



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Etude de définition d'indicateurs pour la caractérisation des éclusées sur le bassin Adour-Garonne

**INVENTAIRE DES METHODES &
PROPOSITION DE DESCRIPTEURS
HYDROLOGIQUES**

Mars 2008

SOMMAIRE

PREMIERE PARTIE : INVENTAIRE DES METHODES	6
1. PRESENTATION GLOBALE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES ECLUSEES	6
1.1. Etudes ouvrant à une typologie des aménagements générateurs d'éclusées	6
1.2. Les études françaises à caractère expérimental et scientifique consacrées aux effets écologiques des éclusées	7
2. ANALYSE DES ETUDES DIAGNOSTIC EN ADOUR ET GARONNE.....	8
2.1. Le cadre proposé par le SDAGE AEAG en 1996	8
2.2. Principaux acquis des études diagnostic	9
LE TABLEAU CI APRES RESUME LES POINTS PRESENTES DANS CES ETUDES.	9
2.3. Autres retours d'expérience spécifiques à Adour Garonne	12
2.4. Les expériences équivalentes extérieures à Adour Garonne	12
3. SYNTHESE DES DIFFERENTES METHODES CARACTERISANT L'IMPACT DES ECLUSEES SUR LES MILIEUX ET LES USAGES	13
3.1. Synthèse des principaux résultats issus de l'étude des impacts des éclusées	13
3.2. Difficulté d'établir un ou des indicateurs prédicteurs d'impacts écologiques	16
3.2.1. Les paramètres pertinents pour l'analyse des impacts environnementaux.....	16
3.2.2. Prise en compte des effets cumulatifs pour l'appréciation des impacts environnementaux.....	21
3.2.3. Calendrier de sensibilité écologique	22
3.2.4. Conclusion.....	23
4. LES OUTILS D'ANALYSE DE L'HYDROGRAMME.....	25
4.1. Les outils de caractérisation hydrauliques en Adour Garonne	25
4.1.1. Etude Gave de Pau : (Institution Adour/AEAG/Edf).....	25
4.1.2. Etude Dordogne (Compagnie des Experts et sapiteurs).....	25
4.1.3. Travail Agence de l'Eau Adour Garonne (2002)	26
4.1.4. Etude GHAAPPE/MIGADO	27
4.2. Autres études	27
4.2.1. Etudes statistiques sur les indices hydrologiques.....	27
4.2.2. Méthode RVA (RANGE OF VARIABILITY APPROACH).....	28
4.2.3. Etude bibliographique OFEFP.....	30
5. LES ENJEUX SOCIOLOGIQUES	31
6. ELEMENTS DE CORRECTION DES IMPACTS HYDROLOGIQUES RELEVES DANS LA BIBLIOGRAPHIE.....	32
6.1. Correction du régime hydrologique.....	32
7. PREMIERE SYNTHESE ISSUE DE L'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	33

DEUXIEME PARTIE : LES DESCRIPTEURS HYDROLOGIQUES DES HYDROGRAMMES	34
8. OBJECTIFS POURSUIVIS	34
9. MOBILISATION ET ORIGINE DES DONNEES HYDROMETRIQUES TRAITEES	35
10. QUEL HYDROGRAMME ?	37
10.1. Débit ou hauteur d'eau	37
10.2. QTVAR, Qhoraire	37
10.3. Remarque sur les stations échantillonnées	39
10.4. Variations naturelles ou éclusées ? La question de la discrimination automatique.....	39
11. INDICE D'INSTABILITE DE L'HYDROGRAMME	40
12. CRITERES D'AMPLITUDE DES VARIATIONS DE DEBIT	42
12.1. Amplitude absolue.....	42
12.2. Coefficient d'amplitude	43
12.3. Traitement de l'échantillon	43
12.4. Test sur trois stations caractéristiques.....	43
12.4.1. Seuil de coupure.....	43
12.4.2. Quantile caractéristique.....	45
12.5. Problème de la période d'analyse.....	49
12.6. Synthèse critère de choix du paramètre amplitude.....	51
13. DEBIT DE BASE.....	52
13.1. Méthode	52
13.2. Opportunité d'un indicateur spécifique.....	56
13.3. Synthèse critère de choix paramètre débit minimum.....	57
14. FREQUENCE DES PHENOMENES.....	58
14.1. Définition	58
14.2. Synthèse critère de choix paramètre fréquence	58
15. VITESSE DE VARIATION INSTANTANEE	59
15.1. Les gradients longue période, le rôle du débit de base naturel	64
15.2. Enseignement pour la Dordogne	66
15.3. Synthèse critère de choix gradient.....	68
16. LES INDICATEURS PROPOSES	69
17. REPRESENTATION SYNTHETIQUE DES DESCRIPTEURS DES FLUCTUATIONS HYDROLOGIQUES.....	71
17.1. Principe et modalité de calcul	71
17.2. Restitution graphique des descripteurs.....	72
17.3. Fiche d'analyse pour une station particulière.....	75
17.4. Représentation de l'évolution des descripteurs sur un même axe hydrographique	77
17.5. Représentation cartographique	77
17.6. Evolution interannuelle : l'exemple d'Argentat	79
18. CONCLUSION	81
19. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES MOBILISEES.....	82
20. ANNEXE	85

Préambule

Le travail sollicité par l'Agence de l'Eau a pour objet la recherche et la production d'indicateurs **simples, pertinents et opérationnels** afin de permettre la caractérisation des éclusées et des usages concernés sur les principaux cours d'eau du bassin Adour Garonne.

L'étude a été suivie par un comité de pilotage composé :

Du prestataire (Eaucéa)

De l'expert désigné par l'Agence en concertation avec le comité de pilotage

D'un représentant d'EDF

D'un représentant de la Sous Direction Espace Rural et d'un représentant de la Sous Direction Connaissance et Planification de l'Agence de l'Eau,

D'un représentant de la DRIRE Midi-Pyrénées,

D'un représentant de la DIREN Midi-Pyrénées, DIREN de bassin

D'un représentant du CSP

Compte tenu de la grande difficulté de caractériser la sensibilité des milieux très dépendante des conditions hydrauliques et hydrobiologiques locales, il a été décidé que l'étude devait se concentrer sur la définition de descripteurs hydrologiques.

Les éclusées existent depuis l'origine de l'exploitation de la force motrice de l'eau. Leurs impacts longtemps limités aux cours d'eau les plus modestes, ont pris une ampleur nouvelle avec les grands aménagements industriels. L'utilité énergétique de ce mode de gestion de la ressource hydraulique est manifeste mais les conséquences sur les milieux et les usages doivent être prises en compte et si possible aménagées pour les rendre acceptables.

Les débats préparant la loi sur l'eau et notamment ceux au sénat, ont abordé cet enjeu des éclusées à la fois sur le plan énergétique (elles représenteraient aujourd'hui d'après RTE, entre 60 et 70% de la production des variations quotidiennes de la demande d'électricité) et avec l'objectif de l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau (migrateurs en particulier). La puissance publique a donc organisé un premier jeu de dispositions attachées à chaque concession hydroélectrique visant à qualifier les obligations du concessionnaire notamment vis-à-vis du fonctionnement par éclusée.

Ainsi, le premier cahier des charges type des concessions hydroélectriques, daté du 5 septembre 1920, fixe déjà les limites de ce mode de fonctionnement dans son *article 15- "Obligations relatives à l'écoulement des eaux : l'administration se réserve expressément le droit de réglementer les éclusées de l'usine, en obligeant, s'il y a lieu, le concessionnaire à maintenir, dans le canal de fuite, par un bassin de compensation ou par tous les autres dispositifs appropriés, le débit nécessaire **pour sauvegarder les intérêts généraux** et au besoin, un débit égal à celui qui arrive à la prise d'eau, sans qu'il puisse y faire opposition ou prétendre à une indemnité de ce chef."*

Il y a bien une notion d'impact ou de conflit d'usage potentiel bien longtemps avant la prise de conscience actuelle des enjeux environnementaux.

Le cahier des charges en date du 14 octobre 1999, et qui s'impose au renouvellement de titre de concession, renforce cette exigence en élargissant les objectifs environnementaux,

(article 17, "*caractéristiques de la prise d'eau*"). Il organise une post évaluation de l'efficacité des mesures puisque l'article 22 prévoit un suivi écologique destiné à connaître et à **mesurer** les conséquences de la présence et du fonctionnement de l'aménagement. Ce suivi qui devrait progressivement être une source d'information précieuse verra son contenu, sa durée et son extension géographique précisés dans le cahier des charges ou dans le règlement d'eau. Des indicateurs spécifiques à chaque concession seront donc peu à peu mis en oeuvre.

Enfin le *règlement d'eau* (article 21) vise le fonctionnement par des éclusées qui sont surtout encadrées par l'article 28 "*éclusées*". Les paramètres pouvant faire l'objet d'un encadrement et de précision sont explicitement :

Le nombre et la périodicité des éclusées ;
La vitesse de variation en période d'étiage ;
La période d'étiage en question.

L'amplitude des éclusées est *a priori* plafonnée par le débit maximal "dérivé" fixé dans l'article 1 mais aussi par le débit minimum qui en règle général est assimilable au débit réservé.

D'autres critères peuvent être proposés dans le règlement d'eau.

Il est cependant apparu très rapidement que si l'éclusée est attachée au mode de gestion d'une centrale hydroélectrique, le transfert de ces variations de débit dans les cours d'eau, se traduit par des effets hydrauliques qui modifient la forme des hydrogrammes résultants. Les stations de mesures hydrométriques enregistrent des variations naturelles (crués) et aussi de nombreuses perturbations involontaires sans vocation énergétique mais qui contribuent à des fluctuations artificielles du débit. La définition d'indicateur s'inscrit donc plus dans le suivi et la qualification des perturbations du régime hydrologique observées sur les cours d'eau que dans la seule description du régime d'éclusée au sens strict.

PREMIERE PARTIE : INVENTAIRE DES METHODES

1. PRESENTATION GLOBALE DES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES ECLUSEES

Pour mener à bien un premier travail de synthèse bibliographique nous nous sommes appuyés sur une liste de documents transmis par l'Agence de l'Eau Adour Garonne et par EDF en particulier. La liste exhaustive des travaux consultés est présentée en annexe.

1.1. Etudes ouvrant à une typologie des aménagements générateurs d'éclusées

Plusieurs documents abordent la question des aménagements hydroélectriques, source d'éclusées.

Dans l'article de A. Champeau (bulletin écologique, 1982) sur la chaîne hydroélectrique du Verdon, des paramètres abiotiques ont été retenus en tant qu'élément de prévision :

- de l'évolution des retenues ;
- de l'impact du marnage.

Ces 22 descripteurs pouvant être partitionnés en 4 groupes représentant respectivement :

1. les apports à la retenue ;
2. la morphométrie du réservoir ;
3. le mode d'exploitation de l'usine ;
4. les spécifications techniques des installations et les données qualitatives.

Ces descripteurs permettent de proposer une première typologie des aménagements hydroélectriques français mais dont la pertinence n'a pu être totalement testée quant à leurs fonctionnements écologiques et leurs conséquences environnementales.

Les premiers travaux de Lauters en 1993, dans un contexte significativement différent de celui de 2006, prolongent cette typologie. Il distingue tout d'abord, des ouvrages les moins productifs énergétiquement dont la gestion est dépendante **de prévision de consommation**, et ceux plus productifs (importance nationale ou régionale) avec pour ces derniers en plus d'une programmation de la production, une fonction **d'ajustement de la production au niveau de la consommation réelle** et donc peu prévisible.

Dans la typologie des 144 centrales étudiées il est important de distinguer :

- Usines gérées par éclusées ;
- Usines "au fil de l'eau" capables de fonctionner par éclusée lorsque le débit de la rivière est faible (étiage). Ces éclusées sont limitées en durée et en amplitude ;
- Usines au fil de l'eau strict.
- Les critères d'intensités se réfèrent au rapport débit max/débit réservé, Débit max/module du tronçon à éclusées.
- La longueur de rivière influencée hydrauliquement, mais avec une difficulté pour calculer le linéaire nécessaire à l'amortissement naturel. Une valeur de 20 km au minimum est retenue. Ce critère présenté dans un tableau exhaustif des ouvrages sera retenu et éventuellement corrigé pour compléter la base de données actualisée d'EDF.

L'ensemble de ces critères est à l'origine du classement en usine d'intérêt national, régional ou local qui sera repris par le SDAGE Adour Garonne en 1996 (tableau C6 du SDAGE).

Enfin, la base de données cartographiques (SIG) des ouvrages d'Adour Garonne (MTC EDF/AEAG) constitue un référentiel précieux qui a été largement mobilisé dans les développements futurs de cette étude. On y retrouve les éléments utiles à la description du potentiel de chaque aménagement, et sa position dans les chaînes d'ouvrages.

1.2. Les études françaises à caractère expérimental et scientifique consacrées aux effets écologiques des éclusées

Le plus ancien travail à notre disposition est l'article de A. Champeau (bulletin écologique, 1982) qui en s'appuyant sur une analyse hydrobiologique de la chaîne hydroélectrique du Verdon, sur les retenues hydroélectriques, distingue les quatre grandes sources de perturbation que sont les débits réservés préjudiciables à la diversité spécifique (faune, flore), les éclusées à la densité des populations et à la reproduction des truites (instabilité du substrat), le marnage dans les retenues et le renouvellement d'eau défavorable à la vie planctonique, les vidanges aux impacts catastrophiques sur la rivière à l'aval.

Par la suite, l'essentiel des conclusions opérationnelles a été formalisé dans le cadre d'un groupe de travail "Eclusées" porté par EDF avec en particulier les contributions d'E.D.F, du Cemagref, de l'E.N.S.A.T, du C.S.P. et des laboratoires d'hydrobiologie des universités Paul Sabatier (Toulouse) et de Provence St Charles. Ce groupe a porté ses travaux de 1990 à 1995. Ce travail s'appuie largement sur deux thèses : F. Lauters (1995) et S.Valentin (1995) fondées sur l'étude de 5 sites dont 2 en Adour Garonne.

L'intérêt de ces deux thèses a été considérablement renforcé par le rapport qui a fait la synthèse des principales conclusions écologiques (Sabaton et al, 1995) et propose des recommandations pour l'expertise d'un site. Le Cemagref (Valentin, 1995), reprend les principales conclusions sur les effets écologiques dans une étude de synthèse publiée.

Si depuis d'autres thèses prolongent certaines analyses (cas de H. Liebig en 1998 sur la reproduction de la truite en Ariège), les travaux bibliographiques d'EDF ne font pas apparaître de "révolution" majeure récente dans l'analyse de ces phénomènes. Les principaux résultats sont présentés dans un chapitre ultérieur.

2. ANALYSE DES ETUDES DIAGNOSTIC EN ADOUR ET GARONNE

2.1. Le cadre proposé par le SDAGE AEAG en 1996

Mesure C14

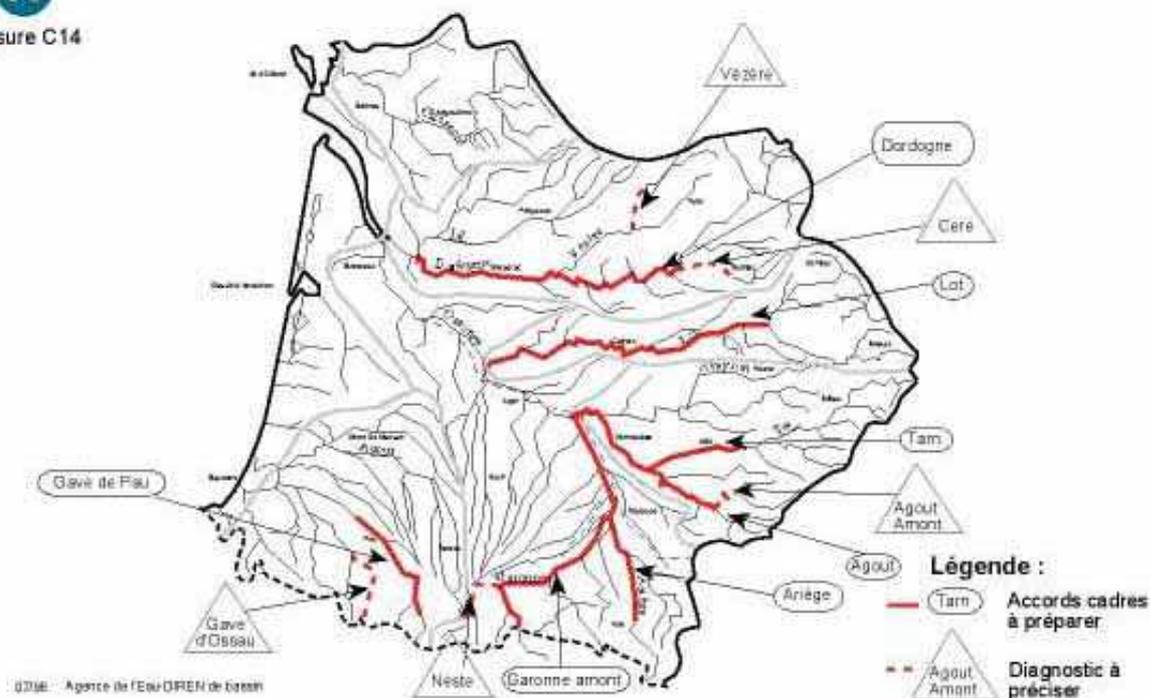
Fonctionnement par éclusées des aménagements hydroélectriques en période critique

Il est recommandé que :

- l'Agence et les collectivités concernées, en liaison avec le préfet coordonnateur ou les CLE lorsqu'elles existent, négocient, avec les gestionnaires des ouvrages hydroélectrique autorisés à fonctionner par éclusées*, les conditions techniques et financières d'un aménagement de ces éclusées,
 - cet aménagement ménage la sécurité du système électrique et ne concerne pas les usines de lac participant à la sécurité du système national,
 - dans un délai de trois ans après l'approbation du SDAGE, des accords-cadre règlent cette réduction des éclusées sur les cours d'eau définis par la carte c5, sous réserve d'un diagnostic à établir par l'Agence en ce qui concerne le gave d'Ossau, la Neste, la Vézère, la Cère,
 - sur les autres cours d'eau, des accords au cas par cas aménagent la situation en période critique, en fonction de la sensibilité des milieux et de la valeur économique de l'eau.
- Il est recommandé que les gestionnaires d'ouvrages au fil de l'eau non autorisés à fonctionner par éclusées recherchent les dispositifs techniques permettant de délivrer à l'aval le débit entrant à l'amont.
- Les décisions réglementaires relatives aux ouvrages hydroélectriques :
- prescrivent, au besoin par modification des titres en cours :
 - . sur les cours d'eau bénéficiant d'un soutien d'étiage, la transparence des ouvrages au débit de réalimentation,
 - . pour les ouvrages non autorisés à fonctionner par éclusées, l'installation trois ans au plus après approbation du SDAGE de dispositifs contrôlant l'écart entre les débits amont et aval,
 - prescrivent pour les ouvrages nouveaux ou dont le titre est à renouveler :
 - . la variation admissible des débits lâchés, compte tenu des intérêts de l'aval et de la valeur de l'eau,
 - . l'installation sur les ouvrages non autorisés à fonctionner par éclusées*, de dispositifs assurant un fonctionnement strict au fil de l'eau.



Grandes rivières sensibles aux éclusées



2.2. Principaux acquis des études diagnostic

Cette mesure du Sdage, est à l'origine de plusieurs études (Neste, Tarn Agout, Gave de Pau, Gave d'Ossau) et de deux accords cadres

- le Lot première étude de ce type ;
- Dordogne/Vézère,/Maronne/ Cère qui se traduit aujourd'hui par un défi éclusée.

Les autres études en sont restées au stade diagnostic qui a pu conclure que les enjeux ne nécessitaient pas un accord-cadre. Notons que la Garonne et l'Ariège sont en cours d'étude en 2007.

Ces études, ont l'intérêt de traiter des bassins hydrographiques pris dans leur ensemble et abordent donc potentiellement un territoire plus complexe que celui concerné par un seul aménagement.

Toutes ces études diagnostics sont organisées sur un schéma comparable. En particulier les éventuelles modifications de gestion qui en découlent ne concernent pas les grands ouvrages amont d'intérêt national, et doivent se concentrer sur la réduction des effets en aval. Elles concernent donc le cours médian des axes.

Ces études constituent aujourd'hui un recensement intéressant des impacts "ressentis" qui sont différents d'un bassin à l'autre.

Elles apportent en outre des idées parfois originales concernant la description ou la qualification d'un problème ainsi que des éléments de calendrier de sensibilité.

Le tableau ci après résume les points présentés dans ces études.

Contenu	Lot	Tarn Agout	Gave d'Ossau	Gave de Pau	Neste	Bassin de la Dordogne
Méthode						
Bibliographie locale	Sommaire		Très développée (115 références)		sommaire	Sommaire
Enquête	Néant	Recueil témoignage		Dans contrat de rivière peu de réponse éclusée	Association de pêche, CSP, CACG, Administration	Très poussée sur le plan sociologique (réunion publique)
Inventaire des ouvrages	10 usines en amont + 62 chaussées en aval(31 usines)	120 usines (dont 91 autonomes)	23 usines (dont 12 autonomes)	52 usines (dont 29 autonomes)	24 usines (dont 9 autonomes)	31 usines EDF
Cartographie	Oui	Oui	BD Carthage		oui	BD Carthage
Analyse hydraulique						
Hydrologie: étiage	Estival (soutien d'étiage)	Estival (soutien d'étiage Agout)		hivernal estival	hivernal estival (soutien d'étiage)	estival
Hydrométrie		Absence de tarage sur 5 des 11 stations		Nombreux indices calculé sur un étiage	Très sommaire	Nombreux indices calculés
Atténuation aval	Progressive en Amplitude Perturbation intermédiaire	Progressive en Amplitude sur le Tarn		Forte en gradient	Non évaluée	Forte Synchronisation constatée
Commentaire particulier	Définition d'un débit de bon écoulement à l'étiage (pointe admissible=2x DOE)	Autres Perturbation qu'EDF Agout	Amplification des éclusées	Autres Perturbation qu'EDF	Faiblesse du réseau hydrométrique	Autres Perturbation qu'EDF Vézère
Analyse écologique						
Typologie piscicole	Salmonicole Intermédiaire Cyprinicole	Salmonicole Intermédiaire Cyprinicole	Salmonicole	Salmonicole	Salmonicole	Salmonicole Intermédiaire Cyprinicole
Etude Habitat piscicole, morphodynamique	Nombreux biefs (seuil de navigation) Surimpact en secteur courtcircuité	évocation dégradation de berges Nombreux biefs			Etude ENSAT Impact chenalisation	Dordogne Maronne Cère
Incidence Faune piscicole	Reproduction du brochet, Cyprinidés Echouage	Population globalement médiocre (problème qualitatif et faible débit) Reproduction du brochet, truite		Localement perturbé	Sectorisé Reproduction	Reproduction Emergence Sur tout le linéaire Piégeage Echouage
Incidence Migrateur		Libre circulation		Libre circulation	Sans objet à l'époque	Reproduction Emergence Circulation
Benthique	Peuplement passable	Non évalué	Non évalué	Non évalué	Mal connu	Historique et profil en long (IQBG et IBG)
Qualité des eaux	Enjeux cadmium eutrophisation	Forts enjeux sur l'Agout + aval Montauban Eutrophisation	Ponctuel (tourisme)	Bonne	Mal connue	Ponctuel

Contenu	Lot	Tarn Agout	Gave d'Ossau	Gave de Pau	Neste	Bassin de la Dordogne
Régime thermique	Décalage typologique	Non	Pas de données pertinentes	Pas de données pertinentes	Pas de données pertinentes	Cité (décalage typologique) et Mesurées (en continu) lissage thermique avec amortissement
Analyse sociologique						
Usages liés à l'eau	Navigation plaisance Canôe	AEP Irrigation (sensible) Motonautisme canôe Problème lié à l'imprévisibilité		Sport d'eau vive	Nautisme Promenade Camping Prise d'eau du canal de la Neste	Navigation Canôe Baignade Pêche professionnelle irrigation
Sécurité	En été baignade, nautisme Imprévisibilité			En été	Oui, localement	En été, baignade, nautisme Imprévisibilité
Halieutisme		Localement Sensible		Peu sensible	Perturbé	Perturbé
Démarche de planification	Sage Lot amont Colagne	Sage Tarn Agout Contrat de rivière Tarn	Contrat de rivière	Contrat de rivière	Sage Neste Ourse	Contrat de rivière Cère, Vézère
Synthèse et Proposition						
Calendrier des enjeux	Non	oui	Non	non	Oui	Oui
Classement de sensibilité	Cartographie des enjeux perturbés	Cartographie des enjeux perturbés	Non	Non	Oui Indice	Oui indice
Recommandation	Augmentation des DR Régulation des microcentrales Consigne de gestion Information	Extension consignes estivale Pouget et étiage Raviège Aménagement frayère brochet		Néant en attente d'une demande "sociale"	Enquête sensibilité écologique et humaine	Accord cadre Gradient Débit minimum Aménagement physique Système d'information

Les principaux enseignements que l'on peut tirer de ces études sont :

- l'origine des éclusées est en générale assez bien cernée,
- la période d'étiage est souvent mise en exergue,
- les descripteurs hydrologiques ne sont pas systématiques voire absents ou très incomplets en cas d'absence de données hydrométriques pertinentes,
- Les incidences écologiques sont souvent décrites de façon qualitative mais ne sont quasiment jamais quantifiées,
- Les incidences sur les usages sont généralement bien repérées.

2.3. Autres retours d'expérience spécifiques à Adour Garonne

Des opérations de suivi de mesures correctives ont été contractualisées après l'étude Dordogne dans le cadre du "défi territorial éclusées" lancé par l'Agence de l'Eau avec EDF et EPIDOR en novembre 2004 dans le cadre du VIII programme.

Les enjeux manifestes du secteur aval de la Maronne sur la dynamique des populations de saumon atlantique du bassin de la Dordogne ont abouti à un programme original d'adaptation des débits minimums de l'usine de Hautefage (EDF), de travaux d'ingénierie écologique en rivière (FDAAPPMA de la Corrèze) et de suivi des effets écologiques (MIGADO) qui permettent aujourd'hui un intéressant retour d'expérience pluriannuelle sur la mesure de l'impact écologique des éclusées (succès des reproductions, échouages) et l'efficacité de mesures correctives.

Sur la Dordogne, un suivi terrain (Ecogéa) très intéressant a été effectué en 2006, sur un secteur non spécifiquement salmonicole et avec des observations sur la faune piscicole, les invertébrés benthiques et les batraciens.

On constate que les risques d'échouage concernent les sections de cours d'eau où des annexes hydrauliques apparaissent en cas de montée du débit. Parfois, (cas de la Dordogne) des piégeages seraient observés dans la végétation de bordure en cas de submersion temporaire à fort débit.

Ces constats, récents confirment l'importance des conditions hydrodynamiques locales dans l'appréciation des impacts sur l'écosystème qui peuvent être distincts entre les périodes de hautes eaux ou de basses eaux.

2.4. Les expériences équivalentes extérieures à Adour Garonne

En Rhône Méditerranée Corse après enquête auprès de la Diren de bassin et l'Agence de l'Eau il semble qu'aucune démarche spécifique n'a été engagée au-delà des travaux qui ont pu concerner les sites d'études d'EDF (thèse de Sylvie Valentin par exemple ou REX EDF). Sur ces bassins les travaux sur les "pressions" hydroélectriques auraient été plus centrés sur les notions de rivière réservée ou les débits réservés (communication Thomas Pelt/AERMC).

Sur le bassin Loire Bretagne, il n'existe pas non plus de réflexion centrée sur les éclusées (communication Y. Moy AELB), mais le CSP de Poitiers a proposé une démarche originale de qualification de l'habitat et des pressions, en valorisant en particulier, l'expertise des gardes pêches et techniciens. La méthode qui permet de standardiser cette expertise propose une notation des pressions en trois classes de puissance (fort, moyen, faible) et pour un linéaire de rivière donnée. Elle intègre un volet hydrologie dans lequel les éclusées sont l'un des facteurs de pression identifiés.

Au dire de son inventeur, cette démarche bien que assez pertinente pour expliquer la qualité écologique observée, est trop générale pour permettre un lien directe avec les éclusées (Communication Thibault Vigneron).

3. SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES CARACTÉRISANT L'IMPACT DES ECLUSEES SUR LES MILIEUX ET LES USAGES

3.1. Synthèse des principaux résultats issus de l'étude des impacts des éclusées

Il ne nous semble pas pertinent de paraphraser les synthèses scientifiques sur l'impact des éclusées mais plutôt d'en rappeler ici les principaux résultats que nous avons extraits de l'étude bibliographique d'EDF. Notons en préalable que ces travaux sont très centrés sur les enjeux spécifiquement hydrobiologiques et plus rarement sur les impacts morphologiques ou ceux liés aux usages (le contraire sera plutôt observé dans les études des sous bassins Adour Garonne).

Les conclusions détaillées dans le rapport de synthèse HE31/95/19 (Sabaton, Lauters, Valentin et le groupe de travail éclusées, août 1995) sont les suivantes :

❖ **Régime hydraulique** : *La connaissance des caractéristiques hydrauliques le long du tronçon à étudier est indispensable pour décrire les modifications du régime des débits, modifications qui permettront certainement de mieux interpréter les impacts éventuellement décelés.*

❖ **Régime thermique** : *Les températures observées en aval des usines étudiées restent dans la gamme tolérée par les organismes vivants concernés.*

Même lorsque le risque létal peut être écarté, et bien que ce phénomène n'ait pas été mis en évidence dans cette étude, l'effet des changements fréquents de température peut avoir des répercussions sur le métabolisme et le comportement de certains stades ou espèces sensibles

❖ **Qualité d'eau** : *En ce qui concerne l'influence effective sur la faune, de brusques changements des conditions de qualité d'eau, aucun élément nouveau n'a pu être apporté par rapport à la bibliographie pratiquement inexistante sur ce sujet.*

*Ce phénomène doit cependant être étudié de près **dans le cas** d'ouvrages où des périodes de turbinage fréquent coïncident avec une importante dégradation de la qualité d'eau dans la retenue, et si les taux atteints risquent d'être limitants, voire létaux, pour les organismes vivants.*

❖ **Invertébrés** : *L'accroissement de la dérive des invertébrés est importante lors de l'augmentation des débits ; un faible débit de base et une forte amplitude des variations favorisent ce phénomène.*

Malgré cette dérive importante, une réduction des biomasses et densités de benthos, par rapport aux zones témoin, a rarement été mise en évidence sur les sites d'étude. En cas d'une éventuelle réduction, la richesse nutritive pour les poissons peut toutefois rester conséquente.

Une modification plus ou moins importante de la structure des peuplements est par contre fréquemment observée ; un débit de base faible provoque les effets les plus destructurants pouvant aller jusqu'à un dysfonctionnement trophique lié à un excès de biomasse algale.

- ❖ **Poissons (peuplement plurispécifique)** : Dans les tronçons de rivière à peuplement plurispécifique, si les zones soumises à éclusées peuvent rester très peuplées, la modification de la composition du peuplement est fréquente. Elle semble maximale lorsque le débit de base est faible (prolifération d'espèces de zones lenticules non évacuées par les éclusées). Lorsque ce débit est plus soutenu, les effets sont moins marqués et alors liés à la morphologie propre à chaque station
- ❖ **Poissons (population de truite)** : La réponse d'une population de truite à un régime d'éclusées est très différente d'un site à l'autre et d'une station à l'autre : les densités observées peuvent être comparables à celles de secteurs témoins ou présenter des déficits plus ou moins marqués.

Pour les adultes et plus encore pour les alevins, de mauvaises conditions d'habitat au débit de base limitent les densités. Les effets des fluctuations de débit sur les adultes sont réduits lorsque la rivière présente une morphologie non dégradée (pas de chenalisation, par exemple) et des abris hydrauliques en nombre suffisant. Les risques d'entraînement pour les alevins sont plus importants ; ils pourraient être limités par la présence d'un substrat offrant des refuges, par une morphologie susceptible de recevoir les débits d'éclusée sans vitesses trop fortes, et par la présence d'un débit de base assez soutenu. Des facteurs tels que la variabilité des conditions d'habitat, le déplacement des zones préférentielles jouent sans doute un rôle encore difficile à déterminer.

En cas de mauvais recrutement local, l'existence d'une possibilité de recolonisation du tronçon par les adultes peut compenser, au niveau du stock global, le déficit en jeunes individus.

Autres acquis récents

Echouage : l'échouage varie selon la température, la saison, le moment de la journée, ainsi que l'âge et la taille des poissons. Il touche en particulier les juvéniles (cf. étude Ecogéa sur la Maronne et la Dordogne. Il dépend de la morphologie du cours d'eau. La vitesse d'abaissement du niveau de l'eau influence également le risque d'échouage : les taux les plus faibles d'échouages de jour comme de nuit étant pour des vitesses de baisse inférieures à 10 cm/h soit 0,2 cm/min (pour le type de chenal et de bancs de graviers testés).

Les périodes les plus critiques seraient donc celles de la reproduction et celles de l'émergence.

Vis-à-vis des cibles écologiques, des effets réducteurs ou aggravants peuvent être identifiés. On relève dans la bibliographie de l'OFPEP le tableau suivant identifiant des effets des éclusées en fonction des cibles :

Tab. 5: Effets des éclusées mentionnés fréquemment ou de manière répétée; nombre de mentions dans les comptes rendus (CR), dans les études alpines (ALP) et au total (TOT). BT = ensemble de la biocénose; PA = poissons adultes; JP = œufs et jeunes poissons; MZB = macrozoobenthos; PB = phytobenthos; MOP = matière organique particulaire; i = isolé-e.

* Une augmentation de la densité, c'est-à-dire de la biomasse, du phytobenthos a également été observée dans la zone de marnage.

Paramètres (Indicateurs)	Type d'effet (prépondérant)	Organismes concernés	Mentions		
			CR	ALP	TOT
Abiotiques					
Température de l'eau	Modification globale	JP	10	12	22
Ecoulement / courant	Augmentation	MZB	9	11	16
Profondeur de l'eau	Augmentation	—	5	10	15
Largeur inondée	Augmentation	—	3	12	15
Exist. d'habitats (hydraulique)	Modification globale / Diminution	PA, JP	9	4	13
Caract. chimi. / qualité de l'eau	Modification globale	—	3	9	12
Composition granulométrique	Modification globale	—	4	3	7
Déposit. / remise en suspension	Augmentation	PA, MZB	4	3	7
Conductibilité	Diminution	—	0	6	6
Courant proche du fond	Augmentation	—	i	5	5
Teneur en détrit. / MOP	Diminution	—	5	0	5
Teneur en oxygène	Diminution	—	4	i	4
Colmatage / limonage	Augmentation	—	i	4	4
Quantité et qualité de l'eau	Modification globale	—	i	3	3
Teneur en MES / turbidité	Augmentation	—	i	3	3
Zone inondée	Augmentation	—	0	3	3
Structure biotique					
Biomasse	Diminution	PA, MZB, (PB)*	23	36	59
Fréquence / densité	Diminution	PA, JP, MZB, (PB)*	21	37	58
Composition	Modification globale	PA, MZB, PB	14	44	59
Nombre d'espèces / diversité	Diminution / pas de modif.	MZB, PB	7	27	34
Colonisat. de la zone de marnage	Diminution	MZB, PB	15	—	15
Zone biocénotique	Modification globale	MZB	0	4	4
Répartit. verticale / horizontale	Modification globale	MZB	—	3	3
Fonction biotique					
Dérive	Augmentation	BT, PA, JP, MZB, PB	37	19	56
Echouage / assèchement	Augmentation	BT, PA, JP, MZB	45	7	52
Offre et ingestion d'aliments	Modification globale	PA, MZB	15	3	18
Reproduction	Diminution	PA	9	8	17
Activité / comportement	Modif. globale / pas de modif.	PA, JP	16	i	16
Croissance	Pas de modif. / modif. globale	PA, JP	4	7	11
Production	Diminution	BT, PA	10	0	10
Mortalité	Augmentation	JP	4	0	4

3.2. Difficulté d'établir un ou des indicateurs prédicteurs d'impacts écologiques

3.2.1. Les paramètres pertinents pour l'analyse des impacts environnementaux

Le travail bibliographique que nous avons effectué a eu pour objectif de définir l'ensemble des paramètres repérés dans la littérature et considérés comme pertinents pour la qualification du phénomène et de ses incidences et susceptible de faire aujourd'hui consensus. Ces paramètres sont regroupés sous la forme d'une liste de mots clé regroupés par grandes catégories.

LES ELEMENTS ABIOTIQUES ET DE GESTION

Hydrographie

- ✓ numéro d'ordre du cours d'eau ;
- ✓ module.

Régime hydraulique :

- ✓ Forme du Signal
 - Débit de base
 - Fréquence
 - Amplitude
 - Gradient (pas de temps analyse <10 mn)
 - Durée
 - Régularité
- ✓ Hydraulique du tronçon
 - Vitesse de propagation
 - Amortissement aval
 - Refuge
 - Débit de plein bord (morphogène)
 - Gamme de vitesse
 - Déconnexion hydraulique

Régime thermique et qualité des eaux

- ✓ Lien avec la qualité des eaux de la retenue ;
- ✓ Fluctuation naturelle/artificielle ;
- ✓ Dégradation qualitative saisonnière de la retenue (été).

LES REPONSES BIOLOGIQUES

Décalage typologique

Calendrier écologique

- ✓ Cycle biologique ;
- ✓ Période d'émergence ;
- ✓ Régime nyctéméral (migration piscicole vers les bordures la nuit) ;
- ✓ Prolifération algale.

Invertébrés

- ✓ Modification structure population (lien avec IBGN?, avec DCE) ;
- ✓ Dérive.

Poissons

- ✓ Plurispécifique ou monospécifique (typologie) ;
- ✓ Qualité de l'Habitat au débit de base et en pointe ;
- ✓ Reproduction ou colonisation ;
- ✓ Echouage ;
- ✓ Assèchement de frayère ;
- ✓ Dérive ;
- ✓ Déstructuration des populations ;
- ✓ Diversité spécifique ;
- ✓ Modification des fonctions : retard dans le développement des œufs, modification de la fonction d'alimentation.

AUTRES CRITERES AGGRAVANTS EXTERIEURS AUX ECLUSEES

- ✓ Notion de surimpact (pression de pêche, pollution, repeuplement, etc.) ;
- ✓ Artificialisation du lit (chenalisation) ;
- ✓ Morphogenèse fortement impactée par l'écrêtement des crues ;
- ✓ Paroxysme hydrologique (crue rare).

Rappelons que l'objectif initial de l'étude est de proposer les indicateurs ayant du sens pour décrire les impacts hydrologiques et les impacts environnements. La notion d'impact suppose que le régime d'éclusee perturbe sensiblement le fonctionnement de l'écosystème. « *Une perturbation est définie comme tout événement susceptible d'éloigner un système de son état d'équilibre, en dehors des limites de la variabilité normale des caractéristiques de l'écosystème (Stanford et Ward, 1983 in Valentin 1995)* »

La définition d'une perturbation implique à minima :

- La définition d'un état de référence ;
- La comparaison au régime hydrologique naturel;
- La comparaison des écosystèmes perturbés avec une (des) station témoin supposé non perturbé.

Pour respecter cette logique, il faudrait que sur chaque site influencé nous soyons en capacité à établir des reconstitutions hydrologiques du régime naturel (définition de la normalité avec une vraie difficulté d'analyse comme nous le verrons ultérieurement) et de disposer de référentiels écologiques ainsi qu'un état des lieux de la situation impactée.

En second lieu, il faut intégrer les mécanismes de rééquilibrage de l'écosystème face à une perturbation : réponse à court terme des organismes aquatiques (élasticité) et réponse à long terme, une forte inertie des populations (résistance) si le débit plancher est soutenu et une forte inertie physique du milieu (pavage par exemple).

Idéalement, cet exercice est abouti si la définition d'une perturbation (ou de sa réduction) permet de prédire l'effet sur l'écosystème (diversité, biomasse, structure, satisfaction des fonctions, etc.). Or les travaux disponibles butent souvent sur cette difficulté compte tenu de la multiplicité des effets (mémoire du site, interaction, ajustement, qualité des eaux, etc.) et des données nécessaires.

L'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (Suisse) a publié en 2003 une étude bibliographique sur les connaissances actuelles des effets écologiques des éclusées et de l'efficacité des mesures destinées à atténuer ces effets dans les cours d'eau. L'analyse s'est basée sur les expérimentations pratiques menées sur des tronçons à éclusées en Suisse et dans les régions alpines voisines, et sur des comptes rendus réunissant les résultats de nombreux travaux consacrés à l'écologie des eaux dans d'autres régions géographiques.

Cette étude a montré que les effets écologiques des éclusées décrits dans la littérature spécialisée varient grandement selon le paramètre choisi et selon le groupe d'organismes vivants étudié.

L'exercice intéressant effectué par l'OFEFP a consisté à repérer l'importance présumée des paramètres par un classement fréquentiel des observations effectuées dans la littérature scientifique. Ce classement distingue les thématiques les plus fréquemment citées, les citations répétées, les citations isolées. Ceci ne préjuge pas de leur importance effective mais plus certainement des points d'intérêt de la communauté scientifique à un moment donné. Les termes retenus sont ceux de l'OFEFP et diffèrent parfois des intitulés précédents.

Tableau I

Les plus fréquemment cités	Paramètres
Habitats aquatiques	Offre en habitats (hydraulique)
Jeunes poissons : fonction	Dérive Echouage / assèchement
Macrozoobenthos : fonction	Dérive Echouage / assèchement Fréquence / densité Biomasse Composition Nombre d'espèces / diversité
Peuplement piscicole : fonction	Offre et ingestion d'aliments Activité / comportement Echouage / assèchement Reproduction
Peuplement piscicole : structure	Biomasse
Qualité de l'eau	Température

On constate à la lecture de ce premier tableau que les indicateurs écologiques mettent l'accent sur le lien entre habitat aquatique sous tendu par des relations hydrauliques et évolution des populations notamment au travers de l'analyse des fonctions. La température (impact des lâchers des grandes retenues) est un autre paramètre physique à émerger.

Tableau II

Citations répétées	Paramètres
Ensemble de la biocénose : fonction	Production Dérive Echouage / assèchement
Ensemble de la biocénose : structure	Colonisation de la zone de marnage
Habitats aquatiques	Teneur en matière organique particulaire
Jeunes poissons : fonction	Mortalité Activité / comportement
Jeunes poissons : structure	Fréquence / densité
Macrozoobenthos : fonction	Production Offre et ingestion d'aliments
Morphologie	Largeur du lit Profondeur
Paramètres hydrauliques Type d'effet :	Ecoulement
Peuplement piscicole : fonction	Production Croissance / développement Dérive
Peuplement piscicole : structure	Fréquence / densité Composition
Phytobenthos : structure	Biomasse
Qualité de l'eau	Caractéristiques chimiques Concentration d'oxygène
Sédiments	Composition granulométrique Déposition / remise en suspension

Le second tableau fait ressortir, des éléments beaucoup plus variés avec l'apparition de phénomène physique, hydraulique, morphologie, sédiment et qualité des eaux et la prise en compte de la dimension structurelle de la faune et de la flore. Notons que dans ce tableau, beaucoup d'éléments intégrés dans la notion d'habitat sont repris à titre individuel.

Tableau III

Citation isolée	Paramètres
Ensemble de la biocénose : fonction	Mortalité
Habitats aquatiques	Qualité des habitats Cours d'eau latéraux Formation de glace
Jeunes poissons : fonction	Croissance / développement Stress / physiologie
Jeunes poissons : structure	Biomasse
Macrophytes aquatiques : fonction	Production
Macrophytes aquatiques : structure	Densité
Macrozoobenthos : fonction	« Immigration » / colonisation Activité / comportement
Macrozoobenthos: structure	Etat de santé / vitalité
Paramètres hydrauliques Type d'effet :	Ecoulement à proximité du fond sans précision
Peuplement piscicole : fonction	Migrations
Peuplement piscicole : structure	Nombre d'espèces / diversité Etat de santé / vitalité
Phytobenthos : structure	Fréquence / densité
Qualité de l'eau	Matières en suspension, turbidité
Sédiments	Colmatage / limonage Abrasion / érosion du fond du lit Quantité / qualité des eaux souterraines
Végétation des rives : structure	Nombre d'espèces / diversité Etat de santé / vitalité

Ce troisième tableau montre que des thématiques comme la connectivité des milieux, les migrations, qui semblaient importantes dans les travaux français sont assez peu repérées dans cette étude.

D'un point de vue opérationnel, EDF fait des recommandations au travers de son propre retour d'expérience sur les Etudes d'impacts sur l'Environnement pour diagnostiquer les enjeux écologiques des éclusées. Ce type d'analyse préfigure sans doute ce qui sera demain la norme pour les concessions renouvelées. Le regroupement des enseignements dans une même synthèse est un travail très utile permettant de diversifier les territoires d'observations et les situations et de tester l'opérationnalité de différents protocoles d'analyse.

"Ce retour d'expérience porte sur **13 aménagements au total**, soit la moitié des aménagements fonctionnant en éclusées dont le titre a été renouvelé (9) ou est en cours d'instruction (18) depuis le début des années 1990. L'absence d'études spécifiques aux éclusées s'explique souvent par le fait que les restitutions se font dans des retenues ou des grands cours d'eau affluents (l'impact est ainsi fortement atténué), ou que les débits restitués sont immédiatement recaptés par d'autres aménagements successifs, reportant (en l'atténuant) l'impact loin en aval."

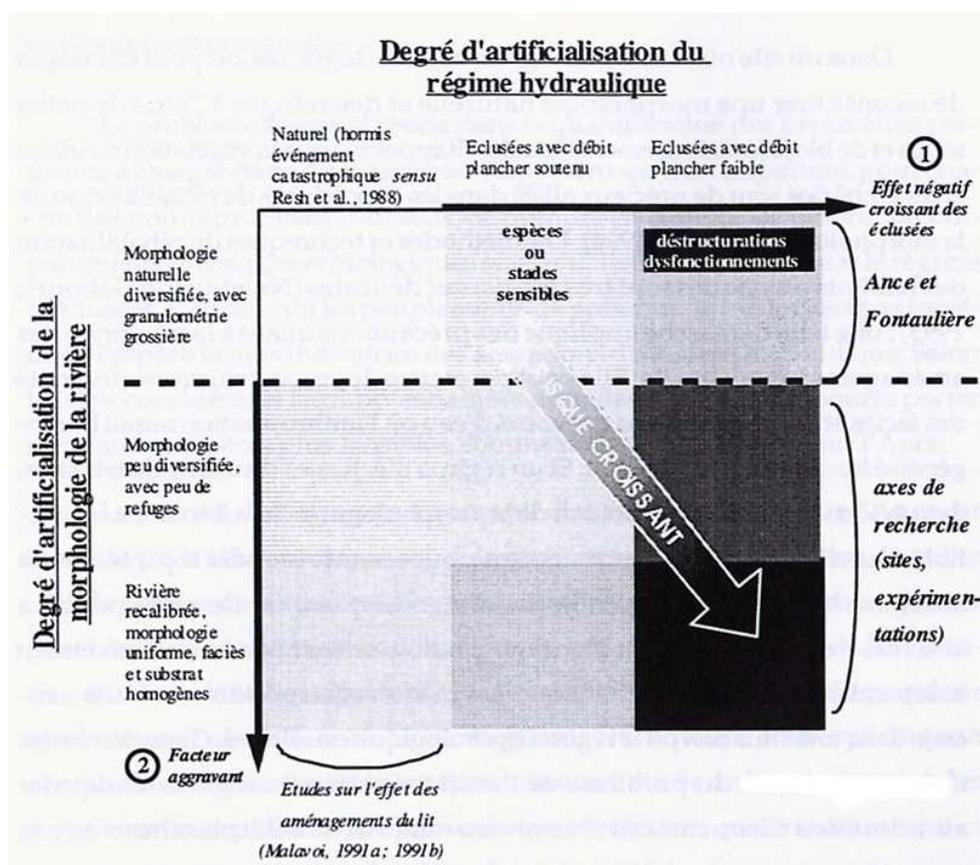
Paramètres suivis sur 13 études d'impact	Nombre de fois où le paramètre est étudié
Habitat	9
Frayère	4
Abris	2
IBGN	9
Inventaire piscicole	12
Qualité de l'eau	6
Suivi thermique	9

Ce travail débouche en particulier sur des recommandations pour les futures post évaluations :

- Mieux caractériser le régime hydraulique des éclusées ;
- Travailler sur le long terme et mieux cibler la période où l'impact est conséquent.

3.2.2. *Prise en compte des effets cumulatifs pour l'appréciation des impacts environnementaux*

De nombreux travaux ont permis d'orienter les recherches dans le sens d'une prise en compte de l'effet multiparamétrique des effets environnementaux. S. Valentin propose ainsi une analyse croisant morphologie, régime hydraulique, ce qui sous entend effectivement que seul un couplage entre plusieurs paramètres à une valeur explicative (prédictive ?) des effets sur l'écosystème. Dans ce travail, le critère débit plancher ressort comme un facteur clé de l'analyse au même titre que l'état morphologique du secteur.



Ce type d'approche est séduisant car il ouvre sur une notation issue du croisement de deux critères. Cette approche pourrait être élargie à d'autres paramètres. Les deux tableaux ci après sont des essais de synthèse entre ces relations interparamétriques.

Dans le premier, une croix signifie un lien avéré entre paramètres, plusieurs croix dans une même ligne ou même colonne montrant une combinaison d'effet ou de cause.

	Régime hydraulique					
	Forme du signal				Caractéristique Hydraulique du tronçon	Proximité de la retenue hydroélectrique
	fréquence	amplitude	gradient	Débit de base		
Thermique	?	x	x	?	?	X
Qualité des eaux	?	x	?	?	?	X
Invertébrés	x	x	?	x	x	?
Truite fario	?	?	x	x	x	?

Action	Réponse des individus	Réponse de l'écosystème	Paramètres importants associés		
Amplitude du débit d'éclusée	Dérive	Non univoque	Largeur du lit	Vitesse max (SPU)	Refuge Débit de base
Gradient de descente	Echouage piégeage	Très élastiques	Mobilité des organismes	température	Refuge
Fréquence	Habituation	Non proportionnel (rôle de la première, etc.)	Régime nyctéméral Temps de transfert		Débit de base (fonction de débit réservé)
Durée	?	?			

3.2.3. Calendrier de sensibilité écologique

Il s'agira d'un élément clé du dispositif. Certaines études comme celle d'Ecogéa pour MIGADO ou le suivi des migrations devrait favoriser une amélioration de ce calendrier.

			Amplitude	Fréquence	Gradient	Débit de base		
ECOSYSTEME AQUATIQUE	Période sensible	Salmonidés						
		FRAIE	Decembre à mai	+++			+++	
		JUVENILES	Année	++	++	+++	++	
		ADULTES ET SMOLTS	Migration	+++ (?)	(?)	(?)		
		Esocidés	FRAIE	Février	+++			+++
		Cyprinidés	FRAIE	de mai à juillet	+++			+++
			JUVENILES	de mai à septembre			+++	++
		Invertébrés benthiques	Année	++	+++	+++	+++	

3.2.4. Conclusion

Ce type d'analyse montre toute la complexité d'une réduction du phénomène à quelques critères simples, d'autant plus que le changement d'échelle introduit de nouveaux constats. **On note ainsi que la mesure d'un effet sur des individus ne se traduit pas forcément par une réponse du même type pour une population.** De même, et les travaux sont encore sans doute insuffisants à ce niveau, ce qui est vrai à l'échelle d'un tronçon ne l'est pas forcément à l'échelle d'un cours d'eau. Ainsi, un déficit de production peut présenter un caractère plus ou moins contraignant selon le potentiel de recolonisation depuis l'environnement proche (affluent, tronçon moins concerné, etc.). Le problème n'est pas tant sur le transfert des résultats de l'individu à la population ou du tronçon au cours d'eau mais plus que l'impact est très spécifique à chaque site car il dépend de la combinaison de différents facteurs.

En Adour Garonne, l'analyse des altérations hydromorphologiques des masses d'eau a été réalisée à partir des résultats du système-expert EVACE, mis au point et développé par Géode. Ce système repose sur un inventaire des pressions (aménagement, travaux et ouvrages) pouvant être à l'origine de modifications ou d'altérations de l'hydromorphologie des cours d'eau. Il évalue en fait les altérations potentielles. Après analyse il apparaît que ce référentiel n'apporte pas d'indication assez fine pour une définition des impacts des éclusées.

Les paramètres nécessaires à une analyse fine des impacts hydrobiologiques des éclusées imposent des mesures et un suivi de terrain qui ne sont pas aujourd'hui disponibles ni même extrapolables simplement et régulièrement (qualité fondamentale d'un indicateur) à l'échelle des cours d'eau soumis à éclusées.

Le comité de pilotage s'est accordé à constater qu'il serait illusoire de chercher des indicateurs « universels » qui aboutissent directement à une quantification d'impact sur l'écosystème sans passer par une analyse détaillée de l'interaction entre une perturbation hydrologique, ses conséquences hydrauliques (dépendant de la topographie locale) et ses incidences sur l'écosystème.

4. LES OUTILS D'ANALYSE DE L'HYDROGRAMME

Ce chapitre vise à recenser les principaux "outils" de description de l'hydrogramme que l'on croise dans les études et thèses.

4.1. Les outils de caractérisation hydrauliques en Adour Garonne

4.1.1. Etude Gave de Pau : (Institution Adour/AEAG/Edf)

Cette étude, une des plus complète sur le plan de l'analyse des hydrogrammes, propose plusieurs descripteurs hydrologiques sur la base de l'étude des débits horaires.

- Gradient horaire ($m^3/s/h$) = différence de débits mesurés à deux heures consécutives au pas de temps horaire.
- Amplitude journalière = $Q_{max}-Q_{min}$ d'une journée les amplitudes les plus fortes sont identifiés au cas par cas comme des crues.
- Débit de base = 1,15 fois le débit minimum sur 24 heures. Le facteur de 1,15 vise à ne pas surestimer le calcul du volume de l'éclusee.
- Volume journalier = Q instantané (sur la journée) – Q base
- Durée de l'éclusee = $Volume/amplitude$
- Indice de synchronisation entre deux branches du réseau hydrographique, -1 en opposition de phase, +1 en additivité, 0 indépendance et proportion par pas de 30%
- calcul du temps de transit

Commentaire :

Chaque paramètre est distribué de façon fréquentielle (type débit classé). La comparaison des courbes entre les stations de l'amont et celle de l'aval permet une appréciation de l'amortissement (faible sur l'amplitude, fort sur les gradients)

Le pas de temps horaire ou journalier pose le problème des événement à cheval sur deux pas de temps consécutifs.

4.1.2. Etude Dordogne (Compagnie des Experts et sapiteurs)

Ce bassin confronte sans doute les enjeux les plus forts sur le plan hydroélectrique, humain (tourisme) et écologiques.

La comptabilité automatique des éclusées a fait l'objet de plusieurs développements sur la base du repérage de minimum et de maximum et d'un filtre pour éliminer les micro-variations de l'hydrogramme. Les observations et suivis de mesures correctrices se poursuivent avec notamment la création d'un site Internet grand public de suivi des éclusées.

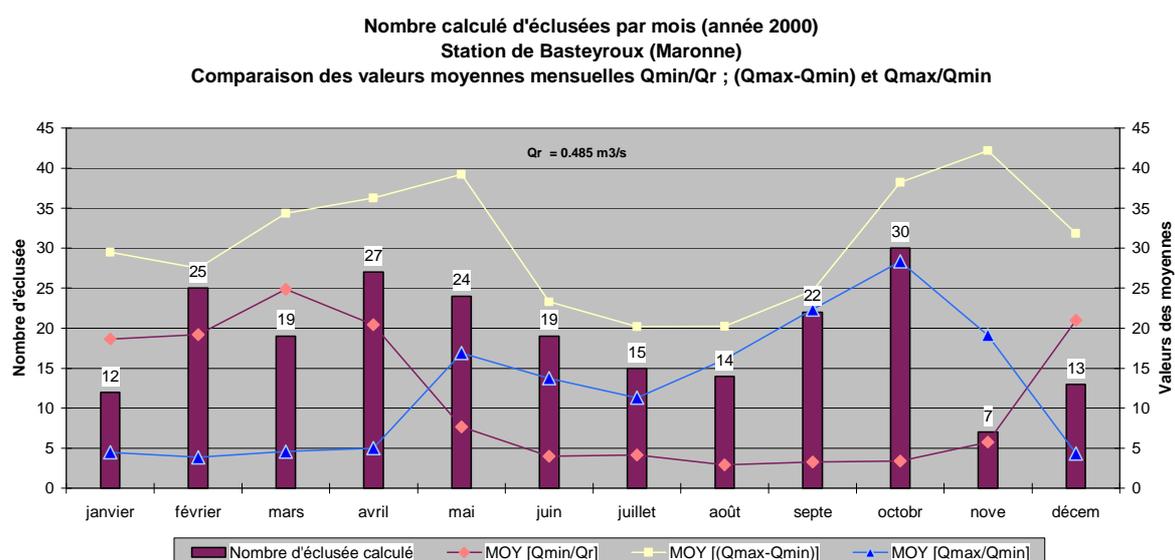
Une proposition de grille de notation des éclusées en fonction de l'intensité des paramètres est de plus proposée.

PROPOSITIONS DE CRITÈRES POUR QUALIFIER LES FACTEURS DE RISQUES

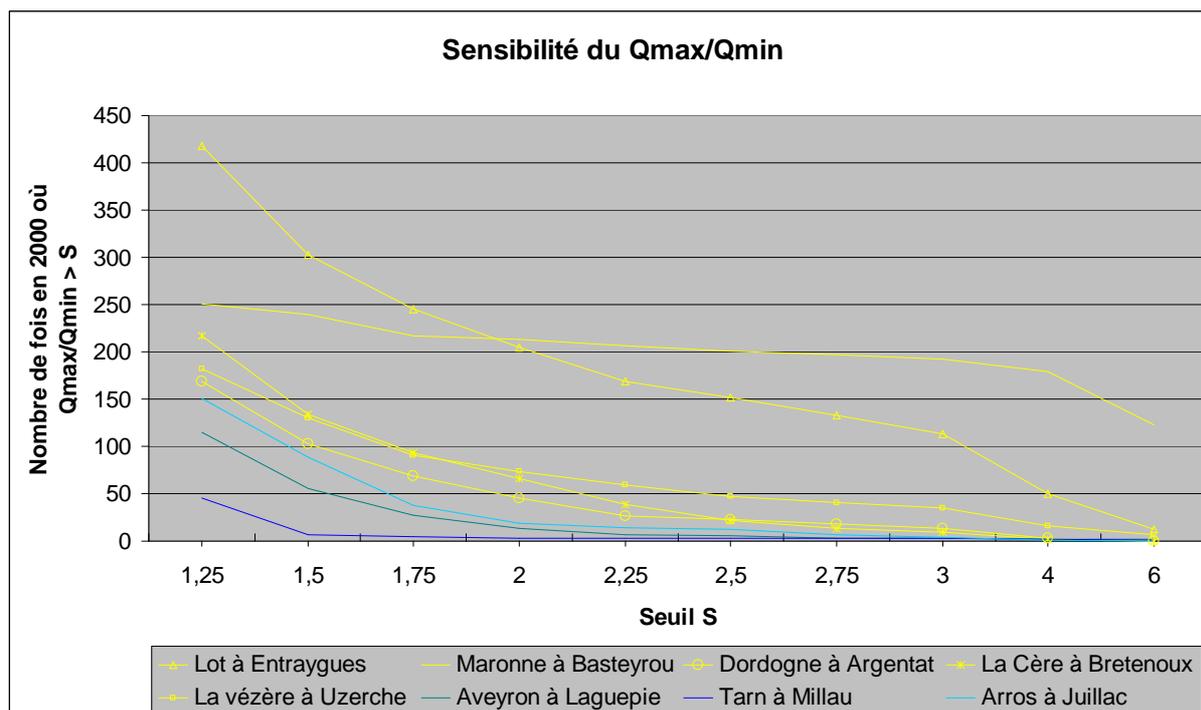
CRITERE HYDROLOGIQUE		CRITERES D'ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUES				
		Très fort	fort	moyen	faible	très faible
	Unité de décompte					
Amplitude	10 % les plus forts des pics de débits	+de 100% du module	de 50 à 100% du module	de 25 à 50% du module	de 10 à 25% du module	-de 10% du module
Fréquence	Nombre de pics/an	+ de 300	de 200 à 300	de 100 à 200	de 50 à 100	-de 50
Gradient	mm/min (5% du temps)	+ de 50 mm/min	de 5 à 50 mm/min	de 0,8 à 5 mm/min	0,5 à 0,8 mm/min	moins de 0,5 mm/min
Débit de base	en % du module	inf à 2,5 % du module	de 2,5 à 5% du module	de 5 à 10% du module	de 10 à 25% du module	sup à 25 % du module

4.1.3. Travail Agence de l'Eau Adour Garonne (2002)

Une comptabilité automatique des éclusées a été développée à titre expérimental au sein de l'Agence de l'Eau à partir des fichiers de débits horaires.



En particulier comme pour la Dordogne, la notion de seuil de prise en compte apparaît avec une intéressante étude de sensibilité à ce paramètre.



4.1.4. Etude GHAAPPE/MIGADO

Dans cette étude récente, on relève l'utilisation de graphe dit "boîte de dispersion" qui traduisent efficacement les principales valeurs statistiques. Un travail parallèle à la présente étude pourrait aboutir à des propositions complémentaires sur la discrimination automatique entre éclusée et phénomène naturel.

4.2. Autres études

4.2.1. Etudes statistiques sur les indices hydrologiques

J.D. Olden et N.L Poff annoncent dans un article publié en 2003 (REDUNDANCY AND THE CHOICE OF HYDROLOGIC INDICES FOR CHARACTERIZING STREAMFLOW REGIMES) avoir identifié 171 descripteurs hydrologiques dans la littérature scientifique (rien ne concernant les publications françaises), y compris la méthode IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) et RVA (Range of Variability Approach) cf infra). Ils reconnaissent que le principal enjeu est de séparer les indicateurs redondants et que la principale difficulté est bien d'en extraire des paramètres pertinents pour l'écosystème.

Cette étude a l'intérêt de présenter le degré d'inter corrélation des variables hydrologiques utiles dans des travaux de caractérisation écologiques (population piscicole, benthique, floristique, régime réservé, etc.), mais aucune référence à une analyse des débits instantanés (moins que journalier) n'est abordée.

4.2.2. Méthode RVA (RANGE OF VARIABILITY APPROACH)

Cette méthode qui s'est traduite par un petit logiciel de traitement automatique, permet un traitement du signal hydrologique au pas de temps journalier. Elle est identifiée dans le travail de V. Rebillar 2006 « DETERMINATION ET MISE EN PLACE DE REGIMES RESERVES POUR LES COURS D'EAU » dont nous tirons les synthèses suivantes.

Cette méthode a été mise au point à la fin des années 1990 aux Etats-Unis (RICHTER B.D. et al. 1997). Elle trouve ses fondements dans l'énoncé du paradigme du régime naturel (POFF N.L. et al. 1997) : le respect de la plage complète de variations intra-annuelles et inter-annuelles du régime hydrologique, caractérisé par la magnitude, la saisonnalité, la durée, la fréquence et le taux de variation est critique pour le maintien de la biodiversité naturelle et la préservation des écosystèmes aquatiques.

- La magnitude désigne la valeur du débit moyen sur une période donnée (notion proche de l'amplitude).
- La saisonnalité fait référence à la régularité avec laquelle un événement hydrologique se produit à la même période de l'année.
- La durée est la période temporelle associée à un régime d'écoulement particulier (étiages ou crues par exemple).
- La fréquence de dépassement associée à un débit fixé est l'inverse de la période avec laquelle un débit supérieur ou égal survient.
- Le taux de variation traduit la rapidité avec laquelle l'écoulement passe d'une valeur de débit à une autre (c'est la dérivée moyenne du débit sur une période déterminée équivalente au gradient).

Ces notions sont déclinées en 32 indicateurs statistiques et appliqués à l'analyse du régime naturel. Ce sont des valeurs annuelles dont il faut calculer la valeur moyenne, l'écart type et la plage de variations à partir du registre hydrologique de référence. Pour chacun des 32 indicateurs, il faut ensuite fixer des objectifs de gestion en fonction de l'état des connaissances sur les impacts écologiques. Ces indicateurs permettent la comparaison du régime mesuré au régime naturel inscrit dans des plages de variations à caractère statistiques (75% des années par exemple).

L'application au traitement du signal d'éclusee sur des pas de temps très rapide n'est pas explicitement proposé. De plus cette méthode ne hiérarchise pas les indicateurs ni ne propose de règles d'agrégation. La méthode ne prend pas en compte la capacité de l'écosystème à se réadapter à un nouveau profil hydrologique. Nous citons cependant les paramètres qui sont considérés comme déterminants pour l'écosystème.

ANNEXE 3 : Liste des paramètres retenus comme indicateurs d'altération hydrologique dans la méthode RVA (RICHTER B.D. et al., 1997)

Groupes d'indicateurs	Caractéristiques du régime	Indicateurs hydrologiques
Groupe 1 : Magnitude de l'écoulement mensuel	- Magnitude - Saisonnalité	- Débit moyen pour chaque mois
Groupe 2 : Magnitude et durée des conditions extrêmes annuelles de l'écoulement	- Magnitude - Durée	- Minimum annuel de la moyenne sur un jour - Maximum annuel de la moyenne sur un jour - Minimum annuel de la moyenne sur 3 jours consécutifs - Maximum annuel de la moyenne sur 3 jours consécutifs - Minimum annuel de la moyenne sur 7 jours consécutifs - Maximum annuel de la moyenne sur 7 jours consécutifs - Minimum annuel de la moyenne sur 30 jours consécutifs - Maximum annuel de la moyenne sur 30 jours consécutifs - Minimum annuel de la moyenne sur 90 jours consécutifs - Maximum annuel de la moyenne sur 90 jours consécutifs
Groupe 3 : Saisonnalité des conditions extrêmes annuelles de l'écoulement	- Saisonnalité	- Date du calendrier associée au débit journalier maximal de l'année - Date du calendrier associée au débit journalier minimal de l'année
Groupe 4 : Fréquence et durée des « pics » et des « creux » de débit (*)	- Fréquence - Durée	- Nombres de pics de débit par an - Nombres de creux de débit par an - Durée moyenne des pics sur un an (en jours) - Durée moyenne des creux sur un an (en jours)
Groupe 5 : Taux de variations et fréquence des changements d'écoulement	- Taux de variations - Fréquence	- Moyenne de toutes les différences positives entre deux débits journaliers consécutifs - Moyenne de toutes les différences négatives entre deux débits journaliers consécutifs - Nombre d'accroissements entre 2 jours consécutifs sur un an - Nombre de diminutions entre 2 jours consécutifs sur un an

(*) Les « pics » (respectivement « creux ») de débit correspondent aux périodes durant lesquelles le débit journalier reste supérieur (respectivement inférieur) au débit classé de fréquence de dépassement 25 % (respectivement 75 %) défini à partir de la totalité des séries hydrologiques de référence.

4.2.3. Etude bibliographique OFEFP

Les gradients apparaissent comme un facteur discriminant important entre régime naturel et régime d'éclusée. L'illustration ci dessous présente le graphique de distribution des gradients à la hausse ou à la baisse en variation de niveau. Ce type de présentation est intéressant mais ne peut s'appliquer qu'au point de mesure, puisque pour les mêmes variations de débit, les variations de cotes dépendent de la topographie du tronçon.

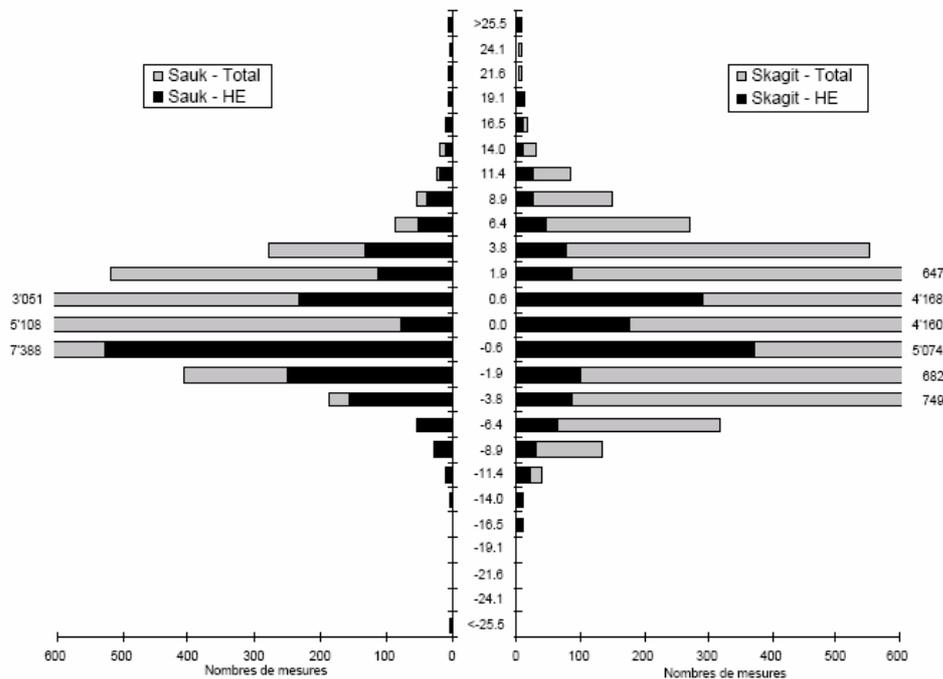


Fig. 4: Répartition de la fréquence des hausses (valeurs positives) et des baisses (valeurs négatives) du niveau dans un cours d'eau à régime naturel (Sauk River) et dans un cours d'eau à régime d'éclusées (Skagit River) aux Etats-Unis. Les différences de niveau (Δ de niveau) sont classées dans des catégories (classes) de 1,2 à 2,5 cm/h environ; sur l'axe des ordonnées figure la valeur moyenne de chaque classe (HE = hautes eaux). Les données sont tirées de HUNTER (1992) et converties.

5. LES ENJEUX SOCIOLOGIQUES

L'information la plus organisée sur ce plan est issue du travail d'une sociologue sur le bassin de la Dordogne, et c'est traduit par une distribution géographique de la sensibilité des usagers. Notons que le marnage des plans d'eau amont est ressorti dans cette analyse. Cette approche suppose en amont un important travail d'enquêtes sur le terrain.

TABLEAU PROVISOIRE ILLUSTRANT LES PRINCIPAUX ELEMENTS D'ANALYSE DE SENSIBILITE SOCIOLOGIQUE

	VEZERE		DORDOGNE				MARONNE	CERE	Grand barrage
	PEYRISSAC	AVAL DE LA CORREZE	ARGENTAT	CARENAC	VEZERE	PESSAC	HAUTEFAGE DORDOGNE	BRUGALE DORDOGNE	
LIMITE AMONT									
LIMITE AVAL	CORRÈZE	DORDOGNE	CARENAC	VÈZERE	PESSAC	ESTUAIRE			
Longueur soumise à éclusée	63	85,46	44	116,5	87,5	environ100	6,4	13,5	165

Pêcheur de Loisir (PL)	Eau trop haute (PL)		Danger (PL) Eau trop haute (PL)	Frayère (PL) et PP	Température (PL PP) Manipulation engin (PP) Perte materiel (PP)	Etiage d'été (PP) Débit d'appel (PP)	Danger (PL)	Danger (PL) Frayère (PL)	Danger (PL) Frayère (PL)
Pêcheur Professionnel (PP)			Frayère (PL) Alevins(PL) Température (PL)			Température (PP)			
Riverain (R)	Imprédictibilité (R) Envasement (R) Erosion de berge (R)		Danger (R) Imprédictibilité (R) Herbier(R) Inondation (R)	Déplacement ilôt (R) Etiage/Inesthétique (R) Erosion de berge (R) Perte materiel (PP)			Danger (R)	Envasement (R)	Danger (PL) Imprédictibilité (R) Objet flottant(R)
Camping (Cpg)			Inondation (Cpg) Limitation d'activité (Cpg)	Inondation hiver (Cpg) Etiage / Inesthétique (Cpg)	Inondation (Cpg) Perte materiel (Cpg)	Inondation (Cpg)			
Navigation (NAV) (CK: canoë kayak)	Imprédictibilité (CK) Danger(CK)		Imprédictibilité (CK) Danger(CK) Herbier (CK)	Imprédictibilité Danger(CK) Etiage (CK) Embarcadère	Objet flottant	Embarcadère			Embarcadère Objet flottant Imprédictibilité

6. ELEMENTS DE CORRECTION DES IMPACTS HYDROLOGIQUES RELEVES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Le suivi d'indicateur doit permettre une mise en perspective des évolutions consenties soit au niveau de la gestion soit au niveau d'aménagement correcteur ou compensatoire. Les solutions envisageables, citées dans l'ensemble des documents consultés sont synthétisées ci après.

6.1. Correction du régime hydrologique

Augmentation du débit de base + + +	→	Cible : Habitat, meilleure résistance à la dévalaison, espèce lotique, maintien zone de fraie ;
Réduction de l'amplitude +	→	Cible : Habitat, refuge ;
Réduction du gradient de montée +	→	Cible : Dévalaison, dérive ;
Réduction du gradient de descente ++	→	Cible : échouage ;
Réduction de la fréquence 0	→	Cible : cumul des échouages et dérives ;
Suppression sur période cible +++	→	Cible : période sensible fraie et émergence des alevins. A noter aussi que les éclusées sont généralement limitées (en fréquence et / ou intensité) en période estivale, qui est celle qui présente a priori les risques les plus significatifs de «dégradation» (qualitative) ou de réchauffement. (REX EDF 2006) ;
Exploitation anticyclique de plusieurs centrales	→	Cible : amortissement hydraulique et réduction des phénomènes additifs.

7. PREMIERE SYNTHESE ISSUE DE L'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Le premier objectif de ce travail est d'établir un diagnostic partagé sur l'état de l'art en matière d'appréhension des conséquences des éclusées et de leur description.

Parmi les principales orientations, le comité de pilotage a dégagé :

- Une bonne information sur le parc hydroélectrique qui permettra une analyse spatiale pertinente du réseau hydrographique ;
- Un effet saisonnier très significatif qu'il s'agisse d'écosystème ou d'usage. Les indicateurs devront pouvoir refléter cette notion de calendrier ;
- Un effet stationnel **déterminant** pour les écosystèmes, souvent mis en exergue mais qui soulève une réelle difficulté d'approche à grande échelle et pose la question de la sectorisation des cours d'eau influencés en lien avec les amortissements des effets hydrauliques ;
- L'importance de l'établissement de référentiels peu perturbés qu'il s'agisse d'hydrologie, d'écologie ou d'usage, avec la nécessité sans doute de se rapprocher des démarches systématiques du type de celles engagées dans la DCE ;
- Un consensus assez large sur les critères de description hydrologique du phénomène mais avec encore des marges d'interprétations importantes et certains paramètres sans doute sous exploré (régularité et saisonnalité).
- Le lien qui devra sans doute être fait avec les approches concernant le régime réservé qui dans de nombreux cas devient le débit de base du milieu récepteur (principal critère d'impact) et la difficulté de séparer des impacts de type débit réservé faible de ceux spécifiques au régime d'éclusée ;
- L'absence de référence scientifique permettant de regrouper les impacts en un seul indicateur synthétique car il existe une forte dépendance aux effets stationnels (hydraulique) et aux cibles environnementales (écosystème, usage).
- La forte dichotomie dans les références bibliographiques entre les travaux très "écosystémiques" et ceux traitant des sous bassins qui apparaissent plus portés par des préoccupations "sociologiques".

DEUXIEME PARTIE : LES DESCRIPTEURS HYDROLOGIQUES DES HYDROGRAMMES

8. OBJECTIFS POURSUIVIS

La première étape bibliographique a montré que c'est le croisement d'un message hydrologique particulier, caractérisé par son artificialisation, avec des conditions d'écoulement propres à chaque tronçon et avec une cible écologique (espèce, stade de développement, calendrier) qui sont à l'origine des principaux problèmes écologiques imputables à la gestion par éclusées. A cela se rajoute des contraintes imposées à la pratique de plusieurs usages (navigation, pêche, ...) qui relèvent du domaine de l'acceptabilité sociale. Le raisonnement idéal serait de pouvoir croiser des situations de vulnérabilité particulière (du compartiment piscicole, des usages, des invertébrés, etc.) avec une contrainte hydraulique qui présuppose une connaissance du lien entre débit et morphodynamique de chaque tronçon.

Il apparaît impossible dans une démarche **d'indicateurs synthétiques**, valable à l'échelle du bassin versant, de vouloir décrire précisément toutes ces combinaisons de situation à « problème ». En revanche, **certains descripteurs sont accessibles à cette échelle d'analyse. Ils se fondent essentiellement sur une interprétation des hydrogrammes enregistrés en divers points des secteurs soumis à influence.** Cette analyse de l'hydrogramme permet d'établir un premier jeu d'indicateurs qui pourra être ultérieurement confronté à des enjeux (dominante salmonicole ou non, étiage important, etc.).

Le comité de pilotage de l'étude est donc convenu de centrer le travail sur la définition d'indicateurs hydrologiques qui doivent :

- ✓ Etre pertinents pour qualifier les perturbations sur les écoulements.
- ✓ Mettre en avant des paramètres dont on connaît le rôle déterminant pour les écosystèmes et d'autres indicateurs symptomatiques d'un régime d'écluse ou de son amortissement.
- ✓ Pouvoir être mobilisés en routine chaque année et sur plusieurs années,
- ✓ Permettre le cas échéant une analyse historique
- ✓ Être facile à établir de façon automatique.

Enfin, il a été jugé peu souhaitable de renvoyer la création d'indicateur, à des interprétations qui pourrait se révéler subjectives ou hors de portée sur un vaste panel de stations.

L'un des produits attendus du travail est donc une forme de normalisation des conditions de traitement et de description de l'hydrogramme.

Les chapitres suivants, identifient donc l'ensemble des paramètres répondant à ces objectifs, proposent d'extraire pour chaque paramètre une valeur caractéristique de sa distribution statistique, exposent les avantages et inconvénients de différents choix et proposent enfin une sélection simplifiée et une représentation graphique rendant compte de la variabilité des situations et conservant la diversité des combinaisons de paramètres observés.

9. MOBILISATION ET ORIGINE DES DONNEES HYDROMETRIQUES TRAITÉES

Le caractère opérationnel de l'étude nous conduit à décrire les modalités pratiques qui conduiront à la production des descripteurs. Un outil de calcul sous Excel est transmis au maître d'ouvrage.

Dans la suite des analyses nous nous sommes centrés sur l'année calendaire 2006, et le choix des stations a été dicté au fur et à mesure des travaux par les spécificités propres à chaque station (régime hydrologique, nature de l'impact).

Les données collectées dans ce travail sont issues de l'exploitation de la banque Hydro.

Les avantages sont :

- le caractère officiel et archivé de la donnée brute ;
- la disponibilité via un serveur Internet d'une information abondante spatialement et riche sur le plan historique ;
- depuis 2007, la gratuité de l'information ;
- la possibilité d'une extension de la méthode aux autres districts.

Le processus est fastidieux dans la mesure où la requête peut échouer sans qu'il soit toujours possible d'anticiper cette situation. Parmi les causes de problème nous trouvons :

- L'absence de donnée pour la période sollicitée;
- L'absence de donnée horaire ou instantanée sur la banque (cas de EDF, DDE 64) ;
- Les requêtes permises aujourd'hui sur la banque Hydro sont de plus limitées à une extraction de 8000 données (sous format txt), valeur très fréquemment dépassée sur une année dans les stations soumises à éclusées. Cette situation pourrait évoluer favorablement.

Les critères présentés ci-après doivent permettre ensemble, une description systématique des hydrogrammes sans *a priori* sur l'origine des perturbations. En particulier, nous étudions la pertinence de ces indicateurs pour discriminer les stations qualifiées de naturelles et celles réputées être soumises aux impacts des éclusées. Le bassin Adour Garonne est soumis à des régimes hydrologiques naturellement variés, résultats d'influences climatiques atlantique ou méditerranéenne, nivale ou pluviale croisées avec des contextes géologiques diversifiés, socles, karst, plaines alluviales et sur des bassins versants de tailles très hétérogènes. La situation finale obtenue montre effectivement de nombreuses nuances dans lesquelles la marque des perturbations artificielles est parfois du même ordre de grandeur que les fluctuations naturelles.

La liste des stations sur lesquelles seront suivis ces indicateurs devra donc être validée selon deux critères :

1. La présence d'un phénomène manifeste d'éclusée et la présence d'une station hydrométrique bénéficiant d'un tarage.
2. Le nombre de station répondant a priori aux deux critères est présenté ci-dessous. La disponibilité à moyen terme de l'information hydrométrique devra être confirmée par les gestionnaires. Pour les données EDF, une convention sera probablement nécessaire. Il apparaît que sur ces stations, les données instantanées ne sont disponibles qu'avec un délai de deux ans.

Le tableau ci-dessous présente l'état du parc de stations disponibles sur Adour Garonne.

Code région hydro	gestionnaire actuel (2006)	Hydrométrie générale	Disponible banque hydro
O (Garonne)		52	39
	CACG	2	1
	DDE 17	2	0
	DDE 46	1	0
	DIREN MP	37	35
	EDF	10	3
P (Dordogne)		22	22
	DDE 24	16	18
	DIREN AU	1	1
	EDF	3	2
	(vide)	2	1
Q (Adour)		30	24
	CACG	1	0
	DDE 64	4	5
	DIREN AQ	22	18
	DIREN AQ/DDE64	1	1
	DIREN MP	1	0
	EDF	1	0
Total		104	85

10. QUEL HYDROGRAMME ?

La définition et la construction d'indicateurs hydrologiques sont donc basées sur les mesures de débit au droit des stations de la Banque HYDRO. La collecte de ces informations est aujourd'hui (janvier 2007) encore un peu fastidieuse car les procédures d'exportation sont limitées à 8000 valeurs et ne peuvent faire l'objet d'une automatisation. Cette situation pourrait changer à court terme. Nous avons développé ensuite un ensemble de macro commandes sur Excel permettant une exploitation de cette donnée brute.

10.1. Débit ou hauteur d'eau

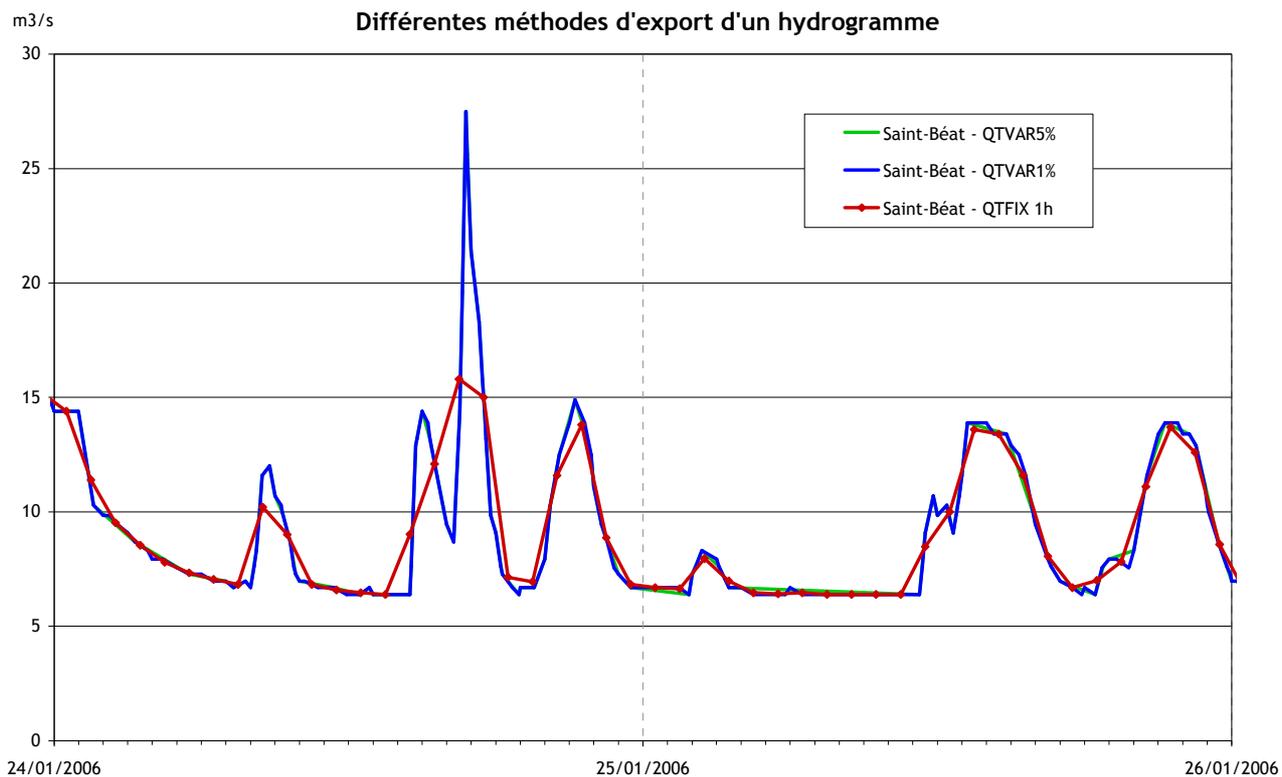
Le passage des hauteurs au débit suppose l'existence d'une courbe de tarage de la station. L'information débit est donc plus riche en information que l'information hauteur mais elle est plus difficile à mobiliser. En outre, elle est sujette à un degré d'incertitude supplémentaire quant à la fiabilité de l'information (qualité du tarage). L'information en hauteur est la plus nombreuse sur le bassin car divers postes utiles à la prévision des crues se fondent uniquement sur une analyse des gradients en hauteur. Il existe donc des situations géographiques où seule l'information hauteur est disponible. C'est en particulier le cas du bassin de la Neste.

L'information en hauteur est cependant difficile à analyser en dehors du contexte local de chaque station (condition de débitance de la section jaugée). Elle ne permet pas de comparaison significative d'une station à l'autre, ni même d'une année à l'autre si la station est peu stable. Elle ne permet pas non plus de faire un lien avec le niveau d'équipement des usines hydroélectriques et n'autorise pas l'analyse additive en situation de confluence.

Les données en débit seront donc privilégiées sur les données en hauteur.

10.2. QTVAR, Qhoraire

Le choix du pas de temps de la mesure doit être court, car on analyse ici des phénomènes dont les dynamiques sont à échelle de temps très courte (de l'ordre de l'heure, voire de la minute pour certains cours d'eau). Pour cela, les chroniques de débit utilisées sont celles appelées "**QTVAR**" dans la banque HYDRO, c'est-à-dire que le pas de temps est variable car les couples date/débit sont pris à chaque rupture de pente. Le pourcentage d'erreur que l'on s'autorise par rapport au véritable hydrogramme, peut être choisi lors de l'export des données afin d'obtenir une plus ou moins grande précision de l'hydrogramme : elle s'exprime en pourcent. Les débits à pas de temps fixes ("**QTFIX**") sont quant à eux une interpolation des points de l'hydrogramme réel à un pas de temps fixe, multiple de l'heure. Le plus court pas de temps utilisable dans ces cas-là est donc une heure. L'inconvénient de cet hydrogramme, c'est qu'il interpole et qu'il peut donc passer à côté d'un événement (pic ou creux de débit), si celui-ci se situe entre deux pas de temps consécutifs. Les différents hydrogrammes obtenus suivant la méthode d'export choisie sont présentés sur le graphe ci-dessous pour la station de Saint-Béat sur la Garonne.



On remarque immédiatement que l'hydrogramme "QTFIX", même au pas de temps minimum, est à proscrire car il "détruit" une part de l'information. Dans l'exemple, il ne rend compte que de 3 pics de débit le 24 janvier alors qu'il y en a eu 4 ; de même, les vitesses de montée sont faussées par cette méthode. La différence de sensibilité entre les exports "QTVAR" (1% et 5%) est ici tenue : cela est dû au fait que les variations de gradient de débit à Saint-Béat sont très franches et sont donc repérées même avec une sensibilité de 5%. Pour d'autres stations, les différences pourraient être plus marquées.

Le travail sur des indicateurs d'éclusées se fera donc sur des hydrogrammes de type "QTVAR – 1%", les plus précis possible.

Synthèse critère de choix de la donnée brute hydrométrique

Critère	Avantage	Inconvénient	Disponibilité
Hauteur	Facile à mettre en œuvre, robuste.	Information strictement locale	Universelle crues, hydrométrie générale, réseau EDF sous condition
Débit instantané (Q)	Permet l'analyse inter station	Courbe de tarage	Banque hydro + temps de validation (2 ans à EDF)
QTvar	Description rigoureuse de l'hydrogramme	Abondance de données	Toutes les stations de la banque hydro Aucune station EDF
Q horaire	Echantillon homogène	Pertes d'information	Toutes les stations de la banque hydro + station EDF

10.3. Remarque sur les stations échantillonnées

Dans la suite de l'analyse le choix des stations sélectionnées peut varier sachant que l'objectif de l'étude n'était pas d'avoir un traitement exhaustif des stations mais plus de rechercher dans les échantillons traités des profils hydrologiques contrastés.

10.4. Variations naturelles ou éclusées ? La question de la discrimination automatique

Dans l'ensemble de cette étude visant explicitement les éclusées, la question de la discrimination entre phénomène naturel et phénomène artificiel est restée centrale sans pouvoir être résolue. La principale difficulté consiste à séparer à coup sûr une crue même de faible amplitude, d'une éclusée amortie ou d'une combinaison d'éclusée.

Nos travaux pour Epidor, sur la rivière Dordogne se sont attachés à identifier ce qui diffère d'un régime artificiel et d'un régime naturel. Il a été possible sur ce cours d'eau d'établir des références historiques du régime qui précédait la construction des barrages (avant les années 1950) et uniquement sur la base de débit journalier. Nous en avons déduit que le principal facteur discriminant est la vitesse de descente de l'hydrogramme. Une décrue naturelle présente une inertie liée au ressuyage des sols alors qu'une fermeture de vanne ne se traduit que par la vidange du lit mineur (à peine amortie par la nappe d'accompagnement).

Dans la suite du travail le traitement de la donnée s'applique à tous les phénomènes hydrologiques de l'hydrogramme. Dans l'hypothèse où cette distinction deviendrait possible, les descripteurs hydrologiques retenus pourront être recalculés sur ces seuls événements.

Notons cependant que dans l'hypothèse d'une exploitation de variables hydrologiques liées aux fluctuations instantanées, pour un traitement statistique des impacts sur l'écosystème, il n'est pas certains que la ségrégation entre fluctuations naturelles et artificielles soit totalement pertinente.

11. INDICE D'INSTABILITE DE L'HYDROGRAMME

La principale difficulté de l'analyse vient de la nécessité d'une lecture multiparamétrique du régime peu compréhensible. Nous proposons donc un indicateur global qui traduit simplement ce que l'observateur d'un hydrogramme perçoit intuitivement.

Cet indicateur calcule « la longueur d'hydrogramme à parcourir » pour aller d'une date à une autre. Un hydrogramme très perturbé avec de multiples hausses et baisses aura un périmètre développé plus long qu'un hydrogramme plat.

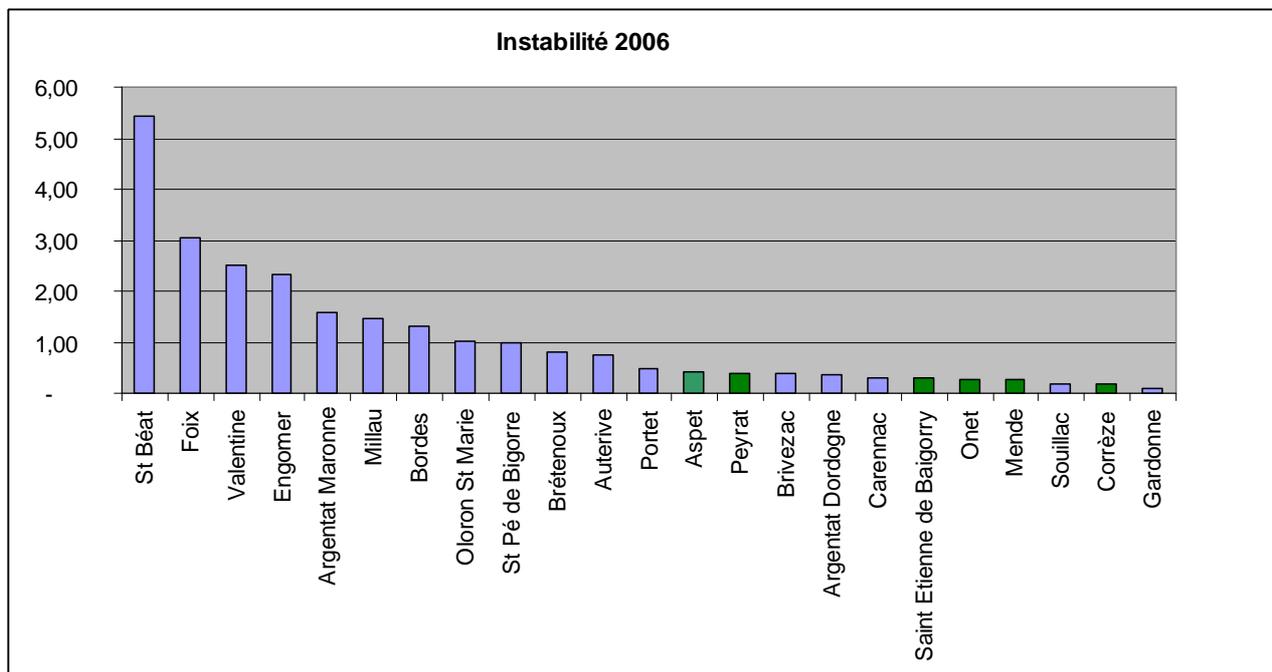
Pour permettre des comparaisons inter-station et interannuelles nous utiliserons l'hydrogramme de l'hydraulicité (débit instantané/module de la période) et calculons la longueur géométrique de cet hydrogramme divisée par le temps. L'indice obtenu est donc toujours supérieur à 1.

Pour obtenir un indice plus contrasté nous retenons la valeur = (longueur / temps) - 1

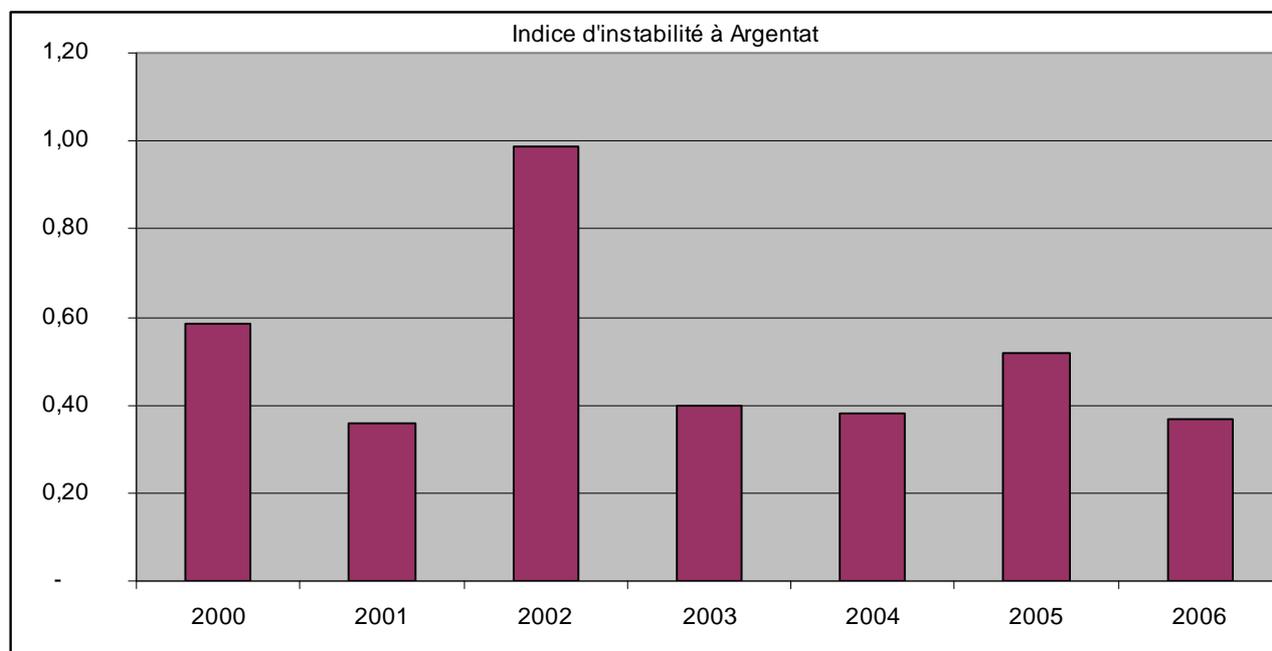
Cet indice est qualifié d'indice d'instabilité.

Stations	Indice d'instabilité
St Béat	5,43
Foix	3,05
Valentine	2,52
Engomer	2,34
Argentat Maronne	1,58
Millau	1,46
Bordes	1,33
Oloron St Marie	1,03
St Pé de Bigorre	0,99
Brétenoux	0,80
Auterive	0,75
Portet	0,47
Aspet	0,42
Peyrat	0,38
Brivezac	0,38
Argentat Dordogne	0,37
Carennac	0,30
Saint Etienne de Baigorry	0,29
Onet	0,26
Mende	0,25
Souillac	0,18
Corrèze	0,17
Gardonne	0,10

A l'analyse on constate que cet indicateur très robuste restitue correctement l'appréciation spontanée que tout observateur peut porter sur le régime des eaux.



Il permet en outre une comparaison interannuelle intéressante comme le montre le cas d'Argentat.



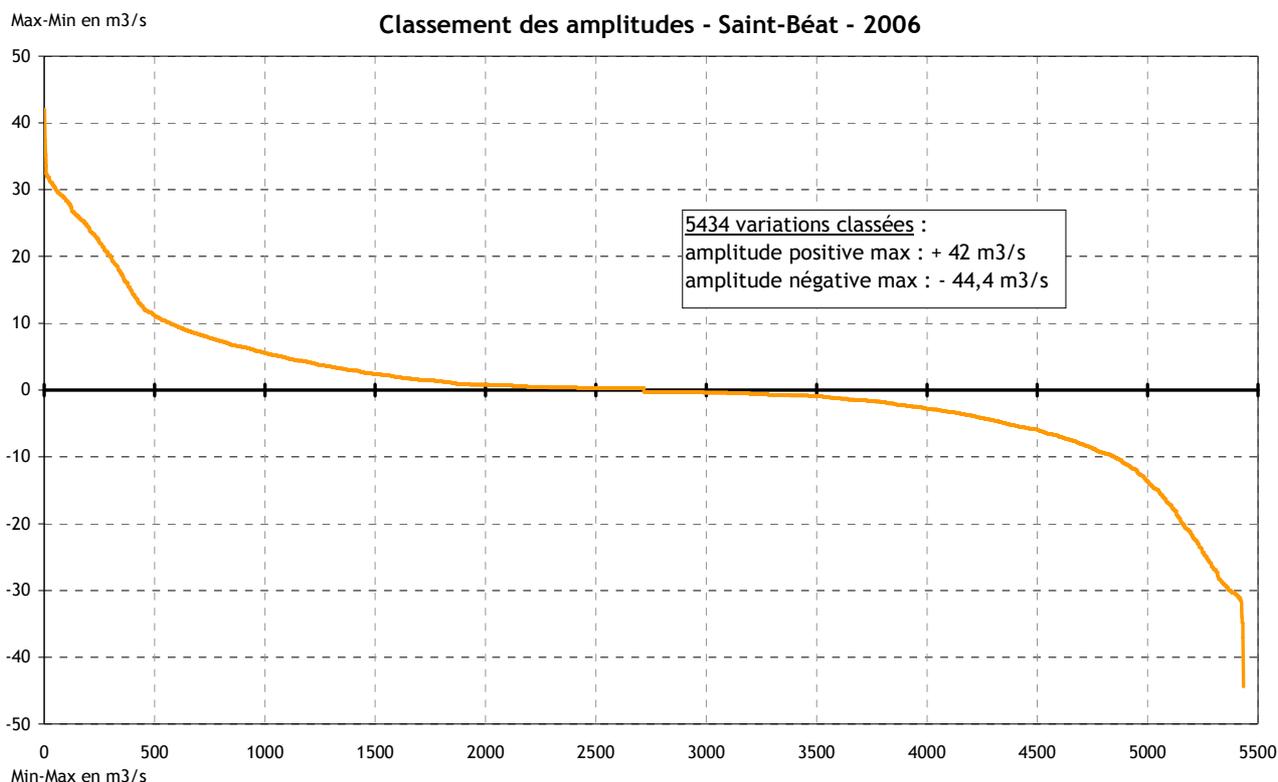
12. CRITERES D'AMPLITUDE DES VARIATIONS DE DEBIT

12.1. Amplitude absolue

L'amplitude est ici l'écart de débit entre un minimum local et le maximum local qui le suit (amplitude positive), ou entre un maximum local et le minimum local qui le suit (amplitude négative). C'est donc une différence de débit. Cette notion n'intègre pas la durée du phénomène.

Le principal intérêt de cette variable est qu'elle permet éventuellement de remonter sur les causes de ces variations : débit d'équipement caractéristique, turbine, phénomène de crue manifeste, durée. Une comparaison avec les débits moyens du régime naturel ou même influencé par saison permet de qualifier un premier niveau d'incidence hydraulique : peu ou très significatif.

C'est par exemple le cas lorsque l'on observe en période de soutien d'étiage de la Garonne ou du Lot, une variation rapide de débit du même ordre de grandeur que le niveau de soutien d'étiage.



En abscisse nombre de variations classées

12.2. Coefficient d'amplitude

L'amplitude en valeur absolue n'est significative que dans un contexte donné et n'est pas exploitable à l'échelle du bassin.

Pour cela, l'indicateur d'amplitude $Q_{max} - Q_{min}$ est remplacé par un indicateur relatif, le rapport Q_{max} / Q_{min} , appelé coefficient d'amplitude (CA). C'est une variable adimensionnelle.

Le débit minimum de référence est celui qui précède l'écluse. L'amplitude ainsi mesurée correspond donc à l'amplitude des hausses.

12.3. Traitement de l'échantillon

La principale difficulté du traitement de la donnée est de proposer un filtre qui permette des comparaisons significatives vis-à-vis du phénomène observé.

Deux critères sont proposés :

- La définition d'un seuil de « significativité » du phénomène enregistré avec la fixation d'un seuil Q_{max}/Q_{min} ;
- L'analyse de la distribution des valeurs avec le choix d'un quantile caractéristique des enjeux. Dans la plupart des travaux bibliographiques, nous observons que la caractérisation d'un régime est établie sur la base d'un classement fréquentiel des indicateurs.

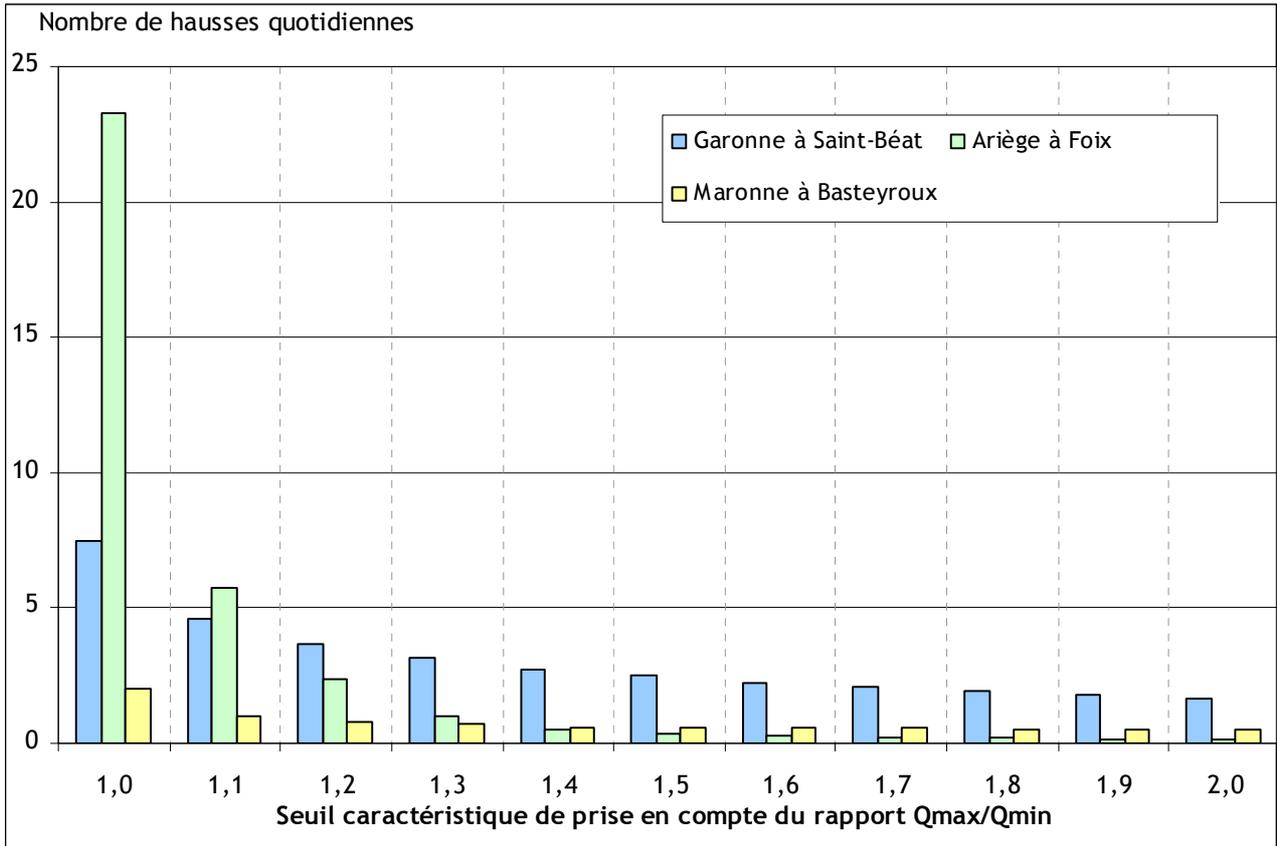
12.4. Test sur trois stations caractéristiques

Trois stations caractéristiques d'un type de régime perturbé sont proposées :

- La Maronne à Argentat (la plus sollicitée des stations au niveau des amplitudes) ;
- La Garonne à Saint Béat (la plus sollicitée au niveau des fréquences) ;
- L'Ariège à Foix (représentative d'une situation plus « banale » d'une rivière soumise à éclusées).

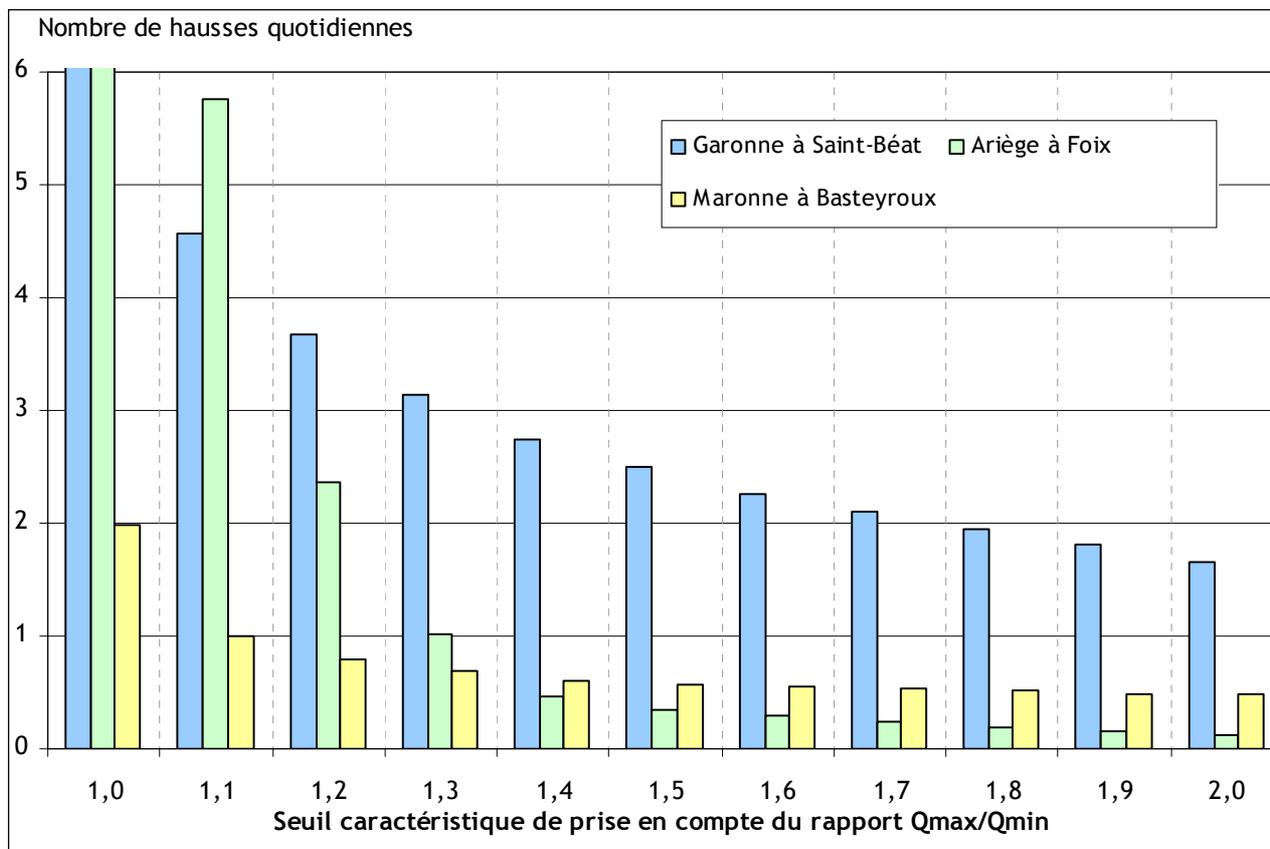
12.4.1. *Seuil de coupure*

Le critère de filtre sur le coefficient d'amplitude paraît obligatoire pour éliminer le « bruit » caractéristique de chaque station. Ainsi, on observe en moyenne sur 2006, à Foix, 23 variations quotidiennes. Dans cette approche, nous souhaitons supprimer les variations les plus faibles du décompte total.



Remarque : La valeur du seuil inscrite sur le graphe est le minimum de la classe de distribution ; ainsi dans la classe 1 sont comprises toutes les variations de débit à la hausse comprise entre 1 et 1,1.

Zoom



On constate que le « classement » des stations entre elles, évolue selon le seuil de coupure.

Le choix du seuil de 20% semble un compromis satisfaisant entre le filtrage des effets du capteur et le maintien d'un échantillon suffisamment important d'événements en particulier pour les grands cours d'eau (Dordogne, Garonne, Tarn, Gave, ...) qui se caractérisent par des débits de base forts et donc une réduction mathématique du coefficient d'amplitude (et qui reflète bien que l'effet de l'écluse est atténuée).

12.4.2. Quantile caractéristique

Le coefficient d'amplitude maximal semble a priori le meilleur critère de description d'un régime d'écluse. Il est d'ailleurs calculable pour chaque ouvrage.

Cependant vis-à-vis des incidences hydrologiques, ce coefficient maximal, n'a de sens que si on élimine les crues ou que les crues sont éliminées par l'aménagement (cas de la Maronne). Nous proposons donc de tester des valeurs sans doute moins significatives sur le plan écologique, mais plus caractéristiques du régime.

Trois quantiles sont retenus :

- une valeur médiane ;
- un seuil à 10% (c'est-à-dire la valeur du coefficient d'amplitude dépassée par 10% des événements/ fonction centile 0.9 dans Excel) ;
- un seuil à 5% (c'est-à-dire la valeur du coefficient d'amplitude dépassée par 5% des événements/ fonction centile 0.95 dans Excel).

Sur le mode de construction des courbes de débits classés, on construit les courbes de coefficients d'amplitude classés. Le tri de ces coefficients effectué ci-dessous pour l'année 2006 montre les différences que l'on peut remarquer entre les stations. Le graphe indique le pourcentage de hausses significatives supérieures à une certaine valeur (exemple pour la Maronne à Basteyroux, 50% des hausses ont un coefficient d'amplitude supérieur à 4,2 et 10% ont un coefficient supérieur à 11).

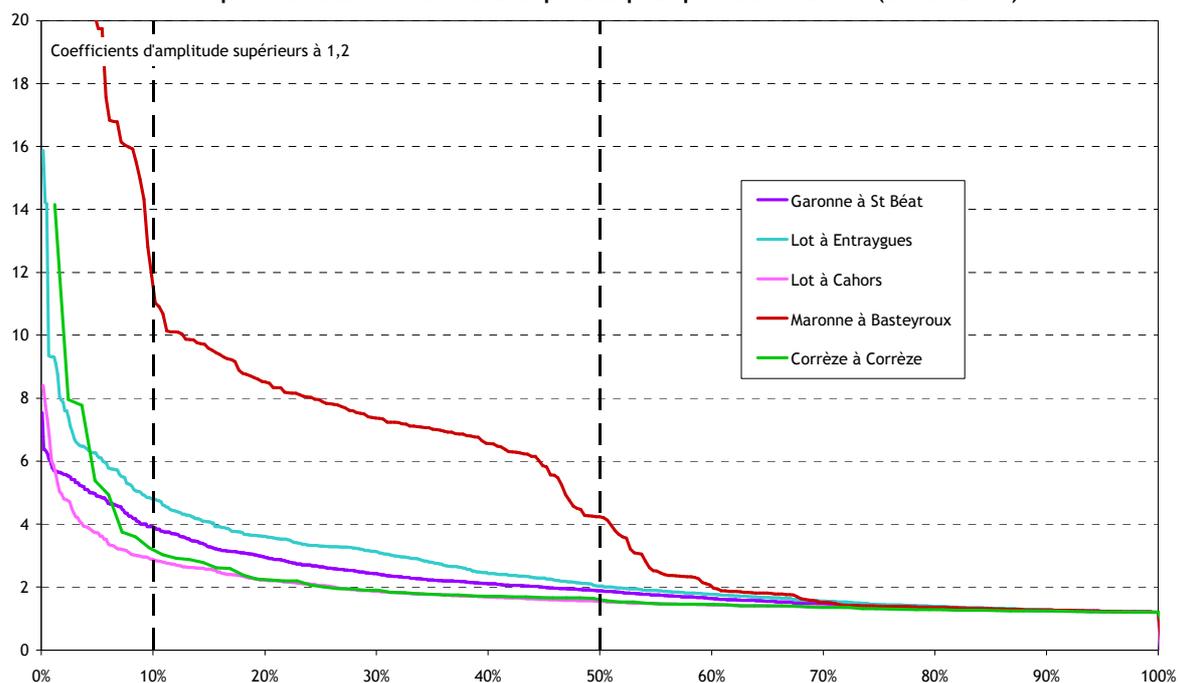
Les indicateurs qui peuvent être extraits de cette distribution sont : la **valeur médiane des coefficients d'amplitude significatifs**, qui est un indicateur du comportement moyen des hausses de débit, ou bien le **quantile 10% supérieur des coefficients d'amplitude**, représentatif des hausses les plus fortes (hors événements les plus exceptionnels et non représentatifs). Cet indicateur serait l'équivalent d'un QCN sur la courbe des débits classés.

Remarque : Ce classement par quantile répartit donc sur le même intervalle 0 – 100% des nombres de hausses significatives très variables d'une station à l'autre : sur les cinq stations illustrées, ce nombre va de 83 pour la Corrèze à 1342 pour Saint-Béat. Cela implique qu'un plus ou moins grand nombre d'événements va servir à définir les indicateurs décrits précédemment. Ainsi, alors que la station de Corrèze n'est pas du tout influencée par des ouvrages hydroélectriques, ses indicateurs d'amplitude sont du même ordre de grandeur que ceux de Saint-Béat ou de Cahors. Ce sont des événements de crue qui sont intégrés dans cet indicateur. **En valeur, cet indicateur n'est pas suffisant pour discriminer un cours d'eau soumis ou non à des éclusées.**

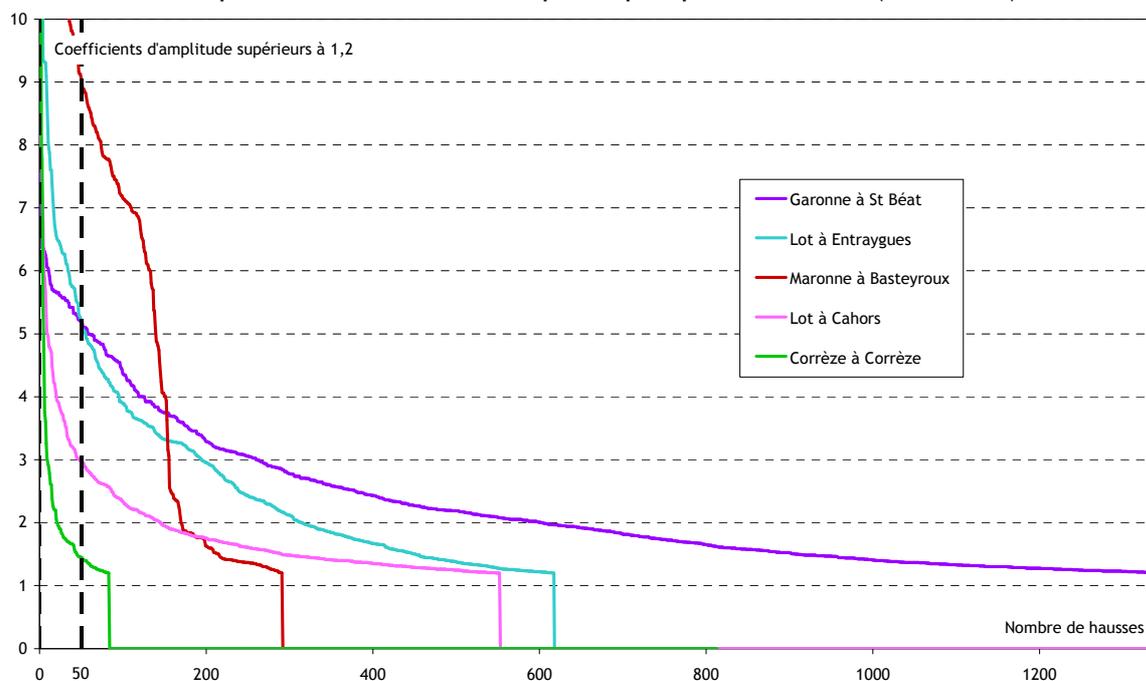
Une représentation des coefficients, classés en fonction de leur nombre (2^{ème} graphe de la page ci-après), rétablit une certaine hiérarchie entre les valeurs de coefficients et leur occurrence. L'indicateur pourrait alors être la n^{ième} valeur haute (50 sur le graphe 2006). Néanmoins, si pour une station et une durée donnée, le nombre de hausses significatives est inférieur à ce seuil, on se trouve dans l'incapacité de définir un indicateur pour cette station.

Il faut également garder à l'esprit que plusieurs indicateurs seront définis et donc que la discrimination des stations se fera grâce à l'ensemble des indicateurs retenus. Le caractère naturel de la Corrèze sera alors mis en évidence d'une manière ou d'une autre. La représentation par quantile sera donc conservée.

Comparaison des coefficients d'amplitude pour plusieurs stations (année 2006)



Comparaison des coefficients d'amplitude pour plusieurs stations (année 2006)



Les valeurs présentées dans le tableau ci-dessous montrent que plus le seuil de coupure est élevé plus le coefficient d'amplitude est fort.

Par ailleurs on observe que le choix d'un quantile rare accentue les écarts entre station. Ce choix pourrait apparaître judicieux, sauf que dans des fréquences d'événements de l'ordre de 100 à 200 par ans, 5% correspond à 5 ou 10 événements par an, fréquence très voisine d'un risque de petite crue.

C'est d'ailleurs ce que l'on observe dans les données concernant les stations naturelles où le paramètre amplitude est souvent assez fort alors que le paramètre fréquence est le plus faible.

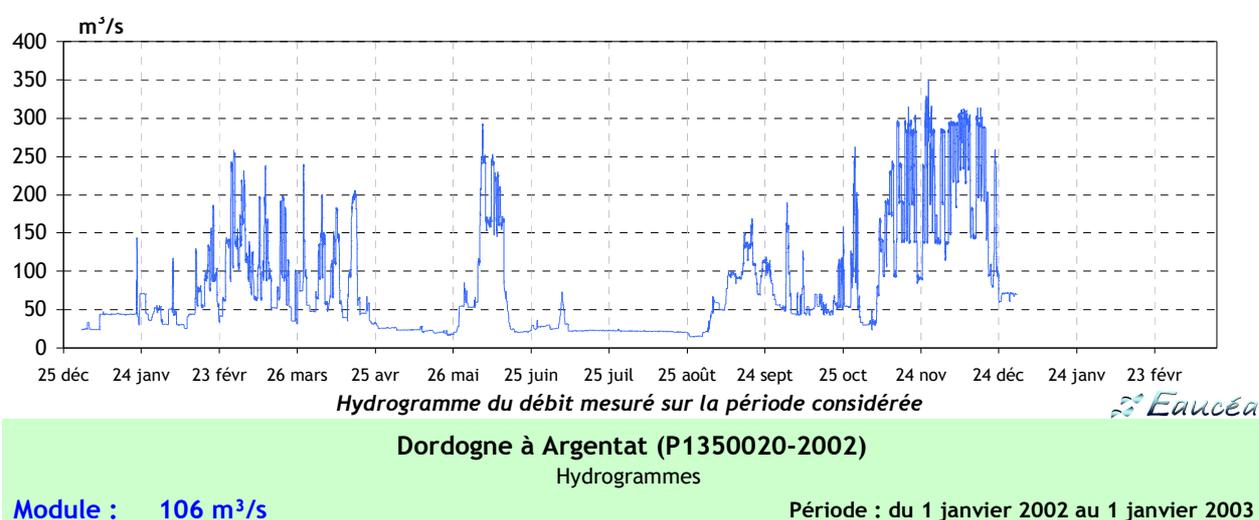
On relève aussi que le seuil de coupure interagit sensiblement avant 1,2 car l'échantillon exploité augmente très sensiblement. La Maronne montre le cas extrême d'un régime où tous les maxima sont liés à des éclusées. Il y a donc sur cette station une perte d'information.

Indicateur : coefficient d'amplitude												
Seuil minimal CA retenu	Garonne à Saint-Béat				Ariège à Foix				Maronne à Basteyroux			
	Nb hausses par jour	CoefAmpl (CA) médian	CA sup 10%	CA sup 5%	Nb hausses par jour	CA médian	CA sup 10%	CA sup 5%	Nb hausses par jour	CA médian	CA sup 10%	CA sup 5%
1.0	7.4	1.2	2.9	3.9	23.3	1.1	1.2	1.3	2.0	1.1	7.9	10.0
1.1	4.6	1.6	3.6	4.6	5.8	1.2	1.4	1.6	1.0	1.8	9.9	16.8
1.2	3.7	1.9	3.9	4.9	2.4	1.3	1.7	2.0	0.8	4.2	11.0	19.7
1.3	3.1	2.0	4.1	5.0	1.0	1.4	2.1	2.7	0.7	6.2	14.7	20.4
1.4	2.7	2.2	4.3	5.2	0.5	1.7	2.8	3.2	0.6	6.9	16.0	21.2
1.5	2.5	2.3	4.6	5.3	0.3	1.9	3.1	3.3	0.6	7.0	16.1	21.7
1.6	2.3	2.4	4.6	5.3	0.3	1.9	3.2	3.3	0.5	7.1	16.1	22.2
1.7	2.1	2.5	4.8	5.4	0.2	2.0	3.2	3.6	0.5	7.1	16.3	22.5
1.8	1.9	2.6	4.9	5.4	0.2	2.2	3.2	3.8	0.5	7.2	16.8	22.8
1.9	1.8	2.7	4.9	5.5	0.2	2.2	3.3	3.9	0.5	7.3	16.8	23.1
2.0	1.6	2.8	5.0	5.5	0.1	2.6	3.6	4.3	0.5	7.4	16.8	23.4

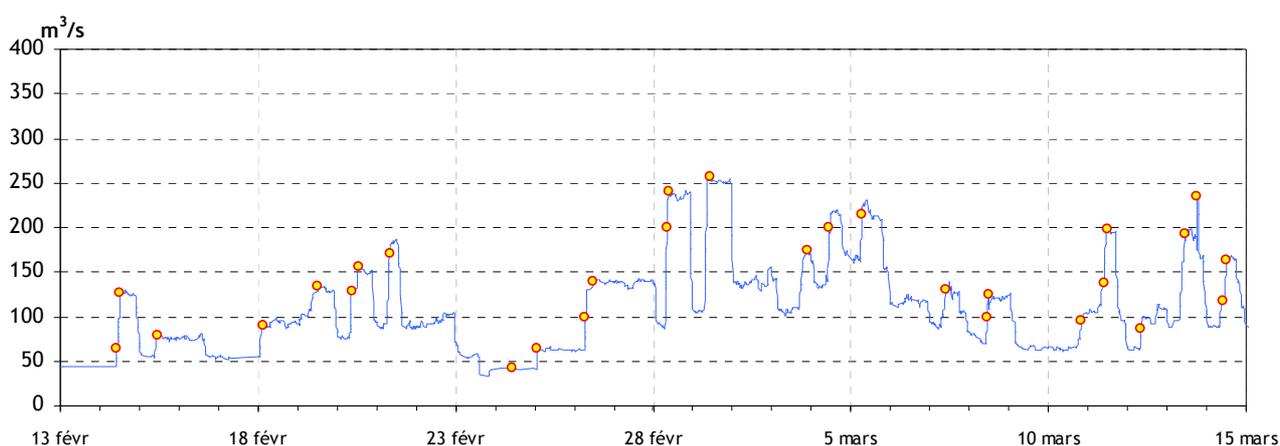
Ces indicateurs sont calculés sur l'année 2006, avec pour le nombre de hausse la moyenne annuelle des hausses par jour.

12.5. Problème de la période d'analyse

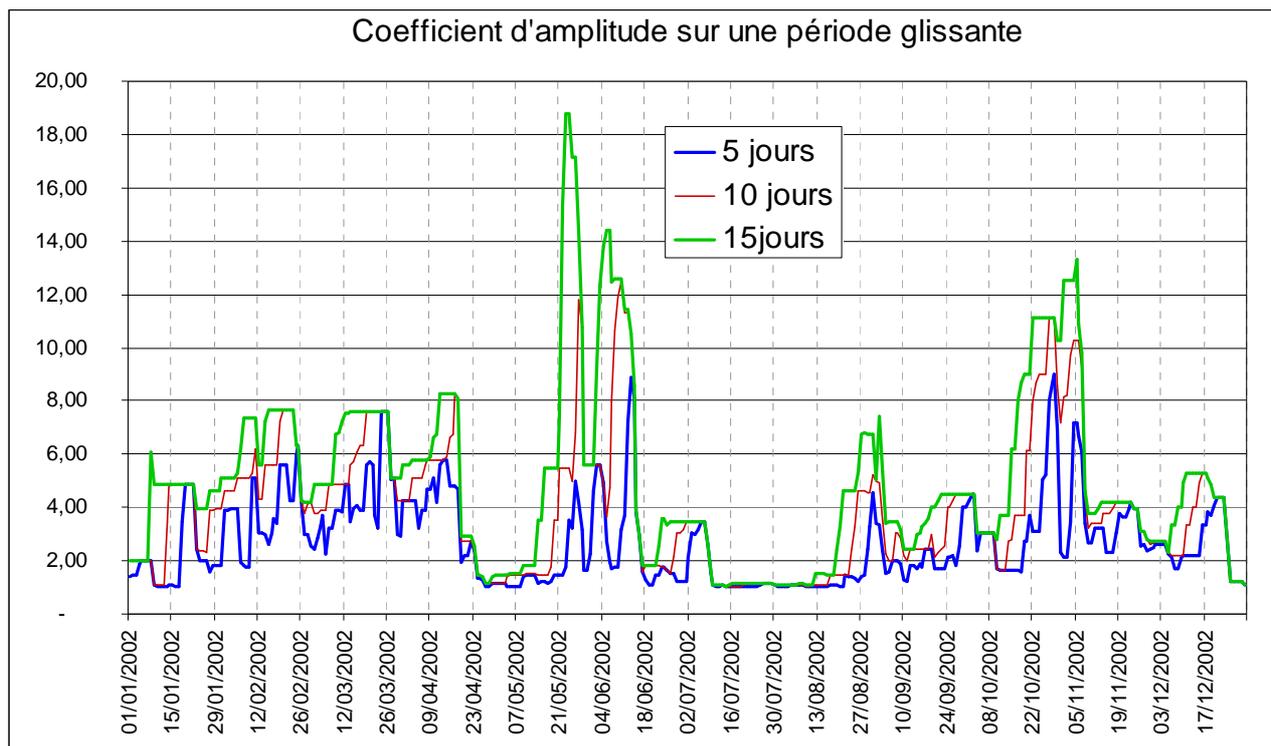
Le cas de la Dordogne à Argentat en 2002 illustre la difficulté de créer un indicateur d'amplitude pertinent par rapport aux enjeux. La lecture du graphe ci-dessous montre un régime qui semble très contrasté.



Or le coefficient d'amplitude calculé sur cette année ne vaut «que» 2,11, ce qui s'explique par un débit de base élevé et pour chaque épisode de hausse, une montée en palier vers les forts débits, séquençant d'autant les diverses éclusées. Ce phénomène est illustré par le zoom effectué sur la période de 1 mois du 15 février au 15 mars 2002.



Il semblerait sans doute intéressant d'étudier pour les cours d'eau soumis à de gros volumes d'éclusee, un niveau d'incidence hydrologique à un pas de temps sans doute plus large et plus intégrateur des variations consécutives. Nous avons ainsi testé sur Argentat un calcul d'amplitude sur des pas de temps cumulés de 5 jours, dix jours, 15 jours. On constate que le coefficient d'amplitude augmente avec le pas de temps du calcul. Cette représentation pourrait à terme permettre de développer un indicateur si un lien peut être établi avec des usages et fonctions écologiques.



En comparant le débit minimum mensuel et le débit maximal, il est plus facile de mettre en exergue les périodes les plus critiques comme le montre l'analyse mensuelle de 2006.

2006	Min	Max	CAmplitude
janvier	25,9	147	5,68
février	28,7	307	10,70
mars	61,2	436	7,12
avril	40	292	7,30
mai	36,8	180	4,89
juin	28,1	61,2	2,18
juillet	24,9	61,9	2,49
août	22,1	61,7	2,79
septembre	29,2	68,8	2,36
octobre	28,1	209	7,44
novembre	32,4	237	7,31
décembre	29,7	355	11,95

12.6. Synthèse critère de choix du paramètre amplitude

Critère	Avantage	Inconvénient	Modalité de restitution envisageable	Remarque
Amplitude absolue	Facile à mettre en œuvre, robuste.	Information locale. Crue indétectable automatiquement sauf analyse hydrologique spécifique	Courbe de distribution Valeur moyenne Nombre ou % d'événements au-delà d'un seuil caractéristique.	Variable exprimée en m^3/s
Coefficient d'amplitude	Permet l'analyse inter station Facile à calculer en aval de chaque aménagement	Crue indétectable automatiquement	Courbe de distribution Valeur moyenne Nombre ou % d'événements au-delà d'un seuil caractéristique.	Variable adimensionnelle
Seuil de filtre CA>1,2	Elimine le bruit des stations hydrométriques	Réduit l'échantillonnage		Coefficient paramétrable
Occurrence caractéristique 10%	Permet d'éviter en situation influencée de prendre en compte les crues	Ne rend pas compte de certains paroxysmes artificiels		Dépend modérément du seuil de coupure au-delà de 1,2

13. DEBIT DE BASE

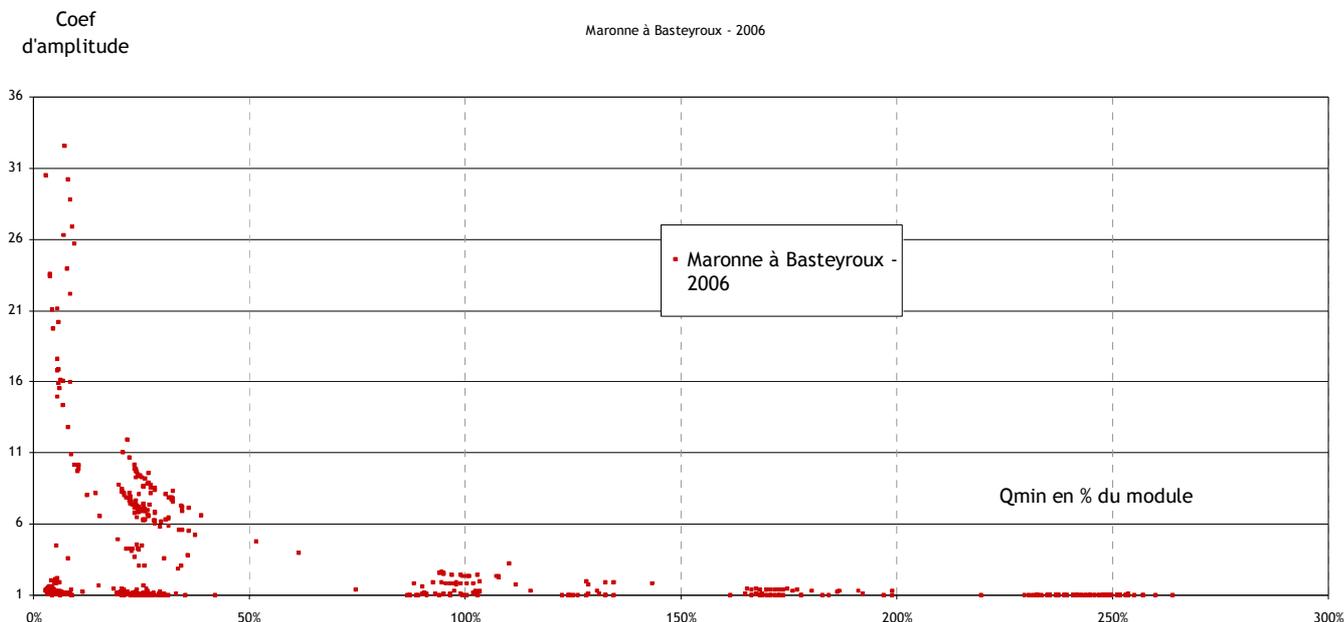
Le paramètre réputé être le plus pertinent pour apprécier le niveau d'impact écologique potentiel d'une éclusée est la valeur du débit de base. Dans nos premiers travaux, ce critère nous semblait implicitement inclus dans le «coefficient d'amplitude». Pour un même débit d'éclusée, plus le Qmin est important moins le coefficient d'amplitude est grand.

A la sortie des turbines, le débit minimum est souvent assimilable au débit réservé et le débit maximal est le débit d'équipement de l'ouvrage. Sur les stations hydrométriques situées en aval des aménagements, le débit réservé est souvent augmenté d'apports naturels ce qui réduit naturellement l'écart entre débit maximum et débit plancher.

13.1. Méthode

Nous avons établi sur plusieurs stations un graphe rapprochant en abscisse la valeur du débit minimal observé en début d'éclusée du coefficient d'amplitude en ordonné. Le débit minimal a été normé par le module. **Il est donc exprimé en % du module.** L'échantillon est composé de l'ensemble des éclusées repérées sur un cycle annuel calendaire.

Le cas de la Maronne est présenté ci après.

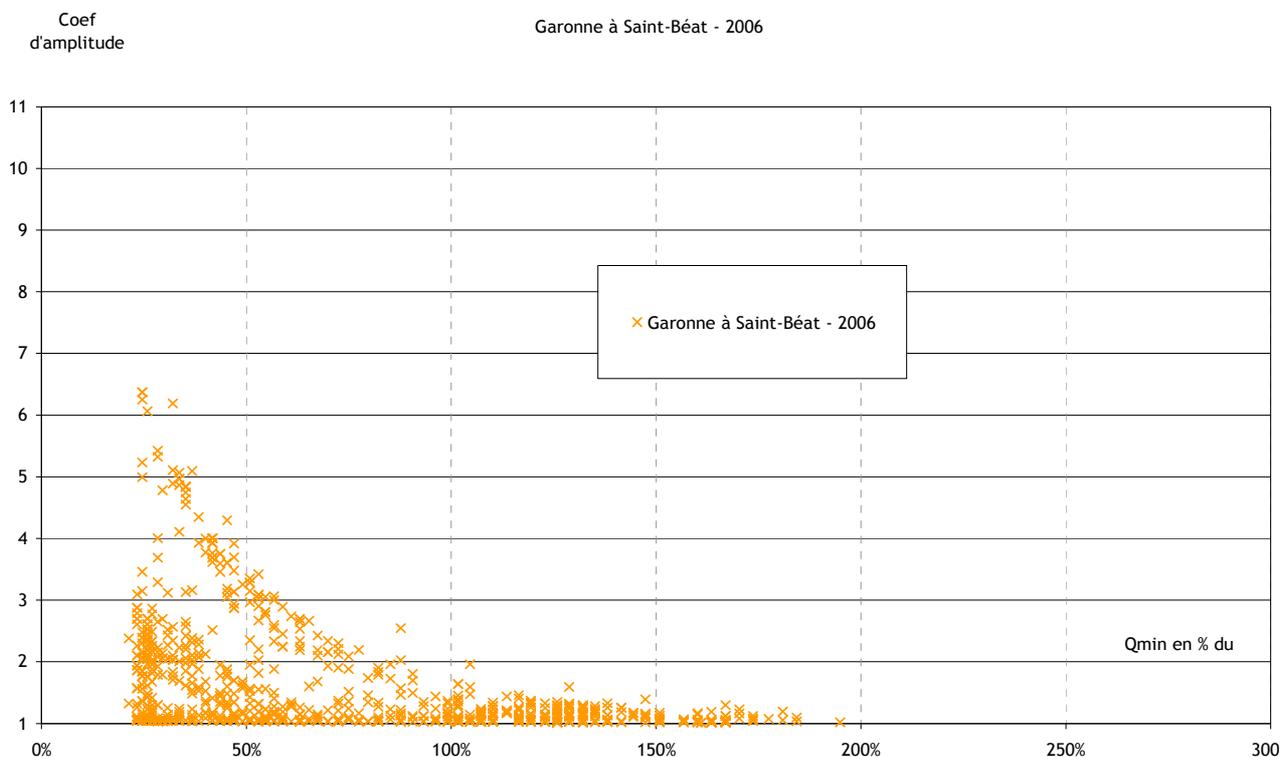


On constate que sur cette station caractéristique du régime d'éclusée, les grands coefficients d'amplitudes correspondent forcément à des débits de base très faibles. Ce graphe confirme le lien de dépendance entre ces deux paramètres : Q_{max}/Q_{min} et Q_{min} .

Il est intéressant de relever sur ce graphe une organisation en trois niveaux. Pour un même débit de base on distingue bien trois niveaux d'activité de l'usine.

La distribution de ces valeurs peut être différente avec plusieurs cas de figures :

Pour **la Garonne à Saint Bât** la garantie d'un débit minimum important est parfaitement lisible sur le graphe où l'on constate une forte concentration d'événement aux alentours de cette valeur plancher.

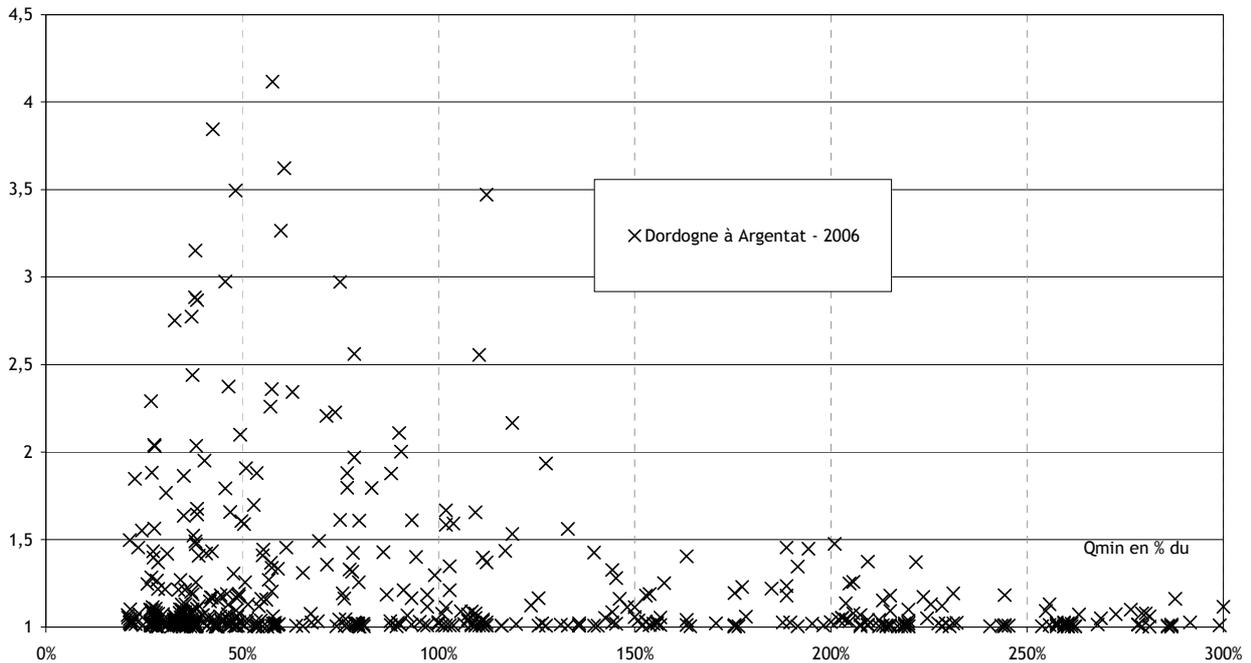


Pour **la Dordogne à Argentat**, la distribution est beaucoup plus étalée, traduisant surtout la superposition des éclusées à un régime de débit minimum relativement diversifié. Ce constat peut trouver son origine d'une part dans la garantie de débit minimum fixé à environ 20% du module en hiver et d'autre part dans le lissage de la retenue du Sablier. Si cette retenue ne peut éviter l'apparition de pointe de débit (éclusée), elle maintient le débit minimum à des valeurs relativement élevées par anticipation de l'éclusée issue de la chaîne amont.

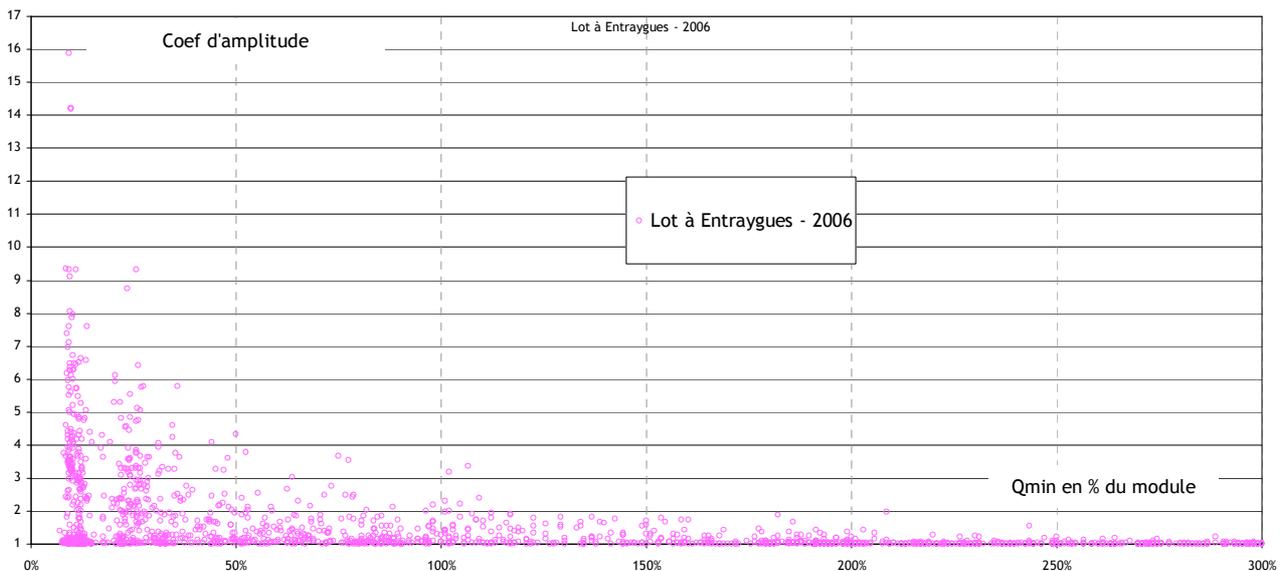
Le deuxième fait majeur pour Argentat est le maintien d'éclusées significatives malgré des débits de base élevés à très élevés puisque l'on repère encore des éclusées dans une gamme de débit de base voisin de 200% du module. Ces éclusées de grand volume qui sont assez rares en Adour Garonne (on en retrouve du même type sur le Lot), ne sont cependant pas traduites par nos indicateurs.

Coef d'amplitude

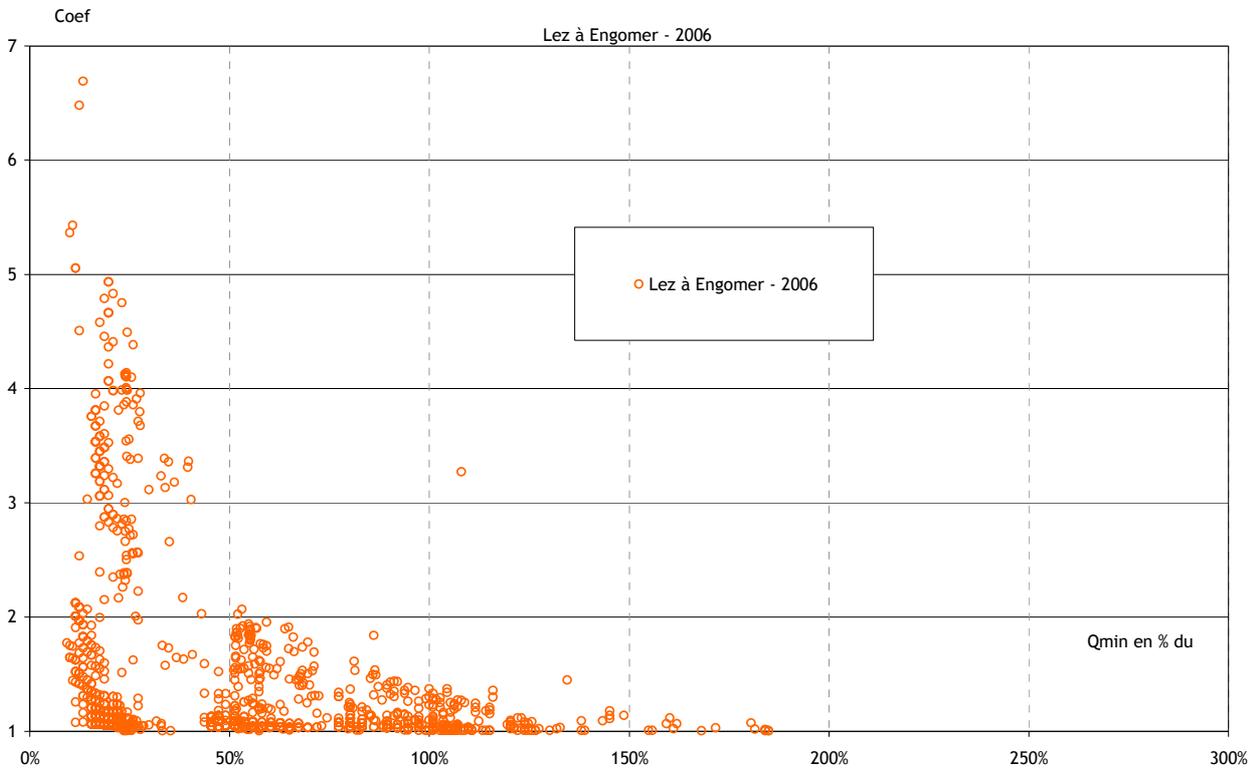
Dordogne à Argentat - 2006



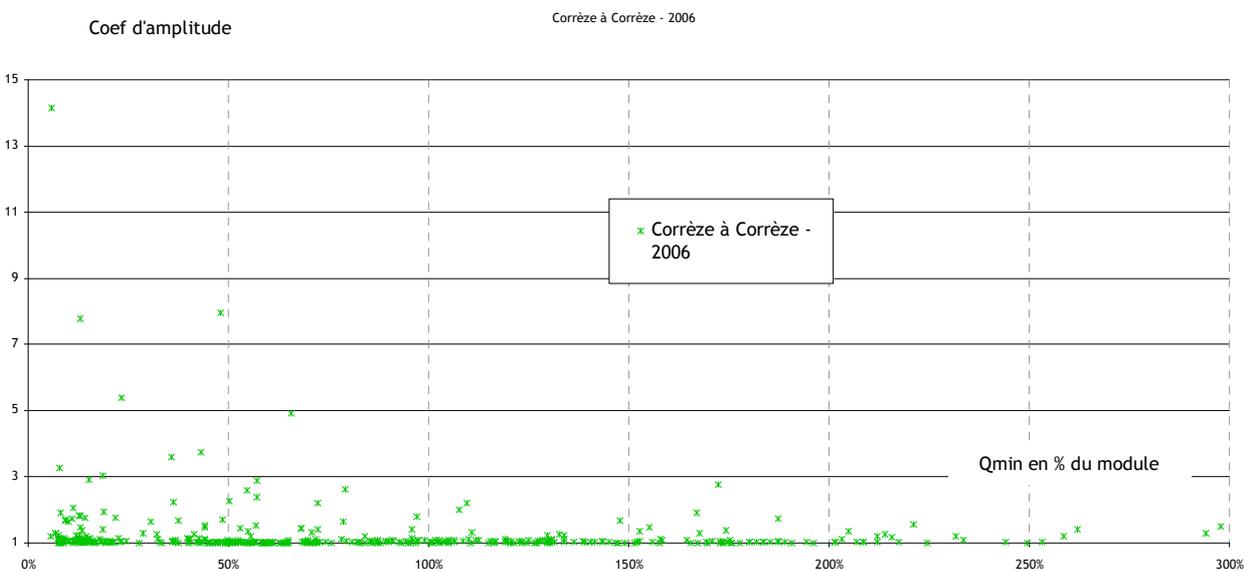
Par comparaison, **le Lot à Entraygues** montre un profil beaucoup plus marqué dans lequel on reconnaît bien la marque des débits réservés Lot + Tuyères, voisins de 10% du module, vers lesquels les usines hydroélectriques redescendent très systématiquement. Il n'y a pas de recherche d'amortissement significatif. Le deuxième nuage de point vertical qui se dégage vers 25% du module correspond sans doute à la gestion des flux entrants naturels avec un niveau minimum de turbinage «au fil de l'eau» constant.



Le même cas de figure s'observe sur le **Lez à Engomer** où l'on distingue le débit réservé de l'usine de Castillon (environ 10% du module) et un deuxième niveau aux alentours de $5\text{m}^3/\text{s}$ correspondant à une gestion de la turbine Francis.



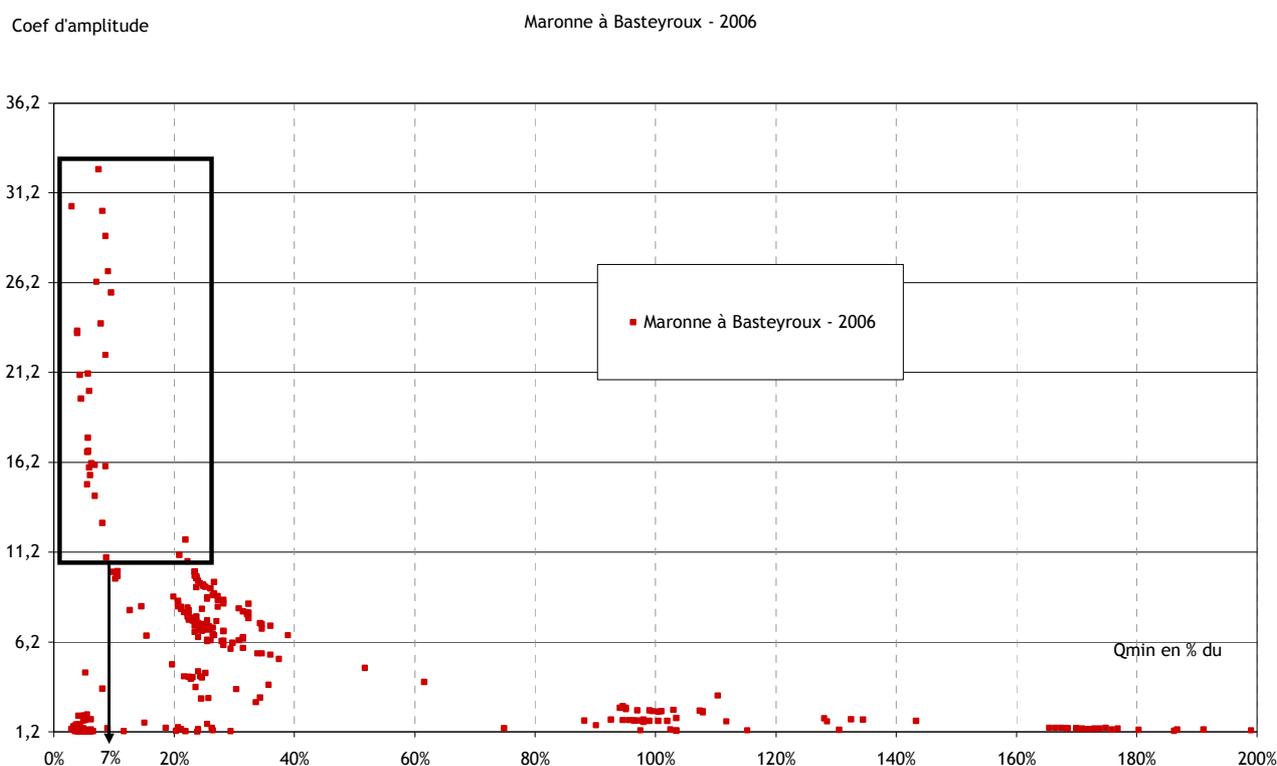
Par comparaison, le cas du **témoin naturel Corrèze**, mérite d'être présenté car chaque coefficient d'amplitude fort correspond à une crue ; leur distribution par rapport au régime de base favorise bien sûr les petits orages estivaux avec un débit plancher faible (étiage), mais l'on observe encore des phénomènes sensibles pour des débits planchers élevés (crue hivernale).



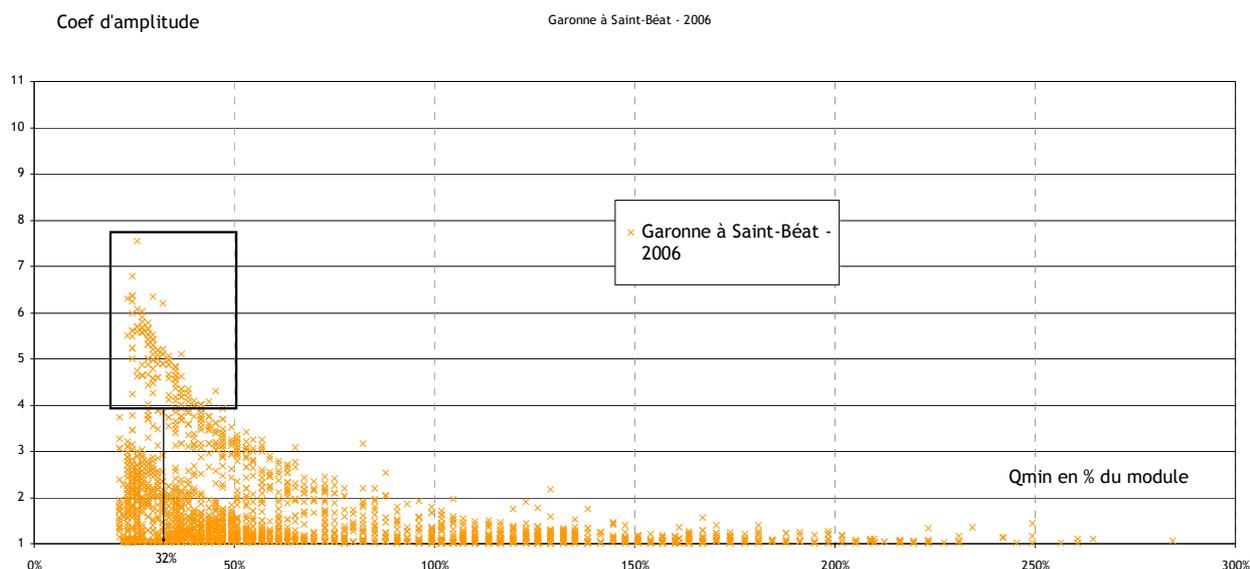
13.2. Opportunité d'un indicateur spécifique

La constitution d'un indicateur «débit plancher», vise donc à repréciser l'environnement hydraulique qui précède les éclusées. Les graphes précédents ont aussi montré qu'il ne peut y avoir de coefficient fort avec un débit de base élevé.

Sur la base des événements significatifs (coefficient d'amplitude supérieur à 1,2), les 10% les plus forts qui déterminent l'amplitude caractéristique constituent un échantillon auquel on associe les valeurs de débit minimum caractéristiques. Sur l'exemple de la Maronne ceux sont donc les événements dont le coefficient est supérieur à 11. La moyenne des débits minimum est alors retenue comme décrivant le contexte moyen du débit de base précédent les grandes éclusées. Pour la Maronne il est de 7%.



Pour la Garonne nous obtenons une autre distribution avec un coefficient d'amplitude caractéristique de 3,89 est une valeur de débit plancher de 32%.



Ce nouvel indicateur de débit plancher facile à calculer, vient donc compléter le dispositif global de qualification du régime. C'est sans doute celui qui sera le plus sensible à l'environnement hydrologique de l'année (humide ou sec) mais aussi aux évolutions réglementaires.¹ Les quelques résultats suivants confirment bien le lien entre Qmin et Coefficient d'amplitude et la nécessité de les rapprocher des autres indicateurs (en particulier fréquence).

	Q plancher en % du module	Coefficient d'amplitude
Basteyroux	7%	11,00
Entraygues	14%	4,79
St Béat	32%	3,89
Engomer	20%	3,81
Argentat	53%	2,66
Villemur	17%	2,20
Rieulhes	38%	1,84
Foix	40%	1,70
Station naturelle		
Baigorry	45%	3,99
Corrèze	29%	3,01

13.3. Synthèse critère de choix paramètre débit minimum

Critère	Avantage	Inconvénient	Remarque
Débit minimum précédent les variations les plus fortes	Facile à mettre en œuvre, robuste. Comparable à la valeur du débit réservé	L'impact potentiel est inversement proportionnel à la valeur de l'indicateur	Variable exprimée en %du module

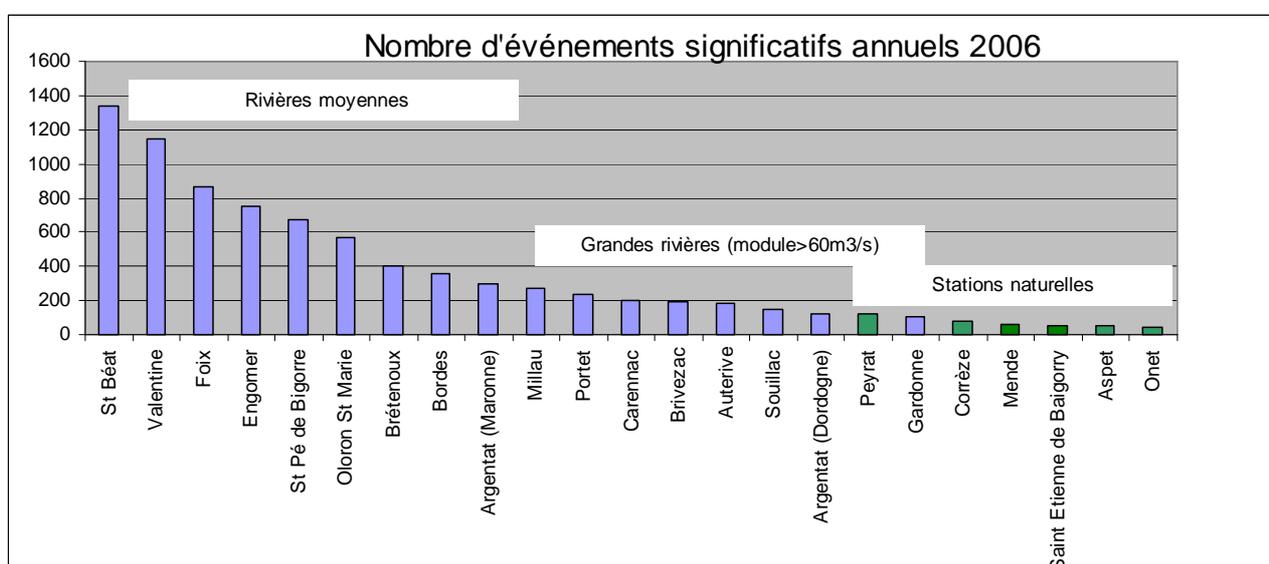
¹ La seule difficulté est de l'intégrer dans le graphe en toile d'araignée car contrairement aux autres indicateurs, une valeur élevée du débit plancher est plutôt le signe d'un moindre impact.

14. FREQUENCE DES PHENOMENES

14.1. Définition

Cet indicateur est celui du **nombre de montées significatives par jour** (par an, par période). Les montées significatives étant celles dont le coefficient d'amplitude est supérieur à 1,2. C'est le meilleur paramètre de distinction entre régime naturel et régime soumis à éclusées. Dans le graphe ci-dessous les stations naturelles sont en vert.

Cet indicateur a été calculé pour l'année 2006 sur diverses stations situées sur des cours d'eau soumis à éclusées, et sur des stations non influencées. Ce critère est assez sensible au seuil de coupure du coefficient d'amplitude qui implique un classement médian pour les grands cours d'eau.



Cet indicateur ne peut pas être reconstitué pour chaque usine hydroélectrique sauf à organiser un transfert d'information systématique depuis les usines. En revanche il est accessible au traitement des stations ne disposant pas de courbe de tarage (annonce de crue).

14.2. Synthèse critère de choix paramètre fréquence

Critère	Avantage	Inconvénient	Remarque
Fréquence	Facile à mettre en œuvre, robuste.	Dépend du seuil de coupure Dépend de la méthode de repérage des variations	Variable exprimée en nombre d'événements par jour, par an

15. VITESSE DE VARIATION INSTANTANEE

Le dernier type de descripteur étudié est celui de la vitesse de variation des paramètres appelés usuellement gradients. Il est en lien pour la baisse des débits avec les impacts écologiques du piégeage et de l'échouage, de l'assèchement des frayères et pour la montée avec l'entraînement et l'arrachage ou des phénomènes plus comportementaux (migration et recherche d'abris) voire des enjeux d'usage (sécurité). Ce qui est le plus préjudiciable pour le milieu, ce sont les forts gradients de hauteur d'eau (exprimés souvent en cm de hausse ou de baisse par heure ou par minute), les gradients de largeur mouillée et les gradients de vitesse (capacité de résistance, comportement).

Cependant, la connaissance des gradients de hauteur en un point de la rivière ne renseigne pas sur le gradient 100 m plus à l'aval, du fait de la modification de la section (élargissement ou rétrécissement). C'est pour cela que nous travaillerons sur la variable débit, plus "conservatrice" de l'information.

Le gradient est calculé par la formule dQ/dt .

Là encore des problèmes se posent, pour deux raisons :

- Comment comparer des gradients de débit ($m^3/s/heure$) d'une rivière à l'autre ?
- Comment intégrer les différences d'impact d'un même gradient de débit à l'étiage et en hautes eaux ?

Afin de normaliser les gradients et ainsi définir un indicateur "universel" spatial et temporel, les chroniques de débit ont subi dans un premier temps le changement de variable suivant :

$$Q'(t) = \left(\frac{Q(t)}{\text{Module}} \right)^{1/2}$$

Ainsi, le débit est normé par le module du cours d'eau au droit de la station afin de rendre comparable les tronçons de cours d'eau. L'hypothèse est faite que le module est un bon indicateur géomorphologique.

La mise à la puissance 0,5 (équivalent à extraire la racine carrée), permet de donner plus d'importance aux variations de débit en période de basses eaux et moins d'importance en hautes eaux ; on peut parler d'une transformation du débit en "hauteur équivalente", non soumise aux variations de section.

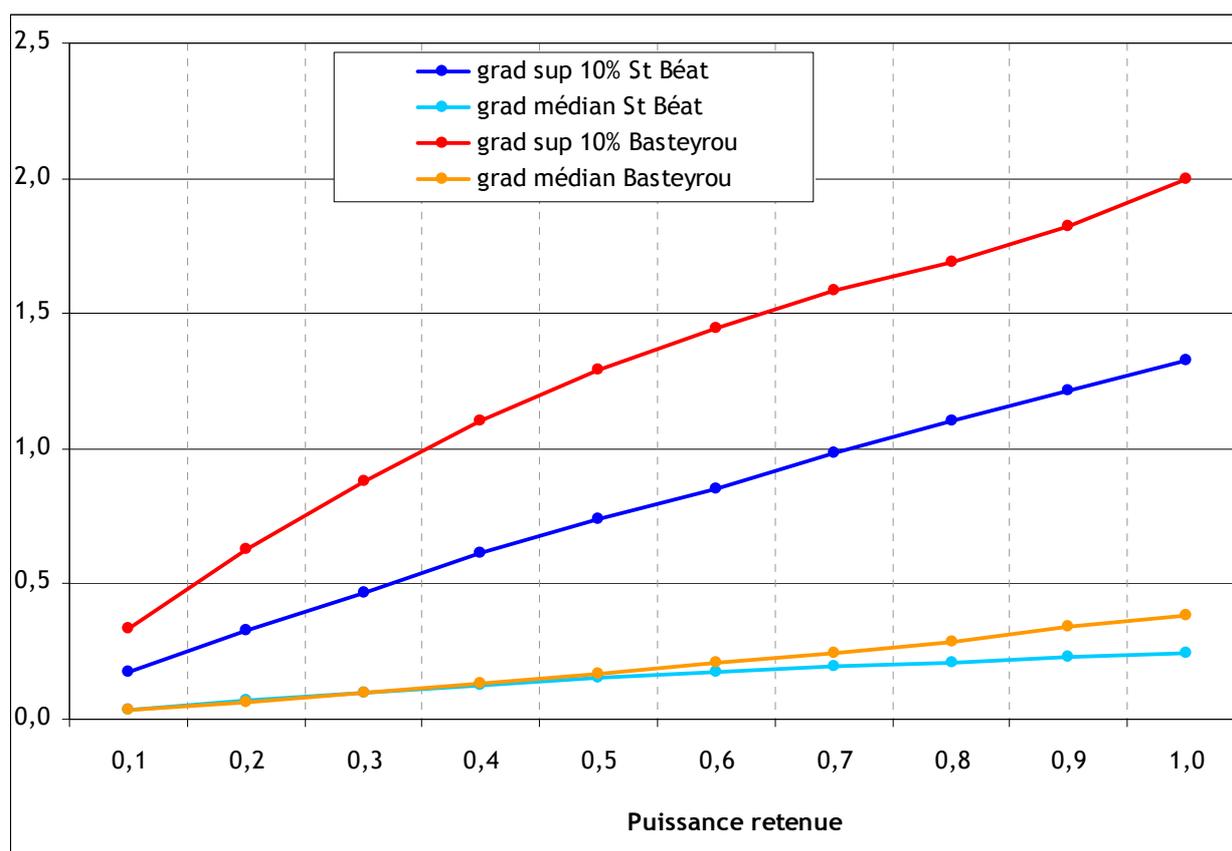
Le choix de la valeur 0,5 est issue de la littérature sur le sujet, mais restitue sensiblement l'allure de la plupart des courbes de tarage avant débordement.

Remarque 1 : dans l'hypothèse d'un travail sur des hauteurs (station sans tarage), seul le module devrait être mis à la puissance 0,5. Néanmoins, l'effet stationnel (plus ou moins grande sensibilité du débit aux variations de hauteur à la station) devient très important et rend cette approche risquée.

Remarque 2 : dans le cas du Lot domanial, l'essentiel du cours est constitué d'une succession de biefs souvent équipés d'une centrale hydroélectrique. L'effet d'une variation de débit se traduit par des effets complexes sur le plan de la géométrie. Tant que le débit

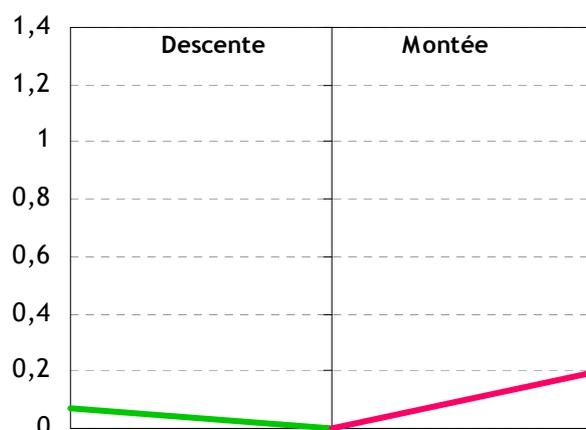
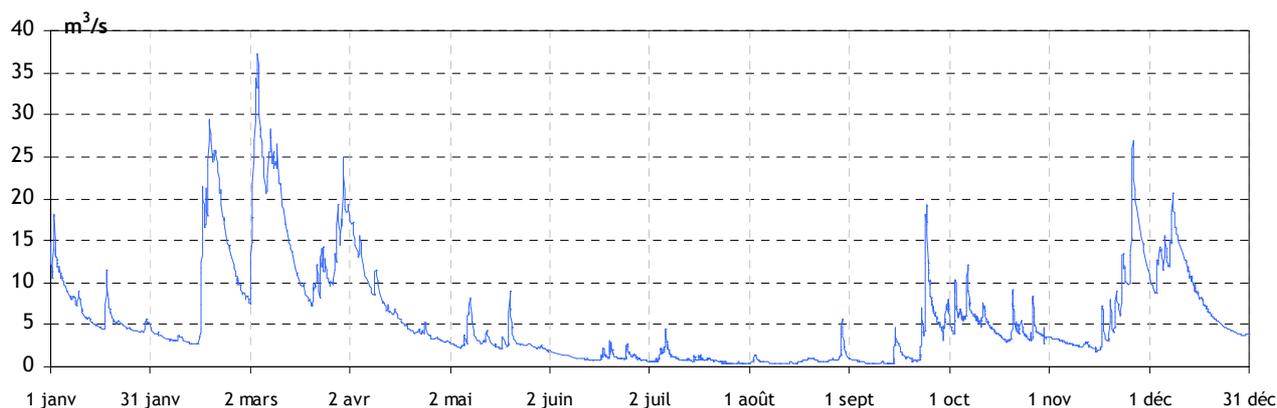
est inférieur au débit d'équipement + débit réservé, la cote du plan d'eau est sensée rester constante. Au-delà les modifications de la section d'écoulement sont contraintes par le déversement sur le seuil (loi de type $aQ^{0.67}$).

L'analyse de la sensibilité des résultats à ce coefficient de puissance montre cependant qu'il n'apporte pas réellement d'information nouvelle lorsque l'on veut discriminer des stations entre elles.



En conclusion, les gradients ne seront pas pondérés par une puissance particulière mais uniquement par le module. L'avantage est de proposer un indicateur facile à décrire exprimé en % du module par heure. Les indicateurs associés qui peuvent être retenus sont **la médiane du gradient normé** ou **le quantile 10% supérieur du gradient normé**. C'est cette dernière valeur qui est retenue comme décrivant le mieux les événements critiques. Notons qu'il ne s'agit pas ici de décrire le gradient des seuls épisodes caractéristiques (coefficient d'amplitude $>1,2$) mais bien toutes les variations enregistrées même sur de courtes durées. Ce choix vient du constat que sur un cycle de variation, le début et la fin du cycle identifiés dans l'automatisme correspondent à des valeurs de débit minimum et maximum. Les gradients calculés entre le début et la fin d'une phase pourraient être peu représentatifs des périodes de variation les plus rapides de cette même phase.

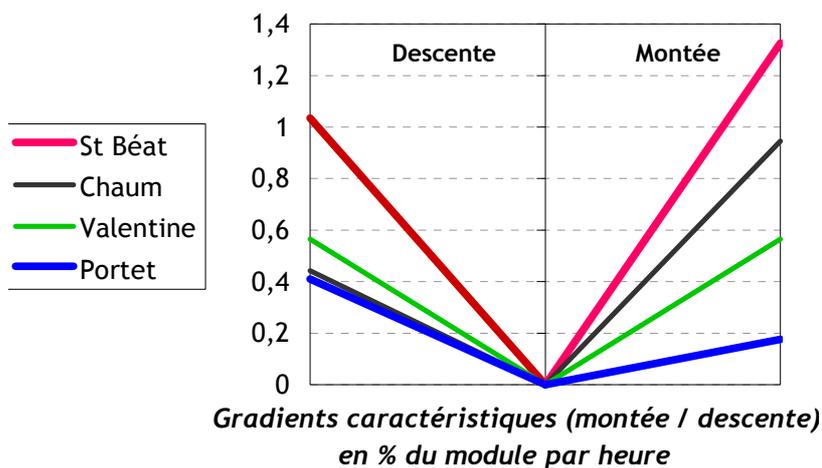
La comparaison des gradients de montée et de descente est intéressante et permet de faire apparaître la dissymétrie crue (rapide et intense) - décrue (plus lente) en situation naturelle comme par exemple pour la Corrèze à Corrèze.



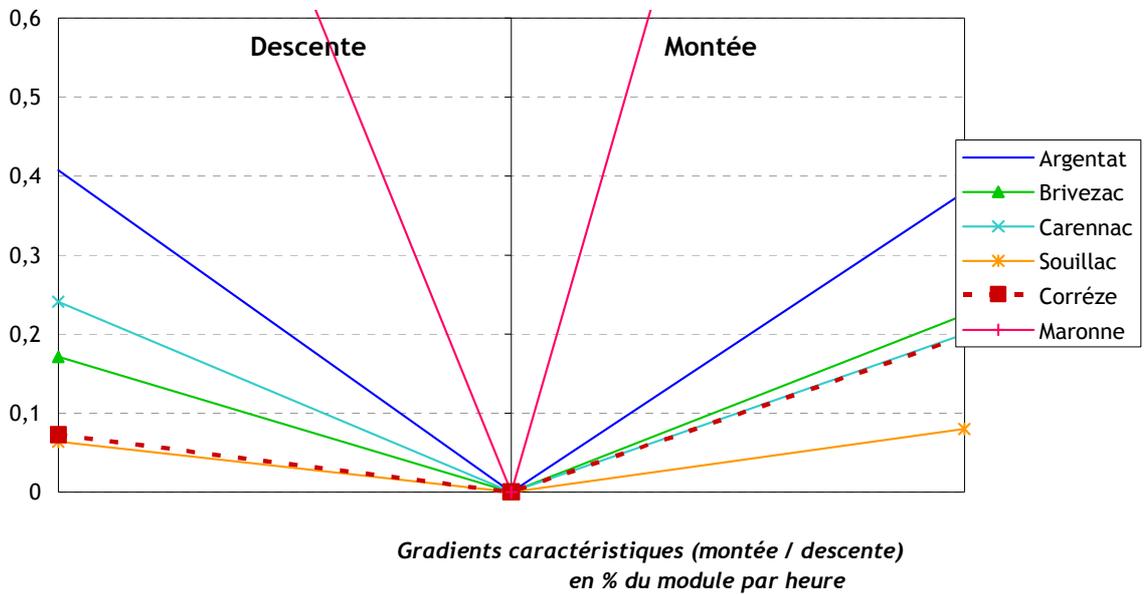
Quantile 10% supérieur du gradient normé de la Corrèze en % module par heure

... mais aussi l'amortissement des éclusées avec des gradients qui décroissent vers l'aval.

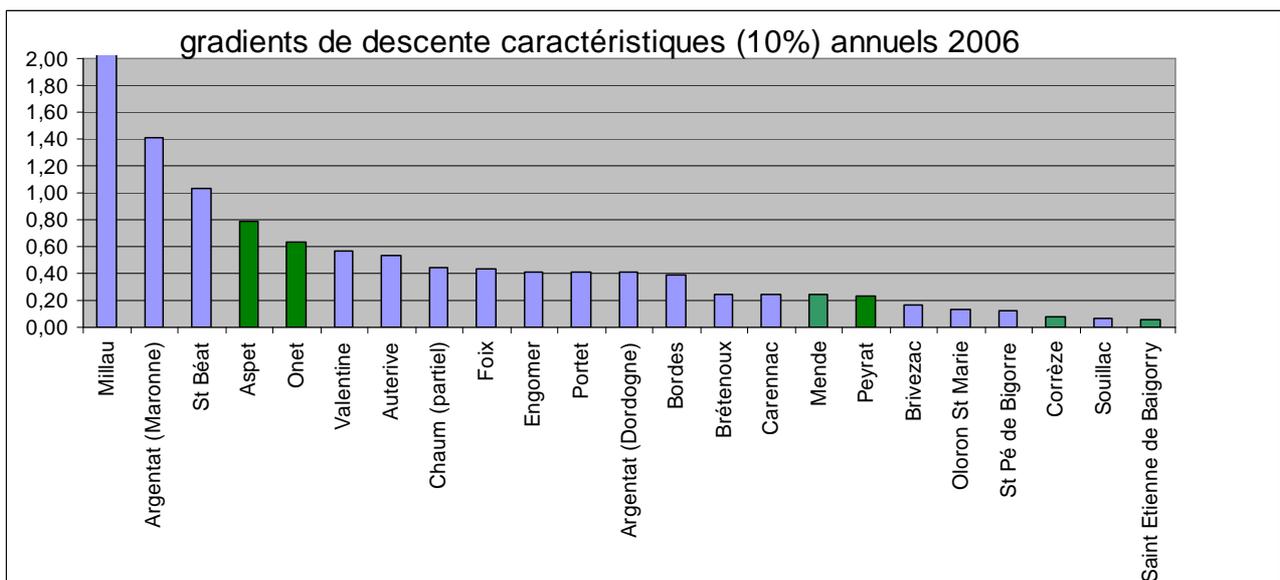
Cas de la Garonne



Cas de la Dordogne

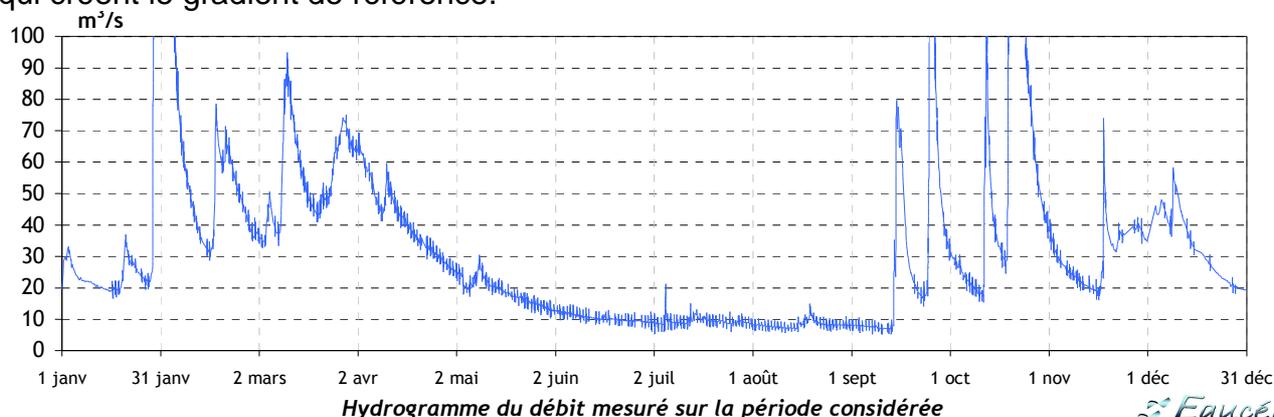


Vis-à-vis du gradient de descente, sensé être le plus marqué par un régime d'éclusée, on constate dans le graphe ci-dessous que la situation reste assez complexe à discriminer (les stations en vert représentent les stations naturelles).



Le classement des stations pour ce critère semble assez aléatoire mais s'explique par différents cas de figure :

Sur le Tarn à Millau et l'Hers vif à Peyrat, se sont des « perturbations » de faible amplitude qui créent le gradient de référence.



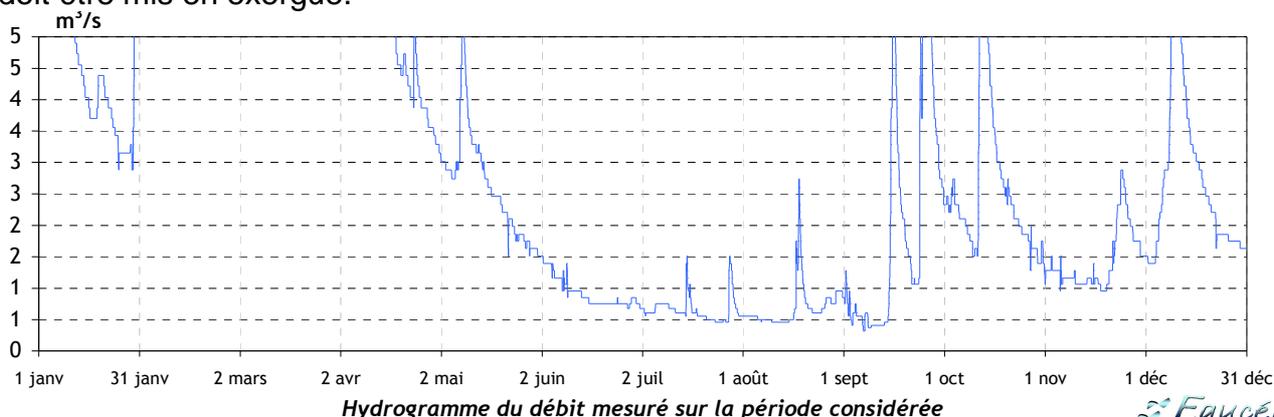
Tarn à Millau (O3401010)

Hydrogrammes

Module : 47,8 m³/s

Période : du 1 janvier 2006 au 31 décembre 2006

Sur l'Aveyron ou le Ger à Aspet, c'est davantage la mauvaise sensibilité du capteur qui doit être mis en exergue.



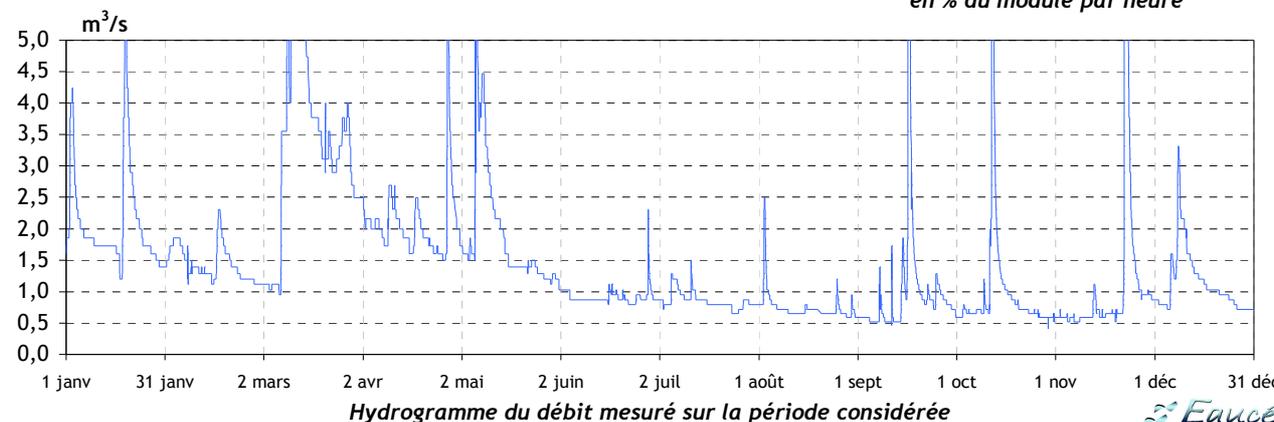
Aveyron à Onet le Château (O5092520)

Hydrogrammes

Module : 6,7 m³/s

Période : du 1 janvier 2006 au 31 décembre 2006

en % du module par heure

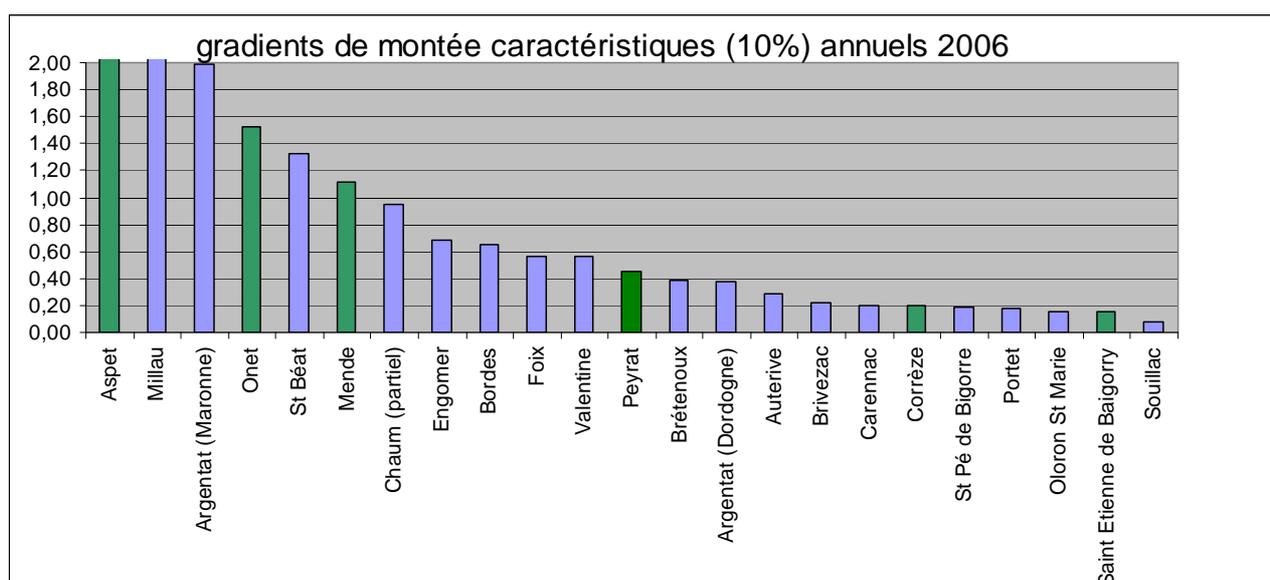


Ger à Aspet (O0234020)

Hydrogrammes

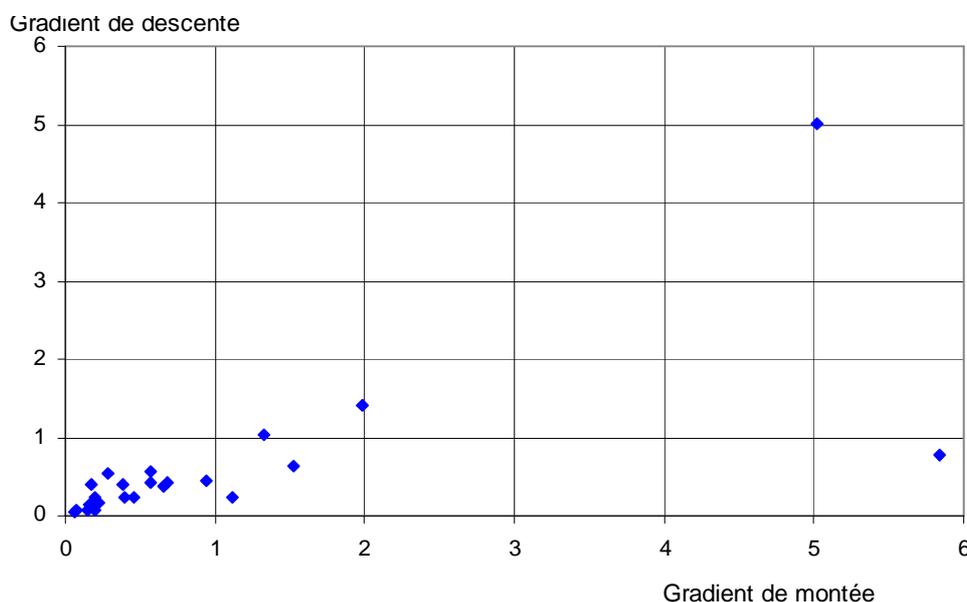
Module : 2,67 m³/s

Période : du 1 janvier 2006 au 31 décembre 2006



Vis-à-vis des gradients de montée les mêmes commentaires peuvent être apportés.

Les deux informations Gr+, Gr- sont globalement assez liées entre elles, comme le montre le graphe de corrélation ci-dessous calculé sur une vingtaine de stations, mais il semble intéressant de les suivre l'une et l'autre, sachant que des contraintes de gestion (prise de charge des usines) peuvent interférer sur ce critère.



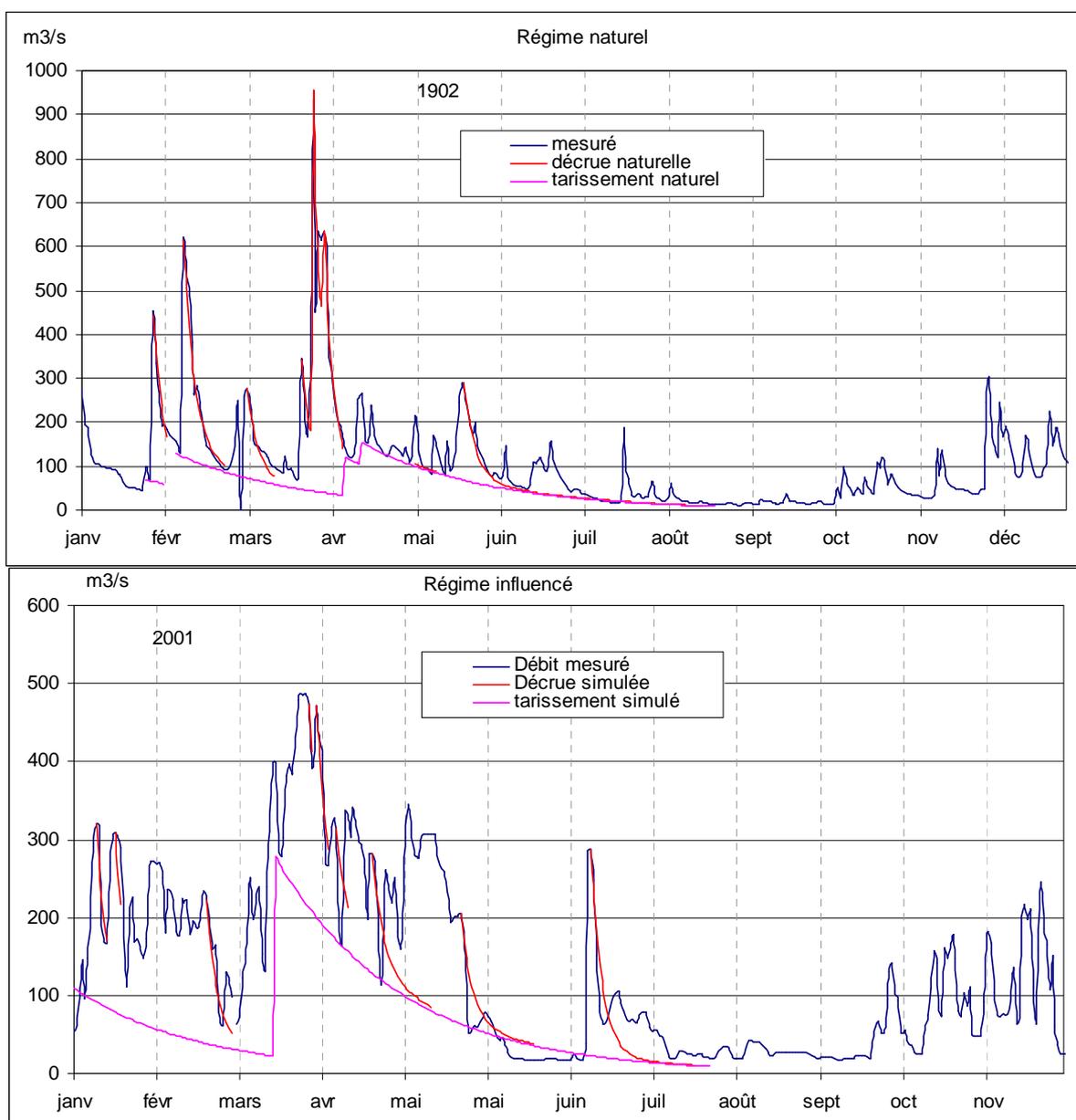
15.1. Les gradients longue période, le rôle du débit de base naturel

La gestion par éclusée s'analyse classiquement aux pas de temps caractéristiques des capacités d'adaptation (ou plutôt d'inadaptation) des espèces cibles. Pour les espèces fixées ou les fraies, la sélection naturelle a depuis longtemps retenu les espèces adaptées à des gammes de variations de l'hydraulique. C'est le cas des brochets par exemple qui ne pourraient se reproduire sans ces fluctuations de longue période. **La durée de la phase qui précède un abaissement**, peut donc avoir une incidence forte si elle laisse le

temps à l'installation de phases peu mobiles ou vulnérables à l'exondation. Le gradient caractéristique peut alors être très faible en valeur absolue mais conduire à des impacts sensibles (cas de l'exondation de toute la reproduction de perche sur la Dordogne en 2006). Phénomène d'exondation très spécifique à une combinaison du gradient et de la morphologie du lit.

La durée est donc un facteur important pour l'écosystème qui a, pour certains stades, besoin d'un minimum de stabilité des conditions hydrauliques. Or, même en situation naturelle les régimes sont instables. Il y a d'ailleurs de bonnes et de mauvaises années ; cependant dans le cas d'un régime soumis à éclusée comme la Dordogne, les conditions « encadrantes » ont changé avec en particulier une répétition des situations avec des débits anormalement bas.

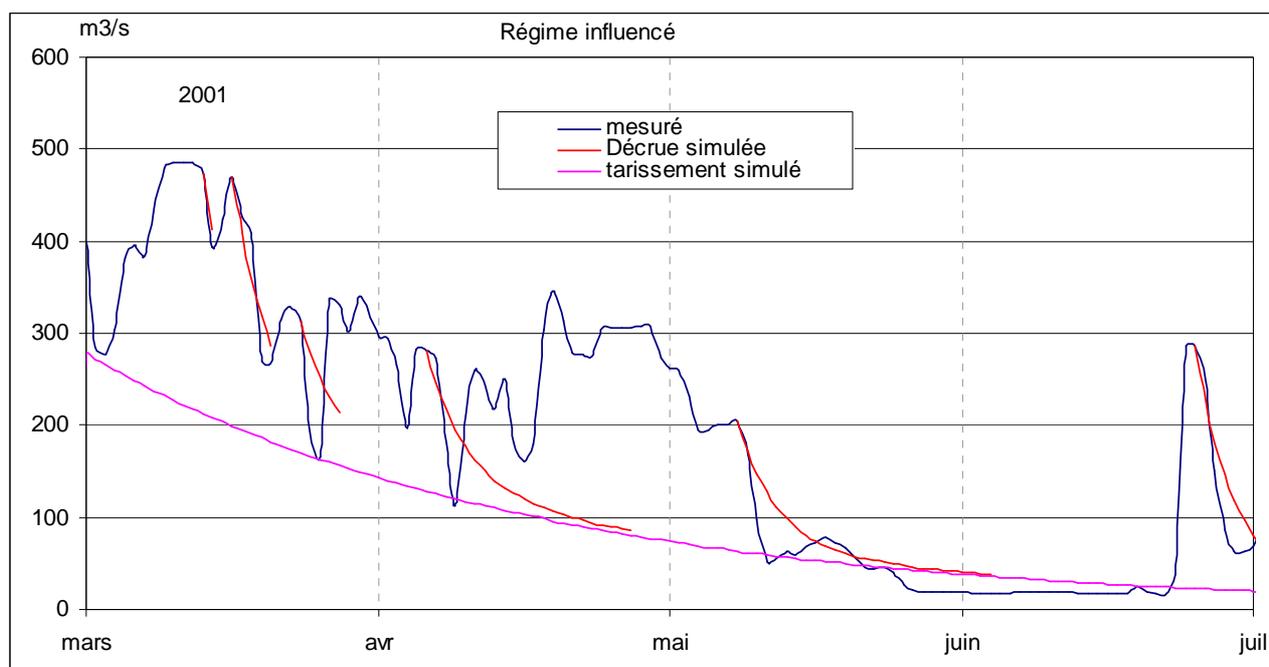
Les graphes ci-dessous illustrent au pas de temps journalier les modifications observables en 1902 et 2001. Le tarissement naturel représente la courbe plancher « garantie » naturellement. Dans ce type de régime le débit ne peut pas descendre en dessous d'un rythme de l'ordre de 2% par jour. Bien sûr il peut y avoir des pointes de débit suivies d'une décrue mais même dans ce cas là, la décroissance ne peut excéder 25% par jour.



En régime d'écluse les notions de tarissement et décrue n'ont pas de sens mais l'application du même concept à l'hydrogramme permet de voir quel serait l'écart à la situation naturelle.

On peut observer que fréquemment la courbe de décrue ainsi reconstituée décroche de la situation d'éclusee observée qui apparaît donc comme très rapide en fin d'éclusee par rapport à une situation naturelle.

Un zoom sur la période mars juillet 2001 montre ce décalage très sensible.



15.2. Enseignement pour la Dordogne

Ces calculs de décrue permettent de fixer les **gradients de descente** naturels de référence à Argentat en fonction de l'amplitude de l'éclusee (débit au dessus du débit de base).

Amplitude (m3/s)	gradient naturel horaire(% du module)
500	0,049
450	0,044
400	0,039
350	0,034
300	0,029
250	0,024
200	0,020
150	0,015
100	0,010
50	0,005

On constate que ces valeurs naturelles sont environ 10 fois plus faibles que les valeurs observées aujourd'hui (2006) à Argentat, seule station de référence disponible dans l'analyse historique avant les grands barrages.

Indicateurs	Argentat	Brivezac	Carennac	Souillac	Gardonne	Corrèze
Nb de variations significatives	126	192	200	151	102	83
Gradient + 10% sup	0,38	0,22	0,20	0,08	0,06	0,20
Gradient - 10% sup	0,41	0,17	0,24	0,06	0,04	0,07

Notons cependant que les gradients actuels de la Corrèze, station réputée naturelle, sont plus proches de ceux observés dans le cours aval de la Dordogne après amortissement.

L'intérêt de ce paramètre pour distinguer un phénomène naturel (crue) d'un phénomène artificiel (éclusée) est évident sauf pour les secteurs en amortissement (cours aval des fleuves par exemple). Par ailleurs il impose de disposer d'une référence naturelle pour permettre cette sélection. Ce référentiel resterait à établir pour tous les régimes du bassin Adour Garonne. Il apparaît donc difficile d'en faire, sans travaux complémentaires, un indicateur à part entière.

15.3. Synthèse critère de choix gradient

Critère	Avantage	Inconvénient	Variable	Remarque
Gradient de descente/montée instantané valeur médiane	Facile à mettre en œuvre.	Dépend de la sensibilité du capteur.	Variable exprimée en % du module/heure Facile à comprendre	Peu discriminant
Gradient de descente instantané valeur classée 10%	Permet l'analyse inter station. Utile pour calcul d'amortissement.	Dépend de la sensibilité du capteur.	Variable exprimée en % du module/heure	Critère retenu
Gradient de montée instantané valeur classée 10%	Utile pour qualifier un niveau de risque sécurité	Souvent peu différent de valeur de crue naturelle	Variable exprimée en % du module/heure	Critère retenu
Gradient pondéré selon débit de base.	Permet une meilleure représentation des impacts hydrauliques (Hauteur, vitesse)	Peu compréhensible Fonction puissance à confirmer	Unité complexe	Non retenu

16. LES INDICATEURS PROPOSES

La liste des indicateurs retenus est donc limitée aux paramètres hydrologiques accessibles en routine depuis les serveurs nationaux (banque hydro ou SPC). Ces indicateurs ont été calculés à titre expérimental sur plusieurs stations du bassin Adour Garonne. Les valeurs calculées le sont ici pour une année calendaire complète mais pourraient être aisément recalculées sur des chroniques saisonnières ou sur des chroniques pluriannuelles

Nous proposons de retenir six critères simples :

- L'indice d'instabilité, facile à calculer sur tous les hydrogrammes. *Adimensionnel.*
- Le coefficient d'amplitude dépassé par 10 % des événements significatifs (dont le coefficient d'amplitude est supérieur à 1,2). *Adimensionnel.*
- Le débit plancher caractéristique des événements les plus forts définissant le coefficient d'amplitude. *Exprimé en % du module*
- La fréquence des événements dont le coefficient d'amplitude est supérieur à 1,2. *En nombre par jour.*
- Le gradient de montée dépassé sur 10% des variations enregistrées. *En % du module par heure.*
- Le gradient de descente dépassé sur 10% des variations enregistrées. *En % du module par heure.*

Proposition d'indicateurs

Définition d'indicateurs pour la caractérisation des éclusées sur le bassin Adour Garonne

Rivière	Indicateurs	Instabilité	Fréquence (evenements par jour)	Coefficient Amplitude	Qplancher en % du module	Gradient + 10% sup (% du module par heure)	Gradient - 10% sup (% du module par heure)	Présence d'au moins une usine hydroelectrique éclusée en amont
Ariège	Auterive	0,75	0,51	2,23		0,28	0,54	Oui
Ariège	Foix	3,05	2,37	1,70	40%	0,57	0,43	Oui
Aveyron	Onet	0,26	0,12	5,42		1,52	0,63	Non
Cère	Brétenoux	0,80	1,13	2,50		0,39	0,24	Oui
Corrèze	Corrèze	0,17	0,23	3,01	29%	0,20	0,07	Oui
Dordogne	Argentat (Dordogne)	0,37	0,35	2,66	53%	0,38	0,41	Oui
Dordogne	Brivezac	0,38	0,53	2,29		0,22	0,17	Oui
Dordogne	Carennac	0,30	0,55	2,11		0,20	0,24	Oui
Dordogne	Gardonne	0,10	0,28	1,80		0,06	0,04	Oui
Dordogne	Souillac	0,18	0,41	1,91		0,08	0,06	Oui
Garonne	Chaum (partiel)	-	0,96	2,05		0,95	0,44	Oui
Garonne	Portet	0,47	0,64	1,62		0,18	0,41	Oui
Garonne	St Béat	5,43	3,68	3,89	32%	1,33	1,04	Oui
Garonne	Valentine	2,52	3,13	1,73		0,57	0,57	Oui
Gave de Pau	St Pé de Bigorre	0,99	1,85	1,84	38%	0,19	0,12	Oui
Gave d'Oloron	Oloron St Marie	1,03	1,57	1,62		0,16	0,13	Oui
Ger	Aspet	0,42	0,15	4,75		5,84	0,79	Non
Hers vif	Peyrat	0,38	0,34	2,33		0,46	0,23	Non
Lez	Bordes	1,33	0,98	2,58		0,66	0,38	Oui
Lez	Engomer	2,34	2,06	3,81	20%	0,68	0,41	Oui
Lot	Mende	0,25	0,18	7,03		1,12	0,24	Non
Lot	Entraigues	2,52	1,69	4,79	14%	1,35	1,14	Oui
Maronne	Argentat (Maronne)	1,58	0,80	11,00	7%	1,99	1,41	Oui
Nive des Aldudes	Saint Etienne de Baigorry	0,29	0,15	3,99	45%	0,15	0,06	Non
Tarn	Millau	1,46	0,75	1,57		5,02	5,02	Non

17. REPRESENTATION SYNTHETIQUE DES DESCRIPTEURS DES FLUCTUATIONS HYDROLOGIQUES

17.1. Principe et modalité de calcul

Afin de représenter l'ensemble des indicateurs construits précédemment, il a fallu trouver une représentation graphique facilement lisible, préférable à un grand tableau récapitulatif.

Les graphes "en toile d'araignée" apparaissent comme un moyen efficace. *Pour la représentation graphique, seul 4 critères seront retenus* : l'amplitude, la fréquence, le gradient de descente et le débit minimum.

La représentation est indicielle. Les échelles de chacun des axes sont homogènes grâce à un travail de pondération sur les variables. Les valeurs de pondération sont issues de l'analyse des résultats observés sur les stations les plus critiques d'Adour Garonne.

Par exemple les valeurs calculées en 2006 sur deux stations le Tarn et la Maronne produisent les indices suivants :

Tarn à Villemur-sur-Tarn (O4931010)	coefs		coefs
	réels	pondération	pondérés
	Débit de base	5,77	0,75
Fréquence	1,93	2,5	4,82
Gradient -	0,18	7	1,25
Amplitude	2,20	1	2,20

Maronne à Basteyroux (P1592510)	coefs		coefs
	réels	pondération	pondérés
	Débit de base	13,55	0,75
Fréquence	0,80	2,5	2,00
Gradient -	1,42	7	9,92
Amplitude	11,02	1	11,02

On constate sur ces deux exemples que 3 des 4 paramètres de la Maronne sont voisins de 10. Cette station représentant le paroxysme observé sur Adour Garonne, les coefficients de pondération retenus sont jugés satisfaisant. Pour la fréquence ce sont les stations de la Garonne et du Salat qui produisent les indicateurs les plus sensibles.

Chaque station sera globalement notée sur 10 pour chacun des paramètres.

	Mode de calcul	coefs réels	pondération	Coefs pondérés
Débit de base	Inverse de la moyenne des débits minima (en % du module) observés pour les 10% d'événement d'amplitude maximale.	Qmin	0,75	Qminx0.75
Fréquence	Nombre de variation significative par jour(valeur moyenne sur la période)	Fr	2,5	Fr x2,5
Gradient -	Variation de Q en % du module/heure (seuil des 10% les plus forts sur la période d'étude)	Gr-	7	Gr- x 7
Amplitude	Qmax/Qmin (seuil des 10% les plus forts sur la période d'étude)	Amp	1	Amp x 1

Cette présentation permettrait à terme de qualifier selon un code couleur les domaines dans lesquels le caractère artificiel du régime est particulièrement intense et d'en suivre l'évolution interannuelle.

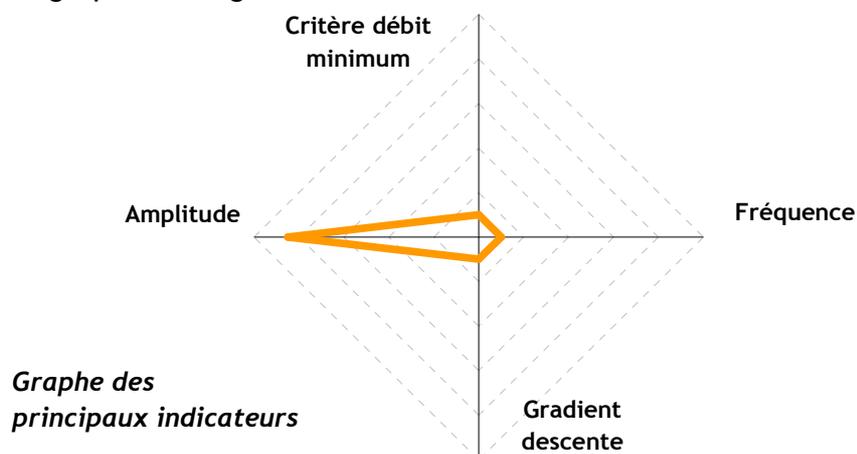
Plus la surface est grande plus la situation est potentiellement sensible.

17.2. Restitution graphique des descripteurs

① Indicateur amplitude

Pour chaque maximum local ainsi repéré, on calcule un coefficient d'amplitude qui est le rapport débit max sur débit min. Afin de ne traiter que les variations significatives, on ne conserve que les coefficients d'amplitude supérieurs à 1,2, c'est-à-dire les hausses entre min et max supérieures à 20%.

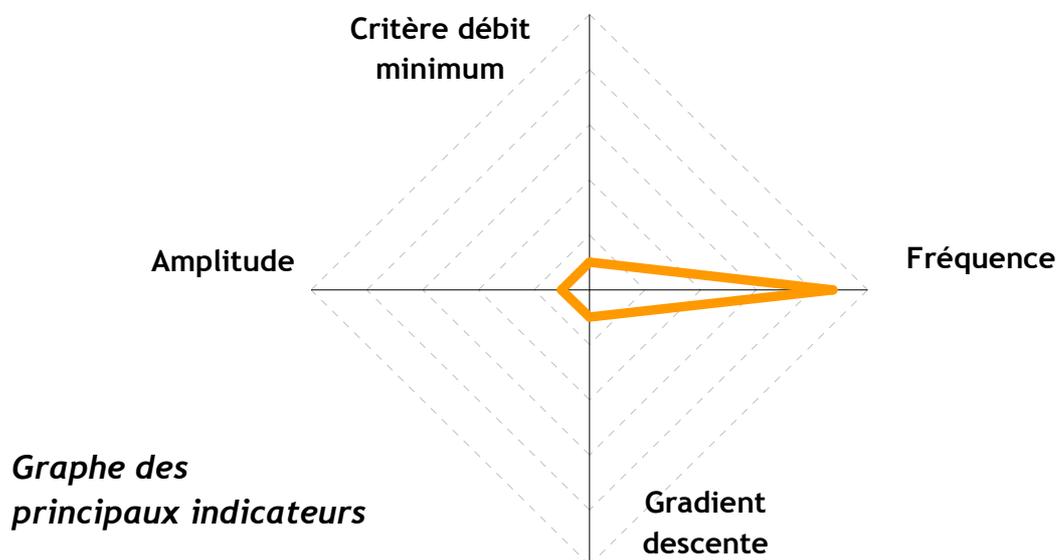
La valeur de l'indicateur "amplitude" retenue est le quantile 10% supérieur de l'échantillon constitué. Sur le graphe, une graduation = 2 c'est-à-dire $Q_{max} = 2xQ_{min}$.



Une amplitude forte est le signe d'une forte variation des conditions d'habitat hydrologique ou de sécurité des usages. Elle signe aussi le haut degré de maîtrise du régime hydraulique instantané par les ouvrages hydroélectriques. Ce paramètre est sensible à l'accroissement des apports du bassin versant.

② Indicateur fréquence

La comptabilisation des événements dont le coefficient d'amplitude est supérieur à 1,2 permet également de définir l'indicateur "fréquence", exprimé en nombre de variations significatives par jour en moyenne sur la période échantillonnée. *Sur le graphe, une graduation = 0,8 éclusée par jour.*



Une fréquence élevée augmente les risques de piégeage, perturbe fortement les usages.

③ Indicateur gradient

Le gradient traduit la vitesse de variation des paramètres. Ce qui est le plus préjudiciable pour le milieu, ce sont les forts gradients de hauteur d'eau (exprimés souvent en cm de hausse ou de baisse par heure ou par minute), les gradients de largeur mouillée et les gradients de vitesse (capacité de résistance, comportement).

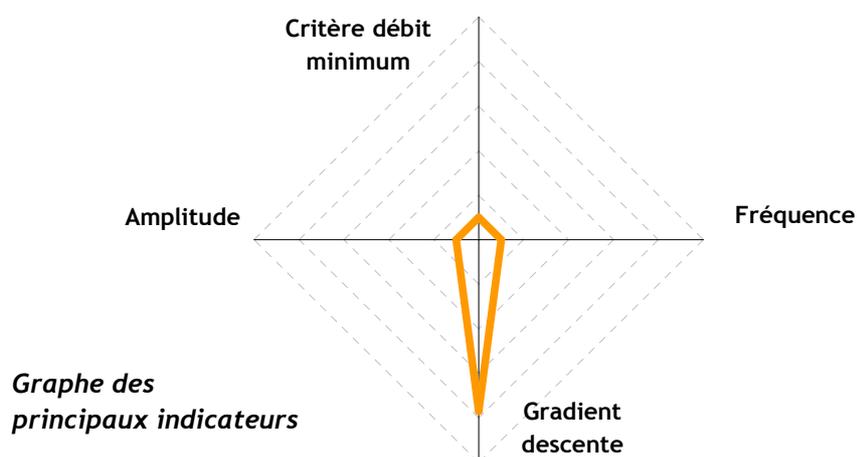
Cependant, la connaissance des gradients de hauteur en un point de la rivière ne renseigne pas sur le gradient 100 m plus à l'aval, du fait de la modification de la section (élargissement ou rétrécissement). C'est pour cela que nous travaillerons sur la variable débit, plus "conservatrice" de l'information.

Afin de pouvoir comparer des gradients de débit ($\text{m}^3/\text{s}/\text{heure}$) d'une rivière à l'autre, celui-ci a été normalisé par le module du cours d'eau au point considéré. L'hypothèse est faite que le module est un bon indicateur géomorphologique.

$$Q'(t) = \left(\frac{Q(t)}{\text{Module}} \right)$$

Le calcul des gradients s'effectue donc sur la variable Q' ; ils sont appelés gradients normés. Pour chaque station et chaque période considérée, tous les gradients sont calculés et classés, pour la montée et pour la descente. L'indicateur "gradient" retenu est le quantile 10% supérieur de l'échantillon des gradients calculés normés par le module.

La bibliographie a montré que les forts gradients de descente étaient les plus préjudiciables pour le milieu ; c'est pourquoi c'est l'indicateur gradient de descente qui est présenté sur le graphe en toile d'araignée dans les fiches de synthèse. *Sur le graphe, une graduation = 30% du module par heure.*



Un gradient de descente élevé augmente les risques de piégeage et d'échouage. Sur le graphe ci-dessus, l'intensité de la variation correspond à 110% du module en une heure. Leur correspondance hydraulique en vitesses de variations de hauteurs, de vitesses du courant ou de largeurs mouillées perturbe fortement les usages. Ce paramètre est le plus sensible à l'amortissement.

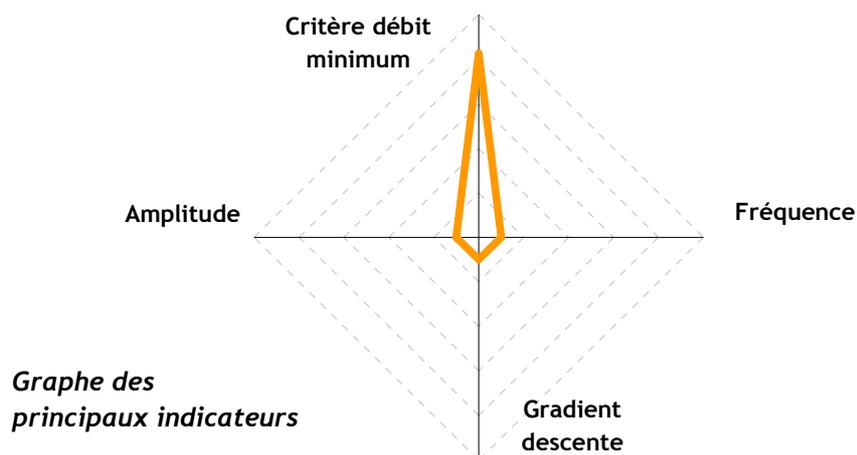
④ Critère débit minimum

Cet indicateur rend compte de l'environnement hydraulique qui précède une éclusée, celle-ci ayant un impact moindre lorsque le débit de base est élevé.

Sur la base des événements significatifs (coefficient d'amplitude supérieur à 1,2), les 10% les plus forts, qui déterminent l'amplitude caractéristique (indicateur ①), constituent un échantillon à partir duquel on effectue la moyenne des valeurs de débit minimum

caractéristiques. Ce débit minimum est exprimé en pourcentage du module, afin de pouvoir comparer les cours d'eau entre eux.

La seule difficulté est de l'intégrer dans le graphe en toile d'araignée car, contrairement aux autres indicateurs, une valeur élevée du débit plancher est plutôt le signe d'un moindre impact. Ainsi, pour conserver un indicateur proportionnel à l'impact potentiel des éclusées, on retient l'inverse de la moyenne calculée précédemment. Sur le graphe, les graduations ne sont donc pas linéaire et correspondent à 38% du module, puis en s'éloignant vers l'extérieur du graphe, 19%, puis 12,5%, puis 9,4%, et 7,5%.



Un débit minimum faible (indicateur maximal) se traduit par une grande sensibilité hydraulique du milieu aux moindres fluctuations et avec un impact sur l'habitat aquatique soulevant les mêmes problématiques que celle du débit réservé. Ce paramètre est sensible à l'accroissement des apports du bassin versant.

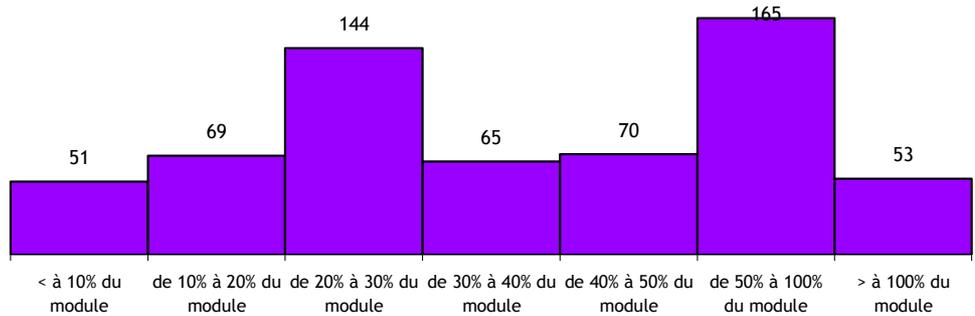
17.3. Fiche d'analyse pour une station particulière

Lot à Entraygues (Roquepailhol) (07701540)
Comptabilisation automatique des "éclusées" et calculs des indicateurs
Module : 106 m³/s **Période : du 1 janvier 2006 au 1 janvier 2007**

MOIS	Débit moyen mensuel (m ³ /s)	Nb de hausses significatives (*)	Nb de hausses significatives par jour	Amplitude moyenne des hausses (m ³ /s)	Amplitude maximale des hausses (m ³ /s)	Débit minimum observé (m ³ /s)	Temps de montée / temps de descente
Janvier	70,8	80	2,6	52,9	226,7	9,7	1,19
Février	148,4	45	1,6	70,2	235,0	12,9	1,67
Mars	184,8	43	1,4	90,4	266,0	40,3	1,58
Avril	136,9	56	1,9	59,2	176,0	10,6	1,01
Mai	36,6	72	2,3	40,5	137,6	8,2	0,56
Juin	24,4	33	1,1	30,8	98,4	7,4	0,78
Juillet	34,7	29	0,9	25,7	73,1	9,3	0,71
Août	14,5	15	0,5	14,0	41,9	10,2	0,63
Septembre	16,7	29	1,0	17,7	36,7	11,2	0,66
Octobre	32,4	67	2,2	34,4	96,1	10,8	0,58
Novembre	48,2	75	2,5	49,3	182,0	9,1	0,51
Décembre	63,8	73	2,4	56,7	150,2	9,1	0,57
Année	67,1	617	1,69	48,8	266,0	7,4	0,797

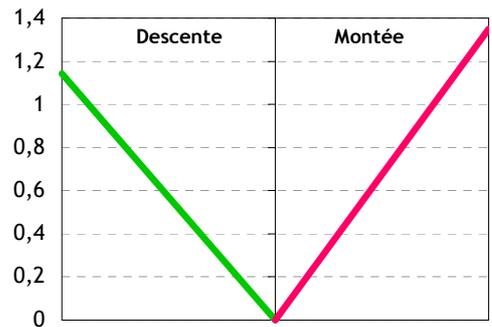
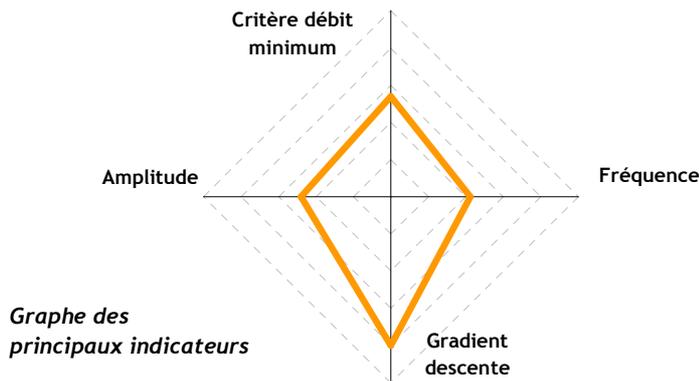
(*) hausse significative = variation de débit entre un minimum et maximum consécutifs, supérieure à 20%

Jour	Nb de hausses
lundi	77
mardi	98
mercredi	117
jeudi	96
vendredi	89
samedi	83
dimanche	57

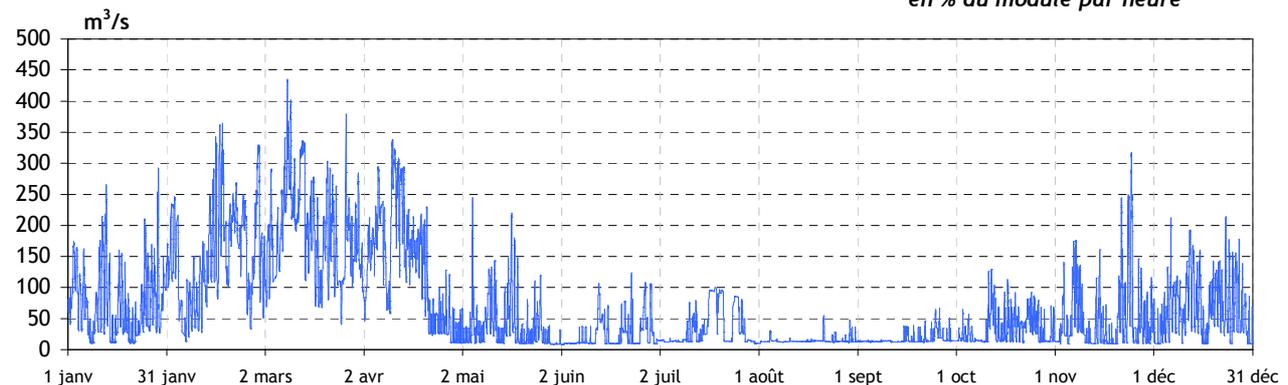


Indice d'instabilité
2,52

Répartition des hausses de débit classées par leur amplitude

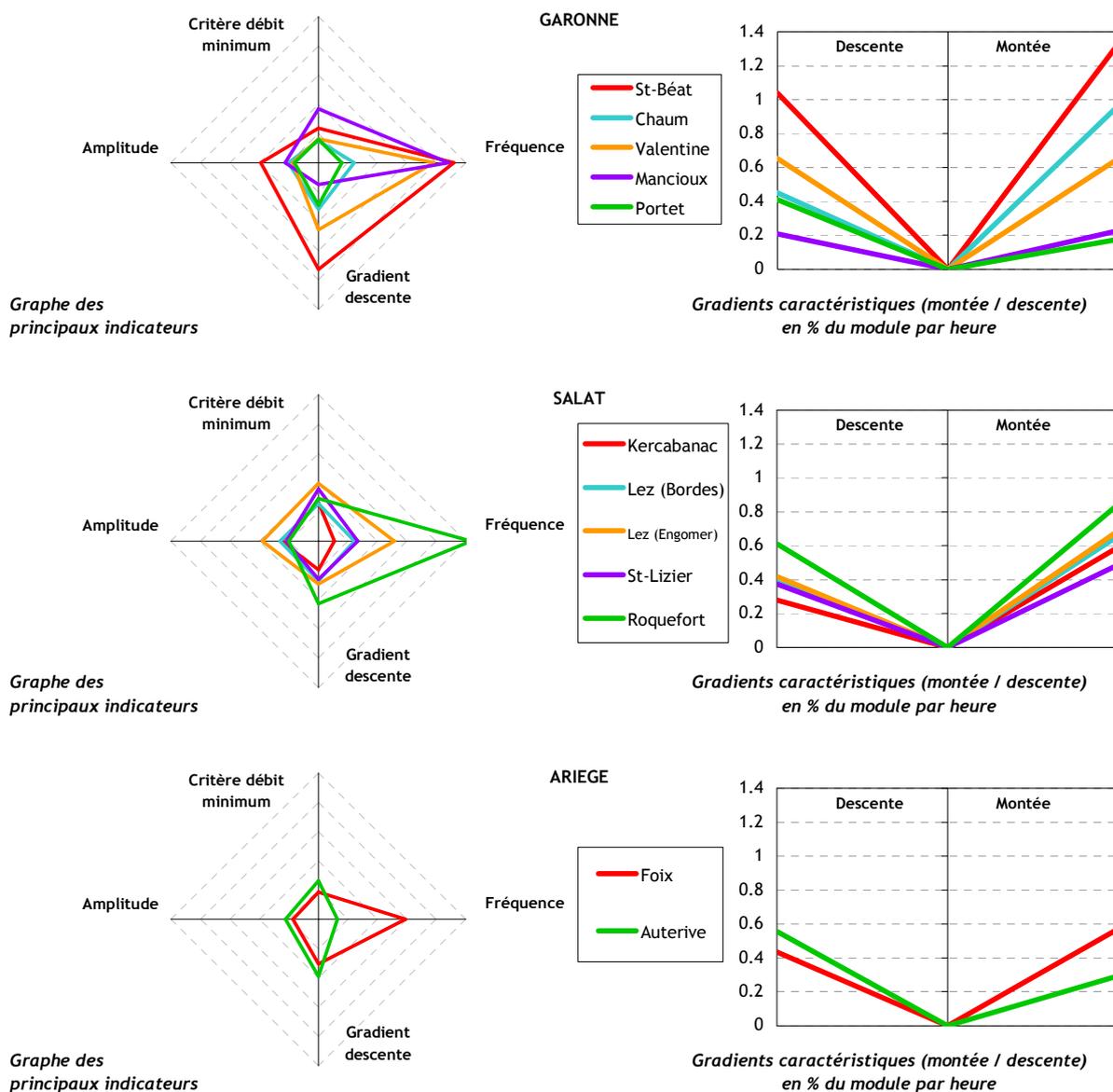


Gradients caractéristiques (montée / descente) en % du module par heure



17.4. Représentation de l'évolution des descripteurs sur un même axe hydrographique

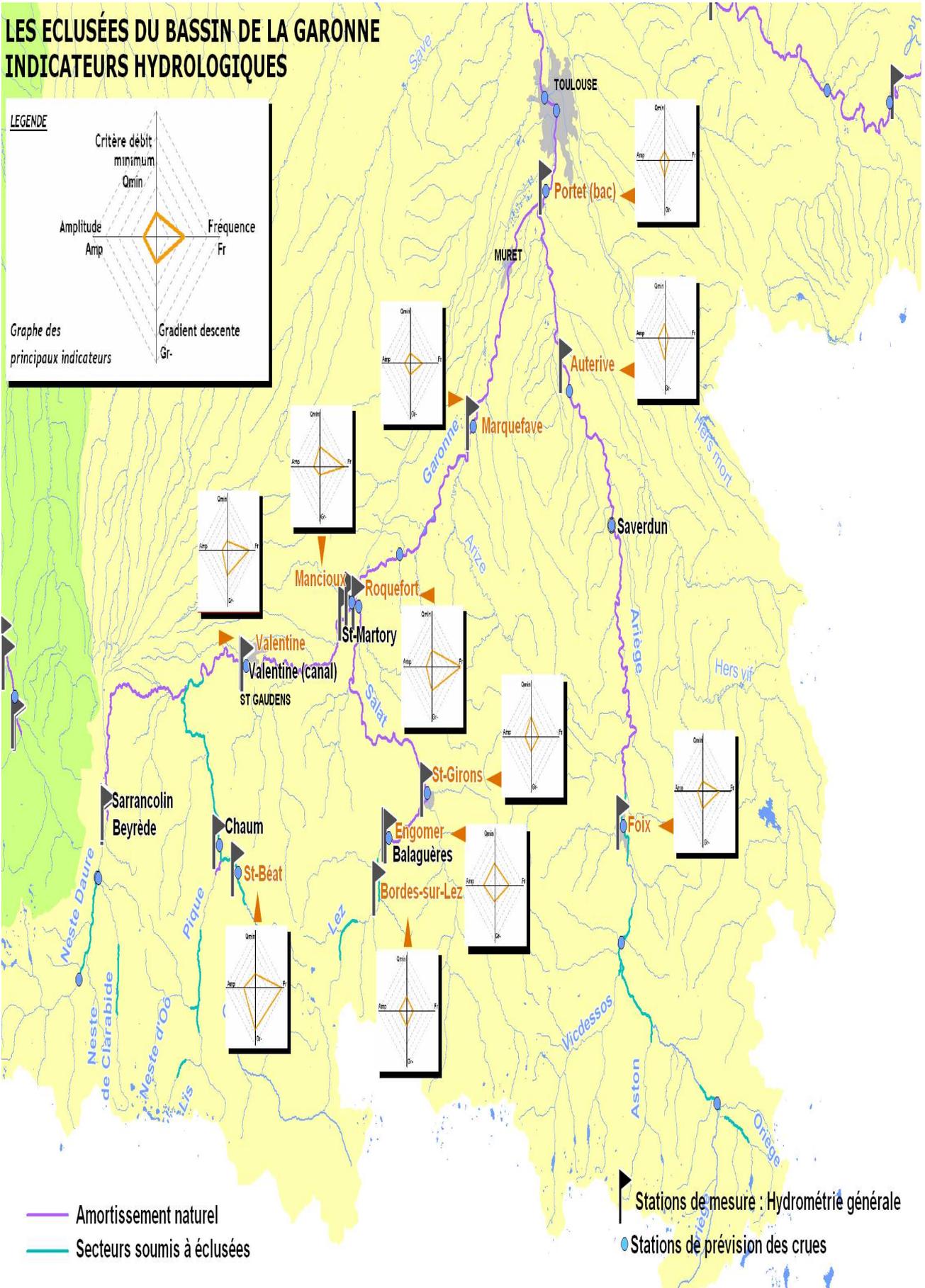
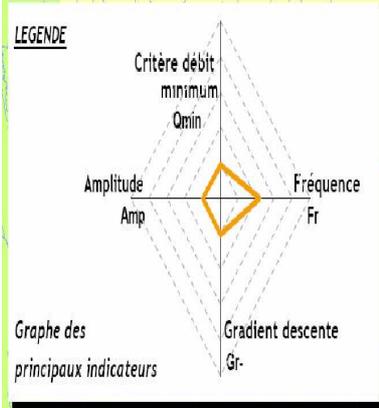
Les exemples ci-dessous sont extraits de l'étude des stations hydrométriques du bassin amont de la Garonne. Ce bassin est globalement dominé par des phénomènes à haute fréquence. L'évolution des indices fait apparaître les effets de l'amortissement (Garonne), de la démodulation (Ariège), de l'amplification (Salat).



17.5. Représentation cartographique

Les indicateurs paraissent suffisamment lisibles pour faire apparaître les principales zones d'enjeu à grande échelle.

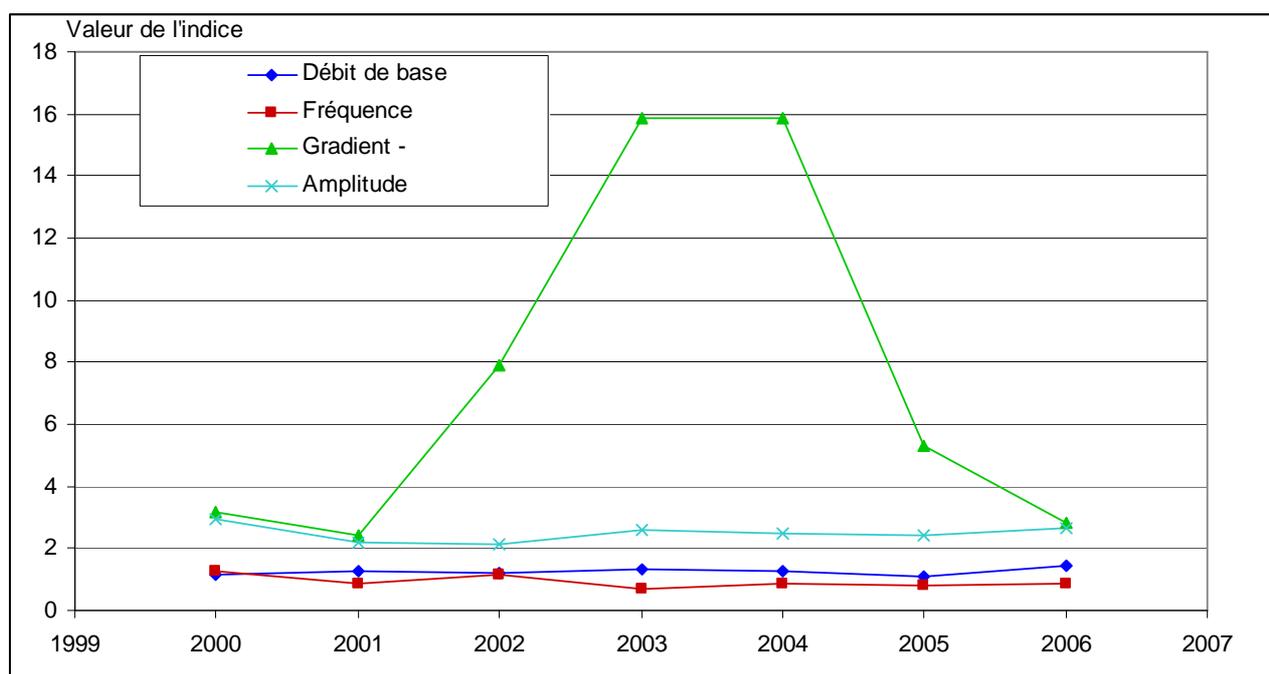
LES ECLUSÉES DU BASSIN DE LA GARONNE INDICATEURS HYDROLOGIQUES



17.6. Evolution interannuelle : l'exemple d'Argentat

Nous avons calculé pour Argentat l'ensemble des indicateurs testés sur la période 2000 à 2006.

	coefficient pondératio	Indice calculé							moyenne
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Débit de base	0.75	1.1	1.3	1.2	1.3	1.3	1.1	1.4	1.3
Fréquence	2.5	1.2	0.9	1.1	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9
Gradient -	7	3.2	2.4	7.9	15.8	15.8	5.3	2.9	7.6
Amplitude	1	3.0	2.2	2.1	2.6	2.5	2.5	2.7	2.5

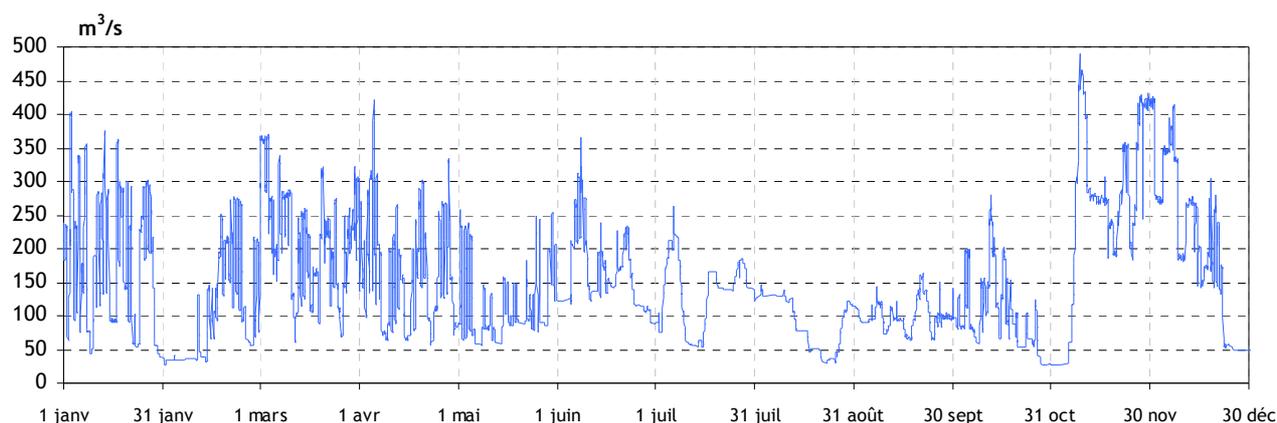


L'amplitude caractéristique (10% des événements) est assez constante avec un ratio de l'ordre de 2,5 entre Qmax et Qbase. Cette valeur relativement modérée au regard des capacités de turbinage des usines (5 fois le module) s'explique par une gestion en palier progressif des montées en débit.

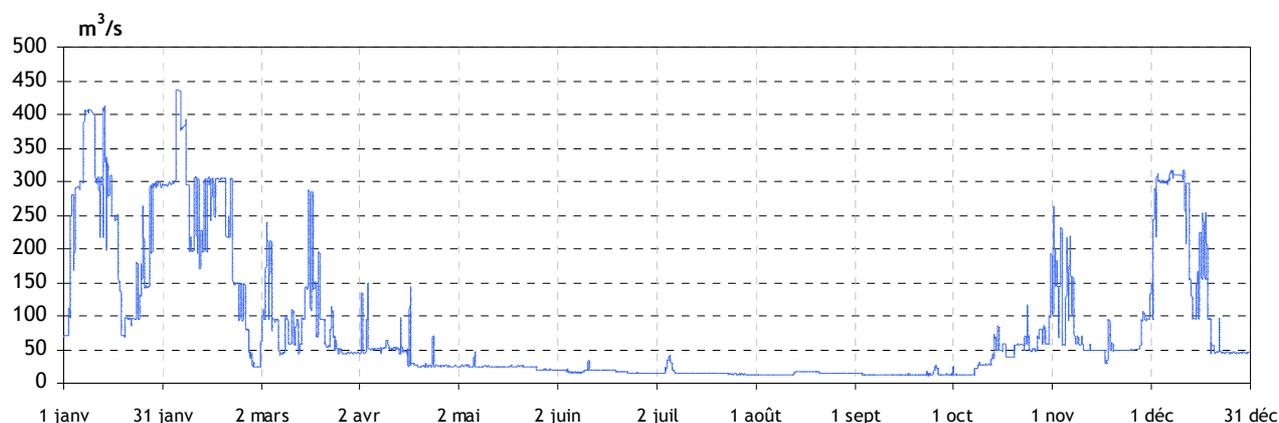
La fréquence qui reste basse, est plus variable et une année comme 2003 qui présente un minimum, est aussi l'une des moins abondantes en apport naturel (gestion parcimonieuse de la ressource).

Les gradients de descente eux sont très variables et très brutaux en 2003 et 2004 alors que l'année 2006 serait plutôt une année de faible gradient.

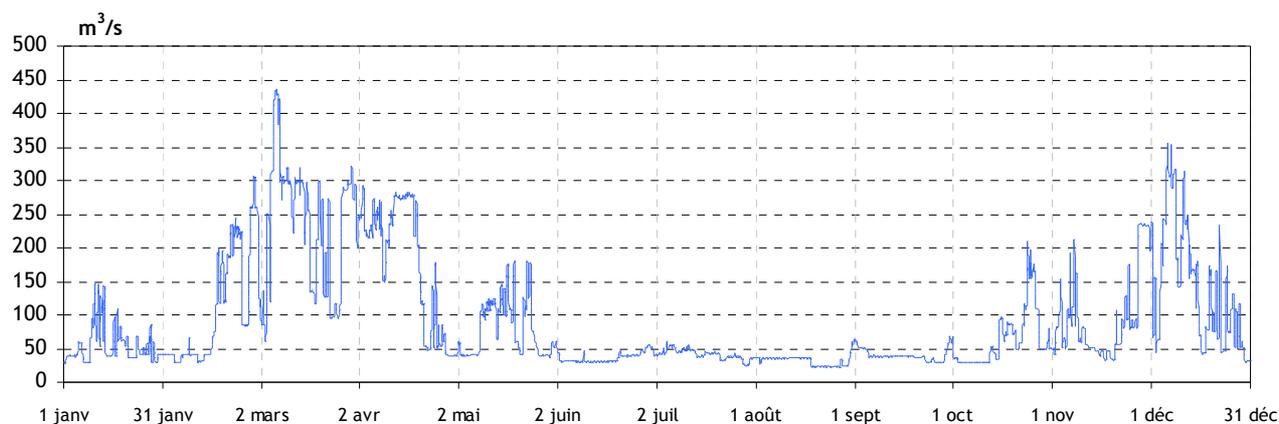
En revanche, les indicateurs de débit minimum qui caractérise le débit de base précédant les éclusées les plus fortes ne permettent pas de mettre en évidence la garantie de débit minimum du défilé éclusée.



Argentat année 2000, beaucoup d'éclusées pour la Dordogne (35% de plus que la moyenne 2000/2006), des amplitudes fortes mais gradients de descente et débit plancher dans la moyenne.



Argentat année 2003, peu d'éclusées, très forts gradients de descente, mais des montées en palier qui réduisent l'amplitude calculée.



Argentat Année 2006, peu d'éclusées, des gradients de descente plus amortis et des montées en palier qui réduisent l'amplitude calculée.

18. CONCLUSION

La recherche d'indicateur a permis de mettre en évidence plusieurs points importants :

- Il n'y a pas de relation simple entre un indicateur et le niveau des incidences attendues. Cela provient tout à la fois de la diversité des comportements hydrauliques sur chacune des stations d'observations.
- Les situations observées sur le bassin sont extrêmement diverses puisque certaines sont marquées par des hautes fréquences, d'autres par de grandes amplitudes absolues ou relatives, d'autres par des gradients brutaux. Ceci conduit à retenir une combinaison d'indicateurs pour rendre compte objectivement des situations hydrauliques.
- La saisonnalité des enjeux pourrait conduire à la définition d'indicateur saisonnier.
- Les variables attachées à chaque ouvrage générateur d'éclusées ne sont que partiellement accessibles. Il s'agit essentiellement d'un débit maximum, d'un débit réservé et parfois de contrainte de prise de charge. Il peut donc être défini des «coefficients d'amplitude et des gradients réglementaires». On constate avec le cas d'Argentat ou de la Cère que les situations réellement observées en aval de ces ouvrages sont souvent différentes de la situation nominale théorique.
- Les représentations proposées ne font pas encore l'objet d'un classement entre situations bonnes et mauvaises par exemple, car le consensus ne peut être obtenu simplement sur le niveau d'impact associé aux indicateurs ou à leur combinaison.
- Certaines stations hydrométriques ne pourront être retenues en raison d'une sensibilité insuffisante génératrice d'artéfact dans l'analyse.

Ce premier travail vise à normaliser les conditions d'analyse des hydrogrammes sur la base d'un minimum d'indicateur ce qui devrait à terme permettre des comparaisons interannuelles et inter-stationnelles. L'outil de calcul automatique à été transmis pour un traitement de données

19. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES MOBILISEES

Type	Auteur	Titre	Année	Source
Article de périodique	A. CHAMPEAU	Les retenues hydroélectriques du Verdon, impact sur la rivière, conséquences du marnage	1982	Bulletin d'écologie
Note technique	F. LAUTERS	La gestion par éclusées des ouvrages hydroélectriques d'électricité de France - enquête auprès des exploitants	1993	EDF Direction des études et recherches
Article de périodique	S. VALENTIN (CEMAGREF)	Effets des éclusées hydroélectriques en rivière : diagnostic hydroécologique et aide à la gestion (ex : la Fontaulière (Ardèche))	1996	Revue : Houille blanche
Etude	Institution Adour Agence de l'Eau EDF	Limitation des effets des éclusées sur le Gave de Pau (Mesure C14 du SDAGE)	2002	AEAG
Fiche	JF MOOR	Indicateurs de Pression (Etat des lieux DCE Cahier des méthodes Adour-Garonne)	2003	AEAG
Etude bibliographique	Office Fédéral de l'Environnement des Forêts et du Paysage (CH)	Conséquences écologiques des éclusées	2003	information concernant la pêche n°75
Retour d'expérience EDF	A.BARILLIER	Point sensible des études d'impact	2006	EDF
Note technique	Christine SABATON	Impact sur le milieu aquatique du fonctionnement par éclusées des ouvrages hydroélectriques - <i>Etat de l'art à EDF - Réflexion sur les orientations de recherche pour les années à venir</i>	2006	EDF
Etude bibliographique	EDF	Etat des connaissances sur l'effet des éclusées sur les écosystèmes	2006	EDF- Direction des études et recherches
Etude	Sylvie VALENTIN	Effets écologiques des éclusées en rivière <i>Expérimentation et synthèse bibliographique</i>	1990 juin	AEAG (Edition CEMAGREF)
Thèse	Sylvie VALENTIN	Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquence sur le peuplement aquatique : effets écologiques des éclusées hydroélectriques en rivière	1995 février	
	F.LAUTERS-C.SABATON S.VALENTIN	Impact sur le milieu aquatique de la gestion par éclusées des usines hydroélectriques	1995 mars	EDF- Direction des études et recherches
Etude	SIEE-ISL	Etude pour l'amélioration des écoulements du Lot en Période d'étiage <i>Fiches descriptives des centrales</i>	1996 juillet	Entente interdépartementale du Lot - DDE Lot - AEAG
	Les ingénieurs écologies	Les méthodes d'évaluation des impacts sur les milieux	1996 novembre	

Type	Auteur	Titre	Année	Source
Etude	SIEE-ISL	Etude pour l'amélioration des écoulements du Lot en Période d'étiage	1997 janvier	Entente interdépartementale du Lot - DDE Lot - AEAG
Thèse	Hervé LIEBIG	Etude du recrutement de la truite commune d'une rivière de moyenne montagne (Ariège) - Effets de la gestion par éclusées d'une centrale hydroélectrique	1998 novembre	AEAG
Etude	AQUASCOP	Sensibilité de l'axe Neste aux éclusées en période critique - Etude pré-diagnostic	1999 juin	AEAG
Etude	SIEE	Sensibilité de l'axe Tarn/Agout aux éclusées	1999 mars	AEAG
Article de périodique	F. SERRE	Une nouvelle turbine bientôt installée sur le barrage de Bort les Orgues ?	1999 décembre	Revue : Truite ombre saumon
Etude	Institution Adour Agence de l'Eau Observatoire de l'eau de l'Adour	Limitation des éclusées -Gave de Pau Gave d'Ossau	2000 avril	AEAG
Etude	Cie Experts et Sapiteurs	Études éclusées des axes Dordogne, Cère, Maronne, Vézère	2000 octobre	E.P.I.DOR
Etude	E.P.I.DOR	Etude sur la sensibilité aux éclusées des milieux aquatiques de la Cère aval	2002 février	E.P.I.DOR
Etude	AEAG	Les éclusées générées par les aménagements hydroélectriques	2002 décembre	AEAG
Etude	JM Lascaux M Chanseau T Lagarrigue F Vandewalle	Effet d'un débit minimum de 3m ³ /s délivré à l'aval de l'usine de Hautefage sur l'exondation des frayères de grands salmonidés de la Maronne	2004 dec	AEAG /MIGADO/ CSP/Région Limousin
Etude	JM Lascaux L Cazeneuve T et M Chanseau	Impacts du fonctionnement par éclusées de l'usine hydroélectrique de Hautefage sur la Maronne : suivi des échouages-piégeages de poissons de 2003 à 2005	2006 mai	AEAG /MIGADO/ ECOGEA
Note de présentation et d'utilisation	Conseil Supérieur de la Pêche Protection des milieux aquatiques J. Belliard et N. Roset	L'indice poissons rivière (IPR)	2006 avril	Conseil Supérieur de la Pêche Protection des milieux aquatiques
Etude	D Courret - P Larinier JM Lascaux M Chanseau M Larinier	Etude pour une limitation des effets des éclusées sur la Dordogne aval de l'aménagement du sablier pour le saumon atlantique	2006 juillet	AEAG MIGADO CEMAGREF CSP

Type	Auteur	Titre	Année	Source
Etude	L Cazeneuve - Y Borry - JM Lascaux	Impact du fonctionnement par éclusées de l'usine hydroélectrique du sablier sur la Dordogne : suivi des echouages-piegeage de poissons	2006 juillet	AEAG
Dossier de synthèse technique	V. Rebillard	Détermination et mise en place de régime réservés pour les cours d'eau	2006 janvier	Cemagref
Dossier de synthèse technique	Appuyé sur les travaux de Richter et al.	Indicators of Hydrologic alteration	2007 mars	The Nature Conservancy,

20. ANNEXE

Définition du concept d'indicateur

Voici quelques définitions globalement assez redondantes, du concept d'indicateur :

Selon :

OCDE (1993) : « ... une variable ou une valeur calculée à partir de variables, donnant des indications sur ou décrivant l'état d'un phénomène, de l'environnement ou d'une zone géographique, d'une portée supérieure aux informations directement liées à la valeur de la variable. ».

l'EPA (1972) : « ... une statistique ou une mesure qui facilite l'interprétation et l'évaluation de l'état d'un élément du monde ou de la société par rapport à une norme, un état de référence ou à un but ». Environmental Protection Agency.

© 2002 GeoTraceAgri / IST Project 2001-34281 : "Un indicateur est une variable ayant pour objet de mesurer ou d'apprécier un état ou une évolution. Un indicateur doit être une information simple (facilement compréhensible) qui peut-être quantifiée de manière claire, reproductible et rapide et doit synthétiser des phénomènes complexes à différentes échelles (parcelles, exploitation agricole, région, etc....)".

« Les indicateurs sont des variables [...] qui fournissent des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès [...]. Les indicateurs servent de repère pour prendre une décision... » (GRAS et Al., 1989).

« Ils fournissent des informations au sujet d'un système complexe en vue de faciliter sa compréhension [...] aux utilisateurs de sorte qu'ils puissent prendre des décisions appropriées qui mènent à la réalisation des objectifs » (MITCHELL et Al., 1995).

Caractéristiques et critères de sélection d'un indicateur (Maurizi et Verrel, 2002, d'après L'IFEN)

Les critères de sélection (qualités intrinsèques & faisabilité) sont énumérés dans la liste ci-dessous :

- Qualité des données :
 - validité scientifique (bases théoriques saines) ;
 - validité statistique (précision, fiabilité, robustesse) ;
- Eléments de faisabilité :
 - disponibilité (données accessibles et reproductives) ;
 - coût des données (acquisition et traitement des données) ;
- Pertinence vis à vis du sujet (répondre effectivement à l'objectif visé) :
 - représentativité spatiale (couverture géographique) ;
 - représentativité temporelle (sensibilité aux évolutions structurelles) ;

- Pertinence vis à vis des acteurs (répondre aux attentes des utilisateurs) :
 - pour les décideurs, utilisateurs :
 - définition d'un objectif quantifié ou existence d'une valeur de référence ;
 - possibilité de comparaison entre unités d'action ;
 - possibilités d'utilisation dans le cadre de scénarios prospectifs ;
 - pour le public :
 - simplicité ;
 - lisibilité c'est-à-dire compréhension immédiate par le lecteur ;
 - correspondance avec les centres d'intérêt du public.

De l'ensemble de ces définitions la conclusion suivante nous semble résumer au mieux le projet et les difficultés de l'exercice :

"Un bon indicateur doit être sensible aux changements attendus, être fondé sur des données fiables et facilement accessibles et être compris et accepté par ses utilisateurs. Un indicateur correspond à une vision synthétique du système. Il permet de simplifier l'information. C'est un **compromis entre les résultats scientifiques et la demande d'information concise.**"