

Record Number: 12000
Author, Monographic: Rasmussen, P. F.//Ouarda, T. B. M. J.//Bobée, B.//Moisa, D. A.
Author Role:
Title, Monographic: Estimation du débit journalier à des sites non jaugés. Application aux stations hydrométriques situées aux tributaires du fleuve Saint-Laurent
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1996
Original Publication Date: Juillet 1996
Volume Identification:
Extent of Work: ii, 118
Packaging Method: pages incluant 3 annexes
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 475
Location/URL:
ISBN: 2-89146-365-X
Notes: Rapport annuel 1996-1997
Abstract: Rapport de la Chaire en hydrologie statistique rédigé pour Environnement Canada, division de l'Environnement atmosphérique.

20.00\$

Call Number:

R000475

Keywords:

rapport/ ok/ dl

**ESTIMATION DU DÉBIT JOURNALIER À
DES SITES NON JAUGÉS
Application aux stations hydrométriques
situées aux tributaires du
fleuve Saint-Laurent**

ESTIMATION DU DÉBIT JOURNALIER À DES SITES NON JAUGÉS

**Application aux stations hydrométriques
situées aux tributaires du fleuve Saint-Laurent**

par

Peter F. Rasmussen
Taha B.M.J. Ouarda
Bernard Bobée
Dan Moisa

Chaire en Hydrologie statistique
Institut national de la Recherche scientifique, INRS-Eau
2800 rue Einstein, C.P. 7500, Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

Rapport préparé pour

Environnement Canada
Division Monitoring et Technologies
Direction de l'Environnement atmosphérique

Rapport de recherche No R-475

Juillet 1996

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Ont participé à la réalisation de cette étude:

Chaire en Hydrologie statistique
Institut national de la Recherche scientifique, INRS-Eau

Peter F. Rasmussen
Taha B.M.J. Ouarda
Bernard Bobée
Dan Moisa

Environnement Canada
Division Monitoring et Technologies
Direction de l'Environnement atmosphérique

Jean-Francois Cantin
Richard Laurence
Gérard Desjardins

Ministère de l'Environnement et de la Faune
Direction du Milieu hydrique

Gilles Barabé
Van Diem Hoang
Normand Trempe
Jean-Paul Boucher

Table des matières

Table des matières	i
Avant-propos	ii
1 Introduction.....	1
2 Problématique.....	3
3 Choix de stations	5
3.1 Schéma hydraulique du fleuve.....	5
3.2 Choix de stations.....	5
3.3 Banque de données.....	9
4 Étude de la saisonnalité des débits journaliers.....	11
4.1 Périodicité.....	11
5 Revue des modèles de fonction de transfert.....	17
5.1 Introduction	17
5.2 Modèles linéaires de fonction de transfert	18
5.3 Identification	20
5.4 Estimation de paramètres.....	21
5.5 Prévision / estimation de débits journaliers.....	21
6 Application au fleuve Saint-Laurent	23
6.1 Application préliminaire à quelques stations témoins.....	23
6.2 Méthodologie.....	29
6.3 Résultats	31
7 Conclusions	35
8 Bibliographie	37
Annexe A Programme.....	39
Annexe B Indices de performance.....	43
Annexe C Reconstitution des débits journaliers de 1991-92.....	55

Avant-propos

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du premier volet d'un contrat accordé à la Chaire en Hydrologie statistique CRSNG / Hydro-Québec située à l'INRS-Eau par la Division Monitoring et Technologies de la Direction de l'Environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Ce volet traite de l'estimation des débits dans le fleuve Saint-Laurent. Les auteurs du rapport tiennent à remercier MM. Richard Laurence, Jean-Francois Cantin et Gérard Desjardins pour leurs commentaires et leurs réflexions lors des réunions tenues conjointement au cours de la réalisation de ce travail. Les auteurs tiennent à remercier plus spécialement M. Jean-Francois Cantin qui nous a fourni une partie des données utilisées dans cette étude. Les auteurs veulent aussi remercier leurs collègues du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

1 Introduction

Le réseau hydrométrique de la province de Québec permet de recueillir l'information concernant les débits des rivières québécoises, répondant ainsi à un besoin important en données. Cependant, les récentes coupures budgétaires imposent l'élimination d'une partie du réseau de collecte de la province. Il importe de mener cette réduction de la taille du réseau de façon rationnelle pour minimiser la perte globale d'information. Il importe aussi de considérer tous les critères et objectifs lors de la rationalisation du réseau pour s'assurer que le réseau final répond aux besoins publics et privés de la province. Certains objectifs peuvent avoir une importance prioritaire et doivent être considérés séparément. C'est dans cette optique que l'INRS-Eau a été consulté pour participer au processus de rationalisation du réseau hydrométrique de la province et effectuer des recommandations sur le choix des stations à éliminer.

Le présent travail concerne plus particulièrement l'estimation des débits dans le fleuve Saint-Laurent qui est l'une des grandes priorités d'Environnement Canada. En effet, Environnement Canada désire s'assurer que le réseau rationalisé conserve les stations les plus importantes pour l'estimation des débits dans les tributaires du fleuve. Le fleuve Saint-Laurent joue un rôle primordial dans la vie de l'Est du Canada. Environnement Canada s'intéresse, en particulier, aux débits moyens journaliers le long du fleuve et dans ses tributaires principaux à l'amont de la ville de Québec. Ces données seront généralement obtenues par la mesure des niveaux d'eau à des points de contrôles naturels ou à des sites d'ouvrages hydroélectriques, mais ils peuvent aussi être estimés à l'aide de données provenant de stations situées sur des bassins voisins. Le réseau hydrométrique révisé doit assurer une connaissance adéquate des débits journaliers dans différentes sections du fleuve.

2 Problématique

En raison de son rôle comme voie maritime, il est nécessaire de bien connaître le débit du fleuve Saint-Laurent, préférablement sur une base quotidienne. Cependant, à cause de sa largeur et de l'effet de marée auquel il est soumis, il est difficile, voire impossible, de mesurer directement le débit dans le fleuve. En effet, en aval de la ville de Montréal il n'y a aucune station de mesure située directement sur le fleuve. Pour connaître le débit du fleuve en aval de Montréal, Environnement Canada utilise les données de débits de différents tributaires du fleuve et applique un modèle hydraulique pour ainsi évaluer le débit du fleuve. Puisqu' une rationalisation du réseau hydrométrique de la province de Québec risque de s'imposer, Environnement Canada souhaite évaluer le besoin d'information pour estimer le débit du fleuve. Plus particulièrement, on se pose la question de l'importance des différentes stations hydrométriques situées sur les tributaires du fleuve.

Tout d'abord, nous faisons la distinction entre trois différents types de stations:

- *Stations contrôlées, contrôle connu*

Il s'agit typiquement de stations reliées à des ouvrages hydrauliques tels que des barrages et des centrales hydroélectriques d'Hydro-Québec. L'information concernant la gestion de ces ouvrages (volume turbiné, ouverture des vannes) peut, en principe, être obtenue et l'impact sur l'apport observé à la station peut être évalué. Notons qu'il sera souhaitable d'obtenir cette information en temps réel.

- *Stations contrôlées ou influencées, contrôle inconnu*

L'apport de certaines rivières est influencé de façon non contrôlable par des petits ouvrages hydrauliques, par des villes, par des lacs, etc.

- *Stations non contrôlées*

L'apport à ces stations peut être examiné à l'aide des méthodes statistiques.

La distinction est importante, puisque seules les stations non contrôlées sont traitées dans cette étude. En effet, il est difficile et dans certains cas même impossible d'étudier les caractéristiques statistiques des apports aux stations contrôlées.

On peut noter que pour connaître le débit du fleuve, on est généralement intéressé à considérer les stations qui sont situées le plus à l'aval sur les tributaires (donc le plus près possible du fleuve) mais aussi, où les informations sont disponibles en temps réel.

L'objectif de cette étude, tel que défini par les représentants d'Environnement Canada, est de savoir comment estimer le débit vers le fleuve Saint-Laurent dans chaque tributaire. Le développement d'un indice global permettant d'évaluer l'importance de la contribution relative de chaque tributaire n'est pas considéré parmi les objectifs actuels. Notre étude vise donc à déterminer, pour chaque tributaire, les stations qu'il faut garder (sur le tributaire ou dans son voisinage) dans le cas d'une rationalisation du réseau pour avoir une bonne estimation du débit dans ce tributaire. Étant limité par les données disponibles, nous ne pouvons étudier les tributaires qu'à partir des stations qui les représentent. La question à laquelle on est alors amené à répondre est:

Pour chaque station d'un tributaire donné, est-ce qu'il est possible de reconstituer, à l'aide de méthodes statistiques, l'information perdue si la station est éliminée lors d'une rationalisation du réseau hydrométrique?

Il faut donc souligner que notre étude concerne l'estimation du débit *au* fleuve et non pas *du* fleuve. En effet, l'estimation du débit du fleuve est assez délicate dans la partie à l'est de la ville de Québec où il devient un estuaire. On peut également noter que l'on porte *a priori* un intérêt égal à toutes les stations considérées dans l'étude. Évidemment, les stations sur les tributaires principaux sont plus importantes que les stations sur les tributaires secondaires, mais la question concernant l'intérêt relatif de chaque station n'est pas abordée ici.

Il existe plusieurs méthodes statistiques pour transférer de l'information. Ici, nous avons retenu les modèles de transfert qui nous semblent bien adaptés pour répondre à l'objectif de cette étude. Ces modèles sont décrits dans la section 5.

3 Choix de stations

3.1 Schéma hydraulique du fleuve

La première étape de cette recherche était d'élaborer le schéma hydraulique du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et le golfe Saint-Laurent (Figure 1). Ce schéma permet d'identifier la position des différentes stations les unes par rapport aux autres. On a également, à partir de l'information fournie par le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, classé les stations en différentes catégories:

- débit naturel
- débit influencé journalièrement
- débit influencé mensuellement
- débit influencé
- débit d'un réservoir

3.2 Choix de stations

Seules les stations où le débit est naturel ou influencé journalièrement sont considérées dans cette étude. On voit sur le schéma hydraulique que la majorité des stations tombent dans une de ces deux catégories. Les stations dont le débit est contrôlé sur une échelle de temps plus grande qu'un jour sont considérées inutilisables pour le type d'étude statistique que nous effectuerons. Ce ne sont pas toutes les stations d'apport naturel apparaissant sur le schéma hydraulique qui ont été retenues pour l'étude statistique; en effet, puisque nous nous intéressons à l'apport des tributaires au fleuve, nous avons éliminé les stations dont l'apport est mesuré par une autre station plus à l'aval. Plus particulièrement, si deux stations apparaissent en série sur une tributaire, seule la station la plus proche de l'embouchure est retenue. Par contre, si deux stations sont en parallèle, elles sont considérées toutes deux. Les contributions des différentes stations sont ainsi additives. Un résumé des stations retenues est donné dans le tableau 3.1, et les stations du tableau 3.2 n'ont pas été retenues dans l'étude.

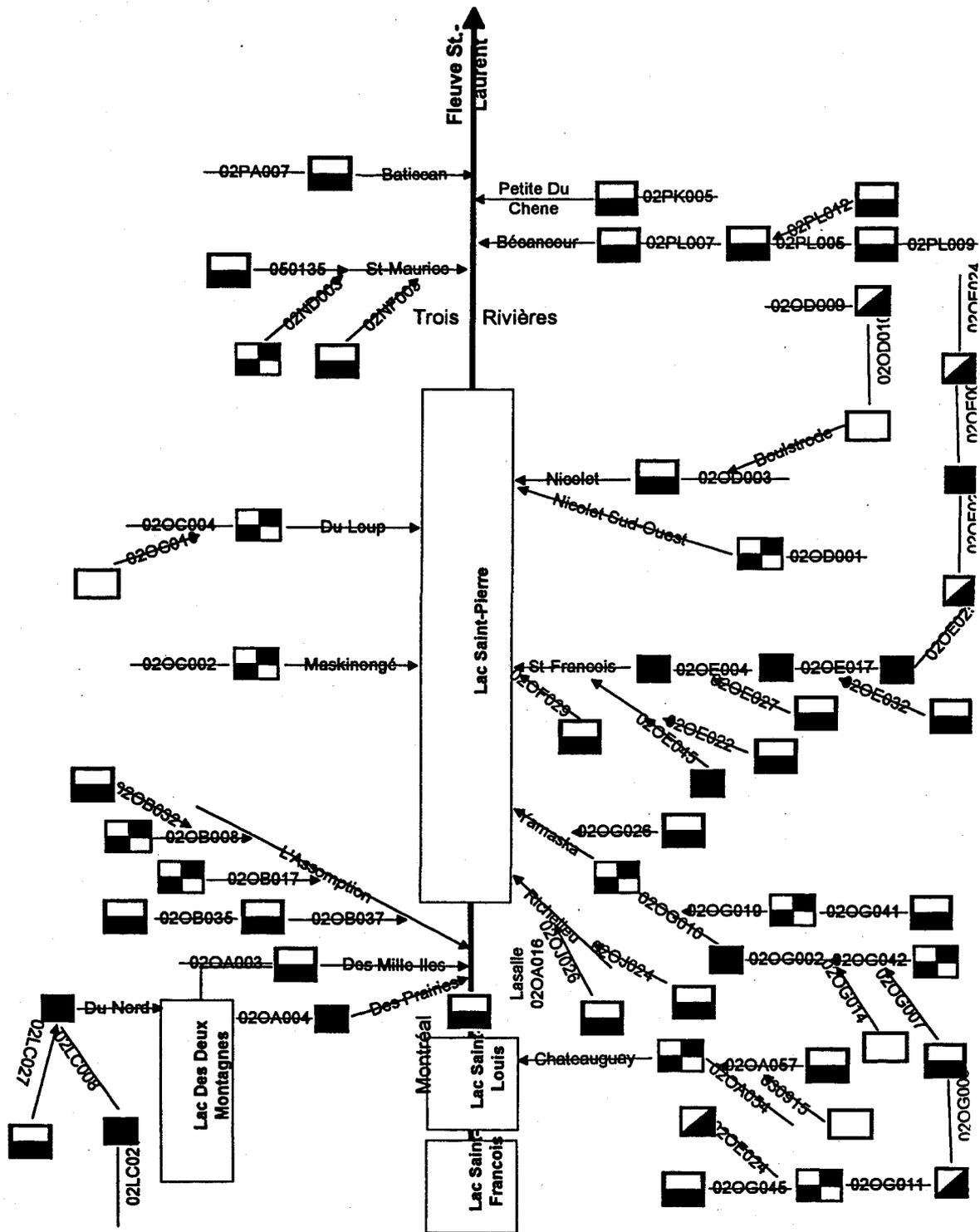


Figure 3.1 Schéma hydraulique du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et le golfe Saint-Laurent

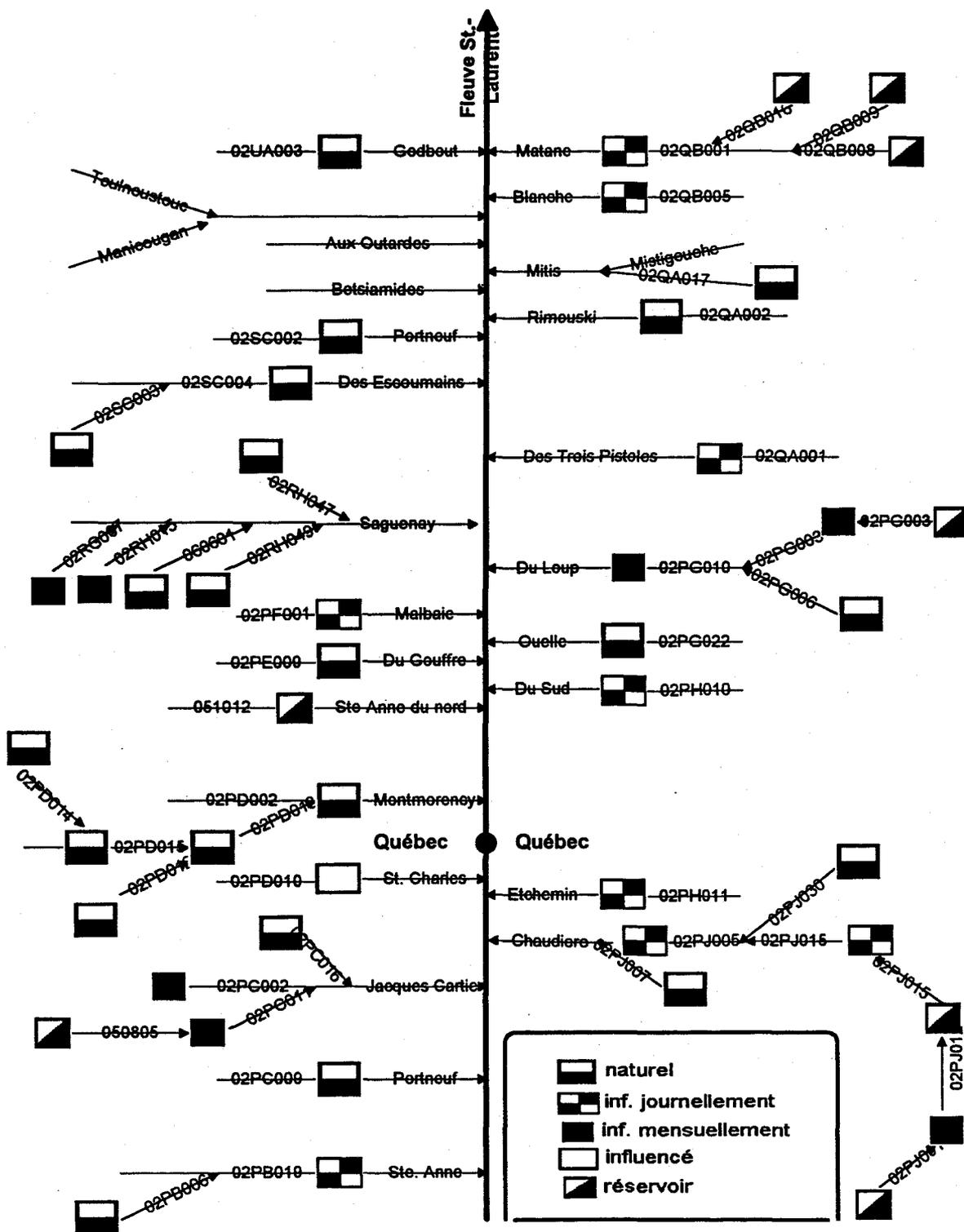


Figure 3.1 (suite)

Tableau 3.1 Stations naturelles ou peu influencées sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent. Les 49 stations en gras sont celles retenues dans cette étude.

Code Env. Can.	Code MEFQ	Nom de la station	Bassin versant (km ²)	Années d'observation
02OA016	-	Lasalle	-	55-92 (38)
02LC027	040129	Doncaster	109	74-92 (19)
02OA003	-	Des Millie-Iles	-	13-92 (80)
02OB036	052231	Beauport	76.7	75-92 (18)
02OB037	052233	De l'Achigan	647	79-92 (14)
02OB017	052212	Ouareau	1270	66-92 (27)
02OB008	052219	L'Assomption	1340	70-92 (23)
02OB032	052228	Noire	190	74-92 (19)
02OC002	052601	Maskinongé	1030	25-92 (62)
02OC004	052806	Du Loup	774	66-92 (28)
02OC010	052809	Sacacomie	53.8	65-91 (27)
02NF003	050119	Mattawin	-	31-92 (62)
02ND003	050144	Vermillon	2640	82-92 (11)
-	050135	La croche	Absent de l'annuaire	
02PA007	050304	Batiscan	4480	67-92 (26)
02PB019	050408	Ste-Anne	1550	65-92 (28)
02PB006	050409	Ste-Anne	642	65-92 (28)
02PC009	050701	Portneuf	355	66-92 (27)
02PC016	050812	Aux Pommes	72.3	79-88 (10)
02PD010	050904	St-Charles	357	69-92 (24)
02PD002	051001	Montmorency	1100	24-92 (69)
02PD013	051003	Ruisseau eau volées	9.17	67-92 (26)
02PD012	051002	Ruisseau eau volées	3.94	65-92 (28)
02PD015	051007	Ruisseau des aulnaies	3.57	71-92 (22)
02PD014	051004	Ruisseau des aulnaies	1.22	66-92 (27)
02PE009	051301	Du Gouffre	865	67-92 (26)
02PF001	051502	Malbaie	1700	67-92 (26)
02RH047	062802	Ste-Marguerite	1100	76-92 (17)
02RH049	060101	Petite Saguenay	736	74-92 (19)
-	060601	Des Ha! Ha!	Absent de HYDAT	
02SC004	070203	Des Escoumins	767	-
02SC002	070401	Portneuf	2010	74-92 (19)
02OA054	030905	Chateauguay	2490	70-92 (23)
02OA057	030907	Des Anglais	643	73-92 (20)
-	030915	-	Absent de l'annuaire	
02OJ026	030421	L'Acadie	325	79-92 (14)
02OJ024	030415	Des Hurons	287	73-92 (20)
02OG010	030341	Yamaska	3310	77-83 (7)
02OG026	030316	David	342	69-92 (24)
02OG019	030304	Noire	1490	66-92 (28)
02OG041	030339	Noire	583	81-92 (12)
02OG014	030314	Yamaska	210	68-92 (25)
02OG042	030340	Yamaska	271	83-92 (10)
02OG007	030309	Yamaska	139	68-92 (24)
02OG011	030335	Yamaska	59.3	78-92 (15)
02OG045	030343	Yamaska	30.5	84-92 (8)
02OF029	030291	St-Germain	270	85-92 (8)
02OEO22	030215	Coaticook	619	69-92 (34)
02OEO27	030234	Eaton	642	53-92 (40)
02OEO32	030282	Au Saumon	738	74-92 (19)
02OD001	030103	Nicolet	549	29-92 (64)
02OD003	030103	Nicolet	1640	66-92 (27)
02OD010	030106	Bulstrode	338	75-92 (18)
02PL007	024007	Bécancour	2330	70-92 (23)
02PL005	024003	Bécancour	919	66-92 (27)
02PL009	024013	Bécancour	227	79-92 (14)
02PK005	023701	Petite Du Chene	356	72-92 (21)
02PJ007	023401	Beaurivage	709	25-92 (68)

02PL012	024010	Bullard	25.7	77-92 (16)
02PJ005	023402	Chaudière	5820	63-92 (30)
02PJ015	023429	Chaudière	3070	69-72 (4)
02PJ030	023422	Famine	691	65-92 (28)
02PH011	023303	Etchemin	1160	80-92 (13)
02PH010	023106	Du Sud	821	66-92 (27)
02PG022	022704	Ouelle	796	82-92 (11)
02PG006	022507	Du Loup	525	78-92 (15)
02QA001	022301	Trois Pistoles	932	23-92 (70)
02QA002	022003	Rimouski	1610	62-92 (31)
02QA017	021915	Neigette	494	74-92 (26)
02QB005	021702	Blanche	208	67-92 (26)
02UA003	-	Godbout	-	74-92 (19)
02QB001	021601	Matane	1650	26-92 (67)

Tableau 3.2 Stations influencées situées sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent. Ces stations n'ont pas été retenues dans cette étude.

Code Env. Can.	Cod Env. Québec	Nom de la station	Bassin versant (km ²)
02LC008	040110	Du Nord	1170
02LC021	040122	Du Nord	311
02QA004	043301	Des Prairies	146000
02PC002	050801	Jacques Cartier	2010
02PC011	050807	Ontaritzi	213
02OJ007	-	Richelieu	22000
02OG002	030302	Yamaska	1230
02OE045	030220	Massawippi	610
02OE004	030206	St-Francois	4130
02OE017	030284	St-Francois	2940
02OE025	030278	St-Francois	1730
02PJ012	023427	Chaudière	775
02PG010	022513	Du Loup	1050
02PG003	022505	Fourchue	261

3.3 Banque de données

Les données journalières de débit utilisées dans ce travail ont été extraites de HYDAT (version 1994). Notons que les données finissent en 1992.

4 Étude de la saisonnalité des débits journaliers

4.1 Périodicité

Avant d'appliquer des modèles de fonction de transfert, une analyse statistique descriptive a été effectuée. Le but principal de cette étape était d'identifier si un effet saisonnier est présent dans les corrélations croisées entre les stations. Puisque les modèles de fonction de transfert sont basés essentiellement sur la corrélation entre deux variables (dans notre cas les débits à deux sites), il est, en effet, important d'identifier la présence éventuelle des phénomènes saisonniers, pour éventuellement en tenir compte dans la modélisation..

Les corrélations croisées calculées dans cette partie de l'étude sont basées sur des données transformées logarithmiquement. Cette transformation a été effectuée pour respecter l'hypothèse de normalité des données et d'homoscédasticité des erreurs de prédiction (voir la section suivante) qui sont requises dans les modèles de fonction de transfert. Ces hypothèses ne seront pas respectées si l'on considère les données brutes. On peut vérifier que de manière générale la corrélation entre les débits journaliers à deux sites est plus significative après la transformation.

Dans cette étude préliminaire de saisonnalité, on a retenu quelques paires de stations témoins (voir tableau ci-dessous) situées à différents endroits du fleuve (amont, milieu et aval).

Tableau 4.1 Paires de stations considérées pour l'analyse de saisonnalité

02OB037	02OB017
02PA007	02PB019
02PA007	02PC009
02PA007	02PL007
02OC002	02OC004
02OG026	02OG019
02OD003	02PL005
02PJ007	02PJ030

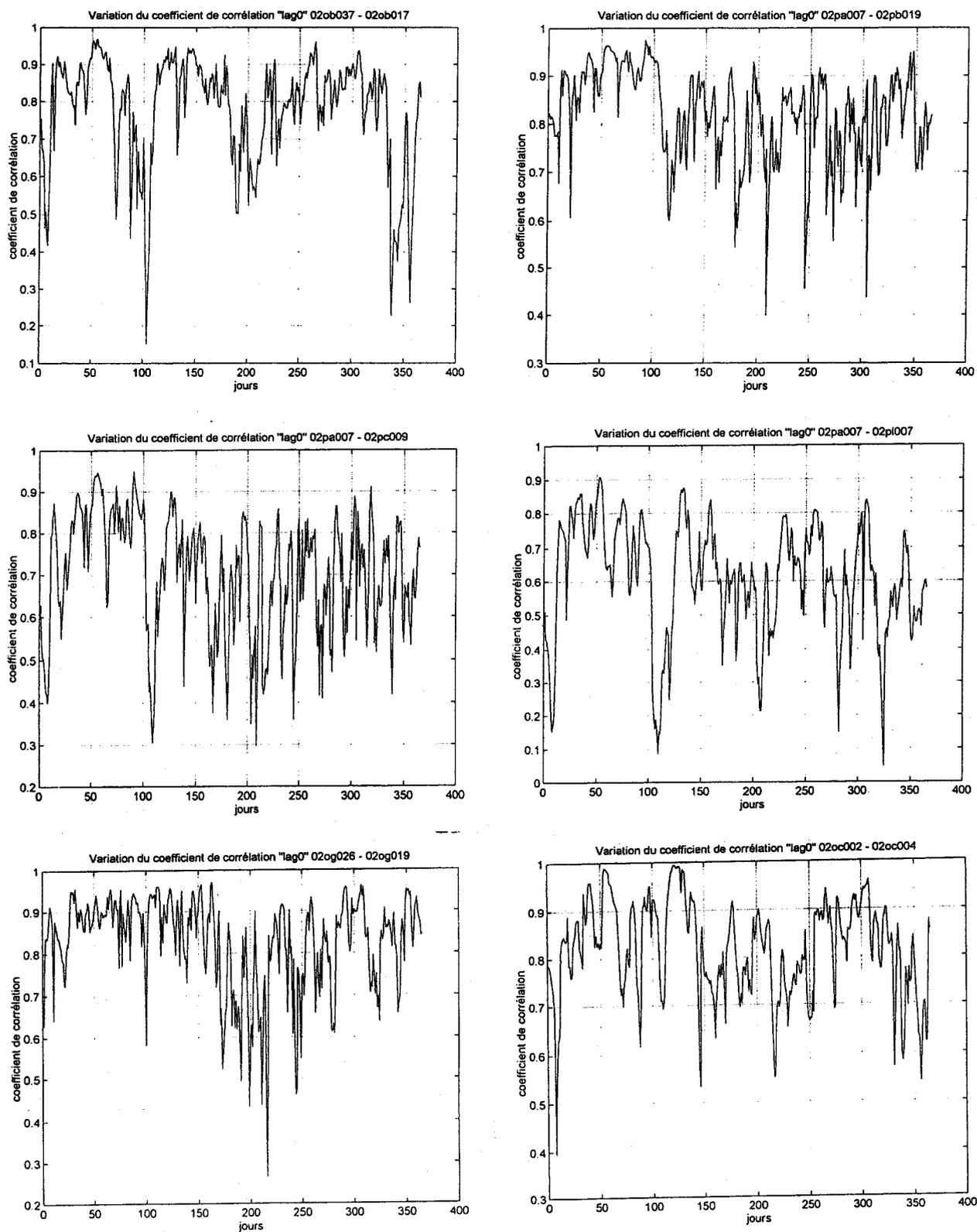


Figure 4.1 Corrélation croisée d'ordre zéro pour différentes paires de stations

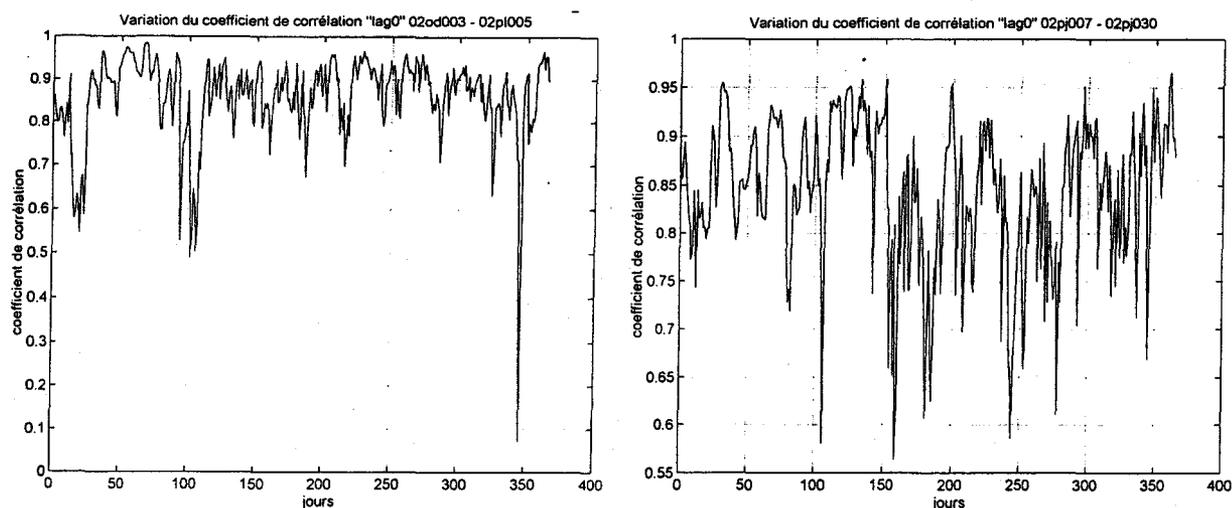


Figure 4.1 (suite)

Pour avoir des corrélations assez élevées, on a choisi les paires de stations en fonction de leur proximité géographique. On cherche plus particulièrement des stations dont les bassins versants sont exposés au même climat et, encore plus important, aux mêmes événements météorologiques. On doit d'ailleurs noter que ce n'est pas seulement la proximité géographique qui détermine le degré de corrélation. D'autres facteurs, tels la taille et la pente du bassin versant, peuvent également être importants puisqu'ils conditionnent le temps de réponse du bassin.

La corrélation croisée d'ordre zéro entre les différentes paires de stations est présentée dans la figure 4.1. Nous avons également analysé les corrélations croisées jusqu'à l'ordre cinq, mais, seuls les graphiques pour le décalage zéro sont présentés dans ce rapport. On observe une variation importante des estimations de la corrélation croisée au niveau journalier, en raison du nombre relativement faible d'années d'observation. C'est pourquoi, nous tenterons plutôt de dégager des tendances générales. Il est assez difficile de conclure à l'existence d'une saisonnalité à partir des graphiques de la figure 4.1. Il semble que, dans la plupart de cas, la corrélation est légèrement plus élevée au début de l'année (jours 1 à 80) où c'est le débit de base que domine l'écoulement. Autour des jours 100 à 125, on voit souvent une forte diminution de la corrélation croisée qui est liée à la crue de printemps. Si, pour certaines années, les pointes de crue de printemps sont décalées de quelques jours, la corrélation croisée doit nécessairement diminuer. Pour certaines paires de stations, on observe une forte diminution à la fin de l'année, difficile à expliquer statistiquement ou physiquement. Il s'agit probablement d'un phénomène relié au début du gel des rivières.

Nous avons aussi effectué une analyse harmonique des corrélations croisées. À titre d'exemple, la figure 4.2 montre les résultats pour la paire 02SC002-02RH047. Dans la plupart des cas, il s'est avéré assez difficile de modéliser de façon adéquate la variation des corrélations croisées par un nombre limité de fonctions harmoniques. L'utilisation de 1, 2 ou 3 harmoniques conduit généralement à des variations qui ne sont pas présentes dans les données observées. On doit en général considérer un nombre assez élevé d'harmoniques pour assurer une bonne cohérence avec les données observées et dans ce cas, les résultats de l'analyse harmonique ne sont plus intéressants.

On pourrait peut-être améliorer le modèle et l'approche en validant les données: un lissage préalable des données (filtre passe bas) pourrait engendrer de meilleurs résultats. La validation des données est donc une étape importante du traitement des données avant analyse.

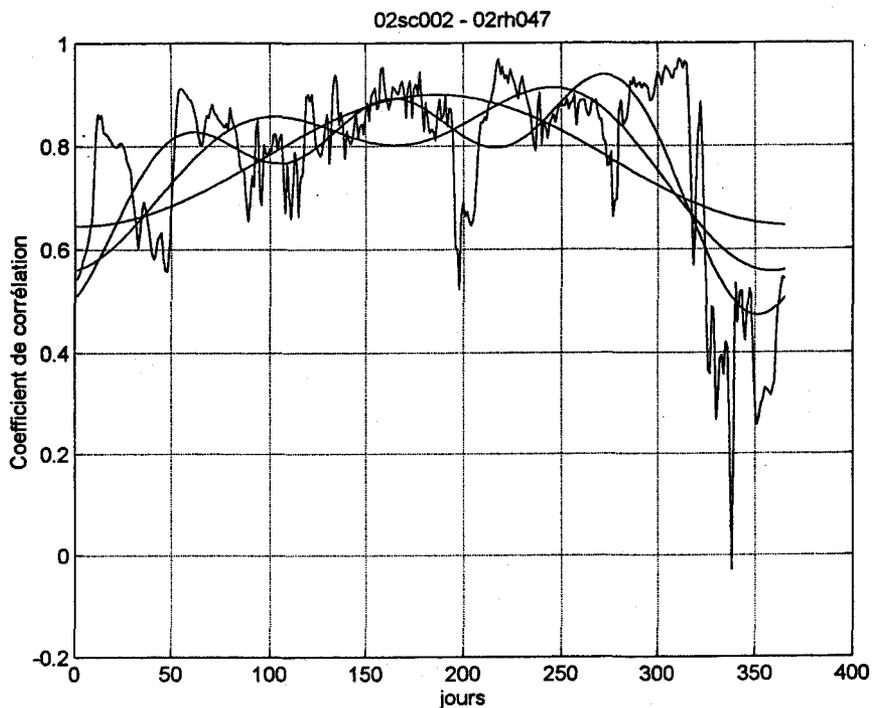


Figure 4.2 Résultats de l'analyse harmonique des corrélations croisées d'ordre zéro pour la paire 02SC002-02RH047

Suite à l'analyse préliminaire de la corrélation croisée, nous avons conclu qu'il n'est pas justifié d'utiliser un modèle saisonnier plus complexe et nécessitant l'estimation d'un nombre important de paramètres.

5 Revue des modèles de fonction de transfert

5.1 Introduction

Dans la présente étude, nous proposons de retenir les modèles stochastiques linéaires de fonction de transfert pour l'estimation des débits d'une rivière à partir des débits d'une rivière voisine. Les modèles de fonction de transfert ont déjà été utilisés dans cette optique, par exemple par Beauchamp *et al.* (1989). Dans cette section, nous donnerons une brève revue de ce type de modèle qui sera ensuite étudié pour prédire les débits. Il existe plusieurs ouvrages portant sur les modèles linéaires de fonction de transfert. On peut noter, à titre d'exemple, les livres de Box *et al.* (1994), Hipel et McLeod (1994) et Ljung (1987) qui sont tous d'excellentes références. Ljung (1987) a présenté la classe de modèles la plus générale et en plus, il a proposé un cadre général d'identification de systèmes. Plusieurs de ces approches pour l'identification de systèmes sont implantées dans le logiciel MATLAB (*System Identification Toolbox*) que nous avons utilisé pour réaliser cette étude. La notation adoptée dans ce qui suit est basée sur le livre de Ljung (1987).

Un système peut être illustré de la façon suivante:

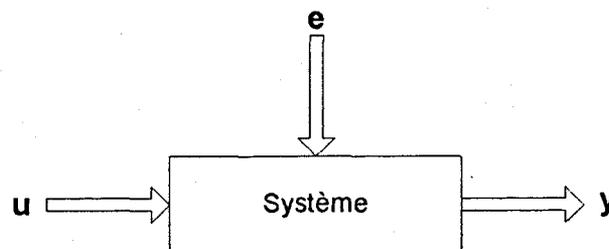


Figure 5.1 Représentation schématique des intrants (u), des sorties (y) et du bruit (e) d'un système

L'intrant au système est la série $u(t)$, $t=1,2,\dots,N$ et la sortie du système est la série $y(t)$, $t=1,2,\dots,N$. La relation entre u et y , que l'on suppose linéaire dans les modèles que nous considérerons, est rarement parfaite et on doit alors ajouter un bruit qui influence la relation.

Le but de l'identification du système est de:

- déterminer la meilleure relation linéaire entre u et y ; et
- d'effectuer une caractérisation stochastique du bruit.

5.2 Modèles linéaires de fonction de transfert

Dans le contexte de la prévision / estimation des débits journaliers, la série y représente le débit journalier à une station susceptible d'être éliminée lors d'une rationalisation et la série u représente le débit d'une rivière voisine où le jaugeage est continu. Les modèles de fonction de transfert que nous considérons ici ne permettent pas le contrôle du type rétroaction. En général, on suppose l'existence d'une relation de causalité entre les variables u et y de la forme:

$$y(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g(k) u(t-k) + v(t) \quad (1)$$

où les coefficients $g(k)$ représentent les réponses impulsionnelles et $v(t)$ représente le bruit. Pour simplifier la notation, on introduit la fonction de transfert, $G(B)$, définie par:

$$G(q) = \sum_{k=0}^{\infty} g(k) q^k \quad (2)$$

où q est l'opérateur de délai tel que $q^{-k}u(t) = u(t-k)$. En adoptant cette notation, l'équation 1 devient:

$$y(t) = G(q)u(t) + v(t) \quad (3)$$

Le bruit peut être considéré comme un bruit blanc filtré, $v(t) = H(q) e(t)$, où $H(B)$ est une fonction de transfert et où $e(t)$ représente le bruit blanc. Dans ce cas, on obtient

$$y(t) = G(q)u(t) + H(q) e(t) \quad (4)$$

Cette description n'est pas économique en termes de paramètres; cependant, il est souvent possible d'exprimer $G(B)$ et $H(B)$ sous forme de rapports rationnels. Dans cette optique, Ljung (1987) propose l'expression suivante comme classe générale de fonctions linéaires de transfert:

$$A(q)y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t-n_k) + \frac{C(q)}{D(q)} e(t) \quad (5)$$

où:

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a}$$

$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b+1}$$

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c}$$

$$D(q) = 1 + d_1 q^{-1} + \dots + d_{n_d} q^{-n_d}$$

$$F(q) = 1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{n_f} q^{-n_f}$$

Le paramètre n_k est le temps de délai avant la réponse du système à l'intrant. Il est important de souligner que plusieurs modèles qui ont acquis une certaine popularité en hydrologie représentent des cas particuliers de ce modèle général. Le tableau suivant en donne quelques exemples.

Tableau 5.1 Modèles linéaires de fonction de transfert

Nom	Forme du modèle
ARX	$A(q)y(t) = B(q)u(t-n_k) + e(t)$
ARMAX	$A(q)y(t) = B(q)u(t-n_k) + C(q)e(t)$
Output Error	$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t-n_k) + e(t)$
Box-Jenkins	$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t-n_k) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t)$

Les modèles décrits dans le tableau 5.1 peuvent être facilement généralisés aux cas où plusieurs intrants sont présents.

Dans cette étude, où l'on souhaite estimer les débits d'une rivière non jaugée, il s'avère difficile, voire inutile, de considérer des termes autorégressifs dans la prédiction de $y(t)$. On pourrait, en principe, envisager une régression sur $\hat{y}(t-1), \hat{y}(t-2), \dots$ (les estimations de y). Cependant en considérant une telle approche, on risque d'accumuler les erreurs de prédiction. C'est pourquoi, nous avons retenu le modèle décrit par l'équation (4) dans le cadre de cette étude.

5.3 Identification

Pour étudier la causalité et pour estimer la forme et les paramètres du modèle de transfert, il s'avère pratique de préblanchir la série d'intrants, $u(t)$. Box *et al.* (1994) proposent d'utiliser un filtre du type ARMA (*autoregressive moving average*). Cependant, un filtre autorégressif (AR) simple donne souvent des résultats satisfaisants et ses paramètres sont plus faciles à estimer. On considère alors la série de l'intrant $U(t)$ préblanchie par le filtre $\phi_u(q)$:

$$U(t) = \phi_u(q)u(t) \quad (6)$$

Le même filtre peut être appliqué aux sorties, $Y(t) = \phi_u(q)y(t)$, et aux résidus, $E(t) = \phi_u(q)e(t)$. Après l'application du filtre $\phi_u(q)$ aux deux membres de l'équation (4), la relation suivante est obtenue:

$$Y(t) = G(q)U(t) + H(q)E(t) \quad (7)$$

Pour obtenir une estimation de l'élément $g(k)$ de la fonction de réponse impulsionnelle, on peut multiplier cette expression par $U(t-k)$ et prendre l'espérance mathématique du produit. Puisque U est non corrélé avec E , et $U(t)$ est un bruit blanc (ce qui implique $E[U(t)U(t-k)] = 0$ pour $k \neq 0$), on obtient:

$$\gamma_{UY}(k) = g(k) \sigma_U^2 \quad (8)$$

où $\gamma_{UY}(k)$ est la covariance croisée entre U et Y décalé de k pas de temps. Les réponses impulsionnelles sont alors proportionnelles aux corrélations croisées. Plus particulièrement, on peut estimer les réponses impulsionnelles par:

$$\hat{g}(k) = \frac{\hat{\sigma}_Y}{\hat{\sigma}_U} \hat{\rho}_{UY}(k) \quad (9)$$

où $\rho_{UY}(k) = \gamma_{UY}(k)/(\sigma_U\sigma_Y)$ représente la corrélation croisée entre U et Y décalée de k pas de temps. L'estimation de $G(q)$ obtenue de cette façon doit être considérée comme préliminaire. Cependant, l'approche décrite ci-dessus permet d'identifier la forme la plus appropriée de $G(q)$ et, en particulier, le nombre de termes à inclure. Elle permet également d'examiner l'existence d'une relation de causalité. Une corrélation croisée $\rho_{UY}(k) = E[Y(t)U(t-k)]$ qui est significativement différente de zéro pour certaines valeurs négatives de k est caractéristique d'un système avec rétroaction.

Une fois l'estimation préliminaire de la fonction de transfert obtenue, on peut procéder à l'identification de la forme du modèle de bruit. On considère, dans ce cas, la série $z(t) = A(q)y(t) - B(q)F^{-1}(q)u(t - n_k)$ (modèle général de Ljung) ou, avec la notation de l'équation (4), $z(t) = y(t) - G(q)u(t - n_k)$ et on essaie de déterminer un modèle ARMA qui décrit de façon adéquate ces valeurs. On considère plus particulièrement le modèle:

$$z(t) = \frac{C(q)}{D(q)} e(t)$$

Notons qu'il existe une vaste littérature sur les techniques d'identification des modèles ARMA. La référence la plus classique est le livre de Box *et al.* (1994, première édition en 1970).

5.4 Estimation de paramètres

La technique privilégiée pour l'estimation des paramètres d'un modèle de transfert est la méthode des moindres carrés. Cette approche, qui nécessite généralement une procédure itérative, vise à identifier les paramètres qui minimisent la somme des carrés des résidus (les erreurs de prédiction).

5.5 Prévision / estimation de débits journaliers

Les modèles linéaires de fonction de transfert sont utilisés pour décrire de façon mathématique le comportement d'un système linéaire. Très souvent, cette connaissance mathématique est utilisée pour la prévision des valeurs futures des sorties du système. Dans le contexte de la présente étude, le but est de prédire les débits d'une rivière à partir de la connaissance des débits d'une rivière voisine. Puisque notre but n'est pas de faire la prévision des valeurs futures mais plutôt d'estimer des valeurs historiques ou présentes, nous préférons utiliser le terme *estimation*.

Un même modèle de transfert peut généralement être écrit de trois façons différentes. Par exemple dans le tableau 5.1, on constate que pour le modèle Box-Jenkins, la relation reliant $y(t)$ et $u(t)$ peut s'écrire:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t - n_k) \tag{10}$$

Cependant, cette même relation peut également être formulée par:

$$F(q)y(t) = B(q)u(t - n_k) \quad \text{ou encore} \quad \frac{F(q)}{B(q)}y(t) = u(t - n_k) \quad (11)$$

Les deux dernières expressions font intervenir des termes autorégressifs. On a déjà souligné qu'après une éventuelle rationalisation, nous ne disposerons pas d'observations de $y(t)$ mais que nous pouvons toujours utiliser des valeurs estimées de $y(t)$. Ainsi, les expressions qui font intervenir des termes autorégressifs ne sont pas pratiques et peuvent être considérées comme non nécessaires, car l'autocorrélation est incluse implicitement dans la formulation (10). C'est pourquoi, nous préférons utiliser la forme (10) pour l'estimation des débits journaliers.

En ce qui concerne l'influence du modèle d'erreurs sur les estimations, le problème relié au manque de connaissance de $y(t)$ est encore plus important. En effet, puisque $y(t)$ n'est pas observé après la rationalisation, les futures erreurs de prédiction sont également inconnues. Leurs espérances mathématiques doivent alors être supposées égales à zéro. Ces considérations nous mènent à proposer le modèle suivant, basé sur (4), pour l'estimation des débits journaliers:

$$\hat{y}(t) = G(q)u(t) \quad (12)$$

Après l'introduction de la fonction de transfert, cette expression devient:

$$y(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g(k) u(t - k) \quad (13)$$

On doit mentionner que, bien que le modèle d'erreurs ne soit pas considéré dans l'estimation des débits journaliers, il peut être important d'en tenir compte dans l'estimation des paramètres du modèle de transfert. Cette question sera abordée dans la section suivante.

6 Application au fleuve Saint-Laurent

6.1 Application préliminaire à quelques stations témoins

Dans l'optique de développer une méthodologie automatisée pour l'analyse de la reconstitution des débits journaliers, nous étudierons dans ce qui suit la possibilité de reconstituer l'information pour trois stations témoins (stations principales) à l'aide de trois autres stations (stations auxiliaires). Le tableau ci-dessous présente quelques caractéristiques des stations considérées:

Table 6.1 Paires de stations retenues pour l'étude préliminaire

Cas	Station principale	Nom	Superficie du bassin versant	Station auxiliaire	Nom	Superficie du bassin versant	No. de données concomitantes
1	02PH010	Du Sud	821	02PH011	Etchemin	1160	4424
2	02PA007	Batiscan	4480	02ND003	Vermillon	2640	3622
3	02PD010	St-Charles	357	02PC009	Portneuf	355	8664

L'une des hypothèses de base des modèles linéaires est que la variance des résidus doit être constante (homoscédacité) et indépendante de l'intrant. La vérification de cette hypothèse est importante pour une estimation efficace des paramètres du modèle. Cependant, dans le cas de la prévision des débits journaliers bruts, on s'attend à ce que l'erreur de prévision soit particulièrement importante lorsque les débits sont élevés (par exemple, durant la période de fonte de neige). Pour mieux respecter les hypothèses de base et ainsi améliorer l'estimation des paramètres, nous suggérons d'effectuer préalablement une transformation logarithmique des données. (Cette opération permet de transformer le facteur d'échelle en un facteur de position.) Après la transformation, on soustrait de chaque donnée la moyenne de la série pour avoir des séries de moyenne nulle.

La fonction CRA de MATLAB permet de calculer et visualiser différents liens entre deux séries. Plus précisément, CRA donne la fonction d'autocovariance de la série d'intrants préblanchis, la fonction d'autocovariance de la série de sortie soumise au même filtre, la corrélation entre les deux séries filtrées ainsi que les réponses impulsionnelles. Le filtre utilisé pour préblanchir les

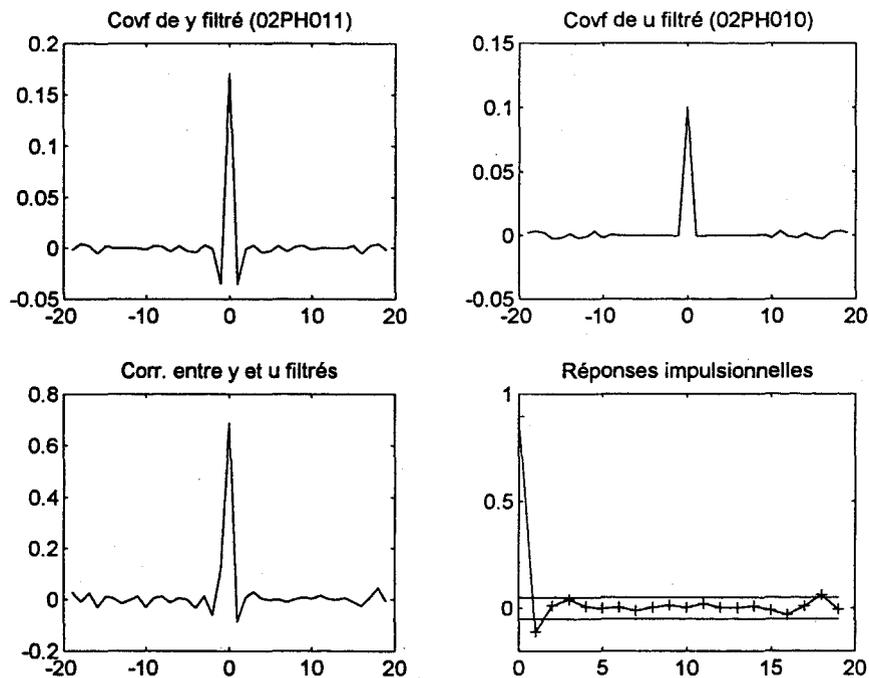


Figure 6.1a Calcul des réponses impulsionnelles pour le cas 1 (stations 02PH010 / 02PH011).

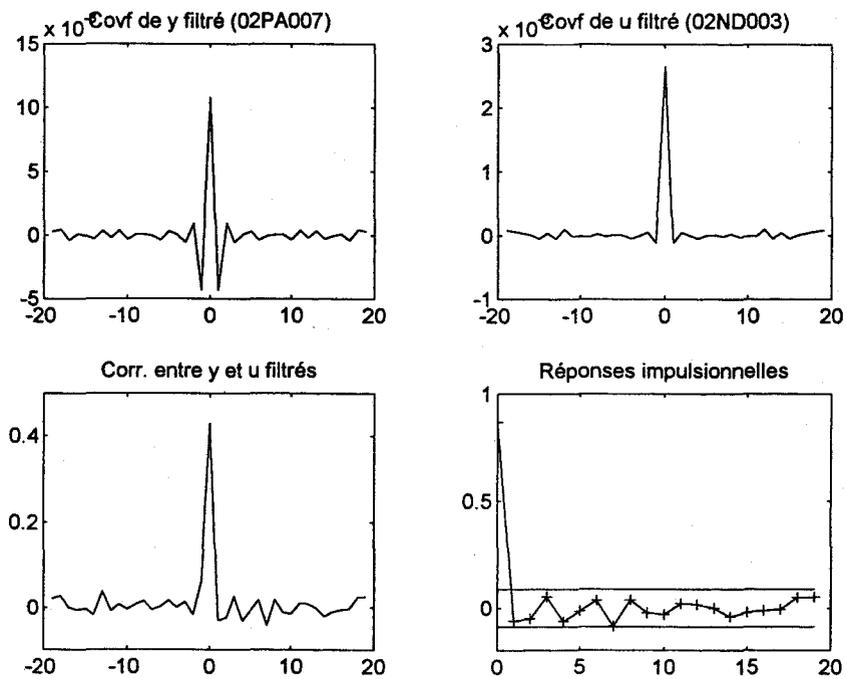


Figure 6.1b Calcul des réponses impulsionnelles pour le cas 2 (stations 02PA007 / 02ND003).

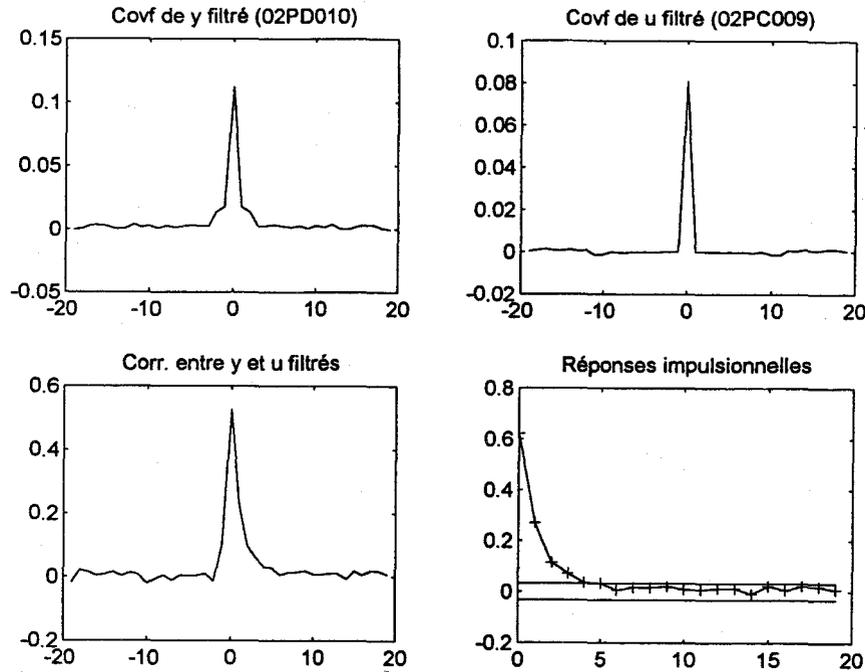


Figure 6.1c Calcul des réponses impulsionnelles pour le cas 3 (stations 02PD010 / 02PC009).

intrants est basé sur une autorégression d'ordre 10. Les figures 6.1a-c montrent les résultats de l'analyse pour les trois cas considérés. Dans les cas 1 et 2, le filtre de préblanchissement de l'intrant conduit à un quasi-blanchissement de la sortie. Ceci est particulièrement clair quand on examine la corrélation entre les deux séries filtrées où seulement la corrélation d'ordre zéro semble significative. Dans le cas 1, la réponse impulsionnelle d'ordre 1, $g(1)$, tombe légèrement hors de l'intervalle de confiance à 99%, mais elle est négative ce qui physiquement semble peu réaliste. La valeur significative de $g(1)$ est probablement le résultat de l'échantillonnage et d'un filtrage imparfait. En conclusion, pour les cas 1 et 2, l'analyse suggère une causalité instantanée, c'est-à-dire un modèle du type suivant:

$$y(t) = g u(t) + H(q) e(t) \quad (14)$$

Dans le cas 3, on observe que la série de sortie filtrée n'est pas un bruit blanc. La corrélation entre les deux séries est assez élevée pour $k = 1, 2, 3$. On retrouve le même phénomène dans la fonction de réponse impulsionnelle dont plusieurs valeurs dépassent les bornes de l'intervalle de confiance à 99%. Ces résultats suggèrent l'utilisation d'un modèle du type:

$$y(t) = \sum_{k=0}^3 g(k) u(t-k) + H(q) e(t) \quad (15)$$

Nous avons procédé à l'estimation de différents modèles et à leur comparaison en termes de qualité des prévisions / estimations. En utilisant la notation de Ljung (1987) et celle utilisée dans MATLAB, nous introduisons le vecteur nn dont les éléments sont les ordres des différents polynômes du modèle de fonction de transfert général (5):

$$nn = [n_A \ n_B \ n_C \ n_D \ n_F \ n_k] \quad (16)$$

Par exemple, si $H(q) = C(q)/D(q) = 1$ dans (14), alors l'ordre du modèle est défini par le vecteur $nn = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, ou si le modèle d'erreur dans (15) est autorégressif d'ordre 1, alors $nn = [0 \ 4 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$.

Pour les cas 1 et 2 qui démontrent une causalité purement instantanée, nous avons examiné l'impact du modèle d'erreur sur l'estimation des paramètres et sur la qualité des prédictions. Les résultats sont présentés dans les tableaux 6.2a-b.

Le but du modèle d'erreur est d'éliminer l'autocorrélation des erreurs de prédiction. La figure 6.2a-b montre que, dans les deux cas considérés, l'autocorrélation est très significative pour le modèle simple de régression linéaire (modèle $[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$). L'introduction d'une régression sur l'erreur précédente ne change que légèrement la valeur du paramètre g_0 , mais elle diminue significativement la variance de prévision. Cependant, puisque les erreurs ne sont pas connues après la rationalisation, nous devons plutôt considérer la variance des erreurs associée à la prédiction $y(t) = g_0 u(t)$, car c'est cette valeur qui sera utilisée en pratique. La dernière colonne des tableaux 6.2a-b présente la valeur de cette variance. On voit que la considération d'un modèle linéaire pour les erreurs a un impact minime sur la variance des prévisions. Ceci suggère que l'on pourrait considérer un modèle de régression simple pour l'estimation des débits journaliers.

Les résultats pour les différents modèles considérés pour le troisième cas d'étude sont fournis dans le tableau 6.2c. On peut observer que l'introduction d'un modèle d'erreur (modèle $[0 \ 4 \ 10 \ 0 \ 0 \ 0]$ au lieu du modèle $[0 \ 4 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$) conduit à des changements assez importants dans les valeurs des paramètres. Cependant, nous estimons que ceci est le résultat de la forte colinéarité entre les quatre séries d'intrants, $u(t)$, $u(t-1)$, $u(t-2)$ et $u(t-3)$, plutôt que de l'impact du modèle d'erreur. Pour la prévision sans régression sur les erreurs précédentes, c'est-à-dire $y(t) = \sum_{i=0}^3 g_i u(t-i)$, on observe une augmentation de la variance du modèle $[0 \ 4 \ 10 \ 0 \ 0 \ 0]$ par rapport au modèle $[0 \ 4 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$. Cependant, l'amplitude de cette augmentation n'est pas très significative.

Tableau 6.2a Cas 1. Différents modèles de transfert et les variances des erreurs de prédiction qui y sont associées. La dernière colonne contient la variance de prédiction lorsqu'on ne tient pas compte des erreurs précédentes.

nn	Modèle	g_0	Variance des erreurs de prédiction	Var. des erreurs de prédiction (sans erreurs)
[0 1 0 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t)$	0.945	0.1594	0.1595
[0 1 1 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t) + h_1 e(t-1)$	0.940	0.0938	0.1595
[0 1 10 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t) + \sum_{i=1}^{10} h_i e(t-i)$	0.926	0.0715	0.1598

Tableau 6.2b Cas 2. Différents modèles de transfert et les variances des erreurs de prédiction qui y sont associées. La dernière colonne contient la variance de prédiction lorsqu'on ne tient pas compte des erreurs précédentes.

nn	Modèle	g_0	Variance des erreurs de prédiction	Var. des erreurs de prédiction (sans erreurs)
[0 1 0 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t)$	0.968	0.0802	0.0802
[0 1 1 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t) + h_1 e(t-1)$	0.967	0.0259	0.0802
[0 1 10 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t) + \sum_{i=1}^{10} h_i e(t-i)$	0.952	0.0061	0.0804

Tableau 6.2c Cas 3. Différents modèles de transfert et les variances des erreurs de prédiction qui y sont associées. La dernière colonne contient la variance de prédiction lorsqu'on ne tient pas compte des erreurs précédentes.

nn	Modèle	g_i	Variance des erreurs de prédiction	Var. des erreurs de prédiction (sans erreurs)
[0 4 0 0 0 0]	$y(t) = \sum_{i=0}^3 g_i u(t-i) + e(t)$	0.762 0.264 0.085 0.282	0.5545	0.5545
[0 4 10 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t) + h_1 e(t-1)$	0.649 0.289 0.143 0.092	0.0795	0.5833
[0 1 0 0 0 0]	$y(t) = g_0 u(t) + e(t) +$	1.303	0.6066	0.6066

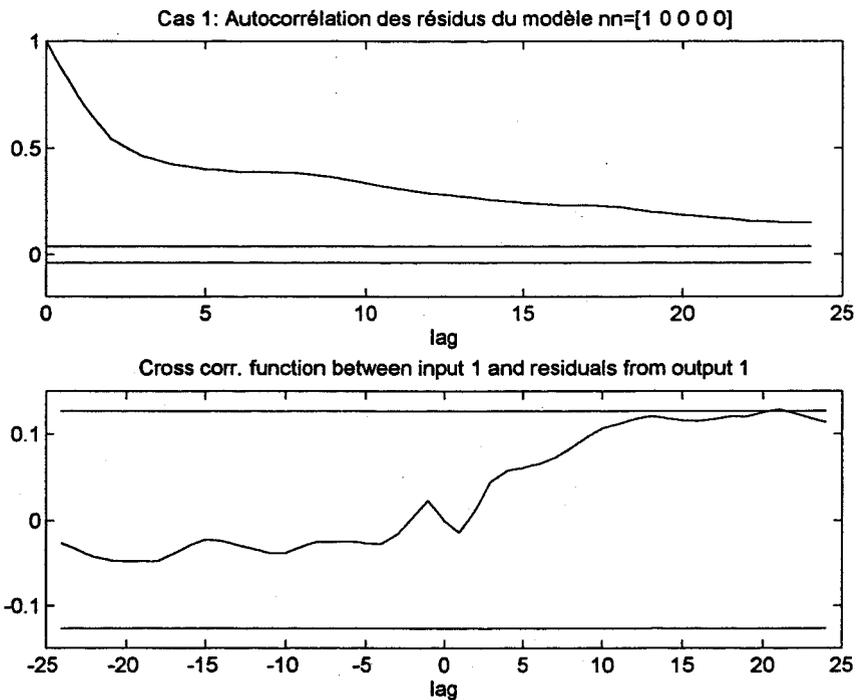


Figure 6.2a Corrélation des résidus du modèle simple de régression pour le cas 1 (stations 02PH010 / 02PH011).

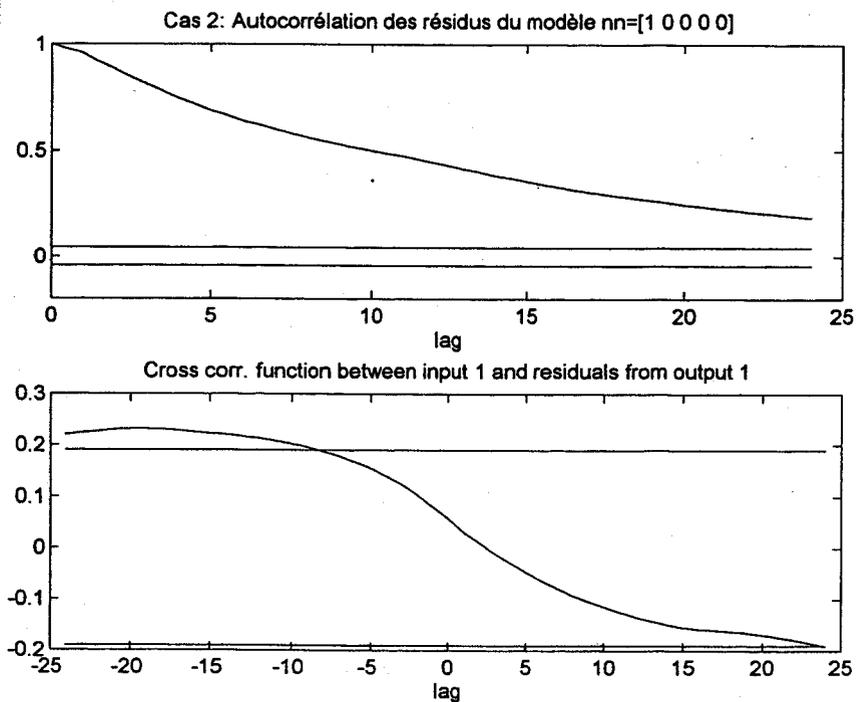


Figure 6.2b Corrélation des résidus du modèle simple de régression pour le cas 2 (stations 02PA007 / 02ND003).

Pour le troisième cas d'étude, nous avons également estimé un modèle de régression simple ($[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$). La variance de prédiction associée à ce modèle est 10% plus grande que celle associée au modèle $[0 \ 4 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$. Cette différence est suffisamment appréciable pour que l'on en tienne compte.

En conclusion, l'étude préliminaire montre que la causalité entre certaines stations situées sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent est purement instantanée. Nous avons l'impression que ceci est le cas pour un nombre important des paires de stations possibles. Cependant, comme le montre l'étude du cas 3, il existe des situations où la causalité est plutôt décalée de quelques jours. L'utilisation d'un modèle de transfert purement instantané n'est pas optimale dans ce cas, mais peut néanmoins fournir des résultats acceptables. Afin d'automatiser l'analyse de la reconstitution des débits journaliers, nous proposons donc de considérer le modèle de régression simple dans tous les cas. L'avantage de cette approche est que l'on évite ainsi les différents choix subjectifs (nécessitant une intervention humaine) lors l'étape d'identification. On peut ainsi considérer un nombre de cas plus large.

6.2 Méthodologie

Dans cette section, nous décrivons la méthodologie retenue pour identifier la meilleure estimation des débits journaliers d'une rivière dont le jaugeage a été interrompu. Cette méthodologie est basée sur la régression simple. Nous rappelons que 49 stations hydrométriques situées sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent ont été retenues pour l'étude et que le modèle de régression simple semble donner des résultats généralement acceptables. Les différents éléments de l'analyse ont été inclus dans une fonction de MATLAB dont un *listing* est fourni dans l'annexe A. Après avoir calculé la matrice de corrélation des apports journaliers logarithmiques entre les 49 stations, la fonction *statanal.m* que nous avons développée, effectue pour chacune des 49 stations retenues les opérations suivantes:

- calcul de différentes propriétés statistiques des débits journaliers (moyenne, moyennes de trois classes équiprobables (apports entre 0 et 33.3 quantile, entre 33.3 et 66.7 quantile et entre 66.7 et 100 quantile))
- identification parmi les autres stations, des cinq stations les plus corrélées avec la station étudiée (les corrélations sont calculées à partir de données transformées). Ces stations sont susceptibles d'être les plus utiles comme stations auxiliaires dans le modèle de régression.

On pourrait considérer plus de cinq stations auxiliaires, mais nous estimons que ce nombre nous permet de couvrir la gamme la plus intéressante.

- estimation, pour chacune des cinq stations retenues, des paramètres d'un modèle de régression simple, de la variance des résidus (erreurs de prédiction) ainsi que du pourcentage de variance expliquée. Ces propriétés sont associées aux données transformées.
- détermination pour l'ensemble des six stations (les cinq stations retenues dans le point précédent plus la station cible) de la période d'enregistrement entre 01/01/91 et 31/12/92 globalement commune. Cette période est utilisée pour la validation des modèles. Le calcul de certains critères de performance est basé sur ces données.
- génération d'un tableau de différents critères de performance:

MARE (*mean absolute relative error*) erreur absolue moyenne relative:

$$\sum_{t \in T} \frac{|Q_{\text{est}}(t) - Q_{\text{obs}}(t)|}{Q_{\text{obs}}(t)}$$

MAE1 (*mean absolute error 1*) erreur absolue moyenne associée aux débits faibles (0-33 quantile):

$$\sum_{t \in T_1} |Q_{\text{est}}(t) - Q_{\text{obs}}(t)|$$

MAE2 (*mean absolute error 2*) erreur absolue moyenne associée aux débits moyens (33-67 quantile):

$$\sum_{t \in T_2} |Q_{\text{est}}(t) - Q_{\text{obs}}(t)|$$

MAE3 (*mean absolute error 3*) erreur absolue moyenne associée aux débits élevés (67-100 quantile):

$$\sum_{t \in T_3} |Q_{\text{est}}(t) - Q_{\text{obs}}(t)|$$

La raison pour laquelle on considère des indices de performance pour les débits faibles, moyens et élevés est qu'il peut y avoir une différence assez importante entre la reconstitution des apports en période de crue et en période de récession. En fonction des

objectifs, on peut ainsi mettre l'accent sur le critère le plus pertinent lors de l'analyse des résultats.

- calcul du pourcentage des apports observés au site cible que l'on a pu reconstituer à l'aide du modèle de régression. Si une station auxiliaire a une quantité élevée de valeurs manquantes (dû à la présence de glace, au mauvais fonctionnement de l'équipement, etc.), elle est moins utile.
- trace d'un graphique des apports observés et reconstitués de 1991-92 à l'aide des cinq stations auxiliaires. Bien que subjective, la comparaison visuelle entre les données observées et reconstituées est un moyen efficace de juger de la qualité de la reconstitution.

6.3 Résultats

Les tableaux et graphiques obtenus lors de l'exécution du programme *statal.m* sont présentés dans les annexes B et C. L'analyse des résultats est résumée dans le tableau 6.3; nous avons extrait, pour chacune des 49 stations cibles, la meilleure station auxiliaire (selon notre jugement des graphiques et des tableaux) et les propriétés statistiques qui y sont associées. Dans la dernière colonne du tableau, nous donnons des commentaires concernant chaque cas. Notons d'ailleurs que l'on peut évaluer la qualité de l'estimation des débits journaliers de deux façons: de façon relative et de façon absolue. Par exemple de manière relative, on peut pour une station cible donnée comparer les graphiques associés aux cinq stations auxiliaires considérées ou comparer les pourcentages de variance expliquée. Cependant, si l'on souhaite comparer la reconstitution des apports pour deux stations différentes, il faut adopter une mesure absolue. Par exemple, une station pour laquelle le débit moyen est dix fois plus élevé que celui d'une autre station, est généralement plus importante à conserver (du point de vue de l'estimation du débit du fleuve). Ceci est vrai même si, sur une échelle relative, la reconstitution pour la station à débit moyen semble meilleure qu'à l'autre station à fort débit.

On peut noter que dans certains cas, la reconstitution de données de débits journaliers est excellente. À titre d'exemple, on peut mentionner la reconstitution à la station 02OD001 avec la station 02OD003, à la station 02PH011 avec la station 02PH010 (ou 02PH010 avec 02PH011) et à la station 02QB005 avec la station 02QA017. Les cas où une reconstitution est considérée bonne sont généralement caractérisés par une corrélation brute supérieure à 0.90 - 0.92.

Tableau 6.3 Synthèse de la qualité des reconstitutions de débit journalier. Les indices de performance sont calculés à partir de la période de validation de 1991-92.

Station principale	Station auxiliaire	Rho	R2	MAE1	MAE2	MAE3	Reconstitution			Commentaires
							BON	MOY	MAU	
02OA016									X	Il s'agit de la station Lasalle située sur le fleuve. La reconstitution est généralement mauvaise.
02OA003									X	Station Des Mille-Iles. Le débit moyen est élevé et la reconstitution est généralement mauvaise. La station doit être maintenue.
02OA054	02OJ024	0.85	0.72	2.0	5.4	31.7		X		Les pointes sont mal reconstituées.
02OB037	02PK005	0.84	0.71	1.4	2.6	10.6		X		Le choix de station auxiliaire n'est pas évident. Certains événements de la période 91-92 sont mieux reconstitués avec d'autres stations.
02OB017	02OB008	0.95	0.91	1.2	2.2	10.3	X			Le débit moyen est élevé et les erreurs absolues conséquemment élevées.
02OB008	02OB017	0.95	0.91	1.3	3.0	5.8	X			Le débit moyen est élevé et les erreurs absolues conséquemment élevées.
02OB032	02OB008	0.96	0.92	0.1	0.3	2.4	X			Certains problèmes avec les pointes.
02OJ024	02OJ026	0.90	0.81	0.2	0.5	4.7		X		
02OJ026	02OJ024	0.90	0.81	0.2	0.5	5.6		X		
02OG007									X	Les apports observés semblent bizarres. Avec un débit journalier moyen de 2.6, la station est relativement peu importante.
02OG042	02OG019	0.83	0.69	0.6	0.9	2.7			X	Les débits de pointe sont mal reconstitués.
02OG014	02OG019	0.88	0.77	0.3	0.5	2.6		X		Les débits de pointe sont mieux reconstitués avec la station 02OE027.
02OG019	02OD001	0.88	0.78	1.6	3.1	15.5		X		
02OG026	02OF029	0.91	0.84	0.4	0.9	3.6			X	Problèmes avec les débits moyens et élevés.
02OC002	02OB008	0.93	0.87	1.4	2.0	10.1	X			Erreurs relatives assez élevées.
02OE032	02OE027	0.94	0.89	0.6	2.3	11.6	X			Certaines pointes sont mal reconstituées.
02OE027	02OE032	0.94	0.89	0.6	1.5	8.1	X			Certaines pointes sont mieux reconstituées avec la station 02OE022.
02OE022	02OE027	0.89	0.79	1.0	1.4	5.8	X			Certaines pointes sont mal reconstituées. La station 02OE032 donne une reconstitution très semblable.
02OF029	02OG019	0.92	0.85	0.2	0.7	3.1		X		
02OC004	02NF003	0.90	0.81	1.3	2.2	7.1	X			
02OD001	02OD003	0.93	0.87	0.4	0.9	5.7	X			Très bonne reconstitution.
02OD003	02OD001	0.93	0.87	1.3	3.7	19.4	X			

02ND003	02NF003	0.91	0.83	3.1	5.6	21.4		X		Courbe de récession mal reconstituée.
02NF003	02ND003	0.91	0.83	2.2	4.2	11.5	X			Certains événements moyens sont mieux reconstitués avec la station 02OC004.
02PL007	02PJ007	0.93	0.87	3.0	7.0	24.0	X			Bien que la reconstitution soit bonne, les erreurs absolues sont élevées.
02PK005	02PJ007	0.92	0.84	0.3	0.7	5.3	X			
02PA007	02ND003	0.93	0.86	6.9	14.3	46.3	X			Station Batiscan. Débit moyen élevé et la stations doit être conservée.
02PB019	02PD002	0.95	0.91	1.7	4.8	36.1		X		En dépit de la grande corrélation, certaines pointes de la période de validation sont mal reproduites.
02PC009	02PJ007	0.85	0.72	0.7	1.3	6.8			X	
02PJ005	02PL007	0.91	0.82	5.5	11.2	93.7			X	
02PJ007	02PL007	0.93	0.87	0.7	1.3	8.7	X			
02PH011	02PH010	0.93	0.86	1.3	3.4	14.1	X			Très bonne reconstitution.
02PD010	02OB032	0.80	0.64	1.8	1.7	7.3			X	
02PD002	02RH049	0.85	0.72	4.6	5.6	24.4			X	
02PH010	02PH011	0.93	0.86	1.0	1.8	12.5	X			Excellente reconstitution.
02PE009	02RH049	0.93	0.86	0.7	1.4	11.3		X		Un événement au début de 1991 est mal reproduit par tous les modèles. Probablement des données particulières à cette station.
02PG022	02PG006	0.91	0.84	1.0	3.4	17.5		X		Certaines pointes sont mieux reconstituées avec d'autres stations: 02PH010 et 02QA001.
02PF001	02RH049	0.94	0.88	2.2	4.1	17.9		X		
02PG006	02QA001	0.92	0.84	1.1	2.2	5.8	X			
02RH049	02PF001	0.94	0.88	0.8	1.3	8.2	X			
02RH047	02SC002	0.94	0.88	2.2	2.4	16.6	X			
02QA001	02PG006	0.92	0.84	1.1	3.1	20.9		X		Un événement au début de 1991 est très mal reconstitué.
02SC004	02SC002	0.89	0.82	1.4	1.6	10.2			X	
02SC002	02RH047	0.94	0.88	4.0	7.0	31.3	X			
02QA002	02QA017	0.94	0.89	2.9	3.8	21.5		X		Les pointes sont mal reproduites.
02QA017	02QA002	0.94	0.91	0.7	1.4	7.4	X			
02QB005	02QA017	0.95	0.91	0.2	0.7	2.5	X			Excellente reconstitution.
02UA003	02SC002	0.92	0.84	4.5	3.5	25.6		X		
02QB001	02QA002	0.89	0.80	3.3	8.1	34.1			X	Un événement au début de 1991 est très mal reconstitué.

7 Conclusions

Dans cette étude, nous avons examiné la possibilité d'estimer le débit journalier à un site à partir de l'information obtenue d'un autre site. Dans le cadre général de modèles linéaires de fonction de transfert, nous avons trouvé que l'on peut souvent obtenir de bonnes estimations avec une régression simple. Cette information peut être très utile si une rationalisation majeure du réseau hydrométrique du Québec s'impose et un choix doit être fait concernant les stations à éliminer.

Après l'élaboration d'une banque de données pour 49 stations hydrométriques situées sur les tributaires du fleuve Saint-Laurent, nous avons étudié la structure de corrélation des débits journaliers entre quelques paires de stations témoins, plus particulièrement pour ce qui concerne les variations saisonnières. Il s'est avéré très difficile de conclure à la présence d'une saisonnalité significative; c'est pourquoi dans les modèles de fonction de transfert considérés dans cette étude nous n'en tenons pas compte.

L'étude des réponses impulsionnelles permet d'identifier la structure de causalité entre deux sites et donc, de déterminer la forme de la fonction de transfert. Trois cas ont été étudiés de manière approfondie. Dans deux cas, la causalité était instantanée; dans un cas, il y avait une causalité décalée de quelques jours. Les deux premiers cas suggèrent donc une régression simple et le troisième cas suggère une régression basée sur le débit de plusieurs jours précédents. Cependant, en terme de variance de prédiction, un modèle de régression simple donne de résultats acceptables aussi dans ce dernier cas (environ 10% plus grande que le meilleur modèle). Pour cette raison, on a décidé d'utiliser systématiquement un modèle de régression simple pour l'étude principale, tout en reconnaissant que dans certains cas, il est possible d'améliorer davantage l'estimation des débits journaliers. Notons que dans cette étude préliminaire, nous avons également étudié l'impact de la forte autocorrélation des résidus de prédiction sur l'estimation des paramètres des modèles de fonction de transfert.

Pour chacune des 49 stations hydrométriques retenues pour l'étude, nous avons identifié les cinq stations voisines les plus corrélées avec la station cible. Un modèle de régression simple, cas particulier des modèles de fonction de transfert, a ensuite été estimé pour chaque combinaison par la méthode des moindres carrés. On a exclu les données pour la période 1991-92 lors de

l'estimation des paramètres puisque ces années servent ensuite comme période de validation. On a tracé la reconstitution pour 1991-92 pour les différents cas considérés. Ces graphiques donnent une très bonne impression de la qualité de la reconstitution. Il faut cependant être prudent lors de la comparaison des résultats obtenus à différentes stations cibles, car l'échelle n'est pas la même pour les différentes stations. Nous avons *a priori* accordé le même poids à chaque station, mais il est évident qu'en pratique, pour connaître le mieux possible le débit du fleuve, on devrait donner plus de poids aux stations pour lesquelles le débit est élevé. Les résultats sont présentés sous forme d'un tableau de synthèse qui donne de l'information sur les erreurs de prédiction absolues et relatives.

Les conclusions principales concernant la possibilité d'estimer le débit à une station donnée à partir de l'information obtenue à une station voisine sont présentées dans le tableau 6.2. Pour 23 des 49 stations considérées, on a conclu qu'une reconstitution fiable par des modèles de fonction de transfert est réaliste (cote A); dans 15 cas, on trouve que la reconstitution est de qualité moyenne (cote B), et dans 11 cas on ne recommande pas d'effectuer de reconstitution (cote C).

8 Bibliographie

Beauchamp, J. J., Downing, D.J. and S. F. Railsback (1989). Comparison of regression and time-series methods for synthesizing missing streamflow records. *Water Resour. Bulletin*, 25(5): 961-975.

Box, G.E.P, Jenkins, G.M. and G.C. Reinsel (1994). *Times Series Analysis, Forecasting and Control*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Environment Canada, HYDAT (1996). Version 4.94, Surface Water and Sediment Data to 1994. Atmospheric Environment Service, CD-ROM 2245.

Hipel, K.W. and A.I. McLeod (1994). *Time Series Modelling of Water Resources and Environmental System*. Elsevier, Amsterdam.

Ljung, L. (1987). *System Identification: Theory for the User*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

ANNEXE A

PROGRAMME "STATANAL.M"

```

function statanal()

% The best prediction of ungauged stations is determined based
% on the MAX model and simple linear regression.

%-----
% Load data
%-----
cd data,load data49,load statname,cd .. ;
load cmatrix

nstat=49;

%-----
% Open output files
%-----
delete statanal.res
fid = fopen('statanal.res','wt+');
delete statanal.pre
fid1 = fopen('statanal.pre','wt+');

%-----
% Analysis of the 49 stations starts here
%-----
for i=1:49
    disp(['Treating station no. ' int2str(i) ' ...'])

    %---Retrieve data from station si---
    eval( ['Qimat = s' int2str(i) ';' ] )
    Qi=Qimat;

    %---Compute mean daily flow---
    QQ=Qimat(:);
    ixx=find( QQ==1111 & QQ==9999);
    EQi = mean(QQ(ixx));
    QQ = sort(QQ(ixx));
    ndatai = length(QQ);
    EQi1 = mean( QQ(1:ndatai/3) );
    EQi2 = mean( QQ(ndatai/3+1:ndatai*2/3) );
    EQi3 = mean( QQ(ndatai*2/3+1:ndatai) );
    clear QQ ndatai

    %---Print heading---
    fprintf(fid,['\n\nStation %6s   Mean daily flow: %.1f',...
                '( %.1f %.1f %.1f )\n-----\n'],...
            statname(i,:),EQi,EQi1,EQi2,EQi3);
    fprintf(fid,'%15s%6s%8s%7s%8s%8s%8s%8s',...
            'MEAN','RHO','VAR','R2','MARE','MAE1','MAE2','MAE3','Data');

    %---Find the 5 stations which are most correlated with station i---
    [dummy ix] = sort(cm(:,i));
    ix=ix(nstat-1:-1:nstat-5);

    %---Find years of concomitant 1991-92 data for the six stations---
    nyr=size(Qimat,2);
    Q9192 = Qi(:,nyr-1:nyr);
    Q9192 = Q9192(:);
    % Form column vector of 91-92 data
    for j=1:5
        eval( ['Q = s' int2str(ix(j)) ';' ] )
        nyr=size(Q,2);
        Q9192 = [Q9192 , reshape(Q(:,nyr-1:nyr),372*2,1)];
    end
    Qindicator = Q9192==9999 | Q9192==1111; % Contains '1' if missing data
    ix9192 = find(~sum(Qindicator)); % Contains index of concom. data

    fprintf(fid1, 'Station %6s\n%2d (obs)',statname(i,:),i);
    fprintf(fid1, '%8.2f', Q9192(ix9192,1) );
    fprintf(fid1,'\n');

    %---Examine extension by each of the five stations---
    for j=1:5
        eval( ['Qjmat = s' int2str(ix(j)) ';' ] )
        Qj=Qjmat;

```

```

%---Compute mean daily flow---
QQ=Qjmat(:);
ixx=find( QQ==1111 & QQ~=9999);
EQj = mean(QQ(ixx));
clear QQ

%---Extract concomitant data---
[Qi Qj] = extract(Qimat,Qjmat);
nconcom = length(Qi);

%---Transform data---
Qi = log(Qi);
Qj = log(Qj);

%*****
%---Estimation by linear regression---
%*****
A = [ones(nconcom,1) Qj];
tht=inv(A'*A)*A'*Qi;
resid = Qi - A*tht;
resvar = var(resid);
varQi = var(Qi);
R2 = (varQi-resvar)/varQi;

fprintf(fid, '\n%6s%8.1f%6.2f%8.3f%7.2f',...
        statname(ix(j),:), EQj, cm(ix(j),1), resvar, R2);

%*****
%---Reconstitution of 1991-92---
%*****

%---Extract concomitant data except for 1991-92---
ni=size(Qimat,2);nj=size(Qjmat,2);
[Qi Qj] = extract( Qimat(:,1:ni-2) , Qjmat(:,1:nj-2) );
Qi = log(Qi);
Qj = log(Qj);
nconcom = length(Qi);

%---Regression---
A = [ones(nconcom,1) Qj];
tht=inv(A'*A)*A'*Qi;

%---Predicted 1991-92 data
npred = length(ix9192);
A = [ones(npred,1) log(Q9192(ix9192,j+1))];
Q9192pred = exp(A*tht);
prederror = Q9192pred-Q9192(ix9192,1);
MARE = mean( abs(prederror)./Q9192(ix9192,1) );

%---Compute mean abs error for three classes of flows---
[dummy ixx] = sort(Q9192(ix9192,1));
n3 = floor(npred/3); % Number of data in each class
MAE1 = mean( abs(prederror( ixx(1:n3) ) ) );
MAE2 = mean( abs(prederror( ixx(n3+1:n3*2) ) ) );
MAE3 = mean( abs(prederror( ixx(n3*2+1:npred) ) ) );

%---Print predicted 1991-92 flows
fprintf(fid1, '%2d (pre)', ix(j));
fprintf(fid1, '%8.2f', prederror); fprintf(fid1, '\n');

%---Percentage of 1991-92 data that could be reconstituted---
dataperc = sum( Qindicator(:,1)==0 & Qindicator(:,j+1)==0) / ...
          sum( Qindicator(:,1)==0);

%---Print---
fprintf(fid, '%8.3f%8.1f%8.1f%8.1f%8.2f',...
        MARE, MAE1, MAE2, MAE3, dataperc);

%---Generate plot---
if j==1
    clf;
end
subplot(5,1,j)

```

```

%
% Qp = -9999*ones(744,1); Qp(ix9192) = Q9192pred;
% Qo = -9999*ones(744,1); Qo(ix9192) = Q9192(ix9192);

%---Determine sequences for OBSERVED flows ---
indicator = ~Qindicator(:,1);
if indicator(1)==1
    iseq=1;
    ix1=1;
else
    iseq=0;
end
for ii=2:744
    if indicator(ii)==1 & indicator(ii-1)==1
        eval( ['ix' int2str(iseq) '= [ix' int2str(iseq) ' ii];' ] )
    elseif indicator(ii)==1 & indicator(ii-1)==0
        iseq=iseq+1;
        eval( ['ix' int2str(iseq) '= ii;'] )
    end
end

%---Determine sequences for PREDICTED flows ---
indicator = ~Qindicator(:,j+1);
if indicator(1)==1
    jseq=1;
    jx1=1;
else
    jseq=0;
end
for jj=2:744
    if indicator(jj)==1 & indicator(jj-1)==1
        eval( ['jx' int2str(jseq) '= [jx' int2str(jseq) ' jj];' ] )
    elseif indicator(jj)==1 & indicator(jj-1)==0
        jseq=jseq+1;
        eval( ['jx' int2str(jseq) '= jj;'] )
    end
end

%---Compute ALL POSSIBLE predicted flows for 1991-92---
Qjj = ones(744,1);
Qjj(~Qindicator(:,j+1)) = log(Q9192(~Qindicator(:,j+1),j+1));
Qp = exp( [ones(744,1) Qjj]*tht );

%---Plot observed flows---
for ii=1:iseq
    eval( ['ixxx=ix' int2str(ii) ';'] )
    plot(ixxx,Q9192(ixxx,1));
    hold on
end
%---Plot predicted flows---
for jj=1:jseq
    eval( ['jxxx=jx' int2str(jj) ';'] )
    plot(jxxx,Qp(jxxx), '--');
    hold on
end

xlabel(statname(ix(jj),:));
h=get(gca,'xlabel'); set(h,'fontsize',10)
hl=get(gca,'child'); set(hl,'linewidth',0.4);
set(gca,'ylim',[0 max(max(Qp),max(Q9192(ix9192,1)))]);
set(gca,'FontSize',8)
end

%---Adjust title, axis etc of plot---
subplot(5,1,1);
title(['Observed and predicted flows (1991-92) at station ' statname(1,:)])
h=get(gca,'title');set(h,'fontsize',12);
h=get(gcf,'child');set(h,'xlim',[0 750]);
ymax = max([get(h(1),'ylim') get(h(2),'ylim') get(h(3),'ylim'),...
            get(h(4),'ylim') get(h(5),'ylim') ] );
set(h,'ylim',[0 ymax])
set(gcf,'paperpos',[0 0 8.5 11] );
print

end

fclose(fid);
fclose(fid1);

```

ANNEXE B

INDICES DE PERFORMANCE

Indice	Unité	Objectif	Statut	Observations
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
1.10
1.11
1.12
1.13
1.14
1.15
1.16
1.17
1.18
1.19
1.20
1.21
1.22
1.23
1.24
1.25
1.26
1.27
1.28
1.29
1.30
1.31
1.32
1.33
1.34
1.35
1.36
1.37
1.38
1.39
1.40
1.41
1.42
1.43
1.44
1.45
1.46
1.47
1.48
1.49
1.50
1.51
1.52
1.53
1.54
1.55
1.56
1.57
1.58
1.59
1.60
1.61
1.62
1.63
1.64
1.65
1.66
1.67
1.68
1.69
1.70
1.71
1.72
1.73
1.74
1.75
1.76
1.77
1.78
1.79
1.80
1.81
1.82
1.83
1.84
1.85
1.86
1.87
1.88
1.89
1.90
1.91
1.92
1.93
1.94
1.95
1.96
1.97
1.98
1.99
2.00

Station 020A016 Mean daily flow: 8554.3 (7116.7 8439.8 10105.1)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
020B008	24.2	0.64	0.010	0.41	0.093	1134.9	653.9	470.2	0.87
020B032	4.6	0.59	0.010	0.35	0.113	1439.3	784.8	517.9	0.58
02PA007	98.4	0.58	0.011	0.34	0.119	1550.3	753.7	549.4	0.87
020B017	25.7	0.58	0.012	0.33	0.089	1100.5	569.6	511.7	0.87
020A003	208.0	0.58	0.017	0.33	0.082	685.0	655.8	768.6	1.00

Station 020A003 Mean daily flow: 208.0 (60.4 141.1 422.6)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
020B032	4.6	0.83	0.253	0.69	0.593	35.8	61.5	110.8	0.58
020B008	24.2	0.75	0.273	0.57	0.697	50.9	65.1	86.5	0.87
020B037	10.2	0.75	0.263	0.56	0.680	47.2	55.1	157.5	0.87
020C002	17.9	0.74	0.297	0.55	0.735	56.3	57.8	93.1	0.87
020B017	25.7	0.73	0.283	0.53	0.780	53.8	84.6	89.2	0.87

Station 020A054 Mean daily flow: 37.1 (7.3 17.9 86.2)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
020J026	3.8	0.89	0.200	0.80	0.492	2.9	4.5	30.4	0.74
020J024	4.8	0.85	0.302	0.72	0.440	2.0	5.4	31.7	1.00
020G019	25.8	0.84	0.319	0.71	0.718	4.0	9.8	35.6	1.00
020G026	5.3	0.83	0.330	0.70	0.716	4.5	8.8	38.4	1.00
020G014	4.4	0.80	0.401	0.63	0.643	3.3	9.0	41.5	1.00

Station 020B037 Mean daily flow: 10.2 (1.7 4.7 24.3)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
020B032	4.6	0.90	0.301	0.81	0.523	0.9	1.6	11.3	0.67
020B008	24.2	0.87	0.326	0.75	0.600	1.0	1.8	12.9	1.00
020B017	25.7	0.84	0.373	0.71	0.691	1.3	2.1	11.7	1.00
02PK005	7.5	0.84	0.385	0.71	0.771	1.4	2.6	10.6	1.00
020C002	17.9	0.83	0.400	0.69	0.786	1.4	2.1	13.5	1.00

Station 020B017 Mean daily flow: 25.7 (7.5 14.8 54.9)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
020B008	24.2	0.95	0.070	0.91	0.169	1.2	2.2	10.3	1.00
020B032	4.6	0.93	0.121	0.86	0.277	2.3	3.3	17.0	0.67
020C002	17.9	0.90	0.148	0.81	0.327	2.5	3.6	15.6	1.00
020C004	12.6	0.86	0.186	0.75	0.502	5.2	6.0	20.6	1.00
02NF003	24.1	0.86	0.189	0.74	0.431	4.1	5.8	18.2	1.00

Station 02OB008 Mean daily flow: 24.2 (6.9 13.3 52.3)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OB032	4.6	0.96	0.076	0.92	0.211	1.3	3.0	12.5	0.67
02OB017	25.7	0.95	0.072	0.91	0.173	1.3	3.0	5.8	1.00
02OC002	17.9	0.93	0.100	0.87	0.235	1.7	2.9	9.5	1.00
02OC004	12.6	0.91	0.136	0.82	0.479	4.3	5.1	17.1	1.00
02NF003	24.1	0.89	0.160	0.79	0.476	3.6	6.5	16.1	1.00

Station 02OB032 Mean daily flow: 4.6 (0.6 2.1 11.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OB008	24.2	0.96	0.131	0.92	0.200	0.1	0.3	2.4	1.00
02OB017	25.7	0.93	0.222	0.86	0.277	0.2	0.4	2.4	1.00
02OC002	17.9	0.92	0.245	0.84	0.348	0.2	0.5	2.6	1.00
02OB037	10.2	0.90	0.297	0.81	0.475	0.3	1.0	4.2	1.00
02OC004	12.6	0.89	0.350	0.78	0.641	0.5	0.8	3.3	1.00

Station 02OJ024 Mean daily flow: 4.8 (0.3 1.5 12.5)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OJ026	3.8	0.90	0.414	0.81	0.888	0.2	0.5	4.7	0.74
02OG026	5.3	0.89	0.456	0.80	1.224	0.3	0.7	8.0	1.00
02OG019	25.8	0.88	0.490	0.78	1.477	0.4	0.9	7.2	1.00
02OF029	3.6	0.85	0.608	0.72	2.931	0.9	1.3	7.0	0.85
02OA054	37.1	0.85	0.632	0.72	0.773	0.2	0.4	6.5	1.00

Station 02OJ026 Mean daily flow: 3.8 (0.3 1.3 9.9)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OJ024	4.8	0.90	0.421	0.81	0.869	0.2	0.5	5.6	1.00
02OA054	37.1	0.89	0.461	0.80	0.840	0.2	0.3	6.9	1.00
02OG019	25.8	0.85	0.629	0.72	2.299	0.7	0.8	8.3	1.00
02OG026	5.3	0.83	0.705	0.69	2.093	0.6	0.6	9.0	1.00
02OG014	4.4	0.82	0.732	0.68	2.234	0.6	0.9	9.2	1.00

Station 02OG007 Mean daily flow: 2.6 (1.0 1.7 5.1)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OG042	4.8	0.75	0.135	0.56	0.302	0.5	0.4	1.6	1.00
02OG019	25.8	0.59	0.442	0.35	0.361	0.5	0.5	2.1	1.00
02OG026	5.3	0.59	0.441	0.34	0.340	0.4	0.5	2.1	1.00
02OA054	37.1	0.58	0.424	0.34	0.274	0.2	0.5	2.1	1.00
02OG014	4.4	0.55	0.466	0.30	0.343	0.5	0.5	2.1	1.00

Station 02OG042 Mean daily flow: 4.8 (1.8 3.1 9.5)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OG019	25.8	0.83	0.156	0.69	0.344	0.6	0.9	2.7	1.00
02OJ024	4.8	0.80	0.180	0.64	0.381	0.7	1.0	3.2	1.00
02OF029	3.6	0.79	0.178	0.63	0.430	0.9	1.1	2.8	0.85
02OA054	37.1	0.78	0.200	0.60	0.329	0.5	0.7	3.5	1.00
02OG014	4.4	0.77	0.202	0.60	0.343	0.7	0.7	2.9	1.00

Station 02OG014 Mean daily flow: 4.4 (0.6 2.0 10.8)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OG019	25.8	0.88	0.383	0.77	0.486	0.3	0.5	2.6	1.00
02OE027	13.1	0.86	0.431	0.74	0.674	0.4	0.7	2.8	1.00
02OF029	3.6	0.85	0.444	0.72	1.159	0.8	0.9	3.2	0.85
02OD001	11.7	0.84	0.488	0.71	0.601	0.3	0.6	3.0	0.93
02OE022	9.6	0.84	0.494	0.70	0.618	0.4	0.7	2.6	1.00

Station 02OG019 Mean daily flow: 25.8 (3.3 10.7 63.4)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OF029	3.6	0.92	0.244	0.85	0.832	2.8	4.6	12.4	0.85
02OD001	11.7	0.88	0.350	0.78	0.530	1.6	3.1	15.5	0.93
02OG026	5.3	0.88	0.364	0.78	0.591	2.0	2.9	18.3	1.00
02OJ024	4.8	0.88	0.371	0.78	0.693	1.5	7.9	24.7	1.00
02OG014	4.4	0.88	0.393	0.77	0.454	1.4	2.6	18.6	1.00

Station 02OG026 Mean daily flow: 5.3 (0.4 1.7 13.8)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OF029	3.6	0.91	0.332	0.84	0.837	0.4	0.9	3.6	0.85
02OJ024	4.8	0.89	0.452	0.80	0.794	0.2	1.5	6.2	1.00
02OG019	25.8	0.88	0.502	0.78	0.439	0.2	0.5	4.7	1.00
02OD003	33.7	0.86	0.599	0.74	0.381	0.1	0.4	5.2	1.00
02PK005	7.5	0.84	0.646	0.71	0.486	0.2	0.6	5.9	1.00

Station 02OC002 Mean daily flow: 17.9 (4.0 9.1 40.6)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OB008	24.2	0.93	0.108	0.87	0.224	1.4	2.0	10.1	1.00
02OB032	4.6	0.92	0.156	0.84	0.269	1.6	2.3	15.0	0.67
02OB017	25.7	0.90	0.168	0.81	0.294	2.1	2.9	11.5	1.00
02OC004	12.6	0.87	0.201	0.77	0.464	3.7	3.9	11.7	1.00
02NF003	24.1	0.83	0.307	0.69	0.401	2.7	3.8	13.3	1.00

Station 02OE032 Mean daily flow: 17.7 (2.9 9.4 40.8)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OE027	13.1	0.94	0.141	0.89	0.286	0.6	2.3	11.6	1.00
02PJ005	117.0	0.87	0.316	0.75	0.525	1.4	3.3	16.1	1.00
02OE022	9.6	0.86	0.330	0.74	0.546	1.8	3.8	14.0	1.00
02OD001	11.7	0.86	0.340	0.74	0.527	1.8	3.3	13.5	0.93
02OD003	33.7	0.85	0.364	0.72	0.481	1.6	3.2	13.6	1.00

Station 02OE027 Mean daily flow: 13.1 (2.2 6.2 31.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OE032	17.7	0.94	0.145	0.89	0.326	0.6	1.5	8.1	1.00
02OE022	9.6	0.89	0.257	0.79	0.496	1.0	2.1	9.7	1.00
02OG014	4.4	0.86	0.337	0.74	0.626	1.5	2.4	11.8	1.00
02OD001	11.7	0.84	0.356	0.71	0.556	1.3	2.0	11.2	0.93
02OD003	33.7	0.84	0.367	0.71	0.562	1.3	1.9	10.5	1.00

Station 02OE022 Mean daily flow: 9.6 (2.4 5.0 21.4)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OE027	13.1	0.89	0.178	0.79	0.398	1.0	1.4	5.8	1.00
02OE032	17.7	0.86	0.242	0.74	0.489	1.3	1.5	6.4	1.00
02OG014	4.4	0.84	0.284	0.70	0.446	1.2	1.4	6.9	1.00
02OG019	25.8	0.80	0.317	0.65	0.510	1.2	2.0	7.2	1.00
02OD001	11.7	0.80	0.314	0.64	0.507	1.5	1.5	7.0	0.93

Station 02OF029 Mean daily flow: 3.6 (0.4 1.6 8.8)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OG019	25.8	0.92	0.265	0.85	0.328	0.2	0.7	3.1	1.00
02OG026	5.3	0.91	0.287	0.84	0.381	0.2	0.9	3.1	1.00
02OD001	11.7	0.88	0.392	0.78	0.398	0.2	0.9	3.8	0.92
02OD003	33.7	0.86	0.444	0.75	0.406	0.2	1.0	4.0	1.00
02OG014	4.4	0.85	0.491	0.72	0.466	0.3	0.9	4.9	1.00

Station 02OC004 Mean daily flow: 12.6 (3.6 6.9 27.1)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OB008	24.2	0.91	0.139	0.82	0.315	1.0	3.0	11.8	1.00
02NF003	24.1	0.90	0.143	0.81	0.250	1.3	2.2	7.1	1.00
02ND003	39.1	0.89	0.174	0.79	0.299	1.4	2.7	7.7	1.00
02OB032	4.6	0.89	0.218	0.78	0.371	1.0	3.7	13.3	0.67
02OC002	17.9	0.87	0.182	0.77	0.358	1.2	3.2	11.8	1.00

Station 02OD001 Mean daily flow: 11.7 (1.5 5.3 28.3)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OD003	33.7	0.93	0.187	0.87	0.289	0.4	0.9	5.7	1.00
02PL007	54.8	0.89	0.300	0.79	0.408	0.5	1.7	8.7	1.00
02OG019	25.8	0.88	0.307	0.78	0.514	0.8	1.7	8.6	1.00
02OF029	3.6	0.88	0.323	0.78	0.787	1.6	2.5	9.4	0.84
02OE032	17.7	0.86	0.392	0.74	0.546	0.9	1.5	8.3	1.00

Station 02OD003 Mean daily flow: 33.7 (5.7 16.3 79.3)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02OD001	11.7	0.93	0.166	0.87	0.262	1.3	3.7	19.4	0.93
02PL007	54.8	0.91	0.215	0.83	0.299	0.9	4.9	27.9	1.00
02PJ007	14.3	0.89	0.266	0.79	0.366	1.9	4.9	26.8	1.00
02PK005	7.5	0.89	0.282	0.79	0.479	2.3	6.9	26.4	1.00
02OG019	25.8	0.87	0.304	0.76	0.455	2.5	5.3	24.5	1.00

Station 02ND003 Mean daily flow: 39.1 (13.8 25.2 78.2)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PA007	98.4	0.93	0.074	0.86	0.256	3.1	8.0	21.3	1.00
02NF003	24.1	0.91	0.092	0.83	0.226	3.1	5.6	21.4	1.00
02OC004	12.6	0.89	0.116	0.79	0.270	4.0	6.7	25.1	1.00
02RH049	15.1	0.86	0.145	0.74	0.311	4.4	7.7	32.8	1.00
02QA002	30.5	0.85	0.152	0.72	0.373	5.2	12.3	24.2	1.00

Station 02NF003 Mean daily flow: 24.1 (8.1 15.3 49.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02ND003	39.1	0.91	0.094	0.83	0.216	2.2	4.2	11.5	1.00
02OC004	12.6	0.90	0.111	0.81	0.195	2.4	3.6	10.3	1.00
02OB008	24.2	0.89	0.125	0.79	0.314	3.7	5.2	20.4	1.00
02OB032	4.6	0.88	0.161	0.77	0.359	5.1	4.8	22.7	0.67
02OB017	25.7	0.86	0.153	0.74	0.303	3.8	4.7	19.8	1.00

Station 02PL007 Mean daily flow: 54.8 (10.8 29.0 124.5)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PJ007	14.3	0.93	0.147	0.87	0.309	3.0	7.0	24.7	1.00
02OD003	33.7	0.91	0.183	0.83	0.425	2.8	12.6	39.6	1.00
02PJ005	117.0	0.91	0.194	0.82	0.529	6.7	6.7	25.8	1.00
02PK005	7.5	0.90	0.202	0.82	0.450	4.5	9.7	33.5	1.00
02OD001	11.7	0.89	0.226	0.79	0.485	4.4	13.0	40.6	0.93

Station 02PK005 Mean daily flow: 7.5 (1.0 2.9 18.5)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PJ007	14.3	0.92	0.227	0.84	0.292	0.3	0.7	5.3	1.00
02PL007	54.8	0.90	0.262	0.82	0.291	0.2	0.8	5.7	1.00
02OD003	33.7	0.89	0.304	0.79	0.430	0.4	1.4	6.5	1.00
02PC009	8.6	0.86	0.369	0.74	0.494	0.6	1.1	6.3	1.00
02OD001	11.7	0.86	0.388	0.73	0.520	0.7	1.3	6.7	0.93

Station 02PA007 Mean daily flow: 98.4 (31.3 63.8 200.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02ND003	39.1	0.93	0.080	0.86	0.235	6.9	14.3	46.3	1.00
02PB019	51.0	0.90	0.116	0.81	0.249	7.2	16.4	55.9	1.00
02OC004	12.6	0.86	0.162	0.74	0.276	11.5	13.4	45.0	1.00
02NF003	24.1	0.86	0.163	0.74	0.290	11.5	15.1	46.4	1.00
02PG006	9.8	0.85	0.164	0.72	0.322	7.6	25.8	66.1	1.00

Station 02PB019 Mean daily flow: 51.0 (13.8 31.1 108.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PD002	35.2	0.95	0.069	0.91	0.190	1.7	4.8	36.1	1.00
02PA007	98.4	0.90	0.141	0.81	0.247	2.8	6.8	36.2	1.00
02PE009	18.1	0.85	0.212	0.72	0.343	4.5	9.5	41.5	1.00
02PF001	34.9	0.84	0.218	0.71	0.352	3.9	9.4	50.5	1.00
02ND003	39.1	0.83	0.226	0.69	0.373	6.1	8.8	42.0	1.00

Station 02PC009 Mean daily flow: 8.6 (2.6 4.9 18.3)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PK005	7.5	0.86	0.177	0.74	0.272	0.6	1.3	6.8	1.00
02PJ007	14.3	0.85	0.195	0.72	0.287	0.7	1.3	6.8	1.00
02OB037	10.2	0.83	0.203	0.69	0.302	0.8	1.3	7.1	1.00
02PH011	26.3	0.83	0.206	0.69	0.276	0.6	1.3	6.8	1.00
02PH010	20.7	0.83	0.215	0.69	0.258	0.6	1.1	6.8	1.00

Station 02PJ005 Mean daily flow: 117.0 (19.7 54.7 276.6)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PL007	54.8	0.91	0.224	0.82	0.299	5.5	11.2	93.7	1.00
02PJ007	14.3	0.88	0.282	0.77	0.478	13.1	15.7	91.4	1.00
02PH011	26.3	0.88	0.273	0.77	0.378	8.5	13.2	99.0	1.00
02OE032	17.7	0.87	0.305	0.75	0.543	12.3	22.3	120.7	1.00
02OD003	33.7	0.85	0.335	0.73	0.625	14.1	26.7	131.6	1.00

Station 02PJ007 Mean daily flow: 14.3 (1.8 5.9 35.2)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PL007	54.8	0.93	0.183	0.87	0.326	0.7	1.3	8.7	1.00
02PH011	26.3	0.92	0.202	0.84	0.546	1.6	1.8	10.7	1.00
02PK005	7.5	0.92	0.219	0.84	0.457	1.1	1.4	11.1	1.00
02OD003	33.7	0.89	0.284	0.79	0.563	1.5	2.1	13.6	1.00
02PH010	20.7	0.89	0.291	0.78	0.695	2.1	2.2	13.2	1.00

Station 02PH011 Mean daily flow: 26.3 (5.2 14.5 58.8)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PH010	20.7	0.93	0.153	0.86	0.296	1.3	3.4	14.1	1.00
02PJ007	14.3	0.92	0.167	0.84	0.417	2.5	3.6	19.8	1.00
02PJ005	117.0	0.88	0.251	0.77	0.425	2.1	3.6	19.9	1.00
02PG022	16.1	0.86	0.275	0.74	0.634	4.1	5.9	21.4	1.00
02PL007	54.8	0.85	0.301	0.73	0.435	2.0	3.9	25.8	1.00

Station 02PD010 Mean daily flow: 8.3 (1.2 4.3 19.5)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PC009	8.6	0.81	0.607	0.66	2.127	1.1	1.3	10.0	1.00
02PH011	26.3	0.80	0.662	0.64	1.521	0.9	1.8	9.3	1.00
02OB032	4.6	0.80	0.662	0.64	3.056	1.8	1.7	7.3	0.67
02PH010	20.7	0.79	0.659	0.63	1.606	0.9	2.0	10.0	1.00
02PA007	98.4	0.78	0.698	0.60	3.084	1.8	2.6	7.4	1.00

Station 02PD002 Mean daily flow: 35.2 (7.7 20.2 77.7)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PB019	51.0	0.95	0.088	0.91	0.291	2.0	3.3	24.7	1.00
02PF001	34.9	0.88	0.219	0.77	0.455	3.4	6.2	31.6	1.00
02PE009	18.1	0.87	0.235	0.76	0.495	4.7	6.1	26.6	1.00
02RH047	31.0	0.85	0.254	0.73	0.429	3.3	7.7	25.7	1.00
02RH049	15.1	0.85	0.256	0.72	0.486	4.6	5.6	24.4	1.00

Station 02PH010 Mean daily flow: 20.7 (3.8 9.2 49.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PH011	26.3	0.93	0.159	0.86	0.257	1.0	1.8	12.5	1.00
02PG022	16.1	0.89	0.226	0.80	0.531	2.4	3.7	14.9	1.00
02PJ007	14.3	0.89	0.249	0.78	0.498	2.2	3.2	19.1	1.00
02PJ005	117.0	0.85	0.323	0.72	0.442	1.5	3.2	20.0	1.00
02PC009	8.6	0.83	0.361	0.69	0.571	2.5	3.1	21.1	1.00

Station 02PE009 Mean daily flow: 18.1 (5.0 9.4 39.6)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02RH049	15.1	0.93	0.097	0.86	0.187	0.7	1.4	11.3	1.00
02PF001	34.9	0.91	0.134	0.82	0.236	0.8	1.9	13.1	1.00
02PD002	35.2	0.87	0.180	0.76	0.305	1.3	2.0	20.1	1.00
02SC004	13.0	0.87	0.165	0.76	0.246	0.9	1.8	14.5	0.80
02PB019	51.0	0.85	0.210	0.72	0.262	1.0	1.8	17.8	1.00

Station 02PG022 Mean daily flow: 16.1 (1.7 5.8 40.9)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PG006	9.8	0.91	0.290	0.84	0.506	1.0	3.4	17.5	1.00
02PH010	20.7	0.89	0.356	0.80	0.458	1.3	2.9	17.9	1.00
02QA001	17.9	0.88	0.405	0.77	0.730	2.1	3.7	17.8	1.00
02PH011	26.3	0.86	0.459	0.74	0.448	0.7	3.5	21.5	1.00
02PA007	98.4	0.84	0.508	0.71	0.695	1.9	3.4	20.5	1.00

Station 02PF001 Mean daily flow: 34.9 (10.2 20.3 74.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02RH049	15.1	0.94	0.083	0.88	0.199	2.2	4.1	17.9	1.00
02SC002	62.9	0.92	0.106	0.85	0.218	1.7	4.9	23.0	1.00
02PE009	18.1	0.91	0.123	0.82	0.267	2.8	5.6	23.9	1.00
02RH047	31.0	0.90	0.124	0.82	0.198	1.6	4.5	24.1	1.00
02PD002	35.2	0.88	0.155	0.77	0.256	1.7	5.3	36.4	1.00

Station 02PG006 Mean daily flow: 9.8 (1.5 4.6 23.2)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02QA001	17.9	0.92	0.215	0.84	0.507	1.1	2.2	5.8	1.00
02PG022	16.1	0.91	0.219	0.84	0.500	1.1	1.9	8.6	1.00
02QA002	30.5	0.88	0.293	0.78	0.424	0.8	1.6	9.6	1.00
02QA017	9.4	0.86	0.344	0.74	0.504	1.1	1.7	10.7	1.00
02PA007	98.4	0.85	0.371	0.72	0.487	1.0	1.6	9.4	1.00

Station 02RH049 Mean daily flow: 15.1 (2.8 6.8 35.7)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PF001	34.9	0.94	0.137	0.88	0.252	0.8	1.3	8.2	1.00
02PE009	18.1	0.93	0.153	0.86	0.284	0.6	1.9	9.6	1.00
02SC004	13.0	0.91	0.191	0.82	0.263	0.7	1.3	10.3	0.80
02SC002	62.9	0.90	0.204	0.82	0.278	0.8	1.5	10.6	1.00
02RH047	31.0	0.89	0.248	0.78	0.277	0.8	1.3	13.5	1.00

Station 02RH047 Mean daily flow: 31.0 (6.7 17.4 68.7)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02SC002	62.9	0.94	0.116	0.88	0.263	2.2	2.4	16.6	1.00
02PF001	34.9	0.90	0.176	0.82	0.252	2.0	2.7	15.1	1.00
02RH049	15.1	0.89	0.206	0.78	0.328	3.2	2.4	19.6	1.00
02UA003	42.5	0.88	0.214	0.78	0.326	2.7	3.2	23.1	1.00
02SC004	13.0	0.88	0.222	0.77	0.406	3.4	3.8	29.1	0.80

Station 02QA001 Mean daily flow: 17.9 (2.4 7.1 44.0)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02PG006	9.8	0.92	0.229	0.84	0.320	1.1	3.1	20.9	1.00
02QA002	30.5	0.91	0.260	0.82	0.344	1.1	3.0	21.5	1.00
02QA017	9.4	0.91	0.265	0.82	0.360	1.3	2.6	23.6	1.00
02QB005	4.4	0.90	0.296	0.80	0.424	1.5	3.1	26.4	1.00
02PG022	16.1	0.88	0.322	0.77	0.408	1.5	3.3	28.1	1.00

Station 02SC004 Mean daily flow: 13.0 (4.1 7.4 27.4)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02RH049	15.1	0.91	0.117	0.82	0.328	1.4	1.6	10.2	1.00
02SC002	62.9	0.89	0.141	0.78	0.365	1.7	1.6	10.9	1.00
02RH047	31.0	0.88	0.152	0.77	0.351	1.6	1.5	13.6	1.00
02PE009	18.1	0.87	0.158	0.76	0.395	1.6	2.1	11.4	1.00
02PF001	34.9	0.86	0.170	0.74	0.343	1.7	1.2	11.7	1.00

Station 02SC002 Mean daily flow: 62.9 (16.4 36.6 135.7)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02RH047	31.0	0.94	0.097	0.88	0.253	4.0	7.0	31.3	1.00
02PF001	34.9	0.92	0.123	0.85	0.258	4.5	5.2	32.2	1.00
02UA003	42.5	0.92	0.125	0.84	0.215	2.1	5.6	41.8	1.00
02RH049	15.1	0.90	0.143	0.82	0.295	5.2	7.2	31.9	1.00
02SC004	13.0	0.89	0.164	0.78	0.280	4.5	7.5	31.9	0.80

Station 02QA002 Mean daily flow: 30.5 (6.0 14.4 70.8)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02QA017	9.4	0.94	0.120	0.89	0.301	2.9	3.8	21.5	1.00
02QB005	4.4	0.91	0.188	0.83	0.434	3.5	5.8	35.3	1.00
02QA001	17.9	0.91	0.186	0.82	0.413	3.5	6.5	32.2	1.00
02QB001	39.7	0.89	0.215	0.80	0.358	2.1	5.8	32.9	1.00
02PG006	9.8	0.88	0.236	0.78	0.349	2.4	6.4	36.5	1.00

Station 02QA017 Mean daily flow: 9.4 (1.3 3.8 23.1)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02QB005	4.4	0.95	0.138	0.91	0.347	0.7	1.4	7.4	1.00
02QA002	30.5	0.94	0.159	0.89	0.298	0.8	1.2	3.3	1.00
02QA001	17.9	0.91	0.261	0.82	0.477	0.8	2.1	10.2	1.00
02QB001	39.7	0.87	0.364	0.75	0.480	1.0	1.9	9.1	1.00
02PG006	9.8	0.86	0.362	0.74	0.404	0.6	2.1	12.2	1.00

Station 02QB005 Mean daily flow: 4.4 (0.5 1.5 11.1)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02QA017	9.4	0.95	0.166	0.91	0.323	0.2	0.7	2.5	1.00
02QA002	30.5	0.91	0.287	0.83	0.477	0.4	0.9	3.3	1.00
02QA001	17.9	0.90	0.329	0.80	0.620	0.5	1.1	4.7	1.00
02QB001	39.7	0.86	0.433	0.74	0.420	0.4	0.7	3.8	1.00
02PG006	9.8	0.84	0.506	0.71	0.476	0.3	1.0	5.5	1.00

Station 02UA003 Mean daily flow: 42.5 (10.1 23.9 93.3)

	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02SC002	62.9	0.92	0.140	0.84	0.344	4.5	3.5	25.6	1.00
02RH047	31.0	0.88	0.206	0.78	0.452	6.0	5.3	22.7	1.00
02PF001	34.9	0.86	0.226	0.74	0.498	7.3	3.3	30.1	1.00
02RH049	15.1	0.84	0.253	0.71	0.493	6.4	4.3	35.7	1.00
02SC004	13.0	0.83	0.251	0.69	0.404	4.9	3.7	34.3	0.80

Station 02QB001 Mean daily flow: 39.7 (7.7 20.0 91.3)

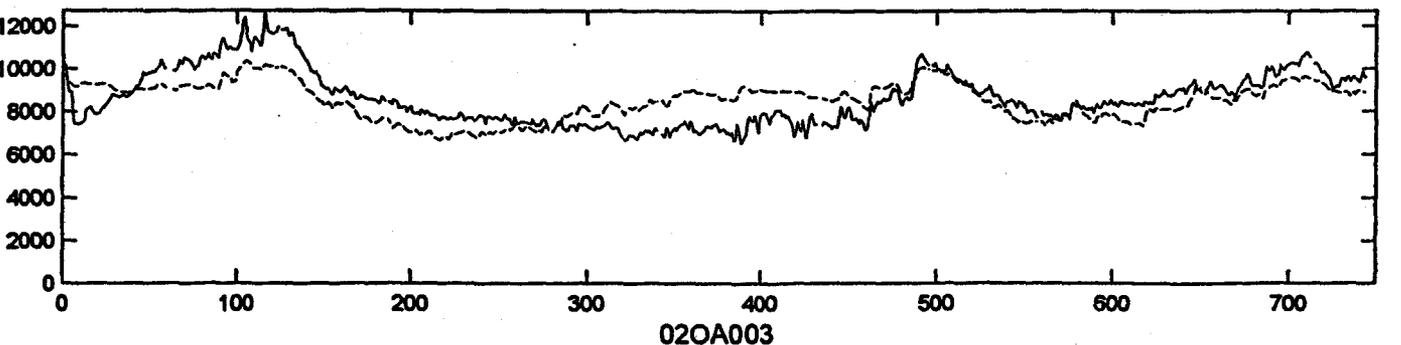
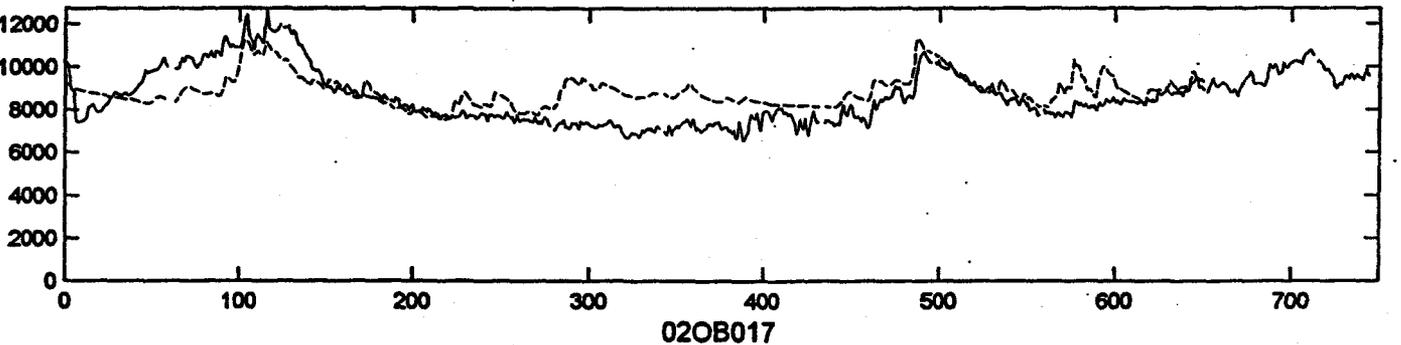
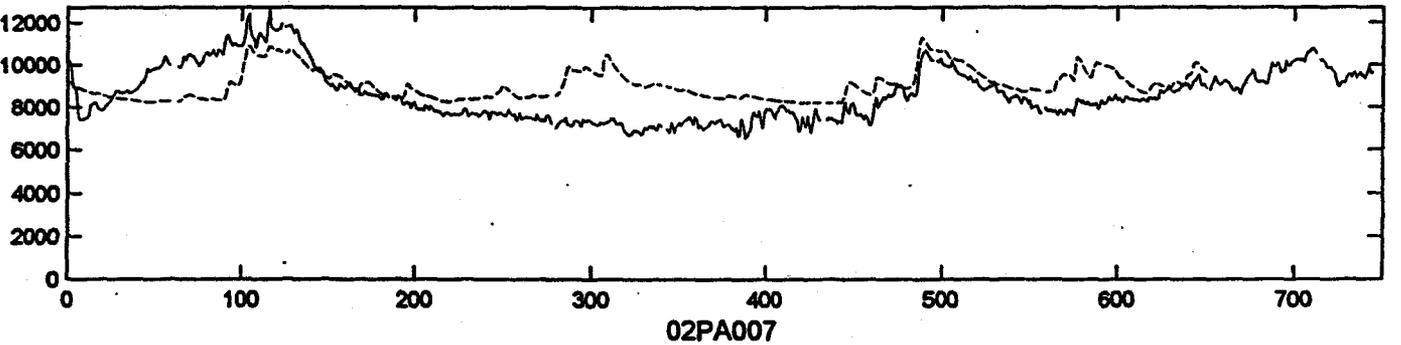
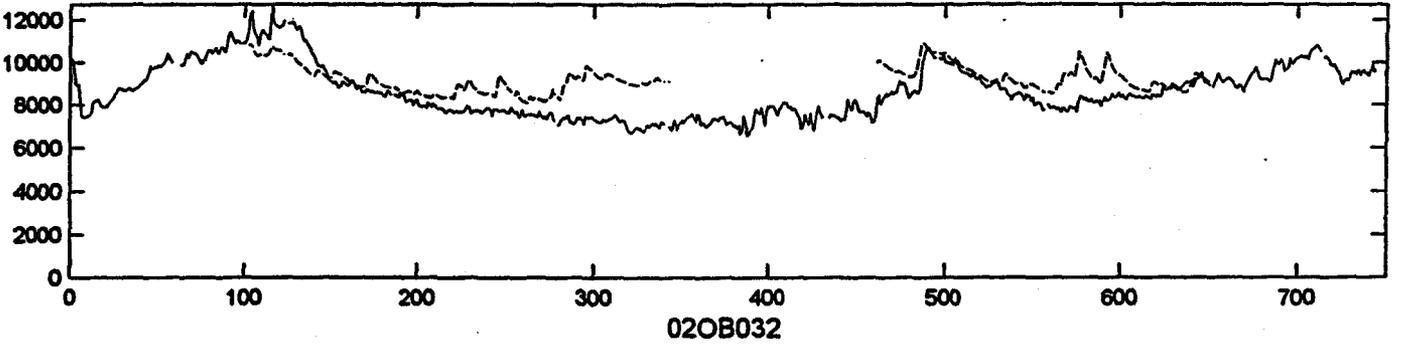
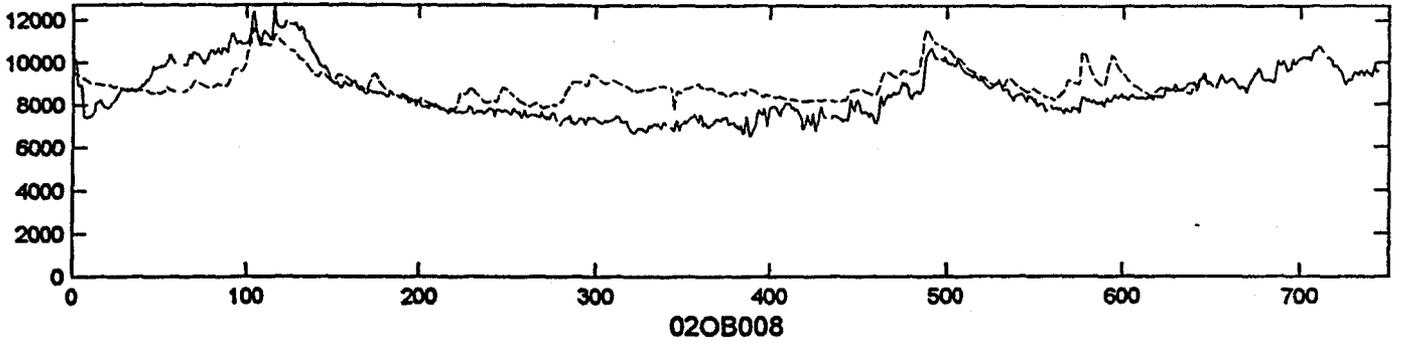
	MEAN	RHO	VAR	R2	MARE	MAE1	MAE2	MAE3	Data
02QA002	30.5	0.89	0.210	0.80	0.438	3.3	8.1	34.1	1.00
02RH049	15.1	0.87	0.258	0.75	0.322	2.7	4.2	40.9	1.00
02QA017	9.4	0.87	0.259	0.75	0.566	5.4	9.4	43.3	1.00
02QB005	4.4	0.86	0.268	0.74	0.538	5.2	9.1	44.9	1.00
02SC004	13.0	0.85	0.292	0.73	0.291	2.2	3.7	36.1	0.80



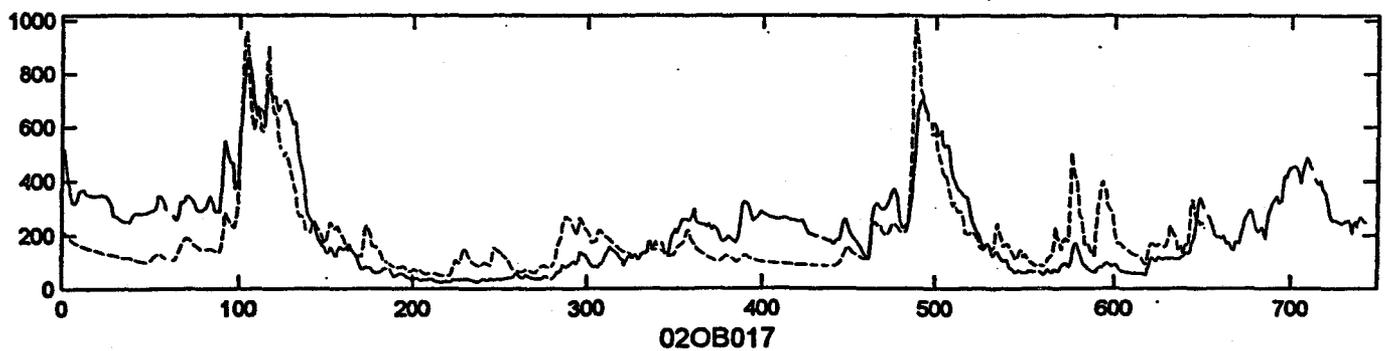
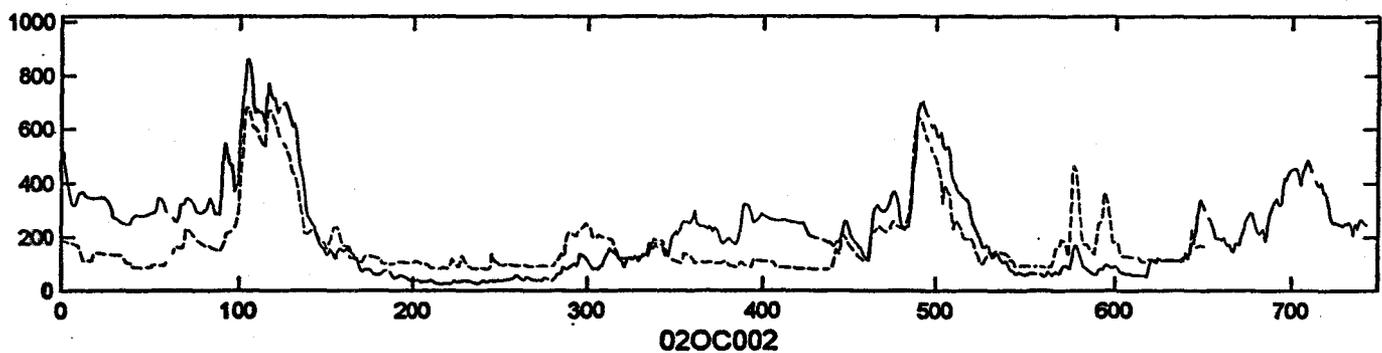
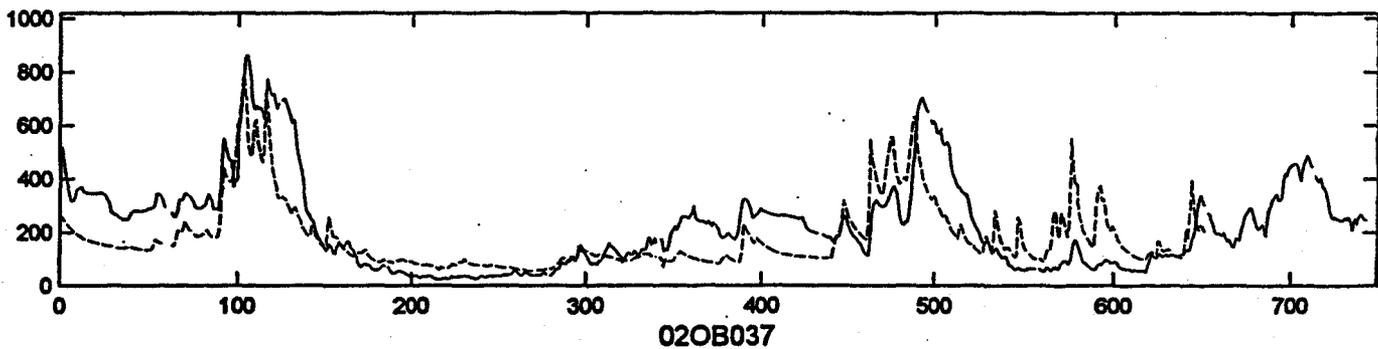
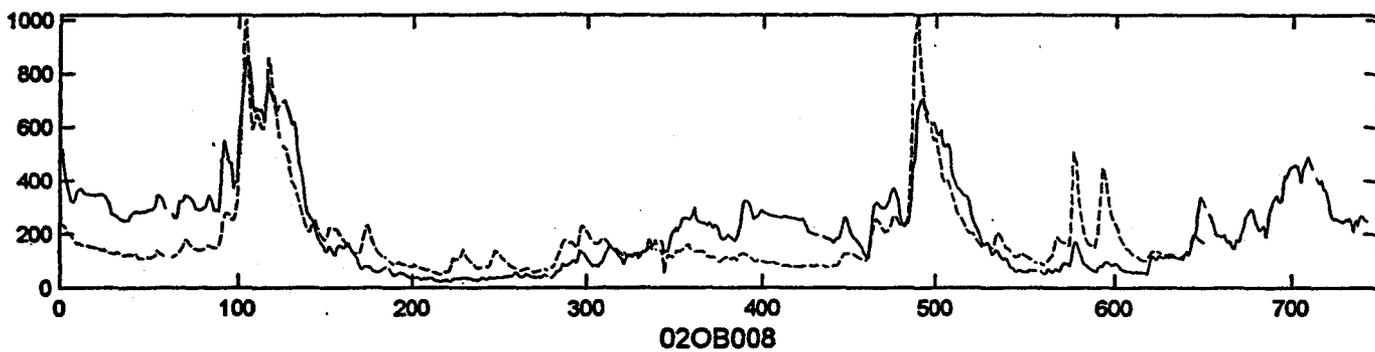
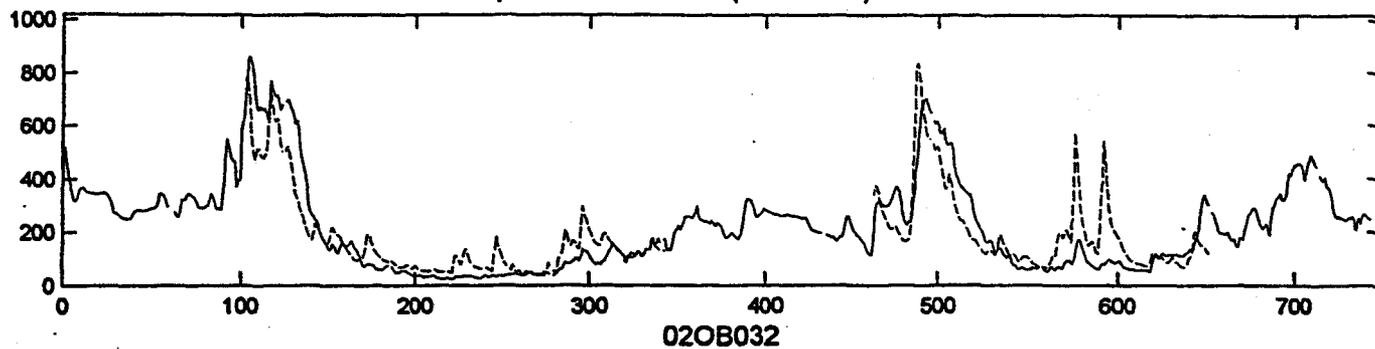
ANNEXE C

Reconstitution des débits journaliers de 1991-92

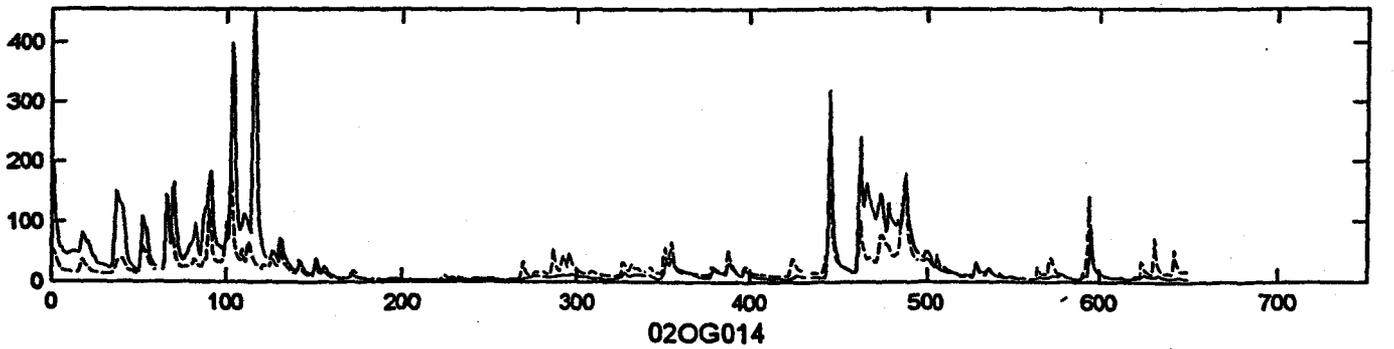
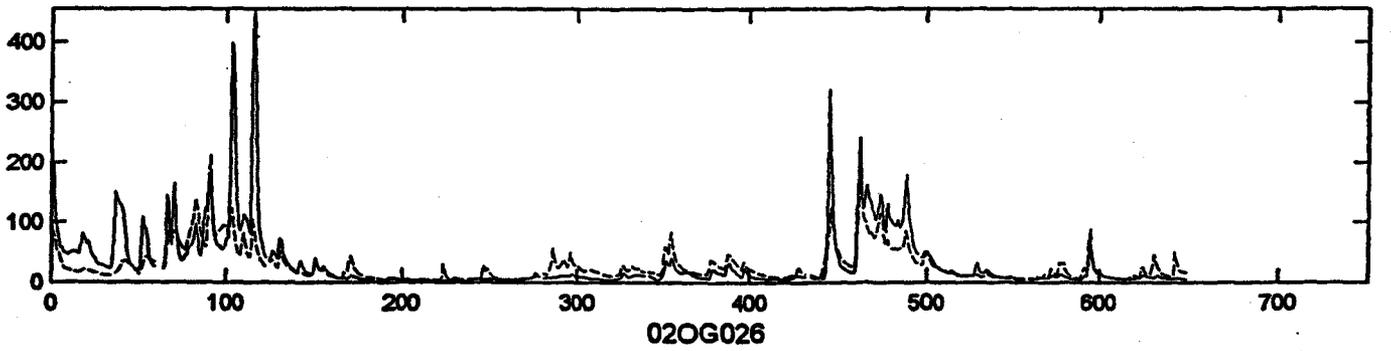
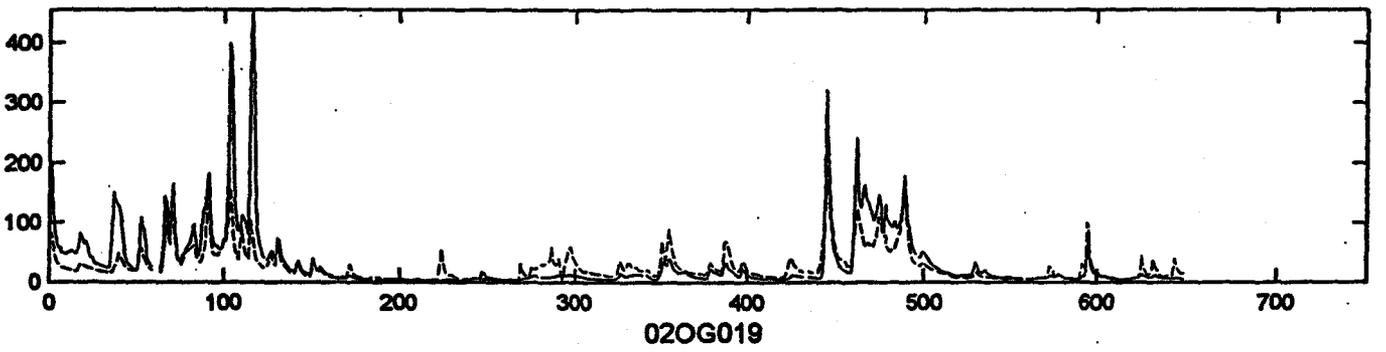
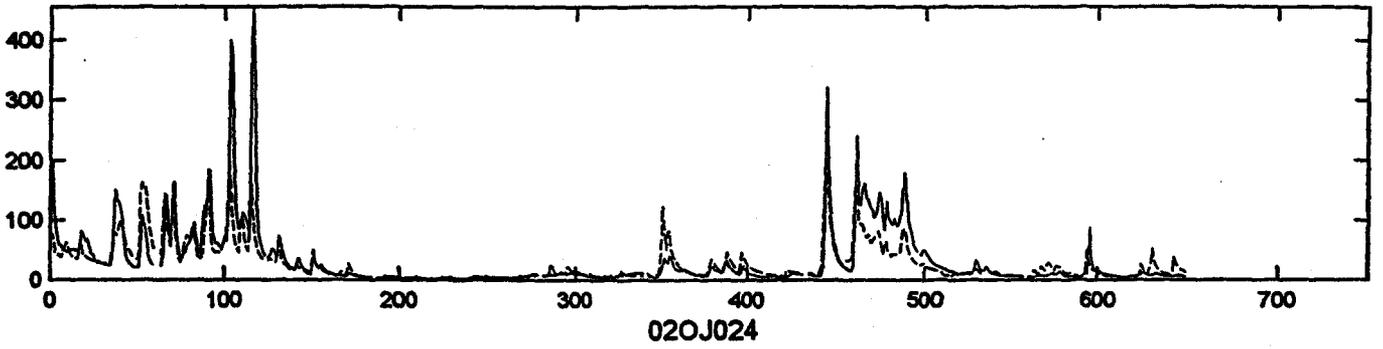
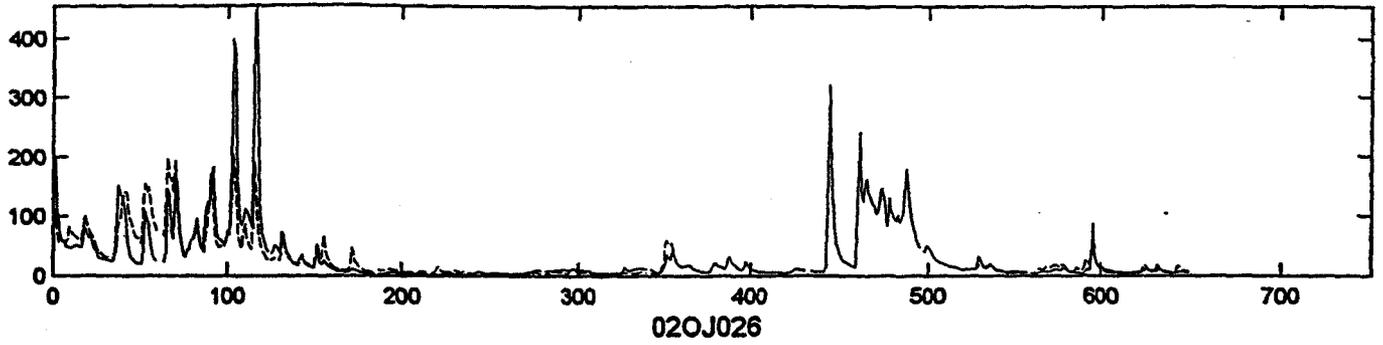
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OA016



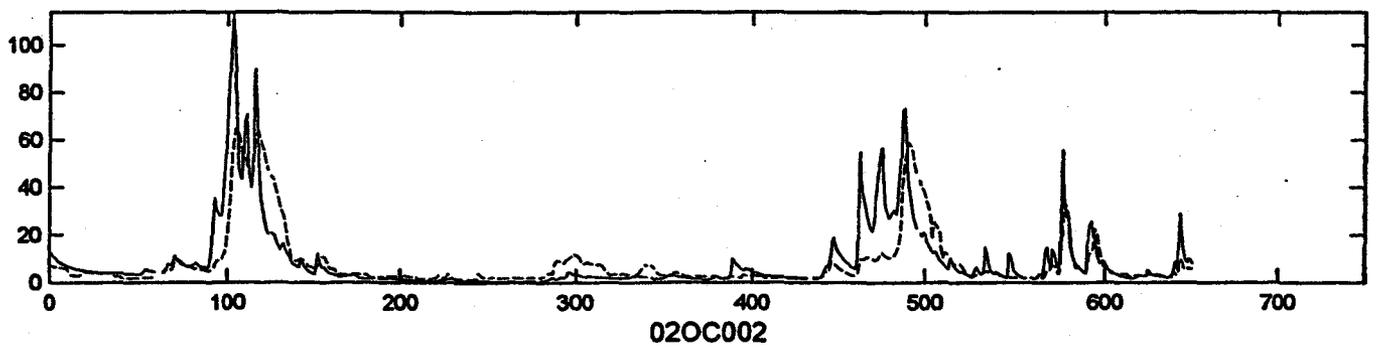
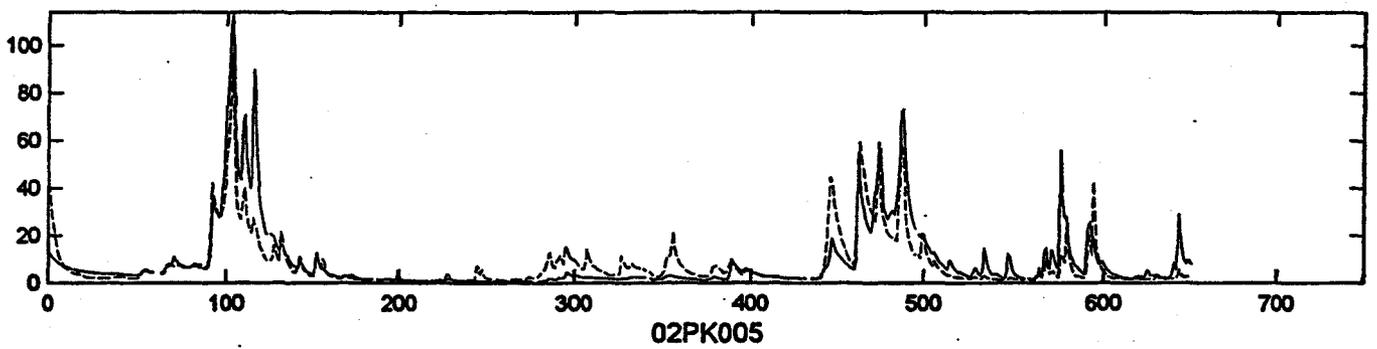
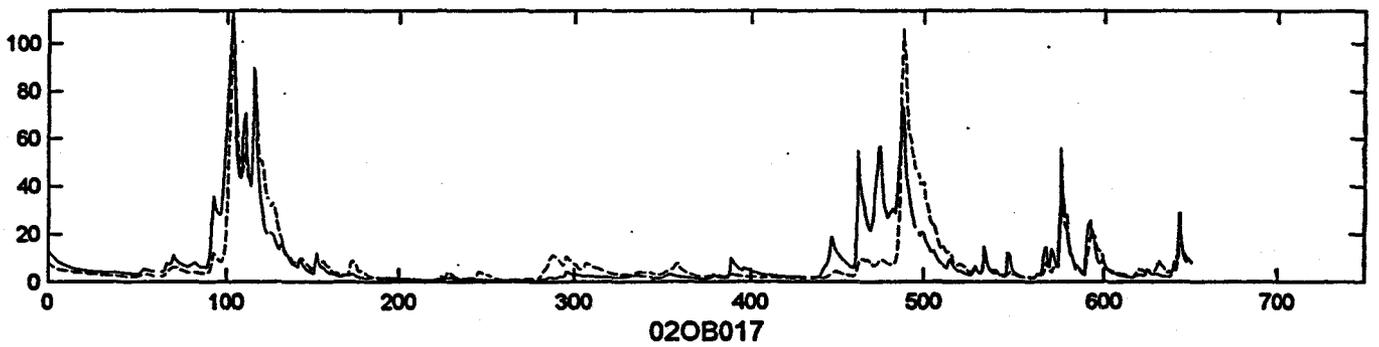
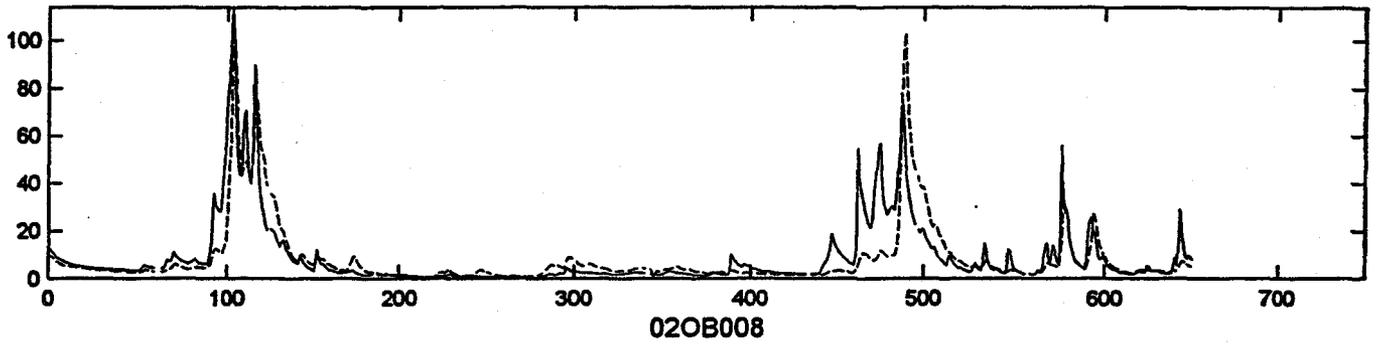
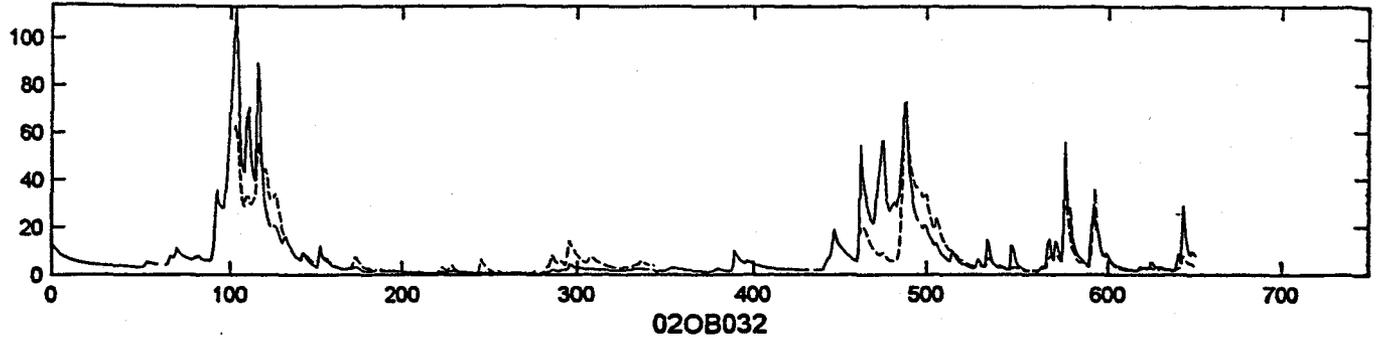
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OA003



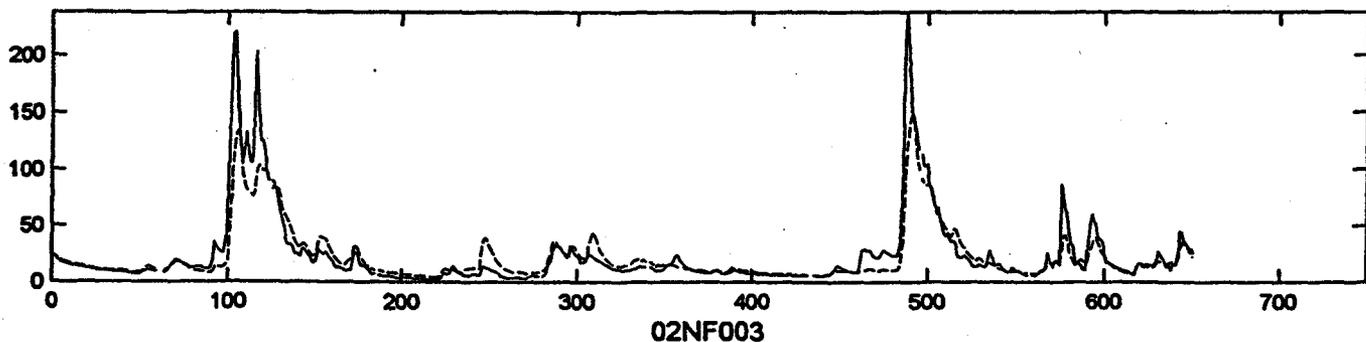
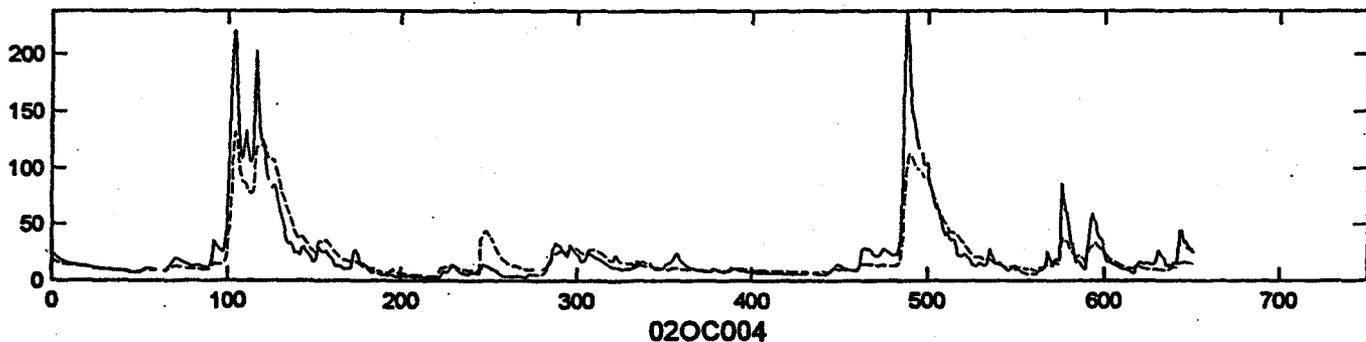
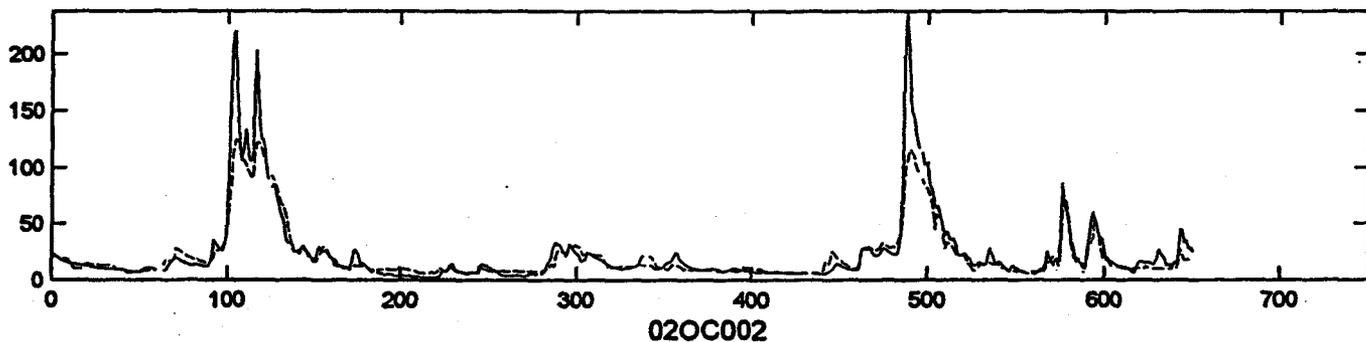
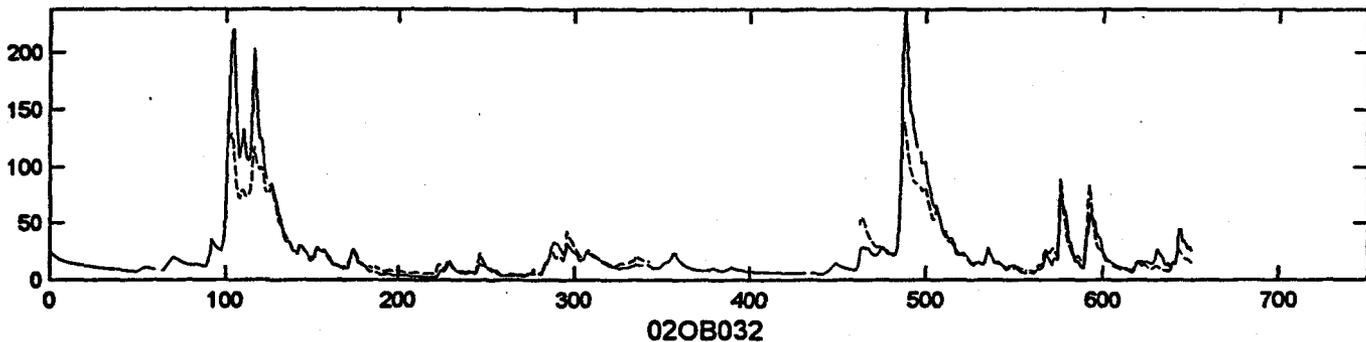
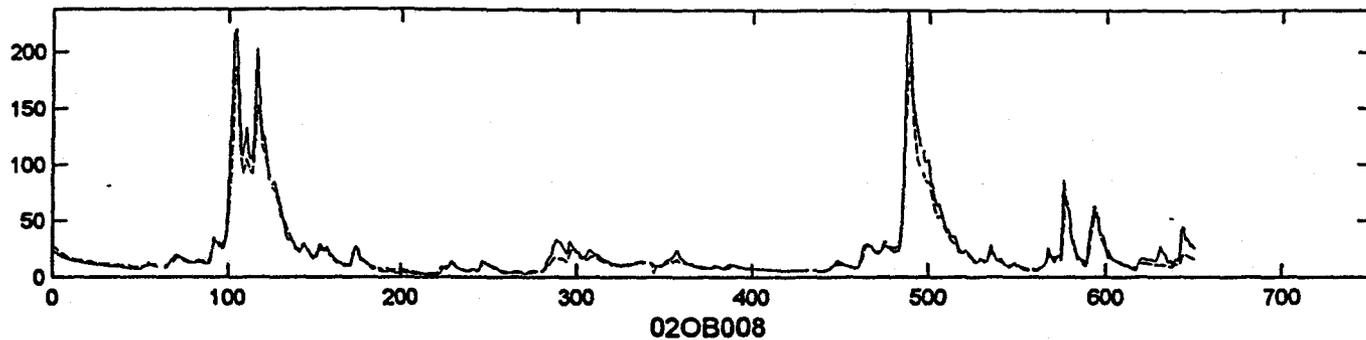
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OA054



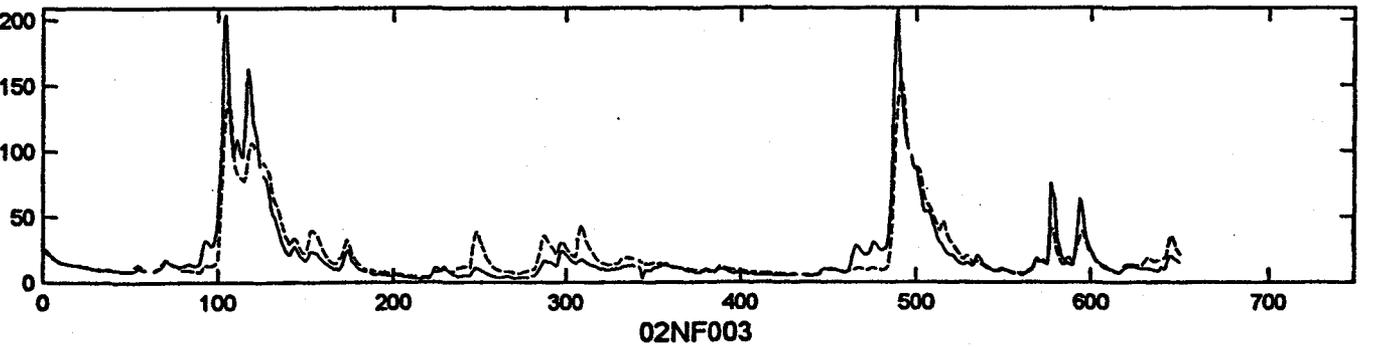
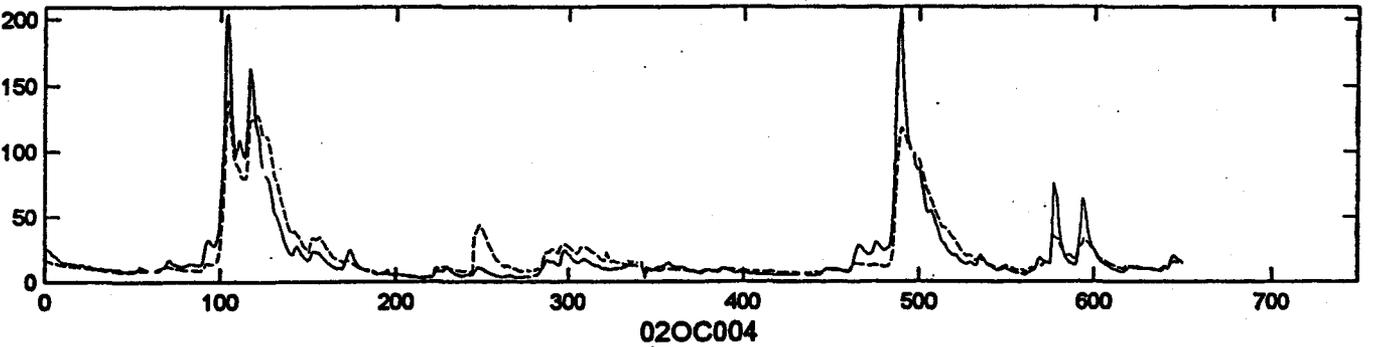
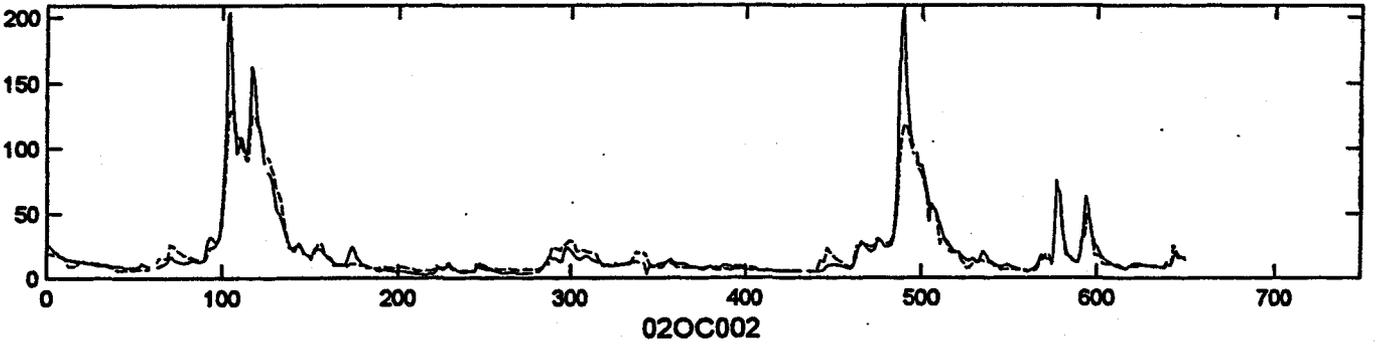
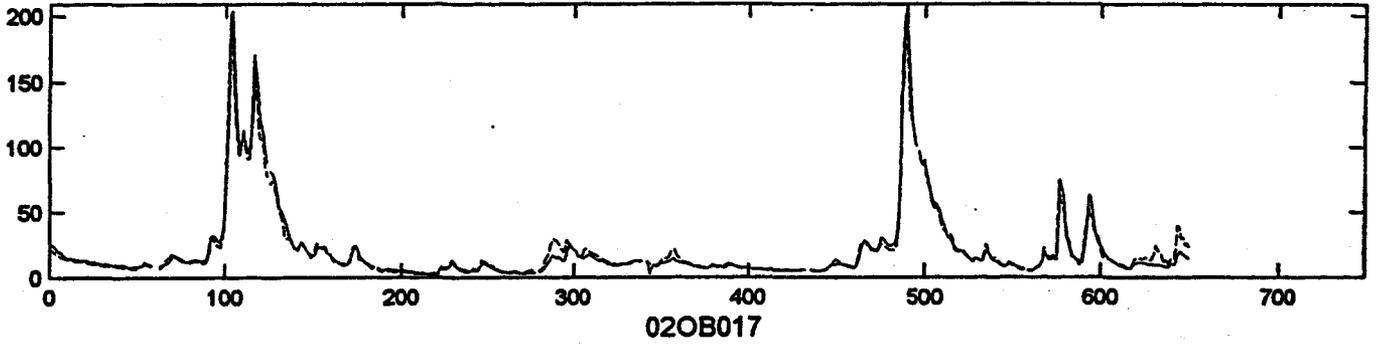
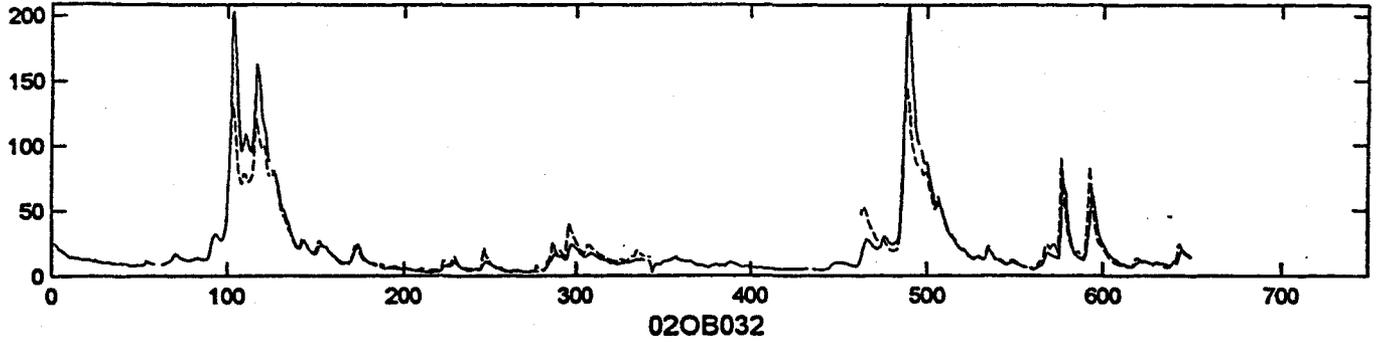
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OB037



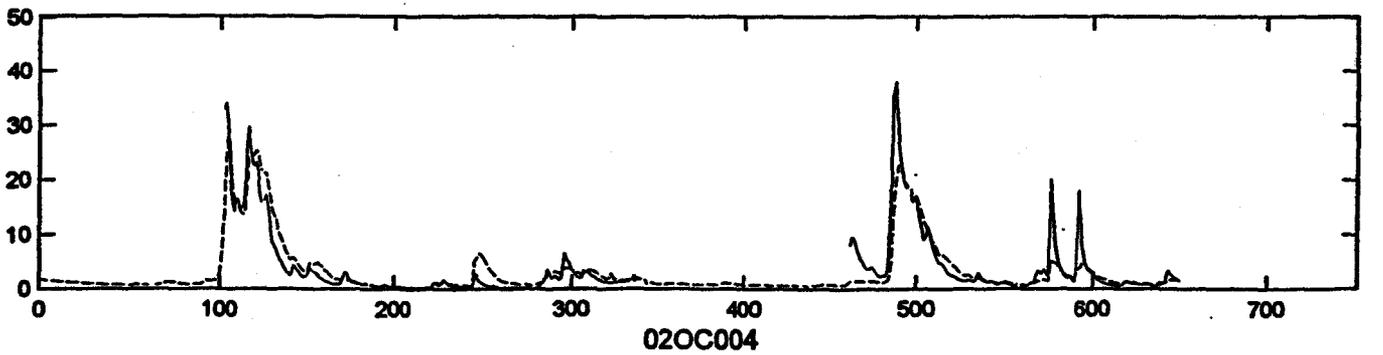
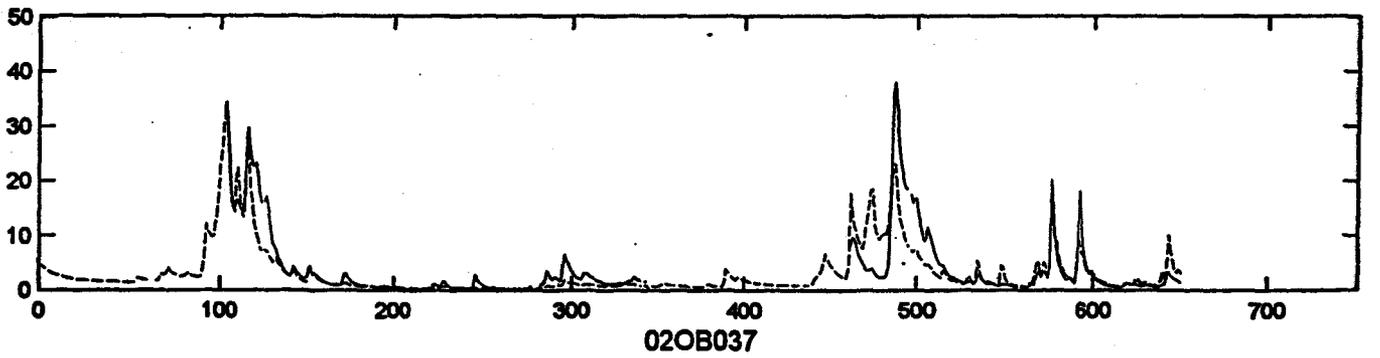
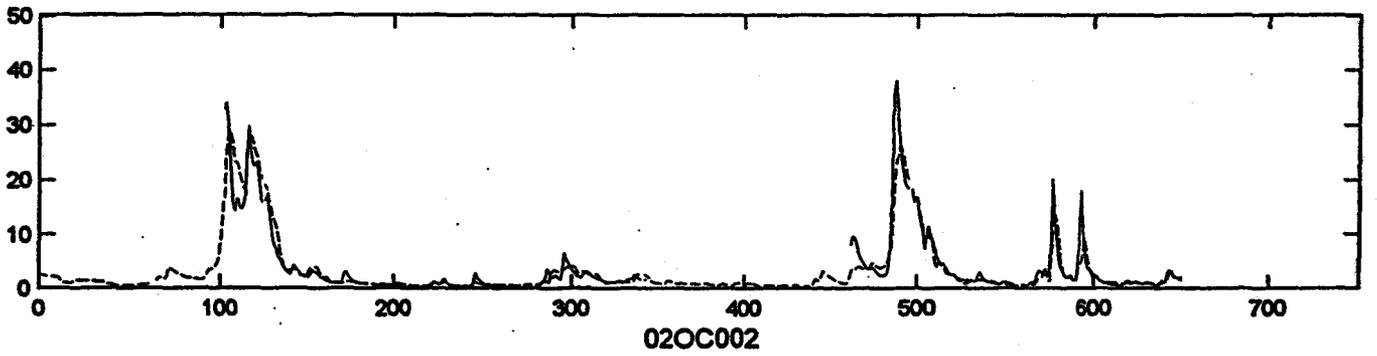
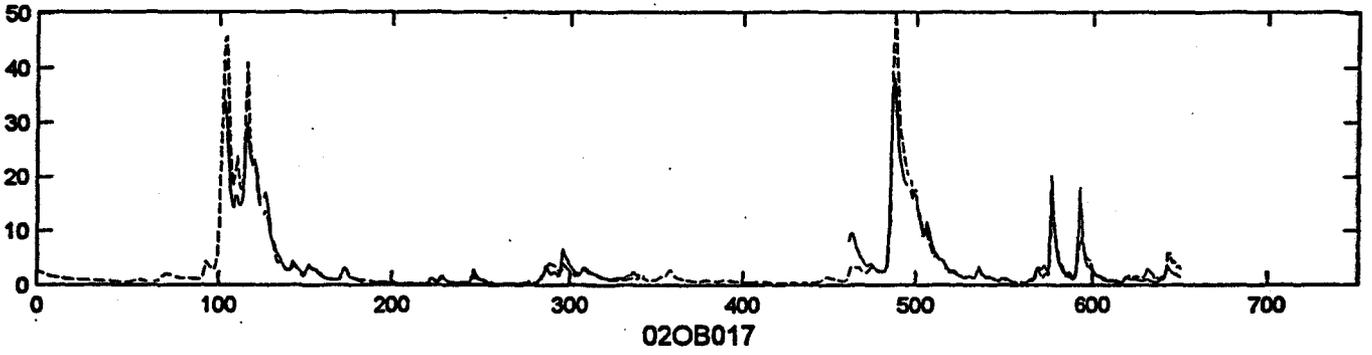
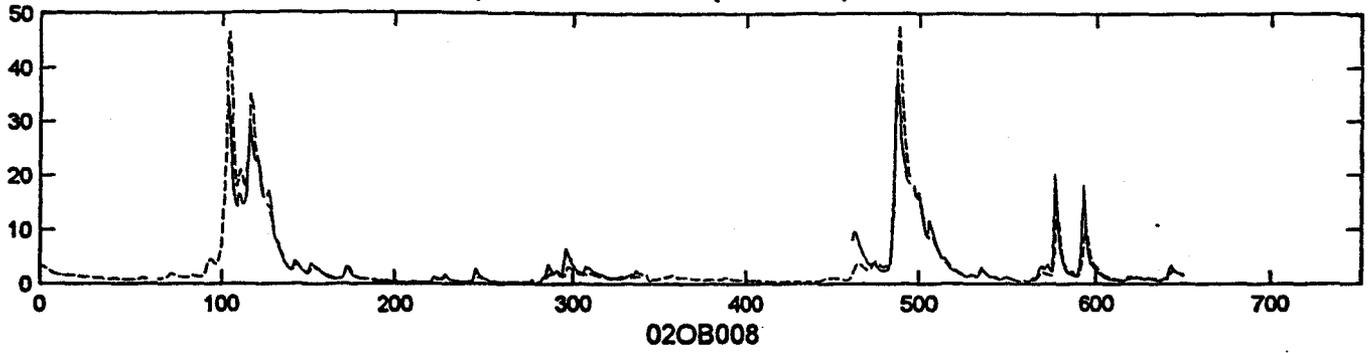
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OB017



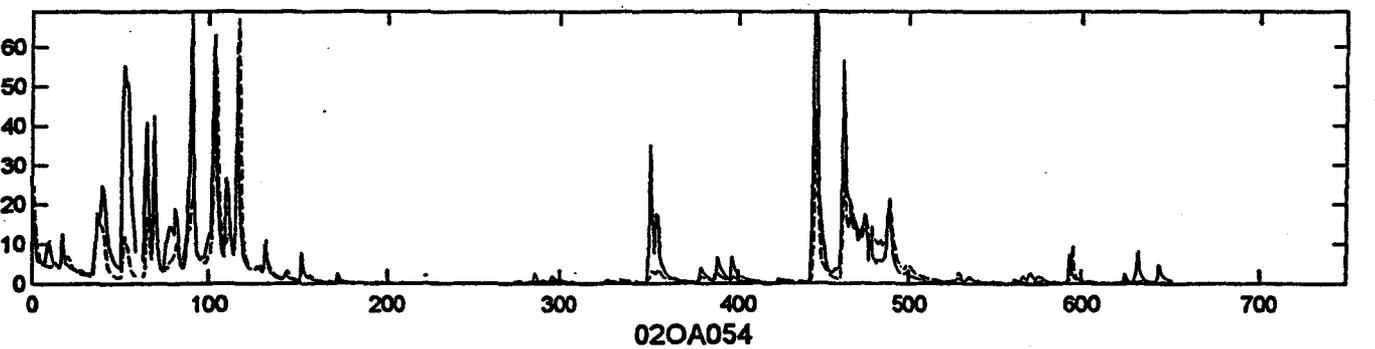
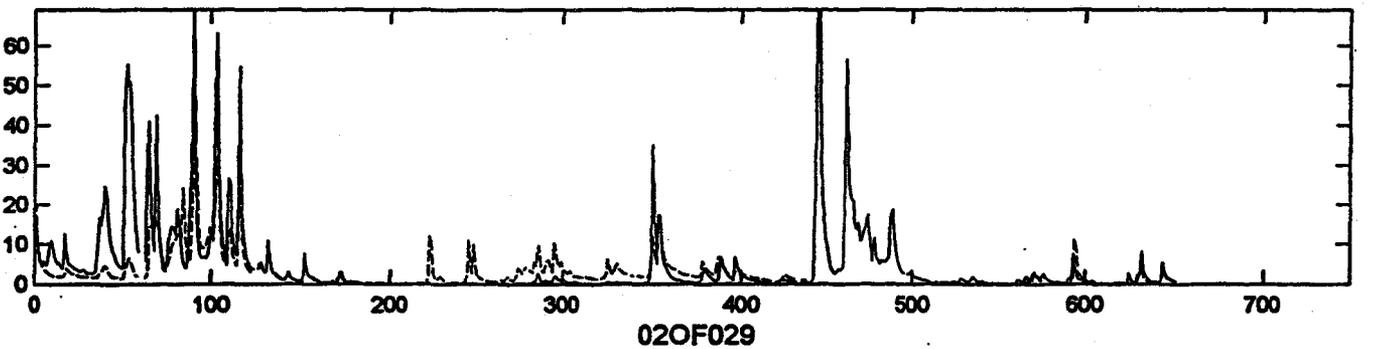
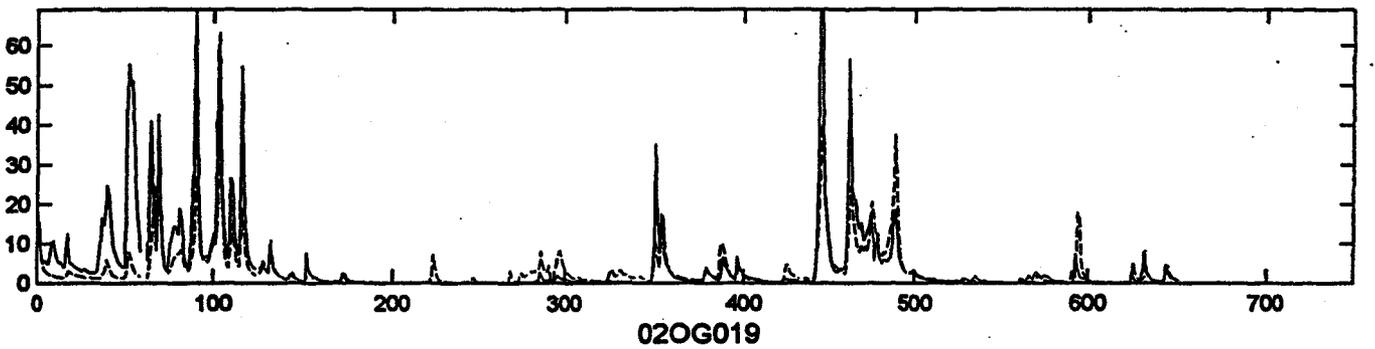
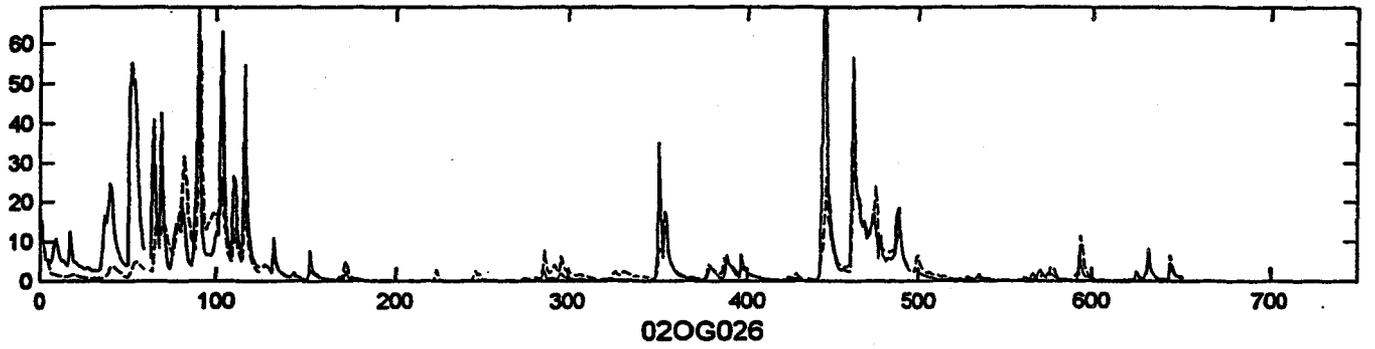
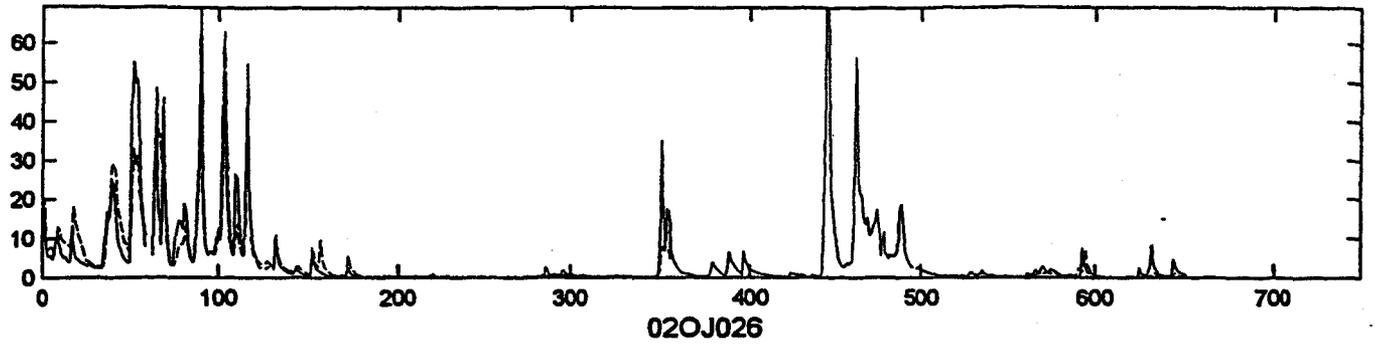
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OB008



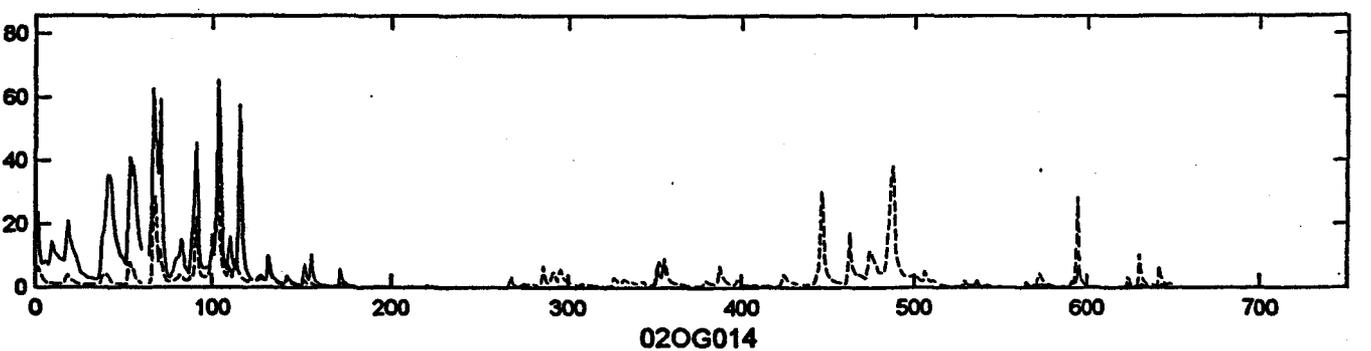
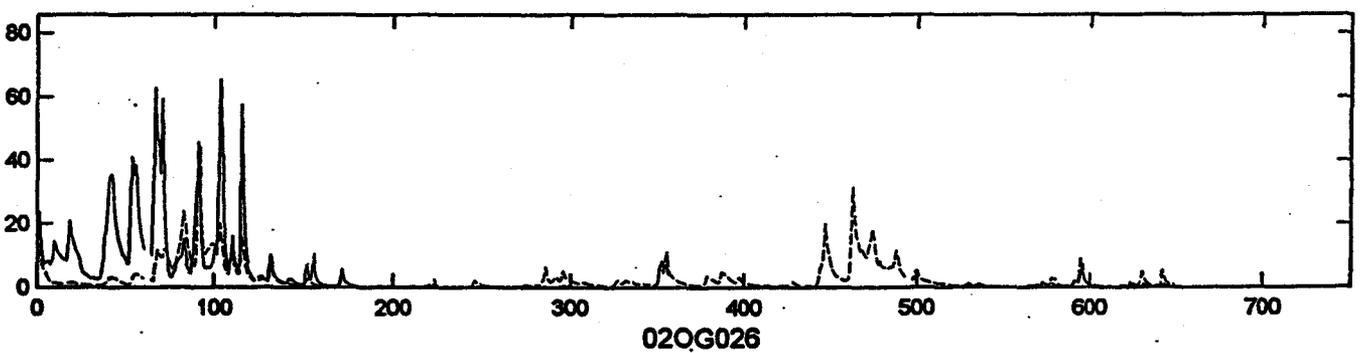
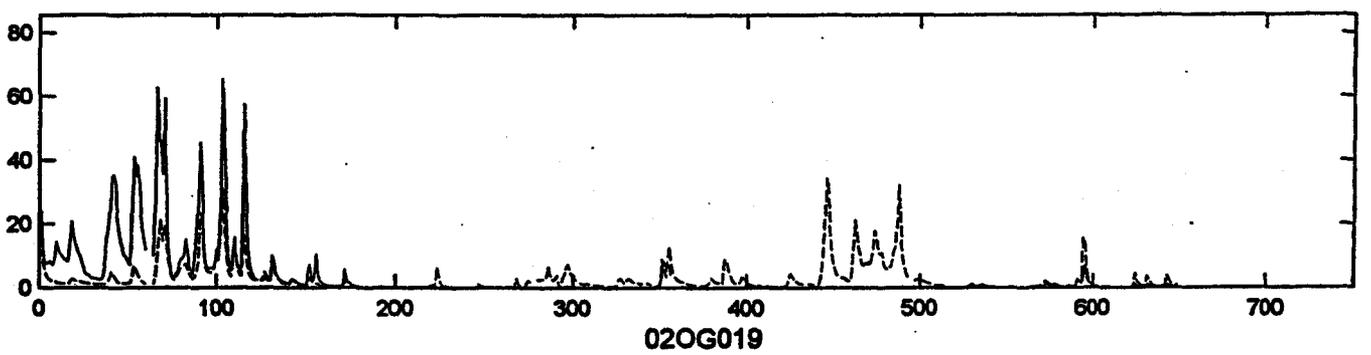
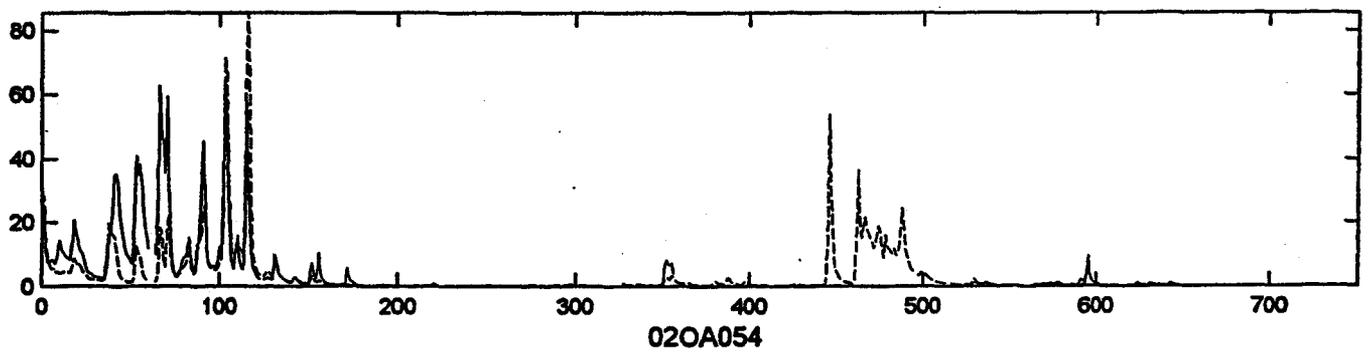
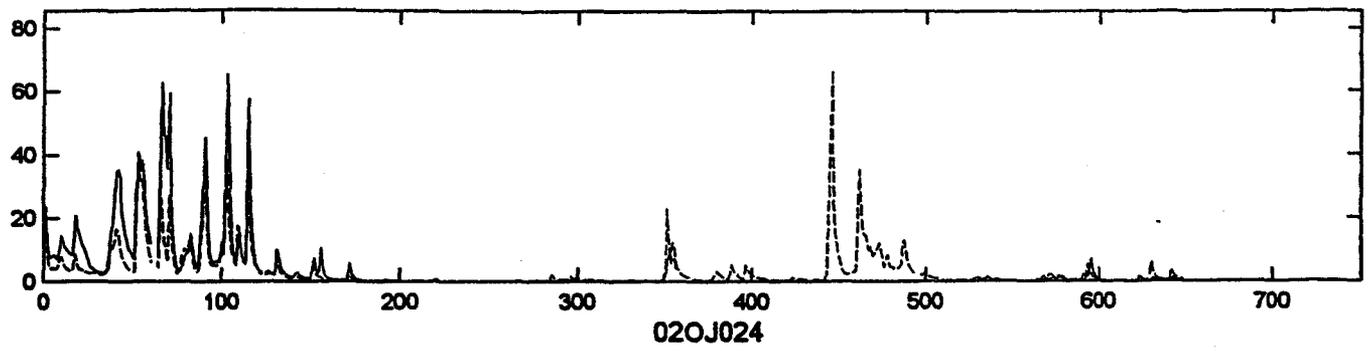
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OB032



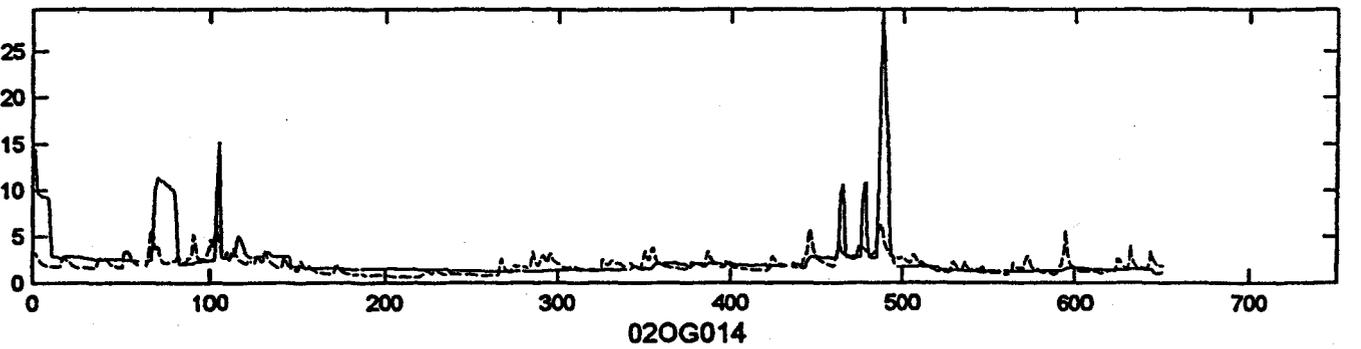
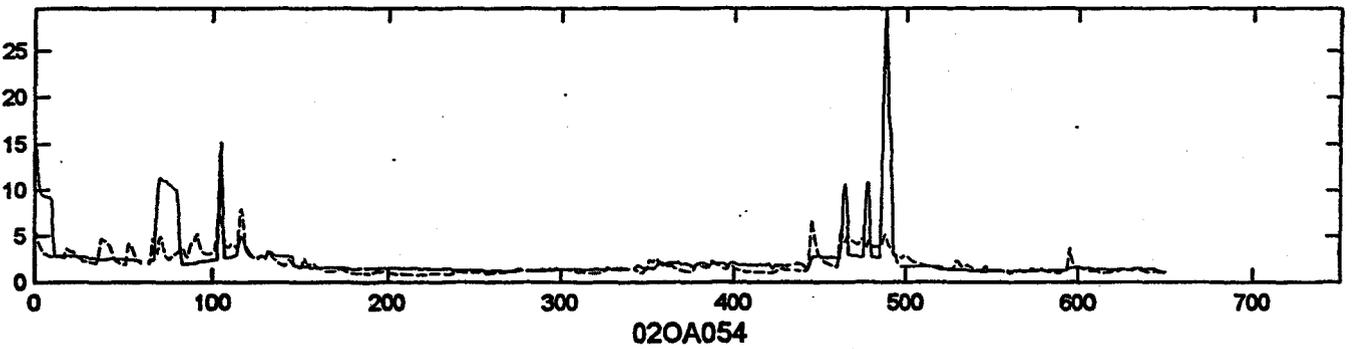
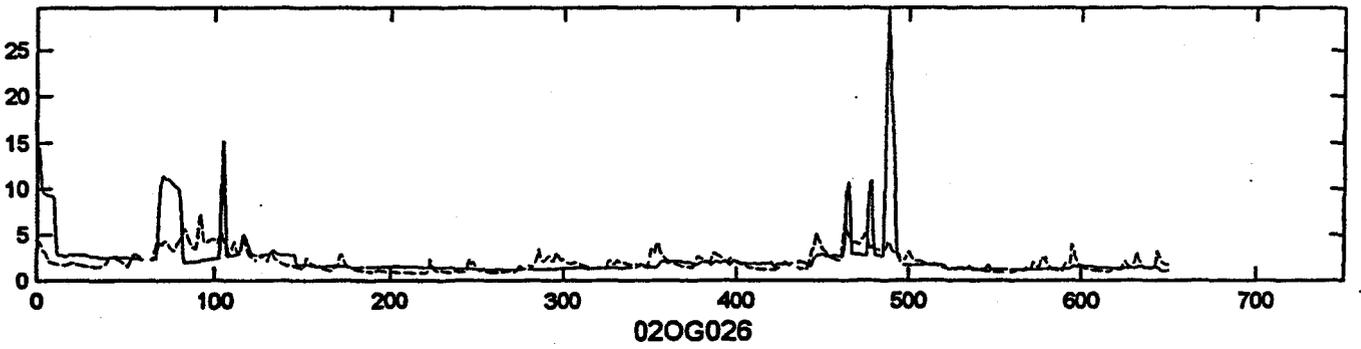
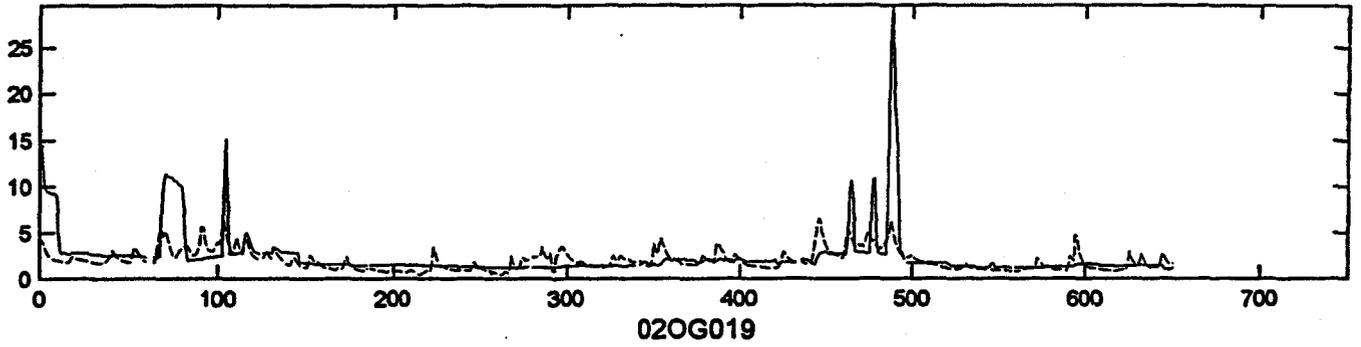
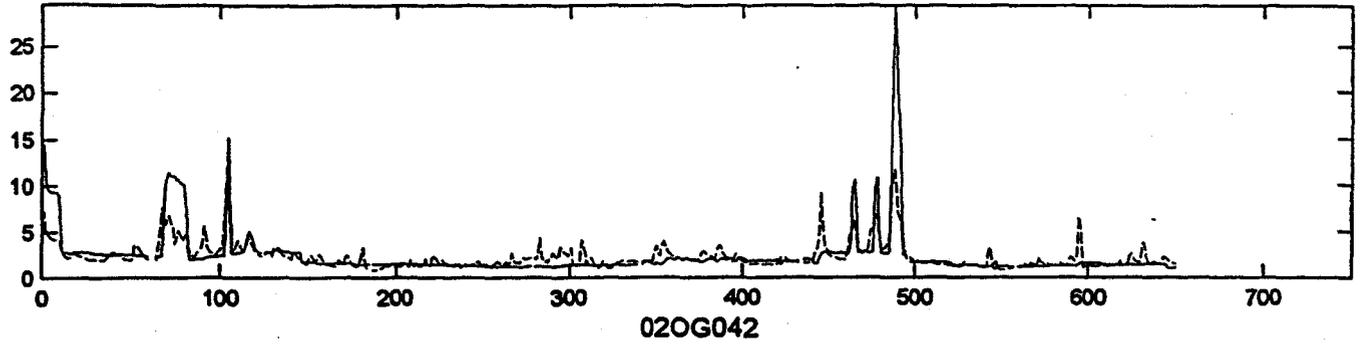
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OJ024



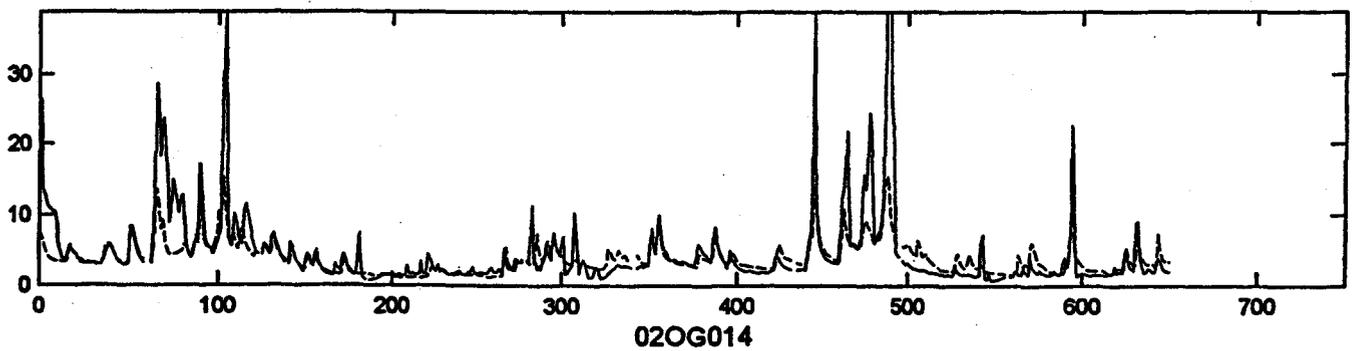
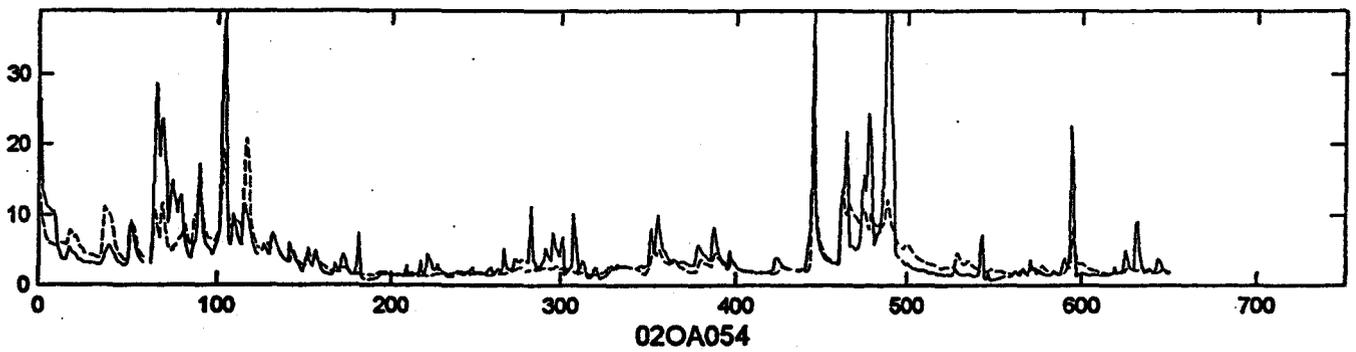
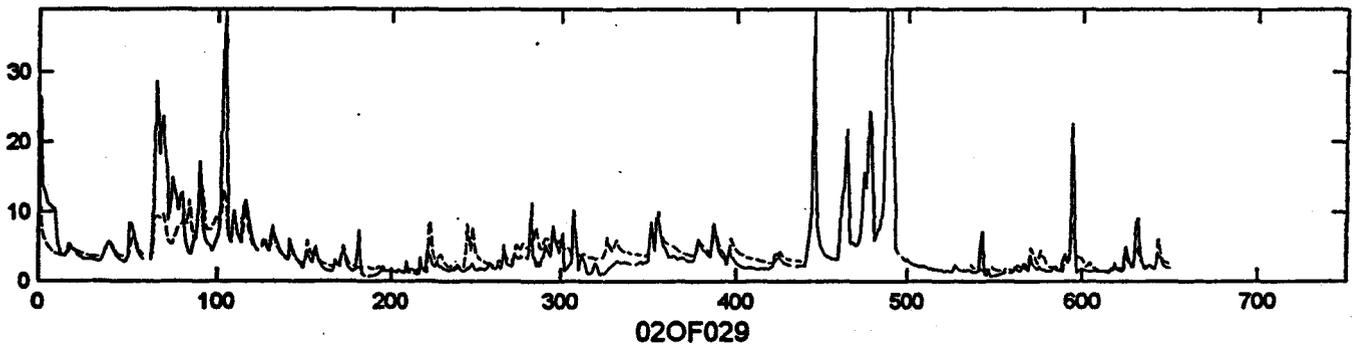
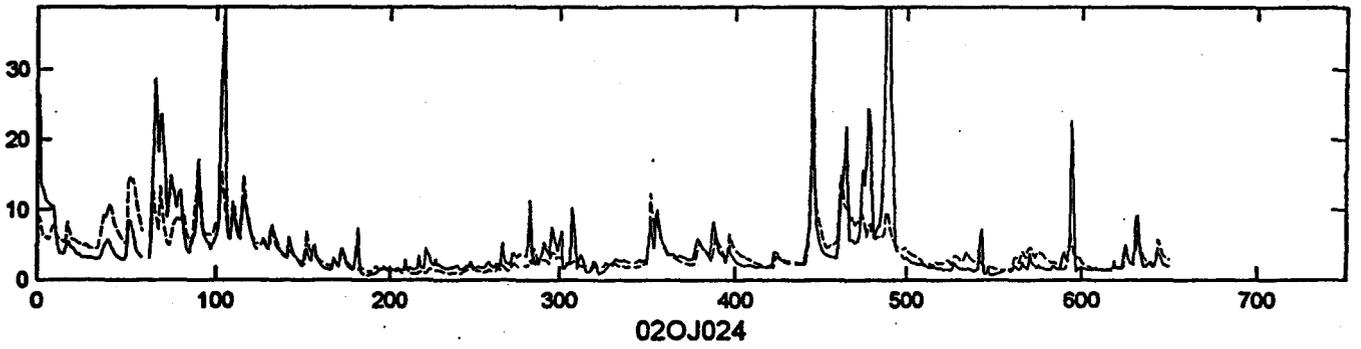
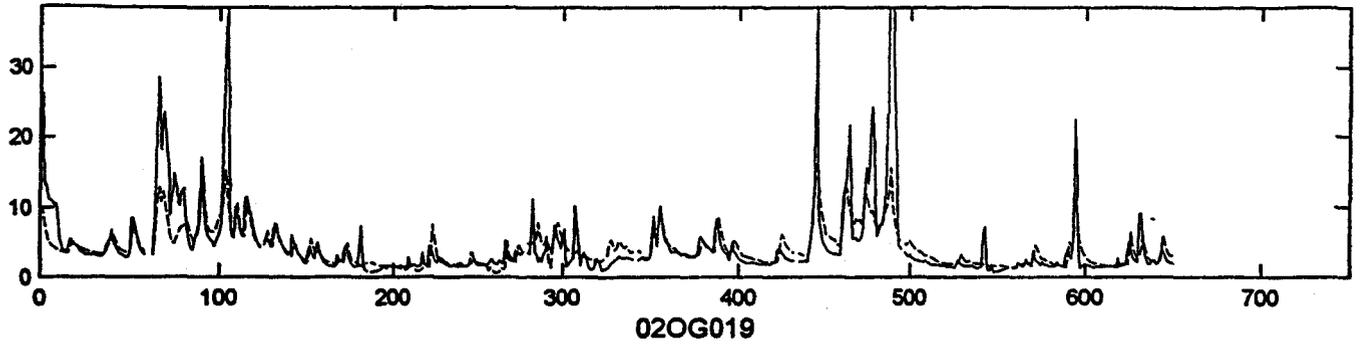
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OJ026



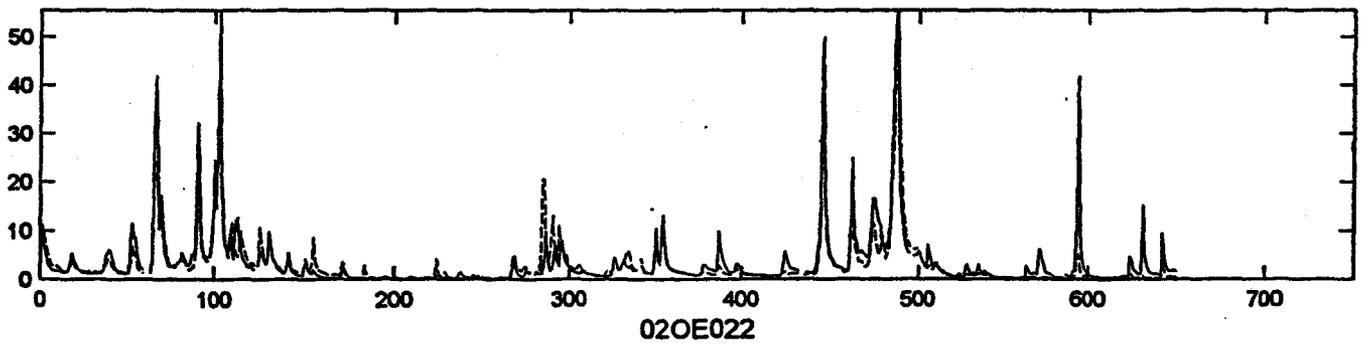
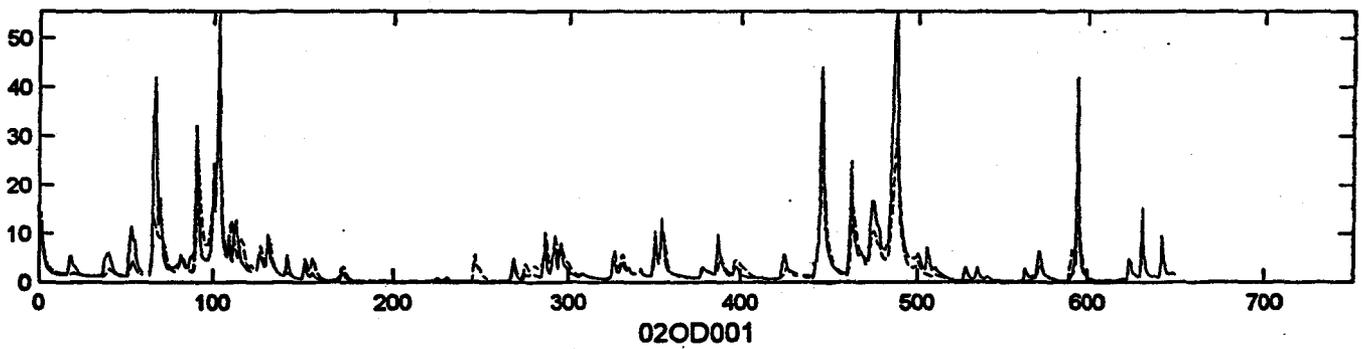
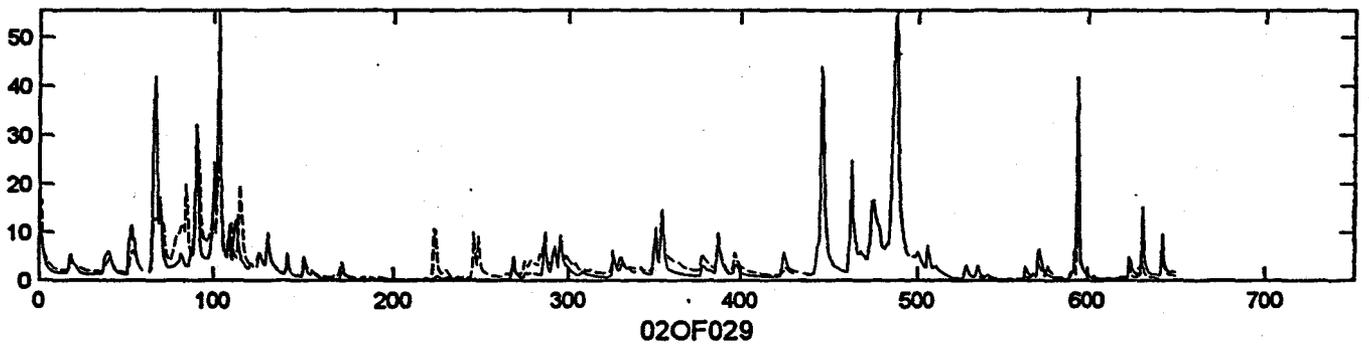
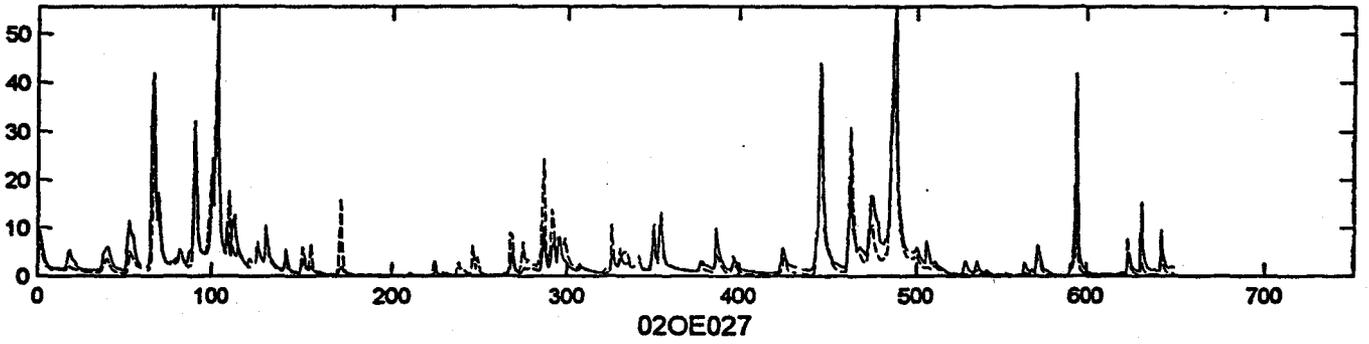
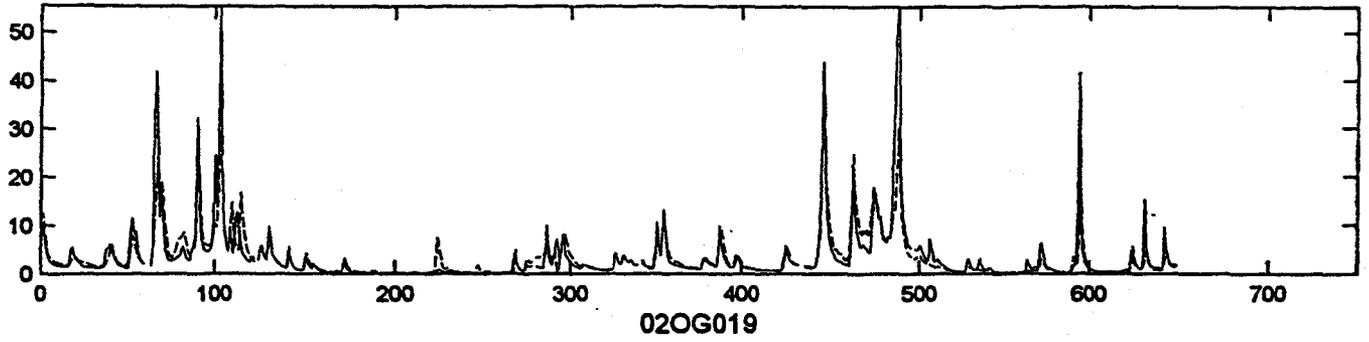
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OG007



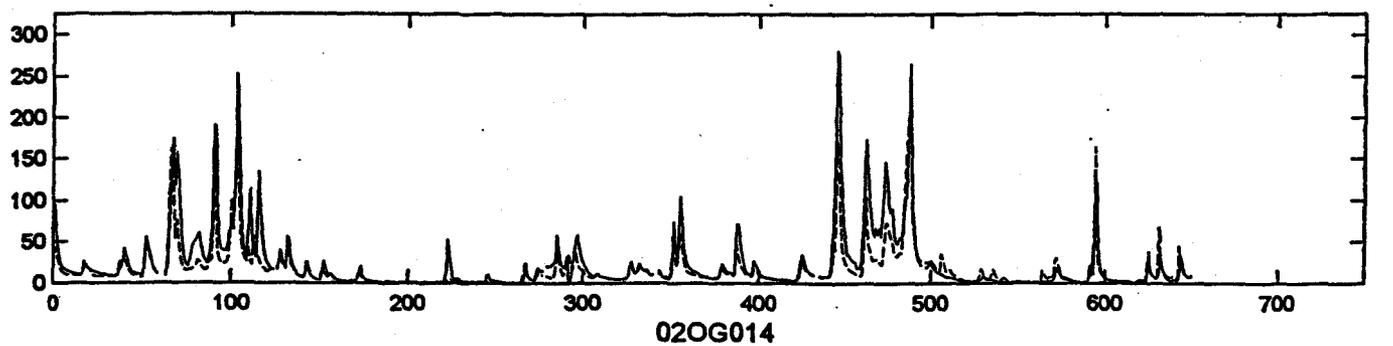
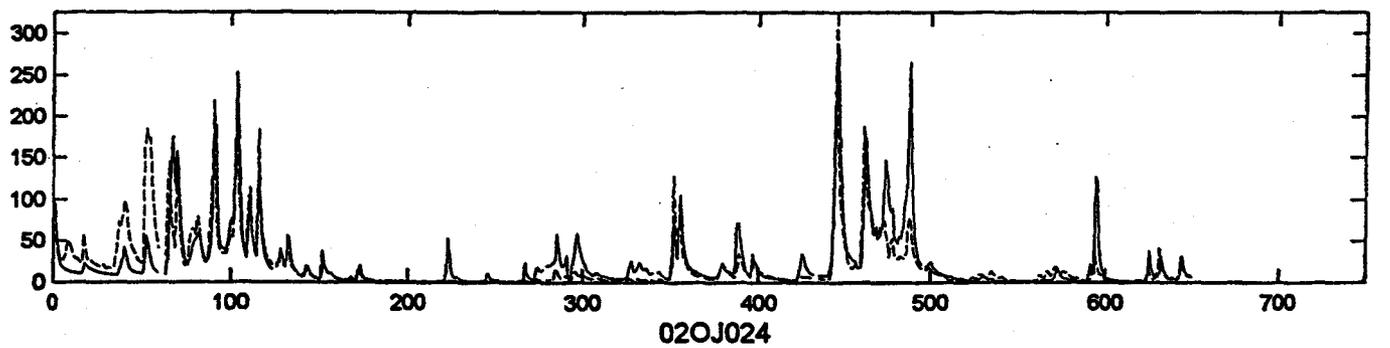
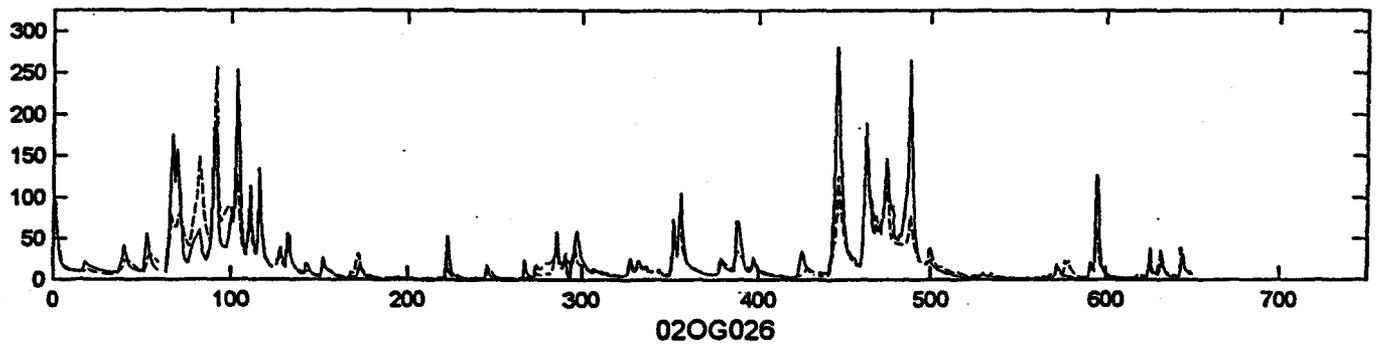
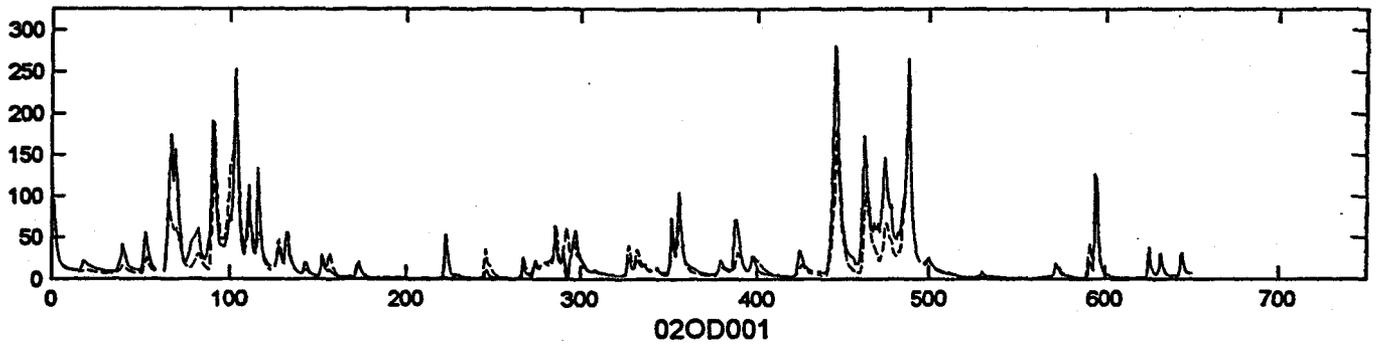
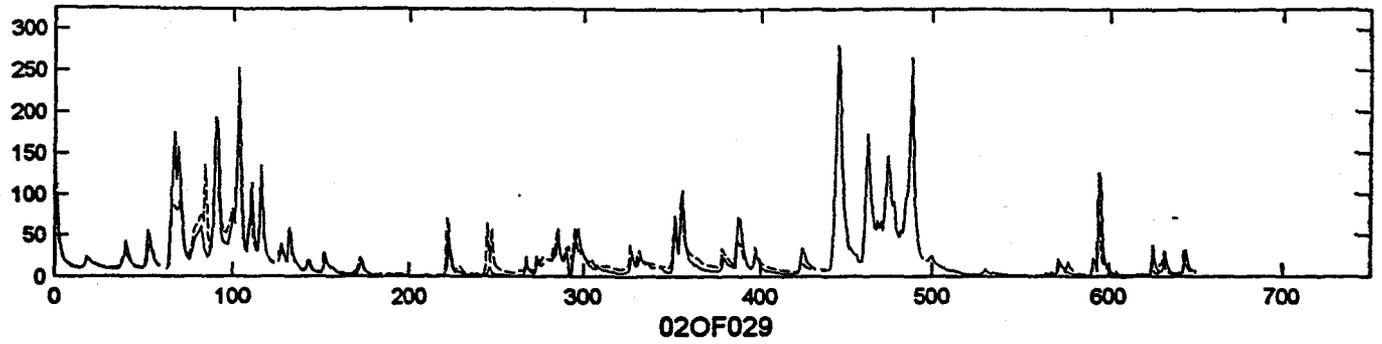
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OG042



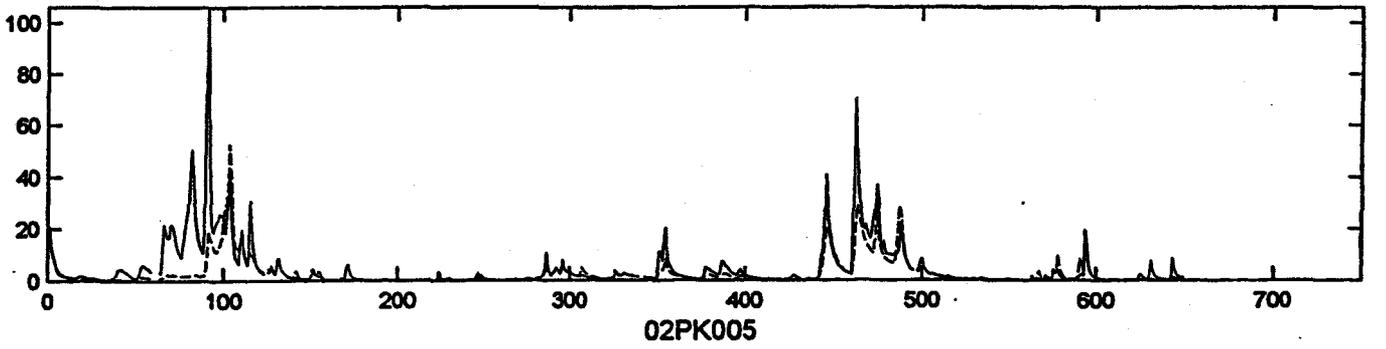
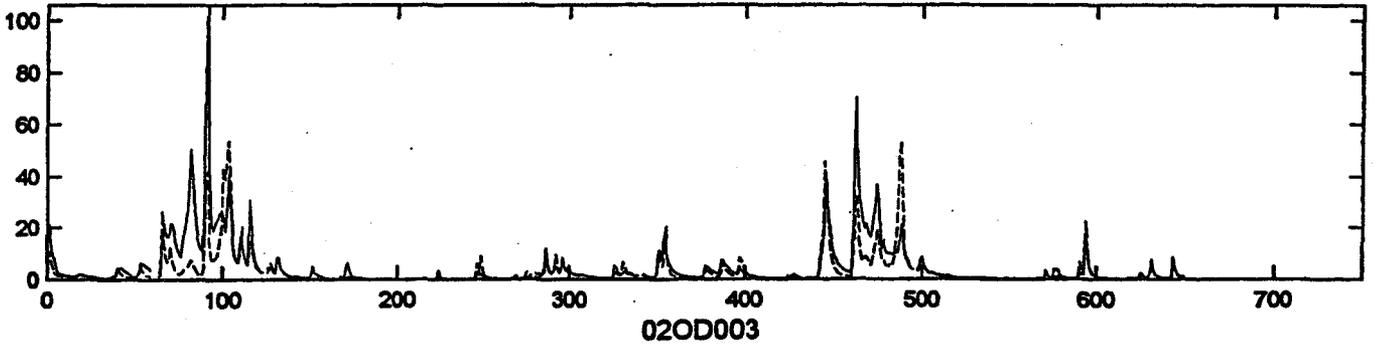
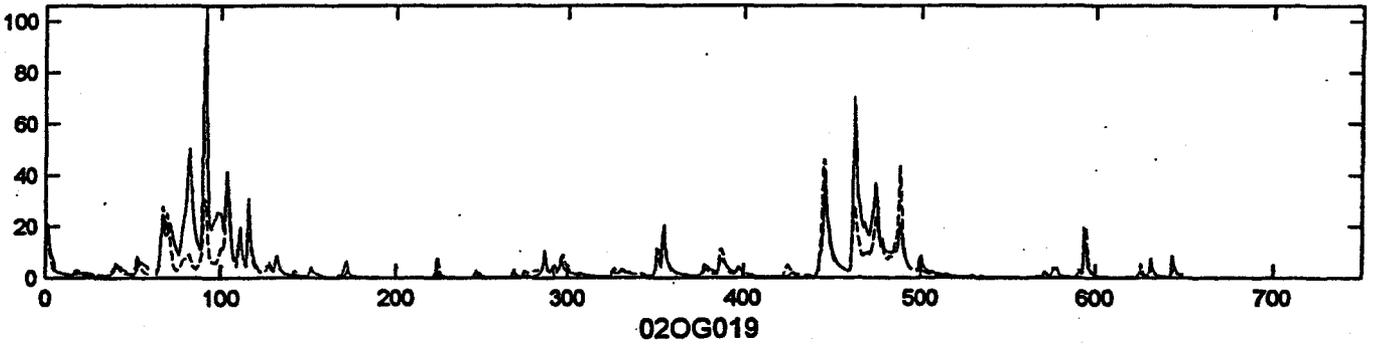
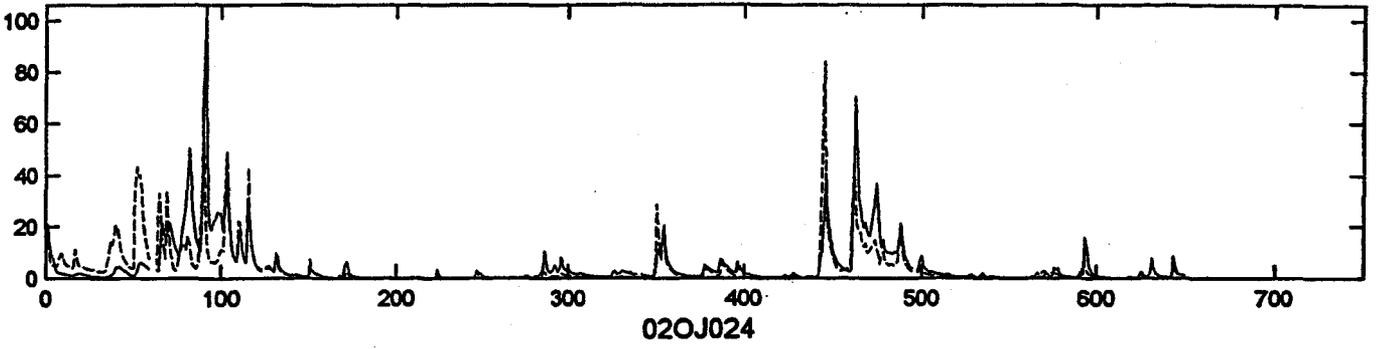
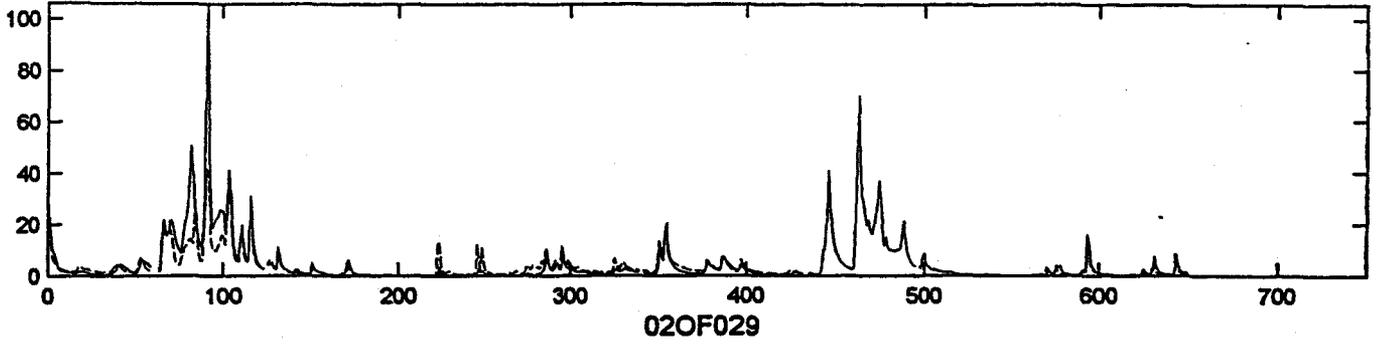
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OG014



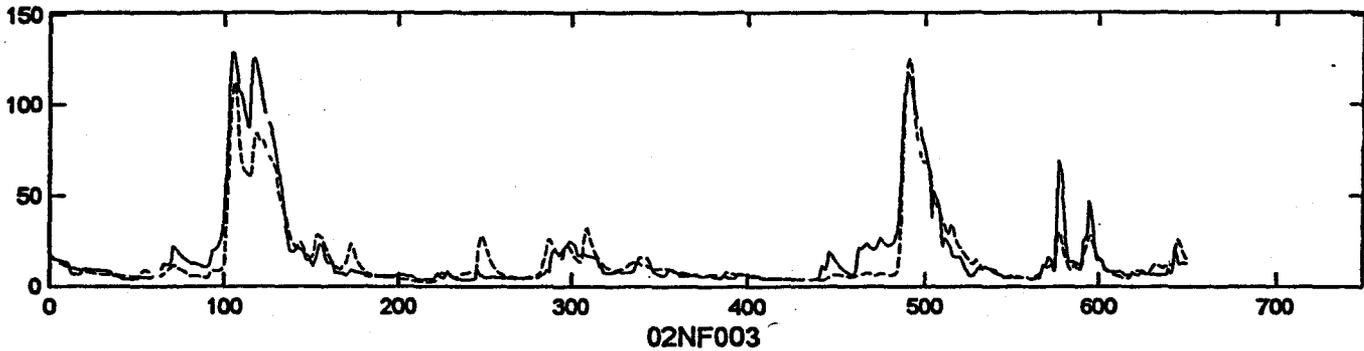
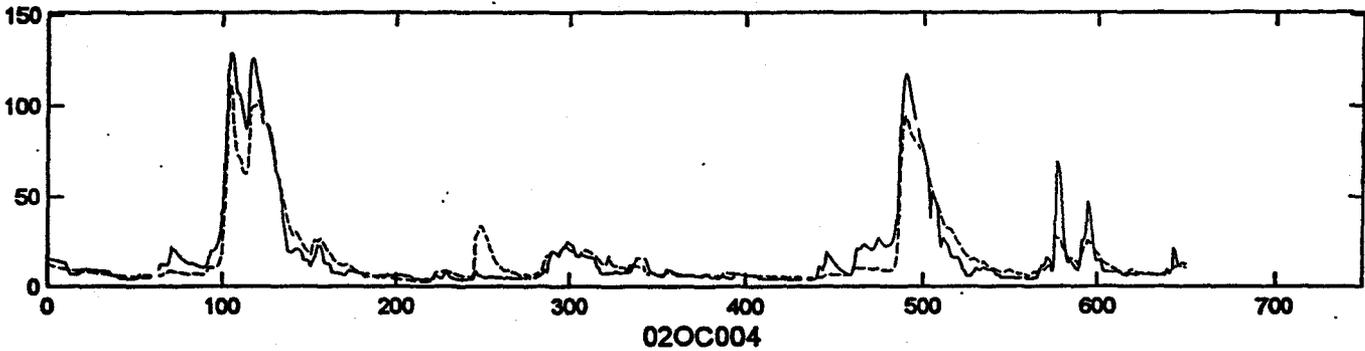
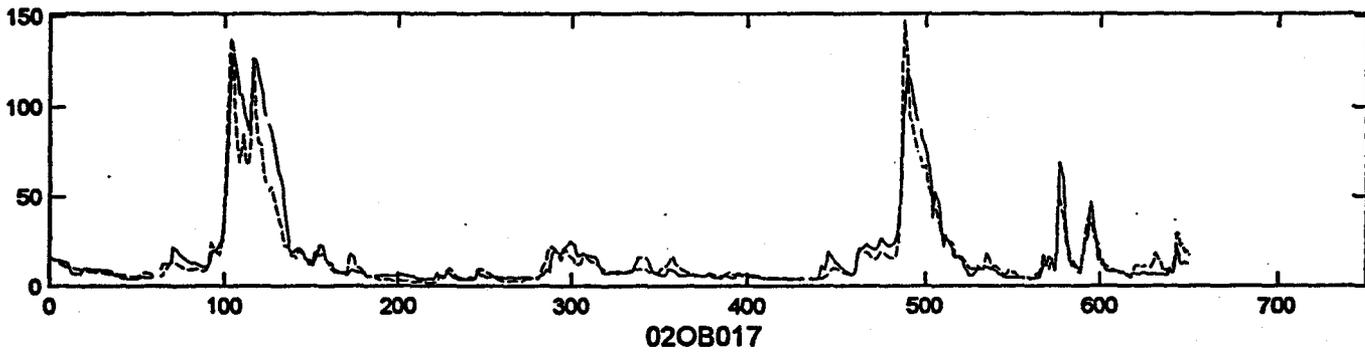
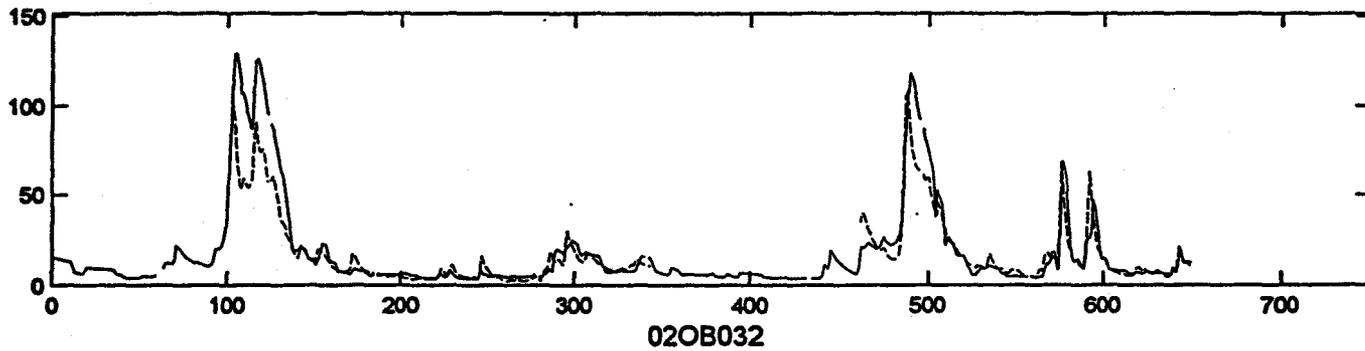
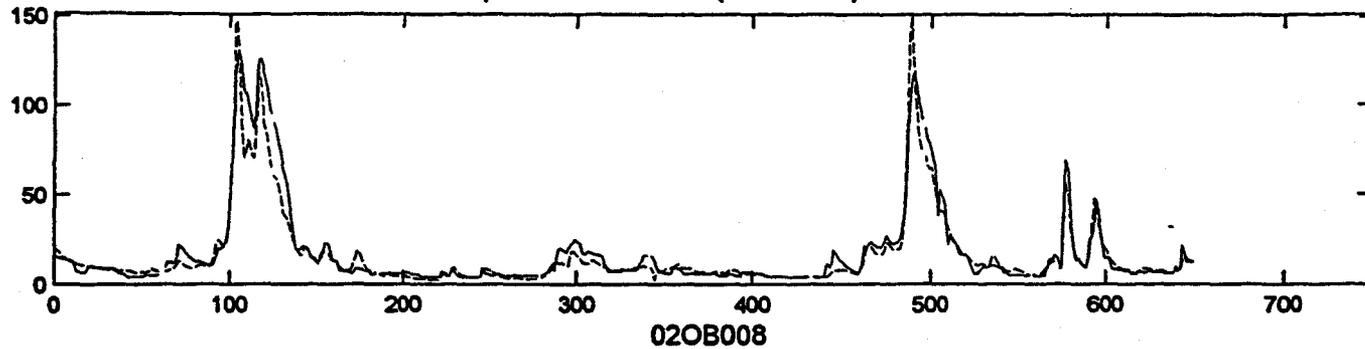
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OG019



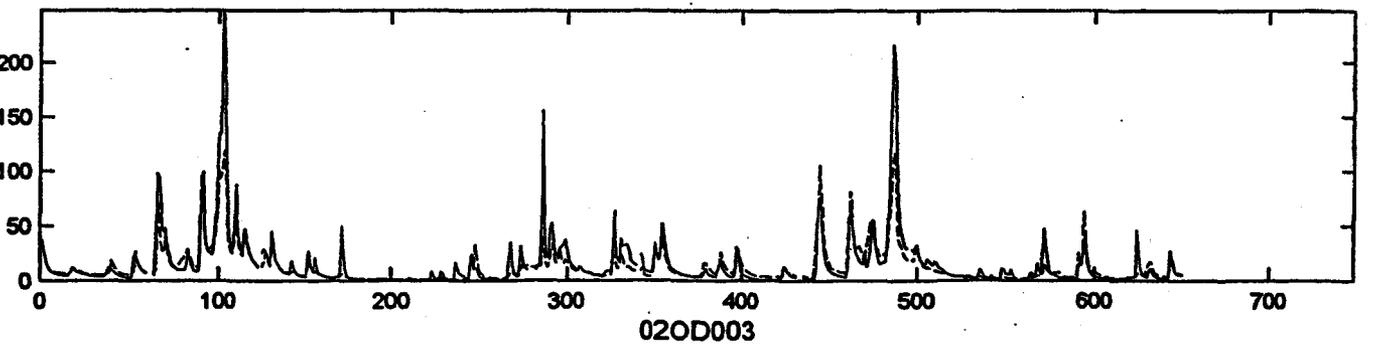
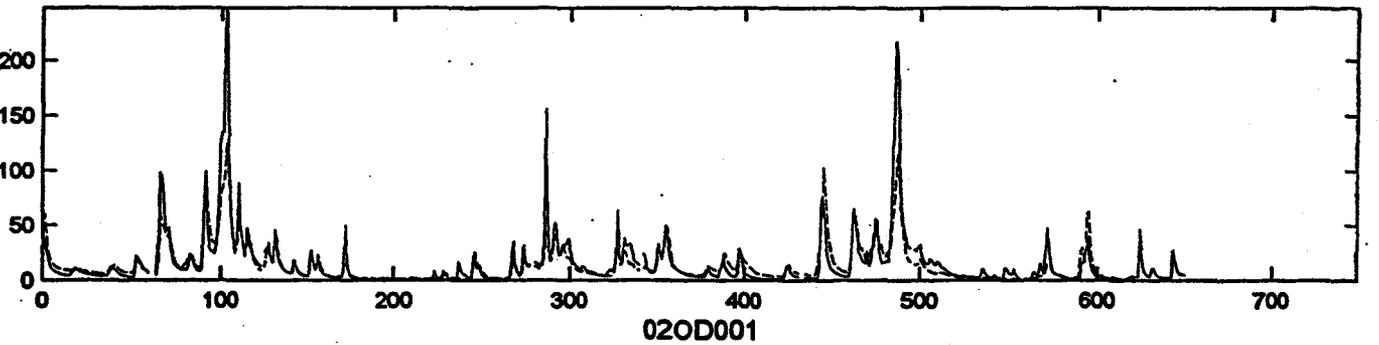
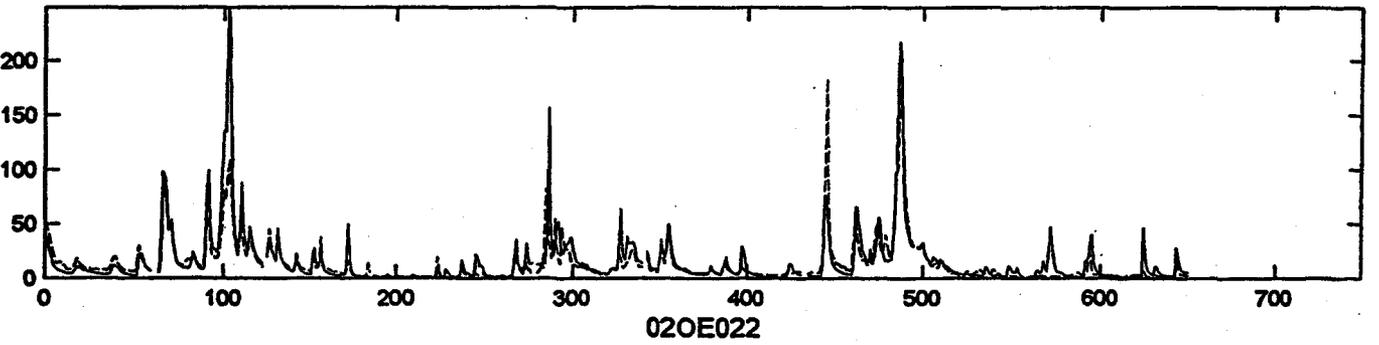
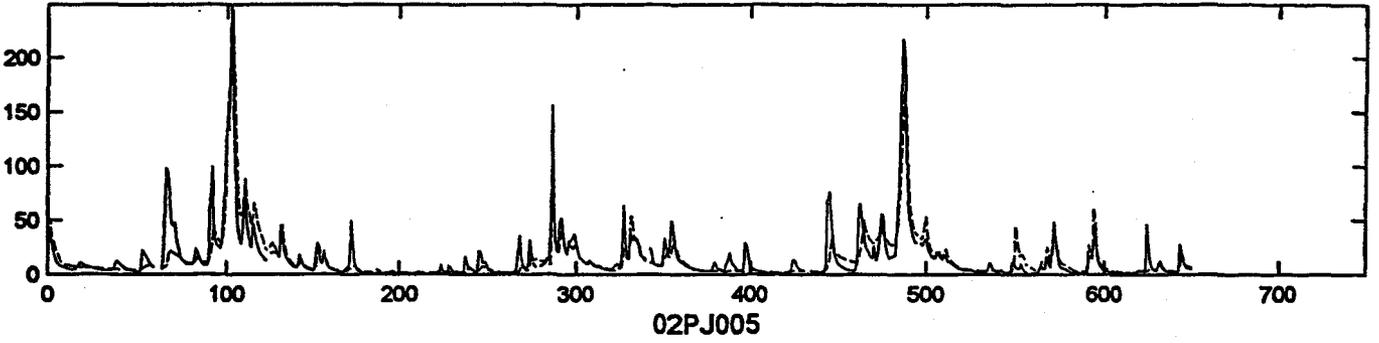
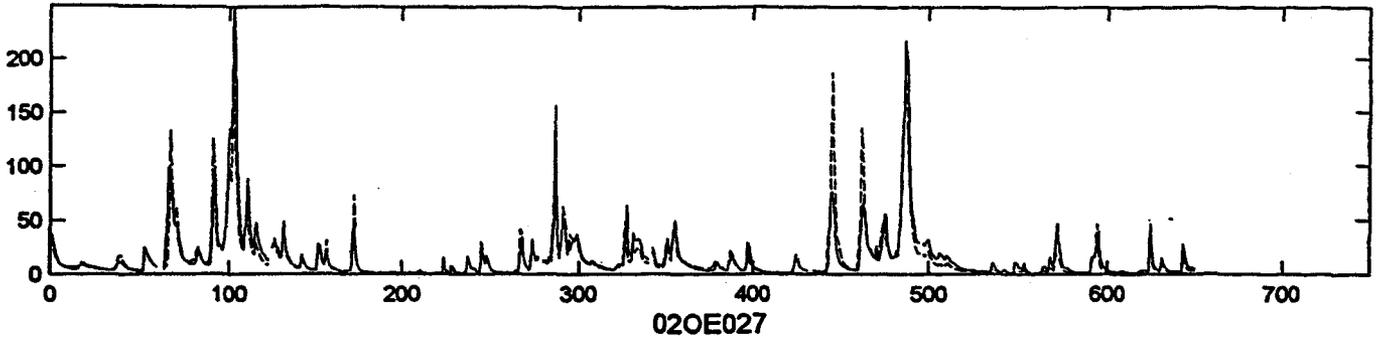
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OG026



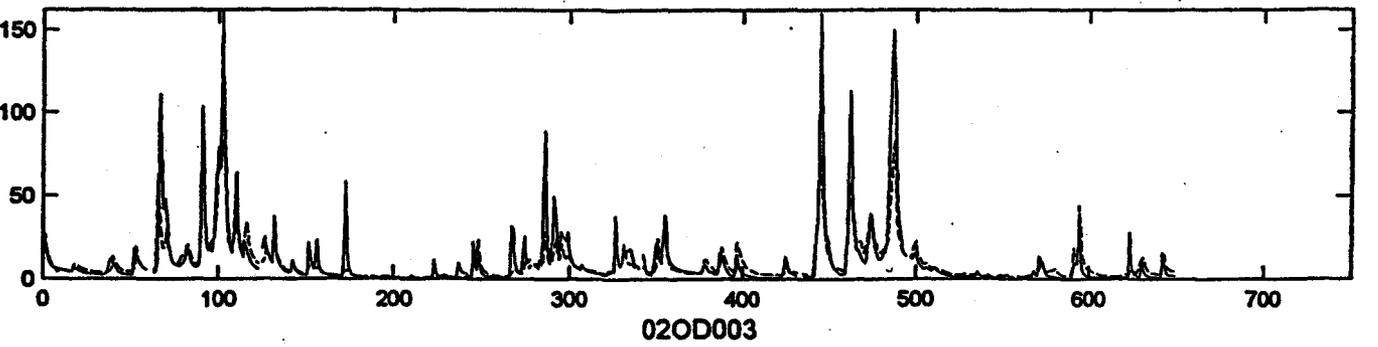
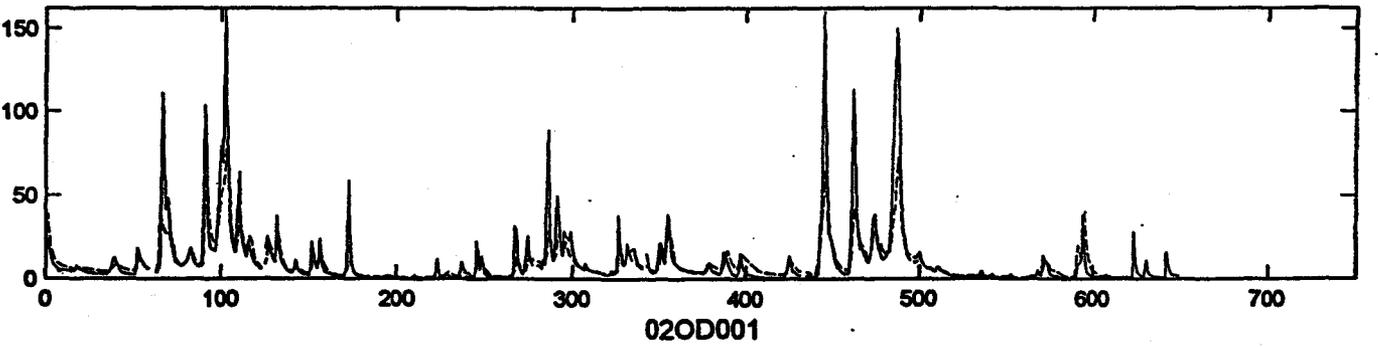
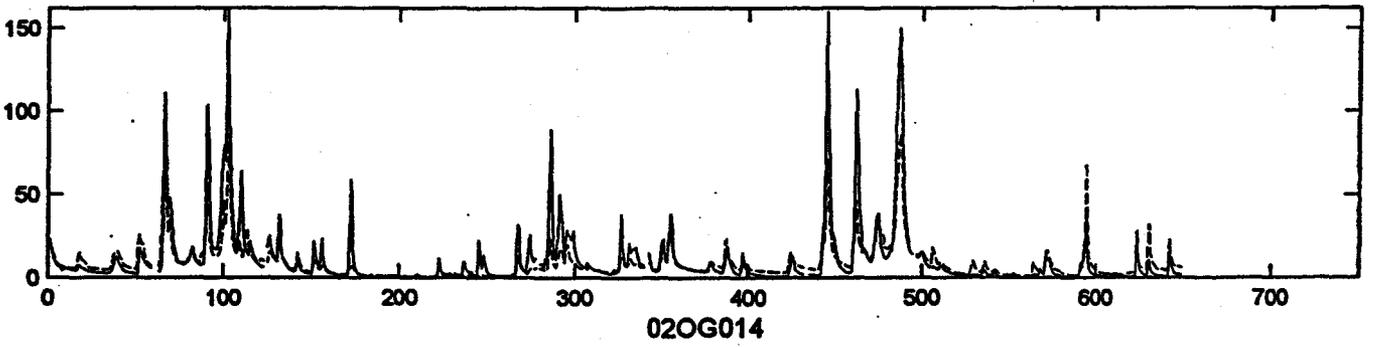
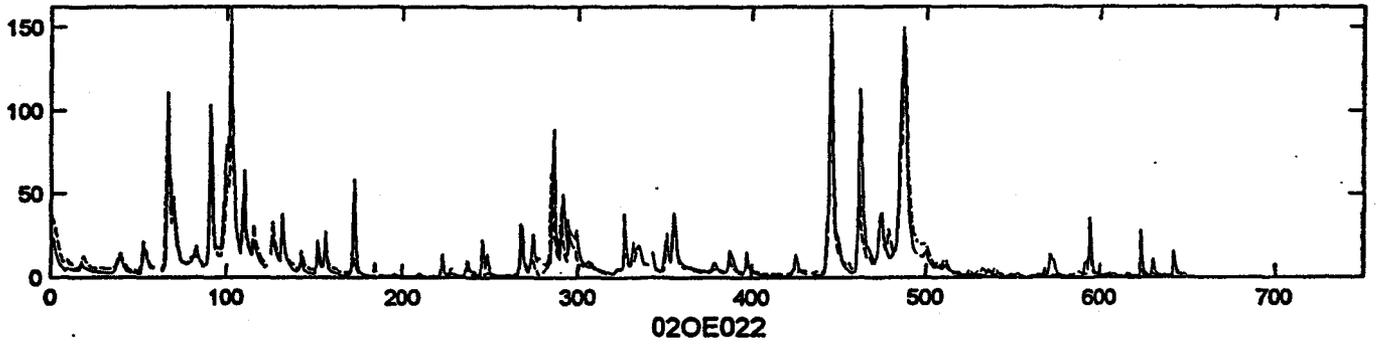
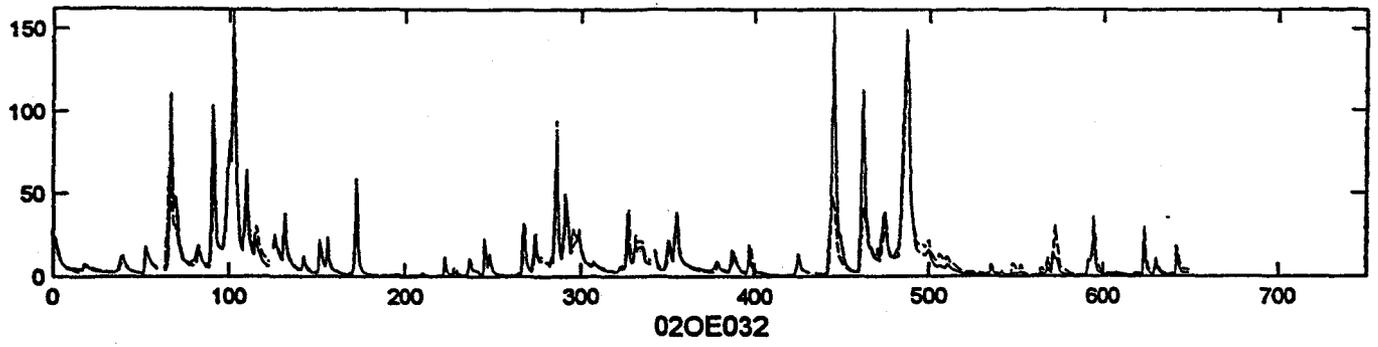
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OC002



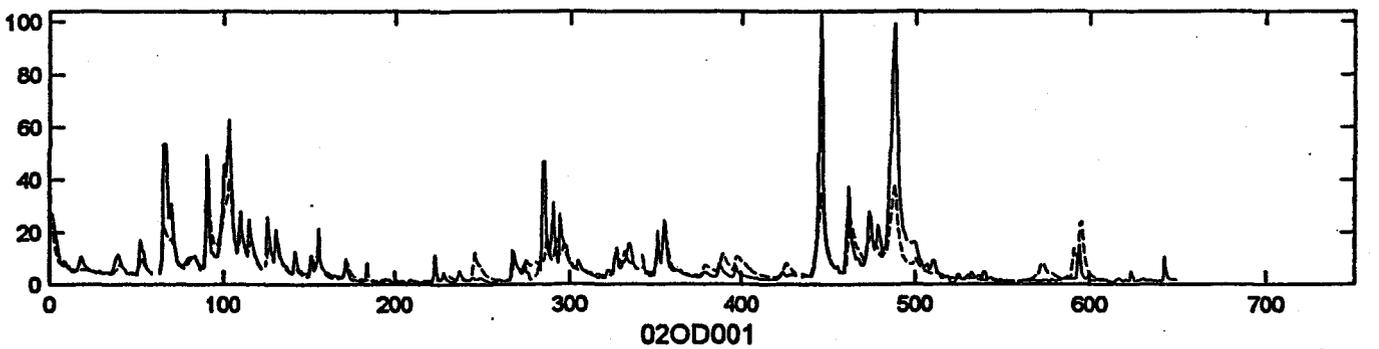
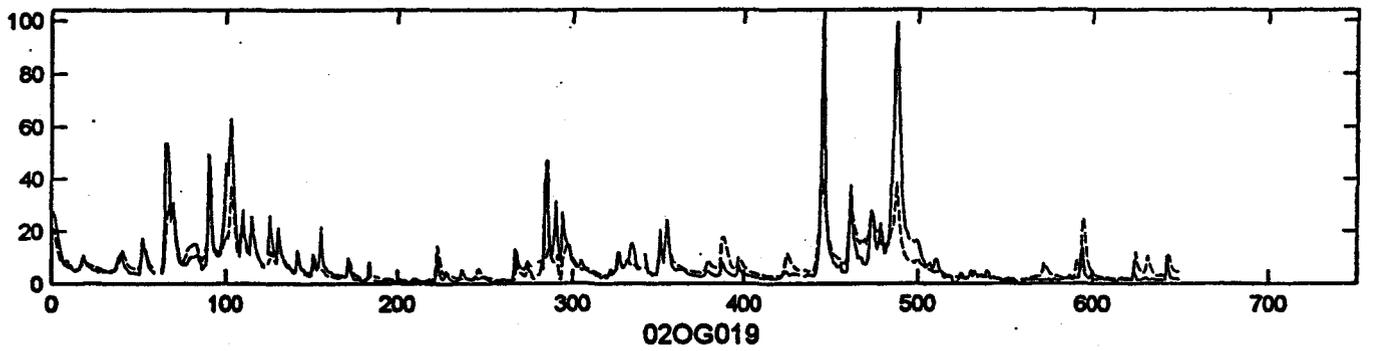
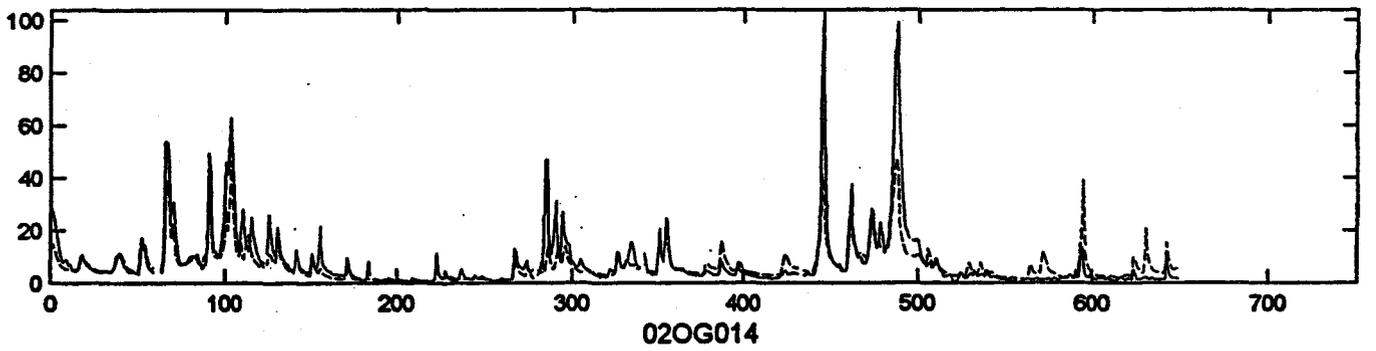
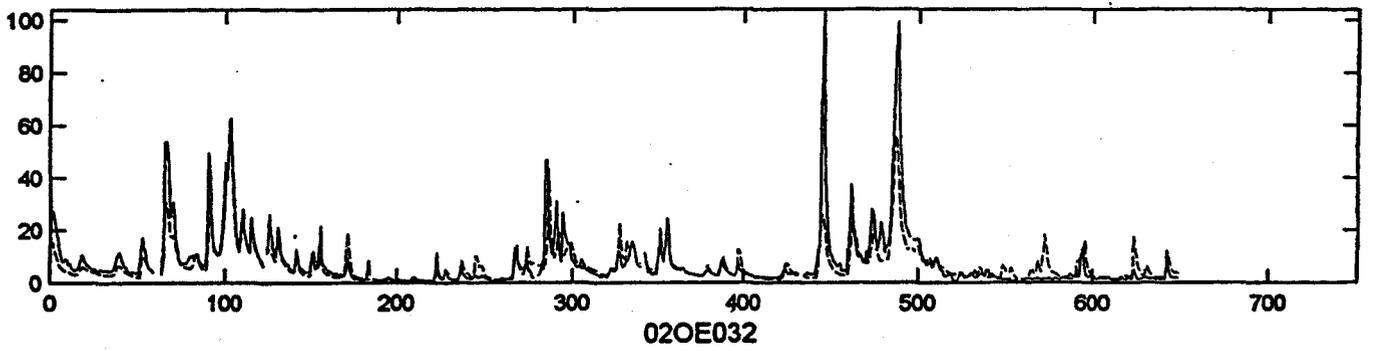
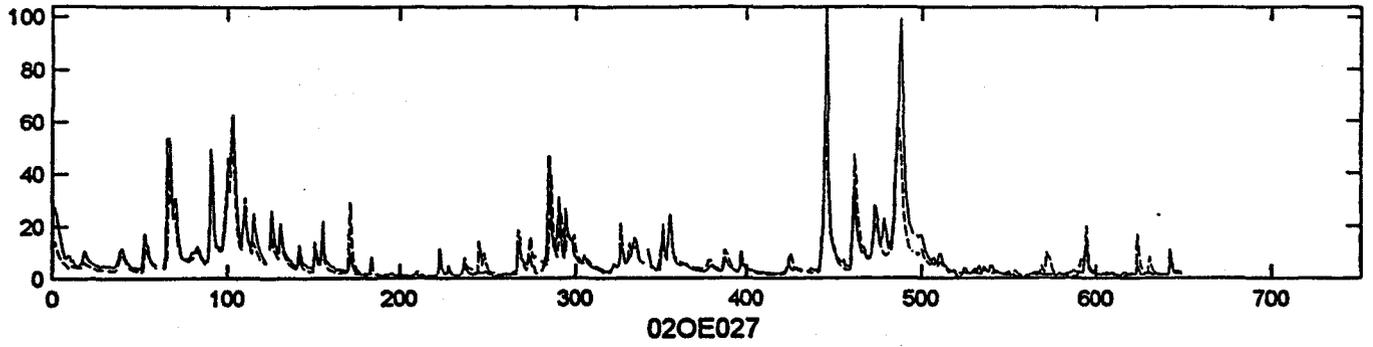
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OE032



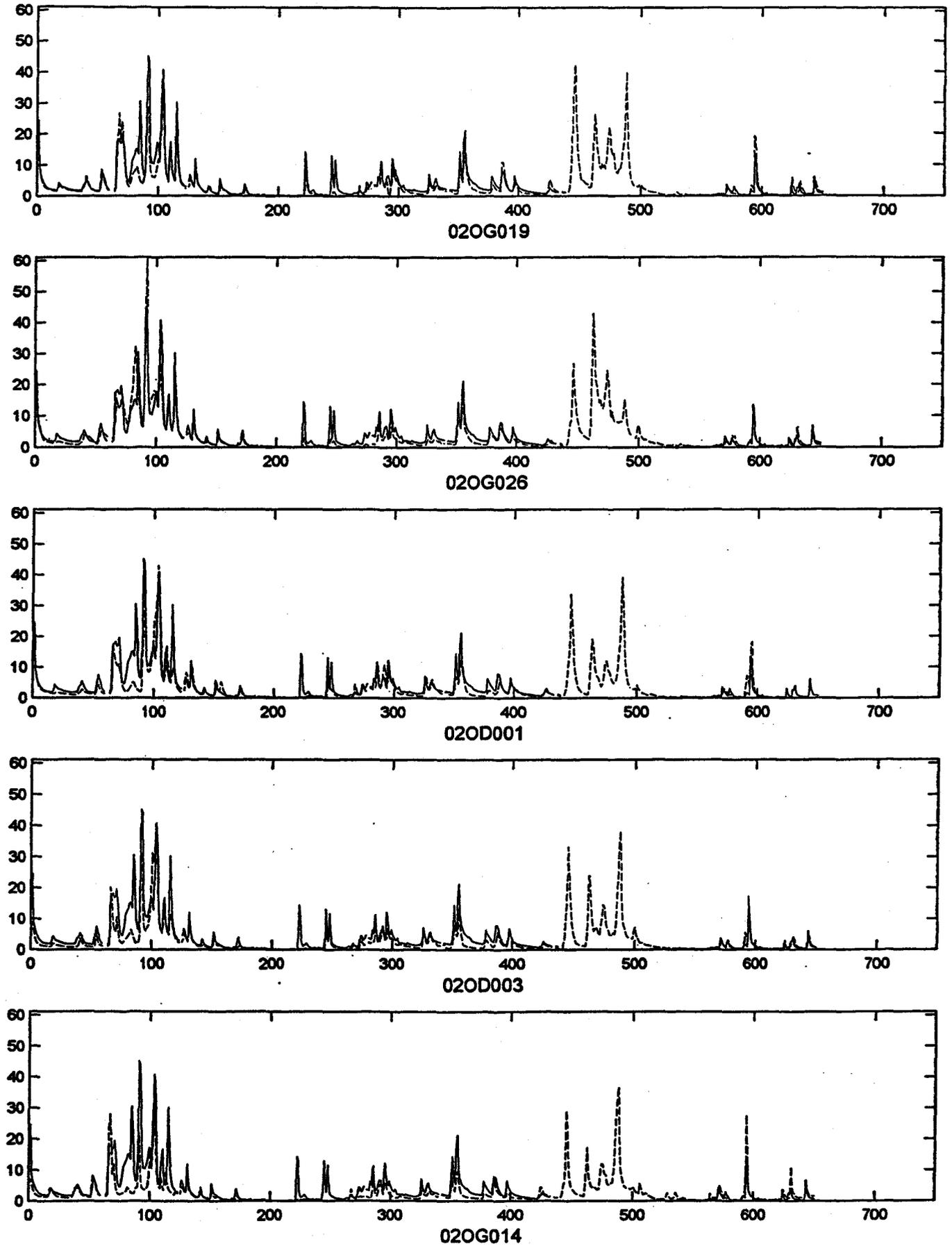
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OE027



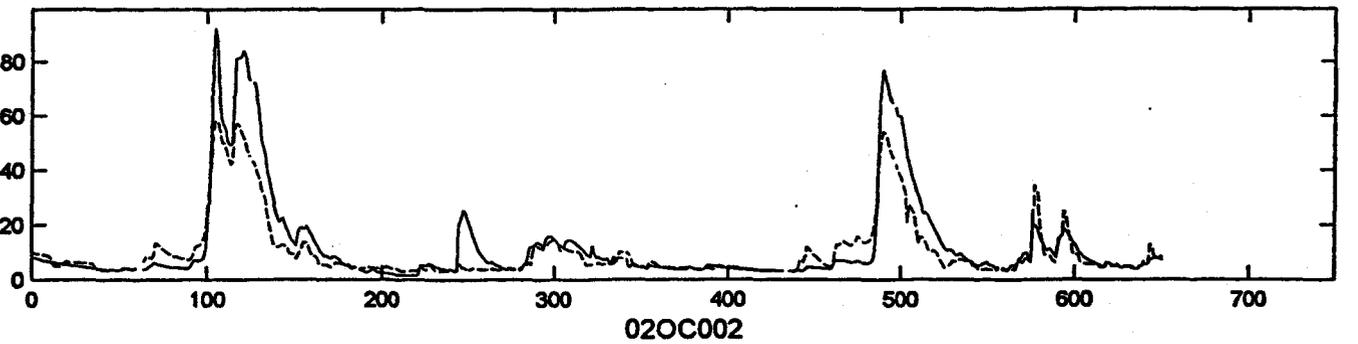
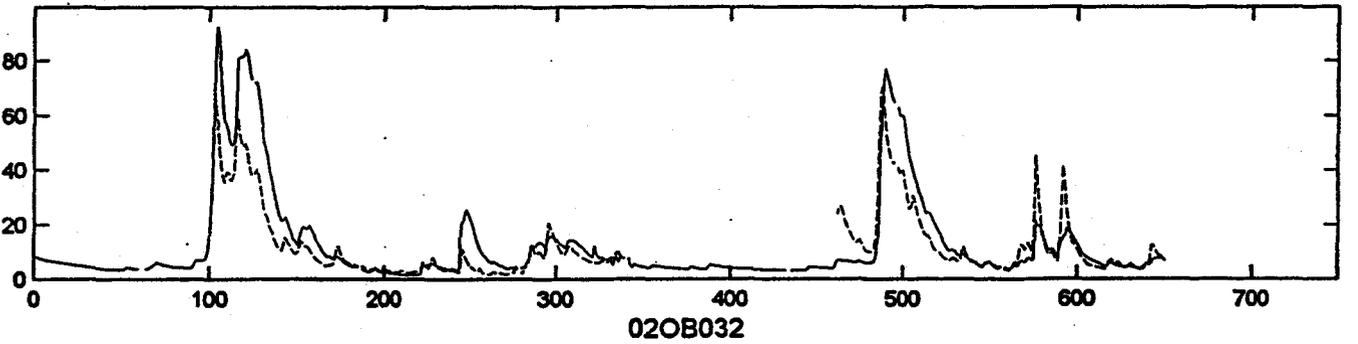
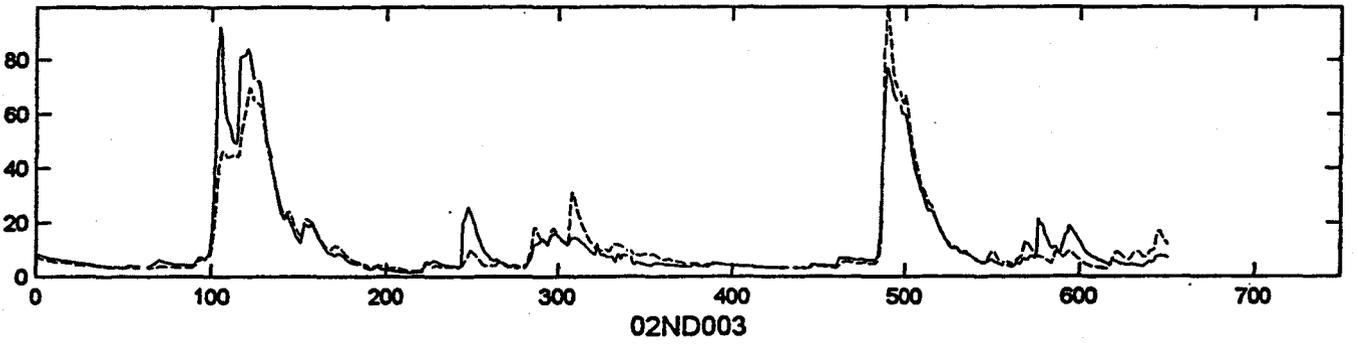
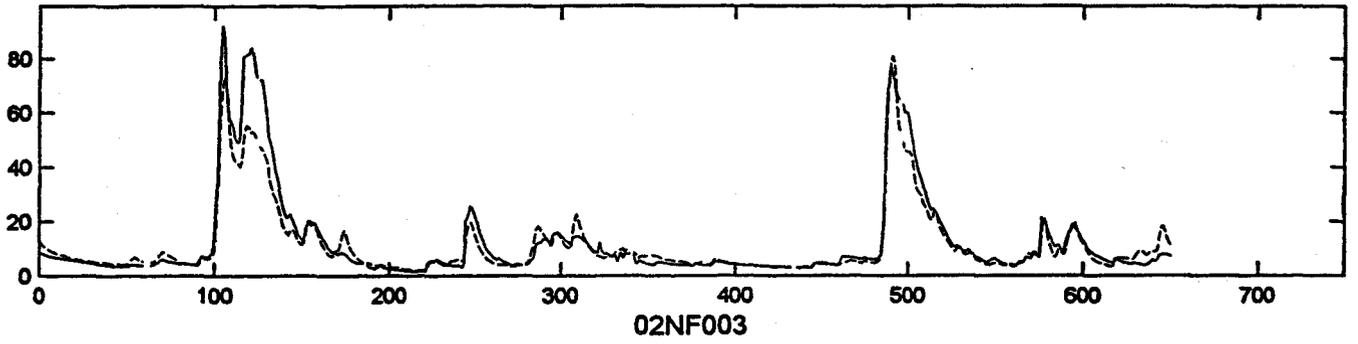
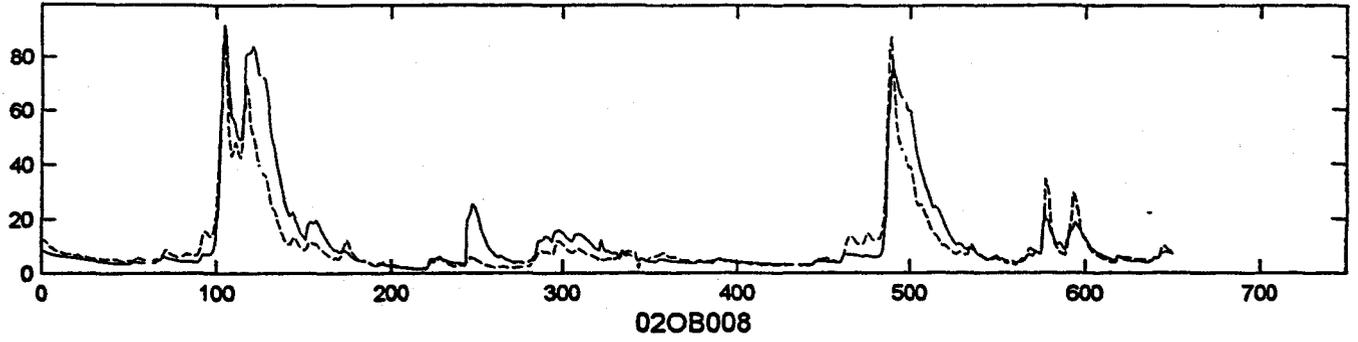
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OE022



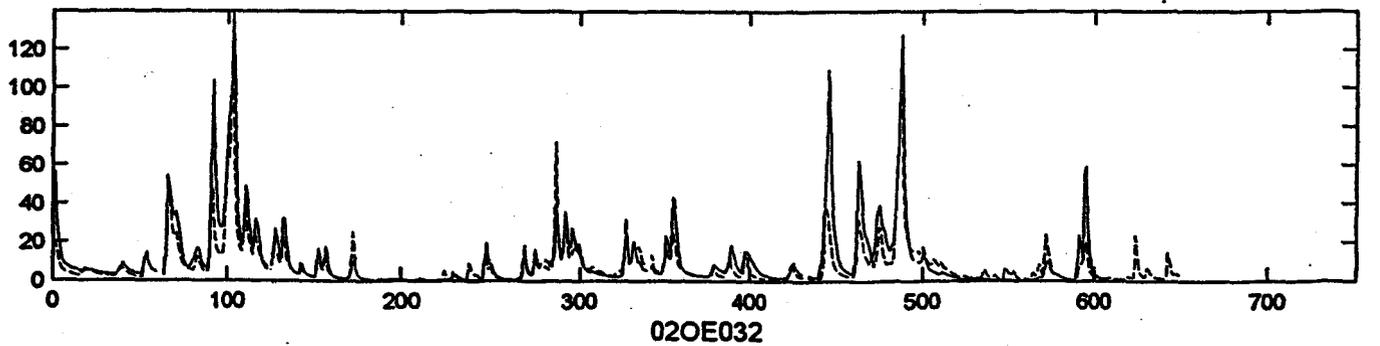
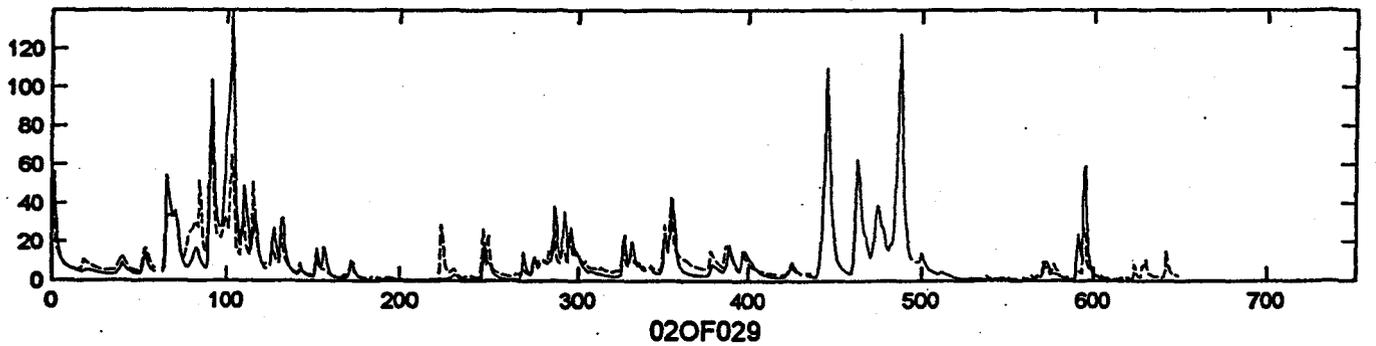
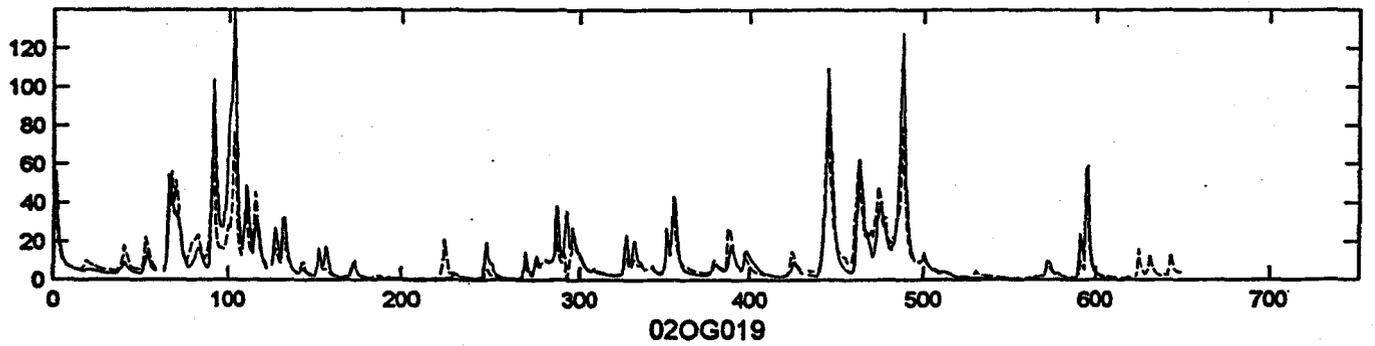
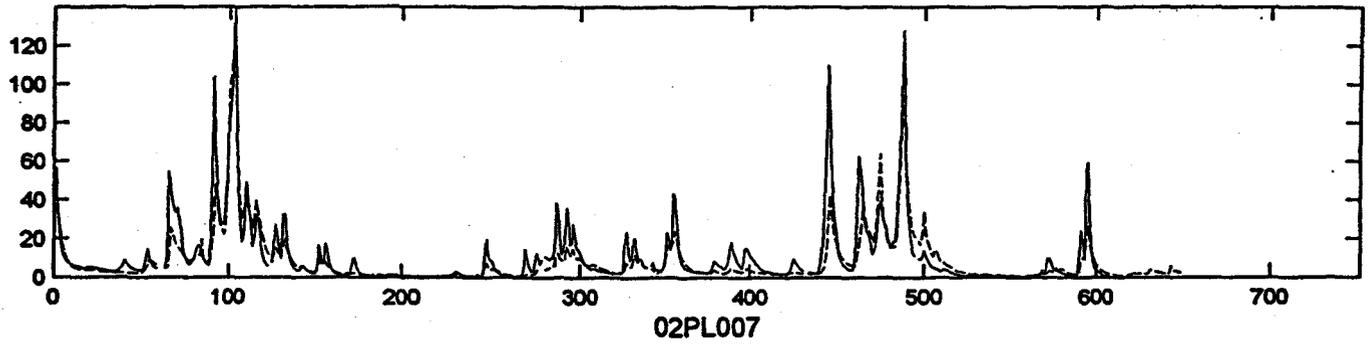
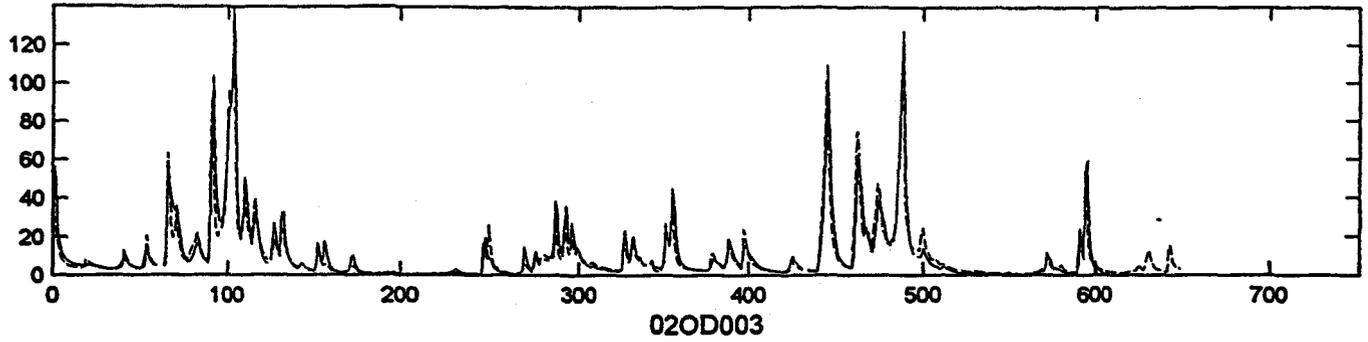
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OF029



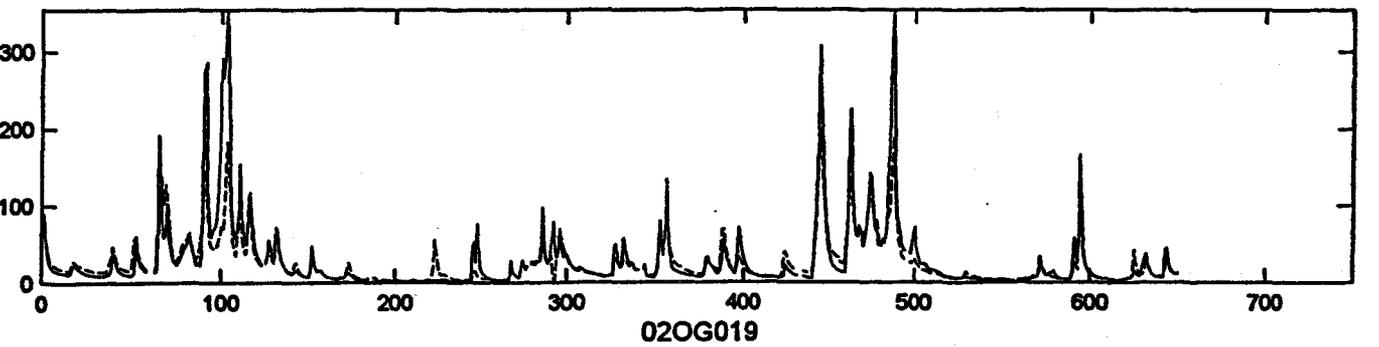
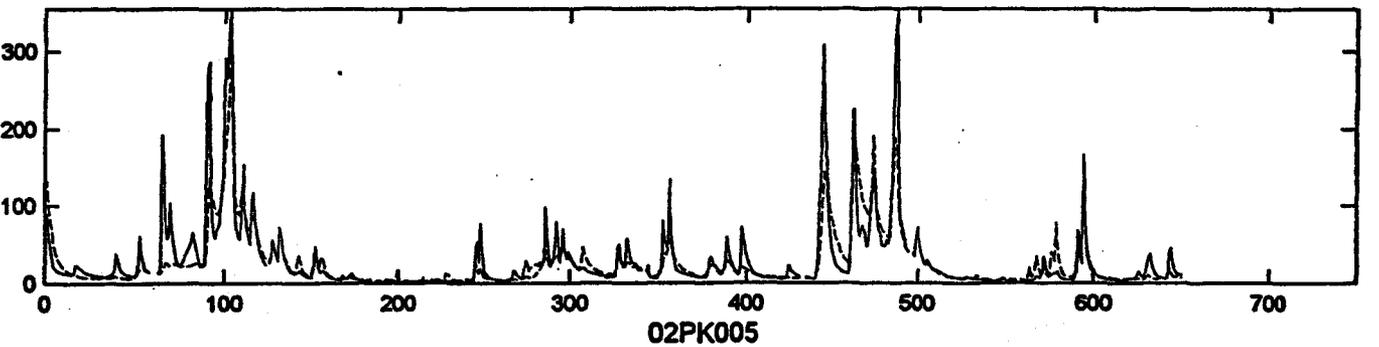
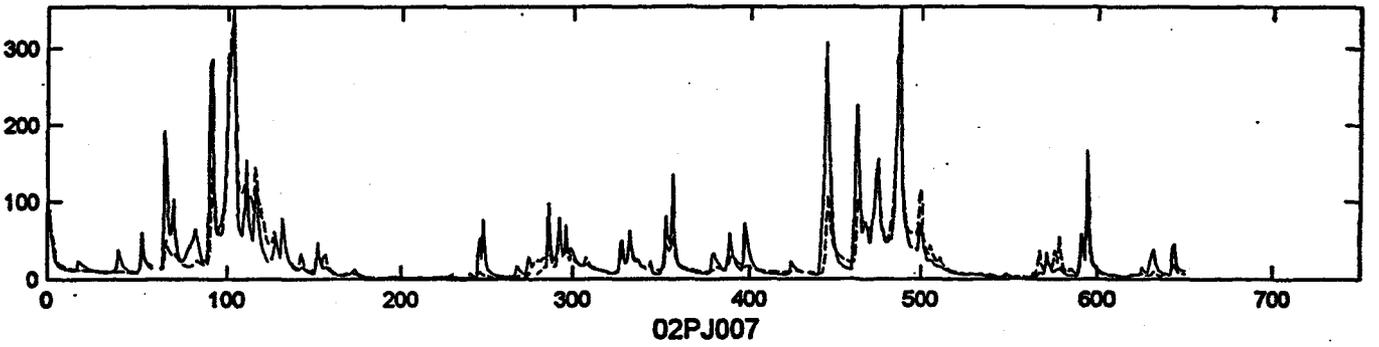
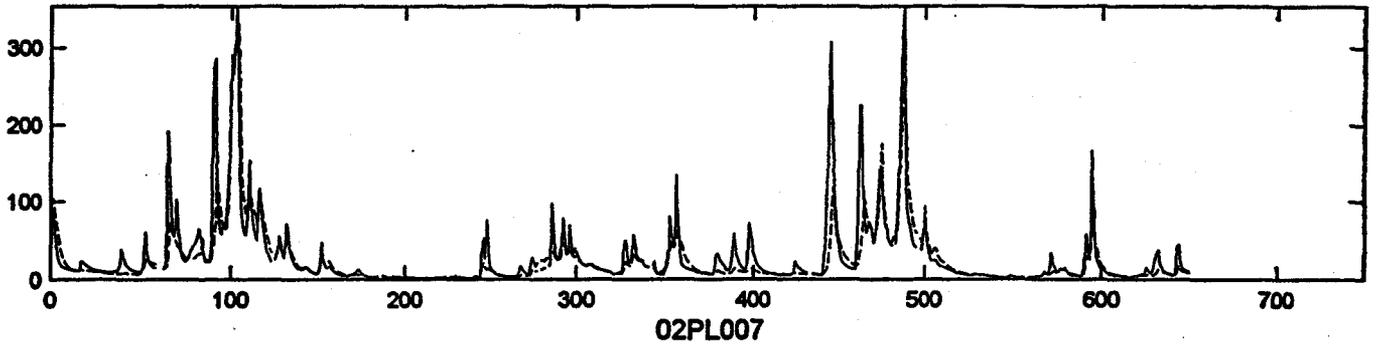
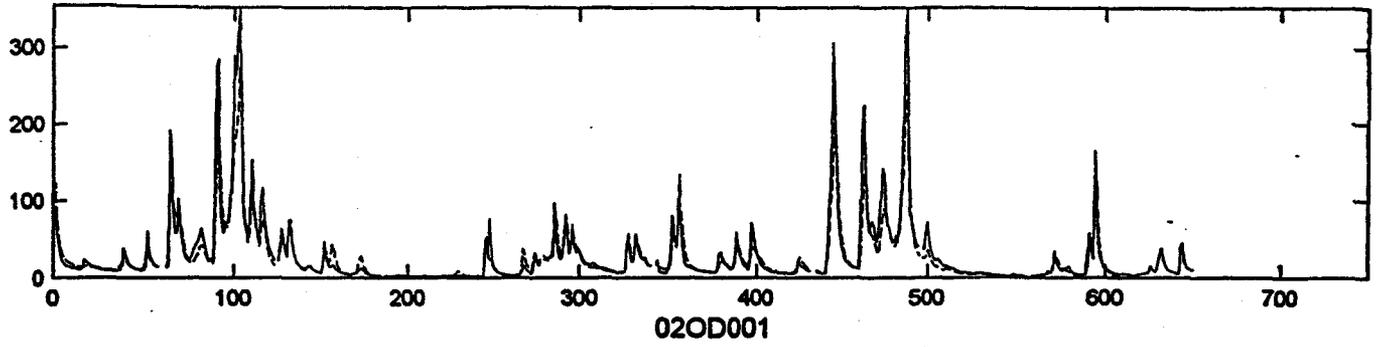
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OC004



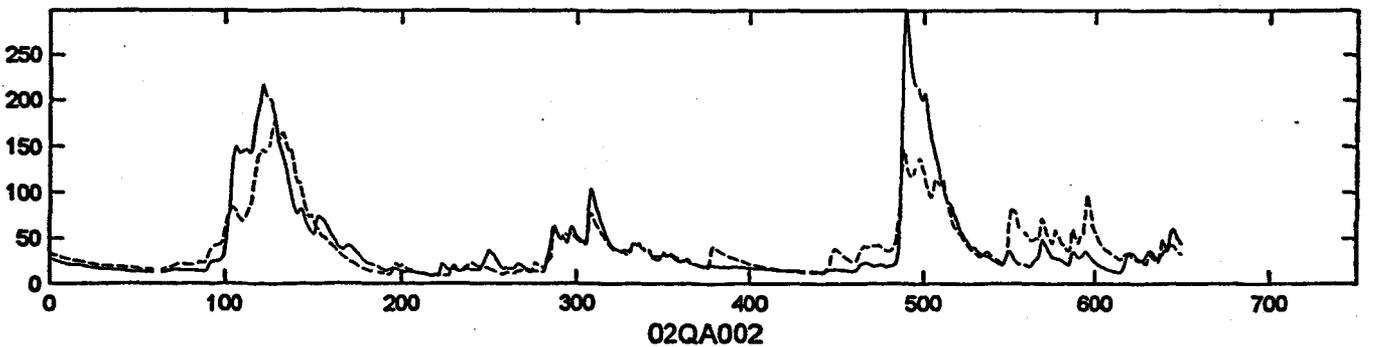
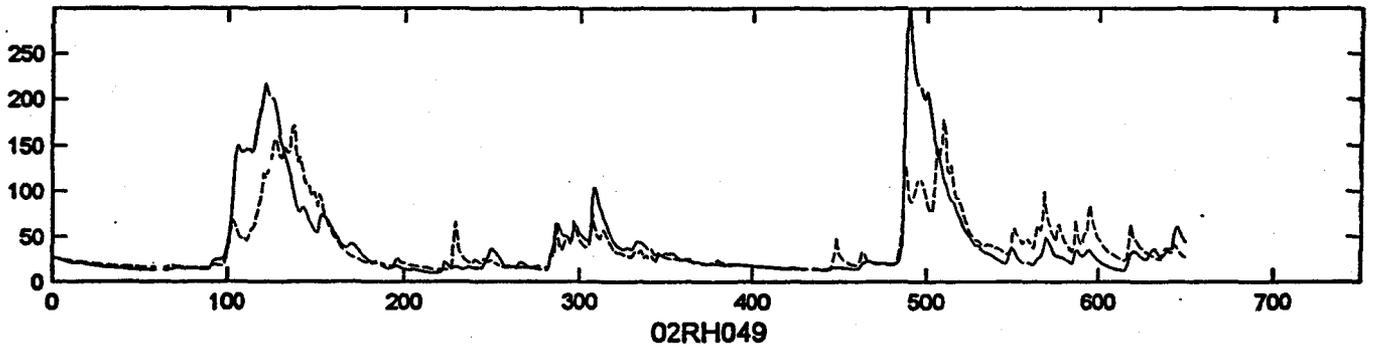
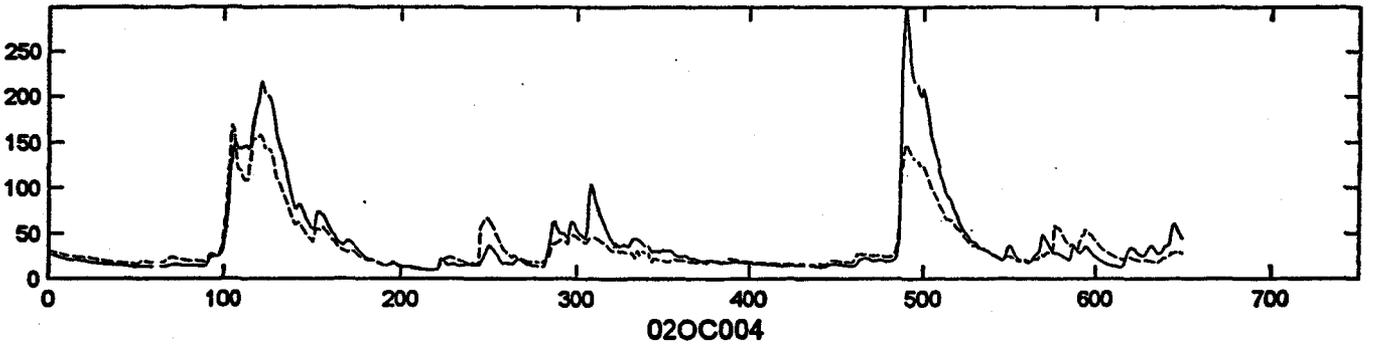
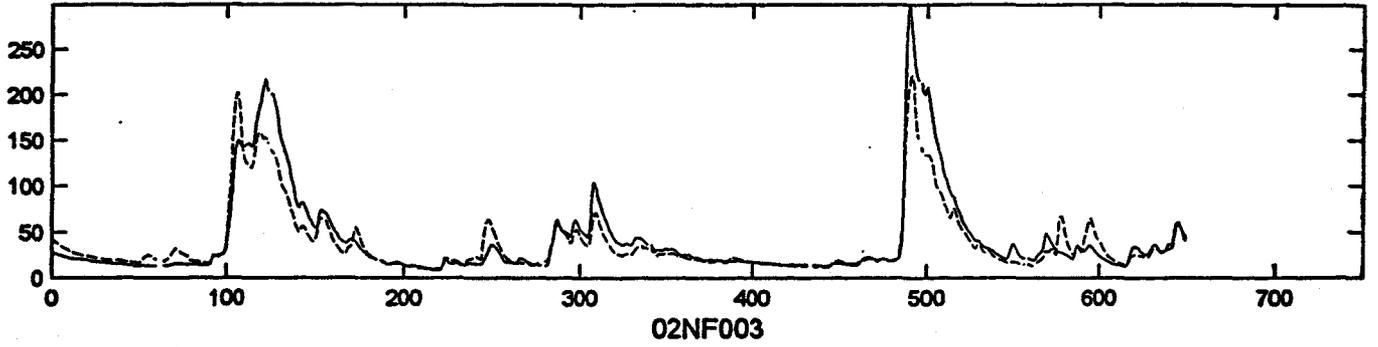
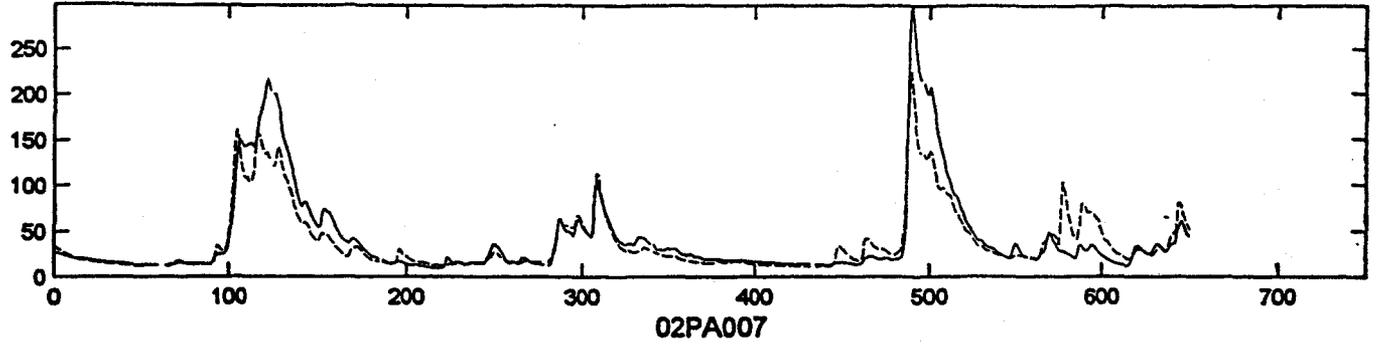
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OD001



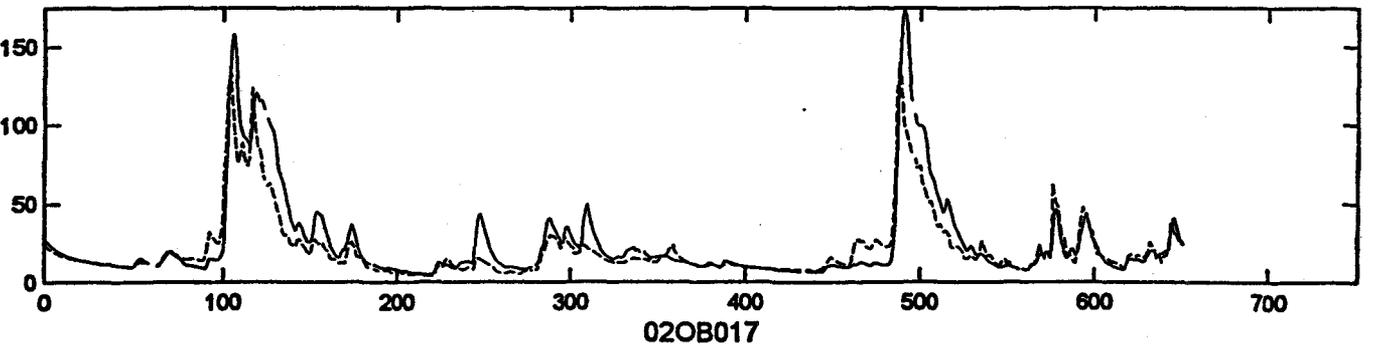
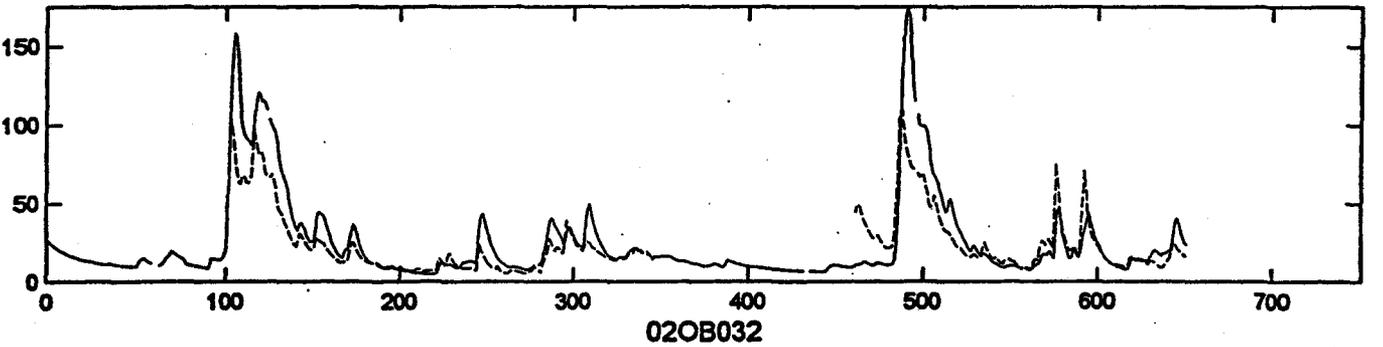
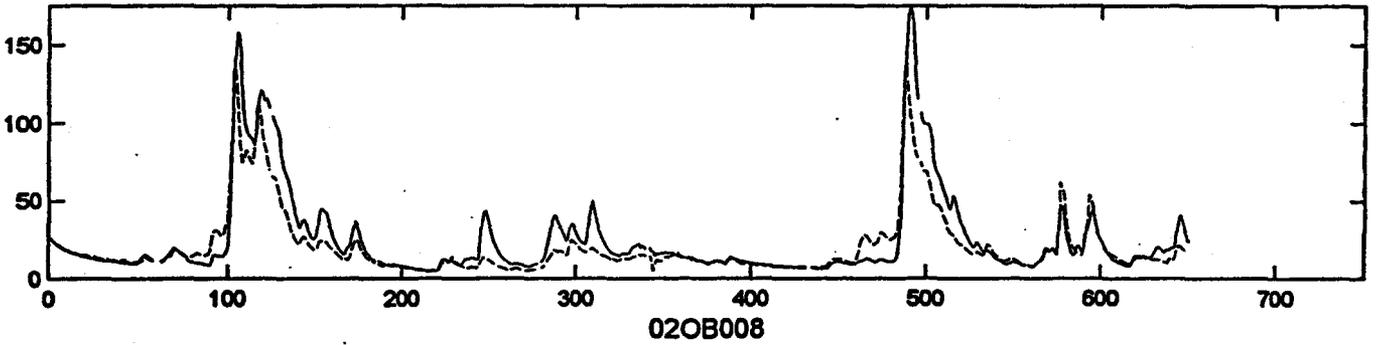
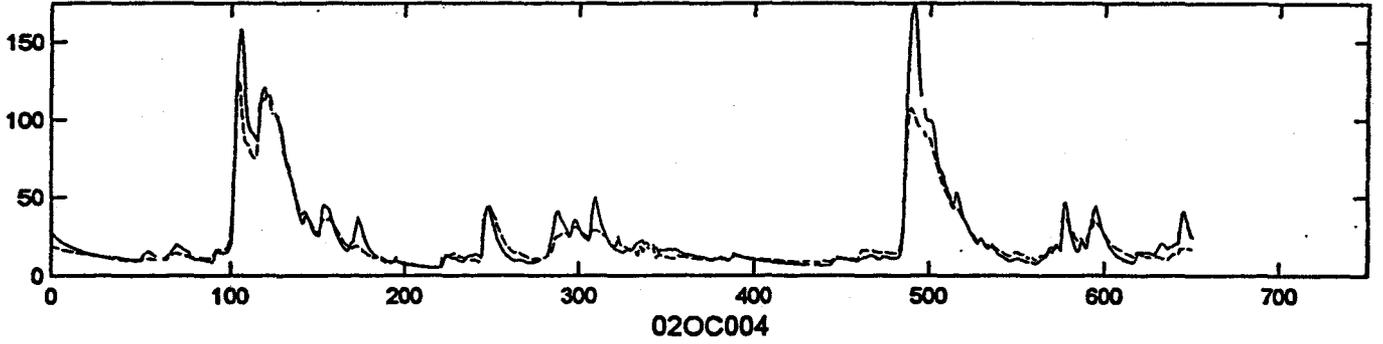
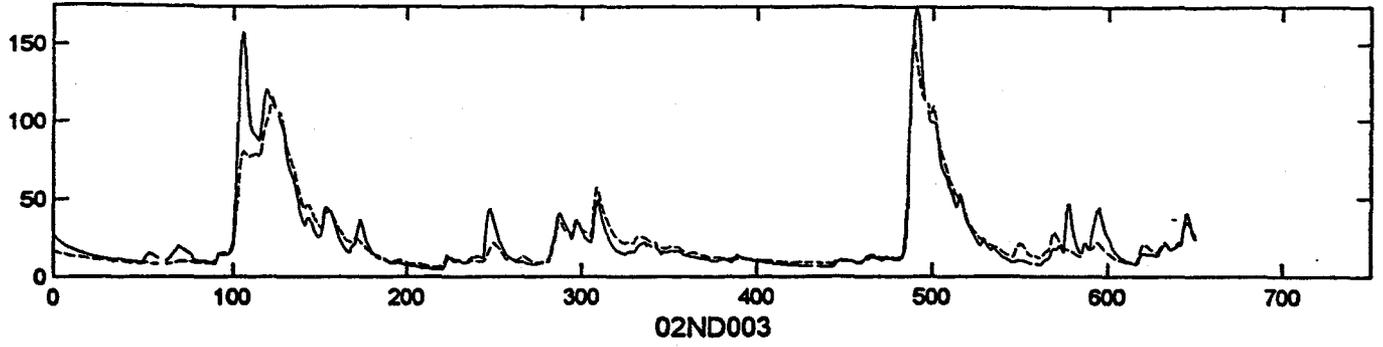
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02OD003



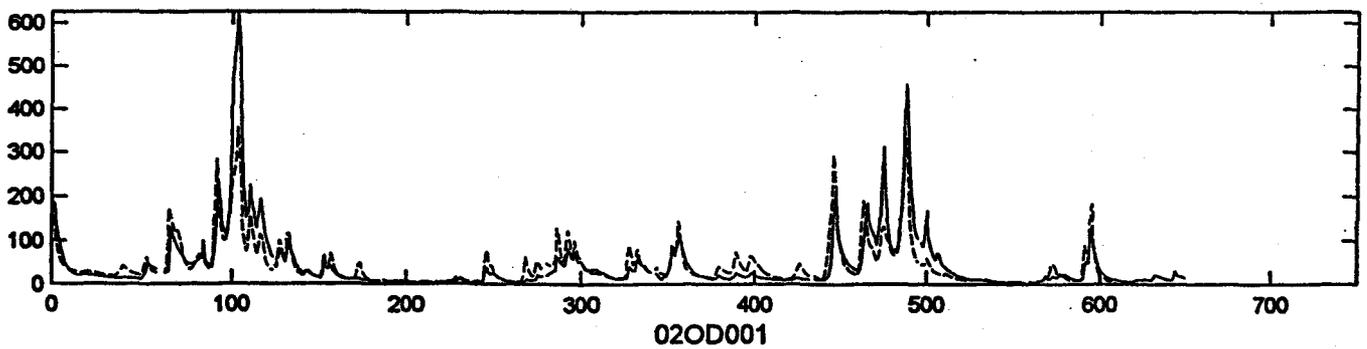
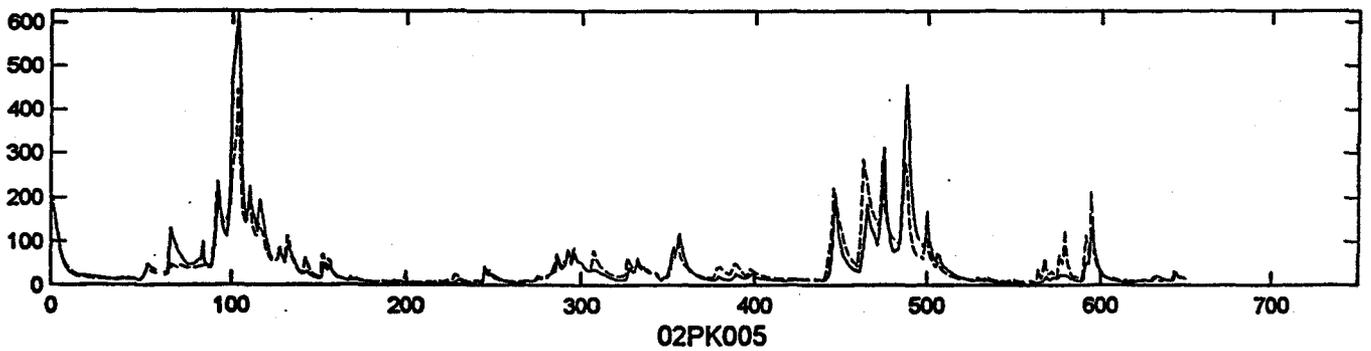
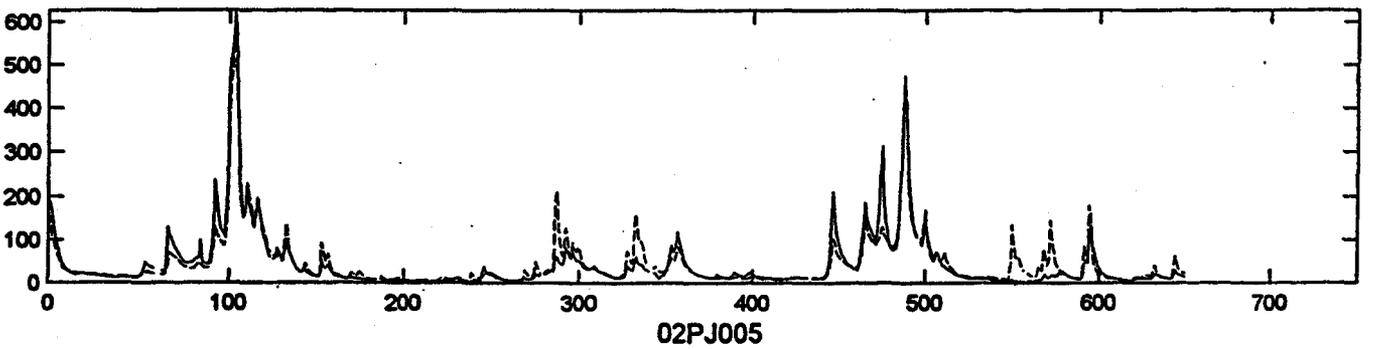
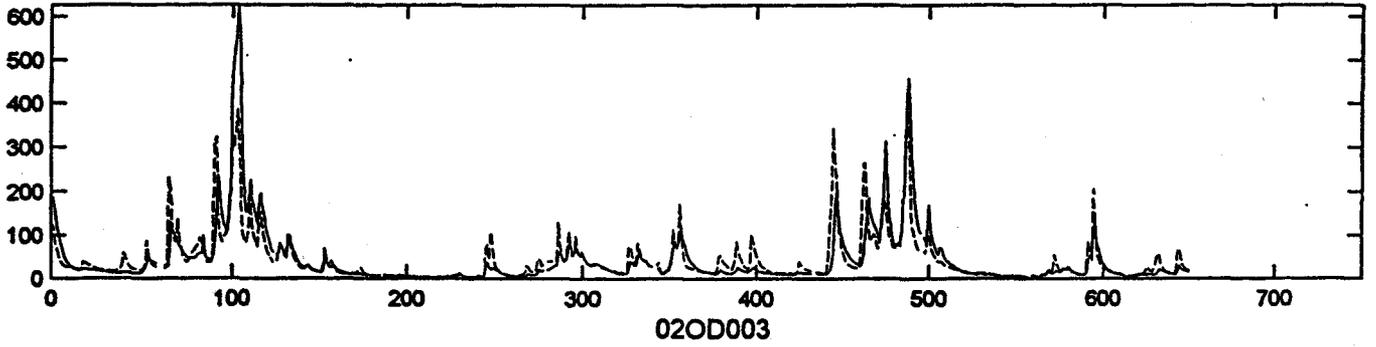
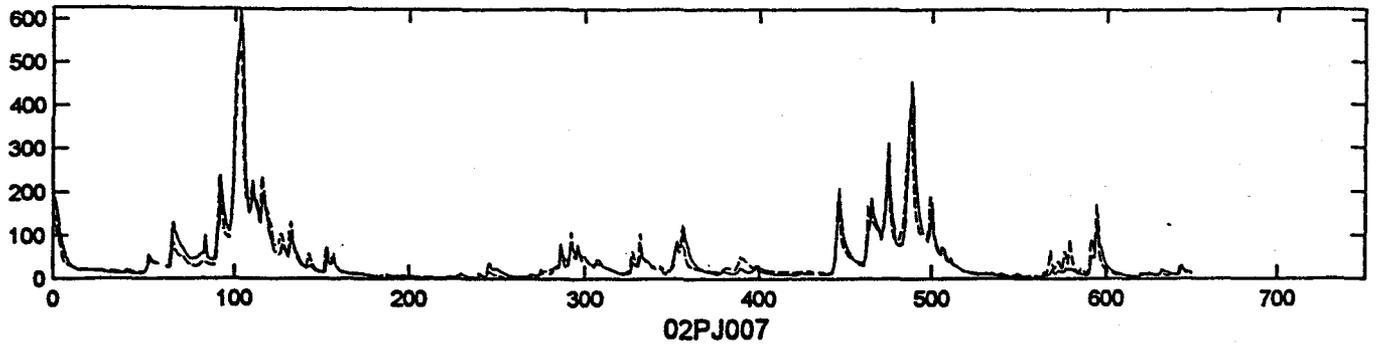
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02ND003



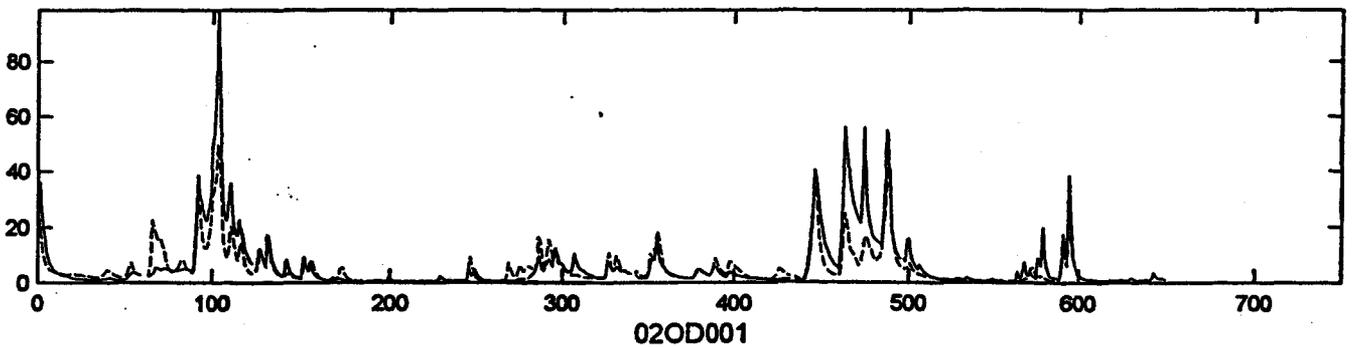
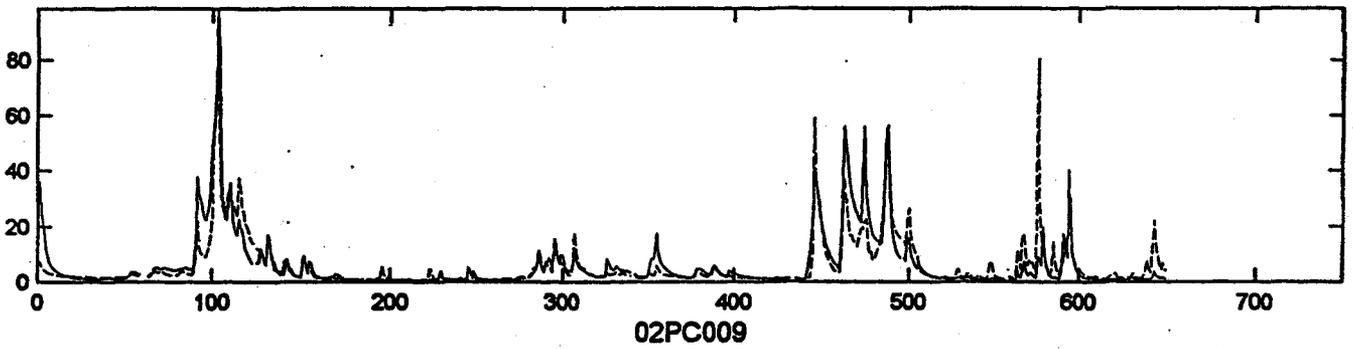
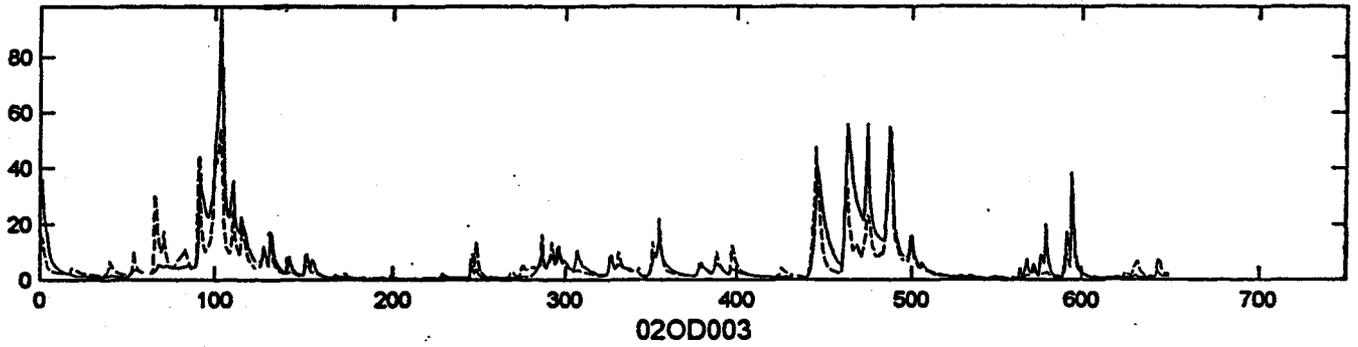
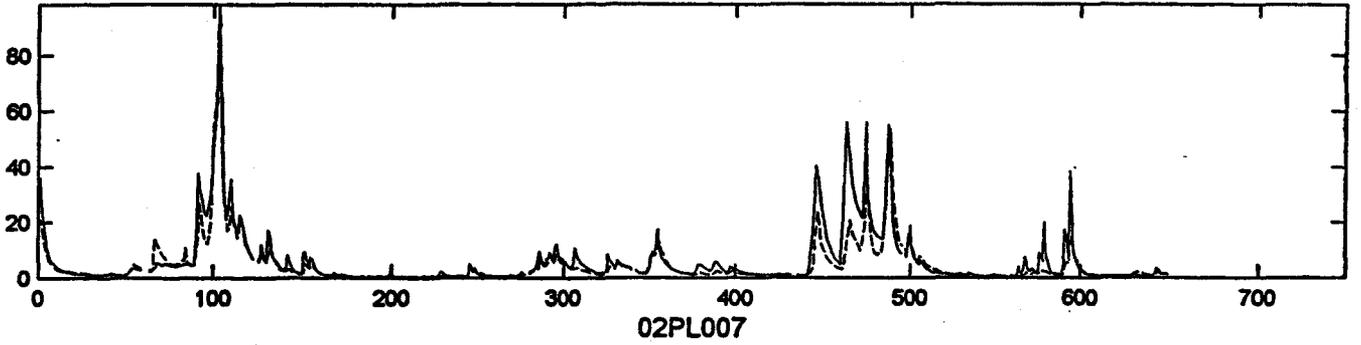
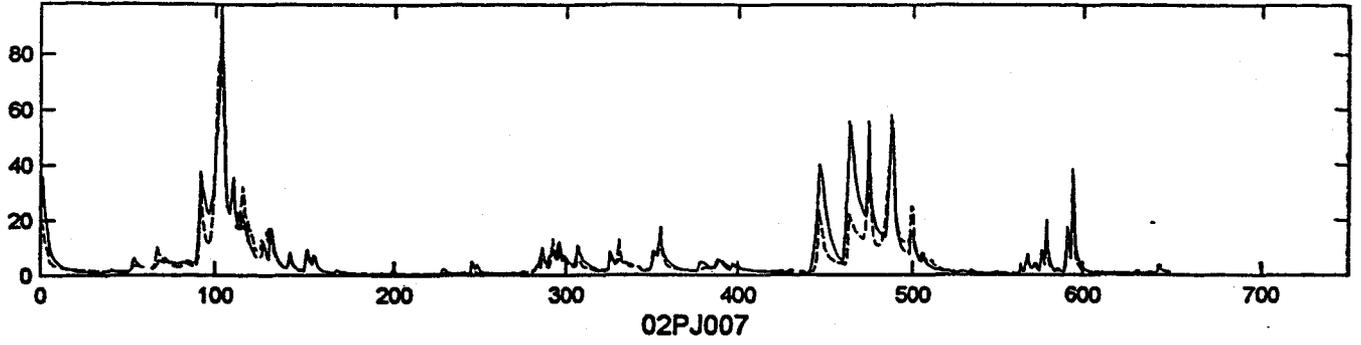
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02NF003



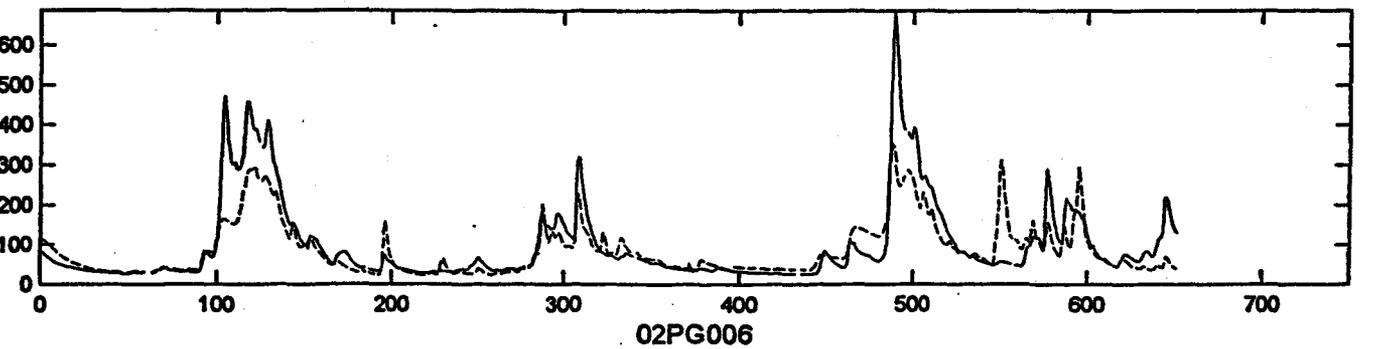
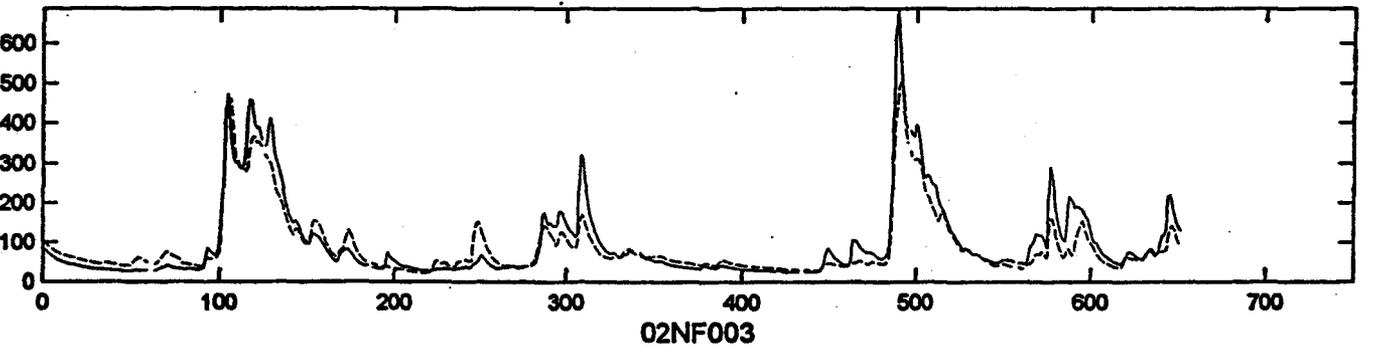
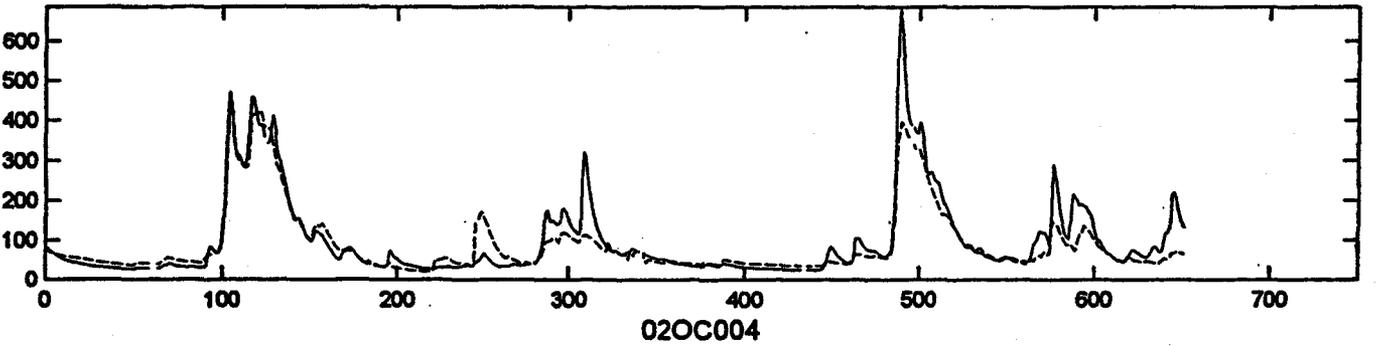
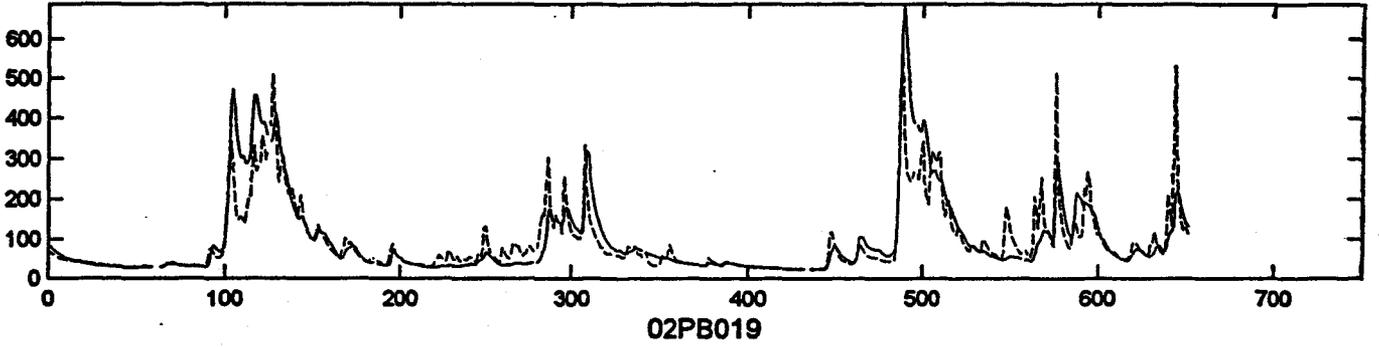
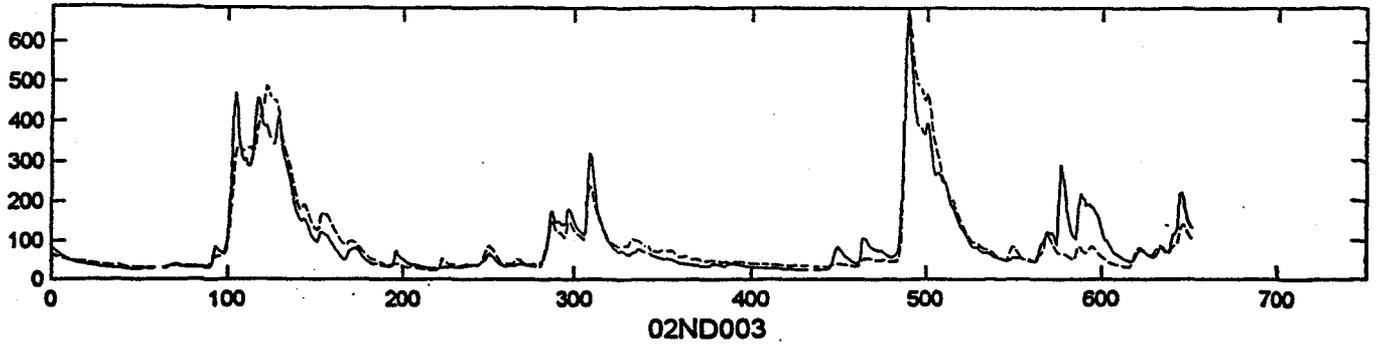
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PL007



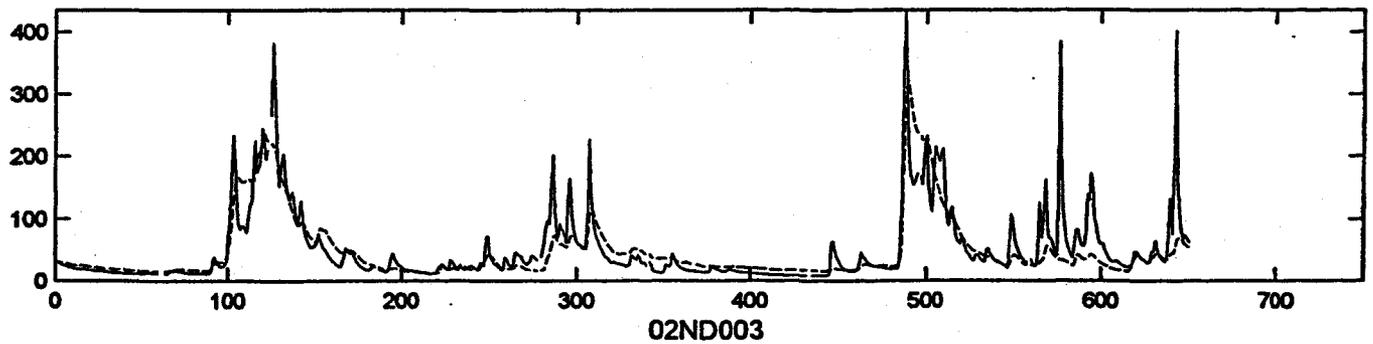
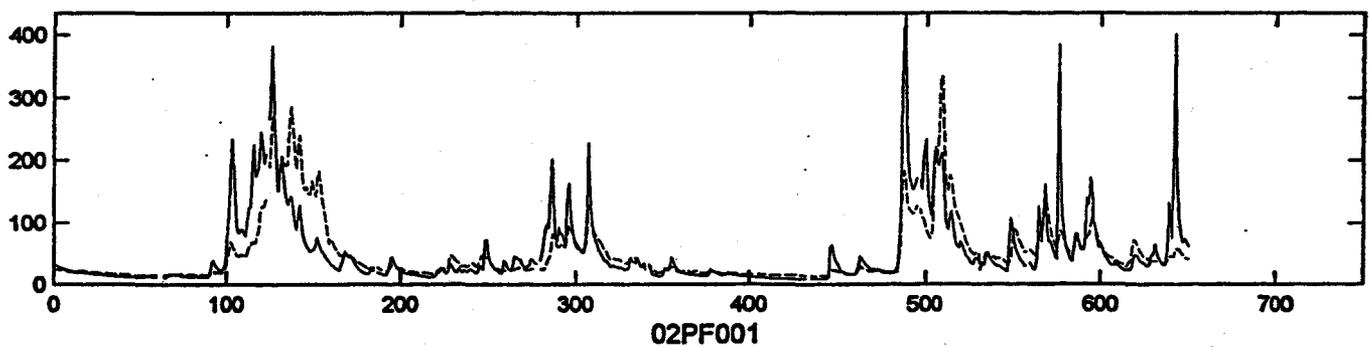
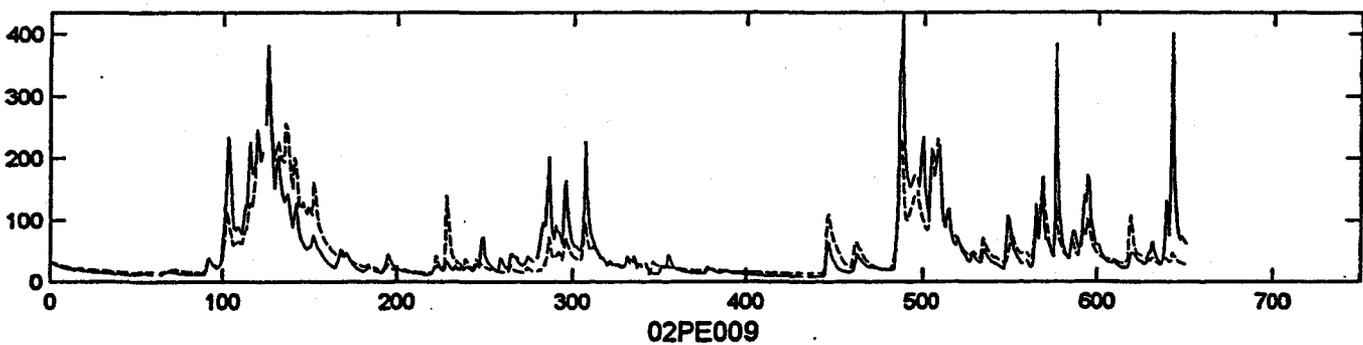
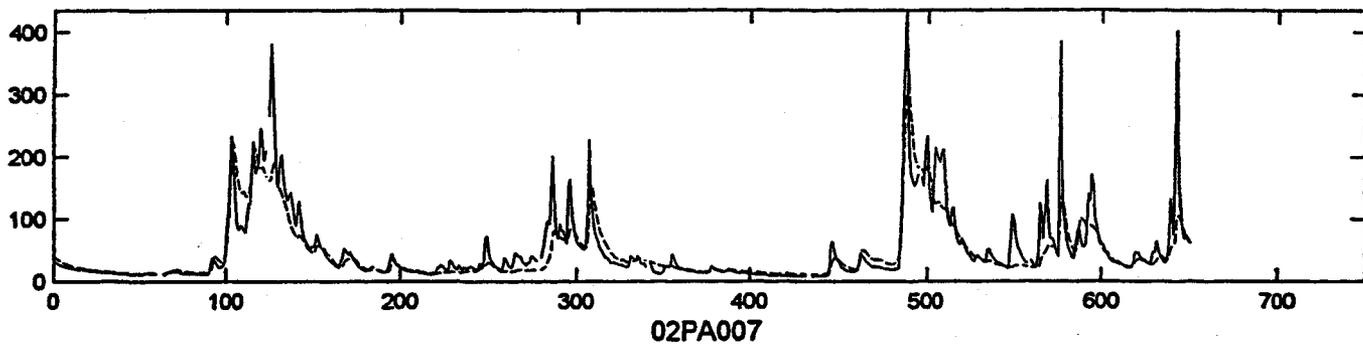
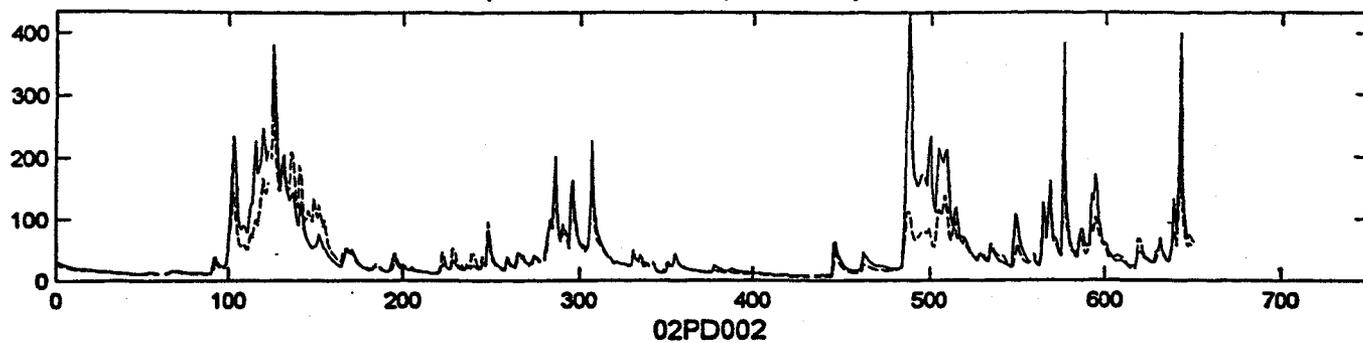
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PK005



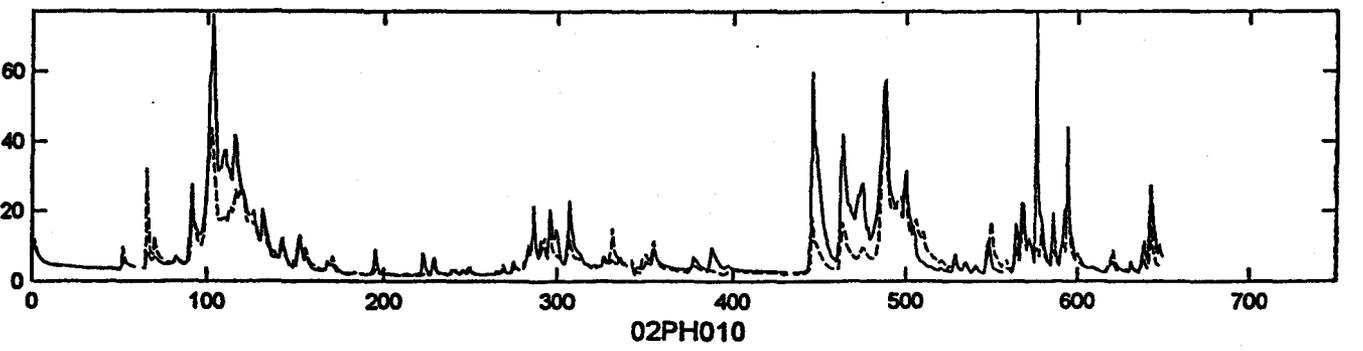
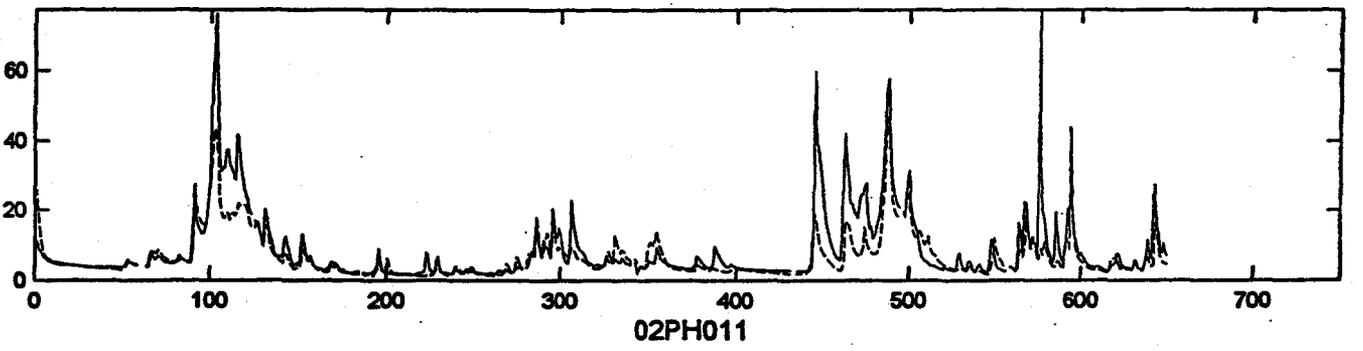
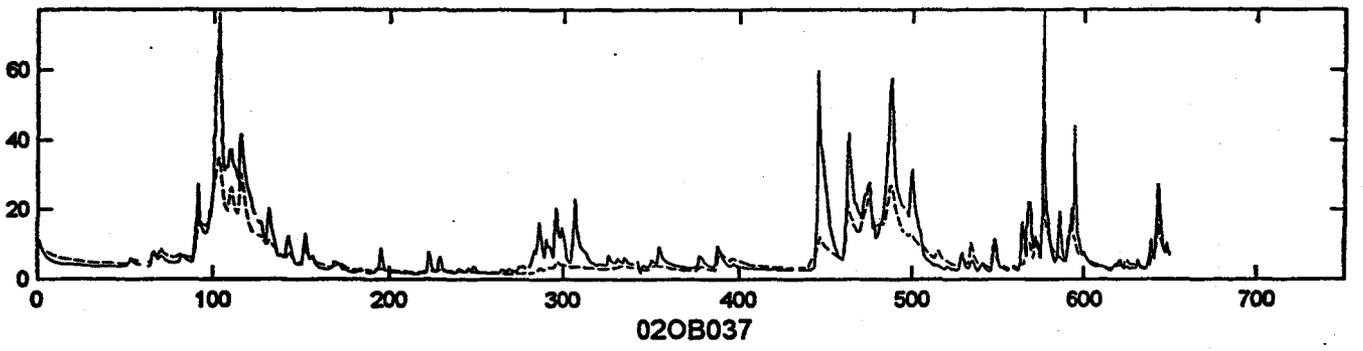
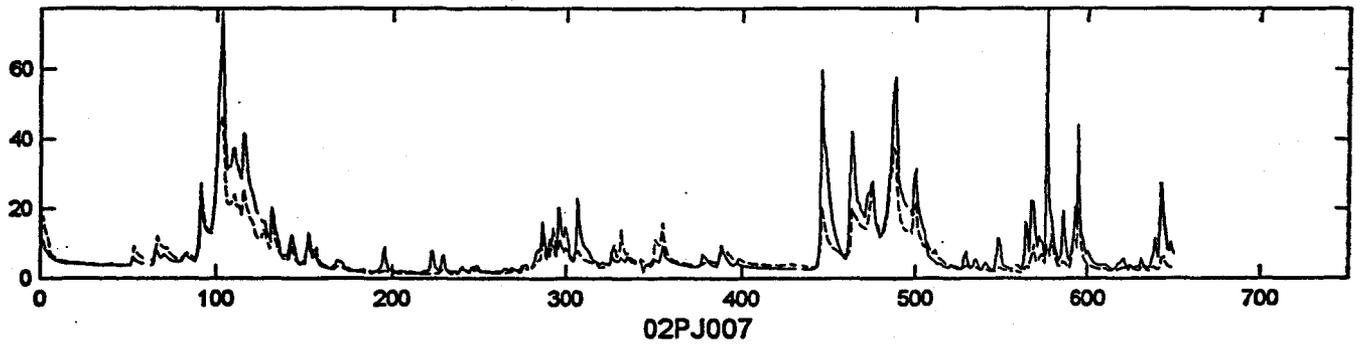
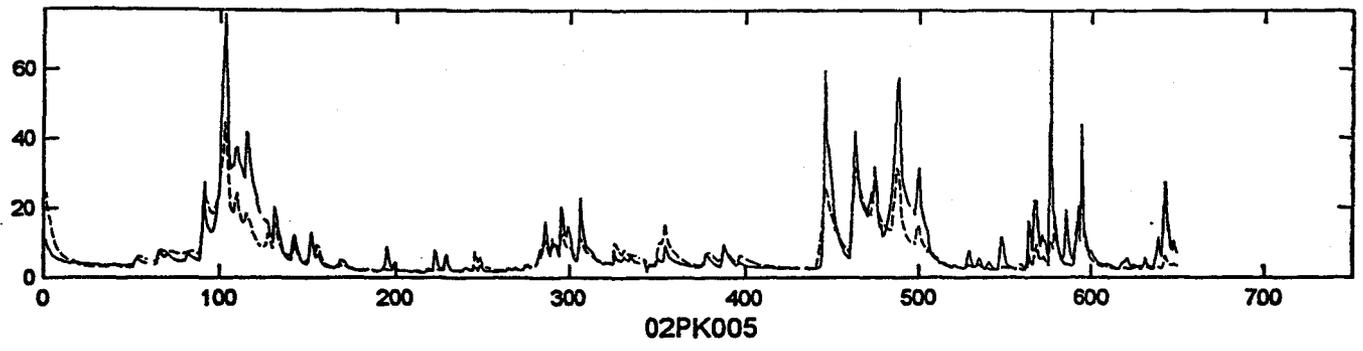
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PA007



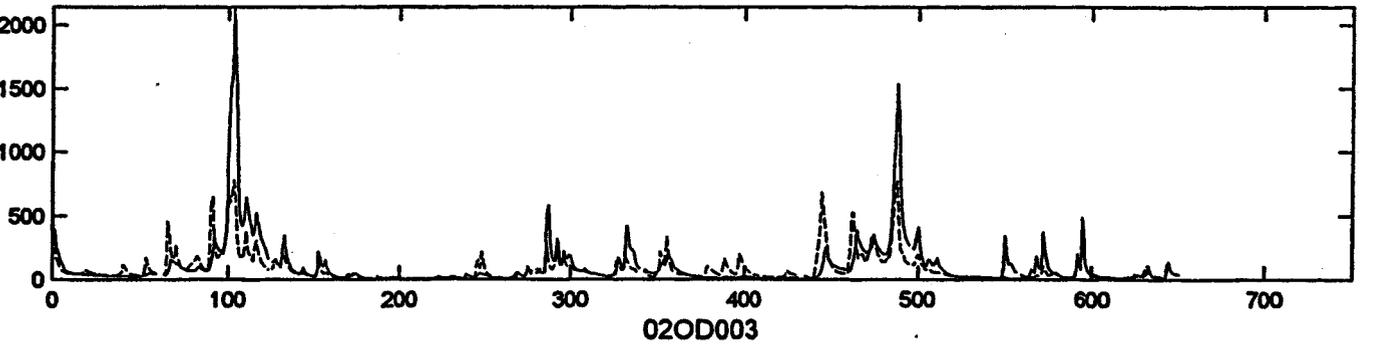
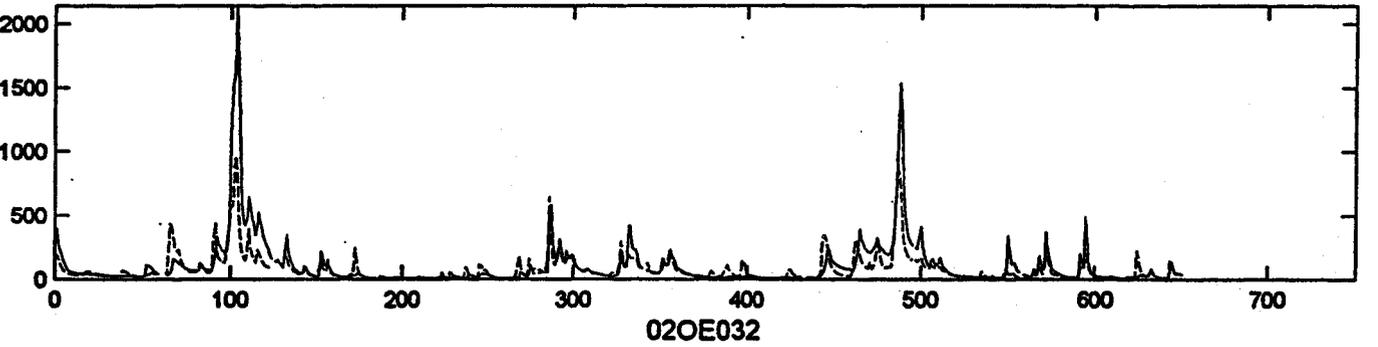
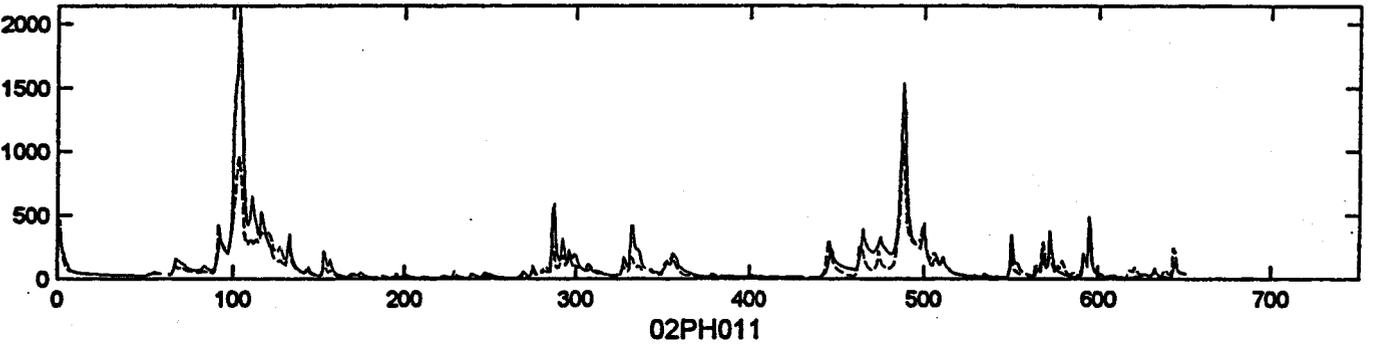
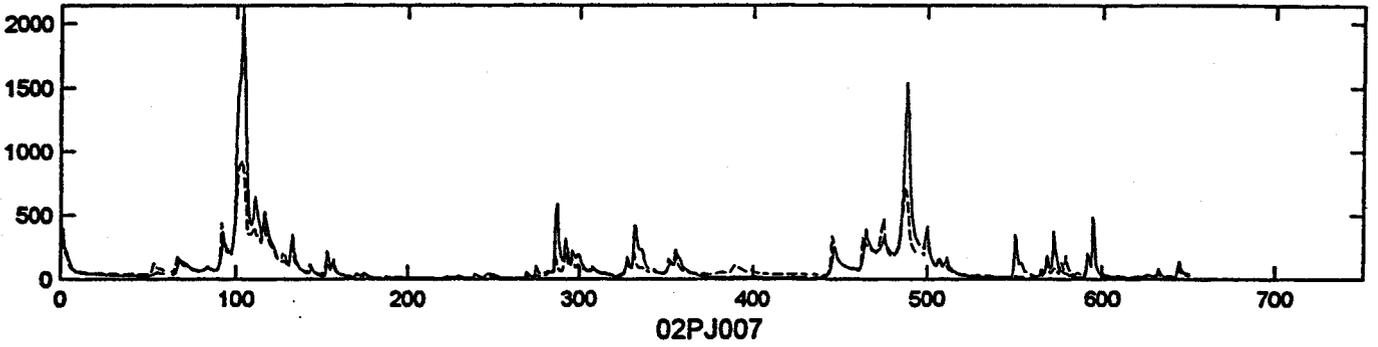
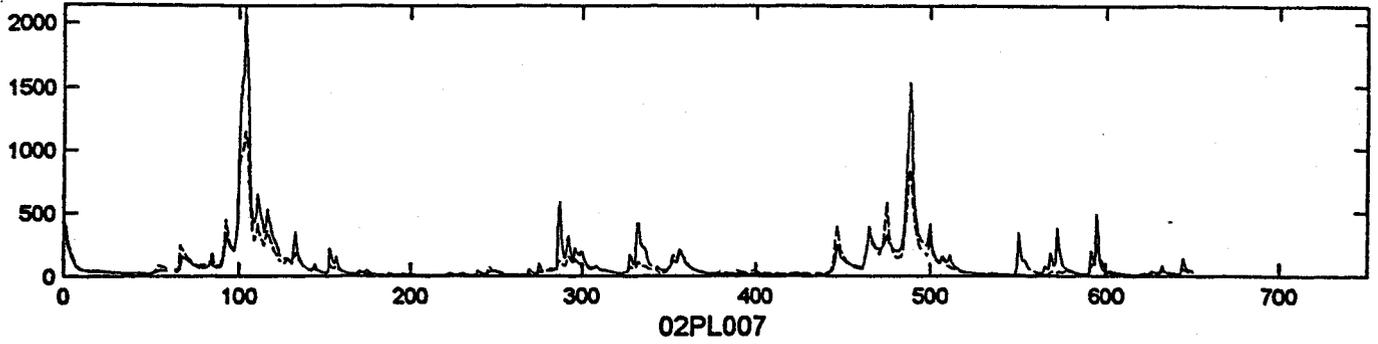
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PB019



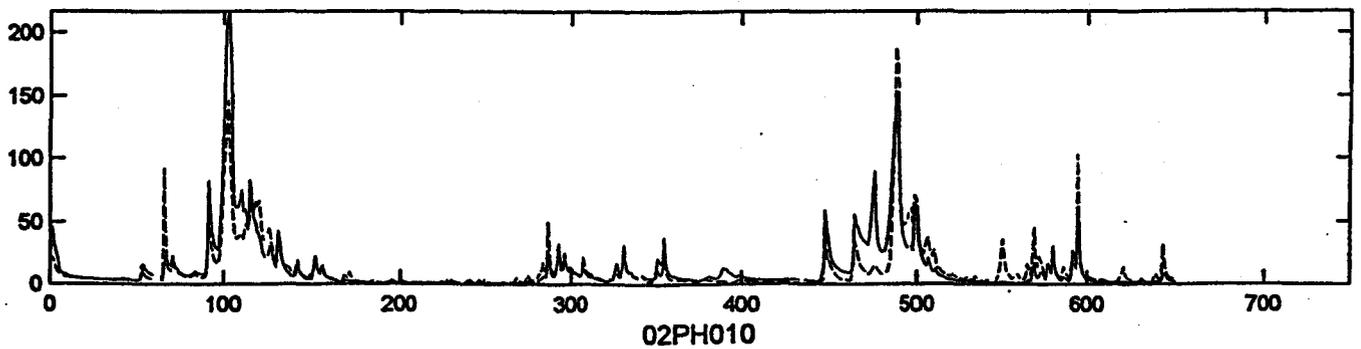
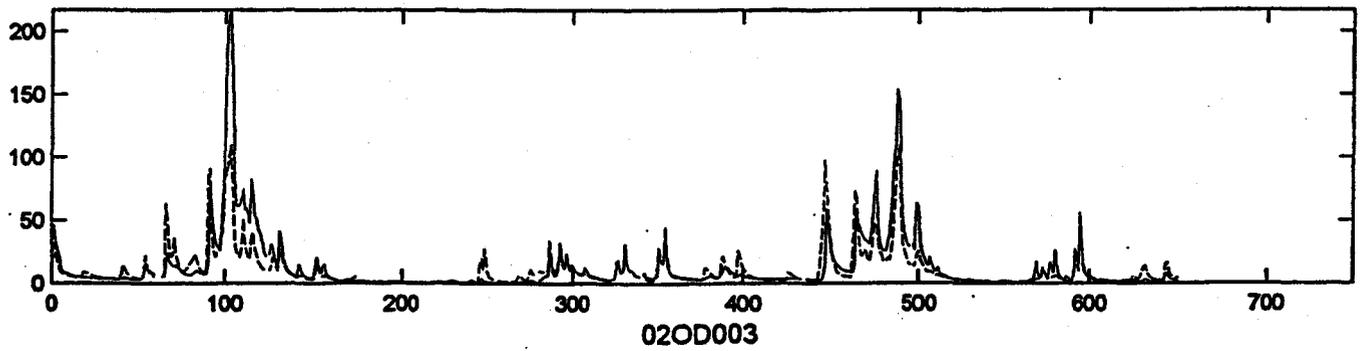
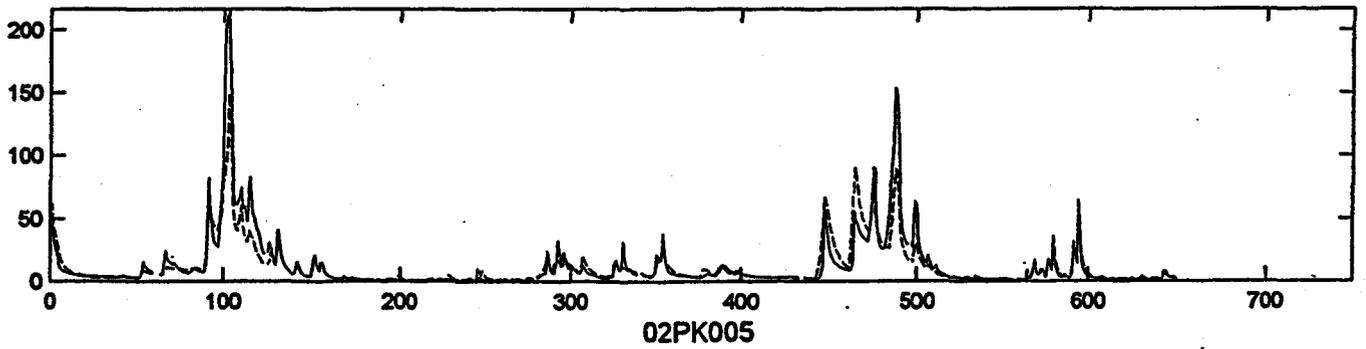
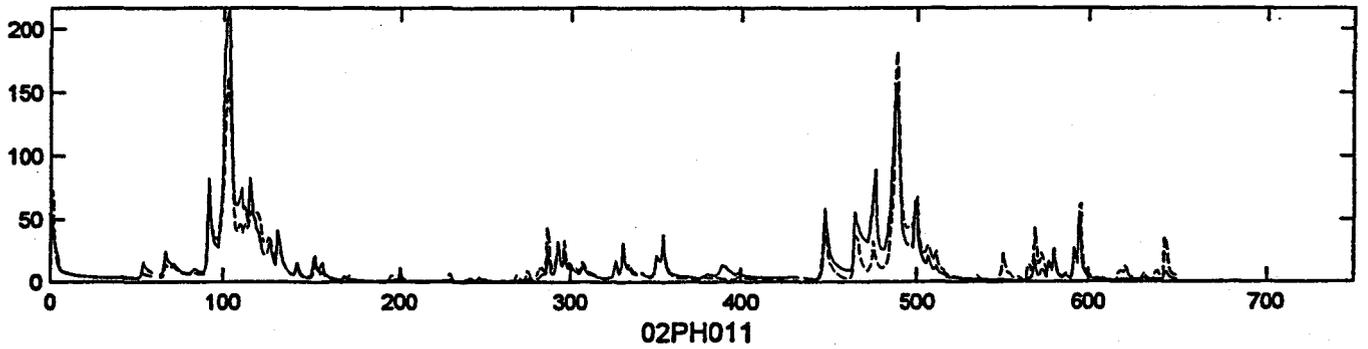
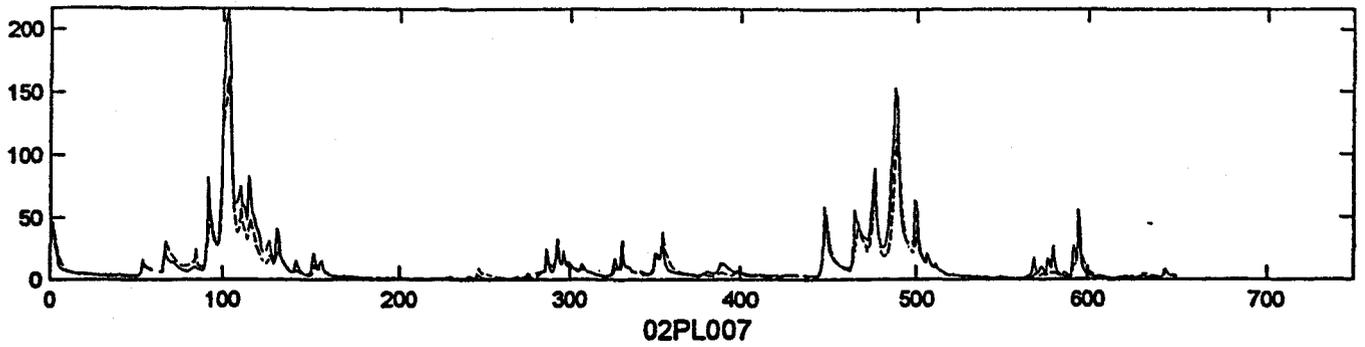
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PC009



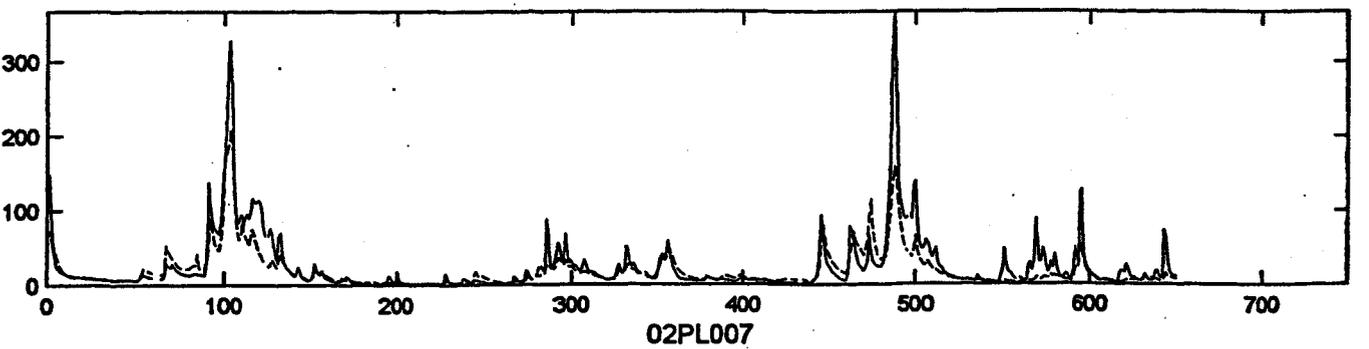
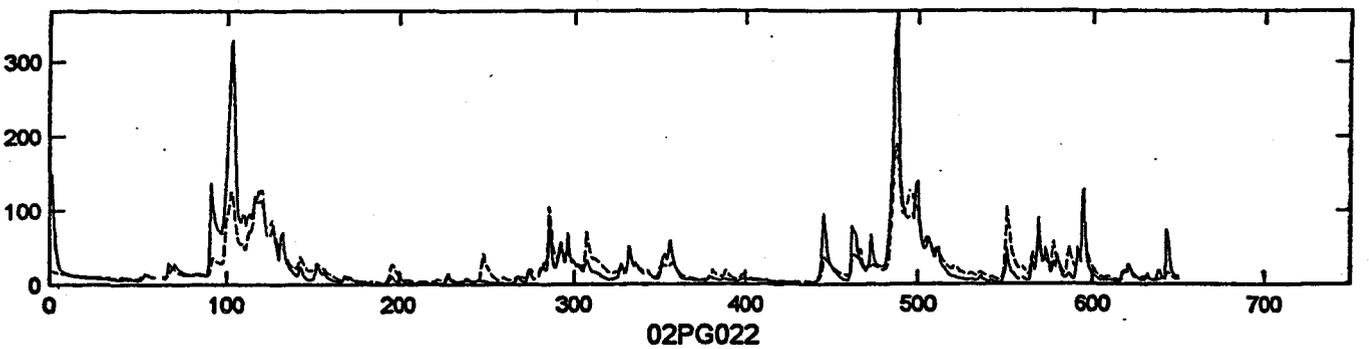
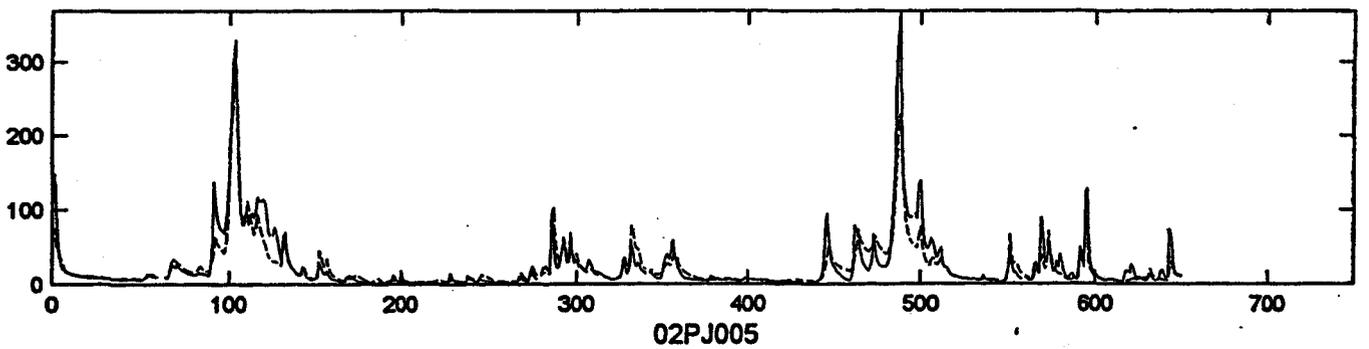
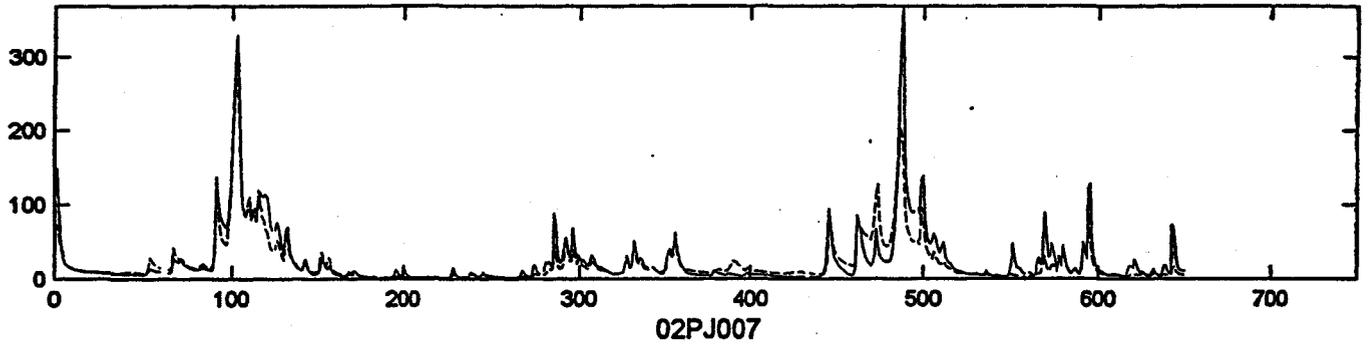
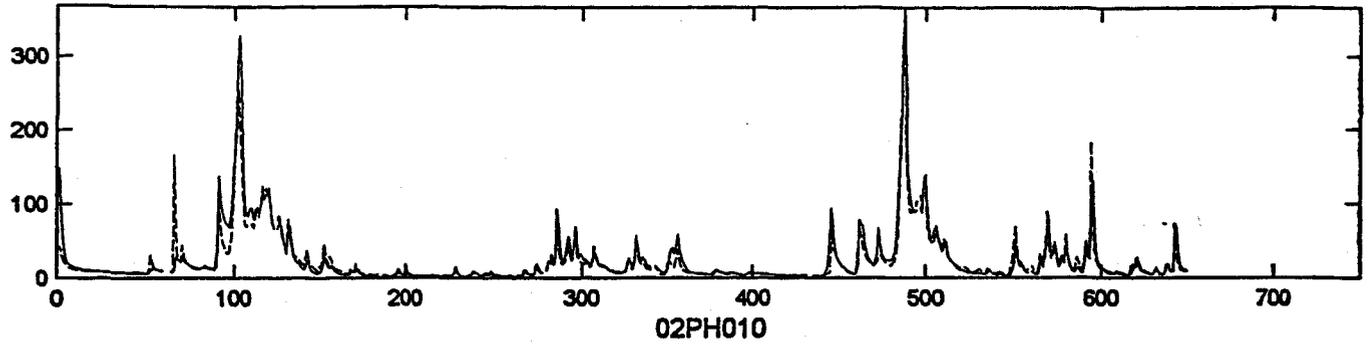
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PJ005



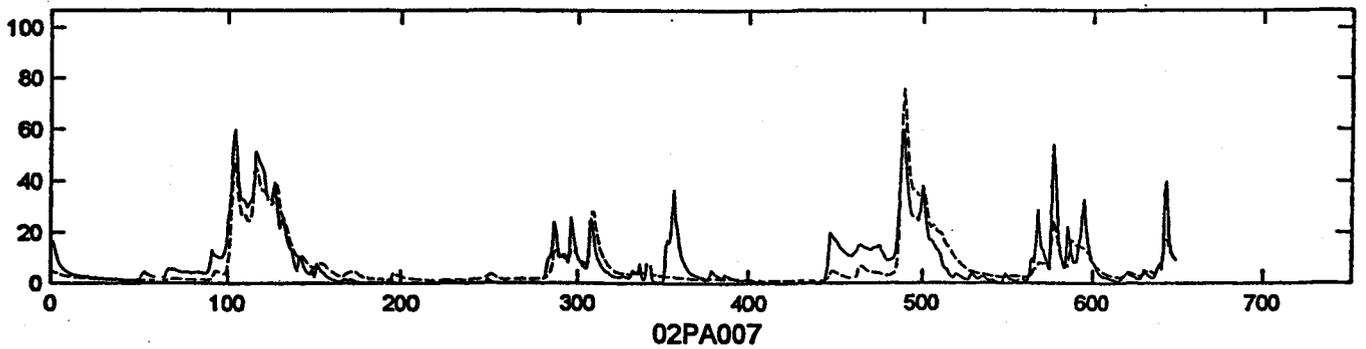
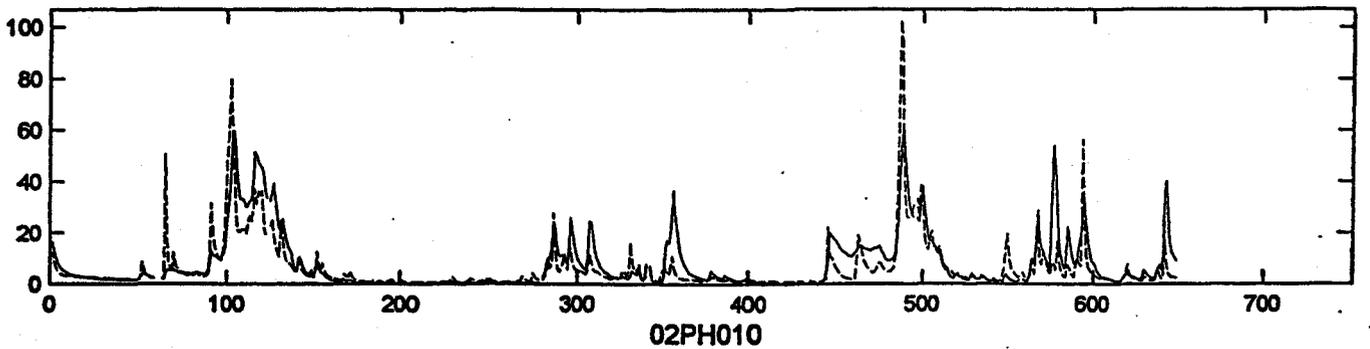
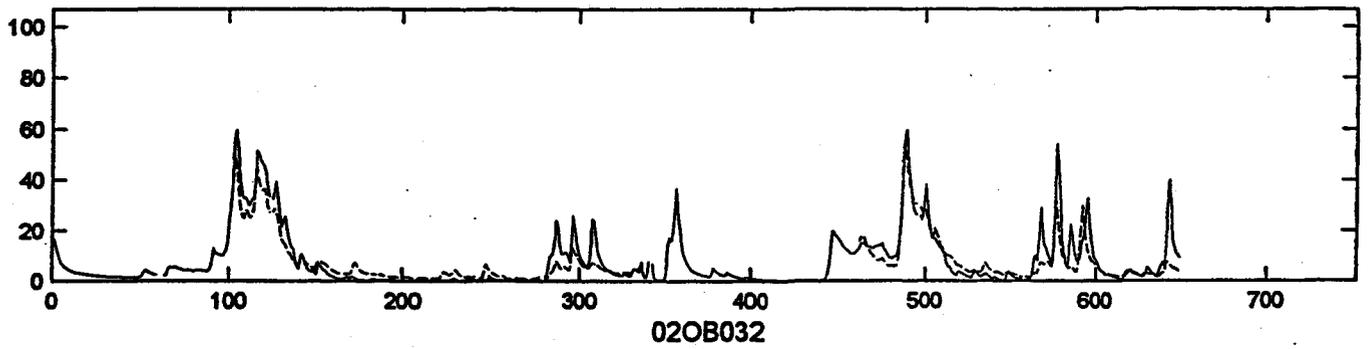
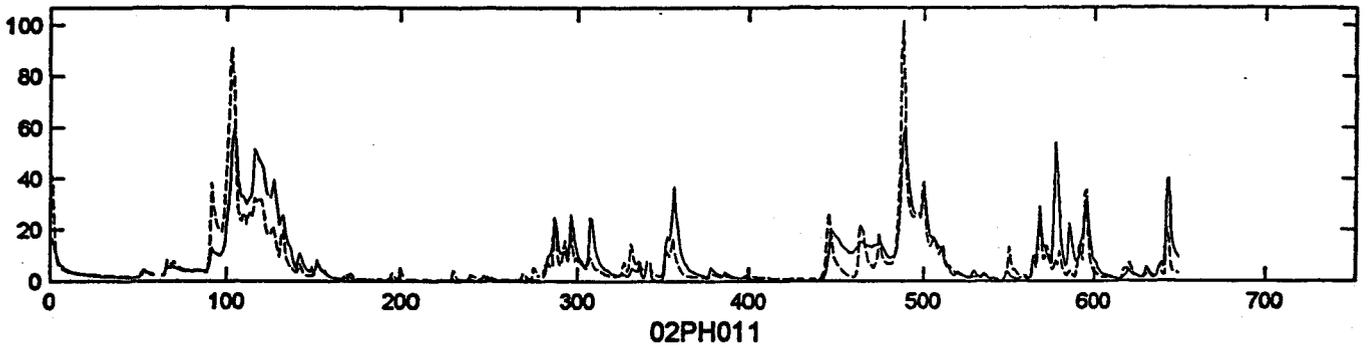
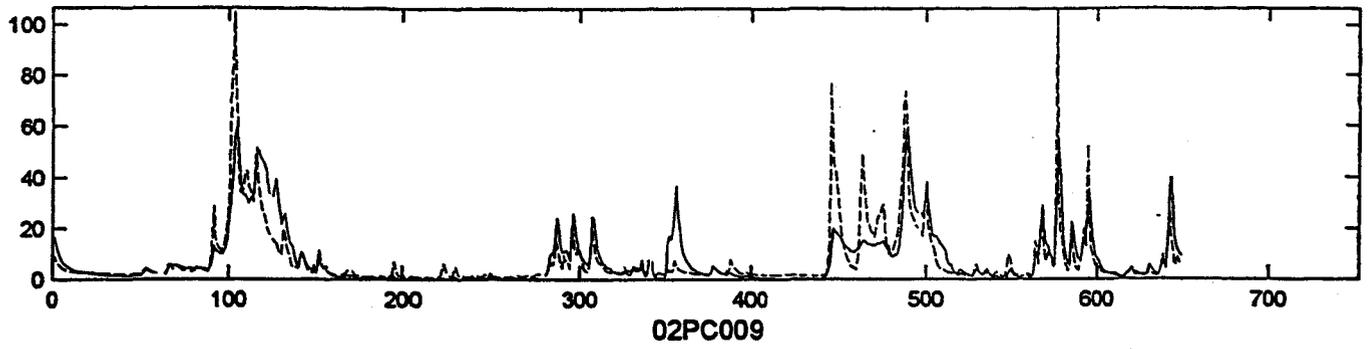
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PJ007



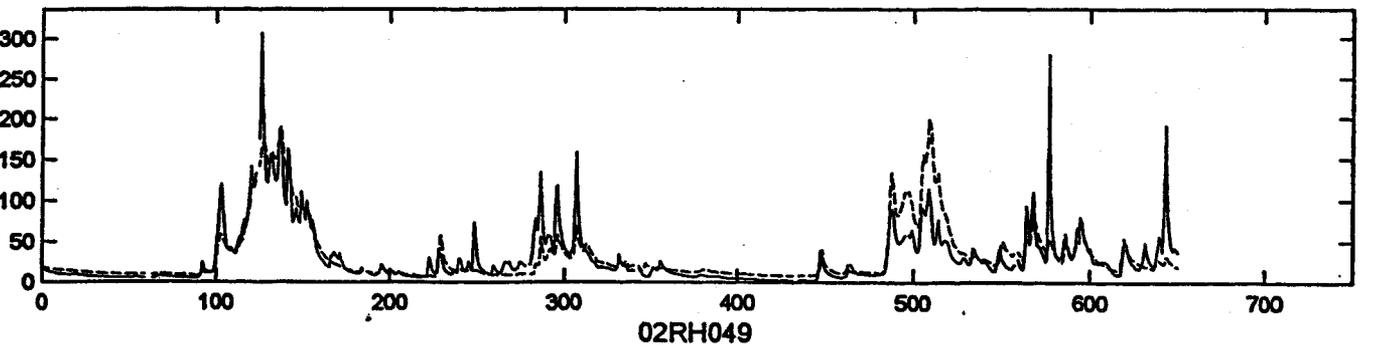
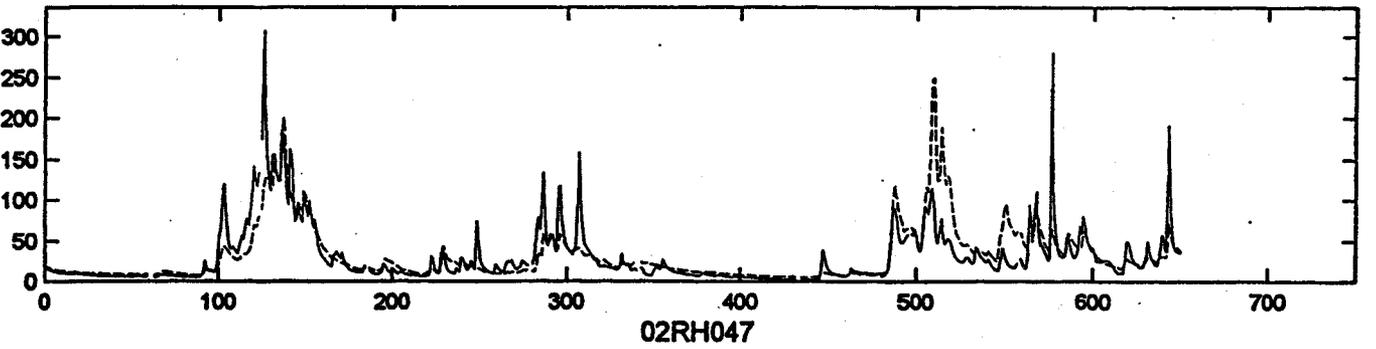
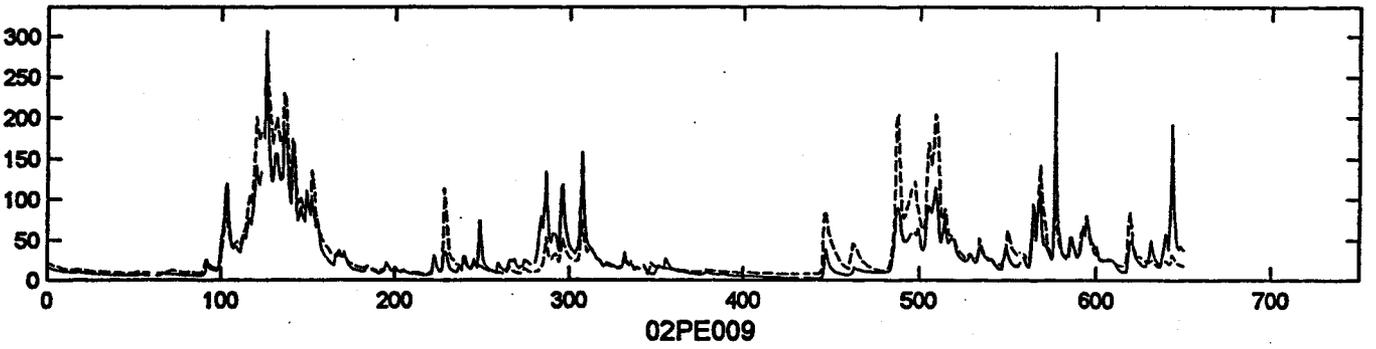
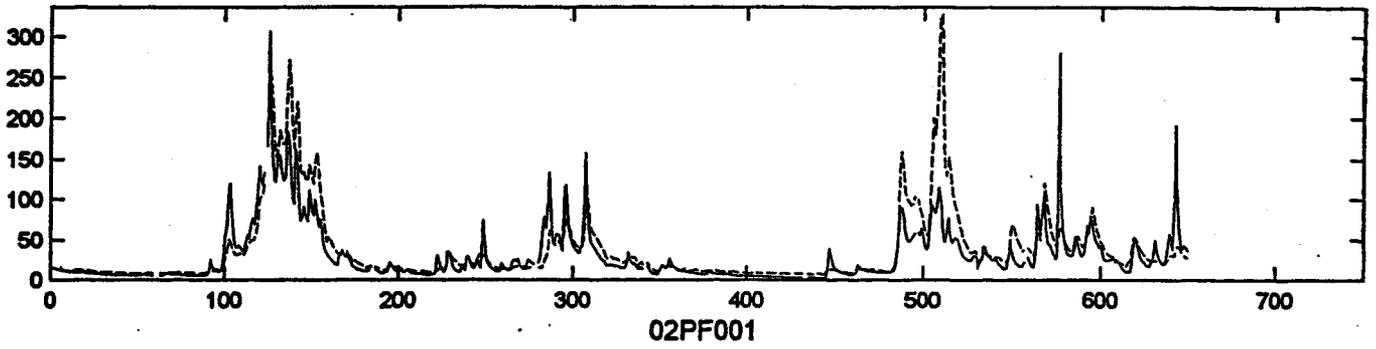
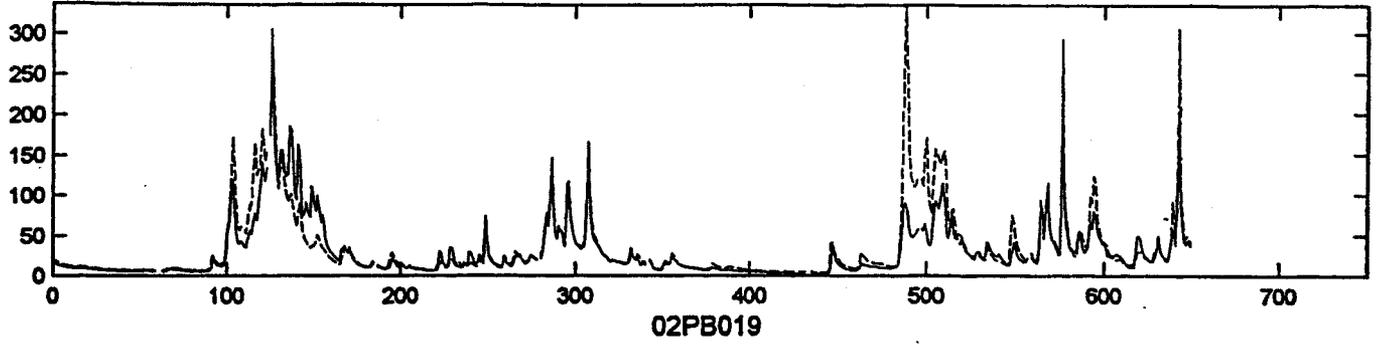
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PH011



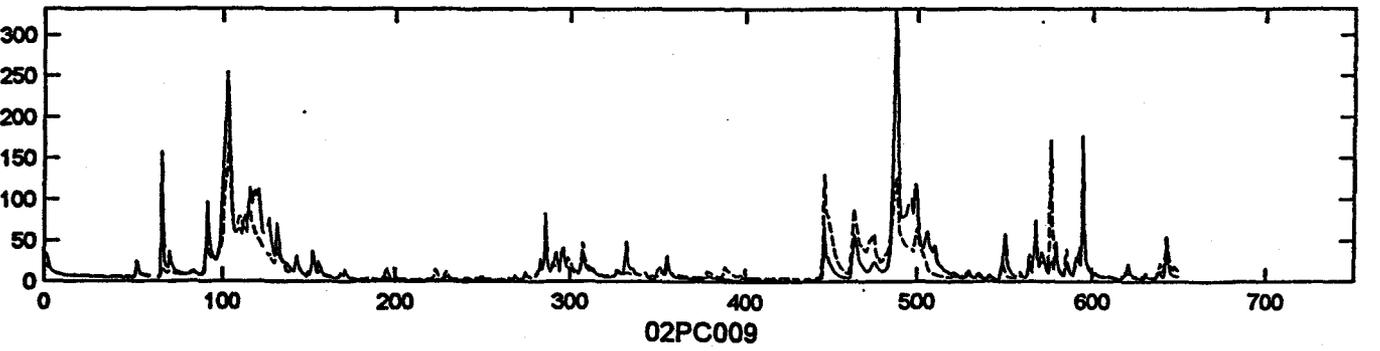
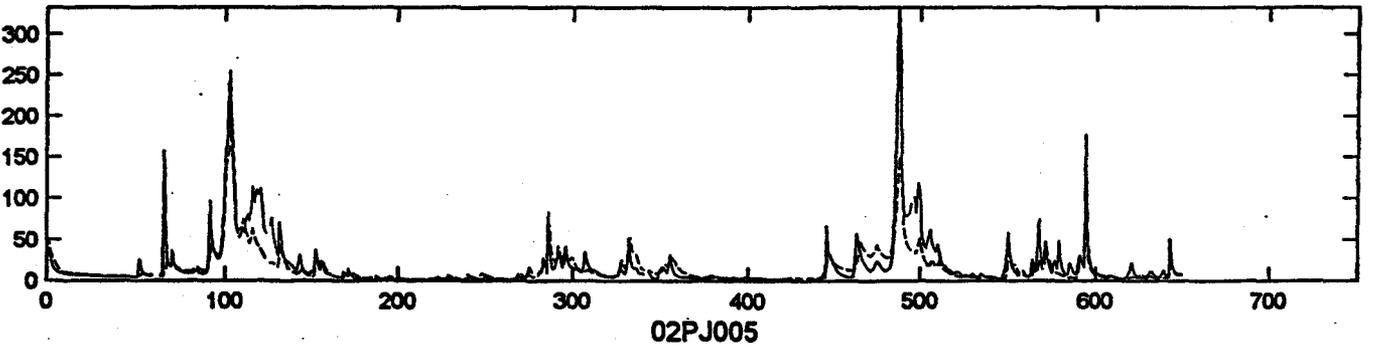
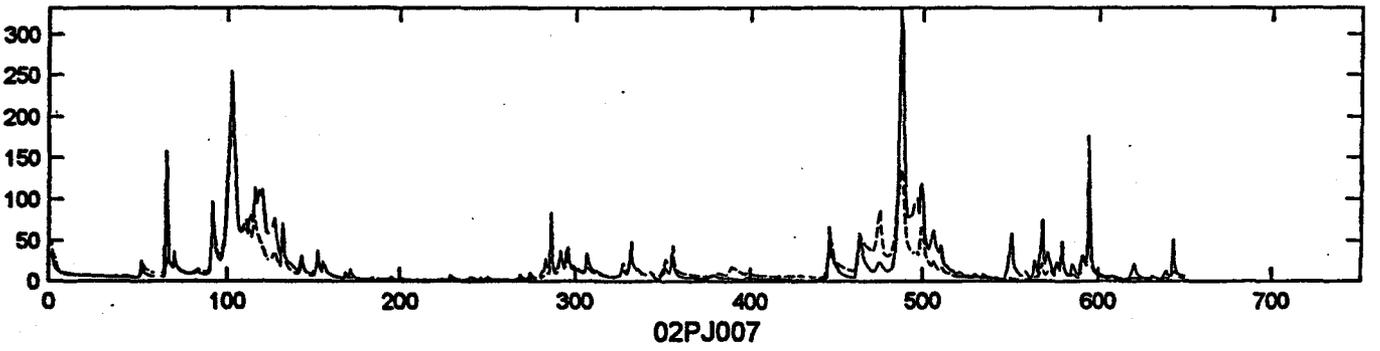
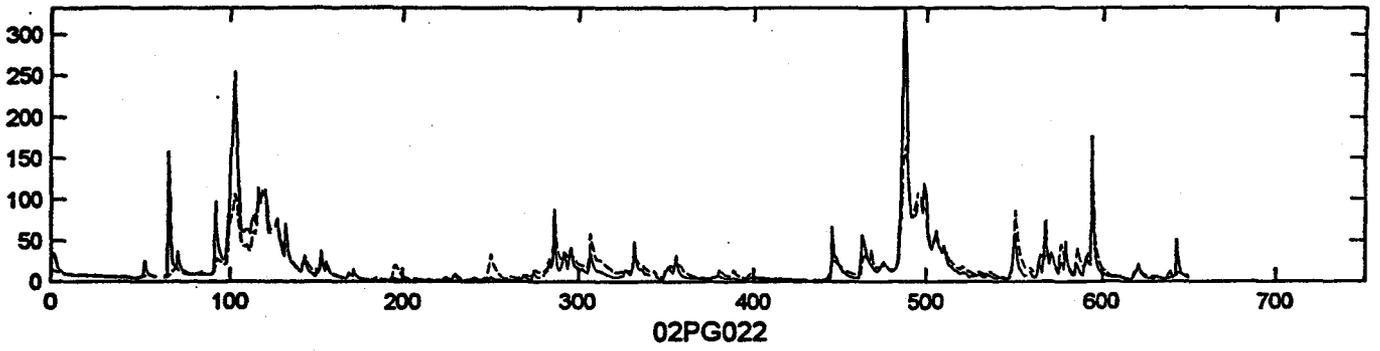
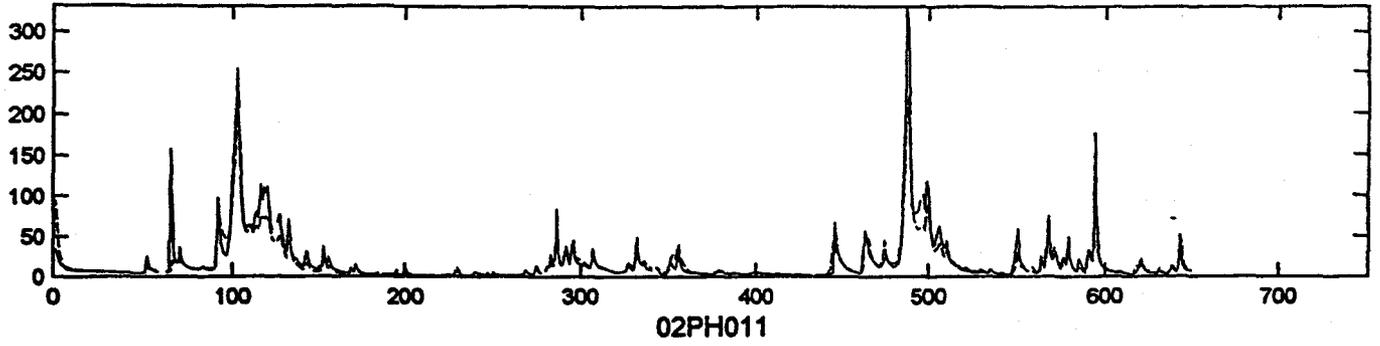
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PD010



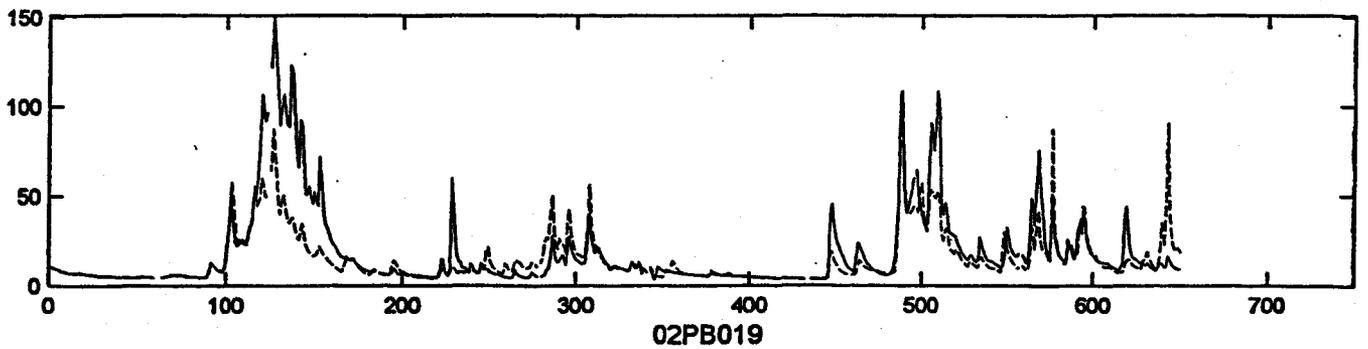
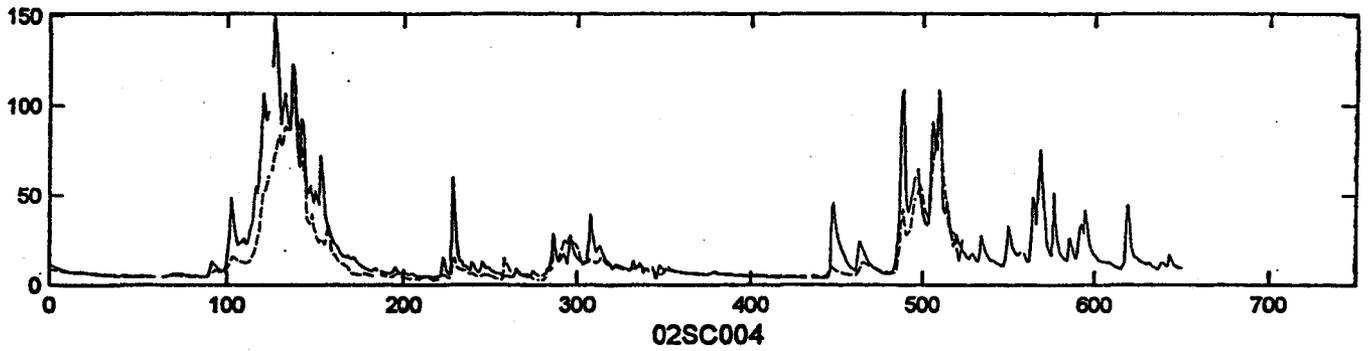
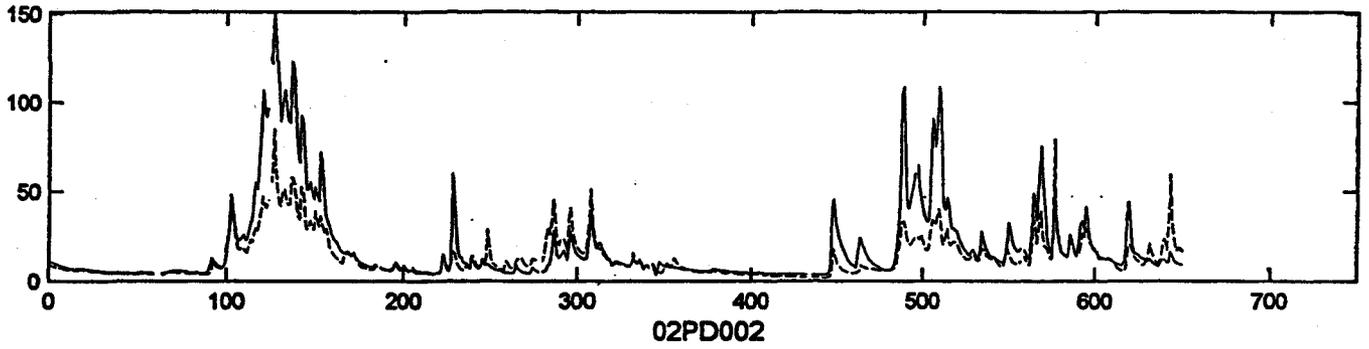
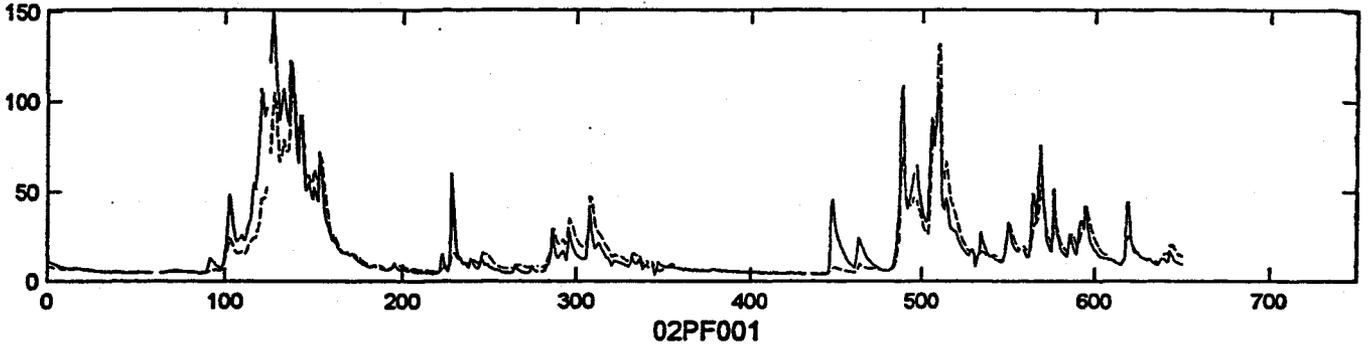
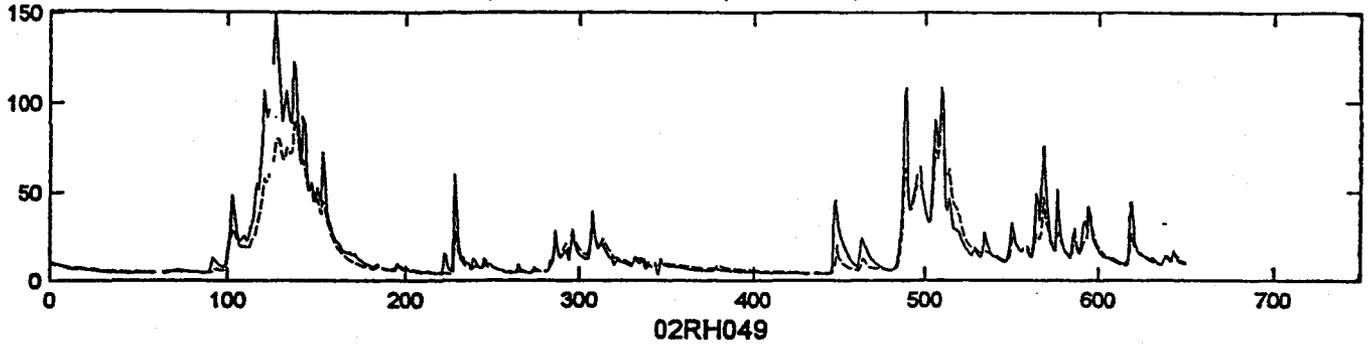
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PD002



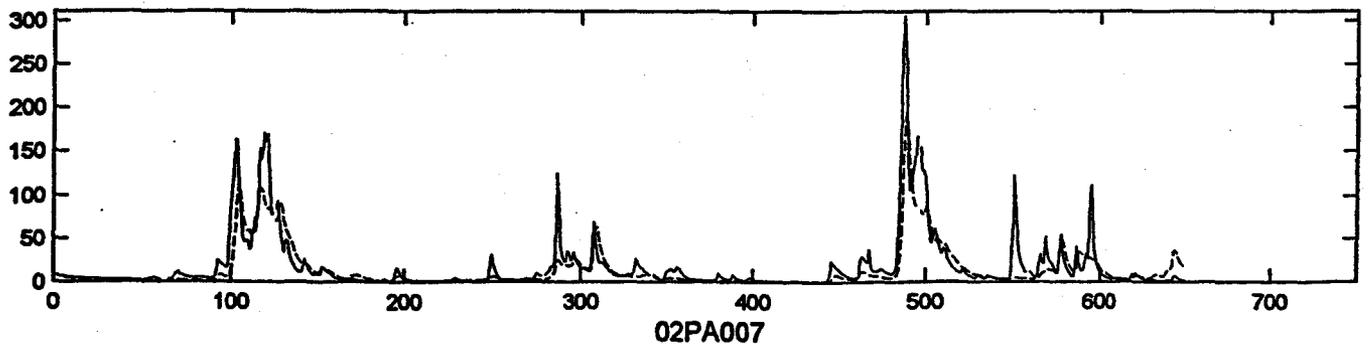
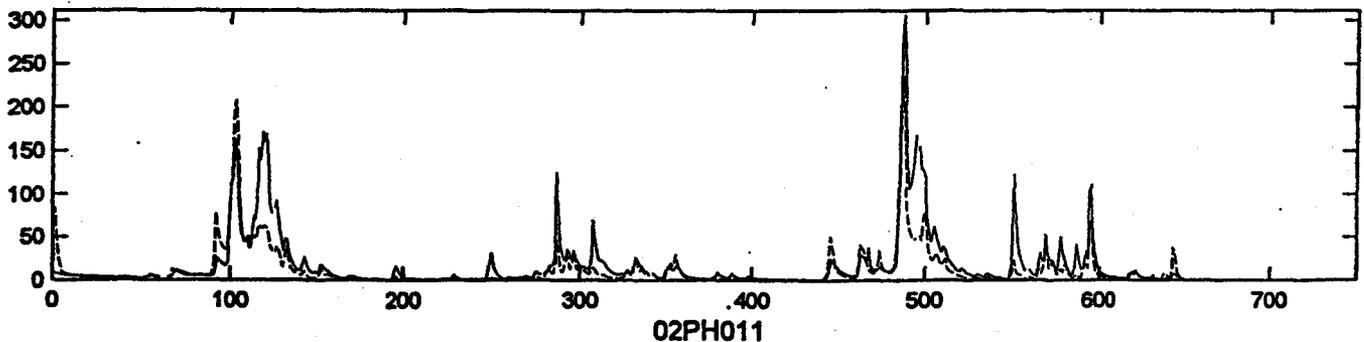
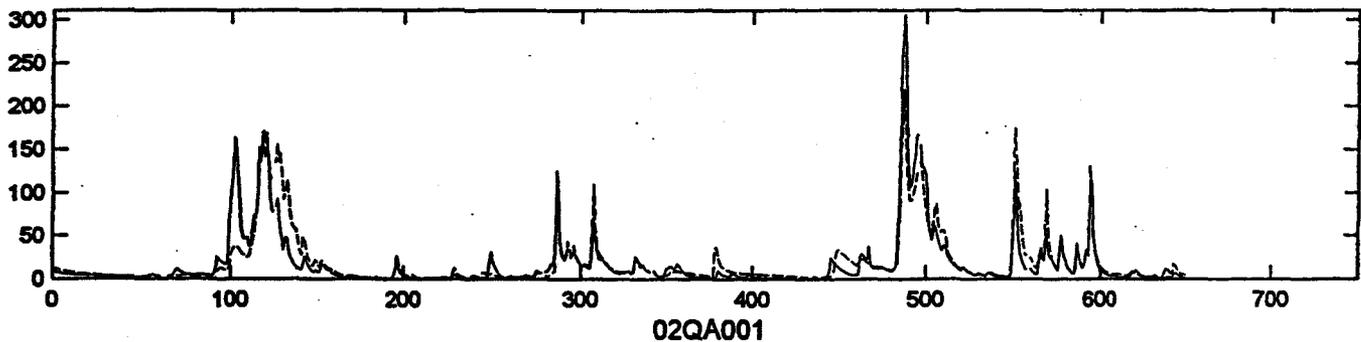
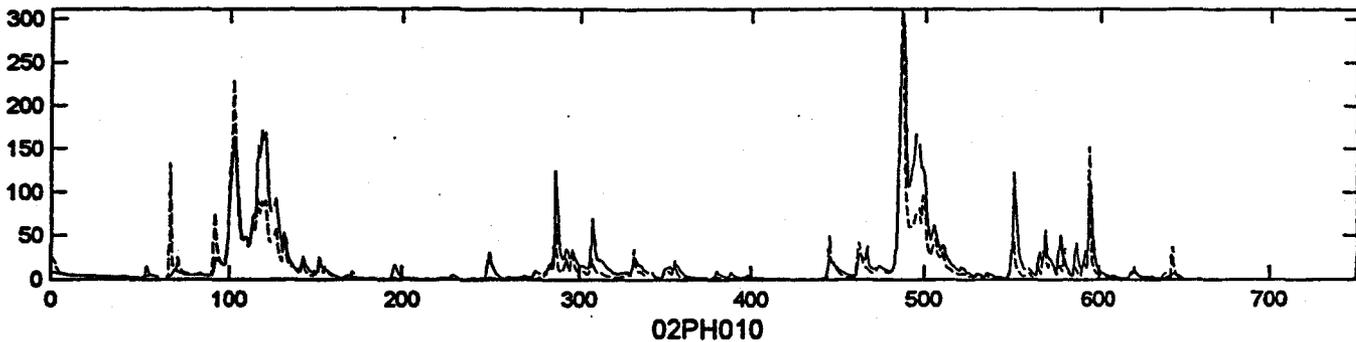
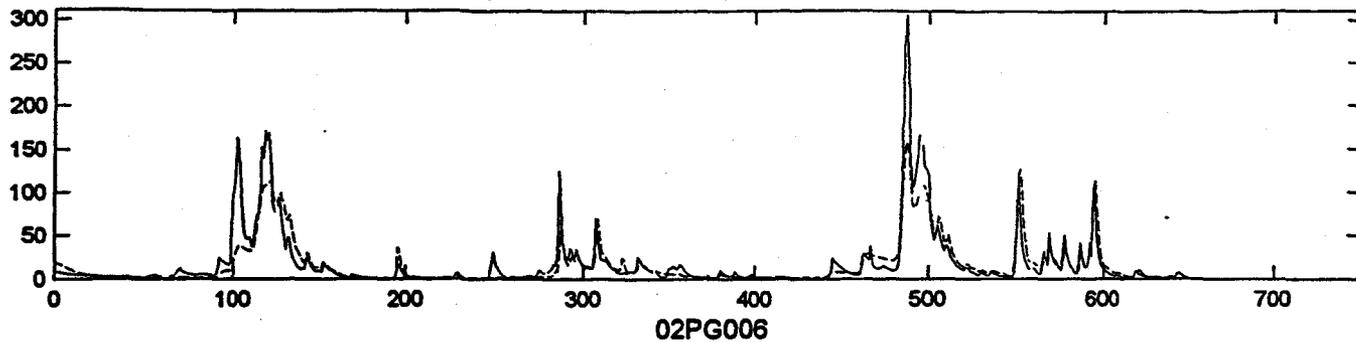
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PH010



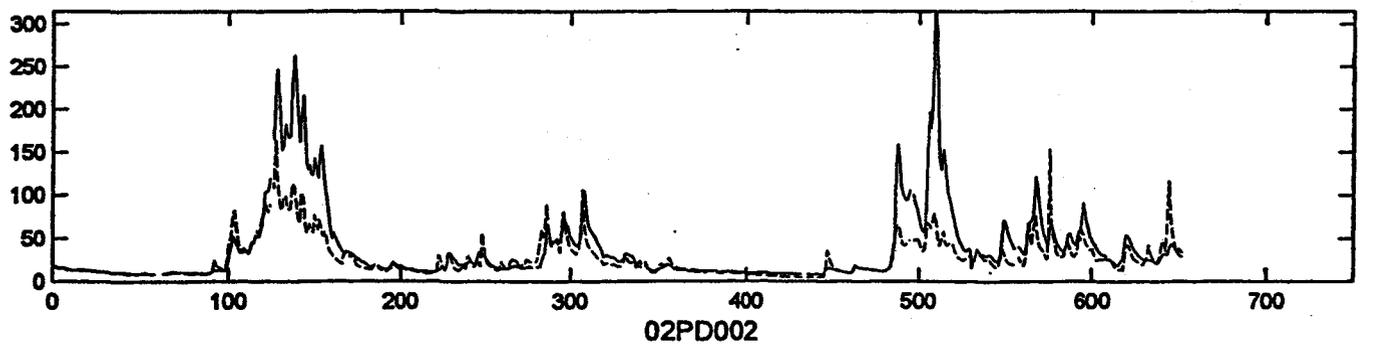
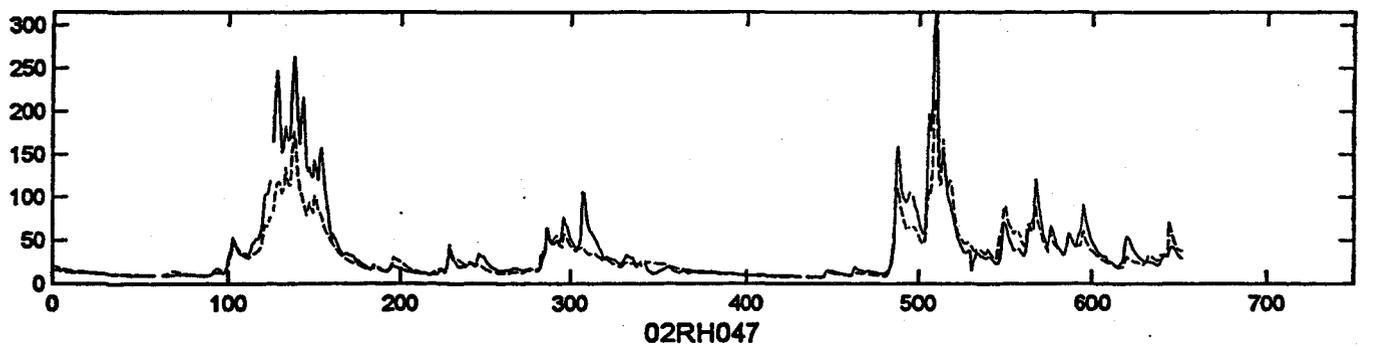
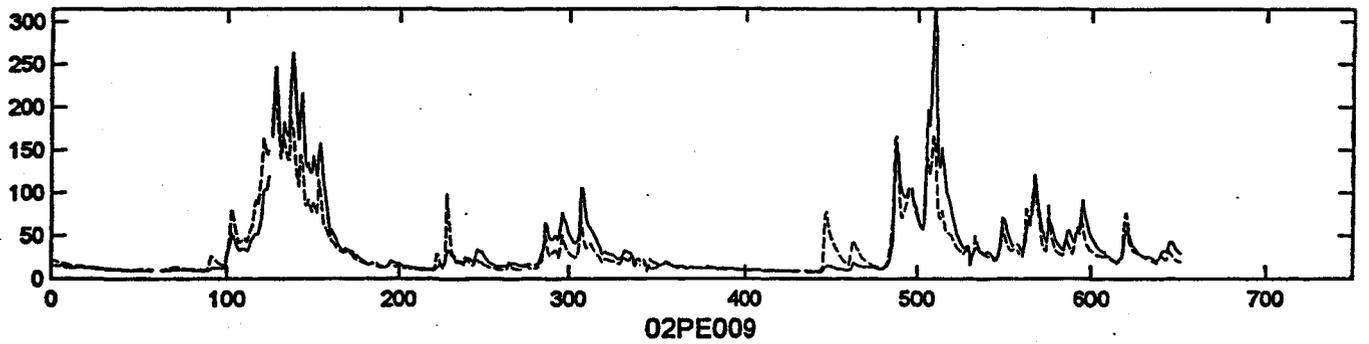
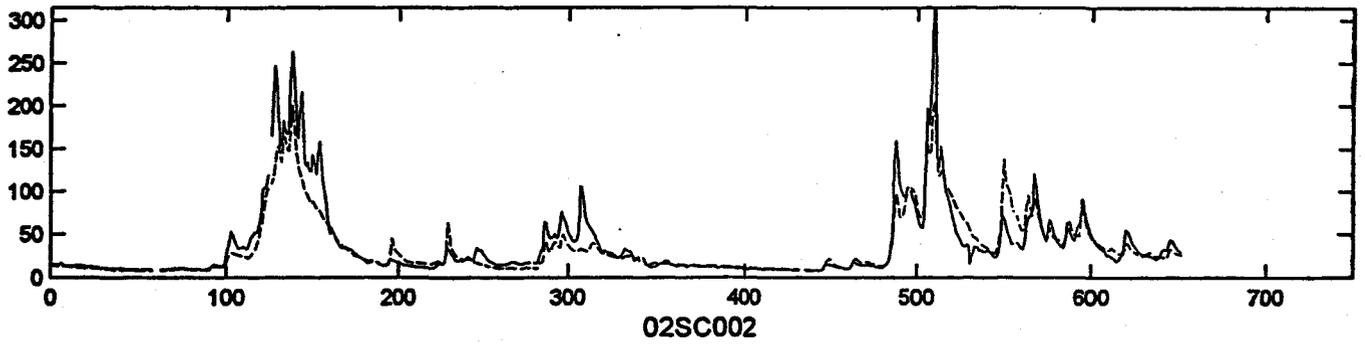
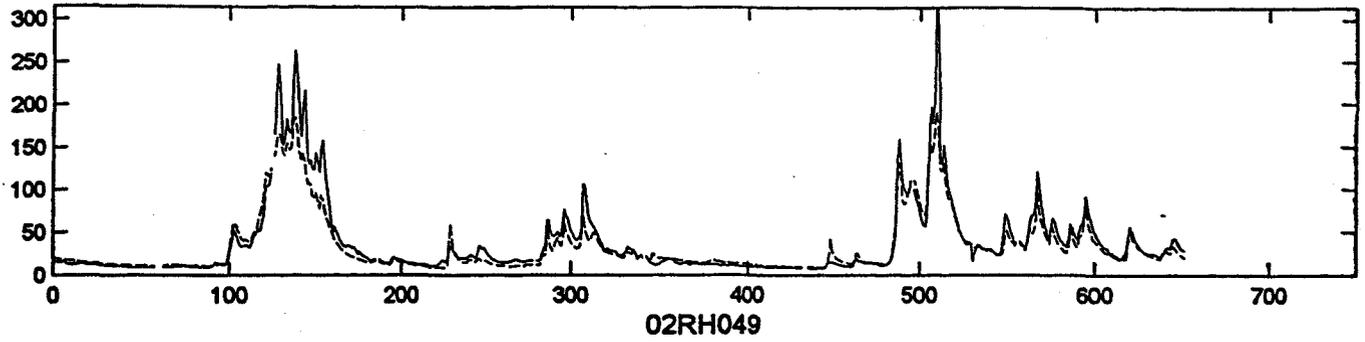
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PE009



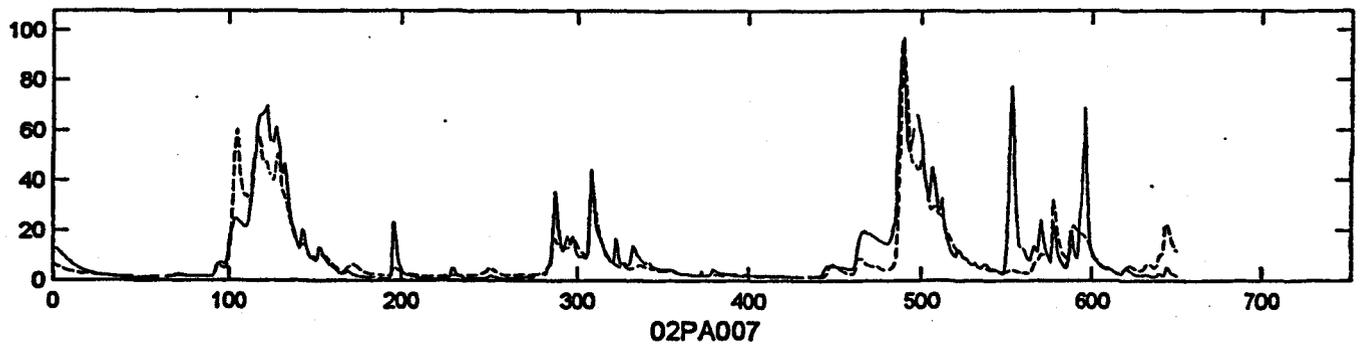
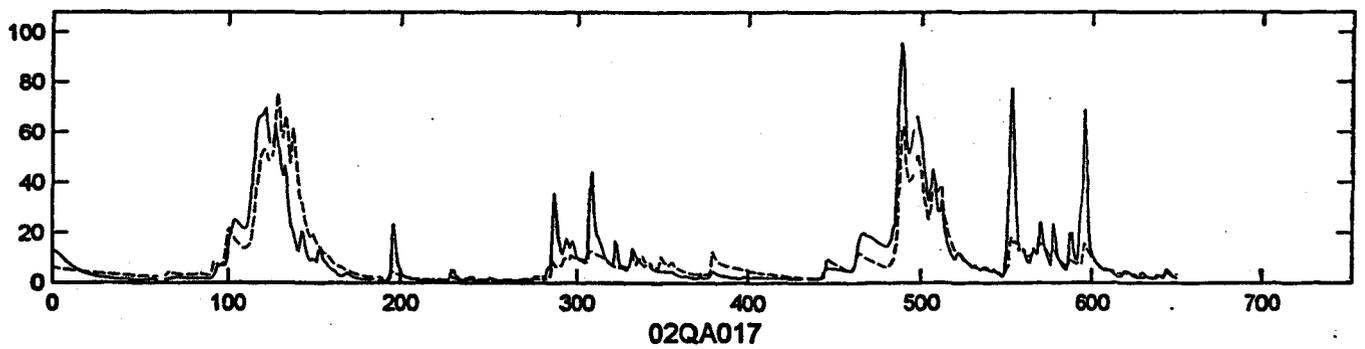
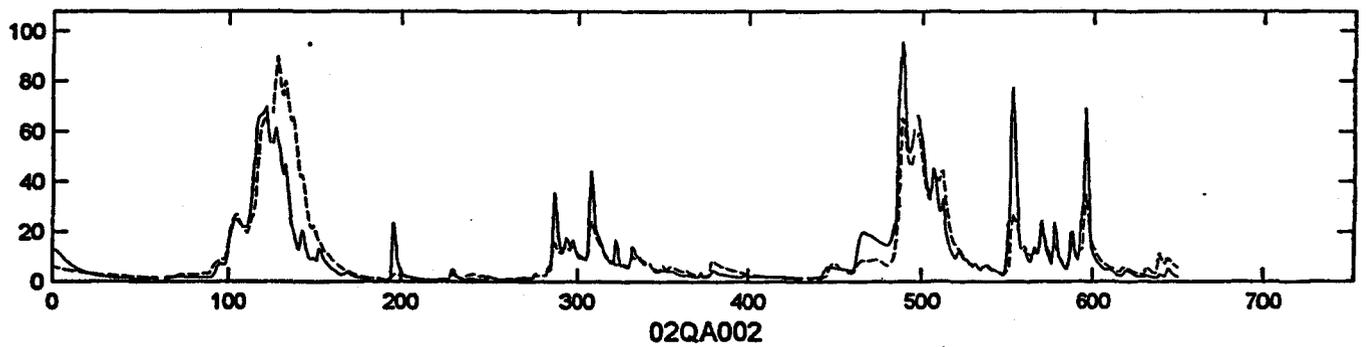
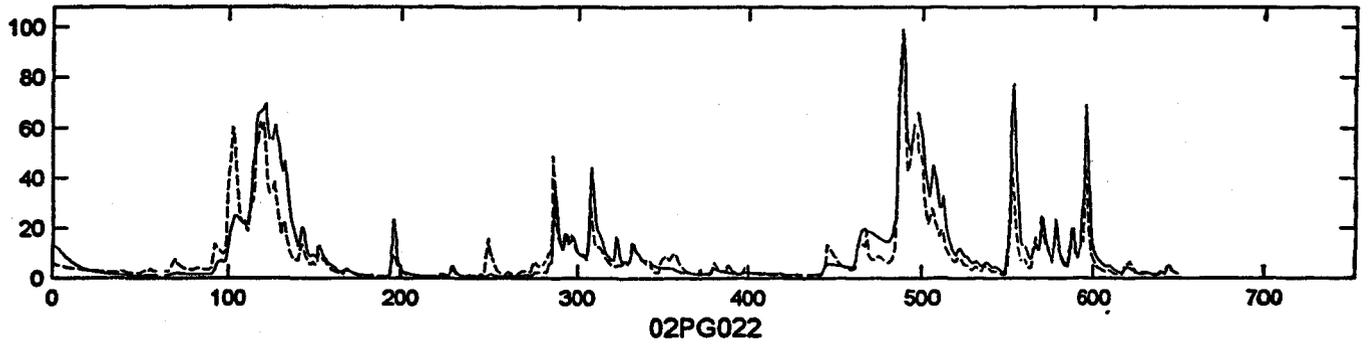
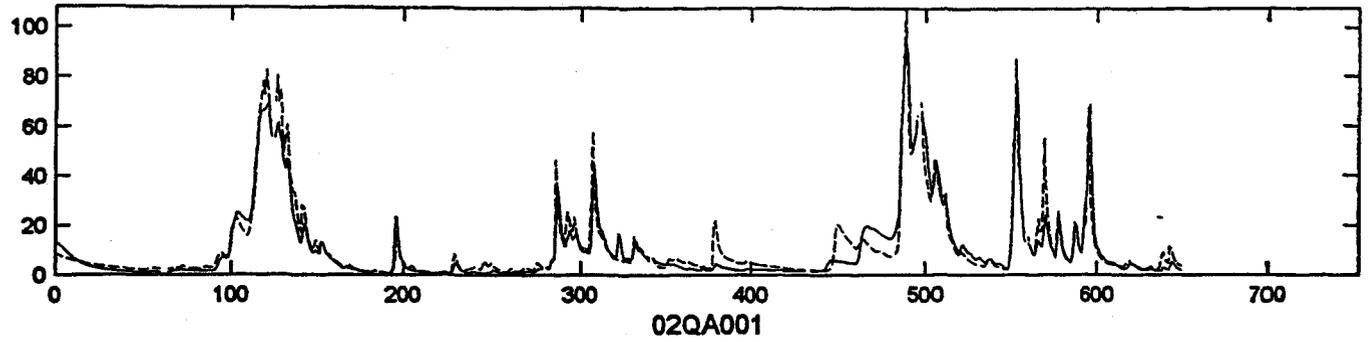
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PG022



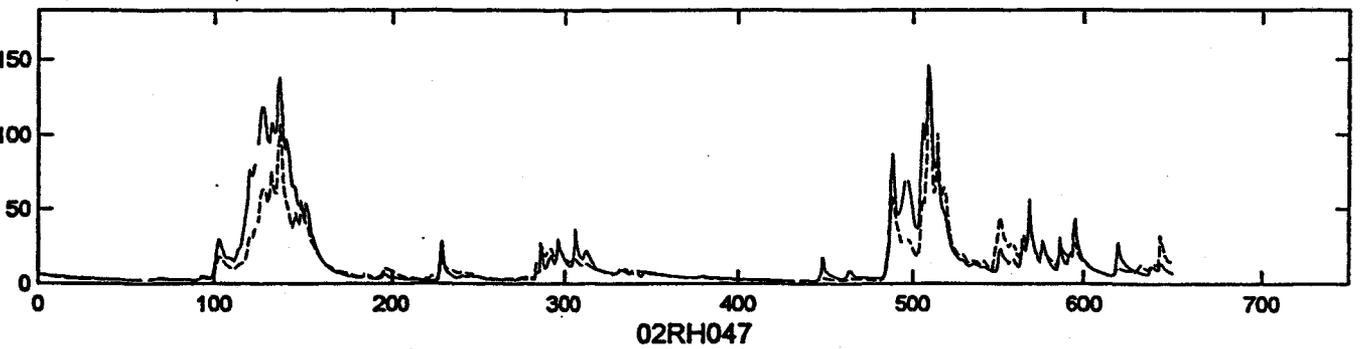
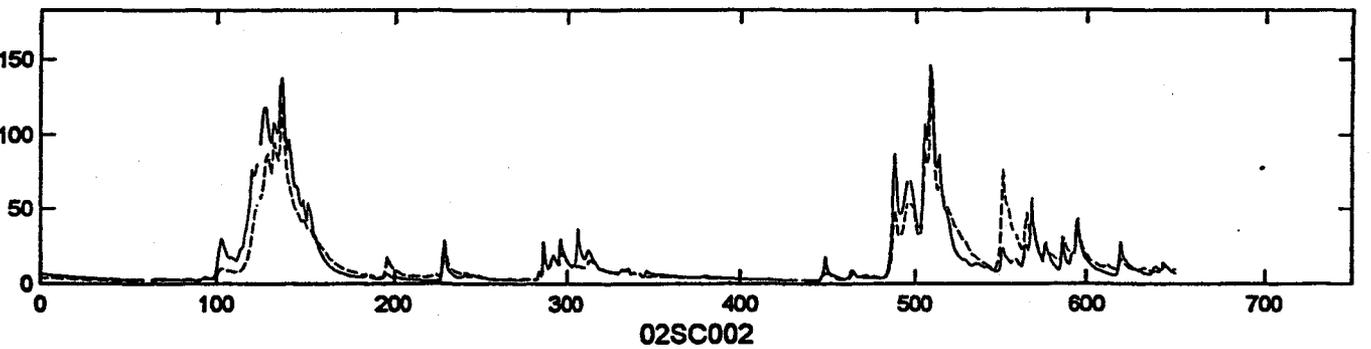
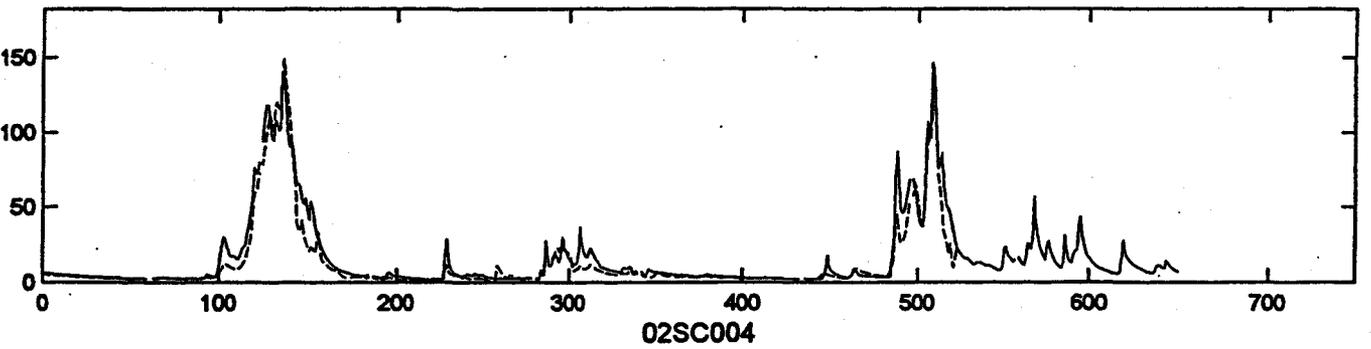
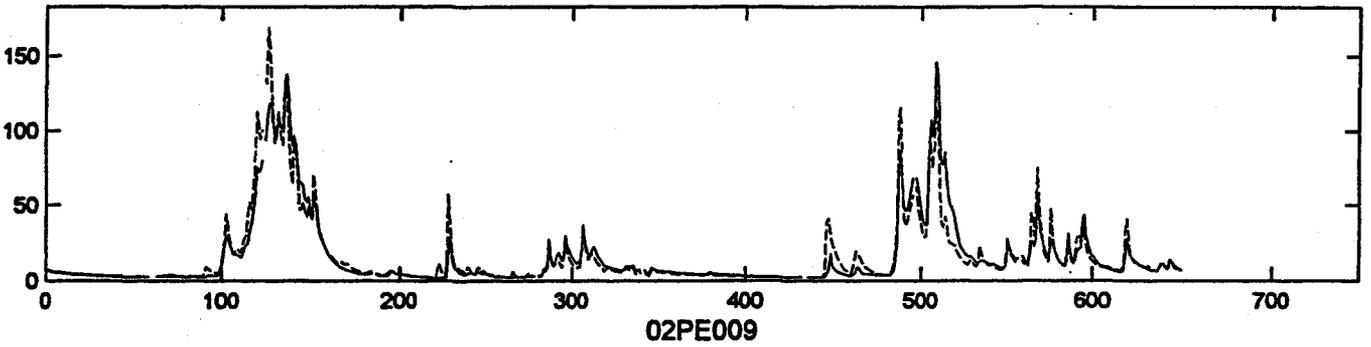
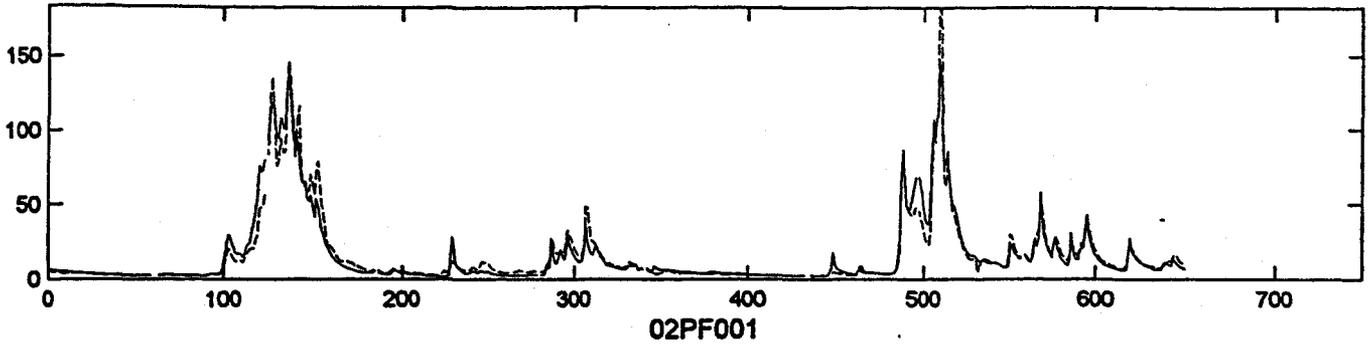
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PF001



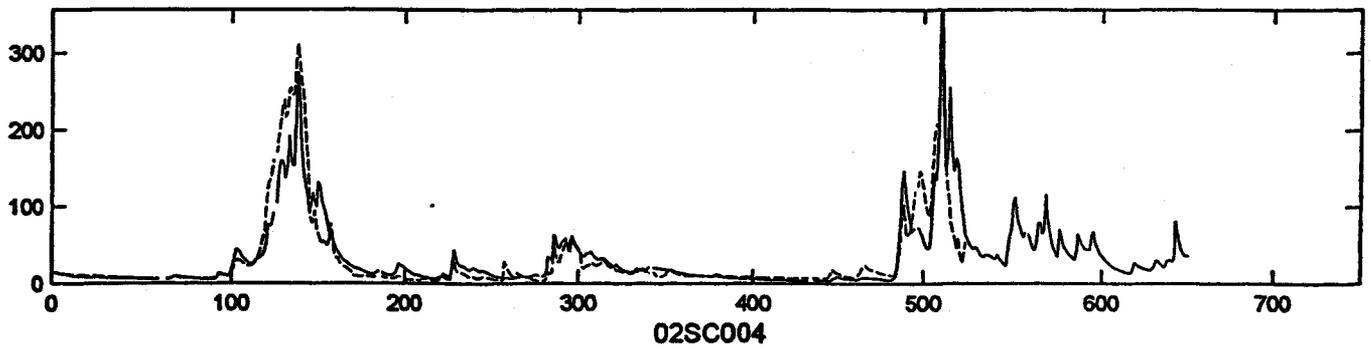
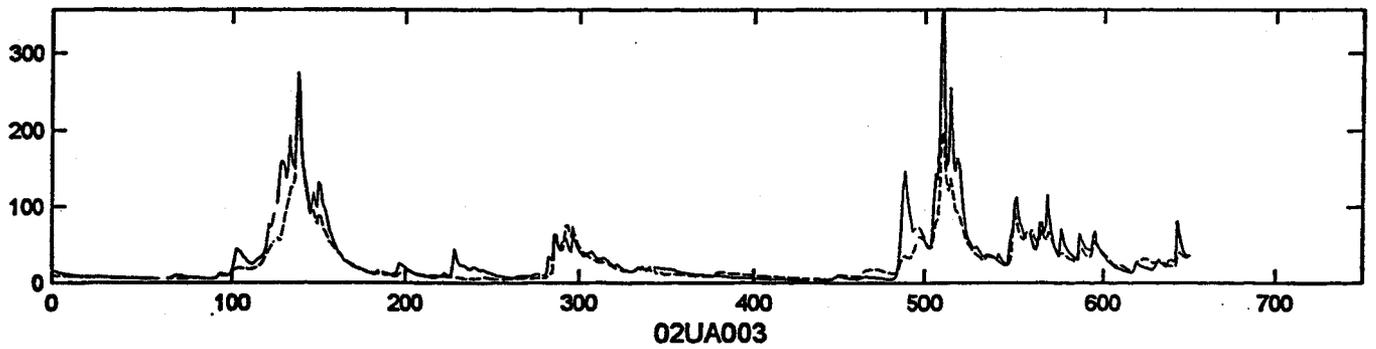
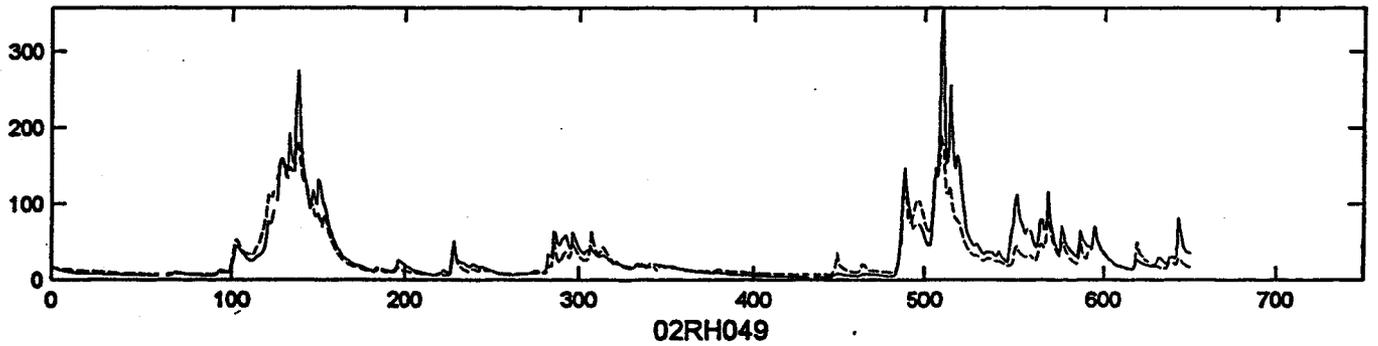
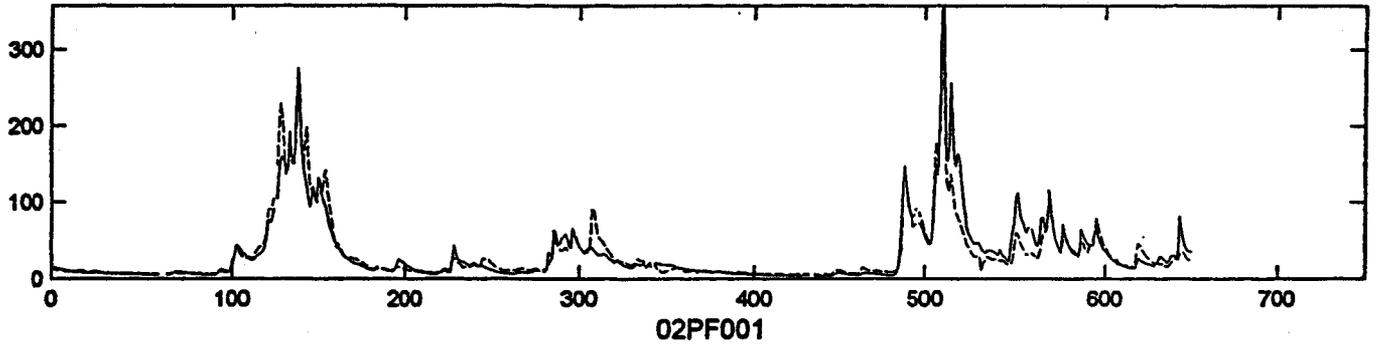
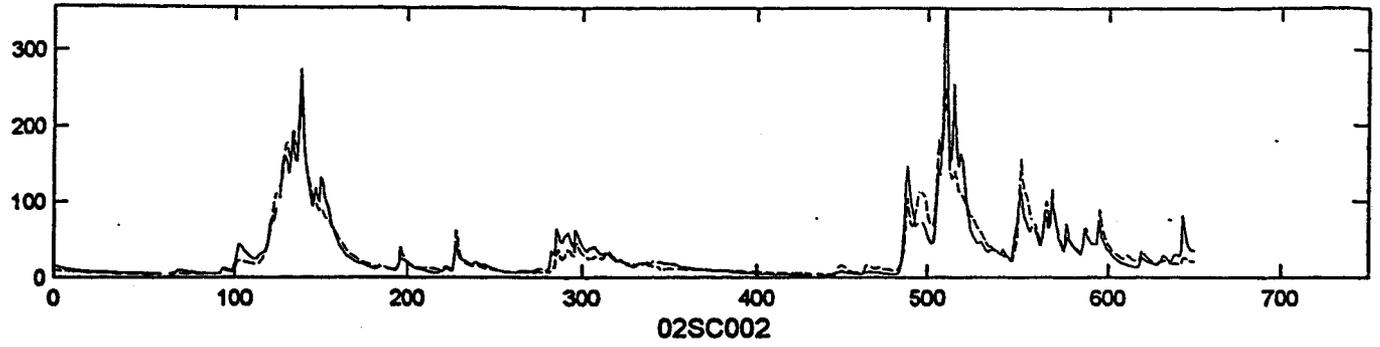
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02PG006



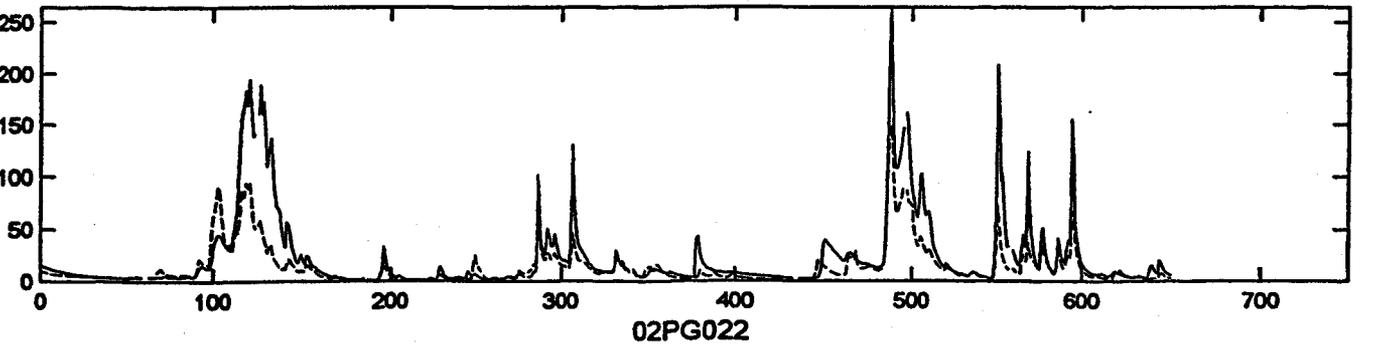
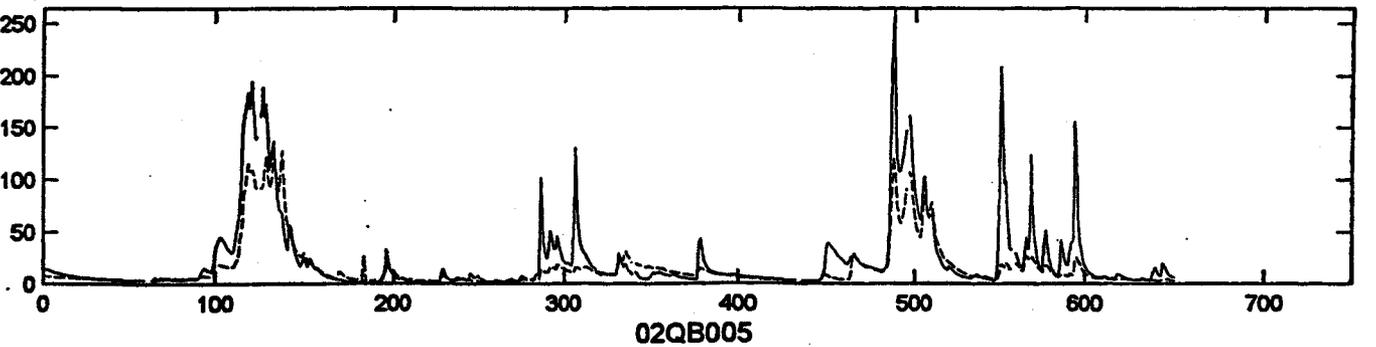
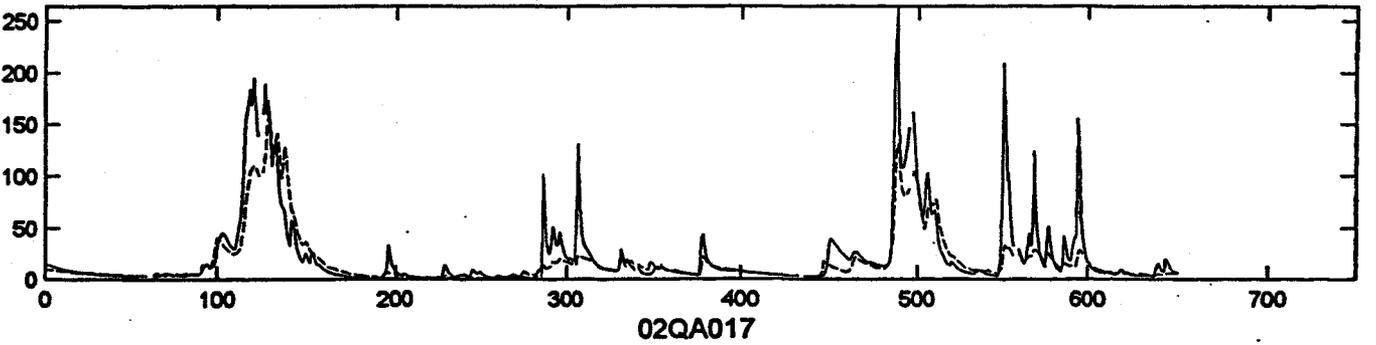
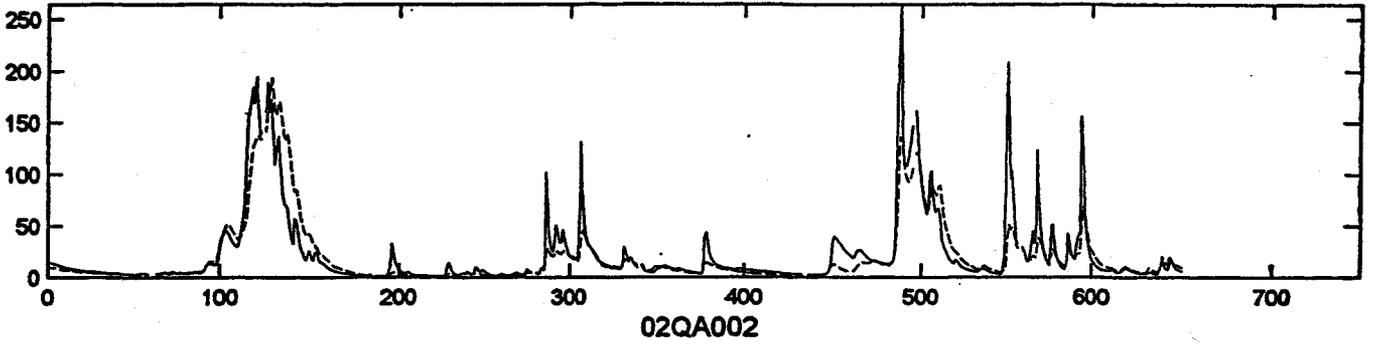
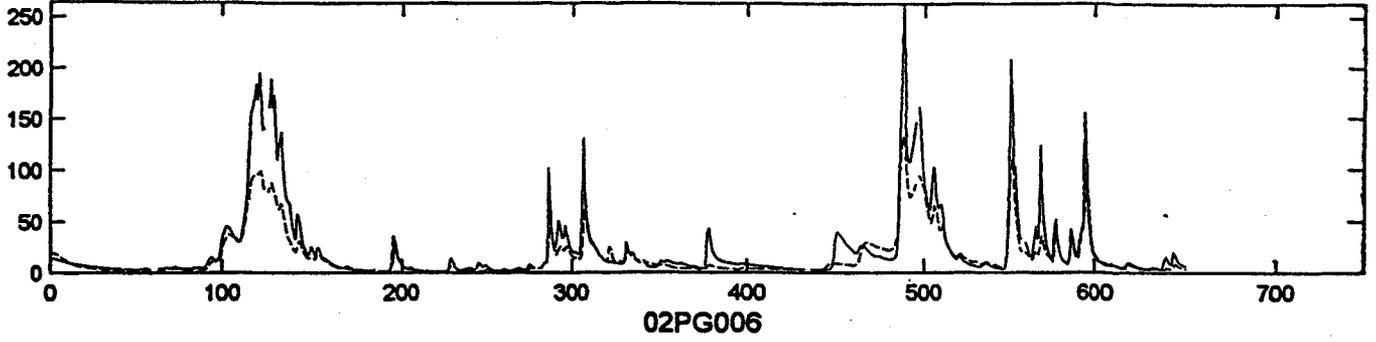
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02RH049



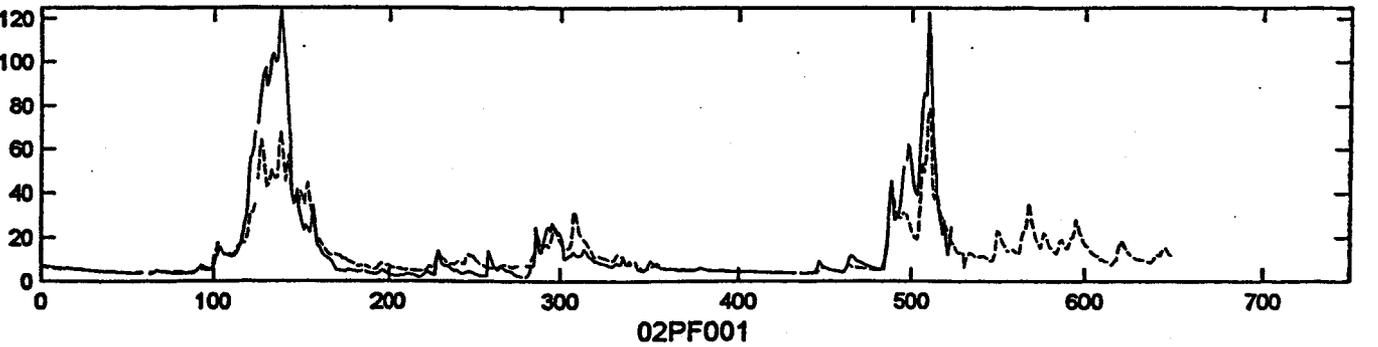
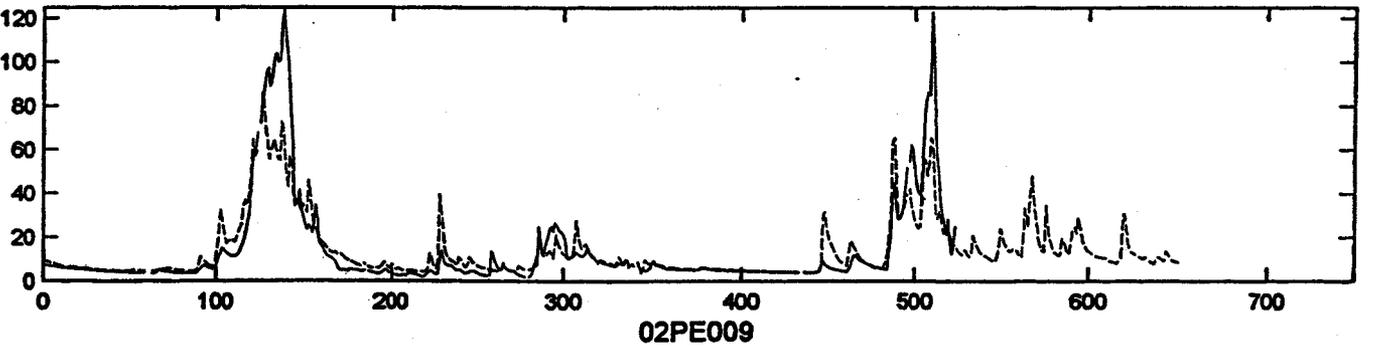
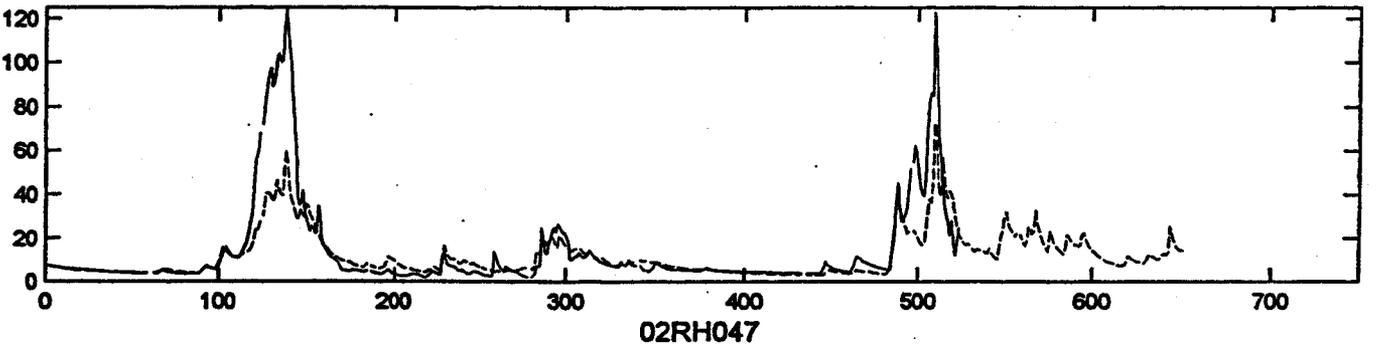
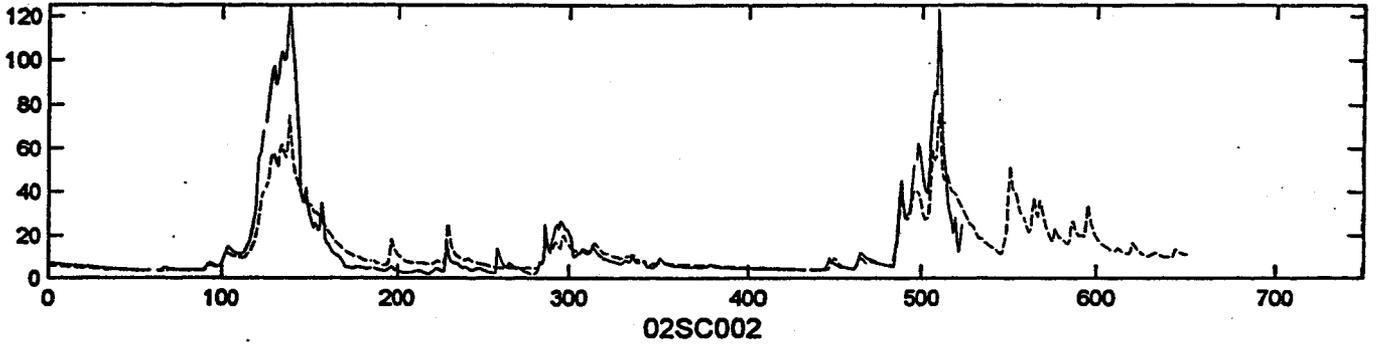
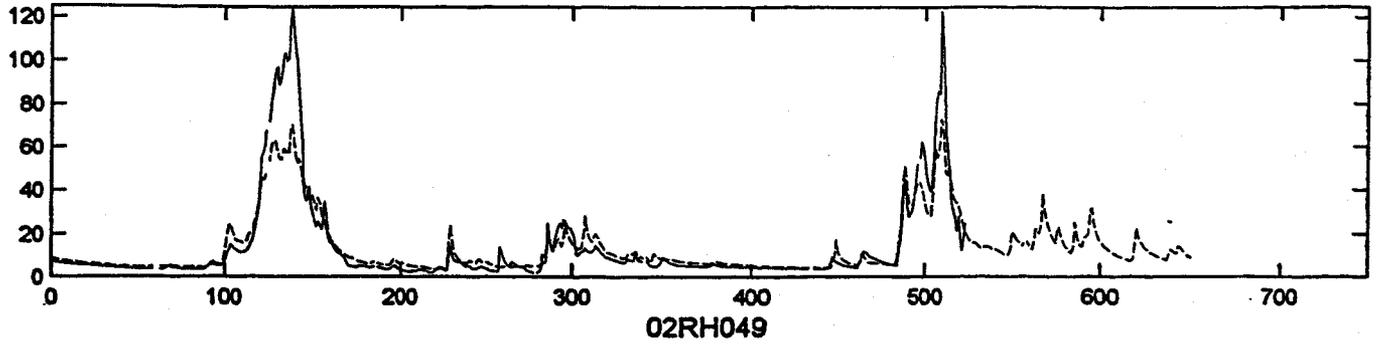
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02RH047



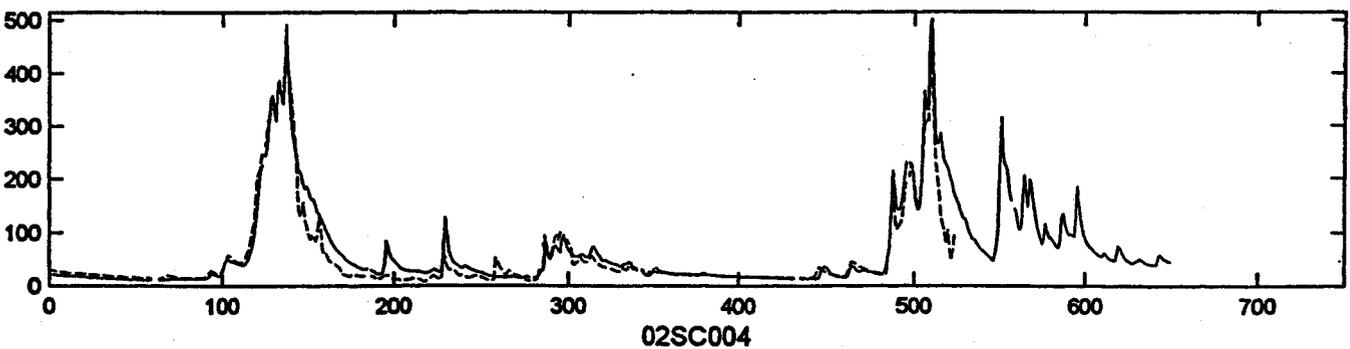
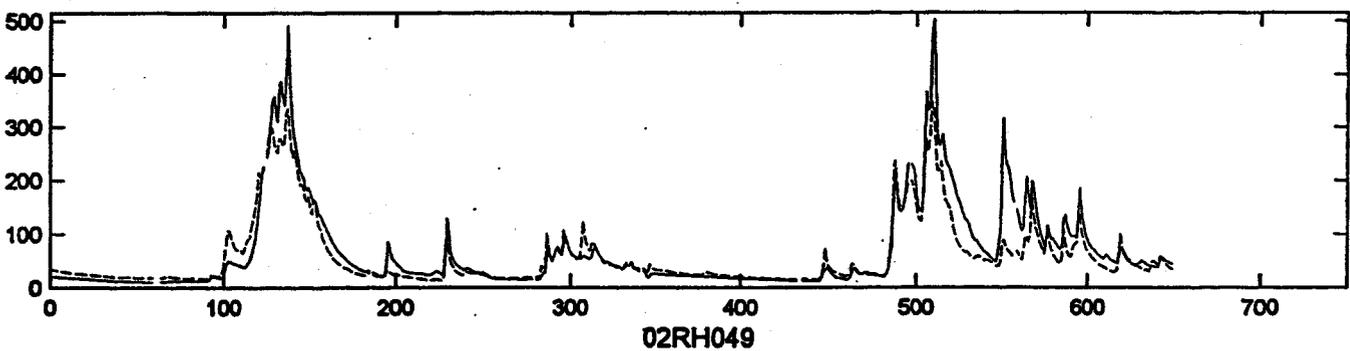
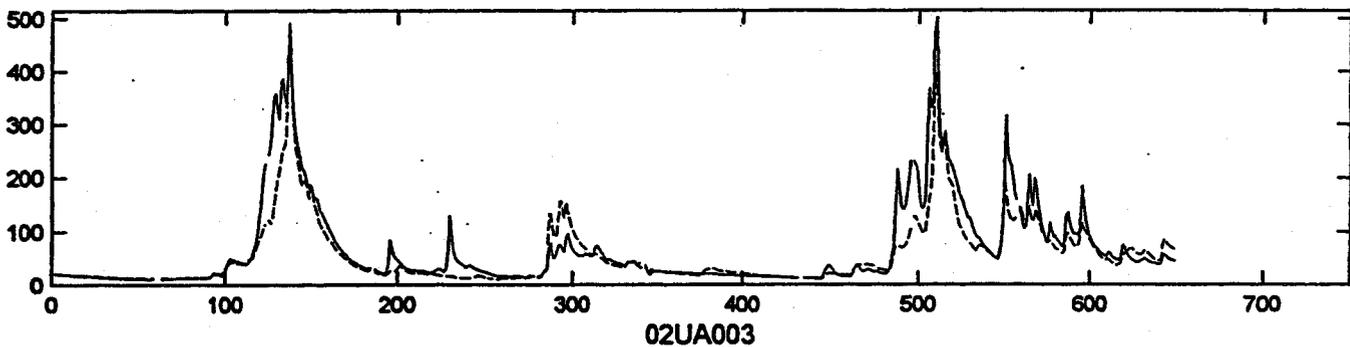
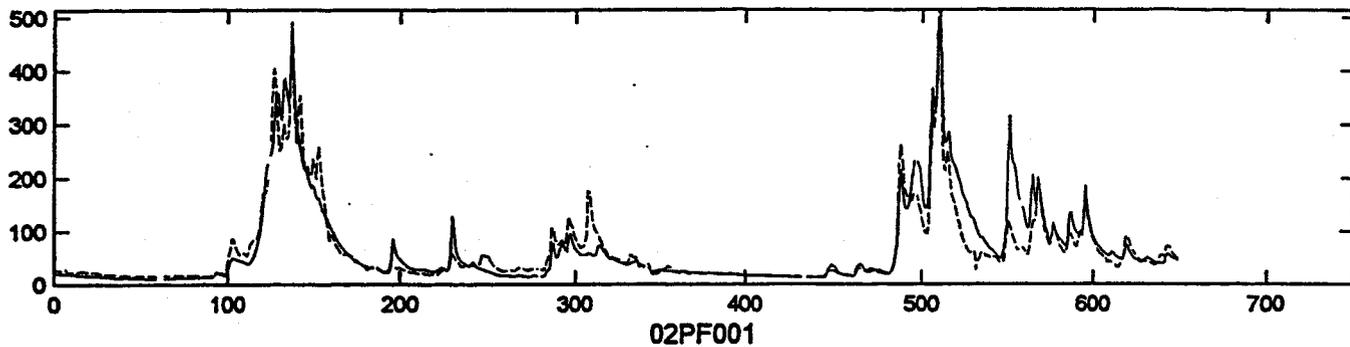
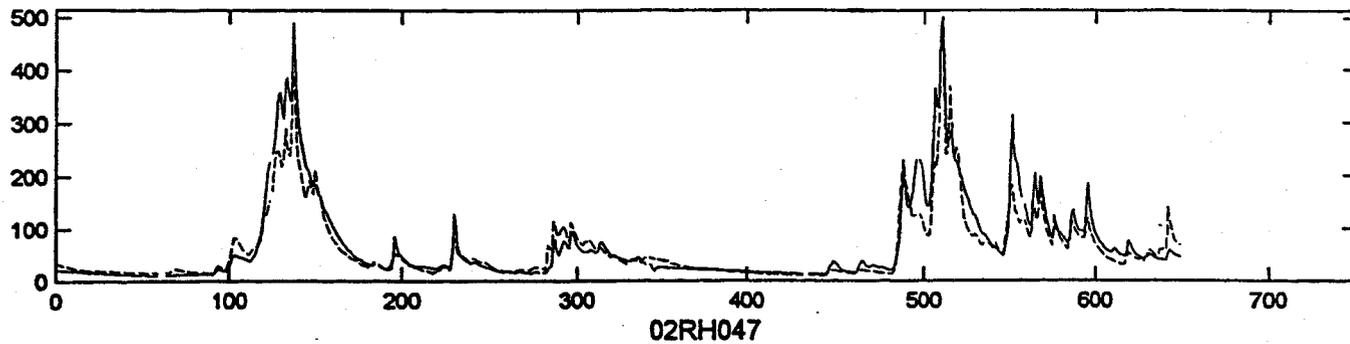
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02QA001



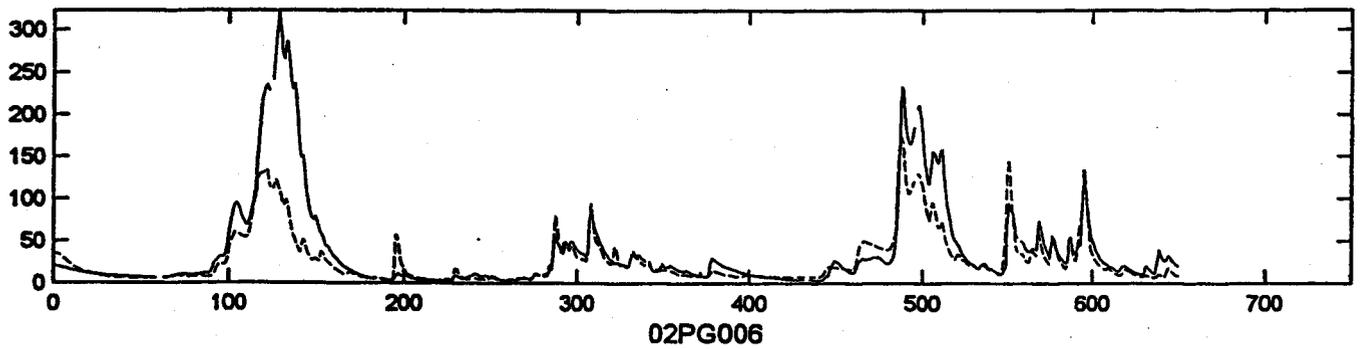
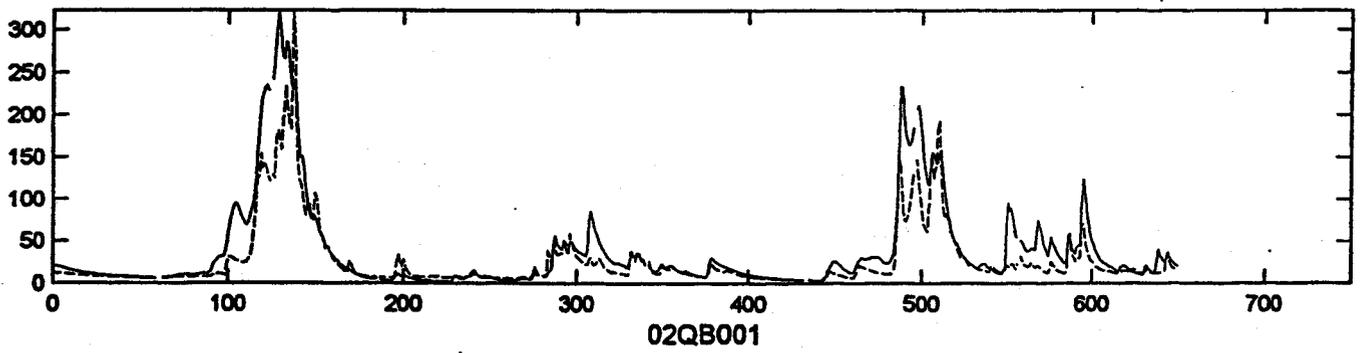
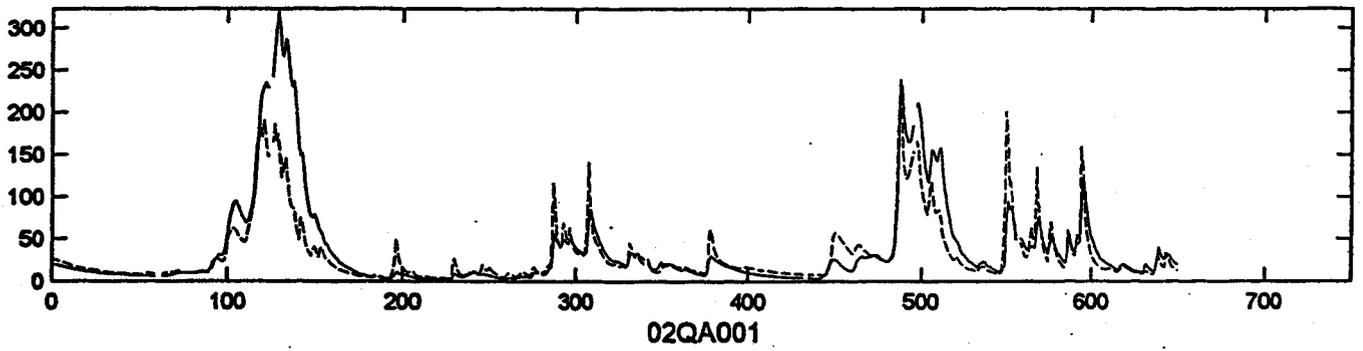
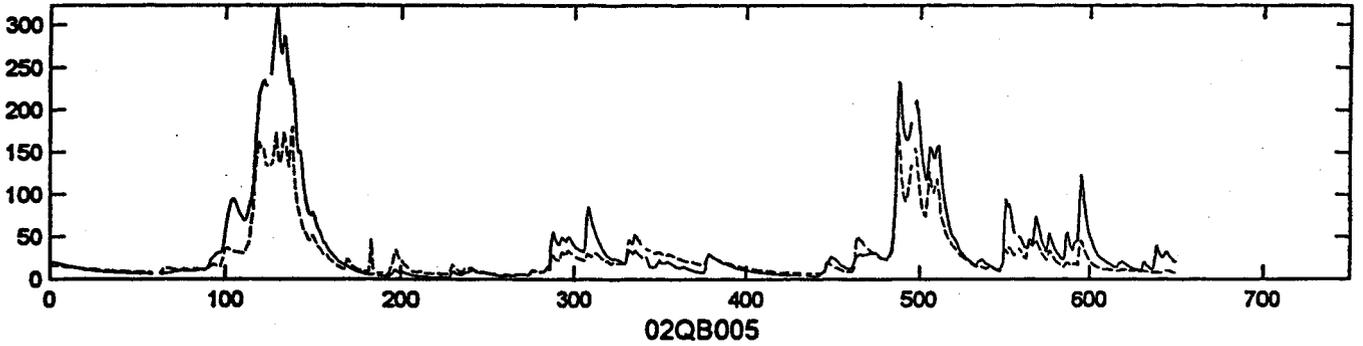
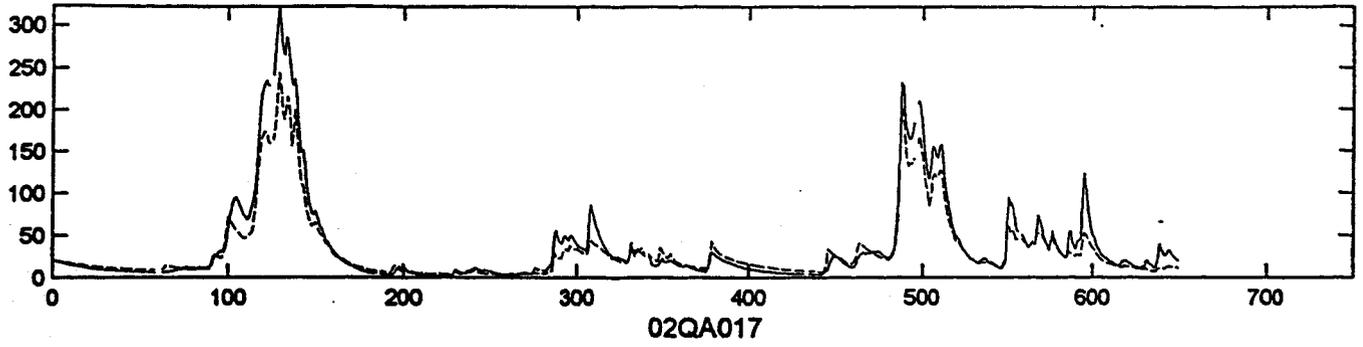
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02SC004



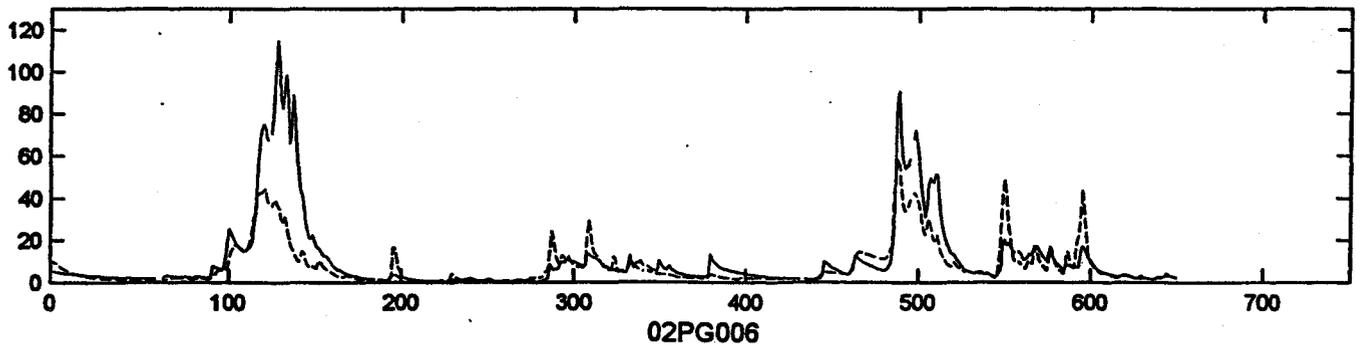
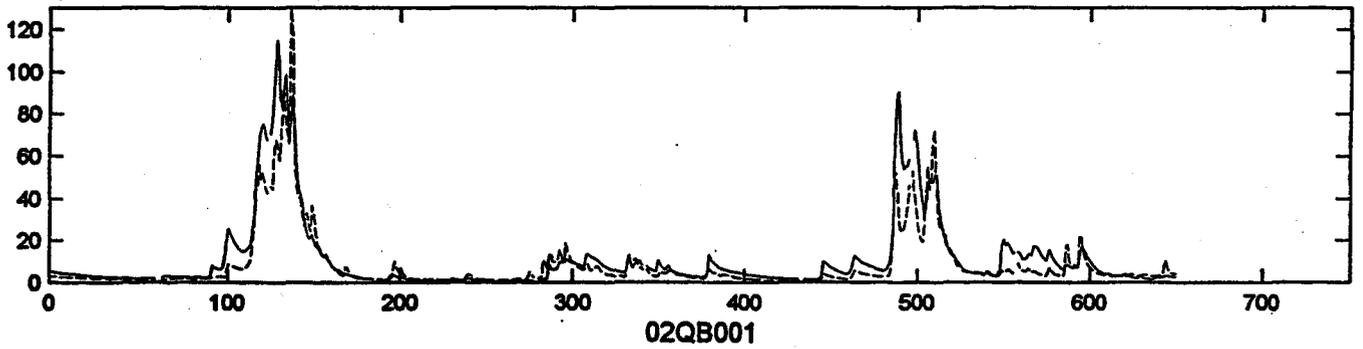
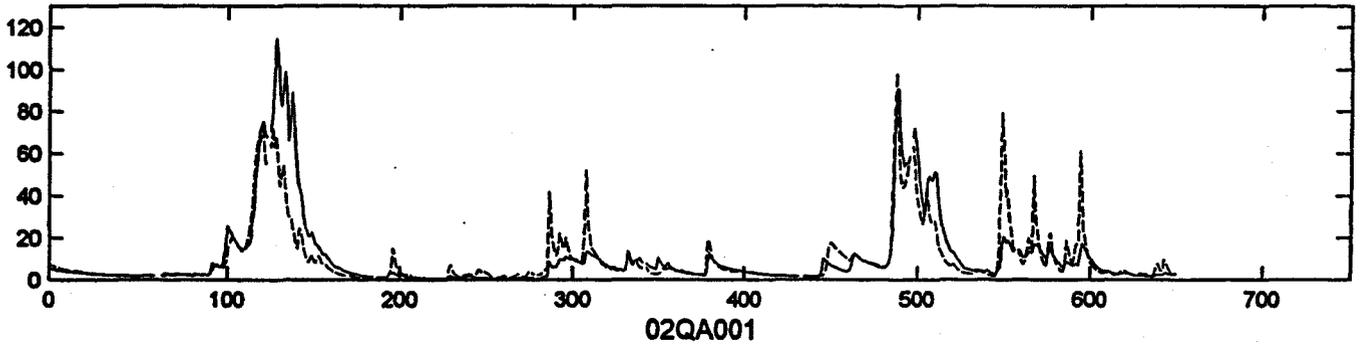
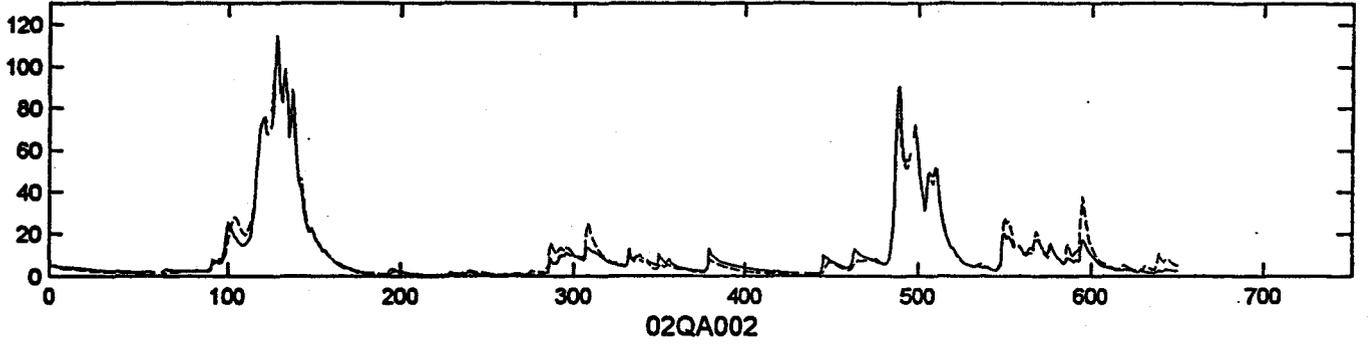
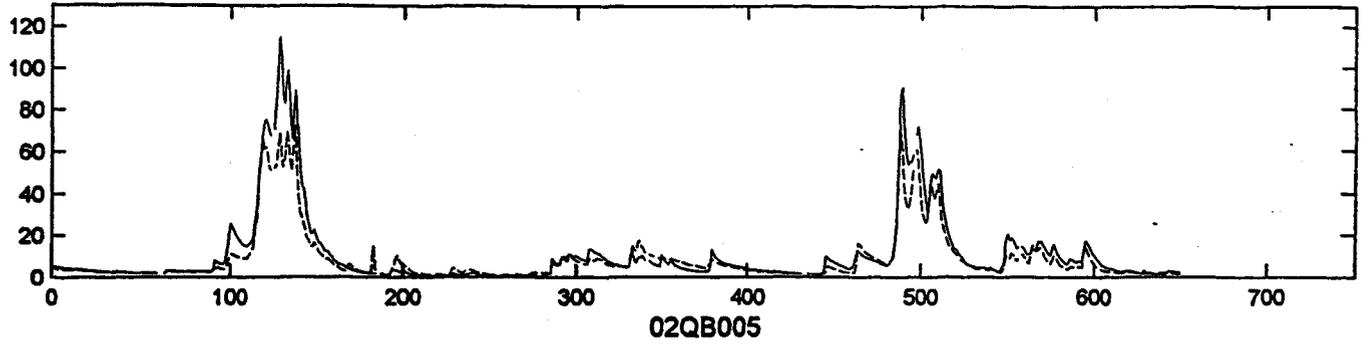
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02SC002



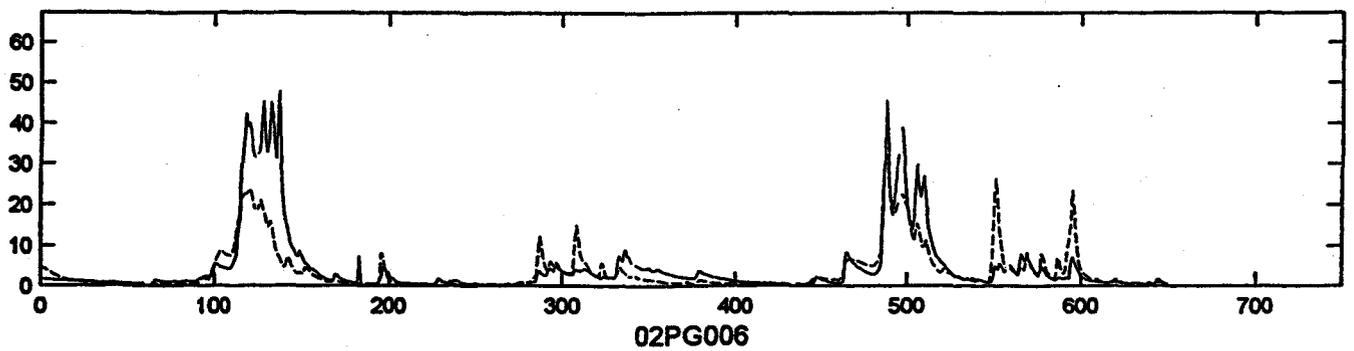
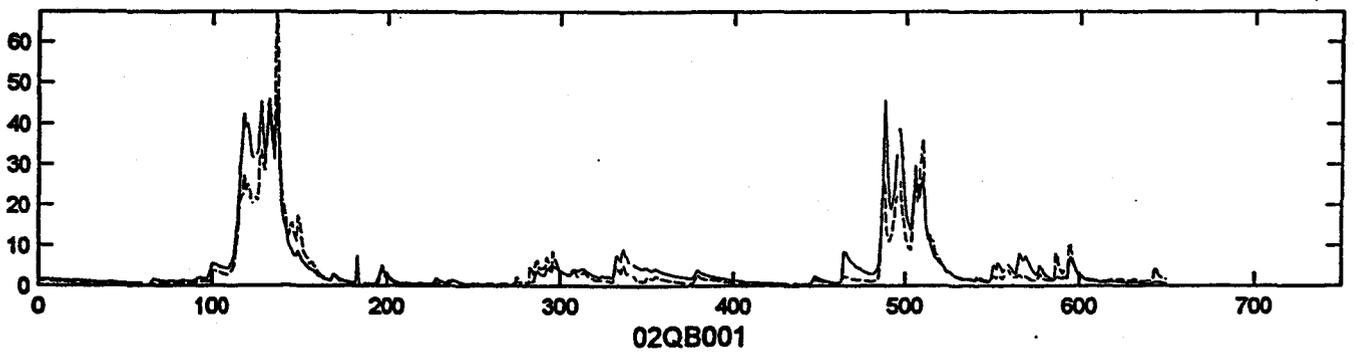
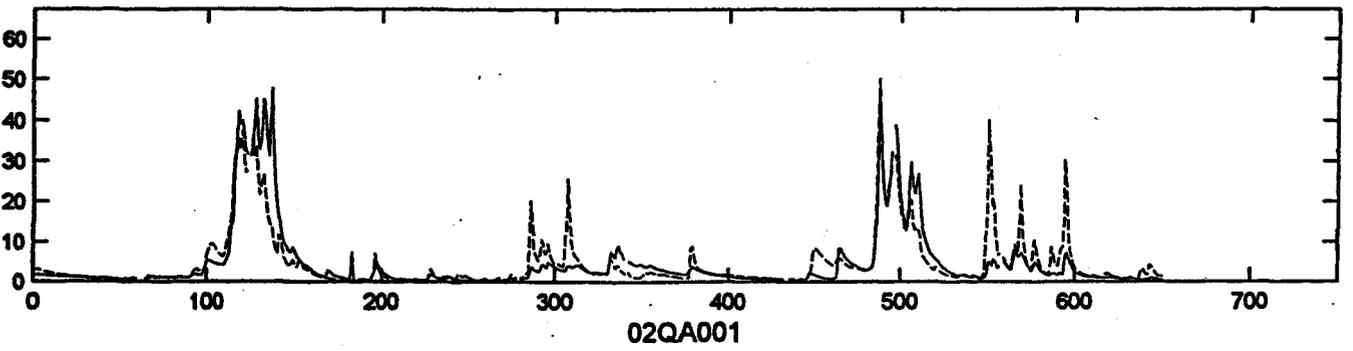
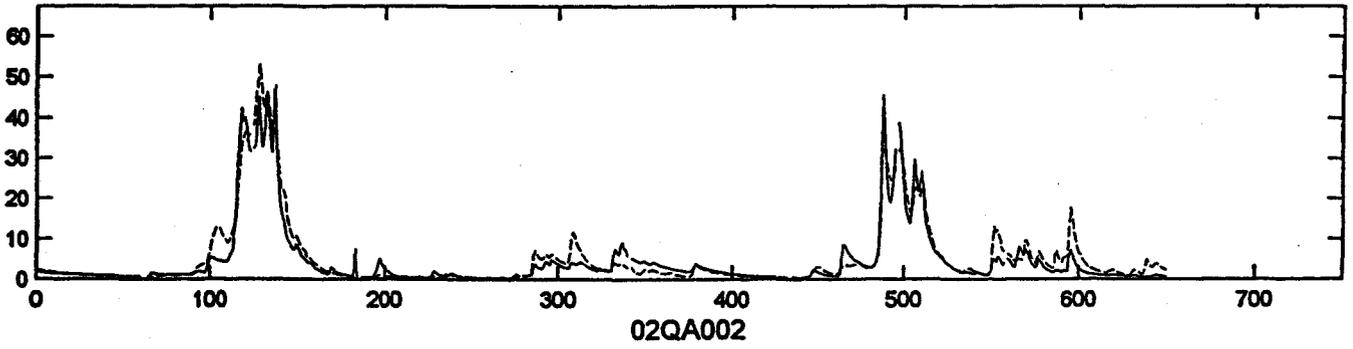
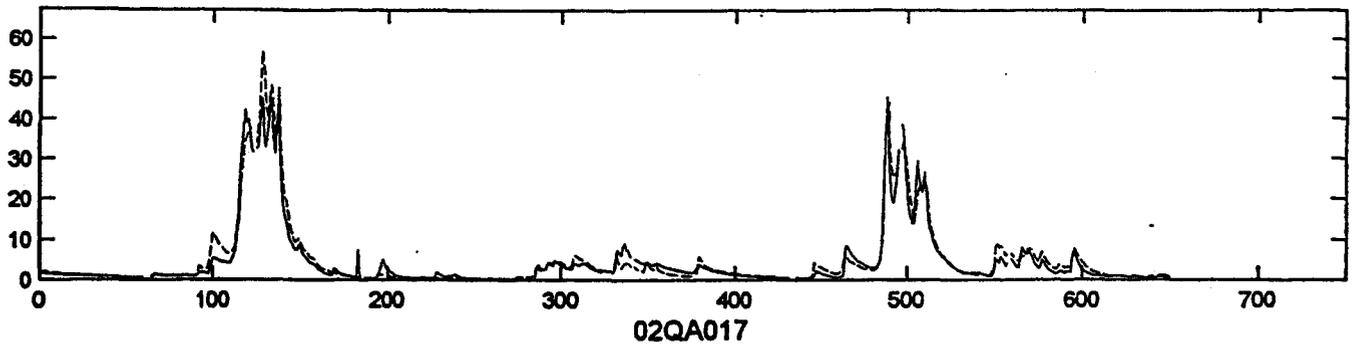
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02QA002



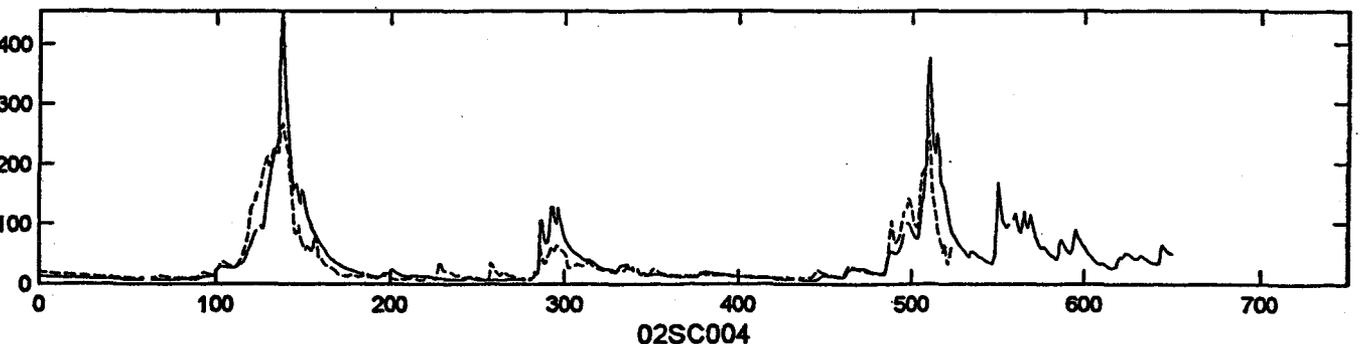
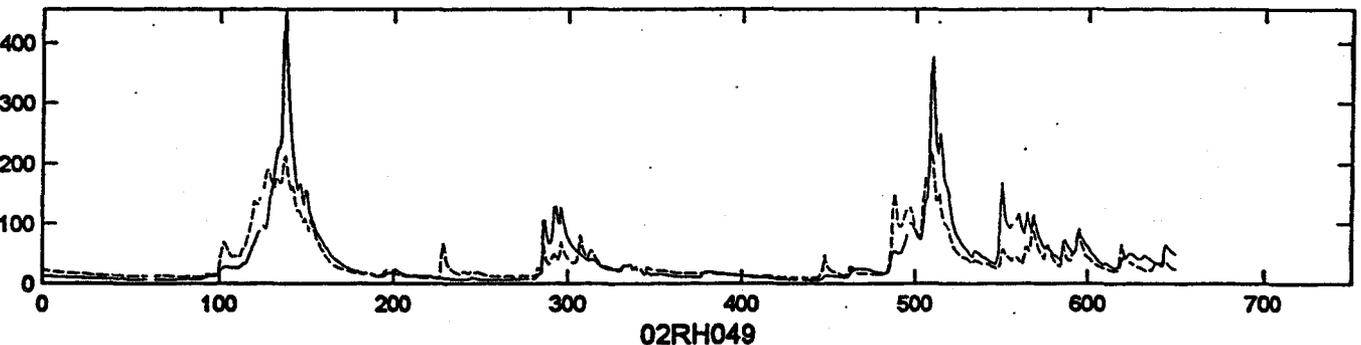
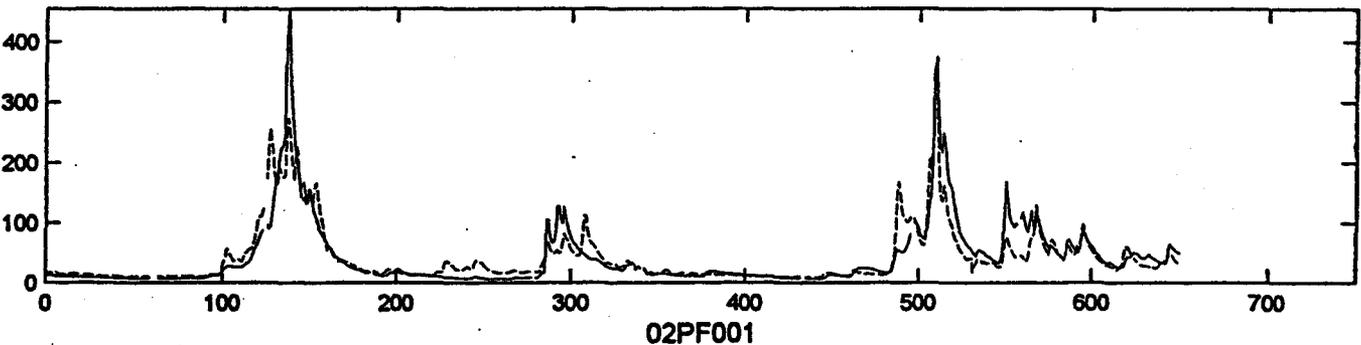
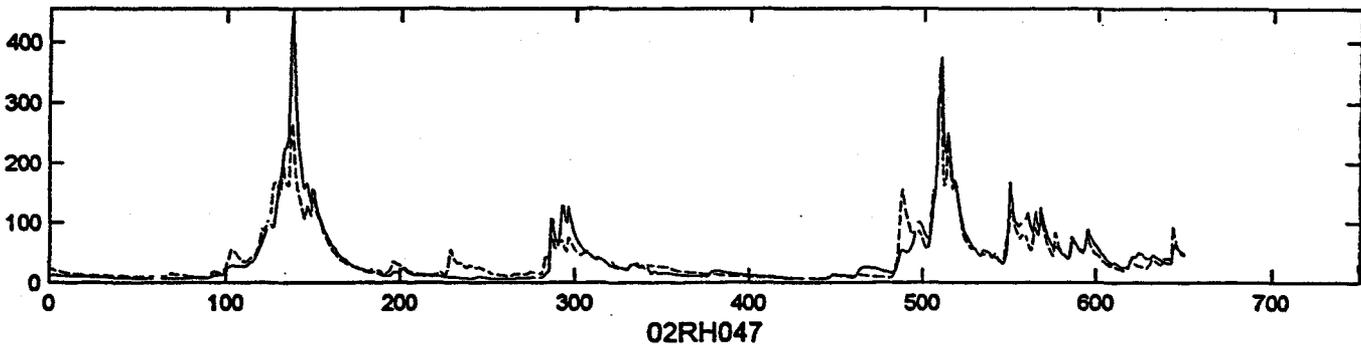
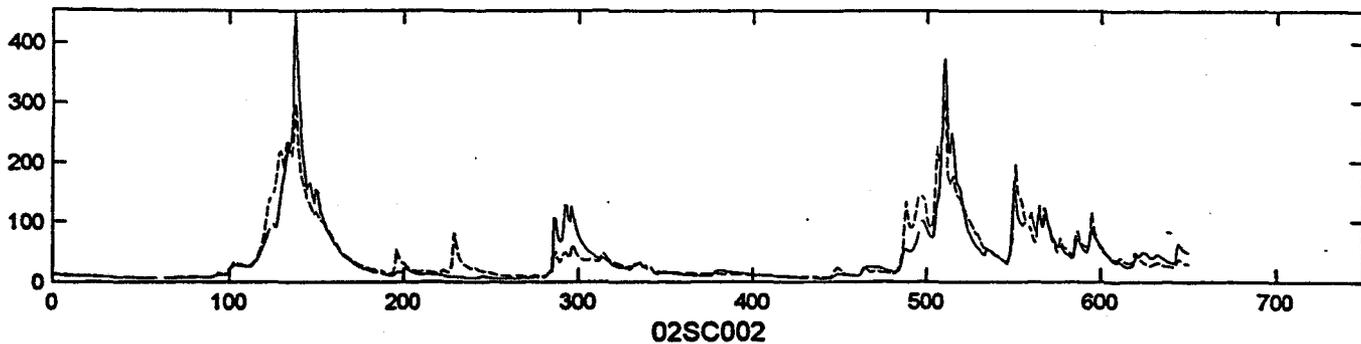
Observed and predicted flows (1991-92) at station 02QA017



Observed and predicted flows (1991-92) at station 02QB005



Observed and predicted flows (1991-92) at station 02UA003



Observed and predicted flows (1991-92) at station 02QB001

