

Angers

Technopole d'Angers
1, Av. du Bois l'Abbé
49070 Beaucouzé

Tel : 02.41.36.01.77
Fax : 02.41.36.10.55

Votre contact :
DE BONVILLER Arnaud
debonviller@isl-ingenerie.fr

www.isl-ingenerie.fr

Rapport d'étude



Efficacité du soutien d'étiage sur l'Aulne

Mars 2005

Sommaire

1. Objectifs et méthodologie	6
2. Analyse des données disponibles	8
2.1. Avertissement	8
2.2. Les stations de mesure du débit	8
2.3. Influence des ouvrages hydrauliques sur le régime hydrologique d'étiage	8
2.3.1. Les débarrages de bief	9
2.3.2. Influence du barrage de Brennilis sur les débits à l'aval	10
2.4. Les pertes linéaires des rivières	11
2.5. Conclusion	13
3. Analyse des variables influençant le débit d'étiage	15
3.1. Le Débit Spécifique Mensuel	15
3.2. Influence des prélèvements sur les débits spécifiques	15
3.3. Influence du soutien d'étiage sur les débits spécifiques	16
3.4. Influence de la géologie et des précipitations sur les débits spécifiques	17
3.5. Test d'homogénéité	20
3.6. Conclusion	21
4. Analyse statistique des débits d'étiage et mise en évidence de corrélations	23
4.1. Ajustement statistique des débits caractéristiques d'étiage	23
4.2. Débit mensuel minimal par an (QMNA)	24
4.2.1. Station de Trebrivan sur l'Hyères	24
4.2.2. Station de Saint-Hernin sur l'Hyères	27
4.2.3. Station de Scignac sur l'Aulne	28
4.3. Débit mensuel moyen entre juillet et septembre (Q_{07-09}) sans soutien d'étiage	30
4.3.1. Station de Châteauneuf du Faou (Aulne)	31
4.3.2. Station de Scignac (Aulne)	32
4.3.3. Station de Trebrivan (Hyères)	33
4.3.4. Bilan	34
4.4. Corrélation des débits d'étiage entre les stations	34
4.4.1. Corrélation des courbes de tarissement	34
4.4.2. Corrélation du QMNA	36
4.4.3. Calcul des débits grâce au rapport de la taille des bassins versants	37
4.4.4. Corrélation entre les débits moyens sur la période juillet-septembre enregistré aux stations	38
4.5. Conclusion	38

5. Mise en évidence d'années type	40
5.1. Station hydrométrique de Châteauneuf-du-Faou (Aulne)	40
5.2. Station hydrométrique de Scignac (Aulne)	41
5.3. Station hydrométrique de Trebrivan (Hyères)	41
5.4. Station hydrométrique de Cleden Poher (Hyères)	42
5.5. Station hydrométrique de Saint Segal	42
5.6. Synthèse sur les période de retour des évènements exceptionnels	43
5.7. Conclusion	44
6. La modélisation hydrologique du bassin versant	45
6.1. Localisation des prélèvements et rejets	46
6.2. Le calcul de l'évapotranspiration	47
6.3. Reconstitution des débits naturels aux stations hydrométriques	49
6.4. Calage du modèle hydrologique	50
6.4.1. Calage des débits sur la station de référence	50
6.4.2. Calage de la courbe de remplissage	52
6.5. Conclusion	54
7. Les scénarii de gestion en période d'étiage	56
7.1. Les objectifs de gestion en terme de débit	56
7.2. La gestion actuelle du barrage de Brennilis	58
7.2.1. Les apports de la retenue de Saint Michel	58
7.2.2. Analyse préliminaire : ordre de grandeur des volumes à mobiliser	60
7.3. Choix des indicateurs pour une optimisation de la gestion	61
7.3.1. La courbe de tarissement	61
7.3.2. Prévision du débit pour la période estivale (cas en absence de précipitations)	63
7.3.3. La courbe de vidange de la retenue de Brennilis	64
7.4. Le débit au point nodal (Châteaulin)	66
7.5. Scénario de gestion	67
7.5.1. Scénario de gestion proposé	67
7.5.2. Le résultat des simulations	70
7.5.3. Test de sensibilité aux paramètres	72
7.5.4. Les limites du scénario de gestion proposé	74
8. Annexes	75
8.1. Le logiciel Resneur	75
8.2. Cartographie	76
8.3. Données hydrologiques	77
8.4. Retenue de Saint Michel	78
8.5. Prélèvements et rejets	79
8.6. L'Aulne canalisée	80

Liste des figures

Figure 1 : L'Aulne à Saint Coultiz	6
Figure 2 : Régime influencé à la station de Châteauneuf (août 2003)	10
Figure 3 : Description de l'aménagement de Saint Michel et de Saint Herbot (d'après EDF, 2005)	10
Figure 4 : Régime influencé à la station de Châteauneuf (novembre 2003)	11
Figure 5 : Hydrogrammes aux stations pour la période juillet – octobre 2003	12
Figure 6 : Hydrogrammes aux stations pour la période juillet-août 2003	12
Figure 7 : Débits spécifiques mensuels aux stations (Banque Hydro – 13/11/2004 modifié le 09/02/2005)	15
Figure 8 : Comparaison des débits spécifiques selon la période considérée	16
Figure 9 : Cumul annuel de précipitation sur le bassin de l'Aulne (SAGE Aulne)	19
Figure 10 : QMNA de l'Hyères à Trebrivan	24
Figure 11 : Juxtaposition du QMNA et du débit moyen de mai	25
Figure 12 : Modélisation multilinéaire du QMNA à Trebrivan (RESNEUR)	26
Figure 13 : QMNA de l'Hyères à Saint Hernin	27
Figure 14 : QMNA de l'Aulne à Scrignac	28
Figure 15 : QMNA de l'Ellez à Brennilis	29
Figure 16 : QMNA à Châteauneuf-du-Faou	29
Figure 17 : Débit moyen transitant entre juillet et septembre à Châteauneuf-du-Faou	31
Figure 18 : Débit moyen transitant entre juillet et septembre à Scrignac	32
Figure 19 : Débit moyen transitant entre juillet et septembre à Trebrivan	33
Figure 20 : Courbes de tarissement au mois de juillet 2003 pour différentes stations	35
Figure 21 : Débit minimum de tarissement en fonction de la superficie de bassin versant	36
Figure 22 : QMNA en fonction de la taille de bassin versant	37
Figure 23 : Schéma des bassins versants	38
Figure 24 : Graphe des périodes de retour associées aux évènements exceptionnels	43
Figure 25 : Schéma topologique du modèle hydrologique réalisé avec Gesres	45
Figure 26 : Evapotranspiration dans le secteur de Brennilis (Météo France)	48
Figure 27 : Evapotranspiration mensuelle dans le secteur de Brennilis	48
Figure 28 : Débit naturel et mesuré à Châteauneuf du Faou en 2003	49
Figure 29 : Débit naturel et mesuré à Saint Hernin [Cleden Poher] en 2003	50
Figure 30 : Calage sur 2003 des débits à Châteauneuf-du-Faou	51
Figure 31 : validation du calage des débits à Châteauneuf-du-Faou sur 1994	52
Figure 32: courbe de remplissage pour 2003	53
Figure 33: Courbe de remplissage de 1994	54
Figure 34 : Comparaison du déficit et de la précipitation (station de Carhaix)	57
Figure 35 : Corrélation entre les débits apports de la retenue et les débits à Châteauneuf du Faou	60
Figure 36 : La courbe de tarissement	62
Figure 37 : Courbe de tarissement et volume de soutien d'étiage pour une quinquennale sèche	63
Figure 38 : Loi de vidange théorique pour un étiage quinquennale sec	64
Figure 39 : Remplissage de la retenue en fonction du débit limite et de la date de fin d'étiage	65
Figure 40 : Comparaison des débits à Châteauneuf et au point nodal (Châteaulin pour 1994)	66
Figure 41 : Débits mensuels moyens et quinquennaux secs à Scrignac sur l'Aulne	67
Figure 42 : Débits mensuels moyens et quinquennaux secs à Châteauneuf-du-Faou	67
Figure 43 : Rapport entre les débits à Châteauneuf et à Scrignac	67
Figure 44 : Gestion du volume de la retenue à 15 jours	68
Figure 45 : Scénario de gestion pour 1994	70
Figure 46 : Scénario de gestion pour 2003	71
Figure 47 : Influence de la fenêtre de prévision sur la simulation (année 2003)	72
Figure 48 : Influence du coefficient de tarissement (année 1994)	73
Figure 49 : Influence du coefficient de tarissement (année 2003)	73
Figure 50 : Influence du rapport de débit entre les stations de Châteauneuf et de Scrignac	74

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des stations hydrométriques	8
Tableau 2 : Influence des prélèvements sur les débits spécifiques en 2000	16
Tableau 3 : Influence des prélèvements sur les débits spécifiques en 2003	16
Tableau 4 : Type de formation géologique par sous-bassin versant	17
Tableau 5 : Statistiques de Q_{07-09} à la station de Châteauneuf-du-Faou	20
Tableau 6 : Statistiques de Q_{07-09} à la station de Scignac	20
Tableau 7 : Statistiques de Q_{07-09} à la station de Trebrivan	21
Tableau 8 : Statistiques de Q_{07-09} à la station de Saint Ségal	21
Tableau 9 : Population totale sur le bassin versant de l'Aulne (BCEOM, 1998)	21
Tableau 10 : Caractéristiques hydrologiques des étiages sur le bassin versant de l'Aulne (d'après extraction Banque Hydro du 29/11/2004 modifiée le 08/02/2005)	23
Tableau 11 : Période de retour associée à certains événement – station de Trebrivan	24
Tableau 12 : Période de retour associée à certains événements – station de Saint Hernin	27
Tableau 13 : Période de retour associée à certains événement – station de Scignac	28
Tableau 14 : Période de retour associée à certains événement – station de Châteauneuf-du-Faou	30
Tableau 15 : Données du soutien d'étiage de la retenue de Saint Michel (source SAGE Aulne)	31
Tableau 16 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés reconstitués à Châteauneuf-du-Faou	32
Tableau 17 : Statistiques sur Q_{07-09} à Châteauneuf du Faou	32
Tableau 18 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Scignac	33
Tableau 19 : Statistiques sur Q_{07-09} à Scignac	33
Tableau 20 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Trebrivan	34
Tableau 21 : Statistiques sur Q_{07-09} à Trebrivan	34
Tableau 22 : Débits journaliers minimum en 2003	35
Tableau 23 : QMNA en 2003	36
Tableau 24 : QMNA en 2002	37
Tableau 25 : Coefficients de corrélation entre stations sur Q_{07-09}	38
Tableau 26 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Châteauneuf-du-Faou	40
Tableau 27 : Etiages caractéristiques à Châteauneuf du Faou	40
Tableau 28 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Scignac	41
Tableau 29 : Etiages caractéristiques à Scignac	41
Tableau 30 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Trebrivan	41
Tableau 31 : Etiages caractéristiques à Trebrivan	41
Tableau 32 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Cleden Poher	42
Tableau 33 : Etiages caractéristiques à Cleden Poher	42
Tableau 34 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Saint Segal	42
Tableau 35 : Etiages caractéristiques à Saint Ségal	42
Tableau 36 : Période de retour des événements exceptionnels aux différentes stations hydrométriques	43
Tableau 37 : Prélèvement d'eau superficielle sur le bassin de l'Aulne (source : SAGE Aulne)	46
Tableau 38 : Liste des rejets sur le bassin de l'Aulne (source : SAGE Aulne)	47
Tableau 39 : Apports mensuels de la retenue de Brennilis (source EDF)	59
Tableau 40 : Statistiques des débits d'apports (m ³ /s)	59
Tableau 41 : QMNA à Châteauneuf du Faou	60
Tableau 42 : Volume supplémentaire minimum à mobiliser pour respecter le DOE	61

1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

L'objectif de l'étude est de proposer une optimisation de la gestion des lâchers du barrage de Brennilis afin d'assurer au mieux les conditions biologiques au droit de la station de Châteauneuf-du-Faou, en l'occurrence afin d'approcher le débit objectif d'étiage de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ fixé par le SDAGE Loire-Bretagne.

Les questions posées sont les suivantes :

- Quels sont les apports naturels sur lesquels il est possible de compter durant la période d'étiage ;
- Quels sont les prélèvements et rejets qui influencent les débits naturels ;
- Quelles sont les possibilités actuelles de soutien d'étiage de la retenue de Brennilis et quel est l'effet de ce soutien d'étiage ;
- Comment peut-on optimiser cette gestion afin d'assurer le plus souvent possible les conditions favorables à un bon fonctionnement biologique de la rivière.

Une optimisation de la gestion implique d'assurer deux conditions :

- Garantir pour une probabilité donnée la non défaillance du soutien d'étiage sur l'ensemble de la période d'étiage ; en d'autres termes, il y a lieu de s'assurer que le volume d'eau présent dans la retenue de Brennilis à un temps t est suffisant pour garantir pour une probabilité donnée un soutien d'étiage acceptable sur la période d'étiage $-t$, $d_{\text{étiage}}$ étant la durée totale de la période d'étiage ;
- Etre capable d'anticiper les besoins en soutien d'étiage afin d'adapter au mieux le soutien d'étiage à la situation hydrologique ; cette condition implique de connaître les apports et prélèvements sur le bassin versant intermédiaire entre le barrage et le point nodal.



Figure 1 : L'Aulne à Saint Coulitz

Le présent rapport est bâti comme suit :

- Une première partie fait le point sur les données disponibles et les incertitudes qui y sont attachées ;
- Une seconde partie analyse tous les éléments naturels et anthropiques qui influencent les débits d'étiage ;
- La troisième partie propose des valeurs caractéristiques d'étiage et met en évidence les corrélations entre les stations ;
- En quatrième partie, sont proposées des années de référence sur lesquelles des simulations de soutien d'étiage seront testées ;
- Le modèle hydrologique est présenté au chapitre 6 ;
- Le chapitre 7 est consacré à la simulation de scénarii de gestion au regard d'une courbe de vidange de la retenue.

2. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES

2.1. Avertissement

Dans la phase d'analyse des données disponibles et suite à de premières simulations du fonctionnement hydrologique à l'échelle de la période d'étiage, il est apparu que les données de débit d'étiage 2003 à la station de Châteauneuf-du-Faou étaient erronées. La DIREN Bretagne a été avertie et a modifié en conséquence sa courbe de tarage le 8 février 2005. Le QMNA de 2003 passe ainsi de 0,95 m³/s à 1,55 m³/s (mois d'août). Le débit journalier minimum annuel n'est plus de 0,156 m³/s mais de 0,977 m³/s (atteint le 15/08/2003).

Les différentes analyses de ce document tiennent compte de ce changement dans les données à la station de référence.

2.2. Les stations de mesure du débit

Le bassin versant de l'Aulne contient 13 stations hydrométriques gérées par les services de la DIREN et de la DDE. L'ensemble des stations ne peut pas être exploité dans l'analyse statistique des débits d'étiage car certaines stations sont récentes ou parce qu'elles sont influencées par des ouvrages hydrauliques dans la partie canalisée.

« L'état des lieux » du SAGE préconise de ne retenir que 6 stations qui sont listées dans le tableau suivant :

Rivière	Commune	Année de mise en service	Code station	Nombre d'années disponibles	Surface du bassin versant
Aulne	Scrignac	1975	J3601810	30	117 km ²
Aulne	Châteauneuf-du-Faou	1970	J3811810	35	1224 km ²
Hyères	Trebrihan	1972	J3713010	33	257 km ²
Hyères	Saint-Hernin	1961	J3733010	44	526 km ²
Ellez	Brennilis	1991	J3624010	14	33 km ²
Douffine	Saint-Segal	1966	J3834010	39	138 km ²

Tableau 1 : Caractéristiques des stations hydrométriques

Les stations de Châteauneuf-du-Faou et de Saint-Hernin sont situées sur la partie canalisée du réseau hydrographique et sont donc sous influence d'ouvrages hydrauliques. Six années de données sont manquantes sur la station de Saint-Hernin sur l'Hyères.

2.3. Influence des ouvrages hydrauliques sur le régime hydrologique d'étiage

L'Aulne se trouve canalisée sur sa partie aval et régulée par un grand nombre d'ouvrage. L'état des lieux du SAGE a montré que sur le tronçon canalisé de l'écluse de Châteaulin à l'écluse de Coz Castel (soit 71,7 km), le temps de séjour des eaux est de 20 jours (pour un débit égal au DOE). Les ouvrages hydrauliques et les travaux sur ces ouvrages occasionnent également des variations du débit en période d'étiage.

2.3.1. Les débarrages de bief

Les débarrages de bief s'opèrent de tronçon en tronçon en commençant par l'aval. Ils ont pour but la réfection d'ouvrages ou la construction de passes à poissons. Depuis 1995, tous les biefs ont été débarrés au moins une fois.

Lorsqu'un débarrage a lieu, l'évolution des débits comporte 3 phases :

- une augmentation du débit à l'aval dû à la vidange du bief en question (2 km de long sur 1 m de profond en moyenne),
- une égalité des débits entrant et sortant (écoulement possible par des pertuis de fond). Le débarrage est donc transparent à ce moment là pour les débits de la rivière.
- Une réduction du débit sortant au cours de la phase de rétablissement de la hauteur d'eau normale.

L'ouverture d'un bief provoque une augmentation d'une dizaine de centimètres de la hauteur à l'aval. La vidange est lente et dure environ 24 h. Dans le cas du débarrage du 19 au 25 août 2003, le débit de la pointe commence le 19 à 16h et se termine le 20 à 15h. Le sous-tirage peut s'observer entre le 24 à 13h et le 25 à 17 h soit un peu plus de 24h.

En période d'étiage prononcé comme ce fut le cas en 2003, la variation du débit à la station de Châteauneuf-du-Faou est importante. Le débit journalier est d'environ $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$ pour cette période. Le débit maximum instantané de la pointe due au débarrage est de $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$, environ trois fois le débit naturel. Les débits descendent ensuite à $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ lors du remplissage du bief. Le volume déstocké est de $107\,000 \text{ m}^3$ ce qui est cohérent avec le volume d'eau contenu dans un bief.

La DDE de Châteauneuf-du-Faou nous indique que les lâchers d'eau du barrage de Brennilis provoquent une surélévation de 5 cm de la cote d'eau au droit de la station hydrométrique et que cette surélévation est constante. On remarque que la pointe du 27 août 2003 qui correspond à une surélévation de 5 cm n'est pas perceptible sur l'hydrogramme en sortie de la retenue de Brennilis. Le débit en sortie de Saint Michel et de Saint-Herbot est en effet constant à $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

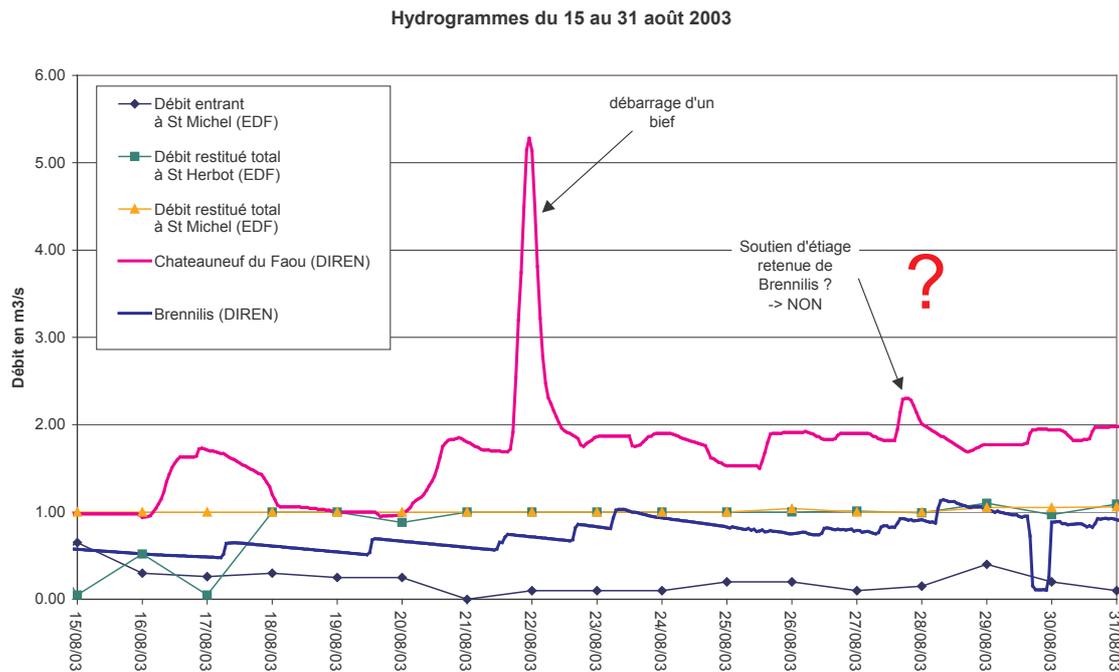


Figure 2 : Régime influencé à la station de Châteauneuf (août 2003)

L'hydrogramme représenté ci-dessus montre un régime fortement influencé. On constate un pic prononcé dû à un débarrage mais également des oscillations du débit.

Le graphe ci-dessus met en évidence des différences dans l'estimation des débits entre la DIREN et EDF à la sortie du barrage de Saint Michel. Par exemple, le 26 août 2003, EDF annonce un débit de sortie de 1 m³/s et la DIREN un débit d'environ 0,75 m³/s. L'écart est plus prononcé vers le 15 août avec un écart de 50 %.

2.3.2. Influence du barrage de Brennilis sur les débits à l'aval

Le descriptif de l'aménagement de Saint Michel et de Saint Herbot est donné ci-dessous :

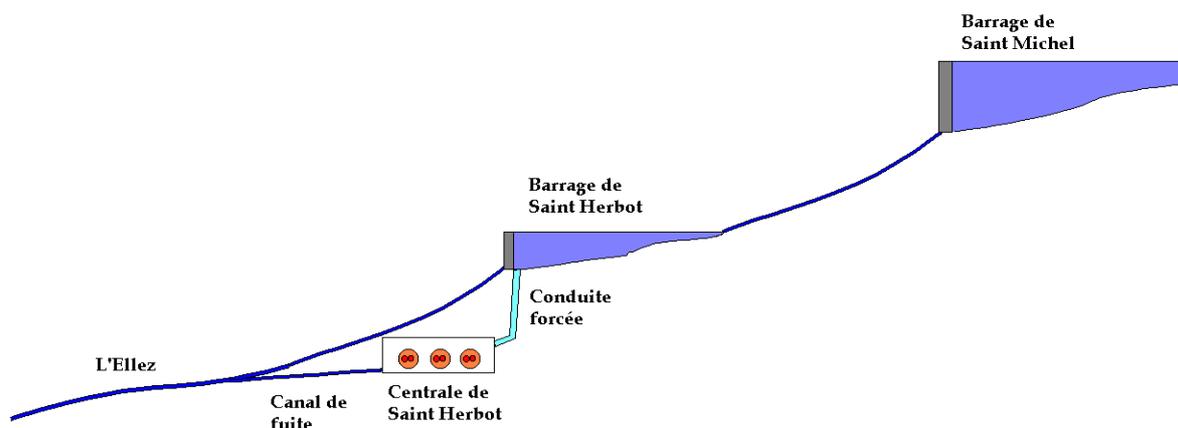


Figure 3 : Description de l'aménagement de Saint Michel et de Saint Herbot (d'après EDF, 2005)

La retenue de Saint Michel est composée de deux vannes de crue dont une commandable à distance qui sert pour le soutien d'été. Les vannes sont de type plate effaçable, de largeur

3 m et de hauteur 3,16 m chacune. Chaque vanne est capable d'évacuer 30 m³/s à la cote des PHE. Le pas de manœuvre est de 3 cm.

Les débits enregistrés à Châteauneuf-du-Faou oscillent selon une période de 24 h comme le montre l'hydrogramme suivant :

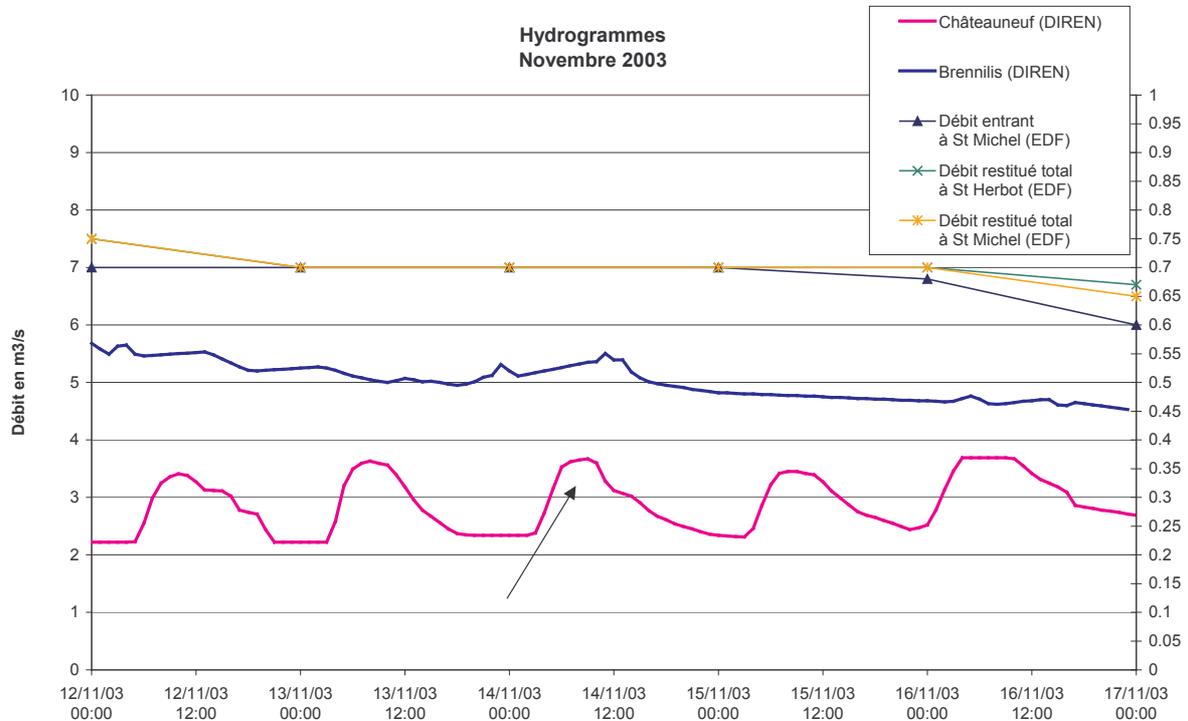


Figure 4 : Régime influencé à la station de Châteauneuf (novembre 2003)

Les débits amont à Brennilis et à Saint-Herbot (échelle de droite) ne montrent pas une telle oscillation car les débits sont intégrés sur la journée. Ces oscillations proviennent des éclusées à la station de Saint Herbot. L'amplitude peut atteindre 2 m³/s à l'aval immédiat de la centrale hydroélectrique.

Les débits annoncés par EDF à la sortie du barrage de Brennilis sont plus élevés que ceux de la DIREN (de 0,2 m³/s en moyenne).

2.4. Les pertes linéaires des rivières

Afin d'approcher les pertes linéaires, l'épisode de 2003 a été analysée en détails. La période d'étude considérée est juillet-septembre 2003. Les données de débits sont issues des 6 stations hydrométriques de la DIREN. La juxtaposition des hydrogrammes est représentée dans la figure ci-après :

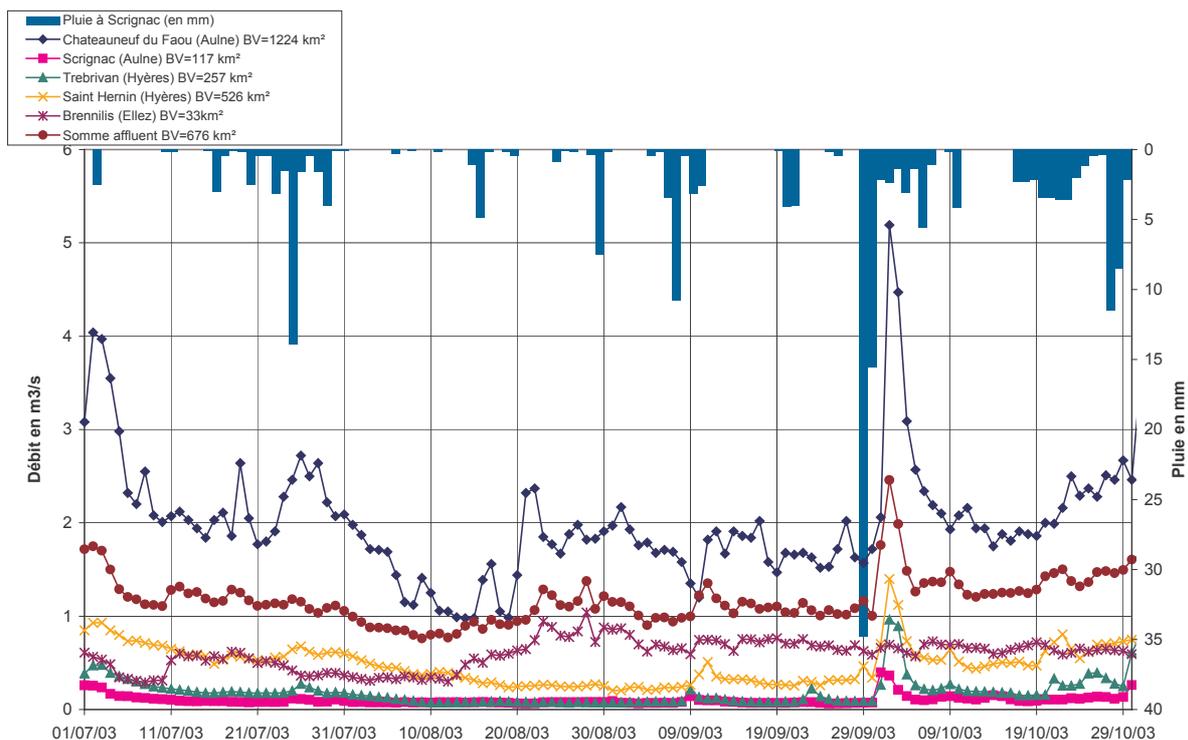


Figure 5 : Hydrogrammes aux stations pour la période juillet – octobre 2003

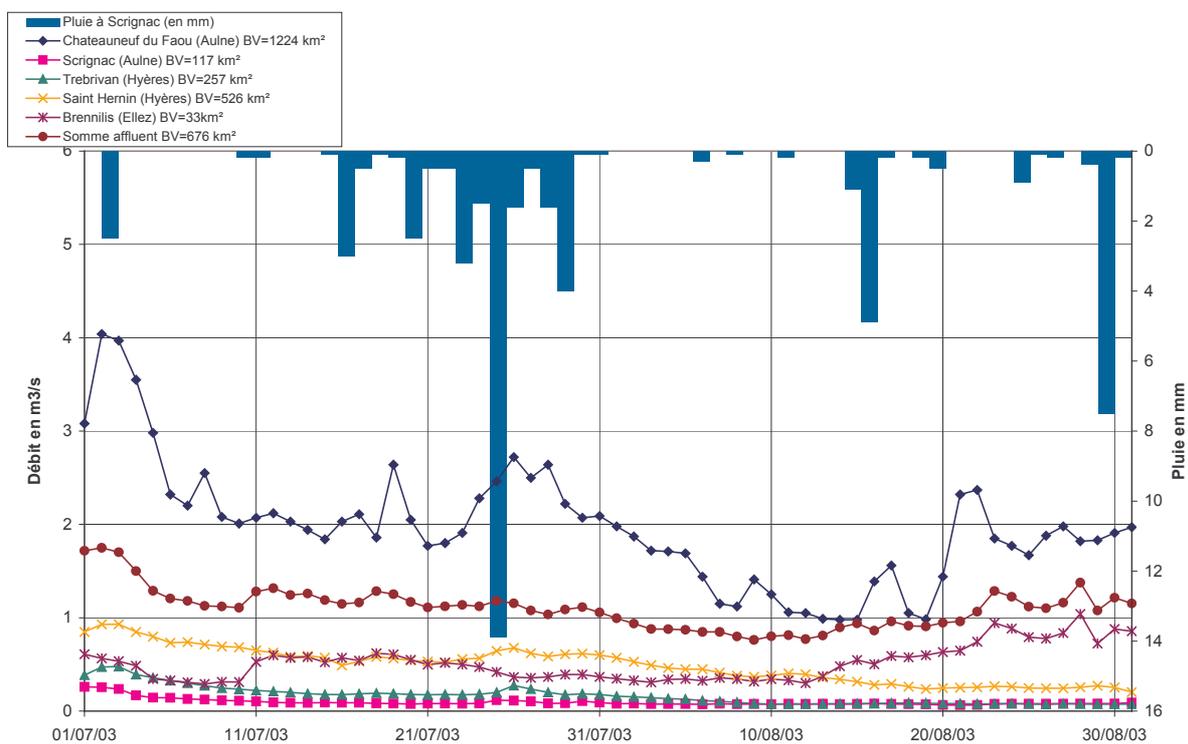


Figure 6 : Hydrogrammes aux stations pour la période juillet-août 2003

La série « somme affluent » représente la somme des débits de l'Ellez, de l'Aulne à Scrignac et de l'Hyères à Saint-Hérmin. La corrélation entre cette série et les débits mesurés à la station de Châteauneuf-du-Faou est faible. Les pics sont estompés au mois de juillet.

En août 2003, la courbe « somme des affluents » et la courbe des débits à Châteauneuf-du-Faou sont très proches. Il s'agit sans doute d'une opération de débarrage avec augmentation des débits sur environ 8 jours à partir du 25 juillet puis une phase de remplissage.

Si on considère les volumes transités, on ne peut mettre en évidence de pertes sur le tronçon. En particulier, on peut comparer les volumes à Châteauneuf du Faou auxquels on a retranché les apports de la station de Brennilis aux apports ajoutés de Scrignac et de Saint-Hernin. En ramenant les volumes à une même superficie de bassin versant (superficie correspondant au bassin versant de contrôlé par la station de Châteauneuf à laquelle on retranche la superficie du bassin versant contrôlé par Brennilis), on calcule des volumes de 14 et 11 millions de m³ à Châteauneuf et par sommation de Scrignac et Saint-Hernin respectivement. Le volume à Brennilis est dans le même temps de 6 millions de m³.

La perte théorique correspond à l'évaporation des eaux de surface du canal, soit un volume d'environ 1 million de m³ (cf. 6.2).

2.5. Conclusion

Pour traiter des étiages sur le bassin versant de l'Aulne, les données hydrométriques seront tirées des 6 stations suivantes gérées par la DIREN Bretagne :

- Scrignac sur l'Aulne ;
- Châteauneuf-du-Faou sur l'Aulne (station de référence) ;
- Trebrivan sur l'Hyères ;
- Saint-Hernin sur l'Hyères ;
- Brennilis sur l'Ellez ;
- Saint-Segal sur la Douffine.

L'analyse des débits est rendue difficile par le fait que de nombreux facteurs autre que climatiques et hydrologiques interviennent :

- soutien d'étiage réalisé par la retenue de Saint Michel ;
- écluse de la centrale hydroélectrique de Saint-Herbot ;
- manœuvre des ouvrages hydrauliques sur les rivières canalisées (débarrage de bief par exemple) ;
- prélèvements et rejets dans le réseau hydrographique.

Les données ont été transmises par différents services de l'Etat et acteurs sur le bassin versant de l'Aulne :

- Etat des lieux et pré-diagnostic du SAGE de l'Aulne par la CLE du SAGE Aulne ;
- Données hydrométriques aux stations par la DIREN Bretagne ;
- Données pluviométriques et d'évapotranspiration par Météo France ;
- Données de débits, courbe de tarage, courbe de remplissage de la retenue de Saint Michel par EDF.
- Prélèvement AEP par la CGE et la SAUR ;
- Prélèvement industriel et rejet par la CLE du SAGE Aulne ;
- Manœuvre des vannes sur l'Aulne canalisée par la DDE subdivision de Châteauneuf-du-Faou et par le SMATAH.

Dans ce dernier cas, il n'existe pas de suivi des interventions sur l'Aulne et l'Hyères canalisées. Les informations fournies sur les débarrages de bief ont donc nécessité la formulation d'hypothèses (cf. calage du modèle hydrologique).

3. ANALYSE DES VARIABLES INFLUENÇANT LE DÉBIT D'ÉTIAGE

3.1. Le Débit Spécifique Mensuel

Une première comparaison des régimes hydrologiques aux stations est faite à partir de la connaissance du débit spécifique (débit rapporté à la superficie du bassin versant). Le graphique suivant exprime l'enveloppe des débits spécifiques mensuels rencontrés sur le bassin versant de l'Aulne.

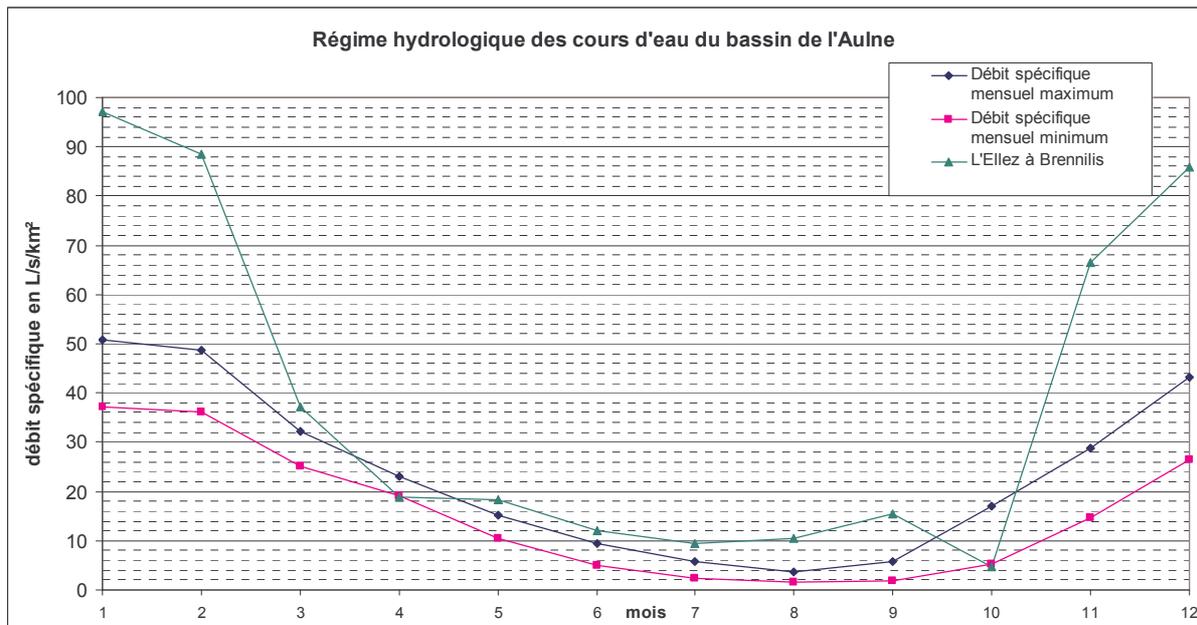


Figure 7 : Débits spécifiques mensuels aux stations (Banque Hydro – 13/11/2004 modifié le 09/02/2005)

Le débit spécifique mesuré sur l'Ellez à Brennilis est fortement perturbé par la retenue située en amont comme le montre le graphique précédent. Les débits spécifiques mensuels sont supérieurs en période de hautes eaux et en période de basses eaux (soutien d'étéage). Dans ce dernier cas le débit spécifique mensuel atteint 10 l/s/km².

L'enveloppe des débits spécifiques mesurés sur le bassin versant est assez large et met en évidence 3 comportements :

- Un sous-bassin versant fortement influencé (station de Brennilis),
- Un sous-bassin versant d'hydraulicité soutenue : la Douffine,
- Le reste du bassin versant de débit spécifique d'étéage de l'ordre de 2 l/s/km².

3.2. Influence des prélèvements sur les débits spécifiques

Rappelons que les prélèvements principaux concernent l'AEP. Les prélèvements agricoles et industriels sont très faibles. La station de Saint-Hernin subit les prélèvements des stations de Gourin et de Carhaix Plouguer. Celle de Châteauneuf-du-Faou est influencée en plus par les stations de Châteauneuf-du-Faou, de Cleden Poher, de Huelgoat et de Landeleau.

Le tableau ci-dessous fournit une estimation des prélèvements totaux réalisés en amont des stations de Saint-Hernin et de Châteauneuf-du-Faou :

Station	Volume prélevé en étiage 2000	Débit spécifique correspondant (2000)
Saint Hernin	712 000 m ³	0,07 l/s/km ²
Châteauneuf-du-Faou	2 203 000 m ³	0,1 l/s/km ²

Tableau 2 : Influence des prélèvements sur les débits spécifiques en 2000

Station	Volume prélevé en étiage 2003	Débit spécifique correspondant (2003)
Saint Hernin	334 000 m ³	0,03 l/s/km ²
Châteauneuf-du-Faou	1 986 000 m ³	0,09 l/s/km ²

Tableau 3 : Influence des prélèvements sur les débits spécifiques en 2003

Le tableau ci-dessus montre un débit spécifique des prélèvements au droit des stations situées à l'aval de l'ordre de 0,1 l/s/km². Cette valeur est faible par rapport au débit spécifique moyen du mois d'août (2 l/s/km). Sur la base de la capacité nominale de prélèvement, le débit spécifique des prélèvements peut monter à 0,26 l/s/km² à Châteauneuf ce qui correspond à 14 % du débit spécifique observé.

3.3. Influence du soutien d'étiage sur les débits spécifiques

L'enveloppe des débits spécifiques mensuels sur l'ensemble de la chronique peut être comparée à l'enveloppe des débits spécifiques avant 1992. En effet cette date correspond au début du soutien d'étiage par la retenue de Brennilis¹.

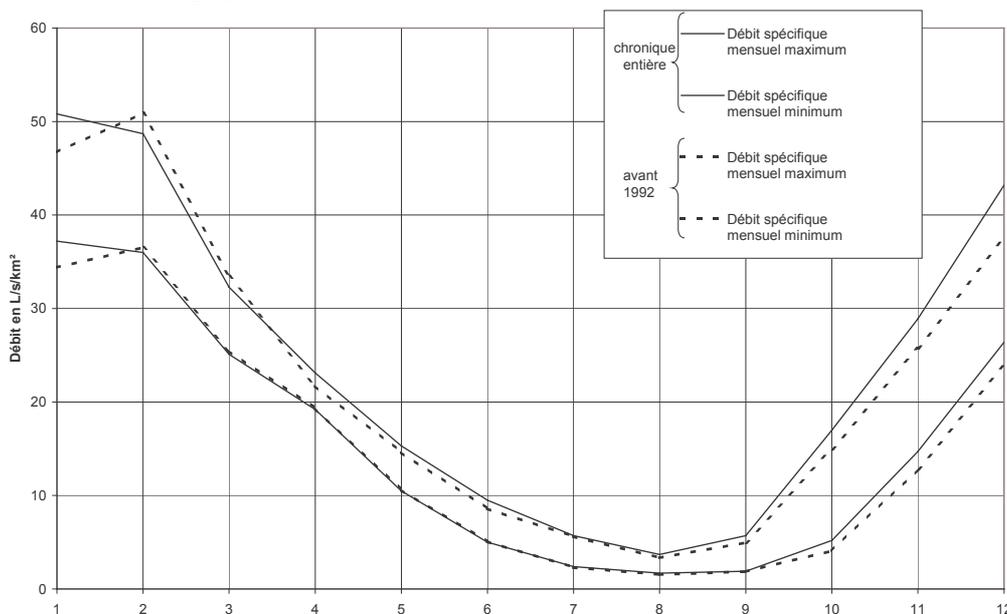


Figure 8 : Comparaison des débits spécifiques selon la période considérée

¹ Des lachures avaient déjà été réalisées au cours de l'été et de l'automne 1989

La figure ci-dessus montre une légère augmentation des débits spécifiques d'étiage depuis 1992. Sur l'ensemble de la chronique, le débit spécifique minimum est de 1,7 l/s/km² au mois d'août et le débit spécifique maximum est de 3,7 l/s/km². Sur la période avant 1992, le débit spécifique minimum est de 1,5 l/s/km² et le débit spécifique maximum est de 3,3 l/s/km². En moyenne sur les 5 stations considérées (la station de Brennilis est écartée) et en moyenne sur la période juillet septembre, le débit spécifique passe de 2,7 l/s/km² avant 1992 à 3 l/s/km² aujourd'hui.

Le soutien d'étiage à partir de 1992 n'explique pas les différences de débits spécifiques entre les stations. L'écart entre le débit spécifique minimum et maximum reste en effet identique.

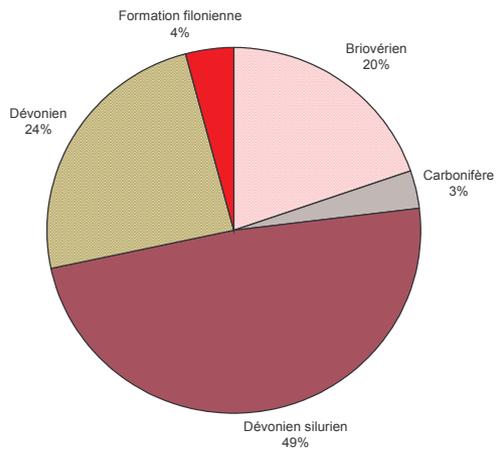
3.4. Influence de la géologie et des précipitations sur les débits spécifiques

Le caractère géologique des sous-bassins versants peut-être appréhendé à l'aide de la carte géologique de la région (cf. annexe). D'après l'état des lieux du SAGE de l'Aulne, les sous bassins versants aux stations hydrométriques sont composées des formations suivantes :

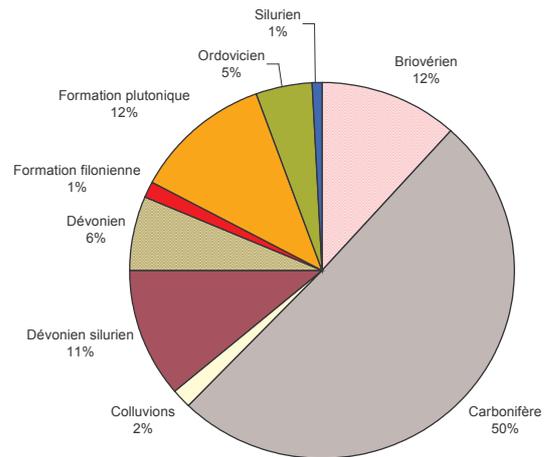
Superficie BV	117	1224	257	526	138	33
Géologie	Scrignac (Aulne)	Châteauneuf (Aulne)	Trebrivan (Hyères)	Saint-Hernin (Hyères)	Saint Ségal (Douffine)	Brennilis (Ellez)
Briovérien	20%	12%	37%	19%	0%	0%
Carbonifère	3%	50%	39%	62%	42%	0%
Colluvions	0%	2%	0%	0%	0%	48%
Dévonien silurien	49%	11%	1%	3%	25%	9%
Dévonien	24%	6%	0%	0%	22%	0%
Formation filonienne	4%	1%	4%	2%	0%	0%
Formation plutonique	0%	12%	19%	9%	0%	9%
Ordovicien	0%	5%	0%	4%	12%	33%
Silurien	0%	1%	0%	1%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tableau 4 : Type de formation géologique par sous-bassin versant

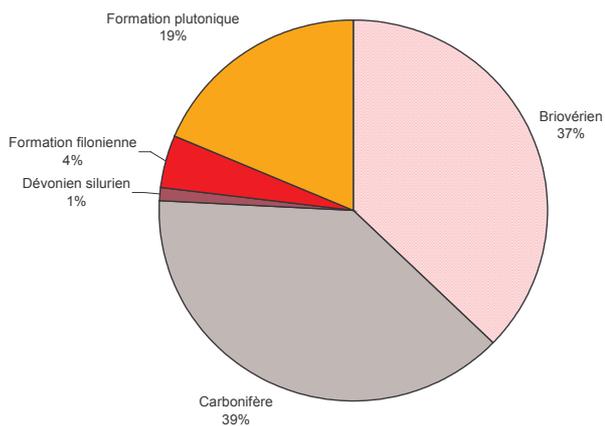
Scrignac (Aulne)



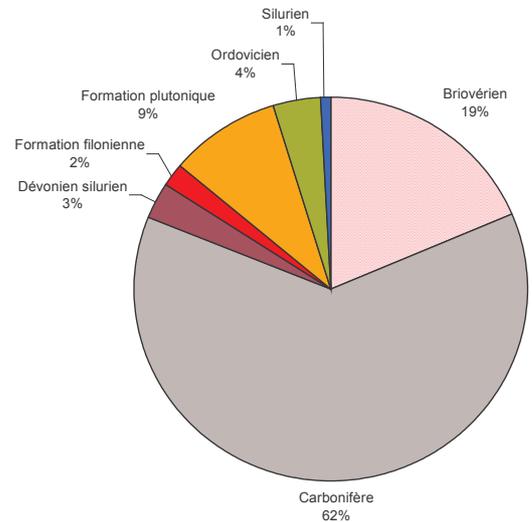
Chateaufeuf (Aulne)



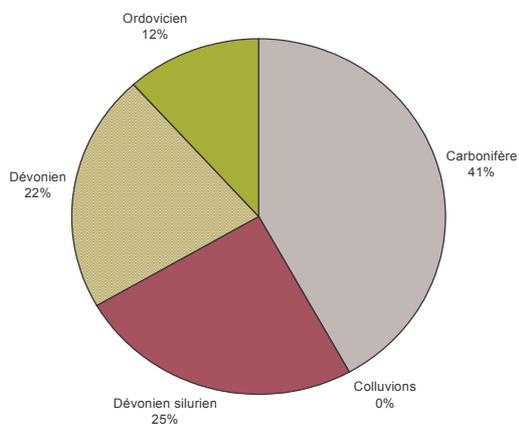
Trebrivan (Hyères)



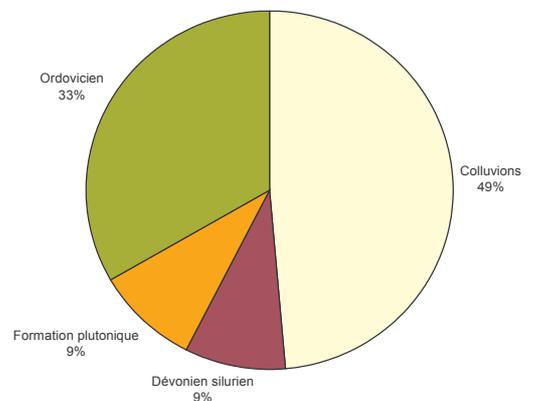
Saint-Hernin (Hyères)



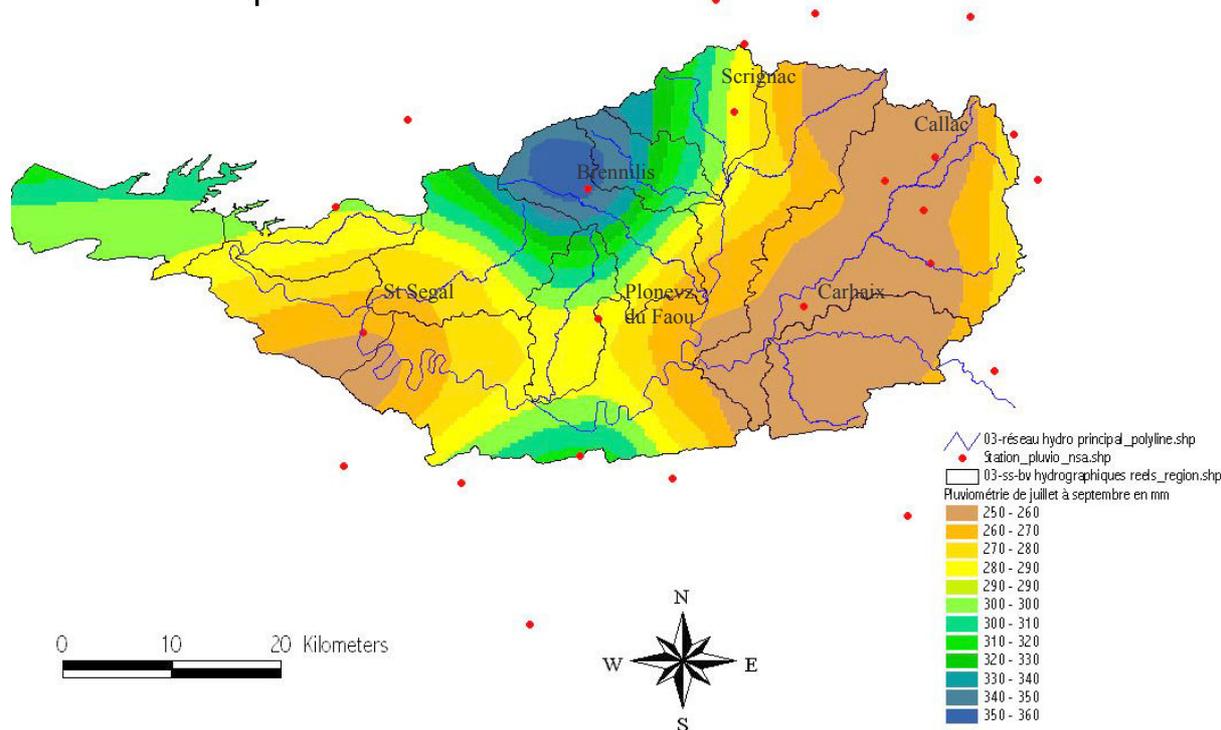
Saint Ségat (Douffine)



Brennilis (Ellez)



Précipitations estivales sur le bassin de l'Aulne



3.5. Test d'homogénéité

Afin de mettre en évidence une éventuelle évolution des conditions hydrologiques sur la période 1975-2004, il a été réalisé des tests d'homogénéité sur l'échantillon des débits moyens entre juillet et septembre (Q_{07-09}) aux différentes stations.

L'homogénéité a été vérifiée à l'aide du test de Student. Pour cela on partage la population de l'échantillon total en deux groupes : avant et après 1992. Les données à la station de Châteauneuf-du-Faou sont corrigés de manière à ne pas prendre en compte le phénomène de soutien d'été. Les données statistiques par station sont données dans les tableaux suivants :

Période	Longueur	Moyenne	Ecart type
1970-1991	22	2,77 m ³ /s	1,51 m ³ /s
1992-2004	13	3,59 m ³ /s	1,47 m ³ /s

Tableau 5 : Statistiques de Q_{07-09} à la station de Châteauneuf-du-Faou

Le test de Student donne $t=1,6$. La valeur critique est donnée par $t_{(33, 95\%)} = 2,04$. L'échantillon est donc homogène.

Période	Longueur	Moyenne	Ecart type
1975-1991	17	0,23 m ³ /s	0,14 m ³ /s
1992-2004	13	0,33 m ³ /s	0,20 m ³ /s

Tableau 6 : Statistiques de Q_{07-09} à la station de Scrinac

Le test de Student donne $t=1,55$. La valeur critique est donnée par $t_{(28, 95\%)}= 2,05$. L'échantillon est donc homogène.

Période	Longueur	Moyenne	Ecart type
1972-1991	20	0,68 m ³ /s	0,36 m ³ /s
1992-2004	13	0,80 m ³ /s	0,37 m ³ /s

Tableau 7 : Statistiques de Q₀₇₋₀₉ à la station de Trebrivan

Le test de Student donne $t=0,92$. La valeur critique est donnée par $t_{(28, 95\%)}= 2,04$. L'échantillon est donc homogène.

Période	Longueur	Moyenne	Ecart type
1966-1991	26	0,64 m ³ /s	0,38 m ³ /s
1992-2004	13	0,79 m ³ /s	0,28 m ³ /s

Tableau 8 : Statistiques de Q₀₇₋₀₉ à la station de Saint Ségat

Le test de Student donne $t=1,27$. La valeur critique est donnée par $t_{(37, 95\%)}= 2,03$. L'échantillon est donc homogène.

La station de Cleden Poher n'a pas été testée du fait du manque de données pour la période juillet-septembre sur plusieurs années.

L'échantillon est donc homogène pour toutes les stations.

L'homogénéité de l'échantillon peut être également appréciée de manière qualitative par l'évolution de la population sur le territoire du bassin versant. Les données tirées de l'étude BCEOM concernant la population communale sont résumées dans le tableau suivant :

Population en 1962	Population en 1990	Variation entre 1962 et 1990
81 685	75 363	-8 %

Tableau 9 : Population totale sur le bassin versant de l'Aulne (BCEOM, 1998)

Les zones urbaines sont de faibles étendues sur le bassin de l'Aulne. Celui-ci a connu un fort exode rural et une concentration accrue dans les villes bordant l'Hyères et l'Aulne. Dans l'ensemble la population a légèrement diminué entre 1962 et 1990. Les débits mesurés depuis 1962 représentent donc un état comparable du point de vue du nombre d'habitants sollicitant les ressources hydrologiques.

3.6. Conclusion

Les prélèvements et rejets influencent les stations de Saint Hernin sur l'Hyères, de Châteauneuf-du-Faou sur l'Aulne et dans une moindre mesure les stations de Brennilis sur l'Ellez (STEP de la Feuillée) et de Trebrivan sur l'Hyères (STEP de Callac). La part des prélèvements sur le débit moyen d'août est de l'ordre de 10 % à Châteauneuf du Faou. Si on tient compte des rejets, la proportion n'est plus que de 5 %.

Le soutien d'étiage est important à Brennilis et diminue en proportion des débits à mesure que l'on se dirige vers l'aval. Il représente en moyenne 80% des apports à la station hydrométrique de Brennilis au mois d'août. La proportion est de 12 % à Châteauneuf du

Faou. Il n'a aucune influence sur l'Aulne en amont de la confluence avec l'Ellez, sur l'Hyères et sur les affluents de l'Aulne (Douffine). Le soutien d'étiage ne peut être mesuré qu'à travers les stations de Brennilis et de Châteauneuf-du-Faou. En période d'étiage sévère (août 2003), la proportion du soutien d'étiage dans le débit mesuré atteint presque 100 % à la station de Brennilis et de 50 % à la station de Châteauneuf-du-Faou.

Enfin, les conditions pluviométriques participent aux écarts constatés du fait d'une pluviométrie différenciée entre la partie nord du bassin dont l'épicentre serait la retenue de Brennilis (plus de 1400 mm par an) et le pourtour est (900 mm par an). La variation de pluie atteint ainsi 30 % en fonction du bassin versant. Les bassins de l'Aulne amont et de l'Hyères amont sont moins arrosés que les bassins de la Douffine, de l'Argent, de l'Ellez et du Squiriou.

4. ANALYSE STATISTIQUE DES DEBITS D'ETIAGE ET MISE EN EVIDENCE DE CORRELATIONS

D'un point de vue qualitatif, on peut penser que le débit en période d'étiage dépend de 4 facteurs :

- le débit de base en début de période d'étiage (le débit moyen mensuel du mois de mai peut être pris comme indicateur de la situation hydrologique en début de période d'étiage) ; cet indicateur intègre l'historique hydrologique et d'éventuelles influences d'une année n-1 sur une année n,
- le cumul de précipitations sur la période d'étiage (on choisira le cumul sur la période juin-août),
- l'évapotranspiration (en première approximation, on pourra prendre comme indicateur la température),
- les prélèvements et rejets.

On cherchera dans ce chapitre à corrélérer le débit minimum mensuel aux trois premiers paramètres.

Par ailleurs, on cherchera à mettre en évidence entre les stations des corrélations qui feront intervenir le QMNA d'une part, les courbes de tarissement d'autre part. A partir de l'analyse des débits moyens sur la période d'étiage, on quantifiera l'influence du soutien d'étiage actuel.

4.1. Ajustement statistique des débits caractéristiques d'étiage

Ces données sont souvent accessibles dans la synthèse des stations hydrométriques. Elles sont récapitulées dans le tableau suivant :

Station	Scignac (Aulne)	Châteauneuf (Aulne)	Trebrivan (Hyères)	Saint-Hernin (Hyères)	Brennilis (Ellez)	Saint-Segal (Douffine)
Bassin versant	117 km ²	1224 km ²	257 km ²	526 km ²	33 km ²	138 km ²
Module (en m ³ /s)	2,24	21,7	4,4	8,23	1,37	3,25
Débit moyen mensuel Minimal annuel (QMNA) (m ³ /s)	0,15	1,9	0,43	0,68	0,16	0,41
Débit moyen mensuel Minimal sec quinquennal (QMNA-5, m ³ /s)	0,083	0,97	0,2	0,26	0,041	0,22
Seuil de débit atteint 10 jours par an pour une fréquence T=2 ans (m ³ /s)	0,097	0,99	0,25	0,32	0,034	0,27
Seuil de débit atteint 10 jours par an pour une fréquence T=5 ans sèche (m ³ /s)	0,065	0,55	0,15	0,14	0,023	0,17
Nombre de j/an pour Lesquels le débit est inférieur au 1/10 du module	78	77	48	64	51	32

Tableau 10 : Caractéristiques hydrologiques des étiages sur le bassin versant de l'Aulne (d'après extraction Banque Hydro du 29/11/2004 modifiée le 08/02/2005)

La Douffine se particularise nettement sur l'ensemble des paramètres.

Le QMNA5 correspond à la moitié environ du QMNA. On constate que la durée pendant laquelle le débit est inférieur au dixième du module est importante (contraste hydrologique fort).

4.2. Débit mensuel minimal par an (QMNA)

Le débit mensuel minimal annuel peut être calculé à l'aide d'une extraction de la Banque Hydro. Il est donné par station dans les figures suivantes.

4.2.1. Station de Trebrivan sur l'Hyères

Cette station est peu influencée par les prélèvements (débit moyen prélevé à la station de Callac : 5 l/s). Elle n'est pas influencée par des ouvrages hydrauliques.

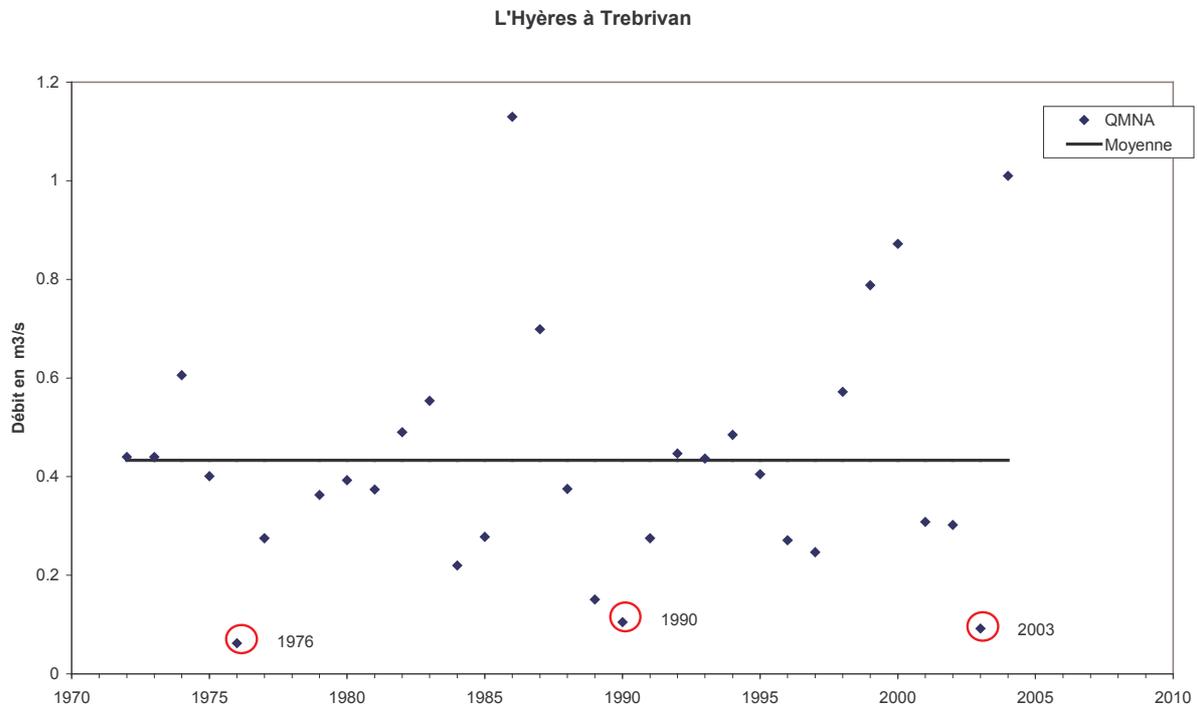


Figure 10 : QMNA de l'Hyères à Trebrivan

Les débits mensuels minimaux historiques ont eu lieu en août 1976 et en août 2003. La moyenne des QMNA est de $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$, l'écart type est de $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$

Evènement	Août 1976	Septembre 1990	Août 2003
Période de retour	>50 ans	Entre 20 et 50 ans	50 ans

Tableau 11 : Période de retour associée à certains évènement – station de Trebrivan

On n'observe pas de cycles secs et humides. La corrélation d'une année n à une année $n+1$ est de 0,19.

Le graphe ci-dessous présente le débit moyen du mois de mai et le QMNA en superposition :

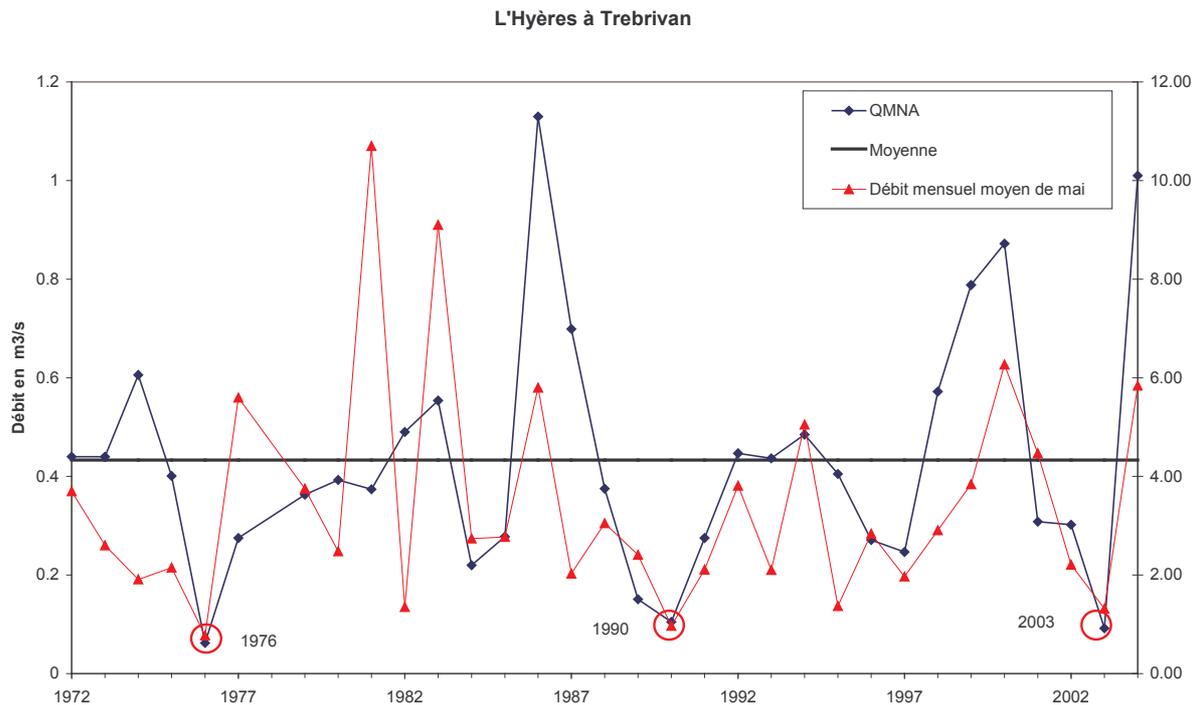


Figure 11 : Juxtaposition du QMNA et du débit moyen de mai

Le coefficient de corrélation entre les deux courbes est de 0,42. Cependant pour les années où le QMNA est le plus faible (1976, 1990 et 2003), le débit de mai est également très faible. La réciproque n'est pas vraie.

Une modélisation plus détaillée consiste à rechercher une relation entre le QMNA et le débit au mois de mai (condition à l'entrée de l'été) et des précipitations sur juin-juillet-août.

$$QMNA = f(Q_{mai}, P_{06-08}) \quad (1)$$

L'analyse de corrélation multilinéaire est réalisée à l'aide de RESNEUR. La variable à prévoir est le QMNA. Les données exogènes sont le cumul de précipitation de juin à août et le débit au mois de mai. Les relations sont supposées linéaires (f est une fonction linéaire dans (1)).

Le graphique suivant présente les résultats du modèle et les mesures :

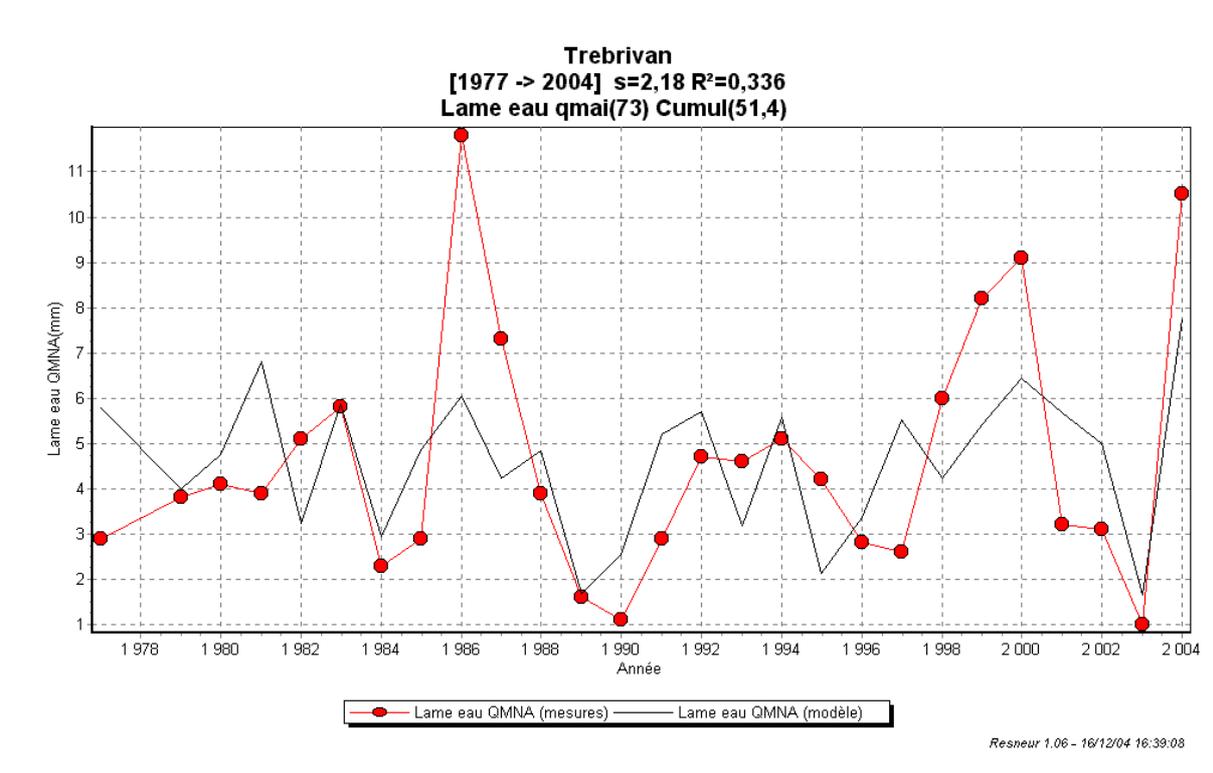


Figure 12 : Modélisation multilinéaire du QMNA à Trebrivan (RESNEUR)

Les valeurs sont homogènes à des lames d'eau (mm). La relation obtenue est la suivante :

$$QMNA(mm) = 0,055 \cdot Q_{mai}(mm) + 0,015 \cdot P_{06-08}(mm) - 0,91 \quad (R^2=0,336)$$

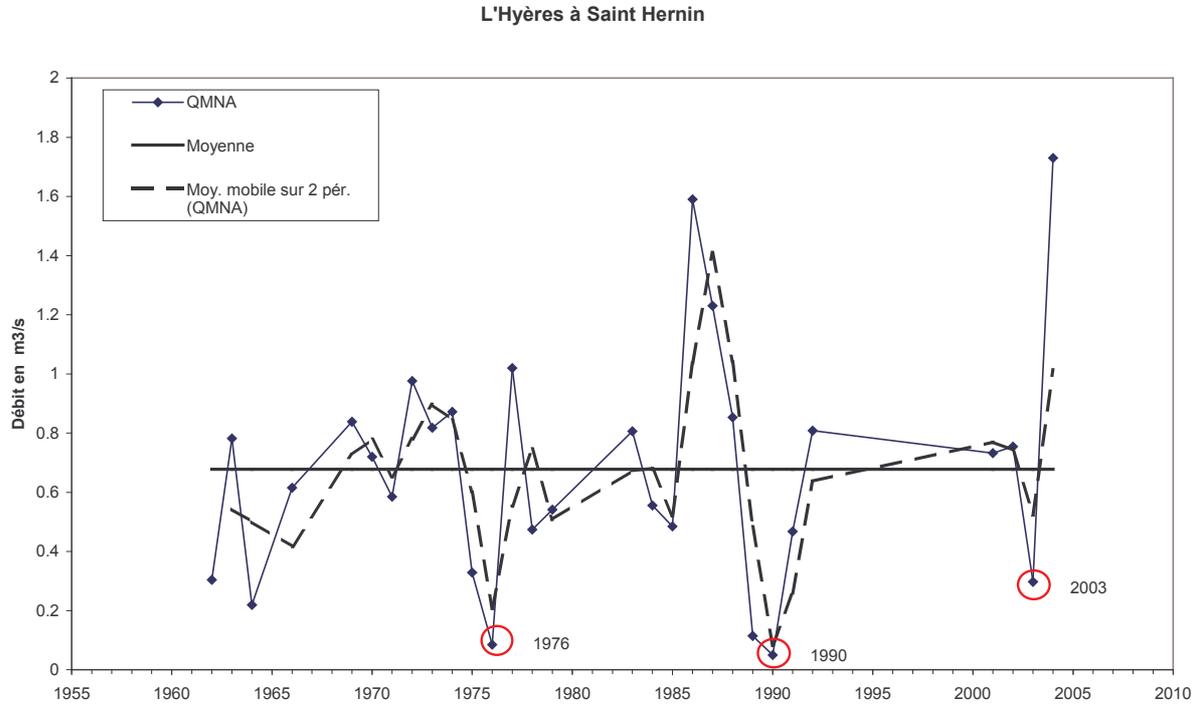
Le graphe montre des tendances similaires sans toutefois que l'on puisse en tirer des conclusions définitives. Le coefficient constant (0,91) est important. Un certain nombre de phénomènes reste inexpliqué. Par exemple, en 1986 et 1994, le débit du mois de mai est proche ($5,8 \text{ m}^3/\text{s}$ et $5,05 \text{ m}^3/\text{s}$). Le cumul de précipitations est de 235 mm et de 231,7 mm en 1986 et 1994 respectivement. Le modèle donne donc un QMNA très proche pour les deux années alors que les débits observés sont très différents. En 1986, le QMNA était de $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ et celui de 1994 était de $0,486 \text{ m}^3/\text{s}$.

La température moyenne entre juin et septembre ainsi qu'une approximation par un polynôme du deuxième degré ont également été rajoutées comme données d'entrée. Il n'y a pas eu d'amélioration du modèle.

Le test de corrélation et le modèle multilinéaire montrent que les débits d'étiage sont indépendants d'une année sur l'autre et que les précipitations durant la période d'étiage ont une incidence non négligeable sur la valeur des QMNA.

4.2.2. Station de Saint-Hernin sur l'Hyères

Cette station est influencée par des prélèvements et légèrement influencé par des ouvrages hydrauliques



La moyenne mobile sur deux années montre deux séries de deux années très particulières. Il s'agit des années 1986,1987 caractérisées par un QMNA très fort et des années 1989,1990 caractérisées par un QMNA très faible. Le graphe ci-dessus montre que ce type de phénomène est très rare.

Les débits mensuels minimaux historiques ont eu lieu en août 1976 et septembre 1990. La moyenne des QMNA est de $0,68 \text{ m}^3/\text{s}$, l'écart type est de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Evènement	Août 1976	Septembre 1990	Septembre 2003
Période de retour	>50 ans	> 50 ans	Entre 2 et 5 ans

Tableau 12 : Période de retour associée à certains événements – station de Saint Hernin

4.2.3. Station de Scignac sur l'Aulne

Cette station n'est pas influencée par des prélèvements ou par des ouvrages hydrauliques.

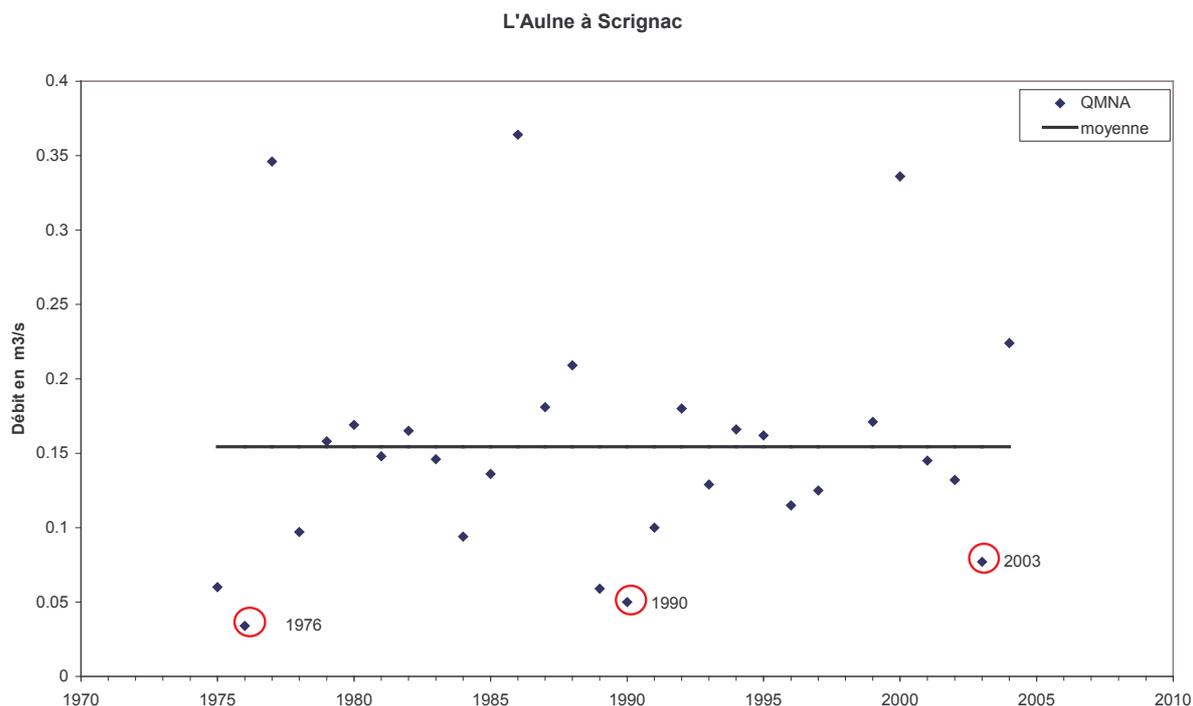


Figure 14 : QMNA de l'Aulne à Scignac

Les débits mensuels minimaux historiques ont eu lieu en août 1976 et septembre 1990. La moyenne des QMNA est de $0,154 \text{ m}^3/\text{s}$, l'écart type est de $0,082$. Les QMNA sont moins dispersés comparés aux autres stations.

Evènement	Août 1976	Août 1990	Août 2003
Période de retour	>50 ans	Entre 20 et 50 ans	Entre 5 et 10 ans

Tableau 13 : Période de retour associée à certains événement – station de Scignac

Les stations de Brennilis et de Châteauneuf du Faou sont influencées par la retenue de Saint Michel de Brennilis à partir de 1992.

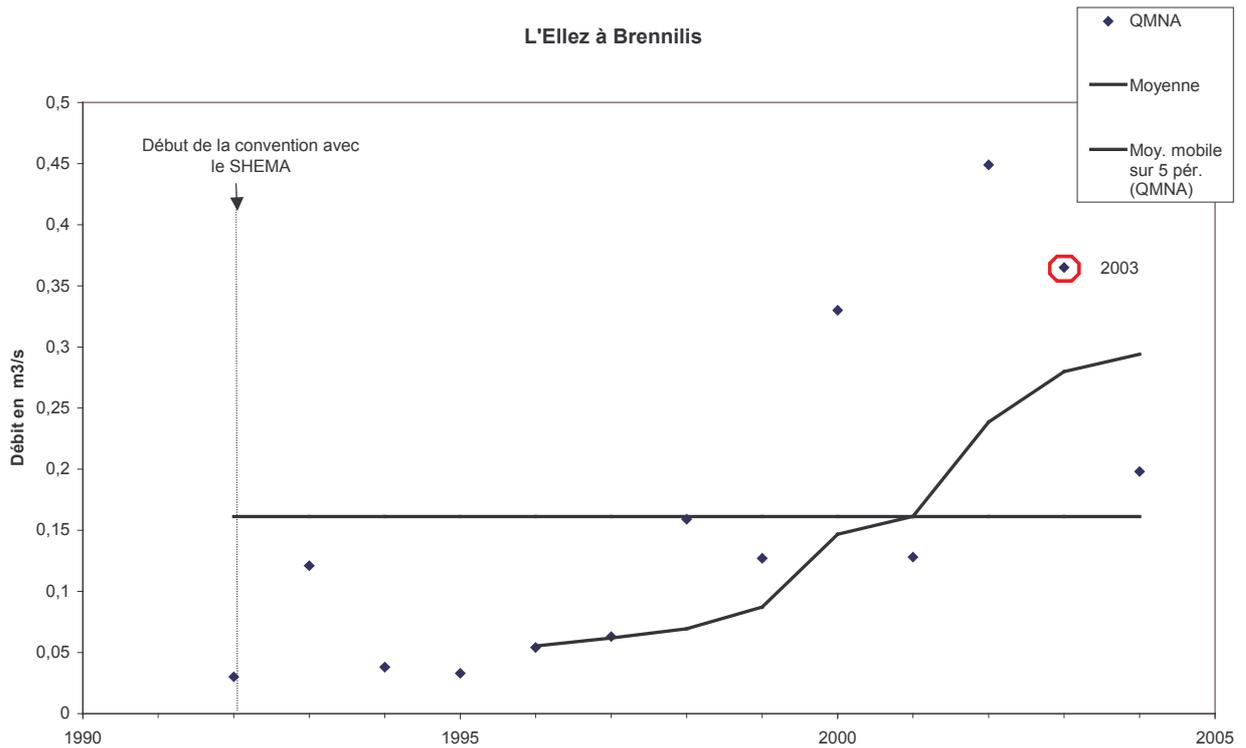


Figure 15 : QMNA de l'Ellez à Brennilis

La station de Brennilis est fortement influencée par la gestion du barrage comme le montre la figure précédente. Depuis 1992, les débits mensuels minimum moyennés sur 5 ans ont augmenté progressivement de 0,05 m³/s à plus de 0,3 m³/s. L'année 2003 se situe ainsi au-dessus de la moyenne (1992-2004) avec un QMNA de 198 l/s.

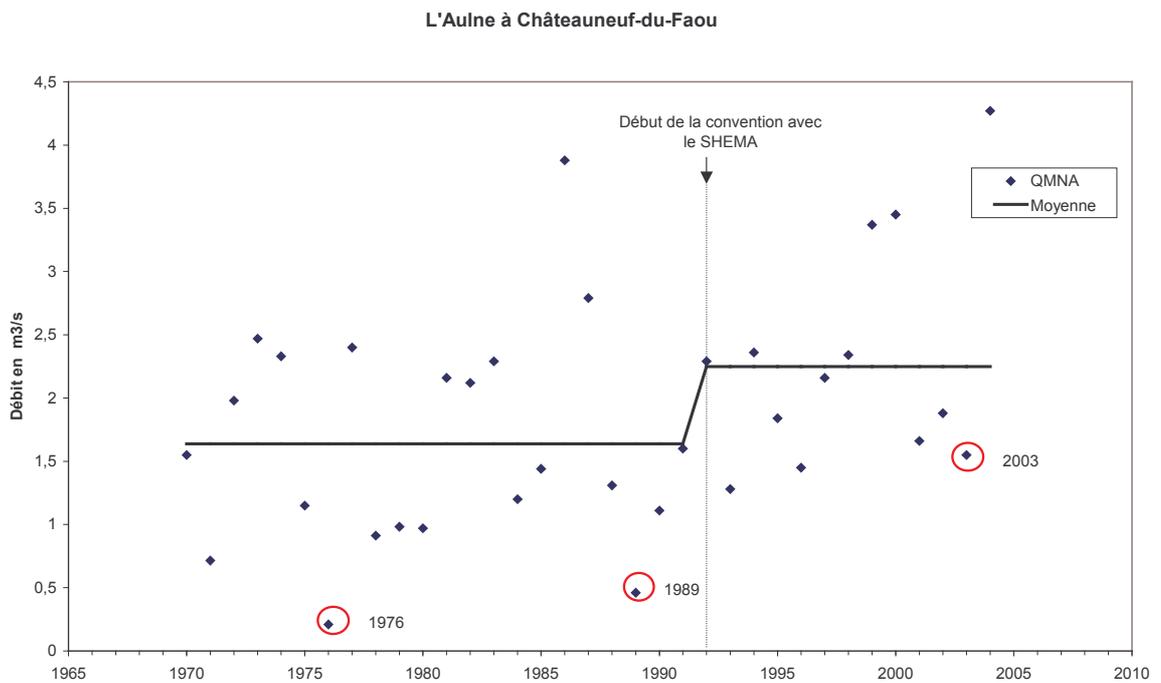


Figure 16 : QMNA à Châteauneuf-du-Faou

La station de Châteauneuf-du-Faou est aussi influencée par la retenue de Saint Michel de Brennilis. Pour mettre en évidence l'effet du soutien d'étiage sur les débits mensuels minimaux, la moyenne a été calculée sur deux périodes : avant 1992 et après 1992. La moyenne a ainsi augmenté de près de 0,6 m³/s depuis la mise en place de la convention.

Les débits mensuels minimaux historiques concernent les années 1971, 1976 et 1989.

Evènement	Août 1976	Septembre 1990	Août 2003
Période de retour	>50 ans	Entre 2 et 5 ans	Entre 2 et 5 ans

Tableau 14 : Période de retour associée à certains événement – station de Châteauneuf-du-Faou

La période de retour du débit de septembre 1989 est de 50 ans environ.

Bilan

Les débits mensuels minimum historiques ont été relevés pour les années 1976 et 1989. Les étiages de 2003 et de 1990 sont moins importants que l'étiage de 1976 et de 1989 grâce au soutien d'étiage de la retenue de Saint Michel. En effet, avant l'établissement de la convention, EDF procédait déjà à des lâchers de soutien d'étiage :

- en 1989 :
 - demande de 150 l/s à compter du 28/07/89 ;
 - demande de porter le débit à 500 l/s le 21/08/89 ;
 - demande de réduction à 250 l/s le 31/08/89 ;
- en 1990 :
 - demande de 400 l/s à compter du 02/08/90 ;
 - demande de porter le débit à 1000 l/s le 08/08/90 jusqu'au 16/08/90 ;
 - demande de réduction à 400 l/s le 16/08/90 ;
 - demande du CG29 d'arrêt des lâchers le 26/10/90.

En ce qui concerne les stations influencées par le soutien d'étiage, on constate une augmentation nette des QMNA depuis la mise en place de la convention avec le SHEMA. L'efficacité du soutien d'étiage est très visible sur les années 1990 et 2003.

4.3. Débit mensuel moyen entre juillet et septembre (Q₀₇₋₀₉) sans soutien d'étiage

Un autre moyen pour classer les étiages entre eux est d'utiliser le volume qui transite entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre à chaque station ou ce qui revient au même d'utiliser le débit moyen entre les mois de juillet et de septembre. Cette méthode est plus adaptée ici car elle tient mieux compte de la durée du phénomène d'étiage. On peut ainsi retrancher les volumes de soutien d'étiage apportés par la retenue de Brennilis.

Les données de soutien d'étiage proviennent du SAGE de l'Aulne et sont rappelées dans le tableau suivant :

Année	Soutien d'étiage (en hm ³)	Débit instantané résultant (en l/s)
1992	0,375	36
1993	0,029	3
1994	-1,040	-100
1995	-1,287	-124
1996	3,520	340
1997	3,877	374
1998	0,546	53
1999	0,992	96
2000	0,424	41
2001	0,032	3
2002	5,810	560
2003	6,018	580

Tableau 15 : Données du soutien d'étiage de la retenue de Saint Michel (source SAGE Aulne)

Ce tableau montre un soutien d'étiage bénéfique pour les années 1996, 1997, 2002 et 2003. Par contre, en 1994 et 1995, le barrage a retenu plus d'eau qu'il en a rejeté.

4.3.1. Station de Châteauneuf du Faou (Aulne)

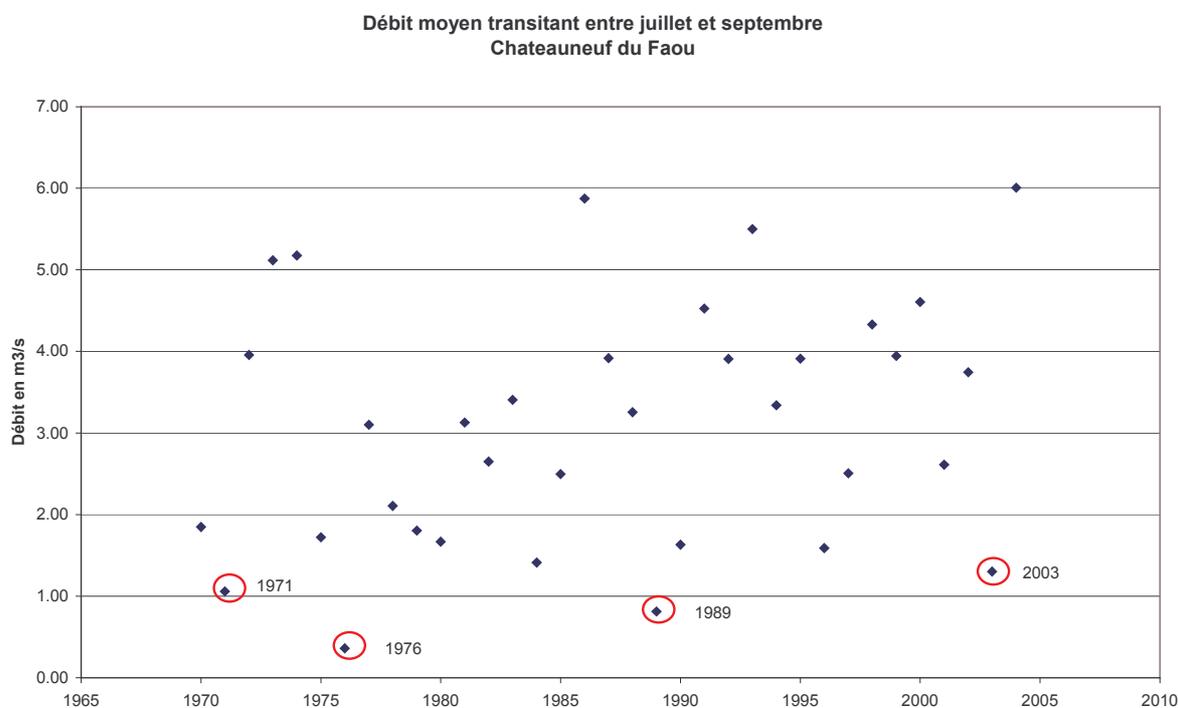


Figure 17 : Débit moyen transitant entre juillet et septembre à Châteauneuf-du-Faou

Les débits moyens reconstitués les plus bas ont été relevés en 1976, 1989, 1971 et 2003. Ils oscillent entre $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ (1976) et $1,30 \text{ m}^3/\text{s}$ (2003).

Ajustement selon une loi normale des débits naturels moyens sur juillet-septembre					
Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide	
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans
	1.2	1.6	2.7	4.5	5.9

	1976	1989	1990	2003
Débit en m ³ /s	0.36	0.81	1.63	1.3
Période de retour	> 50 ans	Entre 20 et 50 ans	5 ans	10 ans

Tableau 16 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés reconstitués à Châteauneuf-du-Faou

Avant 1992		Après 1992	
Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
2,8 m ³ /s	1,5 m ³ /s	3,6 m ³ /s	1,4 m ³ /s

Tableau 17 : Statistiques sur Q₀₇₋₀₉ à Châteauneuf du Faou

La moyenne des volumes écoulés entre juillet et septembre a augmenté passant de $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ avant 1992 à $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ après 1992 soit un gain de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (30%). L'écart type est resté le même.

4.3.2. Station de Scignac (Aulne)

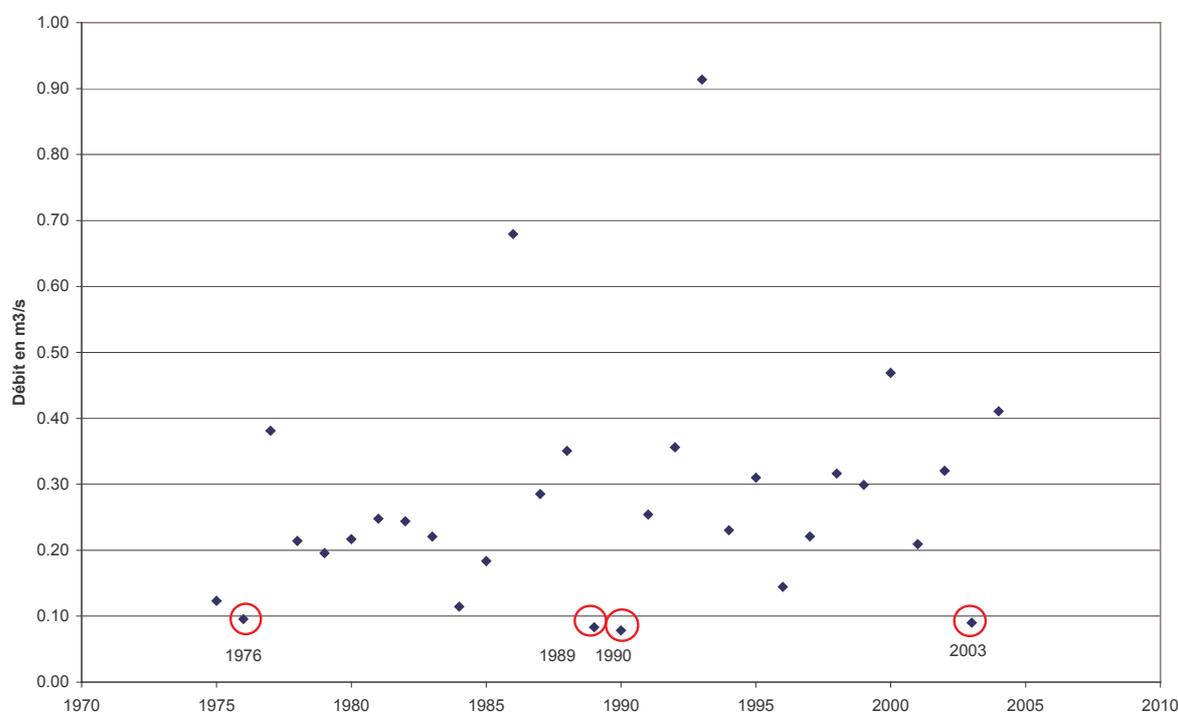


Figure 18 : Débit moyen transitant entre juillet et septembre à Scignac

Les années les plus sèches sont 1976, 1989, 1990 et 2003. Leur débit moyen est inférieur à 0,1 m³/s.

Ajustement selon une loi normale des débits moyens sur juillet-septembre					
Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide	
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans
	0.11	0.14	0.23	0.38	0.49
	1976		1989	1990	2003
Débit en m ³ /s	0.096	0.083	0.078	0.09	
Période de retour	entre 5 et 10 ans		20 ans	> 50 ans	
	entre 10 et 15 ans				

Tableau 18 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Scignac

Chronique entière (1975-2003)		Avant 1992		Après 1992	
Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
0,28 m ³ /s	0,18 m ³ /s	0,23 m ³ /s	0,14 m ³ /s	0,33 m ³ /s	0,20 m ³ /s

Tableau 19 : Statistiques sur Q₀₇₋₀₉ à Scignac

La moyenne du débit moyen a augmenté de 0,23 m³/s avant 1992 à 0,33 m³/s après 1992 soit un gain de 0,1 m³/s (40 %). L'écart type a aussi augmenté entre les deux périodes.

4.3.3. Station de Trebrivan (Hyères)

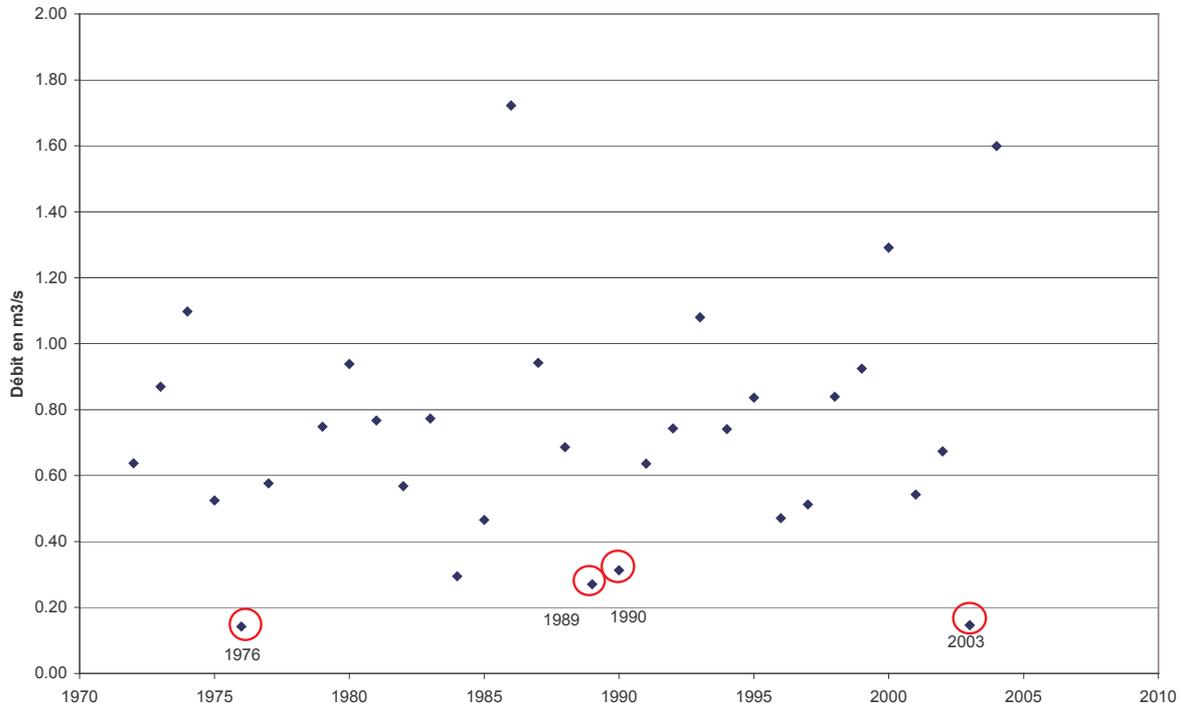


Figure 19 : Débit moyen transitant entre juillet et septembre à Trebrivan

Les étiages de 1976 et de 2003 sont les plus sévères avec des débits moyens inférieurs à 0,2 m³/s.

Ajustement selon une loi normale des débits moyens sur juillet-septembre																				
Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide																
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans															
	0.3	0.39	0.64	1.03	1.33															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1976</th> <th>1989</th> <th>1990</th> <th>2003</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Débit en m³/s</td> <td>0.143</td> <td>0.271</td> <td>0.313</td> <td>0.146</td> </tr> <tr> <td>Période de retour</td> <td>> 50 ans</td> <td>entre 10 et 15 ans</td> <td>entre 5 et 10 ans</td> <td>20 ans</td> </tr> </tbody> </table>						1976	1989	1990	2003	Débit en m ³ /s	0.143	0.271	0.313	0.146	Période de retour	> 50 ans	entre 10 et 15 ans	entre 5 et 10 ans	20 ans
	1976	1989	1990	2003																
Débit en m ³ /s	0.143	0.271	0.313	0.146																
Période de retour	> 50 ans	entre 10 et 15 ans	entre 5 et 10 ans	20 ans																

Tableau 20 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Trebrivan

Chronique entière (1975-2003)		Avant 1992		Après 1992	
Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
0,73 m ³ /s	0,36 m ³ /s	0,68 m ³ /s	0,36 m ³ /s	0,8 m ³ /s	0,37 m ³ /s

Tableau 21 : Statistiques sur Q₀₇₋₀₉ à Trebrivan

Le débit moyen a augmenté de 0,68 m³/s (période avant 1992) à 0,8 m³/s (période après 1992). L'écart type est resté stable. L'augmentation du débit moyen est donc de 18 %.

4.3.4. Bilan

Les volumes écoulés entre juillet et septembre pour les trois stations considérées précédemment ont augmenté entre la période d'avant 1992 et celle d'après 1992. Pourtant seule la station de Châteauneuf du Faou est influencée par le soutien d'été. Cette augmentation à l'aval des débits ne résulte donc pas uniquement du soutien mais aussi des débits plus importants enregistrés en période d'été ces dernières années. L'écart type reste constant ce qui traduit une disparité des valeurs stable dans le temps. Le soutien d'été par exemple n'a pas resserré les écarts de débit d'une année sur l'autre.

4.4. Corrélation des débits d'été entre les stations

4.4.1. Corrélation des courbes de tarissement

L'année 2003 est considérée comme une année sèche. Elle servira de base pour déterminer le débit minimum des courbes de tarissement aux différentes stations. La période considérée est celle du 1^{er} juillet au 1^{er} août 2003. Sur cette période, une courbe de tarissement est bien marquée entre le 3 et le 16 juillet (à Trebrivan). Le débit de soutien d'été est préalablement retranché au débit enregistré à Châteauneuf-du-Faou.

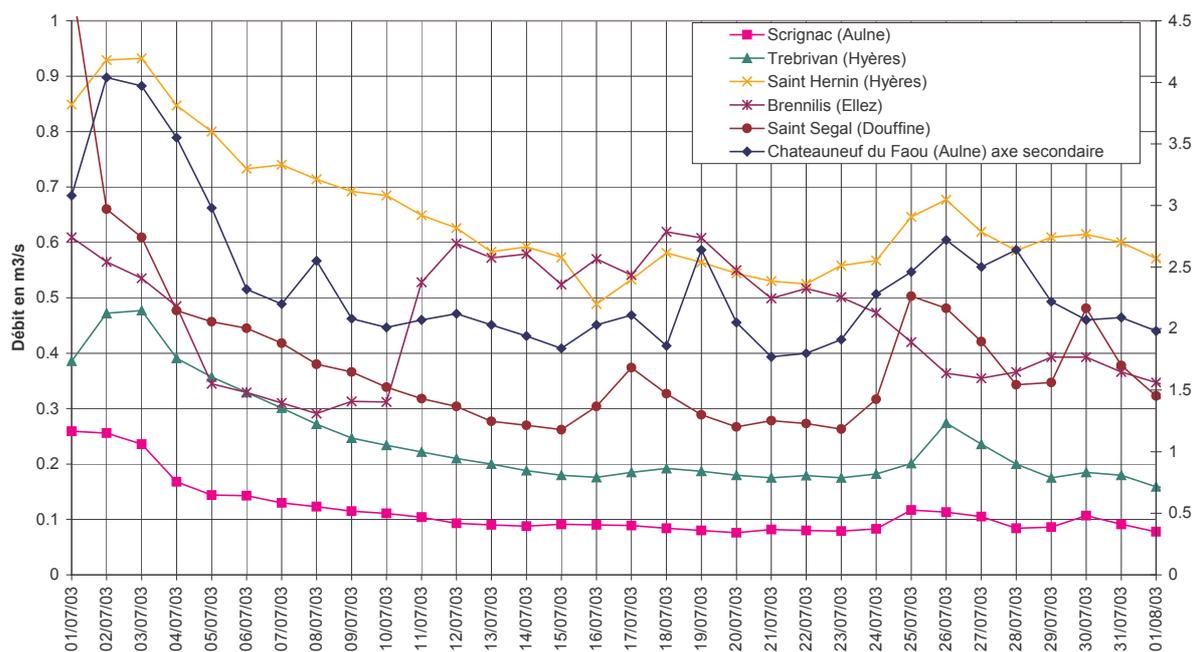


Figure 20 : Courbes de tarissement au mois de juillet 2003 pour différentes stations

Le débit journalier minimum aux stations est donné dans le tableau suivant :

Station	BV (en km ²)	Débit minimum journalier	Date
Scignac	117	88 l/s	Le 14 juillet
Châteauneuf	1224	1260 l/s	Le 15 juillet
Trebrivan	257	176 l/s	Le 16 juillet
Saint Hernin	526	489 l/s	Le 16 juillet
Saint Segal	138	262 l/s	Le 15 juillet

Tableau 22 : Débits journaliers minimum en 2003

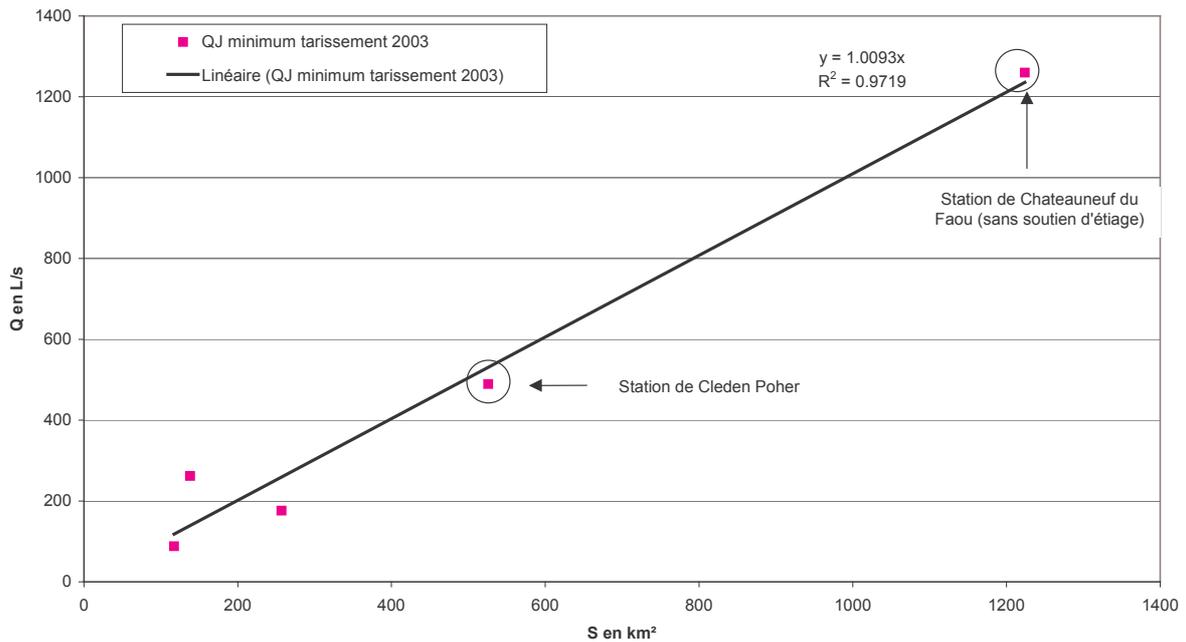


Figure 21 : Débit minimum de tarissement en fonction de la superficie de bassin versant

La station de Brennilis sur l'Ellez a été écartée du fait de son régime très fortement influencé par la retenue. La figure ci-dessus montre une bonne corrélation ($R^2=0,97$) pour le tarissement de début juillet 2003. La pente de l'ajustement est de 1,39.

4.4.2. Corrélation du QMNA

L'année 2003 est considérée comme une année sèche. Le QMNA aux stations est donné dans le tableau suivant avec la date :

Station	BV (en km²)	QMNA (l/s)
Scrignac	117	77
Châteauneuf	1224	970
Trebrivan	257	92
Saint Hernin	526	297
Saint Segal	138	130

Tableau 23 : QMNA en 2003

Pour la station de Châteauneuf du Faou, on considère le débit sans soutien d'étiage.

L'année 2002 peut être considérée comme une année moyenne. Le débit journalier minimum aux stations est donné dans le tableau suivant :

Station	BV (en km ²)	QMNA
Scrignac	117	132
Châteauneuf	1224	1320
Trebrivan	257	302
Saint Hernin	526	754
Saint Segal	138	465

Tableau 24 : QMNA en 2002

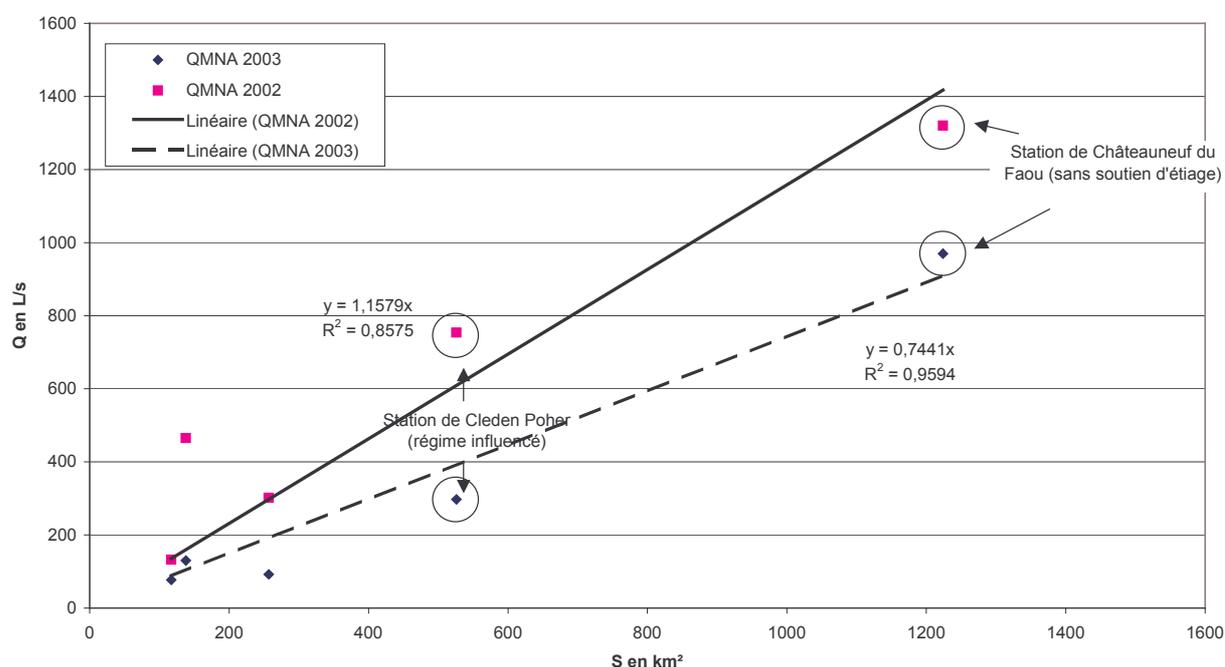


Figure 22 : QMNA en fonction de la taille de bassin versant

La corrélation entre la taille de bassin versant capté et le QMNA est correcte : $R^2=0,96$ pour 2003 et $R^2=0,86$ pour 2002. Le débit QMNA est donc proportionnel à la taille du bassin versant. Le coefficient de pente dépend de l'année. Pour des années sèches de type 2003, le coefficient est plus faible que pour des années plus humides (type 2002). Le soutien d'étiage ne semble pas perturber fortement la relation linéaire entre le QMNA et la surface de bassin versant capté.

4.4.3. Calcul des débits grâce au rapport de la taille des bassins versants

Les ajustements précédents ont montré qu'il était permis de faire l'hypothèse d'une relation linéaire entre le débit mesuré et la surface de bassin versant capté dans le cas de débit d'étiage (débit minimum journalier de tarissement et QMNA). Les éléments exposés sur les conditions géologiques et pluviométriques corroborent ce résultat.

La formule suivante peut-être appliquée uniformément sur le bassin versant de l'Aulne :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

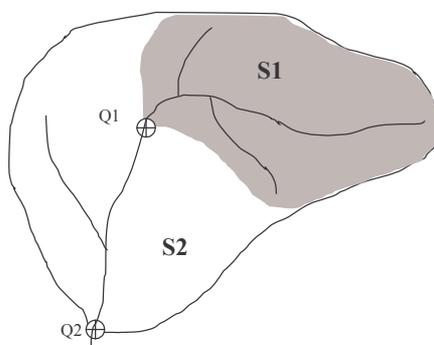


Figure 23 : Schéma des bassins versants

Il est alors possible de reconstituer, par cette formule, les débits à différents sites du réseau hydrographique (confluence, STEP, AEP...).

4.4.4. Corrélation entre les débits moyens sur la période juillet-septembre enregistrés aux stations

Le coefficient de corrélation du débit moyen sur la période juillet-septembre entre les stations est donné dans le tableau suivant :

Station	Châteauneuf du Faou	Trebrivan	Scrignac	Cleden Poher	Saint Segal
Châteauneuf du Faou	1	0,83	0,82	0,89	0,71
Trebrivan	0,83	1	0,75	0,79	0,55
Scrignac	0,82	0,75	1	0,93	0,55
Cleden Poher	0,89	0,79	0,93	1	0,44
Saint Segal	0,71	0,55	0,55	0,44	1
Moyenne	0,85	0,78	0,81	0,81	0,65

Tableau 25 : Coefficients de corrélation entre stations sur Q₀₇₋₀₉

La corrélation est correcte entre les stations de Cleden Poher (Hyères) et de Scrignac (Aulne). La station de Saint-Segal sur la Douffine se particularise. La station de Châteauneuf du Faou est la mieux corrélée aux autres stations.

4.5. Conclusion

Les débits d'étiage sont influencés par le débit au mois de mai (état de la nappe en début de période sèche) et surtout par les pluies entre juin et octobre. Les débits d'étiage sont proportionnels à la taille du bassin versant contrôlé.

Il est alors possible de définir un apport spécifique d'étiage et de calculer les apports intermédiaires par les relations suivantes :

- apports intermédiaires de l'Aulne entre la confluence avec l'Ellez et la confluence avec l'Hyères : $Q_{I1} = \frac{S_{I1=25km^2}}{S_{Chateauf=1224km^2}} \cdot Q_{Chateauf}$;
- apport intermédiaire de l'Aulne entre la confluence avec l'Hyères et la station de Châteauf du Faou : $Q_{I2} = \frac{S_{I2=152km^2}}{S_{Chateauf=1224km^2}} \cdot Q_{Chateauf}$;
- apport intermédiaire de l'Aulne entre la confluence avec le Ster Goanez et le point nodal à Châteaulin : $Q_{I3} = \frac{S_{I3=147km^2}}{S_{Chateauf=1224km^2}} \cdot Q_{Chateauf}$;
- apport intermédiaire du Ster Goanez : $Q_{SterGoanez} = \frac{S_{SterGoanez=89km^2}}{S_{Chateauf=1224km^2}} \cdot Q_{Chateauf}$;
- apport intermédiaire de l'Ellez entre la retenue de Saint Michel et la confluence avec l'Aulne basé sur l'Aulne à Scignac et les apports de la retenue : $Q_{apportEllez} = \alpha \frac{S_{apportEllez=102km^2}}{S_{Brennilis=33km^2}} \cdot Q_{Brennilis} + \beta \frac{S_{apportEllez=102km^2}}{S_{Scignac=117km^2}} \cdot Q_{Scignac}$ (α et β paramètres de calage).

Dans cette dernière relation, le débit sur l'Aulne à Scignac a été rajouté pour tenir compte de l'incertitude relative aux apports dans la retenue de Saint Michel (calculé de manière volumétrique).

5.2. Station hydrométrique de Scignac (Aulne)

Ajustement selon une loi normale des débits moyens sur juillet-septembre

Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide	
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans
	0.11	0.14	0.23	0.38	0.49

	1976	1989	1990	2003
Débit en m ³ /s	0.096	0.083	0.078	0.09
Période de retour	entre 5 et 10 ans	20 ans	> 50 ans	entre 10 et 15 ans

Tableau 28 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Scignac

Le tableau suivant relie une période de retour à un étiage observé et qui soit récent :

Type d'étiage	Années
Etiage sec de période de retour T=5 ans (f=0,2)	1975,1996
Etiage moyen (f=0,5)	1987,1991
Etiage humide de période de retour T=5 ans(f=0,8)	2004

Tableau 29 : Etiages caractéristiques à Scignac

5.3. Station hydrométrique de Trebrivan (Hyères)

Ajustement selon une loi normale des débits moyens sur juillet-septembre

Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide	
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans
	0.3	0.39	0.64	1.03	1.33

	1976	1989	1990	2003
Débit en m ³ /s	0.143	0.271	0.313	0.146
Période de retour	> 50 ans	entre 10 et 15 ans	entre 5 et 10 ans	20 ans

Tableau 30 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Trebrivan

Le tableau suivant relie une période de retour à un étiage observé et qui soit récent :

Type d'étiage	Années
Etiage sec de période de retour T=5 ans (f=0,2)	1985,1996
Etiage moyen (f=0,5)	1992,1994
Etiage humide de période de retour T=5 ans(f=0,8)	1993

Tableau 31 : Etiages caractéristiques à Trebrivan

5.4. Station hydrométrique de Cleden Poher (Hyères)

Ajustement selon une loi normale des débits moyens sur juillet-septembre

Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide	
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans
	0.4	0.54	0.95	1.69	2.28
	1976	1989	1990	2003	
Débit en m ³ /s	0.17	0.271	0.47	0.43	
Période de retour	> 50 ans	20 ans	5 ans	entre 5 et 10 ans	

Tableau 32 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Cleden Poher

Le tableau suivant relie une période de retour à un étiage observé et qui soit récent :

Type d'étiage	Années
Etiage sec de période de retour T=5 ans (f=0,2)	1984
Etiage moyen (f=0,5)	1991
Etiage humide de période de retour T=5 ans(f=0,8)	1987

Tableau 33 : Etiages caractéristiques à Cleden Poher

5.5. Station hydrométrique de Saint Segal

Ajustement selon une loi normale des débits moyens sur juillet-septembre

Débit en m ³ /s	Période sèche		Moyenne	Période humide	
	T=10 ans	T=5 ans		T=5 ans	T=10 ans
	0.3	0.38	0.61	0.97	1.24
	1976	1989	1990	2003	
Débit en m ³ /s	0.164	0.189	0.251	0.234	
Période de retour	> 50 ans	entre 20 et 50 ans	10 ans	15 ans	

Tableau 34 : Ajustement statistique des débits moyens écoulés à Saint Segal

Le tableau suivant relie une période de retour à un étiage observé et qui soit récent :

Type d'étiage	Années
Etiage sec de période de retour T=5 ans (f=0,2)	1977, 1996
Etiage moyen (f=0,5)	1995, 1999
Etiage humide de période de retour T=5 ans(f=0,8)	1994

Tableau 35 : Etiages caractéristiques à Saint Ségall

5.6. Synthèse sur les périodes de retour des évènements exceptionnels

Station	1976	1989	1990	2003
Scrignac (Aulne)	Entre 5 et 10 ans	20 ans	> 50 ans	Entre 10 et 20 ans
Châteauneuf du Faou (Aulne)	> 50 ans	20 ans	Entre 5 et 10 ans	10 ans
Trebrivan (Hyères)	> 50 ans	Entre 10 et 20 ans	Entre 5 et 10 ans	20 ans
Cléden Poher (Hyères)	> 50 ans	20 ans	5 ans	Entre 5 et 10 ans
Saint Segal (Douffine)	> 50 ans	Entre 20 et 50 ans	10 ans	Entre 10 et 20 ans

Tableau 36 : Période de retour des évènements exceptionnels aux différentes stations hydrométriques

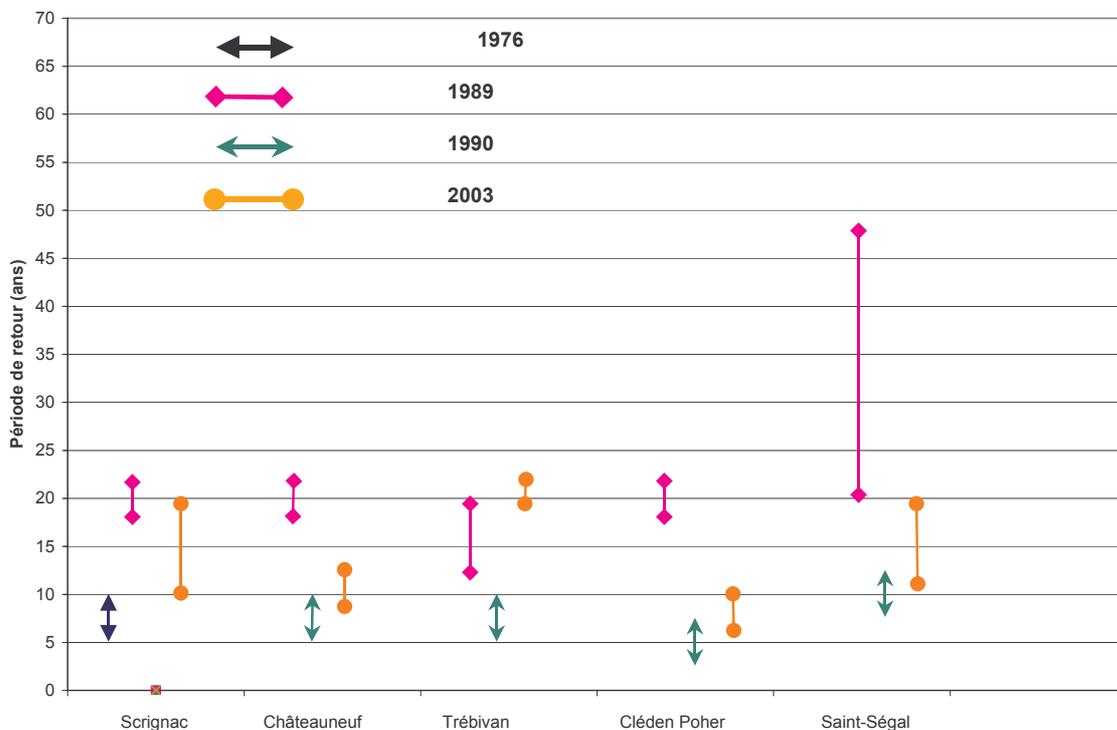


Figure 24 : Graphe des périodes de retour associées aux évènements exceptionnels

Les éléments ci-dessus montrent une assez forte homogénéité de la période de retour associée à un évènement exceptionnel. La station de Scrignac sur l'Aulne, pourtant non influencée par la retenue de Brennilis, présente des périodes de retour différentes, en particulier pour 1976 et 1990. Cette différence s'explique par les débits enregistrés au mois de septembre. Ils sont bien plus élevés en 1976 par exemple qu'en 1990 alors que les débits de juillet et d'août 1976 sont les plus bas enregistrés.

5.7. Conclusion

Il a été mis en évidence les années caractéristiques suivantes :

- 1994 pour un étiage moyen ;
- 2003 pour un étiage sévère (période de retour de 10 à 20 ans).

Notons que ces deux événements sont également caractéristiques du point de vue du QMNA (QMNA médian pour 1994, QMNA de période de retour 5 à 10 ans pour 2003).

Ces années ont également été sélectionnées pour la modélisation hydrologique et la réalisation de scénarii de gestion. Elles sont postérieures à 1992 et ainsi il est possible de mettre en évidence l'effet d'une optimisation de la gestion du soutien d'étiage par rapport à la situation actuelle.

6. LA MODELISATION HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT

La modélisation hydrologique concerne le parcours hydraulique depuis la retenue de Saint Michel jusqu'au point nodal à Châteaulin. Elle comporte la rivière Ellez et une partie de l'Aulne. Les affluents et les apports intermédiaires sont calculés à l'aide des stations hydrométriques, des relations linéaires entre la taille du bassin versant et le débit mesuré ainsi qu'à l'aide des informations concernant les prélèvements et rejets au droit des sites concernés.

La retenue de Saint Michel a pu être modélisée grâce :

- aux données d'apports de débit dans la retenue (EDF) ;
- à la courbe cote volume (EDF) ;
- à la station de Brennilis pour les débits de sortie (DIREN) ;
- à l'évapotranspiration (Météo France).

L'Aulne est canalisée depuis la confluence avec l'Hyères jusqu'au point nodal. Les différents biefs ont été assimilés à des retenues liées par des déversoirs. Les 24 biefs depuis l'écluse 209 jusqu'à l'écluse 232 ont été ajoutés au modèle.

Le schéma topologique du modèle hydrologique est le suivant :

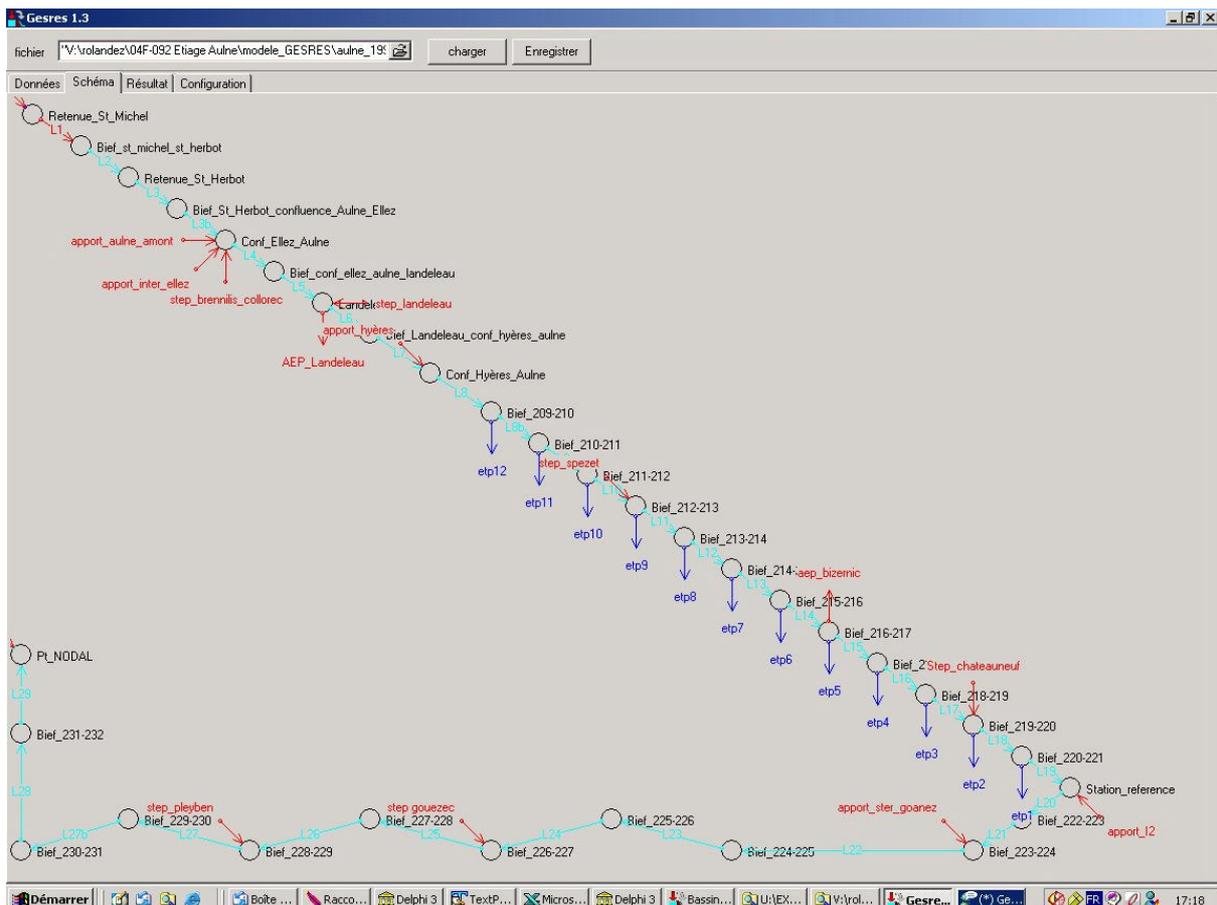


Figure 25 : Schéma topologique du modèle hydrologique réalisé avec Gesres

6.1. Localisation des prélèvements et rejets

Les prélèvements AEP correspondent à des prises d'eau à la surface de l'eau. En annexe figurent la carte des prélèvements et des rejets ainsi que le réseau hydrographique modélisé.

Type de prélèvement	Commune	Rivière	Capacité en m ³ /j	Volume étiage 2000
AEP	CHATEAULIN	Aulne	18 000	1 237 500
				54 400
	SAINT-COULITZ	Aulne	20 000	1 016 700
	CHÂTEAUNEUF DU FAOU	Aulne	4 400	473 100
	CLEDEN POHER	Aulne	8 000	128 900
	CARHAIX-PLOUGUER	Hyères	8 000	684 928
	LANDELEAU	Aulne	2 000	128 900
	HUELGOAT	Le Fao	1 000	57 000
GOURIN	Ruisseau de Conveau	8 000	230 800	
Industrie	PONT DE BUIS (Nobel Sport)	La Douffine		369 400
	PONT DE BUIS (Nobel Sport)	La Douffine		53 900
	CLEDEN POHER (Volailles du Poher)	Source		24 700
	BERRIEN (Kaolins)	Affluent de la rivière d'Argent		92 400

Tableau 37 : Prélèvement d'eau superficielle sur le bassin de l'Aulne (source : SAGE Aulne)

Type de rejet	Commune	Rivière	Capacité en m ³ /j	Volume étiage 2000
STEP	CALLAC	Hyères	645	98 400
	GLOMEL	Canal de Nantes à Brest	105	16 000
	MAEL-CARHAIX	Canal de Nantes à Brest	107	16 300
	PAULE	Canal de Nantes à Brest	27	4 100
	PLEVIN	Canal de Nantes à Brest	38	5 800
	BERRIEN	Affluent de l'Argent	34	5 200
	BRENNILIS	Ellez	110	16 800

	CARHAIX- PLOUGUER	Hyères	1500	228 800
	CARHAIX- PLOUGUER	Hyères	2740	417 900
	CHATEAULIN	Aulne	1750	266 900
	CHÂTEAUNEUF- DU-FAOU	Aulne	441	67 300
	COLLOREC	Affluent de l'Ellez	47	7 200
	LA FEUILLEE	Affluent de l'Ellez	30	4 600
	GOUEZEC	Affluent de l'Aulne	73	11 100
	HUELGOAT	Argent	261	39 800
	LANDELEAU	Aulne	75	11 400
	PLEYBEN	Affluent de l'Aulne	150	22 900
	PLEYBEN	Affluent de l'Aulne	250	38 100
	PLONEVEZ DU FAOU	Affluent de l'Aulne	115	17 500
	POULLALOUEN	Affluent de l'Aulne	45	6 900
	SCRIGNAC	Affluent du Squiriou	37	5 600
	SPEZET	Affluent de l'Aulne	35	5 300
	PONT-DE-BUIS- LES-QUIMERCH	Douffine	347	52 900

Tableau 38 : Liste des rejets sur le bassin de l'Aulne (source : SAGE Aulne)

6.2. Le calcul de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration s'applique aussi bien à la retenue de Saint Michel qu'aux différents biefs du canal qui se comportent comme des mini-retenues. La perte par évapotranspiration est augmentée dans l'Aulne canalisée du fait d'un temps de résidence plus important (estimée à 20 j environ pour un débit égal au DOE).

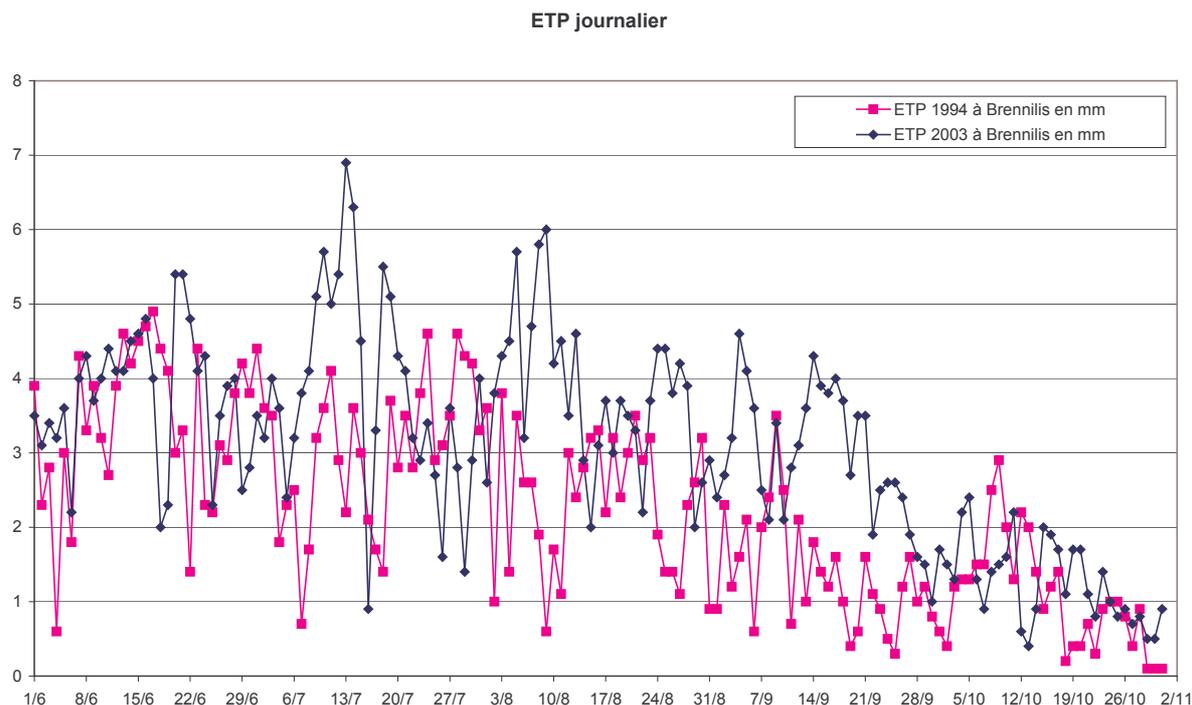


Figure 26 : Evapotranspiration dans le secteur de Brennilis (Météo France)

L'évapotranspiration mensuelle est donnée dans le tableau suivant :

	ETP 1994 (mm)	ETP 2003 (mm)
Juin	101,5	112,8
Juillet	95,4	118,4
Août	73,7	116,7
Septembre	41,1	87,6
Cumul Juillet-Septembre	210,2	322,7
Cumul Juin-Septembre	311,7	435,5

Figure 27 : Evapotranspiration mensuelle dans le secteur de Brennilis

L'évapotranspiration (ETP) est 50 % supérieure en 2003 aux valeurs de 1994 sur la période juillet-septembre et juin-septembre. En 1994, l'évapotranspiration moyenne est de 2,6 mm par jour. Elle est de 3,6 mm en 2003. Pendant les quatre mois d'étiage, le volume évaporé dans la retenue est de 2,2 hm³ en 2003 (soit 210 l/s) et de 1,6 hm³ en 1994 (soit 150 l/s).

Dans l'Aulne canalisée entre l'écluse 209 et l'écluse 237 à Châteaulin (surface au miroir de 360 ha), les pertes par évapotranspiration sont estimées à 1,5 hm³ (soit 150 l/s) en 2003 et de 1,3 hm³ soit 120 l/s en 1994.

Dans l'Aulne canalisée entre l'écluse 209 et la station de référence (surface au miroir de 125 ha), les pertes par évapotranspiration sont estimées à 0,5 hm³ (soit 50 l/s) en 2003 et de 0,45 hm³ (soit 40 l/s) en 1994. Les pertes correspondent ainsi à 3 % du QMNA et à 5 % du débit minimum journalier à la station de Châteauneuf-du-Faou pour 2003.

L'évaporation sur la retenue de Saint-Michel représente un volume perdu de 1,6 hm³ à 2,2 hm³ pour 1994 et 2003. Les volumes évaporés dans le canal sont faibles jusqu'à la station de

Châteauneuf-du-Faou (3% du QMNA en août 2003) ; la plus grande partie de l'évaporation se situant à l'aval. Le volume total évaporé dans la rivière canalisée représente ainsi 10 % du QMNA 2003 à la station de référence.

6.3. Reconstitution des débits naturels aux stations hydrométriques

A partir des débits mesurés aux stations et des valeurs des prélèvements et rejets, il est possible de calculer les débits naturels, c'est à dire les débits sans influence des prélèvements et rejets.

La relation est la suivante : $Q_{naturel} = Q_{mesuré} + \sum \text{Prélèvement} - \sum \text{Rejet}$

Les figures suivantes présentent pour 2003, la différence entre le débit mesuré et le débit naturel de la rivière.

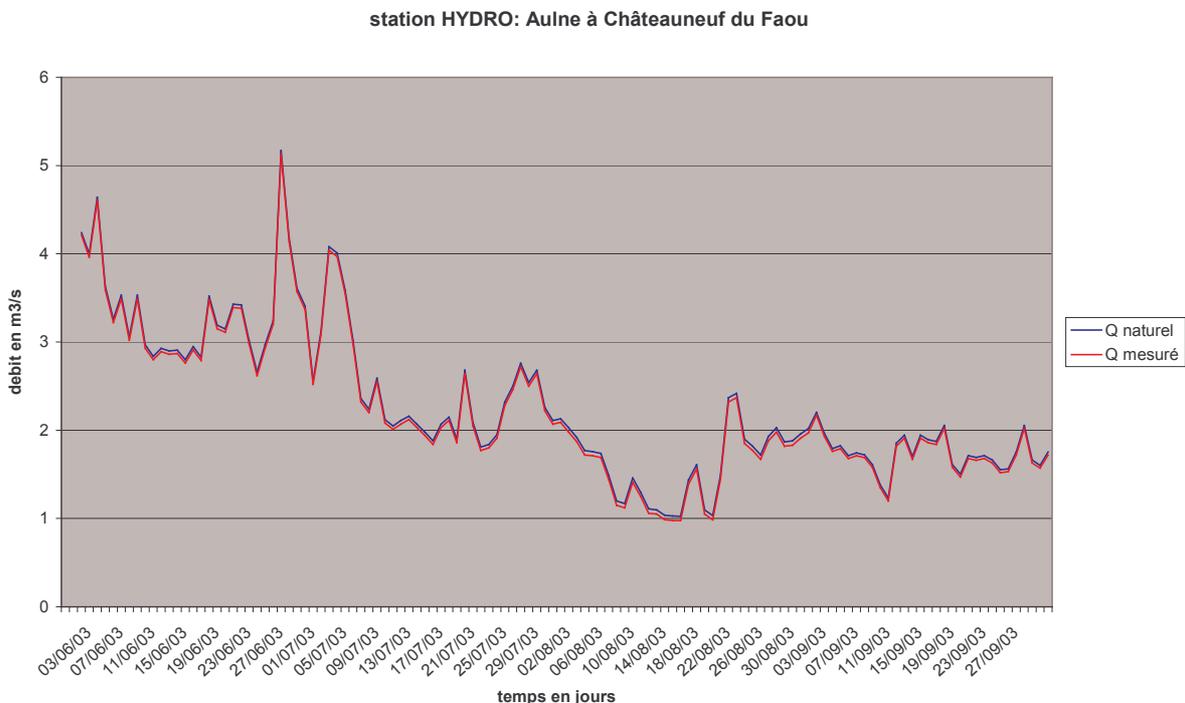


Figure 28 : Débit naturel et mesuré à Châteauneuf du Faou en 2003

Le débit naturel est légèrement supérieur au débit mesuré. L'écart relatif le plus important se situe en août : le débit mesuré est de 0,977 m³/s alors que le débit naturel serait de 1,026 m³/s soit un écart de 5% environ.

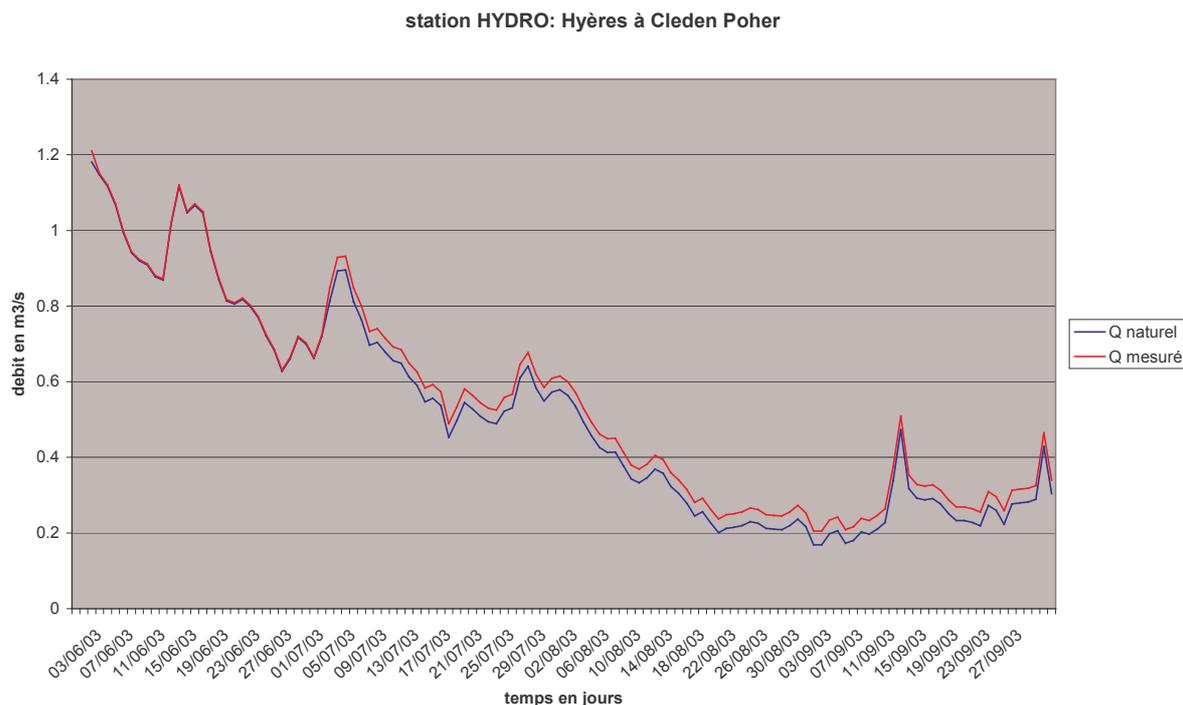


Figure 29 : Débit naturel et mesuré à Saint Hernin [Cleden Poher] en 2003

Pour la station de Saint Hernin sur l'Hyères, le constat est inverse. Les rejets sont plus importants que les prélèvements et le débit naturel serait donc inférieur au débit mesuré. Cette station est influencée par les STEP suivantes :

- Callac ;
- Glomel ;
- Mael-Carhaix ;
- Paule ;
- Carhaix Plouguer (2 STEP).

La différence de débit atteint environ 40 l/s au mois de juillet et au mois d'août. Par contre la différence est très faible (inférieure à 1l/s) au mois de juin.

La reconstitution des apports naturels aux stations permet par rapport des surfaces de bassins versants de calculer les différents apports de débit dans le modèle.

6.4. Calage du modèle hydrologique

Le modèle hydrologique doit pouvoir représenter :

- les débits mesurés à Châteauneuf-du-Faou en fonction des débits de soutien d'étiage, des débits d'entrée et des prélèvements/rejets/ETP ;
- la courbe de remplissage dans la retenue de Saint Michel.

6.4.1. Calage des débits sur la station de référence

Le paramètre de calage retenu est le débit d'apport sur le bassin intermédiaire de l'Ellez entre la station de Saint Michel et la confluence avec l'Aulne. Une simple relation linéaire avec la

taille du bassin versant et les apports à Brennilis est difficile étant donnée l'estimation de ces apports. Pour s'affranchir de cette difficulté, le choix retenu a donc été de tenir compte des apports brutaux à la station de Brennilis et de ceux, plus modérés, de l'Aulne à Scrignac. La relation de calage trouvée est la suivante :

$$Q_{\text{apportEllez}} = \frac{1}{3} \frac{S_{\text{apportEllez}=102\text{km}^2}}{S_{\text{Brennilis}=33\text{km}^2}} \cdot Q_{\text{Brennilis}} + \frac{2}{3} \frac{S_{\text{apportEllez}=102\text{km}^2}}{S_{\text{Scrignac}=117\text{km}^2}} \cdot Q_{\text{Scrignac}}$$

Les hydrogrammes mesurés et calculés par le modèle hydrologique sous Gesres sont les suivants :

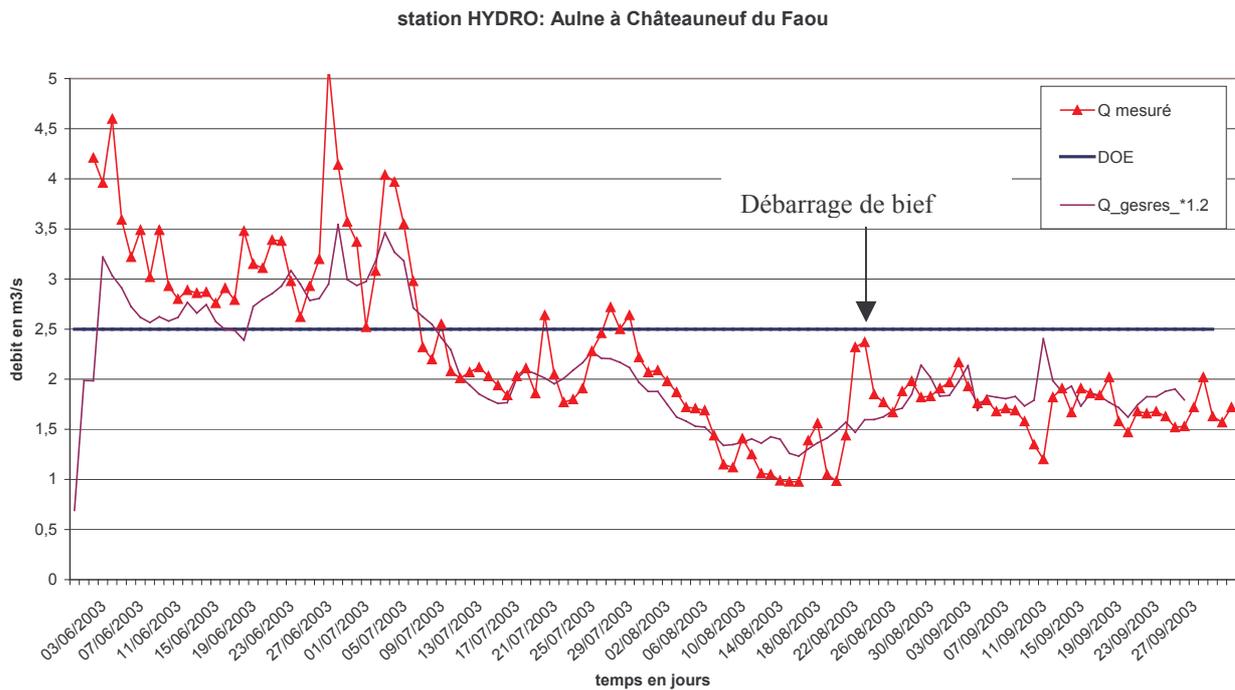


Figure 30 : Calage sur 2003 des débits à Châteauneuf-du-Faou

Les débits mesurés oscillent fortement entre le 1^{er} juin et le 30 septembre. Il est difficile de caler le modèle car les faibles débits mesurés occasionnent une plus grande sensibilité aux phénomènes anthropiques : pompage, débarrage... Par exemple, le débarrage de bief qui a eu lieu entre le 19 et le 25 août 2003 a provoqué un pic qu'on ne peut retrouver dans le modèle. En terme de volume écoulé, la station a mesuré 19,3 hm³ entre le 10 juin et le 20 septembre et le modèle a calculé 18,5 hm³. La différence est de 5 %.

La validation du calage est réalisée sur 1994. Pour cette année, les débits sont plus soutenus et la courbe de tarissement est moins sensible aux phénomènes anthropiques :

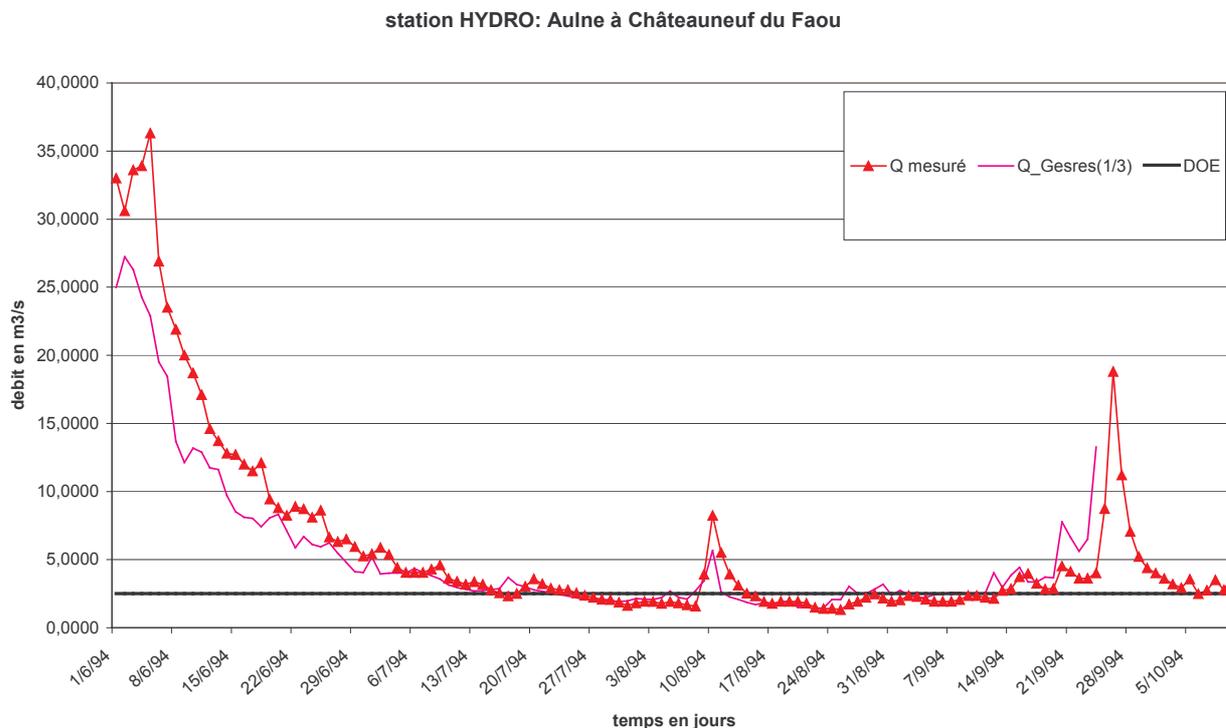


Figure 31 : validation du calage des débits à Châteauneuf-du-Faou sur 1994

Le modèle représente bien la décroissance des débits et le pic du 12 août. Le volume écoulé est de $39,7 \text{ hm}^3$ entre le 10 juin et le 24 septembre. Le volume calculé est de $36,8 \text{ hm}^3$ soit une différence de 7 %.

6.4.2. Calage de la courbe de remplissage

Les paramètres de calage sont l'ETP et les apports à la retenue.

Pour 2003, le coefficient de perte par ETP et le coefficient d'apport par les affluents sont :

- $1 \cdot \text{ETP}$,
- $0,4 \cdot \text{apport EDF}$

La courbe de remplissage est la suivante :

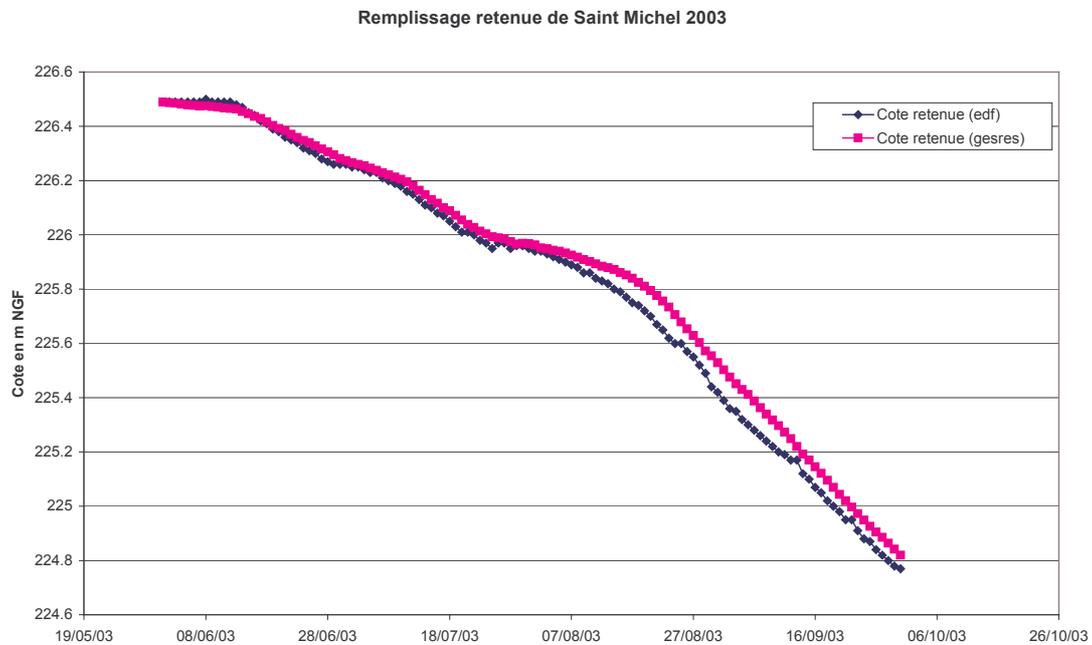


Figure 32: courbe de remplissage pour 2003

En partant de la même cote initiale le 1^{er} juin, on observe une différence de 5 cm le 30 septembre.

Pour 1994, les coefficients de perte par ETP et d'apport par les affluents sont :

- ETP
- $0,85 \times \text{apport EDF}$

La courbe de remplissage est la suivante :



Figure 33: Courbe de remplissage de 1994

Pour une même cote initiale le 1^{er} juin, la différence de cote est inférieure à 1 cm le 30 septembre.

Le terme apport désigne ici la somme des apports calculés par EDF, de l'évaporation et du débit résiduel (non pris en compte dans le débit de sortie). Au final les coefficients de 0,4 pour 1994 et de 0,85 pour 2003 sont des coefficients de calage. La différence entre les deux années provient des estimations des apports par EDF.

6.5. Conclusion

La modélisation hydrologique s'appuie sur les années types 1994 (étiage moyen) et 2003 (étiage sévère). Les apports intermédiaires ont été calculés grâce à la relation linéaire qui relie la taille du bassin versant au débit mesuré (cf. paragraphe 3). Les apports et prélèvements ont été intégrés au modèle. Les volumes de prélèvements et de rejets les plus importants sont des données mensuelles. Le pas de temps du modèle est la journée. En conséquence, il a été fait l'hypothèse d'une égale répartition des prélèvements sur le mois. En ce qui concerne les rejets, les données du SAGE ont été utilisées.

La modélisation hydrologique a nécessité deux calages indépendants :

- calage des débits à Châteauneuf-du-Faou à l'aide des apports intermédiaires sur l'Ellez et sur l'Aulne amont ;
- calage de la courbe de remplissage de la retenue de Saint Michel à l'aide des apports de la retenue et de l'ETP.

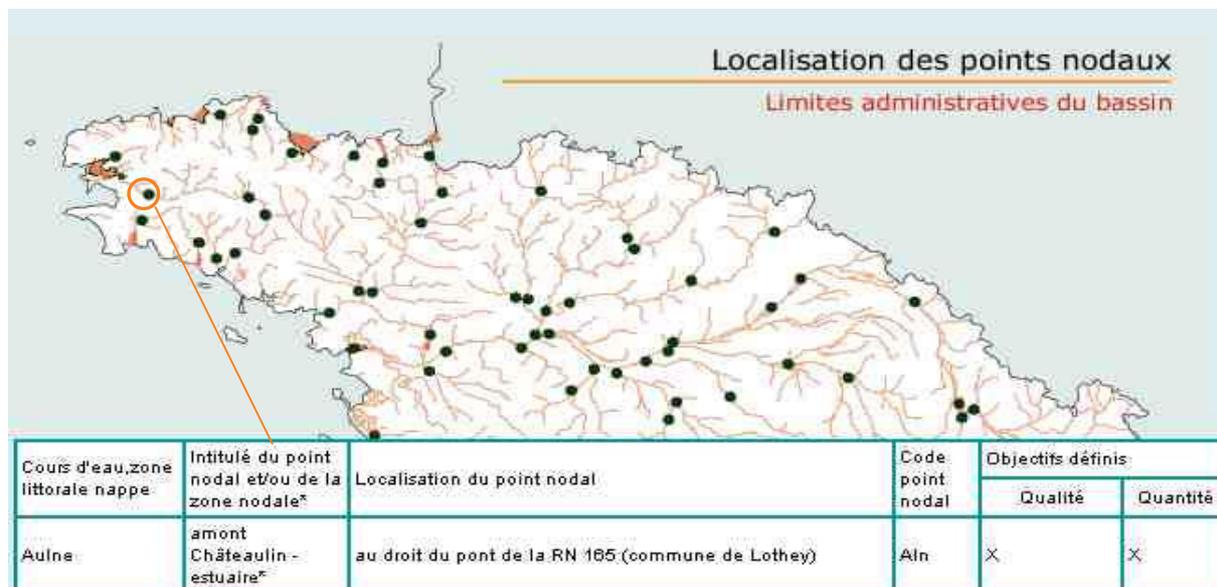
Les résultats du calage et de la validation ont montré une différence inférieure à 7 % pour les débits à Châteauneuf du Faou en terme de volume. Les débits sont relativement synchrones même si quelques pointes restent inexplicables du fait de l'absence d'information sur les débarrages de bief.

En ce qui concerne les courbes de remplissage, le calage a montré la variabilité du coefficient d'apport. Cette variabilité provient de l'estimation des débits d'apport d'EDF qui néglige l'ETP et le débit réservé. Le résultat du calage est une différence maximale de 4 cm en cote de la retenue après 3 mois de fonctionnement. Le calage est donc accepté en prenant un facteur unité pour l'ETP et de 0,4 à 0,85 pour les apports.

7. LES SCENARII DE GESTION EN PERIODE D'ETIAGE

7.1. Les objectifs de gestion en terme de débit

Les SDAGE fixent des débits minimaux devant être respectés en un certain nombre de points nodaux, situés sur les principaux cours d'eau de la région. Pour l'Aulne, le point nodal est situé en amont de Châteaulin à Châteauneuf-du-Faou.



Le Débit Objectif d'Etiage (DOE) : valeur de débit au-dessus de laquelle sont assurés la coexistence normale de tous les usages et le bon fonctionnement des milieux aquatiques, qui doit en conséquence être garantie chaque année pendant l'étiage. Il est basé sur la valeur du QMNA5. Il a été fixé dans le cadre du SDAGE Loire Bretagne à $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Pour comparaison, le QMNA5 est de $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le graphique suivant présente les déficits annuels enregistrés par rapport au DOE depuis 1970 à Châteauneuf du Faou et le cumul de pluie de juillet à septembre à la station de Carhaix (1981-2004) :

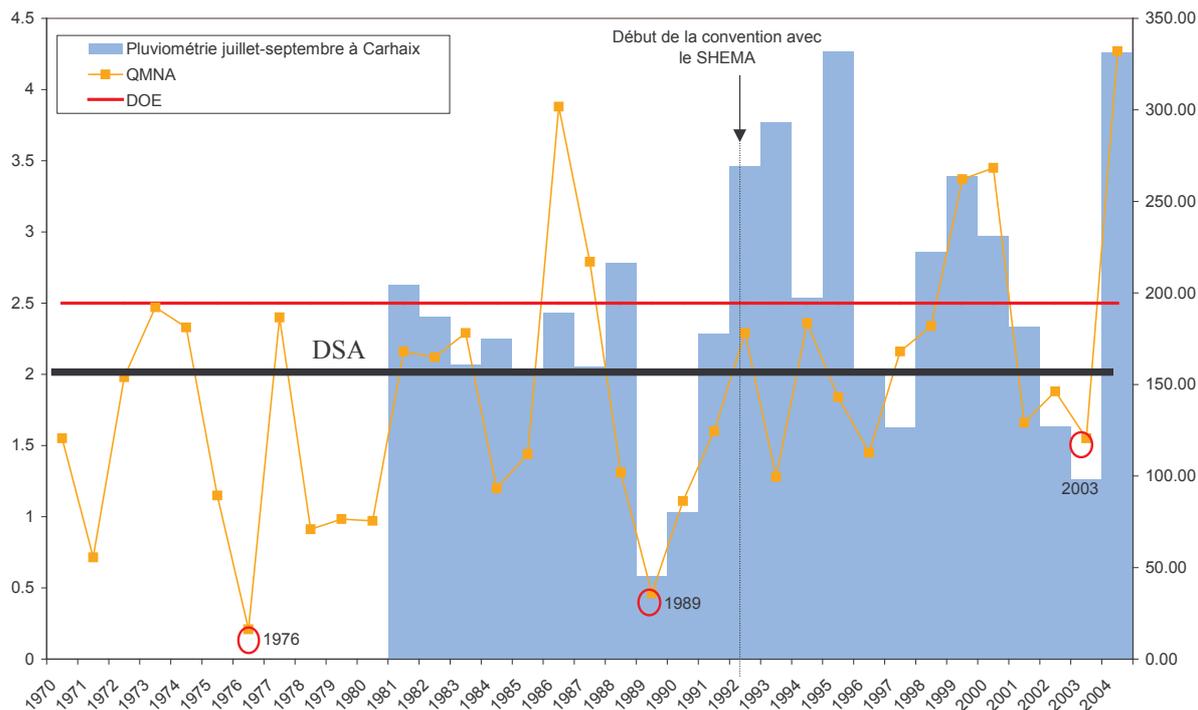


Figure 34 : Comparaison du déficit et de la précipitation (station de Carhaix)

On constate que depuis 1970, la majorité des débits observés sont en dessous du DOE. Seules les années 1986, 1987, 1999, 2000 et 2004 dépassent cet objectif.

Il existe une certaine corrélation entre la pluie observée et le débit QMNA enregistré. Les années 1989 et 2003 ont été très peu pluvieuses ce qui explique un très faible QMNA. En revanche 2004 et les années 1999-2000 furent plus arrosées et les débits sont au-dessus de l'objectif. Il y a une exception en 1995 : il a plu 332 mm en trois mois à la station de Carhaix mais le QMNA est en dessous de 2,5 m^3/s .

Le Débit de Crise (DCR) : valeur de débit au-dessous de laquelle sont mises en péril l'alimentation en eau potable et la survie des espèces présentes dans le milieu, qui doit en conséquence être impérativement sauvegardée par toutes mesures préalables, notamment de restriction des usages. Ce débit n'a pas été fixé par le SDAGE Loire Bretagne.

Le Débit Seuil d'Alerte (DSA) est un débit moyen journalier. Il a été fixé à 2 m^3/s dans le cadre du SDAGE Loire Bretagne au droit de la station de Châteauneuf-du-Faou. Dès que ce débit est atteint, l'autorité préfectorale peut déclencher des mesures restrictives nécessaires.

Les statistiques sur 35 ans montre que ce débit d'alerte est franchi **50 jours par an** en moyenne.

L'objectif du soutien d'été consiste à maintenir un débit supérieur ou égal ou débit d'objectif (DOE) à Châteauneuf du Faou à l'aide de la gestion du barrage de Brennilis.

7.2. La gestion actuelle du barrage de Brennilis

7.2.1. Les apports de la retenue de Saint Michel

Les débits d'apports de la retenue de Saint Michel sont donnés par mois dans le tableau suivant :

Mois	Débit entrant à St Michel EDF (m ³ /s)	Débit entrant corrigé du débit réservé ² et de l'ETP (m ³ /s)
juil-91	0,85	1,02
août-91	0,04	0,21
juil-92	0,11	0,28
août-92	0,46	0,63
sept-92	0,83	1,00
oct-92	0,69	0,86
juil-93	0,136	0,31
août-93	0,04	0,21
sept-93	0,95	1,12
juin-94	0,48	0,65
juil-94	0	0,17
août-94	0,25	0,42
sept-94	0,77	0,94
juil-95	0,16	0,33
août-95	0,12	0,29
sept-95	1,01	1,18
mai-96	0,84	1,01
juin-96	0,11	0,28
juil-96	0,1	0,27
août-96	0,38	0,55
sept-96	0,26	0,43
oct-96	0,35	0,52
juil-97	0,41	0,58
août-97	0,91	1,08
sept-97	0,34	0,51
juin-98	1	1,17
juil-98	0,34	0,51
août-98	0,18	0,35
sept-98	1	1,17
juil-99	0,25	0,42
août-99	0,65	0,82
sept-99	0,7	0,87
oct-99	0,83	1,00
juil-00	0,74	0,91
août-00	0,5	0,67
sept-00	0,5	0,67
juil-01	0,5	0,67
août-01	0,24	0,41
sept-01	0,48	0,65
juil-02	0,94	1,11
août-02	0,55	0,72
sept-02	0,64	0,81
juil-03	0,37	0,57

² Le débit réservé est de 22 l/s puis de 50 l/s à partir de 2003.

août-03	0,26	0,46
sept-03	0,13	0,33
juil-04	0,67	0,87
août-04	0,41	0,61
sept-04	0,27	0,47

Tableau 39 : Apports mensuels de la retenue de Brennilis (source EDF)

Les statistiques des débits d'apports sont alors les suivantes :

Période juillet-septembre	Débit entrant à Saint Michel	Débit à Châteauneuf du Faou
1992	0,64	3,91
1993	0,55	5,50
1994	0,51	3,34
1995	0,60	3,91
1996	0,42	1,59
1997	0,73	2,51
1998	0,68	4,33
1999	0,71	3,95
2000	0,75	4,61
2001	0,58	2,61
2002	0,88	3,75
2003	0,45	1,60
2004	0,65	6,01
Moyenne	0,63	3,66
Ecart-type	0,13	1,34
Débit quinquennal sec	0,52	1,6

Tableau 40 : Statistiques des débits d'apports (m³/s)

Le débit moyen d'apport de la retenue est donc de 0,63 m³/s sur trois mois soit 5 hm³. En 1996, année où les apports sont les plus faibles, les apports sont de 0,42 m³/s soit 3,3 hm³. En 2002, année la plus humide, les apports sont de 0,88 m³/s soit 7,0 hm³. Les apports ne sont donc pas négligeables par rapport au volume de la retenue consacré au soutien d'étiage : 10 hm³.

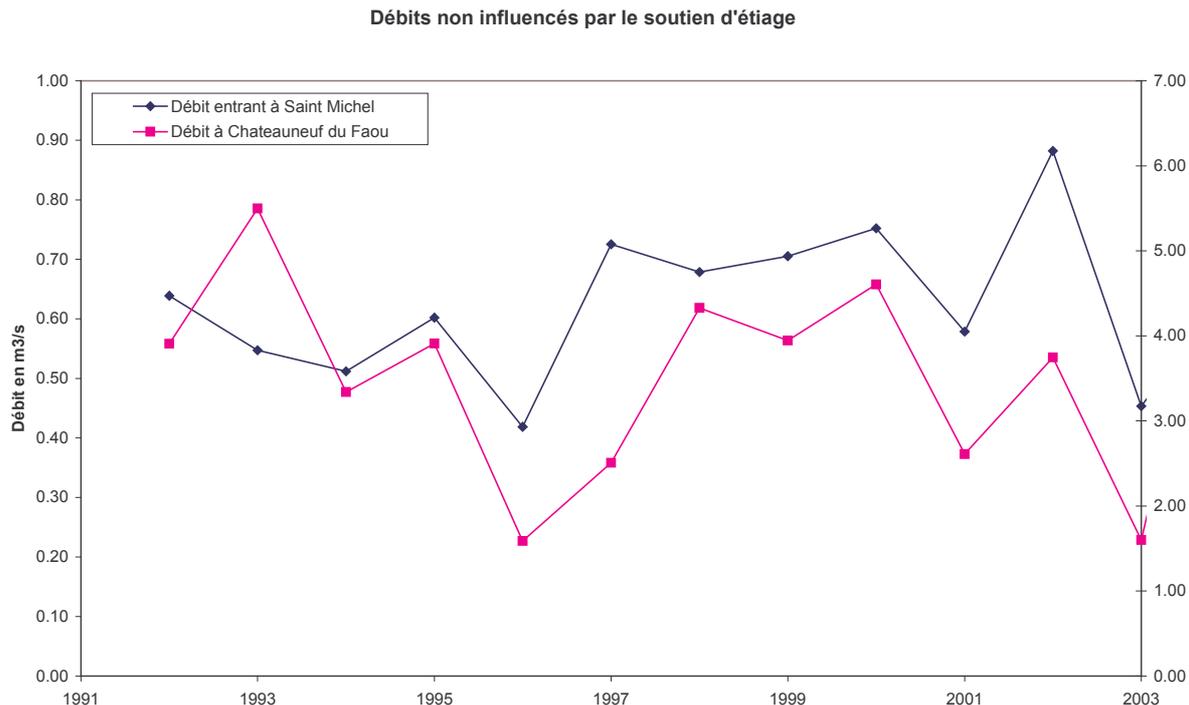


Figure 35 : Corrélation entre les débits apports de la retenue et les débits à Châteauneuf du Faou

Le Tableau 40 et la Figure 35 montrent les débits à la station de Châteauneuf du Faou et les débits entrant dans la retenue de Saint Michel. Le coefficient de corrélation est de 0,61 pour les débits mensuels et de 0,40 sur les débits moyens entre juillet et septembre. La corrélation est faible entre ces deux stations.

7.2.2. Analyse préliminaire : ordre de grandeur des volumes à mobiliser

Le DOE (débit objectif d'étiage) a été fixé à 2,5 m³/s à Châteauneuf du Faou. Les QMNA influencés par le soutien d'étiage de cette station sont rappelés dans le tableau suivant :

Type d'étiage	Débit minimum mensuel
Etiage sec de période de retour T=5 ans (f=0,2)	0,99 m ³ /s
Etiage moyen (f=0,5)	1,64 m ³ /s
Etiage de 2003	1,55 m ³ /s

Tableau 41 : QMNA à Châteauneuf du Faou

Les QMNA enregistrés à Châteauneuf du Faou sont en dessous du débit objectif même pour une année moyenne.

Ces QMNA sont déjà influencés par le barrage de Brennilis. Les volumes supplémentaires à mobiliser dans la retenue pour atteindre l'objectif sont donnés dans le tableau suivant :

Type d'étiage	Volume en hm ³
Etiage sec de période de retour T=5 ans (f=0,2)	4 hm ³
Etiage moyen (f=0,5)	2,3 hm ³
Etiage de 2003	2,5 hm ³

Tableau 42 : Volume supplémentaire minimum à mobiliser pour respecter le DOE

Le tableau ci-dessus traduit donc l'effort supplémentaire en terme de volume à envisager pour respecter le DOE sur le mois du QMNA seulement.

Sur une période d'étiage plus longue, les volumes à mobiliser sont plus importants. Dans le cas de 2003 le débit a été inférieur au DOE entre le 6 juillet et le 29 octobre. Le volume supplémentaire à mobiliser pour respecter le DOE sur cette période est de 12 hm³. Le soutien d'étiage réel a été de 6 hm³. Le volume total à mobiliser pour le soutien d'étiage dans le cas de 2003 est de 18 hm³. Cette capacité est plus grande que celle de la retenue.

Pour un étiage sec de période de retour 5 ans sur juillet-septembre du type de 1990, les volumes mis en jeu sont moins importants. En 1990, il n'existait pas de convention entre le SHEMA et le Conseil Général mais la DDAF avait demandé de procéder à quelques lâchers d'eau :

- 400 l/s entre le 2 et le 8 août 1990 ;
- 1000 l/s entre le 8 et le 16 août 1990 ;
- 400 l/s entre le 16 août et le 26 octobre.

Les volumes apportés pour le soutien d'étiage sont évalués à 3,5 hm³.

Le volume nécessaire au respect du DOE pour l'année 1990 sur la période juillet-octobre est de 10 hm³. Le volume total d'étiage pour le respect du DOE est donc de 10+3,5=13,5 hm³. Ce volume est proche de celui de la capacité totale de la retenue (13,35 hm³ pour une cote normale de 227 m NGF).

7.3. Choix des indicateurs pour une optimisation de la gestion

7.3.1. La courbe de tarissement

Principe

En l'absence de pluie, c'est la rivière qui draine les nappes souterraines. On observe un appauvrissement des nappes souterraines au cours du temps car la seule alimentation est celle des sources. Cet effet est aggravé par les prélèvements d'eau dans les rivières en ces périodes critiques. Les étiages s'établissent lentement. Au-dessous de débits déjà bas, la décroissance suit une courbe : la courbe de tarissement.

De manière générale, on suppose que la décroissance des débits en période d'étiage et en l'absence de pluie suit une loi exponentielle simple. Cette loi est décroissante et dépend du coefficient de tarissement α et du débit à l'instant initial Q_0 . La loi exponentielle s'appuie sur l'hypothèse d'un réservoir linéaire pour les nappes souterraines.

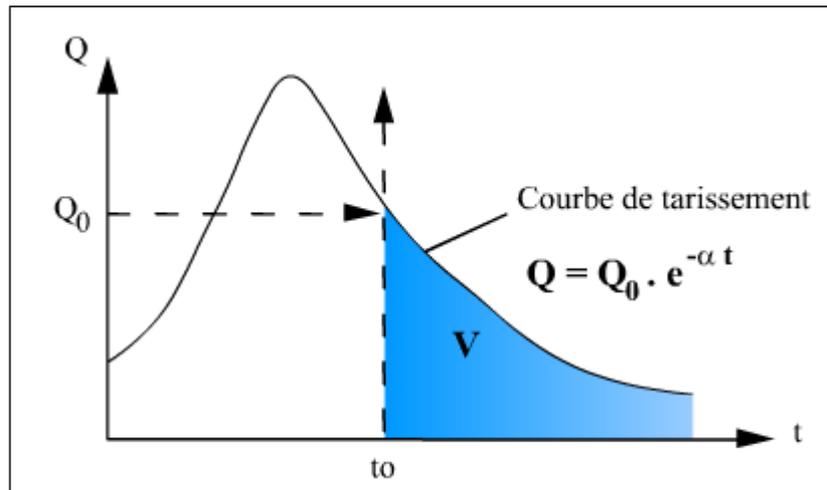


Figure 36 : La courbe de tarissement

Le coefficient de tarissement α caractérise la vitesse de décroissance du débit. Plus ce coefficient est élevé, plus la décroissance est rapide et plus le volume ressource disponible est faible.

La courbe de tarissement permet d'estimer à un temps t l'évolution des débits dans les jours à venir. Dans notre cas, deux courbes de tarissement peuvent être retenues :

- la courbe de tarissement à Châteauneuf du Faou ;
- la courbe de tarissement sur une station amont non influencée.

La seconde information renseigne sur les apports à venir. La première renseigne sur l'intensité des prélèvements naturels et anthropiques (évaporation et prélèvements).

Méthodologie

La détermination des coefficients de tarissement pour les différents sous-bassins versants jaugés se fait à l'aide de l'analyse des hydrogrammes dans les périodes sans pluie. L'année 2003 est une année atypique pour le peu de précipitations enregistrées entre mars et septembre. L'année 1990 a également été étudiée.

Le coefficient de tarissement peut s'obtenir en prenant le logarithme des débits et en ajustant la courbe obtenue à une droite.

Résultats

Le coefficient de tarissement retenu concerne les plages de débits inférieurs à $10 \text{ m}^3/\text{s}$. La moyenne sur 6 évènements de tarissement est de $0,038 \text{ j}^{-1}$. Ce coefficient est cohérent avec celui des bassins voisins de l'Ellé.

7.3.2. Prédiction du débit pour la période estivale (cas en absence de précipitations)

La connaissance du coefficient de tarissement permet à un instant donné, connaissant le débit, de prévoir le débit dans les semaines à venir en l'absence de précipitation. En effet, le débit suit la loi de décroissance en exponentielle simple présentée précédemment.

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \text{ avec } Q_0, \text{ débit initial en m}^3/\text{s}$$

Le début de la période d'été commence vers le début du mois de juin et se poursuit sur 3 mois. On définit un débit au 1^{er} juillet pour une année quinquennale sèche comme étant le débit théorique nécessaire pour que s'écoule un volume d'été quinquennale sec entre juillet et septembre en l'absence de pluie.

Le débit initial est calculé à 5,77 m³/s à la station de Châteauneuf du Faou au 1^{er} juillet. Il n'y a donc pas soutien d'été. Dès que ce débit $Q(t)$ sera inférieur au DOE, le soutien d'été commencera à la retenue de Saint Michel. Il est défini comme le volume à apporter chaque jour au réseau hydraulique pour maintenir un débit de 2,5 m³/s à la station de référence. La prévision du débit $Q(t)$ en l'absence de pluie et le débit à apporter pour réaliser un soutien d'été adapté sont représentés sur la figure ci-après :

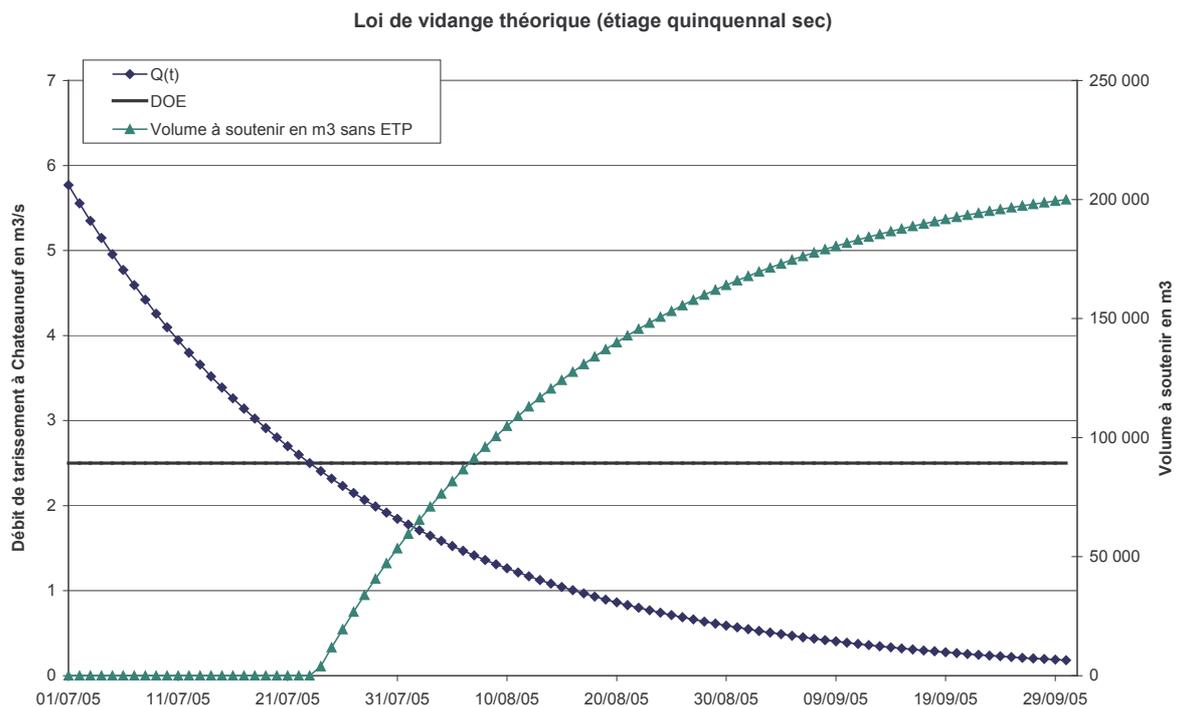


Figure 37 : Courbe de tarissement et volume de soutien d'été pour une quinquennale sèche

7.3.3. La courbe de vidange de la retenue de Brennilis

Une analyse de la probabilité à chaque instant du volume mobilisable et de son adéquation avec les besoins à venir doit être réalisée.

La courbe de vidange dépend :

- des apports par le bassin versant propres (BV = 33 km²) ;
- des pertes par évaporation ;
- du débit de soutien d'été.

Pour un été quinquennal sec ou plus humide, le volume des apports est au moins de 3,3 hm³ sur la période juillet-septembre. L'année 2003 a été exceptionnelle pour ses températures élevées et ses faibles précipitations durant la période estivale. L'ETP totale de la retenue est estimée à 1 hm³. Les pertes sont inférieures aux apports quinquennaux secs. En conséquence, dans le sens de la sécurité, on peut négliger la somme Apport-Pertes dans le calcul de la loi de vidange théorique.

La loi de vidange théorique s'appuie sur le fait que 9 années sur 10, le volume d'été disponible dans la retenue est de 10 hm³ au 1^{er} juillet. Les apports et les pertes sont négligés (cf. paragraphe précédent). La courbe de vidange théorique doit satisfaire un soutien d'été de 2,5 m³/s à la station de Châteauneuf-du-Faou jusqu'au 30 septembre pour un été quinquennal sec.

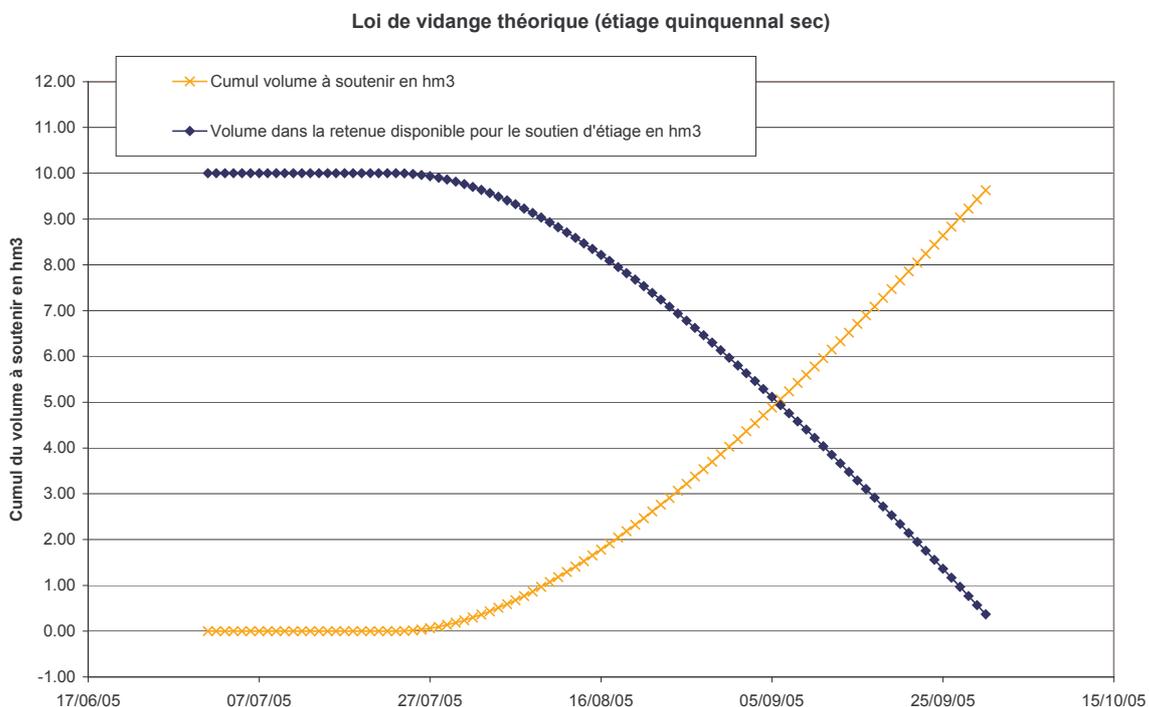


Figure 38 : Loi de vidange théorique pour un été quinquennal sec

La loi de vidange théorique permet d'atteindre l'objectif du DOE à Châteauneuf-du-Faou. Si le volume disponible pour le soutien d'été est supérieur à la courbe bleue (« volume dans

la retenue disponible pour le soutien d'été ») alors il est possible 4 années sur 5 d'atteindre le DOE jusqu'au 30 septembre.

Le volume restant dans la retenue est de 0,37 hm³ le 30 septembre. Pour un été plus sévère qu'un été quinquennal sec, on observe qu'il n'est pas possible de soutenir un débit de 2,5 m³/s. Par contre il est possible de soutenir un débit inférieur. La dépendance de la date de fin d'été en fonction du débit objectif est donnée ci-dessous sous une forme graphique :

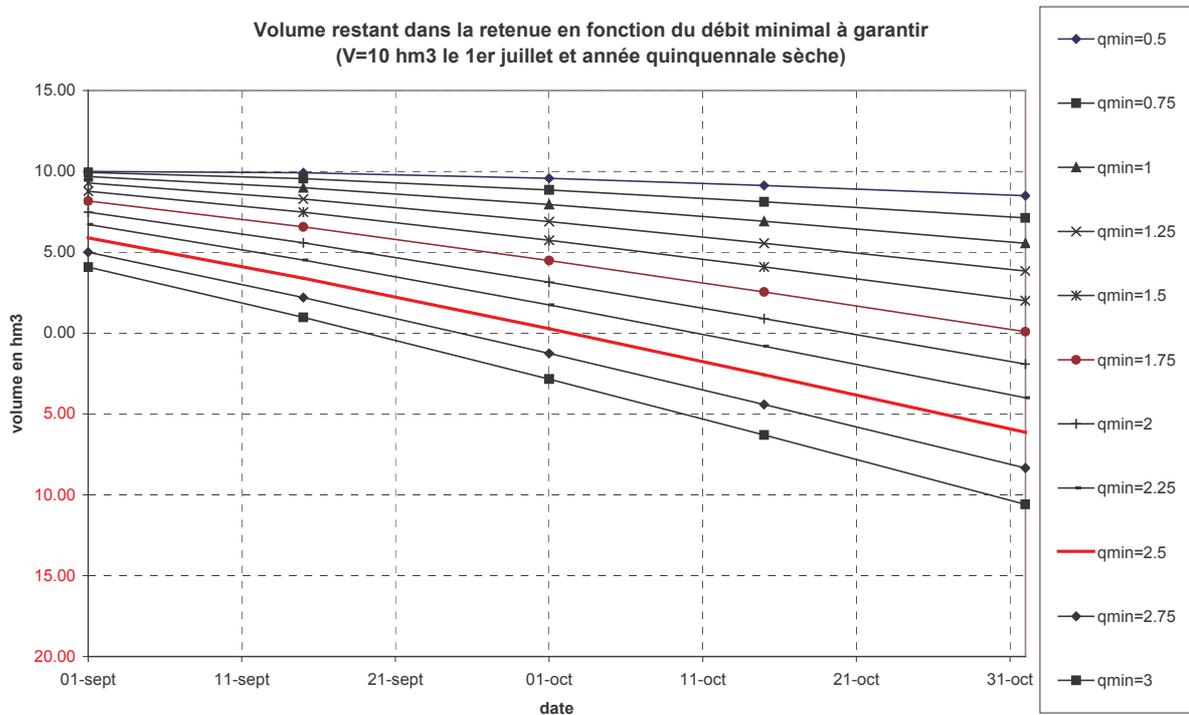


Figure 39 : Remplissage de la retenue en fonction du débit limite et de la date de fin d'été

7.4. Le débit au point nodal (Châteaulin)

Jusqu'à présent les analyses statistiques ont porté sur le débit à la station de Châteauneuf-du-Faou, station de référence pour le calage du modèle hydrologique. Le modèle hydrologique a pour exutoire le point nodal. Il est alors possible de comparer les débits simulés à Châteauneuf et à Châteaulin :

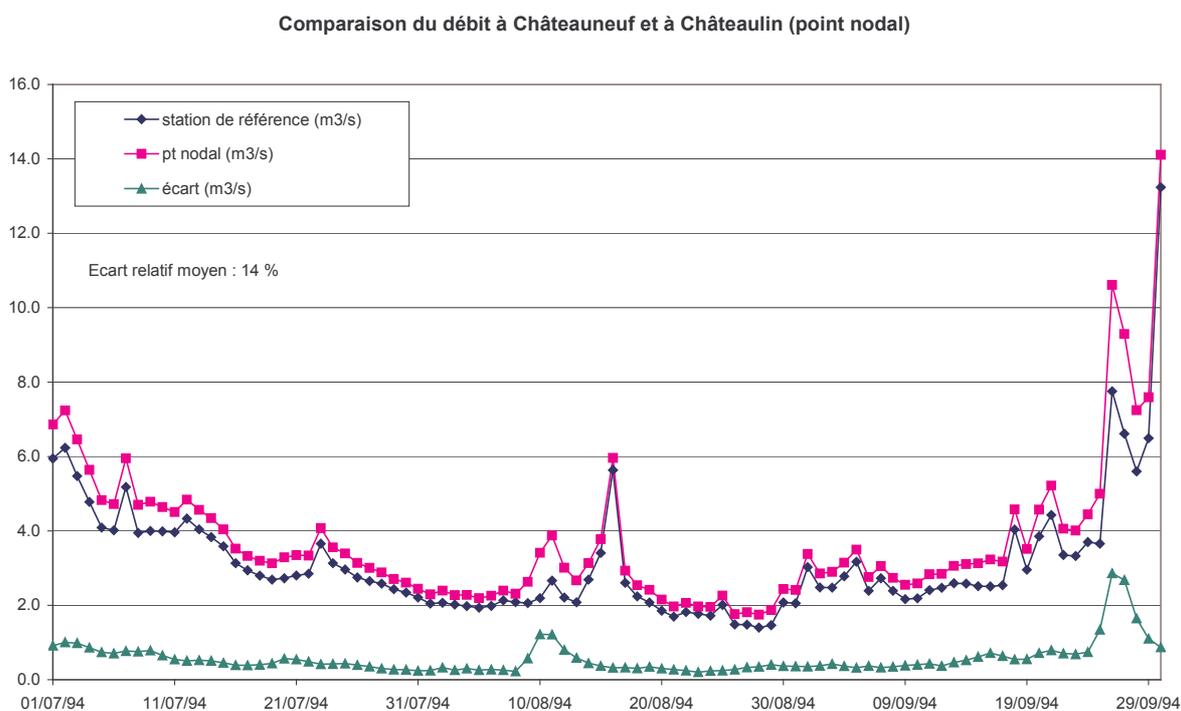


Figure 40 : Comparaison des débits à Châteauneuf et au point nodal (Châteaulin pour 1994)

Les apports intermédiaires les plus importants proviennent du Ster Goanez (85 km²). L'écart relatif moyen est de 14 %.

7.5. Scénario de gestion

L'objectif du scénario de gestion proposé est d'atteindre le DOE à la station de référence 4 années sur 5. Les simulations seront réalisées sur 1994, année moyenne et sur 2003, année sèche et des comparaisons avec le soutien d'étiage réellement réalisé seront conduites.

7.5.1. Scénario de gestion proposé

La gestion de la retenue de Saint-Michel s'appuie sur la connaissance des débits à Scrignac. Les débits moyens mensuels et quinquennaux secs sont rappelés dans les deux tableaux suivants :

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	
Débits mensuels moyens	0.28	0.19	0.35	1.30	2.44	m3/s
Débits quinquennaux secs	0.16	0.10	0.11	0.26	0.72	m3/s

Figure 41 : Débits mensuels moyens et quinquennaux secs à Scrignac sur l'Aulne

	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	
Débits mensuels moyens	3.66	2.34	3.29	10.70	22.66	m3/s
Débits quinquennaux secs	1.69	1.12	1.24	2.45	6.71	m3/s

Figure 42 : Débits mensuels moyens et quinquennaux secs à Châteauneuf-du-Faou

La corrélation entre les débits spécifiques des deux stations est bonne comme le montre le tableau ci-dessous :

						Moyenne	Ecartype
Moyens	12.9	12.1	9.4	8.2	9.3	10.4	1.99
Quinquennaux secs	10.9	11.5	11.1	9.3	9.3	10.4	1.06

Figure 43 : Rapport entre les débits à Châteauneuf et à Scrignac

La corrélation est meilleure pour les débits quinquennaux secs. Le débit à Châteauneuf Q_c peut donc être approximé par le débit à Scrignac Q_s par la relation suivante :

$$Q_c = 10,4 \times Q_s$$

Au jour j , la mesure du débit à Scrignac permet d'estimer le débit naturel à Châteauneuf par la relation précédente. Le débit de sortie du barrage (soutien) est estimé par la différence entre le DOE et le débit estimé à Châteauneuf dans le cas où celui-ci serait inférieur au DOE.

Cette règle de gestion au jour le jour n'est pas suffisante pour gérer la retenue sur plusieurs jours et sur plusieurs mois si l'on désire garantir un débit suffisant à Châteauneuf-du-Faou pendant toute la période d'étiage.

A court terme, sur une fenêtre de 15 jours, le volume à soutenir est calculé grâce au coefficient de tarissement (cf. Figure 44) pris égal à 0,038. Le volume nécessaire pour soutenir un débit d'objectif pour les 15 jours suivants peut être calculé avec la loi de tarissement. Les besoins en volume pour soutenir un débit d'objectif pour une année quinquennale sèche jusqu'à la fin de l'étiage peuvent être calculés. Si le volume disponible

dans la retenue est suffisant, le DOE pourra être respecté. Sinon, le débit objectif sera diminué afin de garantir un soutien jusqu'à la fin de la période d'étiage. Sans cette règle, le DOE n'aurait pu être atteint seulement que quelques semaines en 2003 avant que la retenue ne soit vide.

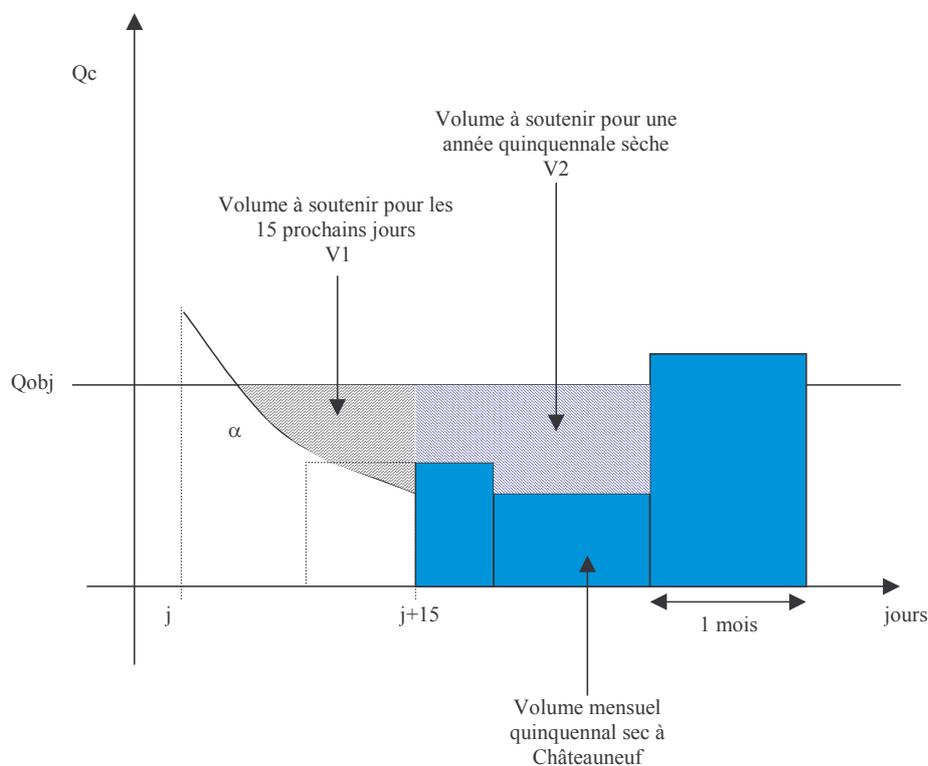


Figure 44 : Gestion du volume de la retenue

Le volume à soutenir par mois pour maintenir le DOE en année quinquennale sèche est de :

- 2,17 hm³ en juillet ;
- 3,70 hm³ en août ;
- 3,37 hm³ en septembre ;
- 0,13 hm³ en octobre ;
- 0 hm³ en novembre.

Le logigramme du scénario de gestion est le suivant :

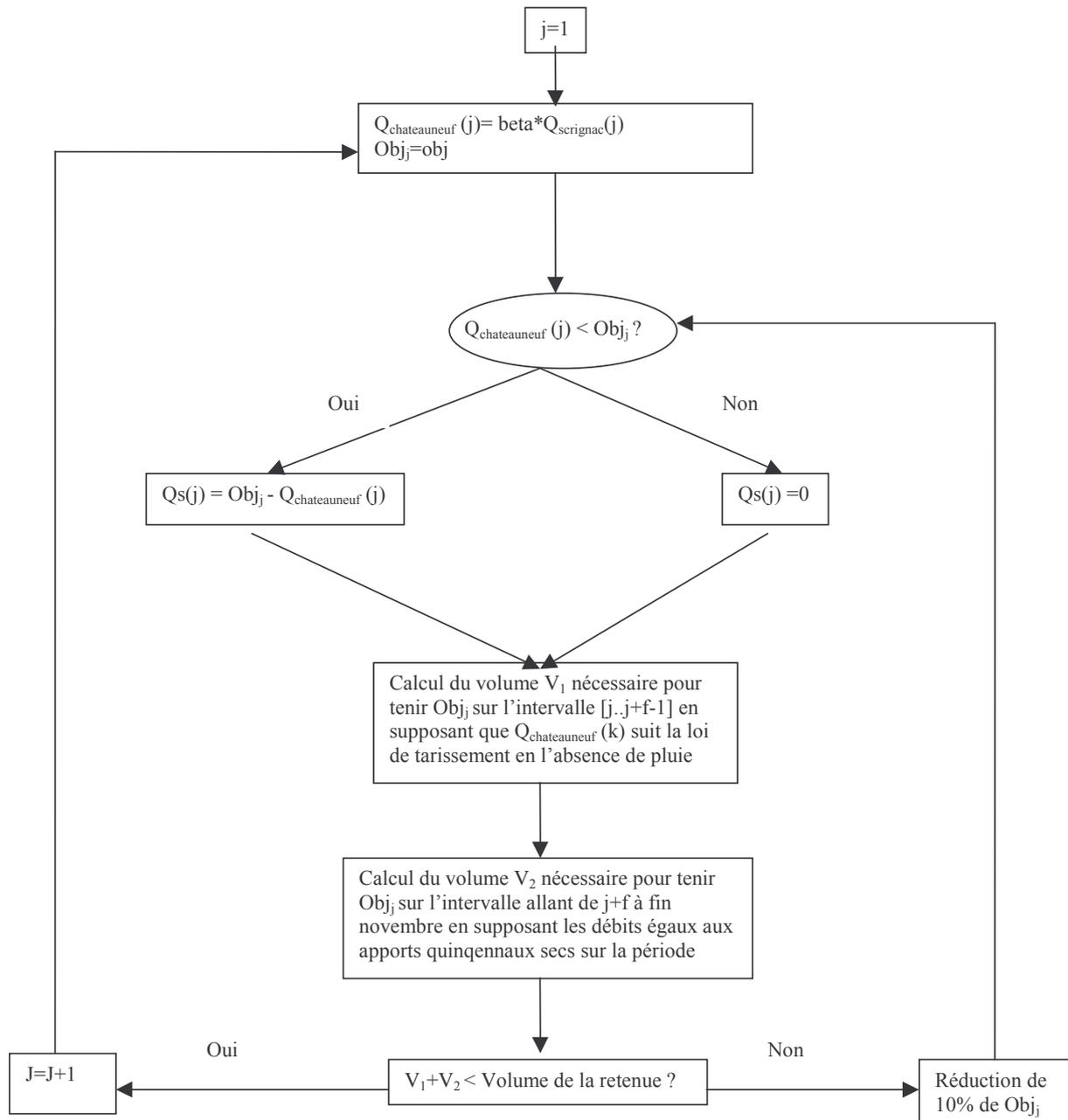
Alpha : coefficient de tarissement

F : fenêtre d'utilisation de la loi de tarissement

Obj_j : objectif de débit à Châteauneuf (DOE)

Qs(j) : débit en sortie de la retenue à la date j

Beta : $Q_{\text{Châteauneuf}}/Q_{\text{Scigrnac}}$



7.5.2. Le résultat des simulations

Pour 1994, année moyenne, les résultats de la simulation sont représentés dans la figure ci-dessous :

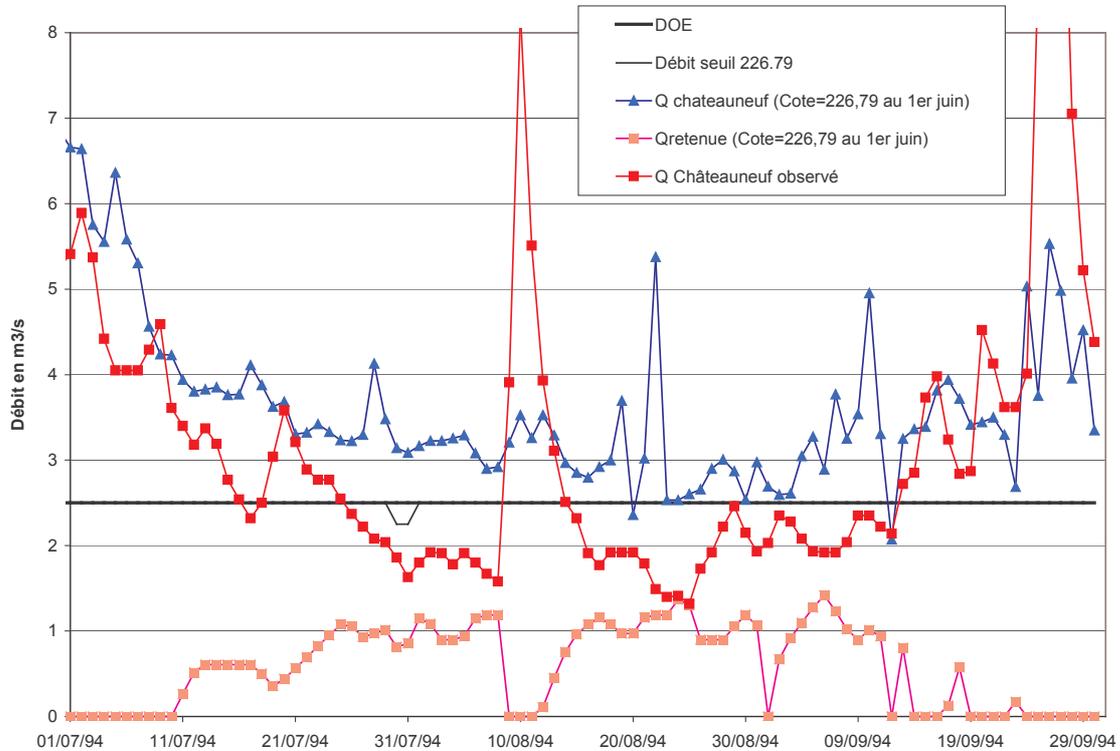


Figure 45 : Scénario de gestion pour 1994

La courbe en bleu est le débit simulé à Châteaufneuf-du-Faou dans Gesres. En violet apparaissent les débits de sortie de la retenue de Saint Michel. Le débit réellement observé à Châteaufneuf est en rouge et le débit d'objectif ainsi que le débit seuil sont en noir. Le débit seuil est calculé chaque jour. Si le volume de la retenue est suffisant, il est égal au DOE. Si les prévisions sur les prochains mois donnent un volume insuffisant pour soutenir les étiages à un niveau du DOE, le débit objectif est diminué de manière à assurer un débit constant seuil pour toute la période d'étiage.

Avec la règle de gestion adoptée, le débit à Châteaufneuf est supérieur au DOE excepté pour 2 jours alors qu'en réalité, le DOE n'a pas été atteint pendant près d'un mois. Les débits à la sortie du barrage sont au maximum de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il est intéressant d'analyser le comportement du modèle en cas d'étiage plus sévère que l'étiage sec de période de retour 5 ans. C'est le cas de l'année 2003.

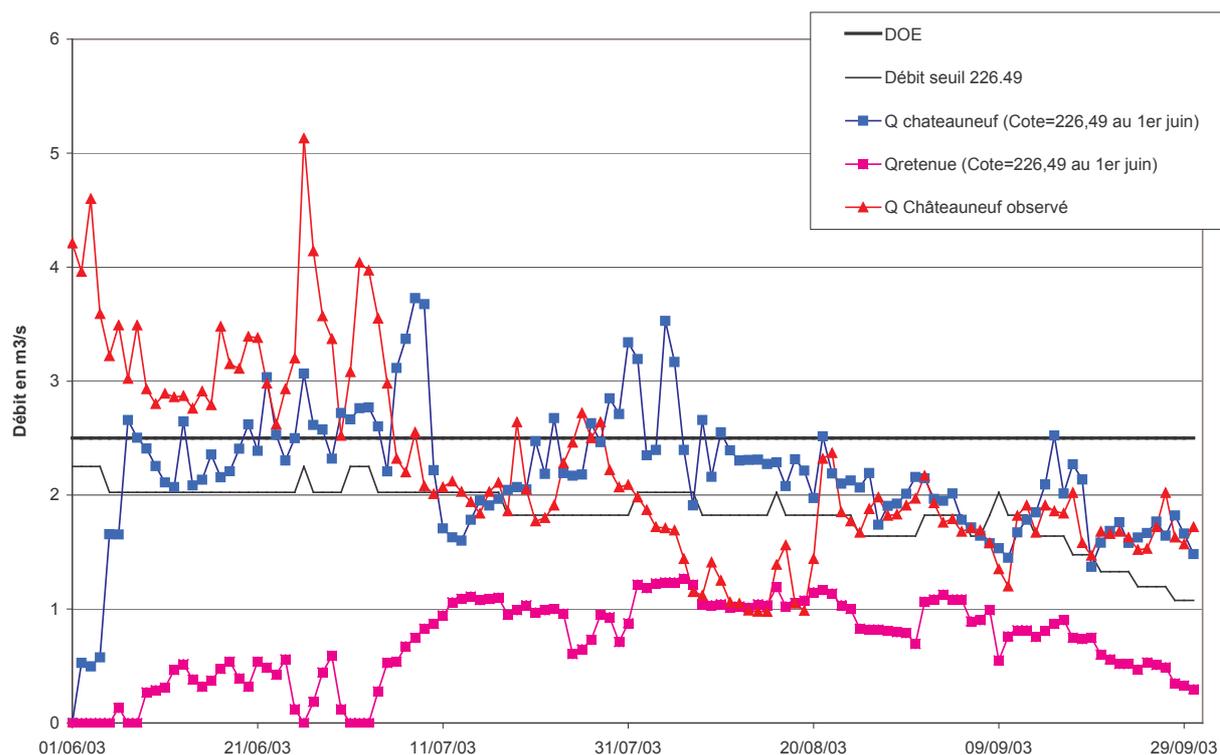


Figure 46 : Scénario de gestion pour 2003

Dès le mois de juin, la valeur du débit seuil montre qu'il n'est pas possible d'obtenir un DOE pour toute la période d'été (RN=226,49 m le 1^{er} juin). Le modèle propose alors un débit seuil de 2 m³/s. A partir du mois d'août, le modèle ne peut plus soutenir 2 m³/s car le volume de la retenue a fortement diminué et le débit à Châteaufneuf reste bas. Le débit seuil diminue alors fortement en septembre pour atteindre 1,1 m³/s le 30 septembre.

De manière générale, les débits simulés sont supérieurs aux débits observés et supérieurs au débit seuil. Les débits de soutien d'été à la retenue atteignent un maximum de 1,3 m³/s en août. Les débits diminuent ensuite car le volume disponible dans la retenue est faible au mois de septembre.

7.5.3. Test de sensibilité aux paramètres

La fenêtre de prévision

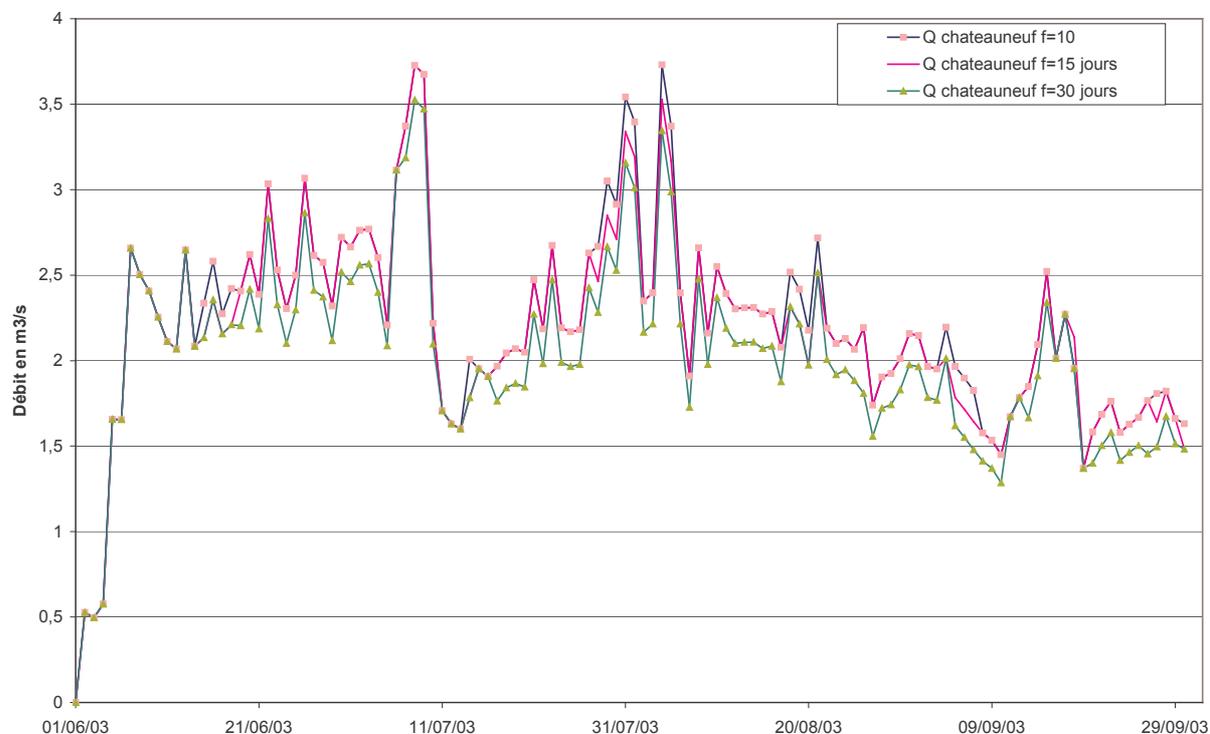
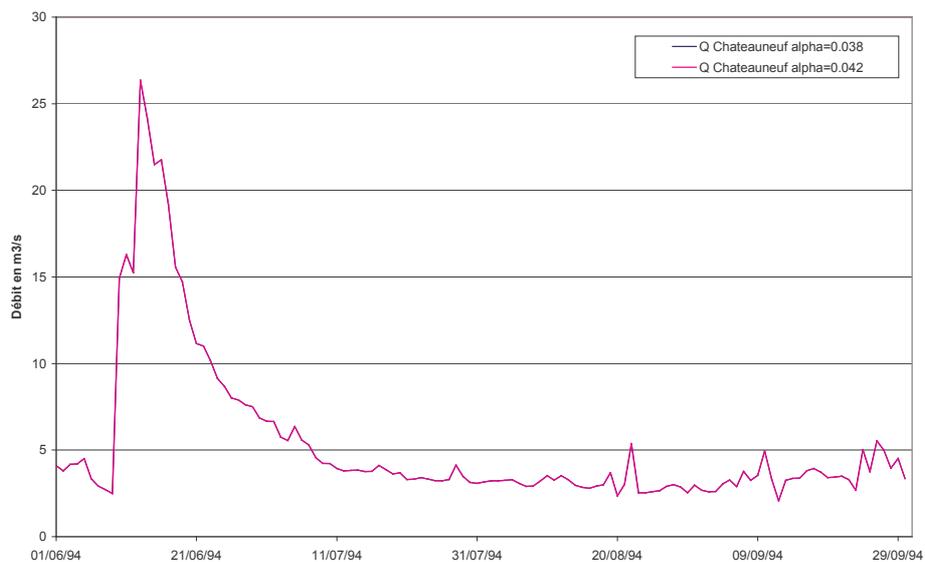
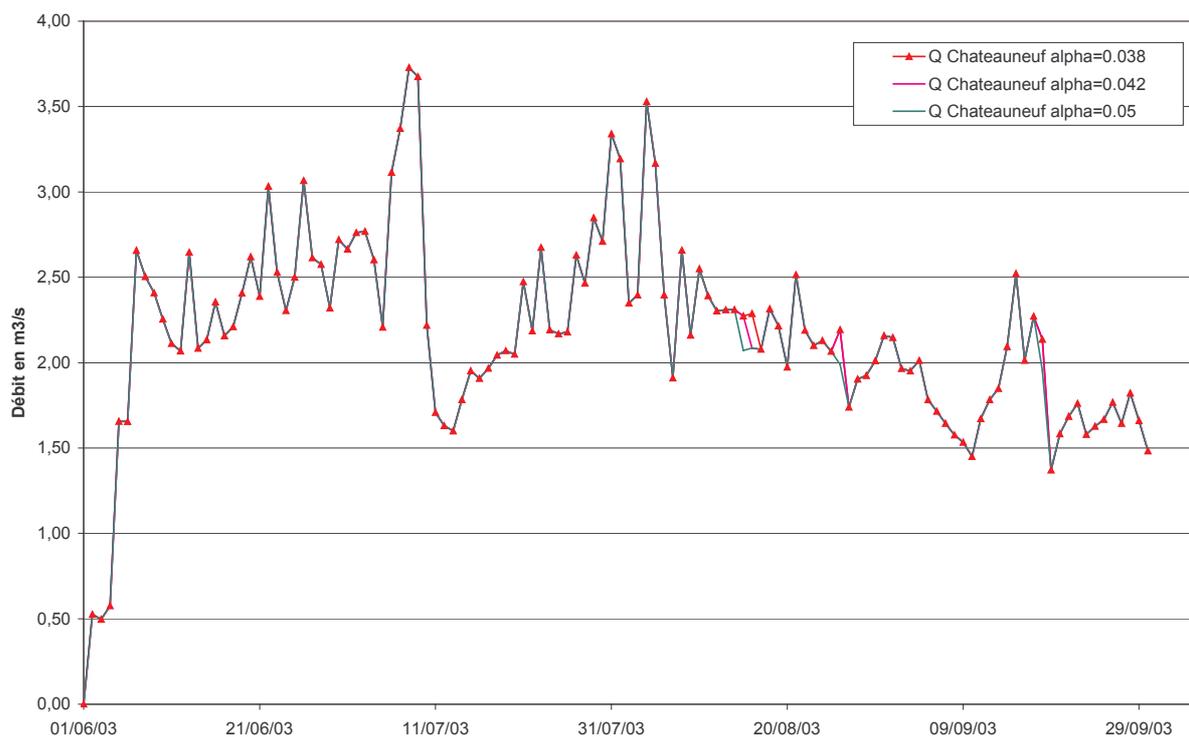


Figure 47 : Influence de la fenêtre de prévision sur la simulation (année 2003)

La fenêtre de prévision a un rôle sur les volumes à soutenir dans les prochains jours. Pour une fenêtre de 30 jours, les débits à Châteaufneuf-du-Faou sont plus faibles que pour des fenêtres plus courtes. Il est donc préférable de prendre une fenêtre plus courte comme 15 jours. Il est difficile de descendre en dessous de 10 jours étant donné les phénomènes de propagation.

Le coefficient de tarissement**Figure 48 : Influence du coefficient de tarissement (année 1994)****Figure 49 : Influence du coefficient de tarissement (année 2003)**

La simulation est très peu sensible au coefficient de tarissement. De ce point de vue, l'outil est relativement robuste.

Le rapport entre les débits à Châteauneuf et à Scignac

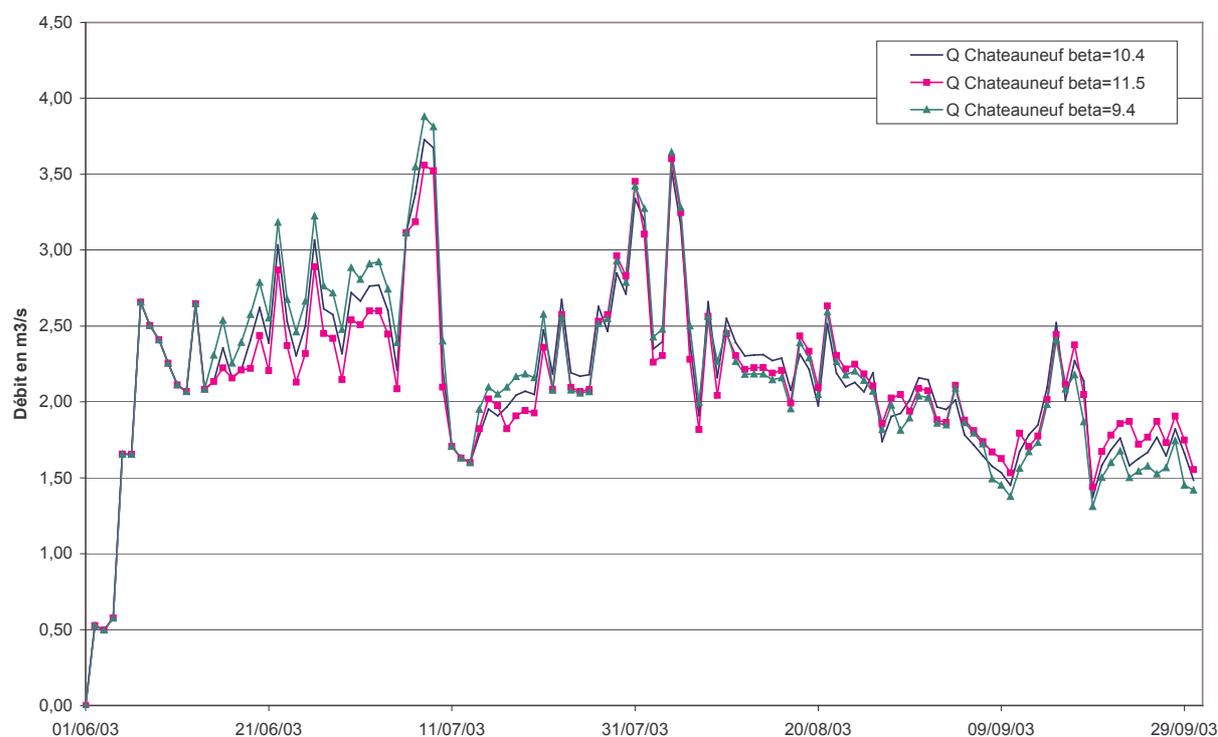


Figure 50 : Influence du rapport de débit entre les stations de Châteauneuf et de Scignac

De manière générale, les écarts sont de l'ordre de $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ pour les débits simulés à Châteauneuf-du-Faou

7.5.4. Les limites du scénario de gestion proposé

Le scénario de gestion proposé tient compte d'une information partielle sur le bassin versant. Seule la station de Scignac a été considérée. Ainsi il y a le risque de procéder à un soutien plus important que nécessaire dans le cas d'un orage localisé ailleurs que sur le bassin amont de l'Aulne (bassin versant de l'Hyères par exemple) ou bien a contrario de ne pas procéder aux lâchers suffisants dans le cas d'un orage localisé sur l'Aulne amont. Cependant, ces cas de figure peuvent être qualifiés de rares au vu des bons coefficients de corrélation entre les débits aux stations confirmés par une analyse des précipitations estivales

La deuxième limite de cette gestion concerne le débit quinquennal sec d'octobre. On constate une première quinzaine relativement sèche alors que la deuxième quinzaine est plus humide (précipitations d'automne). En prévision à long terme, le modèle prévoit des apports non négligeables sur la première quinzaine d'octobre d'où un risque de défaillance pour atteindre l'objectif.

8. ANNEXES

8.1. Le logiciel Resneur

Le logiciel Resneur est un logiciel d'analyse numérique permettant de réaliser des modèles. Ces modèles sont des fonctions de transfert moyennes entre des entrées et des sorties. L'ajustement de ces fonctions de transfert se fait par la méthode des moindres carrés pour les fonctions de transfert linéaires et par des méthodes plus complexes pour les réseaux présentant des discontinuités.

Les applications possibles de ce logiciel sont multiples, de l'analyse de corrélations simples entre deux paramètres jusqu'à des modèles non linéaires autoregressifs à moyenne mobile avec des retards...

L'aide complète du logiciel se trouve en ligne mais cette notice vous permet d'avoir un aperçu des fonctions du logiciel sous format papier.

8.2. Cartographie

8.3. Données hydrologiques

8.4. Retenue de Saint Michel

8.5. Prélèvements et rejets

8.6. L'Aulne canalisée