observations, en considérant à chaque étape les nouvelles estimations comme les nouvelles conditions initiales du modèle.

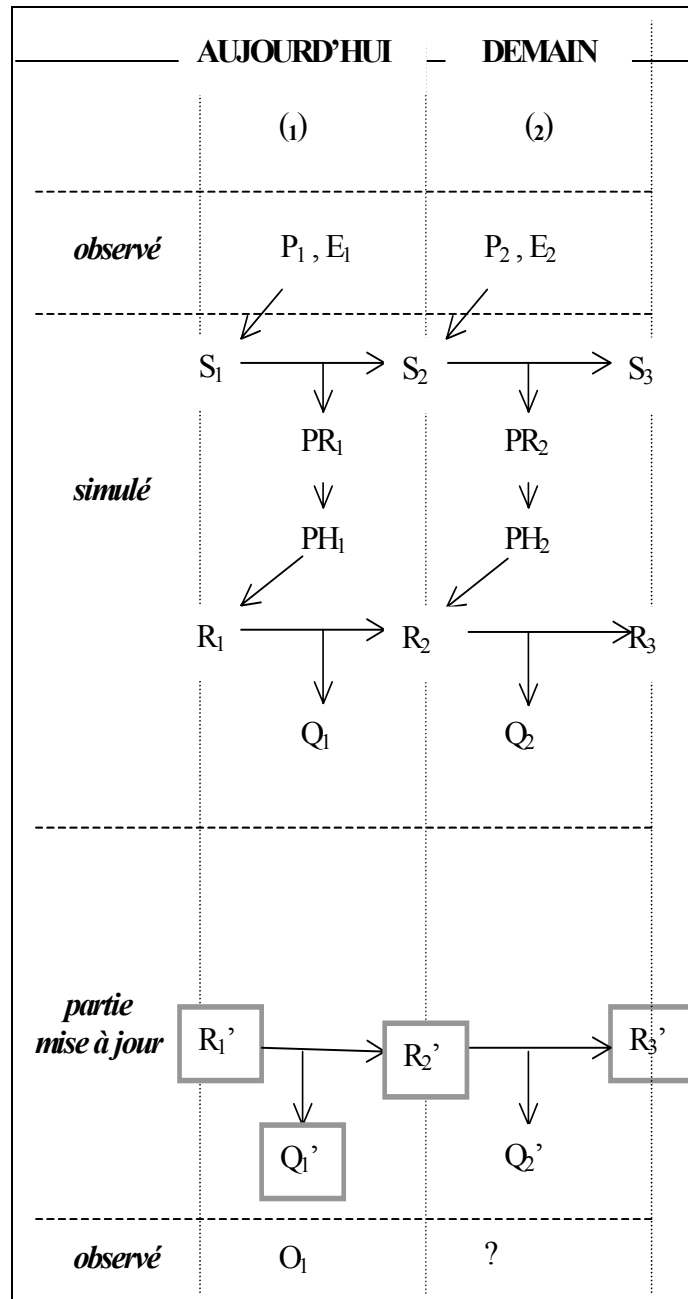


Figure 5.1 : Exemple de diagramme de la mise à jour par assimilation

Signalons que cette procédure ne respecte pas strictement le bilan hydrologique théorique, même dans le cas des structures avec une fonction d'échange non conservative. Mais ce phénomène a relativement peu d'importance ici car nous raisonnons uniquement en terme d'écoulement et qu'en outre ce constat demeure toujours vrai pour tout bassin versant réel.

La nouvelle stratégie de prévision par une approche directe qui est proposée ici se résume aux trois points suivants :

- 1) formulation simplifiée de la structure du modèle pluie-débit utilisé,
- 2) optimisation des paramètres du modèle avec un fonctionnement identique à celui de la prévision,
- 3) actualisation directe du niveau du réservoir de transfert R.

Cette stratégie sera appliquée par la suite au cours de nos différents essais, à travers une démarche de recherche de type empirique par des tests sur notre base de données constituée de 188 bassins versants, qui ont des conditions hydrologiques et climatiques très diversifiées (voir illustration de la démarche à la Figure 5.2).

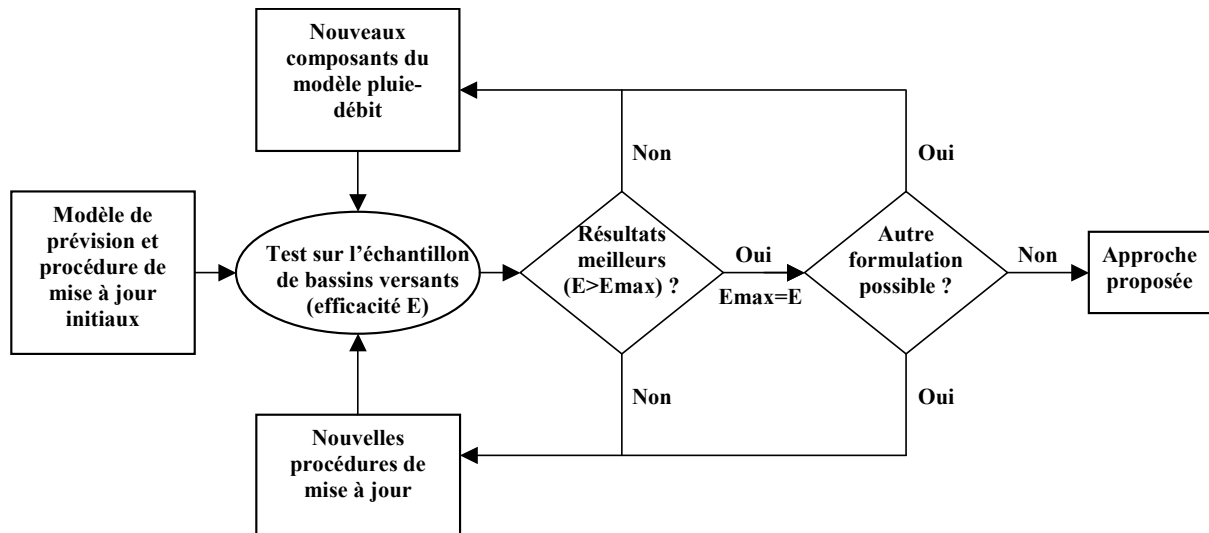


Figure 5.2 : Procédure d'élaboration d'une méthode de prévision de crue

Ce chapitre et le suivant sont probablement un peu fastidieux à lire, car ils comportent un grand nombre de variantes, pas toujours très faciles à présenter, tant ce problème de mise à jour est complexe. Cependant tous ces essais se sont révélés nécessaires pour acquérir la conviction qu'aucune possibilité offerte par la structure, pourtant simple, de GR4J n'était oubliée.

Dans tous les essais qui vont suivre, nous mettrons en annexe les sous-programmes FORTRAN concernant la mise à jour du modèle et les tableaux détaillés sur les résultats. Nous ne conservons dans le texte principal que le diagramme détaillé du principe de la mise à jour et le graphique des résultats.

Dans ce chapitre, nous testons successivement différentes variantes des modèles de bases GR3JPR, GR4J et GR4JSI. Nous cherchons ici à identifier sur quels composants du modèle, dans sa fonction de production et sa fonction de transfert, il est le plus intéressant de faire porter la mise à jour directe.

5.2. Tentative d'amélioration du modèle GR3JPR par approche empirique

Nous avons vu précédemment au paragraphe 4.6 que :

- la démarche qui consiste à caler simultanément le modèle et sa technique d'utilisation en prévision est assez robuste avec peu d'échecs (seulement 3% pour GR3JPR (GR3J-Prévision) et 6% pour GR4JSI (GR4J-Simplifié)) ;
- la complexité et la non-linéarité des composants des modèles utilisés ne semblent pas des handicaps pour leur utilisation en prévision.

En outre, nous avons constaté que le modèle GR3JPR (26.5%) est aussi efficace que le modèle GR4JSI (26.7%) et cela probablement grâce à la mise à jour de sa fonction de

rendement puisque les autres spécifications de ce modèle sont moins efficaces que celles de GR4JSI.

Ainsi, nous allons commencer par étudier d'abord en détail et en priorité notre méthode de prévision de base GR3JPR qui semble parfaitement s'accommoder de la mise à jour double : à la fois le débit en sortie et la fonction de rendement. Cette étude sera menée ci-après à l'aide des deux variantes GR3JPR₁ et GR3JPR₂ du modèle GR3JPR, qui a été construit pour effectuer automatiquement la mise à jour de la fonction de rendement et celle de transfert.

5.2.1 Mise à jour graduelle de la fonction de production de GR3JPR (Variante GR3JPR₁)

Jusqu'à présent, nous avons utilisé le dernier débit observé connu pour réaliser la mise à jour. Maintenant nous utilisons une variante qui utilise le débit que l'on obtiendrait pour un nombre de jours correspondant au temps de montée de l'hydrogramme unitaire HU1. Une présentation détaillée de cette variante est donnée à la Figure 5.3.

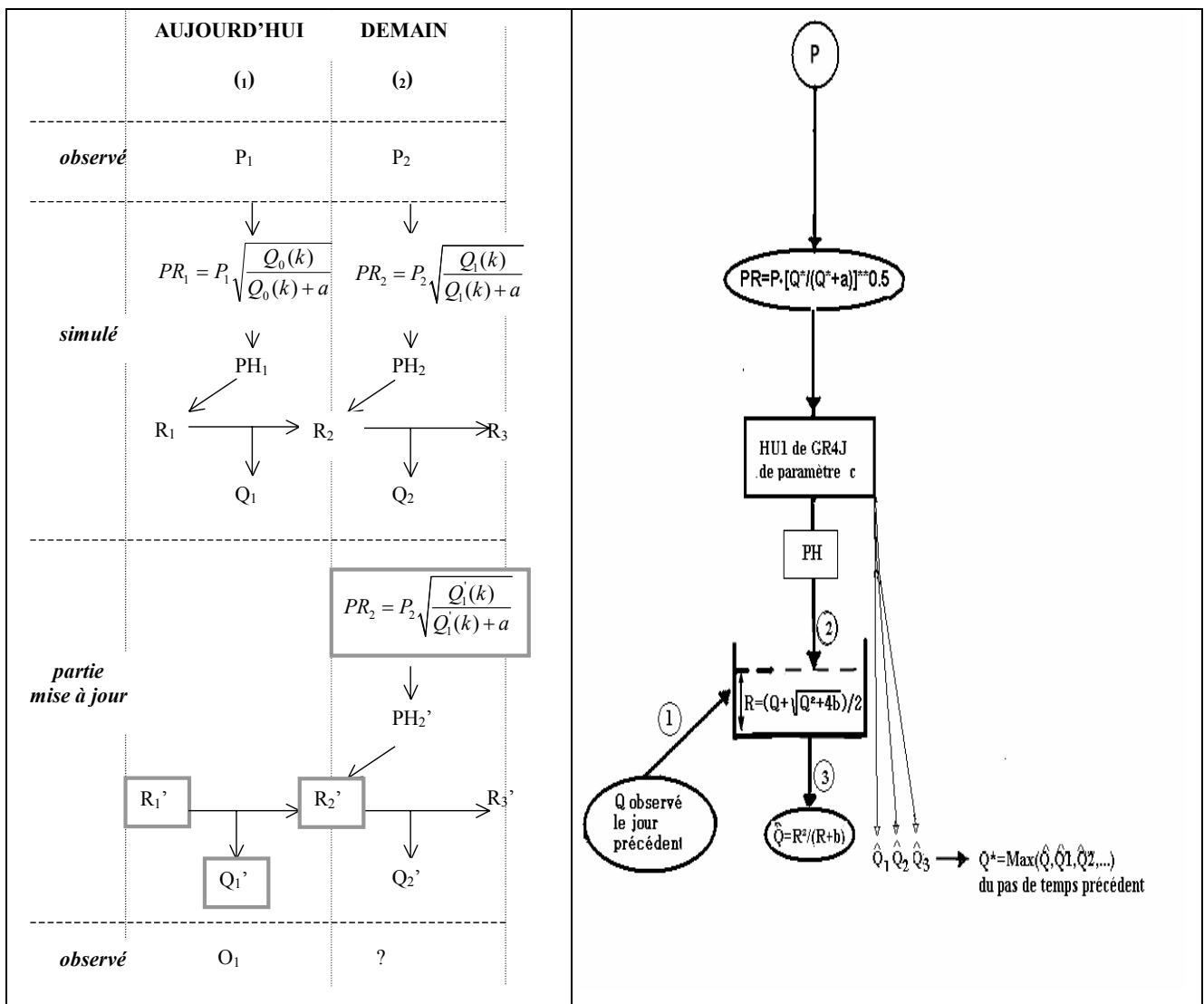


Figure 5.3 : Schéma de fonctionnement du modèle GR3JPR₁

Sur la Figure 5.3, $Q_1'(k)$ désigne non pas Q_1' mais le débit obtenu après fonctionnement du modèle pendant k pas de temps pour tenir compte du décalage entre l'apparition des pluies et la modification des débits en sortie du modèle.

Dans la suite, nous allons entreprendre une analyse détaillée des fonctions de production (§ 5.2.1.1) et de transfert (§ 5.2.1.2) de notre méthode de prévision de base GR3JPR munie de cette nouvelle possibilité.

5.2.1.1 Analyse de la fonction de production de GR3JPR₁

On teste les performances du modèle GR3JPR₁ pour les deux fonctions de rendement (a) et (b) suivantes :

$$a) \quad PR = \frac{P}{\left[1 + \left(\frac{a}{Q^*}\right)^\delta\right]} \quad \text{avec } \delta > 0 \quad \text{Eq. 5.1}$$

$$b) \quad PR = P \cdot \left(\frac{Q^*}{Q^* + a}\right)^\delta \quad \text{avec } \delta > 0 \quad \text{Eq. 5.2}$$

où Q^* est le débit maximum obtenu au pas de temps précédent introduit dans le calcul de la fonction de production et a est égal au deuxième paramètre du modèle.

On se fixe une fonction de transfert de la forme : $Q \propto R^\gamma$ (en valeurs instantanées), avec les deux valeurs : $\gamma = 2$ et $\gamma = 5$ pour dégrossir cet aspect.

Les résultats obtenus ici, sur la base de données des 188 bassins versants, sont donnés à la Figure 5.4 et dans l'Annexe A4.1.

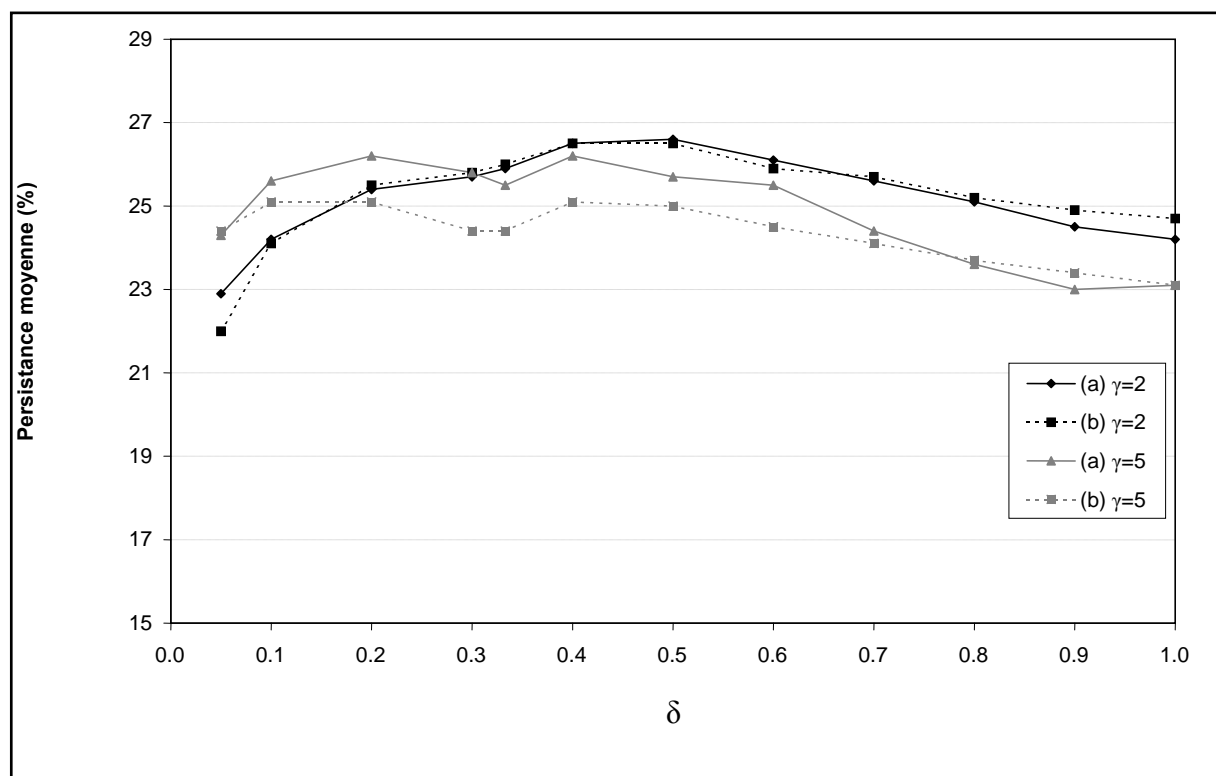


Figure 5.4 : Persistances moyennes du modèle GR3JPR₁ pour différentes fonctions de production

On remarque sur la Figure 5.4 qu'il n'y pas d'amélioration sensible pour le modèle lorsque l'on fait varier δ et que l'optimum (26.6%) est obtenu avec un exposant de 0.5 pour la fonction de production et une fonction de transfert quadratique.

5.2.1.2 Analyse de la fonction de transfert de GR3JPR₁

On cherche maintenant à affiner l'exposant γ du réservoir de transfert ($Q \propto R^\gamma$ en valeurs instantanées), donc on teste le modèle GR3JPR₁ pour différentes valeurs de γ de 1 à 9 en gardant le choix entre les deux fonctions de rendement (a) et (b) testées précédemment en prenant $\delta = 0.5$.

Les résultats obtenus ici, sur la base de données des 188 bassins versants, sont données à la Figure 5.5 et dans l'Annexe A4.1.

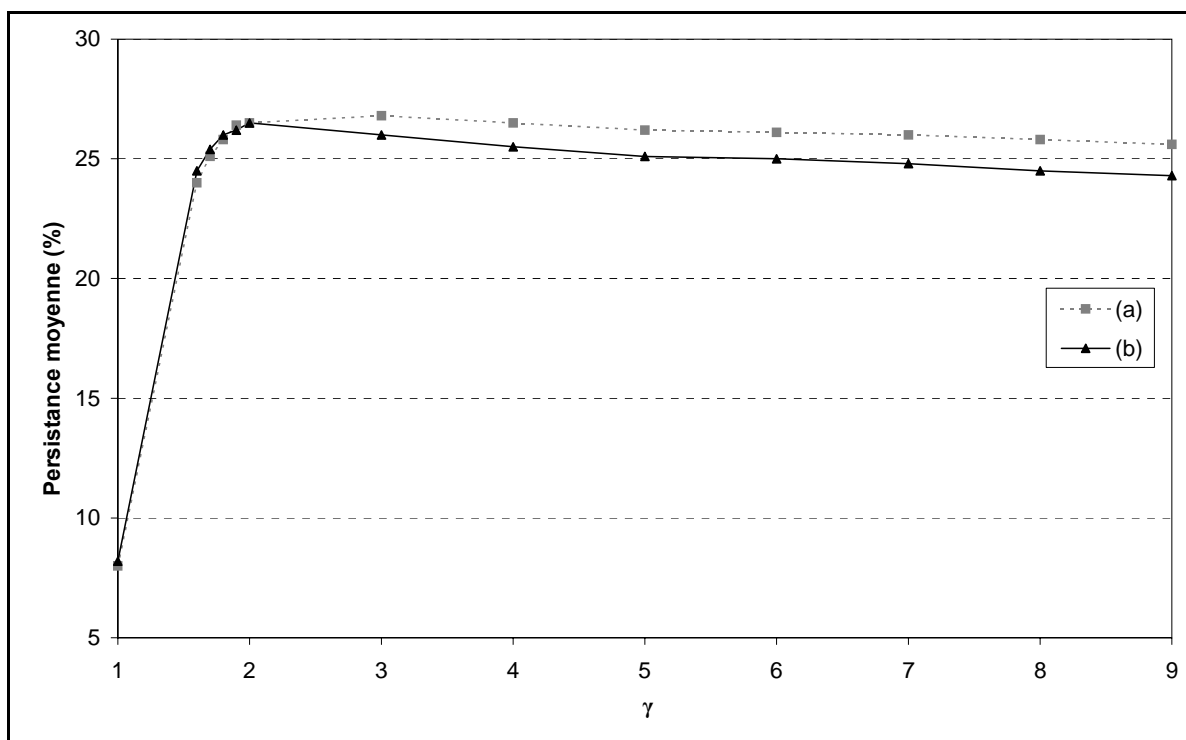


Figure 5.5 : Persistances moyennes du modèle GR3JPR₁ pour différentes fonctions de transfert et différentes valeurs de l'exposant γ

On remarque sur la Figure 5.5 qu'il n'y pas d'amélioration sensible pour le modèle et que l'optimum est obtenu pour une fonction de transfert :

- **cubique** avec une fonction de production (a). On a une performance de 26.8% avec 95% de BV en succès ;
- **quadratique** avec une fonction de production (b). On a une performance de 26.5% avec 97% de BV en succès.

Ainsi, en nous basant sur les résultats obtenus aux paragraphes 5.2.1.1 et 5.2.1.2, nous adopterons pour la suite des essais la configuration suivante pour le modèle GR3JPR : **une fonction de production (b) avec l'exposant 0.5 et une fonction de transfert quadratique ($\gamma = 2$)**. Car nous privilégions le pourcentage de succès de 97% par rapport à la chute de performance de 0.3%.

5.2.2 Mise à jour de la fonction de rendement avec l'option supplémentaire de prise en compte ou de non-prise en compte du débit futur correspondant à la pointe de l'hydrogramme unitaire (Variante GR3JPR₂)

On peut se demander quel débit Q^* utiliser dans la fonction de production définie par l'expression de l'Eq. 5.2 (avec $\delta = 0.5$).

Nous étudions ici le bien fondé de retenir dans la fonction de rendement le débit futur qui résultera des pluies précédentes. En effet, l'hydrogramme unitaire reporte à plus tard l'impact des pluies d'un jour et les pluies connues à ce jour n'auront leur effet maximum que lors de la pointe de l'hydrogramme unitaire (HU).

Nous essayerons de comparer l'alternative suivante de mise à jour de la fonction de rendement :

- a) avec le débit ultérieur délivré par la pointe de l'hydrogramme unitaire ($Q''(k)$),
- b) avec le débit simulé courant (Q').

Comme dans les essais précédents, on ne procède pas à la comparaison entre ces deux options brutalement mais on considère aussi toutes les solutions intermédiaires, dépendant d'un coefficient f . Au lieu de prendre Q_1' (débit mis à jour) directement dans l'expression donnant PR_1' , on peut prendre une moyenne pondérée par le coefficient f de Q_1 (débit simulé) et de Q_1' (débit mis à jour). En faisant varier f , on peut introduire plus ou moins de mise à jour dans PR_1' , c'est à dire dans la fonction de production : $Q_1'' = (1 - f)Q_1 + fQ_1'$.

Une présentation détaillée de cette mise à jour est faite dans la Figure 5.6 où Q est le débit observé du jour et Q_s le débit simulé du même jour.

On donne dans le Tableau 5.1 et la Figure 5.7 ci-après les meilleurs résultats des essais de cette configuration. Des résultats plus complets sont dans l'Annexe A4.2.

Les différentes mises à jour directes de la fonction de rendement, avec le débit ultérieur délivré par la pointe de l'hydrogramme unitaire (essai_a (26.8%)) et avec le débit simulé courant (essai_b (26.6%)), nous montrent que les différents modes de mise à jour de la fonction de rendement de GR3JPR testés (avec mise à jour directe du modèle à la fois dans sa fonction de rendement et dans sa fonction de transfert) sont sensiblement équivalents.

Comme la différence est vraiment très faible (entre les deux variantes mais aussi avec le modèle GR3JPR (26.5%)), nous garderons pour cet essai la solution la plus simple à savoir le débit simulé courant (version b).

Sur la Figure 5.6, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain) et $Q_1'(k)$ désigne non pas Q_1' mais le débit obtenu après fonctionnement du modèle pendant k pas de temps pour tenir compte du décalage entre l'apparition des pluies et la modification des débits en sortie du modèle. $Q_1''(k)$ est une pondération (avec f) de $Q_1(k)$ et de $Q_1'(k)$.

La configuration du modèle GR3JPR₂ la plus performante (26.9%) est celle qui utilise le **débit de pointe** de l'hydrogramme unitaire **HU**. Le gain est faible mais semble sûr.

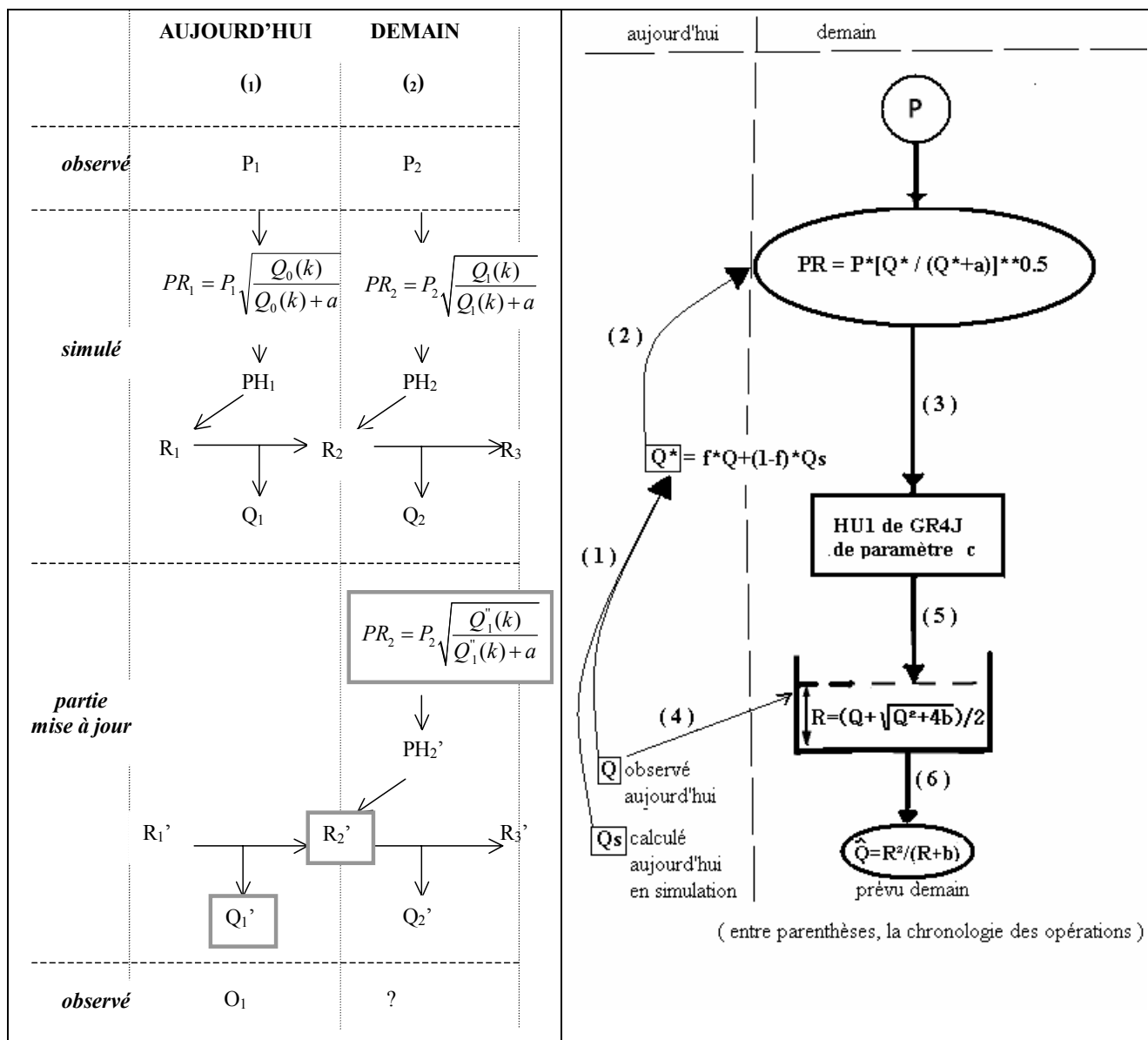


Figure 5.6 : Schéma de fonctionnement du modèle GR3JPR₂ permettant d'analyser l'intérêt de prendre le débit de pointe de HUI dans la mise à jour (date notée k)

Tableau 5.1 : Meilleurs résultats des essais du modèle GR3JPR₂

Exposant du réservoir R	Fraction utilisant Q_mis_à_jour	Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens		
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
Avec Q pointe-HU	0.25	-9.6	26.9	64.6	0.96	5.59	0.06	-6.79
Avec Q antérieur	0.40	-11.7	26.6	64.5	0.96	5.60	0.70	-6.79

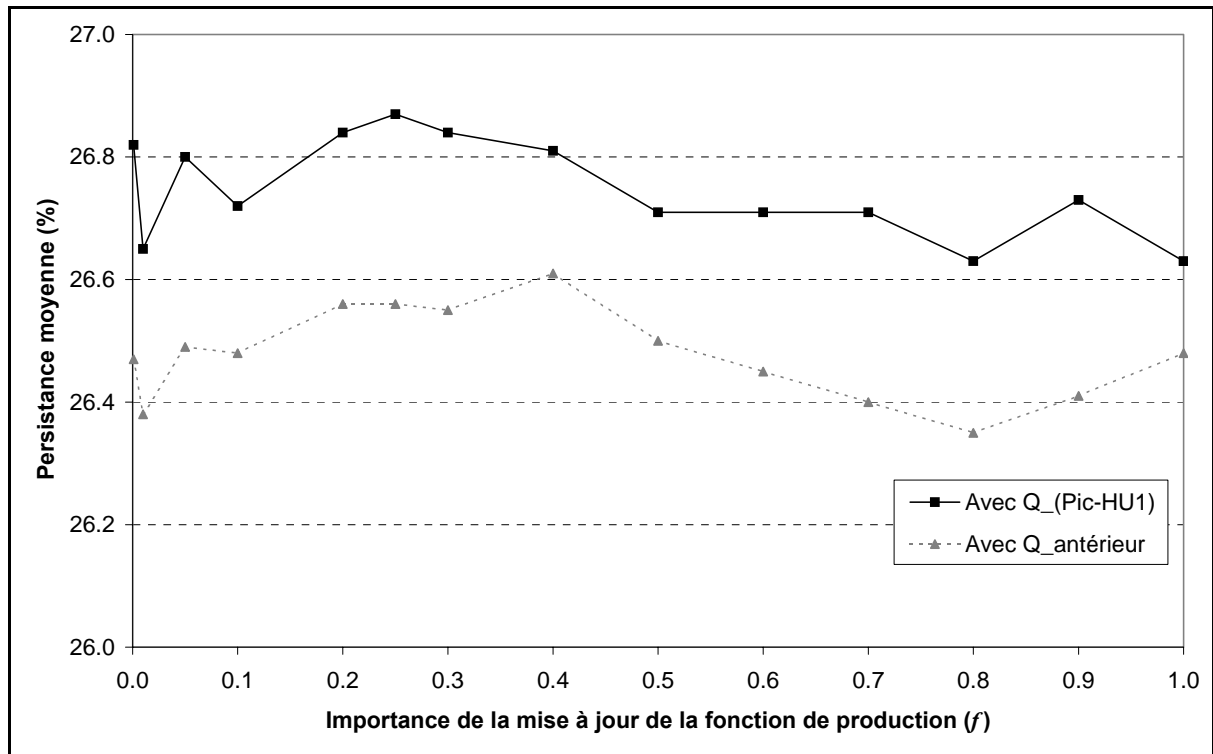


Figure 5.7 : Résultats des essais du modèle GR3JPR₂

On voit que l'importance de la mise à jour de la fonction de production a un effet très limité sur les performances de la méthode. On peut donc en conclure que le succès de GR3JPR ne reposait pas sur la mise à jour conjointe des deux fonctions (fonction de rendement et fonction de transfert).

Bien que ce résultat ne nous permette pas d'anticiper de très bons résultats d'une mise à jour du réservoir S de GR4J, nous testerons ultérieurement (§ 5.4.3) une telle hypothèse.

5.3. Tentative d'amélioration de la mise à jour du modèle GR4J par approche empirique

Devant les échecs constatés précédemment, les tentatives d'amélioration de notre modèle de prévision de base GR3JPR, mais aussi les possibilités que laisse entrevoir le modèle GR4JSI, nous avons décidé de rechercher pour notre modèle de prévision une configuration optimale issue de la structure du modèle GR4J. Pour entreprendre cette recherche, nous allons mener une analyse exhaustive de diverses configurations de GR4J en partant du modèle complet GR4J.

5.3.1 Essais sur la variante GR4J

Ici, le modèle GR4J (GR4J Complet) est utilisé avec la possibilité de mettre à jour uniquement le débit en sortie, en utilisant un coefficient f (compris entre 0 et 1) qui définit l'ampleur de la mise à jour.

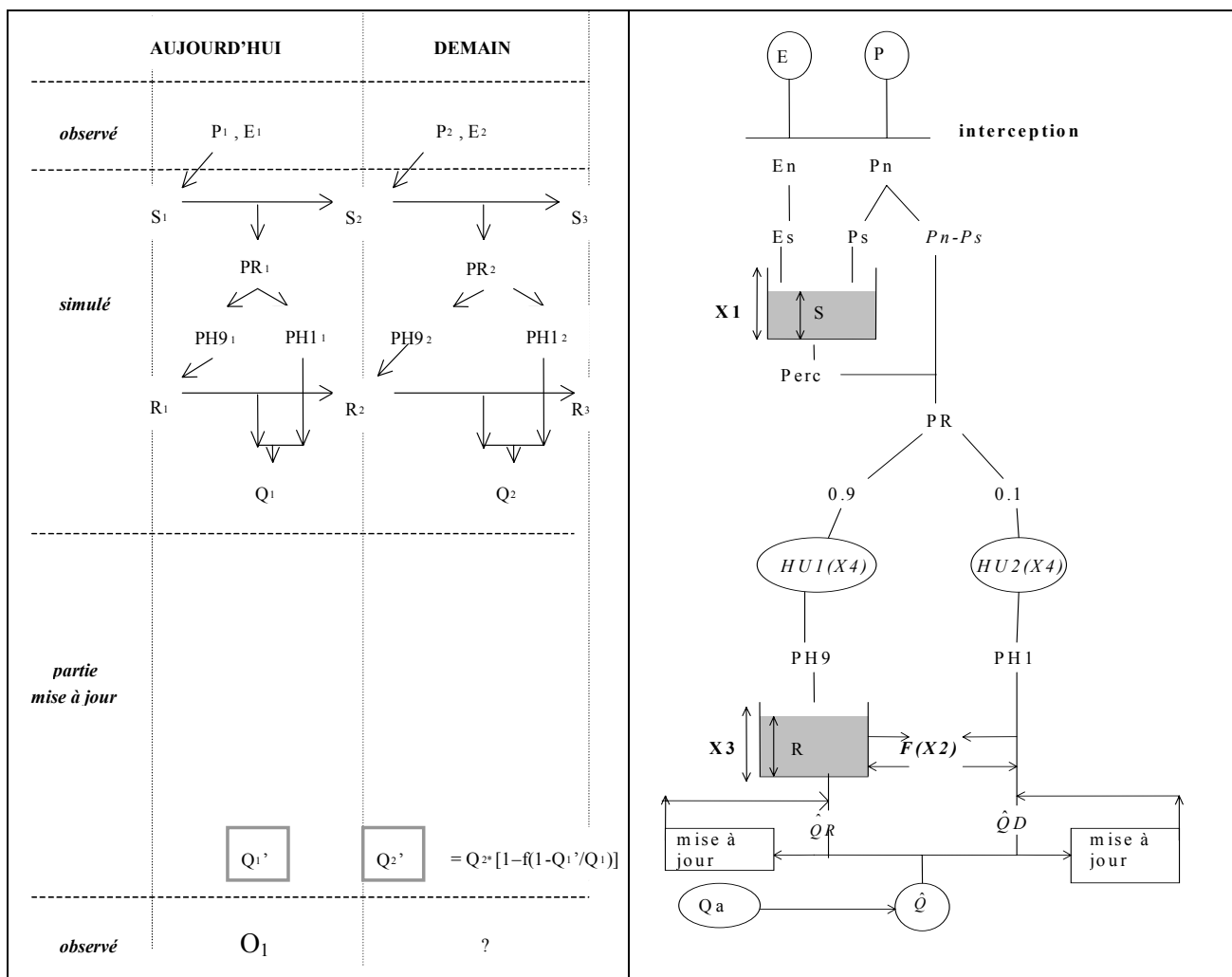


Figure 5.8 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4J avec mise à jour uniquement du débit en sortie (les deux branches d'écoulement sont traitées de façon identique)

Sur la Figure 5.8, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain) et Qa est le débit observé du jour précédent.

Les taux d'écoulement passant par les branches directes et par le réservoir de transfert R sont fixes et respectivement égaux à 0.1 et 0.9. On multiplie la somme $(QR + QD)$ par le coefficient $cr = [1 - f \cdot (1 - Q_1'/Q_1)]$ où la variable f désigne l'importance de la mise à jour avec une valeur comprise entre 0 et 1. Si $f = 0$, il n'y a pas de mise à jour, si $f = 1$, il y a une mise à jour totale.

Les meilleurs résultats de cette configuration apparaissent dans le Tableau 5.2 et la Figure 5.9. Les résultats généraux sont dans l'Annexe 5.

Tableau 5.2 : Meilleur résultat des essais du modèle GR4J

Importance de la mise à jour (f)	Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens			
	Minimale	Moyenne	Maximale		1	2	3	4
0.95	-66.0	19.3	57.2	0.88	4.44	6.90	-6.82	-3.38

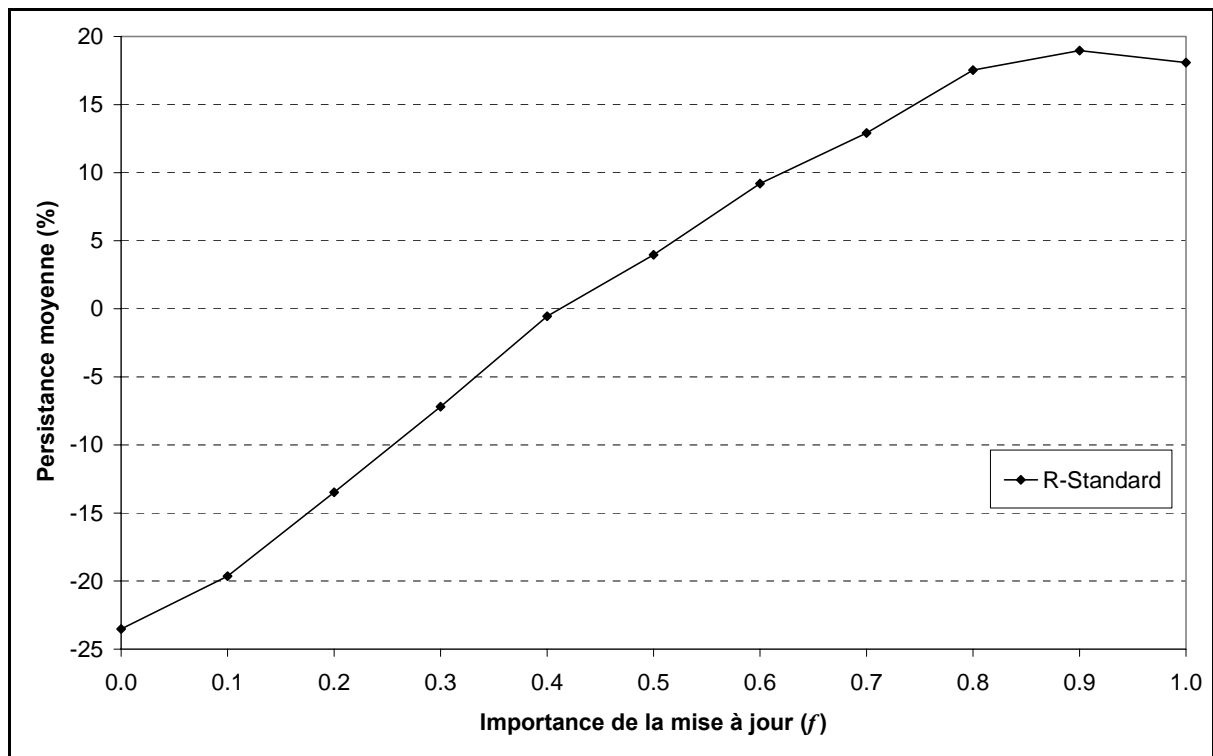


Figure 5.9 : Résultats des essais du modèle GR4J

La configuration du modèle **GR4J** la plus performante (**19.3%**) est celle avec la mise à jour du débit $Q = (QR+QD)$ pour une importance de la mise à jour égale à **0.95** (voir les résultats détaillés dans les Tableaux 5.2 et A5.1).

C'est la première fois que l'on constate qu'il n'y a pas intérêt à reproduire exactement le dernier débit observé. On peut interpréter cela comme la conséquence de la bonne qualité du modèle en simulation. Toutefois, comme on a rencontré parfois la valeur 1.05 (Tableaux A7.7 à A7.17), pourtant peu vraisemblable, on peut relativiser ce résultat et considérer que l'on doit prendre en compte exactement le dernier débit observé.

De plus, le nombre de bassins où le modèle est en échec est très élevé (12%) par rapport aux résultats des autres méthodes. Cette voie de recherche semble donc assez compromise.

5.3.2 Essais sur la variante GR4JSE (GR4J Sans les Echanges)

Ici nous introduisons un nouveau modèle dérivé de GR4J dénommé GR4JSE (GR4J-Sans-Echanges), c'est-à-dire le modèle GR4J complet à l'exception de la fonction d'échanges, avec deux branches d'écoulement : la branche directe passant par HU1 ($0.1*PR$) et la branche passant par le réservoir de routage R ($0.9*PR$).

Une présentation détaillée du modèle GR4JSE est donnée à la Figure 5.10, les résultats obtenus sont à la Figure 5.11 et résultats détaillés sont en Annexe A6.1.

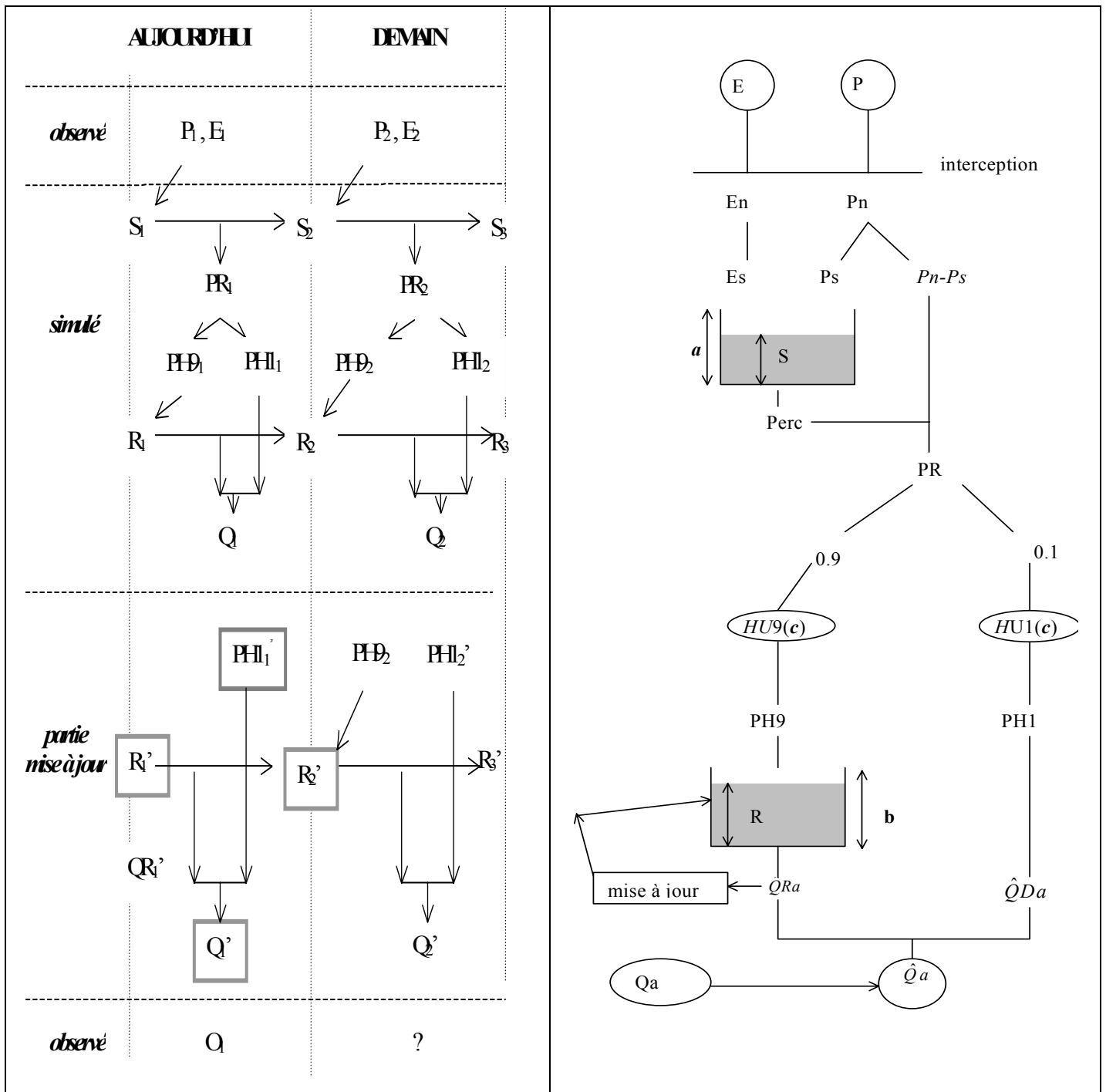


Figure 5.10 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE, avec deux branches d'écoulement traitées de façon identique.

Nous effectuons ici une mise à jour commune aux deux branches. A titre de test sur le bien fondé de la présence des deux branches, nous ferons varier le taux d'écoulement passant par la branche directe. On multiplie QR_1 et PH_{I1} par le coefficient Q_1'/Q_1 . Notons bien que c'est PH_{I1} et non PH_{I2} qui est ajusté.

Les résultats du modèle GR4JSE (GR4J Sans Echanges) sont fonction de la part **part(HU1)** de l'écoulement dans sa branche directe (mise à jour du réservoir de transfert R seul).

Le meilleur résultat obtenu dans cet essai (25.1%) (Figure 5.11 et Annexe A6.1) est nettement inférieur à celui de GR4JSI avec un transfert cubique (26.7%). En outre, il y a une dégradation très marquée des performances du modèle avec l'augmentation de la **part(HU1)** de l'écoulement dans la branche court-circuitant le réservoir de transfert R.

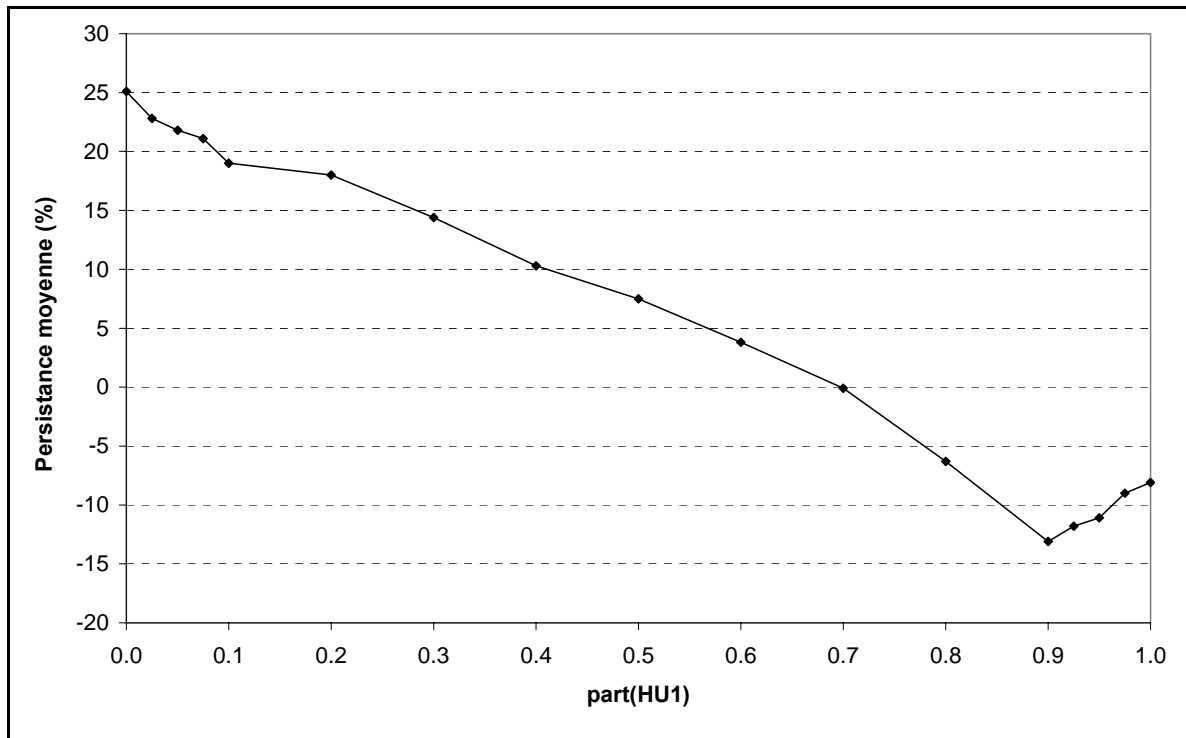


Figure 5.11 : Résultats du modèle GR4JSE (GR4J Sans les Echanges)

La conclusion de cet essai pourrait bien être l'abandon de cette variante quasi complète du modèle GR4J. Cependant, il est très probable que ce rejet soit dû à une égalité de mise à jour des deux branches d'écoulement. On se propose donc de faire l'essai suivant, où la mise à jour de la branche directe passant par HU1 est différente de celle de la branche passant par le réservoir de transfert R.

5.3.2.1 Intérêt de la mise à jour de la branche directe de GR4JSE (Variante GR4JSE₁)

Ici, à l'inverse de l'essai précédent (où les deux branches d'écoulement sont traitées de façon identique), nous prenons donc l'option de ne pas mettre à jour les pluies en aval de l'hydrogramme unitaire HU1 et de faire varier la part de l'écoulement passant par le réservoir de transfert R. La présentation détaillée de cet essai est donnée à la Figure 5.12, les résultats obtenus sont à la Figure 5.13 et les résultats détaillés sont en Annexe A6.2.

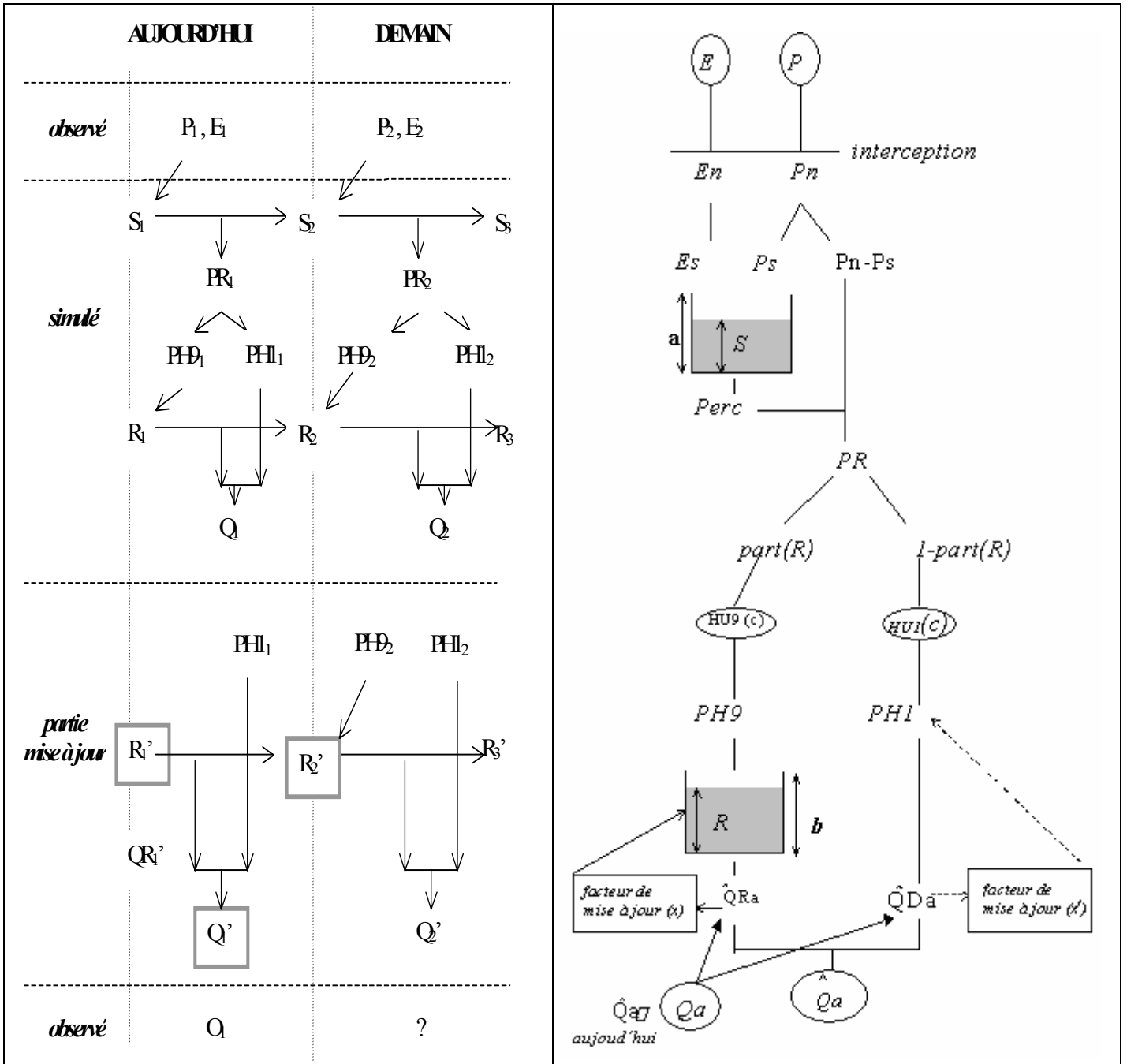


Figure 5.12 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE₁, sans mise à jour de la branche directe liée à celle sur le réservoir de transfert R

On remarque, à la Figure 5.13 et en Annexe A6.2, qu'en ne mettant pas à jour les pluies en aval de l'hydrogramme unitaire HU1 de la branche d'écoulement directe, on obtient la performance optimale (25.1 %) du modèle GR4JSE₁ quand la part passant par le réservoir de transfert R est égale à 1; c'est-à-dire quand la part passant par la branche directe est égale à 0. On retrouve bien par là le résultat fourni précédemment par le GR4JSE avec les deux branches d'écoulement traitées de façon identique quand la part passant par la branche directe est égale à 0 ($part(HU1) = 0$).

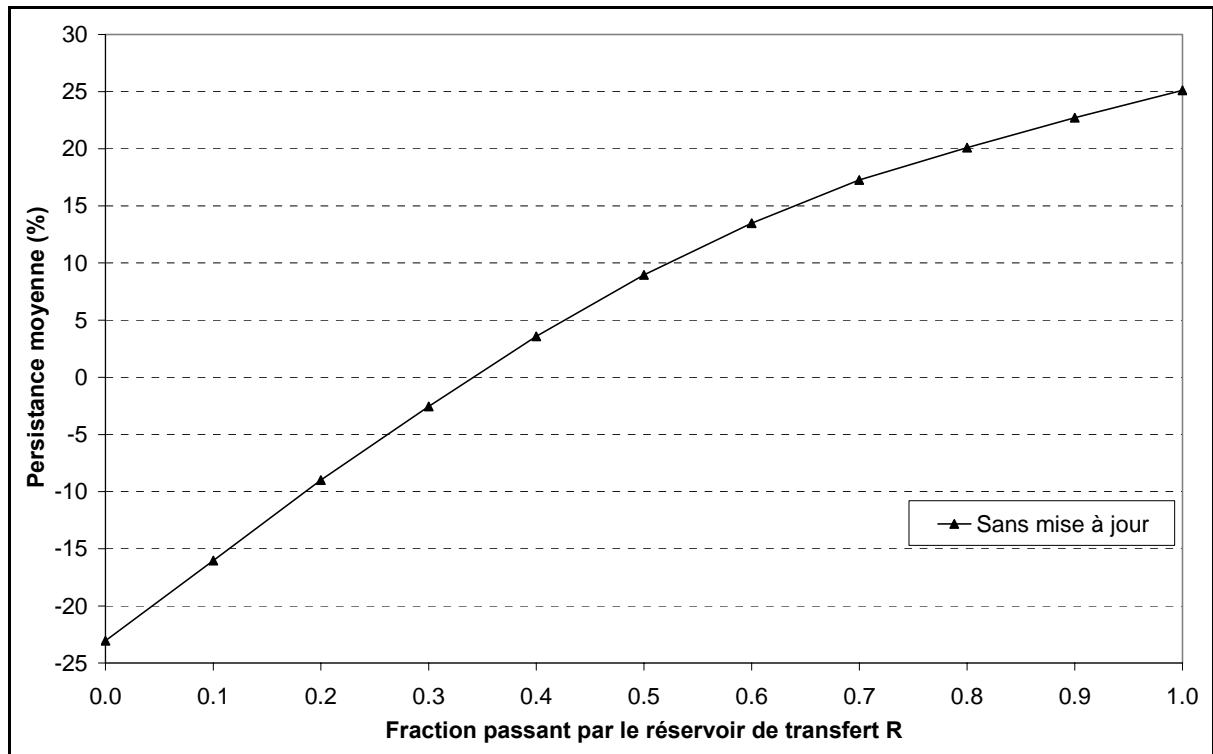


Figure 5.13 : Résultats de GR4JSE₁

Suivant les résultats des deux essais précédents, on peut conclure que si on décide l'option de mettre à jour les pluies en aval de HU1 dans l'essai en cours, alors dans cette option, il est probablement préférable de réduire la mise à jour de la branche directe.

5.3.2.2 Tentative de mise à jour différenciée des deux branches d'écoulement de GR4JSE (Variante GR4JSE₂)

On aborde ici la question d'une mise à jour différenciée des deux branches d'écoulement. De plus on essaye de savoir si, dans la branche directe, on peut remonter la mise à jour à l'ensemble des débits en attente issus de l'hydrogramme unitaire HU1 et non pas seulement au débit à la sortie de la branche directe.

Une présentation détaillée de cette mise à jour est faite sur la Figure 5.14 et en Annexe A6.3.

R_1 et PHI_1 doivent être mis à jour conjointement de façon à retrouver le débit observé Q_1' . Cela peut se faire de façon modulée en appliquant sur R_1 le facteur multiplicatif x et en appliquant sur PHI_1 le facteur multiplicatif x^f . L'exposant f permet de faire varier la composante qui porte le plus le poids de la mise à jour de Q_1 .

L'inconnue x est déterminée pour permettre le passage de Q_1 à Q_1' : $Q_1' = xQR_1 + x^f PHI_1(1)$. Ensuite, cette nouvelle valeur xQR_1 permet de mettre à jour R_1 et donc R_2 .

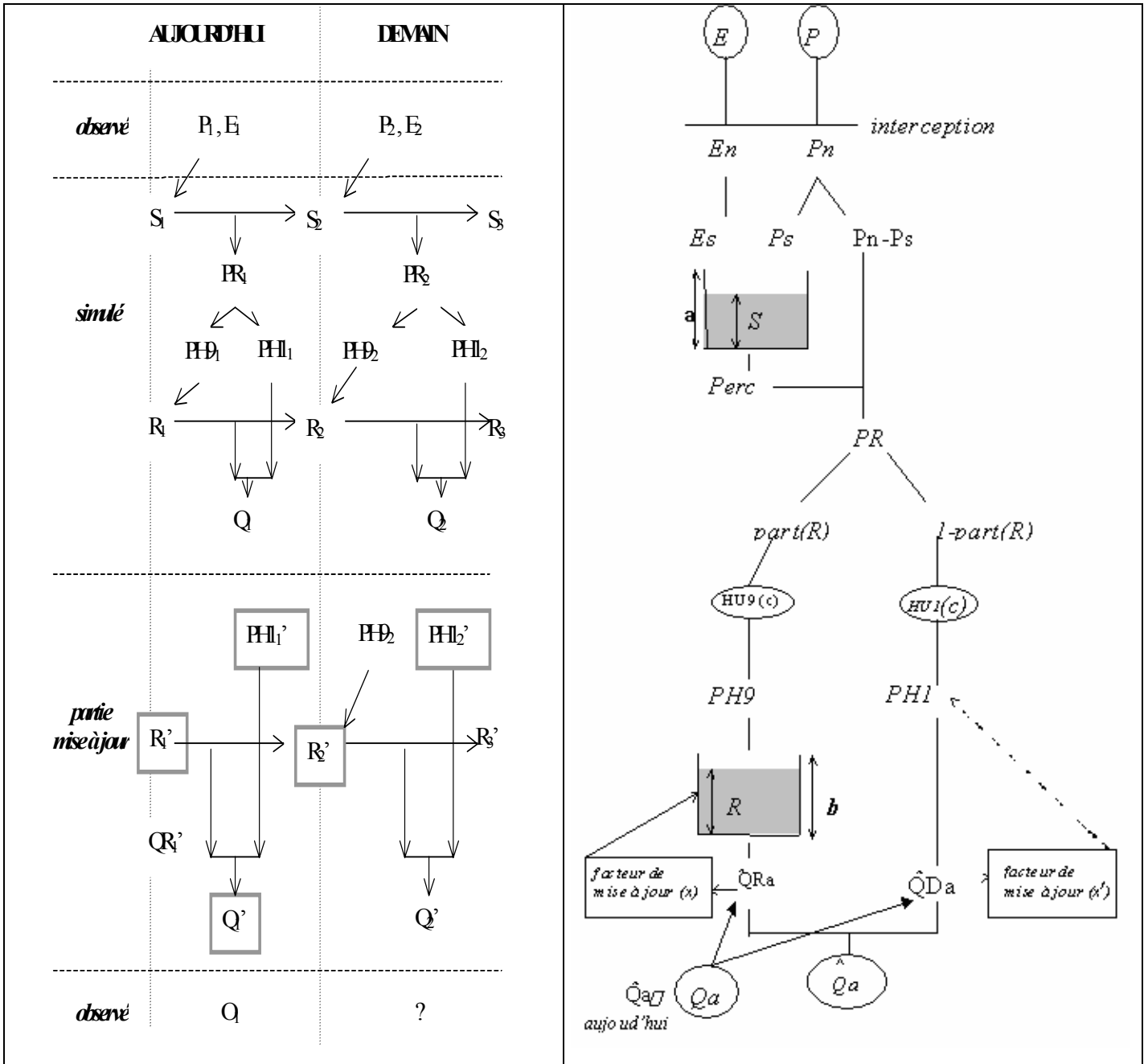


Figure 5.14 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE₂, avec tentative de mise à jour différenciée des deux branches de GR4JSE

Nous appelons le modèle correspondant à cet essai : GR4JSE₂ (GR4JSE-avec-Mise-A-Jour-des-2-Branches-d'écoulement) qui est fonction de l'exposant f affecté à la mise à jour sur le réservoir de routage R. La part d'écoulement passant par le réservoir est égale à 0.9 comme dans GR4J.

Pour cette version (GR4JSE₂) du modèle GR4JSE, on obtient la performance optimale (26.0%) pour un exposant affecté à la mise à jour sur le réservoir de transfert de $f \approx 1$. On remarque aussi que GR4JSE₂ (26.0 %) est meilleur que GR4JSE (25.1%). Les résultats de cet essai sont présentés à la Figure 5.15 et en Annexe A6.3.

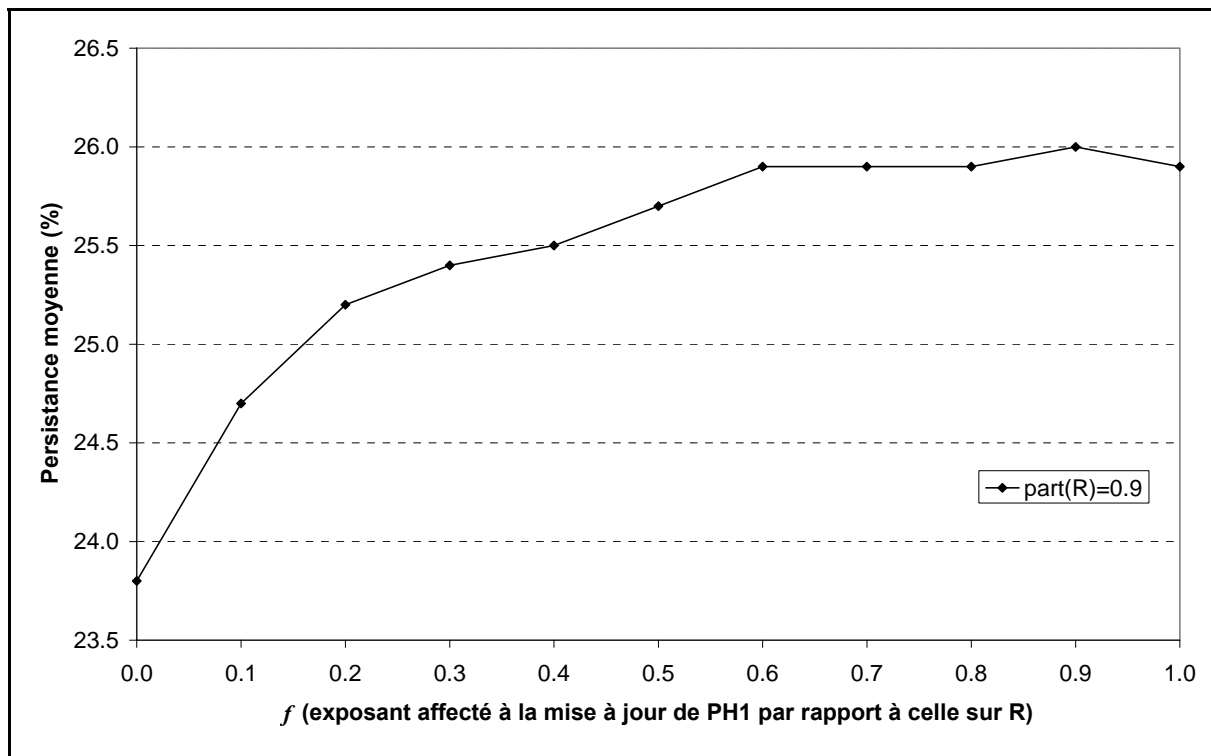


Figure 5.15 : Résultats de GR4JSE₂

On peut donc conclure qu'il y a ici un refus de mise à jour différenciée des deux branches d'écoulement du modèle GR4JSE, les mises à jour des deux branches devraient être d'égale ampleur.

5.3.2.3 Mise à jour des pluies sorties de l'hydrogramme unitaire HU1 du modèle GR4JSE (Variante GR4JSE₃)

Revenons au problème de savoir s'il faut faire remonter l'effort d'ajustement en prévision à la fonction de production.

On teste ici l'intérêt d'une mise à jour des pluies en sortie de l'hydrogramme unitaire HU1 (en plus de la mise à jour de l'écoulement pseudo-direct).

Les pluies en sortie de HU1 sont mises à jour de la façon suivante : QR, le débit sortant du réservoir de transfert R, est multiplié par cr et les pluies issues de la transformation par HU1 sont multipliées par cr^f où f varie entre 0 et 1. Si $f = 0$, il n'y a pas de mise à jour de la branche d'écoulement directe. Si $f = 1$, les deux branches sont mises à jour de la même façon.

Le coefficient de la mise à jour cr est déterminé par une fonction définie par le débit observé du jour précédent et des débits simulés courants du réservoir de transfert et de la branche pseudo-directe.

Sur la Figure 5.16, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain).

Nous effectuons ici une mise à jour commune aux deux branches. A titre de test sur le bien-fondé de la présence des deux branches, nous ferons varier le taux d'écoulement passant par la branche directe. On multiplie QR_1 et $PH1_1$ par le coefficient Q_1'/Q_1 . Notons bien que c'est $PH1_1$ et non $PH1_2$ qui est ajusté.

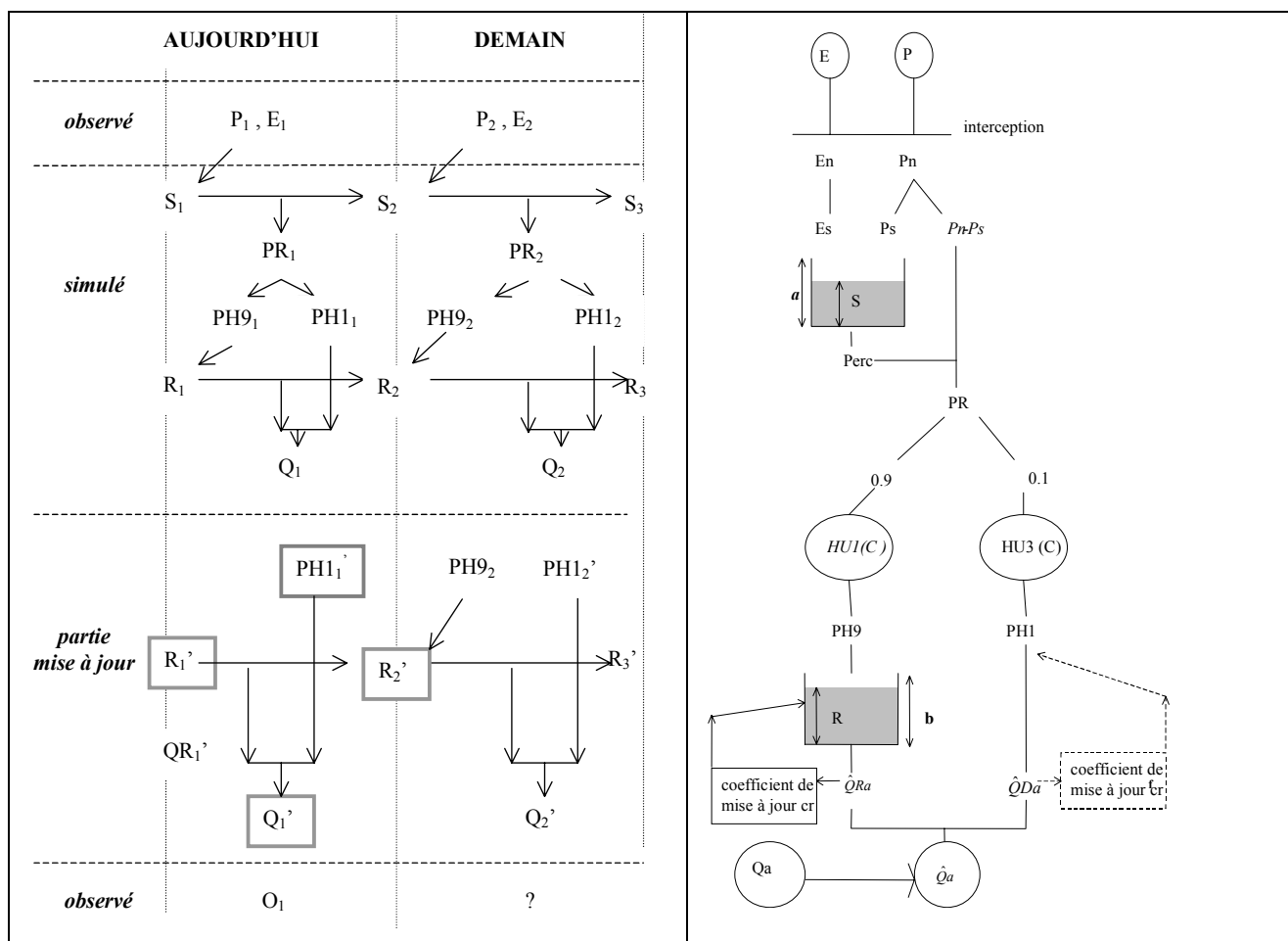


Figure 5.16 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSE₃ (GR4JSE avec mise à jour des pluies sorties de HU1)

Les meilleurs résultats de cette configuration apparaissent dans le Tableau 5.3 et à la Figure 5.17. Les résultats généraux sont en Annexe A6.4.

La configuration du modèle GR4JSE₃ la plus performante (**26.0%**) est celle avec la mise à jour des pluies sorties de l'hydrogramme unitaire HU1 pour un exposant affecté à la mise à jour égal à **0.9** et une part d'écoulement passant par le réservoir de transfert R égale à **0.9**.

Tableau 5.3 : Meilleurs résultats des essais du modèle GR4JSE₃

Mise à jour des pluies en sortie de HU1	Exposant affecté à la mise à jour	Part passant par le réservoir R	Persistances			Proportion de BV à Persistance >0	Paramètres moyens		
			Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
	0.9	0.9	-74.1	26.0	68.3	0.90	5.34	6.06	-4.68

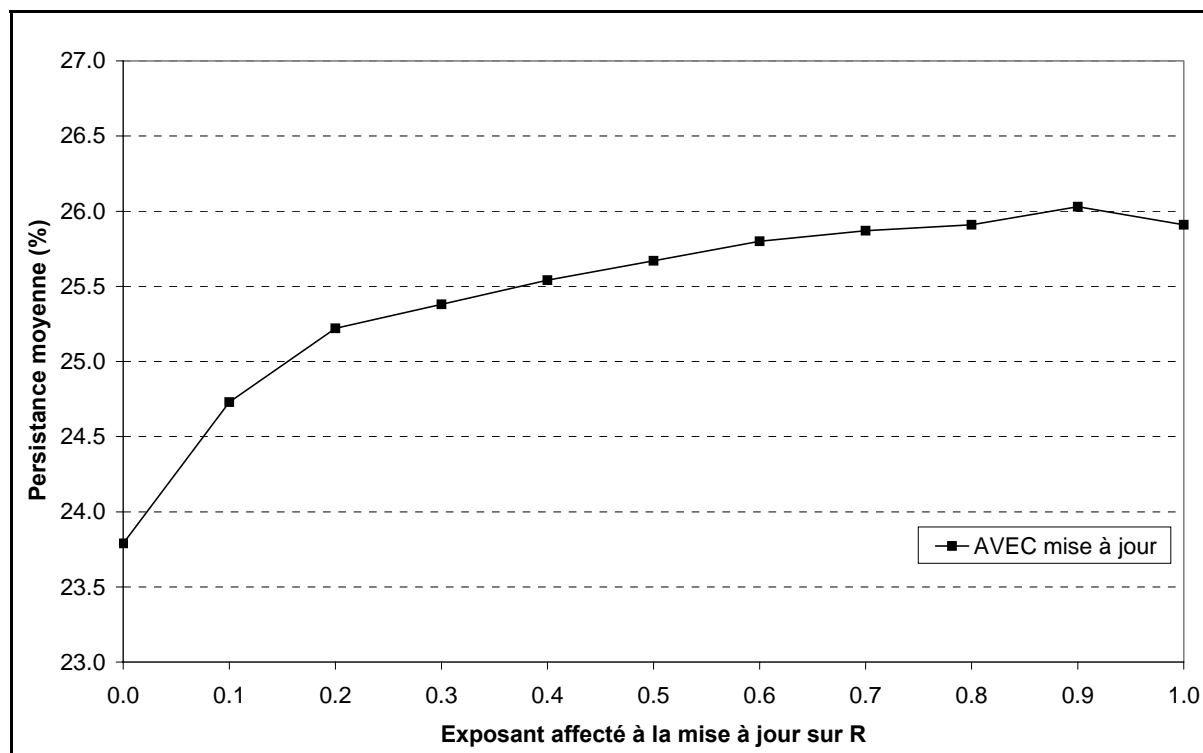


Figure 5.17 : Résultats du modèle GR4JSE₃ (mise à jour des pluies sorties de HU1 et part(R) = 0.9)

Les résultats précédents nous montrent que la configuration du modèle GR4JSE₃ avec la mise à jour des pluies sorties de l'hydrogramme unitaire HU1 est plus performante (26.0%) que la configuration sans la mise à jour des pluies en sortie de l'hydrogramme unitaire HU1 (23.8%). Il semble donc que cette remontée d'information en sortie de la fonction de production apporte un avantage. Malheureusement, cette information n'est guère utilisable pour GR4JSI qui est trop simplifié et moins performant en simulation.

5.3.3 Essais sur la variante GR4JSI (GR4J Simplifié)

5.3.3.1 Tentative de mise à jour de la fonction de production dans GR4JSI (GR4JSI₁) (GR4J-Simplifié-avec-Report-Partiel-de-la-mise-à-jour-sur-S)

Devant les échecs répétés, dans les paragraphes précédents, des tentatives d'amélioration des modèles à structures complexes issus du modèle GR4J (GR4J complet et GR4JSE Sans les Echanges), nous avons décidé de rechercher pour notre modèle une configuration optimale issue de la structure GR4JSI, la variante la plus simplifiée et la plus performante du modèle GR4J. Pour entreprendre cette recherche, nous allons mener une analyse exhaustive de diverses configurations du modèle GR4JSI et en premier lieu, il nous semble que l'on gagnera peut être à opérer une mise à jour de sa fonction de rendement.

C'est dans cette voie de la mise à jour de la fonction de rendement (production) que l'on s'engage ici, en considérant que la fonction de production pourrait être mise à jour parallèlement à celle effectuée en sortie sur les débits. Nous testons cette idée ici sur la variante GR4JSI₁ (GR4J-Simplifié-avec-Report-Partiel-sur-le-réservoir-S).

Pour pouvoir mieux suivre l'influence du report de la mise à jour des débits, c'est-à-dire des réservoirs de transfert, sur la fonction de rendement, nous allons l'introduire de façon graduelle, en utilisant un facteur f qui vaudra 0 quand aucun report de mise à jour n'est effectué et 1 quand un report total est effectué. Il y aura peut-être une valeur optimale de f pour laquelle le report donnera les meilleurs résultats de prévision.

Nous allons étudier comment effectuer ce report graduel sur le réservoir d'humidité du sol (réservoir appelé S). Toutefois, pour faire ce report, il faut constater la mise à jour que l'on fait sur le réservoir de routage R . Pour cela, il faut faire tourner en parallèle le modèle en régime de simulation, c'est-à-dire sans mise à jour. Une présentation détaillée est faite sur la Figure 5.18.

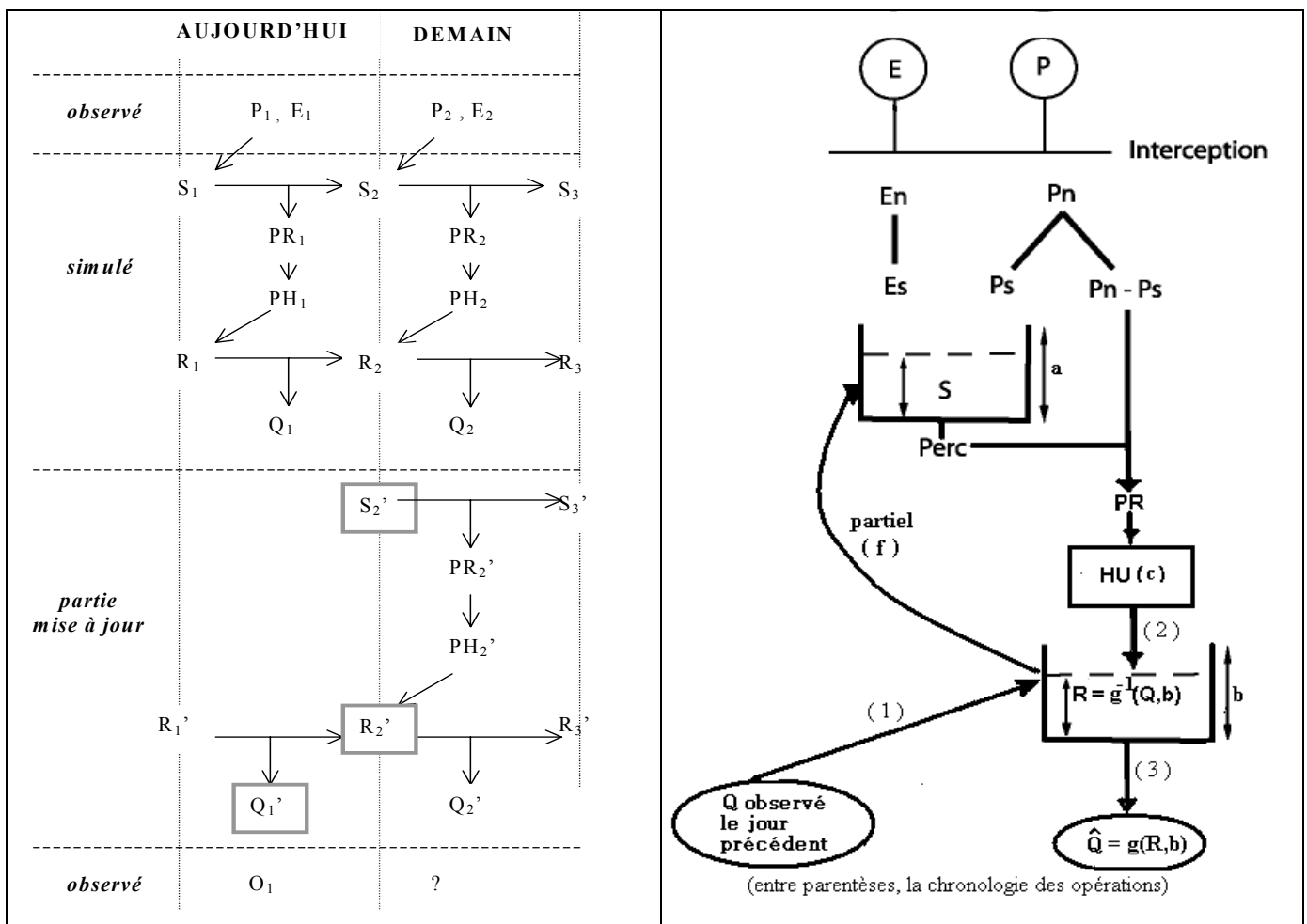


Figure 5.18 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI₁ (GR4JSI avec Report Partiel sur le réservoir S)

Notons Q'_1 le dernier débit observé connu avant de faire la prévision. Ce dernier débit aurait été obtenu avec un niveau de réservoir R'_2 . En fonctionnement en simulation, ce niveau est R_2 .

C'est ce changement que nous allons reporter sur le réservoir sol qui, en simulation, prend la valeur S_2 . Il faut tenir compte du fait que R varie entre 0 et b alors que S varie entre 0 et a . Le plus simple est de faire un report respectant la similitude :

$$R'_2 > R_2 \quad \leftrightarrow \quad (a - S'_2) / (a - S_2) = (b - R'_2) / (b - R_2)$$

$$R'_2 < R_2 \quad \leftrightarrow \quad S'_2 / S_2 = R'_2 / R_2$$

Cette règle de similitude nous donnera la solution S'_2 du report total de la mise à jour $R_2 \rightarrow R'_2$. Ensuite, la mise à jour progressive fera que S_2 sera modifié en $S_f = f * S'_2 + (1 - f) * S_2$. Avec $f = 0$, on aura la situation antérieure d'absence de mise à jour du réservoir sol et avec $f = 1$, la mise à jour sera totale.

Sur la Figure 5.18, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain).

On voit (Figure 5.19 et Annexe A7.1) que la méthode GR4JSI₁ n'apporte pas d'amélioration significative (seulement 0.1%) par rapport au modèle GR4JSI de base sans mise à jour de la fonction de rendement (26.7%). Comme de plus, on assiste à une réduction du taux de succès, il convient de renoncer à la mise à jour du réservoir de production S.

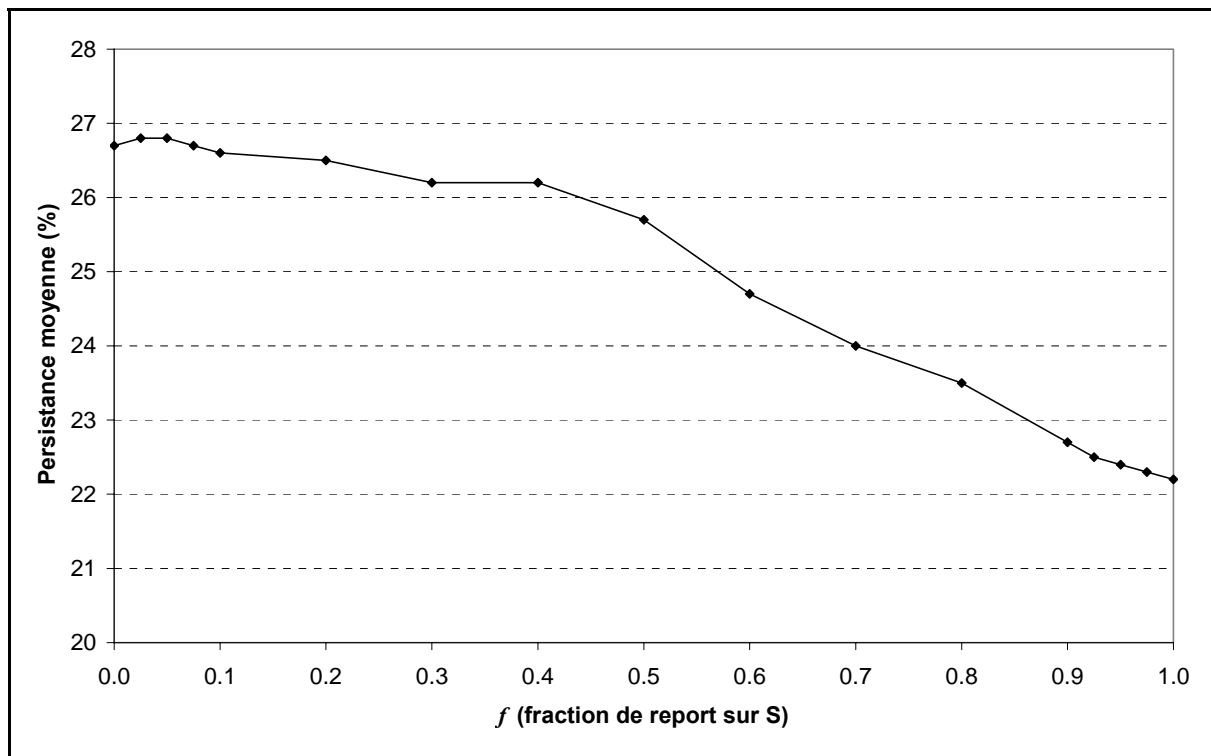


Figure 5.19 : Résultats de la variante GR4JSI₁

On peut cependant remarquer que le passage à la mise à jour du réservoir de production S a peut-être été un peu rapide. Il faudrait plutôt suivre une démarche de report de mise à jour plus progressive en commençant par reporter partiellement nos mises à jour sur l'hydrogramme unitaire (HU) en laissant de côté, pour le moment, le report partiel de mise à jour sur le réservoir de production S (qui n'apporte pas les améliorations escomptées des performances du modèle).

C'est ce que nous allons faire dans les paragraphes suivants.

5.3.3.2 Remontée de la mise à jour en aval de HU dans GR4JSI (GR4JSI₂)

Cette remontée de la mise à jour vient d'être examinée avec le modèle GR4JSE (GR4J Sans Echanges). Nous la reprenons avec le modèle GR4JSI. Nous travaillons ici sur le modèle GR4JSI₂ (GR4JSI avec Report-Partiel-de-la-mise-à-jour-en-aval-de-l'Hydrogramme-Unitaire) présentée à la Figure 5.20. Comme la conclusion du paragraphe 5.3.3.1 était que la mise à jour du réservoir S était infructueuse, nous nous contentons ici de faire la mise à jour seulement sur les pluies nettes en attente issues de l'application de l'hydrogramme unitaire. Comme précédemment, nous essayons de ne pas nous limiter au choix entre une alternative (mettre ou ne pas mettre à jour) mais de conserver un passage continu de l'une à l'autre avec :

$$PH_2' = PH_2 \left[1 - f \left(1 - \frac{R_2'}{R_2} \right) \right] \quad \text{Eq. 5.3}$$

La mise à jour sur PH_2 est progressive selon le facteur f et reproduit celle nécessaire sur R_2 .

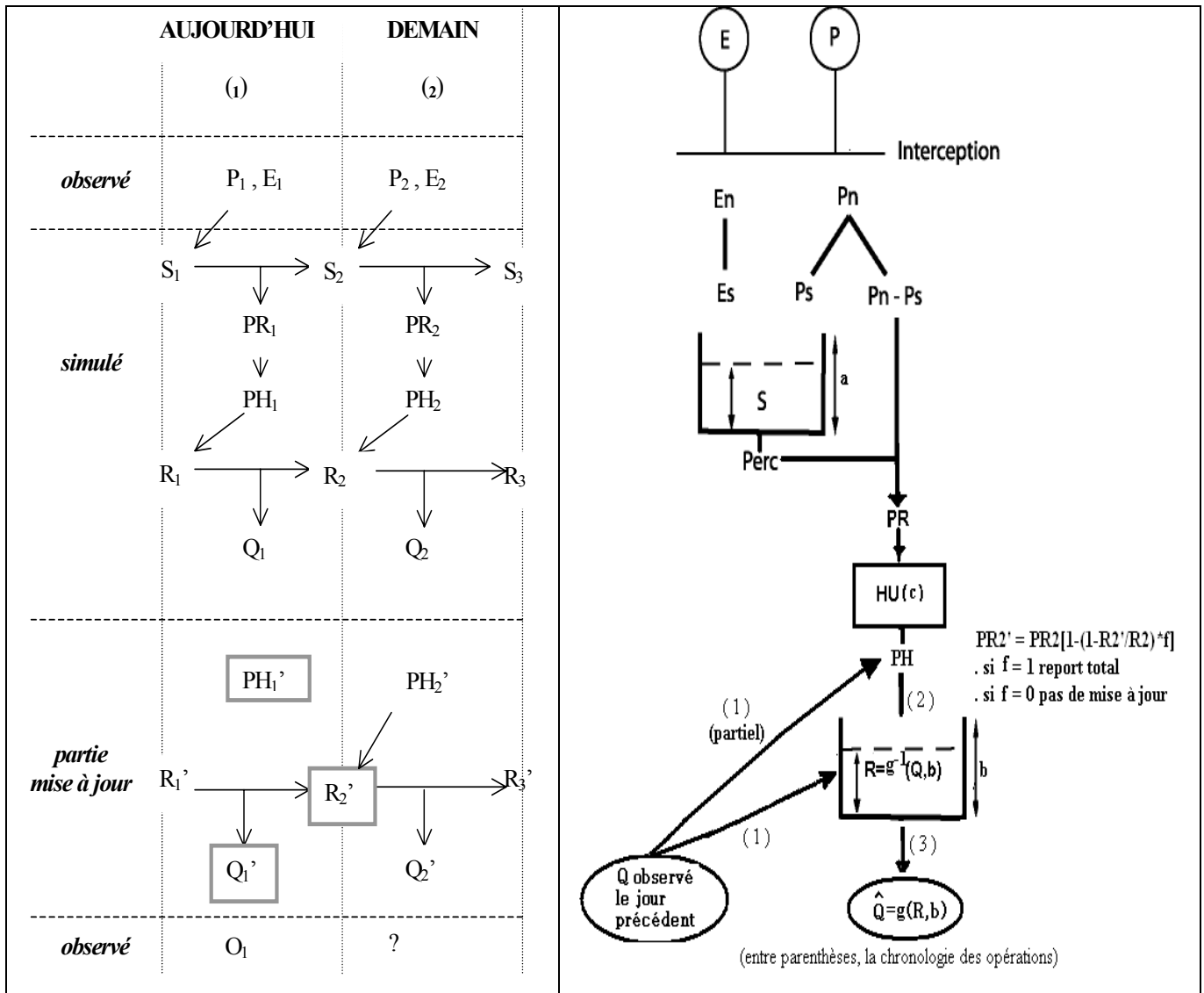


Figure 5.20 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI₂ avec mise à jour après l'action de l'hydrogramme unitaire

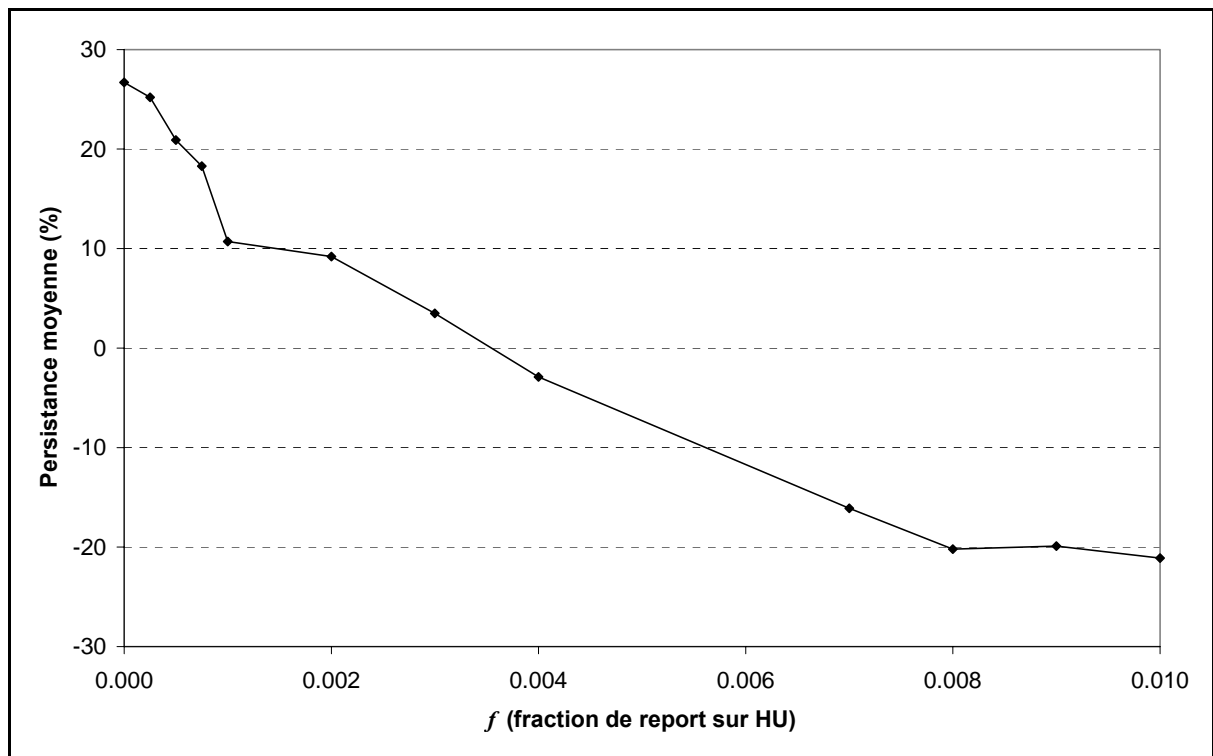


Figure 5.21 : Résultats de la variante GR4JSI₂

Les résultats obtenus ici (Figure 5.21 et Annexe A7.2) avec la méthode GR4JSI₂ (GR4JSI-avec-Report-Partiel-sur-la-sortie-de-l'Hydrogramme-Unitaire, des mises à jour faites sur le réservoir de routage R) montrent qu'il y a une nette dégradation des performances du modèle, liée à l'augmentation de la fraction f de mise à jour sur l'hydrogramme unitaire (HU).

5.3.3.3 Mise à jour des pluies PR en amont de HU dans GR4JSI (GR4JSI₃)

Nous travaillons ici sur la variante GR4JSI₃ (GR4J-Simplifié-avec-Ajustement-des-pluies-PR-en-amont-de-l'Hydrogramme-Unitaire) présentée à la Figure 5.22 et en Annexe A7.3. Ici, nous nous contenterons de faire la mise à jour sur les pluies nettes PR en entrée de l'hydrogramme unitaire en essayant de conserver un passage continu d'une option de l'alternative à l'autre à l'aide de la fraction f pour le report de mise à jour telle que :

$$PR'_2 = PR_2 \left[1 - f \left(1 - \frac{R'_2}{R_2} \right) \right] \quad \text{Eq. 5.4}$$

Si f est égal à 1, la même mise à jour que celle constatée pour R est supposée valable au niveau de PR . Si f est égal à 0, aucune mise à jour n'est apportée.

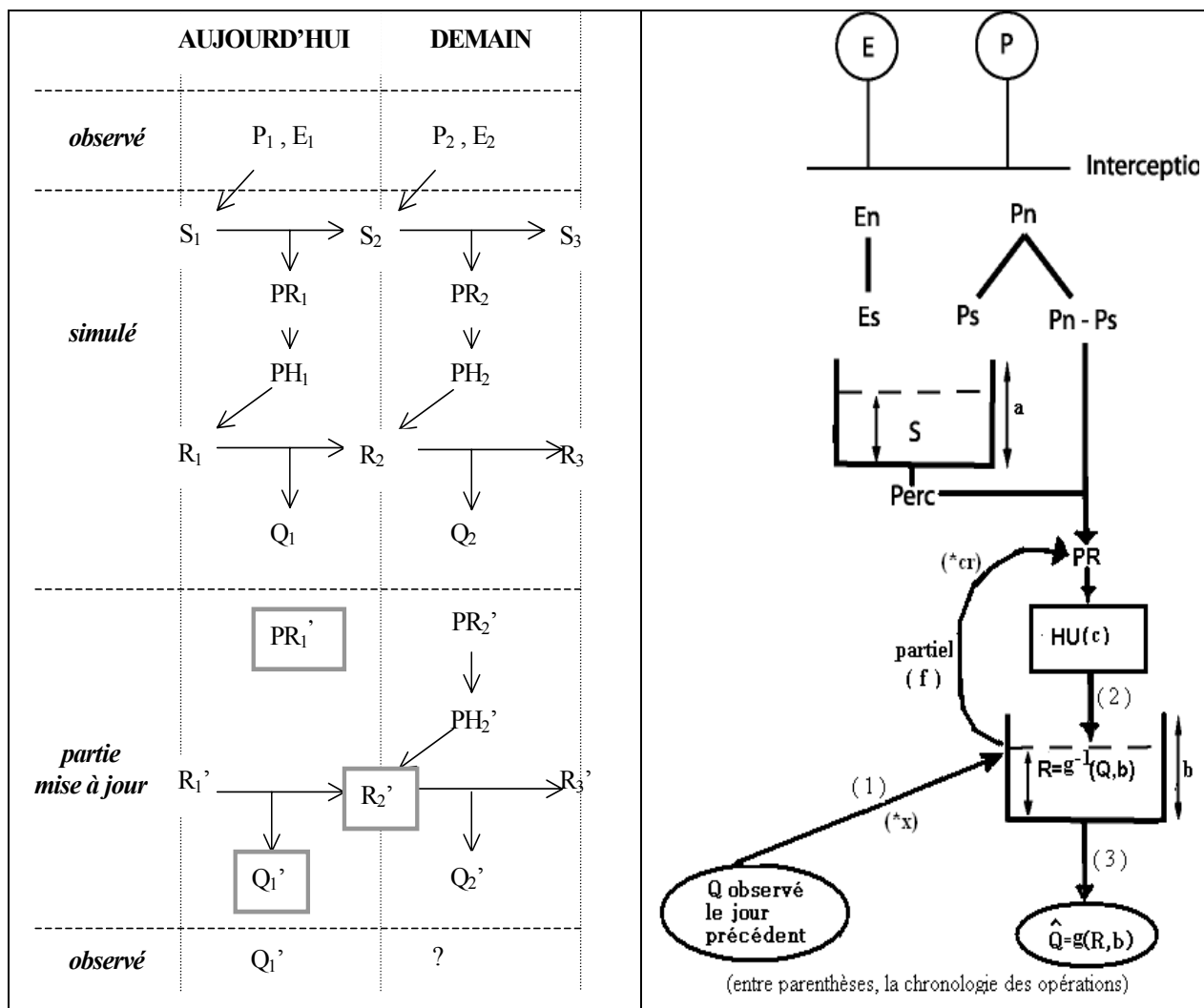


Figure 5.22 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI₃ avec ajustement après fonctionnement du réservoir sol (S)

Les résultats obtenus ici (26.7 %), (Figure 5.23 et Annexe A7.3), avec la méthode GR4JSI₃ montrent qu'il n'y a pas d'amélioration de performances du modèle GR4JSI de base (26.7 %) et qu'il y a là aussi une dégradation très marquée des performances du modèle liée à l'augmentation de la fraction f pour le report de la mise à jour.

Les résultats négatifs fournis ici par la variante GR4JSI₃ (GR4JSI-avec-Ajustement-des-pluies-PR-avant-l'Hydrogramme-Unitaire), en concordance avec ceux obtenus précédemment dans les études des variantes GR4JSI₁ (GR4J-Simplifié-avec-Report-Partiel-de-la-mise-à-jour-sur-le-reservoir-S) et GR4JSI₂ (GR4J-Simplifié-avec-Report-Partiel-de-la-mise-à-jour-sur-l'Hydrogramme-Unitaire), nous commandent pour le moment de mettre en veille les tentatives de propager en amont, sur le réservoir de production S ou sur l'Hydrogramme Unitaire, la mise à jour sur le réservoir de transfert R, car cette remontée d'information ne semble apporter aucune amélioration des performances des procédures obtenues.

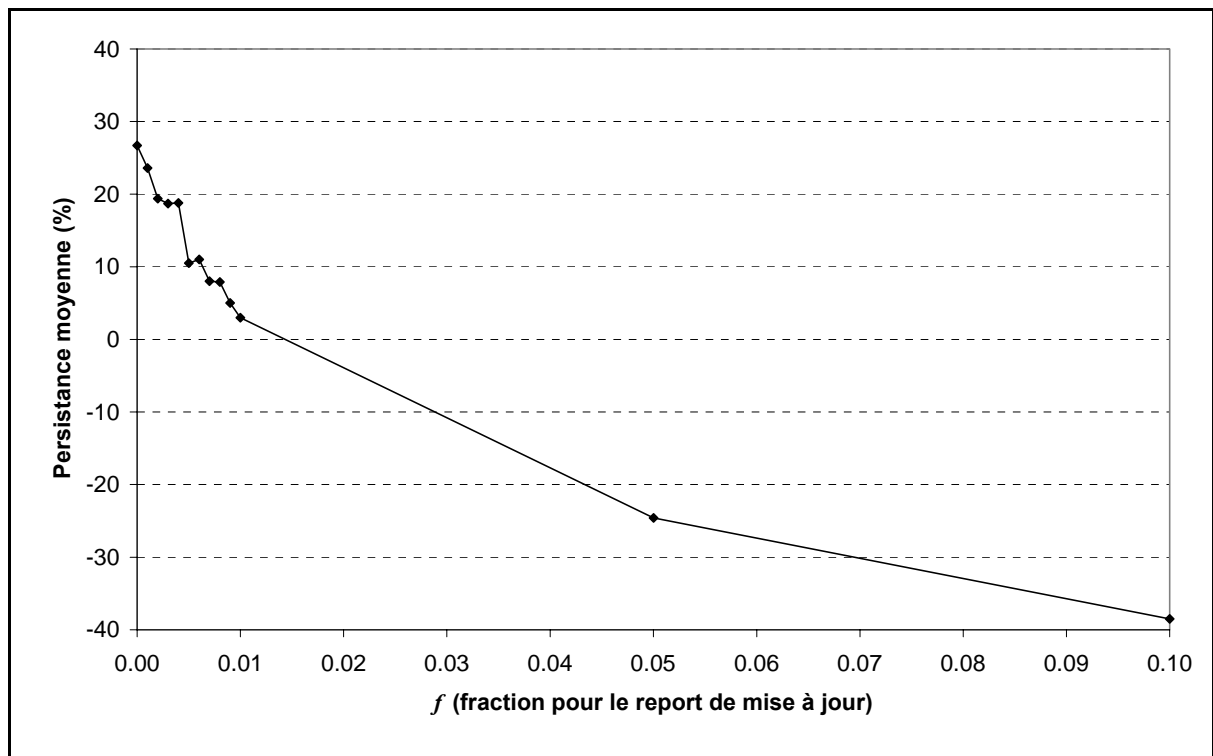


Figure 5.23 : Résultats de la variante GR4JSI₃

5.3.3.4 Synthèse des remontées de mise à jour du réservoir de transfert R

Le Tableau 5.4 donne une synthèse de l'ensemble des essais réalisés et des résultats significatifs obtenus jusqu'à présent.

On tire du Tableau 5.4 les conclusions suivantes :

- 1) Le modèle GR4J à une seule branche (GR4JSI) n'a pas permis la remontée des corrections en amont du routage, quel que soit le niveau où pourrait s'effectuer cette correction.
- 2) Le modèle GR4J à deux branches (GR4JSE) obtient des résultats similaires quand on met à jour les deux branches, sans atténuation de la mise à jour de la branche directe par rapport à celle de la branche passant par le réservoir de routage R. On peut se poser la question de l'intérêt de cette structure plus compliquée que la précédente, car le résultat final est légèrement moins bon.
- 3) Le modèle GR3JPR semble tirer son succès de la mise à jour conjointe de sa fonction de production et de sa fonction de routage. La performance totale est comparable à celles des deux modèles précédents. La persistance moyenne est un peu plus faible mais le taux de réussite par bassin est plus fort.
- 4) On a l'impression que les essais précédents montrent que l'on devrait abandonner l'espoir de travailler en prévision avec le modèle GR4J complet. En effet, c'est la variante très simplifiée GR4JSI qui donne les meilleurs résultats.

Avant d'adopter cette conclusion, nous allons entreprendre, dans le chapitre suivant, d'autres essais de structures avec le modèle GR4JSI incluant l'augmentation de la versatilité du

transfert, l'introduction de réservoirs de transfert multiples ainsi que celle d'une fonction d'échanges, avec les nombreuses variantes qui ne manqueront pas de s'imposer.

Tableau 5.4 : Récapitulatif des essais et des résultats

GR4JSI				GR4JSE				GR3JPR					
refus de la mise à jour de S (f ≈ 0)				refus de la mise à jour sur PH				refus de la mise à jour sur PR		mise à jour des 2 branches		mise à jour complète du rendement	
\bar{P}_{ers}	26.7	\bar{P}_{ers}	26.7	\bar{P}_{ers}	26.7	\bar{P}_{ers}	26.2	\bar{P}_{ers}	26.9	TS	0.94	TS	0.96
(aucun progrès)				(aucun progrès)				(aucun progrès)		refus de la mise à jour des 2 branches avec f = 1		(aucun progrès)	
\bar{P}_{ers} = Persistance moyenne, mise à jour en fonction de Q observé aujourd'hui				\bar{P}_{ers} = Persistance moyenne, mise à jour partielle (f)				\bar{P}_{ers} = Persistance moyenne, mise à jour conjointe					

Dans ce sixième chapitre, sur la base des travaux précédents et à travers une démarche empirique, nous développons des modifications de la structure du modèle de base pour une plus grande efficacité en prévision et validons cette nouvelle approche de la prévision des crues : le modèle GRP (modèle du Génie Rural pour la Prévision des crues). L'approche mise en œuvre est directe en ce sens qu'à tout instant, à chaque valeur simulée par le modèle, est associée la valeur prévue correspondante ainsi qu'une mise à jour automatique du modèle. Autrement dit, il s'agit d'un calage direct du modèle pour la prévision, sans réajustement rétroactif du modèle en simulation.

CHAPITRE 6

CHAPITRE 6

MODIFICATION DU MODÈLE DE BASE POUR UNE PLUS GRANDE EFFICACITÉ EN PRÉVISION DE CRUE

6.1. Augmentation de la versatilité du transfert dans le modèle GR4JSI (GR4JSI à 4 paramètres)

Ici nous introduisons dans le modèle GR4JSI une option pour tester l'intérêt d'un quatrième paramètre affecté au réservoir de transfert **R**, qui devient plus complexe avec deux paramètres. C'est en effet le seul état qui semble utile à mettre à jour. Nous en testerons successivement deux variantes :

- GR4JSI₄ (GR4JSI à 4 Paramètres dont 2 sont affectés au réservoir R évoluant de **Quadratique** à Cubique),
- GR4JSI₅ (GR4JSI à 4 Paramètres dont 2 sont affectés au réservoir R évoluant de Cubique à Quadratique).

Ce choix provient du fait que les données (de l'ensemble des 188 bassins versants) semblaient conduire à hésiter entre le choix d'un réservoir quadratique et celui d'un réservoir cubique.

6.1.1 Variante de quadratique à cubique GR4JSI

Dans un premier essai, nous considérons le cas du réservoir de transfert **R** à **deux paramètres** conduisant à un débit de sortie en **R²** si R est **petit** et en **R³** si R est **grand** (variante GR4JSI₄) et dont les équations sont données ci-dessous :

Etant donné qu'avec les études sur réservoir à loi puissance unique, on hésite entre un exposant égal à 2 et un exposant égal à 3, le réservoir proposé ici a pour équation de vidange, en continu :

$$Q = \beta R^2 (1 + R/b)^2 / (1 + 2R/b) \quad \text{Eq. 6.1}$$

où b et β sont les deux paramètres du réservoir de transfert R et on a l'équation de continuité:

$$dR/dt = -Q \quad \text{Eq. 6.2}$$

ce qui donne l'équation différentielle :

$$dR/R^2 - dR/(b+R)^2 = -\beta dt \quad \text{Eq. 6.3}$$

que l'on peut intégrer sur le pas de temps Δt au cours duquel R passe de R_1 à R_2 :

$$1/(R_2(b+R_2)) - 1/(R_1(b+R_1)) = \beta \Delta t \quad \text{Eq. 6.4}$$

la capacité maximale du réservoir est la valeur, b' , de R_2 correspondant à R_1 infini :

$$1/(b'(b+b')) = \beta \Delta t \quad \text{Eq. 6.5}$$

c'est-à-dire :

$$b' = (\sqrt{b^2 - 1/4\beta\Delta t} - b)/2 \quad \text{Eq. 6.6}$$

et l'on peut prendre comme deuxième paramètre :

$$\delta = b/b' \quad \text{Eq. 6.7}$$

Le programme est écrit avec ces deux paramètres b' et δ .

Les résultats apparaissent dans le Tableau 6.1 et la Figure 6.2 et seront commentés conjointement avec l'essai suivant qui inverse l'ordre des exposants 2 et 3.

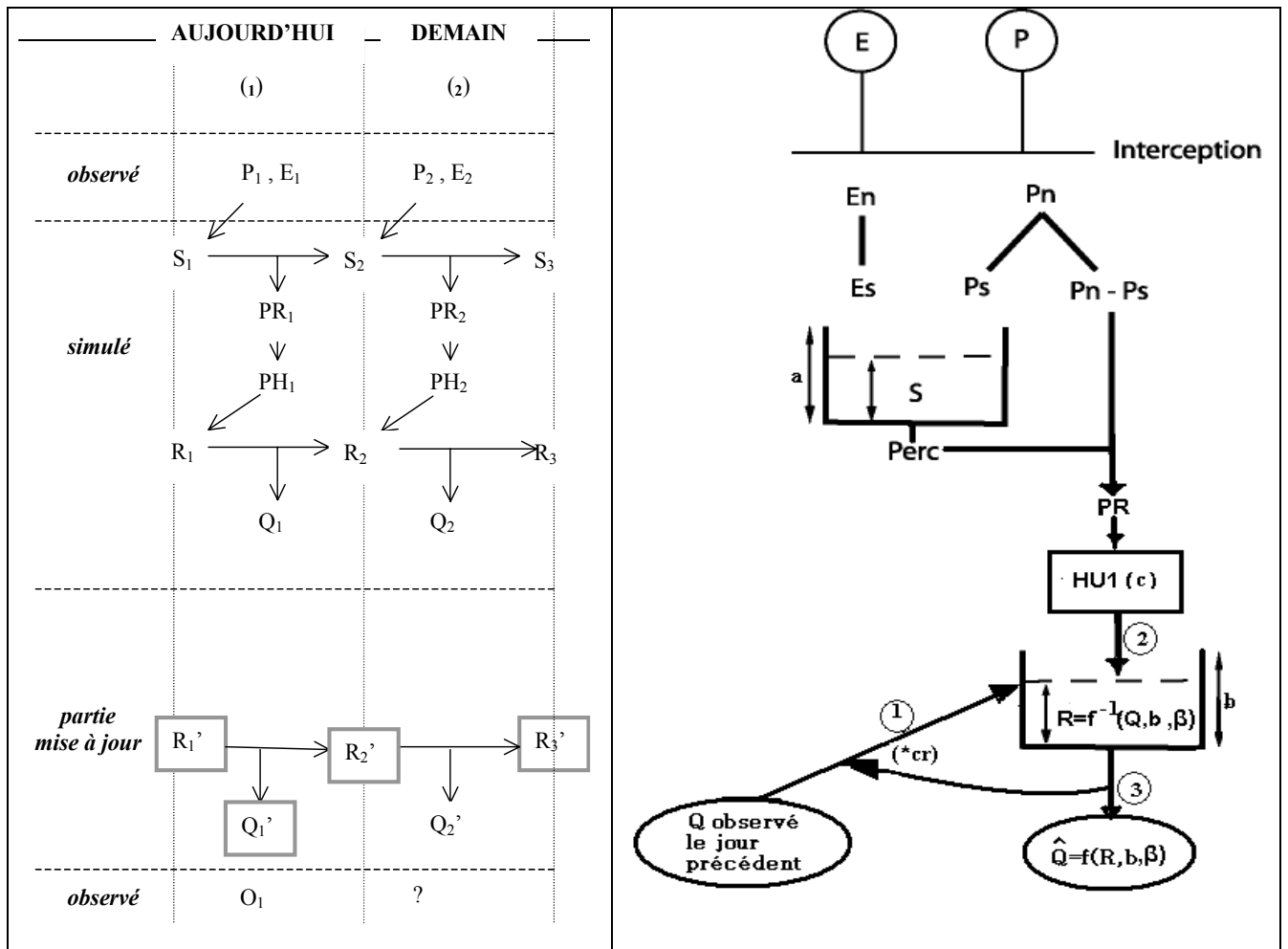


Figure 6.1 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI à 4 paramètres (dont 2 pour le réservoir de transfert R). Les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour

6.1.2 Variante de cubique à quadratique GR4JSI₅

Dans un second essai, nous considérons le cas du réservoir de transfert R à deux paramètres fonctionnant en sens inverse du cas précédent, c'est-à-dire conduisant à un débit de sortie en R^3 si R est petit et en R^2 si R est grand (variante GR4JSI₅) dont les équations sont données ci-après. Dans cette nouvelle variante l'équation de vidange en continu est donnée par :

$$Q = \beta R^3 / (1 + R/b) \quad \text{Eq. 6.8}$$

avec l'équation de continuité :

$$dR/dt = -Q \quad \text{Eq. 6.9}$$

on obtient l'équation différentielle :

$$dR/R^3 + dR/bR^2 = -\beta dt \quad \text{Eq. 6.10}$$

qui peut s'intégrer sur le pas de temps Δt où le réservoir R passe de R_1 à R_2 :

$$1/2R_2^2 + 1/bR_2 - (1/2R_1^2 + 1/bR_1) = \beta \Delta t \quad \text{Eq. 6.11}$$

la capacité maximale pour R_2 , b' , est obtenue pour R_1 infini, soit :

$$1/2b'^2 + 1/bb' = \beta \Delta t \text{ soit : } b' = 1/2\beta \Delta t \left[1/b + \sqrt{1/b^2 + 2\beta \Delta t} \right] \quad \text{Eq. 6.12}$$

On prendra b' comme nouveau paramètre à la place de b et comme deuxième paramètre on prendra :

$$\delta = \sqrt{1 + 2\beta \Delta t b'^2} - 1 \quad \text{Eq. 6.13}$$

Le programme est écrit avec ces deux paramètres b' et δ .

Les meilleurs résultats obtenus dans les différents essais de cette configuration GR4JSI à 4 Paramètres (Variante GR4JSI₄ et variante GR4JSI₅) sont donnés dans le Tableau 6.1 et la Figure 6.2. Les résultats généraux sont en Annexes A7.4 et 0.

Tableau 6.1 : Meilleurs résultats des variantes GR4JSI₄ et GR4JSI₅

Variante du modèle	Type du Paramètre 4	Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
GR4JSI4	fixé	-99.8	23.8	65.8	0.89	6.16	6.36	-5.71	log(1.5)
	optimisé	-99.8	23.9	65.9	0.88	6.47	6.18	-5.79	2.97
GR4JSI5	fixé	-99.90	24.1	66.51	0.89	6.31	6.28	-5.77	log(0.15)
	optimisé	-99.89	23.7	68.00	0.89	5.96	5.76	-5.84	1.69

La configuration GR4JSI4 la plus performante (**23.9%**) est celle avec **le second paramètre du réservoir de transfert R** (le quatrième paramètre du modèle) **optimisé**.

La configuration GR4JSI5 la plus performante (**24.1%**) est celle avec **le second paramètre du réservoir de transfert R** (le quatrième paramètre du modèle) **fixé** à une valeur du paramètre de 0.44.

On constate que la seconde variante GR4JSI5 du modèle GR4JSI à 4 Paramètres est un peu plus performante (avec le même taux de BV en échec, 11%) que la première variante GR4JSI4, mais le gain est vraiment trop faible pour mériter un paramètre supplémentaire à optimiser.

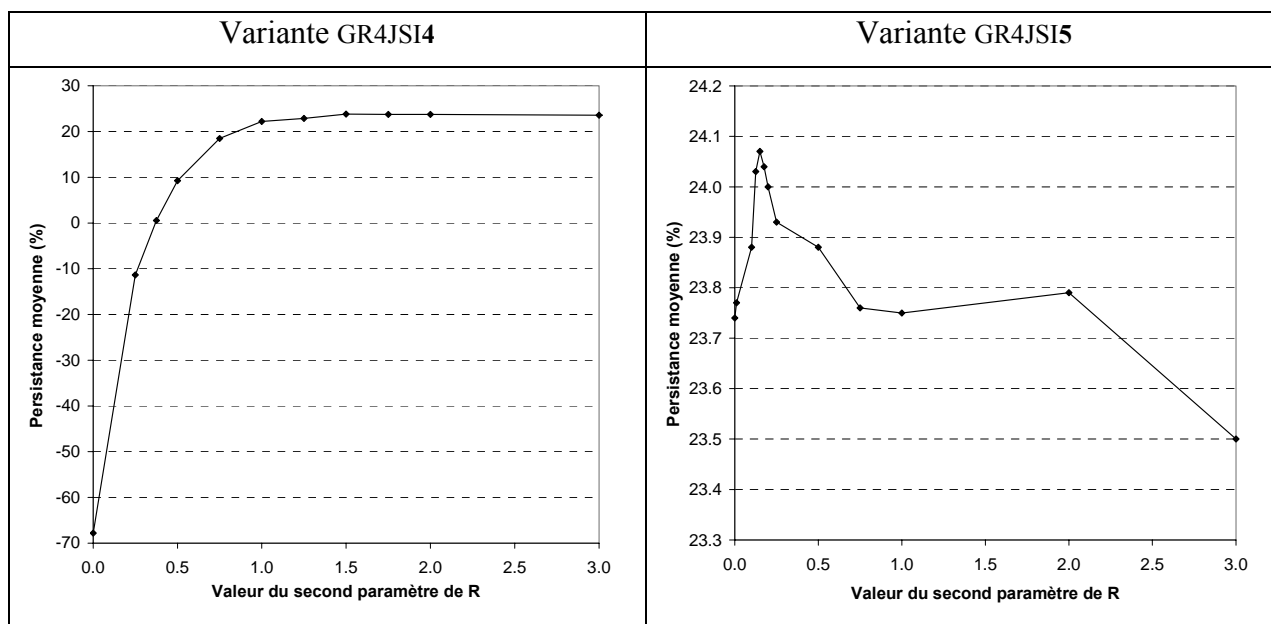


Figure 6.2 : Résultats des variantes GR4JSI₄ et GR4JSI₅

6.2. Introduction de deux réservoirs quadratiques de transfert dans le modèle GR4JSI (modèle GR4JSI₆)

Pour continuer à tester la variante à deux paramètres dédiés à la fonction de transfert, ici nous introduisons dans le modèle GR4JSI une option où le transfert est effectué par deux réservoirs quadratiques en parallèle alimentés à égalité en pluie nette et qui sont de capacités maximales différentes. La mise à jour consiste à multiplier les contenus constatés en simulation par le même nombre pour les deux réservoirs (Figure 6.3). Les résultats généraux sont donnés en Annexe A7.6.

Tableau 6.2 : Résultats de la variante GR4JSI₆

Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens			
Minimale	Moyenne	Maximale		1	2	3	4
-99.78	24.0	66.86	0.90	5.77	5.10	-5.84	-3.16

On remarque que cette variante est **moins** performante que les précédentes variantes du modèle GR4JSI **malgré** deux paramètres dédiés à la fonction de transfert. Cette dernière constatation peut être considérée comme apportant un démenti à l'intérêt éventuel d'introduire plus de souplesse dans une fonction de transfert qui est seule à supporter l'effort de mise à jour.

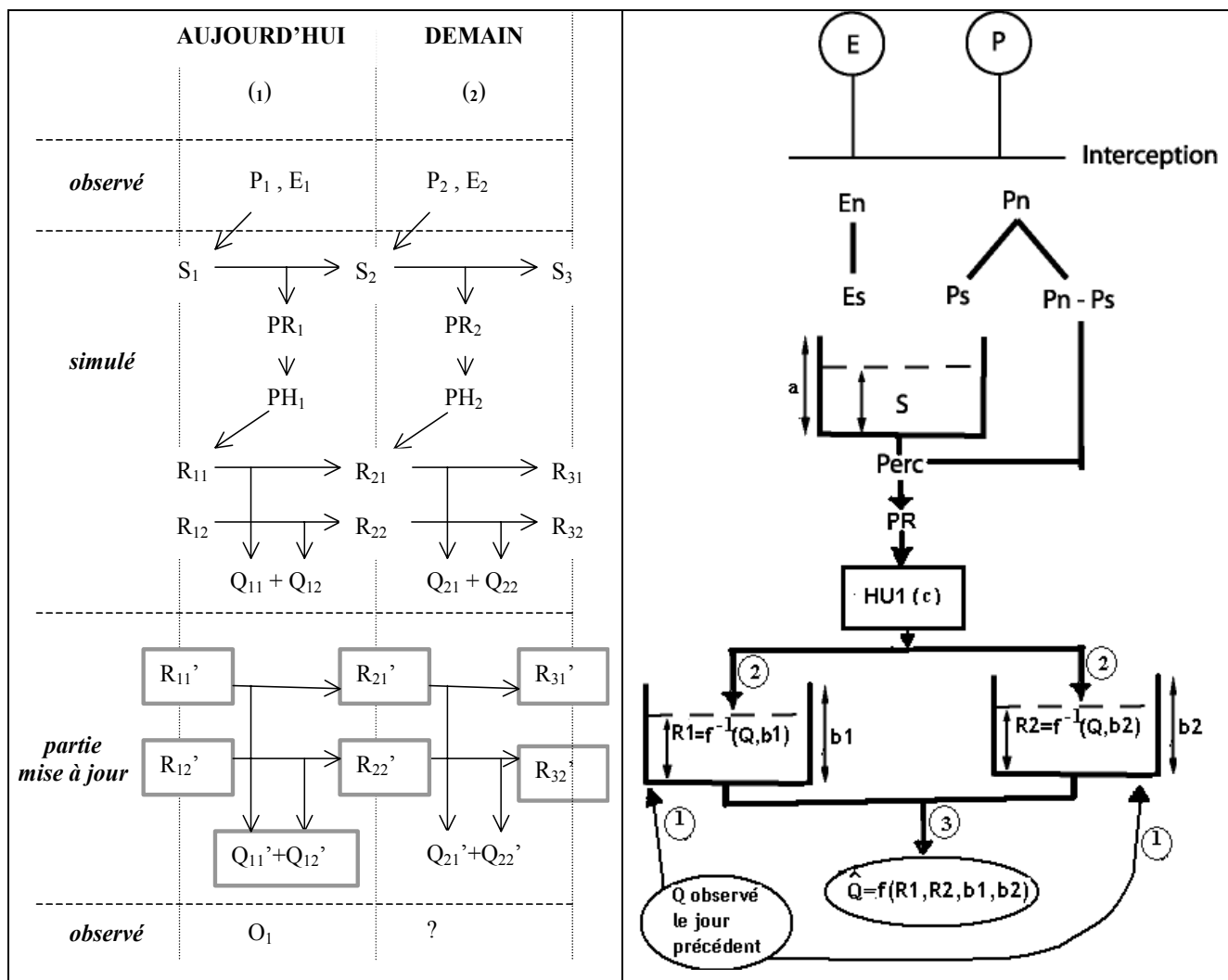


Figure 6.3 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSI₆ (GR4JSI à deux réservoirs de transfert quadratiques en parallèle)

6.3. Introduction d'une fonction d'échange dans la variante GR4JSI (Variante GR4JSI₇)

Il nous reste à présent à voir si l'on peut introduire dans GR4JSI une fonction d'échange (avec son paramètre) de façon à se rapprocher du modèle GR4J complet et escompter une amélioration assez significative des performances du modèle.

Pour tester cette approche, une nouvelle version opérationnelle du modèle de prévision de crue au pas de temps journalier a été mise au point.

La fonction d'échange d'origine est rendue inopérante par la mise à jour du réservoir de transfert R. En revanche, on peut tester l'intérêt d'une fonction non conservative sous forme d'un coefficient multiplicatif en sortie de la fonction de production. La pluie efficace produite est égale à $PRS = d.PR$ où d est le quatrième paramètre du modèle et PR était l'entrée du réservoir de transfert R.

Toutes les variantes qui suivent ont été modifiées pour pouvoir intégrer un taux partiel de mise à jour du débit Q à l'aide d'une fraction de mise à jour f telle que:

$$Q_2' = Q_2 \left[1 - f \cdot \left(1 - \frac{Q_1}{Q_2} \right) \right] \quad \text{Eq. 6.14}$$

Si $f=1$, la mise à jour est totale, si $f=0$, il n'y a pas de mise à jour.

On va également tester l'intérêt de mettre à jour le réservoir de transfert R plutôt que le débit Q seul en sortie.

Dans la présente variante GR4JSI₇ (Figure 6.4), on va maintenir les options du choix du réservoir de transfert et de la variable cible de la mise à jour (débit Q ou réservoir de transfert R).

Les meilleurs résultats obtenus des différents essais de cette configuration sont données dans le Tableau 6.3 et la Figure 6.5. Des résultats plus complets sont en Annexe A7.7.

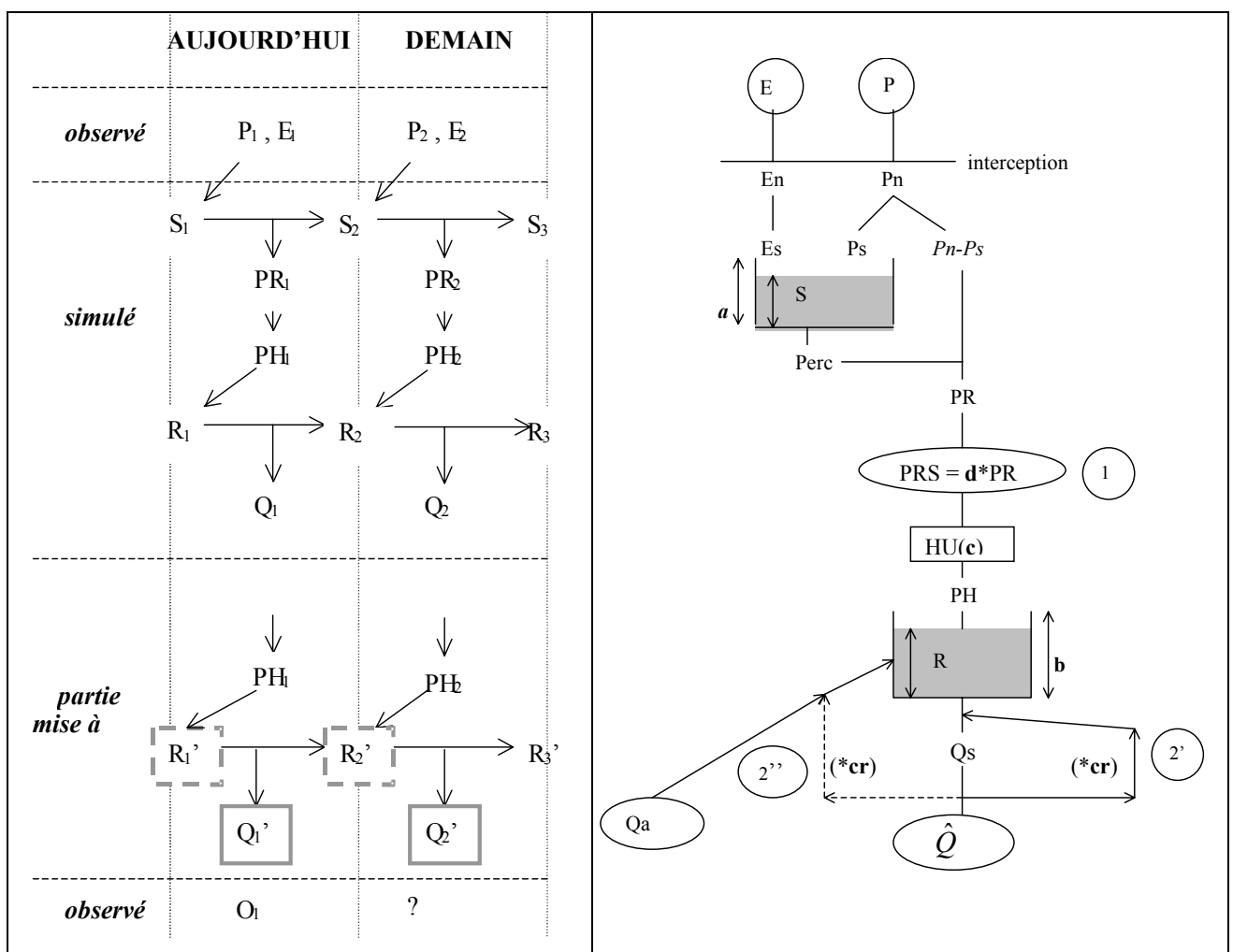


Figure 6.4 : Schéma de fonctionnement de la variante GR4JSI₇ (GR4JSI avec introduction d'une fonction d'échanges). Les R_i' sont mis à jour si et seulement si l'option mise à jour de R est sélectionnée dans les choix possibles offerts au lancement du programme.

Tableau 6.3 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₇

Mise à jour de	Nombre de Paramètres	Exposant réservoir R	Importance de la mise à jour	Persistances			Proportion de BV à Persistence>0	Paramètres moyens			
				Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
R	3	3	1.0	-99.9	22.7	68.1	0.88	5.73	5.54	-6.92	
		2	1.0	-99.8	23.2	65.9	0.88	6.76	6.20	-6.82	
	4	3	1.0	-57.2	27.9	68.5	0.94	5.25	5.21	-6.93	-0.55
		2	1.0	-39.3	28.5	66.3	0.96	6.23	5.31	-6.86	-0.57
Q	3	3	0.95	-99.9	18.4	63.6	0.85	4.76	5.71	-6.98	
		2	0.95	-99.9	18.6	61.9	0.84	5.58	5.93	-6.88	
	4	3	0.95	-89.4	22.8	63.7	0.92	4.36	5.13	-7.03	-0.36
		2	0.95	-71.7	23.0	62.0	0.91	5.14	5.41	-6.95	-0.38

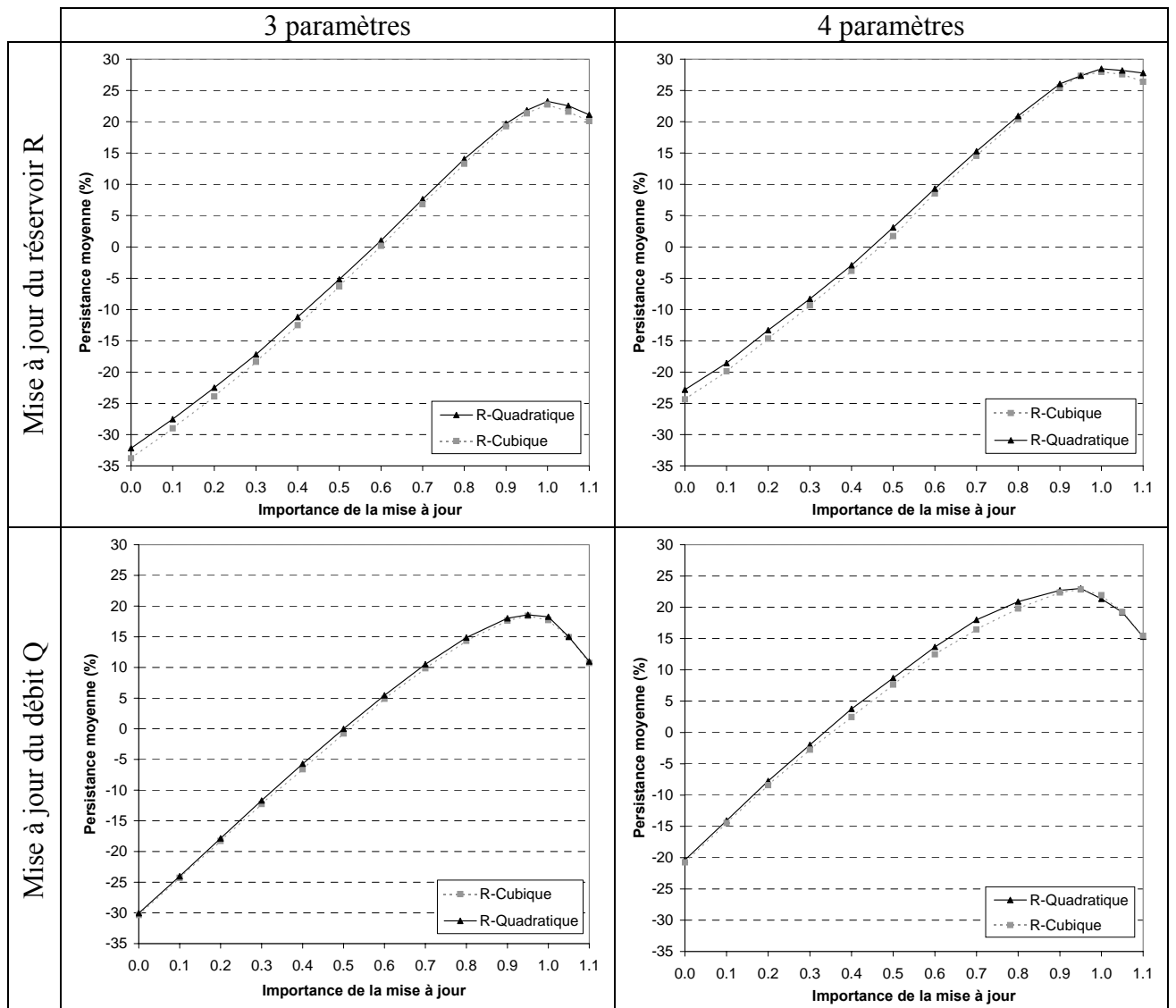


Figure 6.5 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₇

Les configurations du modèle GR4JSI₇ les plus performantes en **mise à jour du réservoir R (28.5%)** et en **mise à jour du débit Q (23.0%)** sont celles avec le réservoir **R quadratique** avec le modèle introduisant la fonction d'échanges (**4 paramètres**) et pour l'**importance de la mise à jour** respectivement égale à **1.0** et à **0.95**.

Ces résultats (28.5% pour réservoir en R² et 27.9% pour réservoir en R³) montrent que l'introduction de la fonction d'échanges améliore très sensiblement ceux de GR4JSI avec 3 paramètres (26.2% pour réservoir en R² et 26.7% pour réservoir en R³) du paragraphe 4.5 et que le réservoir quadratique est très légèrement plus performant que le réservoir cubique dans cette configuration.

Vu le gros progrès en efficacité (+5.3% pour GR4JSI₇ avec mise à jour de R² par rapport à GR4JSI₇ sans mise à jour de R²) apporté par l'introduction de la fonction d'échanges, nous considérons ce point comme définitivement acquis.

6.4. Réexamen de l'hydrogramme unitaire dans la variante GR4JSI₇ précédente

Les différentes leçons que nous pouvons tirer des tests effectués jusqu'à présent convergent vers un impératif : **il faut avoir un modèle le plus lissé possible, évitant les dérivées non continues ou les embranchements dans sa structure.**

A cet égard, l'hydrogramme unitaire qui permet l'échelonnement des apports au réservoir de transfert peut présenter un manquement important au principe précédent. Cet hydrogramme unitaire est en effet non continu à son extrémité. Il est certain que l'hydrogramme de la branche d'écoulement semi-direct serait plus approprié dans le modèle que nous utilisons en prévision.

Nous allons étudier un certain nombre de variantes de GR4JSI₇ dépendant de l'exposant α de la fonction puissance utilisée pour décrire la branche de montée et la branche de décrue de l'hydrogramme unitaire :

- en montée ($t < C/2$) : $q(t) \propto t^\alpha$
- en décrue ($t > C/2$) : $q(t) \propto (C-t)^\alpha$

6.4.1 Variante GR4JSI₈ (utilisation de HU32.5 au lieu de HU1)**

Dans cette configuration, on utilise GR4JSI₇ avec l'hydrogramme unitaire **HU3**, comportant une phase de décrue, tel qu'il est donné dans GR4J mais avec une fonction à la puissance **2.5** (au lieu de 3.5 comme dans le cas précédent).

Les meilleurs résultats obtenus des différents essais de cette configuration sont donnés dans le Tableau 6.4 et la Figure 6.6. Les résultats plus complets sont en Annexe A7.8.

Les configurations du modèle GR4JSI₈ les plus performantes en **mise à jour du réservoir R (28.9%)** et en **mise à jour du débit Q (24.5%)** sont celles avec le réservoir **R quadratique** avec le modèle à **4 paramètres** et pour l'**importance de la mise à jour** respectivement égale à **1.0** et à **0.95**.

Tableau 6.4 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₈

Mise à jour de	Nombre de Paramètres	Exposant réservoir R	Importance de la mise à jour	Persistance			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens			
				Mini.	Moyen.	Maxi.		1	2	3	4
R	3	3	1.0	-99.7	24.2	63.4	0.88	5.44	6.06	-7.43	
		2	1.0	-99.5	24.2	62.2	0.88	6.43	6.37	-7.41	
	4	3	1.0	-57.7	28.7	64.1	0.94	4.89	5.31	-7.46	-0.52
		2	1.0	-38.68	28.9	63.1	0.95	5.85	5.45	-7.54	-0.55
Q	3	3	0.95	-99.8	19.6	61.2	0.84	4.37	6.13	-7.30	
		2	1.0	-100.0	19.7	59.2	0.84	4.99	6.39	-7.33	
	4	3	0.95	-28.0	24.4	61.1	0.91	4.15	5.59	-7.10	-0.63
		2	0.95	-25.8	24.5	60.6	0.92	4.87	5.94	-7.03	-0.58

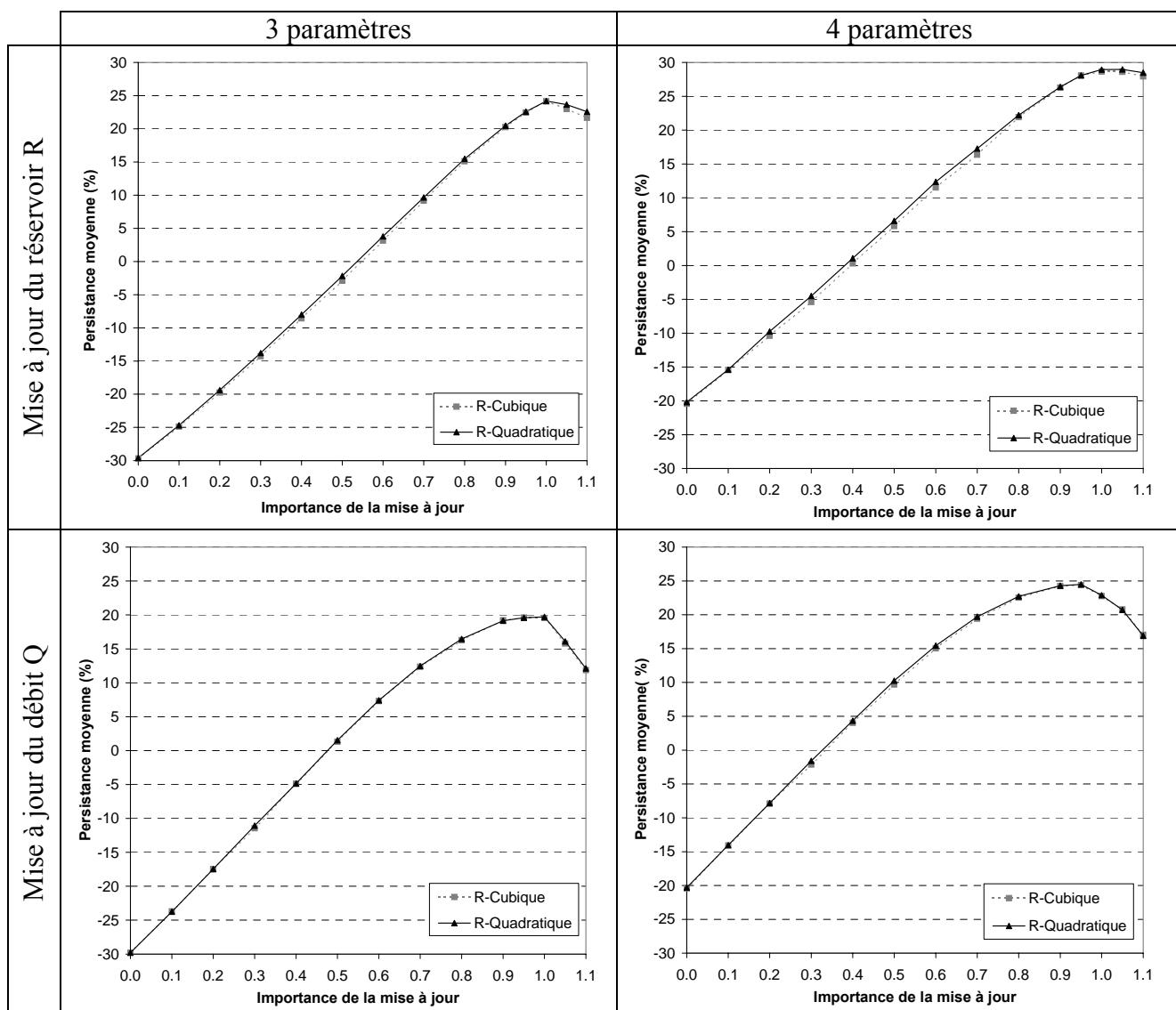


Figure 6.6 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₈

Les résultats obtenus ici (**28.9%** pour réservoir en R² et **28.7%** pour réservoir en R³) améliorent sensiblement ceux de GR4JSI₇ (28.5% pour réservoir en R² et 27.9% pour réservoir en R³) et très sensiblement ceux de GR4JSI avec 3 paramètres (26.2% pour réservoir en R² et 26.7% pour réservoir en R³) du paragraphe 4.5.

Dans cette configuration, les deux types de réservoir sont sensiblement équivalents avec cette fois encore un très léger avantage au réservoir quadratique en général.

La conclusion est qu'un hydrogramme unitaire moins pointu est préférable à l'hydrogramme utilisé dans GR4J.

6.4.2 Variante GR4JSI₉ (utilisation de HU3**2.0 au lieu de HU1)

Dans cette configuration, on utilise GR4JSI₇ avec l'hydrogramme unitaire **HU3** tel qu'il est donné dans GR4J **mais** avec une fonction à la puissance **2.0** (au lieu de 2.5 comme dans le cas précédent) pour adoucir sa pointe en abaissant sa crête.

Les meilleurs résultats obtenus des différents essais de cette configuration sont donnés dans le Tableau 6.5 et la Figure 6.7. Des résultats plus complets sont en Annexe A7.9.

Tableau 6.5 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₉

Mise à jour de	Nombre de Paramètres	Exposant réservoir R	Importance de la mise à jour	Persistances			Proportion de BV à Persistencee>0	Paramètres moyens			
				Mini.	Moye n.	Maxi.		1	2	3	4
R	3	3	1.0	-99.7	23.7	61.0	0.89	5.41	6.00	-7.51	
		2	1.0	-99.5	23.8	58.5	0.88	6.37	6.22	-7.41	
	4	3	1.0	-56.1	28.4	60.9	0.94	4.86	5.15	-7.55	-0.48
		2	1.0	-37.8	28.6	59.3	0.94	5.77	5.80	-7.55	-0.51
Q	3	3	0.95	-99.8	19.6	59.9	0.84	4.25	6.11	-7.28	
		2	1.0	-100.0	19.3	57.2	0.85	4.62	6.34	-7.10	
	4	3	0.90	-29.1	24.3	58.2	0.89	4.10	5.43	-7.09	-0.55
		2	0.95	-21.9	24.0	59.1	0.91	4.81	5.73	-7.04	-0.52

Les configurations du modèle GR4JSI₉ les plus performantes en **mise à jour du réservoir R (28.6%)** et en **mise à jour du débit Q (24.3%)** sont respectivement celle avec le réservoir **R quadratique** et celle avec le réservoir **R cubique** avec le modèle à **4 paramètres** et pour l'**importance de la mise à jour** respectivement égale à **1.0** et à **0.90**.

On constate que les résultats obtenus ici (28.6% pour un réservoir en R² et 28.4% pour un réservoir en R³) détériorent ceux de **GR4JSI₈** (**28.9%** pour réservoir en R² et **28.7%** pour réservoir en R³) bien qu'améliorant aussi ceux de GR4JSI₇ (28.5% pour réservoir en R² et 27.9% pour réservoir en R³) et même très sensiblement ceux de GR4JSI avec 3 paramètres (26.2% pour réservoir en R² et 26.7% pour réservoir en R³) du paragraphe 4.5.

Dans cette configuration, le réservoir quadratique est légèrement plus performant en option mise à jour de R, mais le réservoir cubique offre ce léger avantage en option mise à jour de Q.

On conclut que le souci d'arrondir la pointe de l'hydrogramme rencontre un problème de trop brusque montée au début de l'hydrogramme. Pour avoir confirmation de ce fait, on procède à l'essai du paragraphe suivant où on continue sur la voie de la diminution de l'exposant α de la fonction puissance.

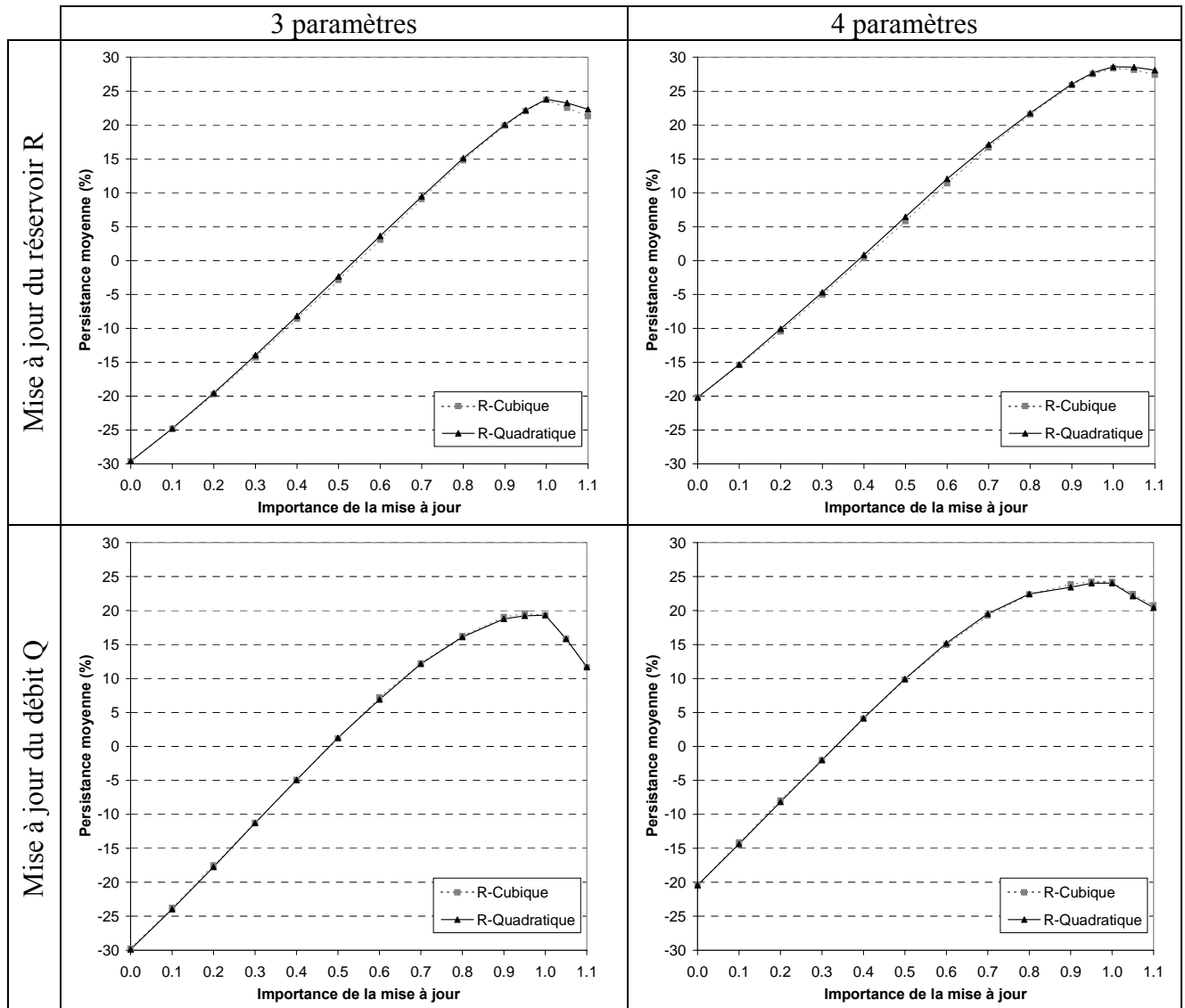


Figure 6.7 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₉

6.4.3 Variante GR4JSI₁₀ (utilisation de HU3**1.5 au lieu de HU1)

Dans cette configuration, on utilise GR4JSI₇ avec l'hydrogramme unitaire HU3 tel qu'il est donné dans GR4J-Perrin mais avec une fonction à la puissance 1.5 (au lieu de 2.0 comme dans le cas précédent).

Les meilleurs résultats obtenus des différents essais de cette configuration sont donnés dans le Tableau 6.6 et la Figure 6.8. Les résultats généraux sont en Annexe A7.10.

Tableau 6.6 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₁₀

Mise à jour de	Nombre de Paramètres	Exposant réservoir R	Importance de la mise à jour	Persistances			Proportion de BV à Persistence > 0	Paramètres moyens			
				Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
R	3	3	1.0	-99.7	22.6	56.1	0.89	5.37	5.93	-7.46	
		2	1.0	-99.6	22.6	55.4	0.88	6.37	6.21	-7.57	
	4	3	1.0	-54.3	27.1	55.7	0.94	4.83	5.44	-7.65	-0.44
		2	1.0	-38.0	27.2	55.0	0.95	5.76	5.77	-7.69	-0.47
Q	3	3	0.95	-99.8	17.9	56.0	0.86	4.43	5.70	-7.46	
		2	1.0	-100.0	17.7	53.1	0.87	4.99	6.06	-7.30	
	4	3	0.9	-41.0	22.7	54.6	0.90	4.21	5.30	-7.08	-0.54
		2	0.9	-47.0	22.5	53.9	0.92	4.97	5.63	-7.01	-0.52

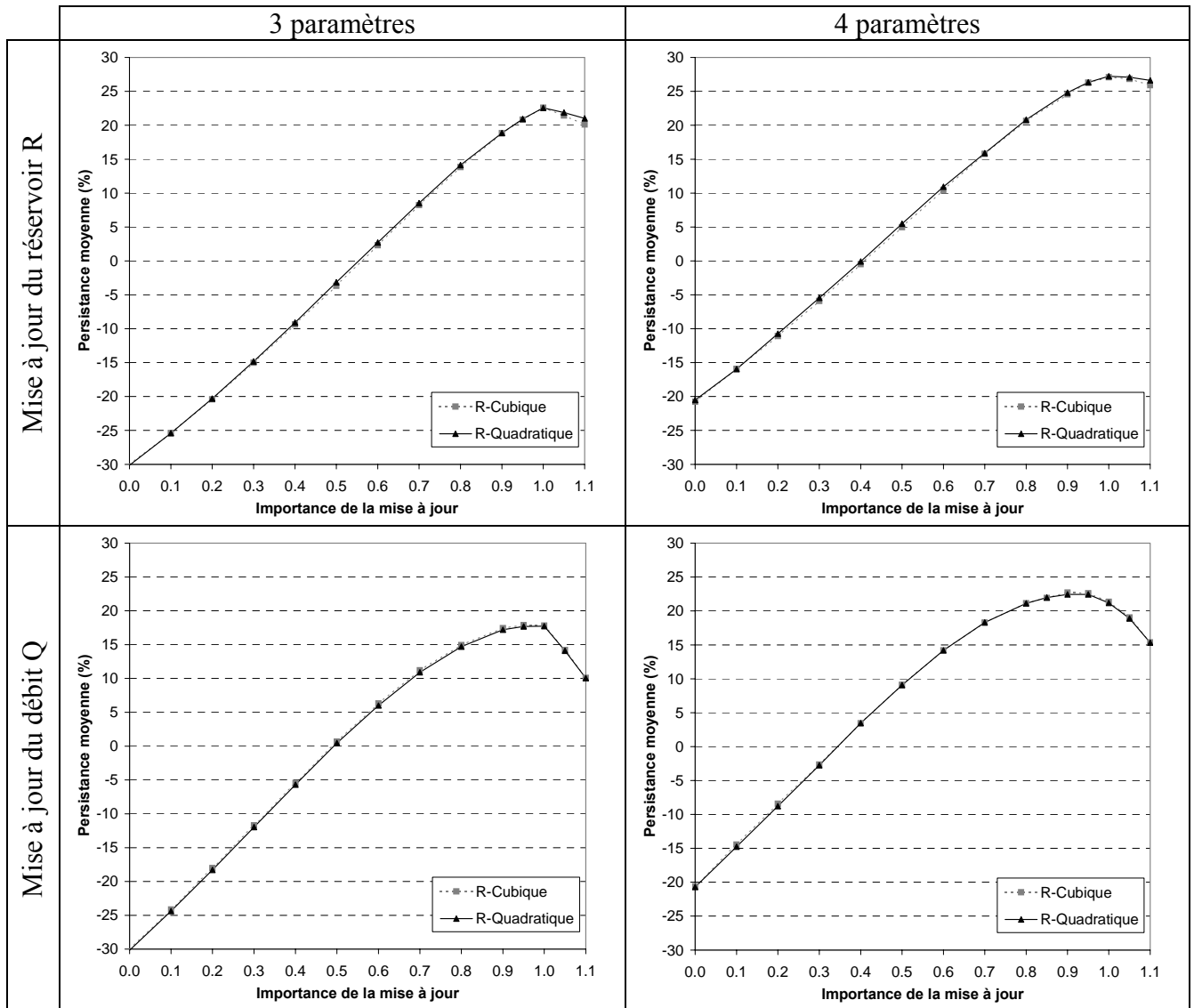


Figure 6.8 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₁₀

Les configurations du modèle GR4JSI₁₀ les plus performantes en **mise à jour du réservoir R (27.2%)** et en **mise à jour du débit Q (22.7%)** sont celles respectivement avec le réservoir **R quadratique** et le réservoir **R cubique** avec le modèle à **4 paramètres** et pour l'**importance de la mise à jour** respectivement égale à **1.0** et à **0.9**.

Les résultats obtenus ici (27.2% pour réservoir en R² et 27.1% pour réservoir en R³) dégradent très fortement ceux de **GR4JSI₈ (28.9%** pour réservoir en R² et **28.7%** pour réservoir en R³), fortement ceux de GR4JSI₉ (28.6% pour réservoir en R² et 28.4% pour réservoir en R³) et de GR4JSI₇ (28.5% pour réservoir en R² et 27.9% pour réservoir en R³) même s'ils améliorent aussi assez sensiblement ceux des essais de GR4JSI avec 3 paramètres (26.2% pour réservoir en R² et 26.7% pour réservoir en R³) du paragraphe 4.5.

Dans cette configuration, les deux types de réservoirs sont sensiblement équivalents avec un très léger avantage au réservoir cubique sauf dans le cas de mise à jour du réservoir R avec introduction d'une fonction d'échange dans le modèle à 4 paramètres.

Les résultats confirment la conclusion de l'essai précédent montrant qu'un exposant égal à 2.5 pour la fonction hydrogramme est préférable.

6.4.4 Comparaison des meilleurs résultats des quatre variantes de GR4JSI₇

Avec ou sans introduction de la fonction d'échange et quelle que soit l'option de mise à jour retenue, on observe que les résultats obtenus par la variante GR4JSI₈ sont tous supérieurs aux résultats respectifs des trois autres variantes de GR4JSI₇ testées ici et que l'option avec mise à jour du réservoir de transfert R est meilleure (+4.3 % au moins) que l'option avec mise à jour du débit Q.

Tableau 6.7 : Comparaison des quatre Variantes de GR4JSI₇

Avec ou Sans la fonction d'échanges	Nombre de Paramètres	Type du réservoir R	Persistances Moyennes							
			Mise à jour du réservoir R				Mise à jour du débit Q			
			GR4JSI ₇	GR4JS ₈	GR4JS ₉	GR4JSI ₁₀	GR4JSI ₇	GR4JS ₈	GR4JS ₉	GR4JSI ₁₀
			($\alpha = 3.5$)	($\alpha = 2.5$)	($\alpha = 2.0$)	($\alpha = 1.5$)	($\alpha = 3.5$)	($\alpha = 2.5$)	($\alpha = 2.0$)	($\alpha = 1.5$)
Avec	4	en R ²	28.5	28.9	28.6	27.2	23.0	24.5	24.0	22.5
		en R ³	27.9	28.7	28.4	27.1	22.8	24.4	24.3	22.7
Sans	3	en R ²	23.2	24.2	23.8	22.6	18.6	19.7	19.3	17.7
		en R ³	22.7	24.2	23.7	22.6	18.4	19.6	19.6	17.9

Tableau 6.8 : Gains par rapport à GR4JSI de base (sans fonction d'échange)

		Avec le réservoir de transfert en R ²				Avec le réservoir de transfert en R ³			
		Gains par rapport à 0 de :				Gains par rapport à 0 de :			
		GR4JSI ₇	GR4JSI ₈	GR4JSI ₉	GR4JSI ₁₀	GR4JSI ₇	GR4JSI ₈	GR4JSI ₉	GR4JSI ₁₀
Mise à jour de	R	5.3	5.7	5.4	4.0	5.2	6.0	5.7	4.4
	Q	4.4	5.9	5.4	3.9	4.4	6.0	6.0	4.3

L'introduction de la fonction d'échange apporte une amélioration de la variante de base (sans fonction d'échange) de GR4JSI₇. En prenant comme référence la variante GR4JSI de base (sans fonction d'échange), on obtient le tableau des gains ci-dessous:

Ceci donne le classement suivant pour les différentes variantes testées ici :

$$\text{GR4JSI}_8 > \text{GR4JS}_9 > \text{GR4JSI}_7 > \text{GR4JSI}_{10}$$

C'est donc la configuration **GR4JSI₈** (GR4JSI₇ avec l'hydrogramme unitaire **HU3** tel qu'il est donné dans GR4J avec une fonction à la puissance **2.5**) qui apporte le plus d'amélioration du modèle et qu'il faut conserver pour la suite des essais.

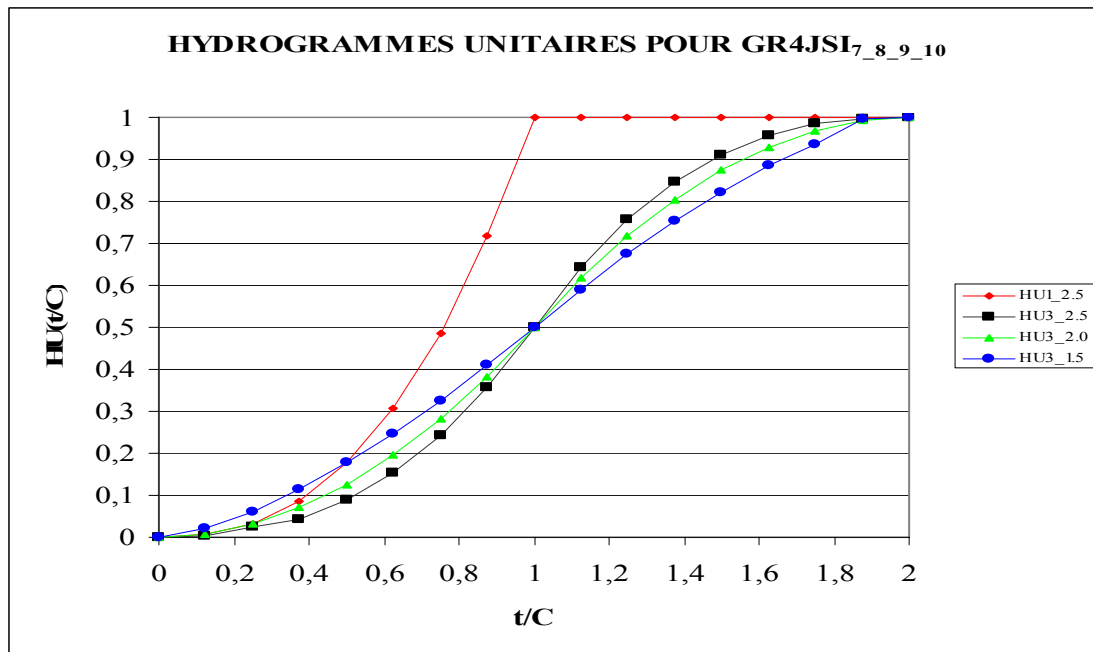


Figure 6.9 : Hydrogrammes Unitaires (HU) pour GR4JSI_{7_8_9_10}

La conclusion de tous ces essais est que l'hydrogramme unitaire comportant une décroissance et moins pointu que celui dans GR4J est mieux toléré dans l'opération de prévision. On voit aussi que l'on a toujours intérêt à mettre à jour le réservoir de transfert R plutôt que de mettre à jour le débit Q en sortie. Le gain sera probablement encore plus net pour un délai de prévision supérieur à un jour. Bien entendu, le gain très net (+5.7% pour GR4JSI₈ avec mise à jour du réservoir en R²) obtenu par l'introduction d'une fonction d'échange (le système n'est plus conservatif) est toujours maintenu.

C'est également toujours l'utilisation du réservoir quadratique qui procure un léger avantage dans tous les cas de mise à jour (R ou Q) sauf dans la configuration GR4JSI₁₀ et dans la configuration GR4JSI₉ avec mise à jour de Q, où l'utilisation du réservoir cubique procure un très faible avantage.

Enfin, la dernière constatation est que la mise à jour doit être appliquée intégralement : le système doit être mis à jour pour retrouver intégralement le dernier débit observé (importance de la mise à jour ≈ 1).

6.4.5 Recherche d'une expression dérivable pour l'hydrogramme unitaire (variante GR4JSI₁₁)

L'hydrogramme unitaire, dénommé HU3, du modèle GR4J, est bien continu, mais non dérivable en son sommet. Comme nous avons remarqué l'intérêt de disposer d'outils de transfert les plus lissés possible, nous allons tester le recours à une nouvelle expression analytique de $q(t)$ qui serait la fonction dérivée de la fonction $H(t)$:

$$H(t) = \frac{t^\alpha}{t^\alpha + (C-t)^\alpha} \quad \text{Eq. 6.15}$$

$$\text{d'où } q(t) = \frac{dH(t)}{dt} = \frac{\alpha C t^{\alpha-1} (C-t)^{\alpha-1}}{[t^\alpha + (C-t)^\alpha]^2} \quad \text{Eq. 6.16}$$

α est un exposant fixe, non ajustable à chaque bassin versant.

A présent, nous allons chercher, dans cette variante GR4JSI₁₁, quelle est **la meilleure valeur de l'exposant α** de la fonction puissance de hydrogramme unitaire. Ce nouvel hydrogramme unitaire est appelé **HU4**. Bien entendu, l'introduction d'une fonction d'échanges non conservative est toujours maintenue et on se place dans le seul cadre de l'option la plus performante dans toutes les configurations : la mise à jour du réservoir de transfert R.

Les meilleurs résultats des essais de cette configuration sont donnés dans le Tableau 6.9 et la Figure 6.9. Ils sont obtenus pour une mise à jour du réservoir de transfert R avec une importance de la mise à jour égale à **1.0** et l'introduction d'une fonction d'échange. Des résultats plus complets sont en Annexe A7.11.

La configuration du modèle GR4JSI₁₁ la plus performante en mise à jour du réservoir R avec introduction d'une fonction d'échange non conservative est celle avec le réservoir de transfert R quadratique pour une importance de la mise à jour égale à 1.0 et un exposant de la fonction puissance de l'hydrogramme unitaire HU4 égal à 2.5. Elle donne une persistance moyenne égale à 28.7 % pour réservoir en R³ et 29.1 % pour réservoir en R². C'est le meilleur résultat obtenu à partir des essais menés sur la base de données de l'ensemble des 188 bassins versants.

Tableau 6.9 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₁₁

Type du réservoir de transfert R	Exposant de la fonction puissance de HU4	Persistances			Proportion de BV à Persistance>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moyen.	Maxi.		1	2	3	4
R ³	2.75	-59.3	28.7	67.0	0.95	5.18	4.19	-3.25	-0.56
R ²	2.45	-40.4	29.1	64.7	0.96	6.08	4.82	-3.04	-0.59

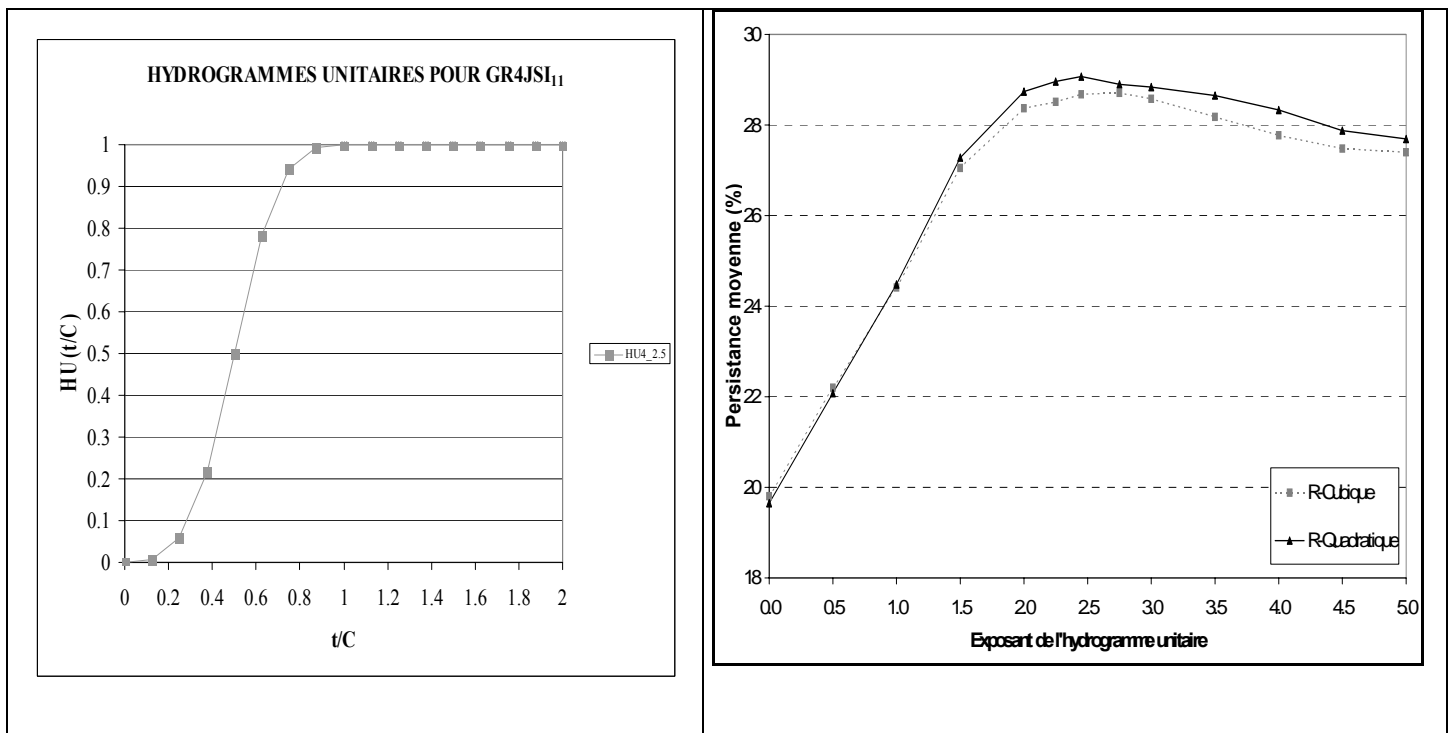


Figure 6.9 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₁₁

6.5. Retour à trois paramètres avec la variante GR4JSI₇

Si l'introduction d'une fonction d'échanges a effectivement apporté un gain net (+5.7% pour la variante GR4JSI₈) pour l'efficacité de la prévision, elle a aussi augmenté le nombre des paramètres à caler. On va examiner dans ce qui suit s'il est possible de faire l'économie d'un paramètre pour revenir à seulement trois paramètres optimisables.

Le paramètre qui a le plus de chance de pouvoir être fixé à une valeur médiane sans perte sensible de performance est certainement la capacité *a* du réservoir sol. En simulation, la meilleure valeur fixe à donner au paramètre *a* est 400 mm pour notre modèle de référence GR4J. C'est donc cette valeur que nous allons adopter.

6.5.1 Variante GR4JSI₁₂ (utilisation de HU3**2.5 et une capacité fixe du réservoir sol S)

Ici, on utilise la configuration **GR4JSI₈** (GR4JSI₇ avec l'hydrogramme unitaire **HU3** tel qu'il est donné dans GR4J avec une fonction à la puissance **2.5**), la meilleure des quatre variantes de GR4JSI₇ testées précédemment, **avec un niveau du réservoir sol S fixé à 400 mm** (la capacité A du réservoir sol S n'est donc pas optimisée).

Les meilleurs résultats obtenus lors des différents essais de cette configuration sont donnés dans le Tableau 6.10 et la Figure 6.10. Des résultats plus complets sont en Annexe A7.12.

Tableau 6.10 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₁₂ (capacité du réservoir sol S fixée à 400 mm)

Mise à jour de	de Nombre Paramètres	Exposant réservoir R	Importance de la mise à jour	Persistances			Proportion de BV à Persistence>0	Paramètres moyens			
				Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
R	2	3	1.0	-99.8	22.6	63.5	0.87	5.71	5.99	-7.48	
		2	1.0	-99.7	22.3	61.0	0.85	6.76	5.99	-7.25	
	3	3	1.0	-60.1	28.2	65.4	0.94	4.88	5.99	-7.50	-0.59
		2	1.0	-42.3	28.7	63.5	0.95	5.86	5.99	-7.51	-0.64
Q	2	3	1.0	-100.0	18.3	54.8	0.84	4.76	5.99	-7.44	
		2	1.0	-100.0	18.3	54.8	0.84	5.44	5.99	-7.42	
	3	3	0.90	-54.4	23.4	58.1	0.89	4.40	5.99	-7.12	-0.57
		2	0.95	-44.2	23.6	57.0	0.92	5.21	5.99	-7.04	-0.67

Les configurations du modèle GR4JSI₁₂ les plus performantes en **mise à jour du réservoir R (28.7%)** et en **mise à jour du débit Q (23.6%)** sont celles avec le réservoir **R quadratique** avec le modèle à **3 paramètres** et pour l'**importance de la mise à jour** respectivement égale à **1.0** et à **0.95**.

Les résultats obtenus ici (28.7% pour réservoir en R² et 28.2% pour réservoir en R³) dégradent ceux de **GR4JSI₈ (28.9%** pour réservoir en R² et **28.7%** pour réservoir en R³) bien qu'ils améliorent ceux de GR4JSI₉ (28.6% pour réservoir en R² et 28.4% pour réservoir en R³) et de GR4JSI₇ (28.5% pour réservoir en R² et 27.9% pour réservoir en R³) et même très sensiblement ceux de GR4JSI₁₀ (27.2% pour réservoir en R² et 27.1% pour réservoir en R³) et de GR4JSI avec 3 paramètres (26.2% pour réservoir en R² et 26.7% pour réservoir en R³) de base 4.

En fixant le paramètre A à 400 mm, on ne perd que 0.2 point, ce qui est beaucoup trop faible pour être vraiment significatif.

Il est probable que laisser le paramètre A libre n'apporte qu'une très faible amélioration d'efficacité et qu'il faudra probablement trouver une solution où ce paramètre reste fixé. Nous allons chercher quelle est la meilleure valeur à donner à A, en testant plusieurs valeurs, car 400 mm serait la meilleure en simulation mais cela n'est pas forcément vrai dans l'opération de prévision.

On remarque que, dans cette configuration GR4JSI₁₂ (où le paramètre 2 est fixé) le réservoir quadratique est légèrement plus performant avec le modèle à 3 paramètres calés et que c'est le réservoir cubique qui offre ce léger avantage avec le modèle à 2 paramètres calés.

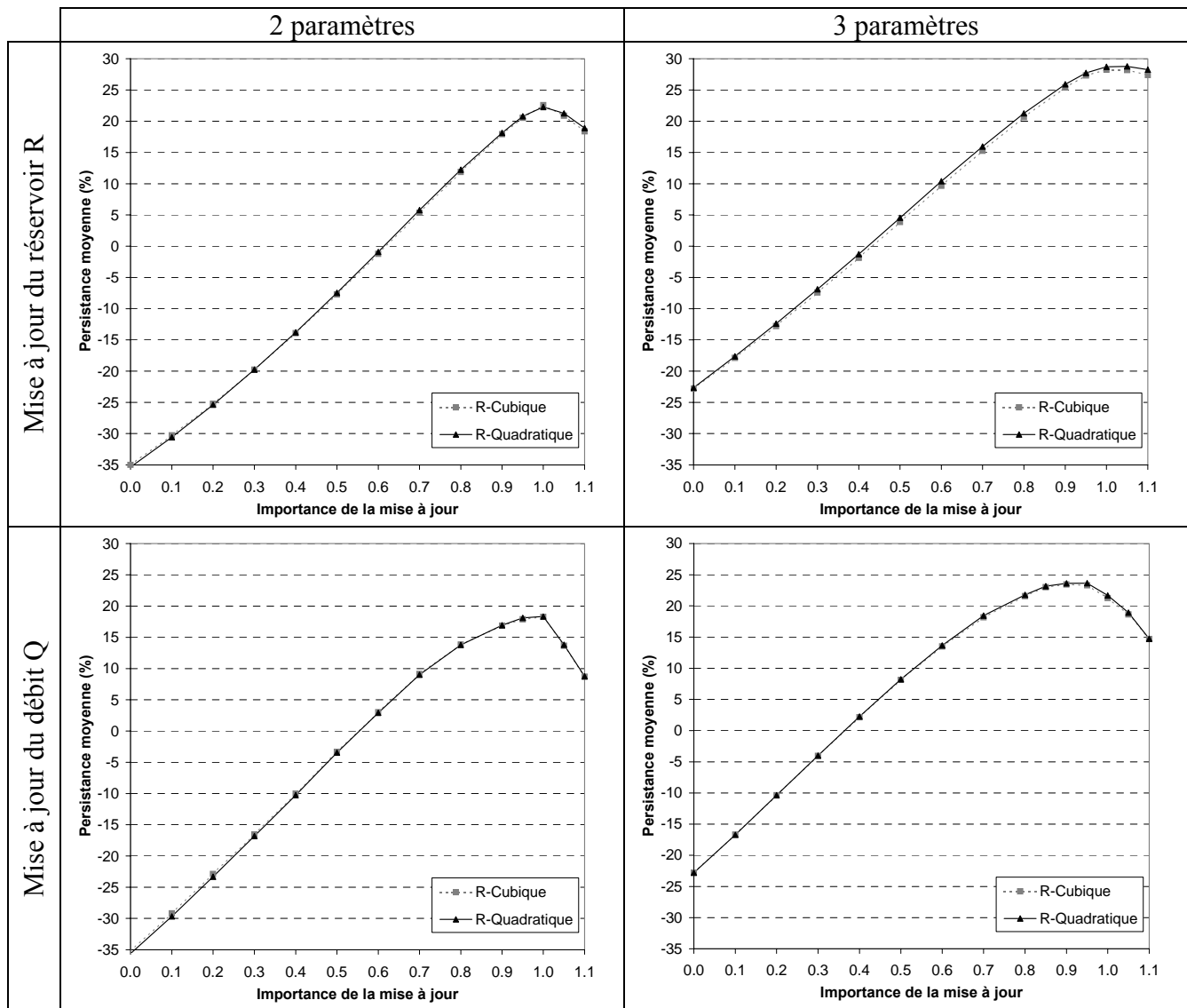


Figure 6.10 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₁₂

6.5.2 Variante GR4JSI₁₃ (recherche de la capacité optimale A du réservoir sol S)

Nous allons chercher dans cette variante GR4JSI₁₃ quelle est **la meilleure valeur à donner à la capacité A du réservoir sol**, en testant plusieurs valeurs de ce paramètre.

Dans cette configuration, plusieurs valeurs fixes de la capacité A du réservoir sol sont comparées. Ces essais ont été conduits avec l'hydrogramme unitaire **HU3** (donné dans GR4J) utilisant la puissance **2.5**. Bien entendu, l'introduction d'une fonction d'échange est toujours maintenue.

Les meilleurs résultats obtenus au cours des différents essais de cette configuration sont donnés dans le Tableau 6.11 et la Figure 6.11. Des résultats plus complets sont en Annexe A7.13.

Tableau 6.11 : Meilleurs résultats des essais de la variante GR4JSI₁₃

Mise à jour de	Nombre de Paramètres	Exposant du réservoir R	Capacité du Réservoir (mm)	Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens			
				Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
R	3	3	650	-99.7	23.0	60.2	0.87	5.52	6.48	-7.38	
		2	650	-99.5	22.8	59.0	0.86	6.53	6.48	-7.23	
	4	3	650	-58.6	28.4	64.8	0.94	4.87	6.48	-7.48	-0.39
		2	650	-38.1	28.9	62.5	0.96	5.82	6.48	-7.51	-0.43
Q	3	3	1300	-99.9	19.7	62.9	0.87	4.14	7.17	-7.33	
		2	1300	-99.9	19.7	52.5	0.85	4.74	7.17	-7.17	
	4	3	900	-58.6	24.0	57.3	0.90	4.19	6.80	-7.00	-0.34
		2	1100	-17.0	24.2	55.3	0.93	4.94	7.00	-7.08	-0.28

Les configurations du modèle GR4JSI₁₃ les plus performantes en **mise à jour du réservoir R (28.9%)** et en **mise à jour du débit Q (24.2%)** sont celles avec le réservoir **R quadratique** avec le modèle à **4 paramètres**, une **importance de la mise à jour** respectivement égale à **1.0** et à **0.95** et une **capacité du réservoir sol** égale à **650 mm**.

Ces résultats sont globalement meilleurs que ceux de la variante GR4JSI₁₂ (avec une capacité A = 400 mm, l'optimum retenue en simulation) et sont à peu près égaux à ceux de GR4JSI₈ (avec une capacité A optimisée).

En conclusion de ces essais, il semble que la solution la plus robuste soit de rester à **3 paramètres** en adoptant la valeur fixe de **650 mm** pour la capacité du réservoir sol.

Nous pouvons résumer ainsi nos constatations :

- GR4JSI₈ en **mise à jour du réservoir R** la plus performante (**28.9%**) est celle avec le réservoir **R quadratique** pour un modèle à **4 paramètres** et pour une **importance de la mise à jour** égale à **1.0**. C'est la plus performante des quatre variantes précédentes du modèle GR4JSI₇. Il convient donc de garder cette configuration **GR4JSI₈** pour entreprendre les essais à venir sur le modèle GR4JSI₇;
- GR4JSI₁₁ donne 29.1% pour l'exposant α optimal de la fonction puissance de son nouvel hydrogramme unaire HU4 la valeur $\alpha = 2.5$ et apporte **une légère amélioration (+0.2%)** des performances du modèle GR4JSI₈ ;
- GR4JSI₁₂ démontre (28.7%) que le maintien de la capacité du réservoir sol à une valeur fixe (400 mm) dans GR4JSI₈ **ne détériore pas significativement (-0.2%)** les performances du modèle et il permet d'économiser un paramètre pour le modèle ;
- GR4JSI₁₃ donne une valeur de **A = 650 mm** pour la capacité optimale du réservoir sol dans le modèle GR4JSI₈ en n'entraînant **aucune perte** de performance du modèle (**28.9%**).

La confrontation des résultats des deux variantes (GR4JSI₄, GR4JSI₅) du modèle GR4JSI à **quatre paramètres** avec ceux des différentes variantes du modèle GR4JSI₇, montre que l'introduction d'**une loi de vidange** du réservoir de transfert R **un peu plus complexe** conduit à **une détérioration** des performances **en prévision**.

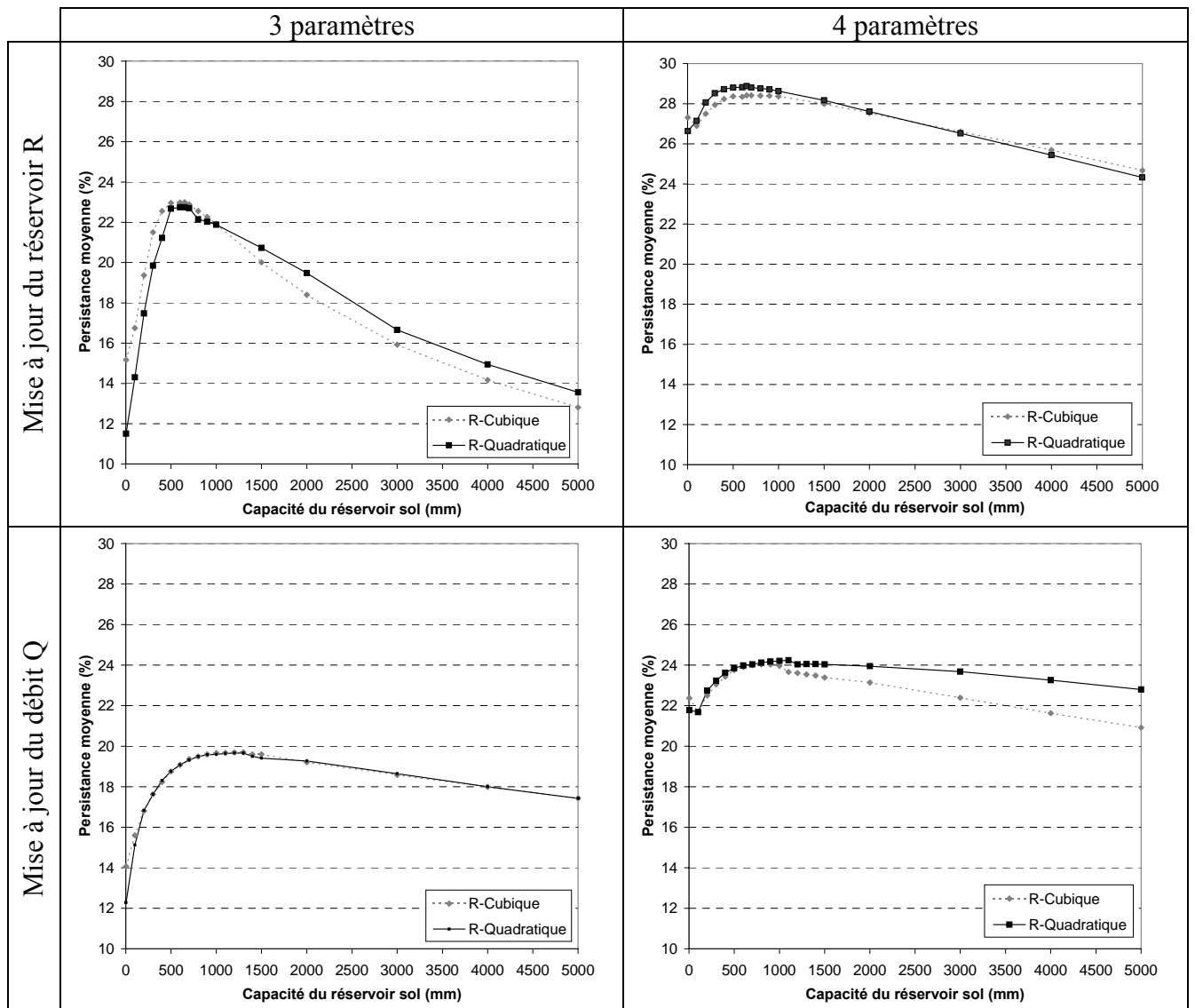


Figure 6.11 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₁₃

6.6. Synthèse de l'ensemble des essais

La Figure 6.12 et le Tableau 6.12 présente la distribution des critères de persistance obtenus avec les variantes les plus significatives testées au cours de l'ensemble des essais effectués jusqu'à présent sur l'ensemble composite de **188 bassins versants**.

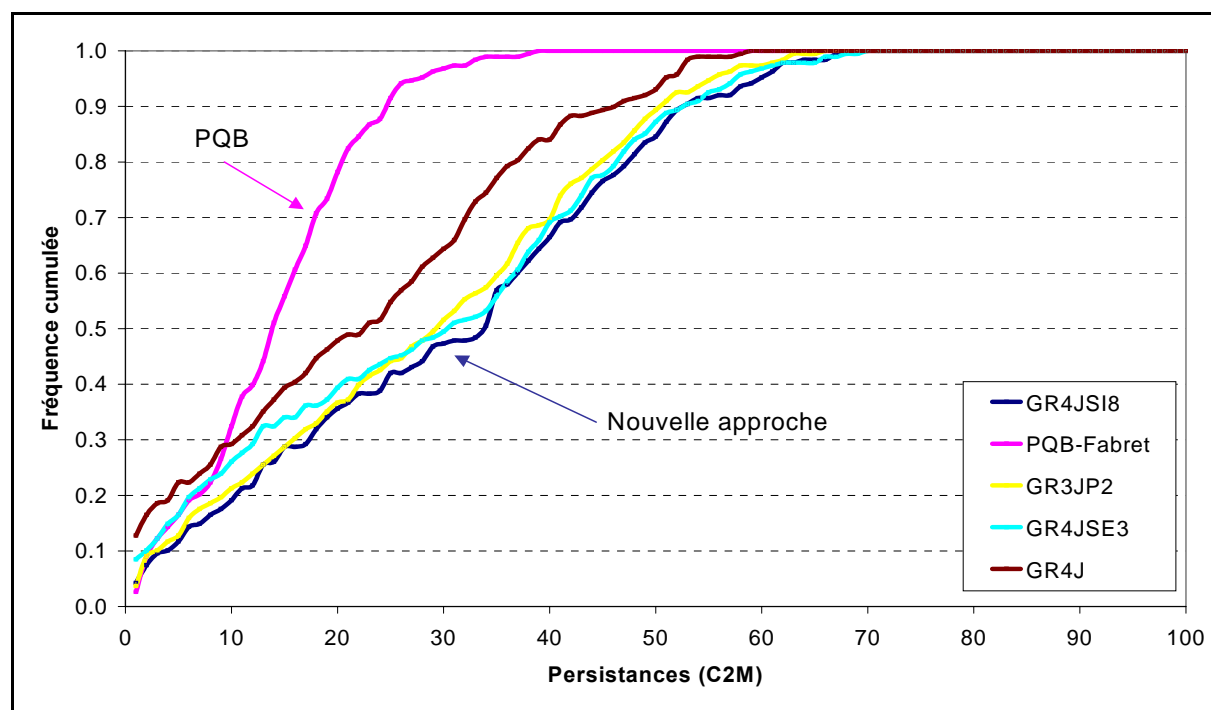


Figure 6.12 : Comparaison des distributions des résultats des essais de meilleures persistances des différents modèles testés

Tableau 6.12 : Résultats détaillés des différents modèles sur l'échantillon de bassins versants

- Modèles →	% BV GR4JSI ₈ avec MàJ de R ² Import.-MàJ=1 4 Paramètres	% BV-GR3JPR ₂ avec Q_pointe-HU Fraction Q_MàJ=0.25 3 Paramètres	% BV-GR4JSE ₃ avec MàJ de Pluies aval-HU1 4 Paramètres	% BV-GR4J avec MàJ de Q Import.MàJ=0.9 4 Paramètres	% BV-PQB- Fabret avec 3 Paramètres
< 5	11	12	16	22	16
< 10	19	20	25	30	33
< 15	28	28	34	40	55
< 20	35	36	40	49	80
< 25	42	44	45	56	92
< 30	47	52	50	65	96
< 35	55	58	55	75	98
< 40	66	70	69	85	100
< 45	78	80	79	90	100
< 50	84	88	86	92	100
< 55	92	94	92	99	100
< 60	95	98	96	100	100
< 65	98	99	98	100	100
< 70	100	100	100	100	100
Pers.-moyen.	28.9	26.9	26.0	19.3	13.0
Classement	1	2	3	4	5

Ces résultats permettent d'établir ci-après un classement quantifié des modèles testés :

- 1) le modèle **GR4JSI₈ (28.9%)**, avec une mise à jour du réservoir de transfert R (quadratique) pour une importance de la mise à jour égale à 1.0 et un modèle avec 3 paramètres, est en première position sur toutes les gammes de performances même par rapport aux variantes du modèle GR4JSI testées ici (GR4JSI₄ (23.9%), GR4JSI₅ (24.1%) et GR4JSI₆ (24.0%)).
- 2a) le modèle **GR3JPR₂ (26.9%)** avec utilisation du débit de pointe de l'hydrogramme unitaire HU pour une fraction utilisant le débit mis à jour égale à 0.25 est en seconde position pour la gamme des faibles valeurs (< 30). Il passe en troisième position pour les gammes des moyennes et fortes valeurs de performances (> 30). La faiblesse de sa fonction de production est probablement la raison de son infériorité par rapport à GR4JSI.
- 2b) le modèle **GR4JSE₃ (26.0%)** avec mise à jour des pluies en sortie de HU1 pour un exposant affecté à la mise à jour égale à 0.9 est en quinconce avec le modèle GR3JPR. Il est second pour les gammes des moyennes et fortes valeurs de performances (> 30). Il passe en troisième position pour la gamme des faibles valeurs (< 30). Ce classement modeste montre la faible maniabilité en prévision d'un modèle à plusieurs composantes d'écoulement.
- 3a) le modèle **GR4J (19.0%)** avec mise à jour du débit Q (GR4J-standard) pour une importance de la mise à jour égale à 0.9 et un modèle avec 4 paramètres est en quinconce avec le modèle PQB-Fabret. Il est en quatrième position pour toutes les gammes de valeurs sauf celle des très faibles (< 10) où il passe en cinquième position. Le modèle GR4J complet se révèle délicat à mettre en œuvre dans un exercice de prévision.
- 3b) le modèle **PQB-Fabret (13.0%)** avec 3 paramètres est en quatrième position pour la gamme des très faibles valeurs (< 10). Il passe en cinquième position pour les autres gammes de valeurs de performances (> 10). On voit dans le moindre classement de PQB une démonstration que la valeur hydrologique du modèle en simulation ne peut pas être trop fortement négligée au profit de sa simplicité d'application en prévision.

Etant donné l'importance du réservoir de transfert R, on s'est demandé si l'introduction d'un réservoir de vidange un peu plus complexe pourrait apporter une amélioration pour l'utilisation du modèle en prévision. Mais, le résultat important constaté ici, à partir des différentes variantes GR4JSI₄ et GR4JSI₅ à 4 paramètres et la variante GR4JSI₆ à 2 réservoirs quadratiques, est que l'introduction d'une loi de vidange de réservoir de transfert R un peu plus complexe apporte une détérioration pour l'utilisation du modèle en prévision.

En conclusion, on déduit de tous ces résultats que le modèle **GR4JSI₈** avec une mise à jour du réservoir de transfert R-quadratique pour une importance de la mise à jour égale à 1.0 et un modèle avec 3 paramètres reste la meilleure configuration possible en prévision de crue pour des modèles déduits de GR4J. C'est donc bien cette configuration **GR4JSI₈** qu'il faut conserver pour les futurs essais du modèle GR4JSI₇.

En introduisant dans **GR4JSI₈** avec mise à jour de **R²** (28.9 %) les deux derniers résultats fournis par les variantes GR4JSI₁₁ et GR4JSI₁₃, à savoir un exposant optimal $\alpha = 2.5$ pour la fonction puissance de son hydrogramme unitaire **HU4** et une capacité optimale du réservoir sol de **A = 650 mm**, nous obtenons, **pour une importance de la mise à jour égale à 1.0**, la configuration la plus performante (30.6 %) de toutes les variantes du modèle GR4JSI₇. A ce jour, c'est le **meilleur modèle de prévision de crue à un jour issu du modèle GR4J**.

C'est cette dernière configuration qui sera retenue pour la poursuite des essais. Elle sera nommée **GR4JSIPR** (GR4J-Simplifié-pour-la-PRévision-de-crue).

Une synthèse générale des différents résultats de l'ensemble de nos essais nous permet maintenant d'énoncer les caractéristiques principales de ce modèle **GR4JSIPR** qui s'impose ici en **prévision de crue au pas de temps journalier** et d'en proposer le diagramme de fonctionnement et le schéma structurel en Figure 6.13.

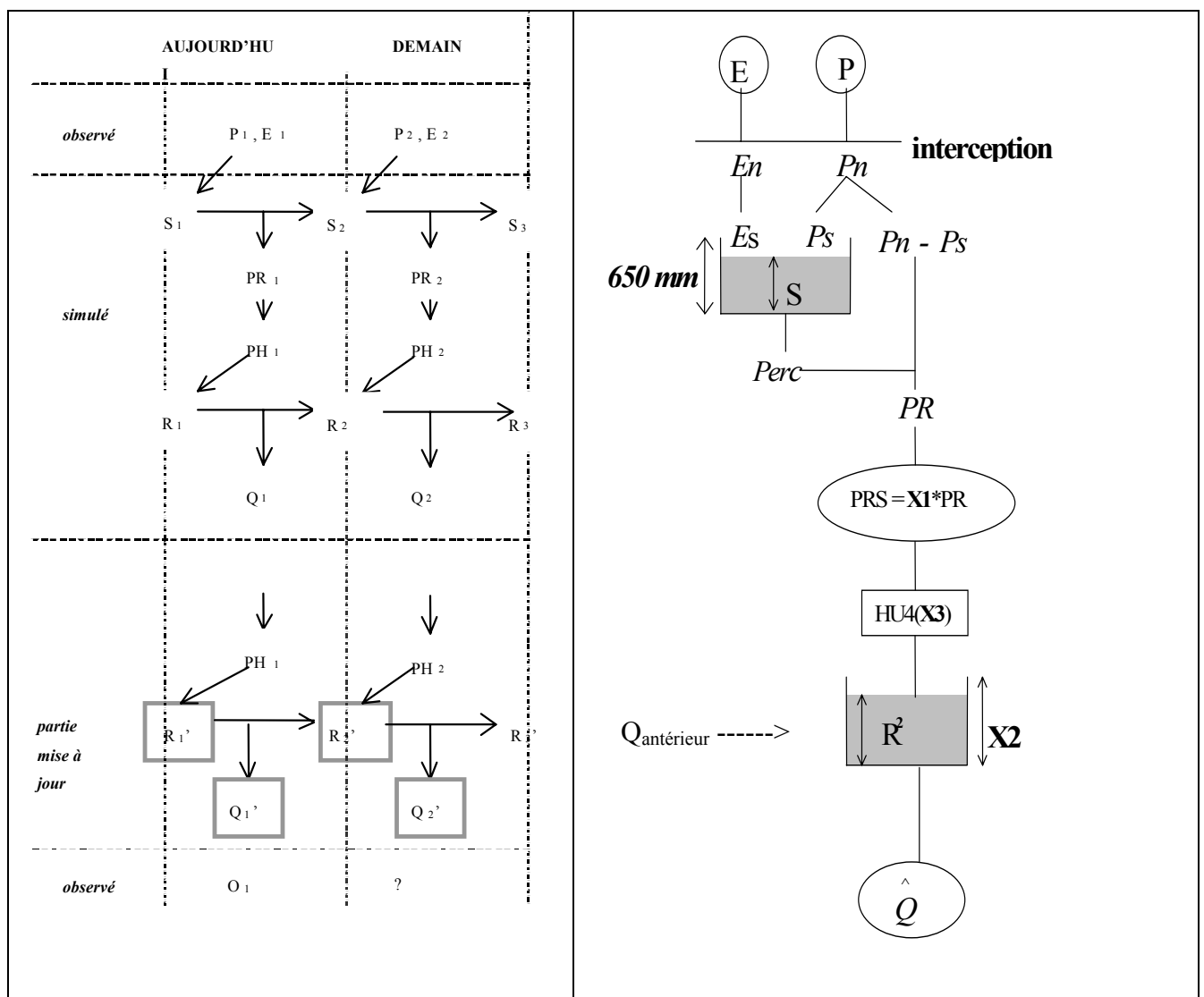


Figure 6.13 : Schéma de fonctionnement du modèle GR4JSIPR

C'est un modèle tiré du modèle générique GR4J et il se compose de :

- seulement **3 paramètres** variables (**X1, X2, X3**) calés directement en mode **prévision** :
 - o le paramètre **X1** est le **coefficient d'échange**,
 - o le paramètre **X2** est la **capacité à un jour** de son **réservoir de transfert R**,
 - o le paramètre **X3** est la **caractéristique** de son hydrogramme unitaire **HU4** dérivable en son sommet ;
- une **fonction d'échange non conservative** ;
- l'**exposant** de la fonction puissance de son hydrogramme unitaire **HU4** est égal à **2.5** ;
- la **capacité** de son **réservoir sol S** est **fixe** et égale à **650 mm** ;
- son réservoir de transfert R est du type quadratique.

Ce septième chapitre propose une optimisation de l'approche de prévision retenue au chapitre précédent, par l'introduction d'un traitement des erreurs des sorties du modèle. Nous établissons ensuite une synthèse générale pour la prévision à un jour, avec le modèle GRP. Nous présentons également les résultats d'une seconde analyse statistique de nos données, en ajoutant aux huit variables hydrologiques de la première analyse statistique du chapitre 2 les deux variables de performance fournies pour chaque bassin versant par notre modèle de prévision de crue GRP.

CHAPITRE 7

CHAPITRE 7

INTRODUCTION D'UN TRAITEMENT D'ERREUR DANS LE MODELE GR4JSIPR ET SYNTHESE GENERALE POUR LA PRÉVISION DE CRUE A UN JOUR : LE MODELE GRP (MODELE GENIE RURAL DE PREVISION DE CRUE)

7.1. Introduction d'un traitement d'erreur dans le modèle GR4JSIPR

Sur la base des résultats du chapitre précédent, où nous avons sélectionné le modèle GR4JSIPR à trois paramètres comme le plus satisfaisant pour la prévision des crues, nous allons maintenant essayer d'exploiter l'information contenue dans la dernière prévision effectuée. Désignons par $O(j)$ le débit observé le jour j et par $Q(j)$ le débit prévu la veille pour ce même jour en utilisant la procédure décrite précédemment. On va vérifier si l'erreur relative effectuée le jour précédent ($j-1$) se maintient en partie pour le jour j . On propose ainsi de corriger la prévision $Q'_p(j)$ pour fournir la valeur $\hat{Q}(j)$ par la relation suivante :

$$\hat{Q}(j) = Q'_p(j) * \left(\frac{O(j-1)}{Q(j-1)} \right)^\beta \quad \text{Eq. 7.1}$$

L'exposant β peut être, dans une première étape, considéré comme un paramètre supplémentaire.

Cette nouvelle procédure nous permet d'obtenir un gain net supplémentaire de +2.1% (31.0% au lieu de 28.9%). En prenant une valeur fixe de **0.25** pour cet exposant β (toujours dans le but de nous ramener à seulement trois variables optimisables), nous n'avons qu'une perte de -0.4% sur le résultat précédent (30.6% au lieu de 31.0%) (Tableau 7.1).

C'est cette dernière configuration à seulement **trois** paramètres optimisables que nous retenons pour le modèle de prévision de crue **GRP** issu de GR4J. Une synthèse générale des différents résultats de l'ensemble de nos essais nous permet maintenant d'énoncer les caractéristiques principales de ce modèle **GRP** qui s'impose ici en **prévision de crue au pas de temps journalier** et d'en proposer le schéma structurel et les résultats ci-après.

C'est un modèle tiré du modèle générique GR4J et il se compose de :

- seulement **3 paramètres** variables (**X1, X2, X3**) calés directement en mode prévision :
 - le paramètre **X1** est le **coefficient d'échanges**,
 - le paramètre **X2** est la **capacité à un jour** de son **réservoir de transfert R**,
 - le paramètre **X3** est la **caractéristique** de son hydrogramme unitaire **HU4** dérivable en son sommet,
- une **fonction d'échanges non conservative**,

- une **correction des débits** en sortie,
- la **capacité** de son **réservoir sol S** est **fixe** et égale à **650 mm**,
- son **réservoir de transfert R** est du type **quadratique**,
- un **report partiel (exposant 0.25)** de l'erreur de prévision constatée au pas de temps précédent.

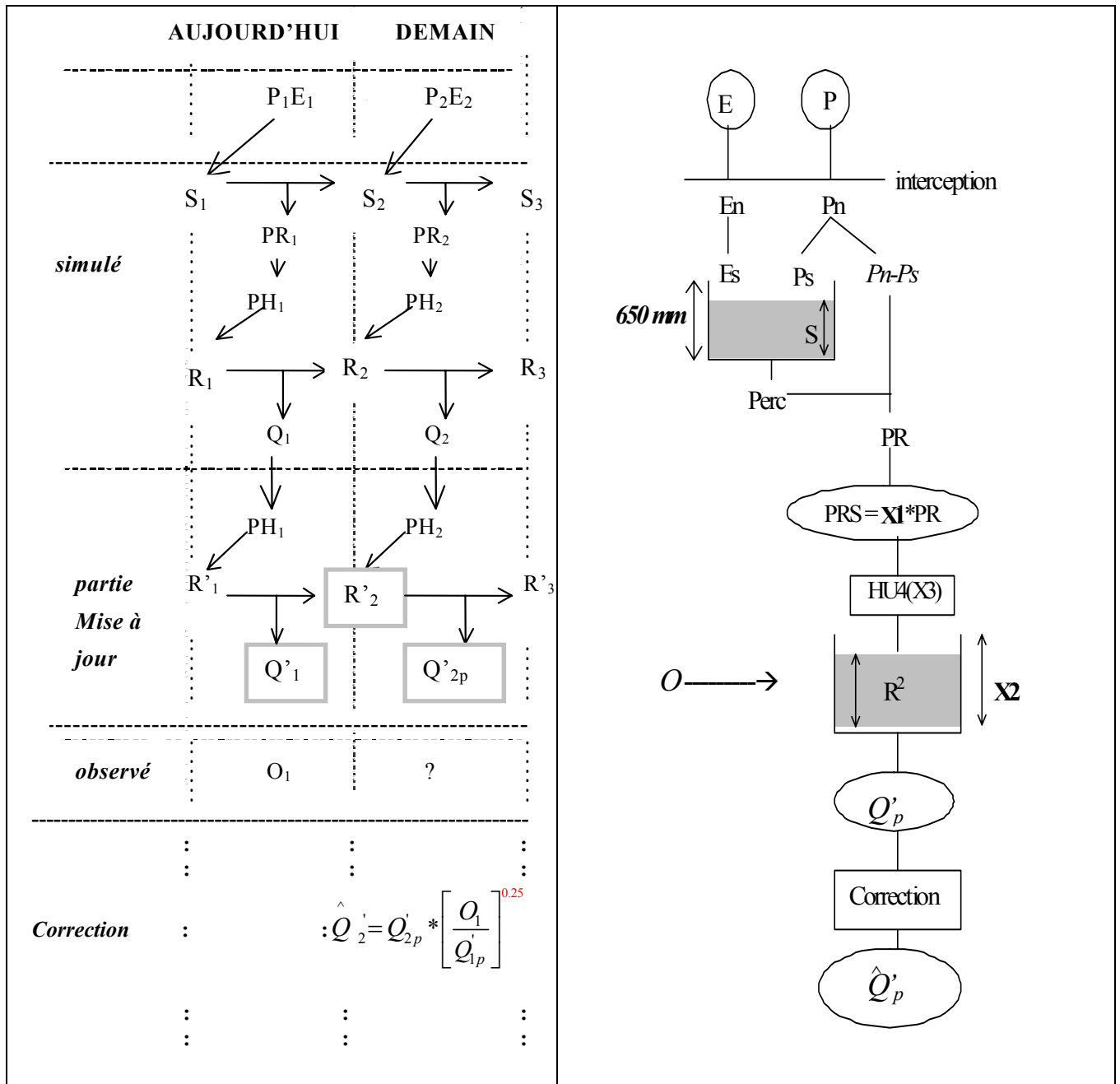


Figure 7.1 : Schéma de fonctionnement du modèle GRP

Tableau 7.1 : Meilleurs résultats du modèle GRP (mise à jour du réservoir de transfert R quadratique)

Nombre de Paramètres	Exposant du report partiel d'erreur	Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens		
		Mini.	Moyen	Maxi.		1	2	3
3	0.25	-29.5	30.6	82.7	0.92	4.70	-0.13	-2.35
	0	-32.5	28.9	63.1	0.96	5.47	-7.54	-0.70

7.2. Synthèse générale pour la prévision de crue à un jour

Il est intéressant de comparer les différentes performances selon les quatre catégories de bassins versants auxquelles avait conduit la classification hiérarchique ascendante entreprise lors de la présentation de la base de données. On peut reprendre cette classification en y ajoutant deux nouvelles variables actives correspondant aux deux critères d'évaluation des performances du modèle en simulation (C_{2M}) et en prévision ($C_{2M/P}$). On rappelle la définition de ces variables dans le Tableau 7.2.

Tableau 7.2 : Définition des deux variables explicatives supplémentaires de l'analyse statistique

Définition	Expression		
Efficacité en simulation (%) avec	$C_{2M} = 100 \frac{(F_0 - F)}{(F_0 + F)}$		
	$F_0 = \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2$	$F = \sum_{i=1}^n (O_i - C_i)^2$	$\bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i$
Persistance en prévision (%) avec	$C_{2M/P} = 100 \frac{(FP_0 - FP)}{(FP_0 + FP)}$		
	$FP_0 = \sum_{i=1}^n (Q_{i+L} - Q_i)^2$	$FP = \sum_{i=1}^n (Q_{i+L} - C_{i+L})^2$	

Sur l'ensemble des bassins versants C_{2M} et $C_{2M/P}$ sont a priori deux variables approximativement normales de moyennes respectives 49 et 32 et d'écart-types respectifs 28 et 19. On estime alors C_{2M} par $C_{2M} = 49 + 28u$ et $C_{2M/P}$ par $C_{2M/P} = 32 + 19u$ avec u le quantile de Gauss.

En reprenant l'analyse statistique des données en y incluant nos deux variables de critère C_{2M} et $C_{2M/P}$ comme neuvième et dixième variables explicatives, nous obtenons les résultats donnés ci-après (des résultats plus détaillés sont donnés en Annexe A7.14). Des statistiques sommaires calculées pour ces 10 variables sur notre échantillon de 188 bassins versants sont données dans le Tableau 7.3.

Rapелons que l'objectif principal de cette analyse statistique est de montrer que la base de données utilisée tout au long de nos recherches est bien constituée de bassins versants divers et variés et non de faire une étude statistique exhaustive des classes de bassins qui la compose.

Rappelons qu'une table de correspondance des codes des bassins versants avec leurs noms utilisés dans les analyses statistiques est jointe au fichier de la base de données en Annexe 2.

Tableau 7.3 : Statistiques sommaires des 10 variables continues (effectif total : 188 ; poids total : 188.0)

LIBELLES	EFFECTIFS	POIDS	MOYENNES	ECART-TYPES	MINIMUM	MAXIMUM
LAM	188	188.00	308.40	299.76	0.00	1330.00
IND	188	188.00	199.31	147.95	20.00	1200.00
ETI	188	188.00	15.21	28.13	0.00	320.00
CRU	188	188.00	237.79	258.53	1.00	1422.00
BFI	188	188.00	51.20	19.09	0.00	94.00
VOL	188	188.00	39.20	38.24	0.00	100.00
ESM	188	188.00	126.64	155.87	0.00	770.00
SUR	188	188.00	1915.78	3895.13	0.40	43800.00
C2M	188	188.00	48.78	28.06	-83.84	84.73
C2MP	188	188.00	32.13	18.78	-69.55	63.54

7.2.1 Analyse en Composantes Principales Normée (ACP) avec 10 variables explicatives

On remarque, dans la matrice des corrélations du Tableau 7.4, que les variables les plus corrélées entre elles sont :

- **positivement** : (CRU, LAM, 0.82), (C2MP, C2M, 0.74), (ESM, ETI, 0.60), (ESM, BFI, 0.57) et (ETI, LAM, 0.56)
- **négativement** : (VOL, LAM, -0.66), (VOL, CRU, -0.57) et (BFI, IND, -0.56)

et que les variables de critère C2M et C2MP, fortement corrélées entre elles ($R^2 = 0.74$), semblent non dépendantes des autres variables utilisées dans l'analyse.

Tableau 7.4 : Matrice des corrélations des 10 variables continues

	LAM	IND	ETI	CRU	BFI	VOL	ESM	SUR	C2M	C2MP
LAM	1.00									
IND	-0.20	1.00								
ETI	0.56	-0.25	1.00							
CRU	0.82	-0.13	0.24	1.00						
BFI	0.17	-0.56	0.37	0.01	1.00					
VOL	-0.66	0.00	-0.43	-0.57	-0.14	1.00				
ESM	0.17	-0.37	0.60	-0.01	0.57	-0.37	1.00			
SUR	-0.23	-0.06	-0.10	-0.12	0.06	0.24	-0.08	1.00		
C2M	0.20	-0.24	-0.17	0.34	0.29	-0.08	-0.11	0.09	1.00	
C2MP	0.34	-0.15	0.05	0.45	0.20	-0.28	0.05	-0.13	0.74	1.00

Le plan principal (axe1, axe2) renferme près de 54 % de toute l'information contenue dans nos données (Tableau 7.5). C'est aussi à ce plan principal (axe1, axe2) que nous limiterons notre étude et comme précédemment dans la première analyse statistique, faite au chapitre 2, avec seulement huit variables hydrologiques explicatives actives.

Tableau 7.5 : Histogramme des 10 premières valeurs propres et variance cumulée des composantes principales (trace avant diagonalisation = 10.0 ; somme des valeurs propres = 10.0)

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENTAGE	POURCENTAGE CUMULE	
1	3.4106	34.11	34.11	*****
2	1.9721	19.72	53.83	*****
3	1.7325	17.33	71.15	*****
4	0.9244	9.24	80.40	*****
5	0.7007	7.01	87.40	*****
6	0.4409	4.41	91.81	*****
7	0.3510	3.51	95.32	****
8	0.2280	2.28	97.60	***
9	0.1593	1.59	99.20	**
10	0.0804	0.80	100.00	*

Tableau 7.6 : Coordonnées des variables sur les axes principaux 1 à 5 (variables actives)

Variables	COORDONNEES					CORRELATIONS VARIABLES-FACTEURS					ANCIENS AXES UNITAIRES				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
LAM	-0.84	-0.20	0.33	0.20	0.20	-0.84	-0.20	0.33	0.20	0.20	-0.45	-0.14	0.25	0.21	0.24
IND	0.44	-0.36	0.52	-0.04	-0.56	0.44	-0.36	0.52	-0.04	-0.56	0.24	-0.26	0.40	-0.04	-0.67
ETI	-0.64	0.51	0.28	0.13	-0.06	-0.64	0.51	0.28	0.13	-0.06	-0.35	0.36	0.21	0.13	-0.07
CRU	-0.72	-0.48	0.21	0.26	0.19	-0.72	-0.48	0.21	0.26	0.19	-0.39	-0.34	0.16	0.28	0.23
BFI	-0.51	0.49	-0.53	-0.09	-0.05	-0.51	0.49	-0.53	-0.09	-0.05	-0.28	0.35	-0.41	-0.10	-0.06
VOL	0.72	0.07	-0.42	-0.02	0.28	0.72	0.07	-0.42	-0.02	0.28	0.39	0.05	-0.32	-0.03	0.34
ESM	-0.52	0.70	-0.03	-0.15	-0.29	-0.52	0.70	-0.03	-0.15	-0.29	-0.28	0.50	-0.02	-0.16	-0.35
SUR	0.22	0.09	-0.41	0.83	-0.26	0.22	0.09	-0.41	0.83	-0.26	0.12	0.06	-0.32	0.87	-0.31
C2M	-0.40	-0.54	-0.66	-0.07	-0.12	-0.40	-0.54	-0.66	-0.07	-0.12	-0.22	-0.39	-0.50	-0.07	-0.15
C2MP	-0.57	-0.52	-0.39	-0.25	-0.24	-0.57	-0.52	-0.39	-0.25	-0.24	-0.31	-0.37	-0.30	-0.26	-0.29

La part de variation d'une variable expliquée par k axes est égale à la somme des carrés de ces coefficients de corrélation pour ces k axes. Ainsi, pour le plan principal (axe1, axe2), le Tableau 7.6 montre que pour les 10 variables actives de l'analyse :

- ESM, CRU et LAM sont très bien représentées dans le plan principal ($\sum r^2 \geq 0.75$),
- ETI, C2MP et SUR sont bien représentées ($0.55 \leq \sum r^2 < 0.75$),
- VOL, BFI et C2M sont moyennement représentées ($0.40 < \sum r^2 < 0.55$),
- IND est médiocrement représentée ($\sum r^2 \leq 0.40$).

Tableau 7.7 : Sommes des carrés des coefficients de corrélation des variables avec les axes principaux 1 et 2

Variable	LAM	IND	ETI	CRU	BFI	VOL	ESM	SUR	C2M	C2MP
$\sum(r_1^2+r_2^2)$	0.75	0.32	0.67	0.75	0.50	0.52	0.76	0.56	0.45	0.60

On remarque, dans le Tableau 7.7, que les variables les plus corrélées avec les facteurs principaux et qui expliquent le mieux les axes principaux 1, 2 et 3 (Annexes 2.5 et 2.6) sont :

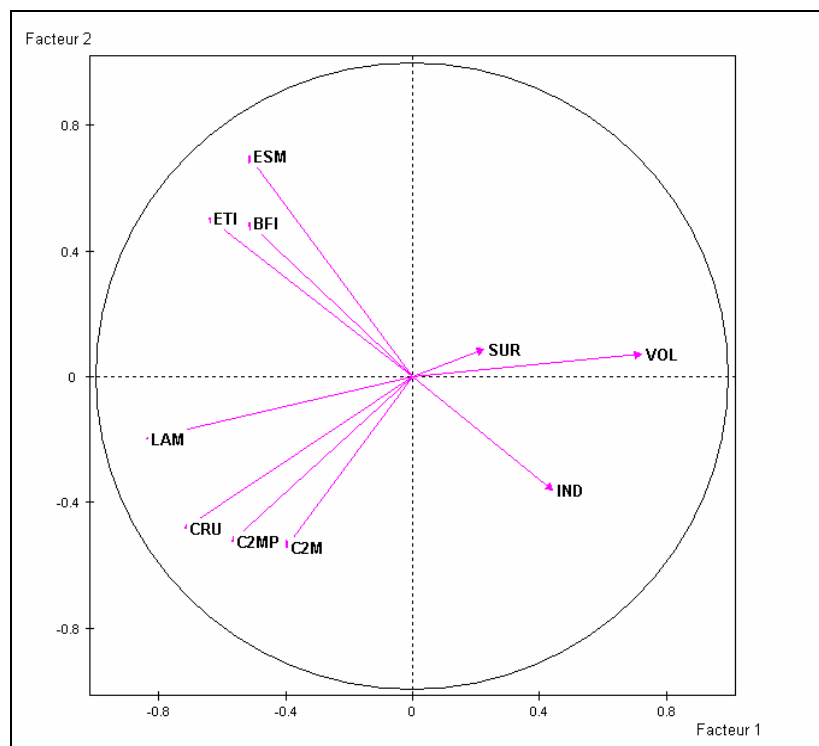


Figure 7.3 : Cercle des corrélations (plan principal axes 1 et 2)

Tableau 7.8 : Description des axes factoriels

DESCRIPTION DU FACTEUR 1 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE	MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.84	188.00	LAM	308.40	299.06	1
-0.72	188.00	CRU	237.79	258.53	2
ZONE CENTRALE					
0.44	188.00	IND	199.31	147.95	9
0.72	188.00	VOL	39.20	38.24	10

DESCRIPTION DU FACTEUR 2 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE	MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.54	188.00	C2M	48.78	28.06	1
-0.52	188.00	C2MP	32.13	18.78	2
ZONE CENTRALE					
0.51	188.00	ETI	15.21	28.13	9
0.70	188.00	ESM	126.64	155.87	10

DESCRIPTION DU FACTEUR 3 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE	MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.66	188.00	C2M	48.78	28.06	1
-0.53	188.00	BFI	51.20	19.09	2
ZONE CENTRALE					
0.33	188.00	LAM	308.40	299.06	9
0.52	188.00	IND	199.31	147.95	10

Ainsi, l'analyse et l'interprétation de la Figure 7.3 et des Tableau 7.6, Tableau 7.7 et Tableau 7.8, nous permettent d'énoncer des observations suivantes :

- l'axe 1 est défini de manière :
 - **négative** très fortement par la variable LAM et fortement par la variable CRU,
 - **positive** fortement par la variable VOL et moyennement par la variable IND.

Il oppose ainsi les bassins à très fortes lames d'eau et à fortes crues aux bassins à forts besoins de stockage et moyennement irréguliers. Il est donc caractéristique des bassins à régime d'écoulement relativement stable.

- l'axe 2 est défini de manière :
 - **négative** moyennement par C2M et C2MP,
 - **positive** fortement par ESM et moyennement par ETI.

Il oppose ainsi les performances des bassins aux régimes d'étiage des bassins. Il est donc caractéristique des bassins à régime d'écoulement relativement extrême.

- l'axe 3 est défini de manière :
 - **négative** assez fortement par C2M et moyennement par BFI,
 - **positive** moyennement par IND.

Il est donc caractéristique des bassins à régimes irréguliers. Mais nous n'analyserons pas ici cet axe 3 car, comme indiqué précédemment, nous nous limiterons au seul plan principal (axe 1, axe 2) qui renferme près de 54 % de l'inertie totale des données de la base étudiée.

7.2.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) avec 10 variables explicatives

Tableau 7.9 : Description des 50 nœuds d'indices les plus élevés

NUM.	AINE	BENJ	EFF.	POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
326	266	138	4	4.00	0.01615	*
327	304	270	7	7.00	0.01644	*
328	278	298	16	16.00	0.01699	*
329	290	213	7	7.00	0.01748	*
330	319	317	10	10.00	0.01840	*
331	311	126	4	4.00	0.01913	*
332	170	93	2	2.00	0.01925	*
333	315	296	8	8.00	0.02052	*
334	65	112	2	2.00	0.02128	*
335	245	308	13	13.00	0.02168	*
336	18	302	4	4.00	0.02201	*
337	330	297	12	12.00	0.02219	*
338	310	286	6	6.00	0.02399	*
339	306	307	4	4.00	0.02422	*
340	329	135	8	8.00	0.02498	*
341	312	274	6	6.00	0.02659	*
342	283	301	14	14.00	0.03170	**
343	338	172	7	7.00	0.03268	**
344	326	305	6	6.00	0.03315	**
345	299	314	15	15.00	0.03322	**
346	341	322	10	10.00	0.03786	**
347	336	320	10	10.00	0.03888	**
348	332	309	9	9.00	0.04364	**
349	339	276	6	6.00	0.04388	**
350	344	318	10	10.00	0.04425	**
351	323	333	11	11.00	0.04931	**
352	316	328	23	23.00	0.05313	**
353	337	345	27	27.00	0.05526	**
354	342	327	21	21.00	0.05590	**
355	331	325	12	12.00	0.05665	**
356	352	335	36	36.00	0.05896	**
357	350	346	20	20.00	0.07589	***
358	321	349	8	8.00	0.08049	***
359	313	324	11	11.00	0.08379	***
360	347	348	19	19.00	0.08858	***
361	354	340	29	29.00	0.09535	****
362	334	343	9	9.00	0.09942	****
363	358	148	9	9.00	0.12301	*****
364	356	353	63	63.00	0.12477	*****
365	351	359	22	22.00	0.14701	*****
366	355	364	75	75.00	0.20399	*****
367	357	361	49	49.00	0.23560	*****
368	362	360	28	28.00	0.27013	*****
369	289	363	12	12.00	0.48343	*****
370	365	366	97	97.00	0.54029	*****
371	367	61	50	50.00	0.62376	*****
372	86	368	29	29.00	0.78426	*****
373	371	369	62	62.00	0.88734	*****
374	372	370	126	126.00	1.02449	*****
375	373	374	188	188.00	2.40437	*****

SOMME DES INDICES DE NIVEAU = 10.00000

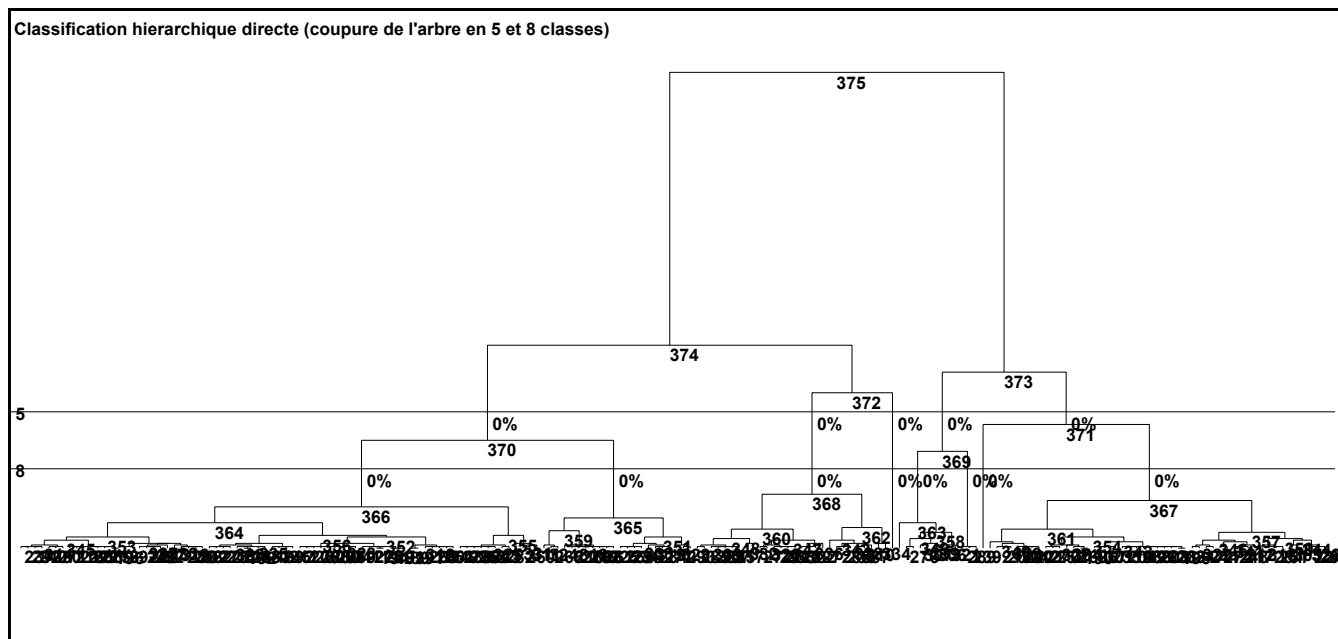


Figure 7.4 : Allure du dendrogramme de la CAH avec 10 variables explicatives actives

On trouve dans le *Tableau 7.9* la liste de description des 50 nœuds d'indices de niveau les plus élevés et à la *Figure 7.4* l'allure du dendrogramme de la classification hiérarchique avec les numéros des nœuds fournis par la CAH. Sur cette dernière, il est clair qu'une coupure de l'arbre de la CAH est à effectuer aux coudes du diagramme des indices de niveau :

- soit au-dessus du nœud N°372, pour obtenir une partition en **cinq** classes stables dont la troisième est constituée d'un seul bassin. On peut fusionner cette dernière classe 3 avec la classe 2, dont elle est la plus proche, pour obtenir quatre classes typologiques homogènes dont les effectifs sont respectivement de :
 - **95** bassins versants pour la classe n°1 (avec 52 % de l'inertie),
 - **27** bassins versants pour la classe n°2 (avec 15 % de l'inertie),
 - **12** bassins versants pour la classe n°3 (avec 6 % de l'inertie),
 - **54** bassins versants pour la classe n°4 (avec 27 % de l'inertie).
- soit au-dessus du nœud N°369, pour obtenir une partition en **huit** classes stables dont la quatrième et la septième sont constituées d'un seul bassin et la sixième est constituée de seulement trois bassins. En fusionnant ces trois classes ayant très peu d'effectifs avec les classes dont elles sont les plus proches, nous obtenons cinq classes typologiques homogènes dont les effectifs sont respectivement de :
 - **79** bassins versants pour la classe n°1 (avec 40 % de l'inertie),
 - **24** bassins versants pour la classe n°2 (avec 12 % de l'inertie),
 - **22** bassins versants pour la classe n°3 (avec 15 % de l'inertie),
 - **13** bassins versants pour la classe n°4 (avec 7 % de l'inertie),
 - **50** bassins versants pour la classe n°5 (avec 26 % de l'inertie).

Les compositions et les caractéristiques de la partition en huit classes de bassins versants, de cette seconde analyse statistique de nos données avec 10 variables explicatives, sont données et précisées dans les pages qui suivent (des résultats plus complets sont en Annexe A7.14).

Tableau 7.10 : Composition de la coupure de l'arbre en 8 classes (10 variables explicatives)

CLASSE 1 / 8 (79 BV) :				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
A001 A1515810	H023 H0210010	H048 H5123210	J073 J7373110	N096 N3001610
A005 A4442010	H024 H0321030	H049 H5142610	K074 K0724510	O097 O1814040
A006 A5251010	H025 H0321040	H050 H5153010	K075 K1084010	O098 O2304020
A007 A5730610	H026 H0400010	H051 H5172010	K076 K1321810	O100 O7021530
A008 A5842010	H027 H1051020	H052 H5173110	K077 K1341810	O102 O7101510
A009 A6271010	H028 H1122010	H053 H5213310	K078 K1383010	O103 O7191510
A010 A6561110	H029 H1231010	H054 H5412010	K079 K1391810	O104 O7692510
A011 A6941010	H031 H2342010	H058 H5723010	K081 K2173010	Q109 Q2094310
A013 A7581010	H032 H2721010	H062 H7021010	K083 K2330810	S110 S2224610
A014 A7821010	H033 H3102010	H063 H8012010	K085 K2951910	U114 U2035020
A015 A7930610	H034 H3201010	J067 J3601810	K087 K3373010	V123 V3015010
A016 A9013050	H035 H3522010	J068 J3834010	K088 K3374710	V124 V3115010
D019 E4905710	H044 H5062010	J069 J4014010	K089 K3382010	V125 V3515610
H020 H0100020	H045 H5102010	J070 J4623010	L091 L0321510	W001 AU315006
H021 H0203010	H046 H5102020	J071 J5613010	L093 L0615810	Z143 USALEAFR
H022 H0203020	H047 H5122310	J072 J7060620	L094 L9214510	
CLASSE 2 / 8 (24 BV) :				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
A002 A4200630	K082 K2210810	O105 O7701510	U115 U2142010	U120 U2345820
A003 A4250640	L090 L0140610	P106 P3001010	U116 U2215020	H021 H0203010
A004 A4362010	L092 L0400610	P107 P3464010	U117 U2222010	H022 H0203020
A012 A7010610	O099 O4704030	P108 P3522510	U118 U2305210	Y129 Y1605030
K080 K2010810	O101 O7041510	U113 U2022010	U119 U2345030	
CLASSE 3 / 8 (21 BV) :				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
D017 D0206010	H037 H3613020	H043 H4332020	H059 H5752020	J066 J0144010
E018 E4035710	H038 H3621010	H055 H5412020	H060 H5813010	S111 S2235610
H030 H1932010	H039 H3623010	H056 H5522010	H064 H9402010	S112 S4214010
H036 H3613010	H041 H4232040	H057 H5613020	H065 H9923010	Y126 Y0444010
				Z127 Us232250
CLASSE 4 / 8 (1 BV) :				
Nom Code-BV	K086 K3206010			
CLASSE 5 / 8 (10 BV) :				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
K084 K2714010	W011 CI250130	Z102 ARS68013	Z107 ARS71004	Z115 US141200
Y127 Y0474030	Z101 ARS68011	Z103 ARS70002	Z108 ARS71005	Z137 Us719650
CLASSE 6 / 8 (3 BV) :				
Nom Code-BV	Z104 ARS71001	Z105 ARS71002	Z106 ARS71003	
CLASSE 7 / 8 (1 BV) :				
Nom Code-BV	H061 H5920010			
CLASSE 8 / 8 (49 BV) :				
Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV	Nom Code-BV
H040 H3923010	W007 CI010350	Z111 Mo714478	Z122 Us222550	Z133 Us247850
H042 H4322010	W008 CI040370	Z112 Mo714780	Z123 Us222800	Z134 Us248200
M095 M1024810	W009 CI150400	Z113 Mo724350	Z124 Us229675	Z135 Us336400
Y128 Y1445010	W010 CI160120	Z114 Mo731450	Z125 Us231300	Z136 Us702950
Y130 Y7615010	W012 CI250190	Z116 Us208350	Z126 Us231750	Z138 Us729000
W002 AU616065	W013 CI250220	Z117 Us211050	Z128 Us232750	Z139 Us737850
W003 AU927001	W014 CI250500	Z118 Us213450	Z129 Us232900	Z140 Us801350
W004 AU999990	W015 CI350350	Z119 Us215650	Z130 Us236100	Z141 Us806480
W005 BRES0002	Z109 Mo714120	Z120 Us220300	Z131 Us236550	Z142 Us807000
W006 BRES0003	Z110 Mo714420	Z121 Us221850	Z132 Us247500	

- la classe n°3 (en rouge) est située presque autour de la diagonale du cadran nord-ouest du plan principal et concerne l'ensemble des bassins versants sur lesquels le modèle est assez performant, ayant des très fortes disponibilités et dont les régimes d'écoulement sont assez stables (**22** bassins versants, 15 % d'inertie),
- la classe n°4 (en bleu) est assez dispersée dans les deux cadrans nord-est et sud-est mais légèrement excentrée vers l'angle sud-est du plan principal et concerne les bassins versants sur lesquels le modèle est peu performant, à forts besoins de stockage et à régimes d'écoulement très irréguliers (**13** bassins versants, 6 % d'inertie).
- la classe n°5 (en violet) est centrée autour du milieu de l'axe 1, relativement assez bien répartie dans les deux cadrans nord-est et sud-est du plan principal et concerne l'ensemble des bassins versants sur lesquels le modèle est faiblement performant et qui sont caractérisés par leurs très forts besoins de stockage et leurs superficies très au dessus de la moyenne de celles des bassins étudiés (**50** bassins versants, 27 % d'inertie).

Remarques :

- les trois premières classes reconstituées (n°1, n°2 et n°3) se composent presque en totalité (respectivement 97%, 100% et 95%) de bassins versants de France métropolitaine,
- les deux autres classes reconstituées (n°4 et n°5) contiennent chacune une majorité de bassins versants hors-France métropolitaine (Classe 4 : 77% des bassins aux Etats-Unis ; classe 5 : 62% aux Etats-Unis, 7% en Australie, 2% au Brésil et 17% en Côte d'Ivoire).
- en comparant cette seconde analyse statistique faite avec deux variables explicatives actives (C_{2M} et $C_{2M/P}$) en plus des huit variables explicatives de la première analyse statistique (chapitre 2) et en nous limitant au plan principal 1-2, nous constatons que:
 - 1) le premier axe factoriel (axe 1) se conserve dans les deux analyses statistiques. Il garde son orientation et reste l'axe caractéristique des régimes d'écoulement relativement soutenu et des besoins de stockage,
 - 2) le second axe factoriel (axe 2) ne se conserve pas dans les deux analyses statistiques. Il passe de l'axe caractéristique des régimes d'écoulement relativement moyen à celui de l'axe caractéristique des régimes d'étiage et des performances du modèle.

On tire de l'ensemble des analyses statistiques que l'échantillon de 188 bassins versants utilisé dans nos recherches est formé de diverses catégories de bassins. Il est constitué globalement d'au moins quatre grandes classes de bassins versants dont trois sont en France métropolitaine : (1) les bassins de tendance moyenne sur l'ensemble des variables hydrologiques utilisées dans nos analyses statistiques, (2) les bassins à fort niveau d'écoulement, (3) les bassins à fort niveau de disponibilité et une classe est hors de France : (4) les bassins à fort besoin de stockage. Ainsi, cette grande variété de types de bassins versants, sur lesquels nos recherches sont menées de manière non sélective, assure la plus large généralisation de nos résultats.

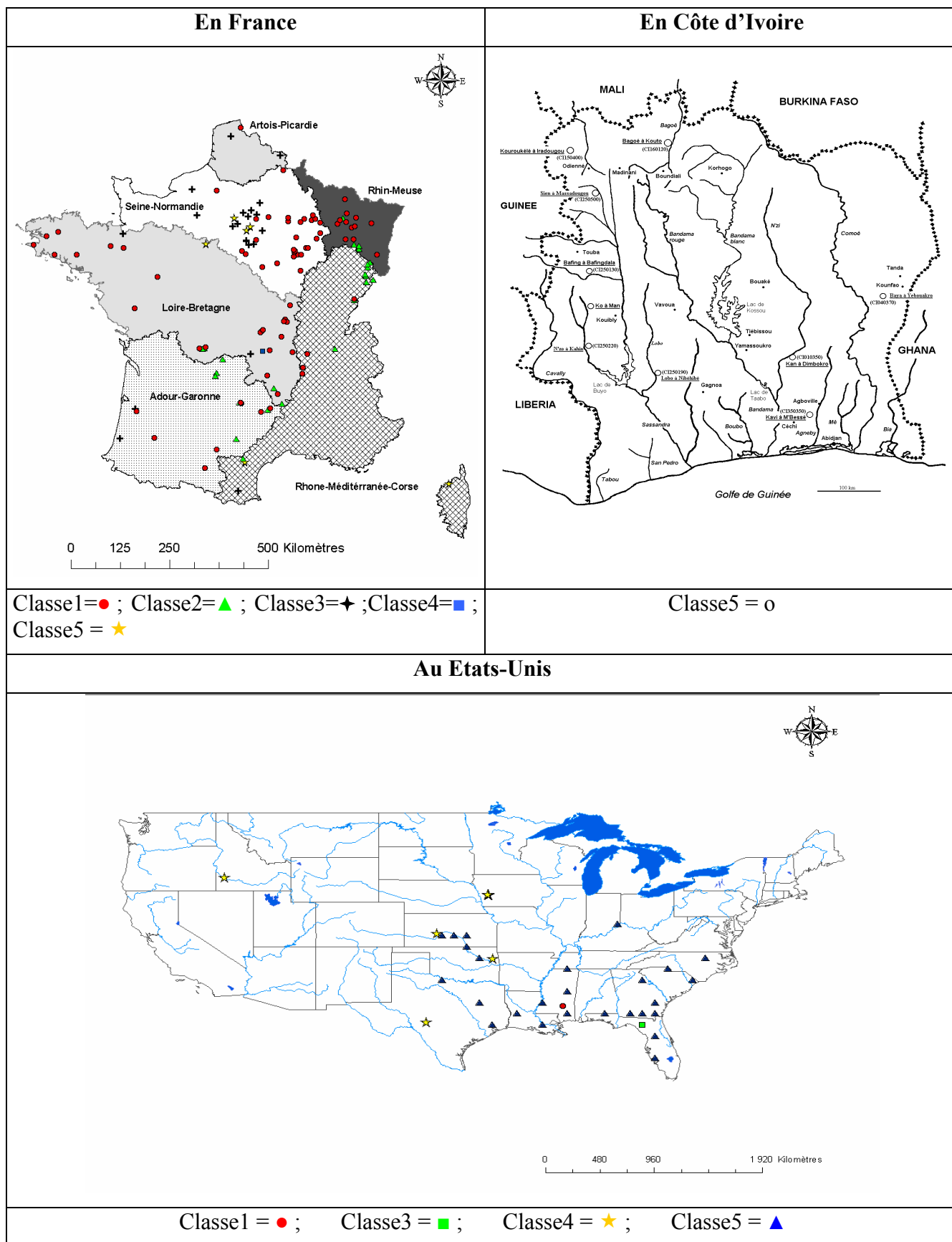


Figure 7.6 : Cartes de localisations des 5 Classes de la CAH avec 10 variables explicatives

7.2.3 Analyse statistique des 130 bassins versants français

L'analyse statistique des 130 bassins versants français en fonction des 10 variables hydrologiques retenues au cours de nos recherches donne les résultats ci-après. On se limitera au seul plan principal axe1 x axe2 correspondant à peu près à 60% de l'inertie totale.

La représentation de la partition en cinq classes de bassins versants, obtenues par la Classification Ascendante Hiérarchique (méthode des voisins réciproques), donne ci-dessous la répartition des cinq classes de bassins versants dans le plan principal axe1 x axe2 retenu :

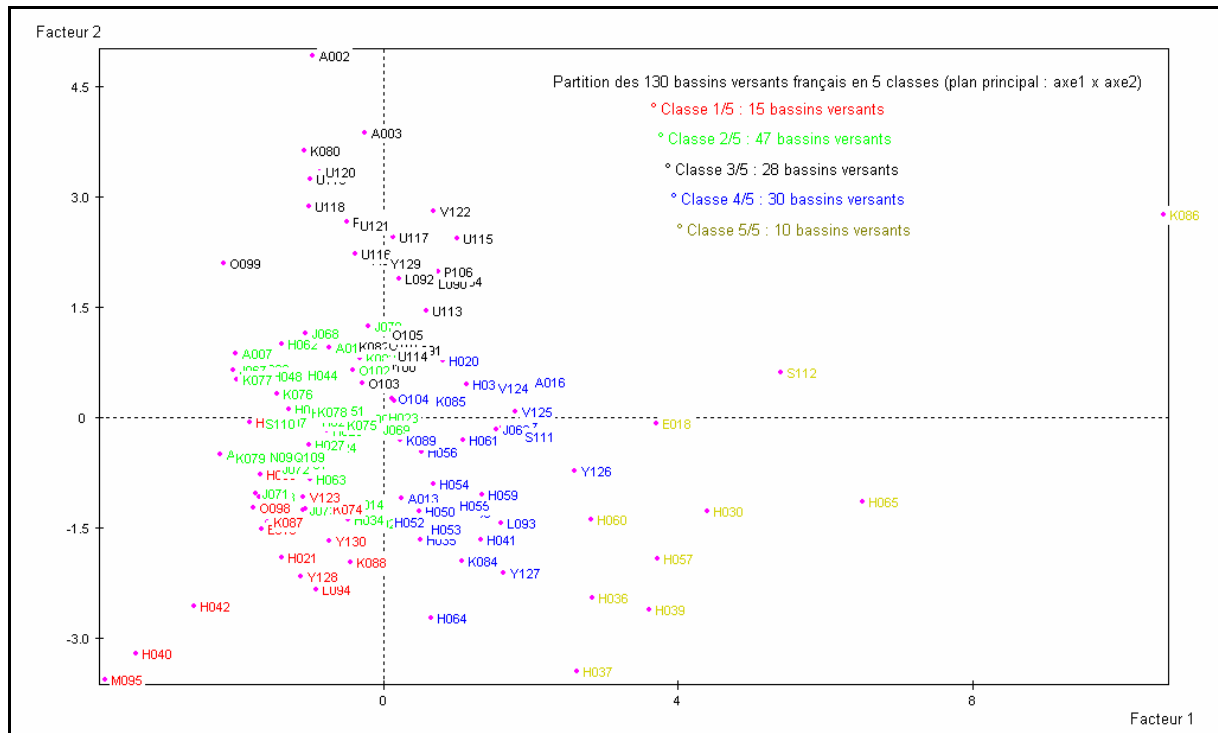


Figure 7.7 : Plan principal axe1 x axe2 : CAH en 5 classes des 130 bassins versants français

La description des axes factoriels obtenus par l'Analyse en Composantes Principales Normées (les 10 variables étant de même importance dans l'analyse) fournit les résultats suivants :

DESCRIPTION DU FACTEUR 1 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE	MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.83	130.00	IND	167.78	55.14	1
-0.65	130.00	C2M	55.01	24.85	2
ZONE CENTRALE					
0.72	130.00	ETI	21.86	31.63	9
0.85	130.00	ESM	169.18	155.63	10

Cet axe oppose donc les bassins versants à régime d'écoulement irrégularité aux bassins versants à régime d'étiage.

DESCRIPTION DU FACTEUR 2 PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE	MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.73	130.00	VOL	20.72	19.87	1
-0.12	130.00	IND	167.78	55.14	2
ZONE CENTRALE					
0.84	130.00	CRU	332.48	257.65	9
0.93	130.00	LAM	425.38	274.30	10

Cet axe oppose ainsi les bassins versants à régimes d'écoulement soutenu, voir en crue aux bassins versants à fort besoin de stockage.

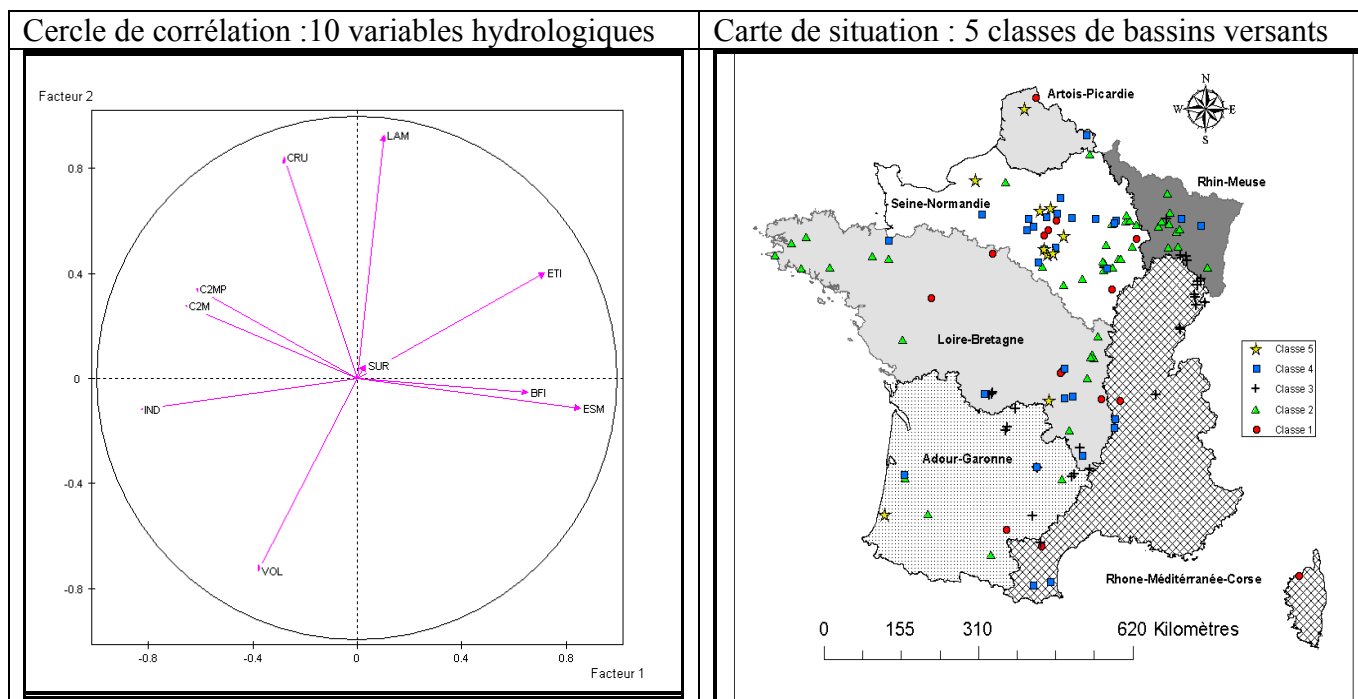


Figure 7.8 : Cercle de corrélation et Carte de situation des classes de bassins versants

Les compositions et descriptions sommaires des 5 classes de bassins versants obtenues sont données ci-dessous (correspondance Noms et Codes des bassins versants en A1.1, Annexe 1) :

CLASSE 1 / 5 : 15 bassins versants (en rouge)														
E019	H021	H040	H042	H045	H058	K074	K087	K088	L094	M095	O098	V123	Y128	Y130

C'est l'ensemble des bassins versants à très fort écoulement irrégulier et besoin de stockage. Ils sont sensiblement bien répartis sur l'ensemble du territoire.

CLASSE 2 / 5: 47 bassins versants (en vert)														
A001	A005	A006	A007	A008	A009	A010	A011	A014	A015	H022	H023	H024	H025	H026
H027	H028	H029	H031	H033	H034	H044	H046	H047	H048	H049	H051	H062	H063	J067
J068	J069	J070	J071	J072	J073	K075	K076	K077	K078	K079	K083	N096	O097	O102
Q109	S110													

C'est l'ensemble des bassins versants à faible écoulement irrégulier et à sensiblement peu ou pas de besoin de stockage. Ils sont sensiblement bien répartis sur l'ensemble du territoire en dehors du bassin Rhone-Méditerranée-Corse. On constate aussi une abondance plus marquée pour la région au Nord de la Loire.

CLASSE 3 / 5 : 28 bassins versants (en noir)														
A002	A003	A004	A012	K080	K082	L090	L091	L092	O099	O100	O101	O103	O105	P106
P107	P108	U113	U114	U115	U116	U117	U118	U119	U120	U121	V122	Y129		

C'est l'ensemble des bassins versants à écoulement soutenu à très soutenu et/ou en crue. Ce sont des bassins versants situés en moyenne altitude (entre 184 et 983 m sauf S110 à 47 m).

CLASSE 4 / 5 : 30 bassins versants (en bleu)														
A013	A016	D017	H020	H032	H035	H038	H041	H043	H050	H052	H053	H054	H055	H056
H059	H061	H064	J066	K081	K084	K085	K089	L093	O104	S111	V124	V125	Y126	Y127

C'est l'ensemble des bassins versants à faible étiage et à peu ou pas de besoin de stockage. Ils sont sensiblement bien répartis sur l'ensemble des grands bassins-fluviaux.

CLASSE 5 / 5 : 10 bassins versants (en jaune)														
E018	H030	H036	H037	H039	H057	H060	H065	K086	S112					

C'est l'ensemble des bassins versants à fort ou très fort étiage et besoin de stockage. Ils sont très largement (8/10) localisés dans les bassins fluviaux Artois-Picardie et Seine-Normandie.

7.2.4 Comparaison des paramètres du modèle utilisé en prévision et en simulation

Nous nous sommes également intéressés à la différence qui pourrait exister pour les paramètres du modèle GRP utilisé en prévision et en simulation. Les résultats de cette comparaison des valeurs optimales des paramètres sont présentés dans la Figure 7..

On observe pour :

- le paramètre X_1 (Figure 7.a) : la majorité des valeurs se situent dans la partie supérieure de la zone graphique le long et autour de la diagonale principale de ce cadran. Les valeurs en prévision ont tendance à être plus grandes que les valeurs en simulation (cela rappelle le passage de 400 à 650 mm).
- le paramètre X_2 (Figure 7.b) : l'ensemble des valeurs de paramètre X_2 se situe sur le long de la diagonale principale de la zone graphique, indiquant une bonne stabilité entre les deux modes de fonctionnement.
- le paramètre X_3 (Figure 7.c) : à l'opposé des valeurs du paramètre X_1 , environ 90% des valeurs du paramètre X_3 en simulation et 97% en prévision se situent dans le cadran sud-ouest de la zone graphique autour et le long de la diagonale principale de ce cadran. Les autres 10% en simulation et 3% en prévision sont en majorité des fortes valeurs positives ($\epsilon [2, 10]$).

Cependant, en général, la concordance est assez bonne et les paramètres pourraient à la rigueur être déterminés en mode de simulation.

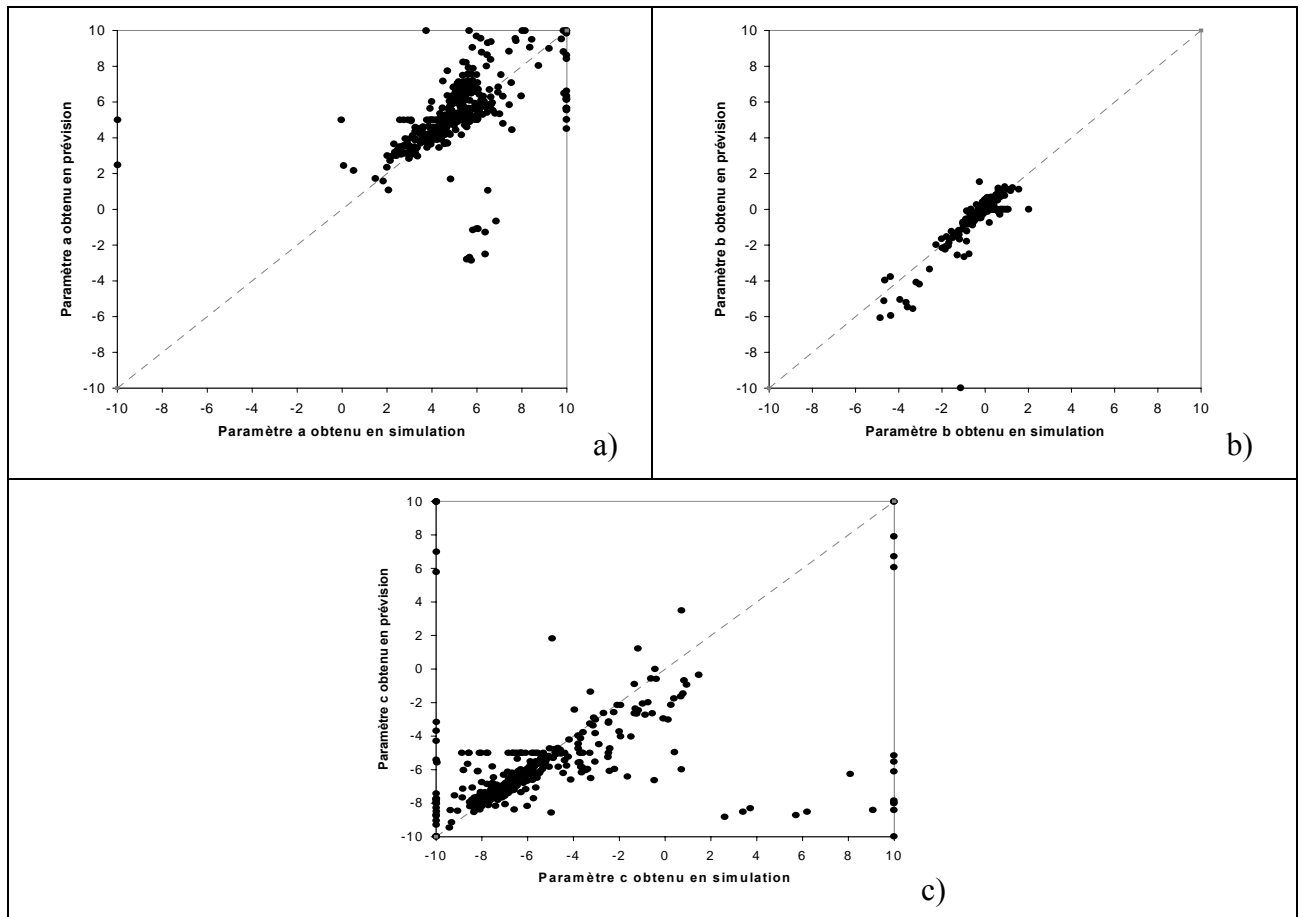


Figure 7.9 : Comparaison des valeurs transformées de paramètres X_1 , X_2 et X_3 du modèle GRP obtenus en simulation et en prévision

Dans ce huitième et dernier chapitre, nous analysons et optimisons le comportement du modèle de prévision de crue GRP pour des délais de prévision supérieurs à un jour. Ceci permet de généraliser les résultats obtenus précédemment et de proposer une version définitive du modèle de prévision.

CHAPITRE 8

CHAPITRE 8

OPTIMISATION ET ANALYSE DU MODÈLE GRP DE PRÉVISION DIRECTE DE CRUE POUR DES DÉLAIS DE PRÉVISION SUPÉRIEURS À UN JOUR

Ce chapitre prolonge et complète l'étude approfondie de notre meilleur modèle de prévision de crue GRP, issu du modèle hydrologique générique GR4J, qui a été peu à peu élaboré au cours de cette thèse. Ce modèle conceptuel global est assez simple et général. Il est l'aboutissement d'une démarche de développement empirique, basée sur une grande quantité de bassins versants de superficies variées et de conditions climatiques et hydrologiques très diverses.

Nous nous proposons d'étudier maintenant le comportement de ce modèle, élaboré pour des prévisions de crue à un jour, pour des délais de prévision plus grands.

Le critère de persistance utilisé jusqu'à présent pour évaluer l'efficacité de la prévision s'écrit:

$$c_{2M/P} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} [Q(i+1) - Q(i)]^2 - \sum_{i=1}^{N-1} [Q(i+1) - \hat{Q}(i+1)]^2}{\sum_{i=1}^{N-1} [Q(i+1) - Q(i)]^2 + \sum_{i=1}^{N-1} [Q(i+1) - \hat{Q}(i+1)]^2} \quad \text{Eq. 8.1}$$

où N est la taille de la série complète pour un bassin donné et i dénote le jour de la prévision.

Si on généralise cette expression pour un délai L quelconque on obtient:

$$c_{2M/P} = \frac{\sum_{i=1}^{N-L} [Q(i+L) - Q(i)]^2 - \sum_{i=1}^{N-L} [Q(i+L) - \hat{Q}(i+L)]^2}{\sum_{i=1}^{N-L} [Q(i+L) - Q(i)]^2 + \sum_{i=1}^{N-L} [Q(i+L) - \hat{Q}(i+L)]^2} \quad \text{Eq. 8.2}$$

$C_{2M/P}$ est compris entre -1 et $+1$ et il est nul quand la prévision est aussi performante que la prévision naïve qui consiste à prendre $\hat{Q}(i+L) = Q(i)$.

8.1. La correction a posteriori ($\beta = 0.25$) ne doit-elle pas être réexaminée pour des délais supérieurs à un jour ?

Comme précédemment, pour continuer à conserver la possibilité d'exploiter l'information contenue dans la dernière prévision effectuée, nous allons considérer que l'erreur relative effectuée le jour précédent ($j-1$) devrait se maintenir en partie pour le jour j . Nous proposons ainsi de corriger a posteriori la prévision $Q(j+L)$ pour fournir la valeur $\hat{Q}(j+L)$ par la relation :

$$\hat{Q}(j+L) = Q(j+L) * \left(\frac{O(j)}{Q(j)} \right)^\beta \quad \text{Eq. 8.3}$$

où $O(j)$ est le débit observé le jour j et $Q(j)$ est le débit prévu pour ce même jour en utilisant la procédure décrite précédemment. L'exposant β sera dans une première étape considéré comme un paramètre supplémentaire à optimiser.

Aussi, pour accomplir notre étude du comportement du modèle aux délais de prévision supérieurs à un jour, nous allons chercher à déterminer la valeur optimale de l'exposant β .

Nous avons déterminé les performances du modèle pour chaque valeur L du délai de prévision, L variant de un à sept jours par pas de un jour, et pour les valeurs de l'exposant β de la correction des débits en sortie, avec $0 \leq \beta \leq 1$.

Les résultats obtenus sont présentés à la Figure 8.1 et inscrits en Annexe 9. C'est une famille de courbes à convexité tournée vers le haut. On constate que le sommet de chaque courbe, pour un délai de prévision fixé, se situe entre les abscisses $\beta = 0.10$ et $\beta = 0.15$ et aussi que les valeurs des maxima des courbes sont décroissantes en fonction des valeurs croissantes du délai de prévision.

On peut donc déduire, à partir de tous ces résultats, que la valeur optimale de l'exposant β , de la correction des débits Q en sortie, est la valeur du β optimal obtenu pour les valeurs L du délai de prévision correspondant aux plus fortes performances positives du modèle. C'est le cas ici pour $L = 1$ jour (32.67%) et pour $L = 2$ jours (40.6%) avec $\beta = 0.15$.

On prendra alors : $\beta_{\text{optimal}} = 0.15$. C'est cette valeur que l'on retiendra dorénavant.

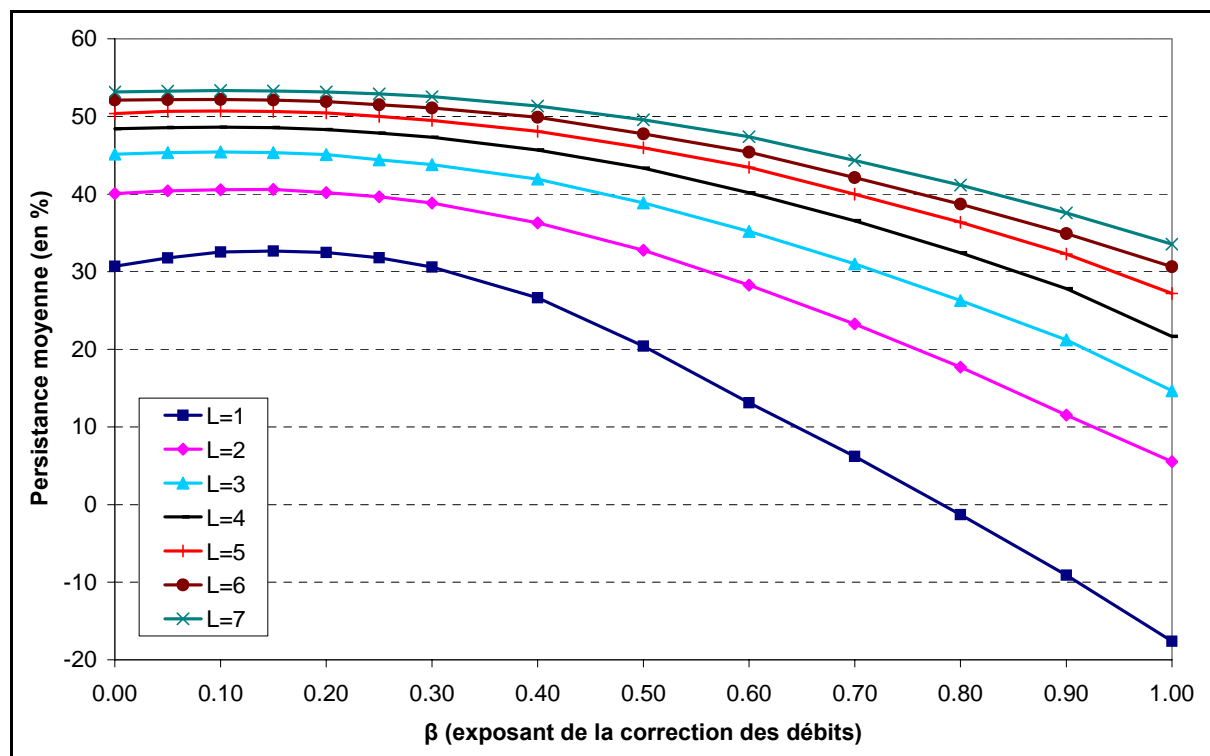


Figure 8.1 : Performances du modèle GRP en fonction de l'exposant β de la correction sur les débits en sortie pour des délais de prévision L allant de un à sept jours

8.2. Le critère de persistance est-il bien adapté quand le délai est supérieur à un jour ?

L'expression de $C_{2M/P}$ adoptée dans la partie 8.1 est le produit d'une généralisation toute naturelle. Cependant elle conduit généralement à des critères $C_{2M/P}$ qui augmentent avec le délai L , au moins pour les premières valeurs. Ceci provient du fait que plus le délai augmente, plus le modèle naïf (qui considère que le débit va rester inchangé) est faux et donc plus il est facile de l'améliorer. Or ceci voudrait dire que plus la tâche est ardue (c'est-à-dire plus L est grand) et plus on réussit dans sa résolution. Il est clair, dans ces conditions, que le critère, sous cette forme, n'est pas bien adapté.

La solution proposée est de réduire l'importance du terme $[Q(i+L) - Q(i)]^2$ en le divisant par L^α , α étant un paramètre à déterminer, comme indiqué dans la formule suivante :

$$c_{2M/P} = \frac{\sum_{i=1}^{N-L} \left[\frac{Q(i+L) - Q(i)}{L^\alpha} \right]^2 - \sum_{i=1}^{N-L} \left[Q(i+L) - \hat{Q}(i+L) \right]^2}{\sum_{i=1}^{N-L} \left[\frac{Q(i+L) - Q(i)}{L^\alpha} \right]^2 + \sum_{i=1}^{N-L} \left[Q(i+L) - \hat{Q}(i+L) \right]^2} \quad \text{Eq. 8.4}$$

Mais comment déterminer α ? Avec α égal à zéro, on se trouve avec l'expression utilisée précédemment, qui évolue dans le sens inverse de celui recherché (Fig. 8.1). En augmentant progressivement α , dans une démarche empirique, le nombre (NBV) de bassins où la prévision à deux jours apparaît comme plus efficace que la prévision à un jour va diminuer. Lorsque ce sera le cas pour pratiquement tous les bassins, on aura trouvé la bonne valeur de α .

Aussi, nous avons testé des valeurs de α telles que : $0 \leq \alpha \leq 1$. Les résultats obtenus sont présentés au Tableau 8.1, en Figure 8.2 et en Annexe 9. C'est une courbe à convexité tournée vers le bas qui est strictement décroissante en fonction des valeurs croissantes de l'exposant α et elle est pratiquement égale à zéro pour $\alpha > 0.5$.

On peut ainsi déduire de l'analyse de tous ces résultats obtenus ici que la valeur limite de l'exposant α (du délai de prévision L dans le calcul du critère de persistance du modèle $C_{2M/P}$), donnant une expression linéaire simple de la formule de calcul du $C_{2M/P}$, est la valeur $\alpha = 0.5$ qui garantit que la prévision à 2 jours est, à quelques rares exceptions, **toujours** moins performante que la prévision à 1 jour.

Le critère de persistance que l'on adoptera pour juger de l'efficacité d'une méthode de prévision pour différents délais sera donc la suivante :

$$c_{2M/P} = \frac{\sum_{i=1}^{N-L} \frac{1}{L} [Q(i+L) - Q(i)]^2 - \sum_{i=1}^{N-L} \left[Q(i+L) - \hat{Q}(i+L) \right]^2}{\sum_{i=1}^{N-L} \frac{1}{L} [Q(i+L) - Q(i)]^2 + \sum_{i=1}^{N-L} \left[Q(i+L) - \hat{Q}(i+L) \right]^2} \quad \text{Eq. 8.5}$$

Tableau 8.1 : Valeurs du nombre NBV de bassins versants où $C_{2M/P}(2j) > C_{2M/P}(1j)$ en fonction de l'exposant α (pour le délai $L = 2$ jours et l'exposant de la correction des débits en sortie $\beta = 0.15$)

α	0.0	0.05	0.10	0.15	0.25	0.33	0.50	0.60	0.67	0.70	0.75	1.0
Pers-m	40.6	39.2	37.8	36.4	33.5	31.2	26.1	23.0	20.8	19.3	18.3	10.3
%BV>0	95.2	94.4	93.6	93.0	91.2	90.1	86.1	82.6	80.7	80.2	78.1	67.4
NBV	171	162	152	137	100	71	31	23	13	11	9	3

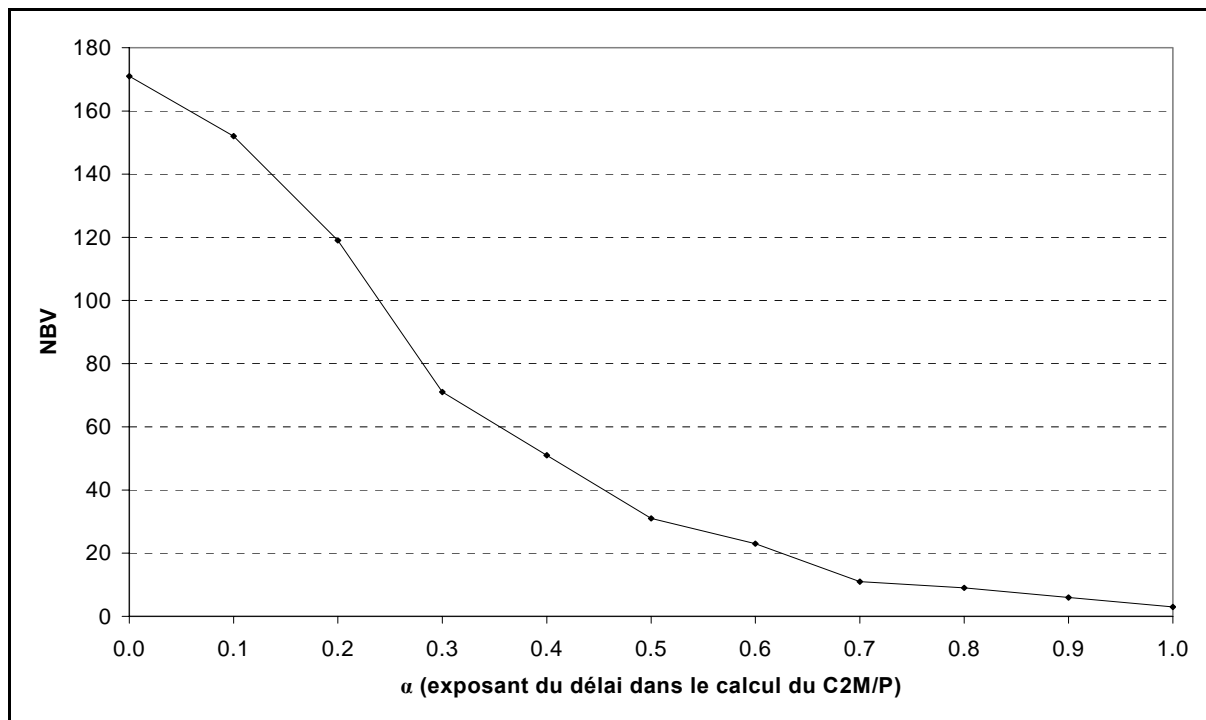


Figure 8.2 : Valeurs du nombre NBV de bassins versants où $C_{2M/P}(2j) > C_{2M/P}(1j)$ en fonction de l'exposant α (pour le délai $L = 2$ jours et l'exposant de la correction des débits $\beta = 0.15$)

8.3. Le modèle GRP (modèle Génie Rural de Prévision de crue)

Le modèle de prévision de crue **GRP** (testé avec des délais de prévision de 1 à 7 jours) est l'aboutissement de nos recherches d'amélioration du modèle GR4JSIPR. C'est la version finale de ce modèle créée grâce à des tests menés sur une grande quantité de bassins versants de superficies et de conditions climatiques très variées. Ses caractéristiques principales sont :

- une **structure** simple s'exécutant **en continu** et à seulement **3 paramètres** à optimiser (**X1, X2, X3**):
 - **X1** est le **coefficient d'échanges**,
 - **X2** est la **capacité à un jour** de son **réservoir de transfert R**,
 - **X3** est la **caractéristique** de son hydrogramme unitaire **HU** dérivable en son sommet,
- le **calage des paramètres** se fait directement **en mode prévision**,
- une **fonction d'échange non conservative**,
- une **correction des débits** en sortie,
- la **mise à jour des états** du réservoir de transfert R est directement **liée aux débits observés**,
- la **capacité** de son **réservoir sol S** est **fixe** et égale à **650 mm**,
- son **réservoir de transfert R** est du type **quadratique**,
- l'**exposant β** du **rapport de correction du débit** calculé en sortie est égal à **0.15**.

Le schéma de fonctionnement du modèle est présenté à la Figure 8.3. Nous présentons également les résultats de ce modèle, testé sur l'ensemble des 188 bassins versants, avec ses performances obtenues pour des délais de 1 à 7 jours (Tableau 8.2 et Figure 8.4), et le gain moyen par rapport au modèle naïf (Tableau 8.3).

A partir de l'ensemble des résultats obtenus dans des multiples tests effectués sur ce modèle au cours de nos recherches avec **un échantillon test de 188 bassins versants de conditions climatiques et hydrologiques hétérogènes**, nous pouvons conclure que notre modèle de prévision de crue **GRP** est **robuste, général et assez simple. Il fait des scores qui sont très honorables**, en moyenne par rapport à la prévision naïve, même pour des délais de prévision supérieurs à un jour.

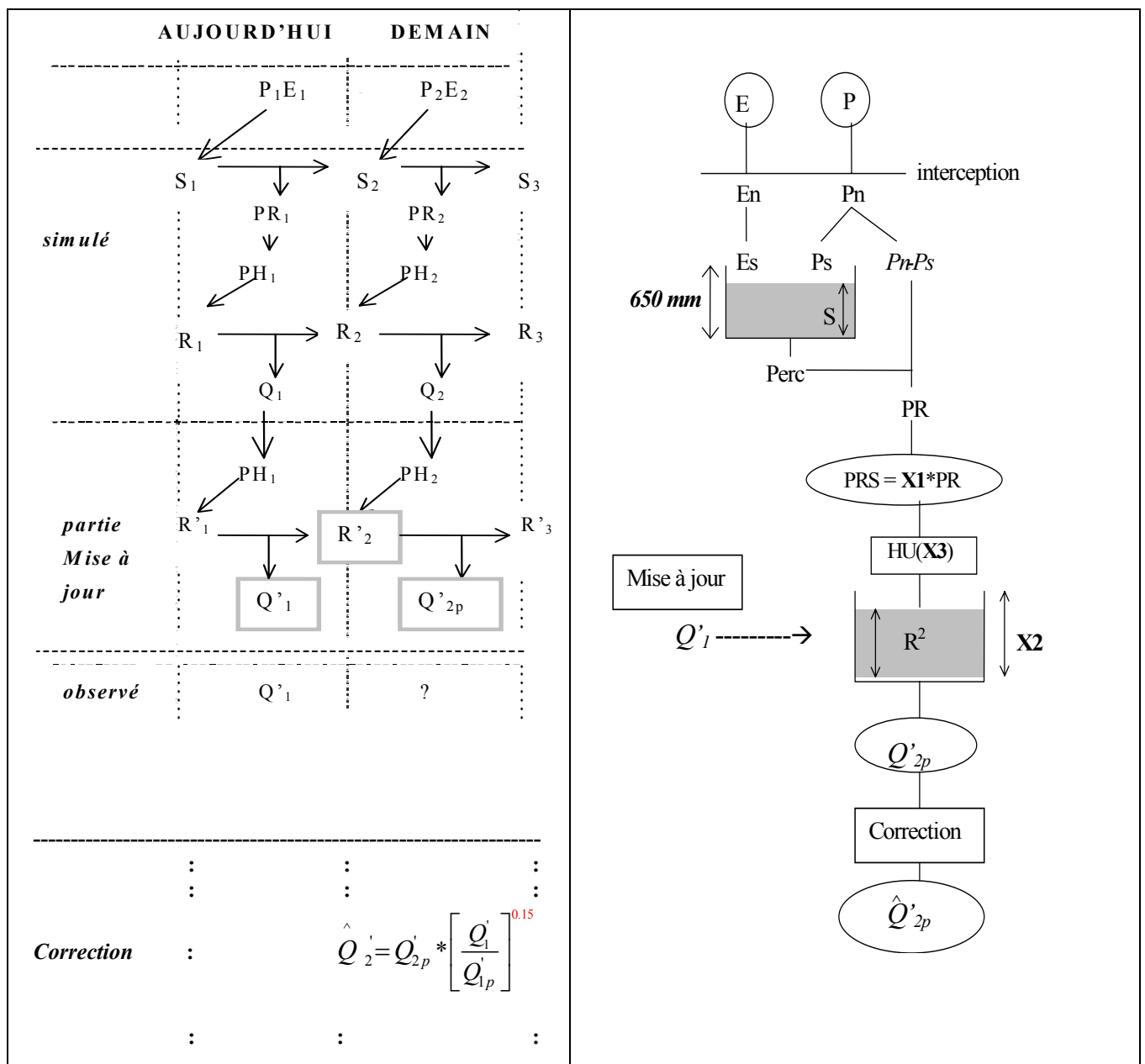


Figure 8.3 : Schéma de fonctionnement du modèle GRP (modèle Génie Rural de Prévision de crue)

Tableau 8.2 : Performances du modèle GRP en fonction du délai de prévision

Délai de prévision en nombre de jours	Persistances (critère modifié)			Proportion de BV à $Persistance > 0$	Paramètres moyens			Nombre de BV à $Performance(L+1) > Performance(L)$
	Mini.	Moy.	Maxi.		Parm1	Parm2	Parm3	
1	-63.31	32.67	73.64	94.4	5.2	-0.1	-5.8	177
2	-79.37	10.26	59.77	67.4	5.2	-0.1	-6.3	5
3	-85.97	-2.56	49.65	53.5	5.2	-0.1	-6.3	4
4	-89.68	-11.59	43.53	35.8	5.2	-0.1	-6.1	0
5	-91.37	-18.80	36.12	23.8	5.2	-0.1	-6.0	0
6	-92.34	-24.67	27.70	15.5	5.2	-0.1	-6.0	0
7	-93.20	-29.51	19.73	8.8	5.1	-0.1	-6.0	0
Simulation	-78.75	49.64	85.98	93.9	5.0	-0.1	-5.4	

Tableau 8.3 : Gains (moyenne du critère de persistance) du modèle GRP en fonction du délai

		Délai de prévision (en nombre de jours)						
		1	2	3	4	5	6	7
Gain moyen	meilleur que le	+33%	+10%					
	équivalent au			0%				
	moins bon que le				-12%	-20%	-25%	-30%
%BV à persistance > 0		94	67	54	36	24	16	9
Superficie moyenne (km ²)		18415	13125	10579	7052	4702	3135	1763

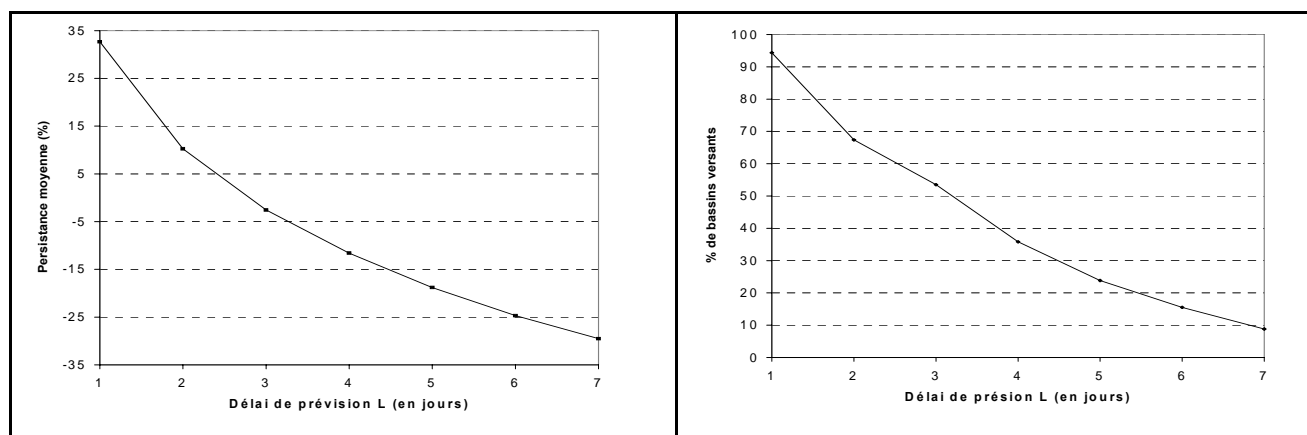


Figure 8.4 : Performances du modèle GRP en fonction du délai de prévision

Ainsi, le modèle GRP peut être utilisé, avec plus ou moins de gain par rapport à la prévision naïve, pour la grande majorité des bassins versants dont le temps de réponse est supérieur à 1 jour et pour des délais de prévision les plus courants en pluies futures connues.

Enfin, rappelons que :

- le modèle doit fonctionner en continu et non en événementiel ;
- même avec une fonction d'échange non conservative le bilan hydrologique théorique n'est pas strictement vérifié ;
- les effets de ce dernier constat ne sont pas significatives dans le contexte de prévision de crue ;
- des exemples d'hydrogrammes prévus et de courbes de corrélation obtenues pour quelques bassins versants sont présentés ci-après (§8.3.2) et dans les Annexes 10 et 11

8.3.1 Lien éventuel entre le temps de base de l'hydrogramme unitaire et le délai maximum de prévision

On a aussi déterminé le délai maximal de prévision par bassin versant, c'est-à-dire la durée limite maximale qui permet de conserver une efficacité positive ($C_{2M/P} > 0$) pour le bassin versant considéré. Pour l'ensemble des 188 bassins versants de la base de données utilisée, les résultats sont obtenus par interpolation linéaire des valeurs moyennes des persistances $C_{2M/P}$ et des valeurs moyennes des paramètres X_3 (caractéristique de l'hydrogramme unitaire) des deux périodes de calcul retenues par bassin versant, fournies par le modèle GRP.

Ces résultats montrent (Figure 8.5) qu'avec un scénario de **pluies futures connues** (Figure 8.5.a) : le domaine (X_3, L_{max}) des bassins versants est sensiblement un triangle asymétrique dont la base est sur l'axe de la variable X_3 . Cela semble indiquer que de façon surprenante la méthode GRP permet de faire des prévisions à d'autant plus long terme que X_3 est plus court. Toutefois ce résultat surprenant peut être un peu atténué par le fait que, avec un scénario de **pluies futures nulles** (Figure 8.5.b, Tableau A9.3) : L_{max} serait plutôt croissant avec la variable X_3 . On remarque sur la Figure 8.5.c, **distribution de X_3** pour l'ensemble des 188 bassins versants utilisés ici, que quelques petits bassins versants ont des valeurs de X_3 élevées et inversement pour certains grands bassins versants. La relation entre cette dernière variable et la superficie des bassins versants est faible.

Il nous semble qu'on peut se poser la question de savoir si ce nouveau paradoxe apparent n'est pas un artefact introduit par la mise en forme opérée sur la dernière formule de calcul du critère de persistance $C_{2M/P}$, ou si ce n'est pas une preuve de l'insuffisance de la méthode de mise à jour adoptée ici. Il sera souhaitable d'entreprendre une étude plus fine pour mieux préciser cette situation.

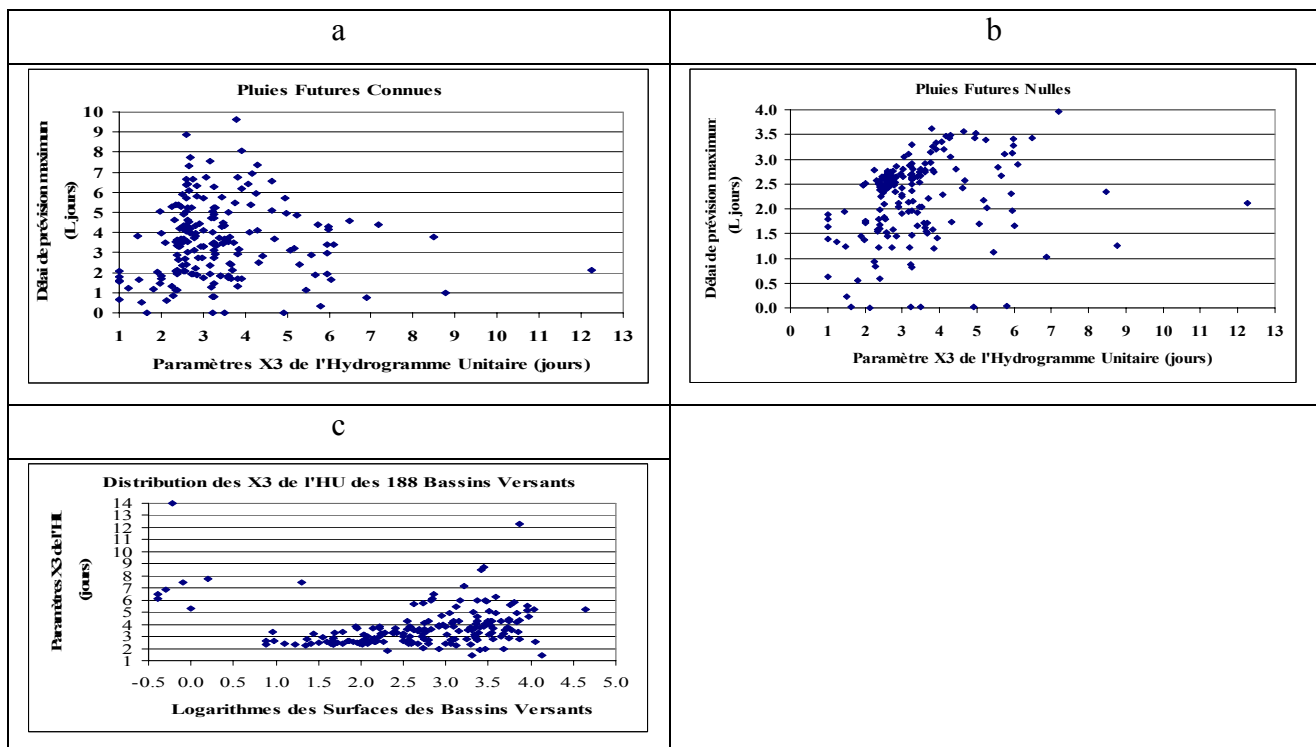
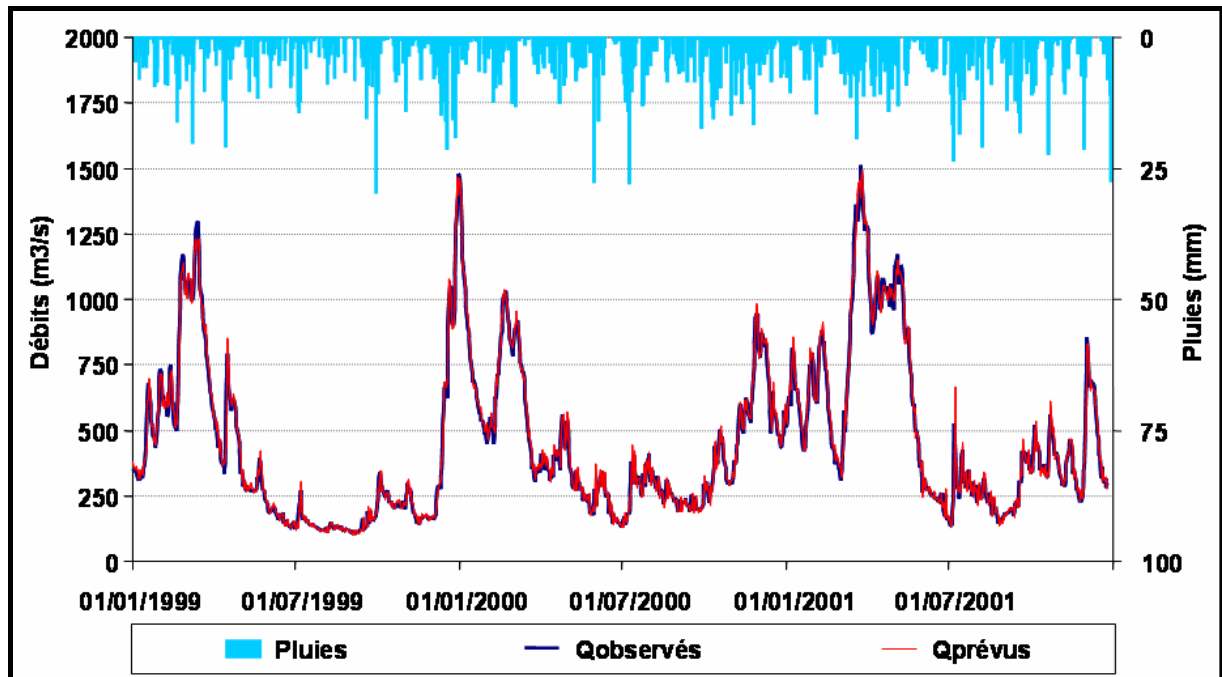


Figure 8.5 : Evolution de la proportion de bassins versants pour lesquels la persistance à L jours devient nulle et distribution du paramètre X_3 de l'Hydrogramme Unitaire.

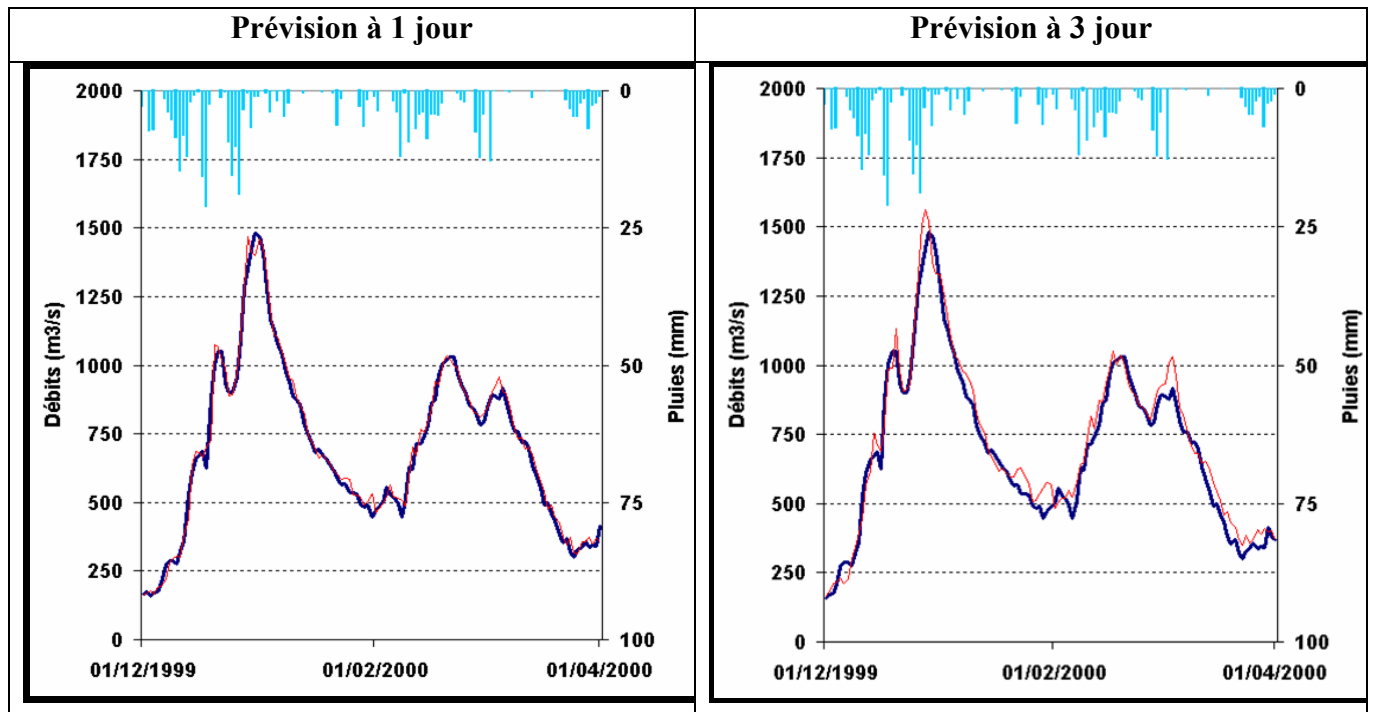
8.3.2 Exemples d'hydrogrammes prévus et de courbes de corrélation obtenues :

a1) Application sur le bassin de la Seine à Paris : Prédiction à 1 jours sur 1999-2001

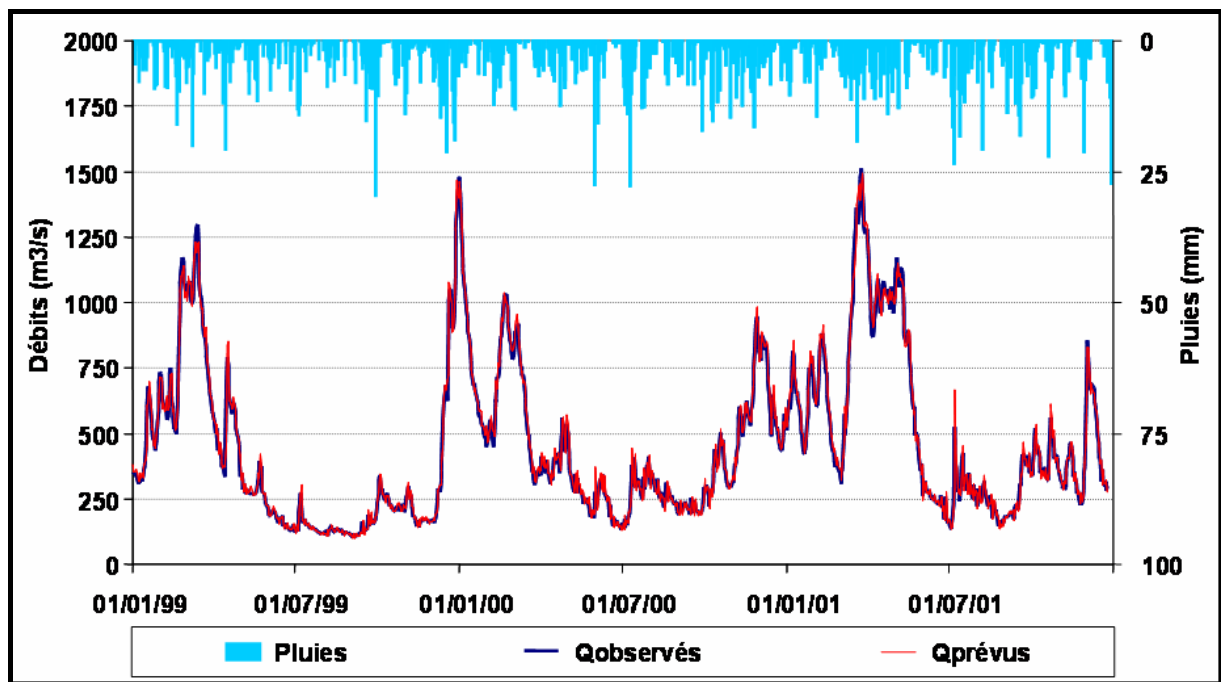


Critère de persistance : 24.1 %

a2) Application sur le bassin de la Seine à Paris : Prédiction sur la crue de décembre 1999

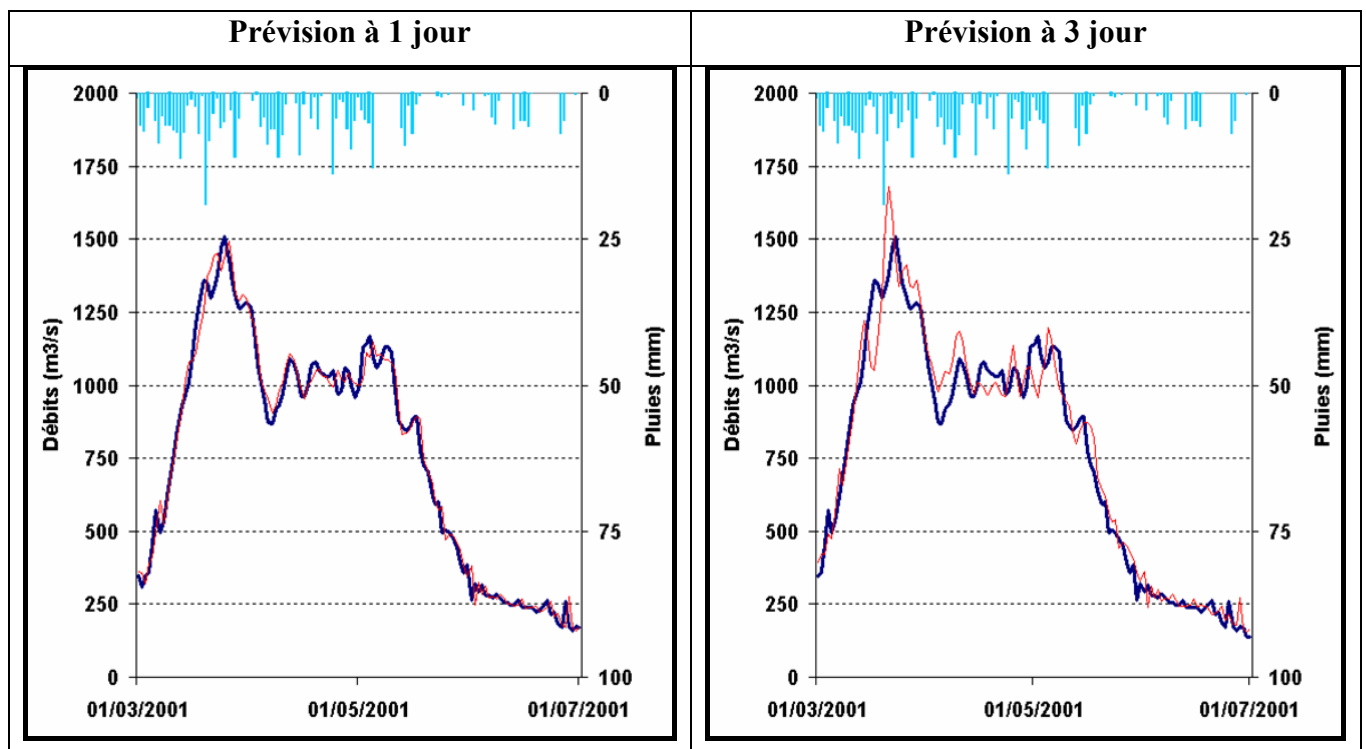


b1) Application sur le bassin de la Seine à Paris : Prédiction à 3 jours sur 1999-2001

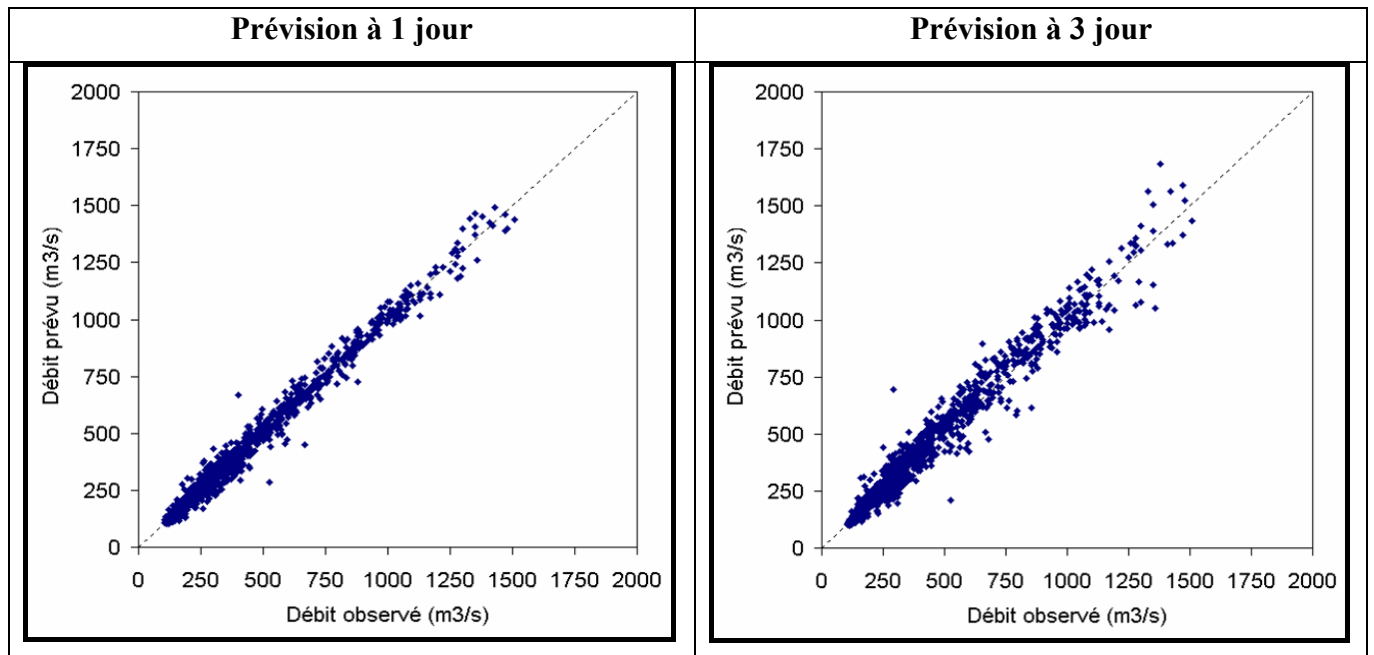


Critère de persistance : -8.0 %

b2) Application sur le bassin de la Seine à Paris : Prédiction sur la crue de mars 2001



c) Application sur le bassin de la Seine à Paris : Comparaison des débits observés et prévus sur 1999-2001 :



La conclusion générale sera dédiée à la méthode très simple qui a émergé de façon assez inattendue au cours de cette recherche et qui laisse, par sa simplicité, une large place à de futures améliorations.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

La prévision de crue est un problème ancien, qui reste encore aujourd'hui difficile à résoudre. De nombreuses recherches ont été consacrées à ce problème hydrologique spécifique et beaucoup d'autres le seront encore probablement. En effet, comme les inondations sont de plus en plus dommageables aux personnes et aux biens en cette période de vulnérabilité accrue de nos sociétés modernes, la demande sociale de prévision de crue est aujourd'hui plus pressante.

L'originalité du travail proposé ici, pour essayer de répondre efficacement à cette demande sociale, est essentiellement dans sa façon spécifique d'aborder le problème de prévision de crue avec l'approche du praticien confronté à des situations concrètes sur le terrain et qui tente de les résoudre de manière adéquate en s'appuyant sur les données réelles et sur les outils disponibles. Et, comme le problème est aussi récurrent en tout lieu et sous toutes les latitudes, le concepteur de modèle se doit de mettre à la disposition du praticien un outil fiable, robuste, simple et assez général dans des contextes d'exploitation très différents.

La prévision de crue étant fondamentalement un problème concernant l'hydrologie, la modélisation pluie-débit en est l'outil obligatoire pour anticiper les conséquences hydrométriques des pluies que l'on observe. Mais tout modèle conceptuel est par nature beaucoup trop imprécis et ne peut être utilisé tel quel et a donc besoin d'une mise à jour.

La démarche adoptée ici, menée sous le contrôle de tests sur un très grand nombre de bassins versants de conditions climatiques variées et hydrologiques diverses et à la recherche du modèle parcimonieux le plus performant, participe précisément de cette approche du praticien. Elle ne vise pas à trouver le modèle le plus adapté à tel ou tel cas particulier, mais à proposer **un outil opérationnel fiable assez performant pour les besoins réels des gestionnaires et des prévisionnistes, c'est-à-dire un outil permettant d'escompter globalement le meilleur succès de prévision.**

Nous avons été très vite confrontés aux limites (très faibles performances) des méthodes de prévision de crue courantes disponibles pour ce type de modèle conceptuel pluie-débit ainsi qu'à celles de leurs procédures de mise à jour. La présente recherche a été rendue nécessaire par le relatif échec de la méthode développée par Yang (1993) pour utiliser en prévision de crue un modèle global pluie-débit. Cette méthode, bien que rationnelle, s'est en effet trouvée surclassée par l'utilisation des réseaux de neurones et par le modèle très simple PQb.

Pour mener notre recherche, il est apparu utile de la conduire :

- au pas de temps journalier,
- en avenir certain (en pluies futures connues),
- sur une grande masse de données diversifiées,
- sur un exemple simple de modèle global pluie-débit opérationnel : le modèle conceptuel GR4J à quatre paramètres, bien étudié et performant en simulation des écoulements.

Nous avons alors mené une réflexion sur les structures des modèles conceptuels et testé les conséquences de leur agencement sur leurs performances en prévision de crue en sélectionnant plusieurs structures simples de modèles.

Cette réflexion nous a alors montré que même le modèle conceptuel GR4J, pourtant simple dans sa structure (seulement quatre paramètres) et performant en simulation de débits, devait encore être simplifié pour se prêter à une mise à jour efficace permettant d'obtenir une performance significative en prévision de crue.

Les leçons tirées de notre confrontation aux données sont :

- il ne suffit pas de rendre un modèle très performant en simulation de débit pour qu'il le soit automatiquement en prévision de crue,
- il vaut plutôt mieux concevoir en une seule étape le calage du modèle et son utilisation en prévision,
- la complexité et la non-linéarité des composants des modèles conceptuels utilisés ne semblent pas des handicaps pour leur utilisation en prévision. En revanche, leur simplicité, l'absence de seuils, de ramifications, la présence de fonctions à dérivée continue semblent des caractéristiques cruciales.

Nous avons ensuite entamé le processus de développement d'un modèle global pluie-débit et de sa procédure de mise à jour, toujours dans une démarche empirique, au travers de multiples structures de modèles et de procédures de mise à jour.

Ces différents essais nous ont guidés dans notre démarche et appris successivement que :

- la structure à une seule branche d'écoulement par le réservoir de transfert du modèle conceptuel pluie-débit GR4J est la plus performante en prévision de crue,
- un simple coefficient multiplicatif des pluies en sortie du réservoir de production compense largement la fonction d'échanges du modèle conceptuel,
- une correction partielle des débits en sortie est bénéfique,
- il est préférable de faire porter la mise à jour sur les états du réservoir de transfert que sur tout autre composant de la structure du modèle conceptuel pluie-débit,
- une remontée même partielle des corrections de mise à jour dans la structure du modèle est très délicate, voire nocive.

Finalement ces essais ont conduit au **modèle GRP (Génie Rural pour la Prévision de crue)**.

La prévision de crue est souvent effectuée pour des bassins versants sans station hydrométrique en amont. Ce sont généralement des bassins versants de petite taille dont les écoulements doivent être suivis au pas de temps horaire. Il conviendra dans un proche avenir d'étudier l'adaptabilité de la méthode proposée ici au pas de temps horaire pour déterminer si une recherche spécifique doit être entreprise pour ce pas de temps.

Nous avons vu au chapitre 4, § 4.2, que sur le bassin versant du Serein, la mise à jour des sorties des modèles par les RNA (par incorporation des vecteurs d'entrée tels que pluie et débit antérieurs) était supérieure au schéma de mise à jour des paramètres de Yang et Michel (2000) et au schéma de mise à jour par report de la dernière erreur de simulation. Il nous y est apparu aussi que les modèles conceptuels ont un rôle sur la mémoire du système (à long terme) que les RNAs ne prennent pas en compte. Des recherches complémentaires, s'appuyant sur un grand ensemble de bassins versants divers et variés, la méthode de mise à jour par RNA et la méthode de mise à jour directe proposée par GRP, nous semblent nécessaires pour confirmer ou pas ces dernières assertions.

Une autre recherche pourra aussi être menée, par une Procédure Multi-Modèles (PMM), toujours sur un grand ensemble de bassins versants, pour évaluer les performances du modèle GRP parmi différents modèles utilisant des méthodes de mise à jour de différents types.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., Rasmussen, J., 1986. An introduction to the European Hydrological System - Système Hydrologique Européen 'SHE'. *Journal of Hydrology*, 87, 45-77.
- Ancil, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., 2004a. A soil moisture index as an auxiliary ANN input for stream flow forecasting. *Journal of Hydrology*, 286(1-4), 155-167.
- Ancil, F., Perrin, C., Andréassian, V., 2003. ANN output updating of lumped conceptual rainfall/runoff forecasting models. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1269-1279.
- Ancil, F., Perrin, C., Andréassian, V., 2004b. Impact of the length of observed records on the performance of ANN and of conceptual parsimonious rainfall-runoff forecasting models. *Environmental Modelling & Software*, 19(4), 357-368.
- Andréassian, V., 2002. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, Cemagref (Antony), 276 p.
- Andréassian, V., 2005. Pourquoi les rivières débordent-elles ? "Les Petites Pommes du Savoir". Editions Le Pommier, 63 p.
- Assemblée-Nationale, 1994. Rapport sur les causes des inondations et les moyens d'y remédier. Rapport n°1641, Commission d'enquête, Paris.
- Assemblée-Nationale, 2001. Rapport sur les causes des inondations répétitives ou exceptionnelles et sur les conséquences des intempéries. Rapport n°3386, Commission d'enquête, Paris.
- Aubert, D., Loumagne, C., Oudin, L., Le Hegarat-Masclé, S., 2003. Assimilation of soil moisture into hydrological models: the sequential method. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(6), 711-717.
- Aubert, D., Loumagne, C., Weisse, A., Michel, C., 2000. Application du filtre de Kalman sur un modèle hydrologique pluie-débit. Assimilation de données d'humidité du sol et de débits, Atelier modélisation CNRM, Toulouse, novembre 2000, 115-118.
- Bachet, 1934. Note sur la propagation et l'annonce des crues, *Annales des Ponts et Chaussées*, 409 p.
- Ben Ali, N., 2000. L'annonce des crues en France. Synthèse Bibliographique. ENGREF, Centre de Montpellier, 11 p.
- Beven, K., et Kirkby, M.J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43-69.
- Beven, K., 1989. Changing ideas in hydrology - The case of physically-based models. *Journal of Hydrology*, 105, 157-172.
- Beven, K., et al., 1995. *TOPMODEL*, in *Computer Models of Watershed Hydrology, Chapter 18*, V.P. Singh, Editor. 1995, Water Resources Publications. p. 627-668.

- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., 1970. Time series analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, Inc., San Francisco, Californie. (Edition révisée en 1976. Nouvelle édition avec Reinsel).
- Brath, A., Rosso, R., 1993. Adaptive calibration of a conceptual model for flash flood forecasting. *Water Resources Research*, 29(8), 2561-2572.
- Chakraborty, K., Mehrotra, K., Mohan, C.K., Ranka, S., 1992. Forecasting the behavior of multivariate time series using neural networks. *Neural Networks*, 5, 961-970.
- Champion, M., 1858. Les inondations en France du VI^e à nos jours, 6 Vol., 3000 pp., Paris, Dunod, 1854-1864, rééd. Cemagref, 2001.
- Chiew, F., McMahon, T., 1994. Application of the daily rainfall-runoff model MODHYDROLOG to 28 Australian catchments. *Journal of Hydrology*, 153, 383-416.
- Chiew, F.H.S., McMahon, T.A., 1991. The applicability of Morton's and Penman's evapotranspiration estimates in rainfall-runoff modeling. *Water Resources Bulletin*, 27(4), 611-620.
- Cosandey, C., Robinson, M., 2000. Hydrologie continentale. "U Géographie". Armand Colin.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Bobbée, B., 2000. Daily reservoir inflow forecasting using artificial neural networks with stopped training approach. *Journal of Hydrology*, 230, 244-257.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Bobee, B., 1999. Hydrological forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(3), 293-304.
- Cybenko, G., 1989. Approximation by superposition of sigmoidal function. *Math. Control Signals Syst.* 2, 303-314.
- Dagnelie, P., 1984. Théorie et Méthodes Statistiques. Ed. Les Presses Agronomiques de Gembloux (Belgique), Tomes 1 et 2.
- Daley, R., 1997. Atmospheric Data Assimilation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 75, 257-288.
- De Marsily, G., 1981. Hydrologie quantitative. Masson, 215 p.
- De Marsily, G., 1994. Quelques réflexions sur l'utilisation des modèles en hydrologie (Free Opinion). *Revue des Sciences de l'Eau*, 7, 219-234.
- De Marsily, G., 1995. L'EAU. Dominos, Ed. Flammarion, 126 p.
- Delafosse, M., 1912. Haut-Sénégal-Niger. Ed. Maisonneuve et Larose, rééd. 1972, Paris, Tome 1/3, 426p.
- Dezetter, A. 1991. Modélisation globale de la relation pluie-débit. Application en zone de savanes soudanaises (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 422 p.
- Duband, D., 2000. Réflexion actuelle sur la prévision hydrométéorologique. Thinking over hydrometeorological forecasting. *La Houille Blanche / N°1 - 2000*, 9, 42-50 p.
- Duband, D., Obléd, C., Rodriguez, J.Y., 1993. Unit hydrograph revisited: an alternate iterative approach to UH and effective precipitation identification. *Journal of Hydrology*, 150, 115-149.
- Duband, D., Parsy, C., Lefèvre, C., Cappelaere, B., Léoussouf, J., Vidal, J., Demmerle, D., Voron, B., Leviandier, T., Lebosse, A., 1988. Mise en oeuvre opérationnelle d'une prévision des crues. *La Houille Blanche*, (5/6), 365-374.

- Edijatno, 1991. Mise au point d'un modèle élémentaire pluie-débit au pas de temps journalier. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur/ENGEES, Strasbourg, 242 p.
- Fabret, C., Annonce des crues de la Vézère. Calcul des débits à partir des précipitations. Bilan hydrologique. Troisième Session de Recyclage en Hydrologie, ENPC.
- Fourmigué, P., 2003. Préviation des crues de la Savoureuse à Belfort. Référence: 18434-02 du 19/03/2003, DIREN Rhône Alpes DB-RMC, 215 p.
- Garrick, M., Cunnane, C., Nash, J.E., 1978. A criterion of efficiency for rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, 38, 375-381.
- Gencay, R., 1993. Nonlinear prediction of observed time series with feedforward Networks., *Neural Network World* 6, 721-732.
- Georgakakos, A.P., Yao, H.M., Mullusky, M.G., Georgakakos, K.P., 1998. Impacts of climate variability on the operational forecast and management of the upper Des Moines River basin. *Water Resources Research*, 34(4), 799-821.
- Georgakakos, K.P., 1986. A generalized stochastic hydrometeorological model for flood and flash-flood forecasting. 2. case studies. *Water Resources Research*, 22(13), 2096-2106.
- Goubet, A., 1997. Les crues historiques de la Seine à Paris, le risque de crue en région Parisienne. In: Société Hydrotechnique de France (Editor), Colloque d'hydrotechnique - 155e session du comité scientifique et technique. Société Hydrotechnique de France, Paris.
- Green, C.G., 1979. An Improved Subcatchment Model for the River Dee. Report No.58, Institut of Hydrology, Wallingford, UK.
- Hérigault, J., 1991. Le SCHTROUMPH à EDF. *La Houille Blanche*, (2), 155-157.
- Hirose, Y., Yamashita, K., Hijiya, S., 1991. Backpropagation algorithm which varies the number of hidden units. *Neural Networks*, 4(1), 61-66.
- Hoptroff, R.G., 1993. The principes et pratique of times series forecasting and business modelling using neural nets. *Neural Comput. & Applic.*, 1, 59-66.
- Ide, K., Courtier, P., Ghil, M., Lorenc, A., 1997. Unified notation for data assimilation: operational, sequential and variational. *J. Meteor. Soc. Japan*, 75, 181-189.
- Jambu, M., 1978. Classification automatique pour l'analyse des données. Ed. Dunod, Paris.
- Jones, D.A., Moore, R.J., 1980. A simple channel flow routind model for real time use. In: IAHS Publication No. 129 (Editor), Proceedings of the Oxford Symposium on Hydrological Forecasting, 397-408.
- Kachroo, R.K., 1992. River flow forecasting. Part 5. Applications of a conceptual model. *Journal of Hydrology*, 133, 141-178.
- Kalman, R.E., 1960. A new approach to linear filtering and prediction problems. *J. Basic Engng. (Trans. ASME)*, D82, 35-45.
- Kalman, R.E., Bucy, R.S., 1961. New results in linear filtering and prediction theory. *J. Basic Engng. (Trans. ASME)*, 1961, 95-108.
- Kalsson, M., Yakowitz, S., 1987a. Nearest-neighbor methods for nonparametric rainfall-runoff forecasting. *Water Resources Research*, 23(7), 1300-1308.
- Kalsson, M., Yakowitz, S., 1987b. Rainfall-runoff forecasting methods, old and new. *Stochastic Hydrol. Hydraul.*,(1), 303-318.

- Kitanidis, P.K., Bras, R.L., 1980a. Real-time forecasting with a conceptual hydrologic model. 1. Analysis of uncertainty. *Water Resources Research*, 16(6), 1025-1033.
- Kitanidis, P.K., Bras, R.L., 1980b. Real-time forecasting with a conceptual hydrologic model. 2. Application and results. *Water Resources Research*, 16(6), 1034-1044.
- Klemeš, V., 1982. Empirical and Causal Models in Hydrology. In: National Research Council Geophysics Study Committee (Editor), *Scientific Basis of Water-Resource Management*. National Academy Press, Washington D.C., pp. 95-104.
- Klemeš, V., 1986. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31(1), 13-24.
- Lambert, A.O., 1969. A comprehensive rainfall-runoff model for an upland catchment area. *J. Instn. Water Engrs.*, 23(4), 231-238.
- Lambert, A.O., 1972. Catchment models based on ISO functions. *J. Instn. Water Engrs.*, 26(3), 413-422.
- Lance, G.N., Williams, W.T., 1967. A general theory of classificatory sorting strategies. *The Computer Journal*, 9(4), 373-380.
- Lebart, L., Morineau, A., Lambert, T., Pleuvret, P., 1998. Manuel de Référence du logiciel d'analyse de données SPAD, Version 4. Centre International de Statistique et d'Informatique Appliquée, Saint-Mandé (France).
- Loumagne, C., Vidal, J.J., Feliu, C., Torterotot, J.P., Roche, P.A., 1995. Procédure de décision multimodèle pour une prévision des crues en temps réel. Application au bassin supérieur de la Garonne. *Revue des Sciences de l'Eau*, 8(4), 539-561.
- Martinec, J., Rango, A., 1989. Merits of statistical criteria for the performance of hydrological models. *Water Resources Bulletin*, 25(2), 421-432.
- Mathevet, T., Perrin, C., Andréassian, V., Michel, C., 2005. Large samples of watersheds: a necessary condition to compare the efficiencies of rainfall-runoff models? *Water Resources Research*, Submitted manuscript.
- McKerchar, A.I., 1975. Subcatchment Modelling for River Dee Forecasting. Report No.29, Institut of Hydrology, Wallingford, UK.
- MEDD, 2004. SOPHIE 2.5 : Outil de prévision des crues - Présentation des modèles et de la procédure multimodèles. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Direction de l'Eau, 69 p.
- Melo, M.D., Nascimento, N.O., 1999. A comparative study on modelling rainfall-runoff processes in large watersheds, using conceptual models of different complexity levels. Article soumis pour publication.
- Michel, C., 1989. Hydrologie appliquée aux petits bassins versants ruraux, Cemagref, Antony, 528 p.
- Moore, R.J., 1982. Transfer functions, noise predictors and the forecasting of flood events in real-time. *Statistical Analysis of Rainfall and Runoff*, V.P. Singh, ed., Water Resources Publications, 229-250.
- Moussa, R., 1991. Variabilité Spatio-Temporelle et Modélisation Hydrologique. Application au bassin du Gardon d'Anduze. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier II, 314 p.

- Nascimento, N.O., 1995. Appréciation à l'aide d'un modèle empirique des effets d'action anthropiques sur la relation pluie-débit à l'échelle du bassin versant. Thèse de Doctorat, CERGRENE/ENPC, Paris, 550 p.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 27(3), 282-290.
- NOAA, 1993. Tropical Cyclones of the North Atlantic Ocean, 1871-1992, NOAA, NCDC, Asheville, N.C., 193 p.
- O'Connell, P.E., 1980. Real-time hydrological forecasting and control. *Real-time hydrological forecasting and control*; Proc. 1st Intl. Workshop, July 1977, P.E. O'Connell, ed., Institut of Hydrology, Wallingford, UK.
- O'Connell, P.E., Clarke, R.T., 1981. Adaptive hydrological forecasting - a review. *Hydrological Sciences Bulletin*, 26(2), 179-205.
- O'Donnell, T., Canedo, P., 1980. The reliability of conceptual basin model calibration, *Proceedings of the Oxford Symposium on Hydrological Forecasting*, 263-269.
- Ollivier, T., 2004. Prédiction des crues sur le bassin de la Seine à Paris-Austerlitz. Mémoire de DEA, Université Pierre et Marie Curie / ENGREF (Paris), 50 p.
- Oudin, L., 2004. Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris) / Cemagref (Antony), 495 p.
- Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London*, A193, 120-145.
- Perrin, C., 2000. Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de Doctorat, INPG (Grenoble) / Cemagref (Antony), 530 p.
- Perrin, C., 2002. Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. *La Houille Blanche*, (6/7), 84-91.
- Refsgaard, J.C., 1997. Validation and intercomparison of different updating procedures for real-time forecasting. *Nordic Hydrology*, 28, 65-84.
- Roche, P.A., 1971. Les divers types de modèles déterministes. *La Houille Blanche* / N° 2-1971, 111-129.
- Roche, P.A., 1985. Guide de Prédiction des Crues, Tome 1. Ministère Chargé de l'Environnement, Paris.
- Roche, P.A., 1988. Les modèles. In: *Gestion des eaux: Automatisation, Information et Télégestion*, F. Valiron (Ed.), Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, III, 138-166.
- Roche, P.A., Tamin, R., 1987. La combinaison de modèles: un moyen de limiter l'impact des perturbations en prédiction des crues. *Revue internationale des sciences de l'eau*, 3(2), 57-65.
- Roche, P.A., Torterotot, J.P., 1988. Les procédures de décision en temps réel pour la prédiction des crues, *La Houille Blanche/N°5/6-1988*, 399-409.
- Rumelhart, D., al., 1986. Learning internal representation by error propagation. In: D.E. Rumelhart and J.L. McClelland (Editors), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. MIT Press, Cambridge.

- Saporta, G., 1990. Probabilités, Analyse des données et Statistiques. Editions Technip, Paris.
- Sehmi, N.S., 1988. The hydrology of disastrous floods in Asia. Hydrology of Disasters, WMO, Geneva, 106-122 pp.
- Servat, E., Paturel, J.E., Lubès, H., Kouamé, B., Ouedraogo, M., Masson, J.M., 1997. Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part I: detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. Journal of Hydrology, 191, 1-15.
- Takeushi, K., 2002. Increasing vulnerability to extrem floods and societal needs of hydrological forecasting., Hydrological Sciences journal 46(6), 869-881.
- Tangara, M., 1991. Un ensemble de programmes de traitement de fichiers hydrologiques et de tracé graphique, réalisés en Fortran 77, en vue d'une typologie des petits bassins versants ruraux. Mémoire d'ingénieur, CNAM/CEMAGREF, 207 p.
- Thomas, A., Michel, C., 1985. Tableaux résumés sur les données hydrologiques des stations de jaugeage. Cemagref-Antony, 1985.
- Tourasse, P., 1991. Prévision et télésurveillance hydrométéorologique. La Houille Blanche, (2), 149-154.
- Tucci, C.E.M., Clarke, R.T., 1980. Adaptive forecasting with a conceptual rainfall-runoff model. In Hydrological Forecasting, Proceedings of Oxford Symposium - April 1980, Oxford, 445-454. IAHS Publ. n° 129.
- Vidal, J.J., Dupouyet, J.P., Murillo, T., Deltheil, T. et Boignard J.P., 1998. SOPHIE : Système Ouvert de Prévisions Hydrologiques Informatisées avec Expertise. 25^{ème} journées de l'hydraulique, l'école française de l'eau au service du développement mondial., 1998, 9p.
- Weigend, A.S. (Editor), 1993. Time series prediction. Addison Wesley, Santa Fe Institute.
- Weigend, A.S., Rumelhart, D., Huberman, B.A., 1991. Generalization by weight elimination with application to forecasting. In Neural Information Processing 3, R.P. Lippmann, J.E. Moody and D.S. Touretzky (Editors), Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, pp. 875-882.
- WMO, 1974. International Glossary of Hydrology. W.M.O. Publication No 38, Geneva, W.M.O., Geneva.
- WMO, 1975. Intercomparison of Conceptual Models Used in Operational Hydrological Forecasting. Operational Hydrology Report No. 7, W.M.O., Geneva.
- WMO, 1983. Guide to Hydrological Practice, Vol.II: Analysis, Forecasting and other Applications, WMO-No.168, Geneva.
- Yakowitz, S., 1985. Markov flow models and the flood warning problem., Water Resour. Res., 21(1), 81-88.
- Yakowitz, S., Kalsson, M., 1987. Nearest neighbor methods for time series, with application to rainfall/runoff prediction., Stochastic Hydrology, I.B. Macneill and G.J. Umphrey, eds., D. Reidel Publishing Company. 149-160.
- Yang, X., 1993. Mise au point d'une méthode d'utilisation d'un modèle pluie-débit conceptuel pour la prévision des crues en temps réel. Thèse de Doctorat, ENPC / CERGRENE, 350 p.
- Yang, X., Michel, C., 2000. Flood forecasting with a watershed model: a new method of parameter updating. Hydrological Sciences Journal, 45(4), 537-546.

ANNEXES

ANNEXE 1 : LISTES ET PERIODES DES BASSINS VERSANTS DE LA BASE DONNEES

(188 Bassins Versants de France, d'Australie, du Brésil, de Côte d'Ivoire et des USA)

A1.1 Listes des 188 bassins versants de la base de données

Données en France : 130 Bassins versants									
Nom BV	Code Bassin	Cours d'eau et Station	Altitude (m)	Date_début	Date_fin	Lamb2é(m)_X (m)	Lamb2é(m)_Y (m)	Surface (km²)	N°INSEE
A001	A1515810	Le Murbach à Buhl	360	01/01/1965	01/01/1978	961618	2335913	7.6	68058
A002	A4200630	La Moselle à Saint-Nabord	371	30/10/1961		918439	2349423	621.0	88429
A003	A4250640	La Moselle à Épinal	324	31/10/1951		906099	2359835	1220.0	88160
A004	A4362010	La Vologne à Jarmenil	369	01/01/1970	24/03/1988	917570	2356920	369.0	88101
A005	A4442010	Le Durbion à Vaxoncourt	285	01/11/1969	01/01/1990	902069	2375044	145.0	88497
A006	A5251010	Le Madon à Mirecourt	261	01/08/1965		881861	2373834	382.0	88304
A007	A5730610	La Moselle à Toul	201	27/03/1959		862272	2413870	3350.0	54528
A008	A5842010	Le Terrouin à Villey-Saint-Éti.	200	01/08/1970	01/01/1979	868813	2422388	169.0	54584
A009	A6271010	La Meurthe à Damelevières	214	01/01/1973		898712	2403726	2280.0	54152
A010	A6561110	La Vezouze à Lunéville	220	01/12/1968		906121	2407670	559.0	54329
A011	A6941010	La Meurthe à Malzéville [1]	189	01/10/1959	01/01/1991	883563	2418757	2930.0	54339
A012	A7010610	La Moselle à Custines	184	26/01/1973		878229	2427984	6830.0	54150
A013	A7581010	La Seille à Vic-sur-Seille	198	01/10/1967	01/09/1976	908350	2428776	371.0	57712
A014	A7821010	La Seille à Nomeny	180	01/09/1968		885402	2439282	925.0	54400
A015	A7930610	La Moselle à Hauconcourt	155	14/03/1955		881399	2476424	9387.0	57303
A016	A9013050	La Sarre Rouge à Vasperviller	279	01/08/1968		948335	2415085	90.0	57697
D017	D0206010	La Solre à Ferrière-la-Grande	128	01/12/1972		718596	2586300	119.0	59230
E018	E4035710	L'Aa à Wizernes	21	01/01/1964		593531	2634992	392.0	62902
E019	E4905710	L'Yser à Bambeckue [Engelshof	6	01/12/1971		616901	2656399	239.0	59046
H020	H0100020	La Seine à Plaines-Saint-Lange	179	01/08/1967		760025	2335151	704.0	10288
H021	H0203010	La Laignes Chaume-Baigneux	349	01/11/1967	01/01/1988	768872	2294933	87.3	21160
H022	H0203020	La Laignes à Molesmes	181	01/10/1967	01/12/1983	752047	2330714	672.0	21419
H023	H0210010	La Seine à Polisy	158	01/01/1950	01/08/1996	752523	2342193	1450.0	10296
H024	H0321030	L'Ource à Autricourt	197	01/08/1967		770022	2335690	548.0	21034
H025	H0321040	L'Ource à Celles-sur-Ource	159	01/07/1968		754394	2344101	730.0	10070
H026	H0400010	La Seine à Bar-sur-Seine	148	01/01/1950		751916	2348365	340.0	10034
H027	H1051020	L'Aube [partielle] à Longchamp	187	01/07/1969		782965	2352400	657.0	10203
H028	H1122010	L'Aujon à Rennemont	191	01/02/1972		787050	2352577	481.0	52419
H029	H1231010	L'Aube à Blaincourt-sur-Aube	110	01/01/1953		757378	2379134	1640.0	10046
H030	H1932010	La Traconne à Saint-Brice	93	01/10/1974		673048	2395542	112.0	77403
H031	H2342010	Le Serein à Chablis	132	01/07/1954		709643	2314187	1120.0	89068
H032	H2721010	L'Yonne à Coullon-sur-Yonne	53	01/01/1958		655602	2373441	10700.0	89124
H033	H3102010	L'Ouanne à Toucy	184	01/06/1968		671698	2304138	153.0	89419
H034	H3201010	Le Loing à Châlette-sur-Loing	78	01/01/1966		29477	2337416	2300.0	45068
H035	H3522010	Le Fusain à Courtempierre	90	01/01/1967		620758	2345452	375.0	45114
H036	H3613010	Le Lunain à Paley	85	01/10/1974		638903	2360885	163.0	77353
H037	H3613020	Le Lunain à Épisy	51	01/01/1964		632485	2370090	252.0	77170
H038	H3621010	Le Loing à Épisy	48	01/01/1949		633515	2371067	3900.0	77170
H039	H3623010	L'Orvanne à Blennes	103	01/11/1977		650972	2362170	108.0	77035
H040	H3923010	Le ru d'Ancoeur à Blandy	65	01/12/1982		633113	2396886	181.0	77034
H041	H4232040	L'Orge à Épinay-sur-Orge	36	01/03/1982		598702	2407475	632.0	91216
H042	H4322010	L'Yerres à Courtomer [1]	76	01/04/1965		641797	2406003	427.0	77138
H043	H4332020	L'Yerres à Yerres [Pont Massat]	40	01/01/1982	01/01/1989	611091	2412941	889.0	91691
H044	H5062010	Le Rognon à Doulaincourt-S.	206	01/08/1968		809691	2375429	614.0	52177
H045	H5102010	La Saulx à Pancey	295	01/08/1970	01/01/1986	818580	2389850	40.0	52376
H046	H5102020	La Saulx à Couvonges	146	01/12/1967	01/01/1989	797160	2423030	475.0	55134
H047	H5122310	L'Ornain à Fains-Véel	172	01/08/1968		805192	2425482	820.0	55186
H048	H5123210	Le ruisseau de Malval à Nan.	215	01/10/1971	01/01/1978	818260	2416511	31.6	55372
H049	H5142610	La Chée à Villotte-devant-L.	168	01/06/1967		799358	2435175	113.0	55569
H050	H5153010	La Vière à Val-de-Vière	94	01/01/1985		777959	2425290	166.0	51218
H051	H5172010	La Saulx à Vitry-en-Perthois	95	01/01/1957		768479	2418840	2100.0	51647
H052	H5173110	Le Bruxenelle à Brusson	104	01/01/1985		736700	2419143	136.0	51094
H053	H5213310	La Soude à Soudron	110	01/03/1968		737010	2428350	105.0	51556
H054	H5412010	Le Petit Morin à Montmirail	120	01/08/1968		688048	2430097	354.0	51380
H055	H5412020	Le Petit Morin à Jouarre	605	01/01/1962		659749	2437218	605.0	77238
H056	H5522010	L'Ourcq à Chouy	74	01/07/1988		666569	2466655	345.0	2192
H057	H5613020	La Théroouanne à Congis-sur-T.	60	01/05/1969		645937	2446996	167.0	77126
H058	H5723010	L'Orgeval à Boissy-le-Châtel	77	01/03/1962		656985	2425600	104.0	77042
H059	H5752020	Le Grand Morin à Montry	42	01/01/1967	01/12/1993	637973	2431887	1190.0	77315
H060	H5813010	La Beuvronne à Compans	58	01/06/1968		624650	2442142	97.6	77123

H061 H5920010	La Seine à Paris [Austerlitz]	26	01/01/1974		602142	2427451	43800.0	75056
H062 H7021010	L'Oise à Hirson	161	01/01/1965		724574	2548793	315.0	2381
H063 H8012010	L'Epte à Gournay-en-Bray	87	01/03/1967		555860	2497410	248.0	76312
H064 H9402010	L'Iton à Manthelon	119	01/01/1970	20/02/1992	507600	2435500	414.0	27387
H065 H9923010	L'Austreberthe à Duclair	11	01/06/1964		495580	2501080	208.0	76631
J066 J0144010	La Loysance à Saint-Ouen	50	01/08/1968		320844	2387710	81.5	35303
J067 J3601810	L'Aulne à Scrinac [Le Goask]	100	01/06/1974		155627	2393712	117.0	29275
J068 J3834010	La Douffine à Saint-Ségal	16	01/06/1966		125431	2381669	138.0	29263
J069 J4014010	Le Goyen à Pont-Croix [Kerm .]	4	01/06/1966		92775	2359735	89.1	29218
J070 J4623010	L'Aven à Pont-Aven [Bois d'A.]	9	01/09/1966	13/07/1994	146056	2335422	184.0	29217
J071 J5613010	L'Evel à Guénin	39	01/11/1963		203177	2335806	316.0	56074
J072 J7060620	La Vilaine à Châteaubourg	40	01/01/1990		321512	2352060	563.0	35068
J073 J7373110	La Vaunoise à Saint-Gilles	33	01/03/1971	23/01/1990	288210	2357270	61.0	35275
K074 K0724510	Le Chanasson à Civens [La Ri.]	358	03/01/1972		748300	2089040	12.7	42065
K075 K1084010	La Teyssonne à Changy [La N.]	358	20/10/1971		719565	2127575	23.0	42049
K076 K1321810	L'Arroux à Étang-sur-Arroux	268	01/01/1971		741517	2207395	1798.0	71192
K077 K1341810	L'Arroux à Rigny-sur-Arroux	232	01/01/1967	01/09/1994	730234	2171909	2277.0	71370
K078 K1383010	La Bourbince à Vitry-en-Char.	233	01/01/1967		733636	2165449	819.0	71588
K079 K1391810	L'Arroux à Digoin	255	01/01/1958		726856	2167433	3166.0	71176
K080 K2010810	L'Allier à Laveyrune Rogleton	983	01/09/1975	01/01/1996	724000	1958160	48.8	7136
K081 K2173010	Le Chapeauroux à Saint-Bon.	760	01/01/2021	01/01/1984	710776	1982588	398.0	48139
K082 K2210810	L'Allier à Monistrol-d'Allier	635	01/01/1942		703354	1997195	988.0	43136
K083 K2330810	L'Allier à Vieille-Brioude	434	01/01/2019		684154	2029455	2269.0	43262
K084 K2714010	Le Joron à Beauregard-l'Évêque	305	01/04/1967		673349	2090830	119.0	
K085 K2951910	La Dore à Peschadoires	290	01/01/1972	01/01/1982	690458	2093766	1280.0	63276
K086 K3206010	La source-de-chez-Pierre à C.	783	01/03/1971		643359	2084671	7.5	63071
K087 K3373010	La Bouble à Chareil-Cintrat	250	01/01/1967		668625	2140739	555.0	3059
K088 K3374710	Le Boulblon Lagées à Fourilles	255	01/03/1966		666449	2138525	71.4	3116
K089 K3382010	La Sioule à Saint-Pourçain-s-S.	238	01/01/1967		673950	2145905	2458.0	3254
L090 L0140610	La Vienne à Saint-Priest-Taur.	238	01/01/1942		527253	2098695	1156.0	87178
L091 L0321510	Le Taurion à Saint-Priest-Tau.	237	01/01/1980		528175	2101000	1030.0	87178
L092 L0400610	La Vienne au Palais-sur-Vien.	226	01/01/2023		521505	2096510	2296.0	87113
L093 L0615810	La Lande [source] à Couzeix	380	01/03/1976		512869	2098505	1.0	87050
L094 L9214510	Le Taray à Mazé [Gruteau]	25	01/11/1966	01/01/1984	406321	2278799	27.7	49194
M095 M1024810	La vallée de la Malorne à Bouv.	29	04/07/1972	26/05/1993	529639	2362380	122.0	28057
N096 N3001610	Le Grand Lay à Saint-Prouant	63	01/12/1967		348880	2199730	131.0	85266
O097 O1814040	La Lèze à Artigat	246	01/01/1970	01/01/1986	526368	1795153	98.0	9019
O098 O2304020	Le Girou à Maurens-Scopont	169	01/06/1970	01/01/1986	557246	1842472	108.0	81162
O099 O4704030	Le Dadou à Paulinet [St-Jean]	413	01/09/1968		608282	1868710	72.0	81203
O100 O7021530	Le Lot à Mende [aval]	707	01/01/1974		691730	1947050	261.0	48095
O101 O7041510	Le Lot à Balsièges [Bramonas]	663	01/10/1965		686700	1943100	465.0	48016
O102 O7101510	Le Lot à Banassac [La Mothe]	519	31/12/1959		668679	1938356	1160.0	48017
O103 O7191510	Le Lot à Entraygues-sur-Truy.	228	31/12/1971		619038	1959034	2180.0	12094
O104 O7692510	La Truyère à Entraygues-sur-T	225	01/01/1972	01/01/1992	617812	1961310	3280.0	12094
O105 O7701510	Le Lot à Entraygues-sur-Truy.	216	07/06/1979		615870	1960640	5460.0	12094
P106 P3001010	La Vézère à Saint-Merd-les-O.	735	01/01/1957		574331	2069956	52.0	19226
P107 P3464010	La Vimbelle à Bar	240	01/01/1961		557523	2035468	147.0	19016
P108 P3522510	La Corrèze à Tulle [2]	208	01/01/1957	01/01/1993	554207	2029001	358.0	19272
Q109 Q2094310	L'Izaute à Monlezun-d'Armagn.	73	01/05/1966		399583	1872435	111.0	32274
S110 S2224610	Le Grand Arriou à Moustey	28	05/12/1967		353858	1939250	108.0	40200
S111 S2235610	Le Bouron à Belin-Béliet	23	05/12/1967		352354	1945375	36.0	33042
S112 S4214010	Le Magescq à Magescq	15	11/08/1969		313020	1870896	60.0	40168
U113 U2022010	Le Doubs à la Cluse-et-Mijoux	840	31/08/1954		906108	2219616	350.0	25157
U114 U2035020	Le Drugeon à Vuillecin [2]	803	25/02/1975		903624	2222903	191.0	25634
U115 U2142010	Le Doubs à Glère [Courclavon]	410	01/01/1948		954131	2271037	1240.0	25275
U116 U2215020	Le Dessoubre à Saint-Hippolyte	380	01/06/1955		936881	2265720	560.0	25519
U117 U2222010	Le Doubs à Mathay	332	01/09/1975		935412	2280685	2200.0	25370
U118 U2305210	Le St-Nicolas à Rougemont	473	26/07/1974		945801	2314483	9.0	90089
U119 U2345030	La Savoureuse à Belfort	357	03/12/1964		939651	2303250	141.0	90010
U120 U2345820	La Rosemontoise à Chauv.	415	21/05/1974		939506	2310570	25.4	90023
U121 U2402010	Le Doubs à Voujeaucourt	305	01/10/1969		933350	2284850	3420.0	25632
V122 V1454310	Le Furans à Pugieu [Pont du M.]	251	30/12/1965	01/01/1984	856680	2096629	45.2	1316
V123 V3015010	L'Yzeron à Craponne	244	27/10/1969		785470	2084490	48.0	69069
V124 V3115010	Le Dorlay à la Terrasse-sur-D.	526	01/01/1969	03/01/1996	775440	2050370	17.0	42308
V125 V3515610	Le ruisseau des Préaux à Bourg	555	26/12/1977	04/01/1996	773520	2034782	22.1	42023
Y126 Y0444010	La Têt à Marquixanes	244	22/01/1960		612312	1737896	834.0	66103
Y127 Y0474030	La Têt [partielle] à Perpignan	23	27/01/1970		645700	1744600	1300.0	66136
Y128 Y1445010	L'Ognon à Pépieux	85	01/01/1979		628847	1810623	47.1	11280
Y129 Y1605030	La Cesse à la Caunette [Cantig.]	47	12/12/2000		625410	1818590	47.0	34059
Y130 Y7615010	Le Regino à Speloncato [Regino	75	01/09/1968	01/04/1989	1144540	1755310	44.7	2B290

Données en Australie : 4 Bassins versants			
Nom	Code	Cours d'eau	Surface
BV	Bassin	et Station	(Km ²)
W001 B	AU315006	Forth River upstream Lemonthyme	311.0
W002 B	AU616065	Canning River at Glenn Eagle	544.0
W003 B	AU927001	Jardine River at Telegraph Line	500.0
W004 B	AU999990	Canning catchment, Western Australia	517.0

Données au Brésil : 2 Bassins versants			
Nom	Code	Cours d'eau	Surface
BV	Bassin	et Station	(Km ²)
W005 B	BRES0002	SF Porto Andorinhas	13300.0
W006 B	BRES0003	Para Porto Para	11300.0

Données en Côte d'Ivoire : 9 Bassins versants			
Nom	Code	Cours d'eau	Surface
BV	Bassin	et Station	(Km ²)
W007 B	CI010350	KAN a Dimbokro	6300.0
W008 B	CI040370	Baya a Yebouakro	2756.0
W009 B	CI150400	Kouroukele a Iradougou	1990.0
W010 B	CI160120	Bagoé a Kouto	4700.0
W011 B	CI250130	Bafing a Bafingdala	5930.0
W012 B	CI250190	Lobo a Nibehibe	6829.0
W013 B	CI250220	N'Zo a Kahin	4379.0
W014 B	CI250500	Sien a Massadougou	1320.0
W015 B	CI350350	Kavi a M'Besse	975.0

Données aux Etats-Unis : 43 Bassins versants											
Nom	Code	Cours	Paramètre	Latitude	Longitude	Surface	Station	PAM	QAM	EAM	TAM
BV	Bassin	d'eau	[C]			(km ²)	Meteo	(mm/an)	(mm/an)	(mm/an)	(°C)
Z101	ARS68011	Murphy Creek		43,22	-116,27	1,60		500,00			
Z102	ARS68013	Reynolds Creek		30,23	-100,21	0,50		1030,00			
Z103	ARS70002	Sonora		41,64	-95,24	9,30		600,00			
Z104	ARS71001	Treynor		41,65	-95,25	0,40		800,00			
Z105	ARS71002	Treynor		41,66	-95,26	0,40		670,00			
Z106	ARS71003	Treynor		41,67	-95,27	0,60		650,00			
Z107	ARS71004	Treynor		41,68	-95,28	0,80		650,00			
Z108	ARS71005	Treynor		41,69	-95,29	20,40		770,00			
Z109	Mo714120		3,50	38,20	-99,33	5564,77	13985	526,78	6,59		
Z110	Mo714420		2,20	37,83	-97,38	3437,82	3928	806,61	94,67		
Z111	Mo714478		1,57	37,85	-97,93	2038,86	3928	697,44	65,25		
Z112	Mo714780		1,61	37,22	-96,83	4870,47	3928	873,91	175,10		
Z113	Mo724350		2,22	35,67	-96,07	5227,98	13968	926,54	142,76		
Z114	Mo731450		2,40	33,67	-98,62	1246,11	13966	689,62	32,12		
Z115	US141200	PAWNEE R NR LARNED, KS				5563,30		0,00	0,00		
Z116	Us208350		3,50	35,89	-77,53	5653,97	13722	1166,98	356,94	1116,28	15,12
Z117	Us211050		9,53	33,91	-78,72	2849,00	13740	1361,36	430,38	1074,85	14,54
Z118	Us213450		6,31	34,44	-78,96	3180,52	13748	1234,49	394,90	1179,55	17,40
Z119	Us215650		1,72	34,60	-81,42	7226,10	13883	1335,51	505,83	1177,66	17,24
Z120	Us220300		4,40	32,19	-81,89	1437,45	3822	1219,54	313,30	1263,43	18,92
Z121	Us221850		2,15	33,58	-83,27	2823,10	13873	1343,60	480,83	1156,91	16,46
Z122	Us222550		4,60	32,08	-82,18	2874,90	3822	1207,56	333,03	1263,43	18,92
Z123	Us222800		9,71	31,22	-81,87	7226,10	13889	1291,34	309,09	1252,94	20,21
Z124	Us229675		3,42	27,22	-81,88	3540,53	12842	1310,83	241,89	1410,51	22,28
Z125	Us231300		10,47	28,99	-82,35	4713,80	12842	1493,03	182,59	1410,51	22,28
Z126	Us231750		6,55	30,70	-83,03	3626,00	13889	1292,66	293,33	1252,94	20,21
Z127	Us232250		6,73	29,85	-82,72	2634,03	13889	1380,06	533,73	1252,94	20,21
Z128	Us232750		2,45	30,88	-84,05	1424,50	93805	1372,83	378,37	1193,54	19,44
Z129	Us232900		4,51	30,55	-84,38	2952,60	93805	1370,83	346,82	1193,54	19,44
Z130	Us236100		2,17	31,34	-85,61	1776,74	13895	1428,24	488,43	1181,41	18,20
Z131	Us236550		3,56	30,78	-85,83	9062,41	93805	1481,09	571,30	1193,54	19,44
Z132	Us247500		3,36	31,10	-88,81	9052,05	13894	1530,29	538,40	1271,01	19,57
Z133	Us247850		4,51	31,15	-88,55	6967,10	13894	1372,17	511,12	1271,01	19,57
Z134	Us248200		3,44	32,80	-89,34	2341,36	13865	1450,18	475,07	1103,67	17,74
Z135	Us336400		2,12	39,20	-84,92	4421,13	93819	1011,35	377,76		11,80
Z136	Us702950		4,47	35,28	-88,98	3833,20	13893	1080,25	589,61	1252,94	16,84
Z137	Us719650		2,23	35,92	-94,92	2483,81	13968	1234,20	350,36	1346,64	15,97
Z138	Us729000		5,45	32,35	-90,70	7283,08	3940	1469,94	489,98	1173,38	18,01
Z139	Us737850		2,25	30,46	-90,99	3315,20	13970	1561,86	609,70		18,87
Z140	Us801350		3,22	30,64	-92,81	1950,27	12917	2024,70	505,28	1273,55	20,19
Z141	Us806480		2,42	31,88	-95,87	536,13	13959	965,53	168,14	1579,46	19,33
Z142	Us807000		2,38	30,34	-95,10	841,75	12860	1228,08	260,06	1277,29	20,29
Z143	USALEAFR	Leaf River Basin (BVRE N°02472000)				1949,00		0,00	0,00		

A1.2 Listes par pays des périodes de séries chronologiques des données (pluies, débits, ETP), des bassins fluviaux et des durées des 188 bassins versants de la base de données

Données en France : 130 Bassins Versants							Bassin Fluvial (France)	Durée chronique (ans)
Code-station	Période1	Période2	Période3	Période4	Période5	Période6		
A1515810	1964	1968	1968	1972	1972	1977	RHIN-MEUSE	14
A4200630	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A4250640	1971	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	10
A4362010	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A4442010	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A5251010	1975	1978	1978	1980			RHIN-MEUSE	6
A5730610	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A5842010	1970	1973	1973	1976			RHIN-MEUSE	7
A6271010	1971	1975	1975	1979			RHIN-MEUSE	9
A6561110	1970	1975	1975	1979			RHIN-MEUSE	10
A6941010	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A7010610	1973	1977	1977	1980			RHIN-MEUSE	8
A7581010	1970	1973	1973	1976			RHIN-MEUSE	7
A7821010	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A7930610	1970	1975	1975	1980			RHIN-MEUSE	11
A9013050	1968	1973	1973	1978	1978	1983	RHIN-MEUSE	16
D0206010	1975	1979	1979	1983			RHIN-MEUSE	9
E4035710	1973	1978	1978	1982	1982	1986	ARTOIS-PICARDIE	14
E4905710	1980	1985	1985	1989			ARTOIS-PICARDIE	10
H0100020	1968	1973	1973	1978	1978	1983	SEINE-NORMANDIE	16
H0203010	1978	1983	1983	1987			SEINE-NORMANDIE	10
H0203020	1968	1973	1973	1978	1978	1983	SEINE-NORMANDIE	16
H0210010	1968	1973	1973	1978	1978	1983	SEINE-NORMANDIE	16
H0321030	1969	1974	1974	1979	1979	1984 1984 1988	SEINE-NORMANDIE	20
H0321040	1972	1977	1977	1982	1982	1987	SEINE-NORMANDIE	16
H0400010	1972	1977	1977	1982	1982	1987	SEINE-NORMANDIE	16
H1051020	1972	1976	1976	1980	1980	1984	SEINE-NORMANDIE	13
H1122010	1972	1976	1976	1980	1980	1984	SEINE-NORMANDIE	13
H1231010	1972	1976	1976	1980	1980	1984	SEINE-NORMANDIE	13
H1932010	1974	1979	1979	1984	1984	1989	SEINE-NORMANDIE	16
H2342010	1980	1985	1985	1989			SEINE-NORMANDIE	10
H2721010	1980	1984	1984	1988			SEINE-NORMANDIE	9
H3102010	1969	1975	1975	1981	1981	1987 1987 1993	SEINE-NORMANDIE	25
H3201010	1976	1982	1982	1988	1988	1993	SEINE-NORMANDIE	15
H3522010	1974	1978	1978	1982			SEINE-NORMANDIE	9
H3613010	1963	1968	1968	1973	1973	1978 1978 1983 1983 1988 1988 1994	SEINE-NORMANDIE	32
H3613020	1985	1989	1989	1994			SEINE-NORMANDIE	10
H3621010	1980	1985	1985	1989	1989	1994	SEINE-NORMANDIE	15
H3623010	1977	1983	1983	1989	1989	1994	SEINE-NORMANDIE	28
H3923010	1982	1987	1987	1991			SEINE-NORMANDIE	10
H4232040	1982	1986	1986	1990	1990	1994	SEINE-NORMANDIE	13
H4322010	1967	1973	1973	1979	1979	1984	SEINE-NORMANDIE	18
H4332020	1982	1985	1985	1988			SEINE-NORMANDIE	7
H5062010	1976	1980	1980	1985			SEINE-NORMANDIE	10
H5102010	1970	1975	1975	1980	1980	1984	SEINE-NORMANDIE	15
H5102020	1974	1978	1978	1981			SEINE-NORMANDIE	8
H5122310	1973	1977	1977	1981	1981	1985	SEINE-NORMANDIE	13
H5123210	1971	1974	1974	1977			SEINE-NORMANDIE	7
H5142610	1975	1980	1980	1985			SEINE-NORMANDIE	11
H5153010	1973	1977	1977	1981	1985	1988	SEINE-NORMANDIE	16
H5172010	1975	1980	1980	1985			SEINE-NORMANDIE	11
H5173110	1973	1977	1977	1981	1985	1988	SEINE-NORMANDIE	16
H5213310	1973	1978	1978	1983	1983	1988	SEINE-NORMANDIE	16
H5412010	1973	1978	1978	1983	1983	1988	SEINE-NORMANDIE	16
H5412020	1973	1977	1977	1981			SEINE-NORMANDIE	9
H5522010	1988	1991	1991	1994			SEINE-NORMANDIE	7
H5613020	1973	1978	1978	1983	1983	1988	SEINE-NORMANDIE	16
H5723010	1973	1978	1978	1983	1983	1988	SEINE-NORMANDIE	16
H5752020	1977	1982	1982	1987			SEINE-NORMANDIE	11
H5813010	1980	1984	1984	1988			SEINE-NORMANDIE	9
H5920010	1976	1981	1981	1986	1986	1991 1991 1996 1996 2001	SEINE-NORMANDIE	26
H7021010	1982	1985	1985	1988			SEINE-NORMANDIE	7
H8012010	1977	1982	1982	1987			SEINE-NORMANDIE	11
H9402010	1970	1974	1974	1978	1978	1983	SEINE-NORMANDIE	14
H9923010	1971	1975	1975	1979	1979	1983 1983 1987	SEINE-NORMANDIE	17
J0144010	1976	1982	1982	1988			LOIRE-BRETAGNE	13
J3601810	1975	1980	1980	1985	1985	1991	LOIRE-BRETAGNE	17
J3834010	1982	1986	1986	1990			LOIRE-BRETAGNE	9

J4014010	1979 1985 1985 1990	LOIRE-BRETAGNE	12
J4623010	1977 1981 1981 1985 1985 1990	LOIRE-BRETAGNE	14
J5613010	1970 1976 1976 1982 1982 1988	LOIRE-BRETAGNE	19
J7060620	1970 1976 1976 1982 1982 1988	LOIRE-BRETAGNE	19
J7373110	1972 1977 1977 1983	LOIRE-BRETAGNE	12
K0724510	1972 1978 1978 1984 1984 1990 1990 1996	LOIRE-BRETAGNE	25
K1084010	1980 1983 1983 1987	LOIRE-BRETAGNE	8
K1321810	1972 1977 1977 1982	LOIRE-BRETAGNE	11
K1341810	1967 1972 1972 1977 1977 1982	LOIRE-BRETAGNE	16
K1383010	1967 1972 1972 1977 1977 1982	LOIRE-BRETAGNE	16
K1391810	1967 1972 1972 1977 1977 1982	LOIRE-BRETAGNE	16
K2010810	1976 1982 1982 1988 1989 1995	LOIRE-BRETAGNE	20
K2173010	1969 1974 1974 1978	LOIRE-BRETAGNE	10
K2210810	1970 1974 1974 1978	LOIRE-BRETAGNE	9
K2330810	1974 1979 1979 1983 1983 1987	LOIRE-BRETAGNE	14
K2714010	1979 1984 1984 1989	LOIRE-BRETAGNE	11
K2951910	1972 1976 1976 1980	LOIRE-BRETAGNE	9
K3206010	1982 1987 1987 1992	LOIRE-BRETAGNE	11
K3373010	1984 1987 1987 1990	LOIRE-BRETAGNE	7
K3374710	1985 1990 1990 1995	LOIRE-BRETAGNE	11
K3382010	1972 1976 1976 1980 1980 1984	LOIRE-BRETAGNE	13
L0140610	1980 1985 1985 1990 1990 1995	LOIRE-BRETAGNE	16
L0321510	1980 1985 1985 1989	LOIRE-BRETAGNE	10
L0400610	1980 1985 1985 1989	LOIRE-BRETAGNE	10
L0615810	1982 1986 1986 1990 1990 1995	LOIRE-BRETAGNE	14
L9214510	1969 1974 1974 1979 1979 1983	LOIRE-BRETAGNE	15
M1024810	1972 1976 1976 1980 1980 1984 1984 1988	LOIRE-BRETAGNE	17
N3001610	1970 1975 1975 1980 1980 1985 1985 1990 1990 1995	LOIRE-BRETAGNE	26
O1814040	1975 1980 1980 1984	ADOUR-GARONNE	10
O2304020	1970 1975 1975 1980 1980 1985	ADOUR-GARONNE	16
O4704030	1971 1977 1977 1983 1983 1989	ADOUR-GARONNE	19
O7021530	1974 1978 1978 1981 1983 1986 1986 1989	ADOUR-GARONNE	16
O7041510	1974 1979 1979 1984 1984 1989	ADOUR-GARONNE	16
O7101510	1974 1979 1979 1984 1984 1989	ADOUR-GARONNE	16
O7191510	1979 1983 1983 1987	ADOUR-GARONNE	9
O7692510	1979 1985 1985 1991	ADOUR-GARONNE	13
O7701510	1979 1985 1985 1991	ADOUR-GARONNE	13
P3001010	1965 1970 1970 1975 1975 1980 1985 1990 1990 1995	ADOUR-GARONNE	31
P3464010	1961 1965 1965 1969 1971 1976 1976 1981	ADOUR-GARONNE	21
P3522510	1961 1966 1966 1971 1971 1976 1976 1981	ADOUR-GARONNE	21
Q2094310	1969 1975 1975 1980 1980 1985	ADOUR-GARONNE	17
S2224610	1968 1974 1974 1980 1980 1985 1985 1990	ADOUR-GARONNE	23
S2235610	1968 1974 1974 1980 1980 1985 1985 1990	ADOUR-GARONNE	23
S4214010	1970 1975 1975 1980 1980 1985 1985 1990	ADOUR-GARONNE	21
U2022010	1961 1965 1965 1970 1970 1975 1975 1980 1980 1985	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	25
U2035020	1975 1979 1980 1984 1984 1988	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	14
U2142010	1969 1975 1975 1980 1980 1986	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	18
U2215020	1970 1975 1975 1980 1980 1984 1984 1988	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	19
U2222010	1975 1980 1980 1985	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	11
U2305210	1974 1977 1977 1979	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	6
U2345030	1965 1970 1970 1975 1975 1979 1979 1983	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	19
U2345820	1974 1978 1978 1983 1983 1988	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	15
U2402010	1970 1975 1975 1980 1980 1984	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	15
V1454310	1966 1971 1971 1975 1975 1979 1979 1983	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	18
V3015010	1976 1981 1981 1986	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	11
V3115010	1972 1977 1977 1982 1982 1987 1987 1992	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	21
V3515610	1978 1983 1983 1987 1987 1991	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	14
Y0444010	1980 1985 1985 1990	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	11
Y0474030	1973 1977 1977 1981 1981 1985 1985 1990	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	18
Y1445010	1980 1985 1985 1990	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	11
Y1605030	1977 1980 1980 1983	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	7
Y7615010	1969 1974 1974 1979 1979 1984 1984 1989	RHONE-MEDITERRANEE-CORSE	21

Australie : 4 Bassins Versants	Bassin Fluvial (Australie)	Durée chronique (ans)
<i>Code-station Période1 Période2 Période3 Période4 Période5 Période6</i>		
AU315006 1974 1982 1982 1985		12
AU616065 1977 1982 1982 1987		11
AU927001 1974 1984 1984 1989		16
AU999990 1977 1982 1982 1987		11

Données au Brésil : 2 Bassins Versants						Bassin Fluvial (Brésil)	Durée chronique (ans)
<i>Code-station</i>	<i>Période1</i>	<i>Période2</i>	<i>Période3</i>	<i>Période4</i>	<i>Période5</i>		
BRES0002	1976	1983	1988	1991		São Francisco River	16
BRES0003	1976	1983	1988	1991		São Francisco River	16

Données en Côte d'Ivoire : 9 Bassins Versants						Bassin Fluvial (Côte d'Ivoire)	Durée chronique (ans)
<i>Code-station</i>	<i>Période1</i>	<i>Période2</i>	<i>Période3</i>	<i>Période4</i>	<i>Période5</i>		
CI010350	1969	1980	1980	1991		Bandama (Kan)	23
CI040370	1980	1986	1986	1991		Comoé (Baya)	12
CI150400	1963	1978	1978	1993		Niger (Kouroukélé / Baoulé)	31
CI160120	1960	1970	1970	1981		Niger (Bagoé)	22
CI250130	1964	1972	1974	1979		Sassandra (Bafing)	16
CI250190	1961	1975	1985	1993		Sassandra (Lobo)	33
CI250220	1980	1983	1983	1985		Sassandra (N'zo)	6
CI250500	1975	1982	1982	1988		Sassandra (Sien)	14
CI350350	1959	1974	1976	1988		Agneby (Kavi)	30

Données aux USA : 43 Bassins Versants						Bassin Fluvial (Usa)	Durée chronique (ans)				
<i>Code-station</i>	<i>Période1</i>	<i>Période2</i>	<i>Période3</i>	<i>Période4</i>	<i>Période5</i>			<i>Période6</i>			
ARS68011	1969	1973	1973	1977			9				
ARS68013	1969	1977	1977	1981			13				
ARS70002	1968	1970	1970	1972			5				
ARS71001	1969	1974	1974	1979			11				
ARS71002	1969	1974	1974	1979			11				
ARS71003	1969	1974	1974	1979			11				
ARS71004	1969	1974	1974	1979			11				
ARS71005	1969	1971	1971	1973			5				
Mo714120	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1981	1986	26		
Mo714420	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Mo714478	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	21		
Mo714780	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Mo724350	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Mo731450	1967	1972	1972	1977	1977	1982	1982	1987	21		
US141200	1949	1968	1968	1987					39		
Us208350	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us211050	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us213450	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us215650	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us220300	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us221850	1960	1965	1965	1970	1970	1975			16		
Us222550	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us222800	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us229675	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us231300	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us231750	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us232250	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us232750	1961	1966	1966	1970					10		
Us232900	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us236100	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us236550	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us247500	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us247850	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us248200	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us336400	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us702950	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us719650	1961	1966	1966	1971	1971	1976			16		
Us729000	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
Us737850	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us801350	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us806480	1961	1966	1966	1971	1971	1976	1976	1981	1981	1986	26
Us807000	1960	1965	1965	1970	1970	1975	1975	1980	1980	1985	26
USALEAFR	1949	1968	1968	1987					39		

ANNEXE 2 : BASE DE DONNEES UTILISEE ET ANALYSE STATISTIQUE SOMMAIRE DES VARIABLES

A2.1 Base de données utilisée pour les analyses statistiques

A2.1 – Base de données (BDTHESE.TXT) importée par SPAD pour l'analyse statistique														
NOM	STATION LAM)	IND	ETI	CRU	BFI	VOL	ESM	SUR	DEP	CORX	CORY	C2M	C2MP	
	(mm)	(%)	(dl/s/km ²)	(l/s/km ^{1.6})	(%)	(mm)	(%)	(km ²)		(L2E)	(L2E)	(%)	(%)	
A001	A1515810	536	175	13	231	45	15	77	7,6	68	9,61	23,35	54,85	28,26
A002	A4200630	1171	162	48	1422	50	4	129	621,0	68	9,18	23,49	71,83	60,18
A003	A4250640	957	157	56	1087	56	0	185	1220,0	88	9,06	23,59	72,29	57,51
A004	A4362010	767	156	58	460	61	0	239	369,0	88	9,17	23,56	66,24	40,89
A005	A4442010	336	197	19	389	43	15	178	145,0	88	9,02	23,75	53,95	48,79
A006	A5251010	365	242	16	490	46	15	138	382,0	88	8,81	23,73	65,56	63,54
A007	A5730610	404	309	26	448	28	0	203	3350,0	54	8,62	24,13	74,84	48,42
A008	A5842010	130	264	0	163	28	0	0	169,0	54	8,68	24,22	54,92	49,83
A009	A6271010	414	196	31	480	61	4	236	2280,0	54	8,98	24,03	70,99	42,99
A010	A6561110	326	221	21	380	53	20	203	559,0	54	9,06	24,07	65,75	41,30
A011	A6941010	380	205	28	430	59	8	233	2930,0	54	8,83	24,18	73,14	43,84
A012	A7010610	535	136	32	755	57	0	189	6830,0	54	8,78	24,27	80,98	53,28
A013	A7581010	211	134	13	135	47	25	194	371,0	57	9,08	24,28	47,76	34,69
A014	A7821010	226	235	11	194	54	25	154	925,0	54	8,85	24,39	55,57	25,10
A015	A7930610	401	208	26	594	60	15	205	9387,0	57	8,81	24,76	78,61	48,81
A016	A9013050	532	103	68	140	65	0	128	90,0	57	9,48	24,15	50,28	21,72
D017	D0206010	380	134	34	205	65	4	282	119,0	59	7,18	25,86	32,27	34,27
E018	E4035710	388	80	63	105	93	0	512	392,0	62	5,93	26,34	65,32	19,77
E019	E4905710	194	218	3	243	40	50	49	239,0	59	6,16	26,56	51,74	39,04
H020	H0100020	519	172	36	314	78	0	219	704,0	10	7,6	23,35	74,74	35,67
H021	H0203010	129	203	2	80	50	50	49	87,0	21	7,68	22,94	55,27	43,79
H022	H0203020	159	211	7	119	64	35	139	672,0	21	7,52	23,3	77,08	47,81
H023	H0210010	343	171	20	244	75	15	184	1450,0	10	7,52	23,42	79,30	46,80
H024	H0321030	368	195	9	269	67	30	77	548,0	21	7,7	23,35	73,56	43,18
H025	H0321040	390	189	12	275	64	25	97	730,0	10	7,54	23,44	76,35	43,17
H026	H0400010	182	176	10	128	70	40	173	2340,0	10	7,51	23,48	74,19	35,97
H027	H1051020	366	214	7	246	67	25	60	657,0	10	7,82	23,52	73,10	43,16
H028	H1122010	446	207	17	281	60	20	120	481,0	52	7,87	23,52	73,66	40,43
H029	H1231010	381	213	13	367	66	25	108	1640,0	10	7,57	23,79	78,26	41,31
H030	H1932010	188	27	37	47	56	0	621	112,0	77	6,73	23,95	-12,52	20,07
H031	H2342010	276	183	6	284	52	35	69	1120,0	89	7,09	23,14	69,06	46,58
H032	H2721010	332	132	31	298	73	0	295	10700,0	89	6,55	23,73	75,61	38,15
H033	H3102010	200	219	4	175	56	40	63	153,0	89	6,71	23,04	62,30	58,61
H034	H3201010	162	188	8	146	60	35	156	2300,0	45	6,29	23,37	67,89	34,62
H035	H3522010	113	136	7	78	75	35	195	375,0	45	6,2	23,45	55,63	38,84
H036	H3613010	102	80	15	36	76	40	464	163,0	77	6,38	23,6	25,02	14,71
H037	H3613020	76	70	13	19	78	80	540	252,0	77	6,32	23,7	33,41	15,41
H038	H3621010	148	140	14	107	75	25	299	3900,0	77	6,33	23,71	67,61	31,30
H039	H3623010	109	68	19	24	79	40	550	108,0	77	6,5	23,62	7,24	13,17
H040	H3923010	62	281	1	81	19	100	51	181,0	77	6,33	23,96	55,94	46,75
H041	H4232040	112	88	13	48	53	30	366	632,0	91	5,98	24,07	38,84	37,05
H042	H4322010	116	278	3	145	35	80	82	427,0	77	6,41	24,06	51,15	46,07
H043	H4332020	202	141	19	155	58	30	297	889,0	91	6,11	24,12	52,73	29,95
H044	H5062010	471	189	14	426	57	20	94	614,0	52	8,09	23,75	73,16	52,90
H045	H5102010	518	198	2	371	31	35	12	40,0	52	8,18	23,89	53,23	44,62
H046	H5102020	501	174	28	295	61	4	176	475,0	55	7,97	24,23	72,79	43,94
H047	H5122310	419	192	8	324	60	25	60	820,0	55	8,05	24,25	77,99	51,38
H048	H5123210	619	243	6	250	24	0	31	31,6	55	8,18	24,16	55,67	34,40
H049	H5142610	443	177	8	300	58	25	57	113,0	55	7,99	24,35	70,37	50,51
H050	H5153010	262	163	12	85	69	25	145	166,0	51	7,77	24,25	69,46	17,18
H051	H5172010	395	186	13	312	65	20	104	2100,0	51	7,68	24,18	79,45	45,28
H052	H5173110	244	187	10	186	47	30	129	136,0	51	7,73	24,19	24,40	24,41
H053	H5213310	187	165	9	34	92	30	152	105,0	51	7,37	24,28	77,62	28,48
H054	H5412010	188	144	18	97	73	20	302	354,0	51	6,88	24,3	74,51	41,41
H055	H5412020	164	144	18	76	64	20	346	605,0	77	6,59	24,37	57,63	36,58
H056	H5522010	201	179	24	152	43	0	377	345,0	2	6,66	24,66	62,75	33,42
H057	H5613020	119	63	23	31	85	25	610	167,0	77	6,45	24,26	3,71	35,18
H058	H5723010	211	174	9	256	29	40	135	104,0	77	6,56	24,25	57,56	59,78
H059	H5752020	219	149	26	179	44	15	375	1190,0	77	6,37	24,31	39,15	18,14
H060	H5813010	138	62	24	40	61	15	549	97,6	77	6,24	24,42	21,41	36,51
H061	H5920010	225	151	19	230	77	15	266	43800,0	75	6,02	24,27	77,99	25,49
H062	H7021010	523	182	18	505	44	20	109	315,0	2	7,24	25,48	65,80	61,32
H063	H8012010	234	203	9	186	59	30	121	248,0	76	5,55	24,97	67,54	48,56
H064	H9402010	78	158	7	67	64	60	283	414,0	27	5,07	24,35	40,75	22,65
H065	H9923010	295	24	72	44	93	0	770	208,0	76	4,95	25,01	-3,26	-0,09
J066	J0144010	307	118	36	109	67	4	370	81,5	35	3,2	23,87	52,99	47,32
J067	J3601810	597	233	9	413	53	30	48	117,0	29	1,55	23,93	79,15	58,49
J068	J3834010	672	202	19	426	58	15	89	138,0	29	1,25	23,81	77,24	50,33
J069	J4014010	465	216	22	176	72	15	149	89,1	29	0,92	23,59	81,51	28,93
J070	J4623010	678	207	32	272	73	0	149	184,0	29	1,46	23,35	83,99	48,10
J071	J5613010	316	273	2	218	69	40	20	316,0	56	2,03	23,35	79,67	36,92
J072	J7060620	300	230	10	252	53	35	105	563,0	35	3,21	23,52	71,86	45,69

J073	J7373110	207	227	5	98	60	30	76	61,0	35	2,88	23,57	66,77	39,85
K074	K0724510	246	130	0	111	43	35	0	12,7	42	7,48	20,89	52,64	37,37
K075	K1084010	502	161	9	189	50	20	57	23,0	42	7,19	21,27	54,39	43,11
K076	K1321810	411	202	7	505	48	25	54	1798,0	71	7,41	22,07	59,22	49,02
K077	K1341810	420	222	7	495	48	25	53	2277,0	71	7,3	21,71	74,07	56,65
K078	K1383010	337	189	14	304	47	15	131	819,0	71	7,33	21,65	69,72	48,41
K079	K1391810	254	224	6	303	50	40	75	3166,0	71	7,26	21,67	76,93	59,48
K080	K2010810	1059	151	14	1342	44	15	42	48,8	7	7,24	19,58	57,09	38,49
K081	K2173010	532	165	8	491	55	15	47	398,0	48	7,1	19,82	29,19	23,34
K082	K2210810	547	156	12	683	58	20	69	988,0	43	7,03	19,97	47,02	41,43
K083	K2330810	431	138	16	556	57	15	117	2269,0	43	6,84	20,29	58,36	48,32
K084	K2714010	263	149	5	157	46	30	60	119,0	63	6,73	20,9	-4,73	1,21
K085	K2951910	433	131	20	297	64	8	146	1280,0	63	6,9	20,93	48,91	38,32
K086	K3206010	1330	20	320	96	91	0	759	7,5	63	6,43	20,84	-78,57	8,15
K087	K3373010	200	204	2	227	49	50	32	555,0	3	6,68	21,4	53,74	46,40
K088	K3374710	135	150	3	101	56	50	70	71,4	3	6,66	21,38	42,43	38,61
K089	K3382010	345	151	13	314	53	15	119	2458,0	3	6,73	21,45	42,91	29,73
L090	L0140610	709	130	50	429	65	0	223	1156,0	87	5,27	20,98	80,27	47,15
L091	L0321510	605	146	23	439	55	4	120	1030,0	87	5,28	21,01	66,95	24,06
L092	L0400610	661	141	40	507	66	0	191	2296,0	87	5,21	20,96	84,73	49,57
L093	L0615810	126	50	0	10	90	15	0	1,0	87	5,12	20,98	30,29	34,51
L094	L9214510	100	194	4	59	55	60	126	27,7	49	4,06	22,78	50,77	41,24
M095	M1024810	27	346	0	93	10	100	0	122,0	28	5,29	23,62	29,56	42,22
N096	N3001610	320	232	3	283	55	30	30	131,0	85	3,48	21,99	65,28	46,60
O097	O1814040	340	163	5	385	38	30	46	98,0	9	5,26	17,95	57,95	55,33
O098	O2304020	205	241	2	229	49	40	31	108,0	81	5,57	18,42	57,11	43,68
O099	O4704030	737	225	11	872	43	20	47	72,0	81	6,08	18,68	69,09	57,36
O100	O7021530	555	155	14	561	54	15	80	261,0	48	6,91	19,47	45,57	30,66
O101	O7041510	581	155	20	579	62	15	109	465,0	48	6,86	19,43	50,98	40,52
O102	O7101510	460	152	14	553	59	20	96	1160,0	48	6,68	19,38	59,23	43,67
O103	O7191510	458	161	15	556	43	15	103	2180,0	12	6,19	19,59	59,92	21,60
O104	O7692510	631	175	16	434	37	15	80	3280,0	12	6,17	19,61	42,46	6,32
O105	O7701510	608	156	15	691	46	8	78	5460,0	12	6,15	19,6	55,62	13,65
P106	P3001010	878	129	50	388	60	0	180	52,0	19	5,74	20,69	71,49	41,64
P107	P3464010	778	143	37	546	60	0	150	147,0	19	5,57	20,35	69,59	50,31
P108	P3522510	942	151	35	557	56	0	117	358,0	19	5,54	20,29	82,31	56,71
Q109	Q2094310	266	216	10	300	38	25	119	111,0	32	3,99	18,72	55,10	43,85
S110	S2224610	310	214	9	214	54	20	92	108,0	40	3,53	19,39	80,18	62,43
S111	S2235610	246	131	36	100	75	0	462	36,0	33	3,52	19,45	57,29	47,95
S112	S4214010	586	60	123	108	86	0	662	60,0	40	3,13	18,7	18,13	29,29
U113	U2022010	713	121	31	565	45	4	137	350,0	25	9,06	22,19	40,23	32,32
U114	U2035020	553	105	18	482	34	8	103	191,0	25	9,03	22,22	42,52	33,35
U115	U2142010	860	98	48	737	47	0	176	1240,0	25	9,54	22,71	51,16	30,63
U116	U2215020	781	103	22	700	37	4	89	560,0	25	9,36	22,65	55,81	48,69
U117	U2222010	766	106	38	748	40	0	157	2200,0	25	9,35	22,8	59,30	44,43
U118	U2305210	1129	220	22	793	35	0	61	9,0	90	9,45	23,14	53,95	32,70
U119	U2345030	1042	162	28	922	43	8	85	141,0	90	9,39	23,03	62,09	54,21
U120	U2345820	1229	162	24	861	40	8	62	25,4	90	9,39	23,1	58,19	46,07
U121	U2402010	751	131	29	811	48	0	122	3420,0	25	9,33	22,84	66,39	51,40
V122	V1454310	1194	154	53	483	63	0	140	45,2	1	8,56	20,96	55,44	45,56
V123	V3015010	229	145	2	137	43	35	28	48,0	69	7,85	20,84	66,70	40,92
V124	V3115010	629	114	29	320	50	4	145	17,0	42	7,75	20,5	24,70	16,46
V125	V3515610	603	135	32	193	61	0	167	22,1	42	7,73	20,34	40,80	4,93
Y126	Y0444010	358	148	29	223	68	0	256	834,0	66	6,12	17,37	-11,01	12,24
Y127	Y0474030	253	208	6	342	49	25	75	1300,0	66	6,45	17,44	-35,24	-22,30
Y128	Y1445010	173	202	2	264	29	60	36	47,1	11	6,28	18,1	14,68	26,18
Y129	Y1605030	832	193	38	611	62	0	144	47,0	34	6,25	18,18	63,84	40,20
Y130	Y7615010	300	168	2	239	31	50	21	44,7	999	11,44	17,55	33,70	16,21
W001	AU315006	406	159	6	360	35	15	47	311,0	999			62,72	54,80
W002	AU616065	3	380	0	3	31	100	0	544,0	999			63,26	49,63
W003	AU927001	31	233	2	20	71	80	65	2500,0	999			29,13	15,84
W004	AU999990	7	164	0	4	35	100	0	517,0	999			57,33	45,19
W005	BRES0002	4	185	0	3	58	100	0	13300,0	999			25,40	8,16
W006	BRES0003	4	163	0	4	56	100	0	11300,0	999			60,10	37,58
W007	CI010350	1	178	0	1	25	100	0	6300,0	999			6,05	-3,42
W008	CI040370	1	621	0	1	42	100	0	2756,0	999			28,85	10,29
W009	CI150400	10	356	0	8	70	100	0	1990,0	999			20,45	-11,56
W010	CI160120	2	289	0	2	33	100	0	4700,0	999			8,72	-11,55
W011	CI250130	3	238	0	2	30	0	0	5930,0	999			-15,76	-7,18
W012	CI250190	3	127	0	1	31	100	0	6829,0	999			33,54	-7,27
W013	CI250220	8	402	0	12	29	100	0	4379,0	999			30,06	-1,09
W014	CI250500	1	324	0	1	35	100	0	1320,0	999			36,31	3,41
W015	CI350350	13	309	0	22	26	100	0	975,0	999			21,67	6,61
Z101	ARS68011	592	190	0	89	40	60	0	1,6	999			-10,72	-0,54
Z102	ARS68013	884	307	0	139	37	60	0	0,5	999			2,16	1,19
Z103	ARS70002	20	467	0	15	0	0	0	9,3	999			-83,84	-69,55
Z104	ARS71001	292	1150	0	104	0	0	0	0,4	999			-0,53	33,19
Z105	ARS71002	6	1200	0	83	0	0	0	0,4	999			-4,41	25,65
Z106	ARS71003	4	1200	0	45	0	0	0	0,6	999			-3,6	8,46
Z107	ARS71004	18	603	0	84	0	0	0	0,8	999			-2,55	14,47
Z108	ARS71005	6	200	0	7	22	0	0	20,4	999			6,95	3,05
Z109	Mo714120	1	114	0	1	1	100	0	5564,8	999			19,10	10,16
Z110	Mo714420	2	165	0	9	21	100	0	3437,8	999			42,41	12,67
Z111	Mo714478	3	130	0	7	48	100	0	2038,9	999			28,03	43,35
Z112	Mo714780	3	192	0	10	26	100	0	4870,5	999			54,05	23,27
Z113	Mo724350	2	192	0	3	27	100	0	5228,0	999			42,22	4,99

Z114	Mo731450	3	264	0	9	1	100	0	1246,1	999		32,41	23,67
Z115	Us141200	0	375	0	1	3	0	0	5563,3	999		-17,45	16,78
Z116	Us208350	5	176	0	5	51	100	0	5654,0	999		51,64	20,02
Z117	Us211050	13	173	0	9	61	100	0	2849,0	999		44,29	29,91
Z118	Us213450	11	141	1	6	72	100	287	3180,5	999		59,90	22,64
Z119	Us215650	5	141	0	3	72	100	0	7226,1	999		63,67	55,12
Z120	Us220300	20	204	0	24	51	100	0	1437,5	999		50,80	24,81
Z121	Us221850	15	136	1	22	60	100	210	2823,1	999		63,48	28,22
Z122	Us222550	10	221	0	14	58	100	0	2874,9	999		59,65	24,21
Z123	Us222800	4	187	0	4	55	100	0	7226,1	999		57,65	36,79
Z124	Us229675	6	171	0	5	57	100	0	3540,5	999		55,85	23,47
Z125	Us231300	3	92	0	1	94	100	0	4713,8	999		46,00	25,61
Z126	Us231750	7	229	0	7	62	100	0	3626,0	999		44,48	21,60
Z127	Us232250	18	51	4	6	93	100	701	2634,0	999		29,82	39,33
Z128	Us232750	23	225	0	26	37	100	0	1424,5	999		65,17	27,58
Z129	Us232900	11	191	0	12	53	100	0	2952,6	999		59,54	31,59
Z130	Us236100	25	154	1	30	56	80	126	1776,7	999		57,37	31,15
Z131	Us236550	5	136	0	5	62	100	0	9062,4	999		64,71	41,33
Z132	Us247500	5	172	0	7	47	100	0	9052,1	999		69,07	24,05
Z133	Us247850	7	199	0	7	51	100	0	6967,1	999		62,11	22,78
Z134	Us248200	20	216	0	30	40	100	0	2341,4	999		60,20	28,84
Z135	Us336400	8	180	0	13	48	100	0	4421,1	999		51,48	25,50
Z136	Us702950	13	175	0	17	51	100	0	3833,2	999		60,62	19,04
Z137	Us719650	12	136	0	24	48	100	0	2483,8	999		-14,61	-12,56
Z138	Us729000	6	197	0	8	43	100	0	7283,1	999		65,93	18,78
Z139	Us737850	15	150	1	36	40	100	210	3315,2	999		56,19	37,75
Z140	Us801350	23	176	0	36	36	100	0	1950,3	999		19,22	16,96
Z141	Us806480	30	170	0	31	48	80	0	536,1	999		29,93	11,74
Z142	Us807000	7	199	0	7	51	100	0	841,8	999		39,34	26,98
Z143	UsAleafr	20	185	1	38	34	0	168	1949,0	999		73,21	41,19
NOM	STATION LAM	IND	ETI	CRU	BFI	VOL	ESM	SUR	DEP	CORX	CORY	C2M	C2MP
	(mm)	(%)	(dl/s/km ²)	(l/s/km ^{1,6})	(%)	(mm)	(%)	(km ²)				(%)	(%)

Table d'équivalence entre les Noms dans les analyses statistiques et les Codes des bassins versants

Nom Code BV	Nom Code BV	Nom Code BV	Nom Code BV	Nom Code BV
A001 A1515810	H039 H3623010	K077 K1341810	U115 U2142010	Z108 ARS71005
A002 A4200630	H040 H3923010	K078 K1383010	U116 U2215020	Z109 Mo714120
A003 A4250640	H041 H4232040	K079 K1391810	U117 U2222010	Z110 Mo714420
A004 A4362010	H042 H4322010	K080 K2010810	U118 U2305210	Z111 Mo714478
A005 A4442010	H043 H4332020	K081 K2173010	U119 U2345030	Z112 Mo714780
A006 A5251010	H044 H5062010	K082 K2210810	U120 U2345820	Z113 Mo724350
A007 A5730610	H045 H5102010	K083 K2330810	U121 U2402010	Z114 Mo731450
A008 A5842010	H046 H5102020	K084 K2714010	V122 V1454310	Z115 US141200
A009 A6271010	H047 H5122310	K085 K2951910	V123 V3015010	Z116 Us208350
A010 A6561110	H048 H5123210	K086 K3206010	V124 V3115010	Z117 Us211050
A011 A6941010	H049 H5142610	K087 K3373010	V125 V3515610	Z118 Us213450
A012 A7010610	H050 H5153010	K088 K3374710	Y126 Y0444010	Z119 Us215650
A013 A7581010	H051 H5172010	K089 K3382010	Y127 Y0474030	Z120 Us220300
A014 A7821010	H052 H5173110	L090 L0140610	Y128 Y1445010	Z121 Us221850
A015 A7930610	H053 H5213310	L091 L0321510	Y129 Y1605030	Z122 Us222550
A016 A9013050	H054 H5412010	L092 L0400610	Y130 Y7615010	Z123 Us222800
D017 D0206010	H055 H5412020	L093 L0615810	W001 B AU315006	Z124 Us229675
E018 E4035710	H056 H5522010	L094 L9214510	W002 B AU616065	Z125 Us231300
E019 E4905710	H057 H5613020	M095 M1024810	W003 B AU927001	Z126 Us231750
H020 H0100020	H058 H5723010	N096 N3001610	W004 B AU999990	Z127 Us232250
H021 H0203010	H059 H5752020	O097 O1814040	W005 B BRES0002	Z128 Us232750
H022 H0203020	H060 H5813010	O098 O2304020	W006 B BRES0003	Z129 Us232900
H023 H0210010	H061 H5920010	O099 O4704030	W007 B CI010350	Z130 Us236100
H024 H0321030	H062 H7021010	O100 O7021530	W008 B CI040370	Z131 Us236550
H025 H0321040	H063 H8012010	O101 O7041510	W009 B CI150400	Z132 Us247500
H026 H0400010	H064 H9402010	O102 O7101510	W010 B CI160120	Z133 Us247850
H027 H1051020	H065 H9923010	O103 O7191510	W011 B CI250130	Z134 Us248200
H028 H1122010	J066 J0144010	O104 O7692510	W012 B CI250190	Z135 Us336400
H029 H1231010	J067 J3601810	O105 O7701510	W013 B CI250220	Z136 Us702950
H030 H1932010	J068 J3834010	P106 P3001010	W014 B CI250500	Z137 Us719650
H031 H2342010	J069 J4014010	P107 P3464010	W015 B CI350350	Z138 Us729000
H032 H2721010	J070 J4623010	P108 P3522510	Z101 ARS68011	Z139 Us737850
H033 H3102010	J071 J5613010	Q109 Q2094310	Z102 ARS68013	Z140 Us801350
H034 H3201010	J072 J7060620	S110 S2224610	Z103 ARS70002	Z141 Us806480
H035 H3522010	J073 J7373110	S111 S2235610	Z104 ARS71001	Z142 Us807000
H036 H3613010	K074 K0724510	S112 S4214010	Z105 ARS71002	Z143 USALEAFR
H037 H3613020	K075 K1084010	U113 U2022010	Z106 ARS71003	
H038 H3621010	K076 K1321810	U114 U2035020	Z107 ARS71004	
Nom Code BV	Nom Code BV	Nom Code BV	Nom Code BV	Nom Code BV

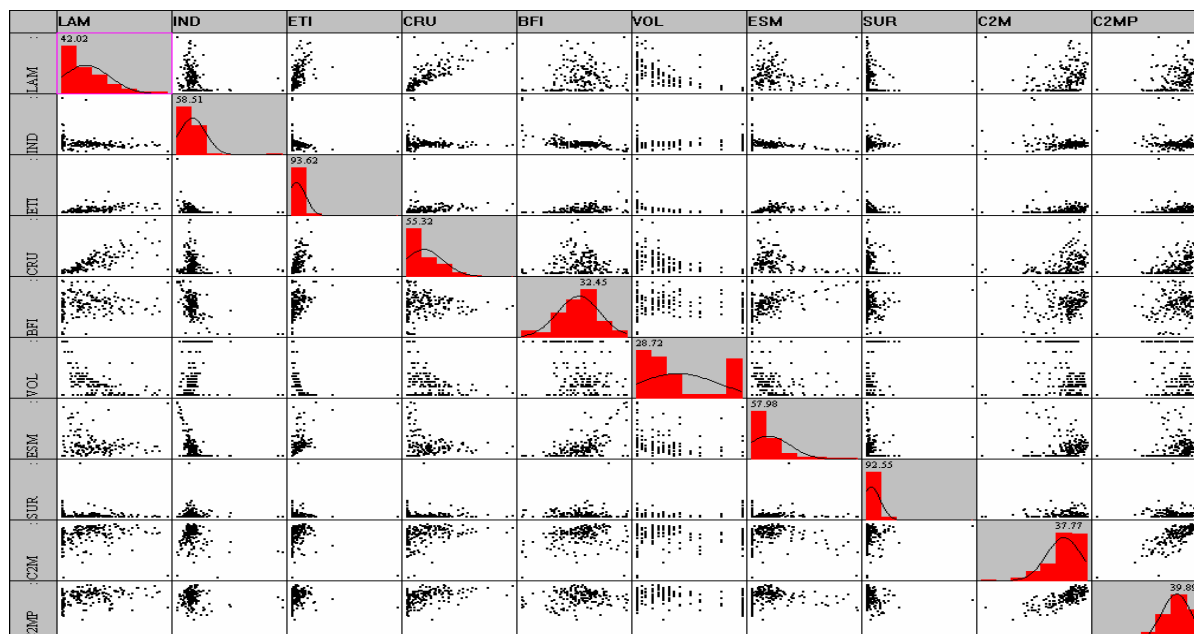


Figure A2.1 : Galerie de graphiques des 10 variables utilisées

Cette galerie de graphiques permet d'examiner de façon multivariée l'ensemble des données de base de données utilisée. Nous obtenons dans ce tableau tous les graphiques définis par le croisement deux à deux de toutes les variables actives de analyse statistique de nos données. Dans chaque cellule de la galerie, sauf celles sur la diagonale, figure le nuage des bassins versants dans le plan défini par les variables dont le nom se trouve en tête des lignes et des colonnes. Sur la diagonale principale, se trouvent des informations statistiques et des histogrammes pour chaque variable.

A2.3 Résultats de la 1^{ère} Analyse en Composantes Principales Normée (ACP 8 variables explicatives)

LECTURE DE LA BASE DE DONNEES.....LECTURE DU FICHIER BASE
 NOM DE LA BASE : C:\Program Files\Cisia\Spad\Bases\BDTHESE.SBA
 NOMBRE D'INDIVIDUS : 188
 NOMBRE DE VARIABLES : 14
 SELECTION DES INDIVIDUS ET DES VARIABLES UTILES
 VARIABLES CONTINUES ACTIVES 8 VARIABLES

2 . LAM (CONTINUE)
 3 . IND (CONTINUE)
 4 . ETI (CONTINUE)
 5 . CRU (CONTINUE)
 6 . BFI (CONTINUE)
 7 . VOL (CONTINUE)
 8 . ESM (CONTINUE)
 9 . SUR (CONTINUE)

INDIVIDUS

POIDS DES INDIVIDUS: Poids des individus, uniforme egal a 1. UNIF
 RETENUS NITOT = 188 PITOT = 188.000
 ACTIFS NIACT = 188 PIACT = 188.000
 SUPPLEMENTAIRES NISUP = 0 PISUP = 0.000

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

STATISTIQUES SOMMAIRES DES VARIABLES CONTINUES
 EFFECTIF TOTAL : 188 POIDS TOTAL : 188.00

NUM .	IDEN -	LIBELLE	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART-TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
2 .	C3 -	LAM	188	188.00	308.40	299.06	0.00	1330.00
3 .	C4 -	IND	188	188.00	199.31	147.95	20.00	1200.00
4 .	C5 -	ETI	188	188.00	15.21	28.13	0.00	320.00
5 .	C6 -	CRU	188	188.00	237.79	258.53	1.00	1422.00
6 .	C7 -	BFI	188	188.00	51.20	19.09	0.00	94.00
7 .	C8 -	VOL	188	188.00	39.20	38.24	0.00	100.00
8 .	C9 -	ESM	188	188.00	126.64	155.87	0.00	770.00
9 .	C10 -	SUR	188	188.00	1915.78	3895.13	0.40	43800.00

MATRICE DES CORRELATIONS

	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C3	1.00							
C4	-0.20	1.00						
C5	0.56	-0.25	1.00					
C6	0.82	-0.13	0.24	1.00				
C7	0.17	-0.56	0.37	0.01	1.00			
C8	-0.66	0.00	-0.43	-0.57	-0.14	1.00		
C9	0.17	-0.37	0.60	-0.01	0.57	-0.37	1.00	
C10	-0.23	-0.06	-0.10	-0.12	0.06	0.24	-0.08	1.00

MATRICE DES VALEURS-TESTS

	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C3	99.99							
C4	-2.80	99.99						
C5	8.77	-3.51	99.99					
C6	15.95	-1.82	3.32	99.99				
C7	2.30	-8.63	5.29	0.14	99.99			
C8	-10.90	-0.02	-6.29	-8.85	-1.93	99.99		
C9	2.42	-5.25	9.47	-0.10	8.80	-5.31	99.99	
C10	-3.18	-0.80	-1.39	-1.68	0.87	3.36	-1.08	99.99

VALEURS PROPRES

APERCU DE LA PRECISION DES CALCULS : TRACE AVANT DIAGONALISATION .. 8.0000 SOMME DES VALEURS PROPRES 8.0000
 HISTOGRAMME DES 8 PREMIERES VALEURS PROPRES

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT.	POURCENT. CUMULE
1	3.1497	39.37	39.37
2	1.8501	23.13	62.50
3	1.0180	12.72	75.22
4	0.8088	10.11	85.33
5	0.5008	6.26	91.59
6	0.3576	4.47	96.06
7	0.2310	2.89	98.95
8	0.0839	1.05	100.00

RECHERCHE DE PALIERS (DIFFERENCES TROISIEMES)

PALIER ENTRE	VALEUR DU PALIER
2-- 3	-721.89

RECHERCHE DE PALIERS ENTRE (DIFFERENCES SECONDES)

PALIER ENTRE	VALEUR DU PALIER
2-- 3	623.01
1-- 2	467.40
4-- 5	164.82

H048	0.53	4.97	-0.15	1.86	-0.20	-0.02	-0.05	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.70	0.01	0.00	0.00
H049	0.53	1.03	-0.39	0.42	0.11	-0.60	0.31	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.15	0.17	0.01	0.35	0.09
H050	0.53	1.67	-0.26	-0.69	-0.48	-0.41	0.57	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.04	0.28	0.14	0.10	0.19
H051	0.53	0.98	-0.59	0.01	0.30	-0.11	0.52	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.36	0.00	0.09	0.01	0.28
H052	0.53	0.44	0.13	0.11	-0.43	-0.28	0.17	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.04	0.03	0.42	0.18	0.07
H053	0.53	5.76	-0.33	-1.48	-0.50	-0.61	1.06	0.0	0.6	0.1	0.2	1.2	0.02	0.38	0.04	0.06	0.19
H054	0.53	3.59	-0.74	-1.31	-0.82	-0.12	0.79	0.1	0.5	0.4	0.0	0.7	0.15	0.48	0.19	0.00	0.17
H055	0.53	3.57	-0.63	-1.26	-0.96	0.07	0.68	0.1	0.5	0.5	0.0	0.5	0.11	0.45	0.26	0.00	0.13
H056	0.53	4.33	-0.81	-0.40	-1.23	0.53	0.48	0.1	0.0	0.8	0.2	0.2	0.15	0.04	0.35	0.06	0.05
H057	0.53	15.06	-1.59	-2.87	-1.45	0.01	1.12	0.4	2.4	1.1	0.0	1.3	0.17	0.55	0.14	0.00	0.08
H058	0.53	1.76	0.45	0.55	-0.36	-0.29	-0.26	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11	0.17	0.08	0.05	0.04
H059	0.53	3.52	-0.77	-0.61	-0.90	0.46	0.21	0.1	0.1	0.4	0.1	0.0	0.17	0.11	0.23	0.06	0.01
H060	0.53	10.09	-1.25	-1.98	-1.44	0.15	0.69	0.3	1.1	1.1	0.0	0.5	0.16	0.39	0.21	0.00	0.05
H061	0.53	118.86	0.48	-3.64	7.16	7.16	1.46	0.0	3.8	26.8	33.7	2.3	0.00	0.11	0.43	0.43	0.02
H062	0.53	2.18	-0.90	1.06	0.24	-0.31	-0.05	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.37	0.52	0.03	0.05	0.00
H063	0.53	0.56	0.02	-0.15	-0.38	-0.32	0.44	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.00	0.04	0.26	0.18	0.35
H064	0.53	3.09	0.28	-1.39	-0.74	-0.37	0.37	0.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.03	0.62	0.18	0.05	0.04
H065	0.53	29.12	-3.45	-3.44	-1.95	0.78	0.48	2.0	3.4	2.0	0.4	0.2	0.41	0.41	0.13	0.02	0.01
J066	0.53	5.29	-1.51	-1.21	-1.06	0.19	0.44	0.4	0.4	0.6	0.0	0.2	0.43	0.28	0.21	0.01	0.04
J067	0.53	2.03	-0.56	1.04	0.26	-0.47	0.10	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.15	0.53	0.03	0.11	0.00
J068	0.53	2.82	-1.23	0.88	0.22	-0.35	0.13	0.3	0.2	0.0	0.1	0.0	0.54	0.27	0.02	0.04	0.01
J069	0.53	2.23	-0.93	-0.24	-0.45	-0.14	0.47	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.39	0.03	0.09	0.01	0.10
J070	0.53	4.48	-1.74	0.15	-0.24	-0.03	0.34	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.68	0.00	0.01	0.00	0.03
J071	0.53	1.98	0.26	0.14	-0.09	-0.46	0.57	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.04	0.01	0.00	0.11	0.16
J072	0.53	0.24	0.05	0.24	-0.22	-0.21	0.22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.01	0.25	0.21	0.18	0.20

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
J073	0.53	1.18	0.37	-0.13	-0.50	-0.34	0.52	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.12	0.01	0.21	0.10	0.23
K074	0.53	1.89	0.69	0.29	-0.07	-0.79	0.03	0.1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.25	0.04	0.00	0.33	0.00
K075	0.53	1.26	-0.30	0.51	-0.06	-0.52	0.11	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.07	0.20	0.00	0.22	0.01
K076	0.53	1.66	-0.35	0.96	0.61	-0.25	0.28	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1	0.07	0.56	0.23	0.04	0.05
K077	0.53	1.64	-0.30	0.99	0.64	-0.10	0.29	0.0	0.3	0.2	0.0	0.1	0.05	0.59	0.25	0.01	0.05
K078	0.53	0.61	-0.39	0.45	-0.15	-0.08	0.28	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.24	0.33	0.04	0.01	0.13
K079	0.53	0.45	0.36	0.24	0.40	0.09	0.23	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.29	0.13	0.36	0.02	0.12
K080	0.53	25.72	-2.81	3.14	2.10	-1.08	-0.07	1.3	2.8	2.3	0.8	0.0	0.31	0.38	0.17	0.05	0.00
K081	0.53	2.49	-0.85	0.95	0.52	-0.63	0.38	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2	0.29	0.36	0.11	0.16	0.06
K082	0.53	4.27	-1.24	1.03	0.91	-0.63	0.35	0.3	0.3	0.4	0.3	0.1	0.36	0.25	0.19	0.09	0.03
K083	0.53	2.36	-1.07	0.49	0.75	-0.23	0.40	0.2	0.1	0.3	0.0	0.2	0.49	0.10	0.24	0.02	0.07
K084	0.53	0.90	0.32	0.21	-0.19	-0.57	0.13	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.12	0.05	0.04	0.36	0.02
K085	0.53	1.63	-1.07	-0.11	0.10	-0.22	0.46	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.70	0.01	0.01	0.03	0.13
K086	0.53	152.96	-8.90	-3.31	-2.89	3.54	-6.25	13.4	3.2	4.4	8.3	41.5	0.52	0.07	0.05	0.08	0.26
K087	0.53	0.94	0.71	0.25	-0.01	-0.55	0.07	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.54	0.07	0.00	0.32	0.01
K088	0.53	1.41	0.68	-0.43	-0.26	-0.74	0.17	0.1	0.1	0.0	0.4	0.0	0.32	0.13	0.05	0.39	0.02
K089	0.53	0.65	-0.47	0.15	0.31	-0.03	0.39	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.34	0.03	0.15	0.00	0.23
L090	0.53	6.08	-2.43	0.10	0.07	0.17	-0.19	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.97	0.00	0.00	0.00	0.01
L091	0.53	2.74	-1.41	0.67	0.34	-0.21	0.18	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.73	0.17	0.04	0.02	0.01
L092	0.53	5.24	-2.19	0.23	0.48	0.20	0.12	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.92	0.01	0.04	0.01	0.00
L093	0.53	7.89	-0.05	-1.31	0.02	-1.26	1.20	0.0	0.5	0.0	1.0	1.5	0.00	0.22	0.00	0.20	0.18
L094	0.53	1.69	0.85	-0.60	-0.57	-0.52	0.10	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.42	0.22	0.19	0.16	0.01
M095	0.53	10.53	2.64	1.03	-0.68	-0.10	-1.18	1.2	0.3	0.2	0.0	1.5	0.66	0.10	0.04	0.00	0.13
N096	0.53	0.96	0.16	0.55	-0.04	-0.48	0.41	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.03	0.32	0.00	0.24	0.17
O097	0.53	1.55	0.06	0.94	0.18	-0.60	0.00	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.00	0.57	0.02	0.24	0.00
O098	0.53	1.03	0.64	0.46	-0.21	-0.43	0.24	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.40	0.21	0.04	0.18	0.06
O099	0.53	9.05	-1.42	2.23	0.99	-0.58	0.05	0.3	1.4	0.5	0.2	0.0	0.22	0.55	0.11	0.04	0.00
O100	0.53	3.03	-1.15	0.98	0.52	-0.59	0.25	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.44	0.32	0.09	0.12	0.02
O101	0.53	3.56	-1.49	0.72	0.54	-0.52	0.29	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.62	0.14	0.08	0.07	0.02
O102	0.53	2.34	-1.03	0.60	0.62	-0.48	0.37	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.45	0.15	0.16	0.10	0.06
O103	0.53	2.44	-0.82	1.00	0.67	-0.09	0.14	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.27	0.41	0.18	0.00	0.01
O104	0.53	2.93	-0.73	1.17	0.77	0.20	-0.17	0.1	0.4	0.3	0.0	0.0	0.18	0.46	0.20	0.01	0.01
O105	0.53	5.83	-1.20	1.20	1.62	0.34	0.25	0.2	0.4	1.4	0.1	0.1	0.25	0.25	0.45	0.02	0.01
P106	0.53	7.33	-2.50	0.51	0.00	-0.05	-0.49	1.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.85	0.04	0.00	0.00	0.03
P107	0.53	6.12	-2.27	0.83	0.32	-0.25	-0.07	0.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.84	0.11	0.02	0.01	0.00
P108	0.53	7.89	-2.36	1.23	0.53	-0.26	-0.23	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.70	0.19	0.04	0.01	0.01
Q109	0.53	0.96	0.09	0.70	-0.35	-0.15	0.11	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.01	0.51	0.13	0.02	0.01
S110	0.53	0.61	-0.09	0.29	-0.33	-0.27	0.42	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.01	0.14	0.18	0.12	0.29
S111	0.53	8.55	-1.76	-1.67	-1.34	0.34	0.80	0.5	0.8	0.9	0.1	0.7	0.36	0.32	0.21	0.01	0.08
S112	0.53	33.08	-4.37	-2.69	-1.91	1.31	-1.15	3.2	2.1	1.9	1.1	1.4	0.58	0.22	0.11	0.05	0.04
U113	0.53	5.15	-1.83	1.14	0.41	-0.30	-0.25	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.65	0.25	0.03	0.02	0.01
U114	0.53	3.67	-1.01	1.21	0.32	-0.46	-0.18	0.2	0.4	0.1	0.1	0.0	0.28	0.40	0.03	0.06	0.01
U115	0.53	10.19	-2.73	1.26	0.79	-0.06	-0.58	1.3	0.5	0.3	0.0	0.4	0.73	0.16	0.06	0.00	0.03
U116	0.53	7.76	-1.78	1.75	0.89	-0.52	-0.26	0.5	0.9	0.4	0.2	0.1	0.41	0.39	0.10	0.04	0.01
U117	0.53	8.73	-2.25	1.42	0.97	0.05	-0.40	0.9	0.6	0.5	0.0	0.2	0.58	0.23	0.11	0.00	0.02
U118	0.53	14.41	-2.23	2.78	0.91	-0.30	-0.38	0.8	2.2	0.4	0.1	0.2	0.35	0.53	0.06	0.01	0.01
U119	0.53	14.42	-2.55	2.37	1.20	-0.54	-0.40	1.1	1.6	0.7	0.2	0.2	0.45	0.39	0.10	0.02	0.01
U120	0.53	16.87	-2.60	2.63	1.27	-0.62	-0.54	1.1	2.0	0.8	0.3	0.3	0.40	0.41	0.10	0.02	0.02
U121	0.53	8.79	-2.14	1.42	1.39	0.09	0.00	0.8	0.6	1.0	0.0	0.0	0.52	0.23	0.22	0.00	0.00
V122	0.53	13.24	-3.09	1.08	0.38	-0.11	-0.71	1.6	0.3	0.1	0.0	0.5	0.72	0.09	0.01	0.00	

W015	0.53	7.50	2.49	0.32	-0.48	-0.18	-0.91	1.0	0.0	0.1	0.0	0.9	0.82	0.01	0.03	0.00	0.11
Z101	0.53	3.07	0.60	0.69	0.05	-0.76	-0.58	0.1	0.1	0.0	0.4	0.4	0.12	0.15	0.00	0.19	0.11

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Z102	0.53	6.42	0.31	1.48	0.02	-0.38	-0.71	0.0	0.6	0.0	0.1	0.5	0.02	0.34	0.00	0.02	0.08
Z103	0.53	14.38	2.02	2.21	-1.53	1.07	0.15	0.7	1.4	1.2	0.8	0.0	0.28	0.34	0.16	0.08	0.00
Z104	0.53	51.00	2.61	4.55	-2.93	3.47	0.67	1.2	6.0	4.5	7.9	0.5	0.13	0.41	0.17	0.24	0.01
Z105	0.53	56.57	3.17	4.36	-3.27	3.71	0.91	1.7	5.5	5.6	9.0	0.9	0.18	0.34	0.19	0.24	0.01
Z106	0.53	56.78	3.23	4.29	-3.33	3.73	0.90	1.8	5.3	5.8	9.1	0.9	0.18	0.32	0.20	0.24	0.01
Z107	0.53	18.18	2.15	2.70	-1.77	1.53	0.31	0.8	2.1	1.6	1.5	0.1	0.25	0.40	0.17	0.13	0.01
Z108	0.53	6.40	1.27	0.86	-0.79	-0.06	0.32	0.3	0.2	0.3	0.0	0.1	0.25	0.12	0.10	0.00	0.02
Z109	0.53	13.50	2.75	0.11	0.67	0.10	-1.52	1.3	0.0	0.2	0.0	2.5	0.56	0.00	0.03	0.00	0.17
Z110	0.53	8.02	2.44	-0.13	0.27	-0.24	-1.11	1.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.74	0.00	0.01	0.01	0.15
Z111	0.53	5.57	1.92	-0.85	0.22	-0.81	-0.64	0.6	0.2	0.0	0.4	0.4	0.66	0.13	0.01	0.12	0.07
Z112	0.53	7.62	2.46	-0.27	0.48	0.06	-0.97	1.0	0.0	0.1	0.0	1.0	0.79	0.01	0.03	0.00	0.12
Z113	0.53	7.69	2.47	-0.33	0.53	0.12	-0.95	1.0	0.0	0.1	0.0	1.0	0.79	0.01	0.04	0.00	0.12
Z114	0.53	12.44	2.84	0.80	-0.46	-0.09	-1.43	1.4	0.2	0.1	0.0	2.2	0.65	0.05	0.02	0.00	0.16
Z115	0.53	12.57	2.06	1.50	-0.34	1.67	0.20	0.7	0.6	0.1	1.8	0.0	0.34	0.18	0.01	0.22	0.00
Z116	0.53	6.27	2.08	-1.02	0.76	-0.05	-0.49	0.7	0.3	0.3	0.0	0.3	0.69	0.17	0.09	0.00	0.04
Z117	0.53	5.59	1.81	-1.11	0.33	-0.62	-0.34	0.6	0.4	0.1	0.3	0.1	0.58	0.22	0.02	0.07	0.02
Z118	0.53	7.08	0.94	-2.25	-0.14	-0.31	0.14	0.1	1.5	0.0	0.1	0.0	0.12	0.71	0.00	0.01	0.00
Z119	0.53	8.54	1.76	-1.76	1.21	-0.08	-0.10	0.5	0.9	0.8	0.0	0.0	0.36	0.36	0.17	0.00	0.00
Z120	0.53	5.11	1.93	-0.64	-0.02	-0.68	-0.52	0.6	0.1	0.0	0.3	0.3	0.73	0.08	0.00	0.09	0.05
Z121	0.53	5.18	1.25	-1.70	-0.04	-0.42	-0.18	0.3	0.8	0.0	0.1	0.0	0.30	0.56	0.00	0.03	0.01
Z122	0.53	5.43	1.93	-0.89	0.20	-0.42	-0.35	0.6	0.2	0.0	0.1	0.1	0.69	0.15	0.01	0.03	0.02
Z123	0.53	7.24	2.09	-1.19	1.02	0.22	-0.38	0.7	0.4	0.5	0.0	0.2	0.61	0.20	0.15	0.01	0.02
Z124	0.53	5.62	1.91	-1.06	0.42	-0.48	-0.41	0.6	0.3	0.1	0.1	0.2	0.65	0.20	0.03	0.04	0.03
Z125	0.53	11.43	1.26	-2.33	0.98	-0.85	0.25	0.3	1.6	0.5	0.5	0.1	0.14	0.48	0.08	0.06	0.01
Z126	0.53	5.85	1.92	-1.03	0.32	-0.29	-0.25	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.63	0.18	0.02	0.01	0.01
Z127	0.53	23.85	-0.54	-4.09	-0.85	-0.22	0.85	0.0	4.8	0.4	0.0	0.8	0.01	0.70	0.03	0.00	0.03
Z128	0.53	5.66	2.17	-0.21	-0.13	-0.50	-0.78	0.8	0.0	0.0	0.2	0.6	0.83	0.01	0.00	0.04	0.11
Z129	0.53	5.31	1.96	-0.85	0.27	-0.48	-0.48	0.7	0.2	0.0	0.1	0.2	0.72	0.14	0.01	0.04	0.04
Z130	0.53	3.10	1.25	-1.10	-0.16	-0.51	-0.07	0.3	0.3	0.0	0.2	0.0	0.50	0.39	0.01	0.08	0.00
Z131	0.53	9.19	1.96	-1.62	1.51	0.29	-0.28	0.7	0.8	1.2	0.1	0.1	0.42	0.29	0.25	0.01	0.01
Z132	0.53	8.75	2.25	-1.13	1.36	0.54	-0.53	0.9	0.4	1.0	0.2	0.3	0.58	0.15	0.21	0.03	0.03
Z133	0.53	6.97	2.16	-1.03	0.94	0.25	-0.45	0.8	0.3	0.5	0.0	0.2	0.67	0.15	0.13	0.01	0.03
Z134	0.53	5.43	2.14	-0.36	0.07	-0.40	-0.71	0.8	0.0	0.0	0.1	0.5	0.85	0.02	0.00	0.03	0.09
Z135	0.53	5.70	2.07	-0.84	0.53	-0.23	-0.56	0.7	0.2	0.1	0.0	0.3	0.75	0.12	0.05	0.01	0.06
Z136	0.53	5.45	1.99	-0.88	0.46	-0.37	-0.52	0.7	0.2	0.1	0.1	0.3	0.72	0.14	0.04	0.03	0.05
Z137	0.53	5.38	1.91	-0.82	0.32	-0.72	-0.63	0.6	0.2	0.1	0.3	0.4	0.68	0.13	0.02	0.10	0.07
Z138	0.53	7.38	2.29	-0.84	0.96	0.36	-0.61	0.9	0.2	0.5	0.1	0.4	0.71	0.10	0.13	0.02	0.05
Z139	0.53	5.23	1.57	-1.15	-0.06	-0.14	-0.55	0.4	0.4	0.0	0.0	0.3	0.47	0.25	0.00	0.00	0.06
Z140	0.53	5.66	2.11	-0.33	0.10	-0.58	-0.83	0.8	0.0	0.0	0.2	0.7	0.79	0.02	0.00	0.06	0.12
Z141	0.53	3.79	1.64	-0.44	-0.16	-0.81	-0.35	0.5	0.1	0.0	0.4	0.1	0.71	0.05	0.01	0.17	0.03
Z142	0.53	5.37	1.95	-0.66	-0.15	-0.79	-0.53	0.6	0.1	0.0	0.4	0.3	0.71	0.08	0.00	0.12	0.05
Z143	0.53	3.72	0.66	0.02	-0.68	0.37	0.73	0.1	0.0	0.2	0.1	0.6	0.12	0.00	0.12	0.04	0.14

AXES 6 A 8

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0
A001	0.53	1.46	0.17	0.55	-0.45	0.00	0.00	0.0	0.7	1.3	0.0	0.0	0.02	0.21	0.14	0.00	0.00
A002	0.53	31.69	-0.31	-1.59	0.62	0.00	0.00	0.1	5.8	2.4	0.0	0.0	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00
A003	0.53	18.96	-0.25	-0.99	0.58	0.00	0.00	0.1	2.3	2.2	0.0	0.0	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00
A004	0.53	7.48	-0.21	0.09	-0.12	0.00	0.00	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
A005	0.53	1.27	0.52	-0.15	0.27	0.00	0.00	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.21	0.02	0.06	0.00	0.00
A006	0.53	1.71	0.16	-0.30	0.40	0.00	0.00	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	0.02	0.05	0.09	0.00	0.00
A007	0.53	4.36	0.84	-0.29	0.17	0.00	0.00	1.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.16	0.02	0.01	0.00	0.00
A008	0.53	4.31	0.72	0.89	0.33	0.00	0.00	0.8	1.8	0.7	0.0	0.0	0.12	0.18	0.03	0.00	0.00
A009	0.53	2.93	0.01	-0.25	0.39	0.00	0.00	0.0	0.1	1.0	0.0	0.0	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00
A010	0.53	0.99	0.11	-0.30	0.28	0.00	0.00	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	0.01	0.09	0.08	0.00	0.00
A011	0.53	2.18	0.07	-0.23	0.31	0.00	0.00	0.0	0.1	0.6	0.0	0.0	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00
A012	0.53	8.01	0.28	-0.42	0.60	0.00	0.00	0.1	0.4	2.3	0.0	0.0	0.01	0.02	0.05	0.00	0.00
A013	0.53	1.00	0.67	0.24	0.01	0.00	0.00	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.45	0.06	0.00	0.00	0.00
A014	0.53	0.44	-0.01	0.09	0.10	0.00	0.00	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
A015	0.53	6.69	0.03	-0.51	0.43	0.00	0.00	0.0	0.6	1.2	0.0	0.0	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00
A016	0.53	6.44	-0.36	1.30	0.19	0.00	0.00	0.2	3.9	0.2	0.0	0.0	0.02	0.26	0.01	0.00	0.00
D017	0.53	3.29	0.15	0.26	0.01	0.00	0.00	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
E018	0.53	15.98	-0.25	0.03	0.01	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E019	0.53	1.21	0.19	-0.04	0.19	0.00	0.00	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00
H020	0.53	4.63	-0.67	0.31	0.03	0.00	0.00	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00
H021	0.53	1.51	-0.09	0.32	0.08	0.00	0.00	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00
H022	0.53	1.12	-0.35	0.18	0.12	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00
H023	0.53	2.18	-0.54	0.25	0.10	0.00	0.00	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00
H024	0.53	1.07	-0.66	0.23	0.02	0.00	0.00	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.41	0.05	0.00	0.00	0.00
H025	0.53	0.83	-0.48	0.25	-0.01	0.00	0.00	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.27	0.07	0.00	0.00	0.00
H026	0.53	1.49	-0.39	0.08	0.05	0.00	0.00	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
H027	0.53	1.24	-0.72	0.37	-0.01	0.00	0.00	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.42	0.11	0.00	0.00	0.00
H028	0.53	0.85	-0.37	0.22	-0.11	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.16	0.06	0.01	0.00	0.00
H029	0.53	1.08	-0.58	0.00	0.16	0.00	0.00	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.32	0.00	0.02	0.00	0.00

H047	0.53	0.93	-0.43	0.25	-0.01	0.00	0.00	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.20	0.07	0.00	0.00	0.00
H048	0.53	4.97	0.68	0.69	-0.70	0.00	0.00	0.7	1.1	3.1	0.0	0.0	0.09	0.10	0.10	0.00	0.00
H049	0.53	1.03	-0.34	0.32	-0.11	0.00	0.00	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.11	0.10	0.01	0.00	0.00
H050	0.53	1.67	-0.39	0.50	-0.07	0.00	0.00	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.09	0.15	0.00	0.00	0.00
H051	0.53	0.98	-0.44	0.25	0.04	0.00	0.00	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00
H052	0.53	0.44	0.29	0.19	0.04	0.00	0.00	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.19	0.08	0.00	0.00	0.00
H053	0.53	5.76	-1.19	0.52	0.05	0.00	0.00	2.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.25	0.05	0.00	0.00	0.00
H054	0.53	3.59	-0.03	0.06	0.03	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H055	0.53	3.57	0.42	-0.07	-0.05	0.00	0.00	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
H056	0.53	4.33	1.22	-0.11	0.01	0.00	0.00	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
H057	0.53	15.06	0.53	-0.79	-0.22	0.00	0.00	0.4	1.5	0.3	0.0	0.0	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00
H058	0.53	1.76	0.97	-0.14	0.13	0.00	0.00	1.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.54	0.01	0.01	0.00	0.00
H059	0.53	3.52	1.18	-0.30	-0.01	0.00	0.00	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.40	0.02	0.00	0.00	0.00
H060	0.53	10.09	1.31	-0.48	-0.22	0.00	0.00	2.6	0.5	0.3	0.0	0.0	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00
H061	0.53	118.86	0.54	0.40	-0.56	0.00	0.00	0.4	0.4	2.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H062	0.53	2.18	0.23	-0.17	0.09	0.00	0.00	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
H063	0.53	0.56	-0.21	0.20	0.11	0.00	0.00	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.08	0.07	0.02	0.00	0.00
H064	0.53	3.09	0.07	-0.50	-0.04	0.00	0.00	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
H065	0.53	29.12	0.58	-0.62	-0.09	0.00	0.00	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
J066	0.53	5.29	0.38	0.18	-0.06	0.00	0.00	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
J067	0.53	2.03	-0.50	-0.04	-0.31	0.00	0.00	0.4	0.0	0.6	0.0	0.0	0.12	0.00	0.05	0.00	0.00
J068	0.53	2.82	-0.48	0.14	-0.32	0.00	0.00	0.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.08	0.01	0.04	0.00	0.00
J069	0.53	2.23	-0.78	0.43	-0.25	0.00	0.00	0.9	0.4	0.4	0.0	0.0	0.27	0.08	0.03	0.00	0.00
J070	0.53	4.48	-0.87	0.55	-0.43	0.00	0.00	1.1	0.7	1.1	0.0	0.0	0.17	0.07	0.04	0.00	0.00
J071	0.53	1.98	-1.14	0.21	0.00	0.00	0.00	1.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.66	0.02	0.00	0.00	0.00
J072	0.53	0.24	-0.19	0.01	0.05	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.15	0.00	0.01	0.00	0.00
J073	0.53	1.18	-0.41	0.47	0.02	0.00	0.00	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.14	0.19	0.00	0.00	0.00

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0
K074	0.53	1.89	0.33	0.76	-0.07	0.00	0.00	0.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.06	0.31	0.00	0.00	0.00
K075	0.53	1.26	0.00	0.64	-0.46	0.00	0.00	0.0	1.0	1.3	0.0	0.0	0.00	0.33	0.17	0.00	0.00
K076	0.53	1.66	0.00	-0.14	0.27	0.00	0.00	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
K077	0.53	1.64	-0.07	-0.14	0.21	0.00	0.00	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00
K078	0.53	0.61	0.32	0.19	0.11	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.17	0.06	0.02	0.00	0.00
K079	0.53	0.45	-0.07	-0.06	0.17	0.00	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.01	0.01	0.06	0.00	0.00
K080	0.53	25.72	-0.12	-1.50	0.38	0.00	0.00	0.0	5.2	0.9	0.0	0.0	0.00	0.09	0.01	0.00	0.00
K081	0.53	2.49	-0.20	0.14	0.06	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
K082	0.53	4.27	-0.27	-0.35	0.39	0.00	0.00	0.1	0.3	1.0	0.0	0.0	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00
K083	0.53	2.36	0.05	-0.13	0.42	0.00	0.00	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.00	0.01	0.07	0.00	0.00
K084	0.53	0.90	0.30	0.53	-0.02	0.00	0.00	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.10	0.32	0.00	0.00	0.00
K085	0.53	1.63	-0.11	0.43	0.02	0.00	0.00	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.01	0.12	0.00	0.00	0.00
K086	0.53	152.96	-1.18	1.00	0.67	0.00	0.00	2.1	2.3	2.9	0.0	0.0	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
K087	0.53	0.94	-0.13	0.09	0.19	0.00	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00
K088	0.53	1.41	-0.09	0.32	0.13	0.00	0.00	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.01	0.07	0.01	0.00	0.00
K089	0.53	0.65	0.23	0.30	0.12	0.00	0.00	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.08	0.14	0.02	0.00	0.00
L090	0.53	6.08	-0.22	0.22	-0.11	0.00	0.00	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
L091	0.53	2.74	0.01	0.28	-0.10	0.00	0.00	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
L092	0.53	5.24	-0.27	0.10	0.05	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L093	0.53	7.89	-0.93	1.48	0.32	0.00	0.00	1.3	5.0	0.6	0.0	0.0	0.11	0.28	0.01	0.00	0.00
L094	0.53	1.69	-0.11	-0.02	0.03	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
M095	0.53	10.53	0.54	-0.59	0.04	0.00	0.00	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
N096	0.53	0.96	-0.41	0.24	0.10	0.00	0.00	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.17	0.06	0.01	0.00	0.00
O097	0.53	1.55	0.46	0.08	0.19	0.00	0.00	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.14	0.00	0.02	0.00	0.00
O098	0.53	1.03	-0.20	0.16	0.21	0.00	0.00	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.04	0.03	0.04	0.00	0.00
O099	0.53	9.05	-0.14	-0.81	0.22	0.00	0.00	0.0	1.5	0.3	0.0	0.0	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00
O100	0.53	3.03	-0.09	-0.07	0.17	0.00	0.00	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
O101	0.53	3.56	-0.36	-0.15	0.20	0.00	0.00	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00
O102	0.53	2.34	-0.18	-0.16	0.35	0.00	0.00	0.0	0.1	0.8	0.0	0.0	0.01	0.01	0.05	0.00	0.00
O103	0.53	2.44	0.44	-0.15	0.30	0.00	0.00	0.3	0.1	0.6	0.0	0.0	0.08	0.01	0.04	0.00	0.00
O104	0.53	2.93	0.46	0.17	-0.37	0.00	0.00	0.3	0.1	0.9	0.0	0.0	0.07	0.01	0.05	0.00	0.00
O105	0.53	5.83	0.30	-0.18	0.18	0.00	0.00	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
P106	0.53	7.33	-0.26	0.45	-0.55	0.00	0.00	0.1	0.5	1.9	0.0	0.0	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00
P107	0.53	6.12	-0.26	0.12	-0.14	0.00	0.00	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
P108	0.53	7.89	-0.31	0.19	-0.53	0.00	0.00	0.1	0.1	1.8	0.0	0.0	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00
Q109	0.53	0.96	0.52	0.00	0.19	0.00	0.00	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.28	0.00	0.04	0.00	0.00
S110	0.53	0.61	-0.12	0.37	0.02	0.00	0.00	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.02	0.23	0.00	0.00	0.00
S111	0.53	8.55	0.32	-0.09	-0.01	0.00	0.00	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
S112	0.53	33.08	0.02	-0.09	0.08	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
U113	0.53	5.15	0.38	0.04	-0.07	0.00	0.00	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
U114	0.53	3.67	0.89	0.19	0.00	0.00	0.00	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00
U115	0.53	10.19	0.35	-0.22	0.06	0.00	0.00	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
U116	0.53	7.76	0.63	-0.09	-0.08	0.00	0.00	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
U117	0.53	8.73	0.66	-0.26	0.16	0.00	0.00	0.7	0.2	0.2	0.0	0.0	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
U118	0.53	14.41	0.04	-0.32	-0.75	0.00	0.00	0.0	0.2	3.5	0.0	0.0	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
U119	0.53	14.42	-0.03	-0.63	-0.23	0.00	0.00	0.0	0.9	0.3	0.0	0.0	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
U120	0.53	16.87	-0.07	-0.45	-0.84	0.00	0.00	0.0	0.5	4.5	0.0	0.0	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
U121	0.53	8.79	0.28	-0.34	0.25	0.00	0.00	0.1	0.3	0.4	0.0	0.0	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00

W014	0.53	6.83	-0.27	-0.31	0.02	0.00	0.00	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
W015	0.53	7.50	0.10	-0.34	0.00	0.00	0.00	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Z101	0.53	3.07	-0.14	0.36	-1.09	0.00	0.00	0.0	0.3	7.5	0.0	0.0	0.01	0.04	0.38	0.00	0.00
Z102	0.53	6.42	-0.61	0.05	-1.76	0.00	0.00	0.5	0.0	19.7	0.0	0.0	0.06	0.00	0.48	0.00	0.00

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0
Z103	0.53	14.38	1.14	0.76	0.17	0.00	0.00	1.9	1.3	0.2	0.0	0.0	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00
Z104	0.53	51.00	-1.33	-0.63	-0.52	0.00	0.00	2.6	0.9	1.7	0.0	0.0	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
Z105	0.53	56.57	-1.31	-0.69	0.15	0.00	0.00	2.6	1.1	0.1	0.0	0.0	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Z106	0.53	56.78	-1.31	-0.62	0.08	0.00	0.00	2.6	0.9	0.0	0.0	0.0	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Z107	0.53	18.18	0.68	0.38	0.27	0.00	0.00	0.7	0.3	0.4	0.0	0.0	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Z108	0.53	6.40	1.23	1.30	0.34	0.00	0.00	2.3	3.9	0.7	0.0	0.0	0.24	0.26	0.02	0.00	0.00
Z109	0.53	13.50	1.77	0.05	-0.15	0.00	0.00	4.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
Z110	0.53	8.02	0.82	-0.04	-0.03	0.00	0.00	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Z111	0.53	5.57	-0.08	0.06	0.11	0.00	0.00	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z112	0.53	7.62	0.57	-0.07	-0.04	0.00	0.00	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Z113	0.53	7.69	0.54	-0.05	-0.05	0.00	0.00	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Z114	0.53	12.44	1.18	-0.28	-0.09	0.00	0.00	2.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00
Z115	0.53	12.57	1.45	1.01	0.12	0.00	0.00	3.1	2.4	0.1	0.0	0.0	0.17	0.08	0.00	0.00	0.00
Z116	0.53	6.27	-0.28	0.02	0.04	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Z117	0.53	5.59	-0.69	0.01	0.12	0.00	0.00	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Z118	0.53	7.08	-0.29	-0.93	-0.21	0.00	0.00	0.1	2.0	0.3	0.0	0.0	0.01	0.12	0.01	0.00	0.00
Z119	0.53	8.54	-0.90	0.14	0.10	0.00	0.00	1.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Z120	0.53	5.11	-0.46	-0.11	0.11	0.00	0.00	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Z121	0.53	5.18	-0.03	-0.70	-0.13	0.00	0.00	0.0	1.1	0.1	0.0	0.0	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
Z122	0.53	5.43	-0.74	-0.09	0.11	0.00	0.00	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Z123	0.53	7.24	-0.43	0.02	0.02	0.00	0.00	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Z124	0.53	5.62	-0.52	0.02	0.10	0.00	0.00	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Z125	0.53	11.43	-1.59	0.25	0.25	0.00	0.00	3.8	0.1	0.4	0.0	0.0	0.22	0.01	0.01	0.00	0.00
Z126	0.53	5.85	-0.90	-0.08	0.11	0.00	0.00	1.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
Z127	0.53	23.85	0.22	-2.22	-0.63	0.00	0.00	0.1	11.3	2.6	0.0	0.0	0.00	0.21	0.02	0.00	0.00
Z128	0.53	5.66	-0.02	-0.17	0.04	0.00	0.00	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Z129	0.53	5.31	-0.46	-0.04	0.09	0.00	0.00	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Z130	0.53	3.10	-0.04	-0.18	0.04	0.00	0.00	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Z131	0.53	9.19	-0.48	0.14	0.03	0.00	0.00	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Z132	0.53	8.75	-0.05	0.05	-0.04	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z133	0.53	6.97	-0.33	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Z134	0.53	5.43	-0.08	-0.15	0.05	0.00	0.00	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z135	0.53	5.70	-0.21	-0.02	0.05	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Z136	0.53	5.45	-0.31	-0.02	0.07	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Z137	0.53	5.38	-0.10	0.02	0.11	0.00	0.00	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z138	0.53	7.38	-0.02	-0.02	-0.03	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z139	0.53	5.23	0.67	-0.79	-0.20	0.00	0.00	0.7	1.4	0.2	0.0	0.0	0.09	0.12	0.01	0.00	0.00
Z140	0.53	5.66	0.19	-0.10	0.06	0.00	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Z141	0.53	3.79	-0.13	0.21	0.17	0.00	0.00	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Z142	0.53	5.37	-0.45	-0.07	0.12	0.00	0.00	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Z143	0.53	3.72	1.28	0.70	0.16	0.00	0.00	2.4	1.1	0.2	0.0	0.0	0.44	0.13	0.01	0.00	0.00

DESCRIPTION DES AXES FACTORIELS
DESCRIPTION DU FACTEUR 1
PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.83	188.00	LAM		308.40	299.06	1
-0.76	188.00	ETI		15.21	28.13	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.44	188.00	IND		199.31	147.95	7
0.75	188.00	VOL		39.20	38.24	8

DESCRIPTION DU FACTEUR 2
PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.68	188.00	BFI		51.20	19.09	1
-0.54	188.00	ESM		126.64	155.87	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.56	188.00	IND		199.31	147.95	7
0.57	188.00	CRU		237.79	258.53	8

DESCRIPTION DU FACTEUR 3
PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.37	188.00	IND		199.31	147.95	1
-0.35	188.00	ESM		126.64	155.87	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.41	188.00	CRU		237.79	258.53	7
0.70	188.00	SUR		1915.78	3895.13	8

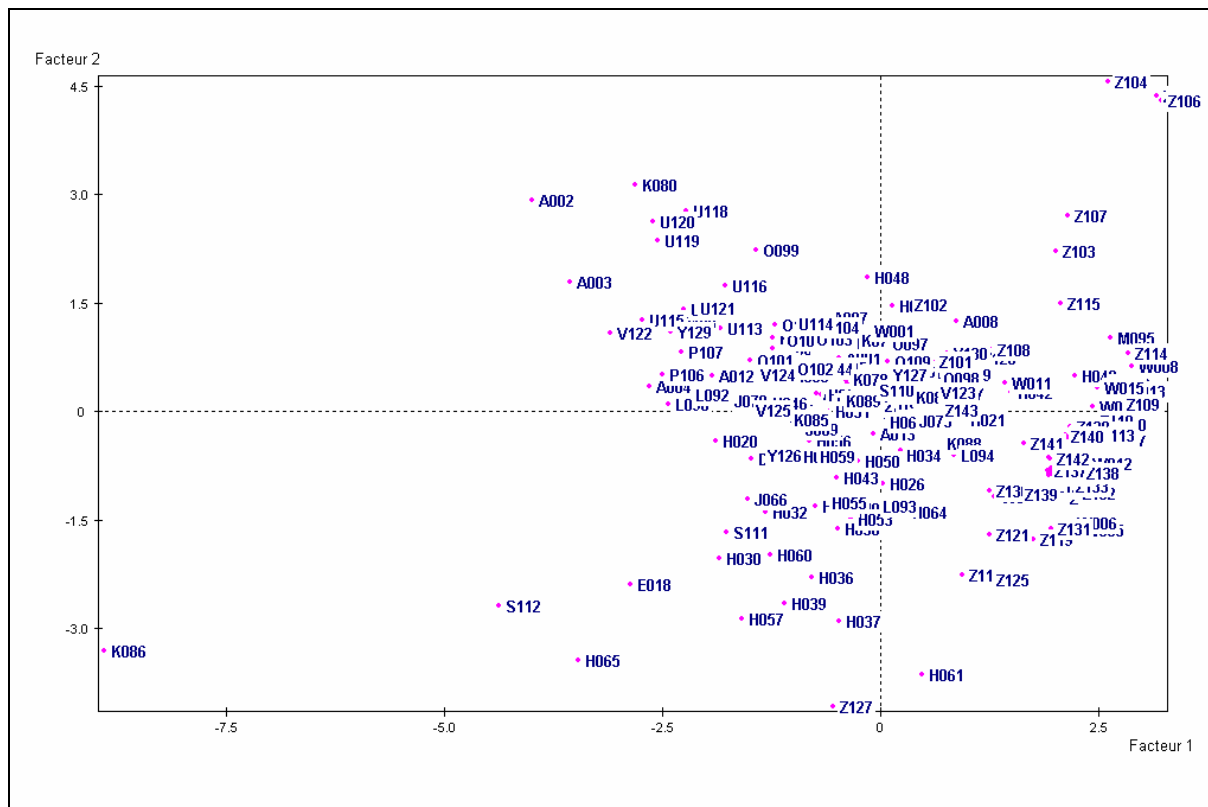


Figure A2.2 : Les **188 bassins versants** dans le plan principal 1-2

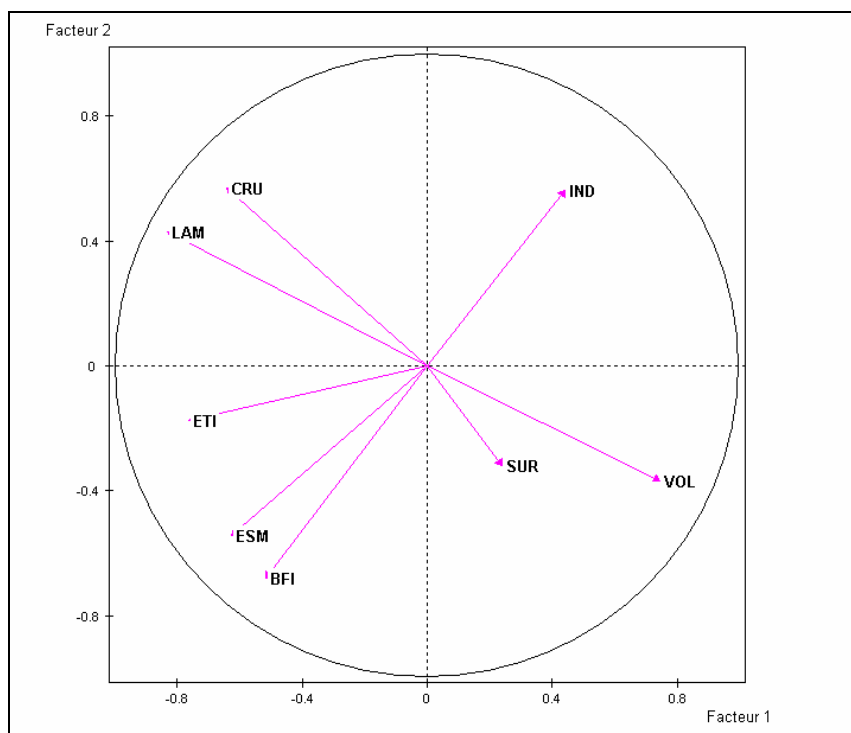


Figure A2.3 : Les **8 variables** dans le plan principal 1-2

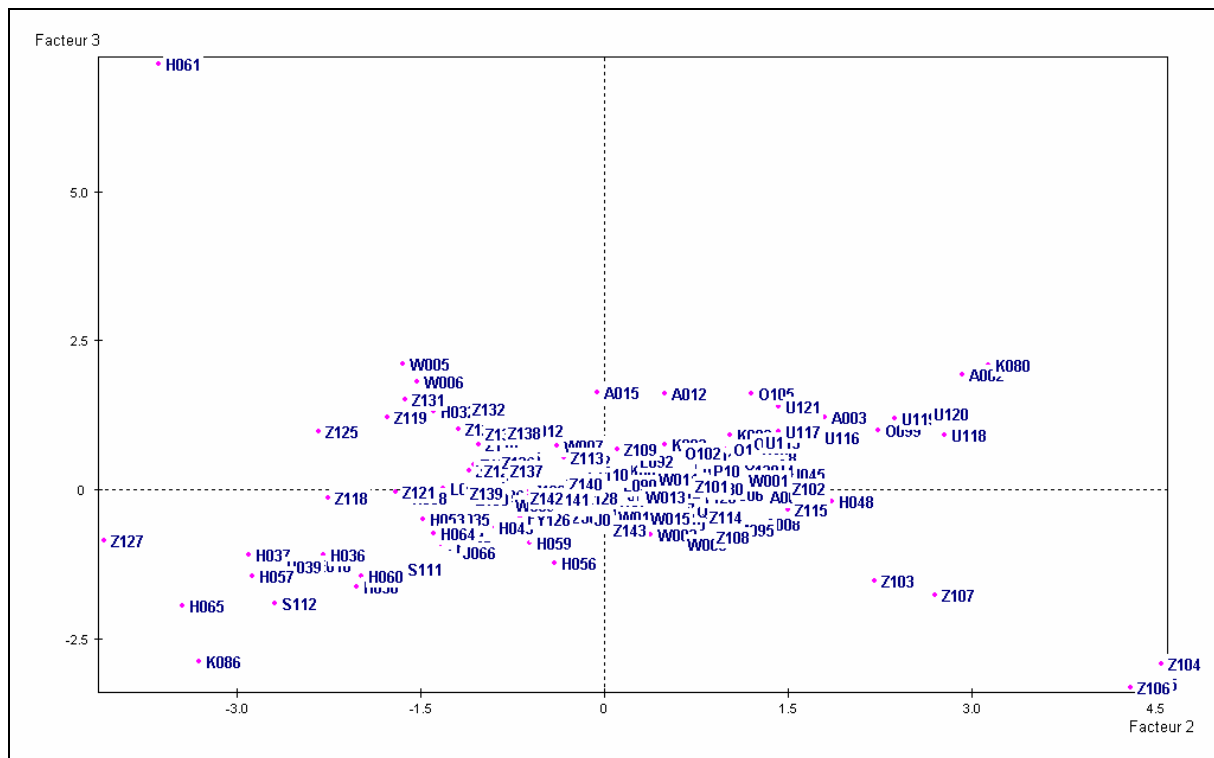


Figure A2.6 : Les **188 bassins versants** dans le plan principal 2-3

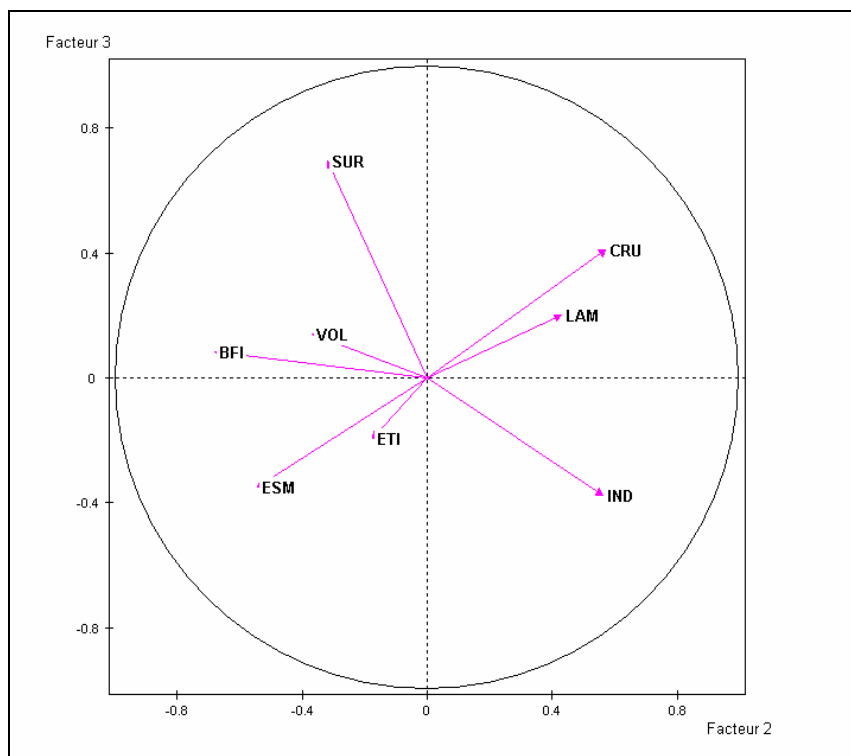


Figure A2.7 : Les **8 variables** dans le plan principal 2-3

A2.4 Résultats de la 1^{ère} Classification Ascendante Hiérarchique (CAH 8 variables explicatives)

CLASSIFICATION HIERARCHIQUE (VOISINS RECIPROQUES) SUR LES 8 PREMIERS AXES FACTORIELS

CLASSIFICATION HIERARCHIQUE (VOISINS RECIPROQUES)
SUR LES 8 PREMIERS AXES FACTORIELS

DESCRIPTION DES NOEUDS				POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
NUM.	AINE	BENJ	EFF.			
189	158	157	2	2.00	0.00003	*
190	182	156	2	2.00	0.00005	*
191	151	150	2	2.00	0.00006	*
192	165	187	2	2.00	0.00008	*
193	77	76	2	2.00	0.00010	*
194	180	181	2	2.00	0.00013	*
195	168	178	2	2.00	0.00015	*
196	27	24	2	2.00	0.00016	*
197	74	123	2	2.00	0.00016	*
198	47	49	2	2.00	0.00019	*
199	162	169	2	2.00	0.00020	*
200	179	173	2	2.00	0.00022	*
201	171	167	2	2.00	0.00023	*
202	29	51	2	2.00	0.00031	*
203	9	11	2	2.00	0.00031	*
204	196	25	3	3.00	0.00037	*
205	87	98	2	2.00	0.00038	*
206	200	185	3	3.00	0.00039	*
207	17	126	2	2.00	0.00039	*
208	83	102	2	2.00	0.00040	*
209	137	189	3	3.00	0.00042	*
210	199	174	3	3.00	0.00042	*
211	75	1	2	2.00	0.00045	*
212	100	81	2	2.00	0.00047	*
213	127	31	2	2.00	0.00048	*
214	72	110	2	2.00	0.00057	*
215	73	33	2	2.00	0.00057	*
216	14	63	2	2.00	0.00057	*
217	195	161	3	3.00	0.00057	*
218	129	107	2	2.00	0.00060	*
219	132	144	2	2.00	0.00060	*
220	197	84	3	3.00	0.00064	*
221	97	131	2	2.00	0.00064	*
222	21	88	2	2.00	0.00067	*
223	4	90	2	2.00	0.00069	*
224	56	59	2	2.00	0.00070	*
225	22	34	2	2.00	0.00071	*
226	177	183	2	2.00	0.00074	*
227	135	136	2	2.00	0.00079	*
228	201	210	5	5.00	0.00080	*
229	219	145	3	3.00	0.00080	*
230	5	78	2	2.00	0.00082	*
231	54	55	2	2.00	0.00085	*
232	128	130	2	2.00	0.00088	*
233	46	85	2	2.00	0.00088	*
234	205	19	3	3.00	0.00092	*
235	206	134	4	4.00	0.00095	*
236	39	36	2	2.00	0.00095	*
237	216	214	4	4.00	0.00097	*
238	103	62	2	2.00	0.00098	*
239	13	52	2	2.00	0.00103	*
240	82	101	2	2.00	0.00107	*
241	44	28	2	2.00	0.00107	*
242	94	222	3	3.00	0.00108	*
243	26	225	3	3.00	0.00109	*
244	91	68	2	2.00	0.00111	*
245	213	96	3	3.00	0.00115	*
246	115	117	2	2.00	0.00117	*
247	118	120	2	2.00	0.00120	*
248	241	198	4	4.00	0.00122	*
249	108	218	3	3.00	0.00123	*
250	10	230	3	3.00	0.00131	*
251	176	164	2	2.00	0.00132	*
252	192	186	3	3.00	0.00133	*
253	23	69	2	2.00	0.00141	*
254	58	109	2	2.00	0.00141	*
255	142	209	4	4.00	0.00143	*
256	95	40	2	2.00	0.00144	*
257	111	66	2	2.00	0.00156	*
258	35	50	2	2.00	0.00156	*
259	204	202	5	5.00	0.00159	*
260	6	250	4	4.00	0.00162	*
261	106	223	3	3.00	0.00164	*
262	143	140	2	2.00	0.00169	*
263	125	124	2	2.00	0.00171	*
264	194	190	4	4.00	0.00174	*
265	163	166	2	2.00	0.00174	*
266	240	212	4	4.00	0.00174	*
267	231	43	3	3.00	0.00174	*
268	70	20	2	2.00	0.00179	*
269	245	79	4	4.00	0.00187	*
270	247	119	3	3.00	0.00189	*
271	116	113	2	2.00	0.00190	*
272	30	60	2	2.00	0.00195	*
273	226	217	5	5.00	0.00196	*
274	45	221	3	3.00	0.00196	*
275	208	266	6	6.00	0.00201	*
276	255	155	5	5.00	0.00204	*

NUM.	AINE	BENJ	EFF.	POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
277	153	8	2	2.00	0.00219	*
278	215	237	6	6.00	0.00236	*
279	238	114	3	3.00	0.00237	*
280	152	148	2	2.00	0.00244	*
281	246	121	3	3.00	0.00258	*
282	89	248	5	5.00	0.00267	*
283	236	57	3	3.00	0.00283	*
284	279	104	4	4.00	0.00287	*
285	133	175	2	2.00	0.00291	*
286	258	243	5	5.00	0.00293	*
287	159	256	3	3.00	0.00294	*
288	244	67	3	3.00	0.00295	*
289	233	263	4	4.00	0.00296	*
290	261	92	4	4.00	0.00297	*
291	267	41	4	4.00	0.00328	*
292	259	282	10	10.00	0.00338	*
293	191	149	3	3.00	0.00376	*
294	228	264	9	9.00	0.00385	*
295	15	12	2	2.00	0.00397	*
296	147	146	2	2.00	0.00436	*
297	269	234	7	7.00	0.00440	*
298	239	254	4	4.00	0.00444	*
299	252	235	7	7.00	0.00475	*
300	71	278	7	7.00	0.00476	*
301	42	232	3	3.00	0.00479	*
302	268	253	4	4.00	0.00492	*
303	93	53	2	2.00	0.00498	*
304	291	64	5	5.00	0.00509	*
305	281	271	5	5.00	0.00512	*
306	304	38	6	6.00	0.00541	*
307	262	229	5	5.00	0.00545	*
308	283	37	4	4.00	0.00581	*
309	284	193	6	6.00	0.00581	*
310	80	2	2	2.00	0.00590	*
311	275	288	9	9.00	0.00590	*
312	277	188	3	3.00	0.00628	*
313	302	207	6	6.00	0.00647	*
314	48	274	4	4.00	0.00672	*
315	265	184	3	3.00	0.00687	*
316	295	105	3	3.00	0.00694	*
317	139	285	3	3.00	0.00703	*
318	122	249	4	4.00	0.00724	*
319	242	220	6	6.00	0.00749	*
320	314	211	6	6.00	0.00757	*
321	160	141	2	2.00	0.00763	*
322	273	251	7	7.00	0.00766	*
323	276	154	6	6.00	0.00827	*
324	65	18	2	2.00	0.00835	*
325	300	297	14	14.00	0.00841	*
326	313	289	10	10.00	0.00910	*
327	270	99	4	4.00	0.00912	*
328	203	260	6	6.00	0.00933	*
329	318	290	8	8.00	0.00979	*
330	310	3	3	3.00	0.01104	*
331	328	7	7	7.00	0.01130	*
332	272	257	4	4.00	0.01147	*
333	294	317	12	12.00	0.01153	*
334	319	298	10	10.00	0.01215	*
335	326	16	11	11.00	0.01231	*
336	227	322	9	9.00	0.01274	*
337	311	309	15	15.00	0.01298	*
338	325	334	24	24.00	0.01471	*
339	287	307	8	8.00	0.01562	*
340	224	306	8	8.00	0.01622	*
341	321	312	5	5.00	0.01679	*
342	112	324	3	3.00	0.01680	*
343	299	333	19	19.00	0.01762	*
344	303	286	7	7.00	0.01771	*
345	172	308	5	5.00	0.01813	*
346	316	32	4	4.00	0.02090	*
347	296	320	8	8.00	0.02149	*
348	338	301	27	27.00	0.02169	*
349	327	305	9	9.00	0.02373	**
350	339	138	9	9.00	0.02412	**
351	315	170	4	4.00	0.02502	**
352	337	331	22	22.00	0.02904	**
353	332	340	12	12.00	0.03036	**
354	343	351	23	23.00	0.03596	**
355	352	292	32	32.00	0.03610	**
356	280	341	7	7.00	0.04323	**
357	323	350	15	15.00	0.05043	***
358	330	349	12	12.00	0.05386	***
359	348	347	35	35.00	0.05446	***
360	329	335	19	19.00	0.06526	***
361	345	353	17	17.00	0.07676	****
362	346	355	36	36.00	0.07883	****
363	336	354	32	32.00	0.08548	****
364	344	359	42	42.00	0.09415	*****
365	360	362	55	55.00	0.12052	*****
366	361	342	20	20.00	0.13898	*****
367	363	357	47	47.00	0.16898	*****
368	356	364	49	49.00	0.19897	*****
369	358	365	67	67.00	0.32659	*****
370	61	367	48	48.00	0.60878	*****
371	366	86	21	21.00	0.63737	*****
372	369	368	116	116.00	0.65626	*****
373	370	293	51	51.00	0.85501	*****
374	371	372	137	137.00	0.95614	*****
375	373	374	188	188.00	1.87088	*****

SOMME DES INDICES DE NIVEAU = 8.00000

NOUVEL ORDRE DES INDIVIDUS : NOUVEAU, NUMERO ET IDENTIFICATEUR D'ORIGINE.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A001	K075	W001	O097	H045	H048	Z101	Z102	Y130	Y128	H042	Q109	H058
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
H052	A013	K084	V123	K074	K088	H021	L094	E019	O098	K087	K079	N096
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
H031	Y127	S110	J072	H063	A014	H033	J073	J071	H034	H022	H026	H050
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
H035	H053	L093	Z143	A008	Z108	W011	Z115	Z103	Z107	H049	H047	H028
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
H044	K089	H051	H029	H025	H024	H027	A007	K078	A005	A010	A006	A011
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
A009	K076	K077	O104	U114	H062	O103	J067	J068	L091	K081	O100	O101
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
K082	O102	K083	H032	O105	A012	A015	A016	V124	V125	K085	H046	Y126
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
D017	J069	H023	H020	J070	L092	L090	A004	P106	P107	Y129	P108	V122
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
U113	U116	U121	U117	U115	O099	U119	U120	U118	A003	A002	K080	K086
118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
E018	H065	S112	H038	H064	H041	H043	H055	H054	H059	H056	J066	S111
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
H060	H030	H037	H057	H036	H039	Z127	Z104	Z105	Z106	W008	W015	W014
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
W002	W010	W013	H040	M095	Z114	Z109	Z110	Z112	Z113	W007	W012	Z125
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
Z139	Z121	Z118	Z130	W003	W009	Z111	Z137	Z136	Z135	Z129	Z124	Z117
170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182
Z122	Z126	W004	Z140	Z128	Z134	Z141	Z142	Z120	Z119	Z131	Z116	Z133
183	184	185	186	187	188							
Z123	Z138	Z132	W006	W005	H061							

DESCRIPTION DES NOEUDS DE LA HIERARCHIE
(INDICES EN POURCENTAGE DE LA SOMME DES INDICES : 8.00000)

NOEUD NUMERO	INDICE	SUCCEPSEURS		EFFECT.	POIDS	COMPOSITION	
		AINE	BENJ			PREMIER	DERNIER
189	0.00	153	152	2	2.00	152	153
190	0.00	164	163	2	2.00	163	164
191	0.00	140	139	2	2.00	139	140
192	0.00	178	177	2	2.00	177	178
193	0.00	68	67	2	2.00	67	68
194	0.00	166	165	2	2.00	165	166
195	0.00	183	182	2	2.00	182	183
196	0.00	59	58	2	2.00	58	59
197	0.00	18	17	2	2.00	17	18
198	0.00	51	50	2	2.00	50	51
199	0.00	169	168	2	2.00	168	169
200	0.00	175	174	2	2.00	174	175
201	0.00	171	170	2	2.00	170	171
202	0.00	56	55	2	2.00	55	56
203	0.00	66	65	2	2.00	65	66
204	0.00	196	57	3	3.00	57	59
205	0.00	24	23	2	2.00	23	24
206	0.00	200	173	3	3.00	173	175
207	0.00	92	91	2	2.00	91	92
208	0.01	81	80	2	2.00	80	81
209	0.01	154	189	3	3.00	152	154
210	0.01	199	167	3	3.00	167	169
211	0.01	2	1	2	2.00	1	2
212	0.01	77	76	2	2.00	76	77
213	0.01	28	27	2	2.00	27	28
214	0.01	30	29	2	2.00	29	30
215	0.01	34	33	2	2.00	33	34
216	0.01	32	31	2	2.00	31	32
217	0.01	195	181	3	3.00	181	183
218	0.01	102	101	2	2.00	101	102
219	0.01	144	143	2	2.00	143	144
220	0.01	197	16	3	3.00	16	18
221	0.01	4	3	2	2.00	3	4
222	0.01	20	19	2	2.00	19	20
223	0.01	99	98	2	2.00	98	99
224	0.01	128	127	2	2.00	127	128
225	0.01	37	36	2	2.00	36	37
226	0.01	185	184	2	2.00	184	185
227	0.01	187	186	2	2.00	186	187
228	0.01	201	210	5	5.00	167	171
229	0.01	219	142	3	3.00	142	144
230	0.01	62	61	2	2.00	61	62
231	0.01	126	125	2	2.00	125	126
232	0.01	10	9	2	2.00	9	10
233	0.01	90	89	2	2.00	89	90
234	0.01	205	22	3	3.00	22	24
235	0.01	206	172	4	4.00	172	175
236	0.01	136	135	2	2.00	135	136
237	0.01	216	214	4	4.00	29	32
238	0.01	72	71	2	2.00	71	72
239	0.01	15	14	2	2.00	14	15
240	0.01	79	78	2	2.00	78	79
241	0.01	53	52	2	2.00	52	53
242	0.01	21	222	3	3.00	19	21
243	0.01	38	225	3	3.00	36	38
244	0.01	75	74	2	2.00	74	75
245	0.01	213	26	3	3.00	26	28
246	0.01	109	108	2	2.00	108	109
247	0.02	113	112	2	2.00	112	113
248	0.02	241	198	4	4.00	50	53
249	0.02	103	218	3	3.00	101	103
250	0.02	63	230	3	3.00	61	63
251	0.02	180	179	2	2.00	179	180
252	0.02	192	176	3	3.00	176	178
253	0.02	94	93	2	2.00	93	94

254	0.02	13	12	2	2.00	12	13
255	0.02	155	209	4	4.00	152	155
256	0.02	148	147	2	2.00	147	148
257	0.02	130	129	2	2.00	129	130
258	0.02	40	39	2	2.00	39	40
259	0.02	204	202	5	5.00	55	59
260	0.02	64	250	4	4.00	61	64
261	0.02	100	223	3	3.00	98	100

NOEUD		SUCCESEURS		EFFECT.	POIDS	COMPOSITION	
NUMERO	INDICE	AINE	BENJ			PREMIER	DERNIER
262	0.02	146	145	2	2.00	145	146
263	0.02	88	87	2	2.00	87	88
264	0.02	194	190	4	4.00	163	166
265	0.02	159	158	2	2.00	158	159
266	0.02	240	212	4	4.00	76	79
267	0.02	231	124	3	3.00	124	126
268	0.02	96	95	2	2.00	95	96
269	0.02	245	25	4	4.00	25	28
270	0.02	247	111	3	3.00	111	113
271	0.02	106	105	2	2.00	105	106
272	0.02	132	131	2	2.00	131	132
273	0.02	226	217	5	5.00	181	185
274	0.02	5	221	3	3.00	3	5
275	0.03	208	266	6	6.00	76	81
276	0.03	255	151	5	5.00	151	155
277	0.03	45	44	2	2.00	44	45
278	0.03	215	237	6	6.00	29	34
279	0.03	238	70	3	3.00	70	72
280	0.03	49	48	2	2.00	48	49
281	0.03	246	107	3	3.00	107	109
282	0.03	54	248	5	5.00	50	54
283	0.04	236	134	3	3.00	134	136
284	0.04	279	69	4	4.00	69	72
285	0.04	161	160	2	2.00	160	161
286	0.04	258	243	5	5.00	36	40
287	0.04	149	256	3	3.00	147	149
288	0.04	244	73	3	3.00	73	75
289	0.04	233	263	4	4.00	87	90
290	0.04	261	97	4	4.00	97	100
291	0.04	267	123	4	4.00	123	126
292	0.04	259	282	10	10.00	50	59
293	0.05	191	138	3	3.00	138	140
294	0.05	228	264	9	9.00	163	171
295	0.05	85	84	2	2.00	84	85
296	0.05	8	7	2	2.00	7	8
297	0.05	269	234	7	7.00	22	28
298	0.06	239	254	4	4.00	12	15
299	0.06	252	235	7	7.00	172	178
300	0.06	35	278	7	7.00	29	35
301	0.06	11	232	3	3.00	9	11
302	0.06	268	253	4	4.00	93	96
303	0.06	42	41	2	2.00	41	42
304	0.06	291	122	5	5.00	122	126
305	0.06	281	271	5	5.00	105	109
306	0.07	304	121	6	6.00	121	126
307	0.07	262	229	5	5.00	142	146
308	0.07	283	133	4	4.00	133	136
309	0.07	284	193	6	6.00	67	72
310	0.07	116	115	2	2.00	115	116
311	0.07	275	288	9	9.00	73	81
312	0.08	277	43	3	3.00	43	45
313	0.08	302	207	6	6.00	91	96
314	0.08	6	274	4	4.00	3	6
315	0.09	265	157	3	3.00	157	159
316	0.09	295	83	3	3.00	83	85
317	0.09	162	285	3	3.00	160	162
318	0.09	104	249	4	4.00	101	104
319	0.09	242	220	6	6.00	16	21
320	0.09	314	211	6	6.00	1	6
321	0.10	47	46	2	2.00	46	47
322	0.10	273	251	7	7.00	179	185
323	0.10	276	150	6	6.00	150	155
324	0.10	119	118	2	2.00	118	119
325	0.11	300	297	14	14.00	22	35
326	0.11	313	289	10	10.00	87	96
327	0.11	270	110	4	4.00	110	113
328	0.12	203	260	6	6.00	61	66
329	0.12	318	290	8	8.00	97	104
330	0.14	310	114	3	3.00	114	116
331	0.14	328	60	7	7.00	60	66
332	0.14	272	257	4	4.00	129	132
333	0.14	294	317	12	12.00	160	171
334	0.15	319	298	10	10.00	12	21
335	0.15	326	86	11	11.00	86	96
336	0.16	227	322	9	9.00	179	187

NOEUD		SUCCESEURS		EFFECT.	POIDS	COMPOSITION	
NUMERO	INDICE	AINE	BENJ			PREMIER	DERNIER
337	0.16	311	309	15	15.00	67	81
338	0.18	325	334	24	24.00	12	35
339	0.20	287	307	8	8.00	142	149
340	0.20	224	306	8	8.00	121	128
341	0.21	321	312	5	5.00	43	47
342	0.21	120	324	3	3.00	118	120
343	0.22	299	333	19	19.00	160	178
344	0.22	303	286	7	7.00	36	42
345	0.23	137	308	5	5.00	133	137
346	0.26	316	82	4	4.00	82	85

347	0.27	296	320	8	8.00	1	8
348	0.27	338	301	27	27.00	9	35
349	0.30	327	305	9	9.00	105	113
350	0.30	339	141	9	9.00	141	149
351	0.31	315	156	4	4.00	156	159
352	0.36	337	331	22	22.00	60	81
353	0.38	332	340	12	12.00	121	132
354	0.45	343	351	23	23.00	156	178
355	0.45	352	292	32	32.00	50	81
356	0.54	280	341	7	7.00	43	49
357	0.63	323	350	15	15.00	141	155
358	0.67	330	349	12	12.00	105	116
359	0.68	348	347	35	35.00	1	35
360	0.82	329	335	19	19.00	86	104
361	0.96	345	353	17	17.00	121	137
362	0.99	346	355	36	36.00	50	85
363	1.07	336	354	32	32.00	156	187
364	1.18	344	359	42	42.00	1	42
365	1.51	360	362	55	55.00	50	104
366	1.74	361	342	20	20.00	118	137
367	2.11	363	357	47	47.00	141	187
368	2.49	356	364	49	49.00	1	49
369	4.08	358	365	67	67.00	50	116
370	7.61	188	367	48	48.00	141	188
371	7.97	366	117	21	21.00	117	137
372	8.20	369	368	116	116.00	1	116
373	10.69	370	293	51	51.00	138	188
374	11.95	371	372	137	137.00	1	137
375	23.39	373	374	188	188.00	1	188

DENDROGRAMME

RANG IND. IDEN DENDROGRAMME (INDICES EN POURCENTAGE, DE LA SOMME DES INDICES : 8.00000 MIN = 0.00% / MAX = 23.39%)

1	0.01	A001	---
2	0.09	K075	---
3	0.01	W001	---
4	0.02	O097	---
5	0.08	H045	---
6	0.27	H048	---
7	0.05	Z101	---
8	0.68	Z102	---
9	0.01	Y130	---
10	0.06	Y128	---
11	0.27	H042	---
12	0.02	Q109	---
13	0.06	H058	---
14	0.01	H052	---
15	0.15	A013	---
16	0.01	K084	---
17	0.00	V123	---
18	0.09	K074	---
19	0.01	K088	---
20	0.01	H021	---
21	0.18	L094	---
22	0.01	E019	---
23	0.00	O098	---
24	0.05	K087	---
25	0.02	K079	---
26	0.01	N096	---
27	0.01	H031	---
28	0.11	Y127	---
29	0.01	S110	---
30	0.01	J072	---
31	0.01	H063	---
32	0.03	A014	---
33	0.01	H033	---
34	0.06	J073	---

87	0.02	V124	--*
88	0.04	V125	--*
89	0.01	K085	--*
90	0.11	H046	--*
91	0.00	Y126	--*
92	0.08	D017	--*
93	0.02	J069	--*
94	0.06	H023	--*
95	0.02	H020	--*
96	0.82	J070	--*+*
97	0.04	L092	--+
98	0.01	L090	--*
99	0.02	A004	--*
100	0.12	P106	--*
101	0.01	P107	--*
102	0.02	Y129	--*
103	0.09	P108	--*
104	4.08	V122	--*+*
105	0.02	U113	--+
106	0.06	U116	--*
107	0.03	U121	--*
108	0.01	U117	--*
109	0.30	U115	--*+*
110	0.11	O099	--+
111	0.02	U119	--*
112	0.02	U120	--*
113	0.67	U118	--*+*
114	0.14	A003	--+
115	0.07	A002	--*
116	11.95	K080	--*+*
117	7.97	K086	-----*+*
118	0.10	E018	--+
119	0.21	H065	--*
120	1.74	S112	--*+*
121	0.07	H038	--+
122	0.06	H064	--*
123	0.04	H041	--*
124	0.02	H043	--*
125	0.01	H055	--*
126	0.20	H054	--*
127	0.01	H059	--*
128	0.38	H056	--*+*
129	0.02	J066	--+
130	0.14	S111	--*
131	0.02	H060	--*
132	0.96	H030	--*+*
133	0.07	H037	--+
134	0.04	H057	--*
135	0.01	H036	--*
136	0.23	H039	--*+*
137	23.39	Z127	--*+*

138	0.05	Z104	--+
139	0.00	Z105	--*
140	10.69	Z106	--*
141	0.30	W008	---+
142	0.01	W015	--+
143	0.01	W014	--*
144	0.07	W002	--*
145	0.02	W010	--*
146	0.20	W013	--*
147	0.02	H040	--*
148	0.04	M095	--*
149	0.63	Z114	---**+
150	0.10	Z109	--+
151	0.03	Z110	--*
152	0.00	Z112	--*
153	0.01	Z113	--*
154	0.02	W007	--*
155	2.11	W012	---*--+
156	0.31	Z125	---+
157	0.09	Z139	--+
158	0.02	Z121	--*
159	0.45	Z118	---**+
160	0.04	Z130	--+
161	0.09	W003	--*
162	0.14	W009	--*
163	0.00	Z111	--*
164	0.02	Z137	--*
165	0.00	Z136	--*
166	0.05	Z135	--*
167	0.01	Z129	--*
168	0.00	Z124	--*
169	0.01	Z117	--*
170	0.00	Z122	--*
171	0.22	Z126	---**+
172	0.01	W004	--+
173	0.00	Z140	--*
174	0.00	Z128	--*
175	0.06	Z134	--*
176	0.02	Z141	--*
177	0.00	Z142	--*
178	1.07	Z120	---**--+
179	0.02	Z119	--+
180	0.10	Z131	--*
181	0.01	Z116	--*
182	0.00	Z133	--*
183	0.02	Z123	--*
184	0.01	Z138	--*
185	0.16	Z132	--*
186	0.01	W006	--*
187	7.61	W005	---*--+
188	----	H061	-----*

PARTITION PAR COUPURE D'UN ARBRE HIERARCHIQUE
 RECHERCHE DES MEILLEURES PARTITIONS
 RECHERCHE DES PALIERS

PALIER ENTRE	VALEUR DU PALIER	
369-- 370	-243.93	*****
372-- 373	-189.53	*****
368-- 369	-97.65	*****

LISTE DES 3 MEILLEURE(S) PARTITION(S) ENTRE 3 ET 10 CLASSES

- 1 - PARTITION EN 7 CLASSES
- 2 - PARTITION EN 4 CLASSES
- 3 - PARTITION EN 8 CLASSES

COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES
 FORMATION DES CLASSES (INDIVIDUS ACTIFS)
 DESCRIPTION SOMMAIRE

CLASSE	EFFECTIF	POIDS	CONTENU
aa1a	116	116.00	1 A 116
aa2a	21	21.00	117 A 137
aa3a	3	3.00	138 A 140
aa4a	48	48.00	141 A 188

COORDONNEES ET VALEURS-TEST AVANT CONSOLIDATION
 AXES 1 A 5

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P.ABS		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES														
aa1a - CLASSE 1 / 4	116	116.00		-6.2	7.1	2.1	-3.1	3.9	-0.63	0.55	0.12	-0.16	0.16	0.79
aa2a - CLASSE 2 / 4	21	21.00		-4.5	-7.2	-5.9	1.8	1.3	-1.64	-2.02	-1.22	0.33	0.20	8.72
aa3a - CLASSE 3 / 4	3	3.00		2.9	5.6	-5.5	7.0	2.0	3.00	4.40	-3.18	3.63	0.82	54.55
aa4a - CLASSE 4 / 4	48	48.00		9.3	-4.3	3.5	0.2	-5.9	2.06	-0.73	0.44	0.02	-0.52	5.28

AXES 6 A 8

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P.ABS		6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES														
aa1a - CLASSE 1 / 4	116	116.00		0.2	5.0	0.8	0.0	0.0	0.01	0.14	0.01	0.00	0.00	0.79
aa2a - CLASSE 2 / 4	21	21.00		3.6	-3.6	-1.3	0.0	0.0	0.44	-0.36	-0.08	0.00	0.00	8.72
aa3a - CLASSE 3 / 4	3	3.00		-3.8	-2.3	-0.6	0.0	0.0	-1.32	-0.65	-0.10	0.00	0.00	54.55
aa4a - CLASSE 4 / 4	48	48.00		-1.8	-2.2	0.2	0.0	0.0	-0.13	-0.13	0.01	0.00	0.00	5.28

CONSOLIDATION DE LA PARTITION
 AUTOUR DES 4 CENTRES DE CLASSES, REALISEE PAR 10 ITERATIONS A CENTRES MOBILES
 PROGRESSION DE L'INERTIE INTER-CLASSES

ITERATION	I.TOTALE	I.INTER	QUOTIENT
0	8.00000	3.68203	0.46025
1	8.00000	3.78583	0.47323
2	8.00000	3.82042	0.47755
3	8.00000	3.82644	0.47831
4	8.00000	3.82756	0.47845
5	8.00000	3.82756	0.47845

ARRET APRES L'ITERATION 5 L'ACCROISSEMENT DE L'INERTIE INTER-CLASSES
 PAR RAPPORT A L'ITERATION PRECEDENTE N'EST QUE DE 0.000 %.
 DECOMPOSITION DE L'INERTIE
 CALCULEE SUR 8 AXES.

INERTIES	INERTIES		EFFECTIFS		POIDS		DISTANCES	
	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
INTER-CLASSES	3.6820	3.8276						
INTRA-CLASSE								
CLASSE 1 / 4	2.2013	1.5696	116	101	116.00	101.00	0.7926	1.1716
CLASSE 2 / 4	0.9846	1.1207	21	26	21.00	26.00	8.7249	6.9941
CLASSE 3 / 4	0.0038	0.1294	3	5	3.00	5.00	54.5462	34.5198
CLASSE 4 / 4	1.1283	1.3527	48	56	48.00	56.00	5.2795	4.4072
TOTALE	8.0000	8.0000						

QUOTIENT (INERTIE INTER / INERTIE TOTALE) : AVANT ... 0.4603
 APRES ... 0.4784

COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
 AXES 1 A 5

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P.ABS		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES														
aa1a - CLASSE 1 / 4	101	101.00		-6.8	6.7	3.0	-3.6	2.9	-0.82	0.62	0.21	-0.22	0.14	1.17
aa2a - CLASSE 2 / 4	26	26.00		-4.6	-7.4	-5.5	1.8	2.3	-1.50	-1.84	-1.02	0.29	0.30	6.99
aa3a - CLASSE 3 / 4	5	5.00		3.4	6.0	-5.8	6.8	1.9	2.64	3.62	-2.57	2.70	0.59	34.52
aa4a - CLASSE 4 / 4	56	56.00		9.7	-3.8	2.9	0.2	-5.5	1.94	-0.58	0.33	0.02	-0.44	4.41

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES														
aa1a - CLASSE 1 / 4	101	101.00		-0.9	3.0	-0.2	0.0	0.0	-0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	1.17
aa2a - CLASSE 2 / 4	26	26.00		2.9	-2.7	-0.9	0.0	0.0	0.31	-0.23	-0.05	0.00	0.00	6.99
aa3a - CLASSE 3 / 4	5	5.00		-1.6	-0.7	0.2	0.0	0.0	-0.43	-0.16	0.03	0.00	0.00	34.52
aa4a - CLASSE 4 / 4	56	56.00		-0.6	-0.9	0.8	0.0	0.0	-0.04	-0.05	0.03	0.00	0.00	4.41

PARANGONS

CLASSE 1/ 4 EFFECTIF: 101

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.11180	H044	2	0.40014	H062	3	0.42035	L091
4	0.44891	H028	5	0.46851	K081	6	0.53479	K078
7	0.54903	O102	8	0.54930	J068	9	0.55253	H047
10	0.55849	O100	11	0.56079	H049	12	0.57939	K089
13	0.63597	J067	14	0.65466	K076	15	0.66070	A006
16	0.67803	K083	17	0.72650	A001	18	0.74063	K077
19	0.75528	O103	20	0.77482	H051	21	0.78513	A005
22	0.79373	A010	23	0.80056	H025	24	0.80207	H029
25	0.82289	K085	26	0.85157	H046	27	0.88530	O101
28	0.93572	V124	29	0.95206	K075	30	1.00785	Y127
31	1.09583	S110	32	1.12709	J072	33	1.14658	H031
34	1.26017	H024	35	1.28424	O104	36	1.30997	W001
37	1.33083	N096	38	1.34121	O097	39	1.41815	A011
40	1.43913	U114	41	1.44048	H027	42	1.45583	K082
43	1.50112	Q109	44	1.54266	A009	45	1.68007	H052
46	1.69031	U113	47	1.73721	K079	48	1.74227	A014
49	1.76136	V125	50	1.79733	H063	51	2.02043	J069
52	2.05354	K084	53	2.21946	H045	54	2.27777	P107
55	2.28906	H023	56	2.33855	L092	57	2.42728	J070
58	2.47449	O098	59	2.49197	H033	60	2.49242	A013
61	2.69704	K087	62	2.86584	H034	63	2.91298	V123
64	2.91409	J073	65	2.96427	J071	66	2.97789	E019
67	3.00997	H050	68	3.01995	O105	69	3.08613	Y129
70	3.09135	H020	71	3.18756	H058	72	3.19491	L090
73	3.21000	H022	74	3.34747	P108	75	3.39232	K074
76	3.39538	U116	77	3.41691	Y130	78	3.58398	A007
79	3.59944	H048	80	3.73011	H026	81	3.76732	P106
82	4.09752	Z101	83	4.15202	A004	84	4.25190	U121
85	4.28659	U117	86	4.60961	O099	87	5.10320	A012
88	5.20021	U115	89	5.22665	A016	90	5.38650	A008
91	6.03520	A015	92	6.16435	Z143	93	6.23907	Z102
94	7.86236	V122	95	8.00094	U119	96	8.15977	U118
97	9.35489	L093	98	9.96635	U120	99	11.89610	A003
100	17.38146	K080	101	22.16877	A002			

CLASSE 2/ 4 EFFECTIF: 26

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.48199	S111	2	0.60327	J066	3	1.31640	H055
4	1.43760	H036	5	1.51073	H054	6	1.52845	H060
7	1.81905	H039	8	1.86139	D017	9	2.11591	H043
10	2.35105	Y126	11	2.39997	H057	12	2.41996	H038
13	2.46301	H041	14	2.66532	E018	15	2.84862	H030
16	2.84993	H059	17	3.51588	H056	18	4.03073	H064
19	4.22037	H035	20	4.24271	H037	21	5.99895	H053
22	7.74046	H065	23	8.25484	H032	24	10.84406	Z127
25	13.04557	S112	26	118.12945	K086			

CLASSE 3/ 4 EFFECTIF: 5

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	2.91590	Z104	2	3.52743	Z105	3	3.53275	Z106
4	4.74030	Z107	5	9.60660	Z103			

CLASSE 4/ 4 EFFECTIF: 56

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.23018	Z135	2	0.34792	Z136	3	0.41220	Z134
4	0.46560	Z116	5	0.49794	Z129	6	0.65899	Z137
7	0.71507	Z140	8	0.72803	Z124	9	0.73618	W010
10	0.74432	Z138	11	0.76105	Z133	12	0.79528	Z128
13	0.79976	Z120	14	0.81046	Z122	15	0.83113	Z111
16	0.99991	Z113	17	1.05374	Z112	18	1.06120	Z142
19	1.07658	Z126	20	1.08384	Z123	21	1.13827	Z141
22	1.14662	Z117	23	1.36497	W012	24	1.39467	W004
25	1.42115	Z130	26	1.44468	W007	27	1.49102	W014
28	1.72279	Z110	29	1.73920	Z139	30	1.74403	Z132

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
31	1.85484	H042	32	2.13677	W015	33	2.35600	W003
34	2.36187	W013	35	2.45948	H021	36	2.58164	Z121
37	2.58749	L094	38	2.77789	W002	39	2.82373	Z131
40	3.06044	K088	41	3.12500	Z119	42	3.17935	H040
43	3.28127	W009	44	3.42828	Y128	45	3.91014	W006
46	5.27353	M095	47	5.35036	Z118	48	5.74383	Z109
49	5.89793	Z114	50	6.09130	W005	51	6.13666	W011
52	7.72773	Z125	53	7.89167	W008	54	7.91015	Z108
55	11.28746	Z115	56	113.65504	H061			

COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES
FORMATION DES CLASSES (INDIVIDUS ACTIFS)
DESCRIPTION SOMMAIRE

CLASSE	EFFECTIF	POIDS	CONTENU
bb1b	49	49.00	1 A 49
bb2b	67	67.00	50 A 116
bb3b	1	1.00	117 A 117
bb4b	20	20.00	118 A 137
bb5b	3	3.00	138 A 140
bb6b	47	47.00	141 A 187
bb7b	1	1.00	188 A 188

COORDONNEES ET VALEURS-TEST AVANT CONSOLIDATION
AXES 1 A 5

CLASSES			VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES													
bb1b - CLASSE 1 / 7	49	49.00	2.1	2.0	-2.2	-2.2	2.5	0.46	0.34	-0.27	-0.24	0.22	0.64
bb2b - CLASSE 2 / 7	67	67.00	-8.2	5.3	4.1	-1.2	1.7	-1.43	0.71	0.41	-0.10	0.12	2.75
bb3b - CLASSE 3 / 7	1	1.00	-5.0	-2.4	-2.9	3.9	-8.8	-8.90	-3.31	-2.89	3.54	-6.25	152.96
bb4b - CLASSE 4 / 7	20	20.00	-3.4	-6.8	-5.3	0.9	3.5	-1.28	-1.95	-1.14	0.17	0.52	7.50
bb5b - CLASSE 5 / 7	3	3.00	2.9	5.6	-5.5	7.0	2.0	3.00	4.40	-3.18	3.63	0.82	54.55
bb6b - CLASSE 6 / 7	47	47.00	9.3	-3.9	2.3	-1.2	-6.3	2.09	-0.67	0.30	-0.13	-0.57	5.30
bb7b - CLASSE 7 / 7	1	1.00	0.3	-2.7	7.1	8.0	2.1	0.48	-3.64	7.16	7.16	1.46	118.86

AXES 6 A 8

CLASSES			VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES													
bb1b - CLASSE 1 / 7	49	49.00	1.9	5.8	0.1	0.0	0.0	0.14	0.34	0.00	0.00	0.00	0.64
bb2b - CLASSE 2 / 7	67	67.00	-1.5	-0.3	0.7	0.0	0.0	-0.09	-0.01	0.02	0.00	0.00	2.75
bb3b - CLASSE 3 / 7	1	1.00	-2.0	2.1	2.3	0.0	0.0	-1.18	1.00	0.67	0.00	0.00	152.96
bb4b - CLASSE 4 / 7	20	20.00	4.1	-4.2	-1.9	0.0	0.0	0.52	-0.43	-0.11	0.00	0.00	7.50
bb5b - CLASSE 5 / 7	3	3.00	-3.8	-2.3	-0.6	0.0	0.0	-1.32	-0.65	-0.10	0.00	0.00	54.55
bb6b - CLASSE 6 / 7	47	47.00	-1.9	-2.4	0.5	0.0	0.0	-0.15	-0.14	0.02	0.00	0.00	5.30
bb7b - CLASSE 7 / 7	1	1.00	0.9	0.8	-1.9	0.0	0.0	0.54	0.40	-0.56	0.00	0.00	118.86

CONSOLIDATION DE LA PARTITION
AUTOUR DES 7 CENTRES DE CLASSES, REALISEE PAR 10 ITERATIONS A CENTRES MOBILES
PROGRESSION DE L'INERTIE INTER-CLASSES

ITERATION	I. TOTALE	I. INTER	QUOTIENT
0	8.00000	5.58445	0.69806
1	8.00000	5.63306	0.70413
2	8.00000	5.67475	0.70934
3	8.00000	5.68345	0.71043
4	8.00000	5.70996	0.71374
5	8.00000	5.70996	0.71374
6	8.00000	5.70996	0.71374

ARRET APRES L'ITERATION 6 L'ACCROISSEMENT DE L'INERTIE INTER-CLASSES
PAR RAPPORT A L'ITERATION PRECEDENTE N'EST QUE DE 0.000 %.
DECOMPOSITION DE L'INERTIE CALCULEE SUR 8 AXES.

INERTIES	INERTIES		EFFECTIFS		POIDS		DISTANCES	
	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
INTER-CLASSES	5.5844	5.7100						
INTRA-CLASSE								
CLASSE 1 / 7	0.5969	0.6147	49	65	49.00	65.00	0.6352	0.3640
CLASSE 2 / 7	0.9481	0.6125	67	44	67.00	44.00	2.7493	4.6800
CLASSE 3 / 7	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	152.9553
CLASSE 4 / 7	0.3472	0.4672	20	25	20.00	25.00	7.5046	6.0698
CLASSE 5 / 7	0.0038	0.0655	3	4	3.00	4.00	54.5462	42.5558
CLASSE 6 / 7	0.5195	0.5301	47	48	47.00	48.00	5.2981	5.2107
CLASSE 7 / 7	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	118.8562
TOTALE	8.0000	8.0000						

QUOTIENT (INERTIE INTER / INERTIE TOTALE) : AVANT ... 0.6981
APRES ... 0.7137

COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
AXES 1 A 5

CLASSES			VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES													
bb1b - CLASSE 1 / 7	65	65.00	0.7	2.5	-1.3	-2.8	3.6	0.12	0.35	-0.13	-0.25	0.25	0.36
bb2b - CLASSE 2 / 7	44	44.00	-7.8	5.6	4.4	-0.8	-0.3	-1.82	1.00	0.58	-0.10	-0.03	4.68
bb3b - CLASSE 3 / 7	1	1.00	-5.0	-2.4	-2.9	3.9	-8.8	-8.90	-3.31	-2.89	3.54	-6.25	152.96
bb4b - CLASSE 4 / 7	25	25.00	-3.6	-7.0	-5.0	1.0	4.2	-1.20	-1.78	-0.95	0.16	0.56	6.07
bb5b - CLASSE 5 / 7	4	4.00	3.2	5.9	-5.6	7.0	2.0	2.79	3.98	-2.83	3.11	0.70	42.56
bb6b - CLASSE 6 / 7	48	48.00	9.4	-3.8	2.2	-1.2	-6.4	2.08	-0.65	0.28	-0.14	-0.57	5.21
bb7b - CLASSE 7 / 7	1	1.00	0.3	-2.7	7.1	8.0	2.1	0.48	-3.64	7.16	7.16	1.46	118.86

AXES 6 A 8

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES														
bb1b - CLASSE 1 / 7	65	65.00		0.7	5.9	0.5	0.0	0.0	0.04	0.29	0.02	0.00	0.00	0.36
bb2b - CLASSE 2 / 7	44	44.00		-0.4	-1.4	0.0	0.0	0.0	-0.03	-0.09	0.00	0.00	0.00	4.68
bb3b - CLASSE 3 / 7	1	1.00		-2.0	2.1	2.3	0.0	0.0	-1.18	1.00	0.67	0.00	0.00	152.96
bb4b - CLASSE 4 / 7	25	25.00		3.3	-3.2	-1.4	0.0	0.0	0.37	-0.28	-0.08	0.00	0.00	6.07
bb5b - CLASSE 5 / 7	4	4.00		-2.8	-1.6	0.0	0.0	0.0	-0.82	-0.39	-0.01	0.00	0.00	42.56
bb6b - CLASSE 6 / 7	48	48.00		-1.9	-2.5	0.5	0.0	0.0	-0.14	-0.15	0.02	0.00	0.00	5.21
bb7b - CLASSE 7 / 7	1	1.00		0.9	0.8	-1.9	0.0	0.0	0.54	0.40	-0.56	0.00	0.00	118.86

PARANGONS

CLASSE 1/ 7
EFFECTIF: 65

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.14518	S110	2	0.15057	H031	3	0.15692	J072
4	0.22441	H052	5	0.24876	Y127	6	0.30900	K084
7	0.33756	N096	8	0.39023	K078	9	0.43230	H063
10	0.43533	A014	11	0.44016	O098	12	0.45231	H033
13	0.54565	Q109	14	0.59865	K087	15	0.60117	H049
16	0.62721	K079	17	0.64134	H047	18	0.65663	K075
19	0.66322	V123	20	0.69494	K089	21	0.73943	J073
22	0.77377	H025	23	0.80587	E019	24	0.82129	H028
25	0.88543	A001	26	0.89463	O097	27	0.94736	H027
28	0.95840	H024	29	0.99827	K074	30	1.03886	A013
31	1.08114	H034	32	1.11439	H021	33	1.12246	H051
34	1.18814	H022	35	1.18847	H044	36	1.19476	W001
37	1.20284	A005	38	1.21338	K088	39	1.26655	H029
40	1.30133	A010	41	1.39414	K076	42	1.43514	K077
43	1.51575	A006	44	1.52711	H058	45	1.53392	Y130
46	1.60825	J071	47	1.65232	J067	48	1.69678	H050
49	1.75869	K085	50	1.83772	L094	51	2.04933	H045
52	2.16609	H026	53	2.20172	Y128	54	2.37099	J069
55	2.57968	Z101	56	2.65900	A008	57	2.67683	H023
58	3.04828	Z143	59	3.60641	H048	60	4.61256	Z108
61	5.43278	W011	62	5.92690	Z102	63	7.16391	L093
64	11.35916	Z115	65	12.26388	Z103			

CLASSE 2/ 7
EFFECTIF: 44

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.32977	U113	2	0.44395	P107	3	0.53989	L091
4	0.62083	O101	5	0.70468	Y129	6	0.80764	O100
7	0.84986	P108	8	0.94487	J068	9	0.94814	L092
10	1.10099	H062	11	1.15438	K082	12	1.17973	U121
13	1.20086	U117	14	1.23668	K083	15	1.25566	O102
16	1.31216	U116	17	1.35495	O103	18	1.40122	V124
19	1.40310	U115	20	1.49260	K081	21	1.69678	L090
22	1.80517	O104	23	1.80933	A009	24	1.85254	U114
25	1.89734	P106	26	1.90522	O105	27	2.03348	A004
28	2.05999	H046	29	2.28436	A011	30	2.66056	O099
31	2.85762	J070	32	2.86980	V125	33	2.90752	A012
34	3.43643	U119	35	3.61981	H020	36	4.02334	V122
37	4.19455	U118	38	4.53446	A007	39	5.08275	U120
40	5.44919	A003	41	5.76944	A015	42	5.87853	A016
43	10.93436	K080	44	13.30293	A002			

CLASSE 3/ 7
EFFECTIF: 1

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.00000	K086						

CLASSE 4/ 7
EFFECTIF: 25

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.61625	S111	2	0.66302	H055	3	0.66526	J066
4	0.81117	H036	5	0.87220	H054	6	1.25593	H060
7	1.41981	H039	8	1.43859	H043	9	1.59890	H041
10	1.61213	H038	11	1.83080	D017	12	2.13940	Y126
13	2.23104	H057	14	2.42638	H059	15	2.86470	H064
16	3.02936	H056	17	3.07694	H030	18	3.07738	H035
19	3.57745	H037	20	3.84205	E018	21	5.00668	H053
22	8.09230	H032	23	9.37327	H065	24	10.06938	Z127
25	16.25067	S112						

CLASSE 5/ 7
EFFECTIF: 4

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	1.08242	Z104	2	1.25677	Z105	3	1.27718	Z106
4	8.69836	Z107						

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.

CLASSE 6/ 7
EFFECTIF: 48

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.12957	Z135	2	0.20553	Z136	3	0.22520	Z134
4	0.29537	Z129	5	0.42390	Z116	6	0.44902	Z137
7	0.52068	Z140	8	0.52143	Z120	9	0.54290	Z124
10	0.56405	Z128	11	0.58713	Z111	12	0.58752	Z122
13	0.69738	W010	14	0.73893	Z142	15	0.79772	Z133
16	0.82594	Z138	17	0.88147	Z126	18	0.91095	Z117
19	1.01117	Z113	20	1.04988	Z112	21	1.09102	Z141
22	1.10484	W004	23	1.12058	Z123	24	1.24733	W014
25	1.45579	W012	26	1.48914	Z130	27	1.52429	W007
28	1.65061	Z110	29	1.72628	Z139	30	1.91241	W015
31	1.91526	Z132	32	1.95413	H042	33	2.32346	W013
34	2.38369	W003	35	2.46921	Z121	36	2.50368	W002
37	2.94504	Z131	38	2.96632	W009	39	2.99285	H040
40	3.10511	Z119	41	4.18207	W006	42	5.07909	M095
43	5.25554	Z118	44	5.76461	Z114	45	5.85891	Z109
46	6.47372	W005	47	7.48633	Z125	48	7.71209	W008

CLASSE 7/ 7
EFFECTIF: 1

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.00000	H061						

COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES
FORMATION DES CLASSES (INDIVIDUS ACTIFS)
DESCRIPTION SOMMAIRE

CLASSE	EFFECTIF	POIDS	CONTENU
cc1c	49	49.00	1 A 49
cc2c	55	55.00	50 A 104
cc3c	12	12.00	105 A 116
cc4c	1	1.00	117 A 117
cc5c	20	20.00	118 A 137
cc6c	3	3.00	138 A 140
cc7c	47	47.00	141 A 187
cc8c	1	1.00	188 A 188

COORDONNEES ET VALEURS-TEST AVANT CONSOLIDATION

AXES 1 A 5

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES														
cc1c - CLASSE 1 / 8	49	49.00		2.1	2.0	-2.2	-2.2	2.5	0.46	0.34	-0.27	-0.24	0.22	0.64
cc2c - CLASSE 2 / 8	55	55.00		-5.9	2.7	2.1	-0.5	2.7	-1.20	0.42	0.24	-0.05	0.22	1.75
cc3c - CLASSE 3 / 8	12	12.00		-5.0	5.4	4.1	-1.4	-1.6	-2.49	2.07	1.17	-0.36	-0.32	12.47
cc4c - CLASSE 4 / 8	1	1.00		-5.0	-2.4	-2.9	3.9	-8.8	-8.90	-3.31	-2.89	3.54	-6.25	152.96
cc5c - CLASSE 5 / 8	20	20.00		-3.4	-6.8	-5.3	0.9	3.5	-1.28	-1.95	-1.14	0.17	0.52	7.50
cc6c - CLASSE 6 / 8	3	3.00		2.9	5.6	-5.5	7.0	2.0	3.00	4.40	-3.18	3.63	0.82	54.55
cc7c - CLASSE 7 / 8	47	47.00		9.3	-3.9	2.3	-1.2	-6.3	2.09	-0.67	0.30	-0.13	-0.57	5.30
cc8c - CLASSE 8 / 8	1	1.00		0.3	-2.7	7.1	8.0	2.1	0.48	-3.64	7.16	7.16	1.46	118.86

AXES 6 A 8

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	
COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES														
cc1c - CLASSE 1 / 8	49	49.00		1.9	5.8	0.1	0.0	0.0	0.14	0.34	0.00	0.00	0.00	0.64
cc2c - CLASSE 2 / 8	55	55.00		-1.9	2.1	0.6	0.0	0.0	-0.13	0.12	0.02	0.00	0.00	1.75
cc3c - CLASSE 3 / 8	12	12.00		0.7	-4.4	0.3	0.0	0.0	0.12	-0.60	0.03	0.00	0.00	12.47
cc4c - CLASSE 4 / 8	1	1.00		-2.0	2.1	2.3	0.0	0.0	-1.18	1.00	0.67	0.00	0.00	152.96
cc5c - CLASSE 5 / 8	20	20.00		4.1	-4.2	-1.9	0.0	0.0	0.52	-0.43	-0.11	0.00	0.00	7.50
cc6c - CLASSE 6 / 8	3	3.00		-3.8	-2.3	-0.6	0.0	0.0	-1.32	-0.65	-0.10	0.00	0.00	54.55
cc7c - CLASSE 7 / 8	47	47.00		-1.9	-2.4	0.5	0.0	0.0	-0.15	-0.14	0.02	0.00	0.00	5.30
cc8c - CLASSE 8 / 8	1	1.00		0.9	0.8	-1.9	0.0	0.0	0.54	0.40	-0.56	0.00	0.00	118.86

CONSOLIDATION DE LA PARTITION
AUTOUR DES 8 CENTRES DE CLASSES, REALISEE PAR 10 ITERATIONS A CENTRES MOBILES
PROGRESSION DE L'INERTIE INTER-CLASSES

ITERATION	I. TOTALE	I. INTER	QUOTIENT
0	8.00000	5.91104	0.73888
1	8.00000	5.93793	0.74224
2	8.00000	5.94147	0.74268
3	8.00000	5.94147	0.74268

ARRET APRES L'ITERATION 3 L'ACCROISSEMENT DE L'INERTIE INTER-CLASSES
PAR RAPPORT A L'ITERATION PRECEDENTE N'EST QUE DE 0.000 %.

DECOMPOSITION DE L'INERTIE
CALCULEE SUR 8 AXES.

INERTIES	INERTIES		EFFECTIFS		POIDS		DISTANCES	
	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
INTER-CLASSES	5.9110	5.9415						
INTRA-CLASSE								
CLASSE 1 / 8	0.5969	0.5406	49	48	49.00	48.00	0.6352	0.6607
CLASSE 2 / 8	0.5040	0.4351	55	51	55.00	51.00	1.7450	1.6407
CLASSE 3 / 8	0.1175	0.1511	12	14	12.00	14.00	12.4686	11.9079
CLASSE 4 / 8	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	152.9553
CLASSE 5 / 8	0.3472	0.3978	20	22	20.00	22.00	7.5046	6.7877
CLASSE 6 / 8	0.0038	0.0038	3	3	3.00	3.00	54.5462	54.5462
CLASSE 7 / 8	0.5195	0.5301	47	48	47.00	48.00	5.2981	5.2107
CLASSE 8 / 8	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	118.8562
TOTALE	8.0000	8.0000						

QUOTIENT (INERTIE INTER / INERTIE TOTALE) : AVANT ... 0.7389 APRES ... 0.7427

COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
AXES 1 A 5

IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES													
cc1c - CLASSE 1 / 8	48	48.00	1.9	2.4	-2.0	-2.0	2.4	0.43	0.41	-0.25	-0.23	0.21	0.66
cc2c - CLASSE 2 / 8	51	51.00	-5.5	2.4	2.0	-0.3	2.7	-1.16	0.39	0.25	-0.04	0.23	1.64
cc3c - CLASSE 3 / 8	14	14.00	-5.6	5.5	4.1	-1.4	-1.8	-2.56	1.94	1.06	-0.32	-0.33	11.91
cc4c - CLASSE 4 / 8	1	1.00	-5.0	-2.4	-2.9	3.9	-8.8	-8.90	-3.31	-2.89	3.54	-6.25	152.96
cc5c - CLASSE 5 / 8	22	22.00	-3.3	-7.0	-5.3	0.6	3.9	-1.18	-1.90	-1.08	0.10	0.56	6.79
cc6c - CLASSE 6 / 8	3	3.00	2.9	5.6	-5.5	7.0	2.0	3.00	4.40	-3.18	3.63	0.82	54.55
cc7c - CLASSE 7 / 8	48	48.00	9.4	-3.8	2.2	-1.2	-6.4	2.08	-0.65	0.28	-0.14	-0.57	5.21
cc8c - CLASSE 8 / 8	1	1.00	0.3	-2.7	7.1	8.0	2.1	0.48	-3.64	7.16	7.16	1.46	118.86

AXES 6 A 8

IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
			6	7	8	0	0	6	7	8	0	0	
COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES													
cc1c - CLASSE 1 / 8	48	48.00	2.2	5.9	0.1	0.0	0.0	0.16	0.36	0.00	0.00	0.00	0.66
cc2c - CLASSE 2 / 8	51	51.00	-1.3	1.8	1.5	0.0	0.0	-0.10	0.10	0.05	0.00	0.00	1.64
cc3c - CLASSE 3 / 8	14	14.00	-0.3	-3.9	-1.3	0.0	0.0	-0.04	-0.48	-0.10	0.00	0.00	11.91
cc4c - CLASSE 4 / 8	1	1.00	-2.0	2.1	2.3	0.0	0.0	-1.18	1.00	0.67	0.00	0.00	152.96
cc5c - CLASSE 5 / 8	22	22.00	3.4	-3.7	-1.6	0.0	0.0	0.41	-0.36	-0.09	0.00	0.00	6.79
cc6c - CLASSE 6 / 8	3	3.00	-3.8	-2.3	-0.6	0.0	0.0	-1.32	-0.65	-0.10	0.00	0.00	54.55
cc7c - CLASSE 7 / 8	48	48.00	-1.9	-2.5	0.5	0.0	0.0	-0.14	-0.15	0.02	0.00	0.00	5.21
cc8c - CLASSE 8 / 8	1	1.00	0.9	0.8	-1.9	0.0	0.0	0.54	0.40	-0.56	0.00	0.00	118.86

PARANGONS

CLASSE 1/ 8
EFFECTIF: 48

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.22836	K084	2	0.25896	H052	3	0.30773	O098
4	0.38098	V123	5	0.39556	H031	6	0.41327	S110
7	0.41561	J072	8	0.47589	K087	9	0.47955	H033
10	0.48478	E019	11	0.48927	Y127	12	0.51786	Q109
13	0.59051	N096	14	0.64406	A014	15	0.66791	K074
16	0.72247	H063	17	0.74496	H021	18	0.76445	K078
19	0.79946	J073	20	0.80685	K079	21	0.99445	O097
22	1.00367	K075	23	1.10624	Y130	24	1.10987	K088
25	1.12460	A013	26	1.17099	H058	27	1.25081	A001
28	1.30696	W001	29	1.32440	H034	30	1.41882	H022
31	1.58484	Y128	32	1.58644	H027	33	1.60927	L094
34	1.87331	A008	35	2.02672	J071	36	2.03688	H045
37	2.21447	H050	38	2.37763	Z101	39	2.40765	Z143
40	2.68108	H026	41	3.38861	Z108	42	3.44559	H048
43	4.43575	W011	44	5.90904	Z102	45	7.85372	L093
46	9.55097	Z115	47	10.25731	Z103	48	13.98573	Z107

CLASSE 2/ 8
EFFECTIF: 51

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.24863	L091	2	0.32777	H044	3	0.43806	H046
4	0.48056	K085	5	0.55001	K083	6	0.55798	H028
7	0.58440	O102	8	0.63005	J068	9	0.68534	O101
10	0.70631	H051	11	0.71881	K089	12	0.74358	A009
13	0.74726	A011	14	0.77413	H029	15	0.77605	O100
16	0.80551	A010	17	0.84760	V124	18	0.85134	H062
19	0.86629	K081	20	0.95056	H047	21	0.96130	H025
22	1.04636	A006	23	1.06975	H049	24	1.08665	O103
25	1.13659	A005	26	1.24585	L092	27	1.27611	K076
28	1.29170	J067	29	1.30367	V125	30	1.34467	K077
31	1.50562	H024	32	1.56051	K082	33	1.59009	U113
34	1.62671	P107	35	1.65871	H023	36	1.67252	J070
37	1.67627	J069	38	1.76436	O104	39	1.82361	Y126
40	1.90577	H020	41	2.00038	L090	42	2.03479	U114
43	2.17984	D017	44	2.88789	P106	45	2.92454	O105
46	2.96326	A004	47	3.84752	A007	48	3.95727	A012
49	4.27394	A016	50	4.93759	A015	51	7.95459	H032

CLASSE 3/ 8
EFFECTIF: 14

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.29531	U119	2	0.94366	U115	3	1.06905	U121
4	1.12471	U117	5	1.20868	U120	6	1.29537	U118
7	1.31919	U116	8	1.54550	P108	9	1.82510	Y129
10	1.83496	O099	11	1.92478	A003	12	3.89271	V122
13	4.49027	K080	14	5.64112	A002			

CLASSE 4/ 8
EFFECTIF: 1

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.00000	K086						

CLASSE 5/ 8
EFFECTIF: 22

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.56318	H036	2	0.67008	S111	3	0.81891	H055
4	0.90302	J066	5	1.01504	H039	6	1.01693	H060
7	1.09181	H054	8	1.64068	H041	9	1.72730	H043
10	1.78777	H057	11	1.97946	H038	12	2.72371	H059
13	2.81618	H030	14	2.90513	H064	15	3.01520	H037
16	3.32721	H056	17	3.35247	H035	18	3.86544	E018
19	5.34200	H053	20	8.86853	H065	21	9.20148	Z127
22	16.16317	S112						

CLASSE 6/ 8

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.11338	Z105	2	0.13282	Z106	3	0.47073	Z104

EFFECTIF: 3

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.11338	Z105	2	0.13282	Z106	3	0.47073	Z104

CLASSE 7/ 8
EFFECTIF: 48

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.12957	Z135	2	0.20553	Z136	3	0.22520	Z134
4	0.29537	Z129	5	0.42390	Z116	6	0.44902	Z137
7	0.52068	Z140	8	0.52143	Z120	9	0.54290	Z124
10	0.56405	Z128	11	0.58713	Z111	12	0.58752	Z122
13	0.69738	W010	14	0.73893	Z142	15	0.79772	Z133
16	0.82594	Z138	17	0.88147	Z126	18	0.91095	Z117
19	1.01117	Z113	20	1.04988	Z112	21	1.09102	Z141
22	1.10484	W004	23	1.12058	Z123	24	1.24733	W014
25	1.45579	W012	26	1.48914	Z130	27	1.52429	W007
28	1.65061	Z110	29	1.72628	Z139	30	1.91241	W015
31	1.91526	Z132	32	1.95413	H042	33	2.32346	W013
34	2.38369	W003	35	2.46921	Z121	36	2.50368	W002
37	2.94504	Z131	38	2.96632	W009	39	2.99285	H040
40	3.10511	Z119	41	4.18207	W006	42	5.07909	M095
43	5.25554	Z118	44	5.76461	Z114	45	5.85891	Z109
46	6.47372	W005	47	7.48633	Z125	48	7.71209	W008

CLASSE 8/ 8
EFFECTIF: 1

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.00000	H061						

DESCRIPTION DE PARTITION(S)
DESCRIPTION DE LA COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES : CARACTERISATION PAR LES CONTINUES DES CLASSES OU MODALITES
DE COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES

CLASSE 1 / 4

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		VARIABLES CARACTERISTIQUES		IDEN
		CLASSE GENERALE	CLASSE GENERALE	CLASSE GENERAL	CLASSE GENERAL	NUM.LIBELLE		
CLASSE 1 / 4 (POIDS = 101.00 EFFECTIF = 101)								aa1a
9.20	0.000	399.18	237.79	254.13	258.53	5.CRU		C6
9.03	0.000	491.76	308.40	258.89	299.06	2.LAM		C3
-3.65	0.000	949.59	1915.78	1443.21	3895.13	9.SUR		C10
-8.08	0.000	18.23	39.20	14.95	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 2 / 4

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		VARIABLES CARACTERISTIQUES		IDEN
		CLASSE GENERALE	CLASSE GENERALE	CLASSE GENERAL	CLASSE GENERAL	NUM.LIBELLE		
CLASSE 2 / 4 (POIDS = 26.00 EFFECTIF = 26)								aa2a
10.95	0.000	438.27	126.64	171.43	155.87	8.ESM		C9
6.06	0.000	72.31	51.20	14.35	19.09	6.BFI		C7
4.78	0.000	39.77	15.21	61.13	28.13	4.ETI		C5
-2.46	0.007	22.04	39.20	25.59	38.24	7.VOL		C8
-3.01	0.001	95.54	237.79	69.57	258.53	5.CRU		C6
-3.52	0.000	104.31	199.31	46.89	147.95	3.IND		C4

CLASSE 3 / 4

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 3 / 4 (POIDS = 5.00 EFFECTIF = 5)								aa3a
11.07	0.000	924.00	199.31	321.04	147.95	3.IND		C4
-6.06	0.000	0.00	51.20	0.00	19.09	6.BFI		C7

CLASSE 4 / 4

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 4 / 4 (POIDS = 56.00 EFFECTIF = 56)								aa4a
11.48	0.000	88.48	39.20	26.59	38.24	7.VOL		C8
5.40	0.000	4276.18	1915.78	6088.13	3895.13	9.SUR		C10
-3.43	0.000	43.86	51.20	19.08	19.09	6.BFI		C7
-4.59	0.000	0.71	15.21	2.62	28.13	4.ETI		C5
-5.63	0.000	28.18	126.64	66.92	155.87	8.ESM		C9
-7.22	0.000	28.09	237.79	50.92	258.53	5.CRU		C6
-8.45	0.000	24.77	308.40	45.44	299.06	2.LAM		C3

DESCRIPTION DE LA COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES

CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES CONTINUES

CARACTERISATION PAR LES CONTINUES DES CLASSES OU MODALITES

DE COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 7 CLASSES

CLASSE 1 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 1 / 7 (POIDS = 65.00 EFFECTIF = 65)								bb1b
-2.72	0.003	7.51	15.21	5.86	28.13	4.ETI		C5
-2.97	0.001	752.05	1915.78	1166.94	3895.13	9.SUR		C10
-2.98	0.001	79.85	126.64	56.63	155.87	8.ESM		C9
-3.08	0.001	27.35	39.20	15.51	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 2 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 2 / 7 (POIDS = 44.00 EFFECTIF = 44)								bb2b
10.35	0.000	591.77	237.79	258.11	258.53	5.CRU		C6
9.85	0.000	697.91	308.40	226.50	299.06	2.LAM		C3
3.90	0.000	29.73	15.21	14.12	28.13	4.ETI		C5
-6.48	0.000	6.43	39.20	7.13	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 3 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			

CLASSE 4 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 4 / 7 (POIDS = 25.00 EFFECTIF = 25)								bb4b
10.27	0.000	425.44	126.64	162.13	155.87	8.ESM		C9
5.71	0.000	71.56	51.20	14.13	19.09	6.BFI		C7
2.54	0.006	28.56	15.21	24.89	28.13	4.ETI		C5
-2.95	0.002	95.52	237.79	70.95	258.53	5.CRU		C6
-3.32	0.000	107.68	199.31	44.61	147.95	3.IND		C4

CLASSE 5 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 5 / 7 (POIDS = 4.00 EFFECTIF = 4)								bb5b
11.43	0.000	1038.25	199.31	252.12	147.95	3.IND		C4
-5.41	0.000	0.00	51.20	0.00	19.09	6.BFI		C7

CLASSE 6 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES		ECARTS TYPES		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
		CLASSE	GENERALE	CLASSE	GENERAL			
CLASSE 6 / 7 (POIDS = 48.00 EFFECTIF = 48)								bb6b
12.38	0.000	98.33	39.20	5.53	38.24	7.VOL		C8
3.94	0.000	3831.65	1915.78	2923.94	3895.13	9.SUR		C10
-2.83	0.002	44.46	51.20	18.49	19.09	6.BFI		C7
-4.27	0.000	0.21	15.21	0.58	28.13	4.ETI		C5
-5.40	0.000	21.48	126.64	60.87	155.87	8.ESM		C9
-6.83	0.000	17.27	237.79	25.95	258.53	5.CRU		C6
-7.91	0.000	12.83	308.40	18.61	299.06	2.LAM		C3

CLASSE 7 / 7

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

DESCRIPTION DE LA COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES
 CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES CONTINUES
 CARACTERISATION PAR LES CONTINUES DES CLASSES OU MODALITES
 DE COUPURE 'c' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES
 CLASSE 1 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 1 / 8 (POIDS = 48.00 EFFECTIF = 48)								cc1c
-2.60	0.005	651.72	1915.78	1266.23	3895.13	9.SUR		C10
-2.72	0.003	44.73	51.20	17.55	19.09	6.BFI		C7
-2.91	0.002	5.00	15.21	4.16	28.13	4.ETI		C5
-3.08	0.001	66.69	126.64	55.90	155.87	8.ESM		C9

CLASSE 2 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 2 / 8 (POIDS = 51.00 EFFECTIF = 51)								cc2c
5.66	0.000	413.24	237.79	138.49	258.53	5.CRU		C6
5.45	0.000	503.57	308.40	131.84	299.06	2.LAM		C3
2.73	0.003	57.45	51.20	10.26	19.09	6.BFI		C7
2.38	0.009	23.22	15.21	13.17	28.13	4.ETI		C5
-5.98	0.000	11.78	39.20	9.44	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 3 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 3 / 8 (POIDS = 14.00 EFFECTIF = 14)								cc3c
9.23	0.000	853.29	237.79	261.75	258.53	5.CRU		C6
8.46	0.000	960.71	308.40	170.40	299.06	2.LAM		C3
2.49	0.006	33.29	15.21	13.73	28.13	4.ETI		C5
-3.55	0.000	4.21	39.20	6.19	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 4 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 5 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 5 / 8 (POIDS = 22.00 EFFECTIF = 22)								cc5c
10.19	0.000	445.59	126.64	162.63	155.87	8.ESM		C9
5.41	0.000	71.95	51.20	14.97	19.09	6.BFI		C7
-3.12	0.001	75.55	237.79	46.62	258.53	5.CRU		C6
-3.22	0.001	103.55	199.31	45.96	147.95	3.IND		C4

CLASSE 6 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 6 / 8 (POIDS = 3.00 EFFECTIF = 3)								cc6c
11.58	0.000	1183.33	199.31	23.57	147.95	3.IND		C4
-4.67	0.000	0.00	51.20	0.00	19.09	6.BFI		C7

CLASSE 7 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 7 / 8 (POIDS = 48.00 EFFECTIF = 48)								cc7c
12.38	0.000	98.33	39.20	5.53	38.24	7.VOL		C8
3.94	0.000	3831.65	1915.78	2923.94	3895.13	9.SUR		C10
-2.83	0.002	44.46	51.20	18.49	19.09	6.BFI		C7
-4.27	0.000	0.21	15.21	0.58	28.13	4.ETI		C5
-5.40	0.000	21.48	126.64	60.87	155.87	8.ESM		C9
-6.83	0.000	17.27	237.79	25.95	258.53	5.CRU		C6
-7.91	0.000	12.83	308.40	18.61	299.06	2.LAM		C3

CLASSE 8 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------



Figure A2.8 : Arbre de classification hiérarchique

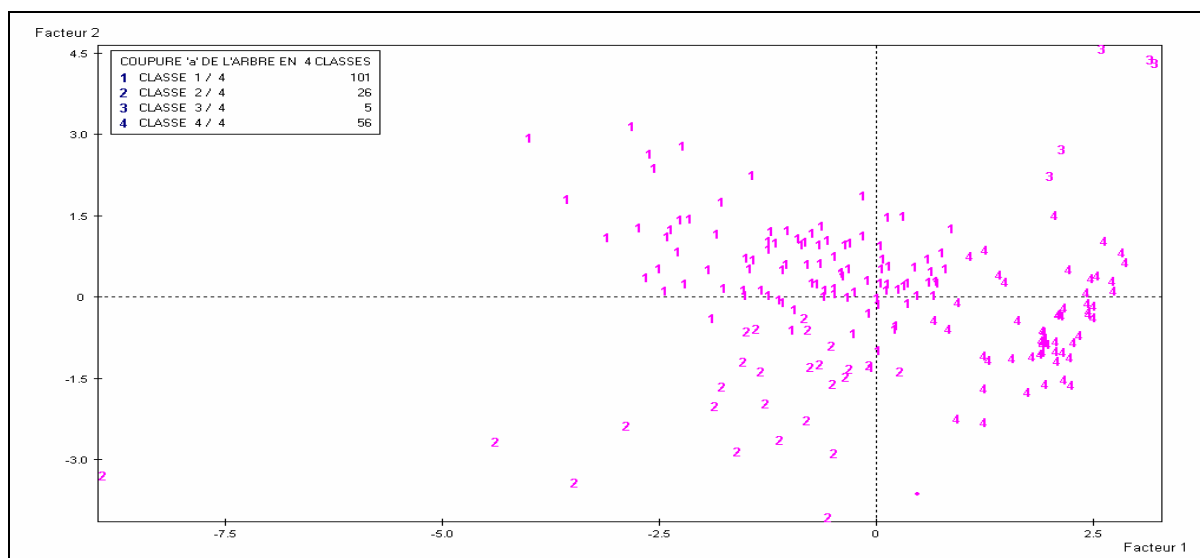


Figure A2.9 : Graphiques de situation des 4 classes de bassins versants de la classification hiérarchique (Plan principal 1x2)

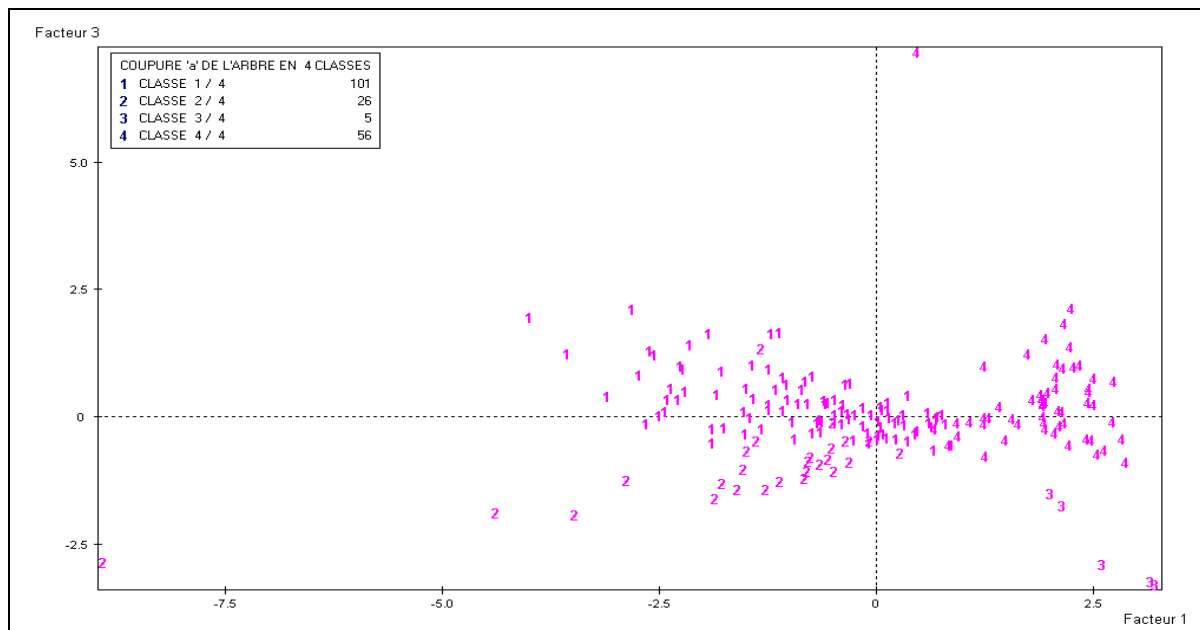


Figure A2.10 : Graphiques de situation des 4 classes de bassins versants de la classification hiérarchique (Plan principal 1x3)

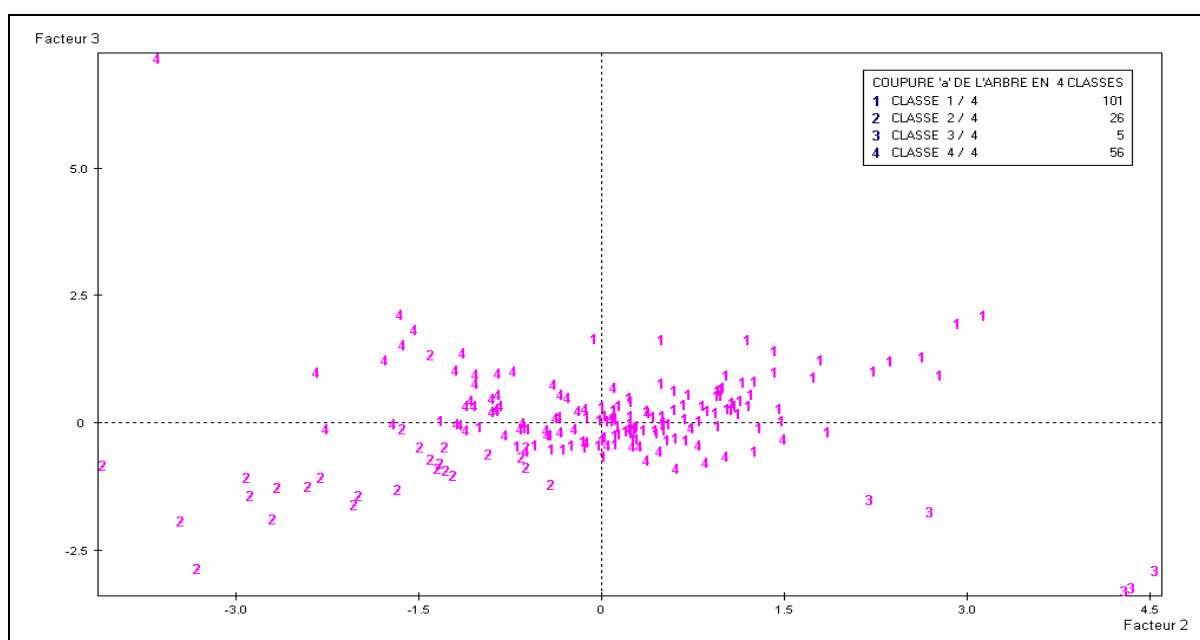


Figure A2.11 : Graphiques de situation des 4 classes de bassins versants de la classification hiérarchique (Plan principal 2x3)

A2.5 Résultats de la 2^{ème} Analyse en Composantes Principales Normée (ACP 10 variables explicatives)

LECTURE DE LA BASE DE DONNEES - LECTURE DU FICHER BASE
 NOM DE LA BASE : C:\Program Files\Cisia\Spad\Bases\BDTHESE.SBA
 NOMBRE D'INDIVIDUS : 188
 NOMBRE DE VARIABLES : 14
 SELECTION DES INDIVIDUS ET DES VARIABLES UTILES

VARIABLES CONTINUES ACTIVES 10 VARIABLES

```

2 . LAM ( CONTINUE )
3 . IND ( CONTINUE )
4 . ETI ( CONTINUE )
5 . CRU ( CONTINUE )
6 . BFI ( CONTINUE )
7 . VOL ( CONTINUE )
8 . ESM ( CONTINUE )
9 . SUR ( CONTINUE )
13 . C2M ( CONTINUE )
14 . C2MP ( CONTINUE )
  
```

INDIVIDUS

```

----- NOMBRE ----- POIDS ---
POIDS DES INDIVIDUS: Poids des individus, uniforme egal a 1. UNIF
RETENUS ..... NITOT = 188 PITOT = 188.000
ACTIFS ..... NIACT = 188 PIACT = 188.000
SUPPLEMENTAIRES .... NISUP = 0 PISUP = 0.000
  
```

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

STATISTIQUES SOMMAIRES DES VARIABLES CONTINUES
 EFFECTIF TOTAL : 188 POIDS TOTAL : 188.00

NUM .	IDEN -	LIBELLE	EFFECTIF	POIDS	MOYENNE	ECART-TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
2 .	C3	- LAM	188	188.00	308.40	299.06	0.00	1330.00
3 .	C4	- IND	188	188.00	199.31	147.95	20.00	1200.00
4 .	C5	- ETI	188	188.00	15.21	28.13	0.00	320.00
5 .	C6	- CRU	188	188.00	237.79	258.53	1.00	1422.00
6 .	C7	- BFI	188	188.00	51.20	19.09	0.00	94.00
7 .	C8	- VOL	188	188.00	39.20	38.24	0.00	100.00
8 .	C9	- ESM	188	188.00	126.64	155.87	0.00	770.00
9 .	C10	- SUR	188	188.00	1915.78	3895.13	0.40	43800.00
13 .	C14	- C2M	188	188.00	48.78	28.06	-83.84	84.73
14 .	C15	- C2MP	188	188.00	32.13	18.78	-69.55	63.54

MATRICE DES CORRELATIONS

	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C14	C15
C3	1.00									
C4	-0.20	1.00								
C5	0.56	-0.25	1.00							
C6	0.82	-0.13	0.24	1.00						
C7	0.17	-0.56	0.37	0.01	1.00					
C8	-0.66	0.00	-0.43	-0.57	-0.14	1.00				
C9	0.17	-0.37	0.60	-0.01	0.57	-0.37	1.00			
C10	-0.23	-0.06	-0.10	-0.12	0.06	0.24	-0.08	1.00		
C14	0.20	-0.24	-0.17	0.34	0.29	-0.08	-0.11	0.09	1.00	
C15	0.34	-0.15	0.05	0.45	0.20	-0.28	0.05	-0.13	0.74	1.00

MATRICE DES VALEURS-TESTS

	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C14	C15
C3	99.99									
C4	-2.80	99.99								
C5	8.77	-3.51	99.99							
C6	15.95	-1.82	3.32	99.99						
C7	2.30	-8.63	5.29	0.14	99.99					
C8	-10.90	-0.02	-6.29	-8.85	-1.93	99.99				
C9	2.42	-5.25	9.47	-0.10	8.80	-5.31	99.99			
C10	-3.18	-0.80	-1.39	-1.68	0.87	3.36	-1.08	99.99		
C14	2.77	-3.33	-2.35	4.92	4.16	-1.11	-1.58	1.31	99.99	
C15	4.87	-2.05	0.69	6.71	2.84	-3.90	0.69	-1.84	13.18	99.99

VALEURS PROPRES

APERCU DE LA PRECISION DES CALCULS : TRACE AVANT DIAGONALISATION .. 10.0000 SOMME DES VALEURS PROPRES 10.0000
 HISTOGRAMME DES 10 PREMIERES VALEURS PROPRES

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT.	POURCENT. CUMULE
1	3.4106	34.11	34.11
2	1.9721	19.72	53.83
3	1.7325	17.33	71.15
4	0.9244	9.24	80.40
5	0.7007	7.01	87.40
6	0.4409	4.41	91.81
7	0.3510	3.51	95.32
8	0.2280	2.28	97.60
9	0.1593	1.59	99.20
10	0.0804	0.80	100.00

H026	0.53	2.35	-0.21	0.25	-1.24	-0.39	-0.47	0.0	0.0	0.5	0.1	0.2	0.02	0.03	0.65	0.07	0.09
H027	0.53	2.34	-0.64	-0.69	-0.68	-0.49	-0.22	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.17	0.20	0.20	0.10	0.02
H028	0.53	1.83	-0.97	-0.53	-0.31	-0.37	-0.22	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.51	0.15	0.05	0.08	0.03
H029	0.53	2.42	-0.97	-0.66	-0.68	-0.14	-0.29	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.39	0.18	0.19	0.01	0.04
H030	0.53	19.24	-0.82	3.57	1.07	-0.70	-0.36	0.1	3.4	0.3	0.3	0.1	0.04	0.66	0.06	0.03	0.01
H031	0.53	1.47	-0.30	-0.89	-0.61	-0.39	-0.07	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.06	0.54	0.25	0.10	0.00
H032	0.53	10.21	-1.49	0.76	-1.45	1.73	-1.40	0.3	0.2	0.6	1.7	1.5	0.22	0.06	0.21	0.29	0.19
H033	0.53	3.02	-0.11	-0.90	-0.78	-0.96	-0.41	0.0	0.2	0.2	0.5	0.1	0.00	0.27	0.20	0.30	0.06
H034	0.53	1.19	0.03	0.06	-0.83	-0.30	-0.43	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.00	0.00	0.58	0.08	0.16
H035	0.53	3.18	-0.19	0.70	-1.08	-0.97	-0.28	0.0	0.1	0.4	0.5	0.1	0.01	0.16	0.37	0.30	0.02
H036	0.53	9.89	-0.12	2.75	-0.37	-0.88	-0.10	0.0	2.0	0.0	0.4	0.0	0.00	0.76	0.01	0.08	0.00
H037	0.53	13.51	0.13	2.98	-1.00	-1.05	0.03	0.0	2.4	0.3	0.6	0.0	0.00	0.66	0.07	0.08	0.00
H038	0.53	4.33	-0.51	1.09	-1.28	-0.12	-0.81	0.0	0.3	0.5	0.0	0.5	0.06	0.27	0.38	0.00	0.15
H039	0.53	14.86	-0.22	3.44	-0.10	-0.91	-0.14	0.0	3.2	0.0	0.5	0.0	0.00	0.80	0.00	0.06	0.00
H040	0.53	8.09	1.80	-1.16	-0.23	-0.84	0.02	0.5	0.4	0.0	0.4	0.0	0.40	0.17	0.01	0.09	0.00
H041	0.53	4.27	-0.16	1.32	-0.39	-0.89	-0.36	0.0	0.5	0.0	0.5	0.1	0.01	0.41	0.04	0.19	0.03
H042	0.53	3.66	1.15	-0.80	-0.23	-0.75	-0.15	0.2	0.2	0.0	0.3	0.0	0.36	0.17	0.01	0.15	0.01
H043	0.53	1.88	-0.38	0.94	-0.32	-0.54	-0.29	0.0	0.2	0.0	0.2	0.1	0.08	0.47	0.05	0.15	0.05
H044	0.53	3.31	-1.32	-1.12	-0.40	-0.31	-0.12	0.3	0.3	0.0	0.1	0.0	0.53	0.38	0.05	0.03	0.00
H045	0.53	3.35	-0.20	-1.52	0.51	-0.15	0.55	0.0	0.6	0.1	0.0	0.2	0.01	0.69	0.08	0.01	0.09
H046	0.53	3.18	-1.59	-0.26	-0.19	-0.36	-0.36	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.80	0.02	0.01	0.04	0.04
H047	0.53	3.06	-0.95	-1.12	-0.72	-0.42	-0.16	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.29	0.41	0.17	0.06	0.01
H048	0.53	5.04	-0.29	-1.38	1.23	-0.03	0.12	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.02	0.38	0.30	0.00	0.00
H049	0.53	2.58	-0.89	-1.01	-0.51	-0.53	0.03	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	0.31	0.40	0.10	0.11	0.00
H050	0.53	2.85	-0.13	0.59	-0.51	-0.54	0.03	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.01	0.12	0.09	0.10	0.00
H051	0.53	2.66	-1.04	-0.67	-0.83	-0.12	-0.35	0.2	0.1	0.2	0.0	0.1	0.41	0.17	0.26	0.01	0.05
H052	0.53	1.37	0.44	0.43	0.71	-0.32	0.29	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.14	0.14	0.37	0.08	0.06
H053	0.53	6.85	-0.44	0.77	-1.47	-0.98	-0.34	0.0	0.2	0.7	0.6	0.1	0.03	0.09	0.32	0.14	0.02
H054	0.53	4.68	-0.96	0.74	-1.12	-1.02	-0.77	0.1	0.1	0.4	0.6	0.4	0.20	0.12	0.27	0.22	0.13
H055	0.53	3.73	-0.62	1.09	-0.61	-0.89	-0.73	0.1	0.3	0.1	0.5	0.4	0.10	0.32	0.10	0.21	0.14
H056	0.53	4.59	-0.76	0.67	0.19	-0.71	-0.94	0.1	0.1	0.0	0.3	0.7	0.13	0.10	0.01	0.11	0.19
H057	0.53	17.67	-0.98	3.38	-0.37	-1.24	-0.73	0.2	3.1	0.0	0.9	0.4	0.05	0.65	0.01	0.09	0.03
H058	0.53	4.03	-0.10	-1.09	-0.17	-0.77	-0.20	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.00	0.30	0.01	0.15	0.01
H059	0.53	4.19	-0.30	1.38	0.60	-0.20	-0.34	0.0	0.5	0.1	0.0	0.1	0.02	0.45	0.09	0.01	0.03
H060	0.53	11.10	-0.84	2.46	-0.07	-1.10	-0.68	0.1	1.6	0.0	0.7	0.4	0.06	0.54	0.00	0.11	0.04
H061	0.53	120.07	0.32	1.46	-4.35	9.06	-3.87	0.0	0.6	5.8	47.2	11.4	0.00	0.02	0.16	0.68	0.12
H062	0.53	4.97	-1.51	-1.44	0.00	-0.28	-0.04	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.46	0.42	0.00	0.02	0.00
H063	0.53	1.77	-0.39	-0.48	-0.68	-0.81	-0.42	0.0	0.1	0.1	0.4	0.1	0.09	0.13	0.26	0.37	0.10
H064	0.53	3.43	0.56	1.34	-0.53	-0.79	-0.03	0.0	0.5	0.1	0.4	0.0	0.09	0.52	0.08	0.18	0.00
H065	0.53	35.50	-1.96	5.40	0.75	-0.53	-0.55	0.6	7.9	0.2	0.2	0.2	0.11	0.82	0.02	0.01	0.01
J066	0.53	5.97	-1.56	1.21	-0.38	-0.94	-0.82	0.4	0.4	0.0	0.5	0.5	0.41	0.25	0.02	0.15	0.11
J067	0.53	5.17	-1.27	-1.71	-0.37	-0.41	-0.09	0.3	0.8	0.0	0.1	0.0	0.31	0.57	0.03	0.03	0.00
J068	0.53	4.79	-1.73	-1.19	-0.13	-0.23	-0.01	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.62	0.29	0.00	0.01	0.00
J069	0.53	3.62	-1.05	0.07	-0.44	-0.49	-0.33	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.30	0.00	0.05	0.07	0.03
J070	0.53	6.78	-2.15	-0.43	-0.40	-0.43	-0.52	0.7	0.1	0.0	0.1	0.2	0.68	0.03	0.02	0.03	0.04
J071	0.53	3.26	-0.13	-0.84	-0.77	-0.59	-0.23	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.00	0.22	0.18	0.11	0.02
J072	0.53	1.44	-0.37	-0.79	-0.47	-0.56	-0.34	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.09	0.43	0.15	0.22	0.08

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
J073	0.53	1.76	0.08	-0.39	-0.57	-0.83	-0.37	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.00	0.09	0.18	0.39	0.08
K074	0.53	1.99	0.49	-0.63	-0.20	-0.57	0.51	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.12	0.20	0.02	0.16	0.13
K075	0.53	1.64	-0.54	-0.63	0.06	-0.43	0.24	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.18	0.25	0.00	0.11	0.04
K076	0.53	2.60	-0.78	-1.31	-0.05	0.13	0.07	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.23	0.65	0.00	0.01	0.00
K077	0.53	4.15	-0.97	-1.68	-0.42	0.08	-0.26	0.1	0.8	0.1	0.0	0.1	0.23	0.68	0.04	0.00	0.02
K078	0.53	1.92	-0.80	-0.82	-0.22	-0.40	-0.35	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.33	0.35	0.03	0.08	0.07
K079	0.53	3.58	-0.37	-1.32	-1.02	-0.13	-0.62	0.0	0.5	0.3	0.0	0.3	0.04	0.49	0.29	0.00	0.11
K080	0.53	25.92	-3.08	-2.46	1.44	1.33	1.81	1.5	1.6	0.6	1.0	2.5	0.37	0.23	0.08	0.07	0.13
K081	0.53	3.20	-0.60	-0.27	0.94	0.31	0.89	0.1	0.0	0.3	0.1	0.6	0.11	0.02	0.28	0.03	0.25
K082	0.53	4.52	-1.42	-0.93	0.32	0.35	0.66	0.3	0.2	0.0	0.1	0.3	0.45	0.19	0.02	0.03	0.10
K083	0.53	3.22	-1.42	-0.77	-0.23	0.27	0.11	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.62	0.18	0.02	0.02	0.00
K084	0.53	7.24	1.20	1.09	1.49	0.11	1.14	0.2	0.3	0.7	0.0	1.0	0.20	0.16	0.30	0.00	0.18
K085	0.53	1.73	-1.11	0.16	-0.07	-0.10	0.04	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.71	0.02	0.00	0.01	0.00
K086	0.53	175.19	-6.19	8.83	4.80	1.51	0.00	6.0	21.0	7.1	1.3	0.0	0.22	0.45	0.13	0.01	0.00
K087	0.53	1.55	0.35	-0.82	-0.42	-0.57	0.09	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.08	0.43	0.11	0.21	0.01
K088	0.53	1.59	0.57	0.04	-0.48	-0.77	0.28	0.1	0.0	0.1	0.3	0.1	0.20	0.00	0.14	0.38	0.05
K089	0.53	0.71	-0.38	0.05	0.20	0.29	0.14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.20	0.00	0.05	0.12	0.03
L090	0.53	7.98	-2.72	-0.11	-0.18	0.08	-0.24	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.93	0.00	0.00	0.00	0.01
L091	0.53	3.34	-1.37	-0.32	0.38	0.35	0.43	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.57	0.03	0.04	0.04	0.05
L092	0.53	7.74	-2.62	-0.52	-0.45	0.31	-0.31	1.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.89	0.03	0.03	0.01	0.01
L093	0.53	8.34	0.02	0.90	-0.96	-0.87	0.51	0.0	0.2	0.3	0.4	0.2	0.00	0.10	0.11	0.09	0.03
L094	0.53	1.94	0.65	0.06	-0.67	-0.97	-0.10	0.1	0.0	0.1	0.5	0.0	0.22	0.00	0.23	0.49	0.01
M095	0.53	11.29	2.45	-1.16	0.67	-0.66	0.07	0.9	0.4	0.1	0.3	0.0	0.53	0.12	0.04	0.04	0.00
N096	0.53	1.90	-0.28	-1.08	-0.33	-0.57	-0.11	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.04	0.61	0.06	0.17	0.01
O097	0.53	3.18	-0.47	-1.41	-0.07	-0.45	0.23	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	0.07	0.62	0.00	0.06	0.02
O098	0.53	1.49	0.30	-0.90	-0.21	-0.63	-0.10	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.06	0.54	0.03	0.27	0.01
O099	0.53	11.38	-2.07	-2.38	0.52	0.28	0.49	0.7	1.5	0.1	0.0	0.2	0.38	0.50	0.02	0.01	0.02
O100	0.53	3.05	-1.12	-0.57	0.64	0.23	0.74	0.2	0.1	0.1	0.0	0.4	0.42	0.11	0.14	0.02	0.18

V123	0.53	2.03	0.26	-0.83	-0.46	-0.65	0.25	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	0.03	0.34	0.10	0.21	0.03
V124	0.53	4.36	-0.91	0.67	1.34	0.27	0.85	0.1	0.1	0.6	0.0	0.6	0.19	0.10	0.41	0.02	0.17
V125	0.53	5.34	-0.86	1.12	1.01	0.17	0.59	0.1	0.3	0.3	0.0	0.3	0.14	0.24	0.19	0.01	0.06
Y126	0.53	8.65	-0.43	2.13	1.42	0.10	0.24	0.0	1.2	0.6	0.0	0.0	0.02	0.53	0.23	0.00	0.01
Y127	0.53	17.96	1.55	1.76	2.55	0.93	1.37	0.4	0.8	2.0	0.5	1.4	0.13	0.17	0.36	0.05	0.10
Y128	0.53	4.23	1.34	-0.25	0.97	-0.19	0.82	0.3	0.0	0.3	0.0	0.5	0.42	0.02	0.22	0.01	0.16
Y129	0.53	7.89	-2.54	-0.64	0.68	0.27	0.24	1.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.82	0.05	0.26	0.01	0.01
Y130	0.53	3.16	1.04	-0.31	0.83	-0.02	1.05	0.2	0.0	0.2	0.0	0.8	0.34	0.03	0.22	0.00	0.35
W001	0.53	3.77	-0.68	-1.51	0.06	-0.36	0.11	0.1	0.6	0.0	1.0	0.0	0.12	0.60	0.00	0.03	0.00
W002	0.53	9.22	2.00	-1.32	-0.52	-0.99	-0.58	0.6	0.5	0.1	0.6	0.3	0.43	0.19	0.03	0.11	0.04
W003	0.53	5.48	1.64	1.01	-0.57	-0.16	0.21	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.49	0.19	0.06	0.00	0.01
W004	0.53	6.80	1.70	-0.70	-1.00	-0.87	0.49	0.5	0.1	0.3	0.4	0.2	0.43	0.07	0.15	0.11	0.03
W005	0.53	16.34	2.65	1.06	-1.32	2.44	0.03	1.1	0.3	0.5	3.4	0.0	0.43	0.07	0.11	0.36	0.00
W006	0.53	11.51	1.84	-0.03	-2.26	1.52	-0.34	0.5	0.0	1.6	1.3	0.1	0.29	0.00	0.44	0.20	0.01
W007	0.53	14.45	3.25	0.86	0.45	1.26	1.01	1.7	0.2	0.1	0.9	0.8	0.73	0.05	0.01	0.11	0.07
W008	0.53	15.64	3.21	-0.24	0.95	0.01	-1.08	1.6	0.0	0.3	0.0	0.9	0.66	0.00	0.06	0.00	0.08
W009	0.53	13.79	2.75	1.26	0.21	0.11	0.47	1.2	0.4	0.0	0.0	0.2	0.55	0.11	0.00	0.00	0.02
W010	0.53	14.60	3.38	0.92	0.80	0.94	0.73	1.8	0.2	0.2	0.5	0.4	0.78	0.06	0.04	0.06	0.04
W011	0.53	15.92	2.47	1.09	1.84	1.31	0.05	1.0	0.3	1.0	1.0	0.0	0.38	0.07	0.21	0.11	0.00
W012	0.53	13.01	2.95	0.77	-0.28	1.34	1.10	1.4	0.2	0.0	1.0	0.9	0.67	0.05	0.01	0.14	0.09
W013	0.53	12.46	3.25	0.12	0.68	0.67	0.00	1.6	0.0	0.1	0.3	0.0	0.85	0.00	0.04	0.04	0.00
W014	0.53	9.37	2.85	0.16	0.39	-0.12	0.46	1.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.86	0.00	0.02	0.00	0.02
W015	0.53	10.28	2.95	0.12	0.80	-0.12	0.64	1.4	0.0	0.2	0.0	0.3	0.85	0.00	0.06	0.00	0.04
Z101	0.53	10.59	1.50	0.75	1.82	0.32	1.66	0.4	0.1	1.0	0.1	2.1	0.21	0.05	0.31	0.01	0.26

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Z102	0.53	11.90	1.09	0.07	2.22	0.51	1.32	0.2	0.0	1.5	0.1	1.3	0.10	0.00	0.41	0.02	0.15
Z103	0.53	66.05	4.59	2.20	5.79	1.14	0.95	3.3	1.3	10.3	0.7	0.7	0.32	0.07	0.51	0.02	0.01
Z104	0.53	54.09	2.83	-2.42	4.81	-0.40	-3.86	1.2	1.6	7.1	0.1	11.3	0.15	0.11	0.43	0.00	0.28
Z105	0.53	60.28	3.53	-2.14	4.88	-0.52	-4.19	1.9	1.2	7.3	0.2	13.3	0.21	0.08	0.39	0.00	0.29
Z106	0.53	61.86	3.86	-1.76	5.11	-0.33	-3.97	2.3	0.8	8.0	0.1	11.9	0.24	0.05	0.42	0.00	0.25
Z107	0.53	22.41	2.71	-0.92	3.42	-0.19	-1.34	1.1	0.2	3.6	0.0	1.4	0.33	0.04	0.52	0.00	0.08
Z108	0.53	11.02	1.99	0.39	1.82	-0.15	0.45	0.6	0.0	1.0	0.0	0.2	0.36	0.01	0.30	0.00	0.02
Z109	0.53	15.99	3.16	0.08	0.40	1.02	1.16	1.6	0.0	0.1	0.6	1.0	0.62	0.00	0.01	0.06	0.08
Z110	0.53	9.15	2.65	-0.06	-0.16	0.34	0.88	1.1	0.0	0.0	0.1	0.6	0.77	0.00	0.00	0.01	0.08
Z111	0.53	6.47	1.76	0.06	-0.94	-0.49	0.66	0.5	0.0	0.3	0.1	0.3	0.48	0.00	0.14	0.04	0.07
Z112	0.53	7.88	2.40	-0.37	-0.68	0.45	0.40	0.9	0.0	0.1	0.1	0.1	0.73	0.02	0.06	0.03	0.02
Z113	0.53	9.83	2.79	0.19	-0.24	0.80	0.71	1.2	0.0	0.0	0.4	0.4	0.79	0.00	0.01	0.06	0.05
Z114	0.53	12.99	2.93	-0.72	0.71	-0.20	0.56	1.3	0.1	0.2	0.0	0.2	0.66	0.04	0.04	0.00	0.02
Z115	0.53	18.81	2.70	-0.10	2.46	1.00	-0.81	1.1	0.0	1.9	0.6	0.5	0.39	0.00	0.32	0.05	0.03
Z116	0.53	6.69	2.11	0.23	-1.23	0.55	0.39	0.7	0.0	0.5	0.2	0.1	0.66	0.01	0.23	0.05	0.02
Z117	0.53	5.63	1.74	0.27	-1.24	-0.23	0.49	0.5	0.0	0.5	0.0	0.2	0.54	0.01	0.27	0.01	0.04
Z118	0.53	7.49	1.02	1.40	-1.79	-0.43	-0.05	0.2	0.5	1.0	0.1	0.0	0.14	0.26	0.43	0.03	0.00
Z119	0.53	10.32	1.13	-0.16	-2.66	0.29	-0.26	0.2	0.0	2.2	0.0	0.1	0.12	0.00	0.69	0.01	0.01
Z120	0.53	5.27	1.90	0.00	-0.85	-0.43	0.56	0.6	0.0	0.2	0.1	0.2	0.68	0.00	0.14	0.04	0.06
Z121	0.53	5.50	1.17	0.75	-1.65	-0.44	0.13	0.2	0.2	0.8	0.1	0.0	0.25	0.10	0.49	0.04	0.00
Z122	0.53	5.76	1.84	0.03	-1.23	-0.18	0.29	0.5	0.0	0.5	0.0	0.1	0.59	0.00	0.26	0.01	0.01
Z123	0.53	7.40	1.80	-0.11	-1.78	0.63	-0.09	0.5	0.0	1.0	0.2	0.0	0.44	0.00	0.43	0.05	0.00
Z124	0.53	5.89	1.85	0.19	-1.33	-0.01	0.48	0.5	0.0	0.5	0.0	0.2	0.58	0.01	0.30	0.00	0.04
Z125	0.53	11.56	1.27	1.12	-2.28	0.08	0.63	0.3	0.3	1.6	0.0	0.3	0.14	0.11	0.45	0.00	0.03
Z126	0.53	6.18	1.99	0.37	-1.05	0.03	0.29	0.6	0.0	0.3	0.0	0.1	0.64	0.02	0.18	0.00	0.01
Z127	0.53	24.45	-0.28	3.37	-2.20	-1.18	-0.69	0.0	3.1	1.5	0.8	0.4	0.00	0.47	0.20	0.06	0.02
Z128	0.53	6.06	1.97	-0.55	-0.79	-0.44	0.40	0.6	0.1	0.2	0.1	0.1	0.64	0.05	0.10	0.03	0.03
Z129	0.53	5.46	1.75	-0.15	-1.33	-0.24	0.32	0.5	0.0	0.5	0.0	0.1	0.56	0.00	0.32	0.01	0.02
Z130	0.53	3.19	1.14	0.34	-1.17	-0.57	0.16	0.2	0.0	0.4	0.2	0.0	0.41	0.04	0.43	0.10	0.01
Z131	0.53	9.75	1.54	-0.05	-2.41	0.94	-0.14	0.4	0.0	1.8	0.5	0.0	0.24	0.00	0.60	0.09	0.00
Z132	0.53	9.45	2.06	-0.11	-1.80	1.23	0.00	0.7	0.0	1.0	0.9	0.0	0.45	0.00	0.34	0.16	0.00
Z133	0.53	7.45	2.05	0.01	-1.50	0.77	0.09	0.7	0.0	0.7	0.3	0.0	0.56	0.00	0.30	0.08	0.00
Z134	0.53	5.62	1.96	-0.43	-0.88	-0.25	0.36	0.6	0.0	0.2	0.0	0.1	0.68	0.03	0.14	0.01	0.02
Z135	0.53	5.84	2.01	0.03	-1.13	0.22	0.40	0.6	0.0	0.4	0.0	0.1	0.69	0.00	0.22	0.01	0.03
Z136	0.53	6.12	1.96	0.08	-1.21	0.15	0.52	0.6	0.0	0.5	0.0	0.2	0.63	0.00	0.24	0.00	0.04
Z137	0.53	16.15	2.99	1.73	0.70	0.51	1.71	1.4	0.8	0.1	0.2	2.2	0.55	0.18	0.03	0.02	0.18
Z138	0.53	8.26	2.21	-0.10	-1.37	0.93	0.14	0.8	0.0	0.6	0.5	0.0	0.59	0.00	0.23	0.10	0.00
Z139	0.53	5.38	1.38	0.26	-1.23	-0.33	0.00	0.3	0.0	0.5	0.1	0.0	0.35	0.01	0.28	0.02	0.00
Z140	0.53	7.42	2.44	0.36	0.05	-0.03	1.00	0.9	0.0	0.0	0.0	0.8	0.80	0.02	0.00	0.00	0.13
Z141	0.53	5.42	2.00	0.49	-0.04	-0.35	0.94	0.6	0.1	0.0	0.1	0.7	0.74	0.05	0.00	0.02	0.16
Z142	0.53	5.56	1.97	0.14	-0.66	-0.59	0.63	0.6	0.0	0.1	0.2	0.3	0.70	0.00	0.08	0.06	0.07
Z143	0.53	4.72	0.33	-0.51	-0.40	-0.59	-0.96	0.0	0.1	0.0	0.2	0.7	0.02	0.05	0.03	0.07	0.20

AXES 6 A 10

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
A001	0.53	1.55	0.30	0.12	0.57	0.30	0.39	0.1	0.0	0.8	0.3	1.0	0.06	0.01	0.21	0.06	0.10
A002	0.53	34.59	-0.50	-0.04	-1.63	-0.08	-0.62	0.3	0.0	6.2	0.0	2.5	0.01	0.00	0.08	0.00	0.01
A003	0.53	21.49	-0.56	-0.06	-0.95	-0.01	-0.58	0.4	0.0	2.1	0.0	2.2	0.01	0.00	0.04	0.00	0.02
A004	0.53	8.09	-0.47	0.21	0.21	0.41	0.07	0.3	0.1	0.1	0.6	0.0	0.03	0.01	0.01	0.02	0.00
A005	0.53	2.09	0.03	-0.69	-0.05	-0.14	-0.21	0.0	0.7	0.0	0.1	0.3	0.00	0.23	0.00	0.01	0.02
A006	0.53	4.86	-0.18	-0.57	-0.23	-0.42	-0.28	0.0	0.5	0.1	0.6	0.5	0.01	0.07	0.01	0.04	0.02
A007	0.53	5.98	-0.15	-0.95	0.07	0.63	-0.19	0.0	1.4	0.0	1.3	0.2	0.00	0.15	0.00	0.07	

H025	0.53	2.14	0.14	0.51	0.24	0.09	0.00	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.01	0.12	0.03	0.00	0.00
H026	0.53	2.35	0.24	0.45	0.11	0.24	-0.09	0.1	0.3	0.0	0.2	0.1	0.02	0.09	0.01	0.02	0.00
H027	0.53	2.34	0.22	0.75	0.28	-0.12	0.03	0.1	0.9	0.2	0.0	0.0	0.02	0.24	0.03	0.01	0.00
H028	0.53	1.83	0.09	0.43	0.26	0.25	0.08	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0	0.00	0.10	0.04	0.03	0.00
H029	0.53	2.42	0.19	0.62	-0.02	0.16	-0.20	0.0	0.6	0.0	0.1	0.3	0.02	0.16	0.00	0.01	0.02
H030	0.53	19.24	0.99	-1.67	-0.40	-0.30	0.27	1.2	4.2	0.4	0.3	0.5	0.05	0.14	0.01	0.00	0.00
H031	0.53	1.47	0.03	-0.06	0.17	-0.10	-0.12	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
H032	0.53	10.21	0.54	-0.08	0.23	0.15	-0.11	0.4	0.0	0.1	0.1	0.1	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
H033	0.53	3.02	-0.23	-0.05	0.18	-0.65	0.01	0.1	0.0	0.1	1.4	0.0	0.02	0.00	0.01	0.14	0.00
H034	0.53	1.19	0.30	0.14	0.18	0.23	-0.13	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.08	0.02	0.03	0.04	0.02
H035	0.53	3.18	0.47	0.34	0.10	-0.33	-0.10	0.3	0.2	0.0	0.4	0.1	0.07	0.04	0.00	0.04	0.00
H036	0.53	9.89	0.94	-0.16	-0.66	0.17	0.09	1.1	0.0	1.0	0.1	0.1	0.09	0.00	0.04	0.00	0.00
H037	0.53	13.51	0.46	-0.26	-1.35	0.55	0.27	0.3	0.1	4.3	1.0	0.5	0.02	0.01	0.14	0.02	0.01
H038	0.53	4.33	0.66	0.18	0.03	0.30	-0.08	0.5	0.1	0.0	0.3	0.0	0.10	0.01	0.00	0.02	0.00
H039	0.53	14.86	1.00	-0.35	-0.96	-0.09	0.22	1.2	0.2	2.2	0.0	0.3	0.07	0.01	0.06	0.00	0.00
H040	0.53	8.09	-1.23	-1.04	-0.28	0.24	0.13	1.8	1.6	0.2	0.2	0.1	0.19	0.13	0.01	0.01	0.00
H041	0.53	4.27	0.47	-1.09	-0.06	-0.02	0.17	0.3	1.8	0.0	0.0	0.2	0.05	0.28	0.00	0.00	0.01
H042	0.53	3.66	-0.79	-0.55	-0.36	-0.09	0.06	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.17	0.08	0.04	0.00	0.00
H043	0.53	1.88	0.36	-0.34	-0.08	0.36	-0.07	0.2	0.2	0.0	0.4	0.0	0.07	0.06	0.00	0.07	0.00
H044	0.53	3.31	-0.01	0.11	0.03	-0.17	-0.04	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
H045	0.53	3.35	-0.13	-0.48	0.12	-0.12	0.37	0.0	0.3	0.0	0.0	0.9	0.00	0.07	0.00	0.00	0.04
H046	0.53	3.18	0.09	0.20	0.43	0.21	0.07	0.0	0.1	0.4	0.2	0.0	0.00	0.01	0.06	0.01	0.00
H047	0.53	3.06	0.04	0.34	0.23	-0.13	0.05	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.00	0.04	0.02	0.01	0.00
H048	0.53	5.04	0.27	-0.41	0.82	0.38	0.67	0.1	0.3	1.6	0.5	3.0	0.01	0.03	0.13	0.03	0.09
H049	0.53	2.58	0.04	0.25	0.28	-0.24	0.16	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.00	0.02	0.03	0.02	0.01
H050	0.53	2.85	0.65	0.88	0.51	0.69	-0.07	0.5	1.2	0.6	1.6	0.0	0.15	0.27	0.09	0.16	0.00
H051	0.53	2.66	0.19	0.45	0.24	0.05	-0.04	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.01	0.08	0.02	0.00	0.00
H052	0.53	1.37	0.40	-0.17	0.08	-0.31	-0.02	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.12	0.02	0.00	0.07	0.00
H053	0.53	6.85	0.64	1.49	0.38	0.19	-0.13	0.5	3.4	0.3	0.1	0.1	0.06	0.32	0.02	0.01	0.00
H054	0.53	4.68	0.41	0.09	0.17	0.32	-0.06	0.2	0.0	0.1	0.3	0.0	0.04	0.00	0.01	0.02	0.00
H055	0.53	3.73	0.48	-0.36	0.05	0.27	0.03	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.06	0.03	0.00	0.02	0.00
H056	0.53	4.59	0.52	-1.03	0.24	0.87	-0.09	0.3	1.6	0.1	2.5	0.1	0.06	0.23	0.01	0.17	0.00
H057	0.53	17.67	0.88	-0.72	-1.00	-0.82	0.34	0.9	0.8	2.3	2.2	0.7	0.04	0.03	0.06	0.04	0.01
H058	0.53	4.03	-0.43	-1.38	0.10	-0.24	0.00	0.2	2.9	0.0	0.2	0.0	0.05	0.47	0.00	0.01	0.00
H059	0.53	4.19	0.58	-0.89	-0.07	0.73	-0.10	0.4	1.2	0.0	1.8	0.1	0.08	0.19	0.00	0.13	0.00
H060	0.53	11.10	0.71	-1.38	-0.40	-0.18	0.28	0.6	2.9	0.4	0.1	0.5	0.05	0.17	0.01	0.00	0.01
H061	0.53	120.07	0.96	-0.57	0.29	-0.44	0.63	1.1	0.5	0.2	0.7	2.6	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
H062	0.53	4.97	-0.30	-0.56	-0.10	-0.33	0.02	0.1	0.5	0.0	0.4	0.0	0.02	0.06	0.00	0.02	0.00
H063	0.53	1.77	0.04	0.08	0.22	-0.17	-0.05	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00
H064	0.53	3.43	0.35	0.00	-0.51	0.19	-0.01	0.2	0.0	0.6	0.1	0.0	0.04	0.00	0.07	0.01	0.00
H065	0.53	35.50	0.86	-0.20	-0.68	0.36	-0.03	0.9	0.1	1.1	0.4	0.0	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
J066	0.53	5.97	0.14	-0.48	0.27	-0.10	0.13	0.0	0.4	0.2	0.0	0.1	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00
J067	0.53	5.17	-0.33	0.25	-0.03	-0.13	0.36	0.1	0.1	0.0	0.1	0.9	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03
J068	0.53	4.79	-0.12	0.42	0.14	0.07	0.33	0.0	0.3	0.0	0.0	0.7	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02
J069	0.53	3.62	0.27	1.10	0.47	0.68	0.13	0.1	1.8	0.5	1.5	0.1	0.02	0.33	0.06	0.13	0.00
J070	0.53	6.78	-0.09	0.91	0.55	0.20	0.41	0.0	1.3	0.7	0.1	1.1	0.00	0.12	0.04	0.01	0.02
J071	0.53	3.26	0.12	1.22	0.13	0.16	-0.05	0.0	2.2	0.0	0.1	0.0	0.00	0.45	0.01	0.01	0.00
J072	0.53	1.44	-0.10	0.08	0.09	0.11	-0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
J073	0.53	1.76	0.19	0.44	0.46	-0.03	-0.01	0.0	0.3	0.5	0.0	0.0	0.02	0.11	0.12	0.00	0.00

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P. REL	DISTO	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
K074	0.53	1.99	0.19	-0.23	0.76	-0.22	0.12	0.0	0.1	1.3	0.2	0.1	0.02	0.03	0.29	0.02	0.01
K075	0.53	1.64	0.10	0.03	0.59	-0.27	0.52	0.0	0.0	0.8	0.2	1.8	0.01	0.00	0.21	0.05	0.16
K076	0.53	2.60	0.11	-0.16	-0.19	-0.39	-0.20	0.0	0.0	0.1	0.5	0.3	0.00	0.01	0.01	0.06	0.01
K077	0.53	4.15	-0.06	-0.18	-0.12	-0.25	-0.14	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
K078	0.53	1.92	0.09	-0.38	0.32	0.07	-0.08	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.00	0.07	0.05	0.00	0.00
K079	0.53	3.58	-0.30	-0.30	0.03	-0.27	-0.07	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00
K080	0.53	25.92	0.42	0.18	-1.69	0.02	-0.46	0.2	0.1	6.6	0.0	1.4	0.01	0.00	0.11	0.00	0.01
K081	0.53	3.20	0.73	0.46	-0.15	-0.46	-0.06	0.6	0.3	0.1	0.7	0.0	0.17	0.07	0.01	0.07	0.00
K082	0.53	4.52	0.38	0.22	-0.57	-0.57	-0.34	0.2	0.1	0.8	1.1	0.8	0.03	0.01	0.07	0.07	0.03
K083	0.53	3.22	0.28	-0.17	-0.21	-0.45	-0.35	0.1	0.0	0.1	0.7	0.8	0.02	0.01	0.01	0.06	0.04
K084	0.53	7.24	0.90	0.17	0.22	-0.48	0.00	1.0	0.0	0.1	0.8	0.0	0.11	0.00	0.01	0.03	0.00
K085	0.53	1.73	0.43	0.19	0.30	-0.39	0.03	0.2	0.1	0.2	0.5	0.0	0.10	0.02	0.05	0.09	0.00
K086	0.53	175.19	-5.61	0.25	1.16	-0.64	-0.53	38.0	0.1	3.1	1.4	1.8	0.18	0.00	0.01	0.00	0.00
K087	0.53	1.55	-0.16	-0.10	0.05	-0.46	-0.10	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.02	0.01	0.00	0.14	0.01
K088	0.53	1.59	0.08	-0.01	0.21	-0.55	-0.04	0.0	0.0	0.1	1.0	0.0	0.00	0.00	0.03	0.19	0.00
K089	0.53	0.71	0.55	-0.06	0.21	-0.22	-0.11	0.4	0.0	0.1	0.2	0.1	0.44	0.00	0.06	0.07	0.02
L090	0.53	7.98	-0.34	0.21	0.35	0.40	0.08	0.1	0.1	0.3	0.5	0.0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
L091	0.53	3.34	0.51	0.42	0.31	0.61	-0.03	0.3	0.3	0.2	1.2	0.0	0.08	0.05	0.03	0.11	0.00
L092	0.53	7.74	-0.11	0.25	0.19	0.28	-0.07	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
L093	0.53	8.34	1.04	1.11	0.92	-1.54	-0.16	1.3	1.9	2.0	7.9	0.2	0.13	0.15	0.10	0.28	0.00
L094	0.53	1.94	-0.17	-0.09	-0.02	-0.26	0.04	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00
M095	0.53	11.29	-1.27	-1.12	-0.38	-0.21	0.07	1.9	1.9	0.3	0.2	0.0	0.14	0.11	0.01	0.00	0.00
N096	0.53	1.90	0.09	0.32	0.18	-0.27	-0.05	0.0	0.2	0.1	0.3	0.0	0.00	0.05	0.02	0.04	0.00
O097	0.53	3.18	-0.10	-0.71	0.13	-0.44	-0.08	0.0	0.8	0.0	0.6	0.0	0.00	0.16	0.01	0.06	0.00
O098	0.53	1.49	-0.02	0.08	0.14	-0.29	-0.15	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.00	0.00	0.01	0.06	0.02
O099	0.53	11.38	-0.10	-0.12	-0.84	-0.22	-0.18	0.0	0.0	1.6	0.2	0.2	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00

V122	0.53	13.81	-0.66	0.72	0.29	-0.10	1.08	0.5	0.8	0.2	0.0	7.7	0.03	0.04	0.01	0.00	0.08
V123	0.53	2.03	0.09	-0.28	0.70	0.08	0.02	0.0	0.1	1.1	0.0	0.0	0.00	0.04	0.24	0.00	0.00
V124	0.53	4.36	0.49	0.10	0.38	-0.02	0.28	0.3	0.0	0.3	0.0	0.5	0.06	0.00	0.03	0.00	0.02
V125	0.53	5.34	0.68	0.77	0.67	0.60	0.27	0.6	0.9	1.0	1.2	0.5	0.09	0.11	0.08	0.07	0.01
Y126	0.53	8.65	0.95	0.26	-0.08	-0.92	-0.03	1.1	0.1	0.0	2.8	0.0	0.10	0.01	0.00	0.10	0.00
Y127	0.53	17.96	1.45	0.62	-0.44	-0.59	-0.42	2.5	0.6	0.5	1.2	1.1	0.12	0.02	0.00	0.10	0.02
Y128	0.53	4.23	-0.05	-0.65	-0.25	-0.47	-0.15	0.0	0.6	0.1	0.7	0.2	0.00	0.10	0.01	0.05	0.01
Y129	0.53	7.89	-0.05	0.62	-0.13	0.13	0.09	0.0	0.6	0.0	0.1	0.1	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
Y130	0.53	3.16	0.21	-0.28	0.15	0.23	0.02	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00
W001	0.53	3.77	0.05	-0.77	0.45	-0.27	0.07	0.0	0.9	0.5	0.3	0.0	0.00	0.16	0.05	0.02	0.00
W002	0.53	9.22	-1.34	-0.26	-0.20	0.07	0.07	2.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00
W003	0.53	5.48	0.08	1.02	-0.32	-0.44	-0.13	0.0	1.6	0.2	0.6	0.1	0.00	0.19	0.02	0.03	0.00
W004	0.53	6.80	-0.98	-0.65	0.15	-0.11	0.02	1.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.14	0.06	0.00	0.00	0.00
W005	0.53	16.34	-0.10	0.41	-0.15	-0.50	0.11	0.0	0.2	0.1	0.8	0.1	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
W006	0.53	11.51	-0.63	-0.04	0.08	-0.44	0.14	0.5	0.0	0.0	0.6	0.1	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00
W007	0.53	14.45	-0.17	-0.50	-0.04	0.08	0.03	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
W008	0.53	15.64	-0.83	1.28	-0.89	0.25	-0.02	0.8	2.5	1.8	0.2	0.0	0.04	0.10	0.05	0.00	0.00
W009	0.53	13.79	0.08	1.96	-0.64	0.15	-0.29	0.0	5.8	1.0	0.1	0.5	0.00	0.28	0.03	0.00	0.01
W010	0.53	14.60	-0.11	0.30	-0.29	0.34	-0.08	0.0	0.1	0.2	0.4	0.0	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
W011	0.53	15.92	1.40	-0.29	1.03	-0.64	-0.24	2.4	4.1	2.5	1.4	0.4	0.12	0.01	0.07	0.03	0.00
W012	0.53	13.01	-0.04	-0.24	0.19	0.73	-0.09	0.0	0.1	0.1	1.8	0.1	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
W013	0.53	12.46	-0.48	0.38	-0.38	0.68	-0.06	0.3	0.2	0.3	1.6	0.0	0.02	0.01	0.01	0.04	0.00
W014	0.53	9.37	-0.44	0.42	-0.23	0.65	-0.15	0.2	0.3	0.1	1.4	0.1	0.02	0.02	0.01	0.05	0.00
W015	0.53	10.28	-0.52	-0.06	-0.28	0.35	-0.07	0.3	0.0	0.2	0.4	0.0	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00
Z101	0.53	10.59	0.27	0.50	-0.01	-0.41	1.06	0.1	0.4	0.0	0.6	7.4	0.01	0.02	0.00	0.02	0.11
Z102	0.53	11.90	-0.03	0.95	-0.26	0.04	1.68	0.0	1.4	0.2	0.0	18.6	0.00	0.08	0.01	0.00	0.24

INDIVIDUS			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES				
IDENTIFICATEUR	P.REL	DISTO	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
Z103	0.53	66.05	1.98	0.23	0.39	0.27	-0.42	4.7	0.1	0.4	0.2	1.2	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Z104	0.53	54.09	-0.70	0.80	-0.70	-0.33	0.60	0.6	1.0	1.1	0.4	2.4	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Z105	0.53	60.28	-0.51	0.85	-0.74	-0.27	-0.08	0.3	1.1	1.3	0.2	0.0	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Z106	0.53	61.86	-0.25	1.16	-0.63	0.26	-0.13	0.1	2.0	0.9	0.2	0.1	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Z107	0.53	22.41	0.36	-0.56	0.41	-0.16	-0.24	0.2	0.5	0.4	0.1	0.4	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Z108	0.53	11.02	1.15	-0.60	1.25	-0.12	-0.37	1.6	0.5	3.6	0.0	0.9	0.12	0.03	0.14	0.00	0.01
Z109	0.53	15.99	-0.54	-1.71	0.32	0.37	0.13	0.3	4.4	0.2	0.5	0.1	0.02	0.18	0.01	0.01	0.00
Z110	0.53	9.15	-0.51	-0.73	0.20	0.62	-0.05	0.3	0.8	0.1	1.3	0.0	0.03	0.06	0.00	0.04	0.00
Z111	0.53	6.47	-0.75	-0.41	-0.07	-1.03	0.08	0.7	0.3	0.0	3.6	0.0	0.09	0.03	0.00	0.16	0.00
Z112	0.53	7.88	-0.69	-0.65	0.17	0.49	0.01	0.6	0.6	0.1	0.8	0.0	0.06	0.05	0.00	0.03	0.00
Z113	0.53	9.83	-0.37	-0.35	0.13	0.71	-0.06	0.2	0.2	0.0	1.7	0.0	0.01	0.01	0.00	0.05	0.00
Z114	0.53	12.99	-0.97	-1.36	0.07	0.48	0.09	1.1	2.8	0.0	0.8	0.1	0.07	0.14	0.00	0.02	0.00
Z115	0.53	18.81	0.62	-1.33	0.93	-0.88	0.03	0.5	2.7	2.0	2.6	0.0	0.02	0.09	0.05	0.04	0.00
Z116	0.53	6.69	-0.41	0.25	0.02	0.10	-0.06	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Z117	0.53	5.63	-0.50	0.48	-0.12	-0.45	-0.06	0.3	0.3	0.0	0.7	0.0	0.04	0.04	0.00	0.04	0.00
Z118	0.53	7.49	-0.03	0.24	-0.87	0.52	0.12	0.0	0.1	1.8	0.9	0.1	0.00	0.01	0.10	0.04	0.00
Z119	0.53	10.32	-0.79	0.30	-0.01	-1.02	0.10	0.8	0.1	0.0	3.5	0.1	0.06	0.01	0.00	0.10	0.00
Z120	0.53	5.27	-0.54	0.36	-0.10	0.07	-0.12	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00
Z121	0.53	5.50	-0.29	-0.08	-0.57	0.49	0.07	0.1	0.0	0.8	0.8	0.0	0.01	0.00	0.06	0.04	0.00
Z122	0.53	5.76	-0.50	0.67	-0.10	0.16	-0.15	0.3	0.7	0.0	0.1	0.1	0.04	0.08	0.00	0.00	0.00
Z123	0.53	7.40	-0.67	0.10	0.00	-0.34	0.06	0.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.06	0.00	0.00	0.02	0.00
Z124	0.53	5.89	-0.43	0.47	0.00	0.07	-0.12	0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00
Z125	0.53	11.56	-0.06	1.49	-0.17	-0.89	-0.19	0.0	3.3	0.1	2.7	0.2	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00
Z126	0.53	6.18	-0.41	0.79	-0.22	-0.21	-0.10	0.2	0.9	0.1	0.2	0.1	0.03	0.10	0.01	0.01	0.00
Z127	0.53	24.45	0.31	-0.72	-2.27	-0.22	0.69	0.1	0.8	12.0	0.2	3.1	0.00	0.02	0.21	0.00	0.02
Z128	0.53	6.06	-0.74	-0.07	0.04	0.57	-0.10	0.7	0.0	0.0	1.1	0.1	0.09	0.00	0.00	0.05	0.00
Z129	0.53	5.46	-0.63	0.27	-0.01	0.01	-0.08	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00
Z130	0.53	3.19	-0.16	-0.03	-0.12	0.14	-0.05	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Z131	0.53	9.75	-0.63	0.12	0.10	-0.49	-0.08	0.5	0.0	0.0	0.8	0.0	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00
Z132	0.53	9.45	-0.51	0.00	0.18	0.38	0.00	0.3	0.0	0.1	0.5	0.0	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00
Z133	0.53	7.45	-0.49	0.27	0.05	0.25	-0.04	0.3	0.1	0.0	0.2	0.0	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
Z134	0.53	5.62	-0.71	-0.06	0.00	0.34	-0.08	0.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00
Z135	0.53	5.84	-0.54	0.09	0.01	0.02	-0.05	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Z136	0.53	6.12	-0.41	0.36	0.05	0.40	-0.15	0.2	0.2	0.0	0.5	0.1	0.03	0.02	0.00	0.03	0.00
Z137	0.53	16.15	0.23	0.41	-0.32	-0.44	-0.16	0.1	0.3	0.2	0.7	0.2	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
Z138	0.53	8.26	-0.49	0.05	0.14	0.58	-0.05	0.3	0.0	0.0	1.1	0.0	0.03	0.00	0.00	0.04	0.00
Z139	0.53	5.38	-0.60	-0.99	-0.53	0.34	0.21	0.4	1.5	0.7	0.4	0.3	0.07	0.18	0.05	0.02	0.01
Z140	0.53	7.42	-0.45	-0.28	-0.15	-0.26	-0.03	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
Z141	0.53	5.42	0.02	0.31	0.12	-0.05	-0.21	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Z142	0.53	5.56	-0.56	0.27	-0.13	-0.26	-0.09	0.4	0.1	0.0	0.2	0.1	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00
Z143	0.53	4.72	0.69	-1.08	1.02	0.47	-0.17	0.6	1.8	2.4	0.7	0.2	0.10	0.25	0.22	0.05	0.01

DESCRIPTION DES AXES FACTORIELS
DESCRIPTION DU FACTEUR 1
PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.84	188.00	LAM		308.40	299.06	1
-0.72	188.00	CRU		237.79	258.53	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.44	188.00	IND		199.31	147.95	9
0.72	188.00	VOL		39.20	38.24	10

DESCRIPTION DU FACTEUR 2
PAR LES VARIABLES CONTINUES ACTIVES

COORD.	POIDS	LIBELLE DE LA VARIABLE		MOYENNE	ECART-TYPE	NUMERO
-0.54	188.00	C2M		48.78	28.06	1
-0.52	188.00	C2MP		32.13	18.78	2
Z O N E C E N T R A L E						
0.51	188.00	ETI		15.21	28.13	9
0.70	188.00	ESM		126.64	155.87	10

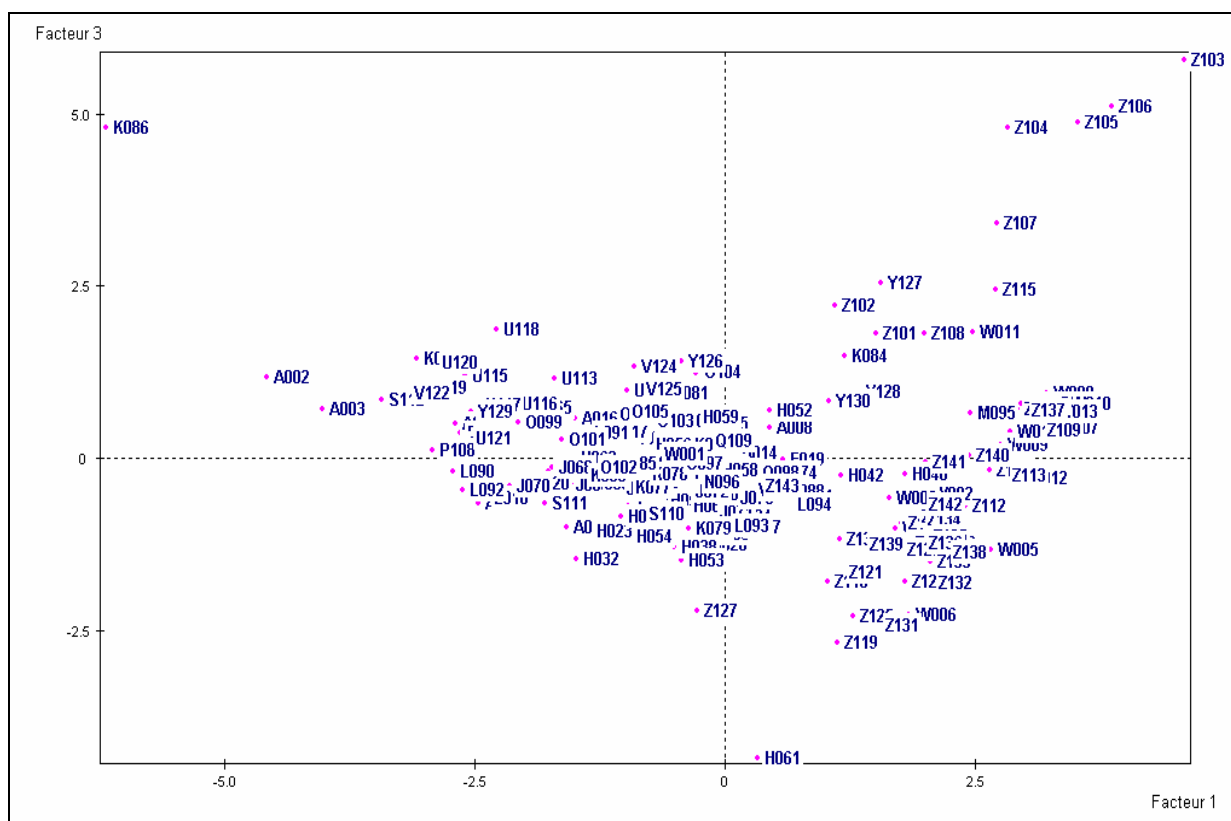


Figure A2.14 : Les 188 bassins versants dans le plan principal 1-3

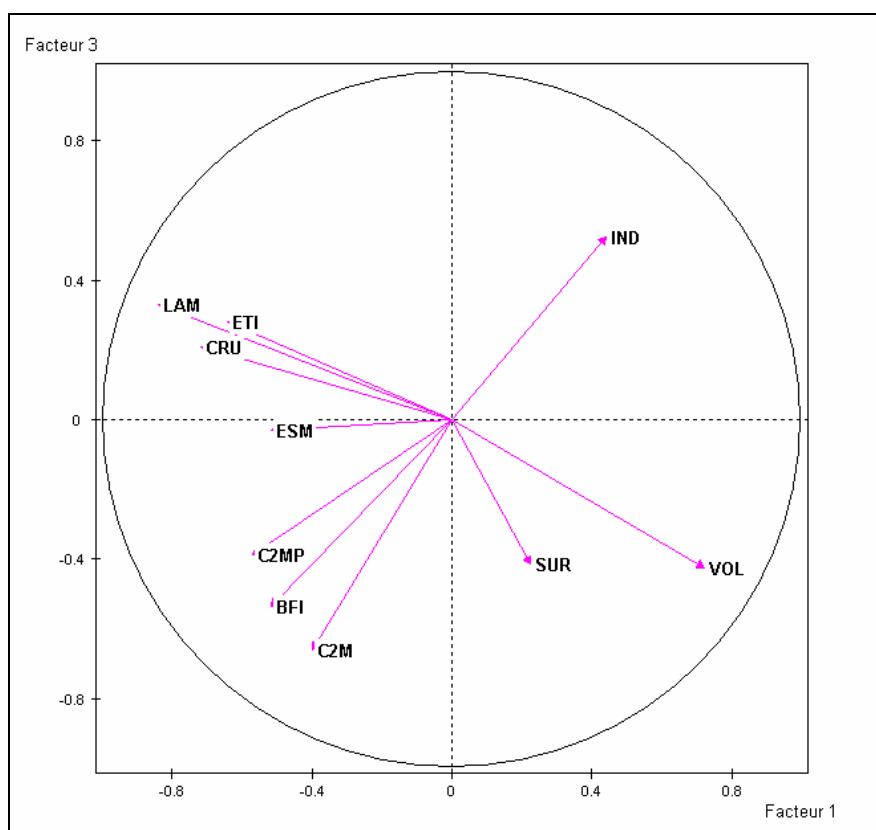


Figure A2.15 : Les 10 variables dans le plan principal 1-3

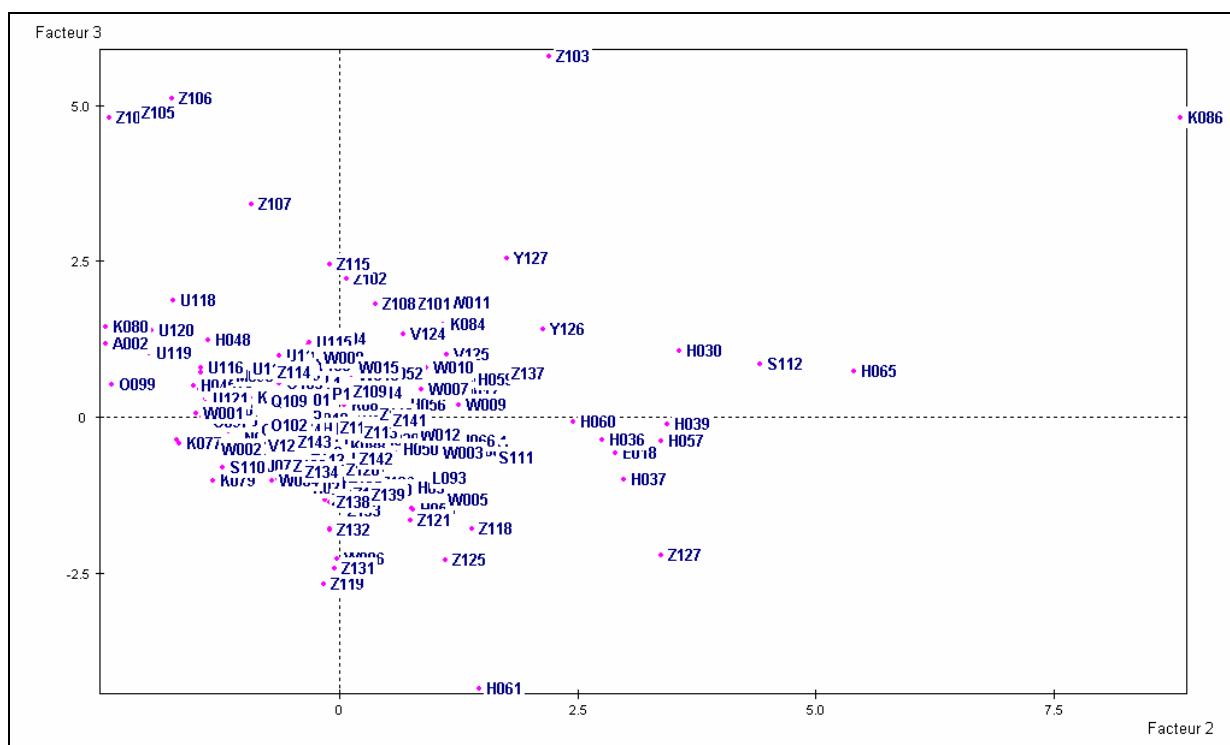


Figure A2.16 : Les **188 bassins versants** dans le plan principal 2-3

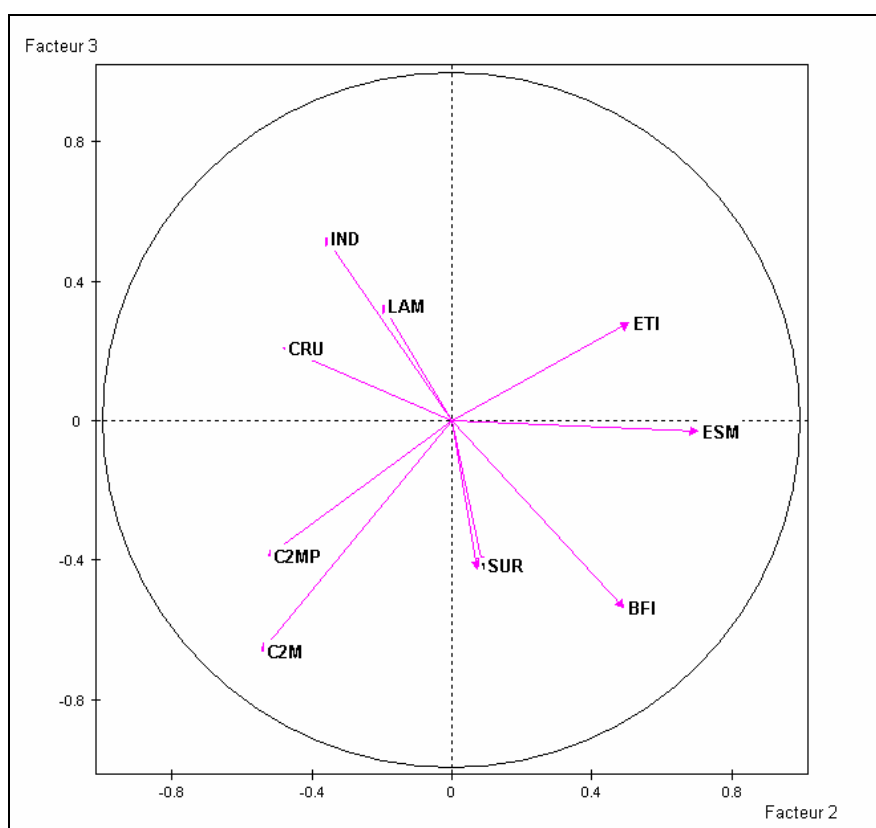


Figure A2.17 : Les **10 variables** dans le plan principal 2-3

A2.6 Résultats de la 2^{ème} Classification Ascendante Hiérarchique (CAH 10 variables explicatives)

CLASSIFICATION HIERARCHIQUE (VOISINS RECIPROQUES) SUR LES 10 PREMIERS AXES FACTORIELS

CLASSIFICATION HIERARCHIQUE (VOISINS RECIPROQUES) SUR LES 10 PREMIERS AXES FACTORIELS

DESCRIPTION DES NOEUDS

NUM.	AINE	BENJ	EFF.	POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
189	27	24	2	2.00	0.00016	*
190	173	179	2	2.00	0.00032	*
191	11	9	2	2.00	0.00033	*
192	47	49	2	2.00	0.00039	*
193	189	25	3	3.00	0.00041	*
194	51	29	2	2.00	0.00043	*
195	169	167	2	2.00	0.00045	*
196	98	87	2	2.00	0.00048	*
197	187	165	2	2.00	0.00056	*
198	161	180	2	2.00	0.00056	*
199	83	102	2	2.00	0.00057	*
200	31	72	2	2.00	0.00062	*
201	183	178	2	2.00	0.00066	*
202	131	97	2	2.00	0.00072	*
203	195	174	3	3.00	0.00084	*
204	198	181	3	3.00	0.00088	*
205	123	74	2	2.00	0.00093	*
206	22	63	2	2.00	0.00097	*
207	26	34	2	2.00	0.00101	*
208	171	162	2	2.00	0.00102	*
209	200	96	3	3.00	0.00111	*
210	90	92	2	2.00	0.00112	*
211	82	101	2	2.00	0.00112	*
212	94	88	2	2.00	0.00117	*
213	201	177	3	3.00	0.00120	*
214	192	44	3	3.00	0.00125	*
215	77	76	2	2.00	0.00128	*
216	196	19	3	3.00	0.00134	*
217	158	155	2	2.00	0.00136	*
218	212	21	3	3.00	0.00137	*
219	106	4	2	2.00	0.00138	*
220	194	28	3	3.00	0.00139	*
221	136	176	2	2.00	0.00141	*
222	62	6	2	2.00	0.00141	*
223	55	43	2	2.00	0.00143	*
224	145	144	2	2.00	0.00146	*
225	129	107	2	2.00	0.00148	*
226	206	73	3	3.00	0.00160	*
227	111	66	2	2.00	0.00162	*
228	5	78	2	2.00	0.00166	*
229	193	220	6	6.00	0.00174	*
230	81	100	2	2.00	0.00178	*
231	121	117	2	2.00	0.00191	*
232	10	228	3	3.00	0.00192	*
233	68	67	2	2.00	0.00192	*
234	120	119	2	2.00	0.00192	*
235	163	166	2	2.00	0.00201	*
236	39	36	2	2.00	0.00204	*
237	75	1	2	2.00	0.00212	*
238	203	208	5	5.00	0.00214	*
239	151	150	2	2.00	0.00229	*
240	85	89	2	2.00	0.00243	*
241	110	33	2	2.00	0.00255	*
242	221	168	3	3.00	0.00260	*
243	113	114	2	2.00	0.00270	*
244	185	186	2	2.00	0.00273	*
245	211	199	4	4.00	0.00283	*
246	232	109	4	4.00	0.00284	*
247	128	130	2	2.00	0.00285	*
248	217	157	3	3.00	0.00285	*
249	70	46	2	2.00	0.00287	*
250	13	14	2	2.00	0.00288	*
251	140	137	2	2.00	0.00294	*
252	40	42	2	2.00	0.00306	*
253	103	91	2	2.00	0.00318	*
254	249	20	3	3.00	0.00329	*
255	231	116	3	3.00	0.00329	*
256	202	45	3	3.00	0.00329	*
257	38	54	2	2.00	0.00332	*
258	223	41	3	3.00	0.00338	*
259	241	79	3	3.00	0.00343	*
260	125	124	2	2.00	0.00359	*
261	225	108	3	3.00	0.00365	*
262	238	197	7	7.00	0.00373	*
263	23	69	2	2.00	0.00384	*
264	207	35	3	3.00	0.00389	*
265	233	214	5	5.00	0.00397	*
266	143	224	3	3.00	0.00403	*
267	184	175	2	2.00	0.00412	*
268	12	15	2	2.00	0.00414	*
269	190	134	3	3.00	0.00414	*
270	252	132	3	3.00	0.00418	*
271	52	250	3	3.00	0.00426	*
272	59	56	2	2.00	0.00435	*
273	215	222	4	4.00	0.00453	*
274	95	159	2	2.00	0.00455	*
275	216	205	5	5.00	0.00473	*
276	147	146	2	2.00	0.00495	*
277	118	234	3	3.00	0.00496	*
278	229	71	7	7.00	0.00502	*
279	219	210	4	4.00	0.00502	*
280	254	263	5	5.00	0.00508	*

NUM.	AINE	BENJ	EFF.	POIDS	INDICE	HISTOGRAMME DES INDICES DE NIVEAU
281	259	209	6	6.00	0.00513	*
282	105	104	2	2.00	0.00520	*
283	262	204	10	10.00	0.00536	*
284	251	142	3	3.00	0.00537	*
285	53	50	2	2.00	0.00540	*
286	236	37	3	3.00	0.00553	*
287	57	60	2	2.00	0.00588	*
288	256	58	4	4.00	0.00613	*
289	239	149	3	3.00	0.00643	*
290	242	164	4	4.00	0.00649	*
291	257	264	5	5.00	0.00659	*
292	240	237	4	4.00	0.00671	*
293	2	3	2	2.00	0.00680	*
294	258	64	4	4.00	0.00689	*
295	253	230	4	4.00	0.00699	*
296	115	255	4	4.00	0.00703	*
297	188	8	2	2.00	0.00734	*
298	281	226	9	9.00	0.00739	*
299	275	218	8	8.00	0.00762	*
300	243	295	6	6.00	0.00781	*
301	235	267	4	4.00	0.00805	*
302	227	17	3	3.00	0.00813	*
303	261	279	7	7.00	0.00847	*
304	269	156	4	4.00	0.00879	*
305	139	133	2	2.00	0.00903	*
306	141	153	2	2.00	0.00930	*
307	127	84	2	2.00	0.00949	*
308	265	273	9	9.00	0.01037	*
309	291	285	7	7.00	0.01040	*
310	30	287	3	3.00	0.01054	*
311	16	260	3	3.00	0.01099	*
312	154	248	4	4.00	0.01116	*
313	303	122	8	8.00	0.01125	*
314	271	292	7	7.00	0.01131	*
315	277	99	4	4.00	0.01166	*
316	280	191	7	7.00	0.01193	*
317	7	246	5	5.00	0.01207	*
318	284	182	4	4.00	0.01264	*
319	288	48	5	5.00	0.01273	*
320	294	272	6	6.00	0.01283	*
321	152	160	2	2.00	0.01288	*
322	244	247	4	4.00	0.01441	*
323	293	80	3	3.00	0.01537	*
324	268	32	3	3.00	0.01544	*
325	282	300	8	8.00	0.01568	*
326	266	138	4	4.00	0.01615	*
327	304	270	7	7.00	0.01644	*
328	278	298	16	16.00	0.01699	*
329	290	213	7	7.00	0.01748	*
330	319	317	10	10.00	0.01840	*
331	311	126	4	4.00	0.01913	*
332	170	93	2	2.00	0.01925	*
333	315	296	8	8.00	0.02052	*
334	65	112	2	2.00	0.02128	*
335	245	308	13	13.00	0.02168	*
336	18	302	4	4.00	0.02201	*
337	330	297	12	12.00	0.02219	*
338	310	286	6	6.00	0.02399	*
339	306	307	4	4.00	0.02422	*
340	329	135	8	8.00	0.02498	*
341	312	274	6	6.00	0.02659	*
342	283	301	14	14.00	0.03170	**
343	338	172	7	7.00	0.03268	**
344	326	305	6	6.00	0.03315	**
345	299	314	15	15.00	0.03322	**
346	341	322	10	10.00	0.03786	**
347	336	320	10	10.00	0.03888	**
348	332	309	9	9.00	0.04364	**
349	339	276	6	6.00	0.04388	**
350	344	318	10	10.00	0.04425	**
351	323	333	11	11.00	0.04931	**
352	316	328	23	23.00	0.05313	**
353	337	345	27	27.00	0.05526	**
354	342	327	21	21.00	0.05590	**
355	331	325	12	12.00	0.05665	**
356	352	335	36	36.00	0.05896	**
357	350	346	20	20.00	0.07589	***
358	321	349	8	8.00	0.08049	***
359	313	324	11	11.00	0.08379	***
360	347	348	19	19.00	0.08858	***
361	354	340	29	29.00	0.09535	****
362	334	343	9	9.00	0.09942	****
363	358	148	9	9.00	0.12301	*****
364	356	353	63	63.00	0.12477	*****
365	351	359	22	22.00	0.14701	*****
366	355	364	75	75.00	0.20399	*****
367	357	361	49	49.00	0.23560	*****
368	362	360	28	28.00	0.27013	*****
369	289	363	12	12.00	0.48343	*****
370	365	366	97	97.00	0.54029	*****
371	367	61	50	50.00	0.62376	*****
372	86	368	29	29.00	0.78426	*****
373	371	369	62	62.00	0.88734	*****
374	372	370	126	126.00	1.02449	*****
375	373	374	188	188.00	2.40437	*****

SOMME DES INDICES DE NIVEAU = 10.00000

NOUVEL ORDRE DES INDIVIDUS : NOUVEAU, NUMERO ET IDENTIFICATEUR D'ORIGINE.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A001	K075	K089	K085	A014	A013	H052	H021	K088	L094	K074	V123	E019
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
K087	O098	A008	Z143	Q109	K078	A005	A010	A007	H048	H058	H045	O097
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
W001	A006	H062	K076	K077	H044	H049	H047	J067	J068	O102	K083	O101
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
K082	J073	H063	H022	N096	J072	H031	K079	H033	S110	J071	H028	H029
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
H051	H025	H024	H027	A009	A011	J069	H023	H020	H046	J070	O100	K081
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
L091	O103	U114	U113	O104	O105	Y126	V124	V125	A016	H032	A015	A012
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
V122	L092	L090	A004	P106	P108	P107	Y129	U116	U117	U121	U115	O099
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
U119	U120	U118	K080	A003	A002	H050	H053	H035	H034	H026	H054	H038
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
L093	Z125	H056	H059	H064	H041	H043	H055	D017	J066	S111	E018	Z127
118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
H037	H036	H039	H060	H057	H030	S112	H065	K086	Z103	Z101	Z102	K084
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143
Y127	Z108	W011	Z115	Z107	Z104	Z105	Z106	H061	W005	Z132	Z133	Z138
144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
Z119	Z123	Z131	W006	W002	H042	H040	Z111	W004	Z134	Z128	Z130	Z139
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
Z121	Z118	Z136	Z135	Z116	Z120	Z142	Z117	Z126	Z129	Z122	Z124	Y130
170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182
Y128	Z141	Z140	Z114	M095	Z112	Z110	Z113	Z109	Z137	W012	W007	W010
183	184	185	186	187	188							
W003	W009	W008	W014	W015	W013							

DESCRIPTION DES NOEUDS DE LA HIERACHIE
(INDICES EN POURCENTAGE DE LA SOMME DES INDICES : 10.00000)

NOEUD NUMERO	INDICE	SUCCESEURS		EFFECT.	POIDS	COMPOSITION	
		AINE	BENJ			PREMIER	DERNIER
189	0.00	56	55	2	2.00	55	56
190	0.00	154	153	2	2.00	153	154
191	0.00	58	57	2	2.00	57	58
192	0.00	34	33	2	2.00	33	34
193	0.00	189	54	3	3.00	54	56
194	0.00	53	52	2	2.00	52	53
195	0.00	168	167	2	2.00	167	168
196	0.00	15	14	2	2.00	14	15
197	0.01	163	162	2	2.00	162	163
198	0.01	161	160	2	2.00	160	161
199	0.01	38	37	2	2.00	37	38
200	0.01	46	45	2	2.00	45	46
201	0.01	143	142	2	2.00	142	143
202	0.01	27	26	2	2.00	26	27
203	0.01	195	166	3	3.00	166	168
204	0.01	198	159	3	3.00	159	161
205	0.01	12	11	2	2.00	11	12
206	0.01	43	42	2	2.00	42	43
207	0.01	102	101	2	2.00	101	102
208	0.01	165	164	2	2.00	164	165
209	0.01	200	44	3	3.00	44	46
210	0.01	81	80	2	2.00	80	81
211	0.01	40	39	2	2.00	39	40
212	0.01	10	9	2	2.00	9	10
213	0.01	201	141	3	3.00	141	143
214	0.01	192	32	3	3.00	32	34
215	0.01	31	30	2	2.00	30	31
216	0.01	196	13	3	3.00	13	15
217	0.01	177	176	2	2.00	176	177
218	0.01	212	8	3	3.00	8	10
219	0.01	83	82	2	2.00	82	83
220	0.01	194	51	3	3.00	51	53
221	0.01	147	146	2	2.00	146	147
222	0.01	29	28	2	2.00	28	29
223	0.01	112	111	2	2.00	111	112
224	0.01	187	186	2	2.00	186	187
225	0.01	86	85	2	2.00	85	86
226	0.02	206	41	3	3.00	41	43
227	0.02	115	114	2	2.00	114	115
228	0.02	20	19	2	2.00	19	20
229	0.02	193	220	6	6.00	51	56
230	0.02	65	64	2	2.00	64	65
231	0.02	89	88	2	2.00	88	89
232	0.02	21	228	3	3.00	19	21
233	0.02	36	35	2	2.00	35	36
234	0.02	93	92	2	2.00	92	93
235	0.02	158	157	2	2.00	157	158
236	0.02	120	119	2	2.00	119	120
237	0.02	2	1	2	2.00	1	2
238	0.02	203	208	5	5.00	164	168
239	0.02	138	137	2	2.00	137	138
240	0.02	4	3	2	2.00	3	4
241	0.03	49	48	2	2.00	48	49
242	0.03	221	145	3	3.00	145	147
243	0.03	69	68	2	2.00	68	69
244	0.03	172	171	2	2.00	171	172
245	0.03	211	199	4	4.00	37	40
246	0.03	232	18	4	4.00	18	21
247	0.03	170	169	2	2.00	169	170
248	0.03	217	175	3	3.00	175	177
249	0.03	63	62	2	2.00	62	63
250	0.03	6	5	2	2.00	5	6
251	0.03	182	181	2	2.00	181	182
252	0.03	150	149	2	2.00	149	150
253	0.03	67	66	2	2.00	66	67

254	0.03	249	61	3	3.00	61	63
255	0.03	231	87	3	3.00	87	89
256	0.03	202	25	3	3.00	25	27
257	0.03	104	103	2	2.00	103	104
258	0.03	223	110	3	3.00	110	112
259	0.03	241	47	3	3.00	47	49
260	0.04	74	73	2	2.00	73	74
261	0.04	225	84	3	3.00	84	86

NOEUD		SUCESSEURS		EFFECT.	POIDS	COMPOSITION	
NUMERO	INDICE	AINE	BENJ			PREMIER	DERNIER
262	0.04	238	197	7	7.00	162	168
263	0.04	60	59	2	2.00	59	60
264	0.04	207	100	3	3.00	100	102
265	0.04	233	214	5	5.00	32	36
266	0.04	188	224	3	3.00	186	188
267	0.04	156	155	2	2.00	155	156
268	0.04	78	77	2	2.00	77	78
269	0.04	190	152	3	3.00	152	154
270	0.04	252	148	3	3.00	148	150
271	0.04	7	250	3	3.00	5	7
272	0.04	108	107	2	2.00	107	108
273	0.05	215	222	4	4.00	28	31
274	0.05	174	173	2	2.00	173	174
275	0.05	216	205	5	5.00	11	15
276	0.05	129	128	2	2.00	128	129
277	0.05	94	234	3	3.00	92	94
278	0.05	229	50	7	7.00	50	56
279	0.05	219	210	4	4.00	80	83
280	0.05	254	263	5	5.00	59	63
281	0.05	259	209	6	6.00	44	49
282	0.05	71	70	2	2.00	70	71
283	0.05	262	204	10	10.00	159	168
284	0.05	251	180	3	3.00	180	182
285	0.05	99	98	2	2.00	98	99
286	0.06	236	118	3	3.00	118	120
287	0.06	122	121	2	2.00	121	122
288	0.06	256	24	4	4.00	24	27
289	0.06	239	136	3	3.00	136	138
290	0.06	242	144	4	4.00	144	147
291	0.07	257	264	5	5.00	100	104
292	0.07	240	237	4	4.00	1	4
293	0.07	97	96	2	2.00	96	97
294	0.07	258	109	4	4.00	109	112
295	0.07	253	230	4	4.00	64	67
296	0.07	90	255	4	4.00	87	90
297	0.07	17	16	2	2.00	16	17
298	0.07	281	226	9	9.00	41	49
299	0.08	275	218	8	8.00	8	15
300	0.08	243	295	6	6.00	64	69
301	0.08	235	267	4	4.00	155	158
302	0.08	227	113	3	3.00	113	115
303	0.08	261	279	7	7.00	80	86
304	0.09	269	151	4	4.00	151	154
305	0.09	184	183	2	2.00	183	184
306	0.09	133	132	2	2.00	132	133
307	0.09	131	130	2	2.00	130	131
308	0.10	265	273	9	9.00	28	36
309	0.10	291	285	7	7.00	98	104
310	0.11	123	287	3	3.00	121	123
311	0.11	75	260	3	3.00	73	75
312	0.11	178	248	4	4.00	175	178
313	0.11	303	79	8	8.00	79	86
314	0.11	271	292	7	7.00	1	7
315	0.12	277	91	4	4.00	91	94
316	0.12	280	191	7	7.00	57	63
317	0.12	22	246	5	5.00	18	22
318	0.13	284	179	4	4.00	179	182
319	0.13	288	23	5	5.00	23	27
320	0.13	294	272	6	6.00	107	112
321	0.13	135	134	2	2.00	134	135
322	0.14	244	247	4	4.00	169	172
323	0.15	293	95	3	3.00	95	97
324	0.15	268	76	3	3.00	76	78
325	0.16	282	300	8	8.00	64	71
326	0.16	266	185	4	4.00	185	188
327	0.16	304	270	7	7.00	148	154
328	0.17	278	298	16	16.00	41	56
329	0.17	290	213	7	7.00	141	147
330	0.18	319	317	10	10.00	18	27
331	0.19	311	72	4	4.00	72	75
332	0.19	106	105	2	2.00	105	106
333	0.21	315	296	8	8.00	87	94
334	0.21	125	124	2	2.00	124	125
335	0.22	245	308	13	13.00	28	40
336	0.22	116	302	4	4.00	113	116

NOEUD		SUCESSEURS		EFFECT.	POIDS	COMPOSITION	
NUMERO	INDICE	AINE	BENJ			PREMIER	DERNIER
337	0.22	330	297	12	12.00	16	27
338	0.24	310	286	6	6.00	118	123
339	0.24	306	307	4	4.00	130	133
340	0.25	329	140	8	8.00	140	147
341	0.27	312	274	6	6.00	173	178
342	0.32	283	301	14	14.00	155	168
343	0.33	338	117	7	7.00	117	123
344	0.33	326	305	6	6.00	183	188
345	0.33	299	314	15	15.00	1	15
346	0.38	341	322	10	10.00	169	178

347	0.39	336	320	10	10.00	107	116
348	0.44	332	309	9	9.00	98	106
349	0.44	339	276	6	6.00	128	133
350	0.44	344	318	10	10.00	179	188
351	0.49	323	333	11	11.00	87	97
352	0.53	316	328	23	23.00	41	63
353	0.55	337	345	27	27.00	1	27
354	0.56	342	327	21	21.00	148	168
355	0.57	331	325	12	12.00	64	75
356	0.59	352	335	36	36.00	28	63
357	0.76	350	346	20	20.00	169	188
358	0.80	321	349	8	8.00	128	135
359	0.84	313	324	11	11.00	76	86
360	0.89	347	348	19	19.00	98	116
361	0.95	354	340	29	29.00	140	168
362	0.99	334	343	9	9.00	117	125
363	1.23	358	127	9	9.00	127	135
364	1.25	356	353	63	63.00	1	63
365	1.47	351	359	22	22.00	76	97
366	2.04	355	364	75	75.00	1	75
367	2.36	357	361	49	49.00	140	188
368	2.70	362	360	28	28.00	98	125
369	4.83	289	363	12	12.00	127	138
370	5.40	365	366	97	97.00	1	97
371	6.24	367	139	50	50.00	139	188
372	7.84	126	368	29	29.00	98	126
373	8.87	371	369	62	62.00	127	188
374	10.24	372	370	126	126.00	1	126
375	24.04	373	374	188	188.00	1	188

DENDROGRAMME

RANG IND. IDEN DENDROGRAMME (INDICES EN POURCENTAGE, DE LA SOMME DES INDICES : 10.00000 MIN = 0.00% / MAX = 24.04%)

```

1 0.02 A001 ---+
2 0.07 K075 ---*
3 0.02 K089 ---*
4 0.11 K085 ---*
5 0.03 A014 ---*
6 0.04 A013 ---*
7 0.33 H052 ---**+
8 0.01 H021 ---+
9 0.01 K088 ---*
10 0.08 L094 ---*
11 0.01 K074 ---*
12 0.05 V123 ---*
13 0.01 E019 ---*
14 0.00 K087 ---*
15 0.55 O098 ---**+
16 0.07 A008 ---+
17 0.22 Z143 ---**+
18 0.03 Q109 ---+
19 0.02 K078 ---*
20 0.02 A005 ---*
21 0.12 A010 ---*
22 0.18 A007 ---*
23 0.13 H048 ---*
24 0.06 H058 ---*
25 0.03 H045 ---*
26 0.01 O097 ---*
27 1.25 W001 ---**+---+
28 0.01 A006 ---+
29 0.05 H062 ---*
30 0.01 K076 ---*
31 0.10 K077 ---*
32 0.01 H044 ---*
33 0.00 H049 ---*
34 0.04 H047 ---*
35 0.02 J067 ---*

```

36	0.22	J068	--*
37	0.01	O102	--*
38	0.03	K083	--*
39	0.01	O101	--*
40	0.59	K082	--*+
41	0.02	J073	--+
42	0.01	H063	--*
43	0.07	H022	--*
44	0.01	N096	--*
45	0.01	J072	--*
46	0.05	H031	--*
47	0.03	K079	--*
48	0.03	H033	--*
49	0.17	S110	--*
50	0.05	J071	--*
51	0.01	H028	--*
52	0.00	H029	--*
53	0.02	H051	--*
54	0.00	H025	--*
55	0.00	H024	--*
56	0.53	H027	--*+
57	0.00	A009	--+
58	0.12	A011	--*
59	0.04	J069	--*
60	0.05	H023	--*
61	0.03	H020	--*
62	0.03	H046	--*
63	2.04	J070	--*+*
64	0.02	O100	--+
65	0.07	K081	--*
66	0.03	L091	--*
67	0.08	O103	--*
68	0.03	U114	--*
69	0.16	U113	--*
70	0.05	O104	--*
71	0.57	O105	--*+
72	0.19	Y126	--+
73	0.04	V124	--*
74	0.11	V125	--*
75	5.40	A016	--*+*
76	0.15	H032	--+
77	0.04	A015	--*
78	0.84	A012	--*+
79	0.11	V122	--+
80	0.01	L092	--*
81	0.05	L090	--*
82	0.01	A004	--*
83	0.08	P106	--*
84	0.04	P108	--*
85	0.01	P107	--*
86	1.47	Y129	--*+*
87	0.03	U116	--+

88	0.02	U117	--*
89	0.07	U121	--*
90	0.21	U115	--*
91	0.12	O099	--*
92	0.02	U119	--*
93	0.05	U120	--*
94	0.49	U118	--*+
95	0.15	K080	--+
96	0.07	A003	--*
97	10.24	A002	--*+*
98	0.05	H050	--+
99	0.10	H053	--*
100	0.04	H035	--*
101	0.01	H034	--*
102	0.07	H026	--*
103	0.03	H054	--*
104	0.44	H038	--*+
105	0.19	L093	--+
106	0.89	Z125	--**+
107	0.04	H056	--+
108	0.13	H059	--*
109	0.07	H064	--*
110	0.03	H041	--*
111	0.01	H043	--*
112	0.39	H055	--*+
113	0.08	D017	--+
114	0.02	J066	--*
115	0.22	S111	--*
116	2.70	E018	--**+*
117	0.33	Z127	---+
118	0.06	H037	---+
119	0.02	H036	---*
120	0.24	H039	---**
121	0.06	H060	---+
122	0.11	H057	---*
123	0.99	H030	---**+
124	0.21	S112	---+
125	7.84	H065	---*+*
126	24.04	K086	-----*+*
127	1.23	Z103	-----+
128	0.05	Z101	---+
129	0.44	Z102	---*+
130	0.09	K084	---+
131	0.24	Y127	---*+
132	0.09	Z108	---+
133	0.80	W011	---***+
134	0.13	Z115	---+
135	4.83	Z107	---*+*
136	0.06	Z104	---+
137	0.02	Z105	---*
138	8.87	Z106	---*+*

139	6.24	H061	----
140	0.25	W005	---+
141	0.01	Z132	---+
142	0.01	Z133	---*
143	0.17	Z138	---*
144	0.06	Z119	---*
145	0.03	Z123	---*
146	0.01	Z131	---*
147	0.95	W006	---**---+
148	0.04	W002	---+
149	0.03	H042	---*
150	0.16	H040	---*
151	0.09	Z111	---*
152	0.04	W004	---*
153	0.00	Z134	---*
154	0.56	Z128	---**---+
155	0.04	Z130	---+
156	0.08	Z139	---*
157	0.02	Z121	---*
158	0.32	Z118	---**---+
159	0.01	Z136	---+
160	0.01	Z135	---*
161	0.05	Z116	---*
162	0.01	Z120	---*
163	0.04	Z142	---*
164	0.01	Z117	---*
165	0.02	Z126	---*
166	0.01	Z129	---*
167	0.00	Z122	---*
168	2.36	Z124	---**---*---**---+
169	0.03	Y130	---+
170	0.14	Y128	---*
171	0.03	Z141	---*
172	0.38	Z140	---**---+
173	0.05	Z114	---+
174	0.27	M095	---**
175	0.03	Z112	---+
176	0.01	Z110	---*
177	0.11	Z113	---*
178	0.76	Z109	---**---+
179	0.13	Z137	---+
180	0.05	W012	---*
181	0.03	W007	---*
182	0.44	W010	---**---+
183	0.09	W003	---+
184	0.33	W009	---**---+
185	0.16	W008	---+
186	0.01	W014	---*
187	0.04	W015	---*
188	---	W013	---**

PARTITION PAR COUPURE D'UN ARBRE HIERARCHIQUE
 RECHERCHE DES MEILLEURES PARTITIONS
 RECHERCHE DES PALIERS

PALIER ENTRE	VALEUR DU PALIER	
368-- 369	-183.05	*****
371-- 372	-91.47	*****

LISTE DES 2 MEILLEURE(S) PARTITION(S) ENTRE 3 ET 10 CLASSES
 1 - PARTITION EN 8 CLASSES
 2 - PARTITION EN 5 CLASSES

COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES
 FORMATION DES CLASSES (INDIVIDUS ACTIFS)
 DESCRIPTION SOMMAIRE

CLASSE	EFFECTIF	POIDS	CONTENU
aa1a	97	97.00	1 A 97
aa2a	28	28.00	98 A 125
aa3a	1	1.00	126 A 126
aa4a	12	12.00	127 A 138
aa5a	50	50.00	139 A 188

COORDONNEES ET VALEURS-TEST AVANT CONSOLIDATION

AXES 1 A 5

IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES													
aa1a - CLASSE 1 / 5	97	97.00	-8.7	-6.9	0.7	-0.2	0.8	-1.13	-0.68	0.06	-0.01	0.05	1.77
aa2a - CLASSE 2 / 5	28	28.00	-2.0	7.5	-2.2	-4.3	-2.9	-0.65	1.84	-0.52	-0.72	-0.42	5.07
aa3a - CLASSE 3 / 5	1	1.00	-3.4	6.3	3.6	1.6	0.0	-6.19	8.83	4.80	1.51	0.00	175.19
aa4a - CLASSE 4 / 5	12	12.00	4.8	0.0	8.6	1.2	-2.6	2.50	0.00	3.18	0.31	-0.60	17.31
aa5a - CLASSE 5 / 5	50	50.00	9.3	0.7	-4.3	2.8	2.8	2.08	0.12	-0.69	0.33	0.28	5.24

AXES 6 A 10

IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS	VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
			6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES													
aa1a - CLASSE 1 / 5	97	97.00	1.9	0.5	2.5	-0.5	-0.7	0.09	0.02	0.08	-0.01	-0.01	1.77
aa2a - CLASSE 2 / 5	28	28.00	4.1	-1.3	-2.2	0.9	0.7	0.47	-0.13	-0.19	0.06	0.04	5.07
aa3a - CLASSE 3 / 5	1	1.00	-8.5	0.4	2.4	-1.6	-1.9	-5.61	0.25	1.16	-0.64	-0.53	175.19
aa4a - CLASSE 4 / 5	12	12.00	3.0	1.2	0.9	-2.5	1.5	0.55	0.21	0.12	-0.27	0.12	17.31
aa5a - CLASSE 5 / 5	50	50.00	-5.6	-0.3	-1.9	1.5	-0.4	-0.45	-0.02	-0.11	0.07	-0.01	5.24

CONSOLIDATION DE LA PARTITION
 AUTOUR DES 5 CENTRES DE CLASSES, REALISEE PAR 10 ITERATIONS A CENTRES MOBILES
 PROGRESSION DE L'INERTIE INTER-CLASSES

ITERATION	I. TOTALE	I. INTER	QUOTIENT
0	10.00000	5.10046	0.51005
1	10.00000	5.18701	0.51870
2	10.00000	5.19038	0.51904
3	10.00000	5.19038	0.51904

ARRET APRES L'ITERATION 3 L'ACCROISSEMENT DE L'INERTIE INTER-CLASSES
 PAR RAPPORT A L'ITERATION PRECEDENTE N'EST QUE DE 0.000 %.

DECOMPOSITION DE L'INERTIE CALCULEE SUR 10 AXES.

INERTIES	INERTIES		EFFECTIFS		POIDS		DISTANCES	
	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
INTER-CLASSES	5.1005	5.1904						
INTRA-CLASSE								
CLASSE 1 / 5	1.8730	1.7686	97	95	97.00	95.00	1.7715	1.9041
CLASSE 2 / 5	0.7531	0.6631	28	26	28.00	26.00	5.0747	5.8679
CLASSE 3 / 5	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	175.1885
CLASSE 4 / 5	0.8004	0.8004	12	12	12.00	12.00	17.3066	17.3066
CLASSE 5 / 5	1.4730	1.5776	50	54	50.00	54.00	5.2418	4.8049
TOTALE	10.0000	10.0000						

QUOTIENT (INERTIE INTER / INERTIE TOTALE) : AVANT ... 0.5100
 APRES ... 0.5190

COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
AXES 1 A 5

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES														
aa1a - CLASSE 1 / 5	95	95.00		-8.8	-7.0	0.5	0.1	0.6	-1.17	-0.71	0.04	0.01	0.04	1.90
aa2a - CLASSE 2 / 5	26	26.00		-2.3	7.9	-1.4	-4.3	-2.8	-0.76	2.01	-0.33	-0.75	-0.43	5.87
aa3a - CLASSE 3 / 5	1	1.00		-3.4	6.3	3.6	1.6	0.0	-6.19	8.83	4.80	1.51	0.00	175.19
aa4a - CLASSE 4 / 5	12	12.00		4.8	0.0	8.6	1.2	-2.6	2.50	0.00	3.18	0.31	-0.60	17.31
aa5a - CLASSE 5 / 5	54	54.00		9.3	0.8	-4.7	2.3	2.9	1.99	0.12	-0.71	0.25	0.28	4.80

AXES 6 A 10

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	
COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES														
aa1a - CLASSE 1 / 5	95	95.00		1.8	0.6	2.4	0.4	-0.8	0.09	0.03	0.08	0.01	-0.02	1.90
aa2a - CLASSE 2 / 5	26	26.00		4.4	-1.9	-2.4	0.7	1.0	0.53	-0.21	-0.21	0.05	0.05	5.87
aa3a - CLASSE 3 / 5	1	1.00		-8.5	0.4	2.4	-1.6	-1.9	-5.61	0.25	1.16	-0.64	-0.53	175.19
aa4a - CLASSE 4 / 5	12	12.00		3.0	1.2	0.9	-2.5	1.5	0.55	0.21	0.12	-0.27	0.12	17.31
aa5a - CLASSE 5 / 5	54	54.00		-5.6	0.0	-1.8	0.7	-0.5	-0.43	0.00	-0.10	0.03	-0.02	4.80

COMPOSITION DE: COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES

CLASSE 1 / 5
A001 A002 A003 A004 A005 A006 A007 A008 A009 A010 A011 A012 A013 A014 A015
A016 E019 H020 H022 H023 H024 H025 H026 H027 H028 H029 H031 H032 H033 H034
H044 H045 H046 H047 H048 H049 H051 H052 H058 H062 H063 J067 J068 J069 J070
J071 J072 J073 K074 K075 K076 K077 K078 K079 K080 K081 K082 K083 K085 K087
K089 L090 L091 L092 N096 O097 O098 O099 O100 O101 O102 O103 O104 O105 P106
P107 P108 Q109 S110 U113 U114 U115 U116 U117 U118 U119 U120 U121 V122 V123
V124 V125 Y129 W001 Z143

CLASSE 2 / 5
D017 E018 H030 H035 H036 H037 H038 H039 H041 H043 H050 H053 H054 H055 H056
H057 H059 H060 H064 H065 J066 L093 S111 S112 Y126 Z127

CLASSE 3 / 5
K086

CLASSE 4 / 5
K084 Y127 W011 Z101 Z102 Z103 Z104 Z105 Z106 Z107 Z108 Z115

CLASSE 5 / 5
H021 H040 H042 H061 K088 L094 M095 Y128 Y130 W002 W003 W004 W005 W006 W007
W008 W009 W010 W012 W013 W014 W015 Z109 Z110 Z111 Z112 Z113 Z114 Z116 Z117
Z118 Z119 Z120 Z121 Z122 Z123 Z124 Z125 Z126 Z128 Z129 Z130 Z131 Z132 Z133
Z134 Z135 Z136 Z137 Z138 Z139 Z140 Z141 Z142

PARANGONS
CLASSE 1/ 5
EFFECTIF: 95

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.52045	O102	2	0.55683	H044	3	0.66874	H028
4	0.70458	K083	5	0.76487	K078	6	0.79889	A010
7	0.83240	K076	8	0.92615	H046	9	0.93959	J068
10	0.95029	H049	11	0.98504	O101	12	1.03251	A005
13	1.12091	H029	14	1.12553	H025	15	1.14295	K085
16	1.16153	H047	17	1.16549	H051	18	1.25798	K075
19	1.31923	L091	20	1.32021	O100	21	1.37886	A011
22	1.38673	H062	23	1.41281	A009	24	1.42377	H031
25	1.42750	J072	26	1.47533	K077	27	1.54124	H024
28	1.54756	A001	29	1.60426	N096	30	1.63138	K089
31	1.69754	K082	32	1.72450	H027	33	1.75824	J067
34	1.76234	Q109	35	1.87992	W001	36	1.90227	A006
37	1.94436	O103	38	2.02152	O097	39	2.12813	H063
40	2.22124	U114	41	2.27341	P107	42	2.50739	U113
43	2.57707	H045	44	2.66826	H023	45	2.75526	S110
46	2.77877	L092	47	2.83228	O098	48	2.83983	Y129
49	2.85074	A014	50	2.93343	K079	51	2.97589	J070
52	3.03335	J069	53	3.03656	K081	54	3.17210	A013
55	3.17651	K087	56	3.24475	J073	57	3.24680	H020
58	3.25794	H034	59	3.27673	V123	60	3.35101	L090
61	3.38906	U116	62	3.50531	E019	63	3.52040	H033
64	3.64149	P106	65	3.64873	J071	66	3.71370	A007
67	3.76555	H022	68	3.87572	A004	69	3.97543	U117
70	3.99615	K074	71	4.03520	H048	72	4.11997	U121
73	4.13872	P108	74	4.17306	H026	75	4.31166	H058
76	4.75219	V124	77	4.77962	H052	78	5.09494	O099
79	5.23215	O105	80	5.38183	A012	81	5.41540	U115
82	5.53459	O104	83	5.94096	A008	84	6.08978	A015
85	6.42469	V125	86	6.53449	Z143	87	6.61594	A016
88	7.67935	V122	89	8.04319	U119	90	8.28868	U118
91	9.72804	U120	92	9.79095	H032	93	12.01120	A003
94	16.99806	K080	95	22.40311	A002			

CLASSE 2/ 5 : EFFECTIF: 26

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	1.19247	H055	2	1.47796	H036	3	1.53829	H043
4	1.67801	H041	5	1.82781	D017	6	1.95402	J066
7	1.99604	H060	8	2.29626	S111	9	2.57887	H064
10	2.65526	H038	11	2.78993	H054	12	2.79210	H059
13	3.23989	H035	14	3.35605	H039	15	3.91248	H056
16	4.07875	H057	17	4.08773	H037	18	4.84974	H050
19	5.30005	E018	20	5.73627	Y126	21	6.31863	H053
22	6.92910	H030	23	9.02899	L093	24	10.83059	Z127
25	14.57501	H065	26	17.63335	S112			

CLASSE 3/ 5
EFFECTIF: 1

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.00000	K086						

CLASSE 4/ 5
EFFECTIF: 12

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	2.58196	Z107	2	4.50492	Z115	3	6.13113	Z108
4	6.46554	W011	5	9.01253	K084	6	9.58594	Z101
7	10.22412	Z102	8	10.33936	Y127	9	21.82087	Z103
10	22.51835	Z104	11	22.85747	Z106	12	24.42703	Z105

CLASSE 5/ 5
EFFECTIF: 54

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.23220	Z135	2	0.47241	Z116	3	0.62757	Z136
4	0.74696	Z120	5	0.75196	Z124	6	0.79103	Z134
7	0.87591	Z129	8	0.92794	Z126	9	0.97200	Z122
10	1.01924	Z142	11	1.09111	Z133	12	1.09963	Z117
13	1.24653	Z112	14	1.37263	Z138	15	1.38609	Z128
16	1.59999	Z140	17	1.73713	Z123	18	1.75444	Z130
19	1.77095	Z141	20	2.01195	Z113	21	2.12485	Z110
22	2.21374	Z111	23	2.44682	Z139	24	2.48284	Z132
25	2.68280	W003	26	2.71869	W014	27	2.90883	Z121
28	2.96008	W004	29	3.48555	H042	30	3.61213	L094
31	3.65119	W015	32	3.81719	K088	33	3.95907	H021
34	4.13740	Z131	35	4.17104	W012	36	4.41490	W013
37	4.73048	W006	38	4.74196	Y130	39	4.75572	Y128
40	5.02156	H040	41	5.30123	W002	42	5.36840	Z118
43	5.39662	W007	44	5.82821	W010	45	6.27191	Z119
46	6.31520	Z114	47	6.76508	M095	48	7.10888	W005
49	7.24481	Z109	50	7.25225	W009	51	7.34423	Z125
52	8.58122	Z137	53	8.78022	W008	54	115.50187	H061

COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES
FORMATION DES CLASSES (INDIVIDUS ACTIFS)
DESCRIPTION SOMMAIRE

CLASSE	EFFECTIF	POIDS	CONTENU
bb1b	75	75.00	1 A 75
bb2b	22	22.00	76 A 97
bb3b	28	28.00	98 A 125
bb4b	1	1.00	126 A 126
bb5b	9	9.00	127 A 135
bb6b	3	3.00	136 A 138
bb7b	1	1.00	139 A 139
bb8b	49	49.00	140 A 188

COORDONNEES ET VALEURS-TEST AVANT CONSOLIDATION
AXES 1 A 5

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES														
bb1b - CLASSE 1 / 8	75	75.00		-4.1	-4.6	-0.5	-2.7	-0.4	-0.67	-0.58	-0.06	-0.23	-0.03	0.91
bb2b - CLASSE 2 / 8	22	22.00		-7.3	-3.7	1.8	3.8	1.9	-2.69	-1.06	0.47	0.74	0.32	9.33
bb3b - CLASSE 3 / 8	28	28.00		-2.0	7.5	-2.2	-4.3	-2.9	-0.65	1.84	-0.52	-0.72	-0.42	5.07
bb4b - CLASSE 4 / 8	1	1.00		-3.4	6.3	3.6	1.6	0.0	-6.19	8.83	4.80	1.51	0.00	175.19
bb5b - CLASSE 5 / 8	9	9.00		3.7	1.5	6.1	1.8	1.9	2.20	0.70	2.60	0.55	0.53	13.77
bb6b - CLASSE 6 / 8	3	3.00		3.2	-2.6	6.5	-0.8	-8.3	3.41	-2.11	4.93	-0.42	-4.01	58.20
bb7b - CLASSE 7 / 8	1	1.00		0.2	1.0	-3.3	9.4	-4.6	0.32	1.46	-4.35	9.06	-3.87	120.07
bb8b - CLASSE 8 / 8	49	49.00		9.3	0.5	-3.8	1.2	3.6	2.12	0.09	-0.62	0.15	0.37	5.29

AXES 6 A 10

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P. ABS		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES														
bb1b - CLASSE 1 / 8	75	75.00		2.5	0.5	4.5	-1.3	-1.1	0.15	0.02	0.19	-0.05	-0.03	0.91
bb2b - CLASSE 2 / 8	22	22.00		-1.0	0.1	-2.9	1.2	0.7	-0.13	0.01	-0.28	0.09	0.04	9.33
bb3b - CLASSE 3 / 8	28	28.00		4.1	-1.3	-2.2	0.9	0.7	0.47	-0.13	-0.19	0.06	0.04	5.07
bb4b - CLASSE 4 / 8	1	1.00		-8.5	0.4	2.4	-1.6	-1.9	-5.61	0.25	1.16	-0.64	-0.53	175.19
bb5b - CLASSE 5 / 8	9	9.00		4.2	-0.2	2.5	-2.5	1.3	0.90	-0.04	0.39	-0.33	0.12	13.77
bb6b - CLASSE 6 / 8	3	3.00		-1.3	2.8	-2.5	-0.5	0.8	-0.48	0.94	-0.69	-0.11	0.13	58.20
bb7b - CLASSE 7 / 8	1	1.00		1.4	-1.0	0.6	-1.1	2.2	0.96	-0.57	0.29	-0.44	0.63	120.07
bb8b - CLASSE 8 / 8	49	49.00		-5.9	-0.2	-2.0	1.7	-0.7	-0.48	-0.01	-0.12	0.08	-0.03	5.29

CONSOLIDATION DE LA PARTITION
 AUTOUR DES 8 CENTRES DE CLASSES, REALISEE PAR 10 ITERATIONS A CENTRES MOBILES
 PROGRESSION DE L'INERTIE INTER-CLASSES

ITERATION	I. TOTALE	I. INTER	QUOTIENT
0	10.00000	6.74794	0.67479
1	10.00000	6.88005	0.68801
2	10.00000	6.88898	0.68890
3	10.00000	6.90560	0.69056
4	10.00000	6.90755	0.69075
5	10.00000	6.90755	0.69075

ARRET APRES L'ITERATION 5 L'ACCROISSEMENT DE L'INERTIE INTER-CLASSES
 PAR RAPPORT A L'ITERATION PRECEDENTE N'EST QUE DE 0.000 %.
 DECOMPOSITION DE L'INERTIE
 CALCULEE SUR 10 AXES.

INERTIES	INERTIES		EFFECTIFS		POIDS		DISTANCES	
	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
INTER-CLASSES	6.7479	6.9075						
INTRA-CLASSE								
CLASSE 1 / 8	0.9272	1.0317	75	79	75.00	79.00	0.9081	0.8568
CLASSE 2 / 8	0.4055	0.3593	22	24	22.00	24.00	9.3320	8.9819
CLASSE 3 / 8	0.7531	0.4994	28	21	28.00	21.00	5.0747	7.4968
CLASSE 4 / 8	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	175.1885
CLASSE 5 / 8	0.3082	0.3461	9	10	9.00	10.00	13.7744	13.2987
CLASSE 6 / 8	0.0087	0.0087	3	3	3.00	3.00	58.1984	58.1984
CLASSE 7 / 8	0.0000	0.0000	1	1	1.00	1.00	*****	120.0651
CLASSE 8 / 8	0.8493	0.8472	49	49	49.00	49.00	5.2917	5.2061
TOTALE	10.0000	10.0000						

QUOTIENT (INERTIE INTER / INERTIE TOTALE) : AVANT ... 0.6748
 APRES ... 0.6908

COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
 AXES 1 A 5

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P.ABS		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES														
bb1b - CLASSE 1 / 8	79	79.00		-3.9	-4.1	-2.0	-3.4	-1.7	-0.62	-0.49	-0.23	-0.28	-0.12	0.86
bb2b - CLASSE 2 / 8	24	24.00		-7.3	-4.0	2.5	3.5	3.2	-2.58	-1.07	0.64	0.65	0.51	8.98
bb3b - CLASSE 3 / 8	21	21.00		-2.3	8.0	-0.6	-3.6	-2.9	-0.86	2.32	-0.17	-0.72	-0.49	7.50
bb4b - CLASSE 4 / 8	1	1.00		-3.4	6.3	3.6	1.6	0.0	-6.19	8.83	4.80	1.51	0.00	175.19
bb5b - CLASSE 5 / 8	10	10.00		4.0	1.9	5.9	1.9	2.5	2.28	0.81	2.41	0.55	0.65	13.30
bb6b - CLASSE 6 / 8	3	3.00		3.2	-2.6	6.5	-0.8	-8.3	3.41	-2.11	4.93	-0.42	-4.01	58.20
bb7b - CLASSE 7 / 8	1	1.00		0.2	1.0	-3.3	9.4	-4.6	0.32	1.46	-4.35	9.06	-3.87	120.07
bb8b - CLASSE 8 / 8	49	49.00		9.2	0.5	-4.2	1.2	3.4	2.08	0.08	-0.68	0.14	0.35	5.21

AXES 6 A 10

CLASSES				VALEURS-TEST					COORDONNEES					DISTO.
IDEN - LIBELLE	EFF.	P.ABS		6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	
COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES														
bb1b - CLASSE 1 / 8	79	79.00		2.9	1.3	5.5	-0.8	-1.4	0.17	0.07	0.22	-0.03	-0.03	0.86
bb2b - CLASSE 2 / 8	24	24.00		-0.6	0.4	-3.2	0.8	0.4	-0.07	0.05	-0.29	0.06	0.02	8.98
bb3b - CLASSE 3 / 8	21	21.00		3.7	-3.7	-3.6	1.1	1.6	0.50	-0.45	-0.36	0.09	0.09	7.50
bb4b - CLASSE 4 / 8	1	1.00		-8.5	0.4	2.4	-1.6	-1.9	-5.61	0.25	1.16	-0.64	-0.53	175.19
bb5b - CLASSE 5 / 8	10	10.00		4.1	0.0	2.2	-2.8	1.1	0.83	0.01	0.32	-0.34	0.09	13.30
bb6b - CLASSE 6 / 8	3	3.00		-1.3	2.8	-2.5	-0.5	0.8	-0.48	0.94	-0.69	-0.11	0.13	58.20
bb7b - CLASSE 7 / 8	1	1.00		1.4	-1.0	0.6	-1.1	2.2	0.96	-0.57	0.29	-0.44	0.63	120.07
bb8b - CLASSE 8 / 8	49	49.00		-6.0	0.1	-2.0	1.5	-0.7	-0.49	0.01	-0.12	0.07	-0.03	5.21

COMPOSITION DE: COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES

CLASSE 1 / 8
 A001 A005 A006 A007 A008 A009 A010 A011 A013 A014 A015 A016 E019 H020 H021
 H022 H023 H024 H025 H026 H027 H028 H029 H031 H032 H033 H034 H035 H044 H045
 H046 H047 H048 H049 H050 H051 H052 H053 H054 H058 H062 H063 J067 J068 J069
 J070 J071 J072 J073 K074 K075 K076 K077 K078 K079 K081 K083 K085 K087 K088
 K089 L091 L093 L094 N096 O097 O098 O100 O102 O103 O104 Q109 S110 U114 V123
 V124 V125 W001 Z143
 CLASSE 2 / 8
 A002 A003 A004 A012 K080 K082 L090 L092 O099 O101 O105 P106 P107 P108 U113
 U115 U116 U117 U118 U119 U120 U121 V122 Y129
 CLASSE 3 / 8
 D017 E018 H030 H036 H037 H038 H039 H041 H043 H055 H056 H057 H059 H060 H064
 H065 J066 S111 S112 Y126 Z127
 CLASSE 4 / 8
 K086
 CLASSE 5 / 8
 K084 Y127 W011 Z101 Z102 Z103 Z107 Z108 Z115 Z137
 CLASSE 6 / 8
 Z104 Z105 Z106
 CLASSE 7 / 8
 H061
 CLASSE 8 / 8
 H040 H042 M095 Y128 Y130 W002 W003 W004 W005 W006 W007 W008 W009 W010 W012
 W013 W014 W015 Z109 Z110 Z111 Z112 Z113 Z114 Z116 Z117 Z118 Z119 Z120 Z121
 Z122 Z123 Z124 Z125 Z126 Z128 Z129 Z130 Z131 Z132 Z133 Z134 Z135 Z136 Z138
 Z139 Z140 Z141 Z142

CLASSE 8/ 8
EFFECTIF: 49

RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.	RG	DISTANCE	IDENT.
1	0.25097	Z135	2	0.57640	Z120	3	0.58183	Z116
4	0.60854	Z134	5	0.61026	Z136	6	0.76642	Z124
7	0.81507	Z142	8	0.83515	Z129	9	0.93045	Z122
10	0.96115	Z126	11	1.11127	Z128	12	1.11699	Z117
13	1.13300	Z112	14	1.28308	Z133	15	1.37358	Z140
16	1.52087	Z138	17	1.61975	Z141	18	1.85832	Z130
19	1.87026	Z110	20	1.89005	Z113	21	2.01359	Z123
22	2.14257	Z111	23	2.33086	W014	24	2.50995	Z139
25	2.67270	W004	26	2.79963	Z132	27	2.84766	W003
28	3.05075	Z121	29	3.20627	W015	30	3.36126	H042
31	4.15987	W013	32	4.18616	W012	33	4.61482	Z131
34	4.61915	H040	35	4.67679	Y128	36	4.72057	Y130
37	4.90928	W002	38	5.30187	W006	39	5.33740	W007
40	5.64581	Z118	41	5.64971	W010	42	5.76729	Z114
43	6.23700	M095	44	6.72352	Z119	45	7.02338	Z109
46	7.11115	W009	47	7.73096	Z125	48	7.76827	W005
49	8.44043	W008						

DESCRIPTION DE PARTITION(S)
DESCRIPTION DE LA COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES
CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES CONTINUES
CARACTERISATION PAR LES CONTINUES DES CLASSES OU MODALITES
DE COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES

CLASSE 1 / 5

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 1 / 5 (POIDS = 95.00 EFFECTIF = 95)								aa1a
9.55	0.000	416.36	237.79	251.38	258.53	5.CRU		C6
8.77	0.000	498.11	308.40	257.41	299.06	2.LAM		C3
7.67	0.000	42.55	32.13	11.73	18.78	14.C2MP		C15
7.28	0.000	63.55	48.78	13.12	28.06	13.C2M		C14
-2.88	0.002	1105.01	1915.78	1771.71	3895.13	9.SUR		C10
-8.17	0.000	16.59	39.20	13.73	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 2 / 5

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 2 / 5 (POIDS = 26.00 EFFECTIF = 26)								aa2a
9.72	0.000	403.31	126.64	184.71	155.87	8.ESM		C9
6.00	0.000	72.12	51.20	14.31	19.09	6.BFI		C7
-3.26	0.001	84.04	237.79	58.45	258.53	5.CRU		C6
-3.43	0.000	106.65	199.31	46.21	147.95	3.IND		C4

CLASSE 3 / 5

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 4 / 5

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 4 / 5 (POIDS = 12.00 EFFECTIF = 12)								aa4a
7.83	0.000	523.92	199.31	400.36	147.95	3.IND		C4
-2.64	0.004	11.25	126.64	25.34	155.87	8.ESM		C9
-6.04	0.000	0.37	32.13	25.36	18.78	14.C2MP		C15
-6.04	0.000	18.92	51.20	19.55	19.09	6.BFI		C7
-8.01	0.000	-14.14	48.78	23.55	28.06	13.C2M		C14

CLASSE 5 / 5

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 5 / 5 (POIDS = 54.00 EFFECTIF = 54)								aa5a
12.14	0.000	92.69	39.20	17.55	38.24	7.VOL		C8
5.14	0.000	4222.16	1915.78	6192.74	3895.13	9.SUR		C10
-2.80	0.003	45.04	51.20	18.33	19.09	6.BFI		C7
-4.15	0.000	23.16	32.13	16.21	18.78	14.C2MP		C15
-4.45	0.000	0.78	15.21	2.66	28.13	4.ETI		C5
-5.40	0.000	29.61	126.64	67.81	155.87	8.ESM		C9
-6.86	0.000	33.37	237.79	58.74	258.53	5.CRU		C6
-8.05	0.000	31.07	308.40	58.97	299.06	2.LAM		C3

DESCRIPTION DE LA COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES
 CARACTERISATION DES CLASSES PAR LES CONTINUES
 CARACTERISATION PAR LES CONTINUES DES CLASSES OU MODALITES
 DE COUPURE 'b' DE L'ARBRE EN 8 CLASSES

CLASSE 1 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 1 / 8 (POIDS = 79.00 EFFECTIF = 79)								bb1b
5.85	0.000	62.88	48.78	13.94	28.06	13.C2M		C14
5.60	0.000	41.16	32.13	11.89	18.78	14.C2MP		C15
-2.77	0.003	987.88	1915.78	1715.36	3895.13	9.SUR		C10
-5.17	0.000	22.22	39.20	14.03	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 2 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 2 / 8 (POIDS = 24.00 EFFECTIF = 24)								bb2b
9.98	0.000	731.21	237.79	257.42	258.53	5.CRU		C6
9.35	0.000	842.79	308.40	202.70	299.06	2.LAM		C3
3.53	0.000	44.79	32.13	10.34	18.78	14.C2MP		C15
3.46	0.000	33.79	15.21	14.19	28.13	4.ETI		C5
2.76	0.003	63.58	48.78	11.50	28.06	13.C2M		C14
-4.76	0.000	4.42	39.20	6.53	38.24	7.VOL		C8

CLASSE 3 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 3 / 8 (POIDS = 21.00 EFFECTIF = 21)								bb3b
10.42	0.000	461.52	126.64	149.55	155.87	8.ESM		C9
4.85	0.000	70.29	51.20	14.67	19.09	6.BFI		C7
2.71	0.003	30.90	15.21	26.20	28.13	4.ETI		C5
-2.78	0.003	89.57	237.79	61.72	258.53	5.CRU		C6
-2.84	0.002	32.35	48.78	24.41	28.06	13.C2		C14
-3.23	0.001	100.71	199.31	45.12	147.95	3.IND		C4

CLASSE 4 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 5 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 5 / 8 (POIDS = 10.00 EFFECTIF = 10)								bb5b
-2.35	0.009	13.50	126.64	27.21	155.87	8.ESM		C9
-4.02	0.000	27.50	51.20	19.03	19.09	6.BFI		C7
-6.85	0.000	-7.54	32.13	23.41	18.78	14.C2MP		C15
-7.67	0.000	-17.58	48.78	24.79	28.06	13.C2M		C14

CLASSE 6 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 6 / 8 (POIDS = 3.00 EFFECTIF = 3)								bb6b
11.58	0.000	1183.33	199.31	23.57	147.95	3.IND		C4
-3.20	0.001	-2.85	48.78	1.67	28.06	13.C2M		C14
-4.67	0.000	0.00	51.20	0.00	19.09	6.BFI		C7

CLASSE 7 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
--------	-------	-----------------------------	--	--------------------------------	--	-------------	----------------------------	------

CLASSE 8 / 8

V.TEST	PROBA	MOYENNES CLASSE GENERALE		ECARTS TYPES CLASSE GENERAL		NUM.LIBELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN
CLASSE 8 / 8 (POIDS = 49.00 EFFECTIF = 49)								bb8b
12.17	0.000	96.53	39.20	10.21	38.24	7.VOL		C8
3.73	0.000	3704.63	1915.78	2984.42	3895.13	9.SUR		C10
-3.15	0.001	43.80	51.20	18.51	19.09	6.BFI		C7
-4.06	0.000	22.73	32.13	15.58	18.78	14.C2MP		C15
-4.31	0.000	0.29	15.21	0.67	28.13	4.ETI		C5
-5.44	0.000	22.20	126.64	60.20	155.87	8.ESM		C9
-6.63	0.000	26.69	237.79	53.06	258.53	5.CRU		C6
-7.78	0.000	21.98	308.40	49.62	299.06	2.LAM		C3

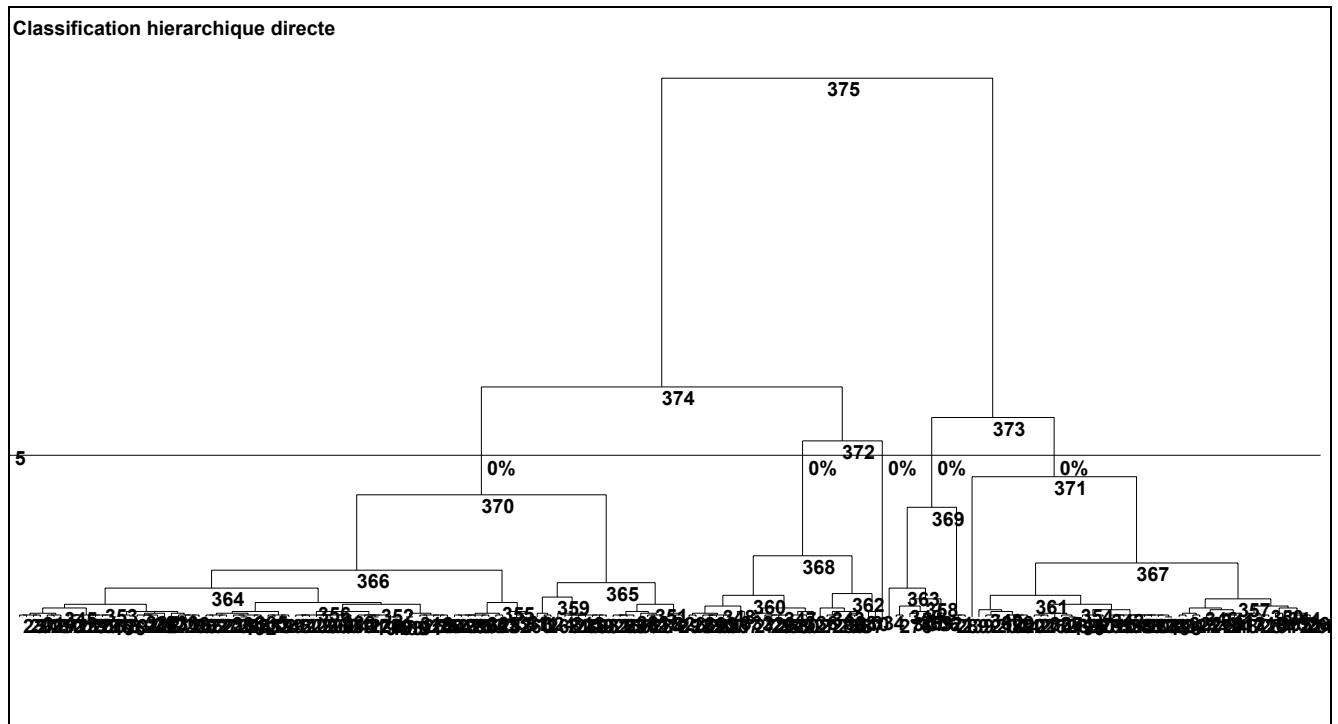


Figure A2.18 : Coupure de l'Arbre de classification hiérarchique en 5 Classes

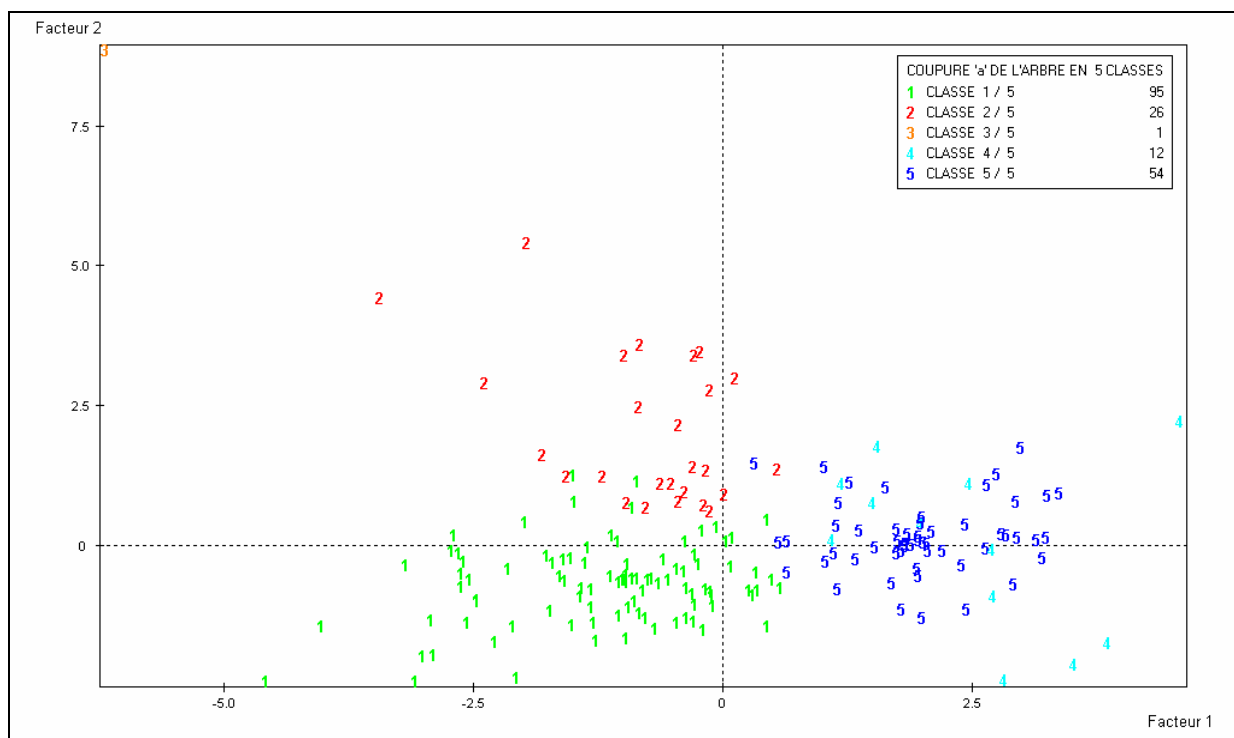


Figure A2.19 : Graphique de situation des 5 classes de bassins versants de la classification hiérarchique (Plan principal 1x2)

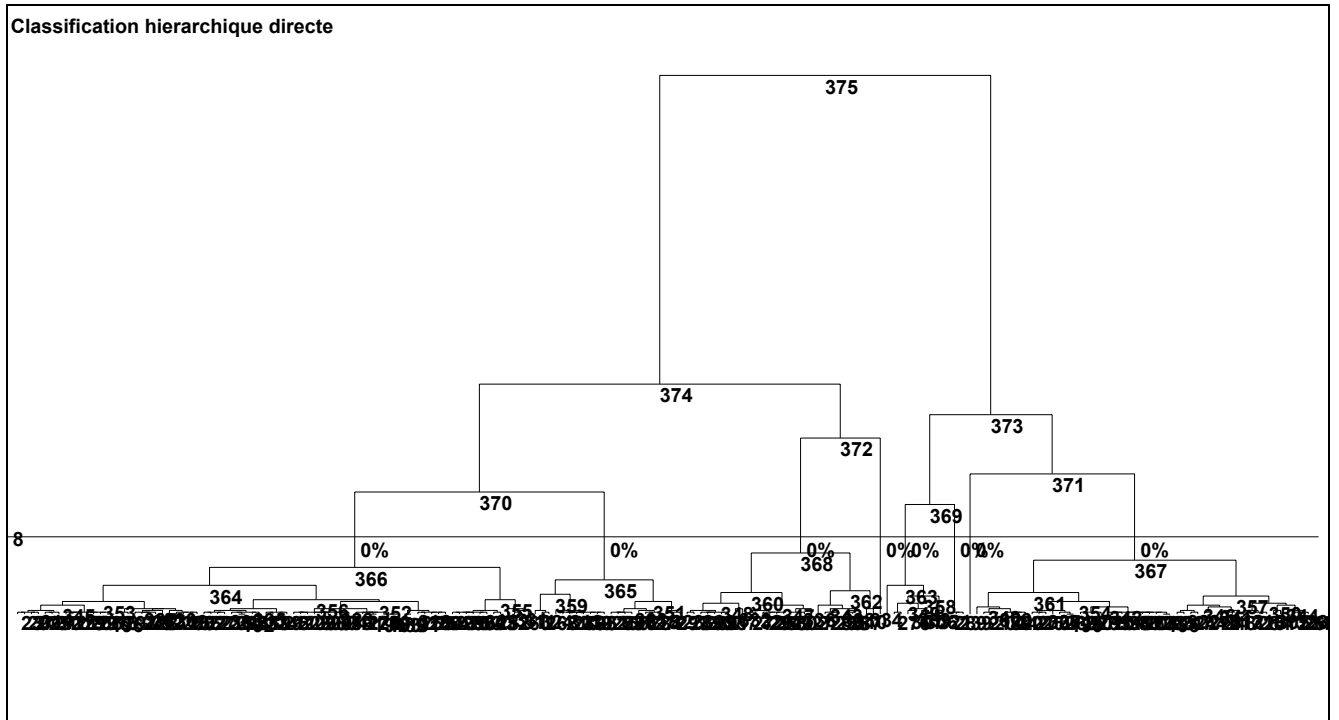


Figure A2.20 : Coupure de l'Arbre de classification hiérarchique en 8 Classes

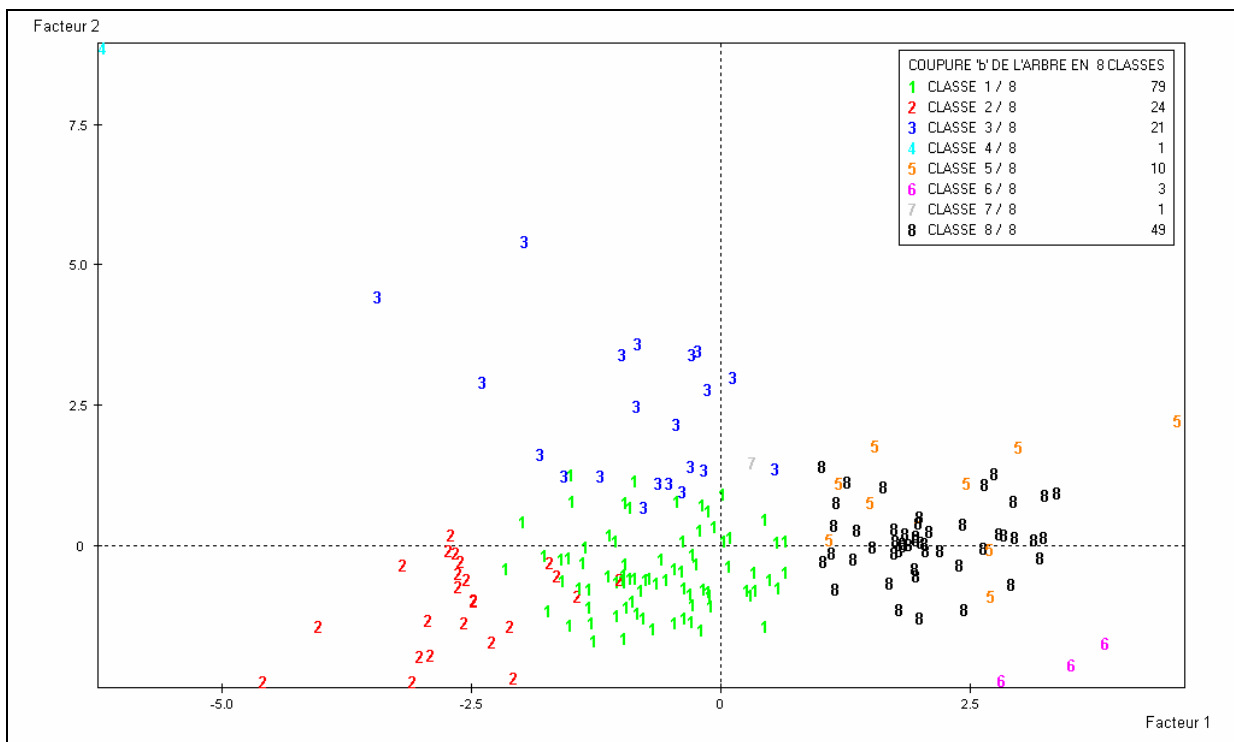


Figure A2.21 : Graphique de situation des 8 classes de bassins versants de la classification hiérarchique (Plan principal 1x2)

ANNEXE 3 : Résultats des méthodes « directes » de base : PQB, GR3JPR et GR4JSI

A3.1 Modèle PQB-Fabret

Il s'agit d'une formule qui lie les précipitations sur l'ensemble du bassin versant au débit à l'exutoire. La formule de prévision utilisée est la suivante (Fourmigué, 2003) :

$$\hat{Q}(t + \Delta t) = (1 - a)Q(t) + a.b.\Pi / \Delta t \quad \text{formule 1 : calcul du débit avec PQB}$$

avec: \hat{Q} : débit prévu (en mm), Q : débit observé (en mm), a : qui doit être compris entre 0 et 1 (premier paramètre), b : coefficient d'écoulement des pluies (deuxième paramètre). Il s'agit du rapport entre la pluie tombée et la pluie ruisselée. Sa valeur appartient à $[0,1]$, Π : La pluie tombée entre $t-C$ et t (C troisième paramètre du modèle), Δt : le délai de prévision souhaité.

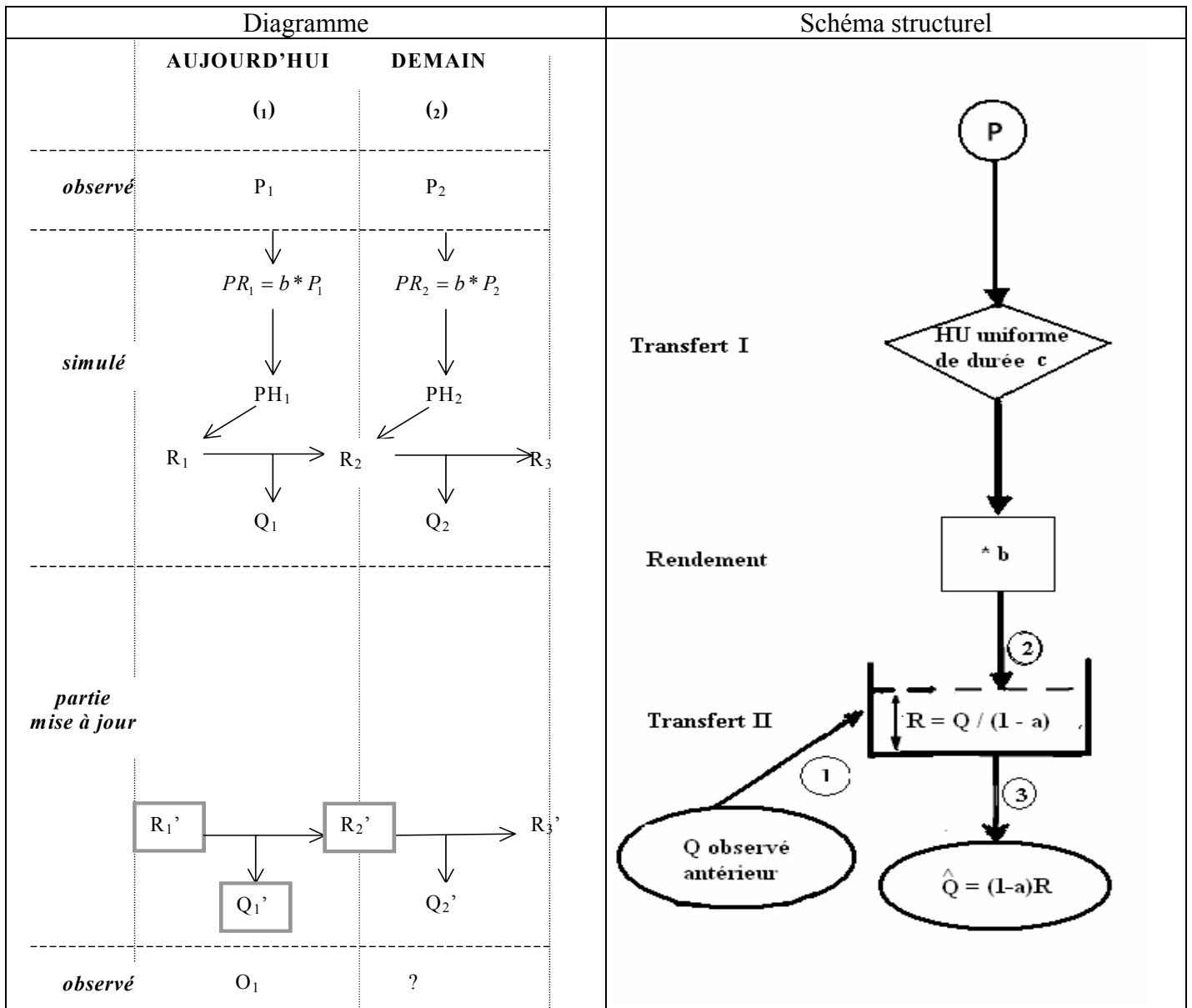


Figure A3.1 : Diagramme et Schéma structurel du modèle PQB-Fabret

Sur le Diagramme, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain).

Tableau A3.1 : Résultats des essais du modèle **PQB-Fabret**

Modèle	Efficacité-minimale	Efficacité-moyenne	Efficacité-maximale	% de BV où E ≥ 0
PQB-Fabret	-3.8	13.0	37.2	0.97

Spécifications générales pour le module FORTRAN du modèle **PQB-Fabret**

- nombre de paramètres du modèle fixé à 3 : (io(21) = 3)

Module FORTRAN du modèle PQB-Fabret

<pre> SUBROUTINE HU2(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C pour PQB PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,3*NH XV(3*NPX+I)=SS2(I,C)-SS2(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS2(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C) pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FILE.0.)THEN SS2=0. RETURN ENDIF IF(FLT.C)THEN SS2=FI/C RETURN ENDIF SS2=1. RETURN END SUBROUTINE TIT2(XV) c SP d'Ecriture du Titre du Modèle PQB de Fabret PARAMETER (NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) WRITE(8,(A)') _____ WRITE(8,(A)') modele PQB de FABRET (cf. J. LAVABRE) WRITE(8,(A)') _____ write(8,(/)) write(*,(/)) IO(21)=3 RETURN END SUBROUTINE PAT2(XV) c SP d'Initialisation des Paramètres de PQB DIMENSION XV(*) XV(1)=3.0 XV(2)=-0.5 XV(3)=-6.0 RETURN END </pre>	<pre> SUBROUTINE INI2(X,XV) c SP de Calcul des Etats de PQB PARAMETER (NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE2(XV) RETURN END SUBROUTINE VRE2(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de PQB PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2 XV(NPX+I)=EXP(XV(I)) 1 CONTINUE XV(NPX+1)=1./(1.+1./XV(NPX+1)) XV(NPX+3)=((3*NH-1.)/10.*XV(3)+3*NH+1.)/2 CALL HU2(XV,XV(NPX+3)) RETURN END SUBROUTINE MOD2(X,XV,P,EJ,QA,Q) c S.P. de Calcul du Modèle PQB PARAMETER (NPX=10,NH=7,NCL=19) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /EAZ/ EM(31,12),PS(NCL) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 <====> lacune) CA=PS(4) DO 1 K=1,3*NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*P 1 CONTINUE X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*P QAC=QA IF(CA.LE.0.)CA=1. IF(QA.LT.0.)QAC=CA Q=XV(NPX+1)*QAC+(1.-XV(NPX+1))*XV(NPX+2)*X(4) CA=Q RETURN END </pre>
--	--

A3.2 Modèle GR3JPR (GR3J-PREVISION)

GR3JPR (GR3J-PREVISION) a été conçu pour une mise à jour directe du modèle à la fois dans sa fonction de rendement et dans sa fonction de transfert.

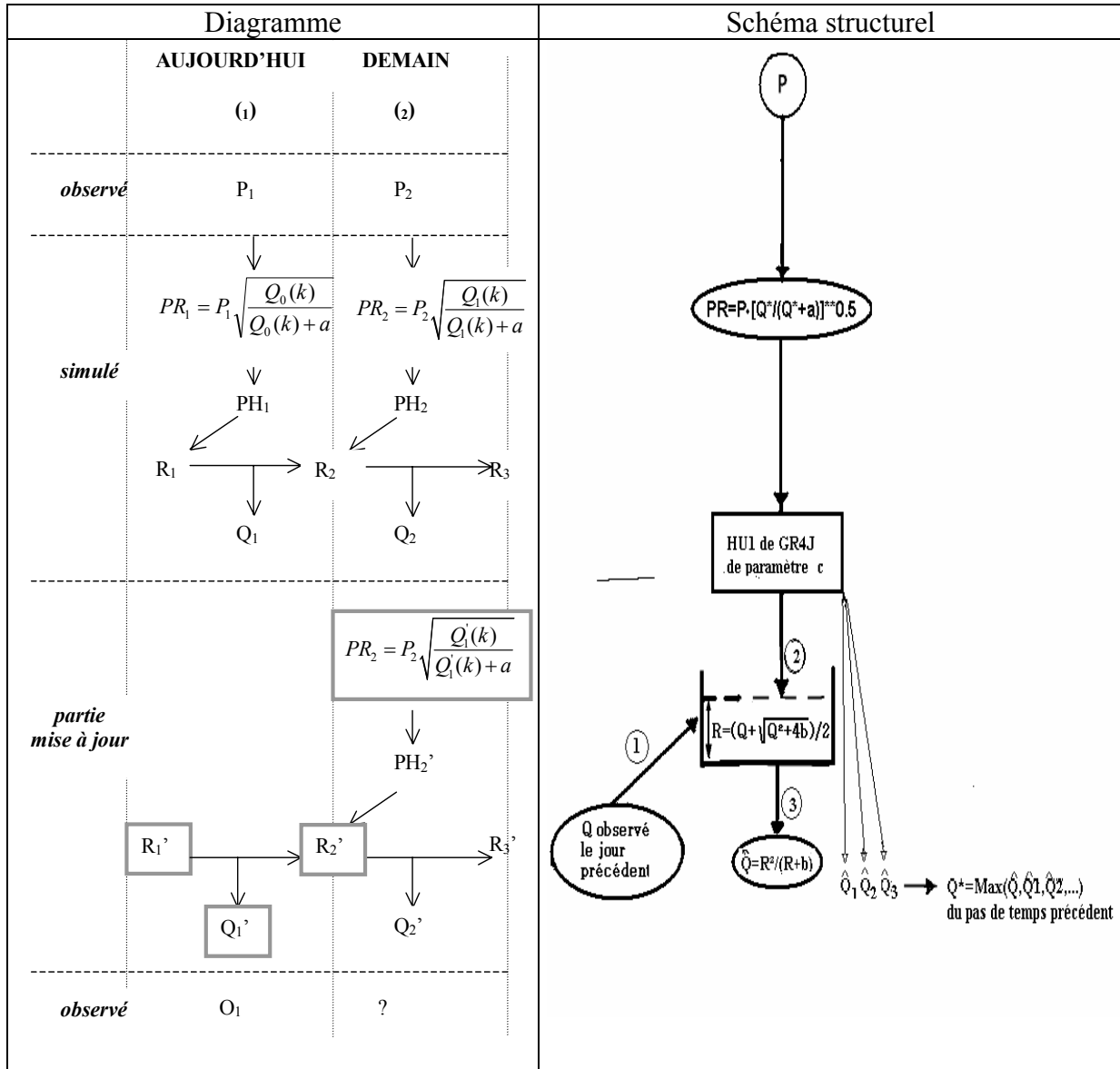


Figure A3.2 : Diagramme et Schéma structurel du modèle **GR3JPR**

Sur le Diagramme, $Q_1'(k)$ désigne non pas Q_1' mais le débit obtenu après fonctionnement du modèle pendant k pas de temps pour tenir compte du décalage entre l'apparition des pluies et la modification des débits en sortie du modèle.

Tableau A3.2 : Résultats des essais du modèle **GR3JPR** (Q^* est égal au dernier débit observé)

Modèle	Efficacité-minimale	Efficacité-moyenne	Efficacité-maximale	% de BV où $E \geq 0$
GR3JPR	-3.1	26.5	70.0	0.97

Spécifications générales pour le module FORTRAN du modèle GR3JPR

- exposant de la fonction de rendement : $(xv(npX-1) > 0)$,
- exposant du réservoir de transfert R : $(xv(npX) \geq 1)$,
- nombre de paramètres du modèle : $(io(21) = 3)$.

Module FORTRAN du modèle GR3JPR

<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C pour GR3JP et GR4J PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END FUNCTION R2Q(XV,Q) c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1.0 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R**(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S**(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END </pre>	<pre> FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1.0 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) END SUBROUTINE TIT3(XV) c SP de Saisie_Exposants_Rendement_Routage et Ecriture_Titre_GR3JPR PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) 10 continue write(*, '/') WRITE(*, '(A)') ' exposant de la fonction de rendement (0.4) ?.. ' READ(*, *)XV(NPX-1) if(xv(npX-1).lt.0.)then write(*, '/') write(*, '(A)') ' * EXPOSENT < 0. * IMPOSSIBLE * RECOMMENCER *' goto 10 endif 20 continue write(*, '/') WRITE(*, '(A)') ' exposant du reservoir de routage (>=1.0) ?... ' READ(*, *)XV(NPX) if(xv(npX).lt.1.)then write(*, '/') write(*, '(A)') ' * EXPOSENT < 1. * IMPOSSIBLE * RECOMMENCER *' goto 20 endif write(*, '/') WRITE(8, '(A)') ' _____ ' WRITE(8, '(A)') ' modele GR3J-PREVISION' WRITE(8, '(A,F8.3)') ' exposant dans le rendement=',XV(NPX-1) WRITE(8, '(A,F8.3)') ' exposant reservoir routage=',XV(NPX) WRITE(8, '(A)') ' _____ ' write(8, '/') write(*, '/') IO(21)=3 RETURN END </pre>
--	---

<pre> SUBROUTINE PAT3(XV) c SP d'Initialisation des Paramètres de GR3J-PREVISION DIMENSION XV(*) XV(1)=5. XV(2)=0.5 XV(3)=-8.5 RETURN END SUBROUTINE INI3(X,XV) c SP de Calcul des Etats de GR3J-PREVISION PARAMETER (NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. 1 CONTINUE X(3)=0. CALL VRE3(XV) RETURN END SUBROUTINE VRE3(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR3J-PREVISION PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2 XV(NPX+I)=EXP(XV(I)) 1 CONTINUE XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> SUBROUTINE MOD3(X,XV,P,EJ,QA,Q) c S.P. de Calcul du Modèle GR3J-PREVISION PARAMETER (NPX=10,NH=7,NCL=19) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /EAZ/ EM(31,12),PS(NCL) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 <====> lacune) c X(3) est le Débit Max. créé par les Pluies Antérieures CC PR=P/(1.+(XV(NPX+2)/(X(3)+0.00001)))*XV(NPX-1)) PR=P*(X(3)/(X(3)+XV(NPX+2)))*XV(NPX-1) CA=PS(4) DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR c Calcul du niveau R (d'aujourd'hui) QAC=QA IF(CA.LE.0.)CA=1. IF(QA.LT.0.)QAC=CA R=R2Q(XV,QAC)+X(4) Q=Q2R(XV,R) S=MAX(0.,R-Q) CA=Q X(3)=Q DO 2 K=2,NH IF(X(3*NPX+K).LT.X(3*NPX+K-1))RETURN S=S+X(3+K) Q3=Q2R(XV,S) X(3)=MAX(X(3),Q3) S=MAX(0.,S-Q3) 2 CONTINUE RETURN END </pre>
---	---

A3.3 Modèle GR4JSI (GR4J Simplifié)

GR4JSI (GR4J-Simplifié) est dérivé de GR4J (2003) en y :

- supprimant le partage en deux de PR (0.9PR, 0.1PR) ainsi que l'HU2,
- introduisant seulement la mise à jour du réservoir de transfert R (dépendant du débit observé Q du jour précédent).

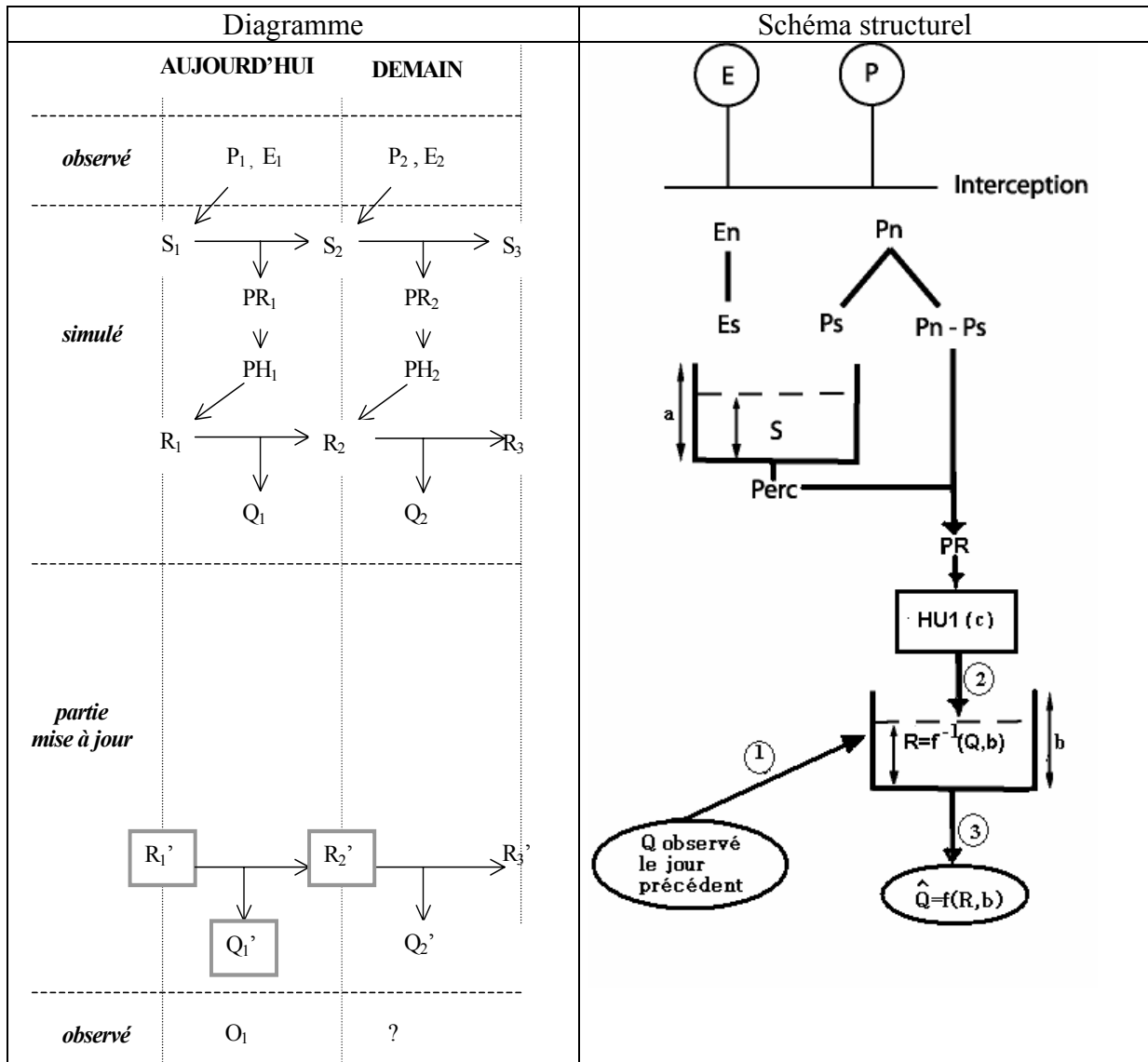


Figure A3.3 : Diagramme et Schéma structurel du modèle GR4JSI

Sur le Diagramme, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain).

A3.3.1 Analyse de la fonction de transfert de **GR4JSI** (voir Figure 3.4)

Fonction de rendement Classique de GR4J-Perrin,

Fonction de transfert de la forme : $Q \propto R^\gamma$ (en valeurs instantanées)

On teste différentes valeurs de γ de 1 à 9

Tableau A3.3 : Résultats des essais de l'analyse de la fonction de transfert du modèle **GR4JSI**

γ	1.0	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
E _{min}	-8.9	-98.5	-96.1	-91.5	-84.0	-73.3	-61.6	-87.5	-69.8	-71.1	-95.7	-67.1	-96.9
\bar{E}	9.7	24.7	25.5	26.2	26.3	26.2	26.7	25.7	25.5	25.1	24.3	24.5	23.8
E _{max}	26.9	64.3	65.0	65.6	66.1	66.4	68.2	68.7	68.6	68.6	68.5	68.4	68.4
%BV où $E \geq 0$	0.93	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92

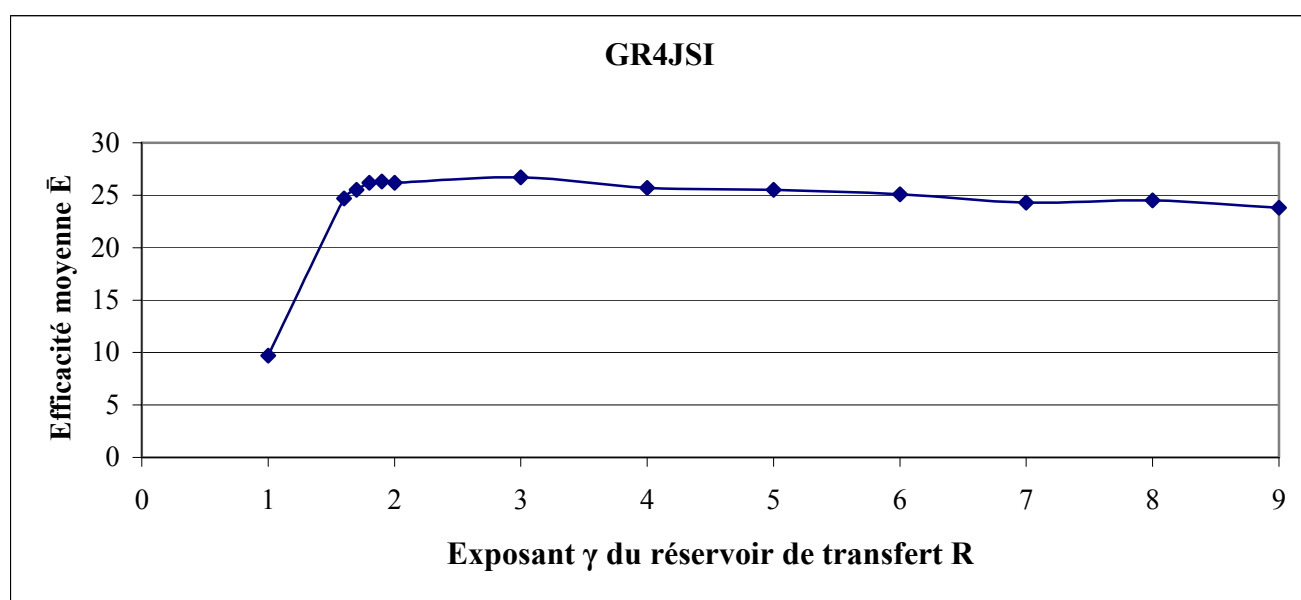


Figure A3.4 : Efficacité du modèle GR4JSI en fonction de l'exposant du réservoir de transfert R

L'examen de la Figure 3.4 montre que les fluctuations de la fonction de transfert sont moins importantes qu'on ne le pensait.

Spécifications générales pour le module FORTRAN du modèle **GR4JSI**

- exposant du réservoir de transfert R : (xv(np_x) ≥ 1),
- nombre de paramètres du modèle : (io(21) = 3).

Module FORTRAN du modèle GR4JSI

<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C pour GR3JP et GR4J PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END FUNCTION R2Q(XV,Q) c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1.0 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R**(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S**(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1.0 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)); END </pre>	<pre> FUNCTION SS2(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C) pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS2=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS2=FI/C RETURN ENDIF SS2=1. RETURN END SUBROUTINE TIT1(XV) c SP de Saisie_Exposant_Reservoir_Routage et d'Ecriture_Titre_GR4JSI PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) 10 continue write(*, '/') WRITE(*, '(A)') ' exposant du reservoir de routage (>=1.0) ?.... ' READ(*, *)XV(NPX) if(xv(npX).lt.1.)then write(*, '/') write(*, '(A)') ' * EXPOSENT < 1. * IMPOSSIBLE * RECOMMENCER * ' goto 10 endif write(*, '/') WRITE(8, '(A)') ' _____ ' WRITE(8, '(A)') ' modele GR4J-simplifie ' WRITE(8, '(A, F8.3)') ' exposant du reservoir de routage= ', XV(NPX) WRITE(8, '(A)') ' _____ ' write(*, '/') write(*, '/') IO(21)=3 RETURN END SUBROUTINE PAT1(XV) c SP d'Initialisation des Paramètres de GR4-simplifié DIMENSION XV(*) XV(1)=4. XV(2)=5.6 XV(3)=-8. RETURN END SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP de Calcul des États de GR4J-simplifié PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) DO 1 K=4,3+NH X(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(2)=0.7*XV(NPX+2) RETURN END SUBROUTINE VRE1(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4J-simplifié PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>
--	--

<pre> SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4J-SIMPLIFIE PARAMETER (NPX=10,NH=7,NCL=19) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /EAZ/ EM(31,12),PS(NCL) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 <====> lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V) PR=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V) PR=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25 PERC=X(2)-X2N PR=PR+PERC X(2)=X2N CA=PS(4) DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR QAC=QA IF(CA.LE.0.)CA=1. if(QA.LT.0.)QAC=CA R=R2Q(XV,QAC)+X(4) Q=Q2R(XV,R) CA=Q RETURN END </pre>	
---	--

ANNEXE 4 : Résultats des essais des variantes du modèle GR3JPR (GR3J-PREVISION)

A4.1 Variante GR3JPR₁

GR3JPR₁ est dérivé du modèle GR3JPR en y introduisant la mise à jour graduelle de sa fonction de production et analyse des fonctions de production et de transfert de GR3JPR.

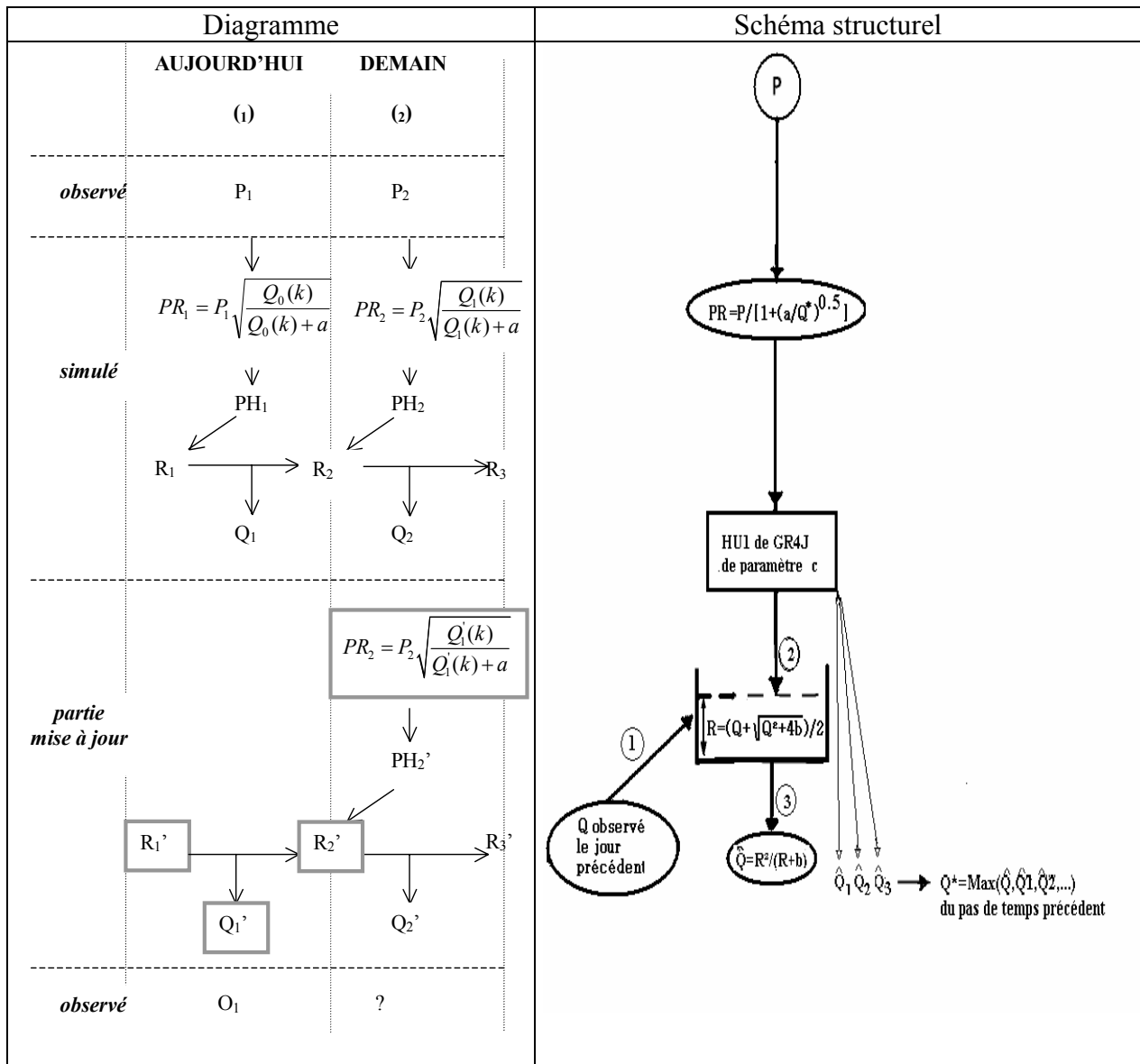


Figure A4.1 : Diagramme et Schéma structurel de la variante GR3JPR₁

Sur le Diagramme, $Q_1'(k)$ désigne non pas Q_1' mais le débit obtenu après fonctionnement du modèle pendant k pas de temps pour tenir compte du décalage entre l'apparition des pluies et la modification des débits en sortie du modèle.

A4.1.1 - Analyse de la fonction de rendement de la Variante GR3JPR₁

Fonction de transfert : $Q \propto R^\gamma$ (en valeurs instantanées)

On teste les deux valeurs : $\gamma = 2$ et $\gamma = 5$ et les deux fonctions de rendement (a) et (b)

(a) Fonction de rendement : $PR = P / (1 + [a / Q^*]^\delta)$ avec $\delta > 0$

Tableau A4.1 : Résultats de l'analyse de la fonction de rendement (a) de la Variante GR3JPR₁

γ	δ	0.05	0.10	0.20	0.30	0.333	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
2	\bar{E}	22.9	24.2	25.4	25.7	25.9	26.5	26.6	26.1	25.6	25.1	24.5	24.2
	%BVouE ≥ 0	0.94	0.95	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.94	0.94	0.94	0.92	0.92
γ	δ	0.05	0.10	0.20	0.30	0.333	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
5	\bar{E}	24.3	25.6	26.2	25.8	25.5	26.2	25.7	25.5	24.4	23.6	23.0	23.1
	%BVouE ≥ 0	0.94	0.94	0.93	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93	0.920	0.92	0.92

(b) Fonction de rendement : $PR = P * [Q^* / (Q^* + a)]^\delta$ avec $\delta > 0$

Tableau A4.2 : Résultats de l'analyse de la fonction de rendement (b) de la Variante GR3JPR₁

γ	δ	0.05	0.10	0.20	0.30	0.333	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
2	\bar{E}	22.0	24.1	25.5	25.8	26.0	26.5	26.5	25.9	25.7	25.2	24.9	24.7
	%BVouE ≥ 0	0.89	0.97	0.95	0.95	0.96	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.93
γ	δ	0.05	0.10	0.20	0.30	0.333	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
5	\bar{E}	24.4	25.1	25.1	24.4	24.4	25.1	25.0	24.5	24.1	23.7	23.4	23.1
	%BVouE ≥ 0	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92

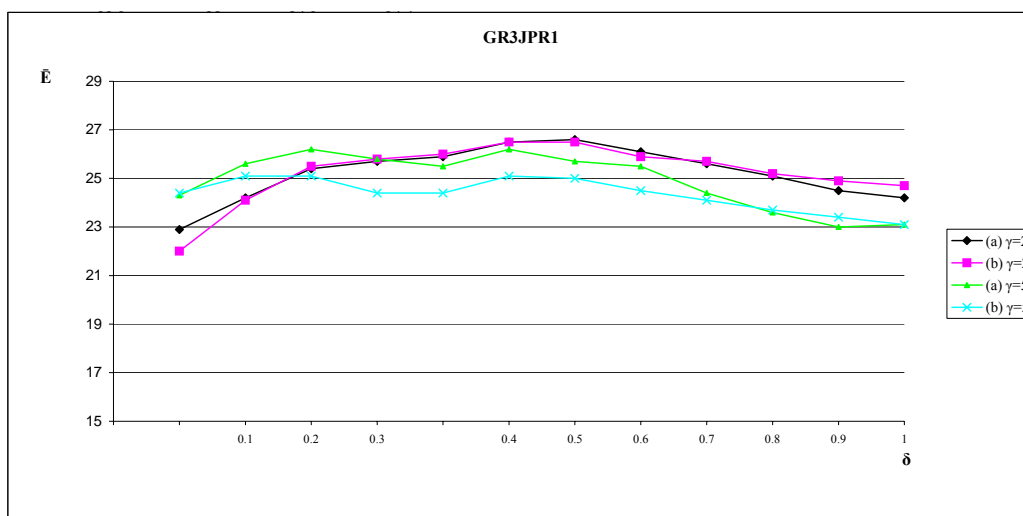


Figure A4.2 : Performance de la Variante GR3JPR₁ en fonction de sa fonction de rendement

A4.1.2 - Analyse de la fonction de transfert de la Variante GR3JPR₁ : (voir Figure 4.2)

Fonction de transfert : $Q \propto R^\gamma$ (en valeurs instantanées)

On teste différentes valeurs de γ de 1 à 8 et les deux fonctions de rendement (a) et (b) :

(a) $PR = P / (1 + [a / Q^*]^{0.5})$ avec $\delta > 0$

(b) $PR = P * [Q^* / (Q^* + a)]^{0.5}$ avec $\delta > 0$

Tableau A4.3: Résultats de l'analyse des fonctions de transfert (a) et (b) de GR3JPR₁

(fct-rendement)	γ (fct-routage)	E _{min}	\bar{E}	E _{max}	% de BV avec E ≥ 0
(a)	1.0	-1.1	8.0	19.5	0.95
	1.6	-63.1	24.0	67.1	0.93
	1.7	-35.2	25.1	67.4	0.95
	1.8	-12.6	25.8	67.7	0.96
	1.9	-2.9	26.4	67.7	0.98
	2.0	-3.1	26.5	70.0	0.97
	3.0	-17.7	26.8	67.1	0.95
	4.0	-26.4	26.5	67.9	0.95
	5.0	-30.8	26.2	68.0	0.95
	8.0	-53.6	25.8	67.7	0.95
(b)	1.0	-1.1	8.2	19.8	0.94
	1.6	-63.0	24.5	62.5	0.93
	1.7	-35.2	25.4	63.4	0.95
	1.8	-12.6	26.0	64.0	0.95
	1.9	-3.2	26.2	64.6	0.97
	2.0	-3.1	26.5	65.0	0.97
	3.0	-31.9	26.0	66.6	0.95
	4.0	-23.9	25.5	66.8	0.93
	5.0	-56.5	25.1	66.7	0.94
	8.0	-65.3	24.5	67.2	0.93

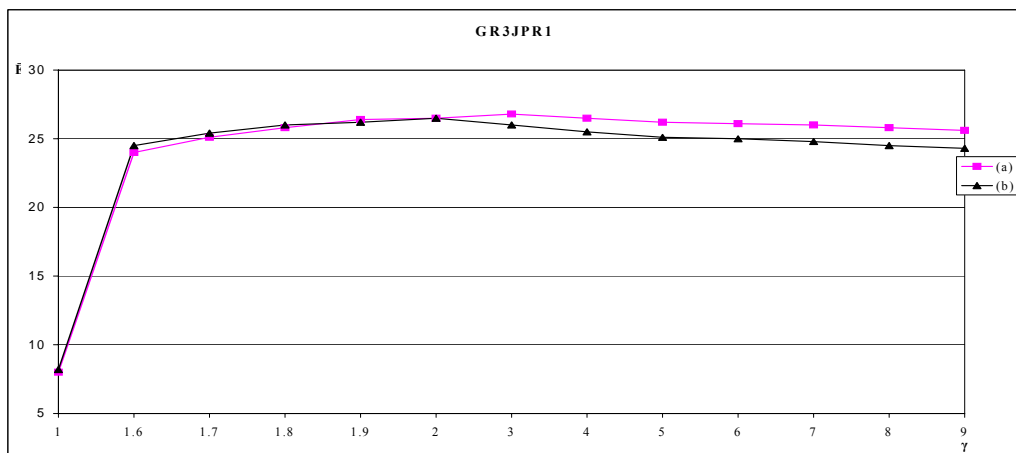


Figure A4.3 : Performance de la Variante GR3JPR₁ en fonction de sa fonction de transfert

L'examen des figures 4.2 et 4.3 montre que les fluctuations des fonctions de rendement et de transfert sont moins importantes qu'on ne le pensait.

A4.2 Variante GR3JPR₂

GR3JPR₂ est dérivé du modèle GR3JPR en y introduisant la mise à jour progressive de sa fonction de rendement avec option supplémentaire de prise en compte ou de non-prise en compte du débit correspondant à la pointe de l'hydrogramme unitaire HU1 (date notée k).

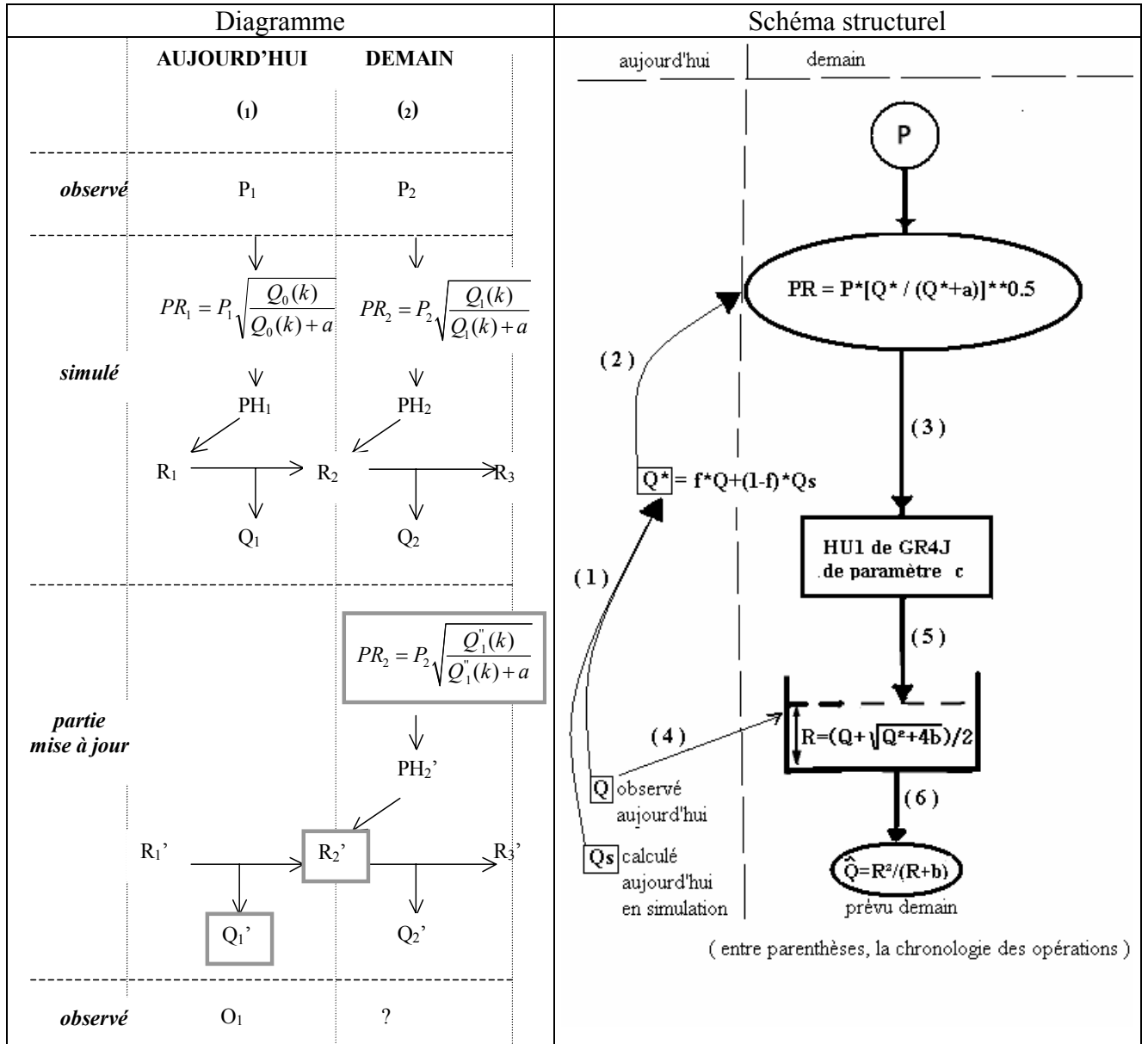


Figure A4.4 : Diagramme et Schéma structurel de la variante GR3JPR₂

Sur le Diagramme, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain) et $Q_1'(k)$ désigne non pas Q_1' mais le débit obtenu après fonctionnement du modèle pendant k pas de temps pour tenir compte du décalage entre l'apparition des pluies et la modification des débits en sortie du modèle. $Q_1''(k)$ est une pondération (avec f) de $Q_1(k)$ et de $Q_1'(k)$.

Tableau A4.4 : Tableaux des résultats des essais de la variante GR3JPR₂

Variante GR3JPR ₂	fixé	Avec utilisation du débit de pointe de HU							Avec utilisation du débit antérieur								
		Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens		
			Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
	0.00	-9.74	26.82	64.57	0.963	5.57	-5.36	-6.71	0.00	-11.85	26.47	64.46	0.968	5.61	-5.22	-6.79	
	0.01	-9.63	26.65	64.58	0.968	5.60	-3.07	-6.86	0.01	-11.87	26.38	64.41	0.963	5.61	-2.92	-6.86	
	0.05	-9.89	26.80	64.60	0.963	5.58	-1.50	-6.75	0.05	-11.72	26.49	64.40	0.968	5.59	-1.34	-6.78	
	0.10	-9.68	26.72	64.57	0.963	5.60	-0.81	-6.82	0.10	-11.72	26.48	64.44	0.963	5.60	-0.65	-6.80	
	0.20	-9.80	26.84	64.58	0.968	5.60	-0.12	-6.82	0.20	-11.82	26.56	64.43	0.968	5.61	0.02	-6.83	
	0.25	-9.59	26.87	64.58	0.963	5.59	0.06	-6.79	0.30	-11.68	26.55	64.40	0.963	5.61	0.43	-6.80	
	0.30	-9.95	26.84	64.56	0.968	5.59	0.27	-6.79	0.40	-11.70	26.61	64.45	0.963	5.60	0.70	-6.79	
	0.40	-9.88	26.81	64.60	0.963	5.59	0.55	-6.80	0.50	-11.79	26.50	64.44	0.968	5.61	0.92	-6.83	
	0.50	-9.66	26.71	64.55	0.968	5.60	0.78	-6.83	0.60	-11.78	26.45	64.39	0.968	5.65	1.00	-6.85	
	0.60	-9.88	26.71	64.57	0.968	5.63	0.85	-6.82	0.70	-11.69	26.40	64.41	0.963	5.66	1.11	-6.84	
	0.70	-9.87	26.71	64.60	0.968	5.66	0.96	-6.85	0.80	-11.70	26.35	64.39	0.968	5.65	1.27	-6.84	
	0.80	-9.66	26.63	64.57	0.963	5.64	1.13	-6.85	0.90	-11.73	26.41	64.39	0.968	5.67	1.33	-6.85	
	0.90	-9.62	26.73	64.56	0.963	5.65	1.18	-6.82	1.00	-11.80	26.48	64.42	0.968	5.68	1.39	-6.84	
	1.00	-9.76	26.63	64.55	0.968	5.67	1.25	-6.84	0.00	-11.85	26.47	64.46	0.968	5.61	-5.22	-6.79	

Module FORTRAN de la variante GR3JPR₂

Cxxxx HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1

```

SUBROUTINE HU1(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26)
DIMENSION XV(*)
common /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
io(6)=1
DO 1 I=1,NH
XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)
if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i
1 CONTINUE
RETURN
END

```

Cxxx SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1

```

FUNCTION SS1(I,C)
c {H(t)=0 si t <= 0}
c Calcul la Fonction: {H(t)=(t/C)**2.5 si 0 < t < C}
c {H(t)=1 si t >= C}
c {telle que q(t) = dH(t) / dt }

FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS1=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LT.C)THEN
SS1=(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS1=1.
RETURN
END

```

Cxx TIT3_TIT3_TIT3_TIT3_TIT3_TIT3_TIT3_TIT3_TIT3_TIT3

```

SUBROUTINE TIT3(XV)
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
IO(21)=3
WRITE(*, '(A)') ' utiliser la pointe de HU (oui:1) ?..... '
READ(*,*)IO(5)
WRITE(*, '(A)') ' fraction utilisant le debit Q mis a jour(>0&<1)?'
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(XV(NPX-1).lt.0.)XV(NPX-1)=0.
if(XV(NPX-1).gt.1.)XV(NPX-1)=1.
XV(NPX)=2.
WRITE(8, '(A)')

```

```

WRITE(8, '(A)') ' modele GR3J-PREVISION'
WRITE(8, '(A,F8.3)') ' fraction utilisant Q mis a jour =',XV(NPX-1)
WRITE(8, '(A,F8.3)') ' exposant reservoir de transfert =',XV(NPX)
IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8, '(A)') ' utilisation de la pointe de HU'
IF(IO(5).NE.1)WRITE(8, '(A)') ' tient pas compte du max. de HU'
WRITE(8, '(A,I4)') ' nombre de parametres du modele =',IO(21)
WRITE(8, '(A)')

```

```

RETURN
END

```

Cxxxx PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3

```

SUBROUTINE PAT3(XV)
c Initialisation Paramètres Transformés de GR3JPR2
DIMENSION XV(*)
XV(1)=5.
XV(2)=0.5
XV(3)=-8.5
RETURN
END

```

<pre> Cxxxx PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3_PAT3 SUBROUTINE PAT3(XV) c Initialisation Paramètres Transformés de GR3JPR₂ DIMENSION XV(*) XV(1)=5. XV(2)=0.5 XV(3)=-8.5 RETURN END Cxxxx INI3_INI3_INI3_INI3_INI3_INI3_INI3_INI3_INI3_INI3 SUBROUTINE INI3(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR3JPR₂ PARAMETER (NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE X(3)=0. XS(3)=0. CALL VRE3(XV) RETURN END Cxxxx VRE3_VRE3_VRE3_VRE3_VRE3_VRE3_VRE3_VRE3_VR SUBROUTINE VRE3(XV) c Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR3JPR₂ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2 XV(NPX+I)=EXP(XV(I)) 1 CONTINUE XV(NPX+3)=((NH-1)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxxxx MOD3_MOD3_MOD3_MOD3_MOD3_MOD3_MOD3_MOD3 SUBROUTINE MOD3(X,XV,P,EJ,QA,Q) c S.P. de Calcul du Modèle GR3JPR₂ PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) c X(3) est le Débit utilisé dans la fonction de production IF(QS.LT.0.)QS=1. QAC=QA IF(QAC.LT.0.)QAC=QS QAT=QAC R=R2Q(XV,QAC) S=R IF(IO(5).EQ.1.AND.IO(6).GT.1)THEN DO 2 K=2,IO(6) S=S+XS(3+K) QAT=Q2R(XV,S) S=MAX(0.,S-QAT) 2 CONTINUE ENDIF IF(QST.LT.0.)QST=1. X(3)=XV(NPX-1)*QAT+(1.-XV(NPX-1))*QST XS(3)=QST PR=P*SQRT(X(3)/(X(3)+XV(NPX+2))) PRS=P*SQRT(XS(3)/(XS(3)+XV(NPX+2))) DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS XS(1)=XS(1)+XS(4) QS=Q2R(XV,XS(1)) XS(1)=MAX(0.,XS(1)-QS) QST=QS IF(IO(5).EQ.1.AND.IO(6).GT.1)THEN S=XS(1) DO 3 K=2,IO(6) S=S+XS(3+K) QST=Q2R(XV,S) S=MAX(0.,S-QST) 3 CONTINUE ENDIF c Calcul du niveau R (d'aujourd'hui) R=R+X(4) Q=Q2R(XV,R) RETURN END </pre>
--	--

ANNEXE 5 : RESULTATS DES ESSAIS DU MODELE GR4J COMPLET

Ici, le modèle GR4J (GR4J Complet) est utilisé avec la possibilité de mettre à jour uniquement le débit en sortie, en utilisant un coefficient f (compris entre 0 et 1) qui définit l'ampleur de la mise à jour, les deux branches d'écoulement traitées de façon identique.

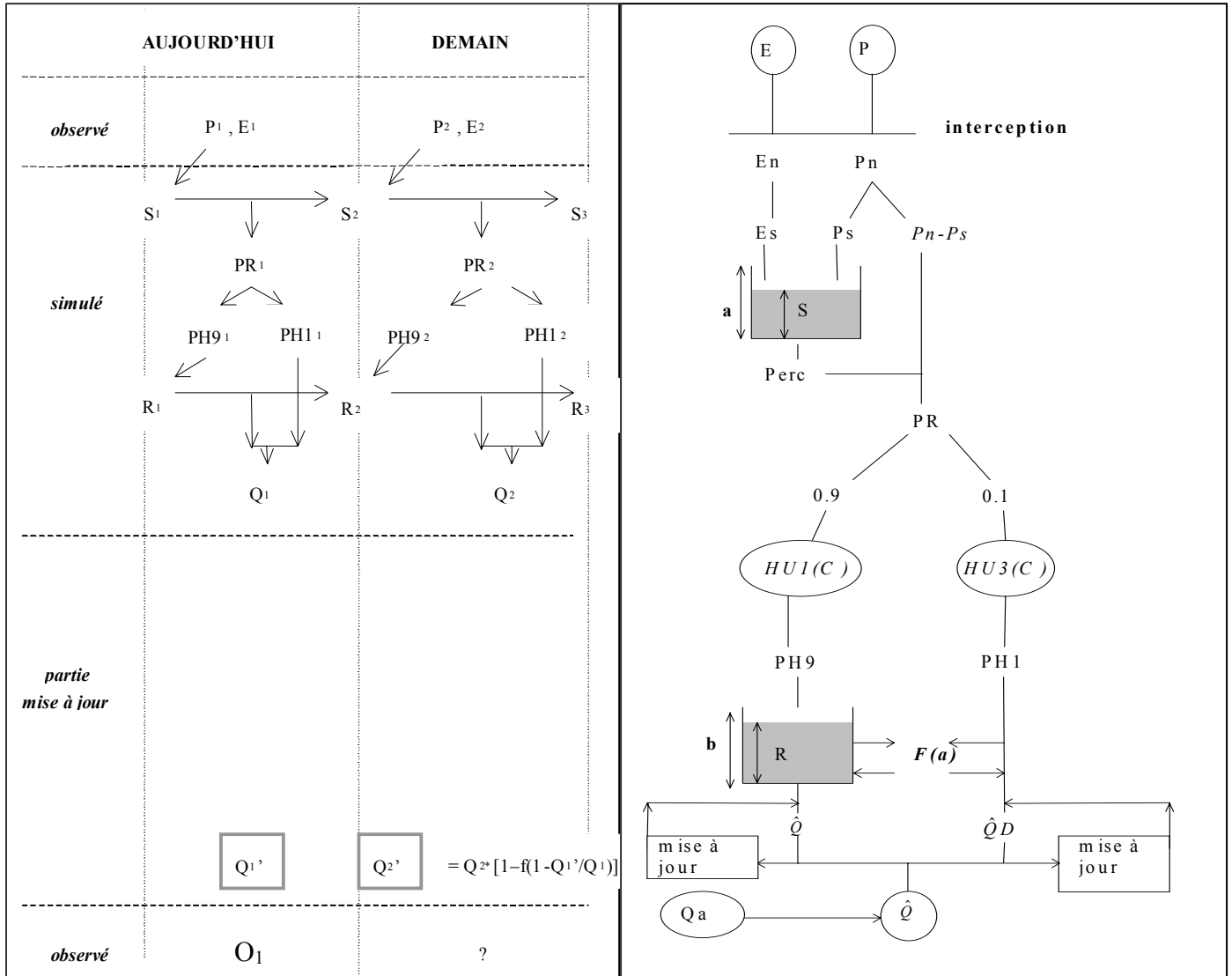


Figure A5.1 : Diagramme et Schéma structurel du modèle GR4J

Sur le Diagramme, les variables encadrées représentent des points de départ de la mise à jour (1 est l'indice utilisé pour le jour de la prévision et 2 pour le lendemain).

Les taux d'écoulement passant par les branches directes et par le réservoir de transfert R sont fixes et respectivement égaux à 0.1 et 0.9. On multiplie la somme $(QR_1 + QD_1)$ par le coefficient $cr = [1 - f \cdot (1 - Q_1'/Q_1)]$ où la variable f désigne l'importance de la mise à jour avec une valeur comprise entre 0 et 1. Si $f = 0$ pas de mise à jour, si $f = 1$ mise à jour totale.

Tableau A5.1 : Résultats des essais du modèle **GR4J**

Importance de la mise à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens		
	Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
0.00	-100.00	-23.51	49.48	0.255	4.14	6.37	-5.42
0.10	-100.00	-19.65	53.62	0.309	4.15	6.33	-5.56
0.20	-100.00	-13.48	56.92	0.410	4.20	6.32	-5.81
0.30	-99.99	-7.19	59.74	0.500	4.24	6.28	-6.03
0.40	-100.00	-0.55	61.57	0.569	4.26	6.32	-6.48
0.50	-100.00	3.96	62.41	0.617	4.28	6.40	-6.85
0.60	-100.00	9.20	62.44	0.665	4.37	6.41	-7.24
0.70	-94.32	12.91	61.65	0.707	4.41	6.34	-7.28
0.80	-88.30	17.53	61.77	0.777	4.47	6.41	-7.16
0.85	-99.52	18.27	60.41	0.798	4.46	6.46	-7.04
0.90	-71.61	18.97	58.26	0.824	4.47	6.67	-7.01
0.95	-65.97	19.29	57.23	0.878	4.44	6.90	-6.82
1.00	-99.96	18.08	57.08	0.872	4.18	6.28	-6.71

Module FORTRAN du modèle **GR4J**

```

Cxxxx HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1
SUBROUTINE HU1(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26)
DIMENSION XV(*)
common /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
io(6)=1
DO 1 I=1,NH
XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)
if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i
1 CONTINUE
RETURN
END

Cxxxx SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1
FUNCTION SS1(I,C)
c {H(t)=0 si t <= 0}
c Calcul la Fonction: {H(t)=(t/C)**2.5 si 0 < t < C}
c {H(t)=1 si t >= C}
c {telle que q(t) = dH(t) / dt }

FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS1=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LT.C)THEN
SS1=(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS1=1.
RETURN
END

Cxxxx HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3
SUBROUTINE HU3(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,2*NH
XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C)
1 CONTINUE
RETURN
END

Cxxxx SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3
FUNCTION SS3(I,C)
c {H(t) = 0 si t <= 0 }
c {H(t) = 0.5*(t/C)**2.5 si 0 < t <= C }
c Calcul la Fonction: {H(t) = 1 - 0.5*(2-t/C)**2.5 si C < t < 2C}
c {H(t) = 1 si t >= 2C}
c {telle que q(t) = dH(t) / dt }

FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS3=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.GE.2.*C)THEN
SS3=1.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LE.C)THEN
SS3=0.5*(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5
RETURN
END

Cxxxx TIT5_TIT5_TIT5_TIT5_TIT5_TIT5_TIT5_TIT5_TIT5
SUBROUTINE TIT5(XV)
c Saisie des Variables d'exploitation de GR4J-Perrin-Complet
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
IO(21)=4
WRITE(*,'(A)') ' importance de la mise a jour (entre 0 et 1) ?..'
READ(*,*)XV(NPX-1)
WRITE(8,'(A)')

WRITE(8,'(A)') ' modele GR4J complet (C. PERRIN, 2003) '
WRITE(8,'(A)') ' mise a jour du debit en sortie'
WRITE(8,'(A,F4.2)') ' utilisant le coefficient =',XV(NPX-1)
WRITE(8,'(A,I4)') ' nombre de parametres du modele =',IO(21)
WRITE(8,'(A)')

XV(NPX)=5.
RETURN
END

```

<pre> Cxxxx PAT5_PAT5_PAT5_PAT5_PAT5_PAT5_PAT5_PAT5 SUBROUTINE PAT5(XV) c SP d'Initialisation des Paramètres de GR4J-Perrin-Complet DIMENSION XV(*) XV(1)=4.7 XV(2)=6.3 XV(3)=8. XV(4)=0. RETURN END Cxxxx INI5_INI5_INI5_INI5_INI5_INI5_INI5_INI5_INI5 SUBROUTINE INI5(X,XV) c SP de Calcul des Etats de GR4J-Perrin-Complet PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE5(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) RETURN END Cxxxx VRE5_VRE5_VRE5_VRE5_VRE5_VRE5_VRE5_VRE5 SUBROUTINE VRE5(XV) c Valeurs Réelles des Paramètres de GR4J-Perrin-Complet PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=SINH(XV(4)) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD5_MOD5_MOD5_MOD5_MOD5_MOD5_MOD5_MOD5 SUBROUTINE MOD5(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4J-Perrin-Complet PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/XV(NPX+2)) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/XV(NPX+2))*V) Pr=0. ELSE V=TANH((P-E)/XV(NPX+2)) X2N=(X(2)+XV(NPX+2)*V)/(1.+X(2)/XV(NPX+2)*V) Pr=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/XV(NPX+2)/2.25)**4)**0.25 Perc=X(2)-X2N PR=Pr+Perc X(2)=X2N DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR DO 3 K=1,2*NH-1 X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PR 3 CONTINUE X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PR IF(XV(NPX+4).LT.0.)THEN ECH=XV(NPX+4)*(X(1)/XV(NPX+1))**4 ELSE ECH=XV(NPX+4)*X(1)/XV(NPX+1) ENDIF X(1)=MAX(0.,X(1)+0.9*X(4)+ECH) QR=Q2R(XV,X(1)) QD=MAX(0.,0.1*X(4+NH)+ECH) IF(QS.LE.0.)THEN Q=QR+QD ELSE Q=(QR+QD)*MAX(0.,1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.)) ENDIF QS=QR+QD RETURN END </pre>
---	---

ANNEXE 6 : RESULTATS DES ESSAIS DES VARIANTES DU MODELE GR4JSE (GR4J SAUF LES ECHANGES)

A6.1 Modèle GR4JSE : avec deux branches d'écoulement traitées de façon identique

Tableau A6.1 : Résultats de l'analyse du modèle GR4JSE en fonction de la part de l'écoulement, part(HU1), court-circuitant le réservoir R (transfert standard)

part(HU1)	0.00	0.025	0.05	0.075	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
P-minimale	-92.3	-95.6	-95.2	-94.9	-94.6	-84.2	-97.3	-96.0	-98.2
\bar{P}_{ers}	25.1	22.8	21.8	21.1	19.0	18.0	14.4	10.3	7.5
P-maximale	68.6	68.5	68.5	68.2	68.0	66.6	64.6	62.2	59.3
%BV où $P \geq 0$	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81	0.79	0.76	0.72	0.67

part(HU1)	0.60	0.70	0.80	0.90	0.925	0.950	0.975	1.00
P-minimale	-99.3	-99.2	-100.0	-100.0	-99.8	-99.9	-99.9	-99.9
\bar{P}_{ers}	3.8	-0.1	-6.3	-13.1	-11.8	-11.1	-9.0	-8.1
P-maximale	56.1	52.2	50.0	48.3	45.0	43.1	47.1	47.4
%BV où $P \geq 0$	0.60	0.54	0.45	0.39	0.40	0.42	0.43	0.43

Module FORTRAN du modèle GR4JSE (GR4J-Sauf-les-Echanges)	
<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=1 IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END SUBROUTINE HU3(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END </pre>	<pre> FUNCTION R2Q(XV,Q) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) C Calcul de la fonction R(Q) pour tout réservoir puissance C de paramètre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R**(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S**(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END </pre>

<pre> FUNCTION SS3(I,C) FI=1 IF(FI.LE.0.)THEN SS3=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.2.*C)THEN SS3=1. RETURN ENDIF IF(FI.LE.C)THEN SS3=0.5*(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5 END SUBROUTINE TIT4(XV) c SP Saisie des exposants et/ou Impression du titre de la méthode PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) WRITE(*,'(A)') ' quelle fraction d ecoulement dans branche 0.1 ? ' READ(*,*)XV(NPX-1) IF(XV(NPX-1).LT.0.)XV(NPX-1)=0. IF(XV(NPX-1).GT.1.)XV(NPX-1)=1. WRITE(8,'(A)') ' WRITE(8,'(A)') ' modele GR4JSE (C. PERRIN, 2003) sans echanges ' WRITE(8,'(A,F8.3)') ' fraction de l ecoulement dans la branche 0.1 &= ',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A)') ' XV(NPX)=5. IO(21)=3 RETURN END SUBROUTINE PAT4(XV) c SP d'Initialisation des Valeurs Transformées des Paramètres de GR4JSE DIMENSION XV(*) XV(1)=4.7 XV(2)=6.3 XV(3)=-8. RETURN END SUBROUTINE INI4(X,XV) c SP de Calcul des Etats de GR4JSE PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE4(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) RETURN END SUBROUTINE VRE4(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSE PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> FUNCTION Q2R(XV,R) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) C Calcul de la fonction R(Q) pour tout réservoir puissance C de paramètre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) END SUBROUTINE MOD4(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSE PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*) c QA est le débit du jour précédent (QA < 0 une lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V) PR=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V) PR=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25 Perc=X(2)-X2N PR=PR+Perc X(2)=X2N DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR QAC=FR*QA IF(CA.LE.0.)CA=1. IF(QA.LT.0.)QAC=FR*CA DO 2 K=1,2*NH X(4+NH+K)=QA/CA*X(4+NH+K) 2 CONTINUE X(1)=R2Q(XV,QAC) DO 3 K=1,2*NH-1 X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PR 3 CONTINUE X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PR X(1)=X(1)+(1.-XV(NPX-1))*X(4) QR=Q2R(XV,X(1)) QD=XV(NPX-1)*X(4+NH) Q=QR+QD CA=Q FR=1. IF(Q.GT.0.)FR=QR/Q RETURN END </pre>
---	--

A6.2 Variante GR4JSE₁

GR4JSE₁ est dérivé de GR4JSE pour entreprendre l'étude de l'intérêt de sa branche directe HU1. Elle ne fait donc pas de mise à jour de la branche d'écoulement directe liée à celle du réservoir de transfert R.

Tableau A6.2 : Résultats de l'analyse de la variante GR4JSE₁ en fonction de la part d'écoulement, *part(R)*, passant par le réservoir de transfert R

part(R)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Pers-minimale	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.	-99.8	-92.3
\bar{P}_{ers}	-23.1	-16.0	-9.0	-2.5	3.6	9.0	13.5	17.3	20.1	22.7	25.1
Pers-maximale	50.3	52.9	54.4	54.1	54.0	56.7	59.4	62.7	65.8	67.7	68.6
% BV ou P > 0	0.30	0.40	0.47	0.56	0.68	0.73	0.77	0.81	0.84	0.89	0.92

Module FORTRAN de la variante GR4JSE₁

<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END SUBROUTINE HU3(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS3(I,C) FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS3=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.2.*C)THEN SS3=1. RETURN ENDIF IF(FI.LE.C)THEN SS3=0.5*(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5 END </pre>	<pre> FUNCTION R2Q(XV,Q) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) C Calcul de la fonction R(Q) pour tout réservoir puissance C de paramètre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R*(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S*(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END FUNCTION Q2R(XV,R) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) C Calcul de la fonction R(Q) pour tout réservoir puissance C de paramètre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*(R/(R+XV(NPX+1))) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) END </pre>
---	---

<pre> SUBROUTINE TIT4(XV) PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) IO(21)=3 WRITE(*,'(A)')' fraction court-circuitant le reservoir R ? ' READ(*,*)XV(NPX-1) IF(XV(NPX-1).LT.0.)XV(NPX-1)=0. IF(XV(NPX-1).GT.1.)XV(NPX-1)=1. WRITE(8,'(A)') ' WRITE(8,'(A)')' modele GR4JSE (C. PERRIN, 2003) sans echanges ' WRITE(8,'(A)') ' XV(NPX)=5. RETURN END SUBROUTINE PAT4(XV) c SP d'Initialisation des Valeurs Transformées des Paramètres de GR4JSE₁ DIMENSION XV(*) XV(1)=4.7 XV(2)=6.3 XV(3)=8. RETURN END SUBROUTINE INI4(X,XV) c SP de Calcul des Etats de GR4JSE₁ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE4(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END SUBROUTINE VRE4(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSE₁ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> SUBROUTINE MOD4(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSE₁ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V) PR=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V) PR=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25 Perc=X(2)-X2N PR=PR+Perc X(2)=X2N DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR IF(QS.LE.0.)QS=1. CR=QA/QS QRC=CR*QRS X(1)=R2Q(XV,QRC) DO 2 K=1,2*NH X(3+NH+K)=CR*XS(3+NH+K) 2 CONTINUE DO 3 K=1,2*NH-1 X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PR XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PR 3 CONTINUE X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PR XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PR X(1)=X(1)+(1.-XV(NPX-1))*X(4) QR=Q2R(XV,X(1)) QD=XV(NPX-1)*X(4+NH) Q=QR+QD XS(1)=XS(1)+(1.-XV(NPX-1))*XS(4) QRS=Q2R(XV,XS(1)) QDS=XV(NPX-1)*XS(4+NH) QS=QRS+QDS RETURN END </pre>
--	---

A6.3 Variante GR4JSE2

GR4JSE₂ est dérivé du modèle GR4JSE en y incluant la mise à jour différenciée de ses deux branches d'écoulement.

Tableau A6.3 : Résultats de la variante GR4JSE₂ en fonction de l'exposant f affecté à la mise à jour de la branche directe par rapport à celle sur le réservoir de routage R (la part passant par le réservoir de transfert R est fixée à $part(R) = 0.9$)

f	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Pers-minimale	-97.4	-97.3	-97.5	-97.0	-98.0	-98.0	-93.6	-84.1	-98.4	-74.1	-95.7
\bar{P}_{ers}	23.8	24.7	25.2	25.4	25.5	25.7	25.9	25.9	25.9	26.0	25.9
Pers-maximale	67.7	67.7	67.8	67.9	67.9	68.0	68.0	68.1	68.2	68.3	68.3
% BV ou P > 0	0.88	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.90	0.92	0.90	0.92

Module FORTRAN de la variante GR4JSE₂

<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26) DIMENSION XV(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) io(6)=1 DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END SUBROUTINE HU3(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END SUBROUTINE PAT4(XV) c Initialisation Paramètres Transformés de GR4J-Sans-Echanges (GR4JSE₂) DIMENSION XV(*) XV(1)=4.7 XV(2)=6.3 XV(3)=-8. RETURN END </pre>	<pre> FUNCTION R2Q(XV,Q) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*XV(NPX+1) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R**(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S**(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) END </pre>
--	--

<pre> FUNCTION SS3(I,C) c Calcul de la Fonction: $q(t)=0.5*(t/C)**2.5$ si $0<t<C$, c $q(t)=1-0.5*(2-t/C)**2.5$ si $C<t<2C$ et $q(t)=1$ si $t>2C$ FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS3=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.2.*C)THEN SS3=1. RETURN ENDIF IF(FI.LE.C)THEN SS3=0.5*(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5 END SUBROUTINE TIT4(XV) c SP Saisie de Variables d'exploitation de GR4J-Sans-Echanges (GR4JSE₂) PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) IO(21)=3 WRITE(*,'(A)') corriger les pluies sorties de HU1 (oui:1) ?... ' READ(*,*)IO(5) if(io(5).eq.1)then WRITE(*,'(A)') exposant affecte a la correction sur R (> 0) ? . ' READ(*,*)XV(NPX-1) IF(XV(NPX-1).LT.0.01)XV(NPX-1)=0.01 endif WRITE(*,'(A)') part passant par le reservoir R (~0.9) ?..... ' READ(*,*)XV(NPX-2) IF(XV(NPX-2).GT.1.)XV(NPX-2)=1. IF(XV(NPX-2).LT.0.)XV(NPX-2)=0. WRITE(8,'(A)') WRITE(8,'(A)') modele GR4JSE (C. PERRIN, 2003) sans échanges ' WRITE(8,'(A,F8.3)') exposant de la correction sur R',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A,F8.3)') part allant dans le reservoir R',XV(NPX-2) IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)') correction a la sortie de HU1' IF(IO(5).NE.1)WRITE(8,'(A)') correction de QD seulement ' WRITE(8,'(A)') XV(NPX)=5. RETURN END SUBROUTINE INI4(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR4J-Perrin-Sans-Echanges (GR4JSE₂) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE4(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END SUBROUTINE VRE4(XV) c Calcul Valeurs Réelles des Paramètres de GR4J-Sans-Echanges (GR4JSE₂) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3))/10.+(NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> SUBROUTINE MOD4(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4J-Perrin-Sans-Echanges (GR4JSE₂) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V) Pr=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V) Pr=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25 Perc=X(2)-X2N Pr=Pr+Perc X(2)=X2N DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*Pr XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*Pr 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*Pr XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*Pr QAC=QA IF(QS.LE.0.)THEN QS=2. QRS=1. QDS=1. ENDIF IF(QA.LT.0.)QAC=QS IF(IO(5).EQ.1)THEN CR=COR4(QAC,QRS,QDS,XV(NPX-1)) ELSE IF(QRS.EQ.0.)THEN CR=1. ELSE CR=MAX(0.,(QAC-QDS)/QRS) ENDIF ENDIF QRC=CR*QRS X(1)=R2Q(XV,QRC) DO 2 K=1,2*NH IF(IO(5).EQ.1)THEN X(3+NH+K)=CR**XV(NPX-1)*XS(3+NH+K) ELSE X(3+NH+K)=XS(3+NH+K) ENDIF 2 CONTINUE DO 3 K=1,2*NH-1 X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*Pr XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*Pr 3 CONTINUE X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*Pr XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*Pr X(1)=X(1)+XV(NPX-2)*X(4) QR=Q2R(XV,X(1)) QD=(1.-XV(NPX-2))*X(4+NH) Q=QR+QD XS(1)=XS(1)+XV(NPX-2)*XS(4) QRS=Q2R(XV,XS(1)) XS(1)=MAX(0.,XS(1)-QRS) QDS=(1.-XV(NPX-2))*XS(4+NH) QS=QRS+QDS RETURN END </pre>
---	---

```

FUNCTION COR4(QA,QR,QD,F)
X=1.
I=0
IF(QR+QD.LE.0..OR.QD.LE.0.)GOTO 2
X=QA/(QR+QD)
IF(F.EQ.1.)GOTO 2
IF(X.LT.1.)X=1.
IF(F.LT.1.)GOTO 3
IF(X.GT.1.)THEN
X1=(QA/QD)**(1./F)
IF(X.GT.X1)X=X1
ENDIF
1 CONTINUE
G=X**F*QD+X*QR-QA
IF(ABS(G).LE.MAX(0.001,QA/1000.))GOTO 2
X=X-G/(QR+F*X**(F-1.)*QD)
I=I+1
GOTO 1
3 CONTINUE
F1=1./F
IF(X.GT.1.)THEN
X1=(QA/QR)**F
IF(X.GT.X1)X=X1
ENDIF
4 CONTINUE
G=X*QD+X**F1*QR-QA
IF(ABS(G).LE.MAX(0.001,QA/1000.))GOTO 5
X=X-G/(QD+F1*X**(F1-1.)*QR)
GOTO 4
5 CONTINUE
X=X**F1
2 CONTINUE
COR4=X
RETURN
END

```

A6.4 Variante GR4JSE₃

GR4JSE₃ est dérivé du modèle GR4JSE en y incluant la mise à jour des pluies sorties de l'hydrogramme unitaire HU1.

AVEC mise à jour des pluies sorties de HU1 et part passant par le réservoir R : part(R) = 0.9								
Variante GR4JSE ₃	Exposant de la mise à jour sur R	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens		
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
	0.00	-97.41	23.79	67.73	0.878	5.27	5.83	-4.75
	0.10	-97.29	24.73	67.74	0.867	5.33	5.85	-4.59
	0.20	-97.53	25.22	67.83	0.872	5.39	5.86	-4.49
	0.30	-96.96	25.38	67.85	0.883	5.37	5.87	-4.41
	0.40	-98.03	25.54	67.91	0.878	5.38	5.90	-4.49
	0.50	-98.01	25.67	68.00	0.894	5.37	5.93	-4.56
	0.60	-93.61	25.80	68.03	0.894	5.33	5.96	-4.68
	0.70	-84.11	25.87	68.13	0.904	5.35	6.01	-4.79
	0.80	-98.40	25.91	68.20	0.915	5.35	6.04	-4.79
	0.85	-85.04	25.90	68.24	0.915	5.33	6.06	-4.69
	0.90	-74.11	26.03	68.26	0.904	5.34	6.06	-4.68
	0.95	-99.54	25.50	68.29	0.899	5.33	6.08	-4.70
	1.00	-95.65	25.91	68.33	0.915	5.33	6.09	-4.71

Tableau A6.4 : Résultats des essais de la variante GR4JSE₃

Module FORTAN de la variante GR4JSE ₃	
<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26) DIMENSION XV(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) io(6)=1 DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c {H(t)=0 si t <= 0} c Calcul la Fonction: {H(t)=(t/C)**2.5 si 0 < t < C} c {H(t)=1 si t >= C} c {telle que q(t) = dH(t) / dt } FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END </pre>	<pre> FUNCTION SS3(I,C) c {H(t) = 0 si t <= 0} c {H(t) = 0.5*(t/C)**2.5 si 0 < t <= C} telle que c Calcul la Fonction: {H(t) = 1 - 0.5*(2-t/C)**2.5 si C < t < 2C} q(t)=dH(t)/dt c {H(t) = 1 si t >= 2C} FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS3=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.2.*C)THEN SS3=1. RETURN ENDIF IF(FI.LE.C)THEN SS3=0.5*(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5 RETURN END SUBROUTINE VRE4(XV) c Valeurs Réelles des Paramètres de GR4J-Sans-Echanges(GR4JSE₃) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>

<pre> SUBROUTINE HU3(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END SUBROUTINE TIT4(XV) c Variables d'exploitation de GR4J-Sans-Echanges (GR4JSE3) PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) IO(21)=3 WRITE(*,'(A)') mise a jour des pluies sorties de HU1 (oui:1) ?' READ(*,*)IO(5) if(io(5).eq.1)then WRITE(*,'(A)') exposant affecte a la mise a jour sur R (> 0) ?' READ(*,*)XV(NPX-1) IF(XV(NPX-1).LT.0.01)XV(NPX-1)=0.01 endif WRITE(*,'(A)') part passant par le reservoir R (~0.9) ?.....' READ(*,*)XV(NPX-2) IF(XV(NPX-2).GT.1.)XV(NPX-2)=1. IF(XV(NPX-2).LT.0.)XV(NPX-2)=0. WRITE(8,'(A)') WRITE(8,'(A)') modele GR4JSE (C. PERRIN, 2003) sans echanges' WRITE(8,'(A,F8.3)') exposant de la mise a jour sur R',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A,F8.3)') part allant dans le reservoir R',XV(NPX-2) IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)') mise a jour a la sortie de HU1' IF(IO(5).NE.1)WRITE(8,'(A)') mise a jour de QD seulement' WRITE(8,'(A,I4)') nombre de parametres du modele =',IO(21) WRITE(8,'(A)') XV(NPX)=5. RETURN END SUBROUTINE INI4(X,XV) c Initialisation des Etats de GR4J-Perrin-Sans-Echanges (GR4JSE3) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE4(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END FUNCTION COR4(QA,QR,QD,F) X=1. I=0 IF(QR+QD.LE.0..OR.QD.LE.0.)GOTO 2 X=QA/(QR+QD) IF(F.EQ.1.)GOTO 2 IF(X.LT.1.)X=1. IF(F.LT.1.)GOTO 3 IF(X.GT.1)THEN X1=(QA/QD)**(1./F) IF(X.GT.X1)X=X1 ENDIF 1 CONTINUE G=X**F*QD+X*QR-QA IF(ABS(G).LE.MAX(0.001,QA/1000.))GOTO 2 X=X-G/(QR+F*X**(F-1.)*QD) I=I+1 GOTO 1 3 CONTINUE F1=1./F </pre>	<pre> SUBROUTINE PAT4(XV) c Paramètres Transformés de GR4J-Sans-Echanges (GR4JSE3) DIMENSION XV(*) XV(1)=4.7 XV(2)=6.3 XV(3)=-8. RETURN END SUBROUTINE MOD4(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSE3 PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V) Pr=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V) Pr=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25 Perc=X(2)-X2N PR=Pr+Perc X(2)=X2N DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR QAC=QA IF(QS.LE.0.)THEN QS=2. QRS=1. QDS=1. ENDIF IF(QA.LT.0.)QAC=QS IF(IO(5).EQ.1)THEN CR=COR4(QAC,QRS,QDS,XV(NPX-1)) ELSE IF(QRS.EQ.0.)THEN CR=1. ELSE CR=MAX(0.,(QAC-QDS)/QRS) ENDIF ENDIF QRC=CR*QRS X(1)=R2Q(XV,QRC) DO 2 K=1,2*NH IF(IO(5).EQ.1)THEN X(3+NH+K)=CR**XV(NPX-1)*XS(3+NH+K) ELSE X(3+NH+K)=XS(3+NH+K) ENDIF 2 CONTINUE DO 3 K=1,2*NH-1 X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PR XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PR 3 CONTINUE X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PR XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PR X(1)=X(1)+XV(NPX-2)*X(4) QR=Q2R(XV,X(1)) QD=(1.-XV(NPX-2))*X(4+NH) Q=QR+QD XS(1)=XS(1)+XV(NPX-2)*XS(4) QRS=Q2R(XV,XS(1)) XS(1)=MAX(0.,XS(1)-QRS) </pre>
---	---

<pre> IF(X.GT.1.)THEN X1=(QA/QR)**F IF(X.GT.X1)X=X1 ENDIF 4 CONTINUE G=X*QD+X**F1*QR-QA IF(ABS(G).LE.MAX(0.001,QA/1000.))GOTO 5 X=X-G/(QD+F1*X**(F1-1.)*QR) GOTO 4 5 CONTINUE X=X**F1 2 CONTINUE COR4=X RETURN END </pre>	<pre> QDS=(1.-XV(NPX-2))*XS(4+NH) QS=QRS+QDS RETURN END </pre>
---	--

ANNEXE 7 : Résultats des essais des variantes du modèle GR4JSI

A7.1 Variante GR4JSI₁

GR4JSI₁ est dérivé du modèle GR4JSI (GR4J-Perrin-Simplifié) en y introduisant le report partiel (fonction de f) sur S de la mise à jour sur R (en plus de la mise à jour de R).

Détermination du taux de report sur S :

On a 2 cas pour R : Solutions correspondantes pour S :

a) $R_2' > R_2$: a) $S_2' > S_2$: a) on a :
 $\frac{R_2 - R_2'}{R_2 - R_2'} = \frac{S_2 - S_2'}{S_2 - S_2'}$ $(1 - R_2') / (R_2' - R_2) = (1 - S_2') / (S_2' - S_2)$

b) $R_2' < R_2$: b) $S_2' < S_2$: b) on a :
 $\frac{R_2 - R_2'}{R_2 - R_2'} = \frac{S_2 - S_2'}{S_2 - S_2'}$ $S_2' / S_2 = R_2' / R_2$

f report partiel sur S de la mise à jour sur R : $S_{\text{final}} = f * S_2' + (1-f) * S_2$
 (mise à jour totale si $f = 1$ et pas de mise à jour si $f = 0$)

f	0.00	0.025	0.05	0.075	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
Pers-minimale	-61.6	-61.9	-62.0	-62.4	-62.6	-63.7	-64.8	-65.1	-65.2
\bar{P}_{ers}	26.7	26.8	26.8	26.7	26.6	26.5	26.2	26.2	25.7
Pers-maximale	68.2	68.4	68.5	68.5	68.6	68.4	67.9	67.9	68.0
%BV où $P \geq 0$	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95

f	0.60	0.70	0.80	0.90	0.925	0.950	0.975	1.00
Pers-minimale	-89.5	-91.4	-93.2	-94.5	-94.8	95.1	-95.4	-95.6
\bar{P}_{ers}	24.7	24.0	23.5	22.7	22.5	22.4	22.3	22.2
Pers-maximale	68.1	68.2	68.2	68.2	63.3	63.4	63.3	63.3
%BV où $P \geq 0$	0.94	0.93	0.92	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92

Tableau A7.1 : Résultats de l'analyse de la fonction de rendement de la variante GR4JSI₁ (avec un réservoir de transfert cubique)

Module FORTRAN de la variante GR4JSI₁

```

SUBROUTINE HU1(XV,C)
c Calcul l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,NH
XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)
1 CONTINUE
RETURN
END

FUNCTION SS1(I,C)
c Calcul la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS1=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LT.C)THEN
SS1=(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS1=1.
RETURN
END
    
```

```

FUNCTION Q2R(XV,R)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A))
END
    
```

```

SUBROUTINE TIT1(XV)
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,'(A)') ' exposant du r, réservoir de routage (>=1) ?..... '
    
```

<pre> FUNCTION R2Q(XV,Q) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) C Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance de C parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R*(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S*(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*S*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END SUBROUTINE PAT1(XV) c SP d'Initialisation des Paramètres de GR4JSI₁ DIMENSION XV(*) XV(1)=4. XV(2)=5.6 XV(3)=8. RETURN END SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP de Calcul des Etats de GR4JSI₁ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END SUBROUTINE VRE1(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSI₁ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> READ(*,*)XV(NPX) WRITE(*,'(A)')' fraction <1 pour le report de correction sur S? ' READ(*,*)XV(NPX-1) IF(XV(NPX-1).LT.0.)XV(NPX-1)=0. IF(XV(NPX-1).GT.1.)XV(NPX-1)=1. IO(21)=3 WRITE(8,'(A)') ', WRITE(8,'(A)')' modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant du reservoir de routage= ',XV(NPX) WRITE(8,'(A,F8.3)')' fraction pour le report de la correction sur &S= ',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A)') ', RETURN END SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSI₁ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) QAC=QA IF(QS.LE.0.)QS=1. if(QA.LT.0.)QAC=QS B=XV(NPX+2) X(1)=R2Q(XV,QAC) CRR=X(1)/XS(1) IF(CRR.LT.1.)THEN X(2)=XS(2)*(1.-XV(NPX-1)*(1.-CRR)) ELSE CRS=(X(1)-XS(1))/(XV(NPX+1)-XS(1)) X(2)=XS(2)+XV(NPX-1)*CRS*(XV(NPX+2)-XS(2)) ENDIF IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V) PR=0. XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PRS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V) PR=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N) X(2)=X2N X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PRS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25 Perc=X(2)-X2N PR=PR+Perc X(2)=X2N X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=PRS+PercS XS(2)=X2NS DO 1 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 1 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR XS(3+NH)=XS(4+NH)+XV(3*NPX+NH)*PRS R=X(1)+X(4) Q=Q2R(XV,R) RS=XS(1)+XS(4) QS=Q2R(XV,RS) RETURN END </pre>
---	--

A7.2 Variante GR4JSI₂

GR4JSI₂ est dérivé du modèle GR4JSI en y introduisant le report partiel de la mise à jour sur R (fonction de f) sur la sortie de l'Hydrogramme Unitaire (en plus de la mise à jour du réservoir R).

f	0.00	0.000	0.000	0.0007	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
		25	5	5						
Pers-minimale	-61.6	-97.0	-100.	-97.8	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.	-100.
\bar{P}_{ers}	26.7	25.2	20.9	18.3	10.7	9.16	3.5	-2.9	-6.5	-13.3
Pers-maximale	68.2	68.22	68.22	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2
%BV où $P \geq 0$	0.94	0.91	0.87	0.86	0.81	0.77	0.72		0.62	0.55

f	0.007	0.008	0.009	0.01
Pers-minimale	-100.	-100.	-100.	-100.
\bar{P}_{ers}	-16.1	-20.2	-19.9	-21.1
Pers-maximale	68.2	68.2	68.2	68.2
%BV où $P \geq 0$	0.51	0.50	0.51	0.48

Tableau A7.2 : Résultats de l'analyse de la fonction de rendement de la variante GR4JSI₂ (avec un réservoir de transfert cubique)

Module FORTRAN de la variante GR4JSI₂

```

SUBROUTINE HU1(XV,C)
c Calcul l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26)
DIMENSION XV(*)
common /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
io(6)=1
DO 1 I=1,NH
XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)
if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i
1 CONTINUE
RETURN
END
FUNCTION SS1(I,C)
c Calcul de la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS1=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LT.C)THEN
SS1=(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS1=1.
RETURN
END
SUBROUTINE INI1(X,XV)
c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI2
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION X(*),XV(*)
COMMON /ETA/ XS(3*NH+3)
DO 1 K=4,3+NH
X(K)=0.
XS(K)=0.
1 CONTINUE
CALL VRE1(XV)
X(1)=0.5*XV(NPX+1)
XS(1)=X(1)
X(2)=0.7*XV(NPX+2)
XS(2)=X(2)
RETURN
END
FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A))
END
SUBROUTINE TIT1(XV)
c SP de Saisie des Variables d'exploitation de GR4JSI2
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,'(A)')' exposant du reservoir de routage (>=1) ?..... '
READ(*,*)XV(NPX)
if(xv(npix).lt.1.)xv(npix)=1.
WRITE(*,'(A)')' fraction pour le report de correction(>0 & <<1) '
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(xv(npix-1).lt.0.)xv(npix-1)=0.
if(xv(npix-1).gt.1.)xv(npix-1)=1.
IO(21)=3
WRITE(8,'(A)')' _____
WRITE(8,'(A)')' modele GR4J-simplifie '
WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant du reservoir de routage= ',XV(NPX)
WRITE(8,'(A,F8.3)')' fraction pour le report de la correction =',X
&V(NPX-1)
WRITE(8,'(A)')' _____
RETURN
END

```

```

FUNCTION R2Q(XV,Q)
  PARAMETER (NPX=10)
  DIMENSION XV(*)
c  Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c  de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
  IF(Q.LE.0.)THEN
    R2Q=0.
    RETURN
  ENDIF
  IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
    R2Q=Q*XV(NPX+1)
    RETURN
  ENDIF
  IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
    R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
    RETURN
  ENDIF
  QN=Q/XV(NPX+1)
  R=1.0
  DO 1 K=1,100
    RA=R*(XV(NPX)-2.)
    S=R+QN
    SA=S*(XV(NPX)-2.)
    D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
    R=R-D
    IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
  1 CONTINUE
  2 CONTINUE
  R2Q=R*XV(NPX+1)
END

  SUBROUTINE PAT1(XV)
c  SP d'Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSI2
  DIMENSION XV(*)
  XV(1)=4.
  XV(2)=5.6
  XV(3)=8.
  RETURN
END

SUBROUTINE INI1(X,XV)
c  SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI2
  PARAMETER (NPX=10,NH=7)
  DIMENSION X(*),XV(*)
  COMMON /ETA/ XS(3*NH+3)
  DO 1 K=4,3+NH
    X(K)=0.
    XS(K)=0.
  1 CONTINUE
  CALL VRE1(XV)
  X(1)=0.5*XV(NPX+1)
  XS(1)=X(1)
  X(2)=0.7*XV(NPX+2)
  XS(2)=X(2)
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VRE1(XV)
c  SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSI2
  PARAMETER (NPX=10,NH=7)
  DIMENSION XV(*)
  XV(NPX+1)=EXP(XV(1))
  XV(NPX+2)=EXP(XV(2))
  XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2.
  CALL HU1(XV,XV(NPX+3))
  RETURN
END

SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q)
c  SP de Calcul du Modèle GR4J-Perrin-Simplifié (GR4JSI2)
  PARAMETER (NPX=10,NH=7)
  DIMENSION XV(*),X(*)
  COMMON /ETA/ XS(3*NH+3)
c  QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune)
  QAC=QA
  IF(QS.LE.0.)QS=1.
  if(QA.LT.0.)QAC=QS
  X(1)=R2Q(XV,QAC)
  IF(XS(1).LE.0)THEN
    CR=1.
  ELSE
    CR=1.-XV(NPX-1)+(X(1)/XS(1))*XV(NPX-1)
  ENDIF
  B=XV(NPX+2)
  IF(P.LE.E)THEN
    V=TANH((E-P)/B)
    XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V)
    PrS=0.
  ELSE
    V=TANH((P-E)/B)
    X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V)
    PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS)
    XS(2)=X2NS
  ENDIF
  X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25
  PercS=XS(2)-X2NS
  PRS=PrS+PercS
  XS(2)=X2NS
  PR=PRS
  DO 1 K=1,NH
    X(3+K)=CR*XS(3+K)
  1 CONTINUE
  DO 2 K=1,NH-1
    X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR
    XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS
  2 CONTINUE
  X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR
  XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS
  R=X(1)+X(4)
  Q=Q2R(XV,R)
  RS=XS(1)+XS(4)
  QS=Q2R(XV,RS)
  XS(1)=RS-QS
  RETURN
END

```

A7.3 Variante GR4JSI₃

GR4JSI₃ est dérivé du modèle GR4JSI en y introduisant la mise à jour des pluies PR avant l'Hydrogamme Unitaire (HU).

f	0.0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.01	0.1
Pers-minimale	-61.6	-99.3	-99.9	-100.	-99.9	-99.9	-100.	-99.9	-100.	-100.	-100.	-100.
\bar{P}_{ers}	26.7	23.6	19.4	18.7	18.8	10.5	11.0	8.0	7.9	5.1	3.0	-38.5
Pers-maximale	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2	68.2
f												
%BV où P > 0	0.94	0.90	0.88	0.87	0.86	0.79	0.80	0.76	0.77	0.73	0.71	0.36

Tableau A7.3 : Résultats de l'analyse de la fonction de rendement de la variante GR4JSI₃ (avec un réservoir de transfert cubique)

Module FORTRAN de la variante GR4JSI₃

<pre> SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul l'Hydro. Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26) DIMENSION XV(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) io(6)=1 DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i 1 CONTINUE RETURN END FUNCTION SS1(I,C) c Calcul la Fonction: q(t)=(t/C)**2.5 pour 0<t<C et q(t)=1 pour t>C FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END FUNCTION R2Q(XV,Q) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*XV(NPX+1) RETURN ENDIF </pre>	<pre> FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) END SUBROUTINE TIT1(XV) c SP de Saisie des Variables d'exploitation de GR4JSI₃ PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) WRITE(*,'(A)') 'exposant du reservoir de routage (>=1) ?..... ' READ(*,*)XV(NPX) if(xv(npix).lt.1.)xv(npix)=1. WRITE(*,'(A)') 'fraction pour le report de correction(>0 & <<1) ' READ(*,*)XV(NPX-1) if(xv(npix-1).lt.0.)xv(npix-1)=0. if(xv(npix-1).gt.1.)xv(npix-1)=1. IO(21)=3 WRITE(8,'(A)') '_____ ' WRITE(8,'(A)') ' modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A,F8.3)') ' exposant du reservoir de routage=',XV(NPX) WRITE(8,'(A,F8.3)') ' fraction pour le report de la correction =',X &V(NPX-1) WRITE(8,'(A)') '_____ ' RETURN END </pre>
--	---

<pre> IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R**(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S**(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/ &(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) END SUBROUTINE PAT1(XV) c SP d'Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSI₃ DIMENSION XV(*) XV(1)=4. XV(2)=5.6 XV(3)=-8. RETURN END SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR4J-Perrin-Simplifié (GR4JSI₃) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END SUBROUTINE VRE1(XV) c SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSI₃ PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) RETURN END </pre>	<pre> SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4J-Perrin-Simplifié (GR4JSI₃) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) QAC=QA IF(QS.LE.0.)QS=1. if(QA.LT.0.)QAC=QS X(1)=R2Q(XV,QAC) IF(XS(1).LE.0)THEN CR=1. ELSE CR=1.-XV(NPX-1)+(X(1)/XS(1))*XV(NPX-1) ENDIF B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=PrS+PercS XS(2)=X2NS PR=CR*PRS DO 1 K=1,NH X(3+K)=XS(3+K) 1 CONTINUE DO 2 K=1,NH-1 X(3+K)=X(4+K)+XV(3*NPX+K)*PR XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 2 CONTINUE X(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PR XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS R=X(1)+X(4) Q=Q2R(XV,R) RS=XS(1)+XS(4) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS RETURN END </pre>
---	---

A7.4 Variantes de GR4JSI avec 4 Paramètres dont 2 affectés au réservoir de transfert R

Ici, nous introduisons dans le modèle GR4JSI une option pour tester l'intérêt d'un quatrième paramètre affecté au réservoir de transfert R, qui devient plus complexe avec deux paramètres en plus de la mise à jour du réservoir de transfert R.

Nous en testerons successivement deux variantes :

- GR4JSI₄ (GR4JSI à 4 paramètres dont 2 sont affectés au réservoir de transfert R évoluant de Quadratique à Cubique),
- GR4JSI₅ (GR4JSI à 4 paramètres dont 2 sont affectés au réservoir de transfert R évoluant de Cubique à Quadratique),

IV.1 – Variante GR4JSI₄ :

Second paramètre du réservoir R	fixé	Val. 2 ^{ème}	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens		
		Param(R)	Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
		0.00	-99.96	-67.79	37.98	0.027	2.00	4.56	-4.96
0.25	-99.75	-11.35	24.83	0.372	7.22	3.39	-5.87		
0.50	-99.84	9.25	49.23	0.761	6.22	5.57	-5.83		
0.75	-99.82	18.48	60.23	0.851	5.99	6.30	-5.80		
1.00	-99.82	22.18	64.70	0.878	6.02	6.39	-5.78		
1.25	-99.82	22.84	63.72	0.883	6.10	6.37	-5.75		
1.50	-99.82	23.78	65.81	0.888	6.16	6.36	-5.71		
1.75	-99.82	23.72	65.67	0.888	6.22	6.36	-5.70		
2.00	-99.82	23.72	66.06	0.888	6.26	6.39	-5.70		
3.00	-99.82	23.57	65.78	0.888	6.39	6.39	-5.77		
4.00	-99.82	23.54	65.84	0.888	6.46	6.36	-5.76		
5.00	-99.82	23.63	65.91	0.894	6.50	6.36	-5.75		
6.00	-99.82	23.64	65.83	0.888	6.56	6.31	-5.81		
7.00	-99.82	23.63	65.84	0.888	6.56	6.31	-5.81		
8.00	-99.82	23.68	65.85	0.888	6.56	6.37	-5.75		
9.00	-99.82	23.70	65.88	0.888	6.56	6.35	-5.79		
10.0	-99.82	23.72	65.86	0.888	6.57	6.37	-5.76		
à caler	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens				
	Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4	
	-99.82	23.94	65.85	0.883	6.47	6.18	-5.79	2.97	

Tableau A7.4 : Résultats de la variante GR4JSI₄

Spécifications générales de la variante GR4JSI₄

Soient B et β les deux paramètres du réservoir de transfert R.

1°) Pour un niveau R donné du réservoir on pose : $r = R / B$ et $t = r / [r / (\beta + 1) + 1 / (r + \beta)]$

On calcule le niveau R_2 tel qu'on ait : $R_2 = 2Bt / [\beta + \sqrt{\beta^2 + 4t}] = B / [\sqrt{\beta^2 + 4t} + \beta] / 2t = B[\sqrt{\beta^2 + 4t} - \beta] / 2$

Et ensuite on déduit le débit Q (en mm) par : $Q = R - R_2$ (fonction QDR.FOR).

2°) Pour un débit Q donné on cherche le niveau R du réservoir correspondant.

- par exemple en supposant Q sous la forme : $Q = k/[1/R^2 - (\beta/[1 + \beta R])^2]$ c'est à dire :

$Q = k/[1/R + \beta/(1 + \beta R)][1/R - \beta/(1 + \beta R)] = k/[(1 + 2\beta R)/(R(1 + \beta R))^2] = kR^2(1 + \beta R)^2/(1 + 2\beta R)$

on aura ainsi : $Q \sim f(R^2)$ si R est très petit et $Q \sim f(R^3)$ si R est très grand.

- de $dR/dt = -Q$ on tire $dR/Q = -dt$ c'est à dire $(dR/k)[1/R^2 - (\beta/[1 + \beta R])^2] = -dt$

d'où on a : $dR/R^2 - \beta^2 dR/(1 + \beta R)^2 = -k dt \implies dR/R^2 - \beta d(1 + \beta R)/(1 + \beta R)^2 = -k dt$

qui donne : $1/R_1 - 1/R_2 + \beta[1/(1 + \beta R_2) - 1/(1 + \beta R_1)] = -k \Delta t$ d'où on tire :

$(R_2 - R_1)/R_1 R_2 + \beta^2(R_1 - R_2)/(1 + \beta R_1)(1 + \beta R_2) = -k \Delta t$

$(R_2 - R_1)/(R_1 R_2) - \beta^2(R_2 - R_1)/(1 + \beta R_1)(1 + \beta R_2) = -k \Delta t$

$(R_2 - R_1)[1/(R_1 R_2) - \beta^2/(1 + \beta R_1)(1 + \beta R_2)] = -k \Delta t$

c'est à dire : $[\beta + k \Delta t \alpha R_1(1 + \beta R_1)]R_2^2 + [1 + k \Delta t R_1(1 + \beta R_1)]R_2 - (1 + \beta R_1)R_1 = 0$

- et la racine positive de cette équation du second degré en R_2 donne le niveau R du réservoir correspondant au débit Q (fonction RDQ.FOR)

Module FORTRAN de la variante GR4JSI₄

SUBROUTINE HU1(XV,C)

c Calcul de l'hydrogramme Unitaire HU1 de durée C

PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26)

DIMENSION XV(*)

common /IOZ/ IO(NPY),LM(12)

io(6)=1

DO 1 I=1,NH

XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)

if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i

1 CONTINUE

RETURN

END

FUNCTION SS1(I,C)

c $\{ H(t)=0 \quad \text{si } t \leq 0 \}$

c Calcul la Fonction: $\{ H(t)=(t/C)**2.5 \text{ si } 0 < t < C \}$ telle que:

c $\{ H(t)=1 \quad \text{si } t \geq C \}$ $q(t) = dH(t) / dt$

FI=I

IF(FI.LE.0.)THEN

SS1=0.

RETURN

ENDIF

IF(FI.LT.C)THEN

SS1=(FI/C)**2.5

RETURN

ENDIF

SS1=1.

RETURN

END

SUBROUTINE INI1(X,XV)

c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI₄

PARAMETER (NPX=10,NH=7)

DIMENSION X(*),XV(*)

COMMON /ETA/ XS(3*NH+3)

DO 1 K=4,3+NH

X(K)=0.

XS(K)=0.

1 CONTINUE

CALL VRE1(XV)

X(1)=0.5*XV(NPX+1)

XS(1)=X(1)

X(2)=0.7*XV(NPX+2)

XS(2)=X(2)

RETURN

END

SUBROUTINE TIT1(XV)

c SP de Saisie des Variables d'exploitation de GR4JSI₄

PARAMETER (NPX=10,NPY=26)

DIMENSION XV(*)

COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)

WRITE(*, '(A)') 'second parametre de R fixe (0) ou a caler (1)?.'

READ(*,*)IO(5)

IO(21)=3+IO(5)

IF(IO(5).EQ.0)THEN

WRITE(*, '(A)') 'valeur du deuxieme parametre du reservoir ?....'

READ(*,*)XV(NPX+4)

XV(4)=LOG(XV(NPX+4))

ENDIF

WRITE(8, '(A)')

WRITE(8, '(A)') 'modele GR4J-simplifie'

IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,*) 'deuxieme parametre',XV(NPX+4)

WRITE(8, '(A)')

RETURN

END

SUBROUTINE PAT1(XV)

c Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSI₄

PARAMETER (NPY=26)

DIMENSION XV(*)

COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)

XV(1)=4.

XV(2)=5.

XV(3)=6.

IF(IO(5).EQ.1)XV(4)=1.5

RETURN

END

SUBROUTINE VRE1(XV)

c Calcul des Valeurs Réelles Paramètres de GR4JSI₄

PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7)

DIMENSION XV(*)

COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)

XV(NPX+1)=EXP(XV(1))

XV(NPX+2)=EXP(XV(2))

XV(NPX+3)=(NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1./2.

CALL HU1(XV,XV(NPX+3))

XV(NPX+4)=EXP(XV(4))

RETURN

END

```

FUNCTION R2Q(XV,Q)
c fonction R2Q pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX)>= 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R*(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S*(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN
END

FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q2R pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX)>= 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1)))**A)**(-1./A))
RETURN
END

FUNCTION QDR(XV,R)
c Calcul de la fonction QDR
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
QDR=0.
RETURN
ENDIF
S=R/XV(NPX+1)
T=S/(S+(XV(NPX+4)+1.)+1./S+(XV(NPX+4)))
R2=2.*XV(NPX+1)*T/(XV(NPX+4)+SQRT(4.*T+XV(NPX+4)*XV(NPX+4)))
QDR=MAX(0.,R-R2)
END

```

```

FUNCTION RDQ(XV,Q)
c Calcul de la fonction RDQ
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(Q.LE.0.)THEN
RDQ=0.
RETURN
ENDIF
P=Q/XV(NPX+1)
S=(SQRT(4.*XV(NPX+4)+1.)-1.)/2.
1 CONTINUE
A=P*(XV(NPX+4)*(P+XV(NPX+4)-2.)-2.)
B=XV(NPX+4)*(XV(NPX+4)+3.*P)+P*P
C=2.*(P+XV(NPX+4))
F=-P*(P+XV(NPX+4))*(1.+XV(NPX+4))+S*(A+S*(B+S*(C+S)))
IF(F.GE.0.)SS=S
G=A+S*(2.*B+S*(3.*C+S))
D=F/G
IF(D.LE.0.)GOTO 2
S=S-D
IF(D.GT.0.0001)GOTO 1
IF(S.GT.0.)SS=S
2 CONTINUE
RDQ=XV(NPX+1)*SS
END

SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q)
c SP de Calcul du Modèle GR4JSL4
PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26)
DIMENSION XV(*),X(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
COMMON /ETA/ XS(3*NH+3)
c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune)
CR=1.
IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=QA/QS
B=XV(NPX+2)
IF(P.LE.E)THEN
V=TANH((E-P)/B)
XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V)
PrS=0.
ELSE
V=TANH((P-E)/B)
X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V)
PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS)
XS(2)=X2NS
ENDIF
X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25
PercS=XS(2)-X2NS
PrS=PrS+PercS
XS(2)=X2NS
DO 2 K=1,NH-1
XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PrS
2 CONTINUE
XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PrS
RS=XS(1)+XS(4)
QS=QDR(XV,RS)
XS(1)=RS-QS
QAC=MAX(0.,QS*CR)
X(1)=RDQ(XV,QAC)
R=X(1)+XS(4)
Q=QDR(XV,R)
RETURN
END

```

A7.5 Variante GR4JSI₅

Second paramètre du réservoir R	fixé	Val. 2 ^{ème} Param(R)			Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens		
		Mini.	Moy.	Maxi.	1	2	3				
		0.000	-99.82	23.74	65.89	0.894	6.62	6.50	-5.83		
0.010	-99.83	23.77	65.92	0.894	6.38	6.35	-5.80				
0.100	-99.87	23.88	66.30	0.894	6.38	6.35	-5.81				
0.125	-99.88	24.03	66.42	0.888	6.34	6.30	-5.79				
0.150	-99.88	24.07	66.51	0.888	6.31	6.28	-5.77				
0.175	-99.88	24.04	66.57	0.888	6.31	6.21	-5.78				
0.200	-99.88	24.00	66.63	0.888	6.30	6.15	-5.80				
0.250	-99.88	23.93	66.79	0.888	6.25	6.14	-5.79				
0.500	-99.89	23.88	67.19	0.888	6.09	6.16	-5.80				
0.750	-99.89	23.76	67.37	0.894	6.02	6.08	-5.79				
1.00	-99.89	23.75	67.49	0.894	5.92	6.15	-5.82				
2.00	-99.90	23.79	67.75	0.894	5.85	5.97	-5.81				
3.00	-99.90	23.50	67.81	0.894	5.80	5.91	-5.78				
4.00	-99.90	23.57	67.94	0.894	5.79	5.80	-5.85				
5.00	-99.90	23.49	67.95	0.894	5.78	5.65	-5.87				
6.00	-99.90	23.50	67.91	0.894	5.77	5.59	-5.84				
7.00	-99.90	23.42	67.98	0.899	5.76	5.59	-5.85				
8.00	-99.90	23.39	68.04	0.894	5.75	5.67	-5.85				
9.00	-99.90	23.41	68.01	0.894	5.75	5.67	-5.85				
10.0	-99.90	23.37	67.99	0.894	5.75	5.68	-5.87				

à caler	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
	Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
	-99.89	23.74	68.00	0.894	5.96	5.76	-5.84	1.69

Tableau A7.5 : Résultats de la variante **GR4JSI₅**

Spécifications générales de la variante GR4JSI₅
<p>Soient B et β les deux paramètres du réservoir de transfert R. 1°) Pour un niveau R donné du réservoir on pose : $r = R / B$ On calcule le niveau R₂ tel qu'on ai : $R_2 = BS[S + \sqrt{\beta(\beta + 2S) + ((\beta + 1)S)^2}] / [\beta + S(2 + (\beta + 2)S)]$ Et ensuite on déduit le débit Q (en mm) par : $Q = R - R_2$ (fonction Q32.FOR).</p> <p>2°) Pour un débit Q donné on cherche le niveau R du réservoir correspondant, on pose : $P = Q / B$ et $S = [\sqrt{P*(P + 4)} - P] / 2$ - par exemple en supposant Q sous la forme : $Q = k / (1/R^3 + 1/\beta R^2)$ c'est à dire : $Q = k / [(\beta R^2 + R^3) / \beta R^5] = k\beta R^5 / \beta R^2(1 + R / \beta) = kR^3 / (1 + R / \beta) = kR^3 / (1 + \alpha R)$ On aura ainsi : $Q \sim f(R^3)$ si R est très petit et $Q \sim f(R^2)$ si R est très grand. - de $dR/dt = -Q$ on tire $dR/Q = -dt$ c'est à dire $dR(1 + \alpha R)/R^3 = -kdt$ d'où on a : $dR/R^3 + \alpha dR/R^2 = -kdt$ qui donne : $[1/2R_2^2 - 1/2R_1^2] + \alpha[1/R_2 - 1/R_1] = k\Delta t$ d'où on tire : $(2R_1^2 - 2R_2^2) / 4R_1^2R_2^2 + (\alpha/R_1 - \alpha/R_2) / R_1R_2 = k\Delta t$ $[R_1R_2(2R_1^2 - 2R_2^2) + 4\alpha R_1^2R_2^2(R_1 - R_2)] / 4R_1^3R_2^3 = k\Delta t$ $R_1R_2(2R_1^2 - 2R_2^2) + 4\alpha R_1^2R_2^2(R_1 - R_2) - 4k\Delta tR_1^3R_2^3 = 0$ $R_2[(4k\Delta tR_1^3 + 4\alpha R_1^2 + 2R_1)R_2^2 - 4\alpha R_1^3R_2 - 2R_1^3] = 0$ c'est à dire : soit R₂ = 0 où soit $(4k\Delta tR_1^3 + 4\alpha R_1^2 + 2R_1)R_2^2 - 4\alpha R_1^3R_2 - 2R_1^3 = 0$ - et la racine positive de cette équation du second degré en R₂ donne le niveau R du réservoir correspondant au débit Q (fonction R32.FOR).</p>

Module FORTRAN de la variante GR4JSI₅

```

SUBROUTINE HU1(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26)
DIMENSION XV(*)
common /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
io(6)=1
DO 1 I=1,NH
XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)
  if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i
1 CONTINUE
RETURN
END

FUNCTION SS1(I,C)
c          { H(t)=0      si t <= 0  }
c Calcul la Fonction: { H(t)=(t/C)**2.5 si 0 < t < C }
c          { H(t)=1      si t >= C  }
c          { telle que q(t) = dH(t) / dt }

FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS1=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LT.C)THEN
SS1=(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS1=1.
RETURN
END

SUBROUTINE TIT1(XV)
c SP de Saisie des Variables d'exploitation de GR4JSI5
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,'(A)') second parametre de R fixe (0) ou a caler (1)?.'
READ(*,*)IO(5)
IO(21)=3+IO(5)
IF(IO(5).EQ.0)THEN
WRITE(*,'(A)') valeur du deuxieme parametre du reservoir ?....'
READ(*,*)XV(NPX+4)
XV(4)=LOG(XV(NPX+4))
ENDIF
WRITE(8,'(A)') _____
WRITE(8,'(A)')      modele GR4J-simplifie'
IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,*)' deuxieme parametre',XV(NPX+4)
WRITE(8,'(A)') _____
RETURN
END

SUBROUTINE INI1(X,XV)
c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI5
PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7)
DIMENSION X(*),XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
COMMON /ETA/ XS(3*NH+3)
DO 1 K=4,3+NH
X(K)=0.
XS(K)=0.
1 CONTINUE
CALL VRE1(XV)
IF(IO(8).EQ.0)THEN
X(1)=0.5*XV(NPX+1)
X(2)=0.7*XV(NPX+2)
ELSE
X(1)=0.1*XV(NPX+1)
X(2)=0.3*XV(NPX+2)
ENDIF
XS(1)=X(1)
XS(2)=X(2)
RETURN
END

FUNCTION Q32(XV,R)
c SP de Calcul la Fonction Q32
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q32=0.
RETURN
ENDIF
D=XV(NPX+4)
S=R/XV(NPX+1)
R2=R*(S+SQRT(D*(D+2.*S)+((D+1.)*S)**2))/(D+S*(2.+(D+2)*S))
Q32=MAX(0.,R-R2)
END

FUNCTION R32(XV,Q)
c SP de Calcul la Fonction R32
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(Q.LE.0.)THEN
R32=0.
RETURN
ENDIF
P=Q/XV(NPX+1)
D=XV(NPX+4)
S=(SQRT(P*(P+4.))-P)/2.
1 CONTINUE
F=1./S/S-1./(S+P)**2-1.+2.*(1./S-1./(S+P)-1.)/D
IF(F.LT.0.01)GOTO 2
G=1./S**3-1./(S+P)**3+(1./S/S-1./(S+P)**2)/D
S=S+F/G/2.
GOTO 1
2 CONTINUE
R32=S*XV(NPX+1)
END

SUBROUTINE PAT1(XV)
c SP d'Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSI5
PARAMETER (NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
XV(1)=4.
XV(2)=5.
XV(3)=-6.
cccc IF(IO(5).EQ.1)XV(4)=1.5
IF(IO(5).EQ.1)XV(4)=0.0
RETURN
END

SUBROUTINE VRE1(XV)
c Calcul des Valeurs Réelles Paramètres de GR4JSI5
PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
XV(NPX+1)=EXP(XV(1))
XV(NPX+2)=EXP(XV(2))
XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2.
CALL HU1(XV,XV(NPX+3))
XV(NPX+4)=EXP(XV(4))
RETURN
END

```

<pre> SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSI₅ PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=QA/QS B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=PrS+PercS XS(2)=X2NS DO 2 K=1,NH-1 XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4) QS=Q32(XV,RS) XS(1)=RS-QS QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R32(XV,QAC) R=X(1)+XS(4) Q=Q32(XV,R) RETURN END </pre>	
--	--

A7.6 Variante GR4JSI₆

GR4JSI₆ est dérivé du modèle GR4JSI (GR4J-Simplifié) en y introduisant deux réservoirs de transfert quadratiques en parallèle alimentés à égalité en pluie nette. La mise à jour consiste à multiplier les contenus constatés en simulation par le même nombre pour les deux réservoirs.

Module FORTAN de la variante GR4JSI ₆	
<pre> Cxxxx HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1 SUBROUTINE HU1(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26) DIMENSION XV(*) common /IOZ/ IO(NPY),LM(12) io(6)=1 DO 1 I=1,NH XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C) if(xv(3*npX+i).gt.xv(3*npX+io(6)))io(6)=i 1 CONTINUE RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles Paramètres du GR4JSI₆ PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) XV(NPX+1)=EXP(XV(1))+1. XV(NPX+2)=EXP(XV(2))+1. XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4))+1. XV(NPX+5)=XV(NPX+1)/XV(NPX+4) XV(NPX+6)=XV(NPX+1)*XV(NPX+4) RETURN END </pre>

<pre> Cxxxx SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1 FUNCTION SS1(I,C) c { H(t)=0 si t <= 0 } c Calcul la Fonction: { H(t)=(t/C)**2.5 si 0 < t < C } telle que q(t) = dH(t) / dt c { H(t)=1 si t >= C } FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS1=0. RETURN ENDIF IF(FI.LT.C)THEN SS1=(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS1=1. RETURN END </pre>	<pre> C PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1 SUBROUTINE PAT1(XV) c Paramètres Transformés du Modèle GR4JSI₆ PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) XV(1)=4. XV(2)=5. XV(3)=-6. XV(4)=0. RETURN END </pre>
<pre> Cxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1 SUBROUTINE TIT1(XV) c SP de Saisie des Variables d'exploitation du Modèle GR4JSI₆ PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) WRITE(8,'(A)') ' WRITE(8,'(A)') ' modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A)') ' deux reservoirs quadratiques ' WRITE(8,'(A)') ' IO(21)=4 RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSI₆ PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=PrS+PercS XS(2)=X2NS DO 2 K=1,NH-1 XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS IF(QA.GT.0.)THEN COR=QS/QA R2=2.*XV(NPX+5)*XS(1)/(XS(1)+SQRT(XS(1)*XS(1) &+4.*XV(NPX+5)*(XV(NPX+5)-XS(1))*COR))+XS(4)/2. T2=2.*XV(NPX+6)*XS(3)/(XS(3)+SQRT(XS(3)*XS(3) &+4.*XV(NPX+6)*(XV(NPX+6)-XS(3))*COR))+XS(4)/2. QR2=R2*R2/(R2+XV(NPX+5)) QT2=T2*T2/(T2+XV(NPX+6)) Q=QR2+QT2 ENDIF RS=XS(1)+XS(4)/2. QRS=RS*RS/(RS+XV(NPX+5)) TS=XS(3)+XS(4)/2. QTS=TS*TS/(TS+XV(NPX+6)) QS=QRS+QTS IF(QA.LE.0.)Q=QS XS(1)=MAX(0.,RS-QRS) XS(3)=MAX(0.,TS-QTS) RETURN END </pre>
<pre> Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats du Modèle GR4JSI₆ PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+5) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) X(3)=0.5*XV(NPX+6) XS(3)=X(3) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSI₆ PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=PrS+PercS XS(2)=X2NS DO 2 K=1,NH-1 XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS IF(QA.GT.0.)THEN COR=QS/QA R2=2.*XV(NPX+5)*XS(1)/(XS(1)+SQRT(XS(1)*XS(1) &+4.*XV(NPX+5)*(XV(NPX+5)-XS(1))*COR))+XS(4)/2. T2=2.*XV(NPX+6)*XS(3)/(XS(3)+SQRT(XS(3)*XS(3) &+4.*XV(NPX+6)*(XV(NPX+6)-XS(3))*COR))+XS(4)/2. QR2=R2*R2/(R2+XV(NPX+5)) QT2=T2*T2/(T2+XV(NPX+6)) Q=QR2+QT2 ENDIF RS=XS(1)+XS(4)/2. QRS=RS*RS/(RS+XV(NPX+5)) TS=XS(3)+XS(4)/2. QTS=TS*TS/(TS+XV(NPX+6)) QS=QRS+QTS IF(QA.LE.0.)Q=QS XS(1)=MAX(0.,RS-QRS) XS(3)=MAX(0.,TS-QTS) RETURN END </pre>

A7.7 Variante GR4JSI₇

GR4JSI₇ est dérivé du modèle GR4JSI (GR4J-Perrin-Simplifié) en y introduisant :

- une fonction d'échanges non conservative, sous la forme d'un coefficient multiplicatif en sortie de la fonction de production, telle que la pluie efficace produite soit égale à $PRS = d.PR$ où d est le quatrième paramètre du modèle et PR était l'entrée du réservoir de transfert R ;
- la possibilité de mettre à jour le réservoir de transfert R plutôt que le débit Q seul en sortie.

Tableau A7.7 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI₇**

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Cubique	0.00	-100.00	-33.76	49.34	0.186	5.26	5.86	-6.45	0.00	-99.07	-24.35	53.49	0.229	4.85	5.09	-6.00	-0.31
	0.10	-100.00	-28.99	52.64	0.250	5.37	5.83	-6.73	0.10	-98.87	-19.87	56.11	0.303	4.98	5.02	-6.28	-0.33
	0.20	-100.00	-23.89	56.04	0.298	5.49	5.77	-6.96	0.20	-97.81	-14.65	58.97	0.351	5.08	4.92	-6.64	-0.33
	0.30	-100.00	-18.36	59.41	0.356	5.60	5.71	-7.07	0.30	-97.22	-9.36	61.89	0.420	5.22	4.77	-6.74	-0.34
	0.40	-99.99	-12.52	62.22	0.436	5.70	5.65	-7.19	0.40	-95.66	-3.84	64.26	0.532	5.34	4.76	-6.92	-0.35
	0.50	-99.99	-6.32	64.50	0.537	5.78	5.59	-7.11	0.50	-94.02	1.73	66.08	0.585	5.41	4.80	-6.89	-0.34
	0.60	-99.99	0.16	66.16	0.574	5.87	5.53	-7.18	0.60	-90.97	8.53	67.37	0.644	5.50	4.75	-6.81	-0.34
	0.70	-99.98	6.81	67.27	0.633	5.92	5.49	-7.12	0.70	-86.11	14.55	68.23	0.723	5.58	4.38	-7.12	-0.40
	0.80	-99.97	13.28	67.91	0.739	5.94	5.45	-7.14	0.80	-74.87	20.37	68.64	0.803	5.59	4.29	-7.14	-0.42
	0.90	-99.94	19.27	68.17	0.819	5.88	5.67	-7.08	0.90	-64.18	25.48	68.71	0.888	5.52	4.37	-7.04	-0.46
	0.95	-99.90	21.35	68.17	0.851	5.88	5.59	-7.00	0.95	-61.75	27.33	68.65	0.926	5.42	4.61	-7.01	-0.49
	1.00	-99.91	22.73	68.08	0.878	5.73	5.54	-6.92	1.00	-57.21	27.94	68.53	0.941	5.25	5.21	-6.93	-0.55
	1.05	-99.94	21.61	67.88	0.840	5.39	6.51	-6.95	1.05	-52.26	27.57	68.30	0.947	4.87	5.56	-6.93	-0.77
	1.10	-99.94	20.09	67.70	0.835	5.25	6.68	-7.03	1.10	-74.26	26.38	68.06	0.931	4.62	5.53	-6.82	-0.96
Mise à jour du débit Q pour R-Cubique	0.00	-100.00	-30.35	49.31	0.213	4.74	5.94	-5.84	0.00	-99.20	-20.76	52.51	0.271	4.34	5.46	-5.08	-0.25
	0.10	-100.00	-24.29	53.23	0.287	4.74	5.94	-5.85	0.10	-99.01	-14.47	55.90	0.351	4.28	5.52	-5.02	-0.29
	0.20	-100.00	-18.28	56.39	0.367	4.76	5.92	-6.03	0.20	-98.75	-8.41	58.55	0.452	4.30	5.47	-5.25	-0.29
	0.30	-100.00	-12.26	59.34	0.447	4.81	5.89	-6.37	0.30	-98.38	-2.75	61.09	0.516	4.33	5.54	-5.90	-0.28
	0.40	-99.99	-9.44	61.05	0.457	4.83	5.88	-6.52	0.40	-97.81	2.46	63.86	0.585	4.37	5.55	-6.33	-0.27
	0.50	-99.99	-6.61	62.54	0.500	4.85	5.87	-6.61	0.50	-96.86	7.64	65.73	0.612	4.37	5.56	-6.56	-0.26
	0.60	-99.99	-3.65	63.88	0.521	4.86	5.86	-6.67	0.60	-91.62	12.47	66.58	0.707	4.41	5.45	-6.88	-0.29
	0.70	-99.99	-0.77	64.93	0.569	4.89	5.81	-6.84	0.70	-86.82	16.46	66.39	0.745	4.40	5.46	-7.02	-0.33
	0.80	-99.99	4.89	66.21	0.612	4.91	5.79	-7.22	0.80	-88.01	19.81	66.09	0.819	4.41	5.33	-7.21	-0.36
	0.90	-99.98	9.84	66.32	0.654	4.93	5.69	-7.32	0.90	-88.47	21.44	65.76	0.851	4.38	5.26	-7.13	-0.37
	0.95	-99.97	14.32	66.06	0.755	4.85	5.79	-7.08	0.95	-60.59	22.37	64.99	0.883	4.36	5.20	-7.13	-0.39
	1.00	-99.97	17.61	64.93	0.814	4.79	5.80	-7.00	1.00	-89.35	22.84	63.70	0.915	4.36	5.13	-7.03	-0.36
	1.05	99.92	18.40	63.60	0.846	4.76	5.71	-6.98	1.05	-99.98	21.93	61.70	0.899	3.90	5.05	-6.87	-0.95
	1.10	-99.97	17.72	61.68	0.846	4.70	5.65	-6.83	1.10	-90.10	19.25	59.39	0.862	3.50	5.26	-7.10	-1.13

Tableau A7.8 des résultats des essais de la variante **GR4JSI-7**

Mise à jour du réservoir R-Quadratique	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
0.00	-100.00	-32.17	49.16	0.207	6.26	5.95	-5.92	0.00	-99.04	-22.81	54.14	0.261	5.82	5.47	-5.56	-0.29	
0.10	-100.00	-27.51	51.83	0.255	6.40	5.92	-6.10	0.10	-98.83	-18.57	56.57	0.314	5.94	5.26	-5.90	-0.32	
0.20	-100.00	-22.49	56.32	0.324	6.58	5.86	-6.49	0.20	-98.53	-13.32	58.29	0.399	6.17	5.09	-6.41	-0.32	
0.30	-100.00	-17.20	58.09	0.388	6.73	5.84	-6.88	0.30	-98.10	-8.30	60.23	0.463	6.32	5.04	-6.69	-0.32	
0.40	-99.99	-11.19	60.73	0.452	6.86	5.79	-6.96	0.40	-97.42	-2.94	62.56	0.548	6.40	5.11	-6.68	-0.31	
0.50	-99.99	-5.18	62.80	0.543	6.97	5.75	-7.05	0.50	-96.37	3.10	64.29	0.585	6.52	5.03	-6.65	-0.31	
0.60	-99.99	1.02	64.30	0.585	7.11	5.66	-7.16	0.60	-94.47	9.31	65.57	0.649	6.68	4.74	-6.80	-0.34	
0.70	-99.98	7.63	65.34	0.644	7.20	5.62	-7.12	0.70	-90.79	15.28	66.31	0.729	6.74	4.66	-6.92	-0.35	
0.80	-99.97	14.03	65.86	0.750	7.17	5.69	-7.01	0.80	-80.44	20.94	66.63	0.814	6.70	4.86	-6.95	-0.36	
0.90	-99.93	19.70	65.97	0.824	7.05	5.86	-6.97	0.90	-60.37	26.05	66.65	0.894	6.52	5.16	-6.80	-0.42	
0.95	-99.88	21.84	65.91	0.856	6.95	6.02	-6.94	0.95	-44.38	27.36	66.53	0.910	6.44	5.06	-6.94	-0.49	
1.00	-99.83	23.24	65.89	0.883	6.76	6.20	-6.82	1.00	-39.30	28.46	66.33	0.957	6.23	5.31	-6.86	-0.57	
1.05	-99.86	22.56	65.80	0.856	6.48	5.58	-6.88	1.05	-33.15	28.20	66.08	0.947	5.81	5.79	-6.83	-0.78	
1.10	-99.86	21.12	65.63	0.840	6.23	6.85	-6.95	1.10	-26.26	27.79	65.79	0.936	5.46	5.73	-6.75	-1.07	
Mise à jour du débit Q pour R-Quadratique	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
	0.00	-100.00	-30.05	47.92	0.213	5.68	5.97	-5.74	0.00	-99.05	-20.37	49.42	0.271	5.17	5.59	-4.97	-0.27
	0.10	-100.00	-24.03	51.71	0.319	5.65	5.97	-5.73	0.10	-98.84	-14.08	52.03	0.367	5.16	5.51	-4.99	-0.30
	0.20	-100.00	-17.87	54.45	0.372	5.67	5.96	-5.89	0.20	-98.53	-7.75	55.13	0.452	5.15	5.66	-5.18	-0.29
	0.30	-100.00	-11.68	56.70	0.441	5.73	5.94	-6.09	0.30	-98.08	-1.96	58.62	0.512	5.15	5.64	-5.67	-0.30
	0.40	-99.99	-8.76	58.41	0.468	5.74	5.94	-6.28	0.40	-97.42	3.75	61.38	0.606	5.22	5.76	-6.11	-0.27
	0.50	-99.99	-5.70	59.93	0.505	5.78	5.92	-6.41	0.50	-96.25	8.71	63.21	0.633	5.22	5.78	-6.52	-0.28
	0.60	-99.99	-2.79	61.23	0.537	5.80	5.91	-6.63	0.60	-94.26	13.66	64.03	0.729	5.25	5.80	-6.82	-0.28
	0.70	-99.99	-0.01	62.29	0.564	5.81	5.90	-6.76	0.70	-90.19	18.00	63.74	0.771	5.18	5.77	-6.97	-0.31
	0.80	-99.99	5.45	63.56	0.617	5.84	5.89	-7.07	0.80	-79.82	20.91	63.66	0.830	5.23	5.52	-7.08	-0.35
	0.90	-99.98	10.51	63.61	0.691	5.84	5.81	-7.18	0.90	-69.51	21.97	63.20	0.856	5.21	5.51	-7.08	-0.39
	0.95	-99.96	14.88	63.62	0.766	5.77	5.86	-6.99	0.95	-70.31	22.71	62.90	0.888	5.20	5.16	-7.06	-0.42
	1.00	-99.90	18.01	62.88	0.814	5.71	5.87	-6.94	1.00	-71.65	23.00	62.03	0.910	5.14	5.41	-6.95	-0.38
	1.05	-99.88	18.58	61.94	0.840	5.58	5.93	-6.88	1.05	-91.23	21.36	60.38	0.899	5.38	5.34	-6.88	-1.21
1.10	-99.96	18.27	60.38	0.856	5.50	5.76	-6.82	1.10	-72.82	19.20	58.66	0.867	4.15	5.39	-7.09	-1.28	

Module FORTAN de la variante GR4JSI₇

```
Cxxxx HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1_HU1
SUBROUTINE HU1(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7,npj=26)
DIMENSION XV(*)
common /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
io(6)=1
DO 1 I=1,NH
XV(3*NPX+I)=SS1(I,C)-SS1(I-1,C)
if(xv(3*npix+i).gt.xv(3*npix+io(6)))io(6)=i
1 CONTINUE
RETURN
END
```

```
CxxxxSS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1_SS1
FUNCTION SS1(I,C)
c { H(t)=0 si t <= 0 }
c Calcul la Fonction: { H(t)=(t/C)**2.5 si 0 < t < C }
c { H(t)=1 si t >= C }
c { telle que q(t) = dH(t) / dt }
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS1=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LT.C)THEN
SS1=(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS1=1.
RETURN
END
```

```
Cxxxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q
FUNCTION R2Q(XV,Q)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) > ou = 1
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R**(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S**(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-
RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN
END
```

```
Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R
FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A))
RETURN
END
```

```
CxxxxTIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1
SUBROUTINE TIT1(XV)
c SP de Saisie des Variables de GR4JSI7 (avec HU1**2.5)
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,(A))' exposant du reservoir de transfert (3) ?..... '
READ(*,*)XV(NPX)
if(xv(npix).lt.1.)xv(npix)=1.
WRITE(*,(A))' mise a jour de R (1) ou du debit (0) ?..... '
READ(*,*)IO(5)
WRITE(*,(A))' importance de la mise a jour (entre 0 et 1) ?.. '
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(xv(npix-1).lt.0.)xv(npix-1)=0.
if(xv(npix-1).gt.1.)xv(npix-1)=1.
WRITE(*,(A))' trois (3) ou quatre (4) parametres ?..... '
READ(*,*)IO(21)
WRITE(8,(A))' _____ '
WRITE(8,(A))' modele GR4J-simplifie '
WRITE(8,(A,F8.3))' exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX)
IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,(A))' mise a jour du reservoir R'
IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,(A))' mise a jour du debit Q'
WRITE(8,(A,F8.3))' importance de la mise a jour =',XV(NPX-1)
WRITE(8,(A,I4))' nombre de parametres du modele =',IO(21)
WRITE(8,(A))' _____ '
RETURN
END
```

```
Cxxxx PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1
SUBROUTINE PAT1(XV)
c SP d'Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSI7 (avec HU1**2.5)
DIMENSION XV(*)
XV(1)=4.
XV(2)=5.6
XV(3)=-8.
XV(4)=0.
RETURN
END
```

<pre> Cxxxx_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI₇ (avec HU1**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4,3+NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END CxxxxVRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles Paramètres de GR4JSI₇ (avec HU1**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU1(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END </pre>	<pre> CxxxxMOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul du Modèle GR4JSI₇ (avec HU1**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,NH-1 XS(3+K)=XS(4+K)+XV(3*NPX+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+NH)=XV(3*NPX+NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(IO(5).EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN END </pre>
---	---

HYDROGRAMME UNITAIRE HU1(t/C) avec $\alpha = 2.5$									
t/C	0.000	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.875	1.00	2.00
HU1(t/C)	0.0055	0.0313	0.0861	0.1768	0.3088	0.40871	0.7162	1.00	1.00

A7.8 Variante GR4JSI₈

GR4JSI₈ : Réexamen de l'hydrogramme unitaire dans le modèle **GR4JSI** avec introduction d'une fonction d'échanges

Tableau A7.9 : Résultats des essais du modèle **GRAJSI₈**

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Cubique	0.00	-100.00	-29.69	48.78	0.229	4.74	5.98	-5.83	0.00	-99.21	-20.43	51.25	0.282	4.38	5.32	-5.35	-0.30
	0.10	-100.00	-24.88	51.93	0.287	4.98	5.92	-5.94	0.10	-98.85	-15.46	55.40	0.351	4.57	5.28	-5.27	-0.30
	0.20	-100.00	-19.75	54.77	0.324	5.09	5.88	-6.01	0.20	-97.63	-10.37	57.06	0.404	4.68	5.03	-5.45	0.30
	0.30	-100.00	-14.27	57.32	0.410	5.19	5.86	-6.05	0.30	-96.98	-5.39	59.05	0.479	4.79	5.12	-5.41	-0.28
	0.40	-99.99	-8.58	59.50	0.463	5.30	5.80	-6.09	0.40	-95.20	0.30	61.03	0.569	4.91	5.02	-5.29	-0.30
	0.50	-99.99	-2.89	61.26	0.559	5.40	5.76	-6.31	0.50	-93.25	5.82	62.39	0.617	5.00	4.94	-5.46	-0.33
	0.60	-99.99	3.14	62.58	0.590	5.49	5.72	-6.45	0.60	-89.87	11.52	63.40	0.670	5.10	4.85	-5.77	-0.34
	0.70	-99.98	9.16	63.44	0.707	5.56	5.69	-6.82	0.70	-83.35	16.36	63.96	0.782	5.12	5.00	-6.13	-0.34
	0.80	-99.97	15.11	63.87	0.771	5.59	5.66	-6.91	0.80	-70.59	21.91	64.16	0.835	5.18	4.70	-6.90	-0.37
	0.90	-99.93	20.27	63.84	0.835	5.54	5.91	-7.14	0.90	-64.99	26.29	63.83	0.899	5.10	5.12	-7.29	-0.43
	0.95	-99.86	22.44	63.64	0.867	5.50	6.01	-7.38	0.95	-61.16	28.06	63.58	0.926	5.03	4.69	-7.47	-0.49
	1.00	-99.69	24.15	63.37	0.883	5.44	6.06	-7.43	1.00	-57.74	28.65	64.11	0.941	4.89	5.31	-7.46	-0.52
	1.05	-99.76	22.99	63.61	0.856	5.18	6.52	-7.33	1.05	-52.45	28.61	64.54	0.941	4.60	5.68	-7.50	-0.67
	1.10	-99.76	21.65	64.00	0.835	5.05	6.76	-7.41	1.10	-46.16	27.93	64.82	0.936	4.38	5.80	-7.44	-0.82
Mise à jour du débit Q pour R-Cubique	0.00	-100.00	-29.79	47.39	0.223	4.39	5.97	-7.08	0.00	-99.19	-20.44	51.02	0.277	4.04	5.64	-6.52	-0.27
	0.10	-100.00	-23.72	51.07	0.314	4.52	5.97	-6.99	0.10	-99.00	-14.07	54.20	0.356	4.13	5.51	-6.47	-0.29
	0.20	-100.00	-17.49	54.08	0.362	4.55	5.96	-6.92	0.20	-98.74	-7.90	56.77	0.447	4.13	5.53	-6.40	-0.32
	0.30	-100.00	-11.45	56.34	0.452	4.59	5.96	-6.88	0.30	-98.36	-2.14	58.56	0.516	4.20	5.53	-6.11	-0.31
	0.40	-99.99	-4.89	57.80	0.521	4.61	5.95	-6.82	0.40	-97.80	4.04	59.55	0.596	4.22	5.46	-5.82	-0.31
	0.50	-99.99	1.31	59.10	0.590	4.62	5.95	-6.82	0.50	-96.89	9.70	59.69	0.644	4.23	5.54	-5.82	-0.31
	0.60	-99.99	7.31	59.88	0.691	4.61	5.95	-6.85	0.60	-91.69	15.04	60.09	0.777	4.27	5.57	-6.07	-0.32
	0.70	-99.98	12.37	60.85	0.723	4.60	5.93	-7.04	0.70	-82.48	19.42	61.19	0.819	4.26	5.59	-6.38	-0.39
	0.80	-99.96	16.26	60.63	0.766	4.52	6.00	-7.23	0.80	-66.44	22.52	60.81	0.856	4.26	5.62	-6.73	-0.46
	0.90	-99.90	19.20	58.43	0.819	4.44	6.04	-7.30	0.90	-28.90	24.24	59.54	0.888	4.21	5.36	-7.02	-0.59
	0.95	-99.79	19.61	61.23	0.835	4.37	6.13	-7.30	0.95	-27.96	24.37	61.09	0.910	4.15	5.59	-7.10	-0.63
	1.00	-99.97	19.54	59.90	0.856	4.39	6.20	-7.38	1.00	-99.84	22.77	59.92	0.883	3.82	5.73	-7.32	-0.95
	1.05	-99.79	15.79	55.14	0.809	4.27	6.28	-7.39	1.05	-24.31	20.80	53.68	0.835	3.16	5.84	-7.33	-1.50
	1.10	-99.90	11.86	50.85	0.750	4.13	6.71	-7.43	1.10	-36.68	17.04	53.54	0.782	3.27	6.04	-7.21	-1.23

Tableau A7.10 : Résultats des essais du modèle **GRAJSI₈**

Mise à jour du réservoir R-Quadratique	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
0.00	-100.00	-29.60	47.77	0.223	5.77	6.00	-6.08	0.00	-99.05	-20.19	53.35	0.277	5.33	5.56	-5.37	-0.29	
0.10	-100.00	-24.69	51.19	0.282	6.00	5.98	-6.15	0.10	-98.85	-15.39	55.42	0.362	5.50	5.52	-5.49	-0.29	
0.20	-100.00	-19.39	53.13	0.351	6.13	5.96	-6.12	0.20	-98.53	-9.75	56.97	0.426	5.63	5.45	-5.46	-0.27	
0.30	-100.00	-13.79	54.51	0.404	6.28	5.91	-6.21	0.30	-98.09	-4.50	57.92	0.495	5.85	5.23	-5.43	-0.30	
0.40	-99.99	-8.01	55.88	0.479	6.40	5.89	-6.21	0.40	-97.48	1.07	58.34	0.569	5.94	5.31	-5.30	-0.30	
0.50	-99.99	-2.16	57.53	0.564	6.52	5.84	-6.31	0.50	-96.44	6.61	58.79	0.628	6.10	5.28	-5.54	-0.31	
0.60	-99.99	3.79	58.76	0.612	6.64	5.79	-6.43	0.60	-94.46	12.37	59.78	0.686	6.19	5.15	-5.90	-0.34	
0.70	-99.98	9.66	59.64	0.702	6.74	5.75	-6.66	0.70	-90.69	17.28	60.41	0.798	6.21	5.06	-6.13	-0.38	
0.80	-99.97	15.48	60.17	0.777	6.76	5.76	-6.93	0.80	-79.66	22.22	60.77	0.840	6.23	4.93	-6.76	-0.39	
0.90	-99.92	20.48	60.45	0.830	6.67	6.03	-7.26	0.90	-52.19	26.38	61.80	0.899	6.17	5.07	-7.30	-0.45	
0.95	-99.85	22.59	61.47	0.862	6.57	6.22	-7.33	0.95	-44.42	28.08	62.51	0.926	6.01	5.40	-7.43	-0.47	
1.00	-99.51	24.19	62.21	0.883	6.43	6.37	-7.41	1.00	-38.68	28.94	63.09	0.952	5.85	5.45	-7.54	-0.55	
1.05	-99.51	23.64	62.74	0.867	6.16	6.62	-7.35	1.05	-32.80	28.98	63.49	0.952	5.48	5.98	-7.51	-0.68	
1.10	-99.53	22.58	63.07	0.840	5.93	6.80	-7.30	1.10	-25.91	28.48	63.69	0.952	5.18	6.11	-7.49	-0.86	
Mise à jour du débit Q pour R-Quadratique	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
Mini.		Moy.	Maxi.	1		2	3	Mini.		Moy.	Maxi.	1		2	3	4	
0.00	-100.00	-29.80	47.65	0.218	5.32	5.99	-7.29	0.00	-99.05	-20.31	47.80	0.271	4.98	5.68	-6.60	-0.27	
0.10	-100.00	-23.75	51.08	0.319	5.45	5.99	-7.20	0.10	-98.83	-14.04	51.05	0.372	4.86	5.61	-6.47	-0.30	
0.20	-100.00	-17.48	53.58	0.383	5.50	5.98	-7.07	0.20	-98.52	-7.85	53.50	0.452	4.99	5.61	-6.43	-0.32	
0.30	-100.00	-11.07	55.04	0.452	5.49	5.98	-7.01	0.30	-98.08	-1.60	54.61	0.532	5.05	5.69	-6.13	-0.31	
0.40	-99.00	-4.84	55.40	0.521	5.52	5.98	-6.98	0.40	-97.36	4.36	55.58	0.596	5.07	5.71	-5.89	-0.31	
0.50	-99.99	1.54	56.30	0.590	5.53	5.98	-6.98	0.50	-96.28	10.27	56.95	0.660	5.06	5.77	-6.01	-0.30	
0.60	-99.99	7.40	57.07	0.697	5.49	5.99	-6.97	0.60	-94.33	15.43	57.89	0.798	5.04	5.87	-6.11	-0.31	
0.70	-99.98	12.46	58.51	0.729	5.45	5.99	-7.11	0.70	-90.19	19.71	59.46	0.830	5.08	5.86	-6.29	-0.35	
0.80	-99.96	16.46	58.67	0.787	5.35	6.13	-7.09	0.80	-79.53	22.72	59.45	0.888	5.06	5.72	-6.81	-0.45	
0.90	-99.89	19.15	57.94	0.819	5.20	6.25	-7.30	0.90	-42.96	24.29	59.03	0.904	4.93	5.57	-6.97	-0.59	
0.95	-99.75	19.58	60.69	0.840	5.03	6.43	-7.36	0.95	-25.78	24.48	60.55	0.915	4.87	5.94	-7.03	-0.58	
1.00	-99.96	19.71	59.19	0.835	4.99	6.39	-7.33	1.00	-88.17	22.89	59.19	0.888	4.23	5.79	-7.12	-1.24	
1.05	-99.75	16.09	54.50	0.809	4.77	6.83	-7.30	1.05	-24.94	20.72	57.20	0.830	3.59	6.06	-7.10	-1.64	
1.10	-99.89	12.13	50.83	0.766	4.80	6.84	-7.36	1.10	-47.74	16.89	53.00	0.787	3.86	6.03	-7.18	-1.34	

Module FORTAN de la variante **GR4JSI₈**

CxxxxHU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3

```

SUBROUTINE HU3(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,2*NH
XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C)
1 CONTINUE
RETURN
END
    
```

Cxxxx SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3

```

FUNCTION SS3(I,C)
c { H(t)=0 si t<= 0 }
c { H(t)=0.5*(t/C)**2.5 si 0 < t < C }
c Calcul de la Fonction: { H(t)=1-0.5*(2-t/C)**2.5 si C < t < 2C }
c { H(t)=1 si t >= 2C }
c { telle que q(t) = dH(t) / dt }
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS3=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.GE.2.*C)THEN
SS3=1.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LE.C)THEN
SS3=0.5*(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5
RETURN
END
    
```

Cxxxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q

```

FUNCTION R2Q(XV,Q)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R**(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S**(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN
END
    
```

CxxxxQ2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R

```

FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1)))**A)**(-1./A)
RETURN
END
    
```

Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1

```

SUBROUTINE TIT1(XV)
c SP-Saisie des Variables de de la variante GR4JSI8 (avec HU3**2.5)
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,'(A)') exposant du reservoir de transfert (3) ?..... '
READ(*,*)XV(NPX)
if(xv(npX).lt.1.)xv(npX)=1.
WRITE(*,'(A)') mise a jour de R (1) ou du debit (0) ?..... '
READ(*,*)IO(5)
WRITE(*,'(A)') importance de la mise a jour (entre 0 et 1.1) ? '
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(xv(npX-1).lt.0.)xv(npX-1)=0.
if(xv(npX-1).gt.1.1)xv(npX-1)=1.1
WRITE(*,'(A)') trois (3) ou quatre (4) parametres ?..... '
READ(*,*)IO(21)
WRITE(8,'(A)') _____ '
WRITE(8,'(A)') modele GR4J-simplifie '
WRITE(8,'(A,F8.3)') exposant du reservoir de transfert =' ,XV(NPX)
IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)') mise a jour du reservoir R'
IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,'(A)') mise a jour du debit Q'
WRITE(8,'(A,F8.3)') importance de la mise a jour =' ,XV(NPX-1)
WRITE(8,'(A,I4)') nombre de parametres du modele =' ,IO(21)
WRITE(8,'(A)') _____ '
RETURN
END
    
```

Cxxxx PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1

```

SUBROUTINE PAT1(XV)
c Paramètres Transformés de GR4JSI8 (avec HU3**2.5)
DIMENSION XV(*)
XV(1)=4.
XV(2)=5.6
XV(3)=-8.
XV(4)=0.
RETURN
END
    
```

<pre> Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI₈ (avec HU3**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles Paramètres de GR4JSI₈ (avec HU3**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=(NH-1)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul de GR4JSI₈ (avec HU3**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,2*NH-1 XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4+NH) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(IO(5),EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4+NH) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN END </pre>
--	---

HYDROGRAMME UNITAIRE HU3(t/C) avec $\alpha = 2.5$								
t/C	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.875	1.00
HU3(t/C)	0.0028	0.0156	0.0431	0.0884	0.1544	0.2436	0.3581	0.50
t/C	1.125	1.250	1.375	1.500	1.625	1.750	1.875	2.00
HU3(t/C)	0.6419	0.7564	0.8456	0.9116	0.9569	0.9844	0.9972	1.00

A7.9 Variante GR4JSI₉

GR4JSI₉ : Réexamen de l'hydrogramme unitaire dans le modèle GR4JSI avec introduction d'une fonction d'échanges (suite1)

Tableau A7.11 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI**,

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Cubique	0.00	-100.00	-29.60	46.99	0.218	4.63	5.98	-5.78	0.00	-99.20	-20.19	49.77	0.282	4.25	5.30	-5.18	-0.29
	0.10	-100.00	-24.82	49.95	0.271	4.91	5.92	-5.92	0.10	-99.01	-15.42	53.79	0.362	4.51	5.30	-5.19	-0.29
	0.20	-100.00	-19.74	52.67	0.335	5.04	5.88	-6.04	0.20	-98.56	-10.47	55.37	0.404	4.62	5.21	-5.38	-0.29
	0.30	-100.00	-14.29	55.08	0.404	5.14	5.85	-6.07	0.30	-96.93	-5.03	57.18	0.484	4.73	5.18	-5.44	-0.29
	0.40	-99.99	-8.59	57.14	0.479	5.25	5.80	-6.17	0.40	-95.23	0.35	58.93	0.559	4.84	4.98	-5.34	-0.30
	0.50	-99.99	-2.88	58.83	0.564	5.35	5.75	-6.32	0.50	-93.11	5.81	60.36	0.622	4.90	4.87	-5.49	-0.31
	0.60	-99.99	3.07	60.11	0.601	5.43	5.71	-6.52	0.60	-89.72	11.41	61.20	0.691	5.00	4.98	-5.73	-0.33
	0.70	-99.98	9.08	60.98	0.718	5.50	5.68	-6.77	0.70	-82.99	16.68	61.72	0.793	5.09	5.04	-6.09	-0.35
	0.80	-99.97	14.79	61.42	0.777	5.53	5.65	-7.00	0.80	-70.59	21.56	61.85	0.840	5.09	4.73	-6.71	-0.36
	0.90	-99.93	19.92	61.43	0.830	5.48	5.88	-7.12	0.90	-63.96	25.88	61.54	0.899	5.03	5.22	-7.26	-0.41
	0.95	-99.86	22.04	61.29	0.867	5.45	5.96	-7.37	0.95	-60.85	27.51	61.30	0.915	4.96	5.03	-7.48	-0.43
	1.00	-99.72	23.72	61.01	0.888	5.41	6.00	-7.51	1.00	-56.08	28.35	60.89	0.941	4.86	5.15	-7.55	-0.48
	1.05	-99.79	22.52	60.61	0.862	5.14	6.42	-7.35	1.05	-47.06	28.14	61.11	0.931	4.56	5.67	-7.52	-0.62
	1.10	-99.79	21.30	60.52	0.835	4.98	6.68	-7.25	1.10	-36.19	27.41	61.42	0.926	4.35	5.82	-7.50	-0.77
Mise à jour du débit Q pour R-Cubique	0.00	-100.00	-29.78	46.18	0.223	4.32	5.96	-6.94	0.00	-99.19	-20.44	49.61	0.277	4.01	5.66	-6.49	-0.27
	0.10	-100.00	-23.77	49.61	0.309	4.44	5.96	-6.85	0.10	-99.00	-14.13	52.60	0.362	4.10	5.52	-6.41	-0.29
	0.20	-100.00	-17.52	52.12	0.383	4.45	5.96	-6.82	0.20	-98.74	-7.95	54.90	0.441	4.08	5.53	-6.36	-0.32
	0.30	-100.00	-11.25	53.92	0.452	4.49	5.94	-6.80	0.30	-98.39	-2.05	56.45	0.532	4.13	5.52	-6.01	-0.31
	0.40	-99.99	-4.94	55.14	0.521	4.50	5.94	-6.79	0.40	-97.81	4.06	57.27	0.601	4.15	5.55	-5.88	-0.31
	0.50	-98.99	1.15	55.52	0.590	4.50	5.93	-6.75	0.50	-96.86	9.81	57.27	0.644	4.16	5.45	-5.76	-0.31
	0.60	-99.99	7.22	56.09	0.697	4.50	5.93	-6.79	0.60	-95.22	14.97	56.56	0.787	4.19	5.64	-5.94	-0.35
	0.70	-99.98	12.21	55.53	0.734	4.53	5.89	-6.93	0.70	-85.97	19.26	56.17	0.830	4.19	5.61	-6.24	-0.34
	0.80	-99.96	16.24	55.09	0.793	4.45	5.98	-7.10	0.80	-66.32	22.37	56.20	0.872	4.19	5.51	-6.70	-0.43
	0.90	-99.90	19.05	57.32	0.830	4.32	6.02	-7.25	0.90	-51.27	23.89	55.73	0.888	4.13	5.58	-6.92	-0.47
	0.95	-99.80	19.56	59.86	0.840	4.25	6.11	-7.28	0.95	-29.08	24.25	58.19	0.894	4.10	5.43	-7.09	-0.55
	1.00	-99.96	19.30	58.22	0.851	4.23	6.04	-7.32	1.00	-25.56	24.21	59.69	0.910	4.05	5.57	-7.12	-0.56
	1.05	-99.80	15.84	49.66	0.824	3.99	6.59	-7.29	1.05	-99.86	22.43	58.23	0.899	3.73	5.66	-7.28	-0.90
	1.10	-99.90	11.63	47.40	0.771	4.04	6.81	-7.39	1.10	-21.81	20.76	55.48	0.846	2.73	5.68	-7.17	-1.61

Tableau A7.12 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI**,

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mni.	Mby.	Mxi.		1	2	3		Mni.	Mby.	Mxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Quadratique	0.00	-100.00	-29.61	46.61	0.218	5.67	5.99	-5.91	0.00	-99.06	-20.21	51.84	0.266	5.27	5.49	-5.27	-0.29
	0.10	-100.00	-24.77	49.85	0.277	5.95	5.95	-6.07	0.10	-98.84	-15.32	53.76	0.362	5.44	5.43	-5.42	-0.29
	0.20	-100.00	-19.52	51.66	0.340	6.09	5.93	-6.17	0.20	-98.56	-10.06	55.17	0.415	5.59	5.34	-5.51	-0.28
	0.30	-100.00	-13.95	52.95	0.410	6.23	5.90	-6.24	0.30	-98.09	-4.68	56.06	0.500	5.71	5.37	-5.47	-0.29
	0.40	-99.99	-8.16	53.72	0.484	6.35	5.88	-6.28	0.40	-97.45	0.83	56.51	0.54	5.89	5.30	-5.42	-0.29
	0.50	-99.99	-2.34	55.04	0.564	6.48	5.81	-6.39	0.50	-96.39	6.46	56.63	0.633	6.01	5.30	-5.60	-0.30
	0.60	-99.99	3.63	56.22	0.622	6.58	5.78	-6.51	0.60	-94.54	12.05	57.45	0.707	6.07	5.32	-5.83	-0.32
	0.70	-99.98	9.46	56.96	0.718	6.66	5.75	-6.63	0.70	-90.82	17.13	57.73	0.798	6.10	5.22	-6.17	-0.36
	0.80	-99.97	15.10	57.27	0.777	6.69	5.73	-6.90	0.80	-79.44	21.77	57.76	0.840	6.12	5.10	-6.64	-0.39
	0.90	-99.92	20.05	57.15	0.830	6.60	6.01	-7.15	0.90	-53.71	26.04	57.94	0.899	6.11	4.89	-7.14	-0.45
	0.95	-99.85	22.19	57.56	0.867	6.50	6.17	-7.35	0.95	-43.40	27.68	58.65	0.926	5.95	5.32	-7.41	-0.46
	1.00	-99.52	23.79	58.47	0.883	6.37	6.22	-7.41	1.00	-37.79	28.59	59.25	0.936	5.77	5.80	-7.55	-0.51
	1.05	-99.55	23.23	58.65	0.867	6.11	6.51	-7.32	1.05	-29.78	28.52	59.63	0.941	5.43	6.09	-7.54	-0.63
	1.10	-99.55	22.31	58.95	0.846	5.85	6.73	-7.19	1.10	-21.31	28.08	59.88	0.941	5.16	6.04	-7.55	-0.83
Mise à jour du débit Q pour R- Quadratique	0.00	-100.00	-29.89	46.59	0.213	5.31	5.99	-7.24	0.00	-99.05	-20.43	46.85	0.261	4.88	5.70	-6.57	-0.28
	0.10	-100.00	-23.96	49.71	0.303	5.42	5.98	-7.15	0.10	-98.83	-14.38	49.98	0.356	4.85	5.68	-6.43	-0.29
	0.20	-100.00	-17.74	51.95	0.372	5.40	5.98	-7.03	0.20	-98.53	-8.17	52.00	0.447	4.94	5.67	-6.32	-0.31
	0.30	-100.00	-11.29	53.21	0.452	5.43	5.98	-7.00	0.30	-98.08	-2.00	52.94	0.527	4.98	5.71	-6.16	-0.31
	0.40	-99.99	-4.95	53.41	0.521	5.39	5.96	-6.93	0.40	-97.42	4.15	53.99	0.596	4.99	5.71	-5.83	-0.31
	0.50	-99.99	1.27	55.01	0.590	5.40	5.96	-6.93	0.50	-96.30	9.92	55.69	0.660	4.99	5.78	-5.86	-0.30
	0.60	-99.99	6.92	55.83	0.697	5.41	5.95	-6.92	0.60	-94.26	15.20	56.11	0.803	5.01	5.85	-6.04	-0.30
	0.70	-99.98	12.15	54.81	0.734	5.34	5.97	-7.00	0.70	-90.21	19.53	55.35	0.835	4.99	5.83	-6.25	-0.35
	0.80	-99.96	16.09	54.98	0.787	5.29	6.04	-7.00	0.80	-79.79	22.45	56.00	0.899	4.98	5.72	-6.56	-0.42
	0.90	-99.89	18.76	56.54	0.830	5.10	6.12	-7.19	0.90	-67.82	23.42	55.64	0.899	4.90	5.66	-6.96	-0.52
	0.95	-99.75	19.22	59.24	0.840	4.94	6.27	-7.20	0.95	-40.97	24.02	57.59	0.910	4.85	5.58	-6.99	-0.56
	1.00	-99.95	19.31	57.42	0.851	4.62	6.34	-7.10	1.00	-21.92	24.03	59.07	0.910	4.81	5.73	-7.04	-0.52
	1.05	-99.75	15.84	52.41	0.824	4.47	6.74	-7.12	1.05	-87.68	22.14	57.42	0.904	4.13	5.90	-7.07	-1.03
	1.10	-99.89	11.69	47.79	0.777	4.67	6.85	-7.35	1.10	-23.88	20.43	55.63	0.851	3.23	5.89	-7.04	-1.77

Module FORTAN de la variante GR4JSI₉

Cxxxx HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3

```

SUBROUTINE HU3(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,2*NH
XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C)
1 CONTINUE
RETURN
END

```

Cxxxx SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3

```

FUNCTION SS3(I,C)
c { H(t)=0 si t <= 0 } }
c { H(t)=0.5*(t/C)**2.0 si 0 < t < C } }
c Calcul de la Fonction: { H(t)=1-0.5*(2-t/C)**2.0 si C < t < 2C } }
c { H(t)=1 si t > 2C } }
c { telle que q(t) = dH(t) / dt } }
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS3=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.GE.2.*C)THEN
SS3=1.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LE.C)THEN
SS3=0.5*(FI/C)**2.0
RETURN
ENDIF
SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.0
RETURN
END

```

Cxxxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q

```

FUNCTION R2Q(XV,Q)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) >= 1
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R**(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S**(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN
END

```

Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R

```

FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) >= 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*(R/(R+XV(NPX+1)))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-1./(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)
RETURN
END

```

Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1

```

SUBROUTINE TIT1(XV)
c Variables d'exploitation de GR4JSI9 (avec HU3**2.0)
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,'(A)')' exposant du reservoir de transfert (3) ?..... '
READ(*,*)XV(NPX)
if(xv(npX).lt.1.)xv(npX)=1.
WRITE(*,'(A)')' mise a jour de R (1) ou du debit (0) ?..... '
READ(*,*)IO(5)
WRITE(*,'(A)')' importance de la mise a jour (entre 0 et 1.1) ? '
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(xv(npX-1).lt.0.)xv(npX-1)=0.
if(xv(npX-1).gt.1.1)xv(npX-1)=1.1
WRITE(*,'(A)')' trois (3) ou quatre (4) parametres ?..... '
READ(*,*)IO(21)
WRITE(8,'(A)')
WRITE(8,'(A)')' modele GR4J-simplifie '
WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX)
IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du reservoir R'
IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du debit Q'
WRITE(8,'(A,F8.3)')' importance de la mise a jour =',XV(NPX-1)
WRITE(8,'(A,I4)')' nombre de parametres du modele =',IO(21)
WRITE(8,'(A)')
RETURN
END

```

Cxxxx PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1

```

SUBROUTINE PAT1(XV)
C Paramètres Transformés de GR4JSI9 (avec HU3**2.0)
DIMENSION XV(*)
XV(1)=4.
XV(2)=5.6
XV(3)=-8.
XV(4)=0.
RETURN
END

```

<pre> Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP Initialisation Etats de GR4JSI₉ (avec HU3**2.0) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) C Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSI₉ (avec HU3**2.0) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul de GR4JSI₉ (avec HU3**2.0) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,2*NH-1 XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4+NH) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(IO(5),EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4+NH) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN END </pre>
---	--

HYDROGRAMME UNITAIRE HU3(t/C) avec $\alpha = 2.0$								
t/C	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.875	1.00
HU3(t/C)	0.0078	0.0313	0.0703	0.1250	0.1953	0.2813	0.3828	0.50
t/C	1.125	1.250	1.375	1.500	1.625	1.750	1.875	2.00
HU3(t/C)	0.6172	0.7188	0.8047	0.8750	0.9297	0.9688	0.9922	1.00

A7.10 Variante GR4JSI₁₀

GR4JSI₁₀ : Réexamen de l'hydrogramme unitaire dans le modèle GR4JSI avec introduction d'une fonction d'échanges (suite2)

Tableau A7.13 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI₁₀**

		Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)							Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mni.	Mby.	Maxi.		1	2	3		Mni.	Mby.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Cubique	0.00	-100.00	-30.02	43.44	0.223	4.65	5.94	-5.77	0.00	-99.20	-20.77	48.72	0.266	4.25	5.45	-5.29	-0.27
	0.10	-100.00	-25.37	46.43	0.261	4.86	5.91	-5.91	0.10	-99.02	-15.90	50.61	0.330	4.46	5.32	-5.41	-0.29
	0.20	-100.00	-20.41	48.69	0.330	5.00	5.87	-6.07	0.20	-98.75	-11.09	52.02	0.394	4.59	5.22	-5.49	-0.28
	0.30	-100.00	-15.02	50.92	0.410	5.13	5.83	-6.23	0.30	-96.93	-5.91	53.21	0.479	4.71	5.28	-5.49	-0.29
	0.40	-99.99	-9.37	52.82	0.457	5.23	5.77	-6.37	0.40	-95.23	-0.50	54.95	0.548	4.83	5.03	-5.62	-0.29
	0.50	-99.99	-3.67	54.38	0.559	5.33	5.71	-6.50	0.50	-93.23	4.98	56.10	0.617	4.90	5.00	-5.69	-0.30
	0.60	-99.99	2.31	55.58	0.606	5.41	5.67	-6.67	0.60	-89.71	10.47	56.90	0.691	5.01	4.91	-5.87	-0.33
	0.70	-99.98	8.22	56.38	0.718	5.49	5.64	-6.96	0.70	-82.93	15.79	57.27	0.809	5.06	5.08	-6.18	-0.33
	0.80	-99.97	13.84	56.75	0.782	5.50	5.63	-6.93	0.80	-68.73	20.64	57.22	0.846	5.05	5.00	-6.92	-0.33
	0.90	-99.93	18.82	56.68	0.830	5.47	5.80	-7.16	0.90	-62.98	24.57	56.72	0.888	5.01	5.03	-7.34	0.40
	0.95	-99.86	20.83	56.45	0.867	5.42	5.92	-7.41	0.95	-59.90	26.29	56.27	0.920	4.95	5.22	-7.56	-0.40
	1.00	-99.74	22.60	56.09	0.888	5.37	5.93	-7.46	1.00	-54.31	27.08	55.73	0.941	4.83	5.44	-7.65	-0.44
	1.05	-99.81	21.44	55.63	0.862	5.11	6.33	-7.38	1.05	-41.70	26.83	55.14	0.936	4.54	6.02	-7.68	-0.53
	1.10	-99.81	20.12	55.00	0.840	4.94	6.49	-7.27	1.10	-36.47	25.90	54.55	0.915	4.35	5.80	-7.59	-0.68
Mise à jour du débit Q pour R-Cubique	0.00	-100.00	-30.01	43.73	0.218	4.34	5.95	-6.92	0.00	-99.19	-20.61	47.33	0.266	3.94	5.63	-6.37	-0.27
	0.10	-100.00	-24.15	46.66	0.287	4.42	5.95	-6.89	0.10	-99.00	-14.45	50.00	0.356	4.03	5.53	-6.36	-0.29
	0.20	-100.00	-18.02	48.79	0.378	4.43	5.94	-6.86	0.20	-98.74	-8.43	51.92	0.436	4.04	5.52	-6.36	-0.31
	0.30	-100.00	-11.70	50.15	0.447	4.47	5.92	-6.84	0.30	-98.36	-2.65	53.05	0.527	4.07	5.53	-5.99	-0.30
	0.40	-99.99	-5.45	51.45	0.511	4.48	5.90	-6.87	0.40	-97.81	3.45	54.06	0.590	4.12	5.53	-5.92	-0.30
	0.50	-99.99	0.66	53.88	0.601	4.46	5.89	-6.87	0.50	-96.89	9.11	55.71	0.654	4.10	5.58	-5.77	-0.31
	0.60	-99.99	6.30	54.82	0.713	4.46	5.87	-6.86	0.60	-95.21	14.18	56.23	0.803	4.11	5.59	-5.83	0.30
	0.70	-99.98	11.22	54.24	0.75	4.49	5.81	-7.04	0.70	-86.00	18.30	55.46	0.835	4.14	5.55	-6.17	-0.34
	0.80	-99.96	14.94	52.41	0.798	4.47	5.87	-7.25	0.80	-66.20	21.14	53.61	0.872	4.20	5.56	-6.89	-0.43
	0.90	-99.90	17.44	53.56	0.835	4.45	5.82	-7.29	0.85	-51.10	21.93	52.63	0.888	4.21	5.44	-7.00	-0.52
	0.95	-99.81	17.87	56.01	0.856	4.43	5.70	-7.46	0.90	-40.95	22.73	54.58	0.904	4.21	5.30	-7.08	-0.54
	1.00	-99.96	17.82	54.02	0.867	4.39	5.77	-7.49	0.95	-35.62	22.62	55.91	0.926	4.22	5.35	-7.30	-0.45
	1.05	-99.81	14.20	48.91	0.819	4.13	6.43	-7.46	1.00	-48.39	21.37	54.04	0.926	3.79	5.44	-7.34	-0.95
	1.10	-99.90	10.09	46.22	0.777	4.12	6.62	-7.42	1.05	-17.12	19.06	52.35	0.846	2.90	5.56	-7.33	-1.66
								1.10	-36.97	15.38	47.89	0.798	3.04	5.73	-7.17	-1.41	

Tableau A7.14 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI₁₀**

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Quadratique	0.00	-100.00	-30.13	44.87	0.223	5.62	5.96	-5.91	0.00	-99.05	-20.52	48.85	0.266	5.12	5.44	-5.26	-0.30
	0.10	-100.00	-25.42	49.14	0.271	5.92	5.92	-6.13	0.10	-98.83	-15.97	50.60	0.340	5.40	5.57	-5.41	-0.28
	0.20	-100.00	-20.30	50.62	0.340	6.06	5.90	-6.26	0.20	-98.53	-10.74	51.95	0.394	5.55	5.36	-5.63	-0.28
	0.30	-100.00	-14.83	51.56	0.410	6.20	5.88	-6.38	0.30	-98.10	-5.45	52.68	0.484	5.68	5.39	-5.64	-0.28
	0.40	-99.99	-9.09	50.67	0.468	6.34	5.85	-6.94	0.40	-97.46	-0.09	53.06	0.559	5.84	5.33	-5.61	-0.29
	0.50	-99.99	-3.15	52.15	0.559	6.46	5.80	-6.58	0.50	-96.45	5.48	54.61	0.628	6.00	5.28	-5.79	-0.30
	0.60	-99.99	2.71	54.29	0.628	6.56	5.76	-6.70	0.60	-94.55	10.95	56.02	0.697	6.07	5.30	-6.01	-0.31
	0.70	-99.98	8.52	55.52	0.723	6.64	5.73	-6.67	0.70	-90.80	15.89	56.64	0.803	6.09	4.98	-6.43	-0.35
	0.80	-99.97	14.12	55.71	0.771	6.67	5.72	-6.89	0.80	-81.63	20.83	56.27	0.846	6.11	5.17	-6.74	-0.38
	0.90	-99.92	18.86	55.25	0.835	6.59	5.92	-7.16	0.90	-53.45	24.82	55.35	0.888	6.04	5.10	-7.26	0.40
	0.95	-99.85	20.92	54.85	0.867	6.49	6.12	-7.50	0.95	-43.50	26.32	54.83	0.920	5.94	5.05	-7.54	-0.44
	1.00	-99.55	22.58	55.42	0.883	6.37	6.21	-7.57	1.00	-37.98	27.24	55.00	0.947	5.76	5.77	-7.69	-0.47
	1.05	-99.58	21.88	55.21	0.867	6.10	6.45	-7.48	1.05	-28.77	27.09	54.94	0.941	5.43	5.95	-7.68	-0.58
	1.10	-99.59	21.02	54.27	0.851	5.83	6.63	-7.31	1.10	-25.06	26.63	53.90	0.936	5.15	5.96	-7.67	-0.80
Mise à jour du débit Q pour R-Quadratique	0.00	-100.00	-30.15	44.28	0.207	5.23	5.98	-7.05	0.00	-99.05	-20.71	45.03	0.261	4.83	5.69	-6.46	-0.27
	0.10	-100.00	-24.37	46.99	0.293	5.33	5.97	-7.02	0.10	-98.83	-14.78	47.74	0.356	4.78	5.65	-6.38	-0.29
	0.20	-100.00	-18.30	48.83	0.367	5.37	5.97	-6.99	0.20	-98.53	-8.78	50.78	0.441	4.91	5.69	-6.31	-0.31
	0.30	-100.00	-11.95	49.70	0.447	5.39	5.96	-6.94	0.30	-98.08	-2.74	49.81	0.516	4.96	5.67	-6.18	-0.31
	0.40	-99.99	-5.68	51.45	0.505	5.42	5.94	-6.99	0.40	-97.44	3.47	52.75	0.585	4.95	5.71	-5.90	-0.31
	0.50	-99.99	0.46	53.04	0.585	5.39	5.92	-6.98	0.50	-96.36	9.08	54.67	0.660	4.97	5.74	-5.85	-0.29
	0.60	-99.99	6.01	54.26	0.707	5.35	5.90	-6.93	0.60	-94.24	14.18	55.43	0.809	4.95	5.78	-5.96	-0.30
	0.70	-99.98	10.90	53.98	0.739	5.32	5.89	-7.08	0.70	-90.23	18.32	54.93	0.840	4.98	5.70	-6.36	-0.39
	0.80	-99.96	14.69	52.36	0.793	5.31	5.93	-7.18	0.80	-79.81	21.11	53.29	0.904	5.01	5.61	-6.72	-0.41
	0.90	-99.89	17.20	53.13	0.835	5.23	5.96	-7.25	0.85	-68.04	21.99	52.38	0.904	5.00	5.62	-6.88	-0.48
	0.95	-99.76	17.68	55.26	0.856	5.12	5.97	-7.35	0.90	-46.93	22.45	53.89	0.915	4.97	5.63	-7.01	-0.52
	1.00	-99.95	17.73	53.09	0.867	4.99	6.06	-7.30	0.95	-30.49	22.44	55.15	0.936	5.05	5.45	-7.21	-0.45
	1.05	-99.76	14.09	47.94	0.830	4.77	6.63	-7.23	1.00	-33.27	21.20	53.08	0.920	4.28	5.57	-7.21	-1.09
	1.10	-99.89	10.05	45.29	0.777	4.77	6.72	-7.41	1.05	-24.54	18.91	51.39	0.862	3.33	5.86	-7.13	-1.82
								1.10	-46.44	15.32	47.19	0.814	3.62	5.78	-7.00	-1.47	

Module FORTAN de la variante GR4JSI₁₀

```
Cxxxx HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3
SUBROUTINE HU3(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,2*NH
XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C)
1 CONTINUE
RETURN
END
```

```
Cxxxx SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3
FUNCTION SS3(I,C)
c { H(t)=0 si t <= 0 } }
c { H(t)=0.5*(t/C)**1.5 si 0 < t < C } }
c Calcul de la Fonction: { H(t)=1-0.5*(2-t/C)**1.5 si C < t < 2C } }
c { H(t)=1 si t >= 2C } }
c { telle que q(t) = dH(t) / dt } }
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS3=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.GE.2.*C)THEN
SS3=1.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LE.C)THEN
SS3=0.5*(FI/C)**1.5
RETURN
ENDIF
SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**1.5
RETURN
END
```

```
Cxxxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q
FUNCTION R2Q(XV,Q)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R***(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S***(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN
END
```

```
Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R
FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) > = 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1)))**A)**(-1./A)
RETURN
END
```

```
Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1
SUBROUTINE TIT1(XV)
c Variables d'exploitation de GR4JSI10 (avec HU3**1.5)
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
WRITE(*,(A))' exposant du reservoir de transfert (3) ?..... '
READ(*,*)XV(NPX)
if(xv(npix).lt.1.)xv(npix)=1.
WRITE(*,(A))' mise a jour de R (1) ou du debit (0) ?..... '
READ(*,*)IO(5)
WRITE(*,(A))' importance de la mise a jour (entre 0 et 1.1) ? '
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(xv(npix-1).lt.0.)xv(npix-1)=0.
if(xv(npix-1).gt.1.1)xv(npix-1)=1.1
WRITE(*,(A))' trois (3) ou quatre (4) parametres ?..... '
READ(*,*)IO(21)
WRITE(8,(A))'
WRITE(8,(A))' modele GR4J-simplifie '
WRITE(8,(A,F8.3))' exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX)
IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,(A))' mise a jour du reservoir R'
IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,(A))' mise a jour du debit Q'
WRITE(8,(A,F8.3))' importance de la mise a jour =',XV(NPX-1)
WRITE(8,(A,I4))' nombre de parametres du modele =',IO(21)
WRITE(8,(A))'
RETURN
END
```

```
CxxxxPAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1
SUBROUTINE PAT1(XV)
cInitialisation Paramètres Transformés de GR4JSI-IFE-I4 (avec HU3**1.5)
DIMENSION XV(*)
XV(1)=4.
XV(2)=5.6
XV(3)=-8.
XV(4)=0.
RETURN
END
```

<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul de GR4JSI₁₀ (avec HU3**1.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,2*NH-1 XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4+NH) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(10(5).EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4+NH) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN END </pre>	<pre> CxxxxINI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSI₁₀ (avec HU3**1.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END CxxxxVRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) C Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSI₁₀ (avec HU3**1.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/.2. CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END </pre>
--	---

HYDROGRAMME UNITAIRE HU3(t/C) avec $\alpha = 1.5$								
t/C	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.875	1.00
HU3(t/C)	0.0221	0.0625	0.1148	0.1768	0.2471	0.3248	0.4092	0.50
t/C	1.125	1.250	1.375	1.500	1.625	1.750	1.875	2.00
HU3(t/C)	0.5908	0.6752	0.7529	0.8232	0.8852	0.9375	0.9978	1.00

HYDROGRAMME UNITAIRE HU4(t/C) avec $\alpha = 2.5$									
t/C	0.000	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.875	1.00	2.00
HU4(t/C)	0.0077	0.060	0.218	0.500	0.782	0.940	0.992	1.00	1.00

A7.11 Variante GR4JSI₁₁

Réexamen de l'hydrogramme unitaire dans le modèle GR4JSI avec introduction d'une fonction d'échanges (suite3)

Tableau A7.15 : Résultats des essais de la variante **GR4JSI₁₁**

Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)	Mise à jour du réservoir R-Cubique									Mise à jour du réservoir R- Quadratique								
	Exposant fonction puissance de HU4	Persistances			Proportion de BV à Pers > 0	Paramètres moyens				Exposant fonction puissance de HU4	Persistances			Proportion de BV à Pers > 0	Paramètres moyens			
		Mri.	Mby.	Mxi.		1	2	3	4		Mri.	Mby.	Mxi.		1	2	3	4
00	-3694	1980	4982	0941	555	524	-800	-049	00	-5615	1965	4745	0952	667	521	-800	-055	
05	-3804	2220	4984	0941	538	518	-591	047	05	-5535	2208	4836	0947	648	487	-583	-052	
10	-5470	2441	5043	0941	523	434	-471	-054	10	-4183	2448	5192	0952	625	455	-453	-054	
15	-5454	2705	5707	0936	504	415	-340	-051	15	-3812	2728	5748	0952	602	438	-333	-056	
20	-5621	2837	6276	0936	507	420	-305	-051	20	-3728	2874	6149	0957	601	496	-301	-059	
225	-5716	2851	6459	0931	512	392	-310	-053	225	-3914	2896	6363	0963	605	486	-299	-058	
245	-5830	2868	6557	0952	513	426	-309	-053	245	-4044	2907	6473	0957	608	482	-304	-059	
250	-5840	2866	6581	0947	514	416	-308	-054	250	-4055	2887	6494	0952	609	477	-308	-059	
2625	-5907	2868	6647	0947	517	419	-325	-054	2625	-4151	2885	6545	0957	611	483	-309	-059	
275	-5927	2871	6699	0947	518	419	-325	-056	275	-4231	2890	6579	0963	614	488	-328	-058	
30	-6027	2858	6765	0952	520	432	-339	-056	30	-4427	2884	6622	0963	615	514	-339	-057	
35	-6159	2818	6830	0947	524	437	-357	-057	35	-4843	2865	6653	0957	621	513	-355	-058	
40	-6248	2777	6858	0952	528	468	-391	-056	40	-5018	2833	6645	0957	627	485	-379	-062	
45	-6281	2748	6864	0952	531	471	-425	-058	45	-5202	2788	6656	0957	631	492	-414	-062	
50	-4297	2740	6865	0952	534	476	-453	-058	50	-5260	2769	6660	0957	633	498	-430	-060	

XI_B : Module FORTAN de la variante GR4JSI₁₁

```

Cxxxx HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4
SUBROUTINE HU4(XV)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire arrondi au sommet
c temps de base: XV(NPX+3) et exposant XV(NPX-2)
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,2*NH
XV(3*NPX+NH+I)=SS4(I,XV)-SS4(I-1,XV)
1 CONTINUE
RETURN
END

Cxxxx SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4
FUNCTION SS4(I,XV)
c {H(t) = 0 si t ≤ 0 }
c Calcul de {H(t) = ta / (ta + (C - t)a) si t < C }
c {H(t) = 1 si t ≥ C }
c {telle que q(t) = dH(t) / dt }
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
FI=I
IF(FILE.0.)THEN
SS4=0.
RETURN
ENDIF
IF(FILE.XV(NPX+3))THEN
SS4=1.
RETURN
ENDIF
SS4=FI**XV(NPX-2)/(FI**XV(NPX-2)+(XV(NPX+3)-FI)**XV(NPX-2))
RETURN
END
    
```

```

Cxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q
FUNCTION R2Q(XV,Q)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R**(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S**(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN ; END
    
```

<pre> Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) >= 1 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) RETURN END Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1 SUBROUTINE TIT1(XV) c Variables d'exploitation de GR4JSI11 (avec HU4**xv(npX-2)) PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) IO(5)=1 IO(21)=4 XV(NPX-1)=1. WRITE(*,'(A)')' exposant du reservoir de transfert (2 ou 3) ?..... ' READ(*,*)XV(NPX) if(xv(npX).lt.1.)xv(npX)=1. WRITE(*,'(A)')' exposant pour l'hydrogramme unitaire (>0) ?.. ' READ(*,*)XV(NPX-2) WRITE(8,'(A)')' _____ ' WRITE(8,'(A)')' modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX) IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du reservoir R' IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du debit Q' WRITE(8,'(A,F8.3)')' importance de la mise a jour =',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant de hydrogramme unitaire =',XV(NPX-2) WRITE(8,'(A,I4)')' nombre de parametres du modele =',IO(21) WRITE(8,'(A)')' _____ ' RETURN END Cxxx PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1 SUBROUTINE PAT1(XV) c Parametres Transformés de GR4JSI11 (avec HU4**xv(npX-2)) DIMENSION XV(*) XV(1)=4. XV(2)=5.6 XV(3)=-8. XV(4)=0. RETURN END Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c Etats de GR4JSI11 (avec HU4**xv(npX-2)) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) >= 1 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) RETURN END Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles Paramètres de GR4JSI11 (avec HU4**xv(npX-2)) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=(NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU4(XV) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul de GR4JSI11 (avec HU4**xv(npX-2)) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,2*NH-1 XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS RS=XV(1)+XS(4+NH) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(IO(5).EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4+NH) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN; END </pre>
---	--

A7.12 Variante GR4JSI₁₂

GR4JSI₁₂ est dérivé du modèle GR4JSI avec introduction de la fonction d'échanges en y introduisant le retour à trois paramètres.

Tableau A7.16 : Résultats des essais de la variante GR4JSI₁₂

		Sans fonction d'échanges (2 Paramètres)							Avec fonction d'échanges (3 Paramètres)								
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Cubique	0.00	-100.00	-35.01	46.77	0.181	4.99	6.00	-5.88	0.00	-99.25	-22.79	48.51	0.266	4.47	6.00	-5.63	-0.26
	0.10	-100.00	-30.29	50.23	0.229	5.24	6.00	-5.97	0.10	-99.08	-17.89	51.48	0.324	4.62	6.00	-5.66	-0.25
	0.20	-100.00	-25.24	53.32	0.282	5.34	6.00	-6.01	0.20	-98.84	-12.77	54.13	0.388	4.75	6.00	-5.71	-0.25
	0.30	-100.00	-19.78	56.00	0.346	5.45	6.00	-6.01	0.30	-98.48	-7.42	56.50	0.452	4.85	6.00	-5.44	-0.25
	0.40	-100.00	-13.92	58.26	0.410	5.55	6.00	-6.17	0.40	-97.95	-1.87	58.57	0.527	4.93	6.00	-5.43	-0.25
	0.50	-100.00	-7.72	60.07	0.489	5.64	6.00	-6.26	0.50	-97.08	3.86	60.17	0.596	4.99	6.00	-5.63	-0.25
	0.60	-99.99	-1.22	61.45	0.569	5.73	6.00	-6.39	0.60	-95.51	9.66	61.38	0.649	5.08	6.00	-5.93	-0.25
	0.70	-99.99	5.34	62.47	0.654	5.80	6.00	-6.63	0.70	-92.13	15.27	62.32	0.777	5.14	6.00	-6.24	-0.26
	0.80	-99.98	11.89	63.13	0.745	5.83	6.00	-6.90	0.80	-83.54	20.64	62.90	0.840	5.14	6.00	-6.88	-0.30
	0.90	-99.96	17.94	63.48	0.819	5.80	6.00	-7.13	0.90	-66.50	25.41	64.24	0.904	5.10	6.00	-7.28	-0.40
	0.95	-99.91	20.55	63.53	0.851	5.74	6.00	-7.48	0.95	-63.73	27.32	64.90	0.931	5.03	6.00	-7.44	-0.47
	1.00	-99.82	22.8	63.48	0.872	5.71	6.00	-7.48	1.00	-60.09	28.23	65.38	0.941	4.88	6.00	-7.50	-0.59
	1.05	-99.86	20.89	63.37	0.846	5.57	6.00	-7.55	1.05	-54.78	28.19	65.65	0.936	4.59	6.00	-7.62	-0.82
1.10	-99.87	18.38	63.15	0.814	5.17	6.00	-7.55	1.10	-48.01	27.40	65.76	0.920	4.38	6.00	-7.09	-0.96	
Mise à jour du débit Q pour R-Cubique	0.00	-100.00	-35.23	46.92	0.170	4.65	6.00	-7.14	0.00	-99.26	-22.79	48.87	0.271	4.15	6.00	-6.80	-0.25
	0.10	-100.00	-29.20	50.44	0.250	4.79	6.00	-7.02	0.10	-99.09	-16.68	52.33	0.340	4.20	6.00	-6.69	-0.26
	0.20	-100.00	-22.87	53.02	0.319	4.82	6.00	-6.80	0.20	-98.86	-10.37	55.08	0.420	4.28	6.00	-6.59	0.29
	0.30	-100.00	-16.56	54.63	0.399	4.86	6.00	-6.77	0.30	-98.51	-4.05	57.12	0.495	4.31	6.00	-6.22	-0.29
	0.40	-100.00	-10.02	57.28	0.463	4.93	6.00	-6.80	0.40	-97.98	2.14	58.27	0.553	4.25	6.00	-6.09	-0.29
	0.50	-100.00	-3.35	59.01	0.527	4.96	6.00	-6.82	0.50	-97.12	8.12	59.02	0.622	4.36	6.00	-6.11	-0.30
	0.60	-99.99	3.00	59.63	0.622	4.96	6.00	-6.96	0.60	-95.54	13.51	59.65	0.755	4.41	6.00	-6.26	-0.35
	0.70	-99.99	9.12	58.98	0.713	4.93	6.00	-7.10	0.70	-92.21	18.16	60.27	0.798	4.38	6.00	-6.41	-0.38
	0.80	-99.98	13.83	58.19	0.745	4.85	6.00	-7.25	0.80	-83.80	21.57	59.59	0.846	4.36	6.00	-6.86	-0.46
	0.90	-99.95	16.87	57.20	0.814	4.75	6.00	-7.29	0.85	-73.75	23.01	58.95	0.878	4.37	6.00	-6.98	-0.49
	0.95	-99.87	17.88	56.27	0.819	4.74	6.00	-7.24	0.90	-54.41	23.44	58.14	0.888	4.40	6.00	-7.12	-0.57
	1.00	-99.97	18.26	54.83	0.835	4.76	6.00	-7.44	0.95	-33.55	23.30	57.07	0.910	4.43	6.00	-7.22	-0.66
	1.05	-99.87	13.65	52.96	0.777	4.77	6.00	-7.43	1.00	-99.84	21.26	54.83	0.888	4.20	6.00	-7.42	-1.04
1.10	-99.95	8.68	50.67	0.707	4.86	6.00	-7.60	1.05	-41.49	18.64	53.65	0.809	4.04	6.00	-7.42	-1.16	
								1.10	-55.64	14.67	51.40	0.750	4.15	6.00	-7.36	-1.08	

Tableau A7.17 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI₁₂**

Mise à jour du réservoir R-Quadratique	Sans fonction d'échanges (2 Paramètres)							Avec fonction d'échanges (3 Paramètres)									
	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mni.	Mby.	Maxi.		1	2	3		Mni.	Mby.	Maxi.		1	2	3	4
0.00	-100.00	-35.35	47.20	0.186	6.01	6.00	-5.94	0.00	-99.40	-22.66	46.59	0.266	5.47	6.00	-5.68	-0.26	
0.10	-100.00	-30.57	49.27	0.223	6.24	6.00	-5.99	0.10	-99.26	-17.62	48.73	0.340	5.62	6.00	-5.70	-0.26	
0.20	-100.00	-25.37	51.14	0.293	6.38	6.00	-5.95	0.20	-99.08	-12.38	51.28	0.404	5.74	6.00	-5.73	-0.26	
0.30	-100.00	-19.76	53.62	0.356	6.51	6.00	-6.02	0.30	-98.80	-6.90	53.74	0.463	5.87	6.00	-5.73	-0.25	
0.40	-100.00	-13.79	55.77	0.431	6.62	6.00	-6.09	0.40	-98.41	-1.26	55.82	0.532	5.95	6.00	-5.54	-0.26	
0.50	-100.00	-7.47	57.48	0.505	6.74	6.00	-6.23	0.50	-97.74	4.53	57.44	0.601	6.07	6.00	-5.56	-0.25	
0.60	-99.99	-0.93	58.76	0.585	6.85	6.00	-6.26	0.60	-96.57	10.40	58.70	0.670	6.14	6.00	-5.82	-0.26	
0.70	-99.99	5.77	59.67	0.670	6.92	6.00	-6.33	0.70	-94.35	15.95	59.61	0.782	6.15	6.00	-6.10	-0.32	
0.80	-99.98	12.23	60.28	0.755	6.96	6.00	-6.76	0.80	-88.68	21.25	60.61	0.830	6.20	6.00	-6.80	-0.37	
0.90	-99.96	18.14	60.54	0.814	6.93	6.00	-6.98	0.90	-70.06	25.91	62.42	0.894	6.15	6.00	-7.28	-0.41	
0.95	-99.90	20.79	60.84	0.840	6.86	6.00	-7.12	0.95	-47.42	27.72	63.05	0.931	6.04	6.00	-7.40	-0.49	
1.00	-99.67	22.27	61.00	0.851	6.76	6.00	-7.25	1.00	-42.25	28.71	63.53	0.952	5.86	6.00	-7.51	-0.64	
1.05	-99.69	21.25	60.95	0.840	6.59	6.00	-7.39	1.05	-35.58	28.77	63.82	0.957	5.50	6.00	-7.53	-0.92	
1.10	-99.70	18.90	60.74	0.824	6.49	6.00	-7.42	1.10	-29.10	28.26	63.97	0.941	5.20	6.00	-7.51	-1.12	
Mise à jour du débit Q pour R-Quadratique	Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Fraction utilisant Q mis à jour	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mni.	Mby.	Maxi.		1	2	3		Mni.	Mby.	Maxi.		1	2	3	4
	0.00	-100.00	-35.64	47.20	0.170	5.56	6.00	-7.19	0.00	-99.40	-22.79	46.63	0.271	5.04	6.00	-6.96	-0.26
	0.10	-100.00	-29.67	50.46	0.245	5.71	6.00	-7.06	0.10	-99.25	-16.71	50.06	0.356	5.08	6.00	-6.86	-0.26
	0.20	-100.00	-23.32	52.85	0.319	5.73	6.00	-6.94	0.20	-99.07	-10.38	52.35	0.436	5.20	6.00	-6.76	-0.29
	0.30	-100.00	-16.82	54.26	0.420	5.77	6.00	-6.90	0.30	-98.78	-4.01	53.89	0.505	5.13	6.00	-6.31	-0.31
	0.40	-100.00	-10.25	54.67	0.473	5.81	6.00	-6.83	0.40	-98.35	2.25	54.64	0.553	5.22	6.00	-6.23	-0.30
	0.50	-100.00	-3.47	56.22	0.543	5.84	6.00	-6.90	0.50	-97.64	8.23	56.28	0.612	5.21	6.00	-6.21	-0.31
	0.60	-99.99	2.92	56.88	0.622	5.83	6.00	-7.01	0.60	-96.35	13.64	57.73	0.755	5.20	6.00	-6.36	-0.37
	0.70	-99.98	9.02	56.20	0.713	5.72	6.00	-7.19	0.70	-93.56	18.45	58.56	0.814	5.19	6.00	-6.46	-0.40
	0.80	-99.98	13.80	56.08	0.761	5.72	6.00	-7.19	0.80	-86.44	21.77	58.89	0.872	5.18	6.00	-6.65	-0.47
	0.90	-99.94	16.93	56.45	0.814	5.56	6.00	-7.31	0.85	-77.91	23.17	58.76	0.888	5.20	6.00	-6.90	0.51
	0.95	-99.85	18.10	56.01	0.819	5.44	6.00	-7.35	0.90	-59.75	23.61	58.17	0.904	5.19	6.00	-7.02	-0.60
	1.00	-99.96	18.33	54.82	0.835	5.44	6.00	-7.42	0.95	-44.22	23.64	57.04	0.915	5.21	6.00	-7.04	-0.67
	1.05	-99.85	13.82	53.17	0.793	5.48	6.00	-7.37	1.00	-88.17	21.66	54.82	0.894	4.62	6.00	-7.28	-1.35
1.10	-99.94	8.76	50.92	0.702	5.59	6.00	-7.43	1.05	-62.79	18.93	53.38	0.814	4.70	6.00	-7.34	-1.19	
1.10								1.10	-66.30	14.74	50.97	0.755	4.85	6.00	-7.30	-0.98	

Module FORTAN de la variante GR4JSI₁₂

<pre> Cxxxx HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3 SUBROUTINE HU3(XV,C) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C) 1 CONTINUE RETURN END Cxxxx SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3 FUNCTION SS3(I,C) c { H(t)=0.5*(t/C)**2.5 si 0<t<C } c Calcul de la Fonction: { H(t)=1-0.5*(2-t/C)**2.5 si C<t<2C } c { H(t)=1 si t>2C } c { telle que q(t) = dH(t) / dt } FI=1 IF(FI.LE.0.)THEN SS3=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.2.*C)THEN SS3=1. RETURN ENDIF IF(FI.LE.C)THEN SS3=0.5*(FI/C)**2.5 RETURN ENDIF SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5 RETURN END Cxxxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q FUNCTION R2Q(XV,Q) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > = 1 IF(Q.LE.0.)THEN R2Q=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN R2Q=Q*XV(NPX+1) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRT(Q*(Q+4.*XV(NPX+1)))) RETURN ENDIF QN=Q/XV(NPX+1) R=1.0 DO 1 K=1,100 RA=R**(XV(NPX)-2.) S=R+QN SA=S**(XV(NPX)-2.) D=(S*SA-R*RA-R*RA*S*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.) R=R-D IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2 1 CONTINUE 2 CONTINUE R2Q=R*XV(NPX+1) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R FUNCTION Q2R(XV,R) c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance c de parametre XV(NPX+1) avec un exposant XV(NPX) > ou = 1 PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) IF(R.LE.0.)THEN Q2R=0. RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.) RETURN ENDIF IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1)) RETURN ENDIF A=XV(NPX)-1. Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A)) RETURN END Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1 SUBROUTINE TIT1(XV) c Lecture des Variables de GR4JSI₁₂ (HU3**2.5; S=400mm) PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) WRITE(*,'(A)')' exposant du reservoir de transfert (3) ?..... ' READ(*,*)XV(NPX) if(xv(npX).lt.1.)xv(npX)=1. WRITE(*,'(A)')' mise a jour de R (1) ou du debit (0) ?..... ' READ(*,*)IO(5) WRITE(*,'(A)')' importance de la mise a jour (entre 0 et 1.1) ? ' READ(*,*)XV(NPX-1) if(xv(npX-1).lt.0.)xv(npX-1)=0. if(xv(npX-1).gt.1.1)xv(npX-1)=1.1 WRITE(*,'(A)')' trois (3) ou quatre (4) parametres ?..... ' READ(*,*)IO(21) WRITE(8,'(A)')' _____ WRITE(8,'(A)')' modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX) IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du reservoir R ' IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du debit Q ' WRITE(8,'(A,F8.3)')' importance de la mise a jour =',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A,I4)')' nombre de parametres du modele =',IO(21) WRITE(8,'(A)')' _____ RETURN END CxxxPAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1 SUBROUTINE PAT1(XV) c Valeurs des Paramètres Transformés de GR4JSI₁₂ (HU3**2.5; S=400mm) DIMENSION XV(*) XV(1)=4. XV(2)=5.99 XV(3)=-8. XV(4)=0. RETURN END </pre>
--	---

<pre> Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c Etats de GR4JSI₁₂ (HU3**2.5; S=400mm) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles Paramètres de GR4JSI₁₂ (HU3**2.5; S=400mm) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) xv(2)=5.99 XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=(NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1./2. CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul de GR4JSI₁₂ (HU3**2.5; S=400mm) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,2*NH-1 XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4+NH) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(IO(5).EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4+NH) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN END </pre>
---	--

A7.13 Variante GR4JSI₁₃

GR4JSI₁₃ est dérivé du modèle GR4JSI avec introduction de la fonction d'échanges en y introduisant le retour à trois paramètres (suite).

Tableau A7.18 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI₁₃**

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Capacité du réservoir sol (mm)	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Capacité réservoir sol (mm)	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Cubique	2.718	-99.99	15.17	59.84	0.85	6.95	1.00	-7.54	2.718	-24.50	27.31	60.98	0.95	5.41	1.00	-7.94	-1.25
	100.00	-99.99	16.75	63.99	0.83	6.51	4.61	-7.37	100.00	-41.14	26.89	64.08	0.95	5.10	4.61	-7.69	-1.07
	200.00	-99.97	19.37	63.27	0.84	6.08	5.30	-7.39	200.00	-54.11	27.50	64.93	0.95	4.97	5.30	-7.57	-0.89
	300.00	-99.91	21.50	62.47	0.87	5.87	5.70	-7.54	300.00	-58.10	27.94	65.32	0.94	4.91	5.70	-7.52	-0.72
	400.00	-99.83	22.56	63.50	0.87	5.71	5.99	-7.49	400.00	-59.98	28.23	65.36	0.94	4.88	5.99	-7.50	-0.60
	500.00	-99.73	22.96	62.13	0.88	5.62	6.21	-7.49	500.00	-59.81	28.37	65.22	0.94	4.88	6.21	-7.46	-0.49
	600.00	-99.68	22.98	60.84	0.87	5.55	6.40	-7.45	600.00	-59.48	28.34	64.95	0.94	4.88	6.40	-7.50	-0.41
	650.00	-99.66	22.99	60.21	0.87	5.52	6.48	-7.38	650.00	-58.62	28.41	64.81	0.94	4.87	6.48	-7.48	-0.39
	700.00	-99.65	22.89	59.55	0.87	5.49	6.55	-7.36	700.00	-58.57	28.41	64.64	0.94	4.87	6.55	-7.49	-0.36
	800.00	-99.90	22.56	58.14	0.88	5.45	6.68	-7.34	800.00	-57.66	28.40	64.30	0.94	4.87	6.68	-7.49	-0.31
	900.00	-99.91	22.26	56.72	0.88	5.40	6.80	-7.28	900.00	-56.53	28.39	64.03	0.94	4.87	6.80	-7.48	-0.29
	1000.00	-99.91	21.92	55.34	0.89	5.37	6.91	-7.26	1000.00	-54.72	28.37	63.70	0.94	4.87	6.91	-7.49	-0.25
	1500.00	-99.90	20.01	53.24	0.89	5.31	7.31	-7.32	1500.00	-50.25	27.99	62.24	0.95	4.88	7.31	-7.64	-0.13
	2000.00	-99.92	18.40	51.76	0.89	5.28	7.60	-7.32	2000.00	-44.86	27.54	60.84	0.941	4.87	7.60	-7.64	-0.09
	3000.00	-99.95	15.92	48.95	0.90	5.26	8.01	-7.31	3000.00	-38.20	26.60	58.76	0.94	4.86	8.01	-7.64	-0.05
	4000.00	-99.96	14.17	46.65	0.89	5.24	8.29	-7.16	4000.00	-30.59	25.69	57.56	0.95	4.84	8.29	-7.63	-0.07
	5000.00	-99.97	12.81	44.78	0.88	5.24	8.52	-7.07	5000.00	-23.01	24.67	56.34	0.95	4.84	8.52	-7.63	-0.11
Mise à jour du débit Q pour R-Cubique	2.718	-99.99	14.06	58.27	0.82	5.78	1.00	-7.20	2.718	-34.11	22.37	57.49	0.88	4.71	1.00	-7.23	-1.31
	100.00	-100.00	15.60	57.58	0.82	5.38	4.61	-7.29	100.00	-44.29	21.69	58.90	0.89	4.63	4.61	-7.11	-0.99
	200.00	-99.99	16.81	54.90	0.82	5.06	5.30	-7.46	200.00	-49.61	22.50	58.83	0.88	4.53	5.30	-7.06	-0.80
	300.00	-99.99	17.63	54.93	0.83	4.93	5.70	-7.49	300.00	-52.78	23.05	58.48	0.88	4.42	5.70	-7.03	-0.68
	400.00	-99.97	18.24	54.84	0.84	4.77	5.99	-7.44	400.00	-54.45	23.43	58.13	0.89	4.40	5.99	-7.11	-0.58
	500.00	-99.96	18.75	54.68	0.85	4.62	6.21	-7.51	500.00	-55.48	23.76	57.90	0.89	4.36	6.21	-7.09	-0.49
	600.00	-99.94	19.08	54.49	0.85	4.53	6.40	-7.48	600.00	-57.23	23.91	57.78	0.89	4.30	6.40	-7.10	-0.44
	700.00	-99.93	19.36	54.26	0.86	4.45	6.55	-7.48	700.00	-58.03	24.00	57.64	0.89	4.26	6.55	-7.07	-0.40
	800.00	-99.92	19.49	54.00	0.87	4.38	6.68	-7.41	800.00	-58.55	24.04	57.46	0.90	4.22	6.68	-7.05	-0.37
	900.00	-99.92	19.60	53.80	0.86	4.32	6.80	-7.37	900.00	-58.59	24.04	57.28	0.90	4.19	6.80	-7.00	-0.34
	1000.00	-99.92	19.66	53.55	0.86	4.25	6.91	-7.34	1000.00	-58.45	23.97	57.12	0.91	4.15	6.91	-6.92	-0.33
	1100.00	-99.92	19.67	53.33	0.87	4.22	7.00	-7.33	1100.00	-57.81	23.66	56.93	0.90	4.11	7.00	-6.90	-0.32
	1200.00	-99.92	19.69	53.08	0.87	4.18	7.09	-7.35	1200.00	-56.91	23.61	56.77	0.90	4.07	7.09	-6.87	-0.32
	1300.00	-99.92	19.69	52.87	0.87	4.14	7.17	-7.33	1300.00	-55.58	23.54	56.57	0.92	4.03	7.17	-6.82	-0.31
	1400.00	-99.92	19.59	52.60	0.86	4.07	7.24	-7.32	1400.00	-54.00	23.48	56.39	0.92	4.00	7.24	-6.83	-0.31
	1500.00	-99.92	19.60	52.39	0.86	4.04	7.31	-7.34	1500.00	-52.36	23.39	56.22	0.92	3.92	7.31	-6.82	-0.33
	2000.00	-99.93	19.21	51.39	0.86	3.90	7.60	-7.27	2000.00	-47.99	23.14	55.24	0.91	3.71	7.60	-6.76	-0.35
3000.00	-99.95	18.58	49.82	0.87	3.58	8.01	-7.06	3000.00	-43.38	22.39	53.47	0.90	3.47	8.01	-6.63	-0.40	
4000.00	-99.96	17.99	50.94	0.86	3.42	8.29	-6.88	4000.00	-40.15	21.63	51.89	0.90	3.23	8.29	-6.51	-0.48	
5000.00	-99.97	17.43	51.78	0.86	3.33	8.52	-6.73	5000.00	-42.12	20.92	50.47	0.90	3.05	8.52	-6.42	-0.55	

Tableau A7.19 : Résultats des essais de la variante **GRAJSI₁₃**

	Sans fonction d'échanges (3 Paramètres)								Avec fonction d'échanges (4 Paramètres)								
	Capacité du réservoir sol (mm)	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			Capacité réservoir sol (mm)	Persistances			Proportion de BV à Pers.>0	Paramètres moyens			
		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3		Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3	4
Mise à jour du réservoir R-Quadratique	2.718	-99.99	11.50	59.81	0.79	6.81	1.00	-7.52	2.718	-15.97	26.63	60.03	0.95	6.53	1.00	-7.76	-1.36
	100.00	-99.98	14.30	63.30	0.79	7.52	4.61	-7.27	100.00	-22.01	27.14	63.07	0.95	6.12	4.61	-7.65	-1.13
	200.00	-99.93	17.47	61.10	0.81	7.03	5.30	-7.32	200.00	-36.81	28.06	63.71	0.96	5.97	5.30	-7.48	-0.94
	300.00	-99.83	19.85	60.50	0.84	6.75	5.70	-7.44	300.00	-41.99	28.52	63.77	0.96	5.90	5.70	-7.54	-0.77
	400.00	-99.70	21.22	60.96	0.840	6.59	5.99	-7.39	400.00	-42.47	28.72	63.52	0.95	5.87	5.99	-7.52	0.65
	500.00	-99.57	22.68	60.47	0.85	6.65	6.21	-7.30	500.00	-41.47	28.80	63.16	0.95	5.82	6.21	-7.51	-0.55
	600.00	-99.51	22.75	59.56	0.86	6.56	6.40	-7.25	600.00	-39.22	28.82	62.73	0.95	5.82	6.40	-7.50	-0.47
	650.00	-99.50	22.75	59.04	0.86	6.53	6.48	-7.23	650.00	-32.54	28.88	63.09	0.96	5.47	6.48	-7.54	-0.70
	700.00	-99.49	22.70	58.48	0.86	6.49	6.55	-7.18	700.00	-37.44	28.81	62.29	0.96	5.82	6.55	-7.50	-0.41
	800.00	-99.52	22.15	58.72	0.85	6.31	6.68	-7.25	800.00	-35.84	28.76	61.85	0.96	5.82	6.68	-7.50	-0.35
	900.00	-99.54	22.03	57.98	0.85	6.28	6.80	-7.24	900.00	-34.31	28.71	61.42	0.96	5.82	6.80	-7.55	-0.31
	1000.00	-99.57	21.88	57.16	0.86	6.25	6.91	-7.22	1000.00	-32.05	28.63	61.02	0.96	5.82	6.91	-7.48	-0.27
	1500.00	-99.82	20.73	53.75	0.86	6.15	7.31	-7.30	1500.00	-24.50	28.17	59.06	0.96	5.81	7.31	-7.54	-0.13
	2000.00	-99.89	19.48	53.04	0.86	6.09	7.60	-7.27	2000.00	-18.88	27.61	58.24	0.96	5.80	7.60	-7.54	-0.08
	3000.00	-99.93	16.66	50.86	0.88	6.24	8.01	-7.28	3000.00	-15.65	26.52	56.68	0.95	5.78	8.01	-7.64	-0.08
	4000.00	-99.96	14.94	48.91	0.88	6.20	8.29	-7.09	4000.00	-7.55	25.44	55.20	0.95	5.76	8.29	-7.58	-0.09
5000.00	-99.97	13.56	47.28	0.88	6.21	8.52	-7.08	5000.00	-5.72	24.32	53.62	0.96	5.75	8.52	-7.59	-0.12	
Mise à jour du débit Q pour R- Quadratique	2.718	-99.99	12.29	56.79	0.80	6.83	1.00	-7.29	2.718	-61.09	21.78	57.82	0.90	5.80	1.00	-7.46	-1.29
	100.00	-99.99	15.13	58.30	0.81	6.17	4.61	-7.58	100.00	-72.27	21.68	59.59	0.91	5.49	4.61	-7.38	-1.05
	200.00	-99.99	16.83	56.36	0.82	5.83	5.30	-7.49	200.00	-37.72	22.74	58.10	0.92	5.37	5.30	-7.18	-0.91
	300.00	-99.98	17.63	55.28	0.83	5.57	5.70	-7.40	300.00	-42.13	23.23	57.20	0.92	5.29	5.70	-7.11	-0.79
	400.00	-99.96	18.31	54.86	0.84	5.44	5.99	-7.42	400.00	-44.14	23.63	56.99	0.92	5.21	5.99	-7.05	-0.67
	500.00	-99.94	18.76	54.63	0.84	5.31	6.21	-7.37	500.00	-42.99	23.85	56.80	0.91	5.19	6.21	-7.11	-0.55
	600.00	-99.92	19.08	54.37	0.83	5.20	6.40	-7.35	600.00	-35.05	23.98	56.90	0.91	5.12	6.40	-7.10	-0.47
	700.00	-99.90	19.32	54.14	0.83	5.11	6.55	-7.34	700.00	-26.13	24.04	56.33	0.90	5.10	6.55	-7.14	-0.41
	800.00	-99.89	19.49	53.83	0.84	5.04	6.68	-7.31	800.00	-19.05	24.12	56.06	0.91	5.06	6.68	-7.12	-0.37
	900.00	-99.88	19.58	53.58	0.84	4.99	6.80	-7.29	900.00	-18.47	24.18	55.83	0.93	5.01	6.80	-7.10	-0.33
	1000.00	-99.88	19.60	53.29	0.84	4.93	6.91	-7.23	1000.00	-17.63	24.21	55.54	0.93	4.96	6.91	-7.09	-0.31
	1100.00	-99.88	19.64	53.01	0.84	4.88	7.00	-7.21	1100.00	-16.96	24.24	55.27	0.93	4.94	7.00	-7.08	-0.28
	1200.00	-99.88	19.66	52.77	0.84	4.81	7.09	-7.19	1200.00	-31.43	24.04	54.95	0.93	4.88	7.09	-7.04	-0.28
	1300.00	-99.89	19.66	52.51	0.85	4.74	7.17	-7.17	1300.00	-30.50	24.05	54.71	0.93	4.84	7.17	-7.02	-0.28
	1400.00	-99.89	19.50	52.26	0.85	4.69	7.24	-7.14	1400.00	-29.61	24.05	54.42	0.93	4.80	7.24	-6.99	-0.27
	1500.00	-99.89	19.41	51.98	0.85	4.65	7.31	-7.20	1500.00	-28.69	24.04	54.18	0.93	4.76	7.31	-6.98	-0.26
2000.00	-99.91	19.27	50.88	0.86	4.47	7.60	-7.17	2000.00	-22.90	23.95	53.50	0.93	4.59	7.60	-6.96	-0.25	
3000.00	-99.94	18.64	49.08	0.86	4.20	8.01	-6.94	3000.00	-10.97	23.68	52.25	0.93	4.24	8.01	-6.74	-0.31	
4000.00	-99.96	18.00	50.26	0.86	4.10	8.29	-6.82	4000.00	-9.24	23.26	51.10	0.93	3.97	8.29	-6.65	-0.38	
5000.00	-99.97	17.42	51.05	0.86	3.83	8.52	-6.75	5000.00	-8.46	22.80	51.49	0.93	3.70	8.52	-6.57	-0.44	

Module FORTAN de la variante GR4JSI₁₃

```
Cxxxx HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3_HU3
SUBROUTINE HU3(XV,C)
c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C
PARAMETER (NPX=10,NH=7)
DIMENSION XV(*)
DO 1 I=1,2*NH
XV(3*NPX+NH+I)=SS3(I,C)-SS3(I-1,C)
1 CONTINUE
RETURN
END
```

```
Cxxxx SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3_SS3
FUNCTION SS3(I,C)
c { H(t)=0.5*(t/C)**2.5 si 0<t<C }
c Calcul de la Fonction: { H(t)=1-0.5*(2-t/C)**2.5 si C<t<2C }
c { H(t)=1 si t>2C }
c { telle que q(t) = dH(t) / dt }
FI=I
IF(FI.LE.0.)THEN
SS3=0.
RETURN
ENDIF
IF(FI.GE.2.*C)THEN
SS3=1.
RETURN
ENDIF
IF(FI.LE.C)THEN
SS3=0.5*(FI/C)**2.5
RETURN
ENDIF
SS3=1.-0.5*(2.-FI/C)**2.5
RETURN
END
```

```
Cxxxx R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q_R2Q
FUNCTION R2Q(XV,Q)
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
c Calcul de la fonction R=f(Q) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) >= 1
IF(Q.LE.0.)THEN
R2Q=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
R2Q=Q*XV(NPX+1)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
R2Q=2.*Q*XV(NPX+1)/(Q+SQRD(Q*(Q+4.*XV(NPX+1))))
RETURN
ENDIF
QN=Q/XV(NPX+1)
R=1.0
DO 1 K=1,100
RA=R**(XV(NPX)-2.)
S=R+QN
SA=S**(XV(NPX)-2.)
D=(S*SA-R*RA-R*SA)/(SA-RA-RA*SA*(R+S))/(XV(NPX)-1.)
R=R-D
IF(ABS(D).LT.0.000001)GOTO 2
1 CONTINUE
2 CONTINUE
R2Q=R*XV(NPX+1)
RETURN
END
```

```
Cxxxx Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R_Q2R
FUNCTION Q2R(XV,R)
c Calcul de la fonction Q=f(R) pour tout reservoir puissance
c de parametre XV(NPX+1) avec exposant XV(NPX) >= 1
PARAMETER (NPX=10)
DIMENSION XV(*)
IF(R.LE.0.)THEN
Q2R=0.
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.1.)THEN
Q2R=R/(XV(NPX+1)+1.)
RETURN
ENDIF
IF(XV(NPX).EQ.2.)THEN
Q2R=R*R/(R+XV(NPX+1))
RETURN
ENDIF
A=XV(NPX)-1.
Q2R=R*(1.-(1.+(R/XV(NPX+1))**A)**(-1./A))
RETURN
END
```

```
Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1
SUBROUTINE TIT1(XV)
c Variables d'exploitation de GR4JSI13 ( avec HU3**2.5 )
PARAMETER (NPX=10,NPY=26)
DIMENSION XV(*)
COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
Common xv2
WRITE(*,'(A)')' exposant du reservoir de transfert (3) ?..... '
READ(*,*)XV(NPX)
if(xv(npx).lt.1.)xv(npx)=1.
WRITE(*,'(A)')' mise a jour de R (1) ou du debit (0) ?..... '
READ(*,*)IO(5)
WRITE(*,'(A)')' importance de la mise a jour (entre 0 et 1.1) ? '
READ(*,*)XV(NPX-1)
if(xv(npx-1).lt.0.)xv(npx-1)=0.
if(xv(npx-1).gt.1.1)xv(npx-1)=1.1
WRITE(*,'(A)')' trois (3) ou quatre (4) parametres ?..... '
READ(*,*)IO(21)
write(*,'(A)')' capacite du reservoir sol (> 0) ?..... '
read(*,*)xv2
if(xv2.le.0.)xv2=2.718282
xv(2)=log(xv2)
WRITE(8,'(A)')
'
WRITE(8,'(A)')' modele GR4J-simplifie '
WRITE(8,'(A,F8.3)')' exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX)
IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du reservoir R'
IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,'(A)')' mise a jour du debit Q'
WRITE(8,'(A,F8.3)')' importance de la mise a jour =',XV(NPX-1)
WRITE(8,'(A,I4)')' nombre de parametres du modele =',IO(21)
WRITE(8,'(A,F8.3)')' capacite du reservoir sol =',xv2
WRITE(8,'(A)')
'
RETURN
END
```

```
Cxxxx PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1_PAT1
SUBROUTINE PAT1(XV)
c Paramètres Transformés de GR4JSI13 ( avec HU3**2.5 )
DIMENSION XV(*)
Common xv2
XV(1)=4.
xv(2)=log(xv2)
XV(3)=-8.
XV(4)=0.
RETURN
END
```

<pre> Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c Etats GR4JSI13 (avec HU3**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) common xv2 DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. XS(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) X(1)=0.5*XV(NPX+1) XS(1)=X(1) X(2)=0.7*XV(NPX+2) XS(2)=X(2) RETURN END Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSI13 (avec HU3**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) common xv2 xv(2)=log(xv2) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=(NH-1.)*XV(3)/10.+NH+1.)/.2. CALL HU3(XV,XV(NPX+3)) XV(NPX+4)=EXP(XV(4)) RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1 SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q) c SP de Calcul de GR4JSI13 (avec HU3**2.5) PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*),X(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) common xv2 COMMON /ETA/ XS(3*NH+3) c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) CR=1. IF(QS.GT.0..AND.QA.GT.0.)CR=1.+XV(NPX-1)*(QA/QS-1.) B=XV(NPX+2) IF(P.LE.E)THEN V=TANH((E-P)/B) XS(2)=XS(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XS(2)/B)*V) PrS=0. ELSE V=TANH((P-E)/B) X2NS=(XS(2)+B*V)/(1.+XS(2)/B*V) PrS=MAX(0.,XS(2)+P-E-X2NS) XS(2)=X2NS ENDIF X2NS=XS(2)/(1.+(XS(2)/B/2.25)**4)**0.25 PercS=XS(2)-X2NS PRS=XV(NPX+4)*(PrS+PercS) XS(2)=X2NS DO 2 K=1,2*NH-1 XS(3+NH+K)=XS(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS 2 CONTINUE XS(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS RS=XS(1)+XS(4+NH) QS=Q2R(XV,RS) XS(1)=RS-QS IF(IO(5).EQ.1)THEN QAC=MAX(0.,QS*CR) X(1)=R2Q(XV,QAC) R=X(1)+XS(4+NH) Q=Q2R(XV,R) ELSE Q=CR*QS ENDIF RETURN END </pre>
--	--

A7.14 Synthèse de l'ensemble des essais : le modèle GR4JSIPR

Le modèle **GR4JSIPR** est tiré du modèle générique GR4J (2003) et se compose de :

- trois **paramètres variables (X1, X2, X3)** calés directement **en mode prévision** :

. le paramètre **X1** est le **coefficient d'échanges**,

. le paramètre **X2** est la **capacité à un jour** de son **réservoir de transfert R**,

. le paramètre **X3** est **caractéristique** de son hydrogramme unitaire **HU4** dérivable en son sommet,

- une **fonction d'échanges non conservative**,

- l'exposant de la fonction puissance de son hydrogramme unitaire **HU4** est égal à **2.5**,

- son **réservoir de transfert R** est du type **quadratique**,

- la capacité de son **réservoir sol S** est **fixe** et égale à **650 mm**,

- l'initialisation régionalisée (Hémisphère Nord / Hémisphère Sud) des données des bassins versants.

(C'est-à-dire que l'initialisation des paramètres de calage du modèle se fait de manière sélective automatique par le programme à la lecture des caractéristiques des bassins versants. L'objectif étant de réduire le temps de calcul par la réduction du domaine de recherche de la convergence des calculs).

Tableau A7.20 : Résultats du modèle **GR4JSIPR**

Importance de la mise à jour	Exposant de la fonction de HU4	Capacité du réservoir sol S (mm)	Persistances			Proportion de BV à Persistance > 0	Paramètres moyens		
			Mini.	Moy.	Maxi.		1	2	3
1.0	2.5	650	-29.47	30.63	82.66	0.92	4.70	-0.13	-2.35

Module FORTAN du modèle GR4JSIPR	
<pre> Cxxx HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4_HU4 SUBROUTINE HU4(XV) c Calcul de l'Hydrogramme Unitaire de Durée C PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 1 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SS4(I,XV)-SS4(I-1,XV) 1 CONTINUE RETURN END Cxxx SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4_SS4 FUNCTION SS4(I,XV) c {H(t) = 0 si t <= 0} c Calcul la fonction: {H(t) = t**2.5 / [t**2.5 + (C - t)**2.5] si t < C} c {H(t) = 1 si t >= C} c {telle que q(t) = dH(t) / dt} PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SS4=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.XV(NPX+3))THEN SS4=1. RETURN ENDIF SS4=FI**2.5/(FI**2.5+(XV(NPX+3)-FI)**2.5) RETURN END Cxxxx TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1_TIT1 SUBROUTINE TIT1(XV) c Saisie des Variables d'exploitation de GR4JSIPR (avec HU4**2.5) PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) IO(5)=1 IO(21)=3 XV(NPX-1)=1.0 XV(NPX)=2.0 WRITE(8,'(A)') WRITE(8,'(A)') modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A,F8.3)') exposant du reservoir de transfert =',XV(NPX) IF(IO(5).EQ.1)WRITE(8,'(A)') mise a jour du reservoir R' IF(IO(5).EQ.0)WRITE(8,'(A)') mise a jour du debit Q' WRITE(8,'(A,F8.3)') importance de la mise a jour =',XV(NPX-1) WRITE(8,'(A,I4)') nombre de parametres du modele =',IO(21) WRITE(8,'(A)') RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx PATI_PATI_PATI_PATI_PATI_PATI_PATI_PATI_PATI_PATI_PATI SUBROUTINE PATI(XV) C Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSIPR (HU4**2.5) PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) XV(1)=5. XV(2)=0. XV(3)=-4. XV(4)=-5. RETURN END Cxxxx INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1_INI1 SUBROUTINE INI1(X,XV) c SP d'Initialisation des Etats de GR4JSIPR (avec HU4**2.5) PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /IOZ/ IO(NPY),LM(12) DATA B/650./ DO 1 K=4+NH,3+3*NH X(K)=0. 1 CONTINUE CALL VRE1(XV) IF(IO(8).EQ.0)THEN C BV de l'hémisphère NORD X(1)=0.5*XV(NPX+1) X(2)=0.7*B ELSE C BV de l'hémisphère SUD X(1)=0.1*XV(NPX+1) X(2)=0.3*B ENDIF RETURN END Cxxxx VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1_VRE1 SUBROUTINE VRE1(XV) c Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSIPR (avec HU4**2.5) PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=((NH-1)*XV(3)/10.+NH+1.)/2. CALL HU4(XV) XV(NPX+4)=(XV(4)+9.99)/19.98 RETURN END </pre>

```

Cxxxx MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1_MOD1
SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q)
c SP de Calcul de GR4JSIPR (avec HUA**2.5)
PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26)
DIMENSION X(*),XV(*)
COMMON /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
DATA B/650./
c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune)
IF(P.LE.E)THEN
V=TANH((E-P)/B)
X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V)
Pr=0.
ELSE
V=TANH((P-E)/B)
X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V)
Pr=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N)
X(2)=X2N
ENDIF
X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25
Perc=X(2)-X2N
PRS=XV(NPX+2)*(Pr+Perc)
X(2)=X2N
DO 2 K=1,2*NH-1
X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS
2 CONTINUE
X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS
IF(QA.LE.0..OR.QA.GT.90.)THEN
QV=-9.99
ELSE
R=2.*XV(NPX+1)/(1.+SQRT(1.+4.*XV(NPX+1)/QA))
R=R+X(4+NH)
QV=R*R/(R+XV(NPX+1))
ENDIF
Q=QV
IF(QA.GT.0..AND.QVA.GT.0.)Q=Q*(QA/QVA)**XV(NPX+4)
QVA=QV
RETURN
END

```

ANNEXE 8 : RESULTATS DES ESSAIS DES VARIANTES DU MODELE GR4JSIPR

A8.1 Variante GR4JSIPR avec correction des débits en sortie

Ici, on considère le modèle GR4JSIPR en y introduisant un traitement des erreurs sur les débits en sortie en exploitant l'information contenue dans la dernière prévision effectuée.

C'est à dire que l'on propose de corriger la prévision $Q'_p(j)$ pour fournir la valeur $\hat{Q}(j)$ par

la relation suivante : $\hat{Q}(j) = Q'_p(j) * \left(\frac{O(j-1)}{Q(j-1)} \right)^\beta$. Dans cette procédure nous désignons par

O(j) le débit observé le jour j et par Q(j) le débit prévu la veille pour ce même jour.

L'exposant β peut être dans une première étape considéré comme un paramètre supplémentaire à optimiser. Cette nouvelle procédure nous permet d'obtenir un gain net supplémentaire de +2.1% (31.0% au lieu de 28.9% pour GR4JSI₈). En prenant une valeur fixe de **0.25** pour cet exposant β (toujours dans le but de nous ramener à seulement trois variables optimisables) nous n'avons qu'une perte de seulement -0.4% sur le résultat précédent (30.6% au lieu de 31.0%). C'est cette dernière configuration à seulement **trois** variables optimisables que nous retenons pour le modèle de prévision de crue **GR4JSIPR**. Une synthèse générale des différents résultats de l'ensemble de nos essais nous permet maintenant d'énoncer les caractéristiques principales de ce modèle **GR4JSIPR** qui s'impose ici en **prévision de crue au pas de temps journalier** et d'en proposer les diagramme et schéma structurel ci-dessus et les résultats ci-après.

Tableau A8.1 : Résultats de **GR4JSIPR** avec introduction d'un traitement d'erreurs de débit

Exposant affecté à la correction du débit Q	Persistances			Proportion de BV à Persistence > 0	Paramètres moyens		
	Mini.	Moy.	Maxi.		Moy.	Maxi.	Mini.
0.00	-65.76	27.47	82.63	0.952	5.13	-0.05	-2.54
0.05	-59.22	28.49	83.39	0.947	5.07	-0.06	-2.52
0.10	-52.08	29.32	83.68	0.936	4.98	-0.07	-2.46
0.15	-44.78	29.98	83.61	0.926	4.90	-0.09	-2.32
0.20	-37.71	30.41	83.26	0.915	4.80	-0.11	-2.27
0.225	-33.64	30.60	82.99	0.915	4.75	-0.12	-2.22
0.250	-29.47	30.63	82.66	0.920	4.70	-0.13	-2.35
0.275	-25.64	30.62	82.29	0.920	4.65	-0.14	-2.34
0.30	-25.80	30.55	81.89	0.899	4.59	-0.15	-2.22
0.35	-32.02	30.23	80.95	0.894	4.48	-0.18	-2.26
0.40	-42.29	29.65	79.87	0.894	4.35	-0.21	-2.42
0.45	-47.70	28.90	78.64	0.878	4.21	-0.24	-2.40
0.50	-52.02	27.90	77.40	0.878	4.07	-0.29	-2.60

Module FORTAN du modèle **GR4JSIPR** avec introduction d'un traitement d'erreur

```

SUBROUTINE HU4(XV)
c  Calcul de l'Hydrogramme Unitaire arrondi au sommet
C  temps de base: XV(NPX+3) et exposant XV(NPX-2)
  PARAMETER (NPX=10,NH=7)
  DIMENSION XV(*)
  DO 1 I=1,2*NH
    XV(3*NPX+NH+I)=SS4(I,XV)-SS4(I-1,XV)
  1 CONTINUE
  RETURN
END

```

```

FUNCTION SS4(I,XV)
c  {[H(t) = 0          si t ≤ 0 ]}
c  Calcul de {[H(t) = ta / (ta + (C - t)a)  si t < C ]}
c  {[H(t) = 1          si t ≥ C ]}
c  {telle que q(t) = dH(t) / dt          }
  PARAMETER (NPX=10,NH=7)
  DIMENSION XV(*)
  FI=I
  IF(FI.LE.0.)THEN
    SS4=0.
    RETURN
  ENDIF
  IF(FI.GE.XV(NPX+3))THEN
    SS4=1.
    RETURN
  ENDIF
  SS4=FI**2.5/(FI**2.5+(XV(NPX+3)-FI)**2.5)
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE TIT1(XV)
c  SP de Saisie des Variables d'exploitation de GR4JSIPR
  PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26)
  DIMENSION XV(*)
  COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
  IO(21)=3
  WRITE(8,'(A)') ' _____ '
  WRITE(8,'(A)') '      modele GR4J-simplifie '
  WRITE(8,'(A,I4)') ' nombre de parametres du modele =',IO(21)
  WRITE(8,'(A)') ' _____ '
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VRE1(XV)
c  SP de Calcul des Valeurs Réelles des Paramètres de GR4JSIPR
  PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26)
  DIMENSION XV(*)
  XV(NPX+1)=EXP(XV(1))
  XV(NPX+2)=EXP(XV(2))
  XV(NPX+3)=(NH-1)*XV(3)/10.+NH+1./2.
  CALL HU4(XV)
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PAT1(XV)
c  SP d'Initialisation des Paramètres Transformés de GR4JSIPR
  PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26)
  DIMENSION XV(*)
  COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12)
  XV(1)=5.
  XV(2)=0.
  XV(3)=-4.
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE INI1(X,XV)
c  SP d'Initialisation des Etats de GR4JSIPR
  PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26)
  DIMENSION X(*),XV(*)
  COMMON /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
  DATA B/650./
  DO 1 K=4+NH,3+3*NH
    X(K)=0.
  1 CONTINUE
  CALL VRE1(XV)
  IF(IO(8).EQ.0)THEN
  C  BV de l'hémisphère NORD
    X(1)=0.5*XV(NPX+1)
    X(2)=0.7*B
  ELSE
  C  BV de l'hémisphère SUD
    X(1)=0.1*XV(NPX+1)
    X(2)=0.3*B
  ENDIF
  RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MOD1(X,XV,P,E,QA,Q)
c  SP de Calcul de GR4JSIPR
  PARAMETER (NH=7,NPX=10,NPY=26)
  DIMENSION X(*),XV(*)
  COMMON /IOZ/ IO(NPY),LM(12)
  DATA B/650./
c  QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune)
  IF(P.LE.E)THEN
    V=TANH((E-P)/B)
    X(2)=X(2)*(1.-V)/(1.+(1.-X(2)/B)*V)
    Pr=0.
  ELSE
    V=TANH((P-E)/B)
    X2N=(X(2)+B*V)/(1.+X(2)/B*V)
    Pr=MAX(0.,X(2)+P-E-X2N)
    X(2)=X2N
  ENDIF
  X2N=X(2)/(1.+(X(2)/B/2.25)**4)**0.25
  Perc=X(2)-X2N
  PRS=XV(NPX+2)*(Pr+Perc)
  X(2)=X2N
  DO 2 K=1,2*NH-1
    X(3+NH+K)=X(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRS
  2 CONTINUE
  X(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRS
  IF(QA.LE.0..OR.QA.GT.900.)THEN
    QV=-9.99
  ELSE
    R=2.*XV(NPX+1)/(1.+SQRT(1.+4.*XV(NPX+1)/QA))
    R=R+X(4+NH)
    QV=R*R/(R+XV(NPX+1))
  ENDIF
  Q=QV
  IF(QA.GT.0..AND.QVA.GT.0.)Q=Q*(QA/QVA)**0.25
  QVA=QV
  RETURN
END

```

A8.2 Variante GR4JSIPR optimale : le modèle GRP

L'amélioration du modèle **GR4JSIPR** précédent par l'introduction d'un **exposant optimal pour le rapport de correction du débit en sortie** et d'un **exposant optimal pour le délai dans le calcul du critère de persistance pour des délais de prévision supérieurs à un jour** donne le **modèle GRP** (modèle **G**énie **R**ural de **P**révision de crue pour des délais de prévision de 1 à 7 jours).

Il est l'aboutissement de nos recherches pour la conception d'un modèle de prévision de crue issu du modèle hydrologique conceptuel global GR4J-Perrin.

C'est la version finale de notre modèle de prévision de crue créé à partir d'une démarche empirique par de nombreux tests menés sur une grande quantité de bassins versants de superficies et de conditions climatiques très variées. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- une **structure** simple s'exécutant **en continu** et à seulement **3 paramètres** à optimiser :
 - . le paramètre **X1** est le **coefficient d'échanges**,
 - . le paramètre **X2** est la **capacité à un jour** de son **réservoir de transfert R**,
 - . le paramètre **X3** est la **caractéristique** de son hydrogramme unitaire **HU4** dérivable en son sommet,
- le **calage des paramètres** se fait directement **en mode prévision**,
- une **fonction d'échanges non conservative**,
- une **correction des débits** en sortie,
- la **capacité** de son **réservoir sol S** est **fixe** et égale à **650 mm**,
- son **réservoir de transfert R** est du type **quadratique**,
- l'**exposant de la fonction puissance** de son hydrogramme unitaire **HU4** est égal à **2.5**,
- l'**exposant du délai** dans le calcul du critère de persistance $C_{2M/P}$ est égal à **1**,
- l'**exposant du rapport de correction du débit** calculé en sortie est égal à **0.15**.

Tableau A8.2 : Performances du modèle GR4JSIPR en fonction de l'exposant β de la correction des débits en sortie pour la détermination de l'exposant $\beta_{optimal}$ (en jours)

Délai en jours	1	$\beta(Q)$	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
		Pminimale	-78.3	-74.3	-69.2	-63.3	-56.6	-49.1	-58.5	-81.8	-92.8	-99.9
		Pmoyenne	30.7	31.77	32.5	32.7	32.5	31.8	30.6	26.6	20.4	-17.6
		Pmaximale	70.7	71.9	72.9	73.6	74.2	74.4	74.6	74.2	73.3	61.9
		%BV à Pmoyenne>0	95.7	95.5	94.7	94.4	93.9	92.2	90.6	87.4	81.6	43.9
	2	Pminimale	-73.6	-70.0	-66.4	-62.6	-58.8	-55.1	-51.5	-64.8	-84.1	-99.9
		Pmoyenne	40.1	40.4	40.6	40.6	40.2	39.7	38.8	36.3	32.8	5.5
		Pmaximale	75.6	76.4	77.1	77.6	78.1	78.5	78.7	78.9	78.8	74.1
		%BV à Pmoy.>0	96.5	96.8	96.0	95.2	94.7	94.4	93.0	91.2	88.4	66.3
		3	Pminimale	-69.2	-67.0	-64.9	-63.1	-61.4	-60.0	-58.7	-56.7	-76.1
	Pmoyenne		45.1	45.4	45.4	45.3	45.1	44.4	43.8	41.9	38.9	14.6
	Pmaximale		79.9	80.1	80.0	79.8	79.5	79.0	79.3	79.8	79.9	76.5
%BV à Pmoyenne>0	97.1		97.1	97.1	96.5	95.5	94.6	94.1	92.0	90.3	72.2	
4	Pminimale		-68.3	-66.8	-65.5	-64.2	-63.1	-62.1	-61.3	-59.8	-69.7	-99.6
	Pmoyenne	48.4	48.6	48.6	48.6	48.4	47.8	47.3	45.7	43.3	21.7	
	Pmaximale	82.2	82.3	82.2	82.1	81.8	79.3	79.3	79.5	79.6	76.9	
	%BV à Pmoyenne>0	97.6	97.6	97.9	97.6	96.0	95.7	94.9	92.7	91.7	76.5	
	5	Pminimale	-65.7	-64.8	-64.0	-63.2	-62.5	-61.9	-61.3	-60.4	-64.3	-99.5
Pmoyenne		50.4	50.7	50.7	50.6	50.5	50.0	49.5	48.1	46.0	27.2	
Pmaximale		80.0	82.8	82.9	82.8	82.7	81.1	81.2	81.0	80.6	76.0	
%BV à Pmoyenne>0		97.6	97.6	97.9	97.6	96.8	96.0	94.6	93.5	91.9	79.9	
6		Pminimale	-63.3	-62.6	-62.0	-61.4	-60.9	-60.5	-60.0	-59.3	-60.3	-99.5
	Pmoyenne	52.1	52.2	52.2	52.1	52.0	51.5	51.1	49.9	47.8	30.6	
	Pmaximale	82.5	82.6	82.7	82.8	82.7	81.6	81.6	81.8	81.1	78.0	
	%BV à Pmoyenne>0	97.6	97.6	97.6	97.3	96.8	95.4	95.2	93.0	91.7	80.7	
	7	Pminimale	-62.1	-61.5	-61.0	-60.5	-60.0	-59.6	-59.2	-58.6	-58.1	-99.5
Pmoyenne		53.2	53.3	53.3	53.3	53.2	52.9	52.6	51.3	49.6	33.6	
Pmaximale		81.0	81.4	81.7	82.0	82.2	82.3	82.4	82.4	82.2	80.8	
%BV à Pmoyenne>0		97.8	97.8	97.8	97.8	97.3	95.4	95.4	93.5	92.5	81.0	
$\beta(Q)$		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00	

Tableau A8.2 : Nombres NBV de périodes de bassins versants où $C_{2M/P}(2) > C_{2M/P}(1)$ en fonction de l'exposant α du délai dans le calcul du $C_{2M/P}$ (pour délai de 2 jours, exposant de la correction des débits en sortie égal à 0.15 et chaque bassin versant étudié sur deux périodes de durées sensiblement égales)

α	0.0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.33	0.50	0.60	0.67	0.70	0.75	1.00
Pers-moyenne	40.6	39.23	37.8	36.40	34.97	33.5	31.2	26.1	23.0	20.8	19.3	18.3	10.3
%BV à Pers.>0	95.2	94.4	93.6	93.0	92.2	91.2	90.1	86.1	82.6	80.7	80.2	78.1	67.4
NBV	342	323	303	273	236	199	142	61	45	25	21	18	5

α	1.00	1.10	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.8	1.90	2.0
Pers-moyenne	10.3	7.0	3.8	2.1	0.5	-2.8	-6.1	-11.0	-12.6	-15.8	-19.0	-22.2
%BV à Pers.>0	67.4	63.1	61.2	59.6	57.8	52.4	45.7	35.0	32.4	26.2	21.9	16.0
NBV	5	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0

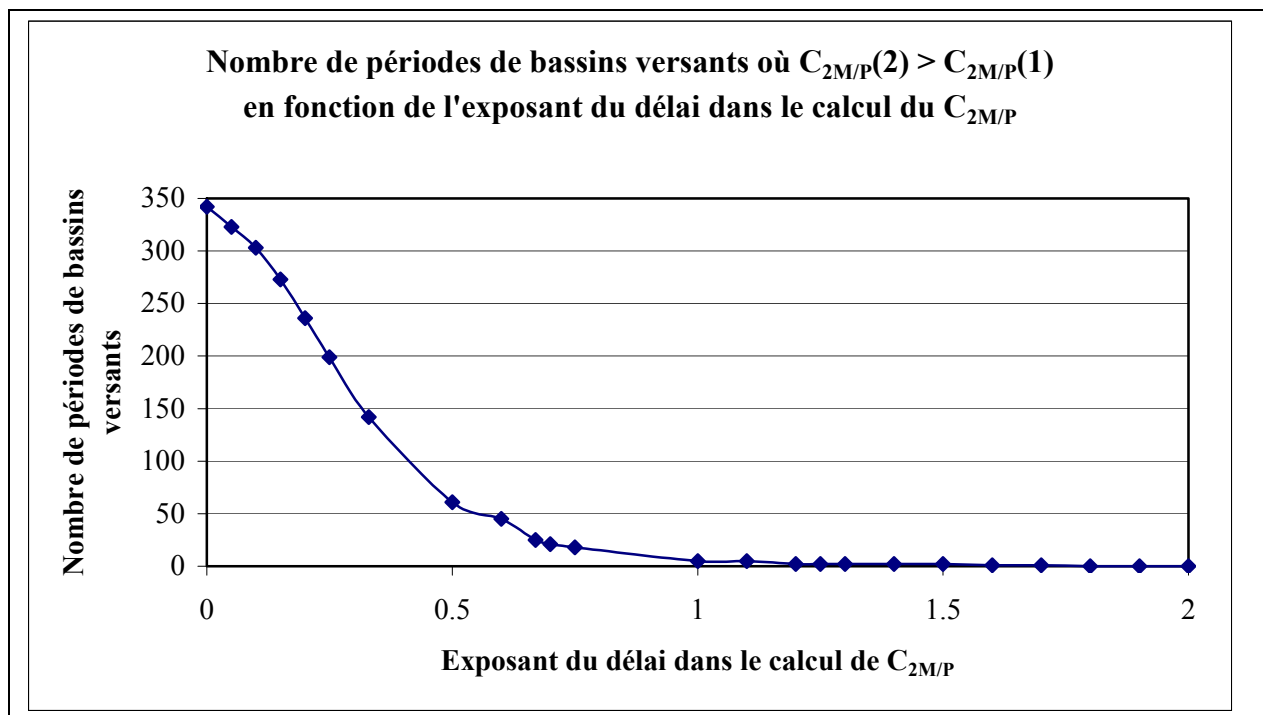


Figure A8.1 : Nombre de périodes de bassins versants où $C_{2M/P}(2) > C_{2M/P}(1)$ en fonction de l'exposant du délai dans le calcul du $C_{2M/P}$ (pour un délai de 2 jours et un exposant du rapport de correction des débits égal 0.15)

Les résultats présentés dans les tableaux 8.1, 8.2 et la Figure 8.1 ci-dessus permettent de proposer le principe de fonctionnement et le schéma structurel (Figure 8.2) ci-dessous pour notre modèle GRP (Génie Rural de Prévision de crue pour des délais de prévision de 1 à 7 jours) avec un exposant du délai dans le calcul du critère de persistance $C_{2M/P}$ égal à 1 et un exposant du rapport de correction du débit calculé en sortie égal à 0.15.

ANNEXE 9 Résultats des essais du modèle GRP

Tableau A9.1 : Résultats du modèle GRP (en pluies futures connues) en fonction du délai de prévision

Délai de prévision en nombre de jours	Persistances			Proportion de BV à Persistence>0	Paramètres			Proportion de BV à Persistence(L+1) > Persistence(L)
	Min	Moy	Max		Param1	Param2	Param3	
1	-63.31	32.67	73.64	94.4	5.2	-0.1	-5.8	171
2	-79.37	10.26	59.77	67.4	5.2	-0.1	-6.3	5
3	-85.97	-2.56	49.65	53.5	5.2	-0.1	-6.3	4
4	-89.68	-11.59	43.53	35.8	5.2	-0.1	-6.1	0
5	-91.37	-18.80	36.12	23.8	5.2	-0.1	-6.0	0
6	-92.34	-24.67	27.70	15.5	5.2	-0.1	-6.0	0
7	-93.20	-29.51	19.73	8.8	5.1	-0.1	-6.0	0
Simulation	-78.75	49.64	85.98	93.9	5.0	-0.1	-5.4	

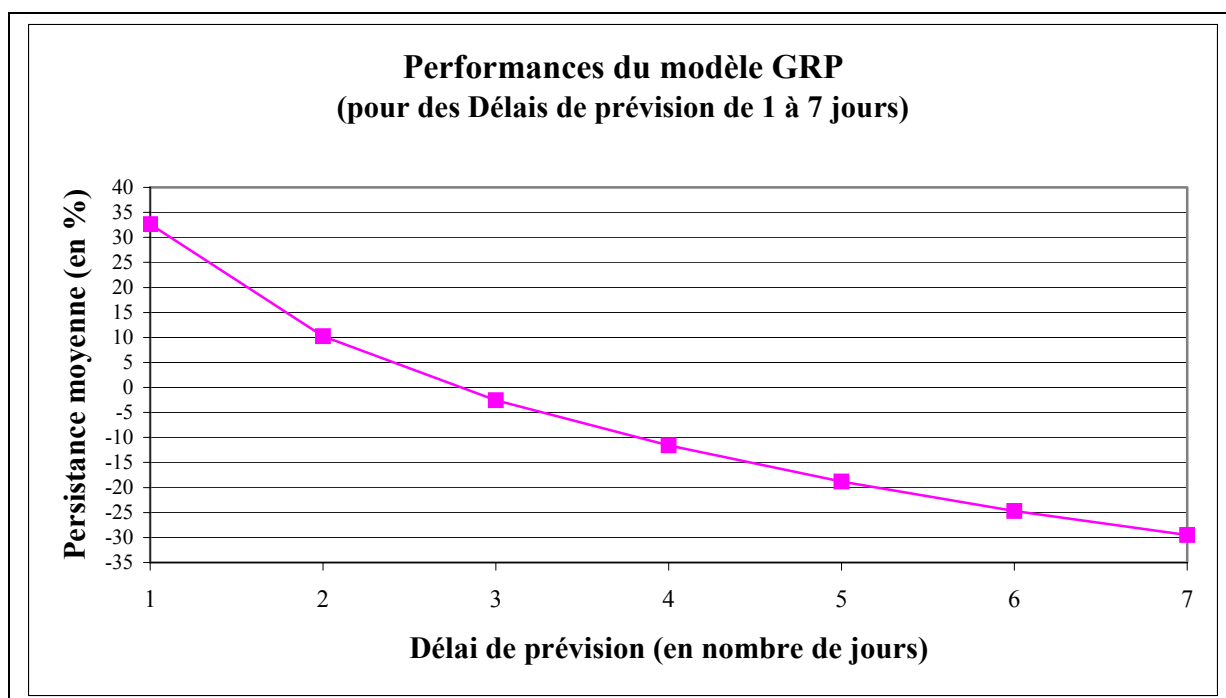


Figure A9.1 : Performances du modèle GRP en fonction du Délai de prévision (en jours)

Tableau A9.2 : Gains (en moyenne) du modèle GRP en fonction du délai

		Délai de prévision (en nombre de jours)						
		1	2	3	4	5	6	7
Gain moyen	meilleur que	+33	+10					
	équivalent à			0				
	moins bon que				-12	-20	-25	-30
%BV à persistance > 0		94	67	54	36	24	16	9

Tableau A9.3 : Résultats du modèle GRP (en pluies futures nulles) en fonction du délai de prévision

Délai de prévision en nombre de jours	Persistances			Proportion de BV à Persistance>0	Paramètres		
	Mini	Moy	Maxi		Param1	Param2	Param3
1	-99.90	32.52	73.64	94.1	5.2	-0.1	-6.4
2	-99.90	9.16	56.96	66.2	5.2	0.0	-6.4
3	-99.90	-19.11	35.42	13.3	5.4	0.1	-6.2
4	-99.90	-38.92	0.51	0.3	5.5	0.2	-5.7
5	-99.90	-50.63	-16.50	0.0	5.6	0.3	-5.5
6	-99.90	-58.41	-30.00	0.0	5.7	0.4	-5.1
7	-99.90	-63.89	-36.24	0.0	5.7	0.5	-4.9
Simulation	-78.75	49.64	85.98	93.9	5.0	-0.1	-5.4

A partir de la synthèse générale de l'ensemble des résultats obtenus dans les multiples tests effectués sur ce modèle au cours de nos recherches, avec **un échantillon test de 188 bassins versants de conditions climatiques et hydrologiques hétérogènes**, nous pouvons conclure que notre modèle de prévision de crue **GRP est robuste, général et assez simple. Il fait des scores qui sont très honorables**, en moyenne par rapport à la prévision naïve, même pour des délais de prévision supérieurs à un jour :

Module FORTRAN du modèle GRP (modèle Génie Rural de Prévision de crue)	
<pre> CxxxTITRE_TITRE_TITRE_TITRE_TITRE_TITRE_TITRE_TITRE_01 SUBROUTINE TITRE(XV) c Initialisation des Variables d'exploitation du modèle GRP PARAMETER (NPX=10,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) IO(21)=3 IF(IO(5).EQ.1)THEN io(22)=0 xv(npX+4)=0.15 ENDIF WRITE(8,'(A)') WRITE(8,'(A)') modele GR4J-simplifie ' WRITE(8,'(A)') reservoir quadratique ' WRITE(8,'(A,I1)') nombre de parametres: ',IO(21) IF(IO(5).EQ.1.AND.IO(22).EQ.0)WRITE(8,'(A,F6.2)') expo &sant de la correction: ',XV(NPX+4) WRITE(8,'(A)') RETURN END </pre>	<pre> Cxx DEBUT_DEBUT_DEBUT_DEBUT_DEBUT_DEBUT_DEBUT_03 SUBROUTINE DEBUT(X,XV) c Initialisation des Etats du modèle GRP PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION X(*),XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) DATA B/650./ CALL VRE(XV) IF(IO(8).EQ.0)THEN X(1)=0.5*XV(NPX+1) X(2)=0.7*B ELSE X(1)=0.1*XV(NPX+1) X(2)=0.3*B ENDIF DO 10 K=NH+4,3*NH+3 X(K)=0. 10 CONTINUE RETURN END </pre>
<pre> Cxxxx PATRE_PATRE_PATRE_PATRE_PATRE_PATRE_PATRE_02 SUBROUTINE PATRE(XV) c Initialisation Paramètres Transformés du modèle GRP PARAMETER (NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) XV(1)=5. XV(2)=0. XV(3)=-6.5 XV(4)=-5. RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx VRE_VRE_VRE_VRE_VRE_VRE_VRE_VRE_VRE_VRE_04 SUBROUTINE VRE(XV) c Calcul Valeurs Réelles des Paramètres du modèle GRP PARAMETER (NPX=10,NH=7,NPY=26) DIMENSION XV(*) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) XV(NPX+1)=EXP(XV(1)) XV(NPX+2)=EXP(XV(2)) XV(NPX+3)=(NH-0.5)*XV(3)/10.+NH+0.5 IF(IO(22).EQ.1)XV(NPX+4)=(XV(4)+9.99)/19.98 CALL HU(XV) RETURN END </pre>

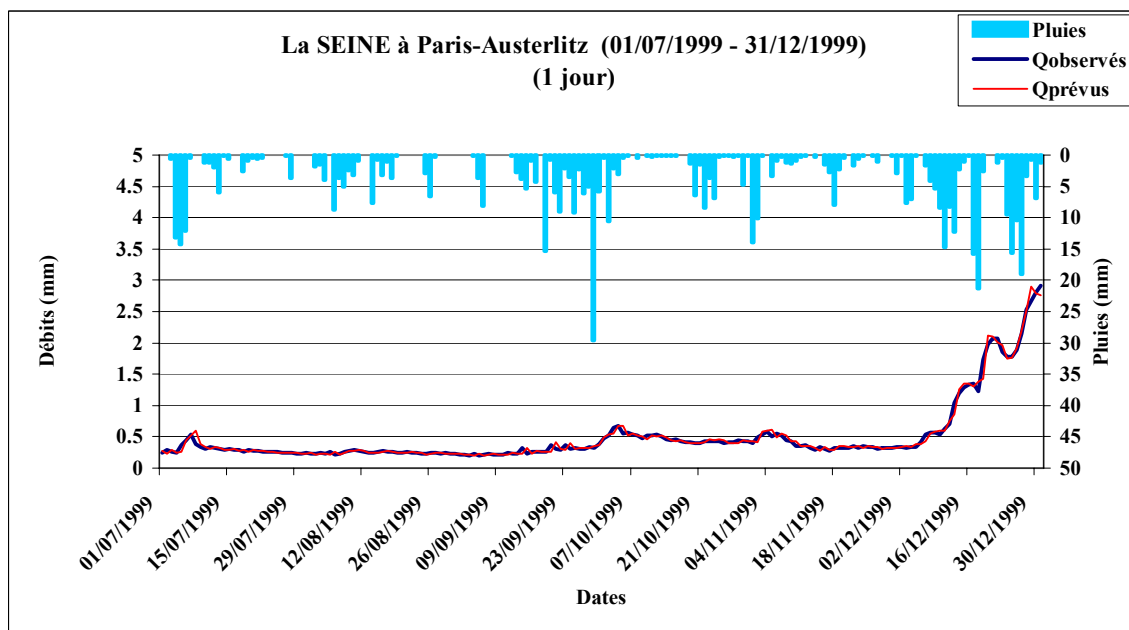
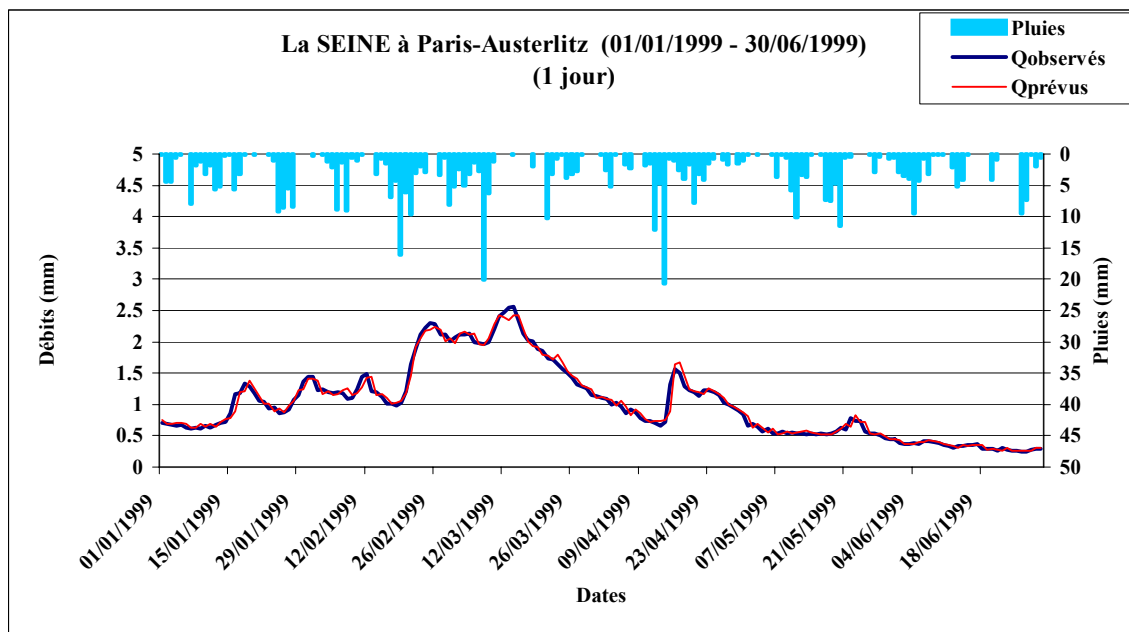
<pre> Cxx MODEL_MODEL_MODEL_MODEL_MODEL_MODEL_MODEL_07 SUBROUTINE MODEL(X,XV,P,E,QA,Q) c Calcul du modèle GRP de prévision de crue PARAMETER (NPX=10,NPY=26,NH=7) DIMENSION XV(*),X(*),P(*),E(*) DIMENSION XZ(3*NH+3) COMMON /IOZ/IO(NPY),LM(12) DATA B /650./ c QA est le Débit du Jour Précédent (QA < 0 une lacune) DO 10 I=1,3*NH+3 XZ(I)=X(I) 10 CONTINUE DO 60 I=1,IO(7) PR=0. IF(P(I).EQ.E(I))GOTO 20 IF(P(I).LT.E(I))THEN V=TANH((E(I)-P(I))/B) XZ(2)=XZ(2)*(1.-V)/(1.+(1.-XZ(2)/B)*V) GOTO 20 ENDIF IF(P(I).GT.E(I))THEN V=TANH((P(I)-E(I))/B) X2N=(XZ(2)+B*V)/(1.+XZ(2)/B*V) PR=MAX(0.,XZ(2)+P(I)-E(I)-X2N) XZ(2)=X2N ENDIF 20 CONTINUE X2N=XZ(2)/(1.+(XZ(2)/B/2.25)**4)**0.25 Perc=MAX(0.,XZ(2)-X2N) XZ(2)=X2N PRT=XV(NPX+2)*(PR+Perc) DO 30 K=1,2*NH-1 XZ(3+NH+K)=XZ(4+NH+K)+XV(3*NPX+NH+K)*PRT 30 CONTINUE XZ(3+3*NH)=XV(3*NPX+3*NH)*PRT IF(I.GT.1)GOTO 50 DO 40 K=2,3*NH+3 X(K)=XZ(K) 40 CONTINUE X(1)=X(1)+X(NH+4) Q=X(1)*X(1)/(X(1)+XV(NPX+1)) X(1)=MAX(0.,X(1)-Q) IF(IO(5).EQ.0)RETURN IF(QA.LE.0..OR.QA.GE.900.)THEN QV=-9.99 QV1=QV GOTO 70 ENDIF R=2.*XV(NPX+1)/(1.+SQRT(1.+4.*XV(NPX+1)/QA)) 50 CONTINUE R=R+XZ(NH+4) QV=R*R/(R+XV(NPX+1)) IF(I.EQ.1)QV1=QV R=MAX(0.,R-QV) 60 CONTINUE 70 CONTINUE Q=QV IF(Q.GT.0..AND.QA.GT.0..AND.QVA.GT.0..AND.XV(NPX+4).GT.0.) & Q=Q*(QA/QVA)**XV(NPX+4) QVA=QV1 RETURN END </pre>	<pre> Cxxxx HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_HU_05 SUBROUTINE HU(XV) c Calcul de l'hydrogramme unitaire du modèle GRP PARAMETER (NPX=10,NH=7) DIMENSION XV(*) DO 10 I=1,2*NH XV(3*NPX+NH+I)=SH(I,XV)-SH(I-1,XV) 10 CONTINUE RETURN END Cxxxx SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_SH_06 FUNCTION SH(I,XV) c Calcul de l'intégrale de HU de 0 à I C temps de base: XV(NPX+3) PARAMETER (NPX=10) DIMENSION XV(*) FI=I IF(FI.LE.0.)THEN SH=0. RETURN ENDIF IF(FI.GE.XV(NPX+3))THEN SH=1. RETURN ENDIF SH=FI**2.5/(FI**2.5+(XV(NPX+3)-FI)**2.5) RETURN END </pre>
--	--

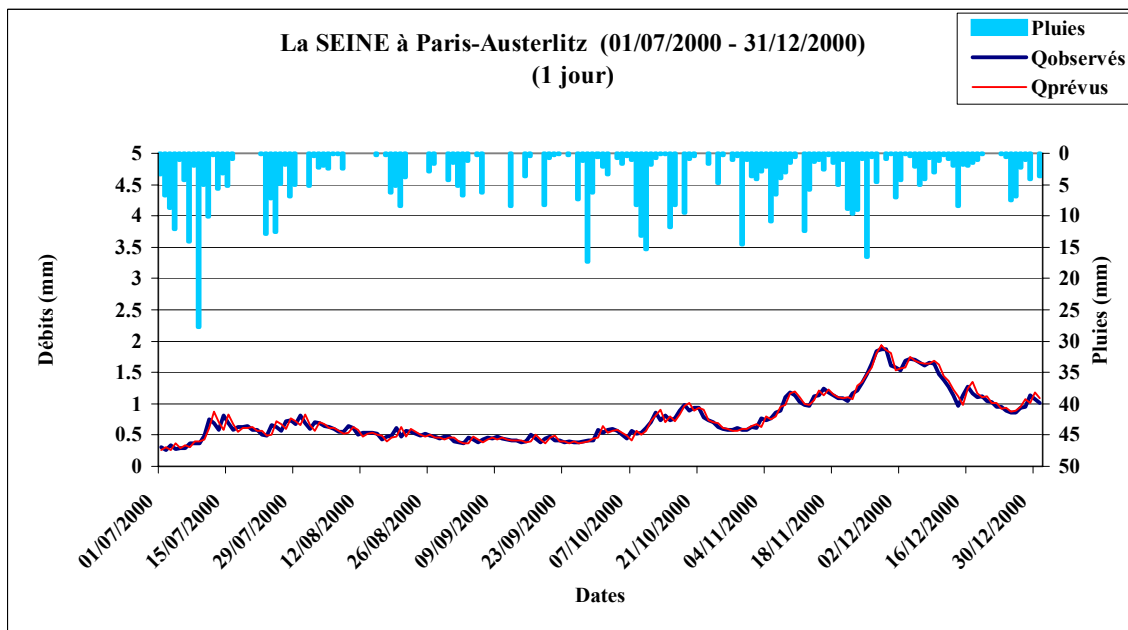
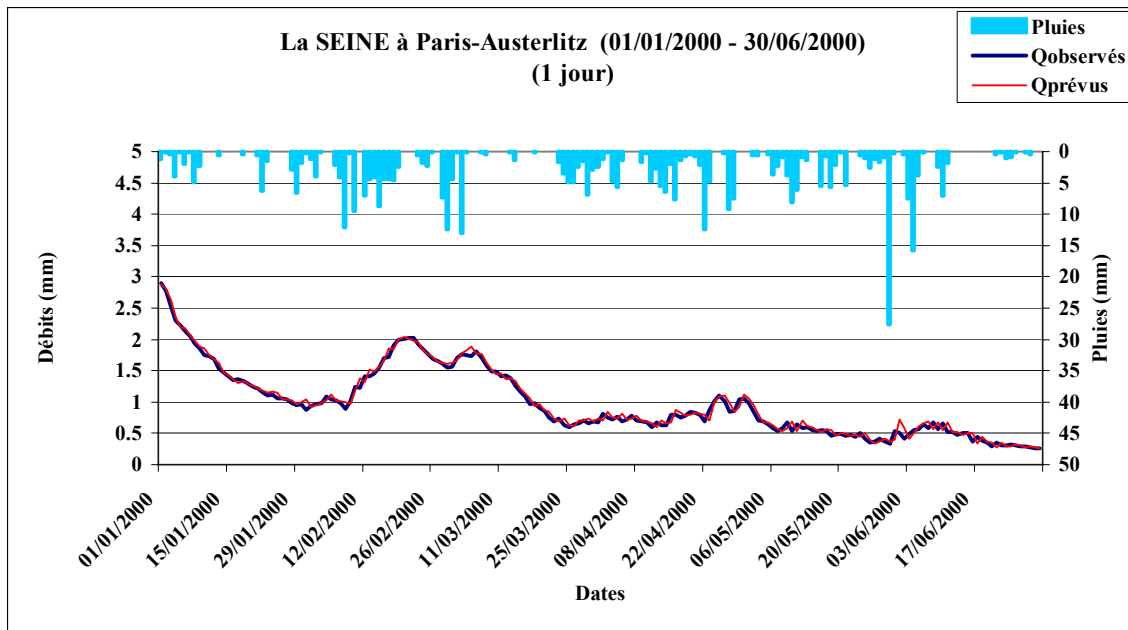
ANNEXE 10 : EXEMPLES D'HYDROGRAMMES PREVUS POUR QUELQUES BASSINS VERSANTS (pluies futures connues) :

A10.1 Prévision à UN JOUR avec le Modèle GRP (3 Paramètres)

Figure A10.1 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1999 - 2001)

Code bassin : H5920010, Superficie : 43800 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.304 mm, Débit journalier moyen = 0.638 mm,
 Persistance = 24.1, Paramètre1 = 6.71, Paramètre2 = -0.09, Paramètre3 = -3.29.





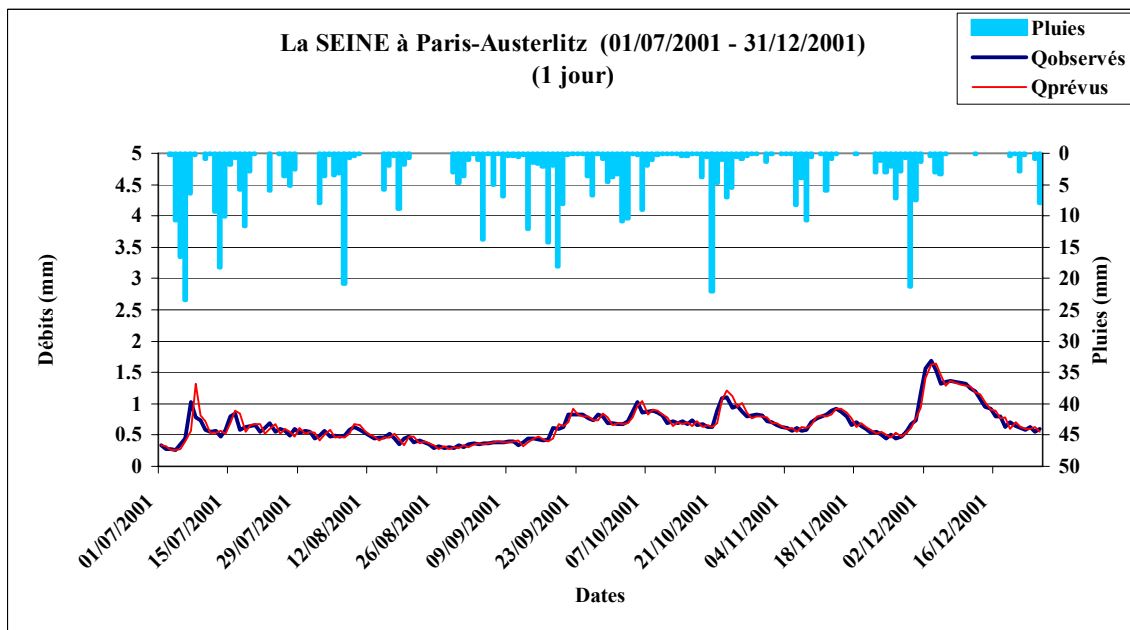
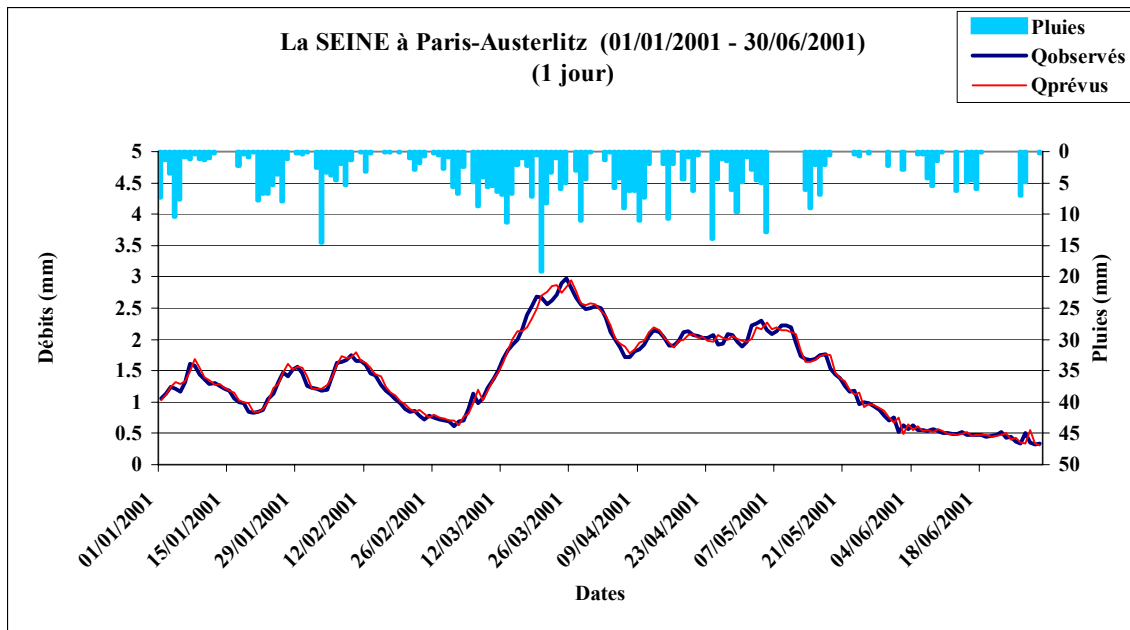
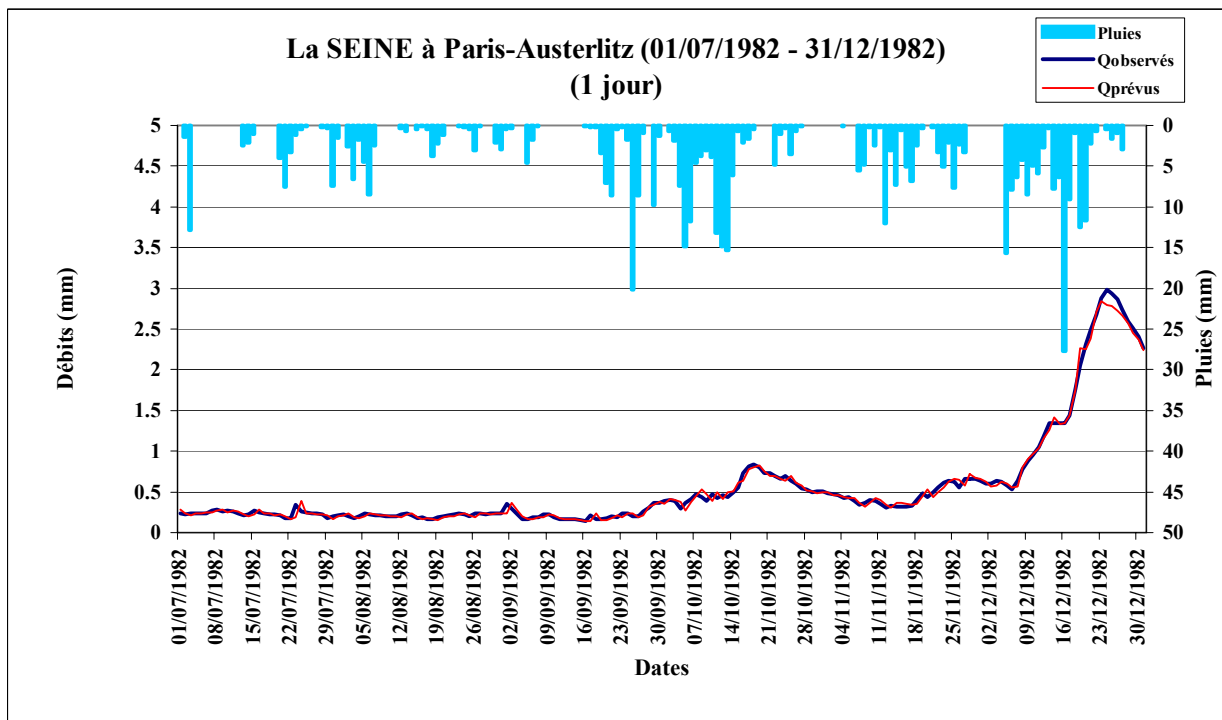
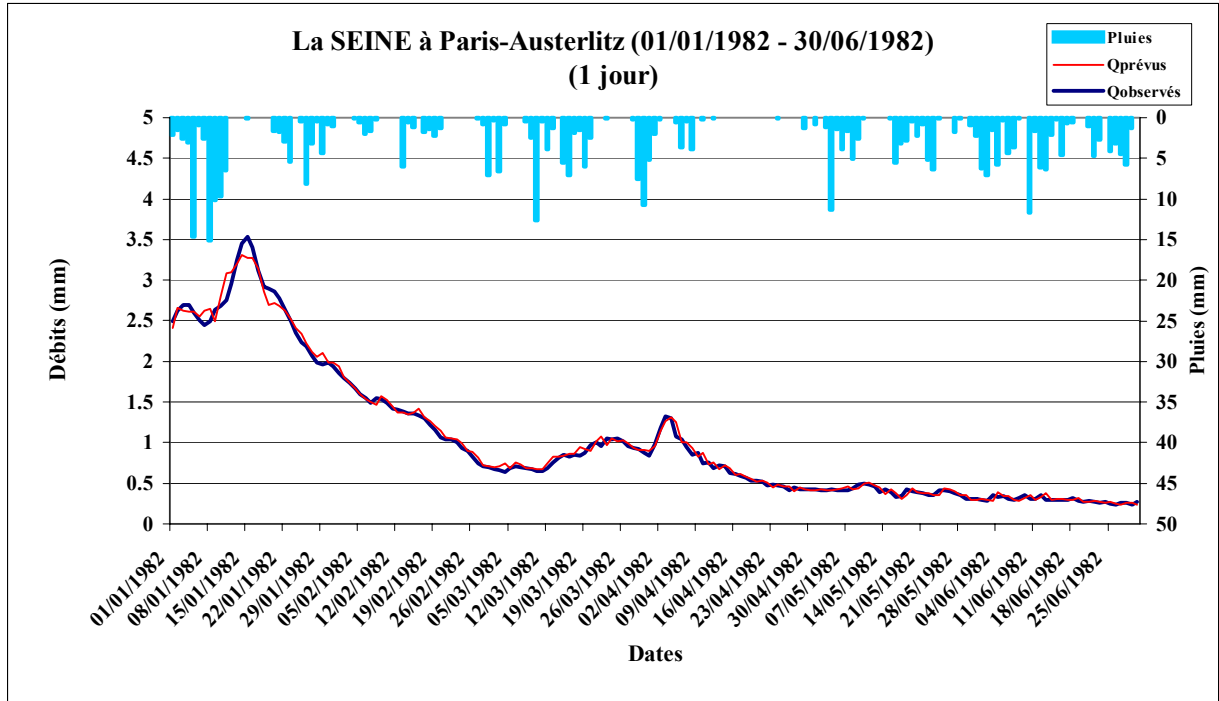


Figure A10.2 : La SEINE à Paris–Austerlitz (1982 – 1983)

Code bassin : H5920010, Superficie : 43800 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.381 mm, Débit journalier moyen = 0.715 mm,
 Persistance = 25.5, Paramètre1 = 6.80, Paramètre2 = 0.00, Paramètre3 = -3.53.



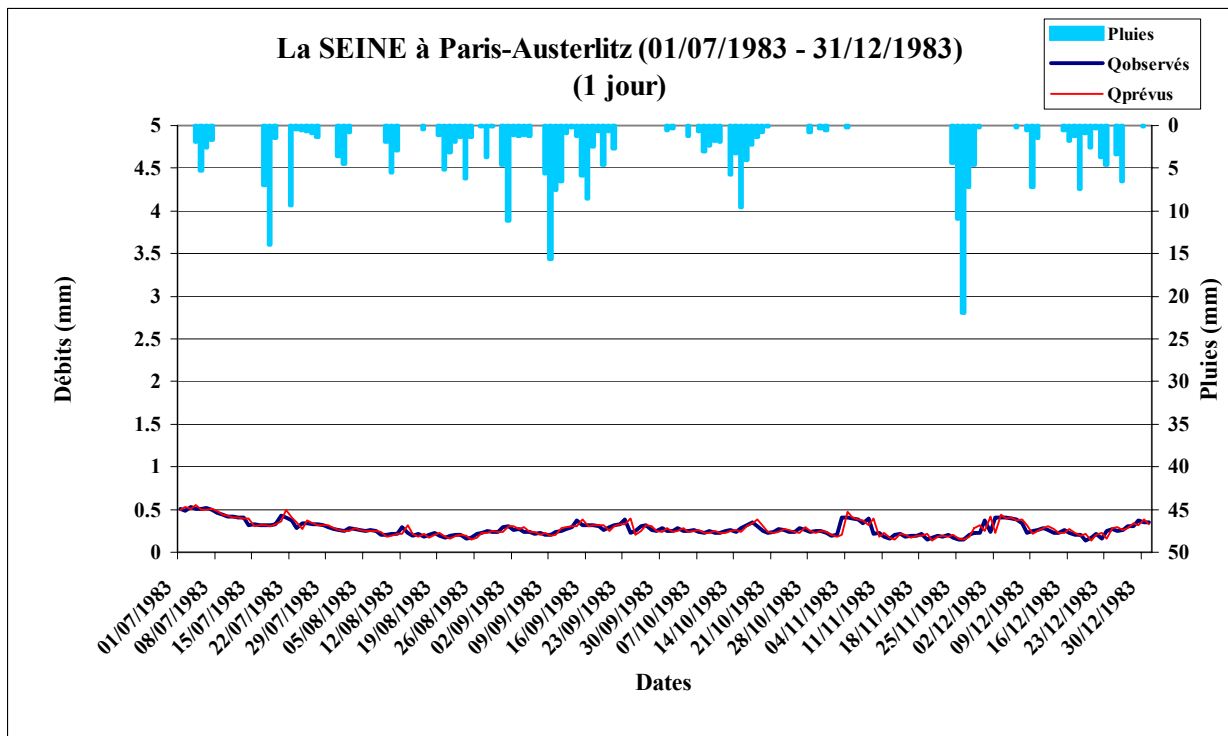
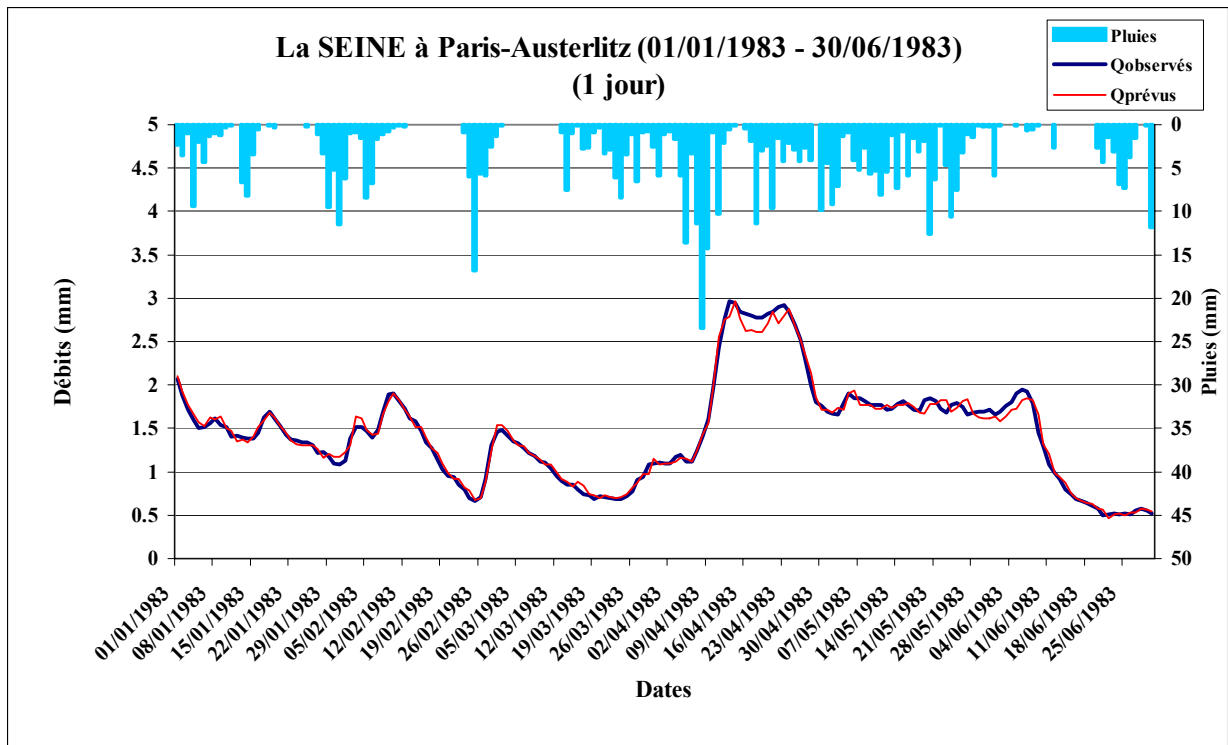
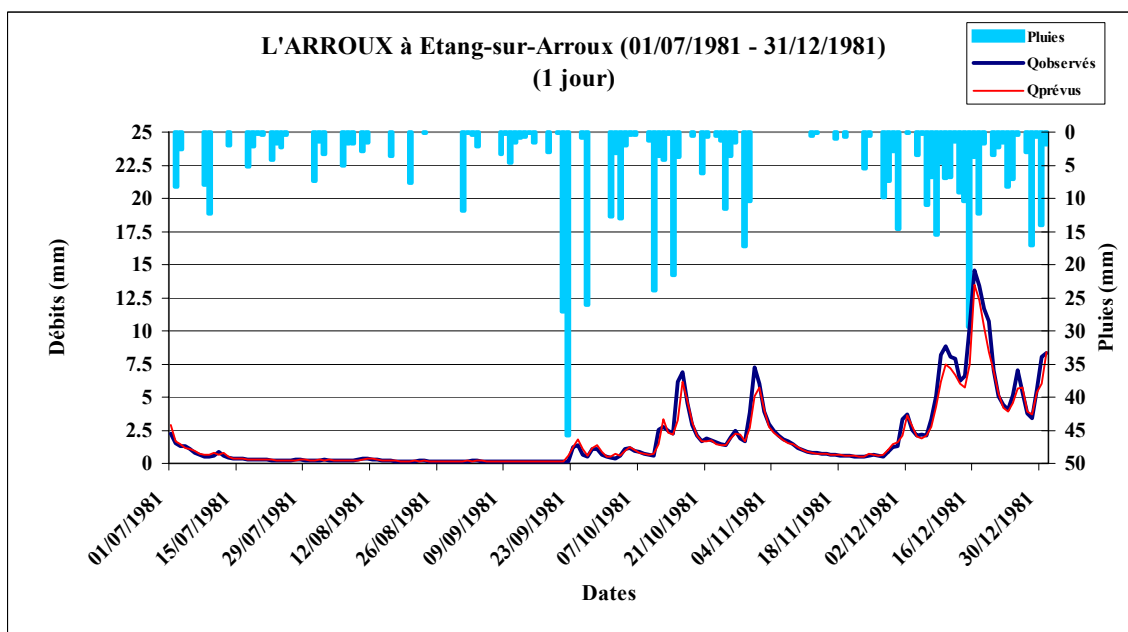
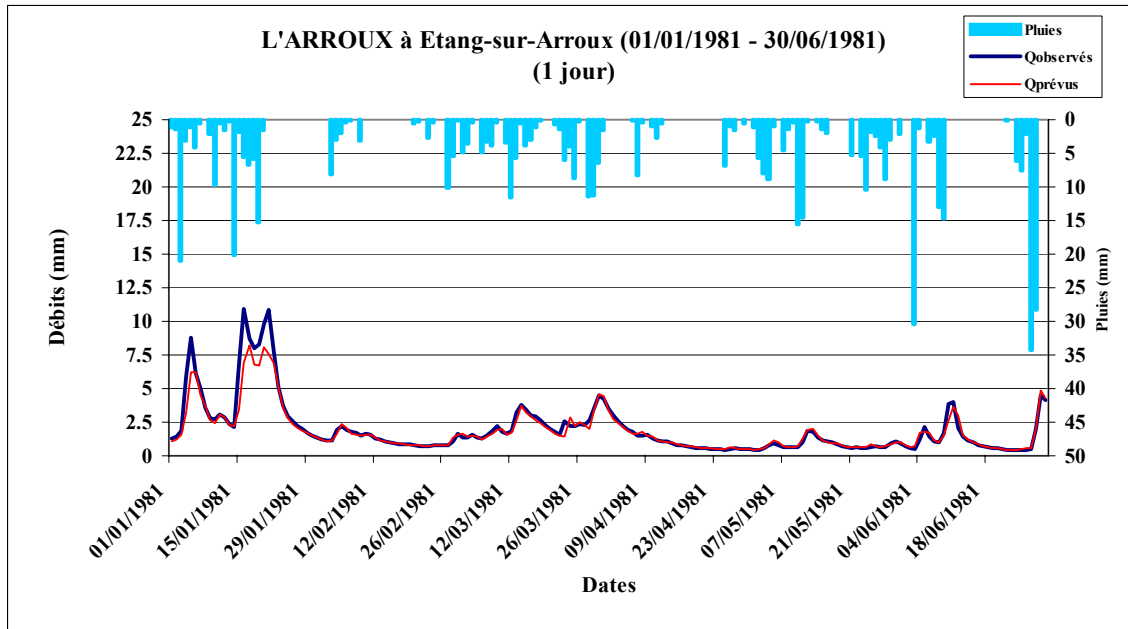


Figure A10.3 : L' ARROUX à Etang-sur-Arroux (1981 – 1982)

Code : K1321810, Superficie : 1798 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.481 mm, Débit journalier moyen = 1.204 mm,
 Persistance = 49.0, Paramètre1 = 4.78, Paramètre2 = 0.57, Paramètre3 = -6.16.



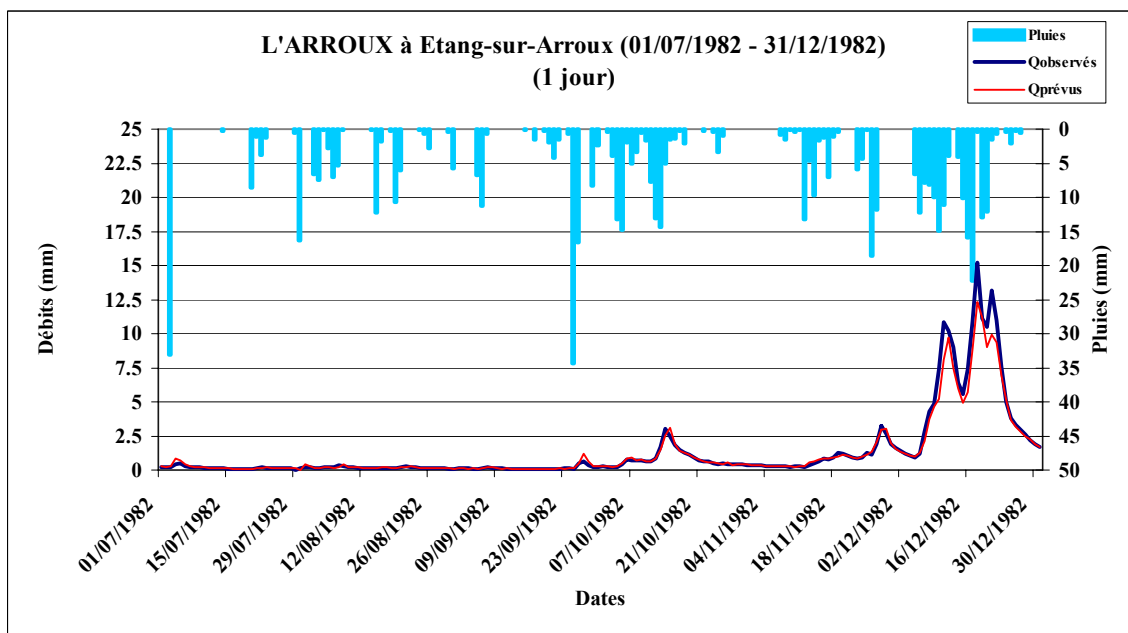
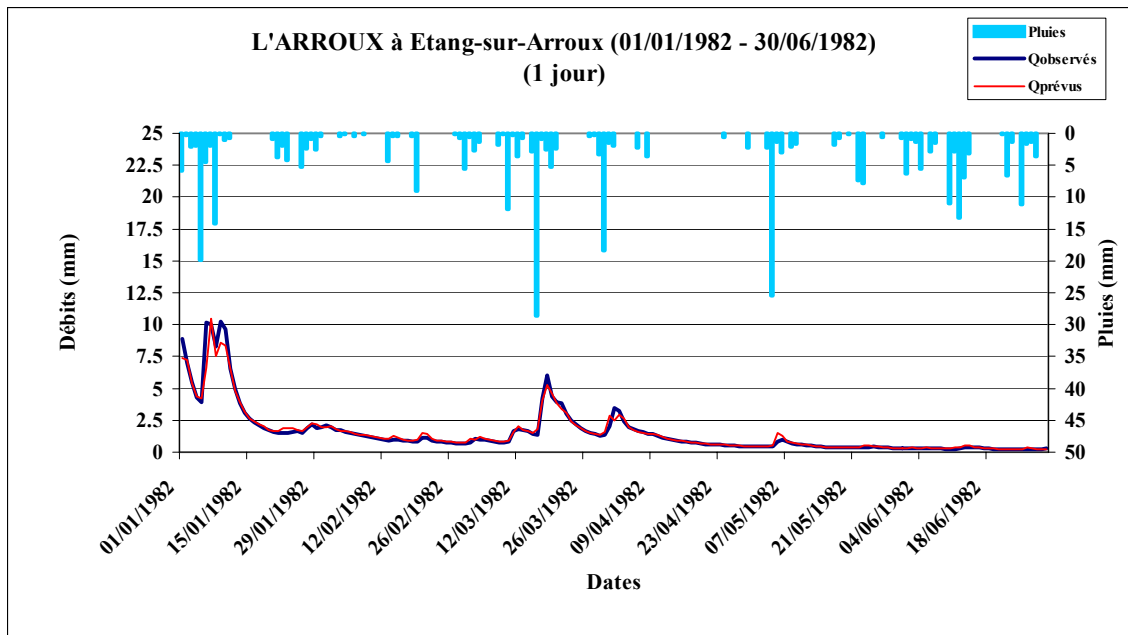
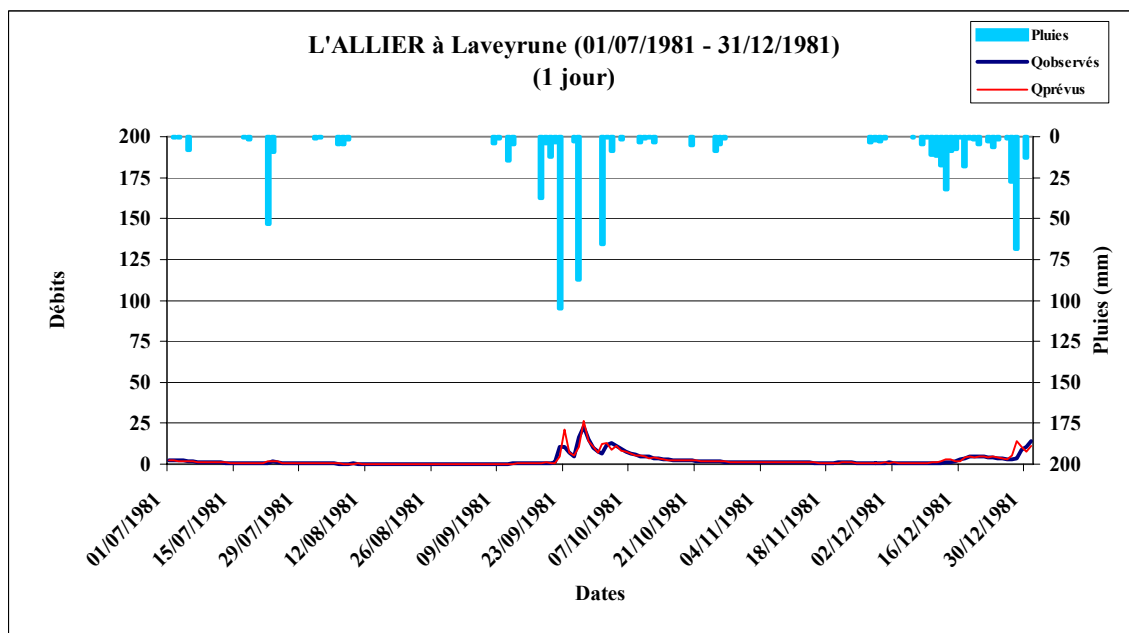
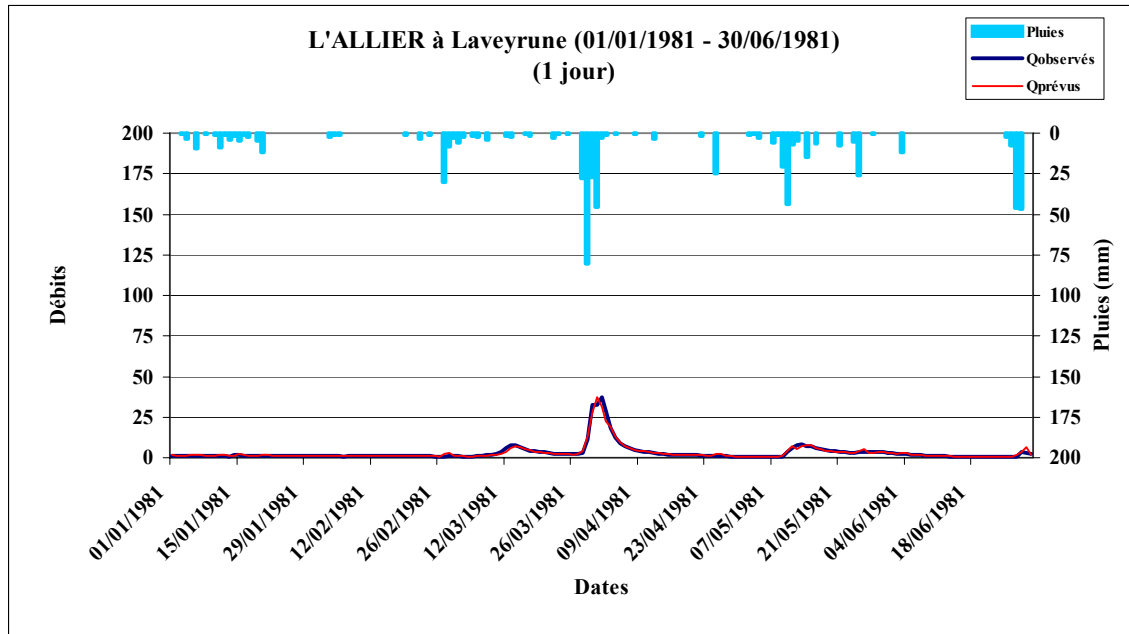
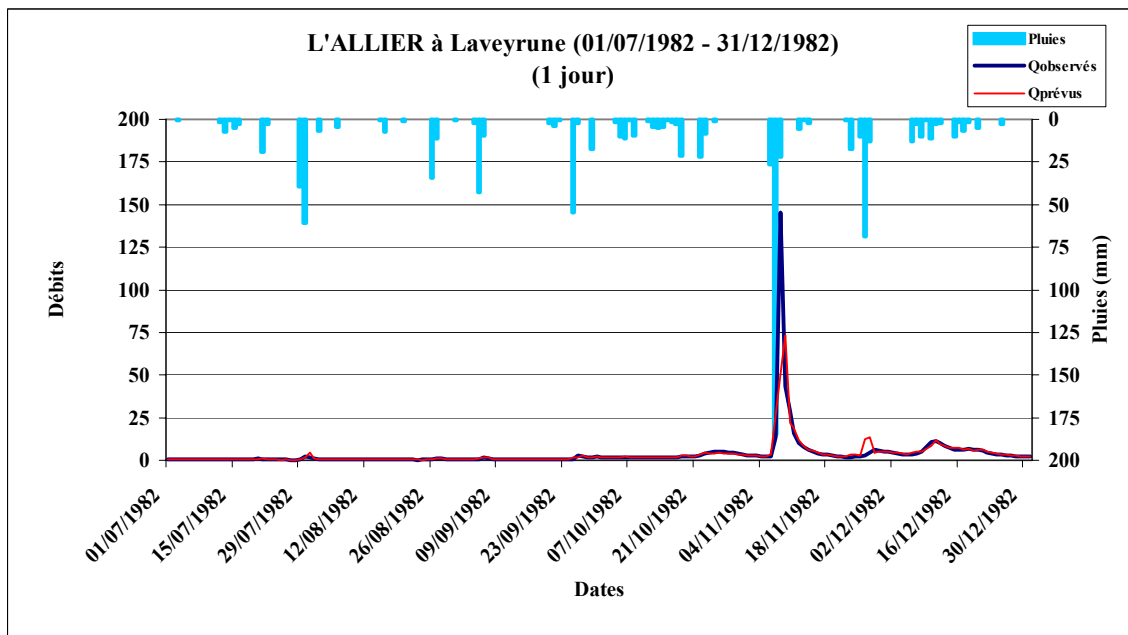
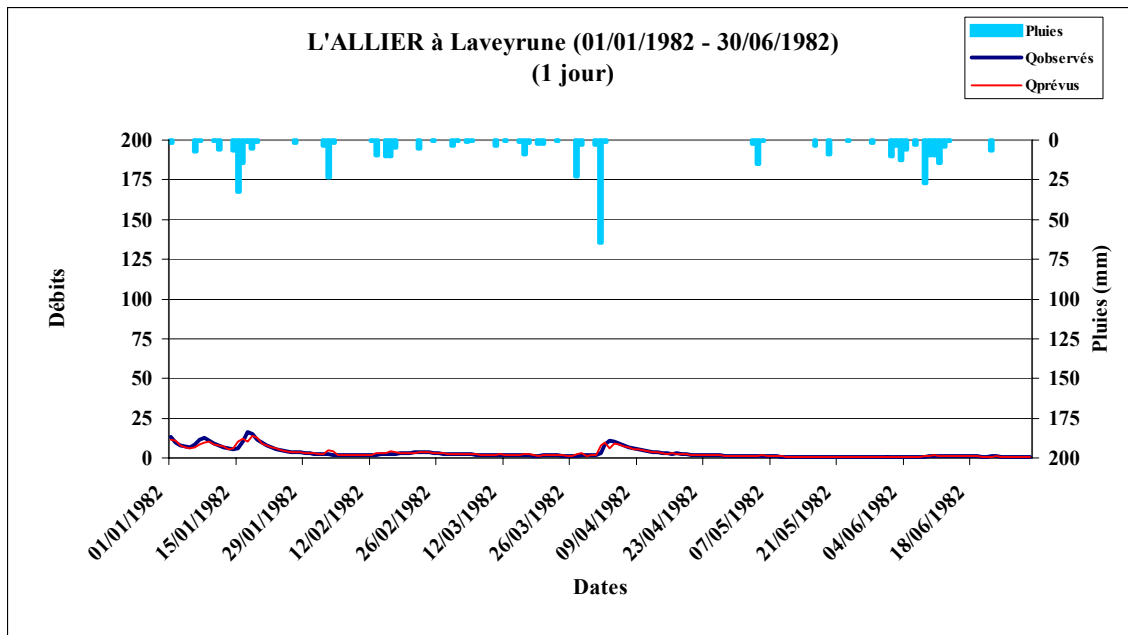


Figure A10.4 : L'ALLIER à Laveyrune (1981 – 1983)

Code du bassin : K2010810, Superficie : 48.8 km²,
 Pluie journalière moyenne = 3.562 mm, Débit journalier moyen = 2.889 mm,
 Persistance = 38.5, Paramètre1 = 5.10, Paramètre2 = 0.37, Paramètre3 = -6.44.





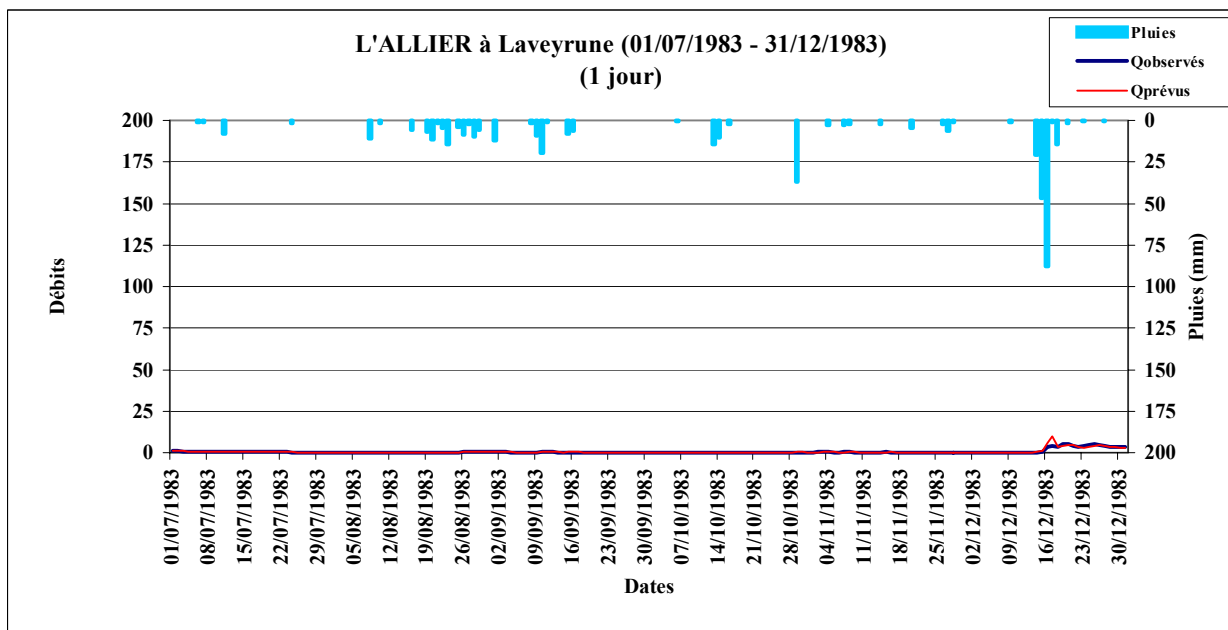
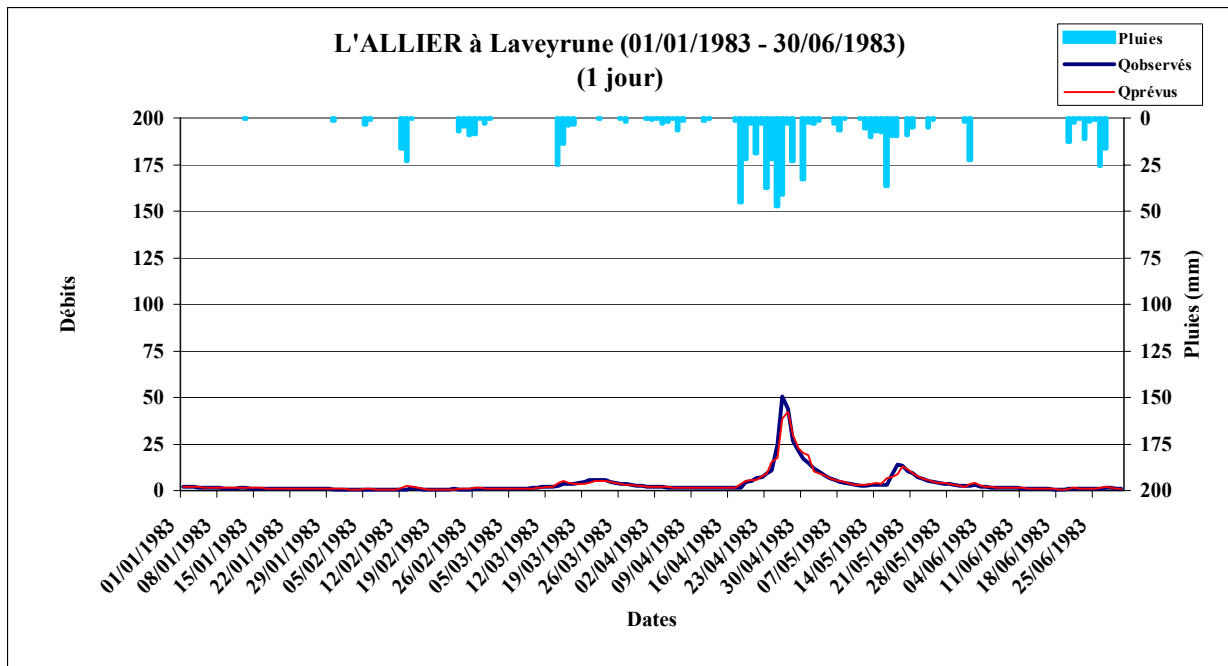
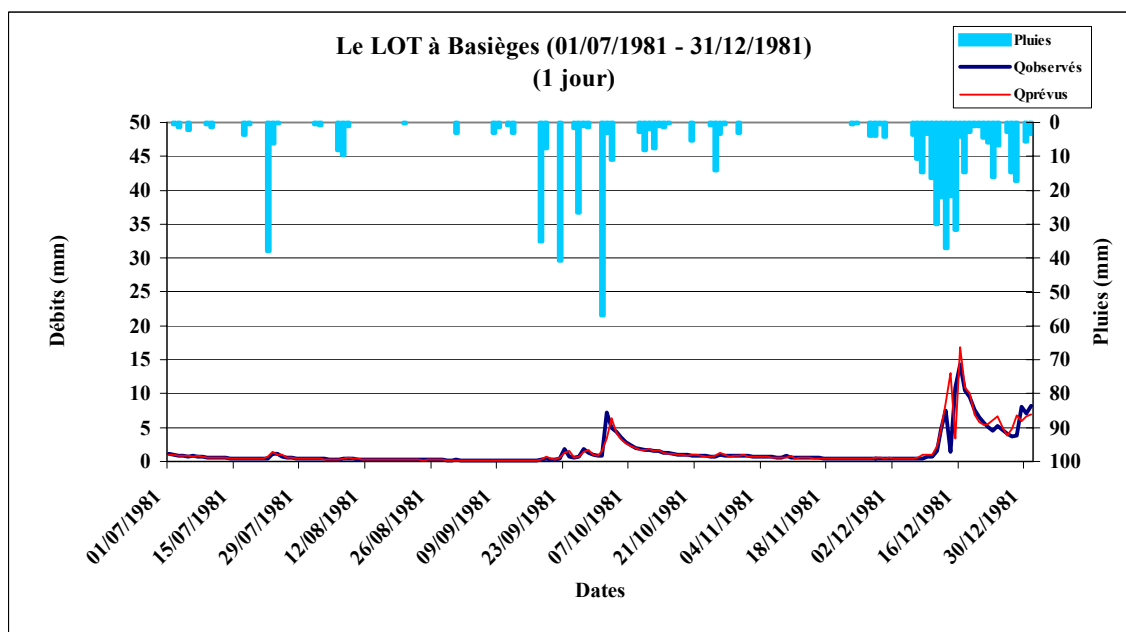
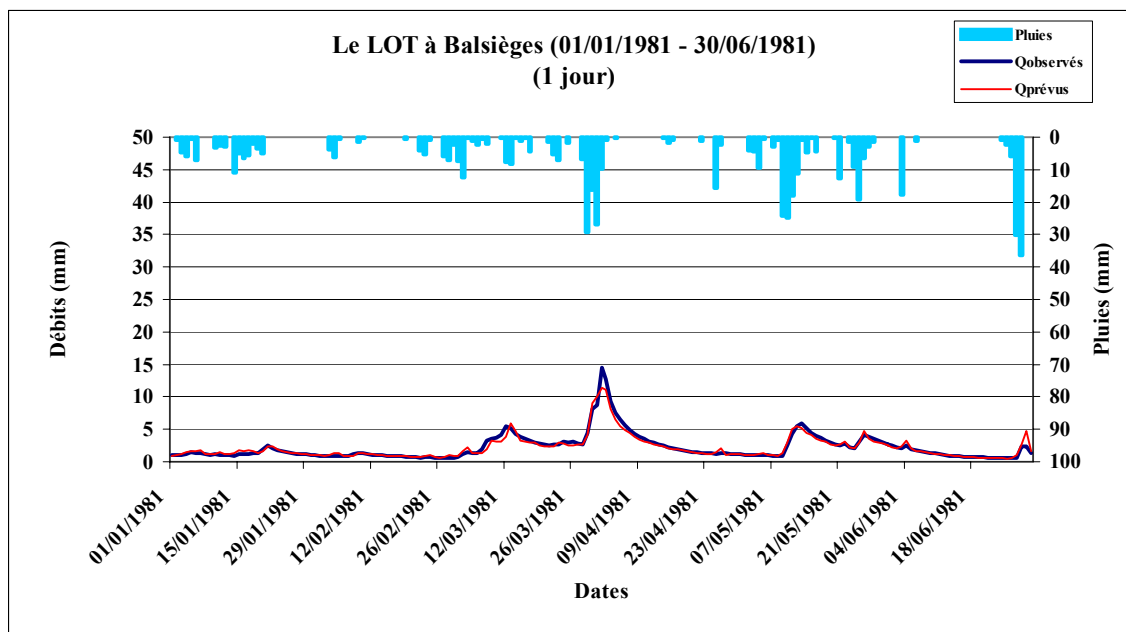
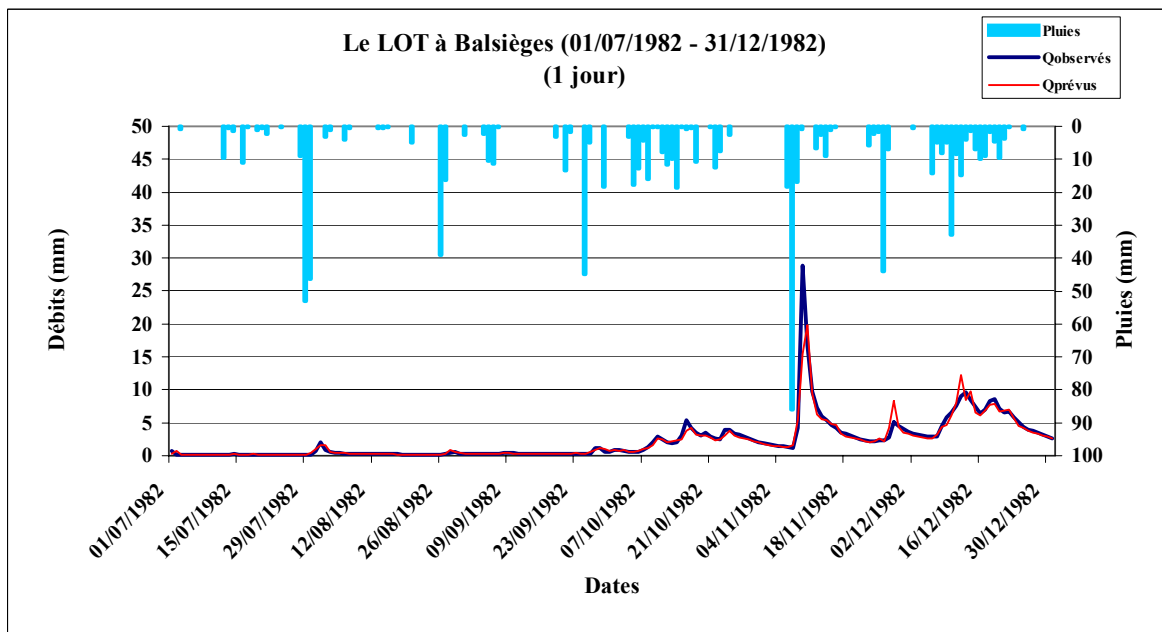
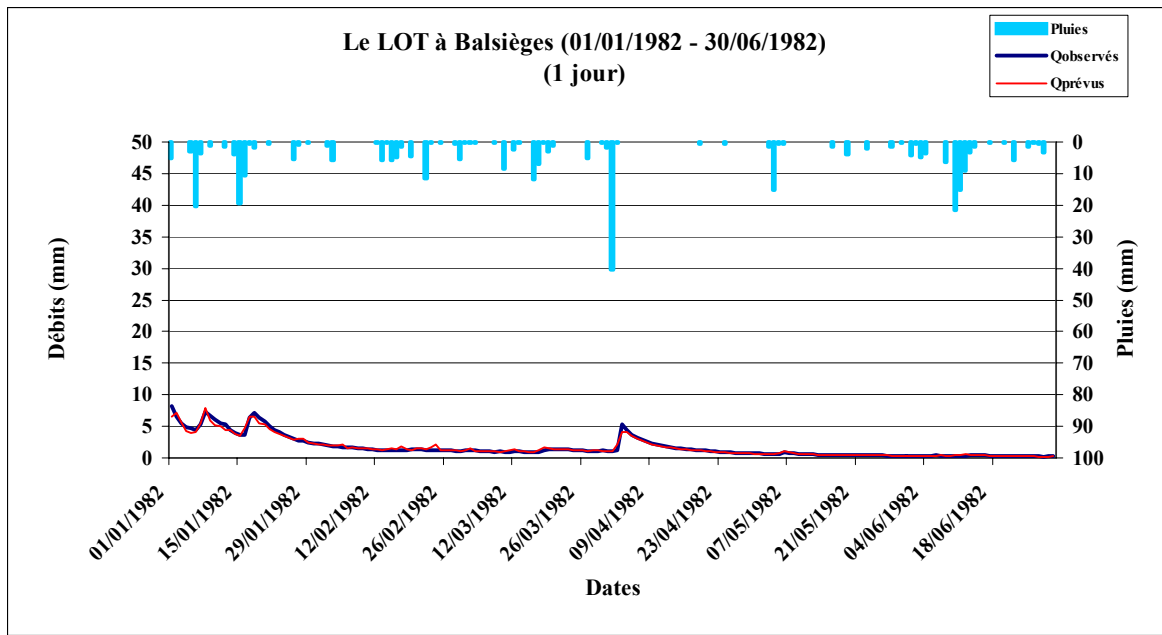


Figure A10.5 : Le LOT à Balsièges (1981 – 1983)

Code du bassin : O7041510, Superficie : 465 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.842 mm, Débit journalier moyen = 1.592 mm,
 Persistance = 40.5, Paramètre1 = 5.29, Paramètre2 = 0.51, Paramètre3 = -7.80.





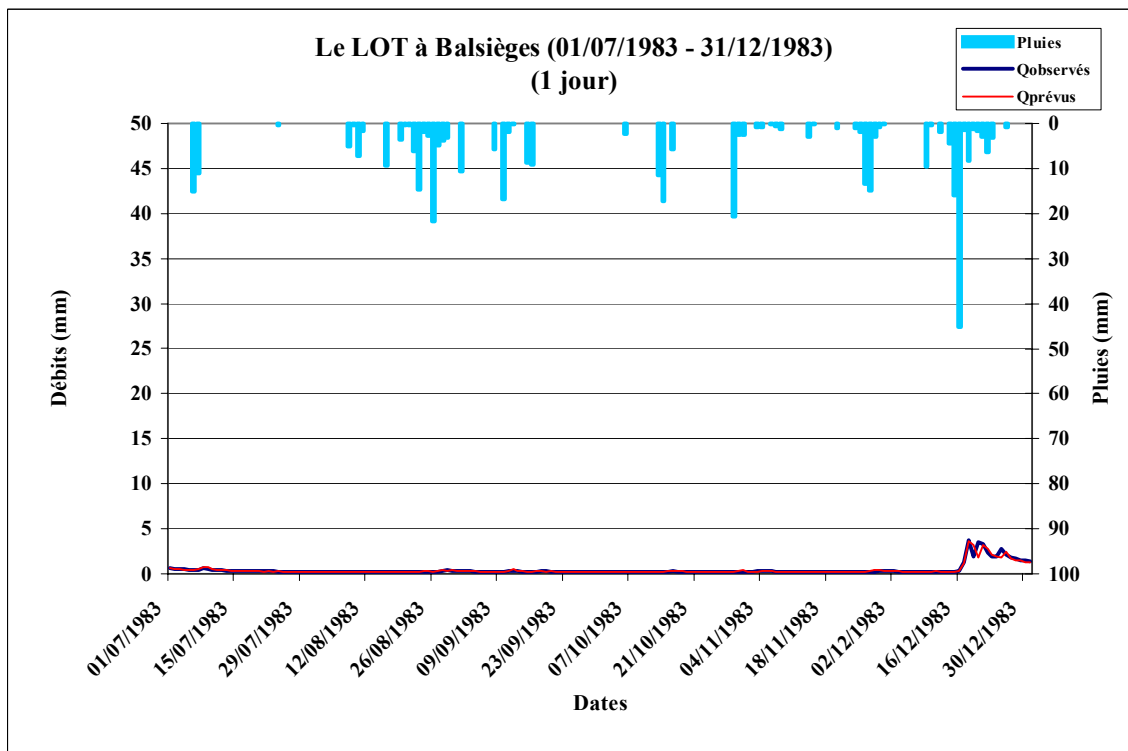
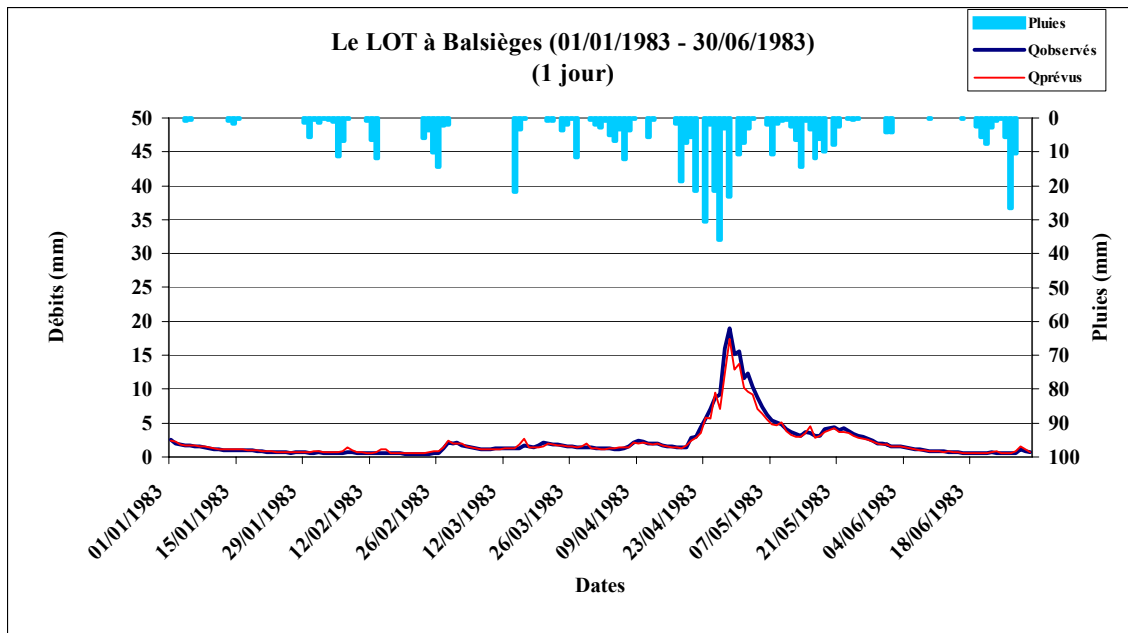
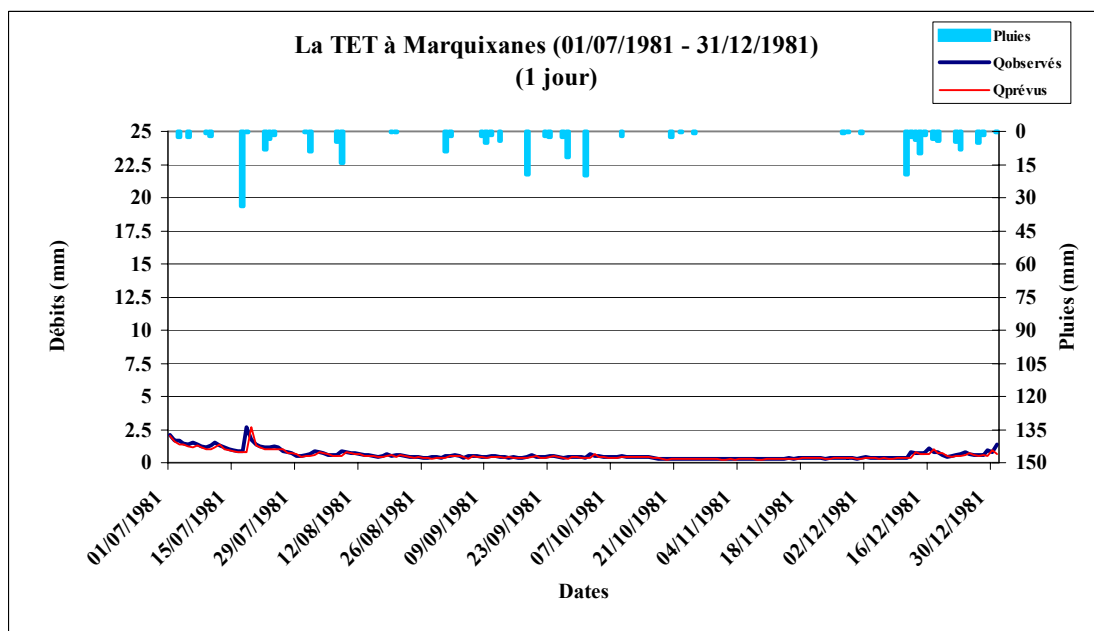
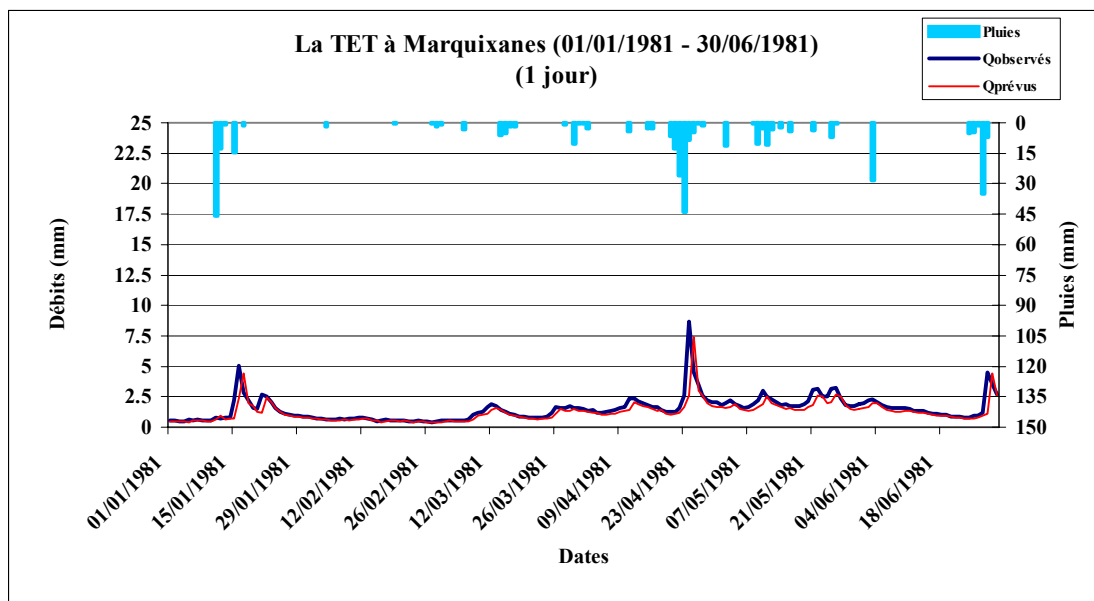
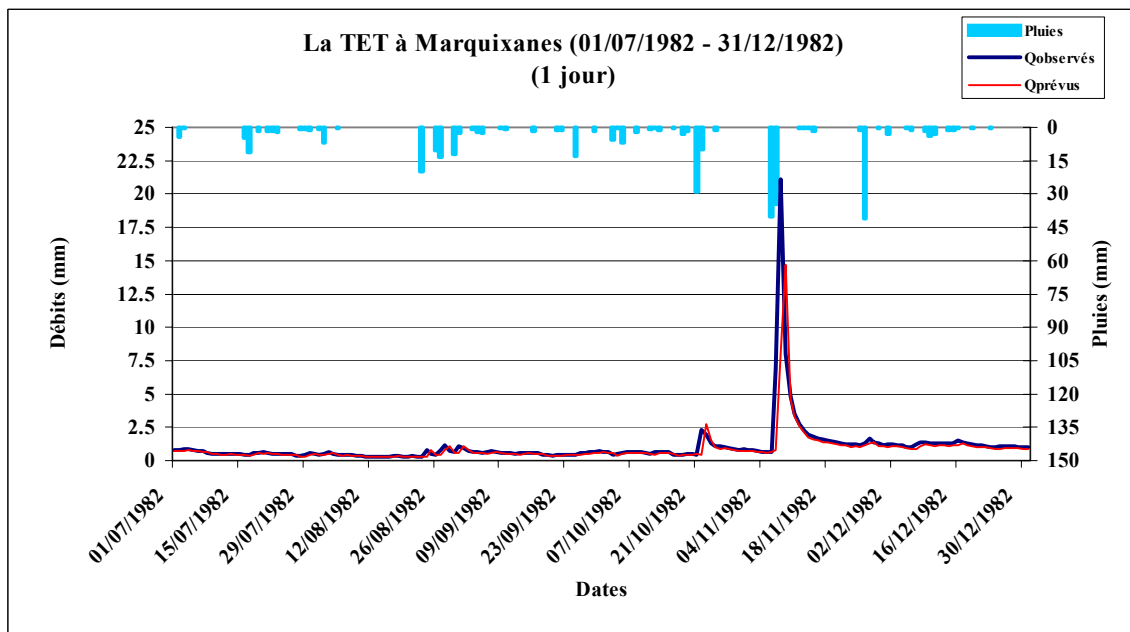
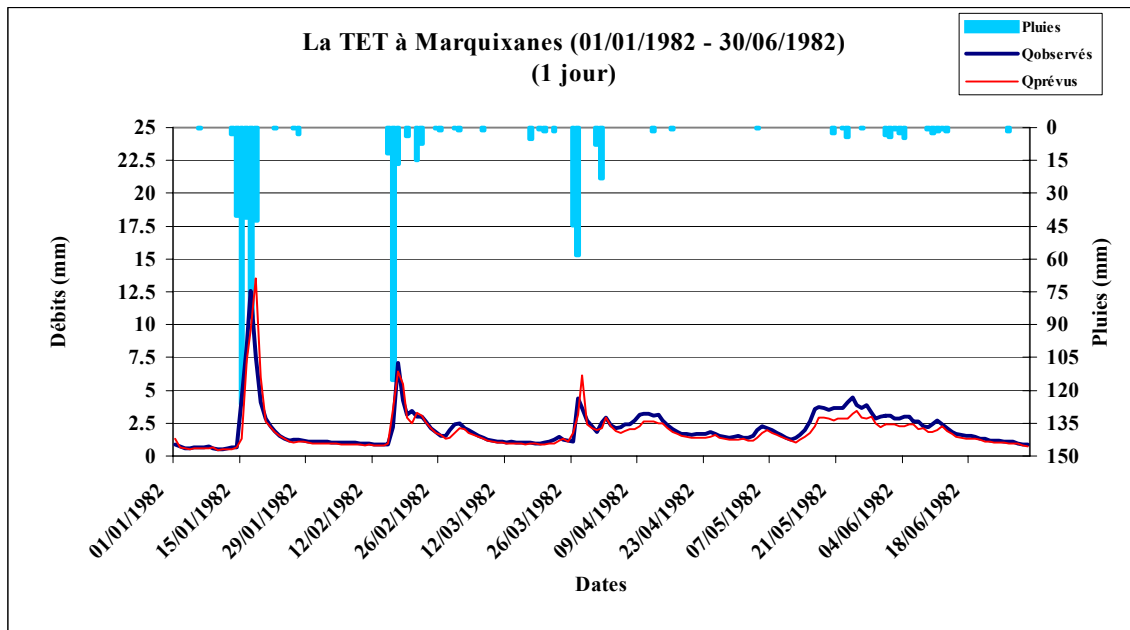


Figure A10.6 : La TÊT à Marquixanes (1981 – 1983)

Code du bassin : Y0444010, Superficie : 834 km²,
 Pluie journalière moyenne = 1.877 mm, Débit journalier moyen = 0.853 mm,
 Persistance = 12.2, Paramètre1 = 5.89, Paramètre2 = -0.19, Paramètre3 = -8.49.





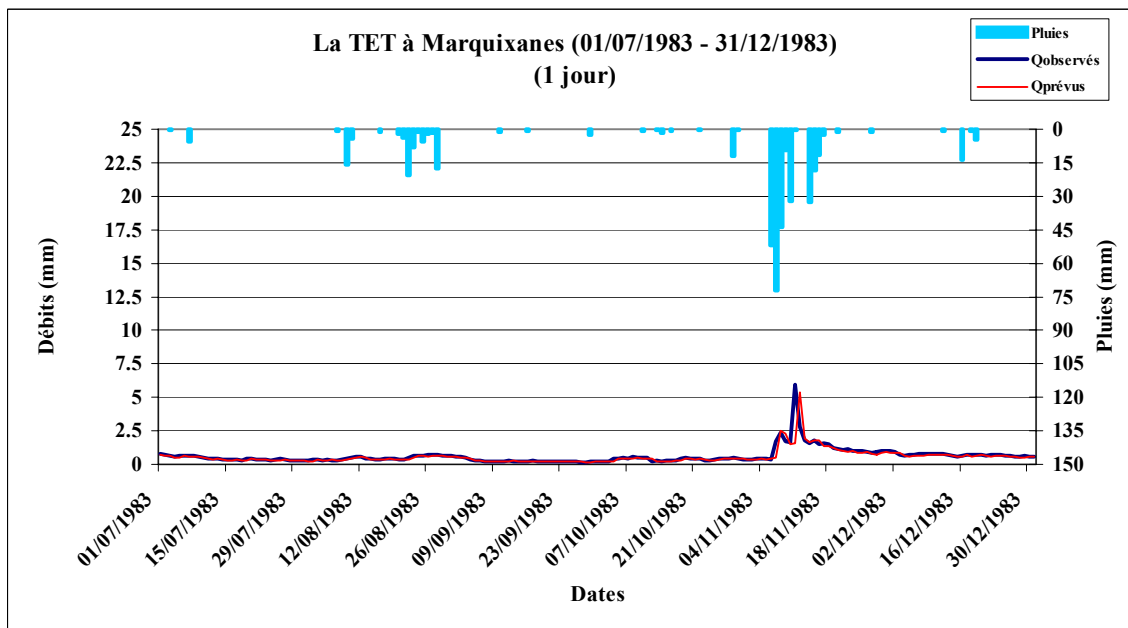
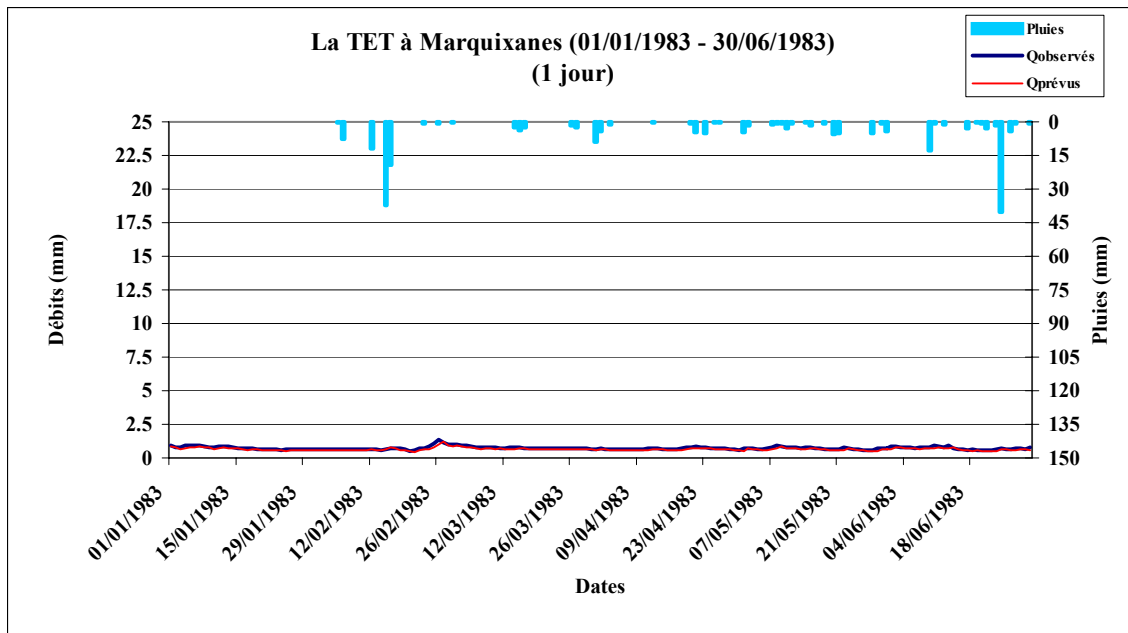
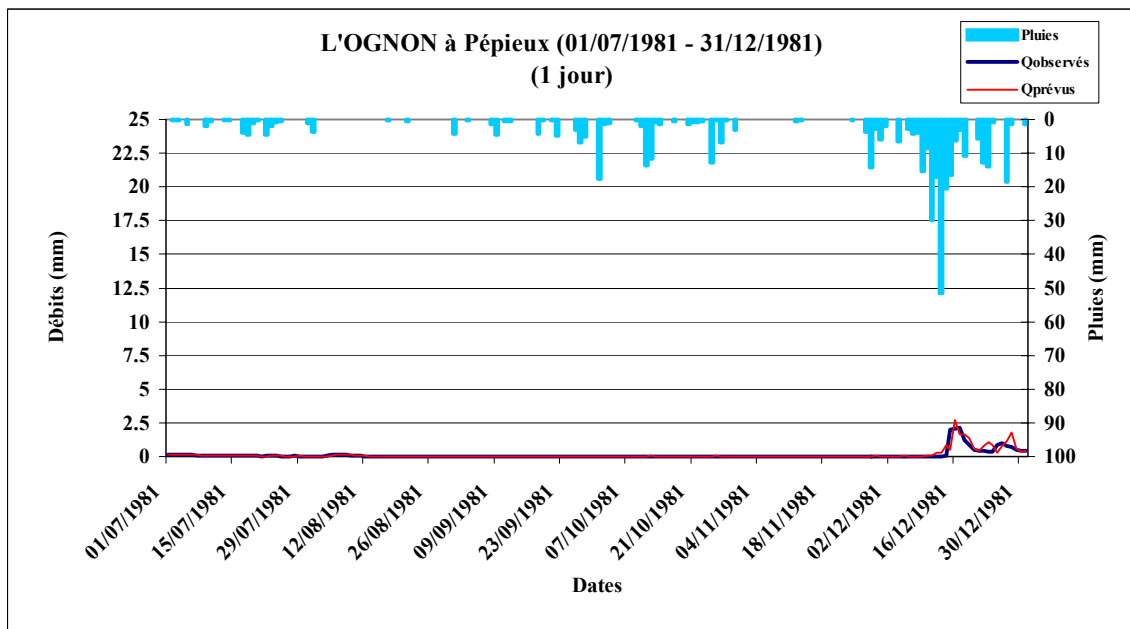
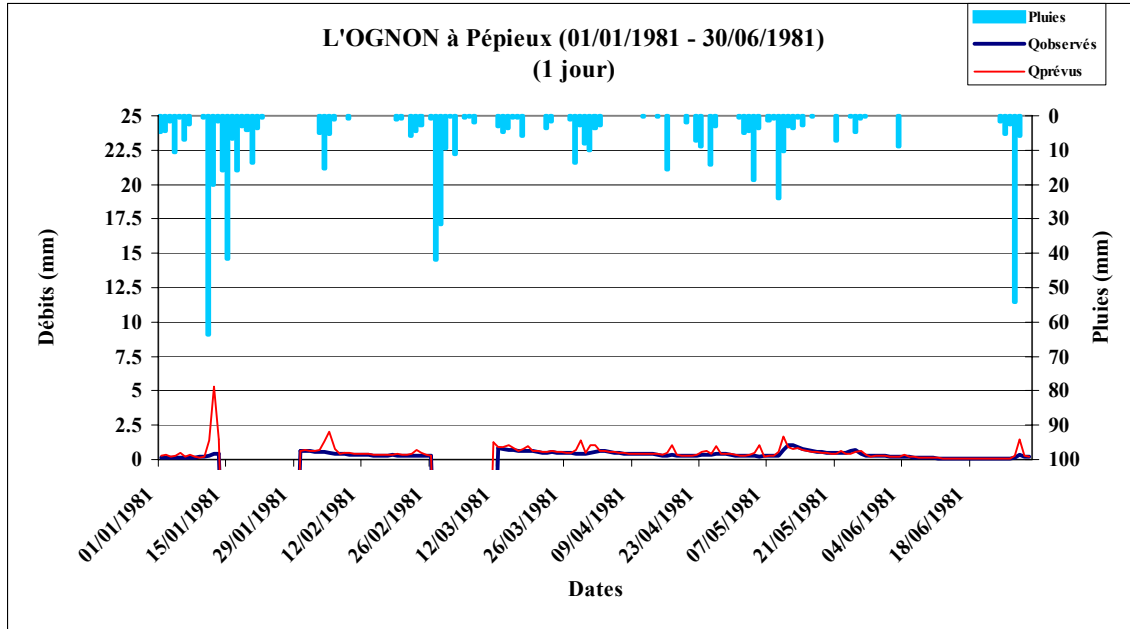
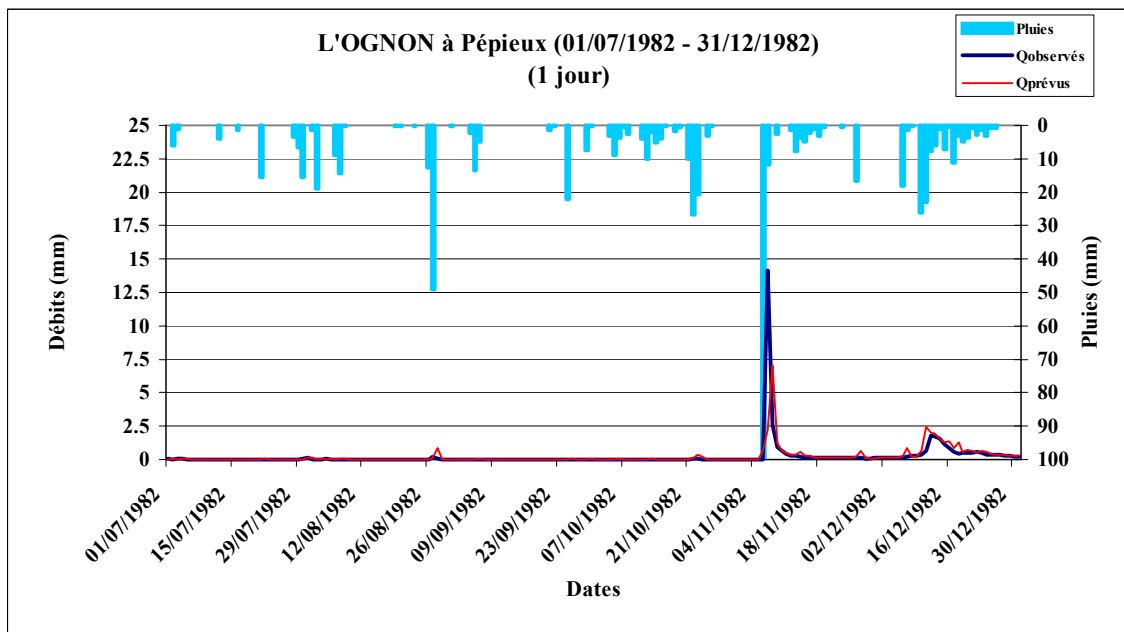
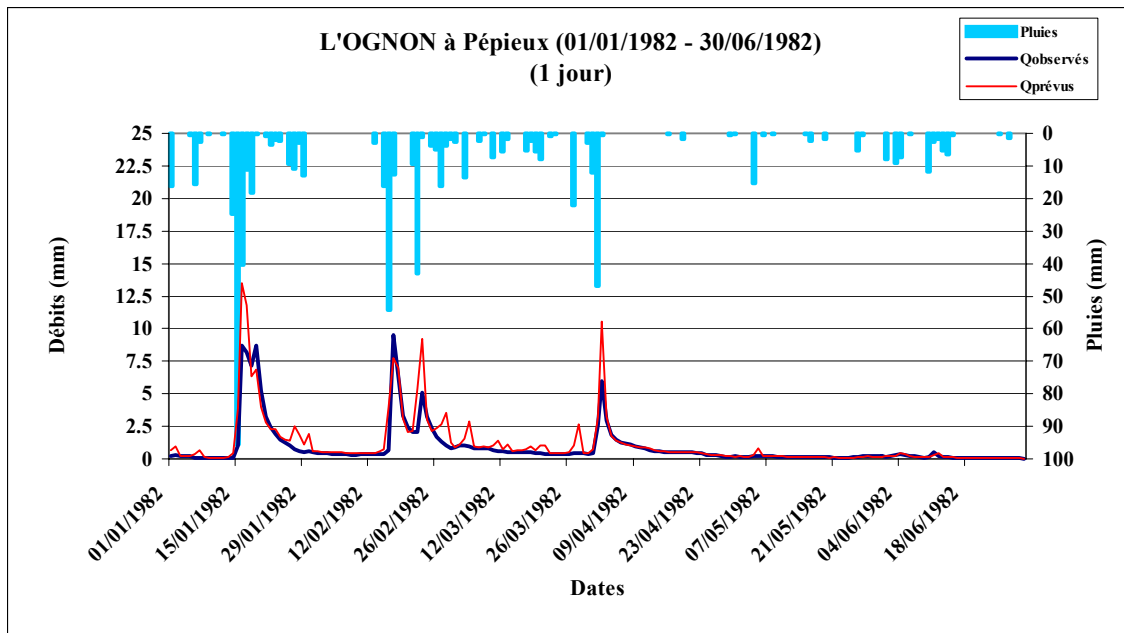
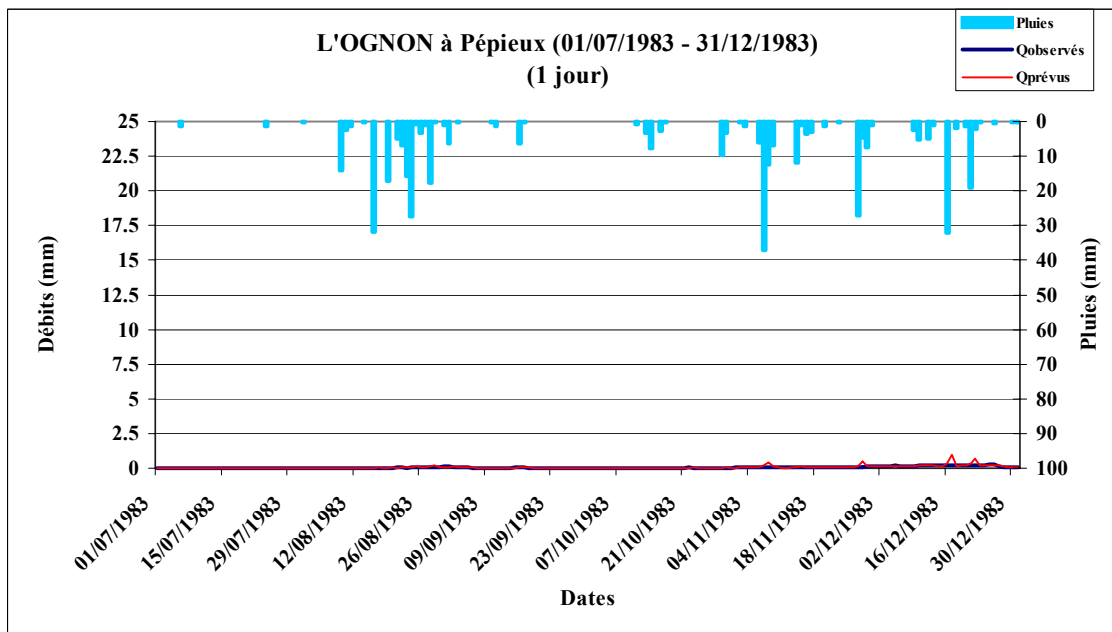
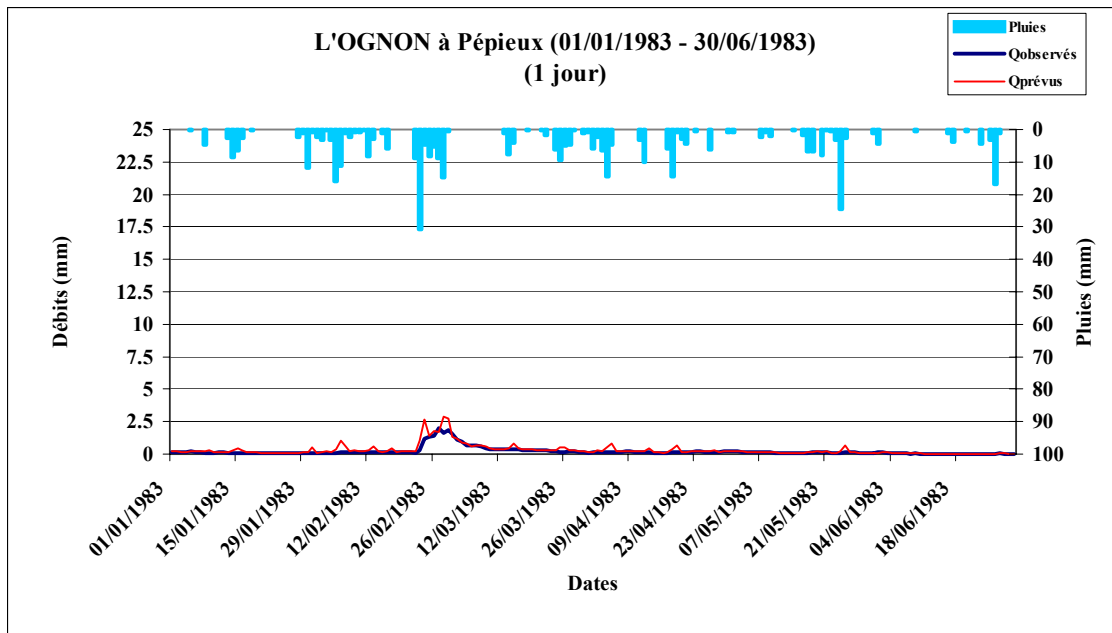


Figure A10.7 : L' OGNON à Pépieux (1981 – 1983)

Code du bassin : Y1445010, Superficie : 47.1 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.604 mm, Débit journalier moyen = 0.356 mm,
 Persistance = 26.2, Paramètre1 = 3.25, Paramètre2 = -0.39, Paramètre3 = -7.09.



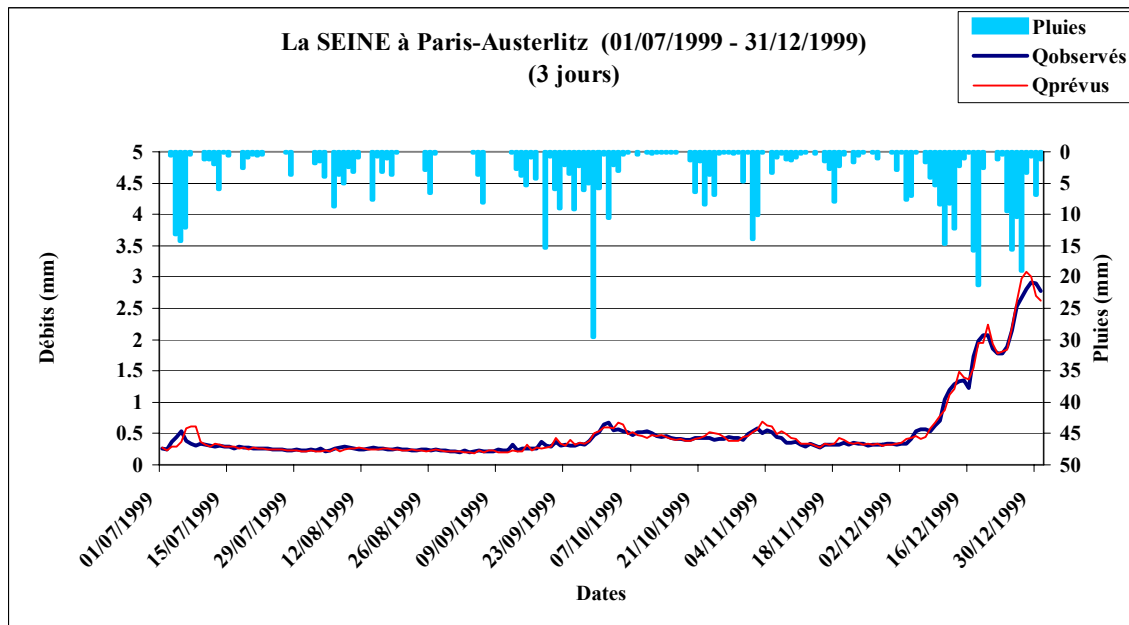
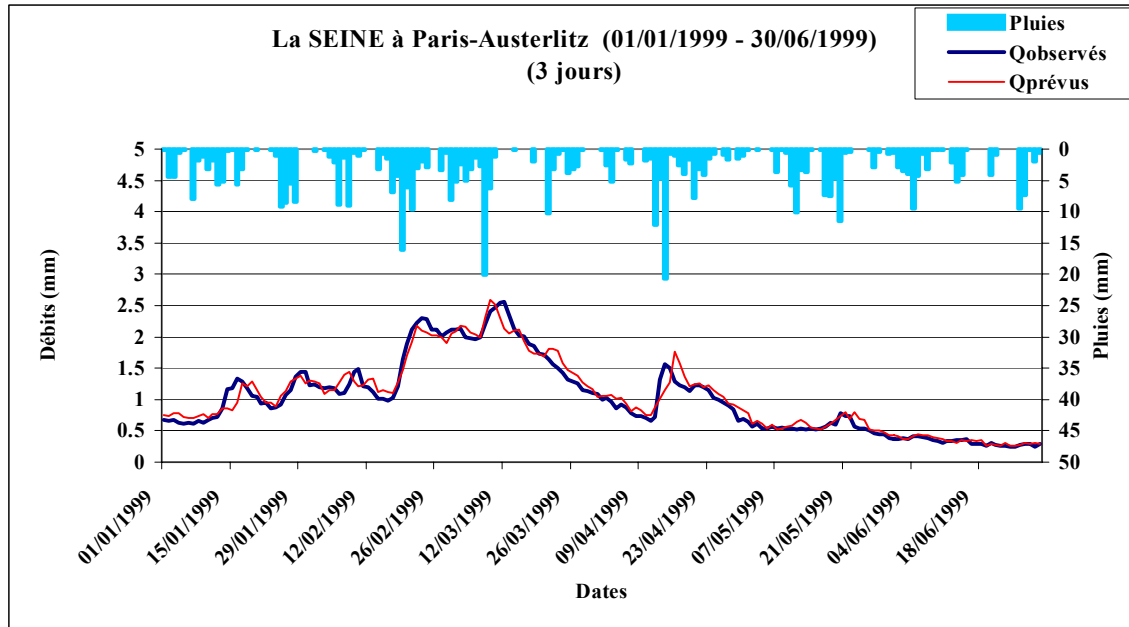


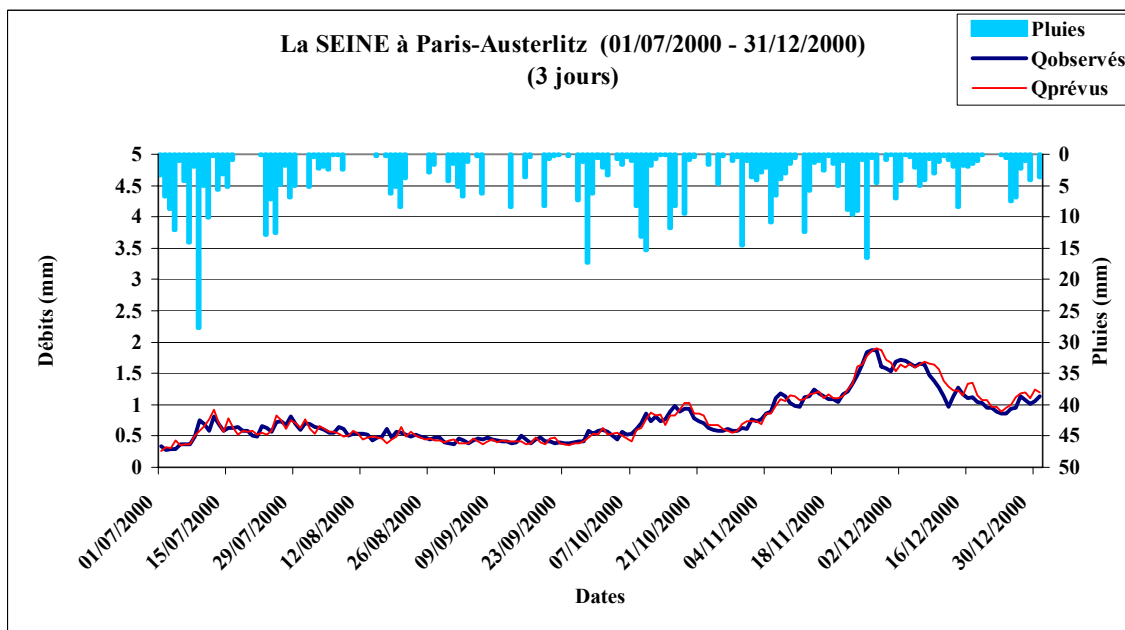
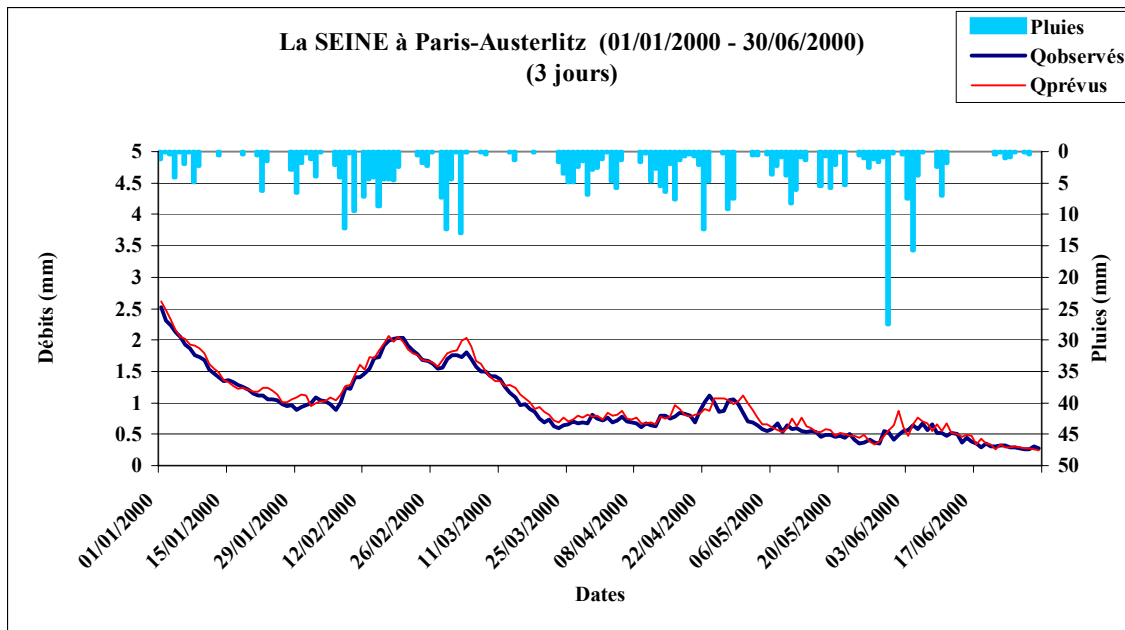


A10.2 Prévision à TROIS JOURS avec le Modèle GRP (3 Paramètres)

Figure A10.8 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1999 – 2001)

Code bassin : H5920010, Superficie : 43800 km²,
Pluie journalière moyenne = 2.304 mm, Débit journalier moyen = 0.638 mm,
Persistence = -8.0, Paramètre1 = 6.53, Paramètre2 = -0.06, Paramètre3 = -3.01





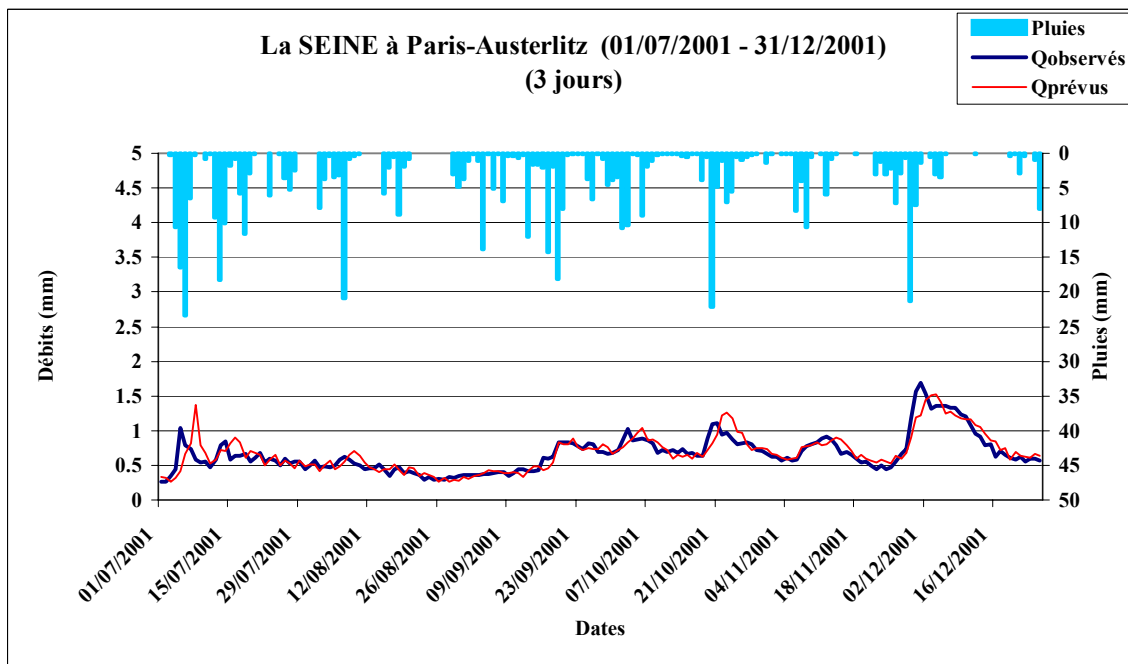
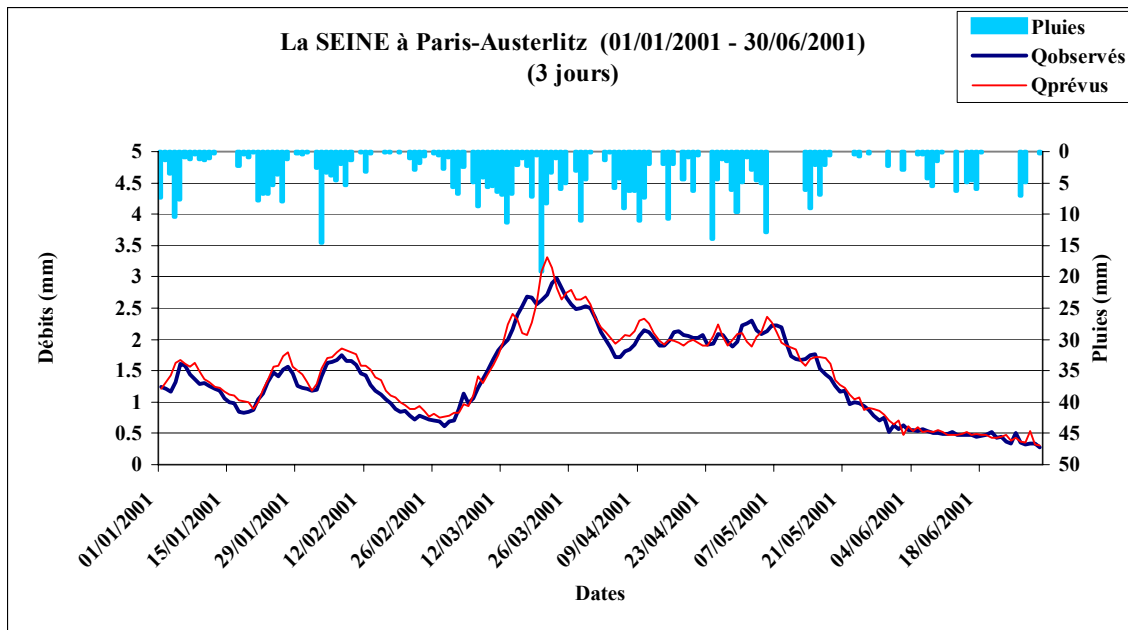
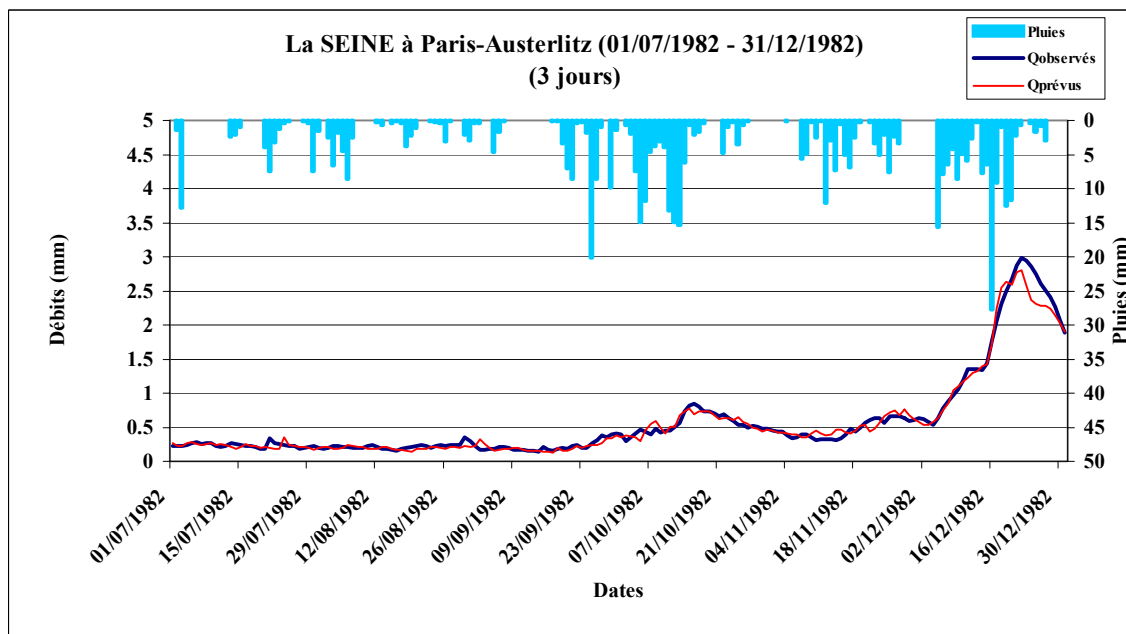
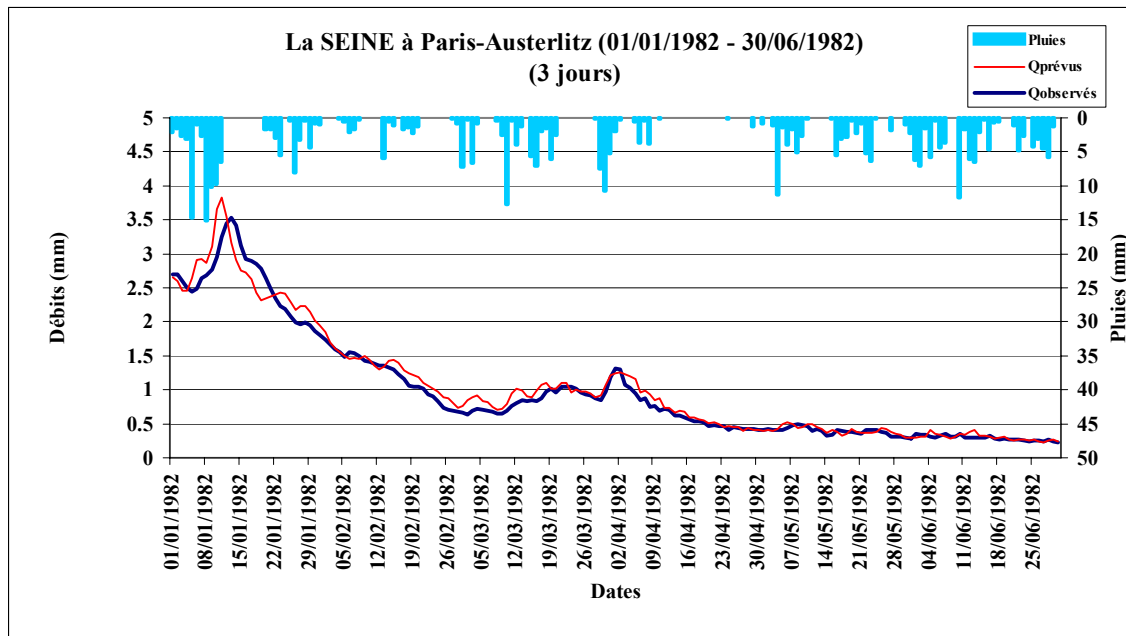


Figure A10.9 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1982 – 1983)

Code bassin : H5920010, Superficie : 43800 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.381 mm, Débit journalier moyen = 0.715 m³/s,
 Persistence = -11.5, Paramètre1 = 6.64, Paramètre2 = -0.02, Paramètre3 = -3.41.



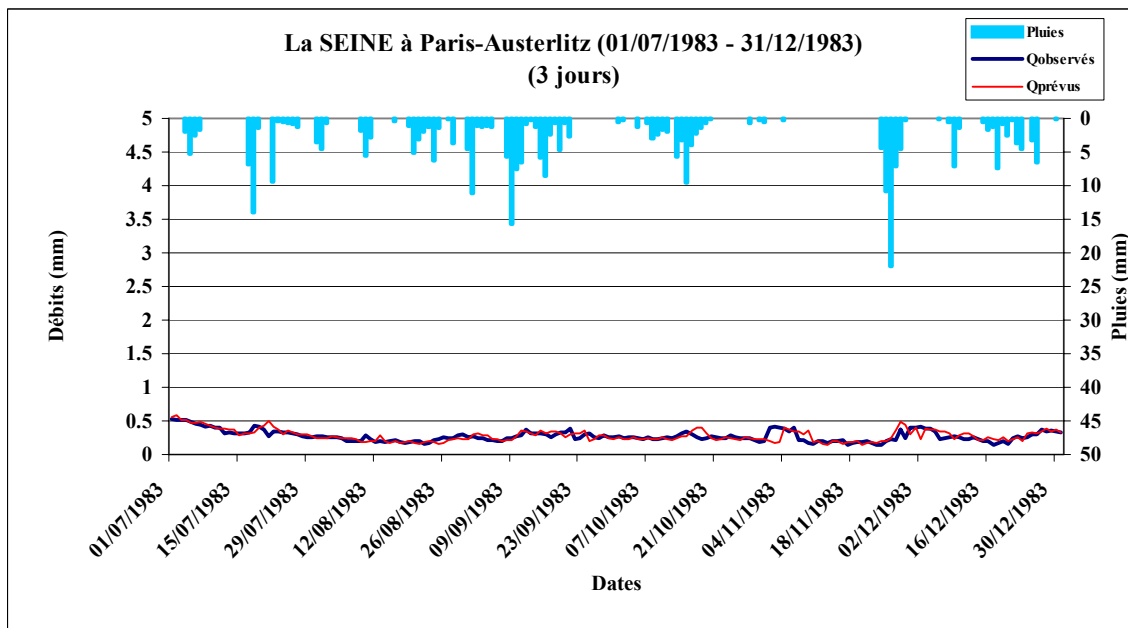
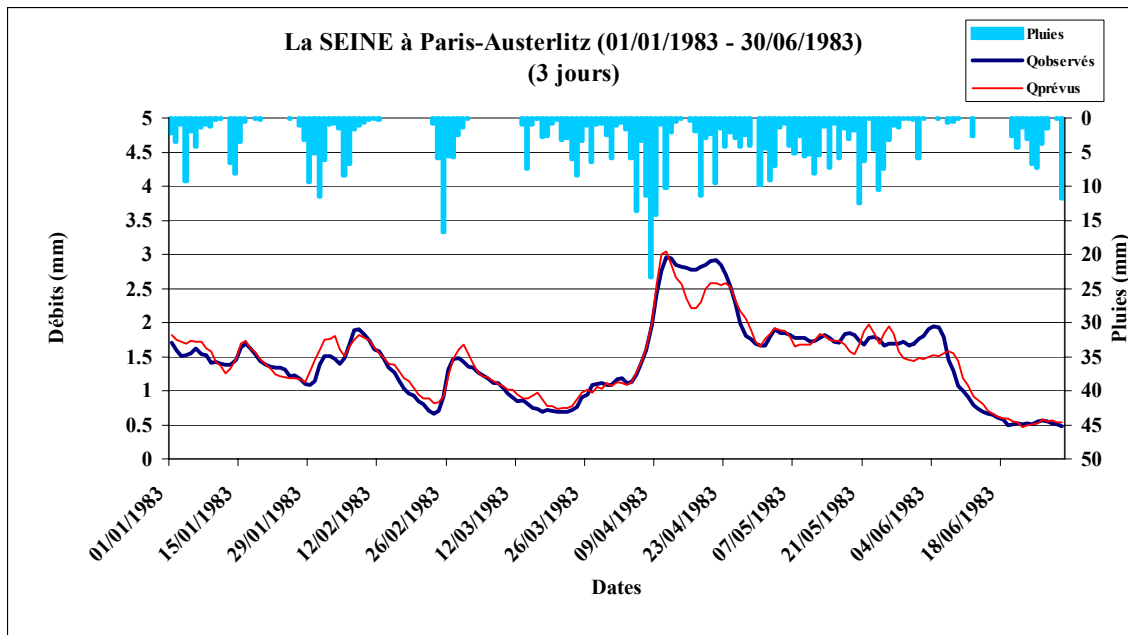
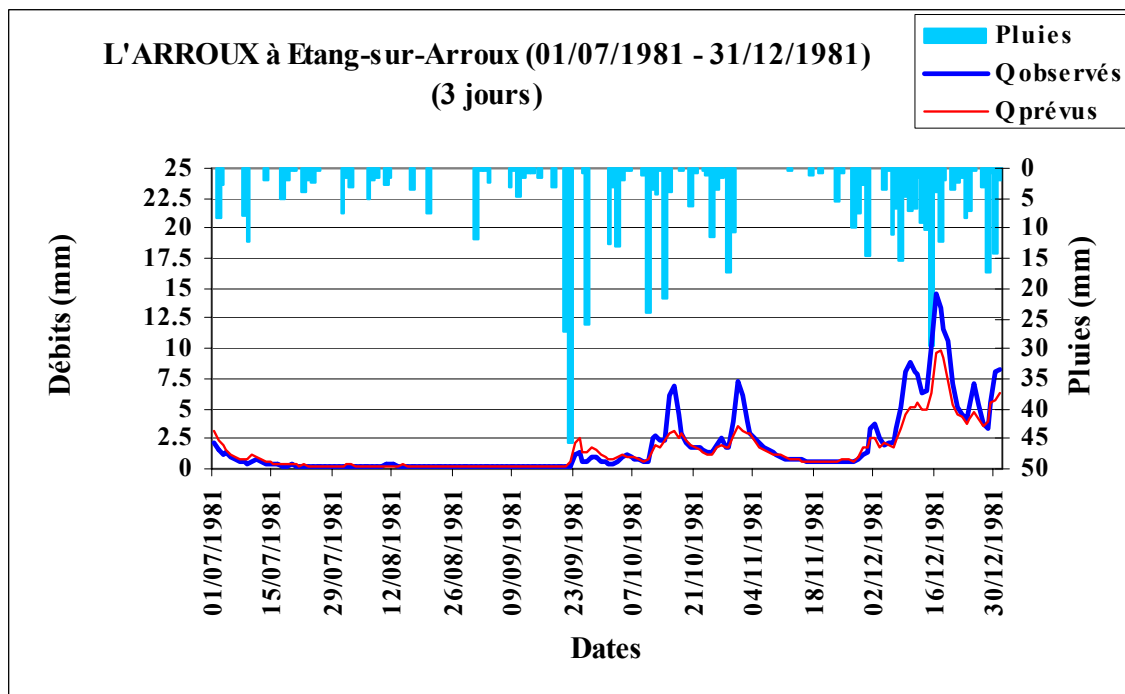
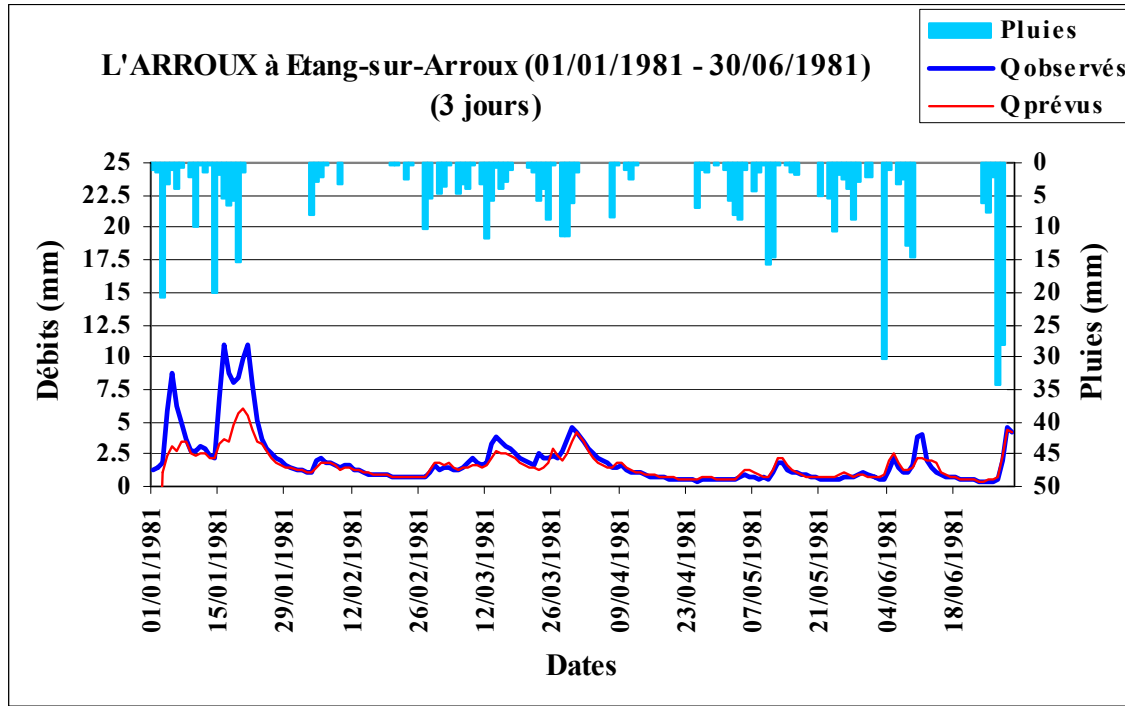


Figure 10.10 : L'ARROUX à Etang/Arroux (1981 – 1982)

Code : K1321810, Superficie : 1798 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.481 mm, Débit journalier moyen = 1.204 mm,
 Persistance = 7.6, Paramètre1 = 4.86, Paramètre2 = 0.52, Paramètre3 = -6.29



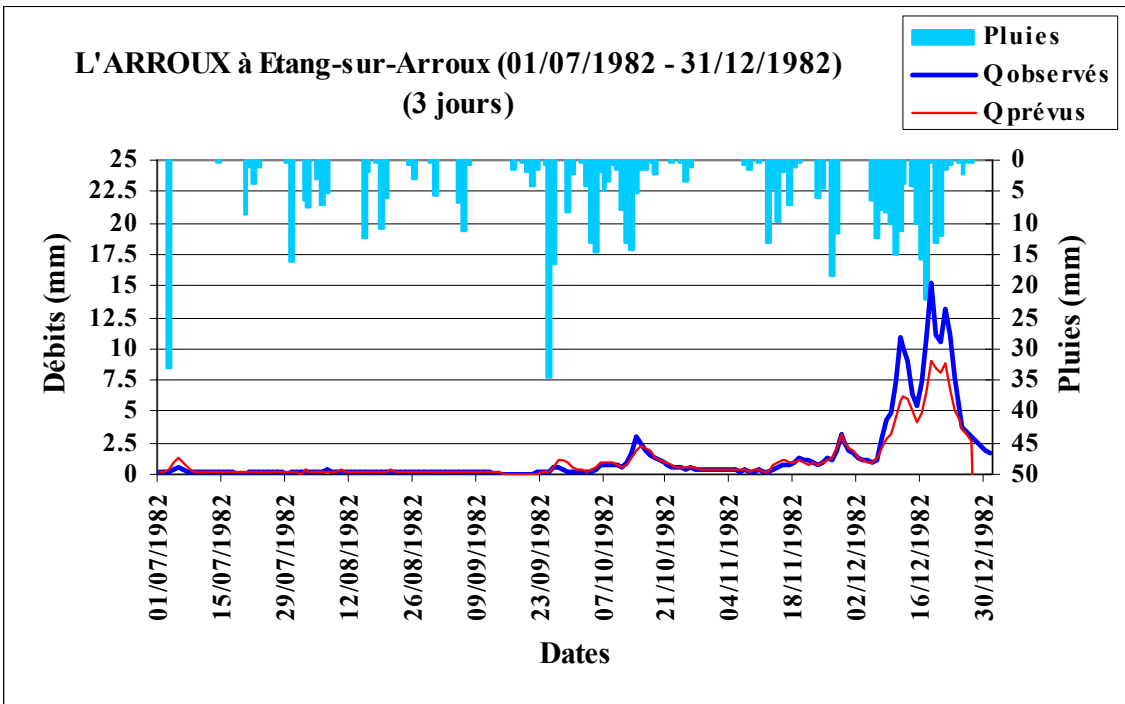
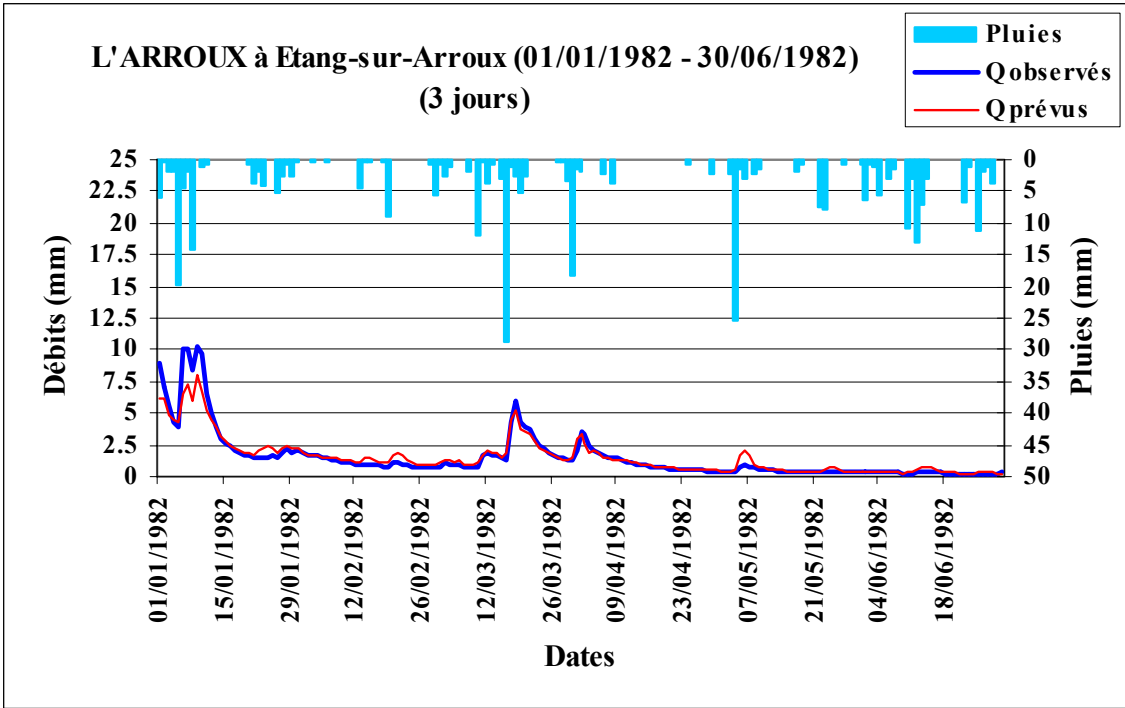
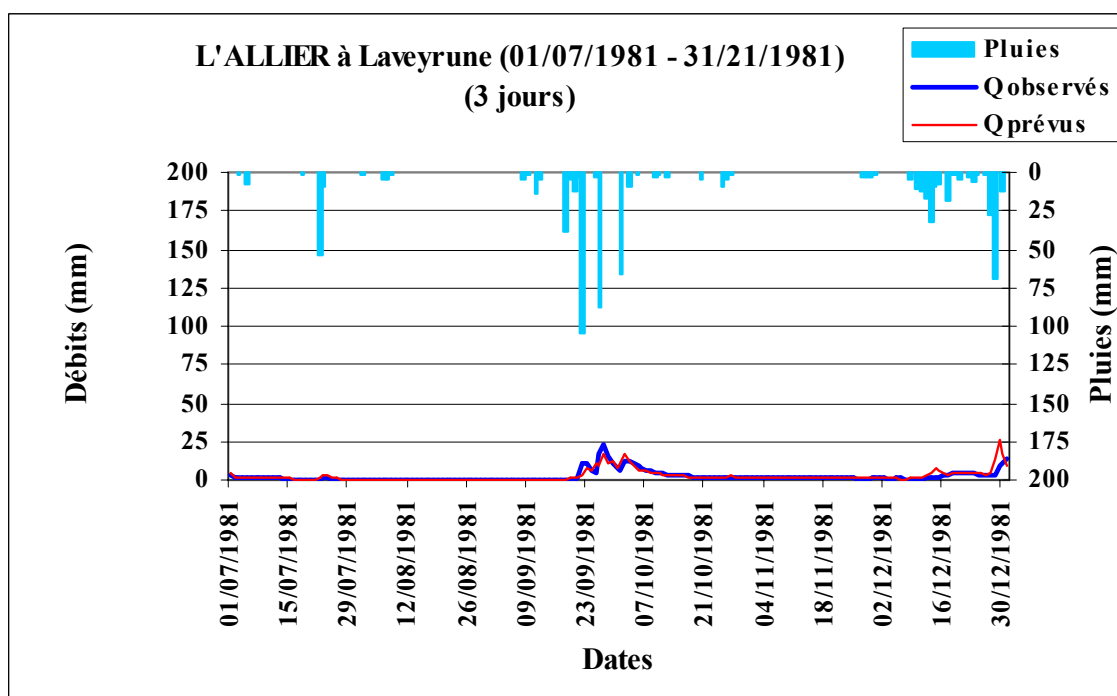
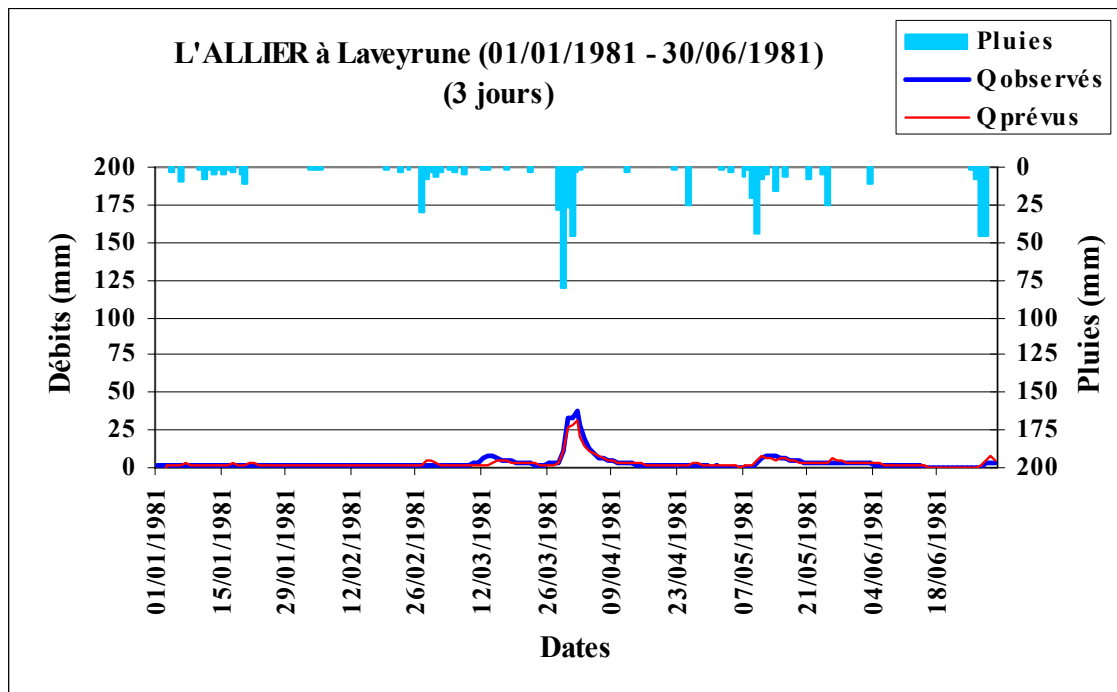
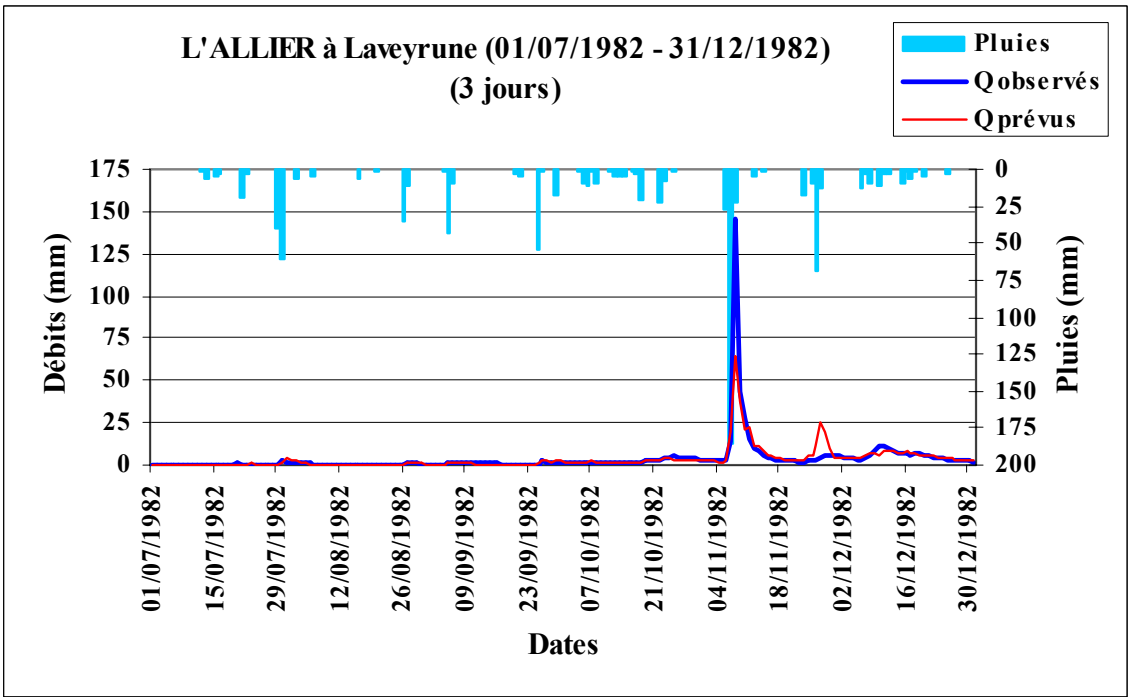
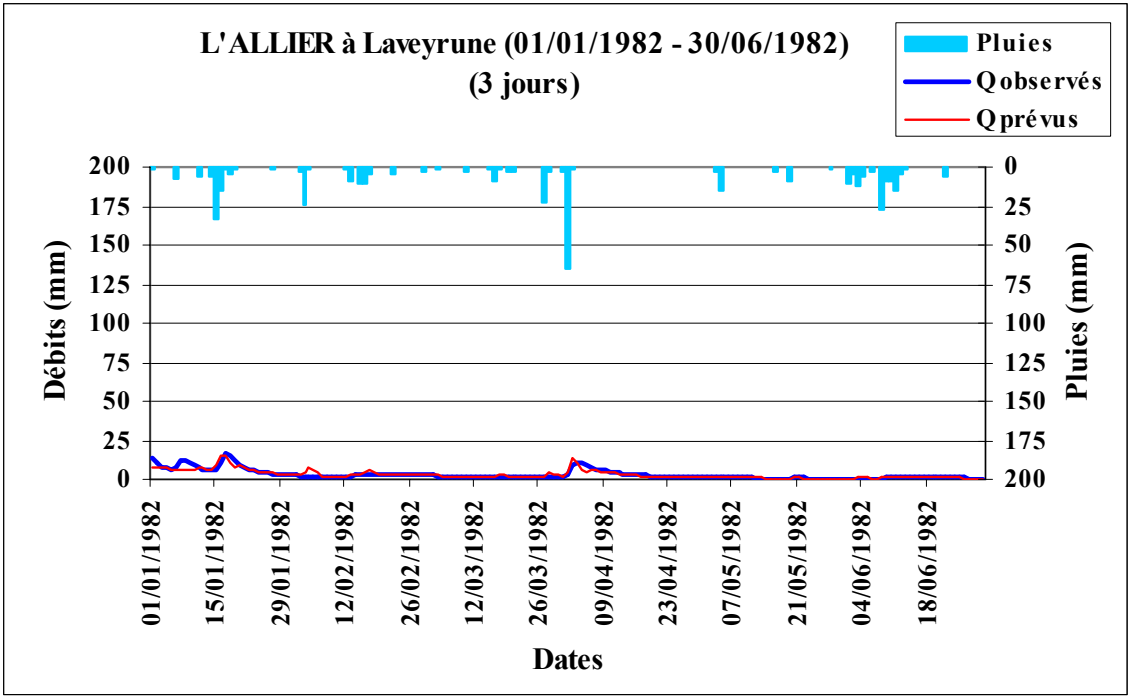


Figure A10.11 : L'ALLIER à Laveyrune (1981 – 1983)

Code du bassin : K2010810, Superficie : 49 km²,
 Pluie journalière moyenne = 3.562 mm, Débit journalier moyen = 2.889 mm,
 Persistance = 30.9, Paramètre1 = 5.84, Paramètre2 = 0.71, Paramètre3 = -8.02.





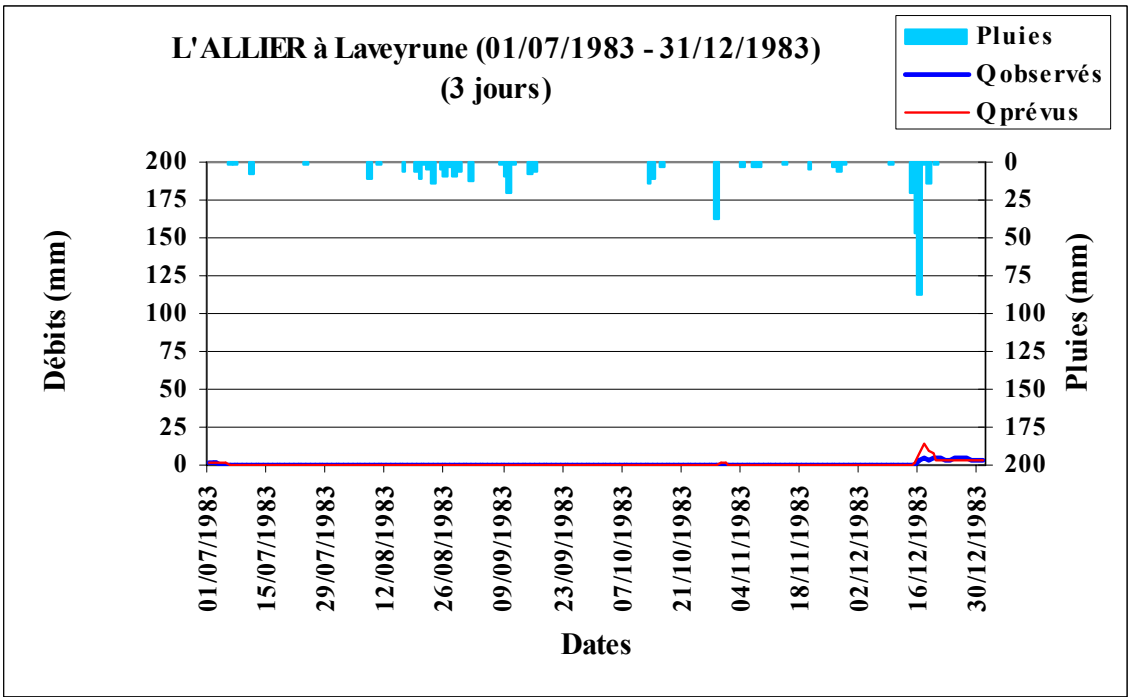
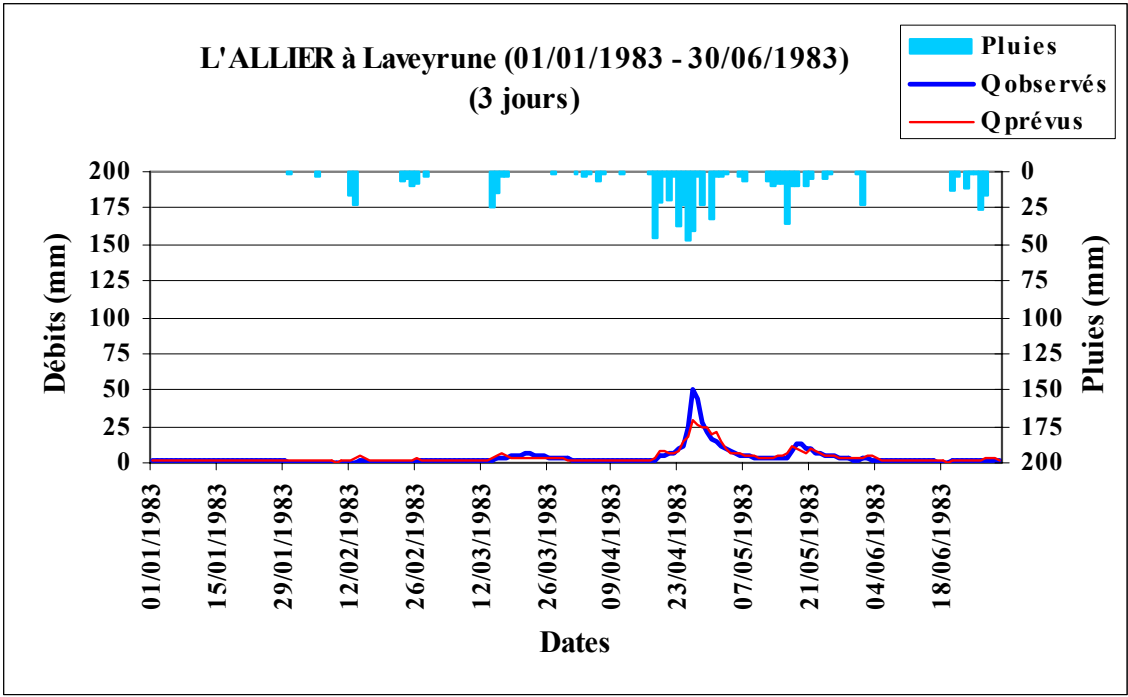
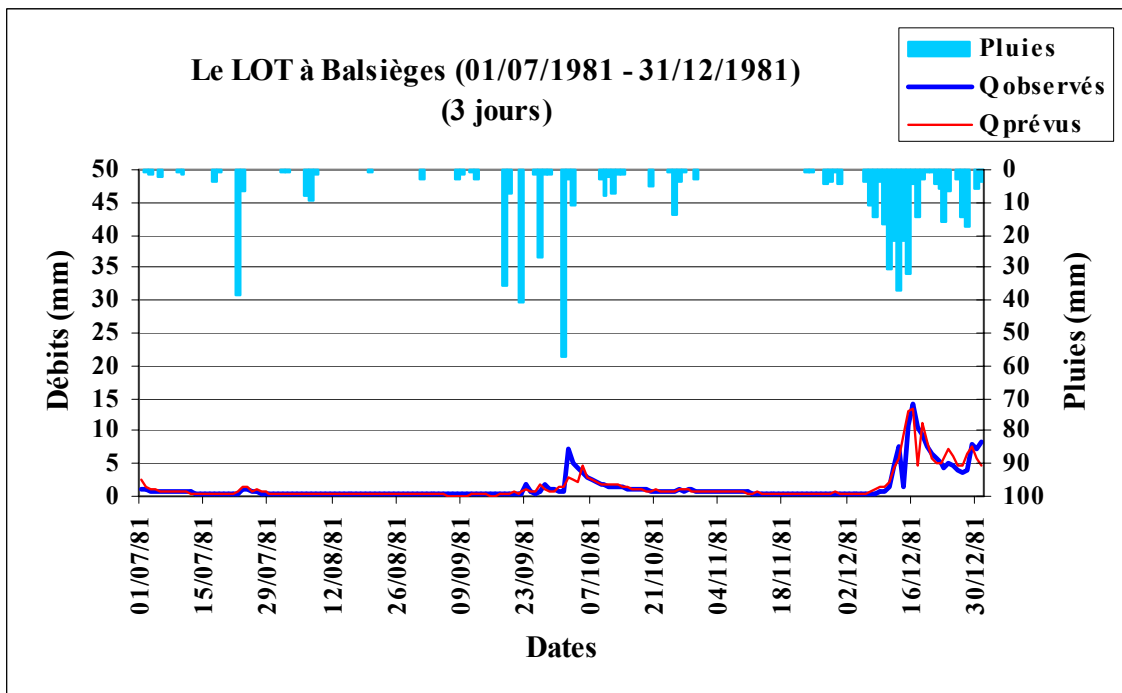
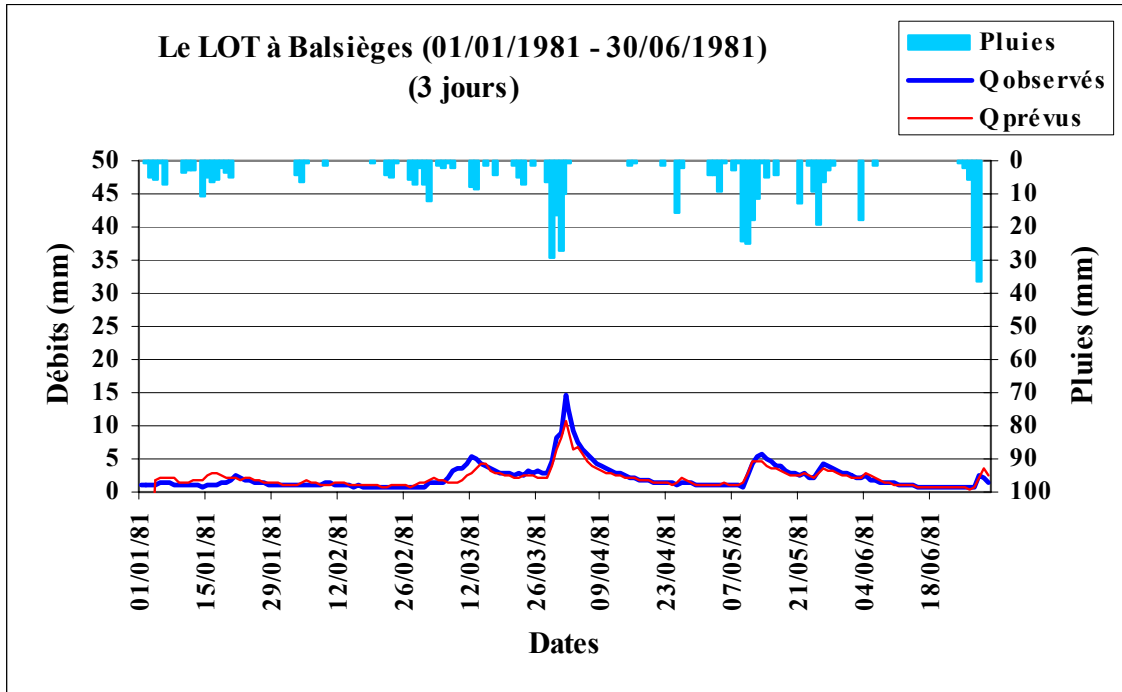
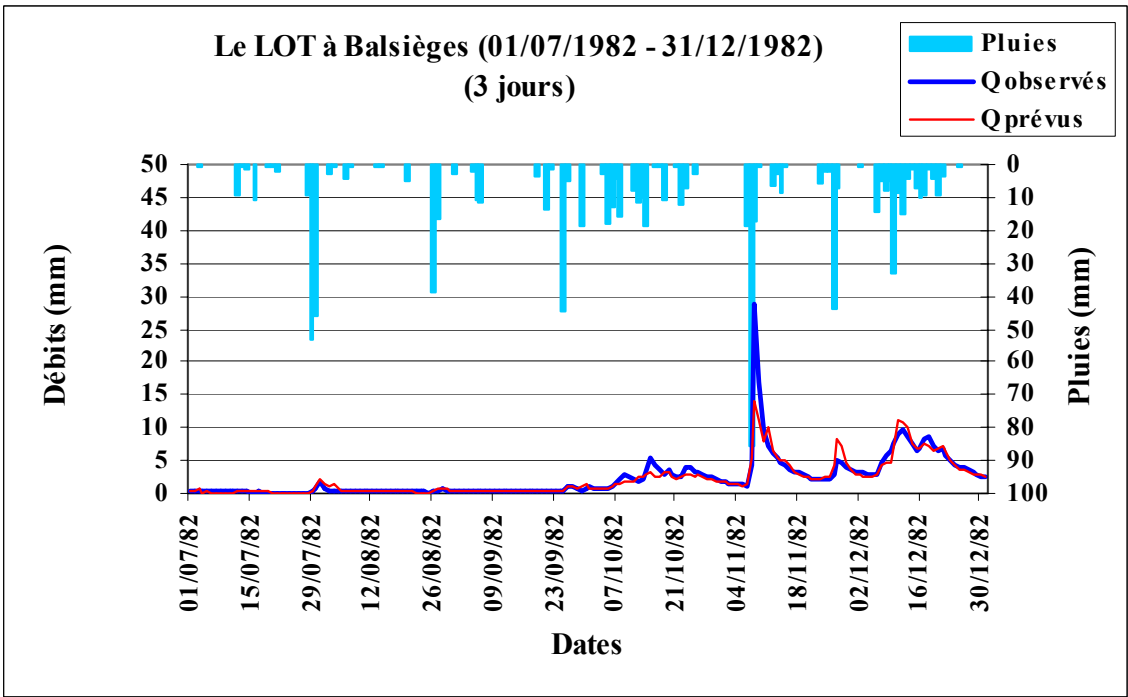
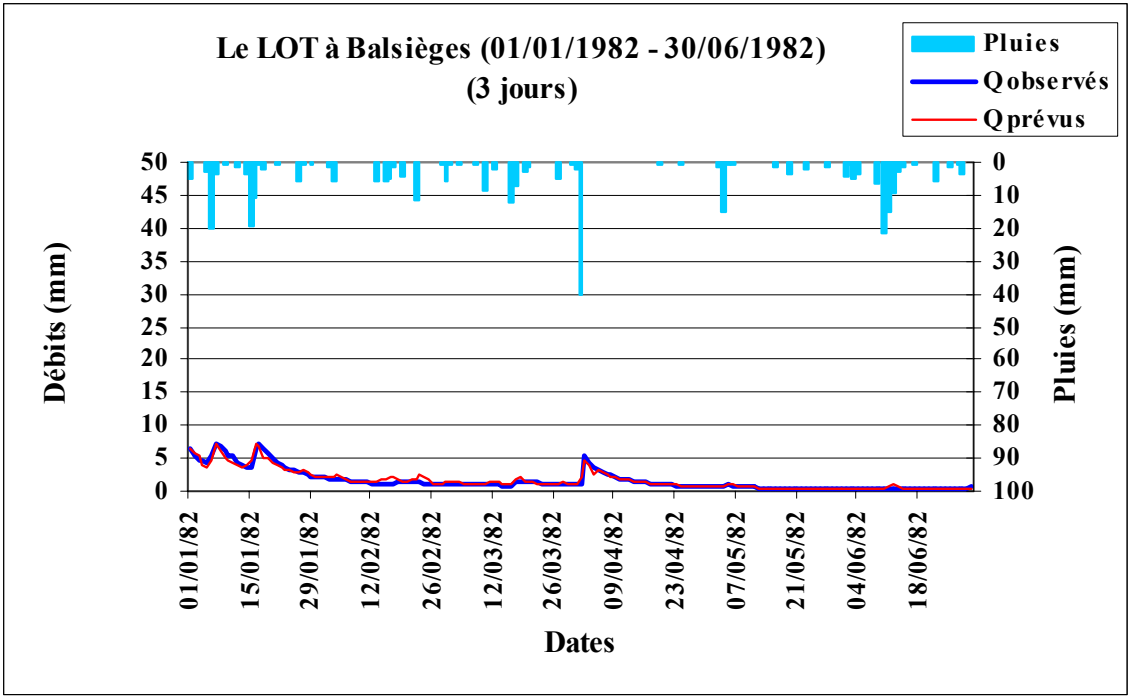


Figure A10.12 : Le LOT à Balsièges (1981 – 1983)

Code du bassin : O7041510, Superficie : 465 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.842 mm, Débit journalier moyen = 1.592 mm,
 Persistance = 4.1, Paramètre1 = 5.68, Paramètre2 = 0.49, Paramètre3 = -8.01.





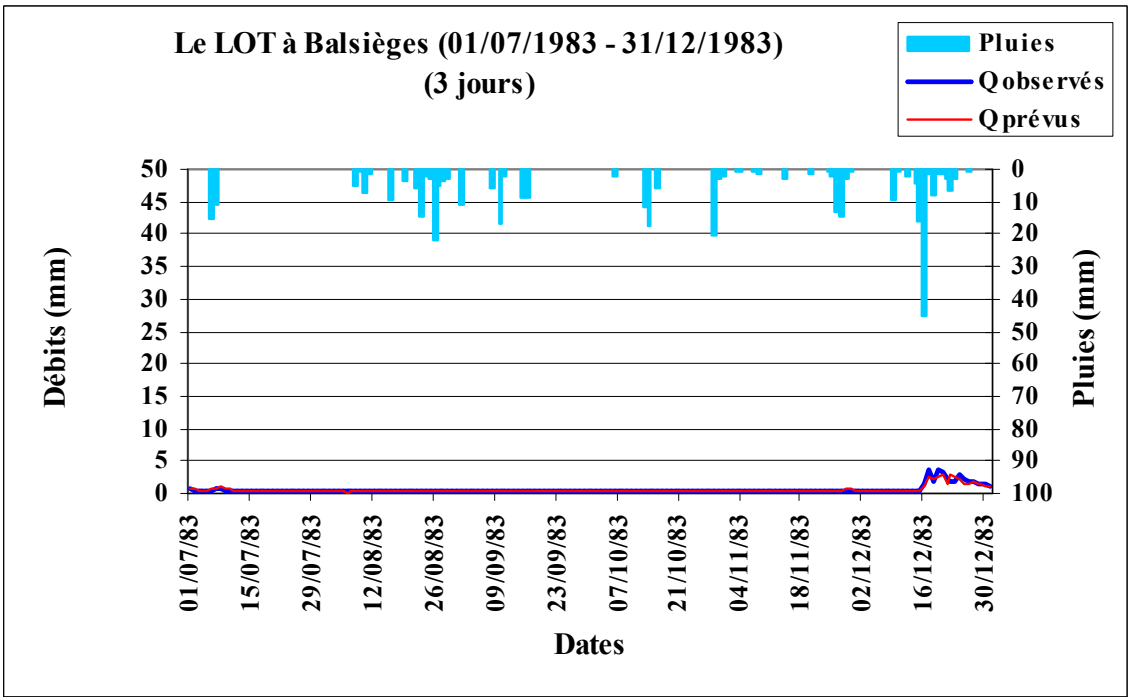
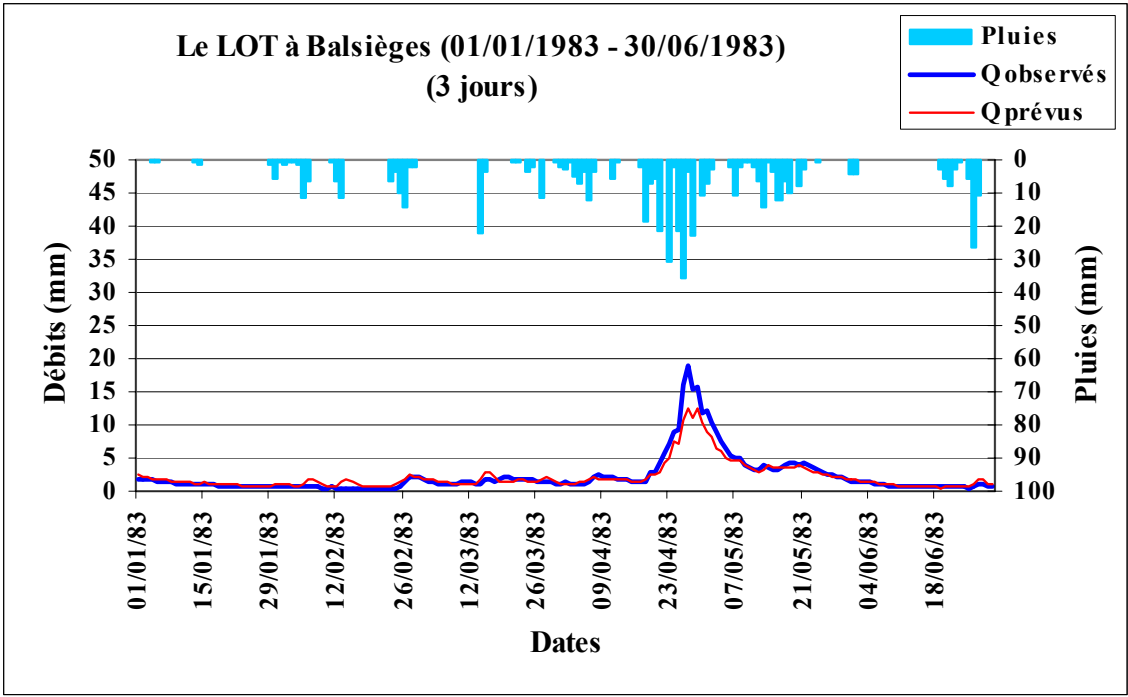
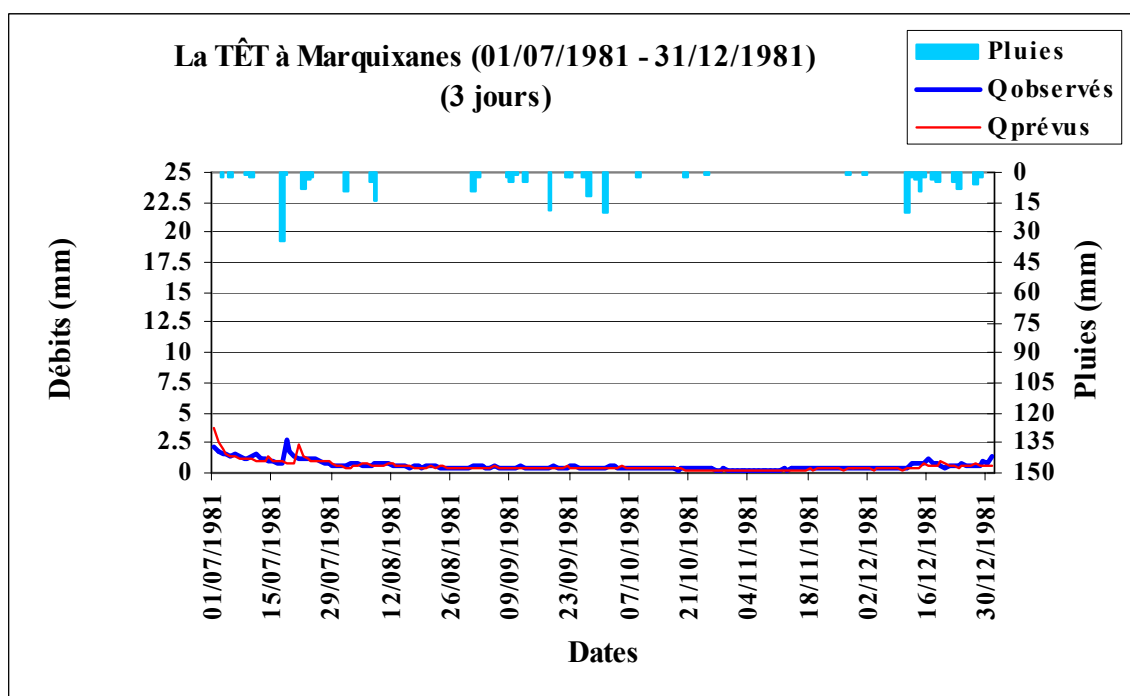
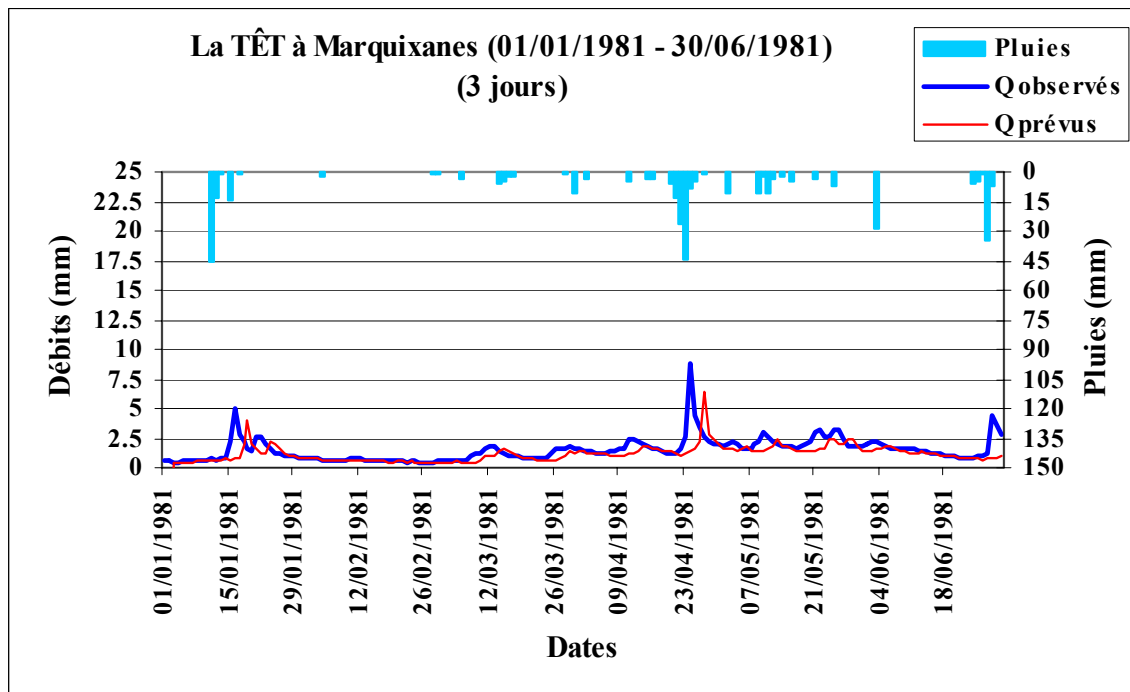
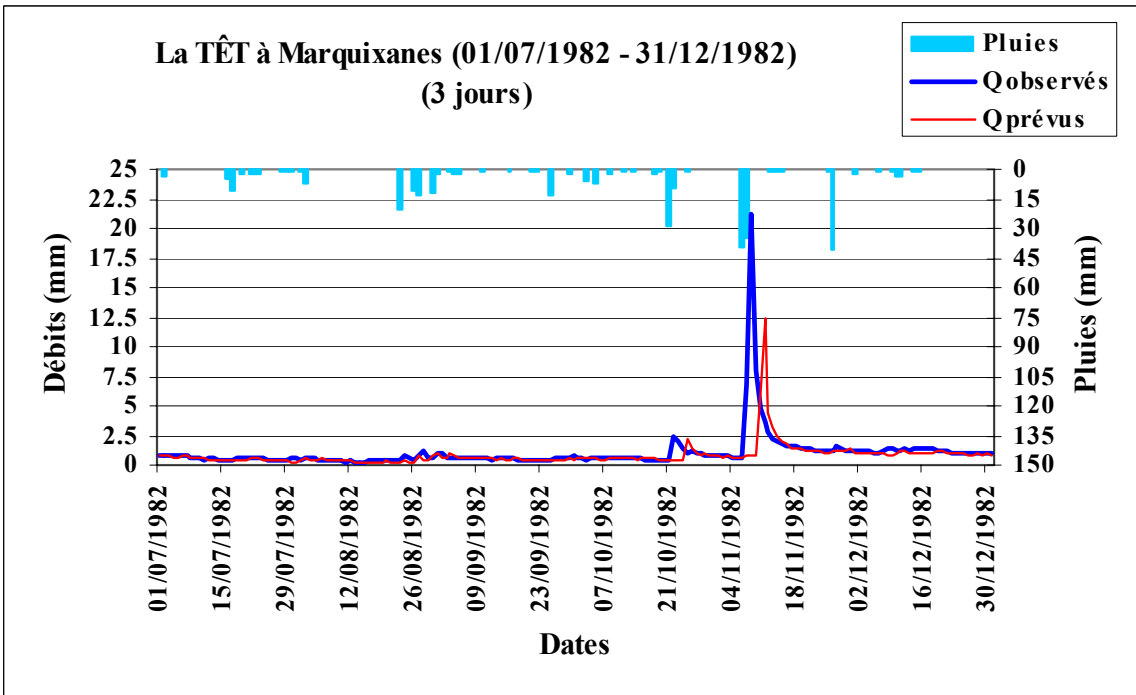
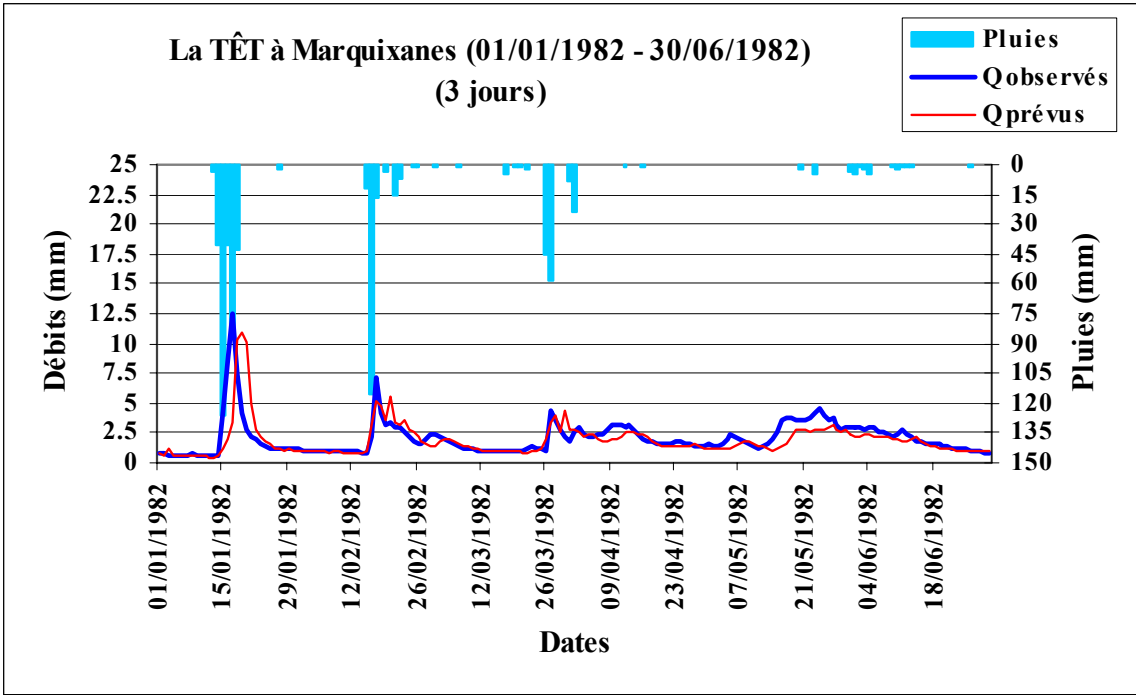


Figure A10.13 : La TÊT à Marquixanes (1981 – 1983)

Code du bassin : Y0444010, Superficie : 834 km²,
 Pluie journalière moyenne = 1.877 mm, Débit journalier moyen = 0.853 mm,
 Persistance = -37.6, Paramètre1 = 6.56, Paramètre2 = -0.09, Paramètre3 = -9.37.





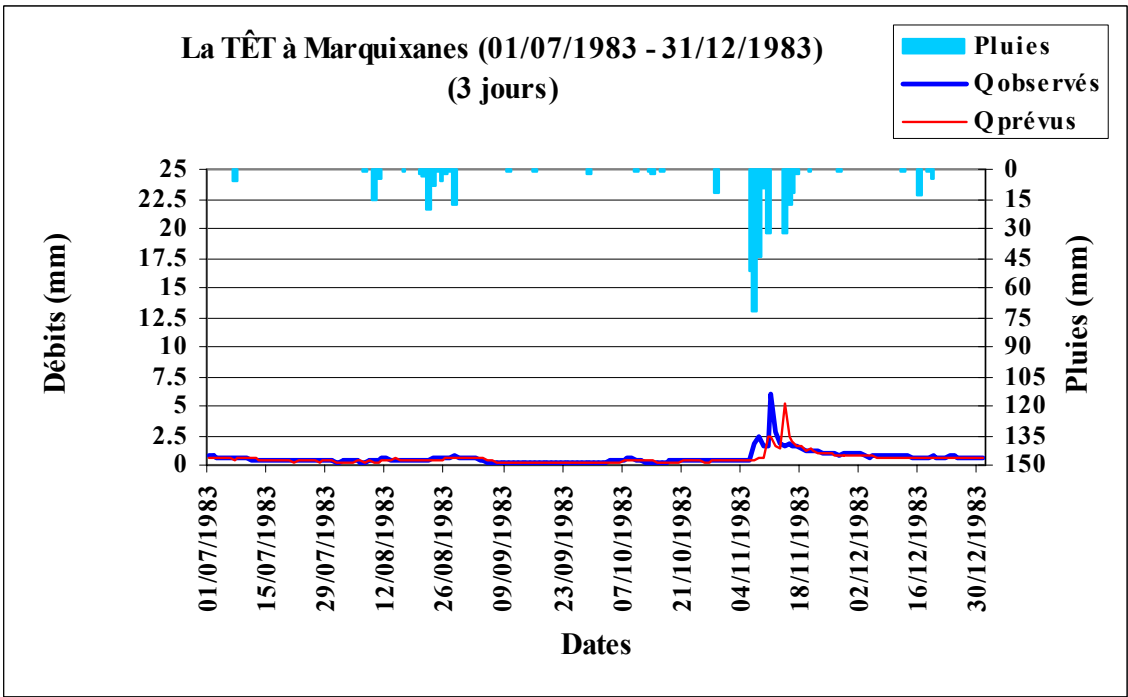
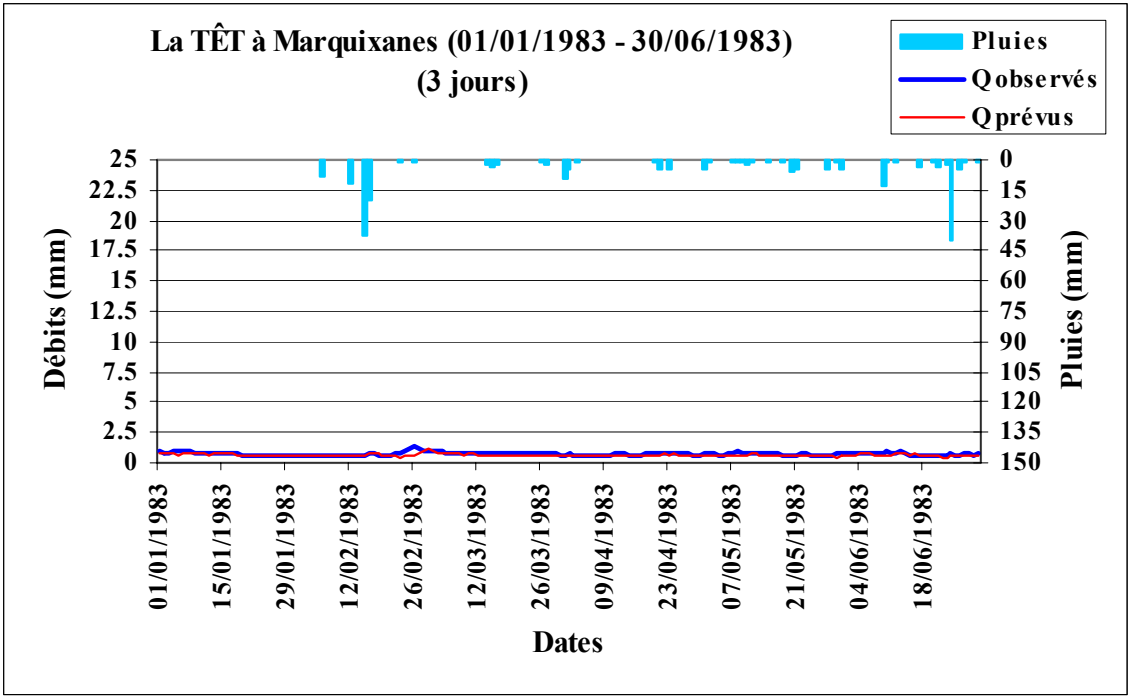
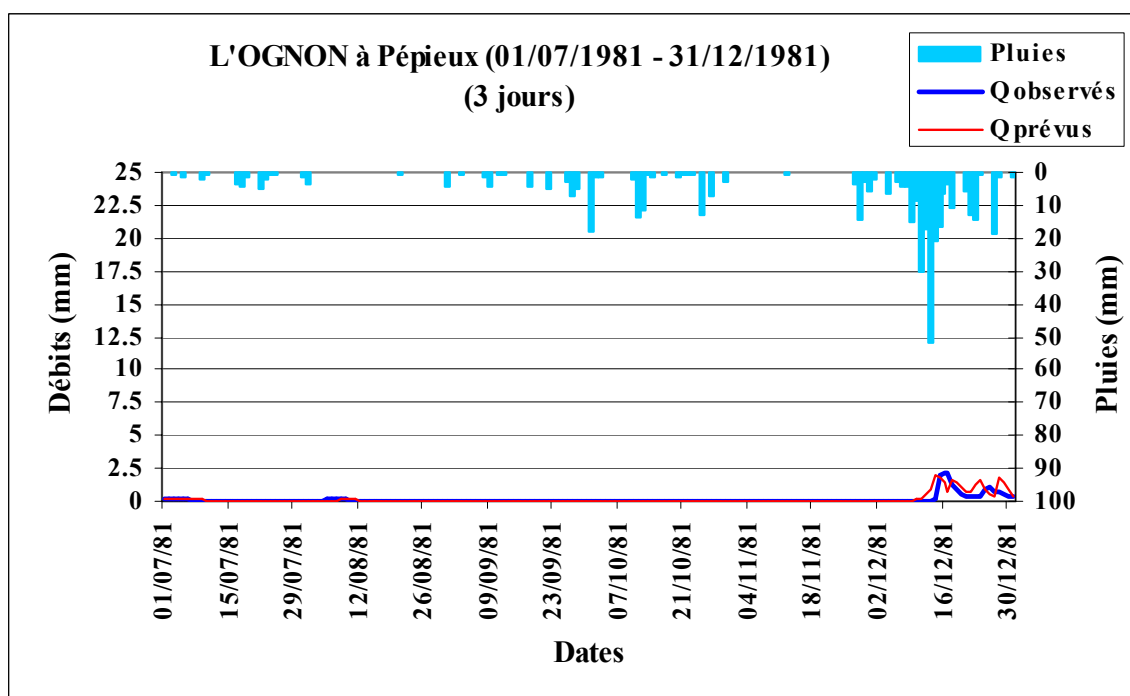
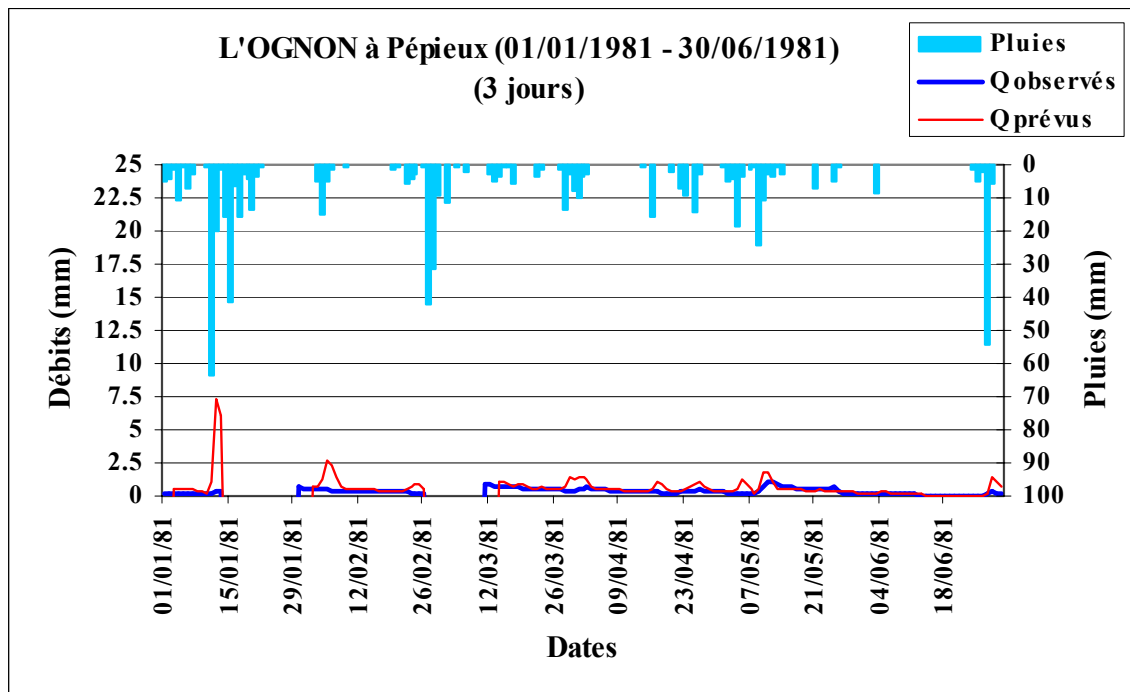
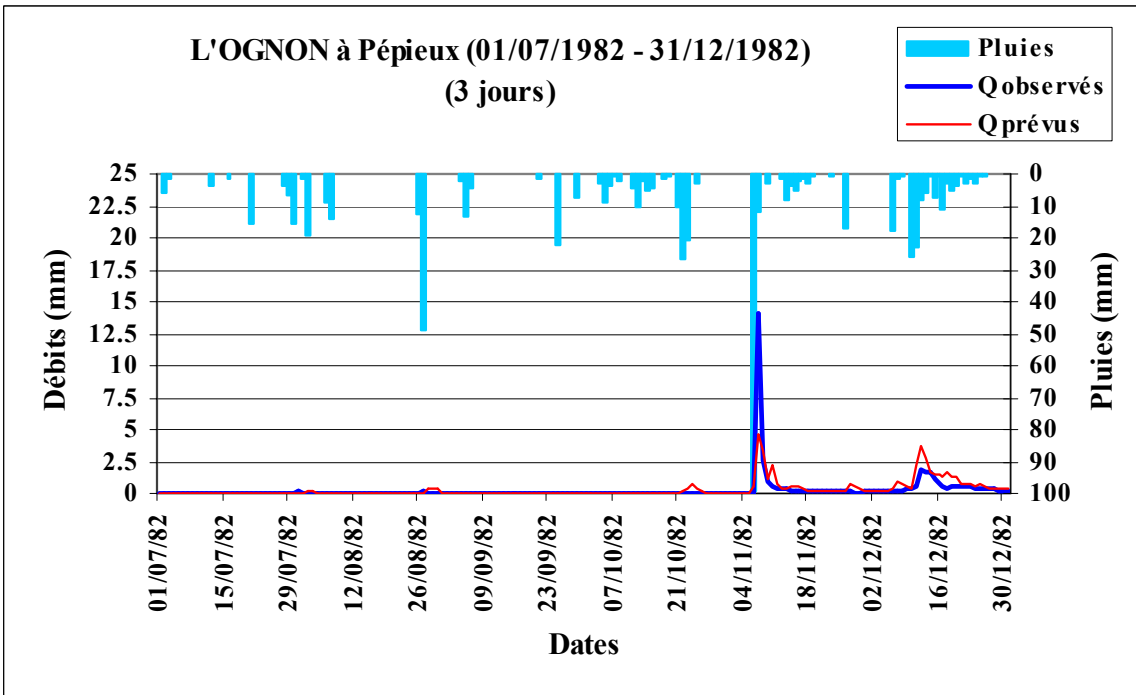
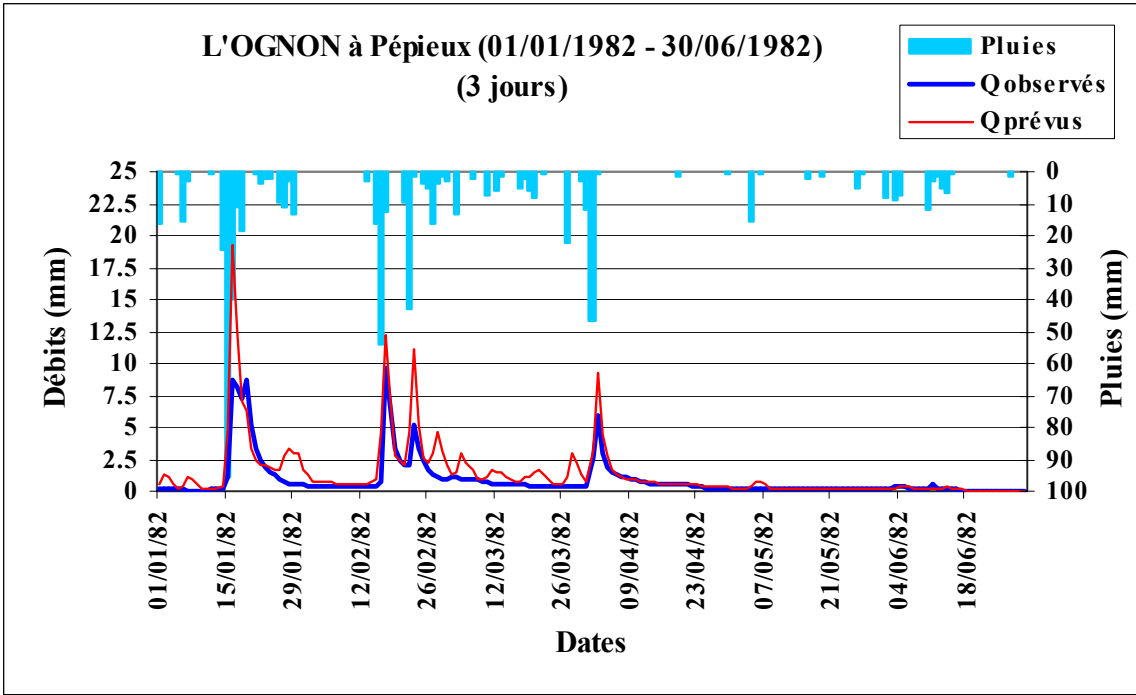
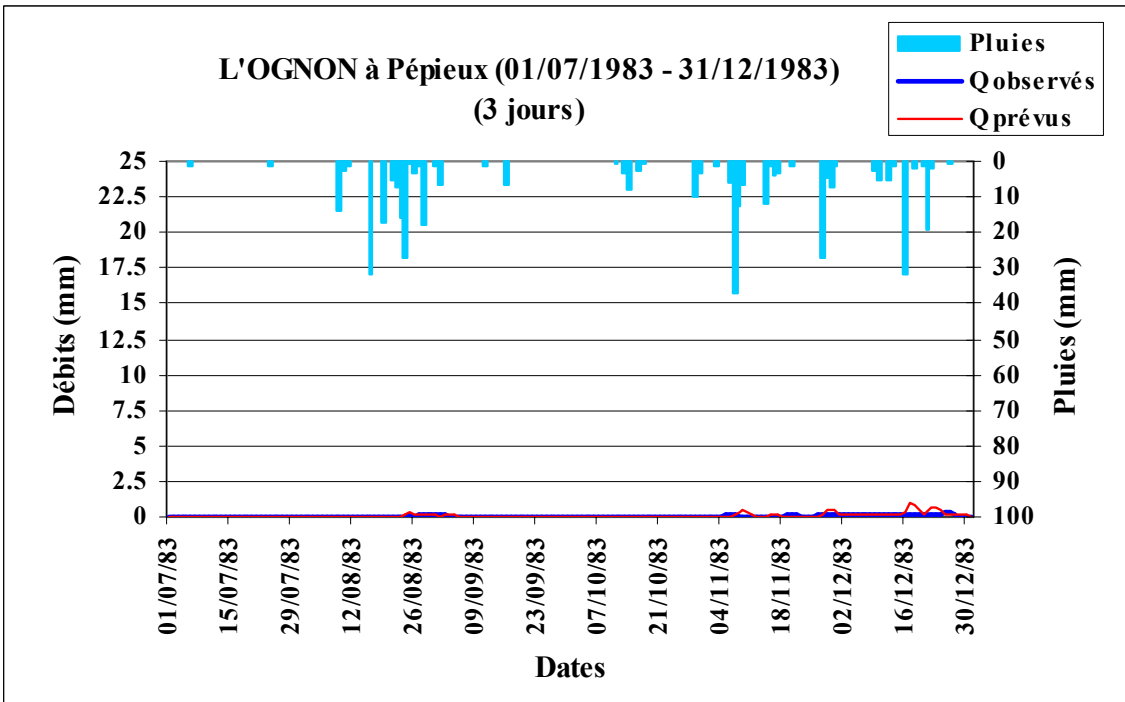
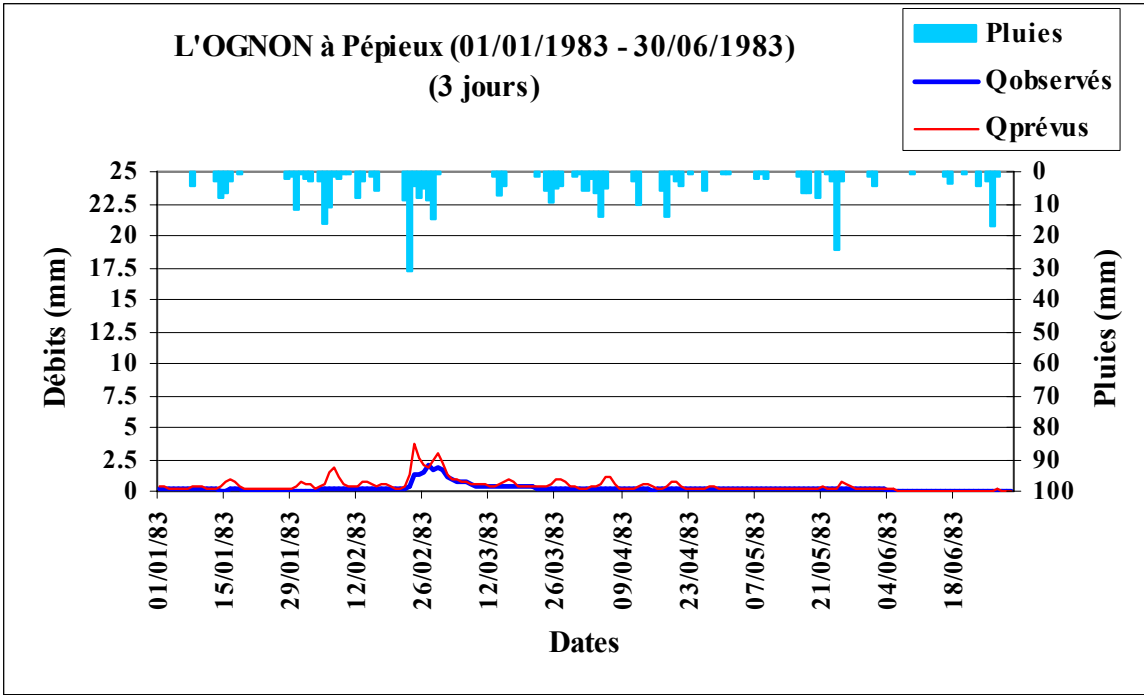


Figure A10.14 : L' OGNON à Pépieux (1981 – 1983)

Code du bassin : Y1445010, Superficie : 47 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.604 mm, Débit journalier moyen = 0.356 mm,
 Persistance = -19.9, Paramètre1 = 3.51, Paramètre2 = -0.45, Paramètre3 = -7.19.







ANNEXE 11 : EXEMPLES DE COURBES DE CORRELATION OBTENUES POUR QUELQUES BASSINS VERSANTS (pluies futures connues) :

A11.1 Courbes de corrélation pour une prévision à UN JOUR :

Figure A11.1 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1999 – 2001)

Code BV: H5920010, Superficie :43800 km²,

Pluie journalière moyenne = 2.304 mm, Débit journalier moyen = 0.638 mm,

Persistence = 24.1, Paramètre1 = 6.71, Paramètre2 = -0.05, Paramètre3 = -3.29

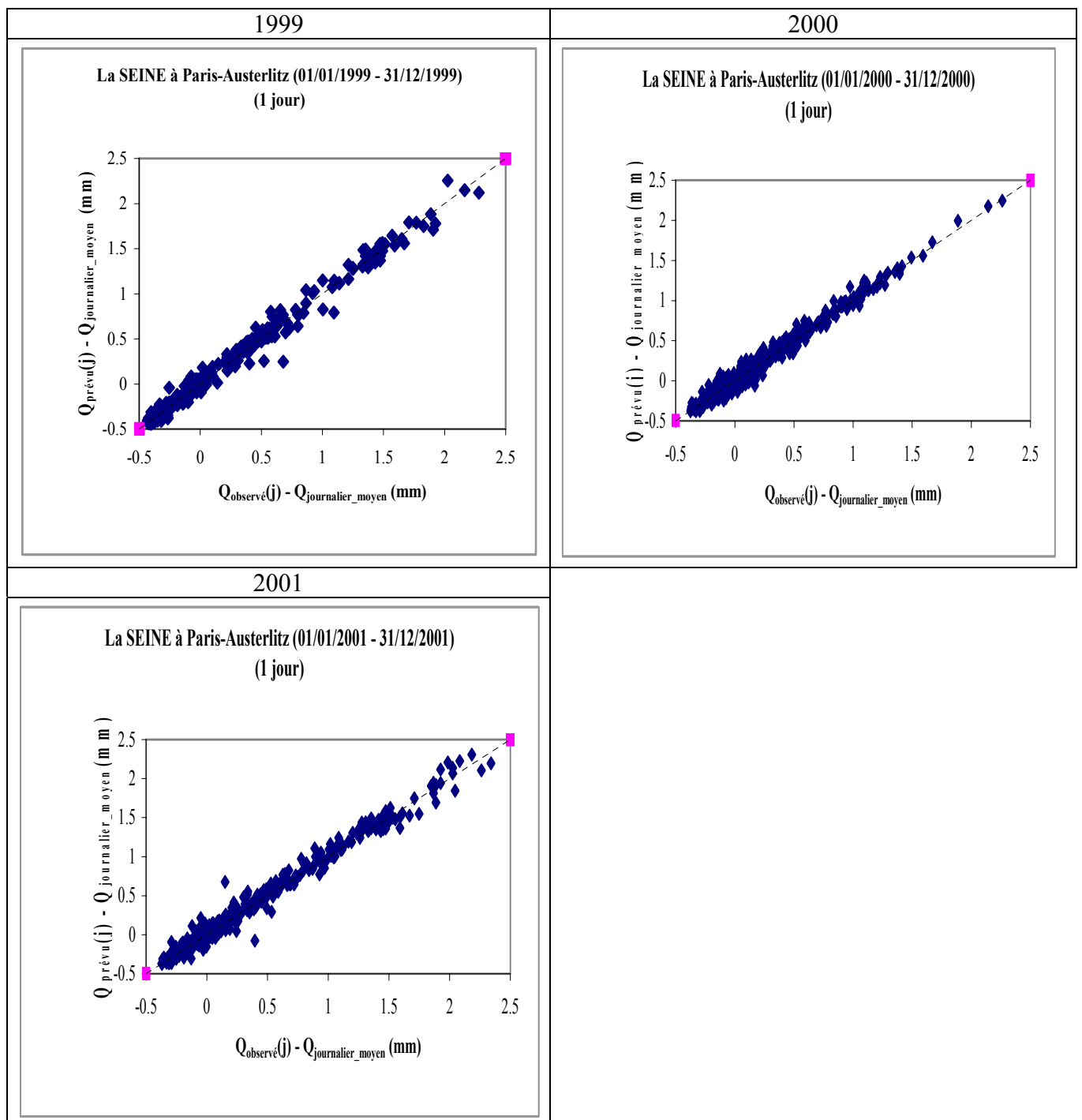


Figure A11.2 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1982 – 1983)

Code BV: H5920010, Superficie :43800 km²,
Pluie journalière moyenne = 2.304 mm, Débit journalier moyen = 0.638 mm,
Persistence = 25.5, Paramètre1 = 6.80, Paramètre2 = 0.00, Paramètre3 = -3.53

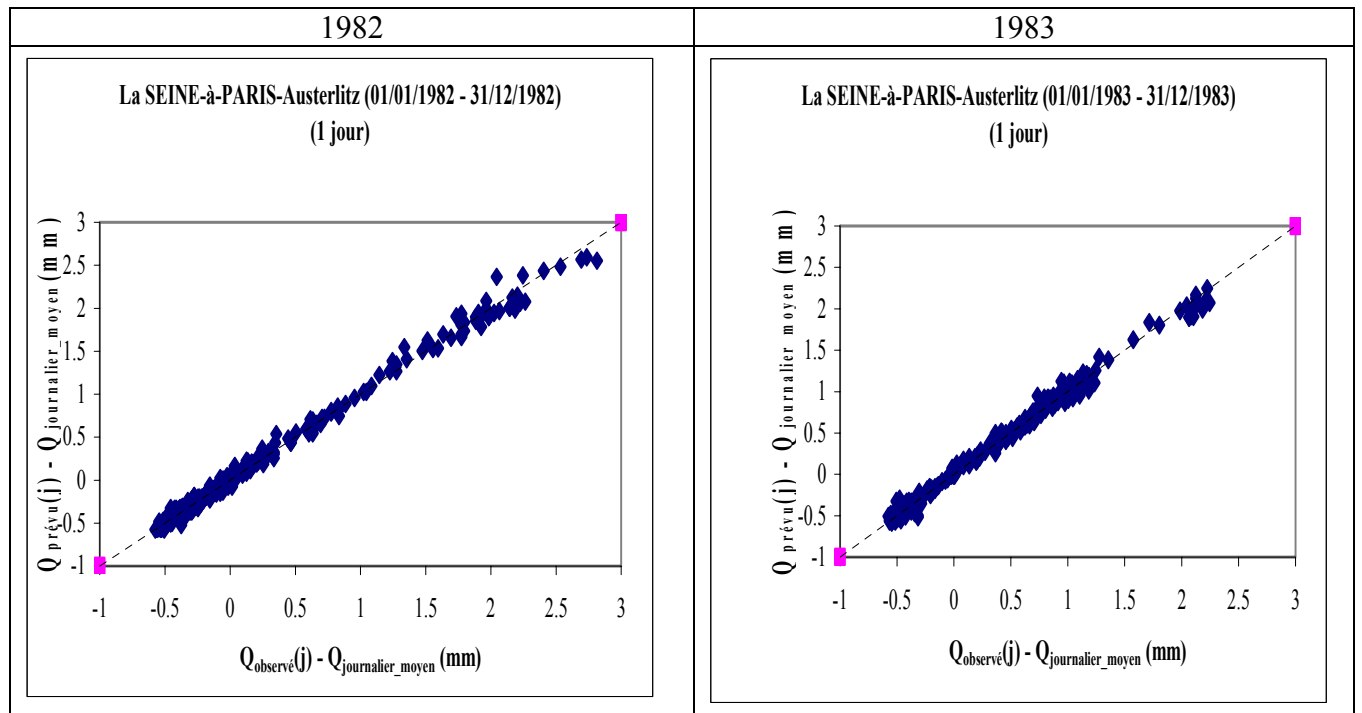


Figure A11.3 : L'ARROUX-à-ÉTANG-sur-ARROUX (1981 – 1982)

Code : K1321810, Superficie : 1798 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.481 mm, Débit journalier moyen = 1.204 mm,
 Persistance = 49.0, Paramètre1 = 4.78, Paramètre2 = 0.57, Paramètre3 = -6.16

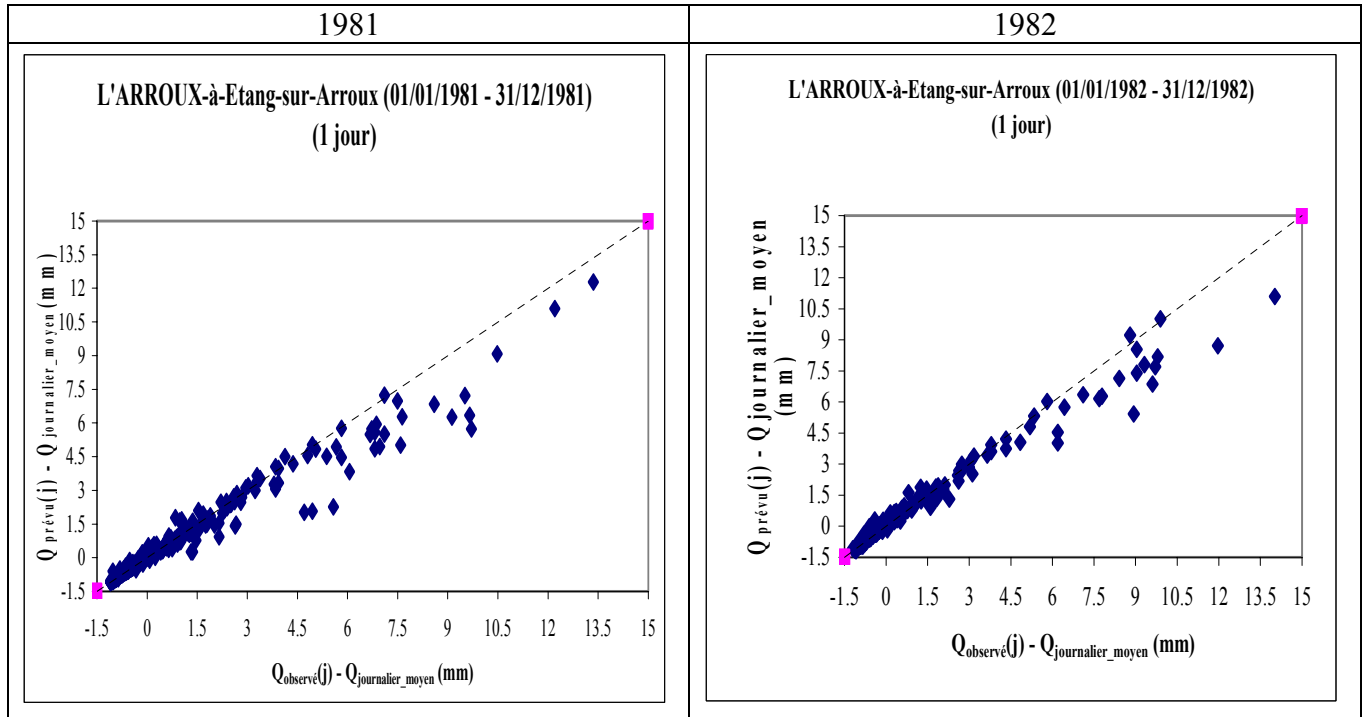


Figure A11.4 : L' ALLIER à Laveyrune (1981 – 1983)

Code du bassin : K2010810, Superficie : 49 km²,
 Pluie journalière moyenne = 3.562 mm, Débit journalier moyen = 2.889 mm,
 Persistence = 38.5, Paramètre1 = 5.10, Paramètre2 = 0.37, Paramètre3 = -6.44

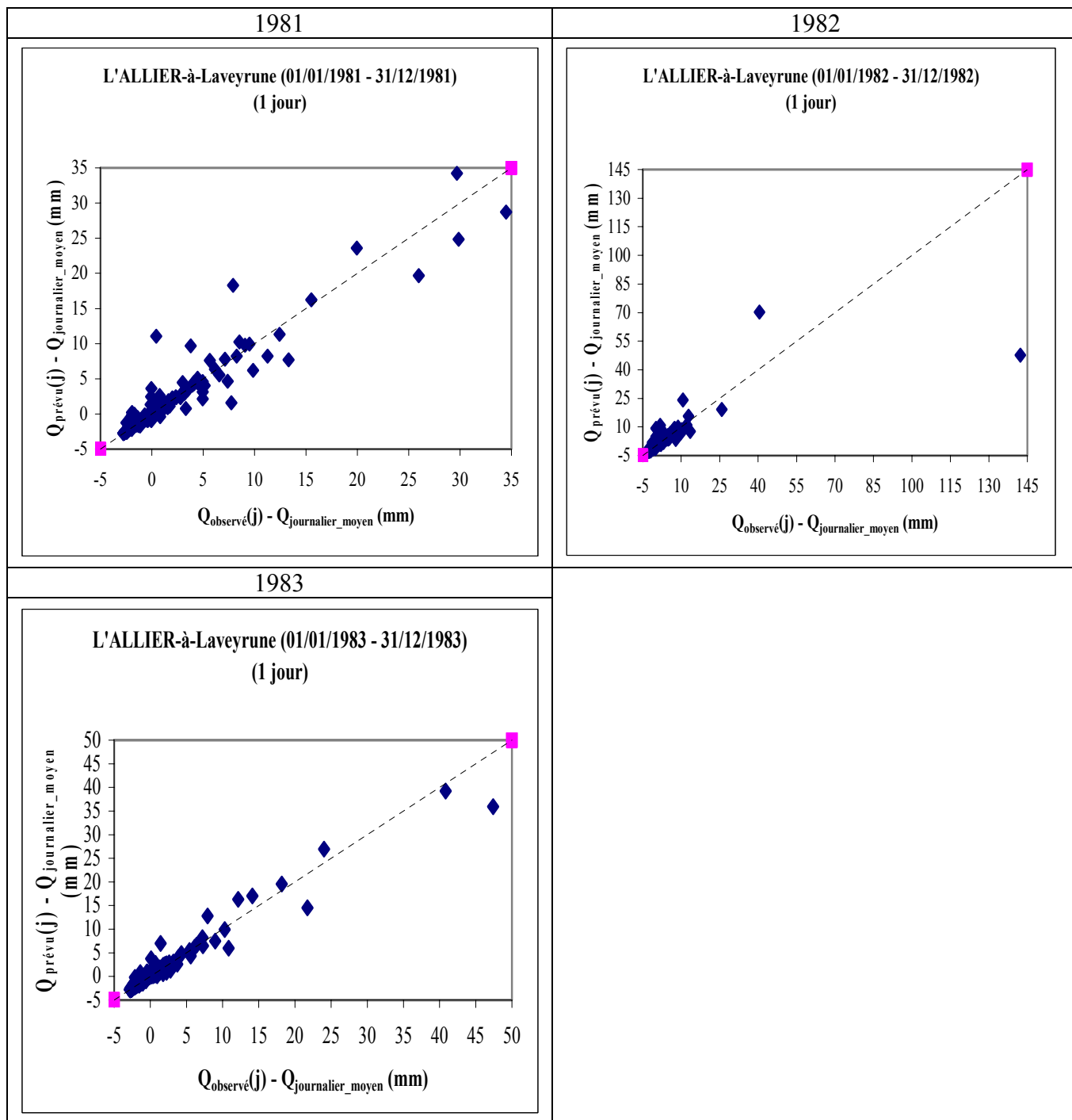


Figure A11.5 : Le LOT à Balsièges (1981 – 1983)

Code du bassin : O7041510, Superficie : 465 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.842 mm, Débit journalier moyen = 1.592 mm,
 Persistance = 40.5, Paramètre1 = 5.29, Paramètre2 = 0.51, Paramètre3 = -7.80

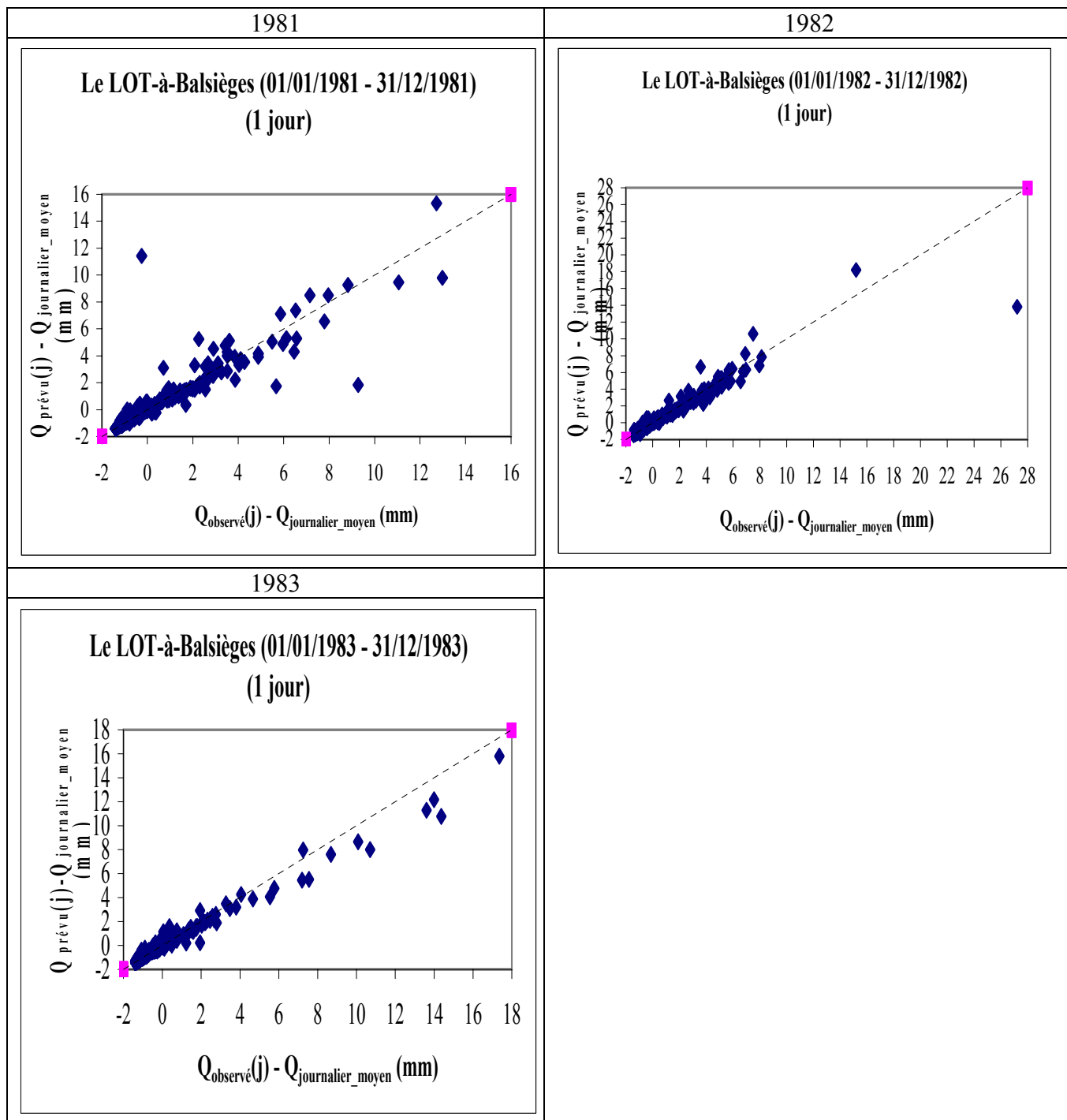


Figure A11.6 : La TÊT à Marquixanes (1981 – 1983)

Code du bassin : Y0444010, Superficie : 834 km²,
 Pluie journalière moyenne = 1.877 mm, Débit journalier moyen = 0.853 mm,
 Persistance = 12.2, Paramètre1 = 5.89, Paramètre2 = -0.19, Paramètre3 = -8.49

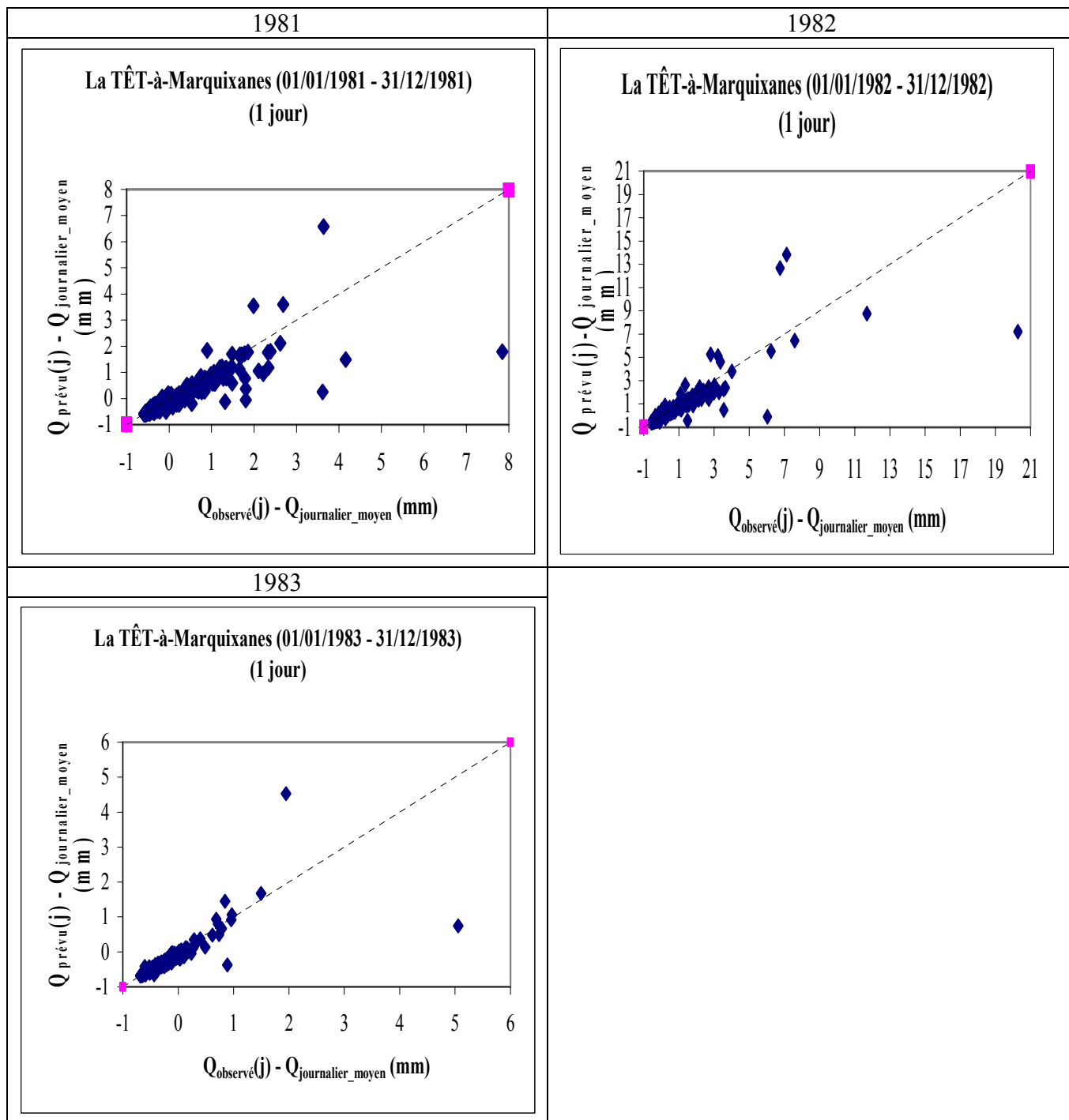
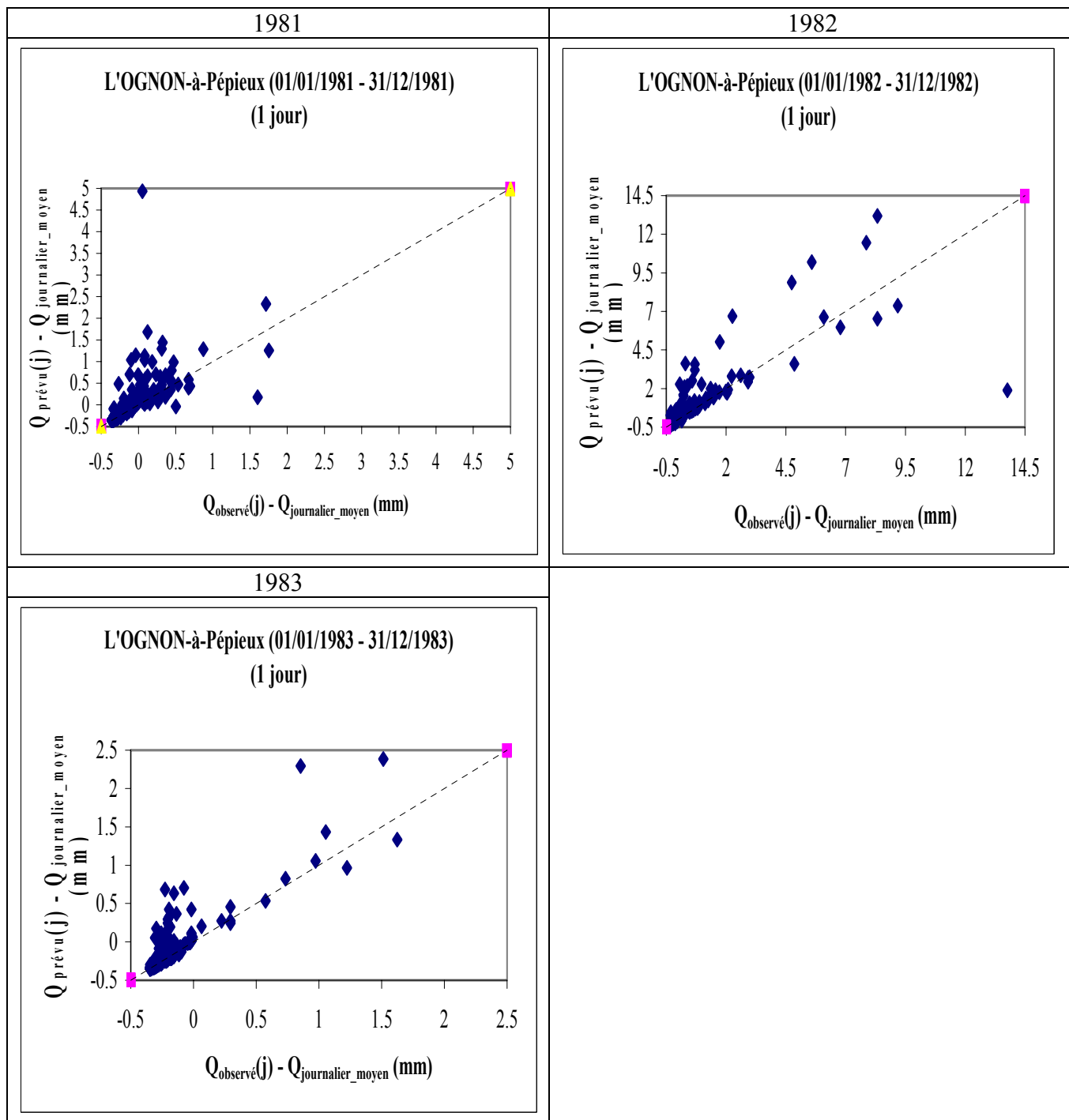


Figure A11.7 : L'OGNON à Pépieux (1981 – 1983)

Code du bassin : Y1445010, Superficie : 47 km²

Pluie journalière moyenne = 2.604 mm, Débit journalier moyen = 0.356 mm,

Persistence = 26.2, Paramètre1 = 3.25, Paramètre2 = -0.39, Paramètre3 = -7.09



A11.2 Courbes de corrélation pour une prévision à TROIS JOURS :

Figure A11.8 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1999 – 2001)

Code BV: H5920010, Superficie :43800 km²,

Pluie journalière moyenne = 2.304 mm, Débit journalier moyen = 0.638 mm,

Persistance = -8.0, Paramètre1 = 6.53, Paramètre2 = -0.06, Paramètre3 = -3.01

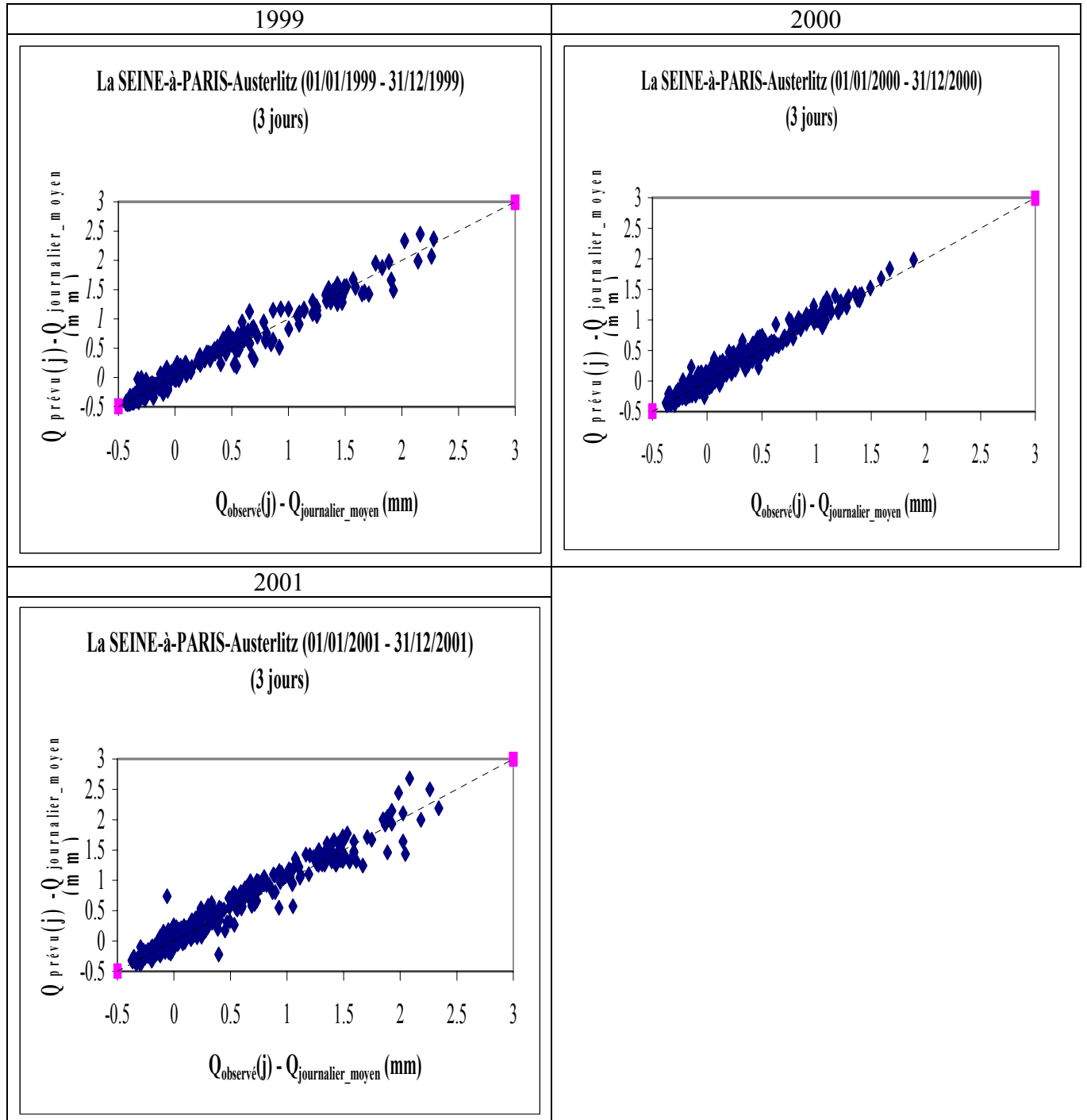


Figure A11.9 : La SEINE à Paris-Austerlitz (1982 – 1983)

Code BV: H5920010, Superficie :43800 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.381 mm, Débit journalier moyen = 0.715 mm,
 Persistence = -11.5, Paramètre1 = 6.64, Paramètre2 = -0.02, Paramètre3 = -3.41

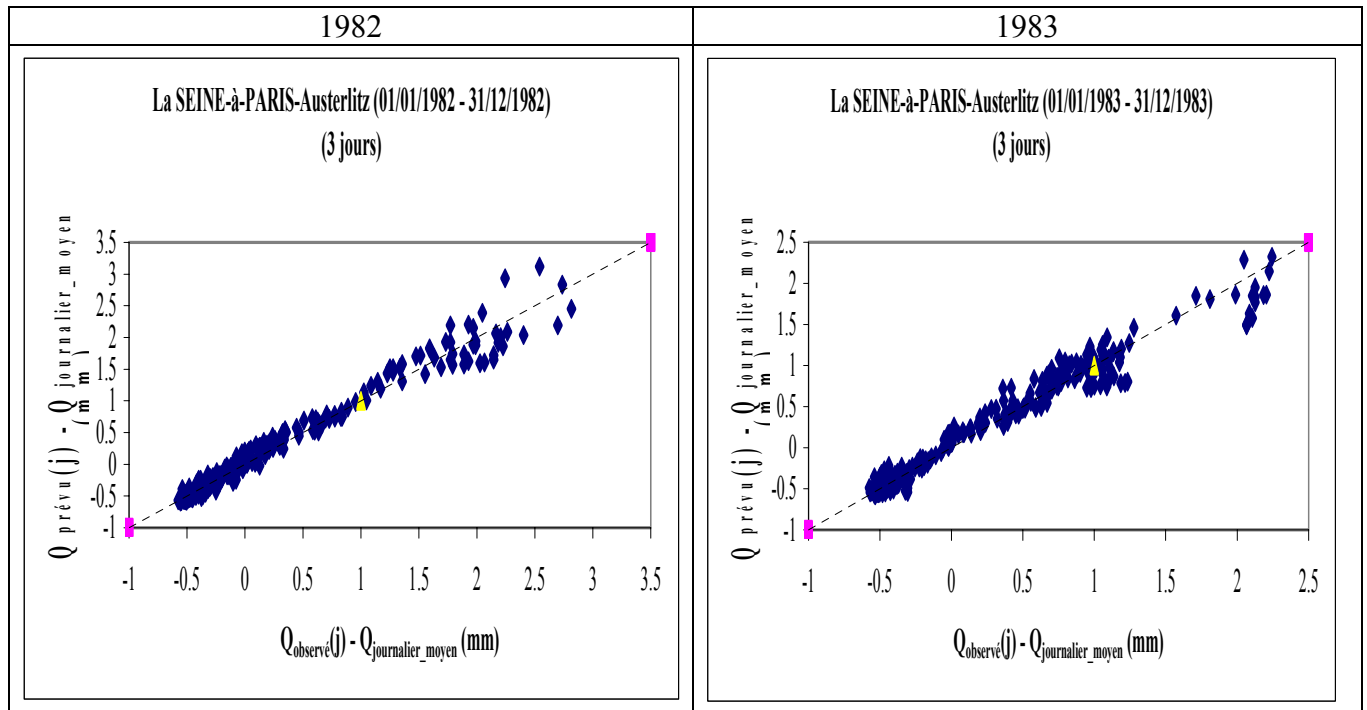


Figure A11.10 : L'ARROUX-à-ÉTANG-sur-ARROUX : (1981 – 1982)

Code : K1321810, Superficie : 1798 km²,
Pluie journalière moyenne = 2.481 mm, Débit journalier moyen = 1.204 mm,
Persistence = 7.6, Paramètre1 = 4.86, Paramètre2 = 0.52, Paramètre3 = -6.29

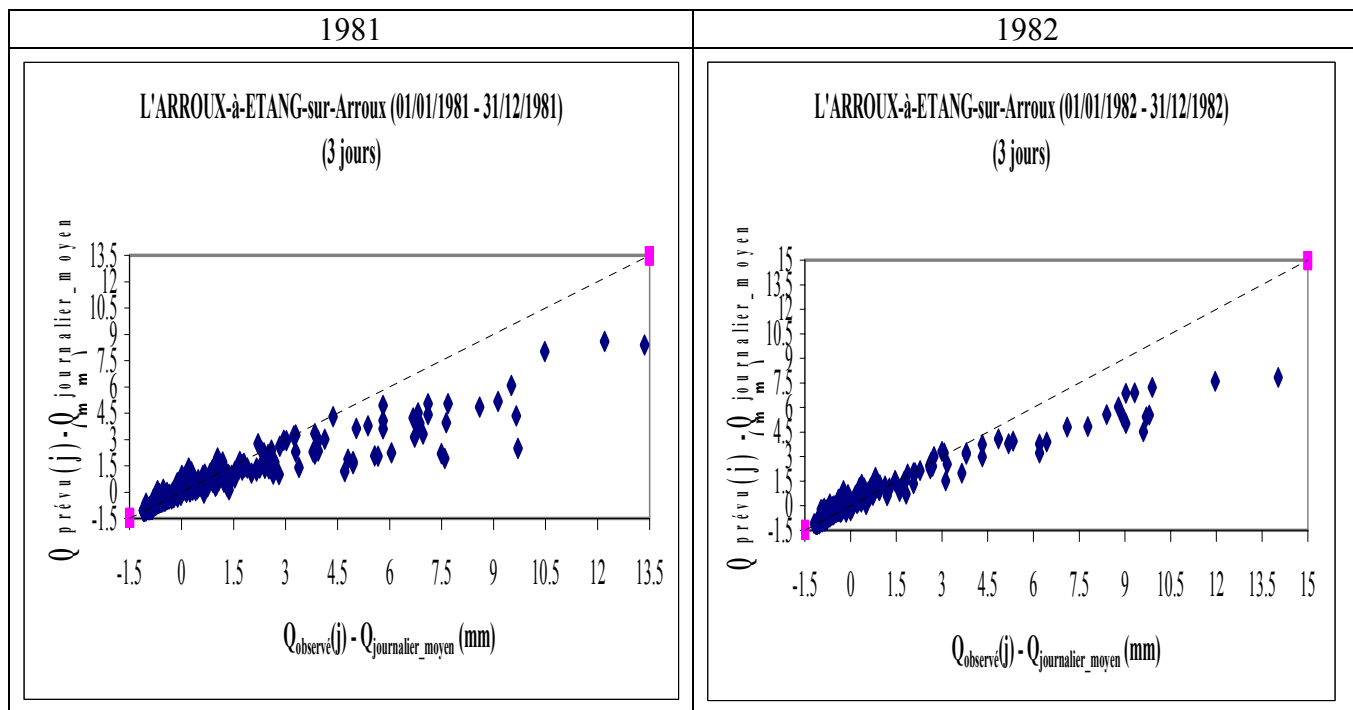


Figure A11.11 : L' ALLIER à Laveyrune (1981 – 1983)

Code du bassin : K2010810, Superficie : 49 km²,
 Pluie journalière moyenne = 3.562 mm, Débit journalier moyen = 2.889 mm,
 Persistance = 30.9, Paramètre1 = 5.84, Paramètre2 = 0.71, Paramètre3 = -8.02

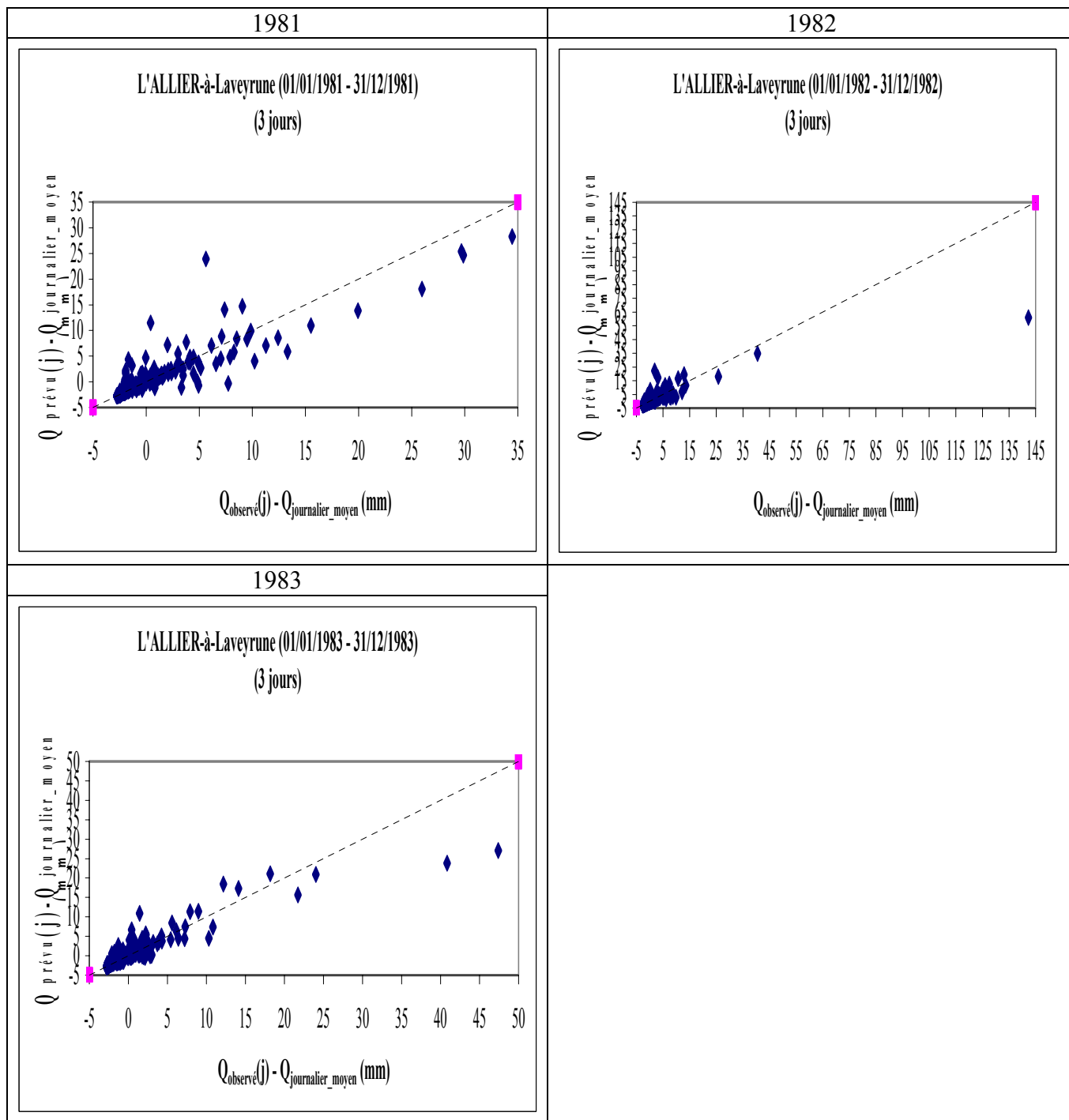


Figure A11.12 : Le LOT à Balsièges (1981 – 1983)

Code du bassin : O7041510, Superficie : 465 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.842 mm, Débit journalier moyen = 1.592 mm,
 Persistance = 4.1, Paramètre1 = 5.68, Paramètre2 = 0.49, Paramètre3 = -8.01

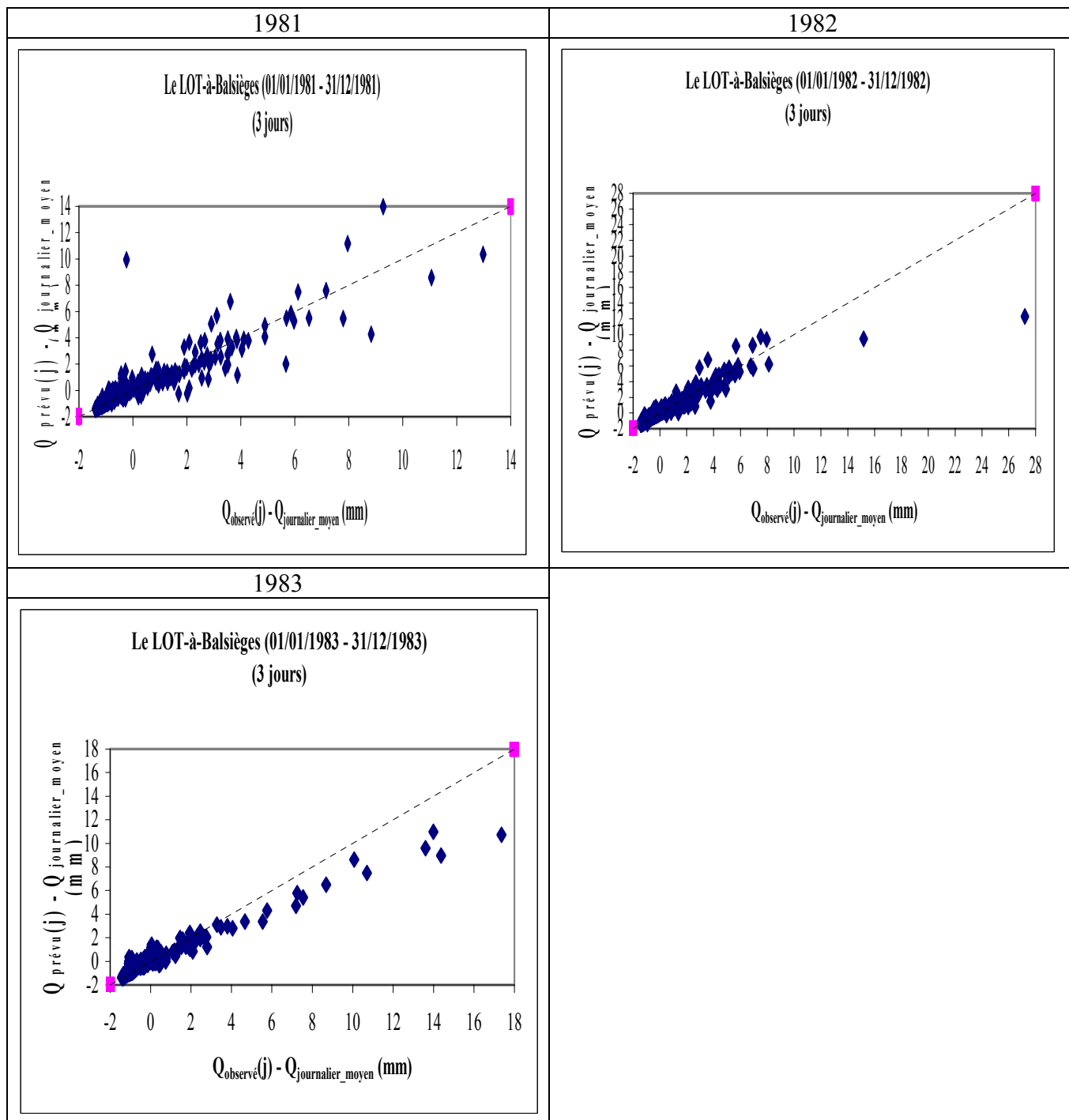


Figure A11.13 : La TÊT à Marquixanes (1981 – 1983)

Code du bassin : Y0444010, Superficie : 834 km²,
 Pluie journalière moyenne = 1.877 mm, Débit journalier moyen = 0.853 mm,
 Persistence = -37.6, Paramètre1 = 6.56, Paramètre2 = -0.09, Paramètre3 = -9.37

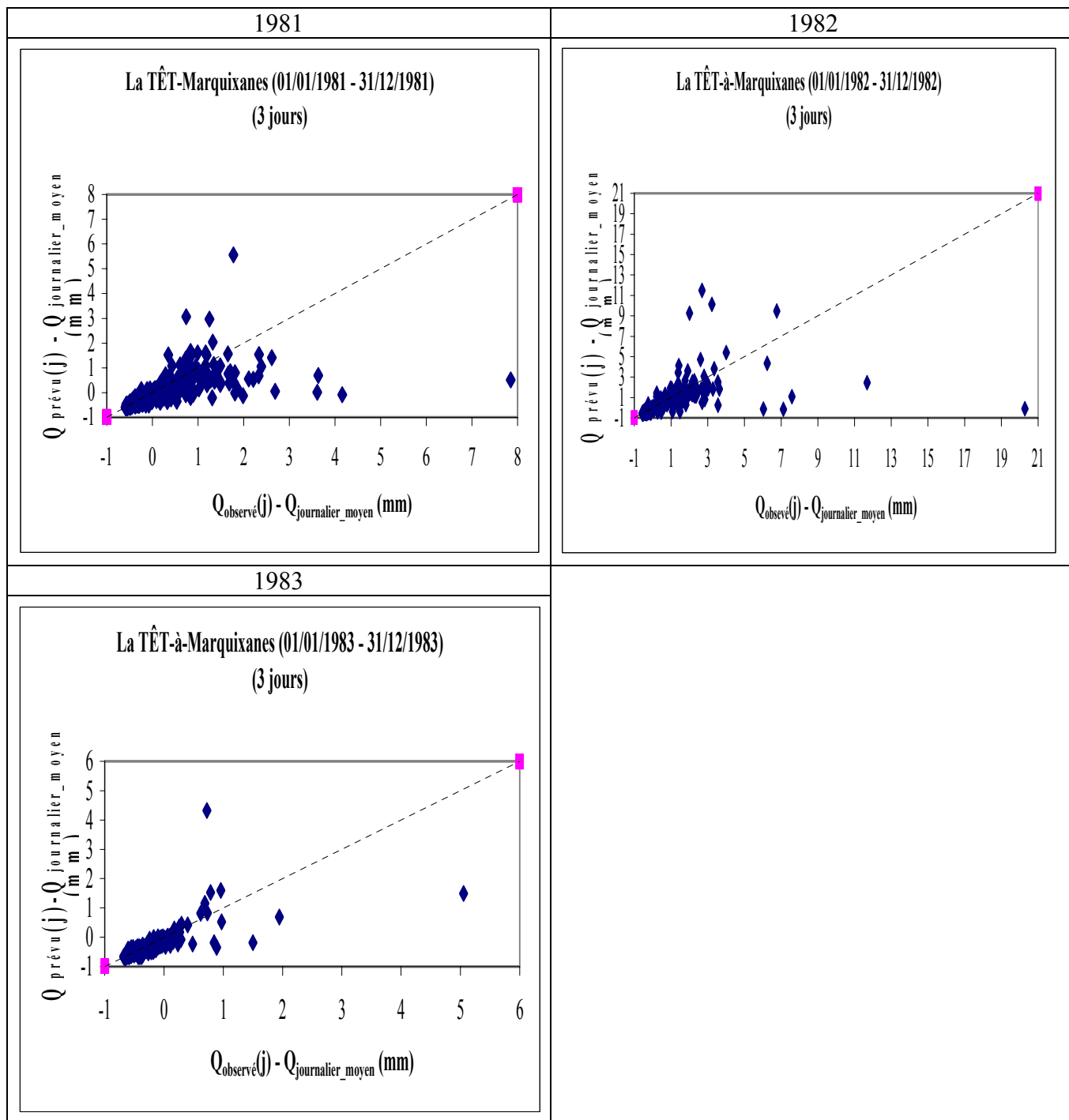


Figure A11.14 : L'OGNON à Pépieux (1981 – 1983)

Code du bassin : Y1445010, Superficie : 47 km²,
 Pluie journalière moyenne = 2.604 mm, Débit journalier moyen = 0.356 mm,
 Persistence = -19.9, Paramètre1 = 3.51, Paramètre2 = -0.45, Paramètre3 = -7.19

