

**CHAPITRE 4**  
**CRITIQUE DU MODELE SUR UN PETIT**  
**BASSIN EXPERIMENTAL DE LA CHARENTE :**  
**LE BASSIN DU RUINE**

## CHAPITRE 4

### CRITIQUE DU MODELE SUR UN PETIT BASSIN EXPERIMENTAL DE LA CHARENTE : LE BASSIN DU RUINE

#### Introduction

Les travaux antérieurs de mise au point du modèle ont montré la nécessité de détailler les données liées aux pratiques agricoles et d'approfondir l'étude de certains phénomènes biochimiques (en particulier, la dénitrification dans la rivière ainsi que la production et le transfert des nitrates).

Le modèle de base a été développé et validé sur le bassin de Mélarchez, sous-bassin du Bassin Versant Représentatif Expérimental (BVRE) de l'Orgeval (Seine-et-Marne), où il a bien reproduit le débit et la concentration en nitrates à l'exutoire. Cependant, malgré la bonne simulation des débits sur les différents sous-bassins de la Charente et sur certaines stations intermédiaires, les valeurs calculées pour les nitrates étaient encore trop éloignées des valeurs observées. Plusieurs facteurs ont été mis en cause. On peut citer, entre autres, les différences géophysiques et climatiques entre les bassins étudiés, le manque de données concernant les pratiques culturales et la faible fréquence des mesures de qualité des eaux.

Dans ce chapitre, on présente les démarches effectuées pour critiquer le modèle de qualité des eaux en l'utilisant sur un nouveau sous-bassin versant expérimental de la Charente, le bassin du Ruiné, dont le suivi a été mis en oeuvre à partir du 1<sup>er</sup> octobre 1990. Sur ce bassin, on dispose de données plus détaillées et notamment de mesures de qualité beaucoup plus fréquentes que sur les autres sous-bassins de la Charente.

## 4.1 Présentation du bassin versant expérimental du Ruiné

Le Ruiné est un petit affluent du Né, long d'environ 6,5 km. Le bassin versant concerne 3 communes (Aubeville, Blanzac et Péreuil). La surface totale du bassin est de 5,5 km<sup>2</sup> (projection plane) avec une surface agricole utile (SAU) d'environ 5,7 km<sup>2</sup>. La pente moyenne est de 1,9%; cependant, le relief est plus accentué sur le versant Nord où la pente peut dépasser 12% (du ruisseau à la ligne de crête) et au Sud où les pentes approchent parfois 15% sur environ 200 mètres du cours du ruisseau (direction NO-SE à NNE-SSO). Le bassin du Ruiné fait partie du réseau des "BVRE" (Bassin Versant de Recherche Expérimental), avec pour thématique principale l'étude des pollutions d'origine agricole.

### 4.1.1 Géologie et Pédologie

La structure géologique du secteur est, pour l'essentiel, du Campanien 1 à 3, biozones 1 à 5 (environ 320 ha). On observe également des alluvions et colluvions bordant le lit du Ruiné (60 ha) et des argiles à débris silicifiés (figure 4.1). Sur le Campanien et sur les colluvions et alluvions, le sol est une rendzine typique, plus humifère en fond de vallée que sur les coteaux. Sur les pentes du Campanien 2, le sol est quasiment absent, ce qui donne un faciès de "landes". Sur les bordures hautes du tiers Est du bassin, on observe des argiles brun-verdâtres qui ont donné naissance à des sols bruns riches en rognons siliceux (terres de bois). Ces terres ont été récemment défrichées et mises en culture de vignes, céréales et oléagineux.

Au plan hydrogéologique, le Campanien comporte de niveaux peu perméable (marnes) mais poreux (porosité totale entre 15 et 25%). Il constitue donc un réservoir très important. L'alternance de niveaux plus ou moins perméables explique l'existence de sources de faible débit au flanc des vallées. La réserve en eau du sol ne peut être très forte compte tenu de sa faible épaisseur, mais elle est complétée par l'apport de la roche mère qui joue le rôle de réservoir dont l'influence est considérable. Le bilan hydrogéologique du bassin du Né (débits variant de 0,11 à 2,7m<sup>3</sup>/s) montre qu'il existe une infiltration profonde assez conséquente (6,5% des précipitations, représentant une lame d'eau de 50 mm) qui témoignerait d'un phénomène de drainage vers des formations aquifères plus profondes.

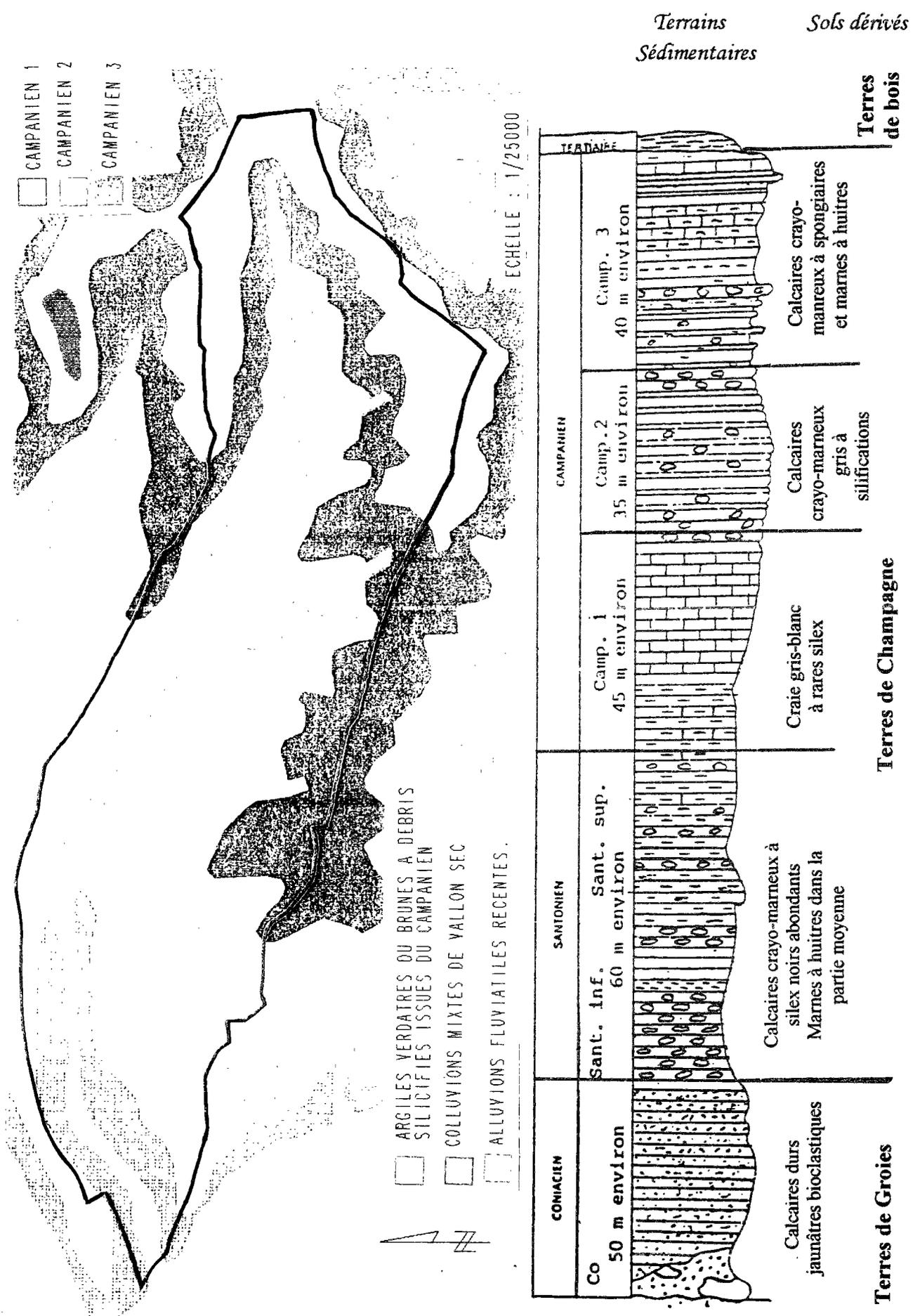


Figure 4.1 Carte géologique du BVRE du Ruiné et superposition stratigraphique des terrains de la région de Champagne de Blanzac

Une première étude géologique effectuée par le BRGM (1988) montre qu'il existe une couche imperméable à moins de 6 m du niveau du sol. Ainsi, le réservoir profond (*G*) ne contribue pas au débit total à l'exutoire. D'autre part, on observe que la variation de la pluie n'entraîne pas forcément de variations immédiates sur le débit. Une étude plus récente (BGRM; septembre 1994) montre que le fonctionnement hydrologique du bassin présente un comportement bien différencié géographiquement, en relation avec les variations lithologiques des formations géologiques. Dans la partie amont, la nature du sous-sol ne permet pas le transfert des eaux infiltrées vers un aquifère profond. Le lit du ruisseau constitue le niveau de base des eaux souterraines. Par contre, dans la partie aval, la perméabilité du sous-sol permet l'infiltration des eaux en profondeur, le lit du ruisseau ne constituant plus le niveau de base des eaux souterraines.

L'étude des débits spécifiques du bassin montre que le débit total est deux fois moindre que celui mesuré dans sa seule partie amont, représentant près de la moitié de la superficie totale (2,57 km<sup>2</sup> sur 5,50 km<sup>2</sup>). Cette même étude a permis de contrôler les prélèvements par irrigation (10 l/s), jusqu'alors considérés comme négligeables. Compte tenu des conditions de sécheresse, de la nature des cultures irriguées (maïs) et de la distance point d'arrosage-cours d'eau, on peut estimer qu'il s'établit un régime de prélèvement permanent, sans retour d'eau vers le ruisseau.

#### 4.1.2 Climat

La pluie, sur le bassin du Ruiné, est mesurée en deux endroits à l'aide d'un pluviographe et d'un pluviomètre. Ces données sont complétées par celles obtenues sur deux autres pluviomètres situés à proximité du bassin, à Blanzac et Barbezieux. La pluviométrie utilisée sur le Ruiné sera en fait la moyenne des mesures recueillies sur les quatre stations. L'évapotranspiration potentielle (ETP) n'est pas mesurée sur le Ruiné ni sur des stations proches. Le climat sur le Ruiné étant comparable à celui de Cognac, c'est-à-dire assez ensoleillé (environ 2000 heures d'insolation par an), l'ETP considérée dans notre étude est celle fournie par le service météorologique de Cognac.

L'ETP à Cognac (806,5 mm) et la pluviométrie annuelle moyenne obtenue sur le Ruiné (848 mm) sont du même ordre de grandeur. La figure 4.2 qui présente les données recueillies à Blanzac (pluie) et Cognac (ETP) sur une longue période (20 ans) met en évidence le déficit hydrique qui existe pendant la période d'avril à septembre.

Le tableau 4.1 présente la pluviométrie enregistrée sur le bassin du Ruiné et le tableau 4.2 indique les températures moyennes mensuelles observées à la station climatologique de Barbezieux pour la période d'étude. Il faut remarquer que la variation pluviométrique du bassin du Ruiné est très importante d'une année à l'autre. Il est intéressant de noter que, en moyenne, les mois d'avril et juin ainsi que les mois d'automne (septembre à novembre), se situent parmi les mois les plus humides et que les mois d'hiver (décembre à mars) se trouvent parmi les plus secs. Cependant, ces observations correspondent à une période de temps assez limitée. En effet, si on les compare avec les valeurs pluviométriques mensuelles moyennes de la station de Blanzac (figure 4.2), on observe que les mois d'hiver sont les plus humides (octobre à janvier).

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	132	112	58	-
1991	67	49	41	79	35	107	57	18	134	83	108	38	816
1992	26	27	56	52	27	128	55	140	56	116	115	82	880
1993	20	3	7	115	90	89	49	54	193	148	21*	-	-
Moy	38	26	35	82	51	108	54	71	128	120	112	59	848

\* : pluies observées jusqu'au 22 novembre

Tableau 4.1 Pluviométrie sur le bassin versant du Ruiné, en mm

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,5	9,0	3,5	-
1991	5,1	3,6	10,4	9,8	13,4	15,9	20,2	22,0	19,6	11,7	8,5	4,8	12,1
1992	3,1	5,8	8,8	10,2	16,3	17,2	19,9	20,4	15,9	10,9	11,3	6,9	12,2
1993	7,2	5,0	8,7	10,8	15,0	18,6	18,4	19,5	15,4	11,5	6,0	-	-
Moy	5,1	4,8	9,3	10,3	14,9	17,2	19,5	21,2	17,0	12,2	8,7	5,1	12,2

Tableau 4.2 Températures moyennes mensuelles, en °C

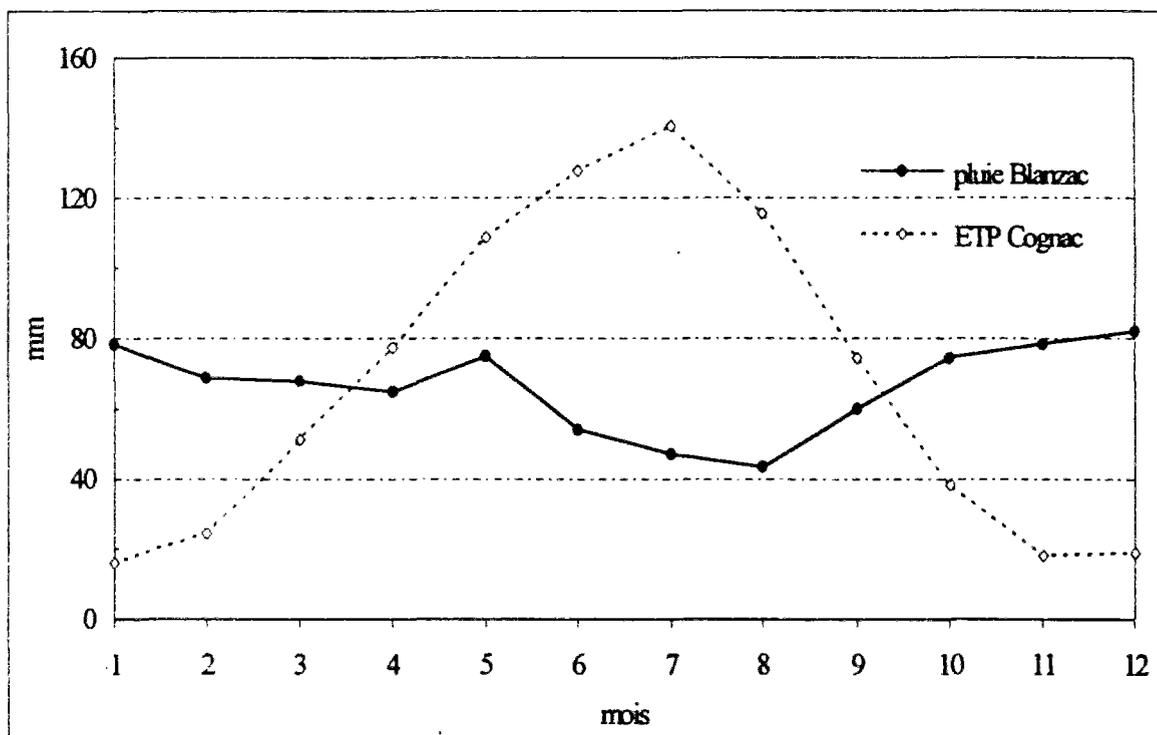


Figure 4.2 Pluviométrie et ETP moyennes sur le bassin du Ruiné

#### 4.2 Les données hydrologiques

Le Ruiné présente une période d'assec annuel observée entre les mois de juillet et octobre, raison pour laquelle il a été décidé de considérer des périodes hydrologiques d'étude allant d'octobre à septembre. Ce mode de découpage permet, en même temps, d'intégrer l'étude des pratiques agricoles.

La variation du débit pendant la période d'étude s'est avérée très importante (Tableau 4.3). En effet, on observe un débit moyen de 18,5 l/s avec un assèchement ou un très faible débit pendant l'été. Il est intéressant de noter que les débits moyens observés en novembre et décembre 1992 sont particulièrement élevés, avec deux crues exceptionnelles assez rapprochées (17/11/92–pic de crue : 250 l/s; 7/12/92–pic de crue : 650 l/s). Il est également important de rappeler que la géologie du secteur confère au bassin une capacité de réserve en eau très importante, facteur qui pourrait expliquer la forte variation des débits à pluviométrie équivalente.

D'autre part, le suivi d'un nouveau bassin versant expérimental nécessite un délai minimal pour pouvoir obtenir des données fiables. Ainsi, les lacunes de données, surtout au début de la période d'étude, sont dues aux problèmes liés à l'installation de la station hydrométrique.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
1991	-	-	19,5	7,6	12,3	15,9	1,4	0,0	0,0	0,2	23,8	15,6
1992	16,1	11,6	8,9	16,1	6,0	5,3	7,8	4,8	5,1	12,6	105,5	131,5
1993	21,2	13,9	10,3	16,0	18,0	18,9	8,1	0,6	25,0	117,5	117,5	-

Tableau 4.3 Débits mensuels, en l/s

### 4.3 Les concentrations en nitrates

Les concentrations en nitrates sont mesurées sur des échantillons instantanés prélevés de deux façons différentes : soit une ou deux fois par semaine manuellement, soit à pas de temps beaucoup plus fin pendant les crues importantes, à l'aide d'un préleveur automatique (de 20 minutes à quelques heures d'intervalle).

#### 4.3.1 Relation concentration/débit

L'examen des relations concentration/débit, même s'il néglige les facteurs d'apports et de rétention, est un moyen simple d'obtenir un premier aperçu de la dynamique de lessivage, surtout de façon comparative avec d'autres bassins.

Sur les trois années d'observations, la variation des débits est trop importante par rapport à la variation de la concentration en nitrates pour établir une relation valable pour l'ensemble des données. En effet, le débit, pour la période 91-92, varie de 0 à 60 l/s et pour la période 92-93, il varie de 0 à 650 l/s. Ainsi, il apparaît que l'année hydrologique 91-92 est particulièrement sèche tandis que la suivante est assez humide et, en conséquence, le comportement des nitrates est complètement différent.

Pour la première période on observe que les concentrations en nitrates sont assez homogènes et se situent en général entre 20 et

40 mg/l. Pour la deuxième période, elles varient de 10 à 60 mg/l. L'année 90-91 présente des lacunes très importantes car les concentrations en nitrates n'étaient pas mesurées de façon très régulière. Pour cette première période, on compte seulement une quarantaine de données de qualité des eaux.

Divers auteurs (Hall, 1971; Florczyk et Manczak, 1971; Johnson et al, 1979) ont mis en évidence les relations entre les paramètres de concentration en éléments chimiques et le débit d'écoulement. L'appréciation des pertes à l'exutoire d'un bassin ne peut être dissociée d'une recherche des relations entre les concentrations et les débits. La connaissance de ces relations est indispensable surtout pour pouvoir définir les conditions générales du transfert. La figure 4.3 regroupe l'ensemble des données recueillies au cours des trois campagnes et traduit la complexité des phénomènes mis en jeu.

Malgré la grande dispersion des données, on observe clairement un effet de dilution pour  $Q > 200$  l/s. Ceci montre un ruissellement ou du moins un transfert rapide sans enrichissement en nitrates contenus dans le sol. Cette limite de 200 l/s présente un caractère totalement empirique et a été établie avec une faible quantité de données. Cependant, la tentative d'établissement d'une régression aboutit à une valeur très correcte du coefficient de détermination ( $R^2 = 0,80$ ) et une représentation graphique plutôt bonne (figure 4.4). La fonction qui relie la concentration en nitrates ( $C$ ) au débit ( $Q$ ) est la suivante:

$$C = 77,96 e^{-0,0026Q} \quad (4.1)$$

où  $C$  est exprimée en mg/l et  $Q$  en l/s.

Sur la gamme de débits entre 0 et 200 l/s (figure 4.5), divers types de régression ont été essayés donnant des coefficients de détermination très médiocres. Ces résultats montrent, qu'à lui seul, le débit n'est pas suffisant pour expliquer les variations de la concentration et le changement de comportement du bassin. On peut parler, cependant, d'un effet de lessivage soumis à une très grande dispersion.

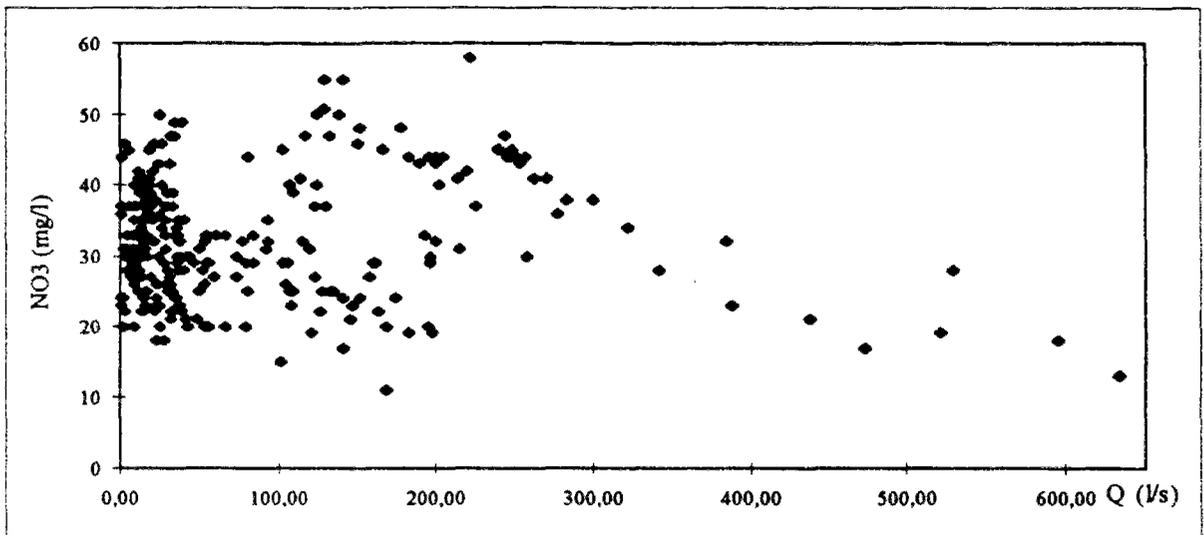


Figure 4.3 Variations des concentrations et des débits sur le bassin du Ruiné.

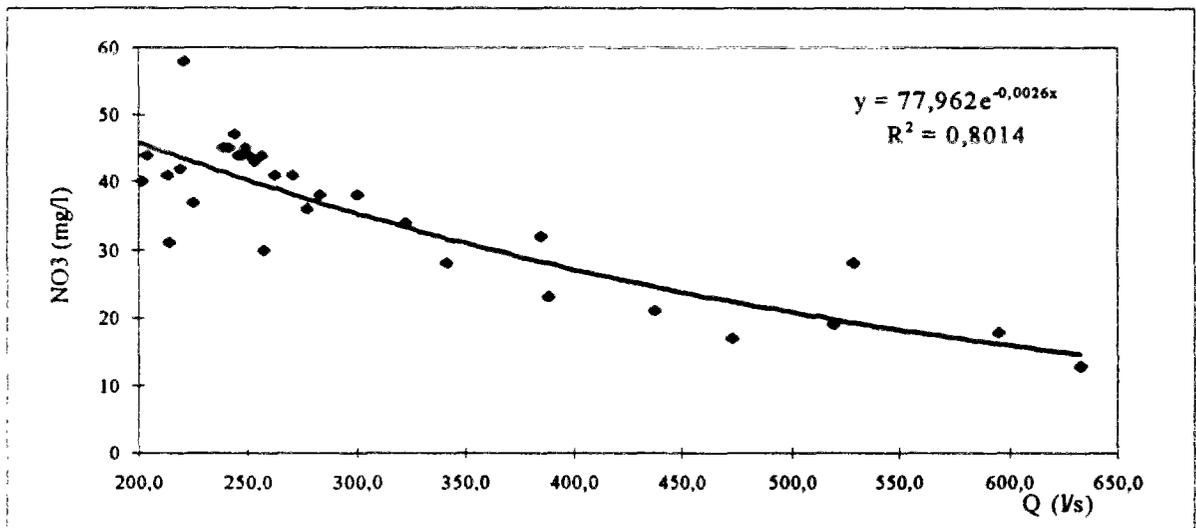


Figure 4.4 Etude élémentaire de la dilution. Octobre 1990 - Novembre 1993.

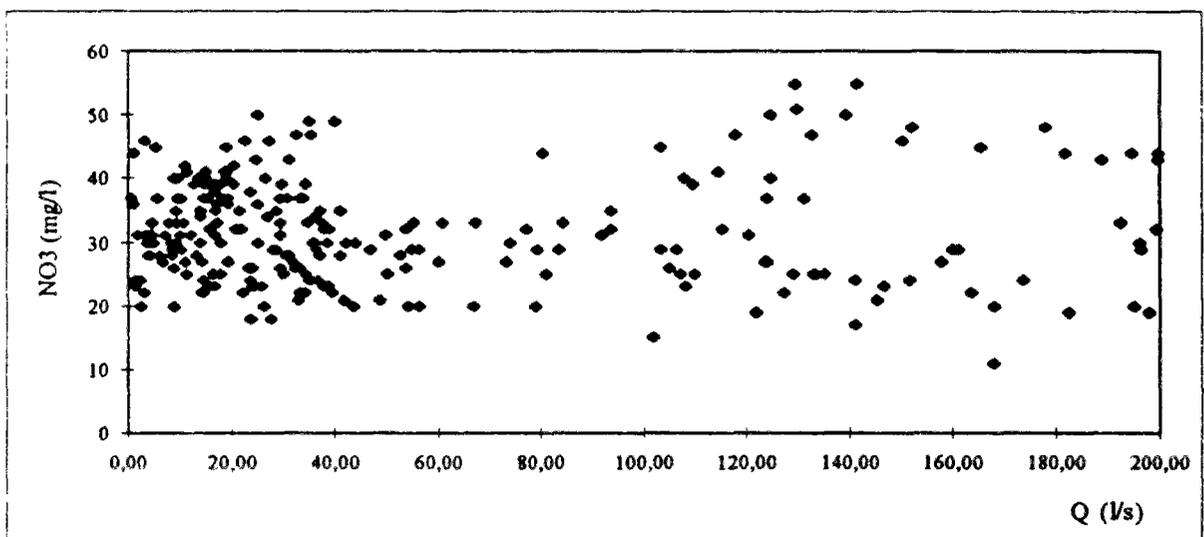


Figure 4.5 Variations des concentrations pour  $Q < 200 \text{ l/s}$ .

### 4.3.2 Etude détaillée des phénomènes de crue

La trop grande variabilité de la concentration ne nous a pas permis de réaliser une synthèse d'ensemble. Cependant, des résultats intéressants ont été mis en évidence par l'étude de quelques crues. L'examen des graphiques présentant la concentration en nitrates en fonction du débit pour les huit crues les plus importantes de la période de suivi permet de détecter un phénomène d'hystérésis sur le bassin. L'étude de ce phénomène découle de la représentation chronologique de la concentration et du débit. A partir de l'observation de ces crues, on observe trois types de comportements:

- hystérésis négligeable (cas du 3 octobre 1993, figure 4.6);

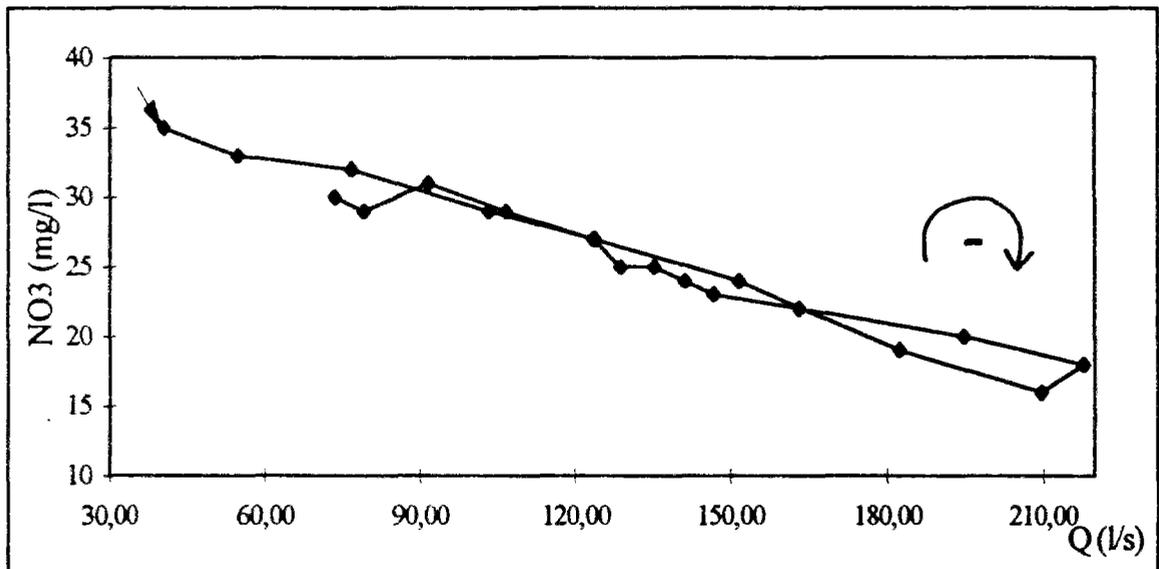


Figure 4.6 Phénomène d'hystérésis négligeable. 3 octobre 1993.

- boucles dans le sens des aiguilles d'une montre ("*clockwise loop*" ou "*trigonométrique inverse*" ou "*négative*"). C'est le type d'hystérésis le plus souvent rencontré dans la nature (Meybeck, 1985) particulièrement pour les matières en suspension. Il est assez rare pour les nitrates. Un cas de ce type a été observé sur le Ruiné lors de la crue du 10 janvier 1992 (figure 4.7);
- boucles refermées amorçant un "8". Il s'agit d'une variante de la précédente, dans laquelle la boucle est de faible amplitude, et se referme de telle sorte que la concentration finale est supérieure à la concentration initiale (cas de juin 1991 et juin 1993, figures 4.8 et 4.9);

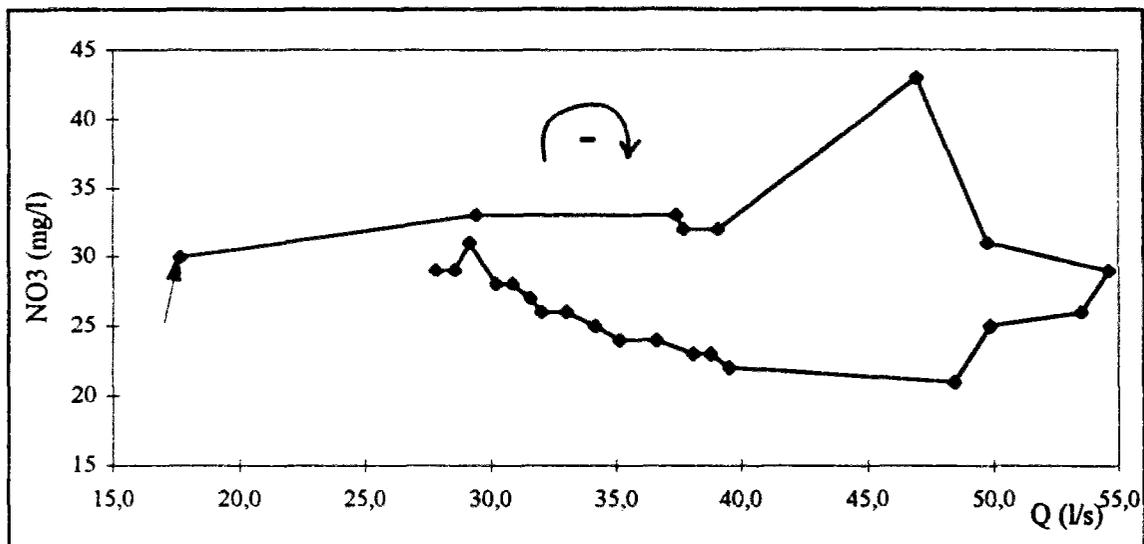


Figure 4.7 Phénomène d'hystéresis, "clockwise-loop". 10 janvier 1992.

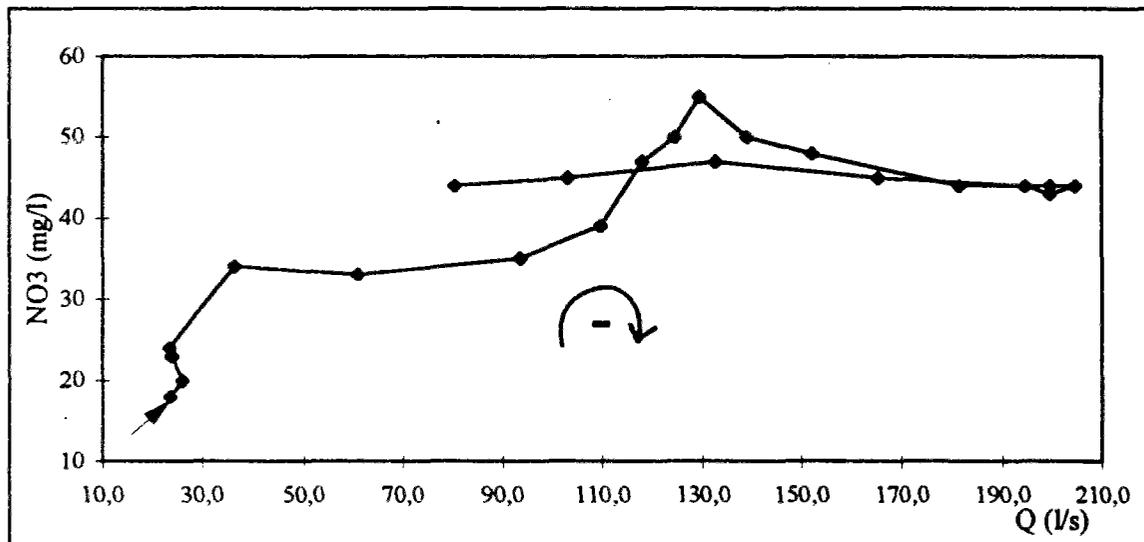


Figure 4.8 Phénomène d'hystéresis, "clockwise-loop". 3 juin 1991.

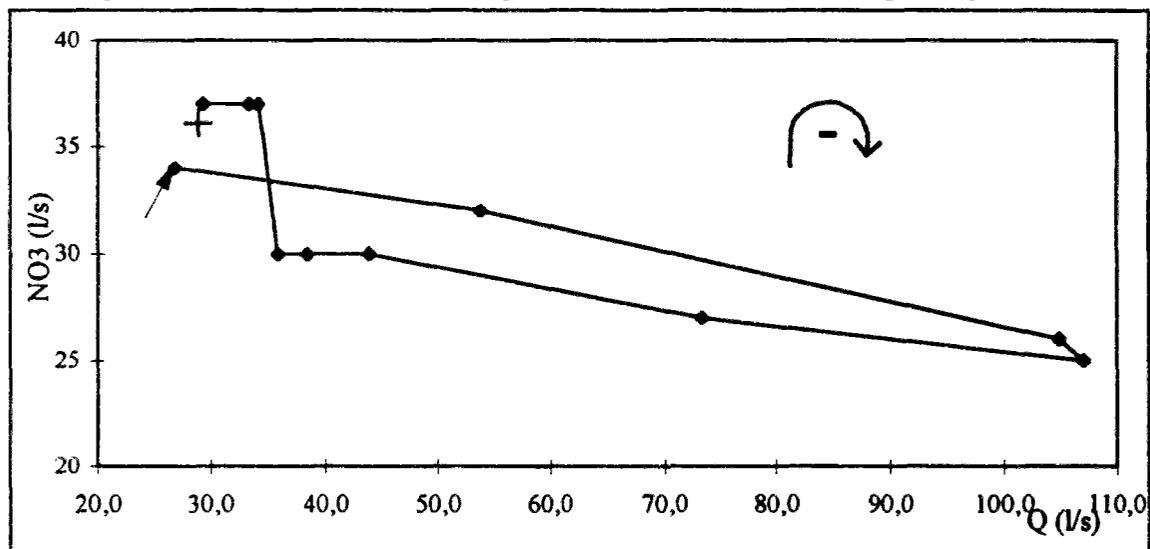


Figure 4.9 Phénomène d'hystéresis, "figure eight". 21 juin 1993.

- boucles dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ("*counterclockwise-loop*" ou dans le sens trigonométrique ou "positives"; figures 4.10 et 4.11). Ce cas, rencontré 2 fois (avril 93, octobre 93), montre une que la concentration finale supérieure à la concentration initiale, comme dans le cas précédent, mais s'en distingue par le sens de la boucle;

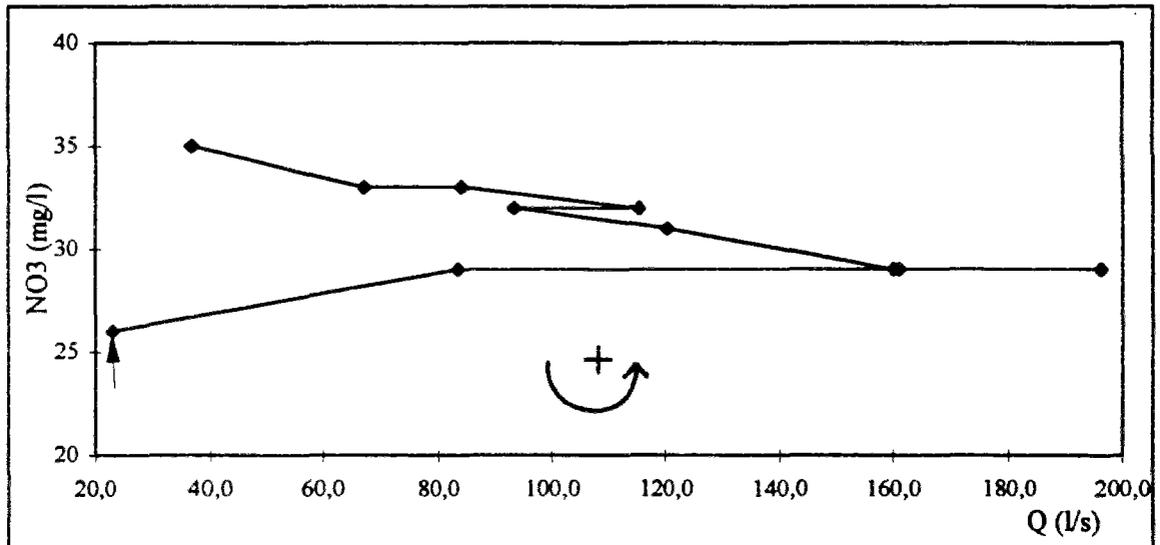


Figure 4.10 Phénomène d'hystéresis, "*counterclockwise-loop*". 24 avril 1993.

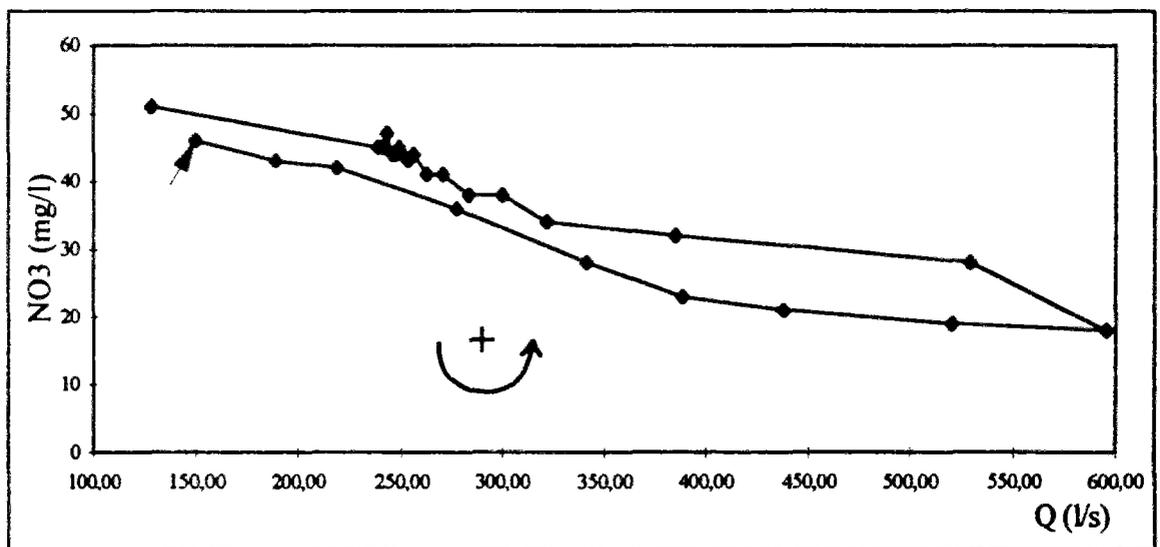


Figure 4.11 Phénomène d'hystéresis, "*counterclockwise-loop*". 15 octobre 1993.

- "huit" bien formés lors de crues à deux pointes. La crue des 13-15 septembre 1993 et surtout celle des 21-22 septembre 1993 sont des exemples nets d'une boucle "négative" suivie d'une boucle "positive" (figure 4.12 et 4.13). La première présente une concentration finale supérieure à la concentration initiale alors que c'est l'inverse pour la seconde.

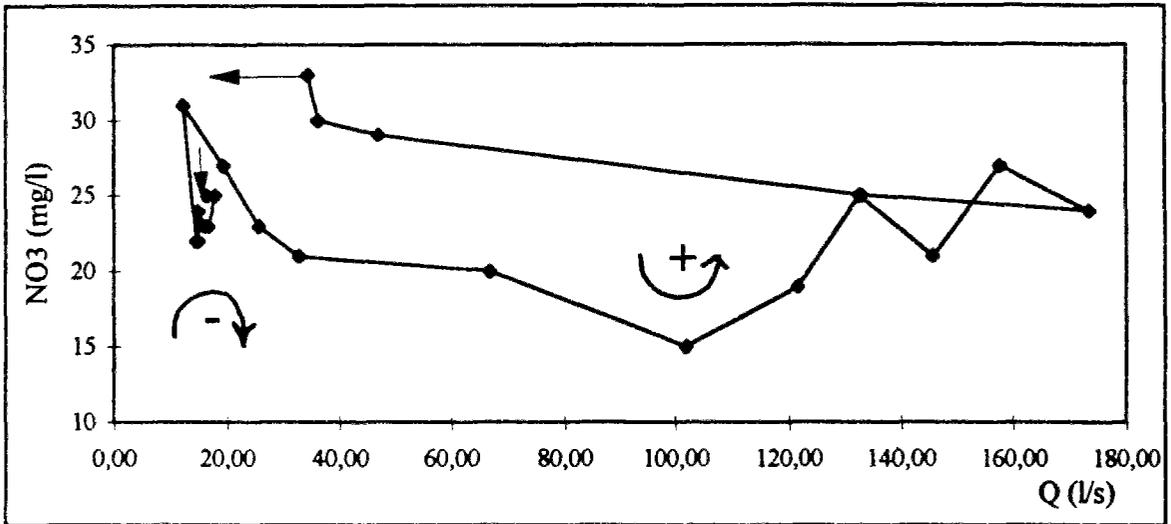


Figure 4.12 Phénomène d'hystéresis, "figure eight". 14 septembre 1993.

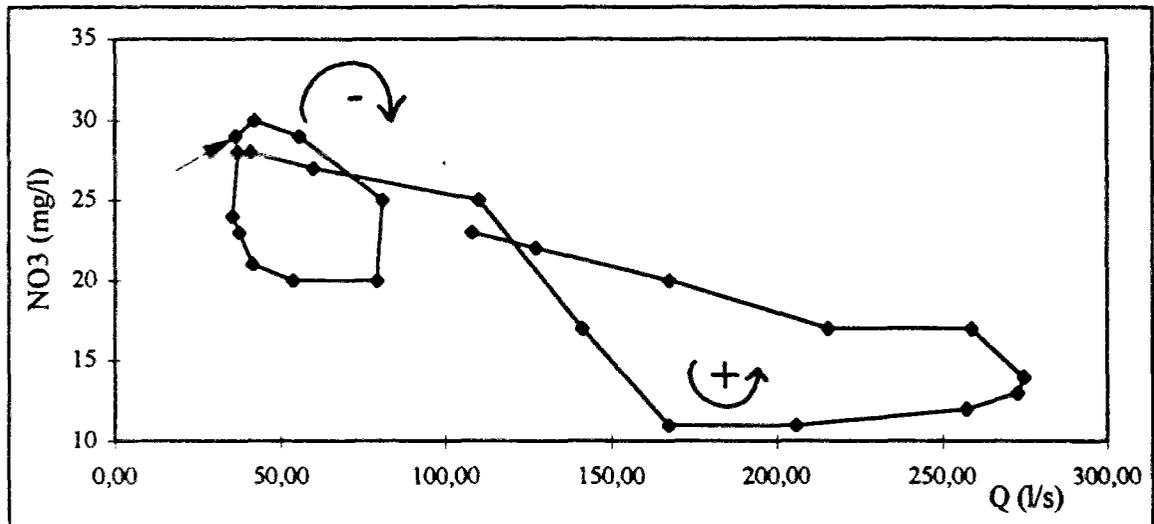


Figure 4.13 Phénomène d'hystéresis, "figure eight". 21 septembre 1993.

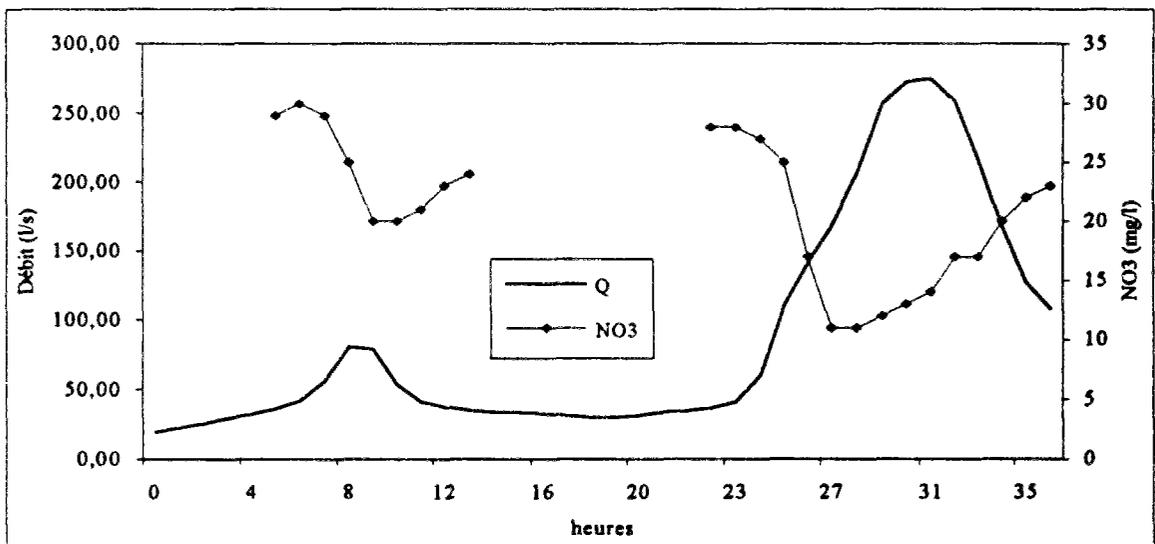


Figure 4.14 Crue du 21 septembre 1993.

Les boucles "*néglatives*" correspondent à une mobilisation de nitrates facilement disponibles mais qui s'épuisent. Les boucles "*positives*" semblent indiquer que la production de nitrates est activée pendant la crue. Il semble normal que des crues complexes soient d'abord "*néglatives*" puis "*positives*". En outre, il nous faudrait une étude de plusieurs crues pour pouvoir établir des relations entre l'hystérésis et une autre variable qui puisse expliquer ce comportement un peu désordonné. En effet, les crues étudiées sont réparties dans l'année de façon bien trop aléatoire pour leur conférer un effet saisonnier et les débits ne présentent pas une régularité suffisante pour établir un seuil quelconque.

D'autre part, on a effectué une étude plus détaillée de quelques crues caractéristiques, tout en la considérant comme une première approche permettant de distinguer les effets de lessivage (figure 4.15) de ceux du ruissellement (figures 4.16 et 4.17). Cette analyse concerne uniquement trois des huit crues observées lors du suivi du bassin versant du Ruiné. Dans ces trois cas, les valeurs des coefficients de détermination sont assez correctes. Les résultats des autres corrélations sont très médiocres car, dans la plupart des cas, l'échantillonnage des concentrations ne couvre pas l'ensemble de la crue (figure 4.18). Néanmoins, on observe un décalage (environ 3 jours) dans la réponse des nitrates à la crue. Il convient donc de poursuivre cette première approche avec de nouvelles données afin de bien cerner le comportement du bassin.

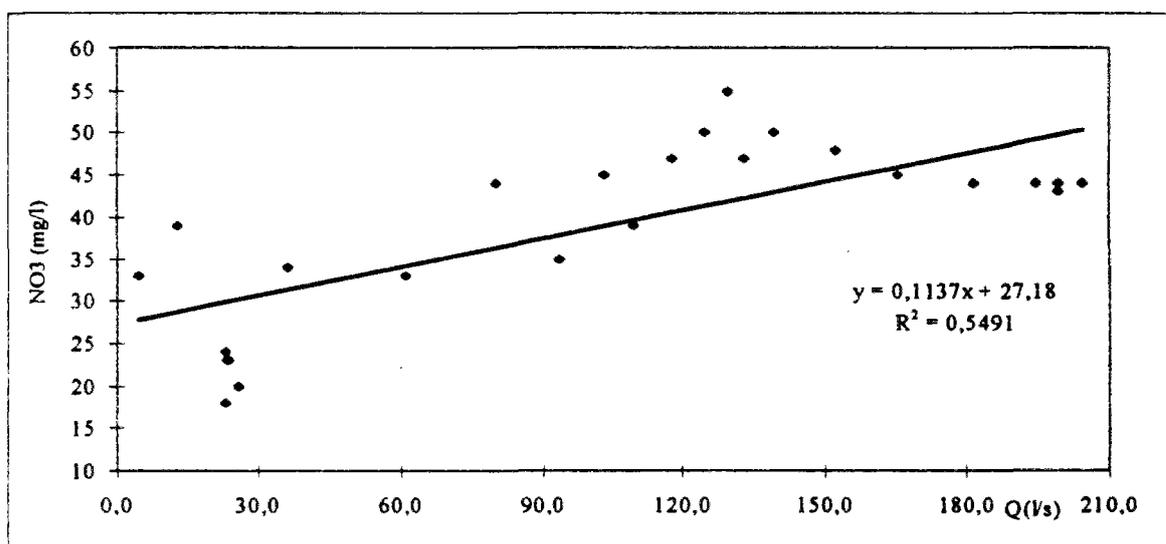


Figure 4.15 Étude élémentaire de la crue du 1<sup>er</sup> juin 1993.

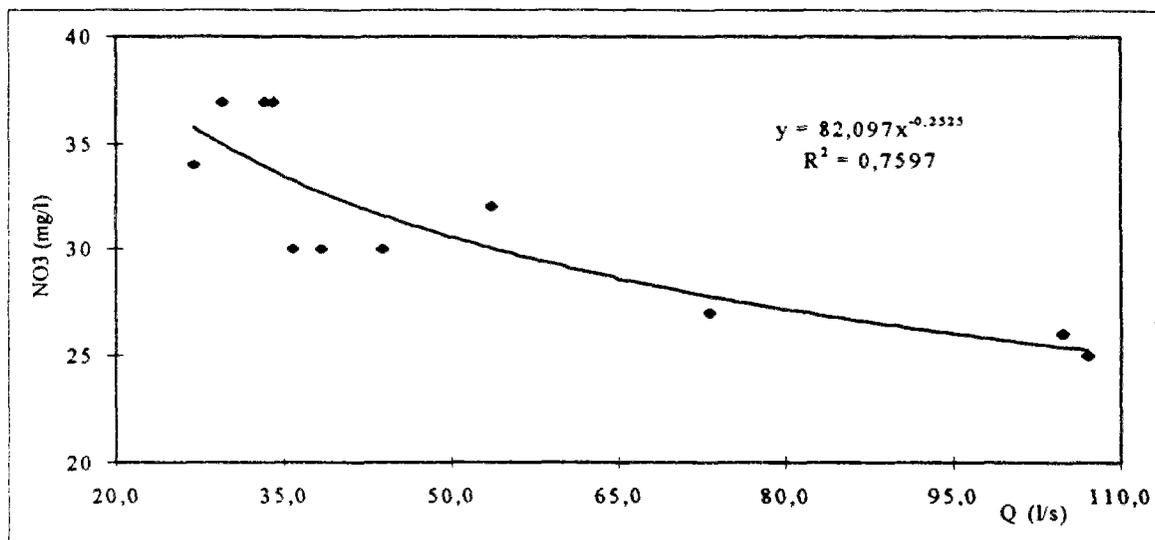


Figure 4.16 Etude élémentaire de la crue du 21 juin 1993.

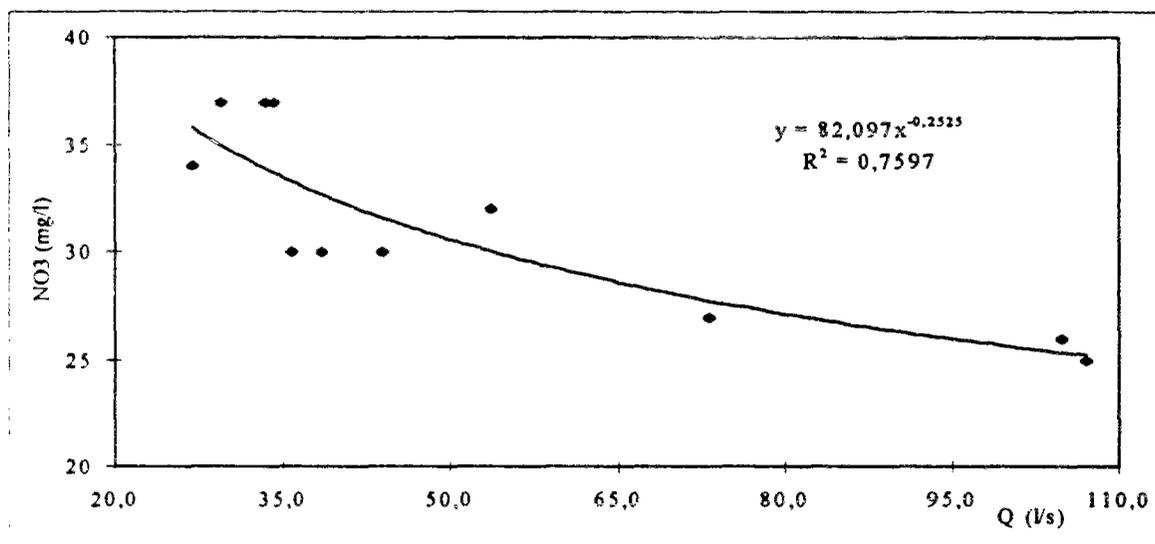


Figure 4.17 Etude élémentaire de la crue du 22 septembre 1993.

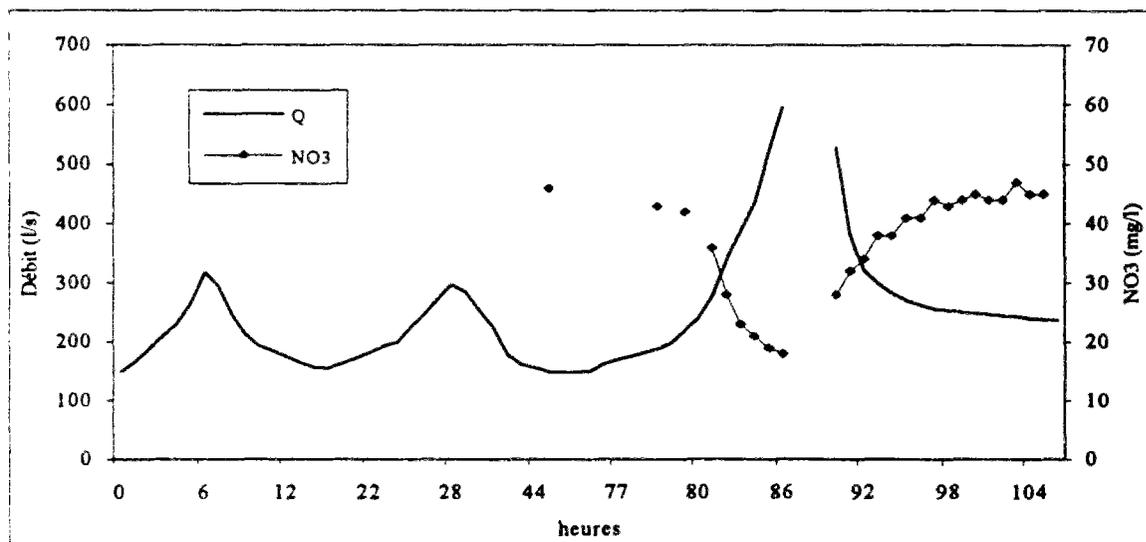


Figure 4.18 Crue du 11 au 15 octobre 1993.

En conclusion, si l'on fait une généralisation assez hâtive de notre étude, on peut dire que les boucles négatives se présentent à faible débit. Ceci représente un lessivage superficiel des nitrates facilement disponibles mais rapidement épuisables.

Les boucles positives se présentent surtout à fort débit ce qu'implique la dilution de la concentration, dans un premier temps, suivi d'une reconcentration possiblement due au lessivage des couches plus profondes.

#### **4.4 Pratiques agricoles**

De caractère essentiellement agricole, le bassin du Ruiné présente un éventail de cultures caractéristique des orientations régionales dominantes sur la Charente. L'utilisation du sol, les dates des semis et des récoltes ainsi que l'apport d'azote pour chacune des cultures sur le bassin sont figurés sur le tableau 4.4.

Lorsque l'on considère l'ensemble des terres labourables (TL), le bassin du Ruiné se situe près de la moyenne du bassin de la Charente, le maïs compensant le déficit des cultures fourragères et des surfaces enherbées (CF+STH). On constate également que la vigne occupe une place importante.

	SAU	TL	Blé	OH	OP	Maïs	Tourn	STH+CF	Vigne
Surf (ha)	460	332	103	15	18	124	60	30	110
%	-	72	22	3	4	27	13	7	24
Semis	-		8/10	15/10	10/01	15/03	15/03	15/01	25/01
Récolte	-	-	1/07	19/06	1/07	1/10	9/09	15/05	15/08
Apport (U/ha)			152	121	90	186	64	33	37,5

Tableau 4.4 Utilisation du sol (dates des semis et des récolte et apport d'engrais azoté) sur le bassin du Ruiné (1990/1991)

En ce qui concerne la fertilisation, on a utilisé les résultats de l'enquête réalisée par le CEMAGREF de Bordeaux pour la campagne agricole 1990-1991. L'apport moyen de fertilisants azotés est de 118 U/ha sur l'année agricole. Pour éviter les pics de concentrations correspondant aux dates de fertilisation (lessivage ponctuel trop fort en cas de précipitation importante), l'apport de fertilisant a été étalé sur une semaine à partir de la date indiquée dans le tableau 4.5.

Culture	Oct	Jan	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill
Blé	31 3%	24 31%	28 32%	14 28%	16 4%	13 1%	-	-
Orge Hiver	31 3%	19 41%	28 12	11 44%	-	-	-	-
Orge Printemps	-	-	23 26%	21 48%	13 26%	-	-	-
Maïs	-	-	-	-	30 20%	23 20%	17 60%	-
Tourn.	-	-	-	-	11 100%	-	-	-
STH+CF	-	24 11%	25 20%	18 15%	18 6%	23 32%	-	11 16%
Vigne	-	31 4%	28 12%	18 30%	18 23%	18 2%	27 13%	4 16%

Tableau 4.5 Dates de fertilisation, quantité d'azote apportée en U/ha et pourcentage de la fertilisation annuelle

Nous observons que les apports azotés les plus importants sont effectués pendant la dernière semaine du mois de février, à la mi-mars et à la mi-avril. On remarque que la vigne ne compte pas beaucoup dans l'apport d'azote global. Cet apport est fait généralement sous forme organique très diluée. Compte tenu que de très fortes gelées d'avril ont eu lieu pendant l'année 1991, il conviendra de vérifier sur une année "normale" les valeurs indiquées et rectifier, si nécessaire, l'apport mentionné pour la vigne.

#### 4.5 Modèle hydrologique utilisé

On a décrit dans le *chapitre 3* le modèle hydrologique employé sur les bassins de l'Orgeval et de la Charente. Ce modèle n'a pas pu être transposé directement sur le bassin du Ruiné car les conditions d'écoulement sont totalement différentes et nous avons constaté que la variation de la pluie n'entraîne pas forcément des variations immédiates de débit.

En raison de problèmes de disponibilité des données, l'adaptation du modèle hydrologique a été faite en deux étapes. Ainsi, on a travaillé tout d'abord sur la période du 1/10/1991 au 31/11/1992 et quelques mois plus tard avec la partie complémentaire des données.

Lors du premier essai, la crue du 13/11/92 au 27/11/92 rendait pratiquement impossible le calage sur l'ensemble des données. En effet, en utilisant la fonction de production  $Pr = P \cdot \left(\frac{S}{A}\right)^2$  ( $P$ : pluie nette,  $Pr$ : fraction de pluie rentrant directement dans le réservoir de routage; *chapitre 3, eq. 3.2*), on observait une restitution du débit assez satisfaisante juste avant la crue, tandis que pendant celle-ci, le modèle considérait que le sol continuait à stocker la pluie. Ce type de "stockage" s'est reproduit avec la partie complémentaire des données (1/12/92-16/08/93), période pendant laquelle on a observé une deuxième crue (1/12/92 au 10/12/92) encore plus importante que la première.

Nous nous sommes ainsi retrouvés avec un écoulement exceptionnel (pendant pratiquement un mois) et un modèle incapable de restituer, en même temps, les débits moyens et élevés. Il faut noter l'importance de ces deux crues puisqu'elles sont 15 à 25 fois plus fortes que le débit moyen. Etant donné que l'on ne dispose que de trois ans de données comportant des lacunes assez importantes, on a calé le modèle sur la période s'étalant du 1/10/1990 au 16/8/1993 et on l'a validé uniquement sur la période du 18/8 au 22/11/1993 (trois mois).

Ceci nous a conduit à rechercher une fonction de production du modèle hydrologique plus appropriée au bassin du Ruiné. Le bassin paraît donc avoir une capacité de stockage très importante. En général, il semble stocker la plupart de la pluie dans le réservoir sol ( $S$ ) mais, quand l'humidité du sol approche une certaine valeur seuil, le comportement s'inverse et c'est une fraction nettement plus importante qui passe directement dans le réservoir de routage ( $R$ ). On peut traduire ceci par une loi de type sigmoïde (figure 4.19), par rapport à  $\frac{s}{A}$ , où  $A$  est la capacité du réservoir sol et  $s$  le niveau de ce même réservoir.

Ainsi,

$$pp = ps + pr \quad (4.2)$$

$$pr = pp \frac{\left(\frac{s}{A}\right)^{25}}{\left(1 - \frac{s}{A}\right)^{25} + \left(\frac{s}{A}\right)^{25}} \quad (4.3)$$

où,

$pp$  : pluie nette journalière, en mm

$ps$  : fraction de la pluie entrant dans le réservoir sol, en mm

$pr$  : fraction de la pluie entrant directement dans le réservoir de routage, en mm

Il faut noter cependant que la partie droite de la courbe n'est pratiquement pas utilisée du fait de ce comportement particulier. Le paramètre  $A$  doit donc être interprété moins comme une capacité maximale que comme le double de la valeur pour laquelle la croissance de la fonction de production est maximale.

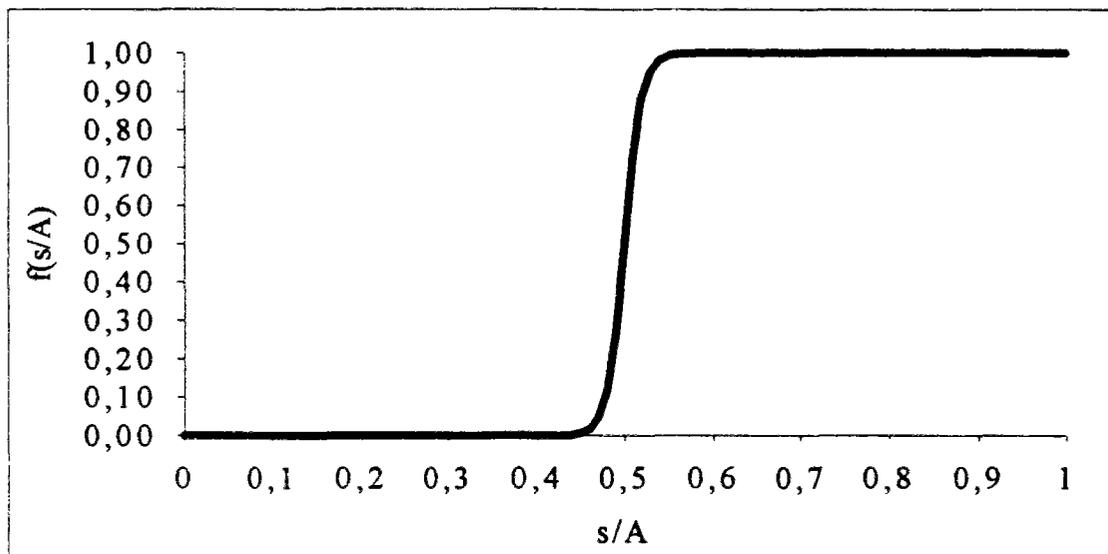


Figure 4.19 Fonction de production du modèle hydrologique

Pour l'évapotranspiration potentielle (ETP), nous avons utilisé les valeurs observées à Cognac (ETP Penman). En effet, dans une première approche, on a considéré l'ETP comme une fonction de la température de l'air (*chapitre 3, eq. 3.3*). Les températures journalières moyennes observées à Barbezieux et à Cognac étant pratiquement les mêmes, on peut considérer que l'évapotranspiration est équivalente. Ainsi, l'évapotranspiration réelle peut se formuler de la façon suivante:

$$ETR = ETP \cdot \left(\frac{s}{A}\right) \cdot \left(2 - \frac{s}{A}\right) \quad (4.4)$$

D'autre part, la percolation profonde (DG) sur le bassin du Ruiné est beaucoup plus importante que sur les autres sous-bassins de la Charente. Sur celui-ci, elle suit une loi de type linéaire décrite par l'égalité suivante:

$$DG = PD \cdot \left(\frac{s}{A}\right) \quad (4.5)$$

où PD est le paramètre de percolation.

Les bilans hydriques des réservoirs sol, de routage et souterrain sont alors exprimés de la façon suivante:

$$s_{j+1} = s_j + ps_j - ETR_j - DG_j \quad (4.6)$$

$$r_{j+1} = r_j + pq_j \cdot QR_j \quad (4.7)$$

$$g_{j+1} = g_j + DG_j - QG_j \quad (4.8)$$

$$QG = VG \cdot g \quad (4.9)$$

où,

$g$ : niveau du réservoir souterrain, en mm

$VG$ : coefficient de routage du réservoir souterrain

$QG$ : débit sortant du réservoir souterrain, en mm

#### 4.6 Calage du modèle hydrologique et commentaires

Comme il a été expliqué dans le *chapitre 3*, le calage se fait en minimisant les erreurs quadratiques entre les débits observés et les débits calculés. Les valeurs des paramètres et les résultats numériques sont présentés sur le tableau 4.6 et les résultats graphiques sur les figures 4.19 à 4.21. En ce qui concerne le modèle hydrologique, on a réussi à obtenir des résultats assez performants malgré la variation des données.

$A$ (mm)	$B$ (mm)	$C$ (jour)	$PD$ (mm/j)	$VG$ (mm)	$G$ (mm)	$Cp$	Nash	$R^2$	BR (%)
1306	559	0,02	2,2	0,0	30,0	1,0	0,85	0,88	-15

Tableau 4.6 Valeurs des paramètres optimisés du modèle hydrologique et résultats numériques

On observe que les paramètres  $A$  (capacité du réservoir sol) et  $B$  (capacité du réservoir de routage) présentent des valeurs assez élevées, ce qui confirme l'hypothèse de la grande capacité de stockage du bassin. A l'autre extrême, le temps moyen de parcours  $C$  du bassin a une valeur très faible (environ 30 minutes). Ceci peut expliquer la réponse rapide du bassin aux pluies assez importantes, tandis qu'au-dessous d'un certain seuil, cette réponse est beaucoup plus atténuée. La valeur du paramètre de percolation  $PD$  est assez considérable. Elle témoigne du passage de la pluie du réservoir sol vers le réservoir souterrain. Ce paramètre influence uniquement la capacité de réserve en eau, puisque la valeur du coefficient de routage du réservoir souterrain ( $VG$ ) est nulle et, apparemment, il n'y a pas d'apport de la nappe au débit à l'exutoire, ce qui est conforté par l'étude réalisée par le BRGM (1994).

Au cours de tous les essais de modélisation effectués sur le bassin du Ruiné, on a toujours été conduit à réfuter l'hypothèse d'un apport du réservoir souterrain. D'autre part, la valeur du coefficient de correction de la pluie  $C_p$  est égale à l'unité ce qui n'est pas surprenant étant donné que le bassin est équipé de deux pluviomètres (Mamain et Blanzac) et d'un pluviographe (Mairie du Ruiné, *Annexe II*).

Le bilan relatif (BR) montre une sous-estimation du débit de 15%, nettement visible pendant les périodes de faible débit (cf. graphique correspondant à la campagne 1992-1993, figure 4.21). Cette sous-estimation repose la question d'un apport souterrain ou plutôt d'une mauvaise formulation de la percolation. Les valeurs de  $R^2$  et du coefficient de Nash sont respectivement de 0,88 et 0,85 ce qui indique, malgré tout, une bonne qualité de simulation de la transformation pluie-débit.

Il reste à effectuer des essais sur un jeu de données plus important, trois mois n'étant pas suffisants pour valider un modèle où la fonction de production a été complètement reformulée. D'autre part, en ce qui concerne la période de contrôle, le débit simulé est sous-estimé au début de la crue et il présente un léger décalage à la décrue (figure 4.22). Malgré tout, le coefficient de Nash et  $R^2$  sont assez satisfaisants (0,75 et 0,76 respectivement).

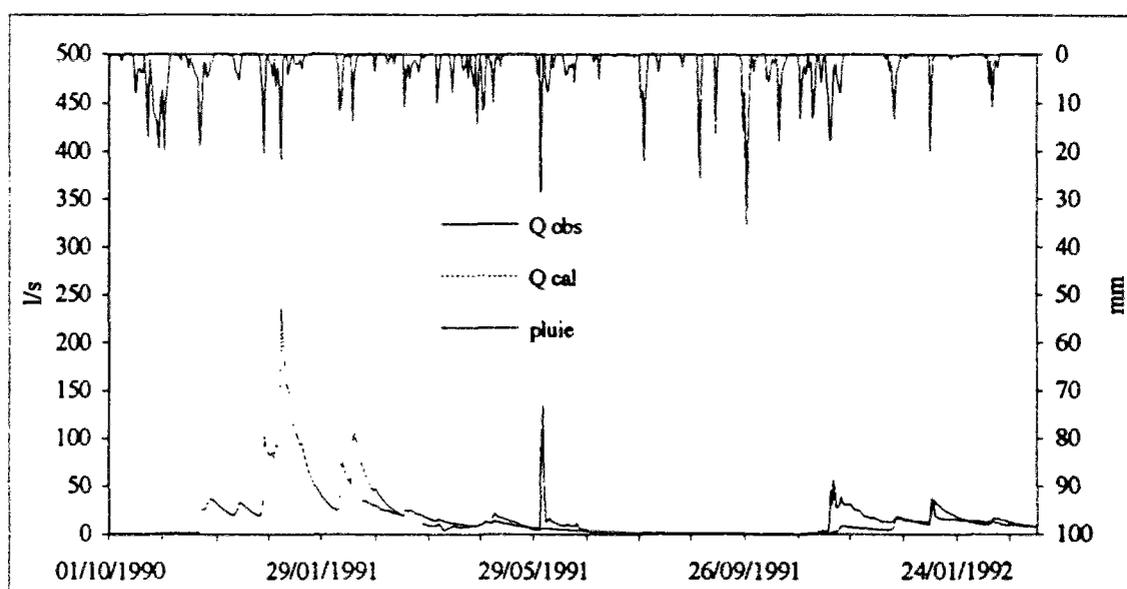


Figure 4.20 Débits observé et calculé. Octobre 1990 - Mars 1992 : Calage.

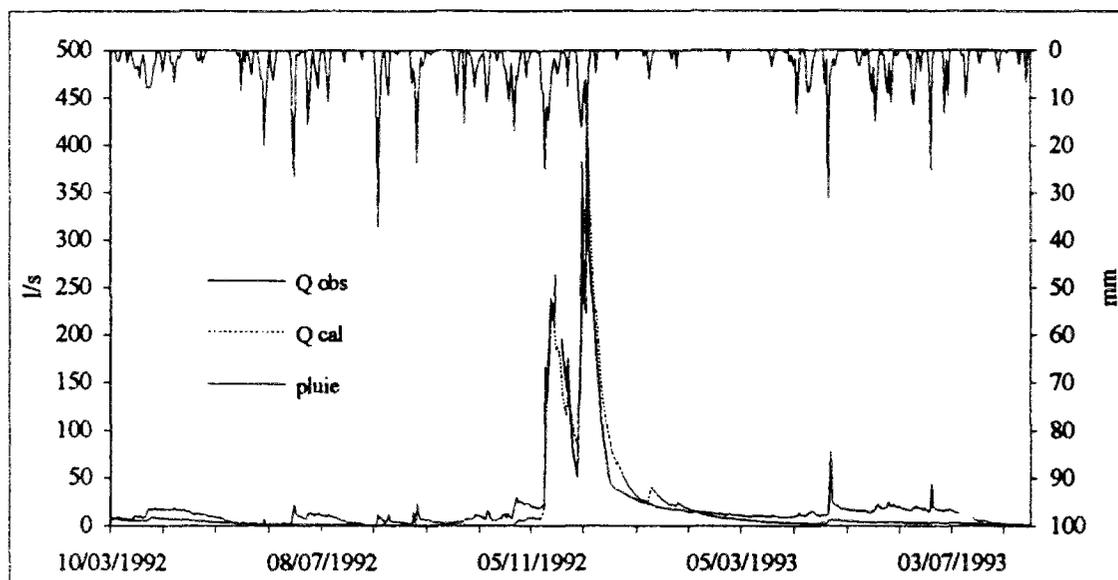


Figure 4.21 Débits observé et calculé. Mars 1992 - Août 1993 : Calage.

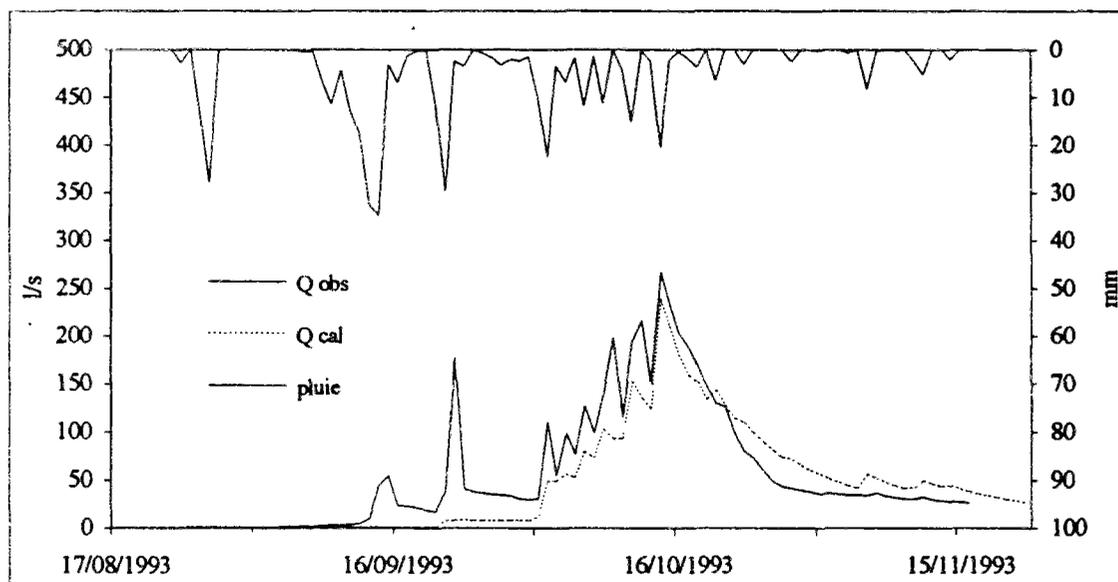


Figure 4.22 Débits observé et calculé. Août - Novembre 1993 : Contrôle.

#### 4.7 Modèle nitrates

Le modèle nitrates a été aménagé en prenant en compte les changements effectués sur le modèle hydrologique. Il a évolué de façon parallèle au modèle hydrologique car les variables d'état du modèle pluie-débit jouent le rôle de variables de forçage dans le modèle de transformation et de transfert de l'azote.

### 4.7.1 Production et lessivage

Pour une première approche de la simulation, on a utilisé les mêmes périodes de calage et de contrôle que celles utilisées pour le modèle hydrologique (35 mois de calage et 3 mois de simulation). La simulation des concentrations en nitrates a été effectuée au pas de temps journalier. En dehors des périodes de crue, on a pris comme concentrations journalières, les teneurs mesurées sur les prélèvements instantanés réalisés chaque semaine (on obtient donc une ou deux valeurs par semaine). En période de crue, le pas de temps de prélèvement étant beaucoup plus fin (plusieurs valeurs par jour), on a pris, comme concentration journalière, la moyenne des teneurs relevées sur la journée.

Après avoir testé le modèle développé sur les sous-bassins de la Charente, on s'est aperçu que la formulation de la fonction de production du modèle de transfert fournissait une réponse trop amortie par rapport à la réponse réelle du bassin. En effet, grâce au suivi de la qualité de l'eau du Ruiné plus fin que celui effectué sur le bassin de la Charente (réseau principal et sous-bassins), on peut constater une variation de concentration en nitrates beaucoup plus importante. C'est pour cette raison que l'on a conservé la formulation d'origine utilisée sur le bassin de l'Orgeval, laquelle nous permet d'avoir une réponse un peu plus "nerveuse". Le calcul de la concentration dans chaque réservoir s'est fait de la façon suivante:

$$CA = \frac{100 \cdot MA}{SA} \quad (4.10)$$

$$CB = \frac{100 \cdot MB}{SB} \quad (4.11)$$

où,

*CA*: concentration en nitrates du réservoir racinaire, en mg/l

*CB*: concentration en nitrates du réservoir intermédiaire, en mg/l

*MA*: réserve de nitrates dans le réservoir racinaire, en kg N/ha

*MB*: réserve de nitrates dans le réservoir intermédiaire, en kg N/ha

*SA*: niveau du réservoir racinaire, en mm

*SB*: niveau du réservoir intermédiaire, en mm