



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

**ETUDE POUR LA DEFINITION D'INDICATEURS POUR LA CARACTERISATION
DES ECLUSEES HYDROELECTRIQUES
APPLICATION AU BASSIN ADOUR-GARONNE**

**MISE AU POINT D'UNE METHODE D'ANALYSE DES HYDROGRAMMES ET
PROPOSITION D'UN INDICATEUR SYNTHETIQUE**

JANVIER 2008

COURRET D. ET LARINIER M.

RAPPORT GHAAPPE RA. 07. 09



**Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles
et à la Protection de l'Environnement**

SYNTHESE

1. L'agence de l'eau Adour-Garonne a lancé en 2007 une étude pour la **définition d'indicateurs synthétiques et opérationnels pour la caractérisation des éclusées** sur les cours d'eau du bassin. Ces indicateurs doivent pouvoir être mis en œuvre « en routine » au niveau des stations hydrométriques, notamment celles de la banque HYDRO. Dans l'état actuel des connaissances, il est clair qu'il ne s'agit pas d'évaluer directement l'impact d'une gestion par éclusée, mais plutôt d'évaluer dans un premier temps la perturbation hydrologique induite et l'aléa que cette gestion fait peser sur l'hydrosystème et ses usages en aval. Cette problématique a fait l'objet d'un premier travail et d'un rapport réalisé par le bureau d'étude Eaucéa (2007) dans le cadre de la mission technique commune EDF – Agence, avec un comité de pilotage associant la DIREN de bassin, la DRIRE, l'ONEMA, le GHAAPPE, EDF et l'Agence. Ce travail a permis de réaliser un premier état des lieux de l'existant et d'identifier une série d'indicateurs hydrologiques pertinents. Le GHAAPPE a proposé au comité de pilotage d'approfondir cette première approche, afin de lever les principales difficultés identifiées et d'améliorer les outils d'analyse.

2. Cette étude a tout d'abord permis de proposer une méthodologie permettant de discriminer les crues des perturbations hydrologiques induites par les éclusées, et par conséquent les stations à hydrologie naturelle ou peu perturbée et celles soumises à un régime d'éclusées. Cette distinction éclusées-crues paraît en effet indispensable pour la caractérisation des éclusées et la définition d'indicateurs crédibles. La méthodologie d'extraction des éclusées proposée, automatisée, ne se base que sur le module du cours d'eau, la connaissance des débits d'équipement des usines en amont pouvant également s'avérer utile. Elle est adaptée à une mise en œuvre « en routine » pour la production d'indicateurs.

Cette méthodologie pourra être affinée, en particulier vis-à-vis de la sélection des éclusées et avec la possibilité d'agrèger les hausses ou les baisses d'éclusées successives. Cette possibilité serait en particulier utile dans le cas de stations situées à l'aval de centrales avec un fonctionnement par éclusées « en tiroirs », comme sur la Dordogne. Toute amélioration dans la sélection des éclusées sera profitable à la qualité des indicateurs produits et des diagnostics établis par la suite.

3. Chaque perturbation hydrologique ayant pour origine une éclusée a été caractérisée par un certain nombre de descripteurs : débit de base, amplitude, débit maximum, gradient, rapport débit maximum sur débit de base, amplitude rapportée au débit de base. Sur une période donnée, les régimes d'éclusées peuvent être caractérisés par le nombre de hausses ou de baisses d'éclusées, et par des paramètres statistiques (minimum, moyenne, maximum, médiane, quantiles...) de la distribution des valeurs des différents descripteurs.

4. Un indicateur donnant une vision synthétique du niveau de perturbation hydrologique a été proposé à partir de l'analyse des hausses d'éclusées. Les stations à l'hydrologie perturbée par les éclusées ont été classées *a priori* par expertise selon cinq niveaux de perturbation hydrologique (sensible, marquée, très marquée, sévère et très sévère). Une analyse discriminante portant sur 4 descripteurs (nombre d'éclusées, valeur du débit de base non dépassée par 10% des hausses, valeurs d'amplitude et de gradient non dépassées par 90% des hausses) permet de reclasser correctement 102 données sur 109, soit plus de 93% de l'échantillon. Ces résultats montrent (1) que les paramètres pris en compte permettent de reproduire correctement les classements établis par expertise, et (2) que l'analyse discriminante est une méthodologie adaptée à la production d'un indicateur synthétique du niveau de perturbation hydrologique sous forme de classes.

5. Les exemples de mises en œuvre de l'indicateur proposé ont montré que celui-ci s'avère sensible aux changements de gestion des centrales et permet d'apprécier les évolutions temporelles et spatiales des régimes d'éclusées, en particulier leur amortissement vers l'aval, au travers de changements de classe ou d'évolutions du score de l'analyse discriminante.

6. La présente étude se poursuivra dans le cadre d'un stage de Master le premier semestre 2008. On cherchera à améliorer la sélection et la représentation des régimes d'éclusées, notamment en prenant en compte les baisses d'éclusées. Le jeu de données sera enrichi en incluant en particulier des stations situées sur d'autres bassins, pour prendre en compte un maximum de situations et s'assurer de la pertinence de l'indicateur dans un maximum de cas. Dans cette perspective de poursuite de la présente étude, il serait indispensable de connaître, pour chaque station hydrométrique étudiée, de façon exhaustive les différents aménagements situés en amont avec leurs caractéristiques (localisation de l'usine « source » des éclusées, débit d'équipement, débit réservé...). Cela permettrait d'améliorer la fiabilité de la méthodologie de sélection des éclusées et la qualité de ou des indicateurs produits.

7. On rappelle que le classement effectué ne correspond pas à une évaluation de l'impact biologique du régime d'éclusées, mais uniquement à une appréciation *a priori* d'un niveau de perturbation hydrologique induit. Il ne s'agit en aucune façon d'un niveau de perturbation biologique. Le lien entre les niveaux d'impact hydrologique et biologique est complexe et va dépendre en particulier de la morphologie du cours d'eau, et des stades biologiques concernés. Une même perturbation hydrologique peut ainsi se traduire par des niveaux d'impact biologique très différents. Une éclusée isolée intervenant à une phase clé des cycles de développement des poissons ou des invertébrés peut induire un impact biologique fort alors qu'elle n'influencera que peu les paramètres statistiques pris en compte pour le classement par analyse discriminante. C'est par exemple le cas de la Dordogne en 2006 où un impact biologique fort a été constaté avec un échouage-piégeage important de poissons lors de la baisse de débit d'environ 280 à 50 m³/s réalisée par palier entre le 16 et le 22 avril pendant la période d'émergence (suivi ECOGEA pour MIGADO).

SOMMAIRE

1.	Introduction	1
2.	Méthodologie de repérage des événements liés aux éclusées	2
2.1.	Définition d'une éclusée et caractérisation	2
2.2.	Principe de la méthodologie de sélection des éclusées.....	3
2.2.1.	Identification et caractérisation des événements significatifs de hausse et de baisse de débit4	
2.2.2.	Sélection des éclusées	5
2.3.	Fixation des valeur-seuils sur l'amplitude et le gradient.....	6
2.4.	Récapitulatif sur la sélection des éclusées et commentaires vis-à-vis de la production d'indicateurs	9
3.	Les régimes d'éclusées et leurs descripteurs	10
3.1.	Variabilité des régimes d'éclusées	10
3.2.	Illustrations de différents régimes d'éclusées.....	10
3.3.	Descripteurs des régimes d'éclusées.....	20
4.	Proposition d'un indicateur synthétique du niveau de perturbation hydrologique due au régime d'éclusées	21
4.1.	Principe de l'indicateur synthétique	21
4.2.	Classe de niveaux de perturbation hydrologique	21
4.3.	Reclassement automatique du niveau de perturbation par analyse discriminante...	22
4.4.	Score de l'analyse discriminante	23
4.5.	Caractéristiques des différentes classes de perturbation.....	24
4.6.	Exemple de mise en œuvre de l'indicateur	27
4.6.1.	La Maronne à Basteyroux de 1989 à 2006	27
4.6.2.	La Dordogne à Argentat de 1989 à 2006	28
4.6.3.	La Garonne de Saint-Béat à Valentine de 2004 à 2006	29
4.6.4.	La Dordogne d'Argentat à Cénac en 2006.....	32
5.	Conclusions, discussions et perspectives	33
6.	Bibliographie	34
7.	Annexe 1 : Graphiques présentant le nombre d'événements sélectionnés en fonction du couple de valeur-seuil considéré.....	35
8.	Annexe 2 : Caractéristiques des événements identifiés dans les chroniques des stations à l'hydrologie naturelle	42
9.	Annexe 3 : Tableau récapitulatif du classement évaluée a priori des stations et du reclassement donné par l'analyse discriminante.....	50
10.	Annexe 4 : Diagrammes en bulle des hausses d'éclusées pour plusieurs stations de chaque niveau de perturbation	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Extrait du lundi 1 ^{er} au mercredi 31 janvier 2006 de la chronique de débit à la station de Basteyroux sur la Maronne en aval de l'usine hydroélectrique de Hautefage.	2
Figure 2 : Caractérisation d'une éclusée.	3
Figure 3 : Illustration d'un fonctionnement par éclusées « en tiroir » ; chronique de débit du 1 ^{er} au 14 mars 2003 à Argentat sur la Dordogne.....	3
Figure 4 : Vue partielle du fichier de traitement des chroniques de débit : données brutes, données secondaires, analyse des variations élémentaires et analyse des événements de hausse.....	4
Figure 5 : Description d'une hausse de débit en QTVAR et caractérisation d'un événement de hausse.	5
Figure 6 : Nombre d'événements sélectionnés selon le couple de valeur-seuil considéré.	7
Figure 7 : Valeur du gradient minimal à adopter en fonction du module du cours d'eau.	9
Figure 8 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Basteyroux sur la Maronne en 1989.	11
Figure 9 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 1989 à la station de Basteyroux sur la Maronne.....	11
Figure 10 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Saint-Béat sur la Garonne.	12
Figure 11 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station de Saint-Béat sur la Garonne.	12
Figure 12 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Entraygues sur le Lot en 2006.	13
Figure 13 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station d'Entraygues sur le Lot.....	13
Figure 14 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Saint-Sauves sur la Dordogne en 2006.	14
Figure 15 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station de Saint-Sauves sur la Dordogne.	14
Figure 16 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Argentat sur la Dordogne en 1991.	15
Figure 17 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 1991 à la station d'Argentat sur la Dordogne.....	15
Figure 18 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Uzerche sur la Vézère en 2006.....	16
Figure 19 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station d'Uzerche sur la Vézère.	16
Figure 20 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Cénac sur la Dordogne en 2006.	17
Figure 21 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station de Cénac sur la Dordogne.....	17
Figure 22 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Oloron sur le Gave d'Oloron en 2006.	18
Figure 23 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station d'Oloron sur le Gave d'Oloron.	18
Figure 24 : Chronique de débit à la station à l'hydrologie naturelle de Corrèze sur la Corrèze en 2006.	19
Figure 25 : Chronique de débit à la station à l'hydrologie naturelle de Saint-Etienne sur la Nive des Aldudes en 2006.....	19
Figure 26 : Illustration du principe de classement avec l'exemple de la station de Bretenoux sur la Cère de 1996 à 2006.....	23
Figure 27 : Tableau de classement de l'analyse discriminante.....	23
Figure 28 : Score de l'analyse discriminante selon les classes.	24
Figure 29 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 5.	24
Figure 30 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 4.	25
Figure 31 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 3.	25
Figure 32 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 2.	26
Figure 33 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 1.	26
Figure 34 : Niveau de perturbation hydrologique et évolution du score maximum de l'analyse discriminante à Basteyroux sur la Maronne de 1989 à 2006.	27
Figure 35 : Evolutions du nombre de hausses d'éclusées, de leurs débits de base, amplitudes et gradients, de 1989 à 2006 à la station de Basteyroux sur la Maronne.....	28
Figure 36 : Niveau de perturbation hydrologique et évolution du score maximum de l'analyse discriminante à Argentat sur la Dordogne de 1989 à 2006.....	29

Figure 37 : Evolutions du nombre de hausses d'éclusées, de leurs débits de base, amplitudes et gradients, de 1989 à 2006 à la station d'Argentat sur la Dordogne.....	29
Figure 38 : Niveau de perturbation hydrologique et score de l'analyse discriminante aux stations de Saint-Béat, Chaum et Valentine sur la Garonne de 2004 à 2006.....	30
Figure 39 : Evolutions des débits de base, des amplitudes et des gradients des hausses d'éclusées, de l'amont vers l'aval, à Saint-Béat, Chaum et Valentine sur l'axe Garonne en 2006.....	30
Figure 40 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 aux stations de Saint-Béat, Chaum et Valentine sur la Garonne.....	31
Figure 41 : Niveau de perturbation hydrologique et score de l'analyse discriminante aux différentes stations de l'axe Dordogne de 2003 à 2006.....	32
Figure 42 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de l'Hers vif au Peyrat (2006).....	43
Figure 43 : Chronique de débit de l'Hers Vif au Peyrat du 31 août au 7 septembre 2006 illustrant une légère influence anthropique à faible débit.....	43
Figure 44 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit du Lot à Mende (2006).....	44
Figure 45 : Chronique de débit de la Corrèze à Corrèze du 17 au 22 janvier 2005 illustrant les variations de débit non naturelles de faible amplitude et fort gradient.....	45
Figure 46 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de la Corrèze à Corrèze en 2006.....	46
Figure 47 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de la Nive des Aldudes à Saint-Etienne en 2006.....	47
Figure 48 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de la Nive à Cambo (2000-2005).....	48
Figure 49 : Chronique de débit du Tarn à Millau du 2 au 7 août 2006 illustrant les variations de faible amplitude et fort gradient d'origine anthropique.....	48
Figure 50 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit du Tarn à Millau (2002-2006).....	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques d'usines EDF générant des éclusées sur les cours d'eau du bassin Adour-Garonne (tableau non exhaustif, source : Lauters 1995).....	6
Tableau 2 : Stations analysées pour la fixation des valeur-seuils.....	7
Tableau 3 : Qualification du niveau de perturbation hydrologique associée à chaque classe.....	21

1. INTRODUCTION

L'agence de l'eau Adour-Garonne a lancé en 2007 une étude pour la **définition d'indicateurs synthétiques et opérationnels pour la caractérisation des éclusées** sur les cours d'eau du bassin. Ces indicateurs doivent pouvoir être mis en oeuvre « en routine » au niveau des stations hydrométriques, notamment celles de la banque HYDRO. Dans l'état actuel des connaissances, il est clair qu'il ne s'agit pas d'évaluer directement l'impact d'une gestion par éclusée, mais plutôt d'évaluer dans un premier temps la perturbation hydrologique induite et l'aléa que cette gestion fait peser sur l'hydrosystème et ses usages en aval.

Cette étude a fait l'objet d'un rapport de la part du bureau d'étude Eaucéa (2007). Le GHAAPPE a participé au comité de pilotage de cette étude dans le cadre de l'appui technique auprès de l'agence prévu dans la convention d'étude pour l'évaluation et la limitation de l'impact des éclusées hydroélectriques.

Le GHAAPPE présente dans ce rapport une méthode d'analyse qui lève les difficultés soulevées initialement dans le cadre de la première étude réalisée par Eaucéa. En particulier une méthodologie de repérage des événements permettant une discrimination préalable des stations soumises à éclusées ou non est proposée. En effet, l'approche initiale d'Eaucéa ne permet pas cette distinction, car elle repose sur le dénombrement de toutes les variations de débit dont le coefficient d'amplitude (rapport débit maximum sur débit de base) est supérieur à 1.2, sans chercher à déterminer le caractère naturel ou artificiel de l'événement. Le GHAAPPE propose également un indicateur agrégeant les informations données par les différents descripteurs des régimes d'éclusées, avec comme objectif de donner une vision synthétique du niveau de perturbation hydrologique sous forme de classe.

La méthodologie de repérage des événements liés aux éclusées au sein des chroniques hydrologiques est tout d'abord détaillée. Les régimes d'éclusées et leur variabilité sont ensuite illustrés à partir d'exemples. La construction et la calibration de l'indicateur synthétique du niveau de perturbation hydrologique sont abordées. L'indicateur est mis en oeuvre au niveau de plusieurs stations hydrométriques pour tester sa capacité à rendre compte des évolutions temporelles et spatiales des régimes d'éclusées. En dernier lieu, une conclusion – discussion rappelle les principaux points de l'étude.

2. METHODOLOGIE DE REPERAGE DES EVENEMENTS LIES AUX ECLUSEES

L'objectif de cette méthodologie est le repérage automatique au sein des chroniques hydrologiques d'un maximum de variations de débit liées aux éclusées, en incluant un minimum de variations de débit d'origine naturelle. Cette dernière condition paraît en effet indispensable à la fiabilité et à la crédibilité des indicateurs que l'on peut extraire par la suite. Cette méthodologie doit pouvoir dans la mesure du possible s'appliquer à une gamme étendue de cours d'eau (module¹ de quelques m³/s à plusieurs centaines de m³/s).

2.1. Définition d'une éclusée et caractérisation

Les aménagements hydroélectriques dits de lac ou d'éclusées constituent la principale source d'éclusées. Ces éclusées hydroélectriques correspondent aux variations plus ou moins brutales de débit à la hausse ou à la baisse, dues à la mise en route ou à l'arrêt des turbines, entre un débit de base et un débit maximum (Figure 1). Des éclusées généralement de moindre ampleur peuvent parfois être générées par des centrales au fil de l'eau, et de manière plus générale par certaines activités entraînant des variations de débit (parcours d'eau vive notamment).

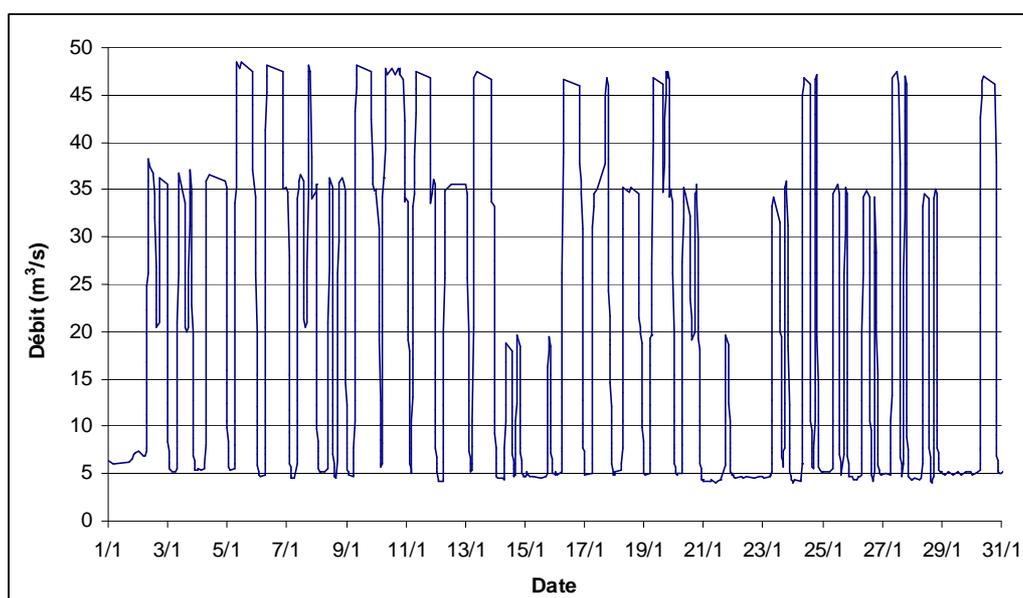


Figure 1 : Extrait du lundi 1^{er} au mercredi 31 janvier 2006 de la chronique de débit à la station de Basteyroux sur la Maronne en aval de l'usine hydroélectrique de Hautefage.

Dans la suite de ce rapport, on parle de 'hausse d'éclusée' et de 'baisse d'éclusée', le terme général 'les éclusées' regroupant ces deux ensembles. Une hausse ou une baisse d'éclusée peut se caractériser par les variables suivantes (Figure 2) :

- Le débit de base Q_{base} et le débit maximum Q_{max} (en m³/s).
- L'amplitude (en m³/s), différence entre le débit maximum et le débit de base : $(Q_{max} - Q_{base})$.
- Le gradient (en m³/s/h), vitesse de variation du débit (pente de l'hydrogramme), égal à l'amplitude divisée par la durée ΔT de la variation de débit : $(Q_{max} - Q_{base}) / \Delta T$.
- Le rapport (adimensionnel) entre le débit maximum et le débit de base : Q_{max} / Q_{base} .
- L'amplitude rapportée au débit de base (adimensionnel) : $(Q_{max} - Q_{base}) / Q_{base}$.

¹ Module : débit moyen annuel.

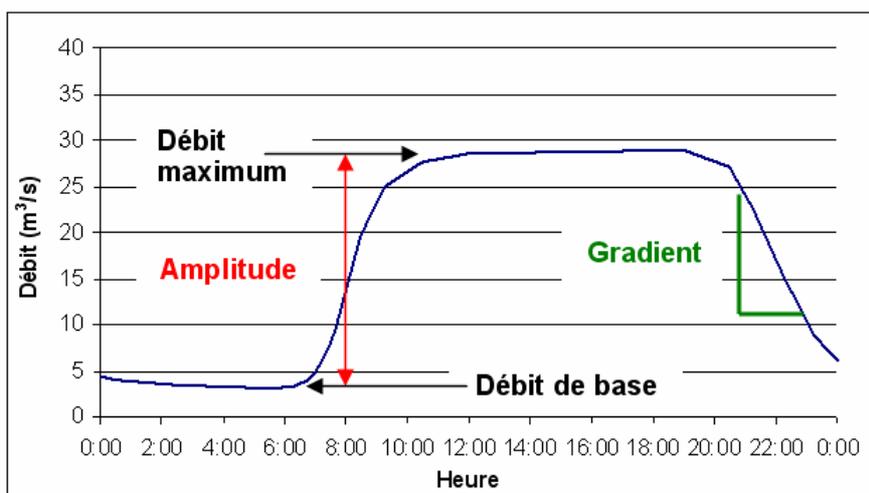


Figure 2 : Caractérisation d'une éclusée.

La durée d'une éclusée (à ne pas confondre avec la durée ΔT d'une hausse ou d'une baisse) peut en première approche être définie comme la durée entre une hausse d'éclusée et la baisse d'éclusée suivante ramenant le débit à une valeur proche du débit de base initial. Cette définition peut s'avérer parfois difficilement applicable lorsque plusieurs hausses ou baisses se succèdent, notamment dans le cas des usines hydroélectriques présentant un fonctionnement par éclusées « en tiroir », comme le Sablier sur la Dordogne (Figure 3 ; Courret et al. 2006). C'est pour cette raison que l'on distingue les hausses d'éclusées et les baisses d'éclusées.

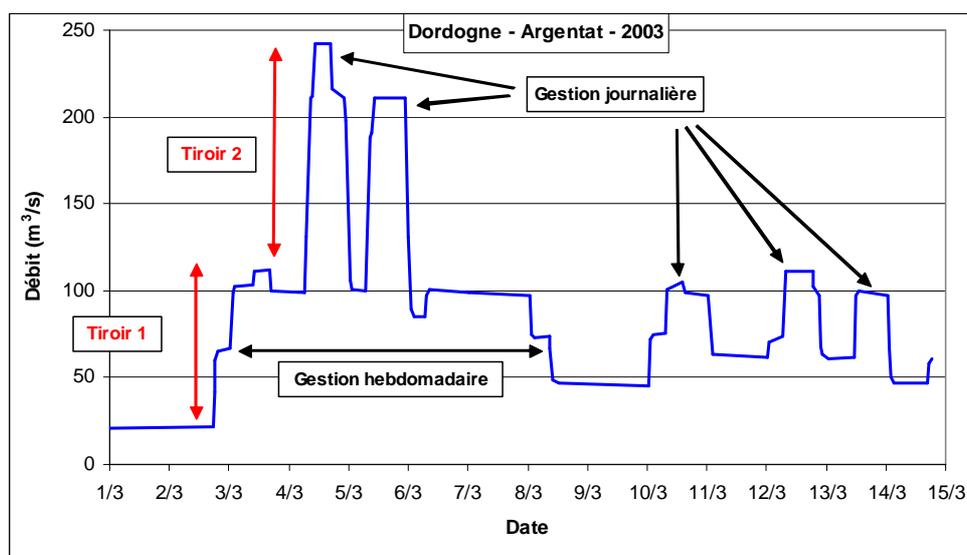


Figure 3 : Illustration d'un fonctionnement par éclusées « en tiroir » ; chronique de débit du 1^{er} au 14 mars 2003 à Argentat sur la Dordogne.

2.2. Principe de la méthodologie de sélection des éclusées

Le traitement porte sur les chroniques de débit à pas de temps variables (QTVAR dans la banque HYDRO) qui sont seules à même de rendre compte correctement des variations de débit liées aux éclusées. Chaque mesure est constituée d'un couple date-débit. Le traitement s'effectue sous Excel ; l'automatisation est réalisée au travers une Macro codée en Visual Basic.

Le traitement des chroniques de débit s'organise en deux étapes : une première étape d'identification et de caractérisation des événements significatifs de hausse et de baisse de débit et une seconde étape de sélection parmi ces événements, visant à ne garder que les variations de débit liées aux éclusées.

2.2.1. Identification et caractérisation des événements significatifs de hausse et de baisse de débit

Dans les chroniques de débits à pas de temps variables (QTVAR), une mesure (couple date-débit) est prise à chaque point d'inflexion de l'hydrogramme de sorte que l'on puisse considérer qu'entre deux mesures le débit varie linéairement. Une crue ou une éclusée est ainsi généralement décrite à l'aide de plusieurs mesures (Figure 5).

Lors de la première étape de la méthode, on identifie et caractérise les événements significatifs de hausses et de baisses de débit, sans préjuger de leur caractère naturel ou artificiel. Pour ce faire, à partir des données brutes (date-débit ; colonne A et B sur la Figure 4), des données secondaires sur les variations élémentaires entre chaque paire de mesures consécutives sont calculées : durée, amplitude et gradient instantané (colonne C, D et E). Dans un premier temps, on identifie les hausses et les baisses de débit significatives parmi les variations élémentaires (colonne F et G respectivement), leur gradient instantané devant être supérieur à une valeur-seuil définie par l'opérateur. Sur l'hydrogramme, cela se traduit par le fait que la droite reliant deux points de mesures doit présenter une pente minimale. Cette valeur-seuil sur le gradient doit être suffisamment faible pour permettre une prise en compte correcte des débuts et des fins d'événements présentant des gradients généralement plus faibles que le « cœur » des événements, dans le souci notamment de bien obtenir leur amplitude totale (Figure 5). **La valeur seuil de 1% du module par heure s'avère généralement satisfaisante.**

Dans un second temps, chaque série continue de variations élémentaires identifiées comme des hausses significatives est regroupée et constitue un événement de hausse (de même pour les baisses) (Figure 5). Chaque événement est caractérisé par les débits et les dates de début et de fin (colonne J à M). L'amplitude totale, le gradient moyen sur l'événement et le rapport entre le débit maximum et le débit de base sont reportés (colonne N, O et P).

Lancer Analyse																
Données brutes		Données secondaires			Analyse des variations élémentaires		Analyse des événements de hausse									
Date et heure	Débit (m ³ /s)	Durée entre deux mesures	Amplitude (m ³ /s)	Gradient ((m ³ /s)/h)	Hausse de débit	Baisse de débit	Début de hausse	Continuité de hausse	Débit avant hausse	Débit après hausse	Date Début	Date Fin	Amplitude totale	Gradient moyen ((m ³ /s)/h)	Rapport global	Hausse d'éclusées
34540.41	3.13	0.020	1.11	2.30	Hausse		1	3	3.13	5.94	34540.41	34540.54	2.81	0.86	1.9	0
34540.43	4.24	0.022	0.57	1.10	Hausse		0									0
34540.45	4.81	0.094	1.13	0.50	Hausse		0									0
34540.54	5.94	0.021	-1.13	-2.26	Baisse		0									0
34540.56	4.81	0.030	-2.26	-3.15	Baisse		0									0
34540.59	2.55	0.015	-0.65	-1.86	Baisse		0									0
34540.61	1.90	0.008	-0.12	-0.65	Baisse		0									0
34540.61	1.76	0.041	-0.30	-0.31	Baisse		0									0
34540.66	1.48	0.021	-0.13	-0.26	Baisse		0									0
34540.68	1.35	0.083	-0.20	-0.10			0									0
34540.76	1.15	0.105	-0.13	-0.05			0									0
34540.86	1.02	0.468	-0.20	-0.02			0									0
34541.33	0.82	0.039	0.73	0.79	Hausse		1	7	0.02	13.30	34541.33	34541.47	12.48	3.02	16.3	1
34541.37	1.65	0.012	0.35	1.17	Hausse		0									0
34541.38	1.90	0.009	0.65	3.00	Hausse		0									0
34541.39	2.55	0.024	2.82	4.98	Hausse		0									0
34541.42	5.37	0.010	2.56	10.97	Hausse		0									0
34541.43	7.93	0.022	3.57	6.91	Hausse		0									0
34541.45	11.50	0.021	1.80	3.60	Hausse		0									0
34541.47	13.30	0.008	-1.10	-5.50	Baisse		0									0
34541.49	13.30	0.022	1.05	2.54	Baisse		0									0

Figure 4 : Vue partielle du fichier de traitement des chroniques de débit : données brutes, données secondaires, analyse des variations élémentaires et analyse des événements de hausse.

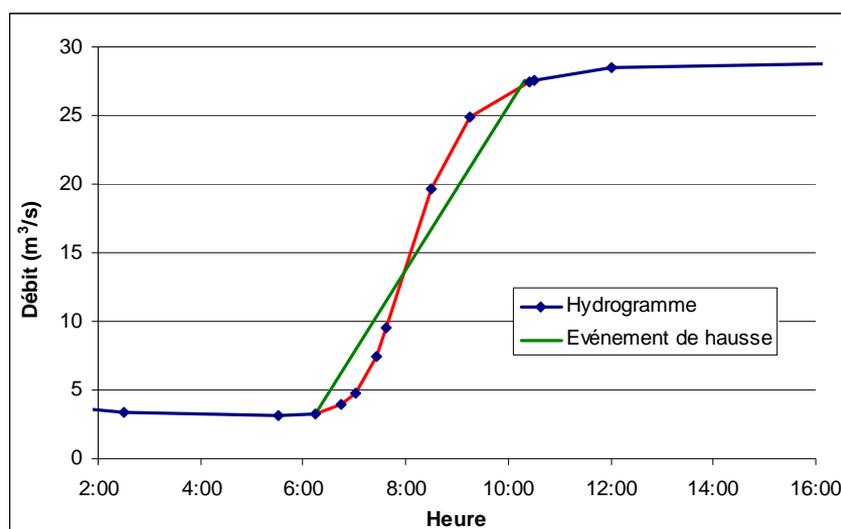


Figure 5 : Description d'une hausse de débit en QTVAR et caractérisation d'un événement de hausse.

2.2.2. Sélection des éclusées

Lors de la seconde étape, on sélectionne parmi les événements de hausse et de baisse identifiés ceux qui sont liés aux éclusées hydroélectriques (colonne Q pour les hausses dans la Figure 4). La sélection est basée à ce jour sur trois variables : **le débit maximum (débit après une hausse ou débit avant une baisse), l'amplitude totale et le gradient moyen.**

Le premier critère de sélection porte sur le débit maximum des événements qui doit être inférieur ou égal à la valeur du débit d'équipement de l'usine en amont générant les éclusées, ou à une valeur légèrement supérieure à ce débit d'équipement pour prendre en compte les éventuels apports intermédiaires. L'usine induisant les éclusées à une station donnée n'est pas forcément la première usine à l'amont. Des éclusées d'usines situées plus en amont, peuvent se répercuter au travers un aménagement en provoquant des déversements au barrage. Les influences de plusieurs usines sont également susceptibles de se cumuler (cas de la Pique recevant les éclusées des usines du Portillon sur le Lys et du Lac d'Oo sur l'One), on peut alors considérer la somme de leur débit d'équipement. La complexité des aménagements hydroélectriques peut parfois rendre difficile la définition du critère sur le débit maximum. Le Tableau 1 présente les caractéristiques de quelques usines EDF générant des éclusées sur les cours d'eau du bassin Adour-Garonne (tableau non exhaustif, source : Lauters 1995). Sur les 20 usines présentées, le rapport module sur débit d'équipement varie d'environ 1.4 à 6.5 pour une moyenne de 2.7. Parmi elles, seules deux usines présentent un rapport supérieur à 3.7 : l'usine du Chastang sur la Dordogne dont les éclusées sont partiellement démodulées par Argentat, et l'usine d'Eylie sur le Lez. Pour les usines d'éclusées les plus en aval (voir Tableau 1) qui ont généralement un rôle de démodulation et dont les éclusées affectent des linéaires souvent importants, le rapport varie de 1.55 à 3.18. Dans le cadre d'une utilisation « en routine » de la méthodologie pour la production d'indicateurs, si le débit d'équipement de l'usine en amont générant les éclusées n'est pas clairement défini, on peut préconiser d'adopter comme débit maximum une valeur de l'ordre de 4 fois le module du cours d'eau, considérant que les quelques cas où le débit d'équipement des centrales est supérieur à cette valeur sont connus. La valeur de débit maximum peut également être déterminée par l'opérateur à partir d'un examen visuel détaillé de la chronique de débit. Cette condition sur le débit maximum des événements vise à exclure les événements correspondant à des pics de crue naturels au delà du débit d'équipement.

Le second critère de sélection porte sur l'amplitude totale et le gradient moyen des événements. L'amplitude totale et le gradient moyen doivent dépasser les valeur-seuils définies de façon à exclure toutes ou presque toutes les variations de débit d'origine naturelle. Les événements sélectionnés au final comme des éclusées présentent donc des couples amplitude – gradient au-delà de la plupart des crues et décrues naturellement possibles dans la gamme de débit considérée (des faibles débits, jusqu'au débit maximum fixé). La fixation de ces valeur-seuils fait l'objet du paragraphe suivant.

Zone	Cours d'eau	Usine	Module (m ³ /s)	Débit d'équipement (m ³ /s)	Débit d'équipement sur Module	Commentaire
Massif central	Vézère	Treignac	7.2	24	3.33	
	Vézère	Le Saillant	22.1	41.5	1.88	Dernière usine d'éclusées sur la Vézère, démodulation des éclusées amont.
	Dordogne	La Bourboule	3	5	1.67	
	Dordogne	Chastang	100	530	5.30	
	Dordogne	Argentat	107	340	3.18	Dernière usine de la chaîne Dordogne, démodulation des éclusées amont.
	Maronne	Hautefage	19.4	46.4	2.39	Dernière usine de la chaîne Maronne
	Cère	Brugale	27.6	52.5	1.90	Dernière usine de la chaîne Cère, démodulation des éclusées amont.
	Lot	Castelnau	26.5	97.2	3.67	
	Lot	Golinhac	37.6	86.2	2.29	Dernière usine d'éclusées sur le Lot.
	Truyère-Lot	Cambeyrac	100	220	2.20	Dernière usine d'éclusées sur la Truyère, restitution dans le Lot, démodulation des éclusées amont.
Pyrénées	Gave d'Aspe	Forges d'Abel	2	4.5	2.25	
	Gave d'Aspe	Esquit	10.5	15	1.43	
	Gave d'Azun	Lau Balagnas	10	20.3	2.03	
	Garonne	Arlos	22	34	1.55	Démodulation des éclusées d'Espagne.
	Le Lys	Portillon	1.5	3.7	2.47	
	L'one	Lac d'Oo	2.5	4.8	1.92	
	Le Lez	Eylie	0.6	3.9	6.50	
	L'Aston	Aston	8	24.2	3.03	
	L'oriège	Orlu	3	11	3.67	
	Ariège	Ferrière	38	70	1.84	Dernière usine d'éclusées sur l'axe Ariège, démodulation des éclusées amont.

Tableau 1 : Caractéristiques d'usines EDF générant des éclusées sur les cours d'eau du bassin Adour-Garonne (tableau non exhaustif, source : Lauters 1995)

2.3. Fixation des valeur-seuils sur l'amplitude et le gradient

La fixation des valeur-seuils sur l'amplitude totale et le gradient moyen des événements est le résultat d'un compromis entre l'exclusion d'un maximum d'événements d'origine naturelle et la sélection d'un maximum d'éclusées. Elle s'appuie sur l'étude des chroniques de débit à pas de temps variable d'une part au niveau de stations à l'hydrologie naturelle ou peu perturbée et d'autre part au niveau de stations soumises à éclusées. Le Tableau 2 présente les stations analysées pour la fixation des valeur-seuils. Trouver des stations hydrométriques non influencées dans le bassin Adour-Garonne est une première difficulté étant donné que de nombreux cours d'eau sont depuis longtemps équipés de centrales fonctionnant par éclusées.

La fixation des valeur-seuils sur l'amplitude et le gradient s'appuie sur les graphiques présentant le nombre d'événements (hausse et baisse) sélectionnés selon le couple de valeur-seuil considéré. L'ensemble des graphiques pour les stations analysées est reporté en Annexe 1 (page 35). La Figure 6 présente à titre d'exemple les graphiques pour une station à l'hydrologie naturelle, le Lot à Mende, et pour une station soumise à éclusées, le Gave d'Oloron à Oloron. Pour éliminer un maximum d'événement identifiés dans les chroniques des stations à l'hydrologie naturelle, on a intérêt à adopter des valeur-seuils aussi élevées que possible alors que pour sélectionner un maximum d'événements identifiés dans les chroniques des stations soumises à éclusées on a intérêt à adopter des valeur-seuils aussi faibles que possible.

Bassin	Cours d'eau	Station	Module (m ³ /s)	Hydrologie	Année analysée
--------	-------------	---------	----------------------------	------------	----------------

Adour	Gave d'Oloron	Oloron	51.6	Soumise à écluses	2006
	Gave de Pau	Saint-Pé	44.9	Soumise à écluses	2006
	Nive des Aldudes	Saint-Etienne	7.2	Naturelle ou peu perturbée	2006
	Nive	Cambo	30.1	Naturelle ou peu perturbée	2000-2005
Garonne	Ariège	Foix	39.9	Soumise à écluses	2006
	Ariège	Auterive	61.2	Soumise à écluses	2006
	Garonne	Saint-Béat	23.6	Soumise à écluses	2006
	Garonne	Valentine	58.2	Soumise à écluses	2006
	Hers vif	Peyrat	4.1	Naturelle ou peu perturbée	2006
	Lot	Mende	4.6	Naturelle ou peu perturbée	2006
	Lot	Entraygues	34.1	Soumise à écluses	2006
	Lot	Cahors	145.0	Soumise à écluses	2006
	Salat	Soueix	16.2	Soumise à écluses	2006
	Salat	Roquefort	42.6	Soumise à écluses	2006
	Tarn	Millau	47.6	Naturelle ou peu perturbée	2002-2006
	Dordogne	Corrèze	Corrèze	5.6	Naturelle ou peu perturbée
Corrèze		Brive	21.2	Soumise à écluses	2002-2006
Dordogne		Argentat	107	Soumise à écluses	2005-2006
Dordogne		Brivezac	132	Soumise à écluses	2005-2006
Dordogne		Souillac	165	Soumise à écluses	2005-2006
Dordogne		Cénac	190	Soumise à écluses	2005-2006
Maronne		Basteyroux	20.3	Soumise à écluses	2006

Tableau 2 : Stations analysées pour la fixation des valeur-seuils.

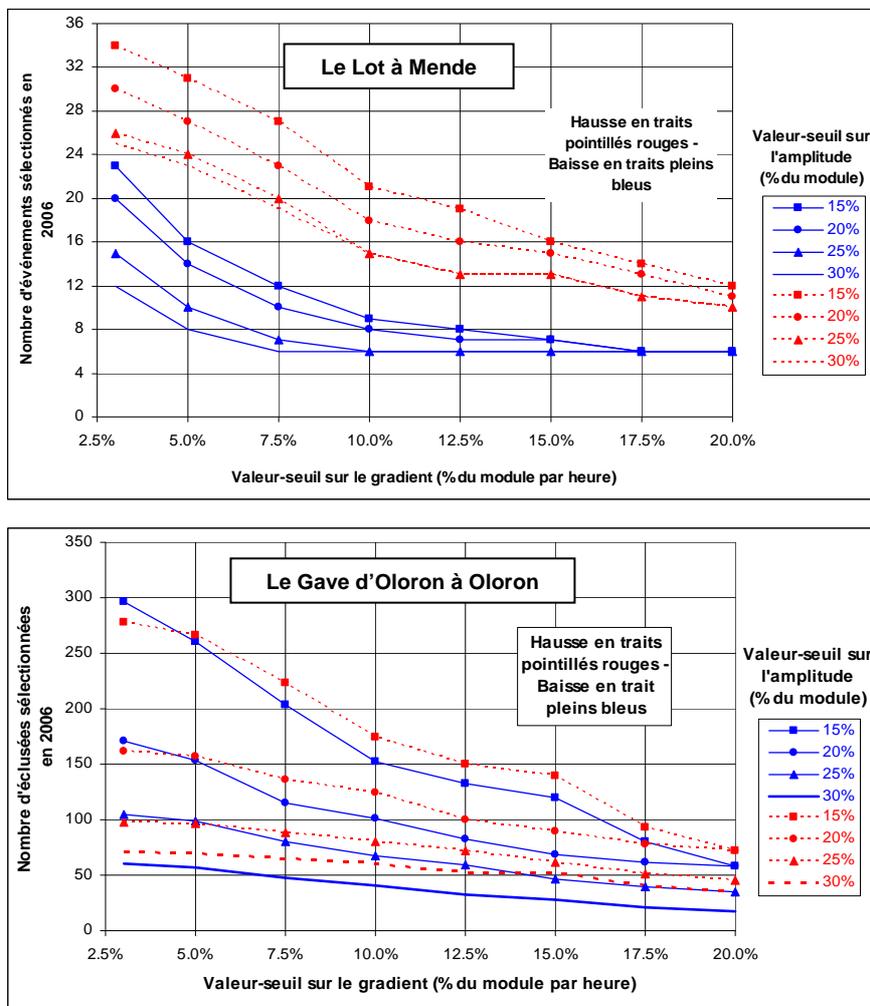


Figure 6 : Nombre d'événements sélectionnés selon le couple de valeur-seuil considéré.

Pour les stations à l'hydrologie naturelle, il ne s'avère pas possible d'exclure tous les événements identifiés, à moins d'adopter des valeur-seuils très élevées (supérieures à 30% du

module voire plus). Les caractéristiques des événements identifiés dans les chroniques des stations à l'hydrologie naturelle ou peu perturbée sont présentées en annexe 2 (page 35). Quelle que soit la station, le nombre d'événements de hausse sélectionnés avec un couple de valeur-seuils donné est supérieur au nombre d'événements de baisse. Cela tient au fait qu'en situation naturelle les décrues se déroulent généralement plus progressivement que les crues et donc présentent des gradients plus faibles. Pour certaines stations (Saint-Etienne, Mende, Corrèze et Cambo), la valeur-seuil sur l'amplitude entre 15% et 30% du module n'a qu'une influence limitée sur le nombre d'événements sélectionnés. Dans le cas de station sans dysfonctionnement du capteur (Saint-Etienne), la condition d'amplitude minimale peut même s'avérer inutile. En revanche, sur les stations à l'hydrologie un peu influencée (Peyrat et Millau), une augmentation de cette valeur-seuil permet de réduire nettement le nombre d'événements sélectionnés, en particulier entre 15% et 20% du module.

Pour les stations situées juste à l'aval de centrales fonctionnant par éclusées (Argentat, Foix, Basteyroux), les nombres d'événements de hausse et de baisse sélectionnés selon le couple de valeur-seuils considéré sont très voisins. Pour ces stations, la sélection des éclusées n'est pas vraiment problématique.

Pour les stations situées plus loin en aval de la « source » des éclusées (notamment Saint-Pé ; Auterive, Brive, Brivezac, Souillac, Cénac), le nombre d'événements de hausse sélectionnés avec un couple de valeur-seuil donné est supérieur au nombre d'événements de baisse. Cela tient au fait que les gradients des baisses diminuent vers l'aval plus rapidement que ceux des hausses. Ce phénomène d'amortissement des gradients oblige, pour sélectionner un maximum d'éclusées, à adopter pour la valeur-seuil sur le gradient un pourcentage du module dégressif au fur et mesure que le module du cours d'eau augmente et que la station se trouve éloignée de la « source » des éclusées (les valeurs en m^3/s restant croissante). Cette démarche n'est pas gênante dans la mesure où les gradients des crues et des décrues naturelles ont également tendance à diminuer vers l'aval au fur et à mesure que le cours d'eau grossit.

Au final, on peut préconiser d'adopter une amplitude minimale de l'ordre de 20% du module. Cette valeur-seuil ne permet pas la prise en compte des micro-éclusées de faible amplitude, comme celles constatées sur l'Hers vif à Peyrat ou sur le Tarn à Millau (voir annexe 2). Par contre, elle permet de s'assurer de l'exclusion de la majorité des événements dus aux dysfonctionnements et imprécisions des capteurs qui peuvent être très nombreux. La Figure 7 présente la valeur du gradient minimal à adopter en fonction du module du cours d'eau que l'on peut préconiser. Cela représente de l'ordre de 10% du module par heure pour un cours d'eau de module égal à $5 m^3/s$, de l'ordre de 5% pour cours d'eau de module égal à $30 m^3/s$, de l'ordre de 4% pour un cours d'eau de module égal à $100 m^3/s$, et de l'ordre de 3% pour un cours d'eau de module égal à $200 m^3/s$. Sur les 6 stations à l'hydrologie naturelle ou peu perturbée étudiées, les valeur-seuils préconisées permettent de limiter le nombre de baisses et de hausses sélectionnées à des valeurs de l'ordre de 20-25 au maximum.

Cette valeur-seuil sur le gradient est à affiner via l'étude d'un ensemble plus conséquent de données au niveau de stations à l'hydrologie naturelle. La caractérisation des gradients des crues et décrues en situation naturelle selon la gamme de débit et la taille du cours d'eau permettrait d'une part de fournir une base d'appréciation des gradients des éclusées (référence naturelle) et d'autre part de préciser la valeur de gradient minimal à adopter.

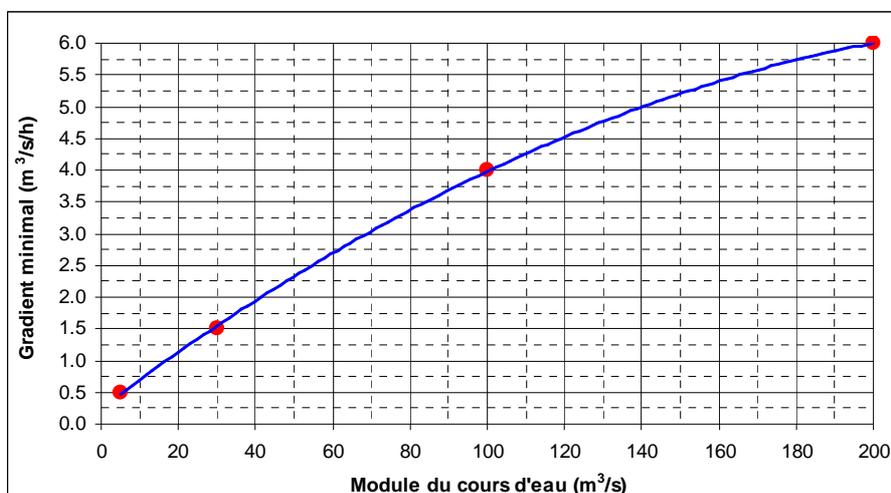


Figure 7 : Valeur du gradient minimal à adopter en fonction du module du cours d'eau.

2.4. Récapitulatif sur la sélection des éclusées et commentaires vis-à-vis de la production d'indicateurs

Le premier critère de sélection des éclusées porte sur le débit maximum qui doit être inférieur au débit d'équipement de l'usine en amont générant les éclusées, ou à une valeur légèrement supérieure pour prendre en compte les éventuels apports intermédiaires. Si le débit d'équipement de l'usine en amont générant les éclusées n'est pas clairement défini, on peut préconiser d'adopter comme débit maximum une valeur de l'ordre de 4 fois le module du cours d'eau. La valeur de débit maximum peut également être déterminée par l'opérateur à partir d'un examen visuel détaillé de la chronique de débit.

Le second critère de sélection porte sur l'amplitude totale et le gradient moyen des événements qui doivent dépasser les valeur-seuils définies en compromis entre l'exclusion d'un maximum d'événements d'origine naturelle et la sélection d'un maximum d'éclusées. Au final, on peut préconiser d'adopter une amplitude minimale de l'ordre de 20% du module et un gradient minimal tel que donné dans la Figure 7, correspondant à des valeurs de l'ordre de 3% à 10% du module par heure selon la valeur du module du cours d'eau. Ces valeur-seuils ne préjugent en rien de l'impact écologique des hausses et des baisses d'éclusées sélectionnées.

La qualité de la sélection des éclusées dépendra toujours de la qualité de la chronique de débit à pas de temps variable (présence ou non d'artefacts notamment).

Le long d'un cours d'eau, à partir d'un aménagement générant des éclusées, le nombre d'éclusées sélectionnées a tendance à diminuer vers l'aval du fait d'une part de l'augmentation du module du cours d'eau, et donc des valeur-seuils, et d'autre part du fait de l'amortissement des éclusées qui peuvent retrouver des caractéristiques proches du naturel, en particulier des gradients inférieurs à la valeur-seuil.

En plus de la chronique de débit à pas de temps variable, la méthodologie de sélection des éclusées ne nécessite que la valeur du module du cours d'eau qui est une donnée facilement accessible (disponible à chaque station de la banque HYDRO) et éventuellement des valeurs de débit d'équipement des centrales en amont. Cette méthodologie est donc adaptée à une utilisation « en routine » pour la production d'indicateurs.

En l'état actuel du fichier de traitement, deux hausses ou deux baisses d'éclusées successives séparées d'un court palier (réel ou artificiel) sont considérées comme deux événements distincts. Ce phénomène a tendance à surestimer le nombre d'éclusées, à en surestimer les débits de base et à en sous-estimer les débits maxima et les amplitudes. Un développement du fichier de traitement reste donc à réaliser pour donner la possibilité d'agréger les hausses ou les baisses consécutives. Ce développement serait en particulier utile dans le cas de stations à l'aval de centrales avec un fonctionnement par éclusées « en tiroirs », comme sur la Dordogne (Figure 3).

3. LES REGIMES D'ECLUSEES ET LEURS DESCRIPTEURS

3.1. Variabilité des régimes d'éclusées

Les caractéristiques d'un régime d'éclusées dépendent du régime hydrologique du cours d'eau et des caractéristiques de l'aménagement hydroélectrique (débit d'équipement, capacité utile de stockage) et de sa gestion. Au niveau d'une centrale, les possibilités de régulation du débit turbiné dépendent du nombre et du type de turbine (Pelton, Francis ou Kaplan). La gestion d'un aménagement est précisée par son règlement d'eau qui fixe notamment les valeurs de débit réservé et parfois des valeurs maximales de gradient. Elle peut également être influencée par des missions annexes de soutien d'étiage ou d'écrêtage des crues. L'ensemble de ces facteurs aboutit à une variabilité importante dans les modes de gestion des aménagements et dans les régimes d'éclusées générés en terme de nombre d'éclusées par an, de débits de base, d'amplitudes, de débits maximaux et de gradients, etc... De plus, la gestion d'un aménagement compose avec la demande énergétique et l'hydrologie naturelle qui sont deux paramètres fluctuants dans le temps. Cela rajoute de la variabilité au sein d'un régime d'éclusées selon les saisons et les années. L'amortissement progressif des éclusées vers l'aval et leur atténuation par les apports intermédiaires engendre une déclinaison vers l'aval des caractéristiques de chaque régime d'éclusées, jusqu'à ce que les éclusées ne soient plus vraiment perceptibles.

3.2. Illustrations de différents régimes d'éclusées

Dans ce paragraphe, on a cherché à illustrer au travers de quelques exemples la variabilité des régimes d'éclusées au niveau de stations hydrométriques.

Les éclusées sont visualisées dans les hydrogrammes et leurs caractéristiques synthétisées sous forme d'un diagramme en bulle avec en abscisse le débit de base et en ordonnée l'amplitude. Chaque bulle correspond à une éclusée, la couleur de la bulle est fonction du gradient moyen de l'éclusée. Les axes sont gradués en proportion du module pour faciliter les comparaisons entre stations. Les différentes droites portées sur les graphiques (pente -1), correspondent à des valeurs constantes (1, 2, 3 ou 4 fois le module) du débit maximum atteint lors de l'éclusée, c'est-à-dire de la somme débit de base et amplitude.

Basteyroux sur la Maronne

La station de Basteyroux sur la Maronne (module de $19.8 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte du régime d'éclusées à l'aval de l'aménagement de Hautefrage équipé à environ $45 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette centrale pratique généralement une gestion journalière avec 1 voire 2 éclusées par jour, sauf durant les épisodes de fort débit (turbinage à pleine puissance en permanence) et la période d'étiage estival (restitution du débit réservé) où il y a peu d'éclusées. Le nombre d'éclusées par an est compris entre 150 et 330 selon les années sur la période 1989-2006.

En 1989, le retour après une éclusée à un débit de base très faible, correspondant souvent au débit réservé ($1/40$ du module), est quasi systématique (Figure 8). Les amplitudes des éclusées présentent deux paliers à $0.8-1$ module et à $1.7-2$ module, correspondant aux paliers de turbinage de la centrale de Hautefrage. Les gradients sont généralement très forts, supérieurs à 1.5 module/heure (Figure 9). La quasi-totalité de l'écoulement est maîtrisée grâce aux différentes retenues de la chaîne Maronne, avec un taux d'exploitation à la centrale d'Hautefrage proche de 100% (très peu de déversement).

La station de Basteyroux sur la Maronne constitue un premier exemple de régime d'éclusées drastique du fait d'un retour très fréquent à un débit de base très faible, d'amplitudes importantes, et de gradients élevés.

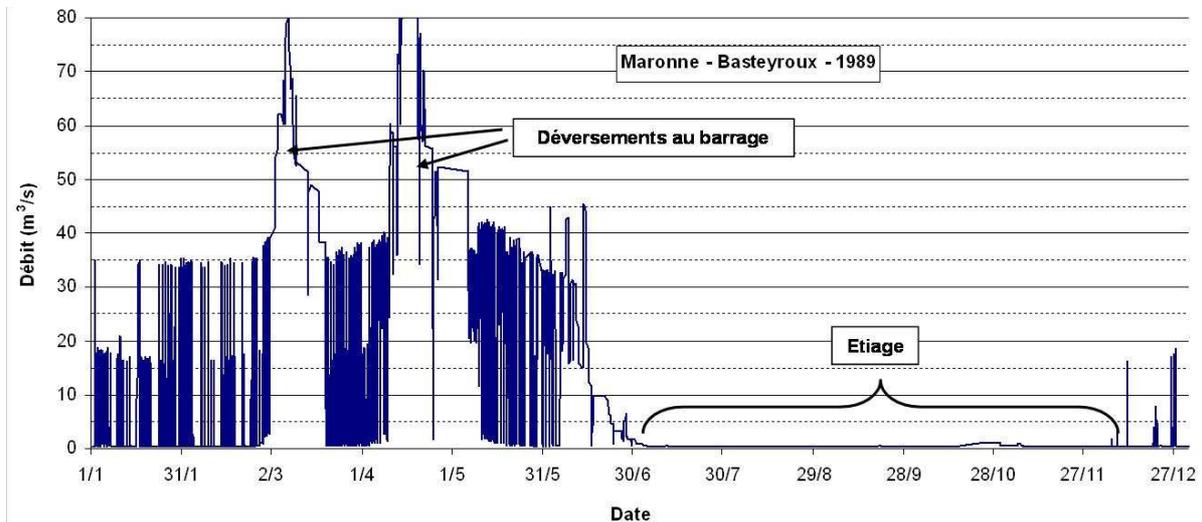


Figure 8 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Basteyroux sur la Maronne en 1989.

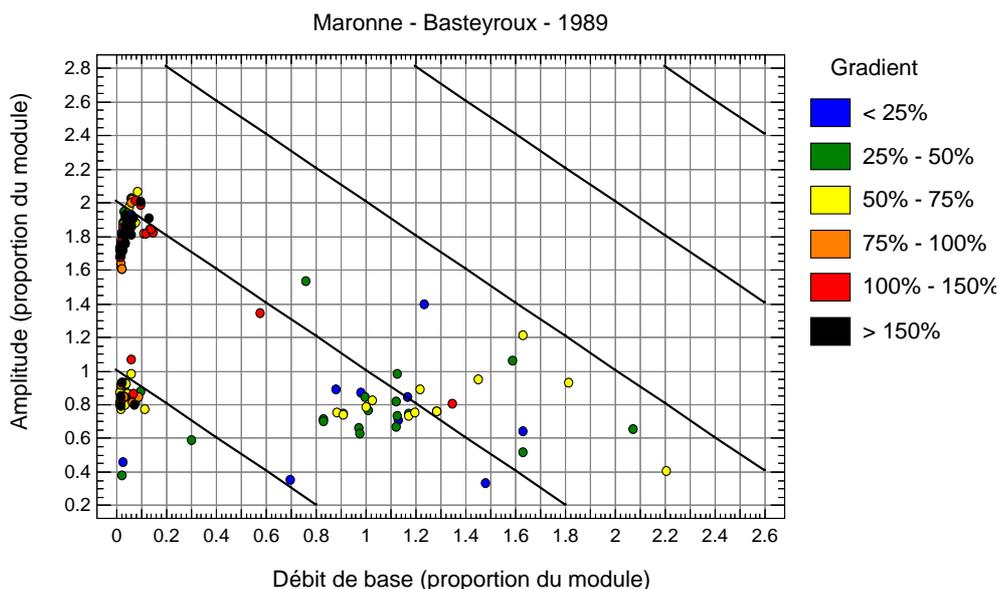


Figure 9 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 1989 à la station de Basteyroux sur la Maronne.

Saint-Béat sur la Garonne

La station de Saint-Béat sur la Garonne (module de $23.6 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte du régime d'éclusées à l'aval de l'aménagement d'Arlos, turbinant l'eau stockée dans le plan d'Arem et équipé à $34 \text{ m}^3/\text{s}$. Le nombre d'éclusées y est compris entre environ 1000 et 1400 selon les années sur la période 2004-2006. Ce nombre très important résulte d'une gestion horaire de la centrale d'Arlos, avec plusieurs éclusées par jour, jusqu'à 4 à 5. Ces éclusées sont pratiquées toute l'année (Figure 10) et ne durent généralement que quelques heures chacune.

En 2006, le débit de base minimum est de l'ordre de 20% du module, soit environ $5 \text{ m}^3/\text{s}$, le retour à ce minimum après une éclusée étant assez fréquent (Figure 11). La majorité des éclusées atteignent un débit maximum inférieur ou égal à 1.6 module (environ $38 \text{ m}^3/\text{s}$). Il ne ressort pas de palier net dans les amplitudes des éclusées, la centrale d'Arlos devant être en mesure de réguler finement le débit turbiné. Les gradients des éclusées peuvent être très forts ; en particulier la plupart des éclusées d'amplitudes supérieures à 1 module présentent des gradients supérieurs à 1 module/heure.

La station de Saint-Béat sur la Garonne constitue un deuxième exemple de régime d'éclusées drastique, du fait d'un nombre d'éclusées très important concernant toute l'année.

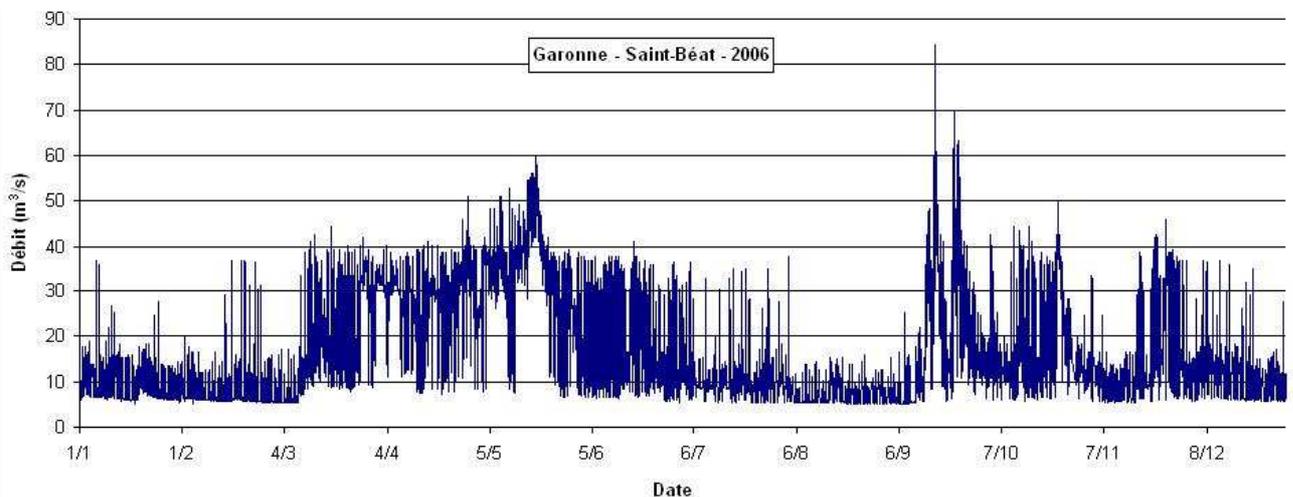


Figure 10 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Saint-Béat sur la Garonne en 2006.

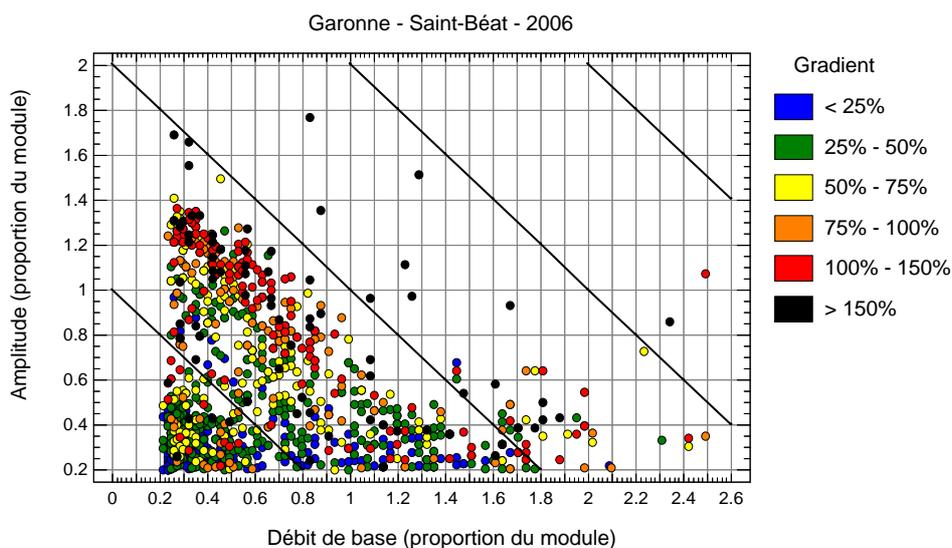


Figure 11 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station de Saint-Béat sur la Garonne.

Entraygues sur le Lot

La station d'Entraygues sur le Lot (module de $34.1 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte des régimes d'éclusées pratiqués à la fois sur le Lot et sur la Truyère. Le nombre d'éclusées y est compris entre 400 et 600 selon les années sur la période 2004-2006, les éclusées étant moins nombreuses durant la période d'étiage estival (Figure 12).

En 2006 ; le débit de base minimum est de l'ordre de 20% du module (environ $7 \text{ m}^3/\text{s}$). La particularité de cette station est de subir fréquemment des éclusées jusqu'à des débits maxima supérieurs à 3 modules ($> 100 \text{ m}^3/\text{s}$), que l'on rencontrerait beaucoup moins souvent en situation naturelle. Les gradients des éclusées peuvent également être très forts, supérieurs à 1 voire 1.5 module/heure, quels que soient le débit de base ou l'amplitude.

La station d'Entraygues sur le Lot constitue un troisième exemple de régime d'éclusées drastique, du fait d'un nombre d'éclusées élevé, d'amplitudes et de débits maxima très importants.

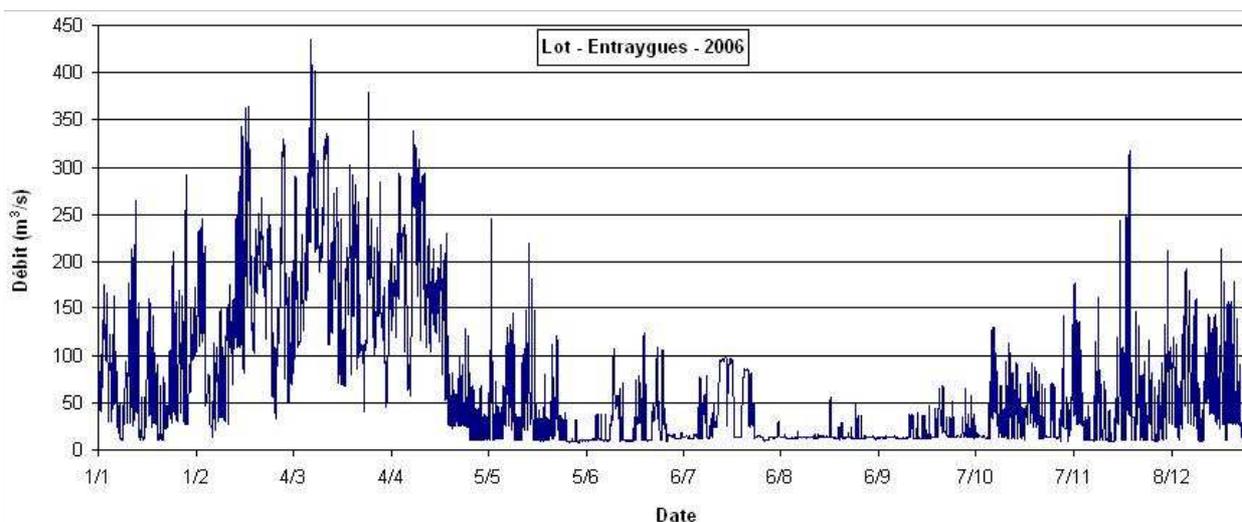


Figure 12 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Entraygues sur le Lot en 2006.

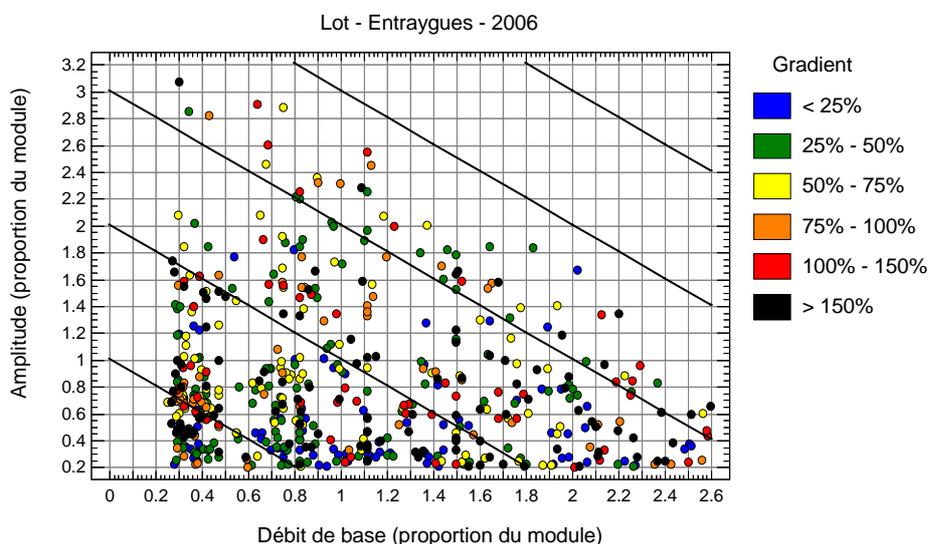


Figure 13 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station d'Entraygues sur le Lot.

Saint-Sauves sur la Dordogne

La station de Saint-Sauves (module de $3.65 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte du régime d'éclusées à l'aval des aménagements en série de la Bourboule et de Saint-Sauves équipé à $5 \text{ m}^3/\text{s}$ et $4 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement. Les éclusées sont générées au niveau de l'aménagement amont de la Bourboule qui possède une capacité utile de stockage. L'aménagement aval de Saint-Sauves turbine au fil de l'eau et relaye les éclusées de la Bourboule. La gestion de ces aménagements semble essentiellement journalière, parfois horaire. Le nombre d'éclusées est compris entre 230 et 430 selon les années sur la période 2004-2006. Les éclusées n'interviennent pas durant les épisodes de fort débit qui ne sont pas maîtrisés étant donné la faible capacité utile de l'aménagement de la Bourboule (Figure 14).

En 2006, le débit de base minimum est de 10% du module, la majorité des éclusées retournant à des débits de base entre 15% et 25% du module (Figure 15). Les amplitudes présentent deux paliers à 0.4-0.6 module et à 0.9-1.1 module, correspondant vraisemblablement aux paliers de turbinage de l'usine de Saint-Sauves. L'origine de certains événements d'amplitudes supérieures, n'ayant pas l'allure de crues naturelles, ni ne semblant dus à un artefact de mesure, reste à expliquer. La particularité de cette station est de présenter des gradients particulièrement élevés (les plus élevés parmi les stations analysées) : en 2006 environ la moitié des éclusées présentent des gradients supérieurs à 1.5 module/heure.

La station de Saint-Sauves sur la Dordogne constitue un quatrième exemple de régime d'éclusées drastique, avec un nombre d'éclusées assez élevé et surtout des gradients très forts.

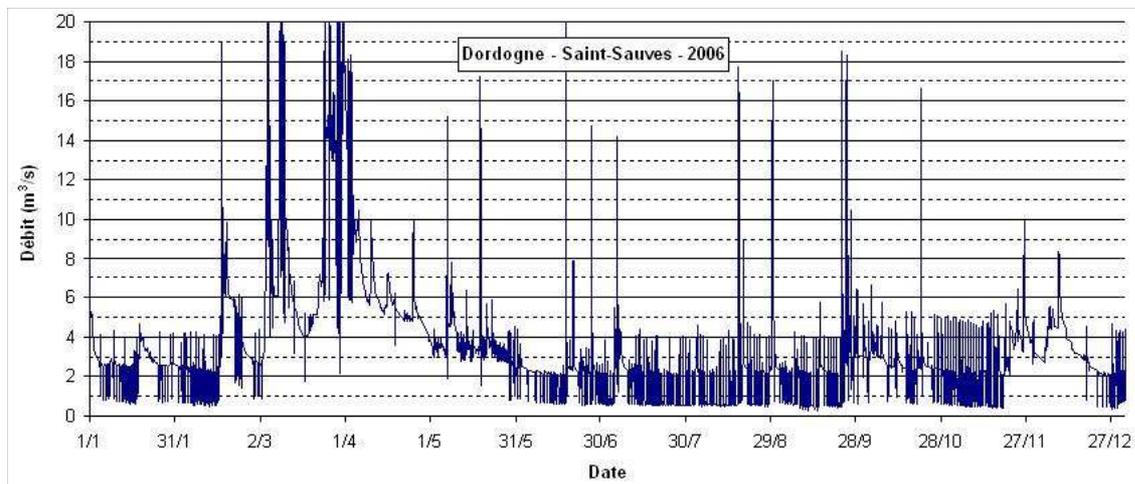


Figure 14 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Saint-Sauves sur la Dordogne en 2006.

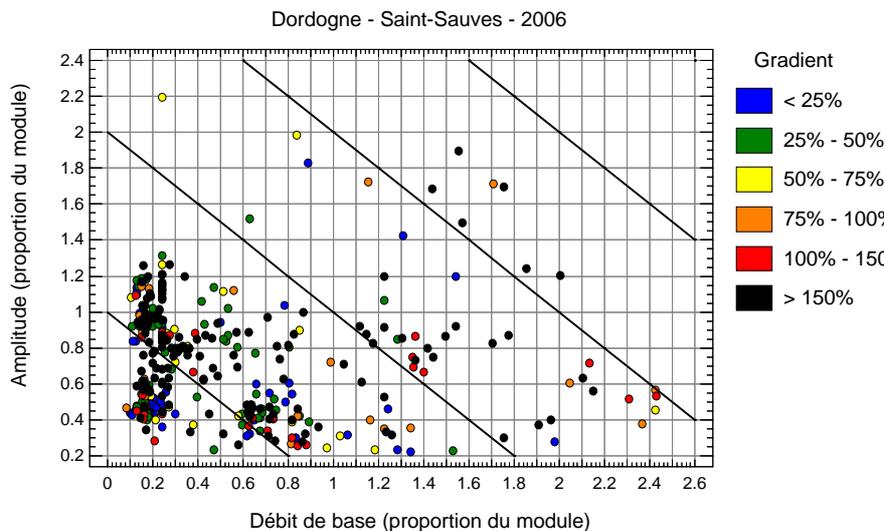


Figure 15 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station de Saint-Sauves sur la Dordogne.

Argentat sur la Dordogne

La station d'Argentat sur la Dordogne (module de $107 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte du régime d'éclusées à l'aval du Sablier, dernier aménagement de la chaîne équipé à $340 \text{ m}^3/\text{s}$. Le nombre d'éclusées y est compris entre 75 et 250 sur la période 1989-2006, les éclusées étant très peu nombreuses durant la période d'étiage estival (Figure 16). La gestion de l'usine du Sablier est mixte entre hebdomadaire et journalière.

En 1991, le débit de base minimum est de l'ordre de 10% du module, la majorité des éclusées présentant un débit de base supérieur à 25% du module. La particularité de cette station est de subir fréquemment des éclusées jusqu'à des débits maxima entre 2 et 3 modules, que l'on rencontrerait moins souvent en situation naturelle (Figure 17). Les gradients sont généralement inférieurs à 0.75 module/heure. La quasi-totalité de l'écoulement est maîtrisé grâce aux différentes retenues de la chaîne Dordogne, avec un taux d'exploitation à la centrale du Sablier proche de 100% (très peu de déversement).

La station d'Argentat sur la Dordogne présente un régime d'éclusées très marqué mais moins sévère que les trois exemples précédents, du fait d'un nombre d'éclusées plus faible, de débits de base plus élevés et de gradients plus faibles.

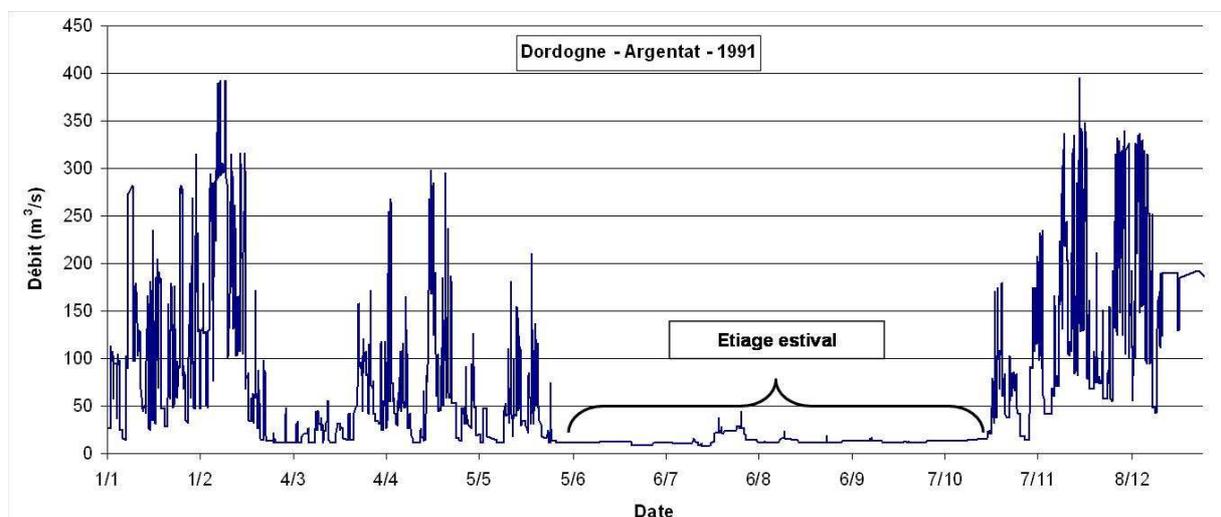


Figure 16 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Argentat sur la Dordogne en 1991.

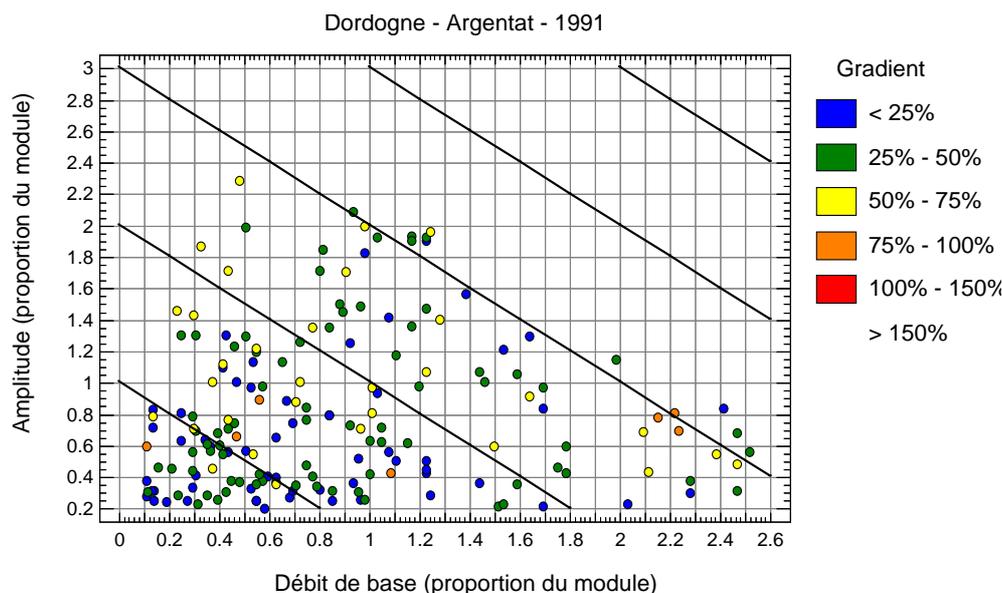


Figure 17 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 1991 à la station d'Argentat sur la Dordogne.

Uzerche sur la Vézère

La station d'Uzerche sur la Vézère (module de $15.1 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte des éclusées à l'aval de la microcentrale du Gour Noir relayant les éclusées de l'amont générées par les aménagements de Peyrissac et Treignac. Le nombre d'éclusées y est compris entre 70 et 120 sur la période 2004-2006. Cela est dû à une gestion plutôt hebdomadaire des aménagements à laquelle vient se rajouter des programmes journaliers voire horaires d'éclusées pour des débits supérieurs à $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (flèches sur la Figure 18). En 2006, on distingue ainsi deux groupes d'éclusées : un groupe d'éclusées avec des débits de base supérieurs au module et des amplitudes entre 0.6 et 1.0 module, et un groupe d'éclusées avec des débits de base entre 20% et 80% du module et des amplitudes inférieures à 0.6 module (Figure 19). La majorité des éclusées présentent des gradients inférieurs à 0.25 module/heure.

La station d'Uzerche sur la Vézère illustre un cas où le régime d'éclusées est marqué avec l'influence de plusieurs aménagements en série.

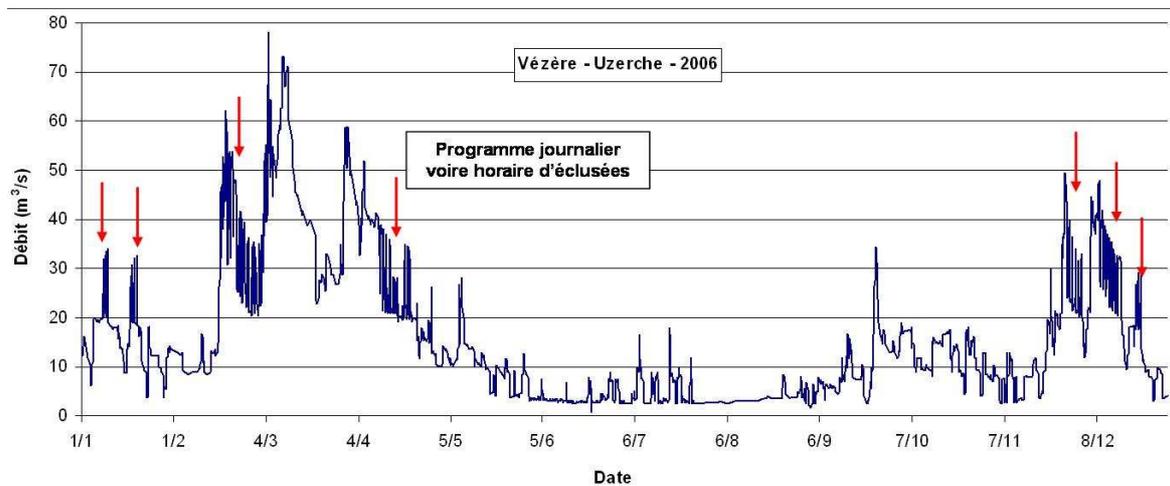


Figure 18 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Uzerche sur la Vézère en 2006.

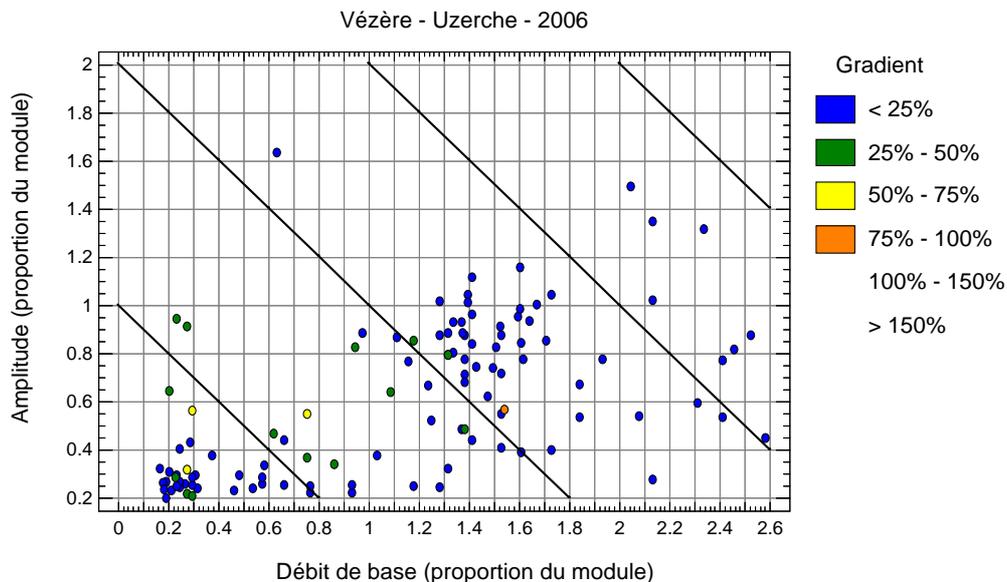


Figure 19 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station d'Uzerche sur la Vézère.

Cénac sur la Dordogne

La station de Cénac sur la Dordogne (module de $190 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte des régimes d'éclusées sur la partie basse du bassin, à l'aval des chaînes d'aménagements de la Dordogne, de la Maronne et de la Cère. Le nombre d'éclusées y est compris entre 45 et 70 sur la période 2004-2006, très peu d'éclusées intervenant pendant l'étiage estival (Figure 20). Les éclusées générées par les différentes chaînes sur le haut du bassin arrivent amorties et atténuées par les apports intermédiaires. Seules les plus sévères parmi les régimes d'éclusées de l'amont sont encore sensibles et comptabilisées au niveau de la station de Cénac. En 2006, les débits de base sont élevés, tous supérieurs à 45% du module (Figure 21), les amplitudes sont pour la plupart inférieures au module et les gradients sont tous inférieurs à 0.25 module/heure.

La station de Cénac illustre un cas où les éclusées générées en amont arrivent amorties et atténuées par les apports intermédiaires. La gestion hebdomadaire des aménagements amont est encore sensible, les éclusées journalières étant moins perceptibles. Les crues apparaissent toujours absorbées et se traduisent au niveau de Cénac par des épisodes de forts débits qui peuvent se terminer par une baisse de débit rapide lorsque les différentes chaînes diminuent simultanément leurs turbinages (Figure 20).

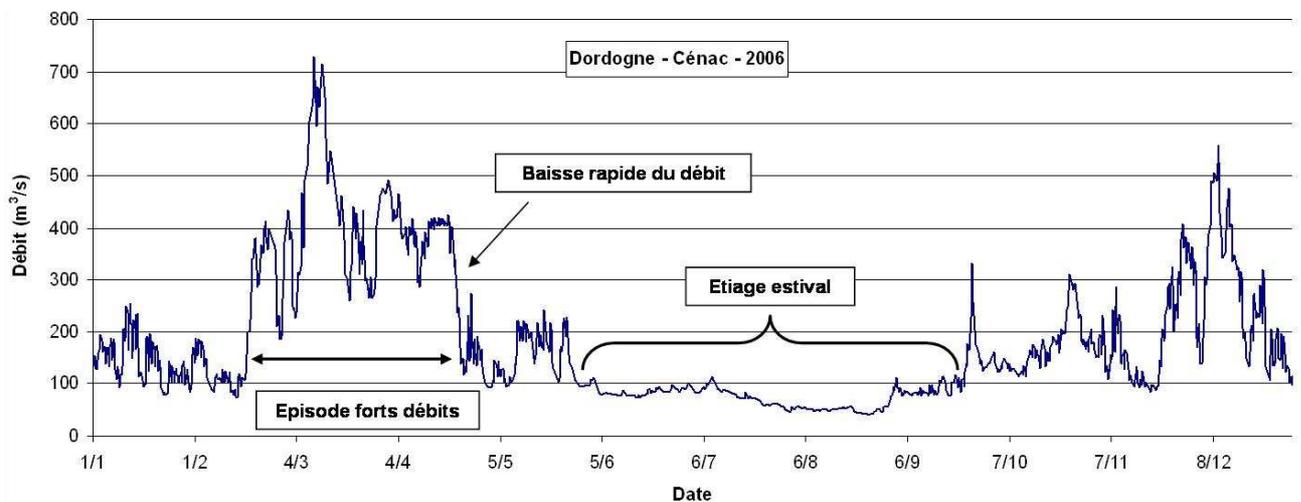


Figure 20 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées de Cénac sur la Dordogne en 2006.

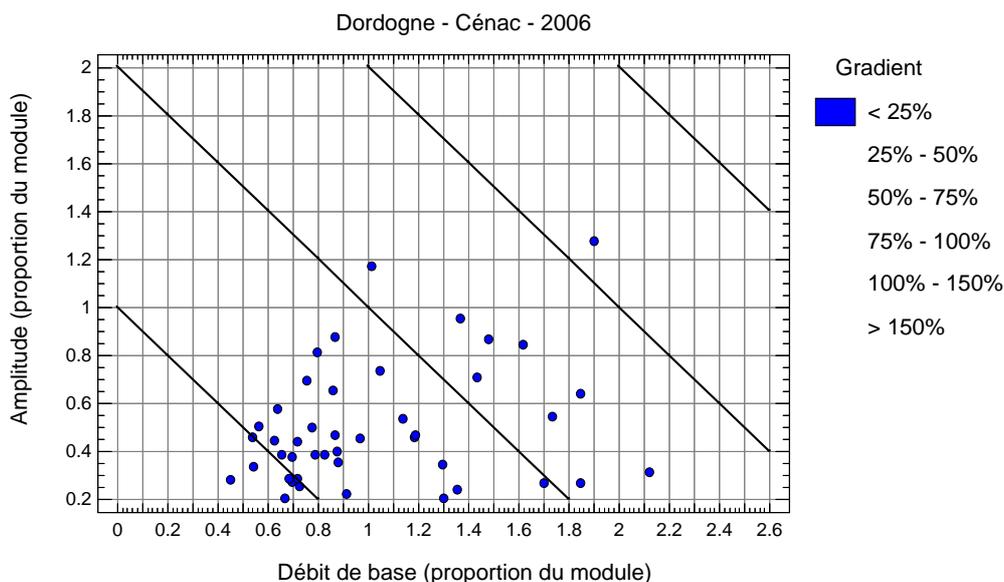


Figure 21 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station de Cénac sur la Dordogne.

Oloron sur le Gave d'Oloron

La station d'Oloron sur le Gave d'Oloron (module de $51.6 \text{ m}^3/\text{s}$) rend compte des régimes d'éclusées pratiqués sur le Gave d'Aspe et le Gave d'Ossau. Le nombre d'éclusées y est compris entre 130 et 280 sur la période 2004-2006. Les éclusées sont peu nombreuses durant la période d'étiage estival et apparaissent essentiellement pour des débits inférieurs à 1.5 module, les épisodes de fort débit n'étant pas maîtrisés par les aménagements hydroélectriques en amont. (Figure 22). En 2006, la plupart des éclusées présentent des amplitudes inférieures à 0.4 module (environ $20 \text{ m}^3/\text{s}$) et des gradients inférieurs à 0.25 module/heure (Figure 23).

La station du Gave d'Oloron à Oloron illustre un deuxième cas où les éclusées générées en amont arrivent amorties et très atténuées par les apports intermédiaires. L'écoulement du Gave au niveau d'Oloron n'est que très partiellement maîtrisé et modulé par les aménagements hydroélectriques en amont et les crues naturelles subsistent.

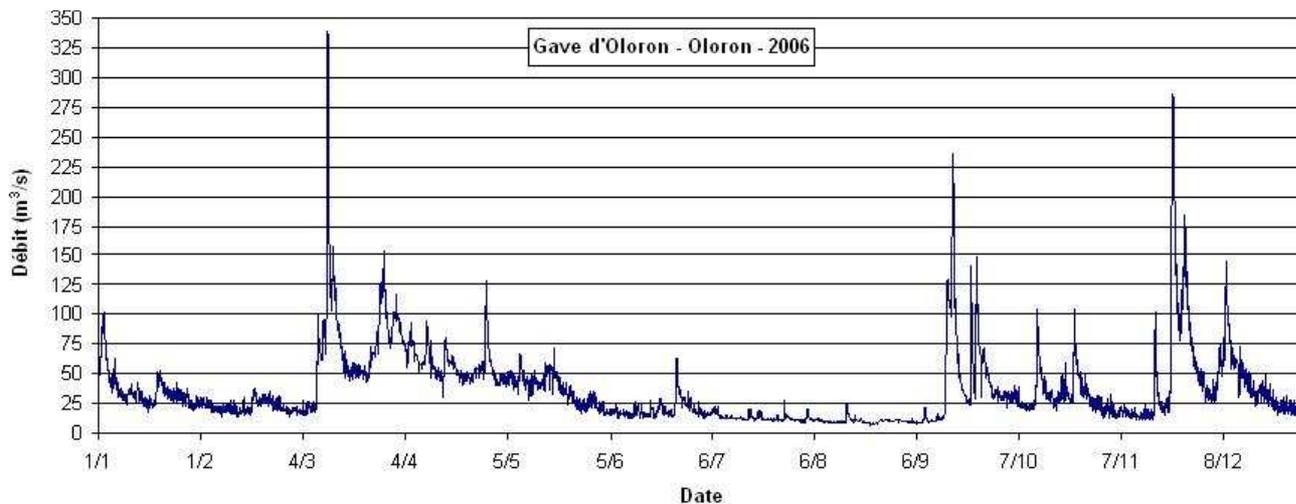


Figure 22 : Chronique de débit à la station soumise à éclusées d'Oloron sur le Gave d'Oloron en 2006.

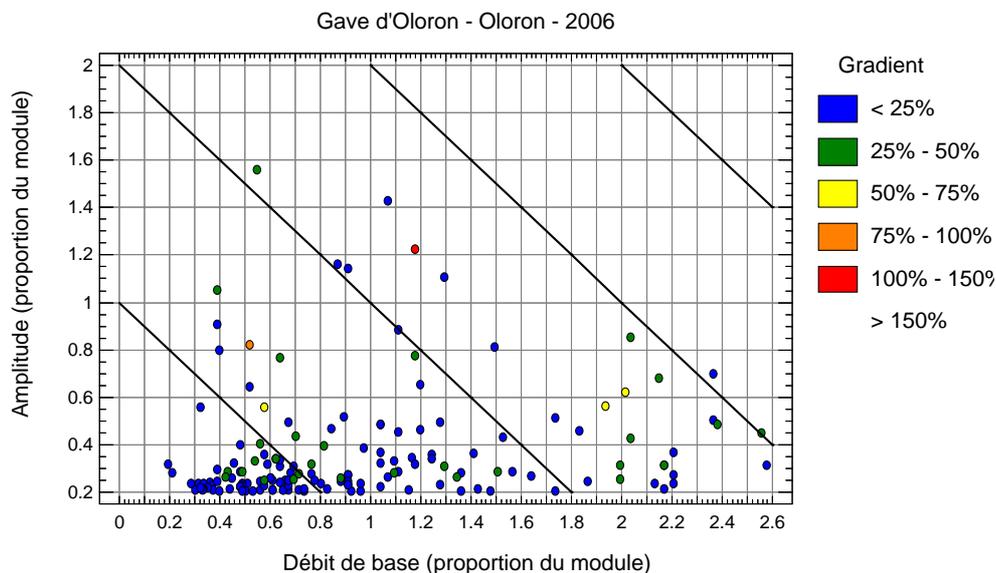


Figure 23 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 à la station d'Oloron sur le Gave d'Oloron.

Stations à l'hydrologie naturelle

A titre de comparaison, les Figure 24 et Figure 25 présentent respectivement les chroniques de débit en 2006 au niveau des stations à l'hydrologie naturelle de Corrèze sur la Corrèze (module de $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$) et de Saint-Etienne sur la Nive des Aldudes (module de $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$). La comparaison visuelle avec les chroniques précédemment présentées amène à constater un nombre beaucoup plus réduit d'événements significatifs de hausse et de baisse de débit en situation naturelle par rapport aux stations soumises à éclusées. D'autre part, il apparaît clairement que les décrues naturelles, avec un tarissement très progressif du débit, se déroulent à des gradients nettement plus faibles que les baisses d'éclusées.

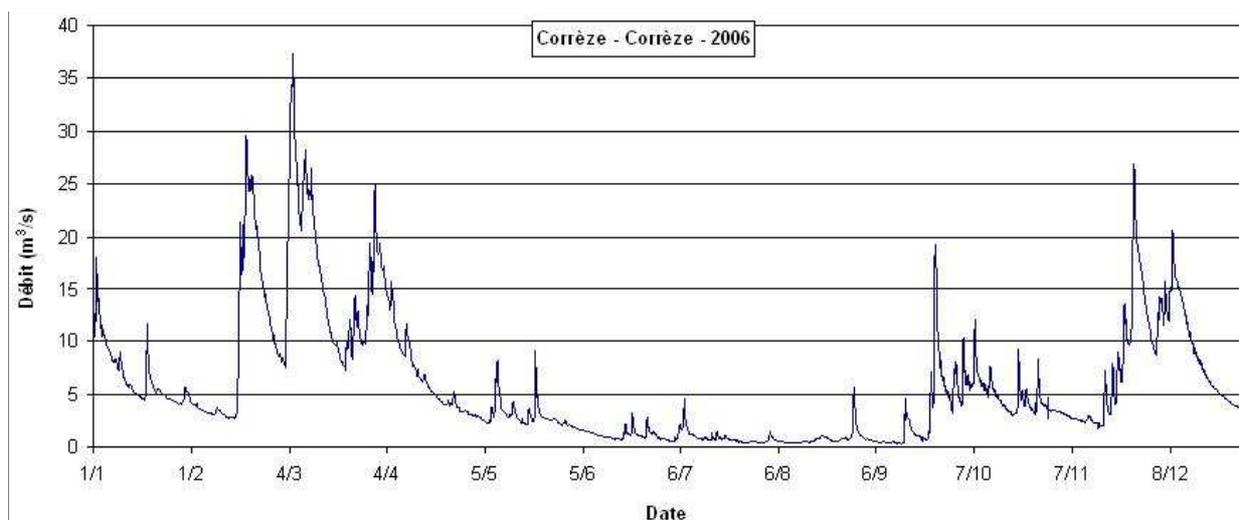


Figure 24 : Chronique de débit à la station à l'hydrologie naturelle de Corrèze sur la Corrèze en 2006.

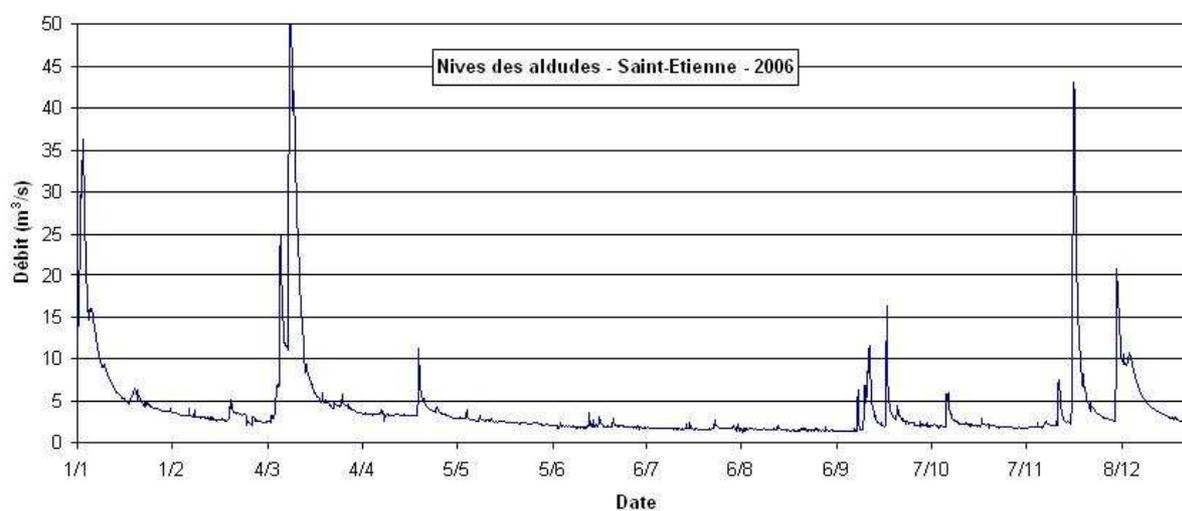


Figure 25 : Chronique de débit à la station à l'hydrologie naturelle de Saint-Etienne sur la Nive des Aldudes en 2006.

3.3. Descripteurs des régimes d'éclusées

Les perturbations hydrologiques ayant pour origine les éclusées peuvent être caractérisées sur une période donnée par les paramètres suivants :

- le nombre de hausses ou de baisses d'éclusées par année ou par période, ou le nombre moyen par jour, pour comparer des périodes de durées différentes.
- Les statistiques (minimum, moyenne, maximum, médiane, quantile) de la distribution des valeurs de chacune des variables dimensionnelles ou non suivantes : débit de base, débit maximum, amplitude, gradient, rapport débit maximum sur débit de base, amplitude rapportée au débit de base².

Les paramètres dimensionnels peuvent être adimensionnalisés en les rapportant au module du cours d'eau afin de faciliter les comparaisons entre stations.

Ces paramètres peuvent être produits à partir des hausses et/ou des baisses d'éclusées et être extraits sur une année ou sur une période déterminée vis-à-vis d'un enjeu particulier (principale période d'émergence et de post-émergence des alevins d'une espèce, ou période touristique estivale par exemple).

La production de l'ensemble de ces paramètres est automatisée au sein du fichier de traitement des chroniques de débit et de sélection des éclusées.

² Ces mêmes paramètres caractérisant les éclusées (nombre, débit maximum, amplitude, gradient) ressortent dans une étude suisse récente (Pfaundler et Keusen 2007) portant sur l'évolution de la gestion par éclusées des centrales au cours des 20 à 30 dernières années.

4. PROPOSITION D'UN INDICATEUR SYNTHETIQUE DU NIVEAU DE PERTURBATION HYDROLOGIQUE DUE AU REGIME D'ECLUSEES

4.1. Principe de l'indicateur synthétique

L'analyse des hydrogrammes montre que certaines stations sont soumises à des perturbations hydrologiques drastiques, caractérisées par des valeurs extrêmes de l'un voire de plusieurs des descripteurs, que ce soit le nombre d'éclusées (une, voire plus d'une éclusée journalière en moyenne), le débit maximum (supérieur à 3 fois le module), le ratio débit maximum/débit de base (ratio supérieur à 50), l'amplitude (plusieurs fois le module), les gradients de baisse ou de hausse (plusieurs modules/heure). A l'inverse, certaines stations, bien que soumises à éclusées de façon significative, présentent des perturbations beaucoup plus modérées, que ce soit en nombre et/ou en valeurs atteintes par les différents descripteurs.

Il a paru intéressant de proposer un indicateur agrégeant les informations données par les différents descripteurs, susceptible de donner une vision synthétique du niveau de perturbation hydrologique, allant d'une hydrologie assez peu perturbée par le régime d'éclusées mais se différenciant cependant d'un régime naturel, à un niveau de perturbation très sévère caractérisé par des valeurs drastiques de l'un ou de plusieurs paramètres.

On attend que cet indicateur

- puisse être produit « en routine »,
- permette d'apprécier les évolutions temporelles et spatiales des régimes d'éclusées, en particulier l'amortissement vers l'aval,
- soit sensible aux changements dans la gestion des aménagements.

L'indicateur proposé dans cette étude prospective n'est basé que sur les hausses d'éclusées. Si un tel indicateur est jugé d'intérêt, pour pouvoir rendre compte de l'ensemble des modifications de gestion des centrales, il serait indispensable d'intégrer les baisses d'éclusées dans sa construction.

4.2. Classe de niveaux de perturbation hydrologique

Les stations ont été considérées comme à l'hydrologie naturelle ou très peu perturbée (classe 0) lorsque le nombre d'événements de hausses n'est pas très significatif (<30 par an). Les autres stations, pour lesquelles le nombre d'événements de hausses est supérieur à 30 par an ont été considérées comme perturbées.

Un jeu de 109 chroniques annuelles extraites à partir d'une trentaine de stations a été examiné.

L'évaluation du niveau de perturbation hydrologique a été effectuée de façon indépendante par trois opérateurs, Michel Larinier, Dominique Courret et Philippe Baran. Les chroniques ont été réparties en 5 classes de perturbations. Le classement en 5 classes apparaît être un bon compromis entre le niveau de finesse de l'indicateur et la faisabilité de classement par expertise ou de classement automatique des stations.

Le Tableau 3 présente la qualification du niveau de perturbation hydrologique associée à chaque classe. On a distingué les niveaux de perturbation sensible, marquée, très marquée, sévère et très sévère.

Classe	Code couleur	Niveau de perturbation hydrologique due aux éclusées
0		Hydrologie naturelle ou peu perturbée
1	Bleu	Perturbation hydrologique sensible.
2	Vert	Perturbation hydrologique marquée.
3	Jaune	Perturbation hydrologique très marquée.
4	Orange	Perturbation hydrologique sévère.
5	Rouge	Perturbation hydrologique très sévère.

Tableau 3 : Qualification du niveau de perturbation hydrologique associée à chaque classe.

Le classement par les opérateurs a été effectué à partir de l'examen des chroniques de débit et des diagrammes en bulle présentant l'ensemble des caractéristiques des régimes d'éclusées. Une des difficultés réside dans le fait d'agréger les informations sur les différents paramètres du régime d'éclusées pour n'aboutir qu'à une classe. Cet exercice revient en quelque sorte implicitement à hiérarchiser l'importance des différents paramètres et fait intervenir dans une certaine mesure l'arbitraire de l'opérateur.

Les différents opérateurs sont parvenus à des classements effectués de manière indépendante très proches, pratiquement identiques pour les classes 1, 4 et 5. Un classement final a été adopté après discussion sur les quelques stations et années divergentes. Le tableau récapitulatif des classements retenus est porté en annexe 3 (page 50).

4.3. Reclassement automatique du niveau de perturbation par analyse discriminante

On a utilisé une analyse discriminante pour tenter de reproduire le classement a priori des données à partir d'un petit nombre de paramètres quantitatifs décrivant les régimes d'éclusées.

Les paramètres qui ont semblé les plus pertinents et qui ont été utilisés pour l'analyse discriminante sont les suivants :

- nombre de hausses d'éclusées (NbH),
- valeur du débit de base non dépassée par 10% des hausses ($Q_{\text{Base}10}$),
- valeur d'amplitude non dépassée par 90% des hausses (amplitude90)
- valeur de gradient non dépassée par 90% des hausses (gradient90).

Les valeurs de $Q_{\text{base}10}$, d'amplitude90 et de gradient90 sont rapportées au module du cours d'eau. L'utilisation de ces quantiles particuliers de la distribution des débits de base, des amplitudes et des gradients est motivée par la volonté de cibler les éclusées les plus drastiques pour déterminer le niveau de perturbation. La perturbation est globalement d'autant plus sévère que le nombre d'éclusées est important, que la valeur de $Q_{\text{base}10}$ est faible et que les valeurs d'amplitude90 et de gradient90 sont fortes.

L'analyse discriminante fournit pour chaque classe une fonction de classement qui traduit les valeurs des paramètres caractérisant les éclusées pris en compte en un score. Les fonctions de classement se présentent sous la forme de combinaisons linéaires des paramètres. Chaque station est ensuite affectée à la classe dont la fonction donne le score maximum (Figure 26)

Les classes 2, 3 et 4 peuvent être divisées en deux sous-classes selon que le second score le plus élevé est obtenu pour la classe supérieure ou inférieure. Par exemple, une station en classe 3 peut être affectée en classe 3- si le second score le plus élevé est obtenu pour la classe 2, ou en classe 3+ si le second score le plus élevé est obtenu pour la classe 4 (Figure 26). Cette subdivision des classes 2, 3 et 4 permet d'affiner le diagnostic.

La calibration des coefficients des fonctions de classement s'est appuyée en l'état sur un jeu de 109 données, une donnée correspondant à une année pour une station. Ce jeu de données a été extrait à partir de 31 stations dans le bassin Adour-Garonne, plus une station sur le Doubs franco-suisse³.

L'analyse discriminante permet de reclasser correctement 102 données, soit plus de 93% de l'échantillon, ce qui constitue un résultat satisfaisant (Figure 27). Les 7 données mal classées se retrouvent dans la première classe inférieure ou supérieure à celle évaluée par les opérateurs.

³ La station de la Rasse sur le Doubs franco-suisse a été ajoutée parce qu'elle représente une situation non rencontrée parmi les stations du bassin Adour-Garonne en notre possession. De façon générale, le jeu de données pour la calibration des fonctions de classement a intérêt à être le plus conséquent et le plus diversifié possible en incluant des stations des différents bassins pour s'assurer de la fiabilité de l'indicateur produit.

Station	Année	Valeur des paramètres				Score pour chaque classe					Score maximum	2eme score	Classement		Classe
		Nbh	Qbase10	Amplitude90	Gradient90	1	2	3	4	5			1er score	2e score	
Bretenoux	1996	241	0.262	0.93	0.42	38.4	44.3	46.7	42.9	24.6	46.7	44.3	3	2	3-
	1997	159	0.305	0.90	0.42	31.1	34.6	34.3	27.1	3.7	34.6	34.3	2	3	2+
	1998	227	0.396	0.92	0.38	36.8	42.3	43.9	39.3	19.7	43.9	42.3	3	2	3-
	1999	184	0.471	0.90	0.37	32.9	37.1	37.3	30.8	8.4	37.3	37.1	3	2	3-
	2000	278	0.467	0.79	0.31	37.3	42.9	45.2	41.0	21.7	45.2	42.9	3	2	3-
	2001	283	0.426	0.94	0.36	41.1	48.0	51.1	48.4	31.8	51.1	48.4	3	4	3+
	2002	263	0.411	0.74	0.35	35.4	40.3	42.1	37.2	16.5	42.1	40.3	3	2	3-
	2003	202	0.319	0.84	0.36	33.3	37.6	38.3	32.2	10.3	38.3	37.6	3	2	3-
	2004	308	0.400	0.80	0.33	39.6	46.0	49.1	46.1	28.4	49.1	46.1	3	4	3+
	2005	268	0.411	0.88	0.40	38.8	44.9	47.5	43.9	25.7	47.5	44.9	3	2	3-
	2006	349	0.421	0.81	0.34	42.4	49.8	53.9	52.2	36.5	53.9	52.2	3	4	3+

Figure 26 : Illustration du principe de classement avec l'exemple de la station de Bretenoux sur la Cère de 1996 à 2006.

Tableau de classement

Observé	Groupe	Prévu	Classe				
Classe	Taille	1	2	3	4	5	
1	22	22 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	
2	28	1 (3.57%)	26 (92.86%)	1 (3.57%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	
3	27	0 (0.00%)	1 (3.70%)	26 (96.30%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	
4	17	0 (0.00%)	0 (0.00%)	2 (11.76%)	14 (82.35%)	1 (5.88%)	
5	15	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1 (6.67%)	14 (93.33%)	

Pourcentage d'observations bien classées: 93.58%

Figure 27 : Tableau de classement de l'analyse discriminante.

Cinq erreurs de classement ne sont pas vraiment problématiques étant donné que le classement effectué a priori est en effet discutable. Deux erreurs de classement concernant la station de Basteyroux sur la Maronne pour les années 2003 et 2006 sont plus problématiques. L'année 2003 évaluée en classe 5 est reclassée en 4 et l'année 2006 évaluée en classe 4 est reclassée en classe 5. Le tableau récapitulatif des classements évalués a priori et des reclassements donnés par l'analyse discriminante est porté en annexe 3 (page 50).

Les résultats de l'analyse discriminante ont été testés sur un jeu indépendant de 54 données, ces données provenant de 6 stations dont certaines années font partie du jeu de données de calibration (voir tableau en annexe 3). Les classements effectués par l'analyse discriminante sont globalement conformes au niveau de perturbation attendu. Pour une validation plus robuste, l'idéal serait de disposer d'un jeu indépendant de données sur des stations ne faisant pas partie par ailleurs du jeu de données de calibration.

Au final, ces résultats montrent d'une part que les paramètres pris en compte forment une combinaison permettant de reproduire de manière satisfaisante les classements par expertise des régimes d'éclusées, et d'autre part que l'analyse discriminante est une méthodologie adaptée pour agréger les informations de ces différents paramètres et produire un indicateur synthétique du niveau de perturbation hydrologique sous forme de classe.

Les diagrammes en bulles pour plusieurs stations de chaque classe ont été portés en annexe 4 (page 54).

4.4. Score de l'analyse discriminante

Les scores de l'analyse discriminante sont globalement croissants de la classe 1 à 5, dans le sens d'une perturbation hydrologique de plus en plus sévère (Figure 28). Les scores varient d'environ 5 à 20 pour la classe 1, de 20 à 40 pour la classe 2, de 30 à 60 pour la classe 3, de 55 à 95 pour la classe 4 et de 95 à 175 pour la classe 5. Les gammes de scores sont bien disjointes entre les classes 1 et 2 et les classes 4 et 5 ; par contre, elles se chevauchent entre les classes 2 et 3 et les classes 3 et 4, la plage de chevauchement contenant au plus 25% des valeurs de la classe inférieure et supérieure.

L'évolution de ce score peut être intéressante à suivre pour apprécier l'effet de modifications de gestion de centrales qui ne se traduisent pas forcément par un changement de classe. Les évolutions

de ce score à la hausse ou à la baisse peuvent être interprétées comme une aggravation ou une atténuation de la perturbation.

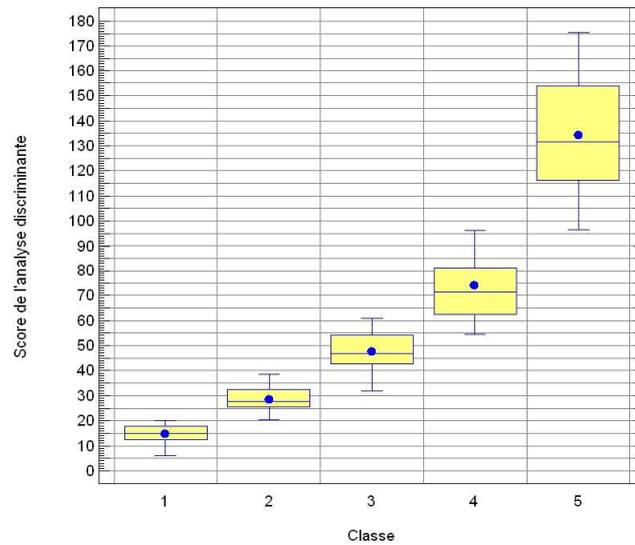


Figure 28 : Score de l'analyse discriminante selon les classes.

4.5. Caractéristiques des différentes classes de perturbation

On a porté sur un diagramme en bulles les différentes stations appartenant à une classe donnée. Les valeurs de Q_{Base10} (rapporté au module) ont été portées en abscisse, les valeurs d'amplitude90 (rapporté au module) en ordonnée. La taille des bulles est fonction du nombre d'éclusées et leur couleur est fonction de leur valeur de gradient90 (en module/heure). Chaque bulle représente une année pour une station (une donnée). Cette représentation permet de visualiser pour chaque donnée l'ensemble des valeurs des paramètres pris en compte dans l'analyse discriminante.

La classe 5 montre une certaine hétérogénéité (points de taille très variable et dispersés dans le diagramme) du fait du regroupement de diverses situations extrêmes. Les nombres de hausses d'éclusées par an sont compris entre environ 170 et 1400, dont les valeurs de Q_{base10} sont comprises entre environ 2% et 45% du module et dont les valeurs d'amplitude90 sont comprises entre 0.7 et 2.5 module (Figure 29). Les valeurs de gradient90 sont toutes supérieures à 0.75 module/heure.

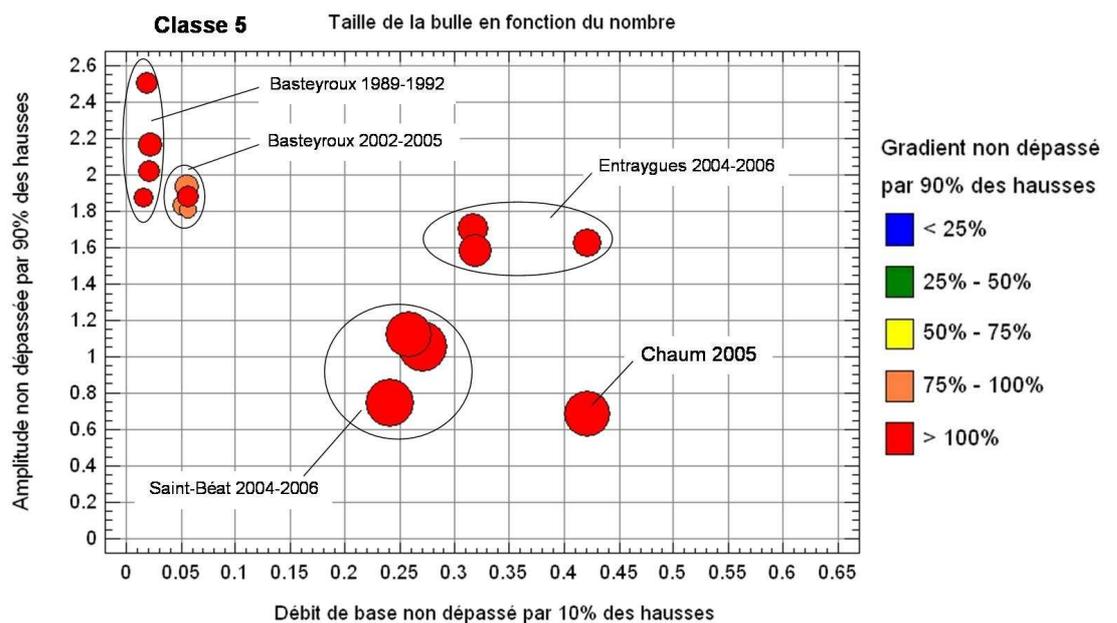


Figure 29 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 5.

La classe 4 montre comme la classe 5 une certaine hétérogénéité (points de taille très variable et dispersés dans le diagramme) du fait du regroupement de situations diverses. Les nombres de hausses d'éclusées par an sont compris entre 170 et 850, dont les valeurs de Qbase10 sont comprises entre environ 10% et 45% du module et dont les valeurs d'amplitude90 sont comprises entre environ 0.5 et 2.1 module (Figure 30). Les valeurs de gradient90 s'étalent d'environ 0.25 à 4.5 module/heure.

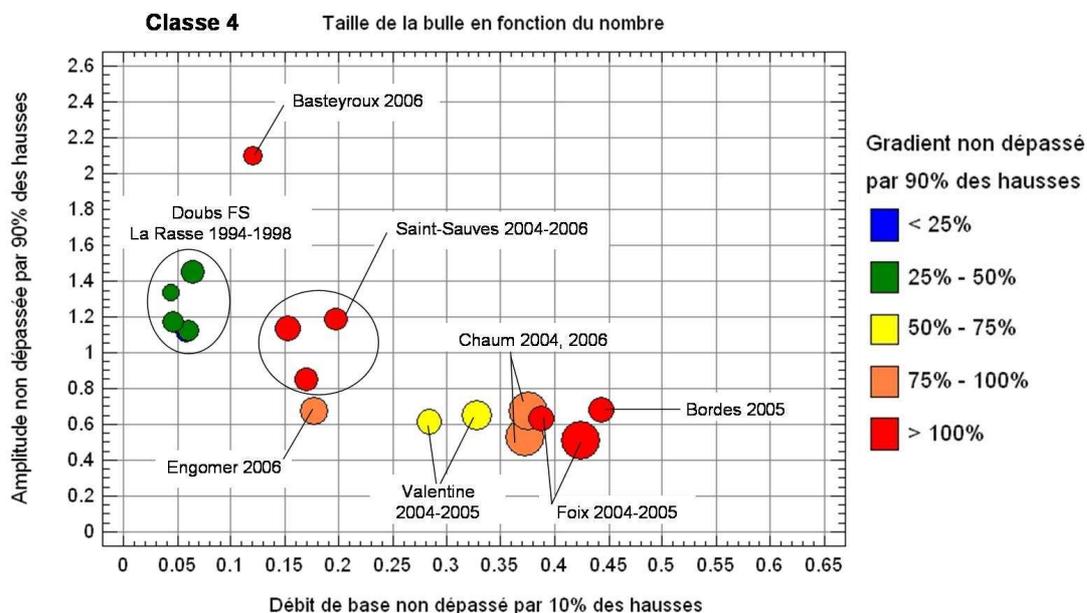


Figure 30 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 4.

La classe 3 montre une bonne homogénéité (points regroupés sur le diagramme et de taille peu variable), hormis concernant les valeurs de gradient90. Les nombres de hausses d'éclusées par an sont compris entre environ 120 et 400, dont les valeurs de Qbase10 sont comprises entre environ 15% et 40% du module et dont les valeurs d'amplitude90 sont comprises entre 0.4 et 1.6 module (Figure 31). Les valeurs de gradient90 sont comprises entre environ 0.2 et 1.8 module/heure, les $\frac{3}{4}$ étant inférieures à 1 module/heure.

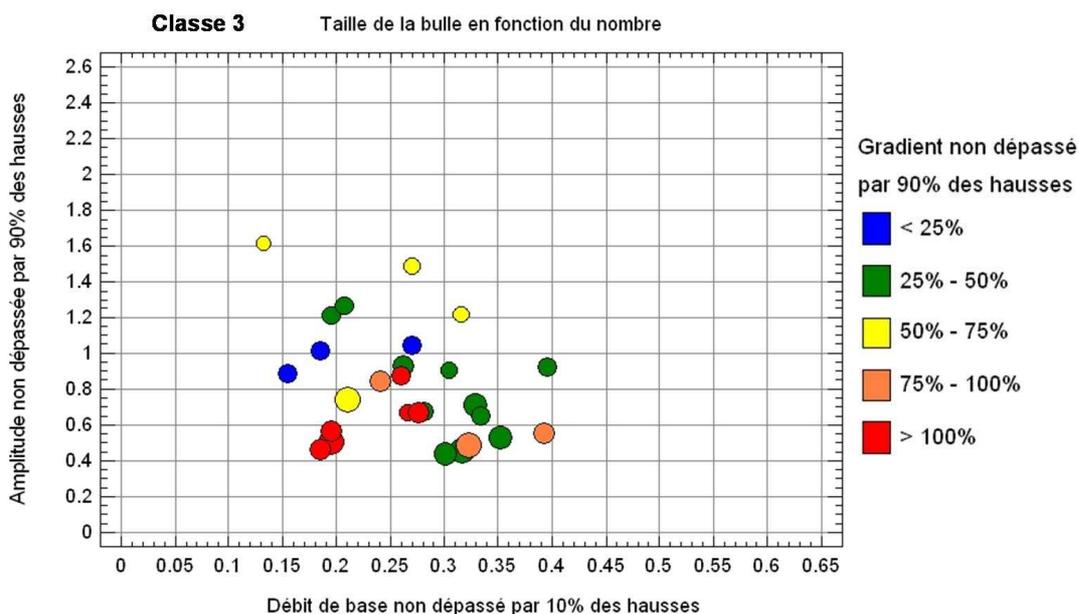


Figure 31 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 3.

La classe 2 montre globalement une bonne homogénéité (points regroupés sur le diagramme, de taille et de couleur peu variable). Les nombres de hausses d'éclusées par an sont compris entre environ 70 et 190, dont les valeurs de Qbase10 sont comprises entre 20% et 55% du module et dont les valeurs d'amplitude90 sont comprises entre environ 0.5 et 1.3 module (Figure 32). Le jeu de données présente une lacune pour des valeurs de Qbase10 comprise entre environ 30% et 35% du module. Les valeurs de gradient90 sont toutes inférieures à 1.5 module/heure, les $\frac{3}{4}$ étant inférieures à 0.2 module/heure.

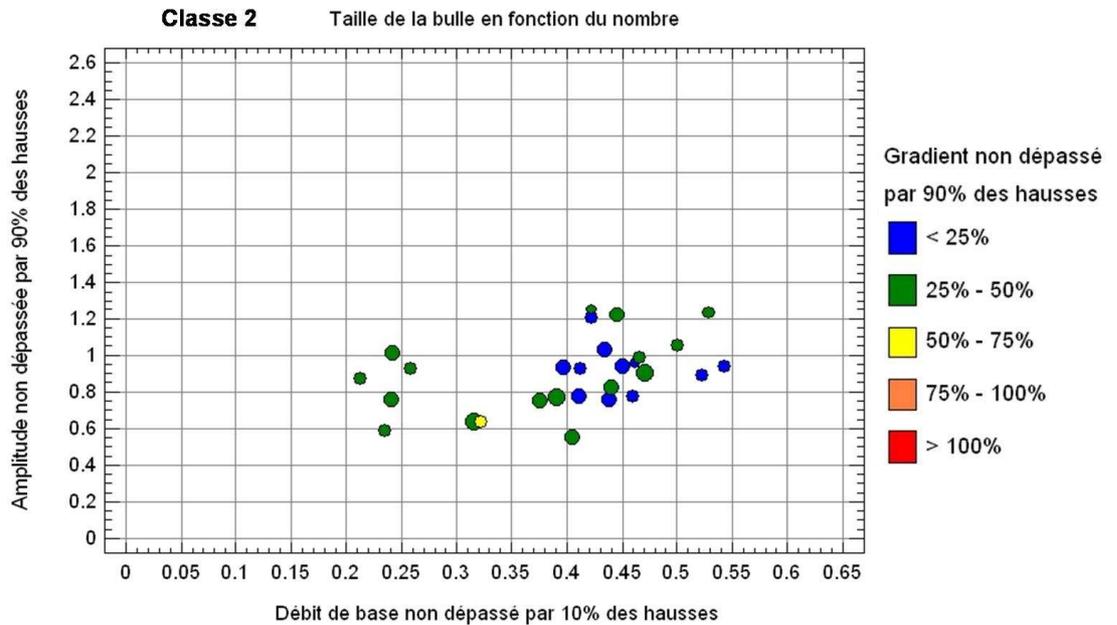


Figure 32 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 2.

La classe 1 montre une grande diversité dans les valeurs de Qbase10 (points dispersés sur l'axe des abscisses). Les nombres de hausses d'éclusées sont compris entre 30 et 100, les valeurs de Qbase10 s'étalant de 10% à 65% du module et les valeurs d'amplitude90 étant inférieures à 1.2 module (Figure 33). Les valeurs de gradient90 sont toutes inférieures à 1.1 module/heure.

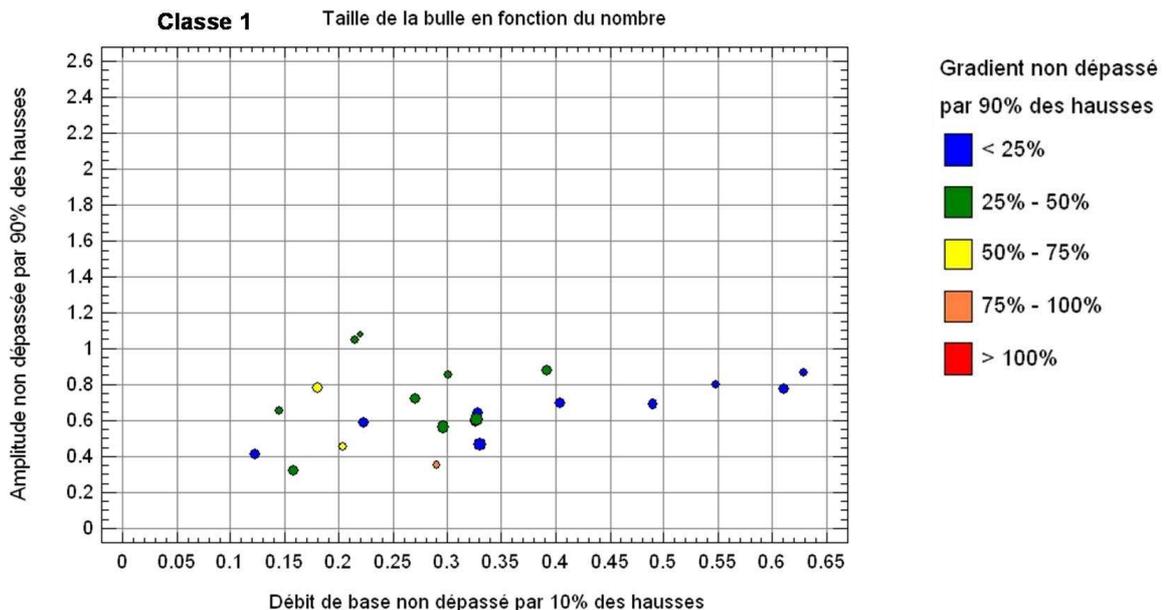


Figure 33 : Diagramme en bulle des stations classées en classe 1.

4.6. Exemple de mise en œuvre de l'indicateur

Quelques exemples de mise en œuvre de l'indicateur sont présentés afin de tester la capacité de l'indicateur proposé à répondre aux changements de gestion des centrales ou à l'amortissement vers l'aval d'un régime d'éclusées.

4.6.1. La Maronne à Basteyroux de 1989 à 2006

A Basteyroux sur la Maronne, la perturbation hydrologique est qualifiée de très sévère (classe 5) de 1989 à 2006, sauf en 2003 avec un niveau de perturbation sévère (classe 4+). Il n'y a donc pas réellement de changement de classe sur la période (Figure 34).

Le score de l'analyse discriminante varie sur la période entre environ 80 et 180 et montre une nette diminution à partir de 1998, les valeurs étant comprises entre environ 125 et 180 sur la période 1989-1997, puis entre environ 80 et 140 sur la période 1998-2006. Cette diminution du score reflète l'augmentation des débits de base des hausses d'éclusées observée à partir de 1998, avec en particulier une hausse significative du minimum dès 1998 et de la médiane dès 1999 (Figure 35). A partir de 2001, les valeurs du score restent inférieures à 120. Cette seconde phase de diminution du score reflète la baisse des amplitudes des hausses d'éclusées, avec en particulier une diminution du maximum et du 3^{ème} quartile (Figure 35). En revanche, la hausse significative du 1^{er} quartile des débits de base à partir de 2005 ne s'est pas traduite par une diminution du score.

Dans le cas de la Maronne à Basteyroux, les différentes modifications de gestion de 1989 à 2006 n'ont pas provoqué de changement de classe, la perturbation hydrologique restant globalement très sévère. Elles ont tout de même engendré une diminution significative du score de l'analyse discriminante qui traduit bien une atténuation de la perturbation. Toutefois, certaines modifications observables au travers des boîtes de dispersion peuvent ne pas être reflétées par l'indicateur. Cela s'explique par le fait que le choix d'un quantile particulier n'est pas à même de rendre compte de toutes les évolutions dans la distribution des valeurs des variables. D'autre part, un indicateur annuel aura également des difficultés à refléter l'effet d'une modification de gestion ne concernant qu'une partie de l'année (augmentation du débit de base hivernal par exemple).

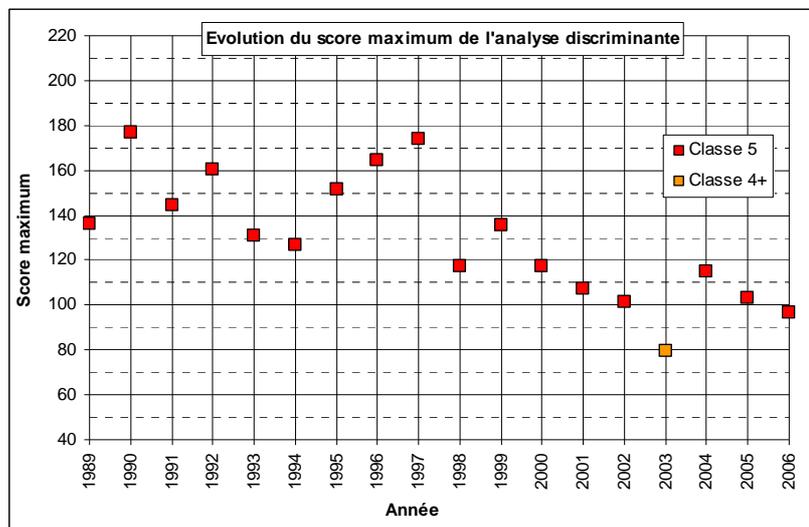


Figure 34 : Niveau de perturbation hydrologique et évolution du score maximum de l'analyse discriminante à Basteyroux sur la Maronne de 1989 à 2006.

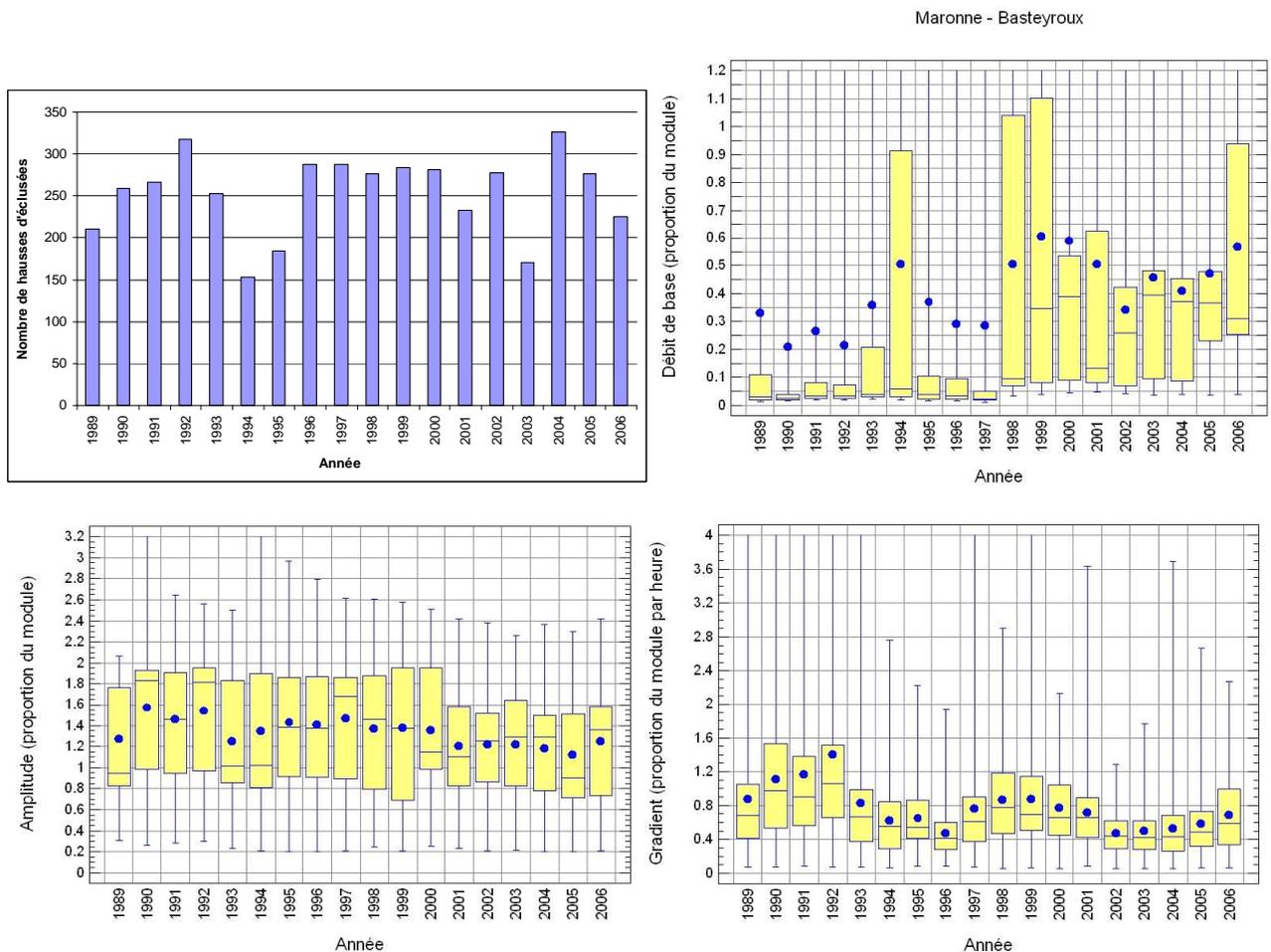


Figure 35 : Evolutions du nombre de hausses d'éclusées, de leurs débits de base, amplitudes et gradients, de 1989 à 2006 à la station de Basteyroux sur la Maronne.

4.6.2. La Dordogne à Argentat de 1989 à 2006

A Argentat sur la Dordogne, en aval du Sablier, la perturbation hydrologique est qualifiée globalement de très marquée de 1989 à 2002 (classe 3+ ou 3-), hormis les années 1993 et 2001 où la perturbation n'est que marquée (classe 2+) du fait de nombres d'éclusées moyens ou faibles (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), et d'amplitudes faibles par rapport à la période 1989-2002. Le 3^{ème} quartile des amplitudes est de l'ordre de 75% du module en 1993 et 2001 alors qu'il est compris entre 85% et 110% du module les autres années de la période 1989-2002 (Figure 37).

A partir de 2003, la perturbation hydrologique devient marquée, classe 2+ de 2003 à 2005 puis 2- en 2006. Ce changement de classe est consécutif aux modifications de gestion mises en œuvre dans le cadre du défi éclusées lancé par l'agence de l'eau Adour-Garonne. Le nombre de hausse d'éclusées compris entre environ 125 et 240 sur la période 1989-2002 diminue significativement à partir de 2003 et devient inférieur à 100 (Figure 37). A partir de 2004, on observe une hausse des faibles valeurs de débit de base, avec en particulier une hausse du débit de base minimum atteignant environ 30% du module. Les années 2004 et 2006 présentent les amplitudes globalement les plus faibles de la période analysée avec en particulier une médiane de l'ordre de 45% du module et un 3^{ème} quartile de l'ordre de 70% du module. A partir de 2004, on observe également une baisse progressive des gradients. La conjonction en 2006 des différentes mesures d'atténuation induit le plus faible score de l'analyse discriminante et provoque le passage en classe 2-.

Les changements de classe et la diminution du score à partir de 2003 traduisent bien l'atténuation de la perturbation hydrologique obtenue grâce aux mesures mises en œuvre dans le cadre du défi éclusées. L'exemple de la Dordogne à Argentat montre que l'indicateur proposé réagit aux modifications dans la gestion des aménagements.

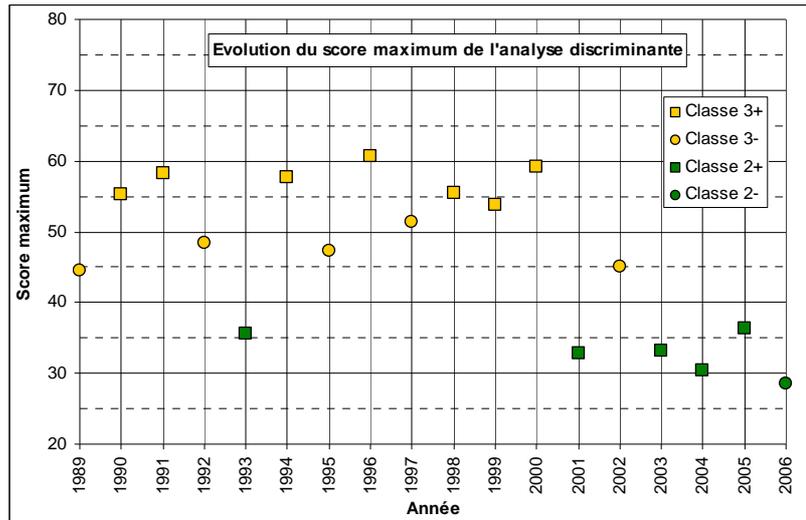


Figure 36 : Niveau de perturbation hydrologique et évolution du score maximum de l'analyse discriminante à Argentat sur la Dordogne de 1989 à 2006.

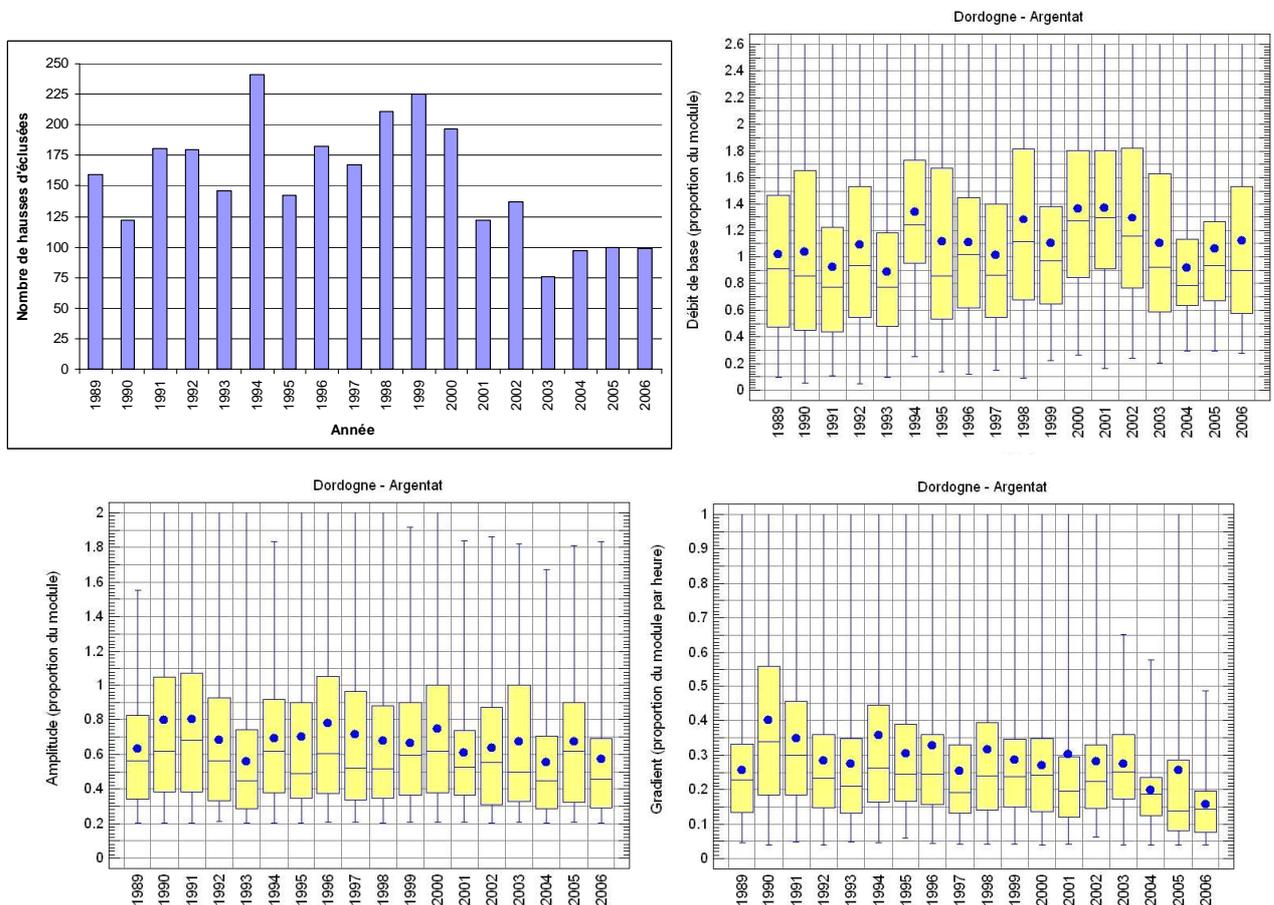


Figure 37 : Evolutions du nombre de hausses d'éclusées, de leurs débits de base, amplitudes et gradients, de 1989 à 2006 à la station d'Argentat sur la Dordogne.

4.6.3. La Garonne de Saint-Béat à Valentine de 2004 à 2006

La Figure 38 présente le niveau de perturbation hydrologique et le score de l'analyse discriminante aux stations de l'amont vers l'aval de Saint-Béat, Chaum et Valentine sur la Garonne de 2004 à 2006. La perturbation hydrologique est qualifiée de très sévère à Saint-Béat (classe 5), avec un score compris entre 140 et 180, de sévère ou très sévère à Chaum selon l'année (classe 4+ ou 5),

avec un score compris entre 90 et 130, et de très marquée ou sévère à Valentine selon l'année (classe 3+ ou 4-), avec un score compris entre 45 et 60. Quelle que soit l'année, le niveau de perturbation hydrologique diminue vers l'aval, de Saint-Béat à Valentine, au fur et à mesure que le régime d'éclusées s'amortit, avec un changement progressif de la classe 5, par la classe 4+, vers la classe 4- ou 3+.

Les changements de classe et la diminution du score traduisent bien l'atténuation de la perturbation hydrologique du fait de l'amortissement du régime d'éclusée illustré pour l'année 2006 par les Figure 39 et Figure 40. Au niveau de Saint-Béat, on observe un nombre de hausses d'éclusées très important, avec un débit de base minimum de l'ordre de 20% du module, les débits maxima atteints représentant couramment près de 160% du module. Vers l'aval, au niveau de Chaum et de Valentine, on constate une diminution progressive du nombre de hausses d'éclusées et de leurs amplitudes rapportées au module qui se limitent pour la plupart à 80% du module à Chaum et à 60% du module à Valentine, les gradients ayant tendance à s'atténuer, et les débits de base ayant tendance à augmenter du fait des apports intermédiaires.

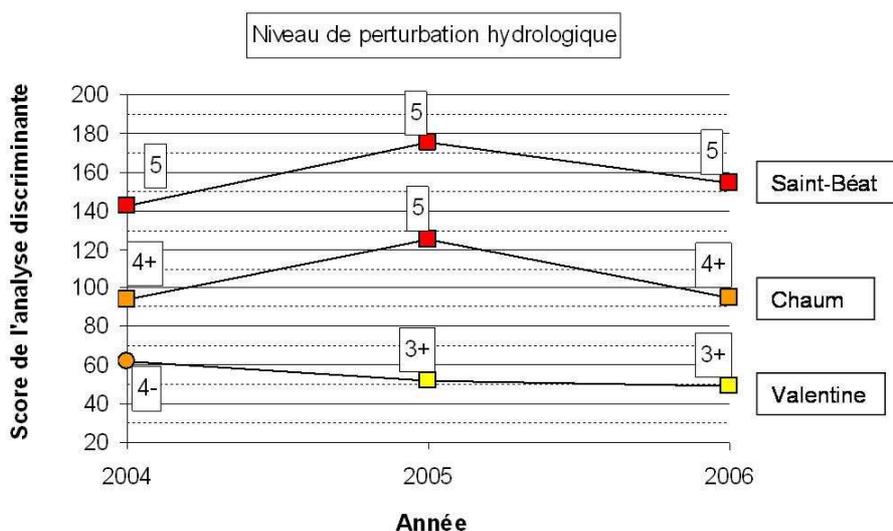


Figure 38 : Niveau de perturbation hydrologique et score de l'analyse discriminante aux stations de Saint-Béat, Chaum et Valentine sur la Garonne de 2004 à 2006.

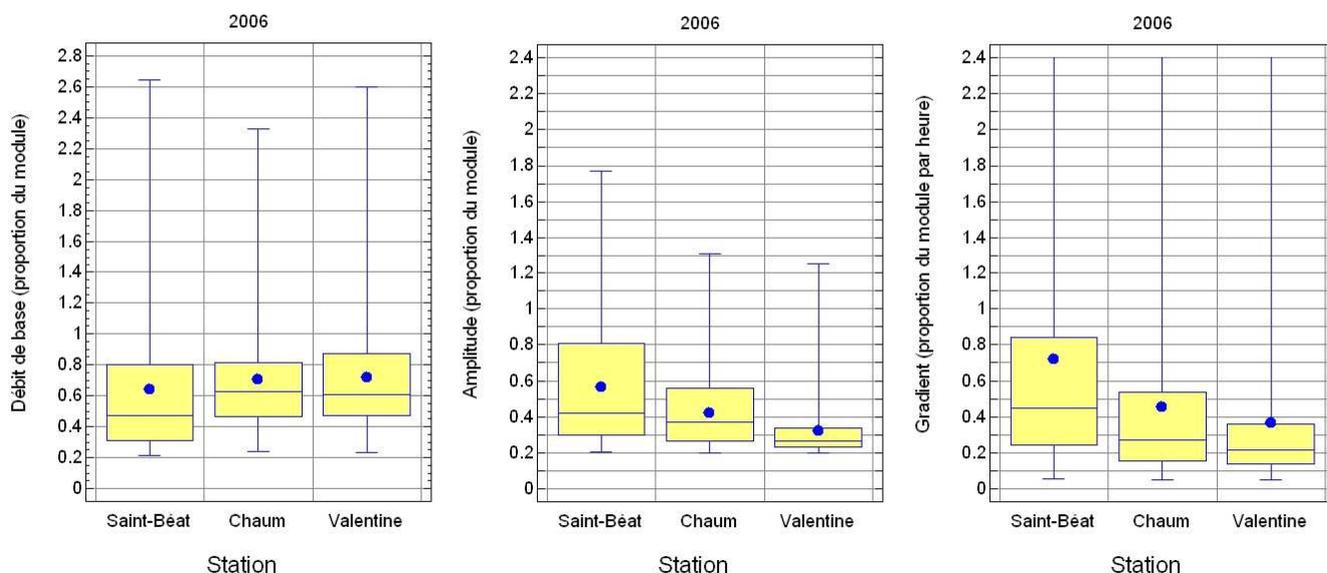


Figure 39 : Evolutions des débits de base, des amplitudes et des gradients des hausses d'éclusées, de l'amont vers l'aval, à Saint-Béat, Chaum et Valentine sur l'axe Garonne en 2006.

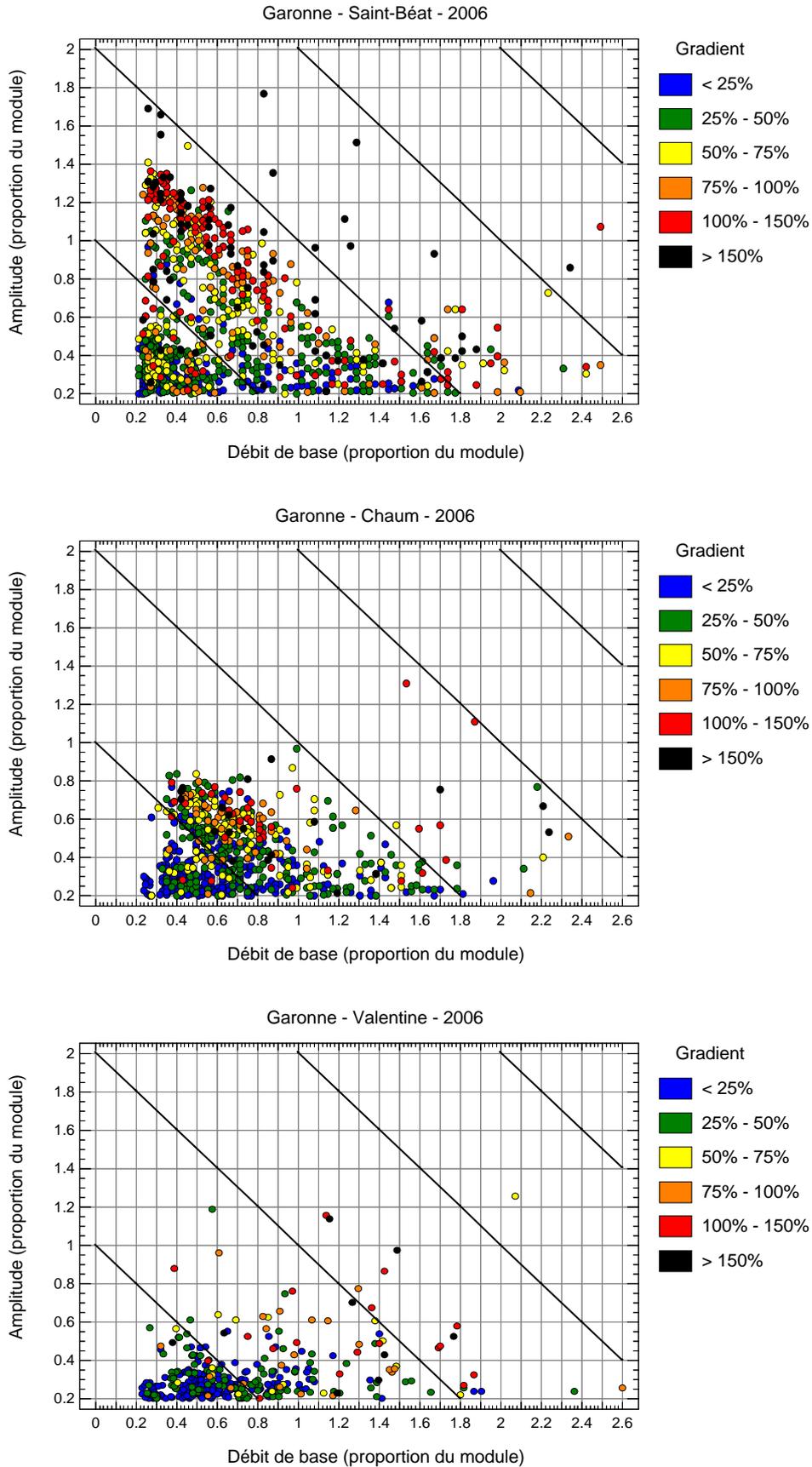


Figure 40 : Diagramme en bulle des hausses d'éclusées en 2006 aux stations de Saint-Béat, Chaum et Valentine sur la Garonne.

4.6.4. La Dordogne d'Argentat à Cénac en 2006

La Figure 41 présente le niveau de perturbation hydrologique et le score de l'analyse discriminante aux différentes stations de l'axe Dordogne de 2003 à 2006. De l'amont vers l'aval, les stations sont Argentat, Brivezac, Carennac, Souillac et Cénac, le module de la Dordogne augmentant de 107 m³/s à Argentat à 190 m³/s à Cénac.

Au niveau des deux stations amont d'Argentat et de Brivezac, la perturbation hydrologique est globalement qualifiée de marquée de 2003 à 2006 (classe 2+, sauf Argentat en 2006 en classe 2-), avec des scores compris entre 28 et 40. Entre Argentat et Brivezac, le score de l'analyse discriminante a tendance à augmenter en 2003, 2004 et 2006, suggérant une aggravation de la perturbation hydrologique. Cela s'explique par la surimposition entre ces deux stations du régime d'éclusées de la Maronne, premier affluent rive gauche de la Dordogne. En 2005, année où la perturbation est la plus marquée à Argentat, l'influence du régime d'éclusées de la Maronne se fait moins sentir à Brivezac. Plus en aval, au niveau des stations de Carennac et de Souillac, la perturbation hydrologique est globalement qualifiée de marquée (classe 2-, sauf Carennac en 2005 en 2+), avec des scores compris entre 22 et 30. A Cénac, la station la plus aval, elle est qualifiée de sensible (classe 1) avec des scores compris entre 14 et 18. Qu'elle que soit l'année, à partir de Brivezac, le niveau de perturbation hydrologique diminue vers l'aval au fur et à mesure que le régime d'éclusées s'amortit, avec un changement progressif de la classe 2+, par la classe 2-, vers la classe 1.

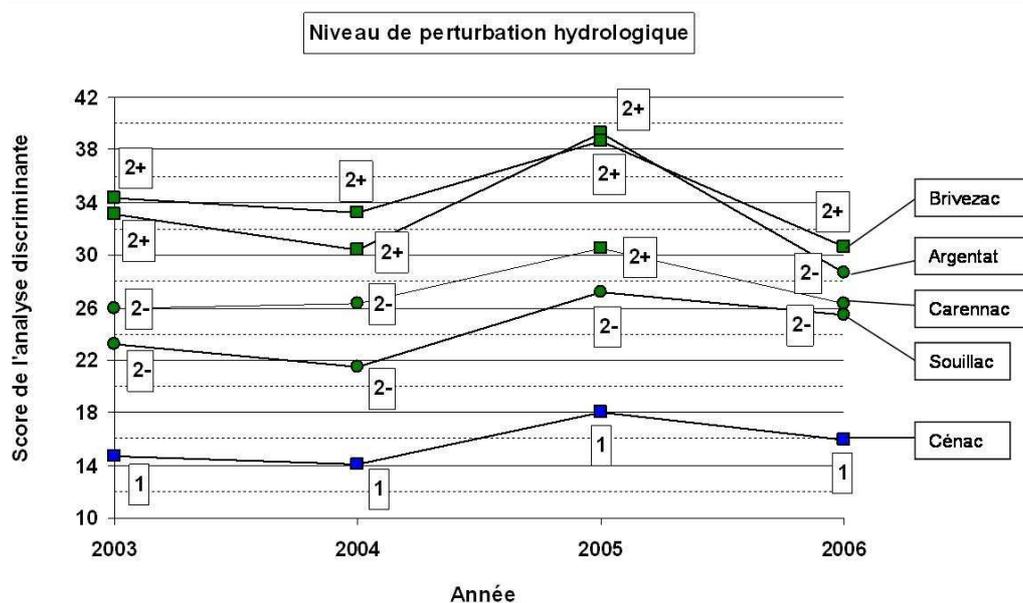


Figure 41 : Niveau de perturbation hydrologique et score de l'analyse discriminante aux différentes stations de l'axe Dordogne de 2003 à 2006.

5. CONCLUSIONS, DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a tout d'abord permis de proposer une méthodologie permettant de discriminer les crues des perturbations hydrologiques induites par les éclusées, et par conséquent les stations à hydrologie naturelle ou peu perturbée et celles soumises à un régime d'éclusées. Cette distinction éclusées-crues paraît en effet indispensable pour la caractérisation des éclusées et la définition d'indicateurs crédibles. La méthodologie d'extraction des éclusées proposée, automatisée, ne se base que sur le module du cours d'eau, la connaissance des débits d'équipement des usines en amont pouvant également s'avérer utile. Elle est adaptée à une mise en œuvre « en routine » pour la production d'indicateurs.

Cette méthodologie pourra être affinée, en particulier vis-à-vis de la sélection des éclusées et avec la possibilité d'agrèger les hausses ou les baisses d'éclusées successives. Cette possibilité serait en particulier utile dans le cas de stations situées à l'aval de centrales avec un fonctionnement par éclusées « en tiroirs », comme sur la Dordogne. Toute amélioration dans la sélection des éclusées sera profitable à la qualité des indicateurs produits et des diagnostics établis par la suite.

Chaque perturbation hydrologique ayant pour origine une éclusée a été caractérisée par un certain nombre de descripteurs : débit de base, amplitude, débit maximum, gradient, rapport débit maximum sur débit de base, amplitude rapportée au débit de base. Sur une période donnée, les régimes d'éclusées peuvent être caractérisés par le nombre de hausses ou de baisses d'éclusées, et par des paramètres statistiques (minimum, moyenne, maximum, médiane, quantiles...) de la distribution des valeurs des différents descripteurs.

Un indicateur donnant une vision synthétique du niveau de perturbation hydrologique a été proposé à partir de l'analyse des hausses d'éclusées. Les stations à l'hydrologie perturbée par les éclusées ont été classées *a priori* par expertise selon cinq niveaux de perturbation hydrologique (sensible, marquée, très marquée, sévère et très sévère). Une analyse discriminante portant sur 4 descripteurs (nombre d'éclusées, valeur du débit de base non dépassée par 10% des hausses, valeurs d'amplitude et de gradient non dépassées par 90% des hausses) permet de reclasser correctement 102 données sur 109, soit plus de 93% de l'échantillon. Ces résultats montrent (1) que les paramètres pris en compte permettent de reproduire correctement les classements établis par expertise, et (2) que l'analyse discriminante est une méthodologie adaptée à la production d'un indicateur synthétique du niveau de perturbation hydrologique sous forme de classes.

Les exemples de mises en œuvre de l'indicateur proposé ont montré que celui-ci s'avère sensible aux changements de gestion des centrales et permet d'apprécier les évolutions temporelles et spatiales des régimes d'éclusées, en particulier leur amortissement vers l'aval, au travers de changements de classe ou d'évolutions du score de l'analyse discriminante.

La présente étude se poursuivra dans le cadre d'un stage de Master le premier semestre 2008. On cherchera à améliorer la sélection et la représentation des régimes d'éclusées, notamment en prenant en compte les baisses d'éclusées. Le jeu de données sera enrichi en incluant en particulier des stations situées sur d'autres bassins, pour prendre en compte un maximum de situations et s'assurer de la pertinence de l'indicateur dans un maximum de cas. Dans cette perspective de poursuite de la présente étude, il serait indispensable de connaître, pour chaque station hydrométrique étudiée, de façon exhaustive les différents aménagements situés en amont avec leurs caractéristiques (localisation de l'usine « source » des éclusées, débit d'équipement, débit réservé...). Cela permettrait d'améliorer la fiabilité de la méthodologie de sélection des éclusées et la qualité de ou des indicateurs produits.

On rappelle que le classement effectué ne correspond pas à une évaluation de l'impact biologique du régime d'éclusées, mais uniquement à une appréciation *a priori* d'un niveau de perturbation hydrologique induit. Il ne s'agit en aucune façon d'un niveau de perturbation biologique. Le lien entre les niveaux d'impact hydrologique et biologique est complexe et va dépendre en particulier de la morphologie du cours d'eau, et des stades biologiques concernés. Une même perturbation hydrologique peut ainsi se traduire par des niveaux d'impact biologique très différents. Une éclusée isolée intervenant à une phase clé des cycles de développement des poissons ou des invertébrés peut induire un impact biologique fort alors qu'elle n'influencera que peu les paramètres statistiques pris en compte pour le classement par analyse discriminante. C'est par exemple le cas de la Dordogne en 2006 où un impact biologique fort a été constaté avec un échouage-piégeage important de poissons lors de la baisse de débit d'environ 280 à 50 m³/s réalisée par palier entre le 16 et le 22 avril pendant la période d'émergence (suivi ECOGEA pour MIGADO).

6. BIBLIOGRAPHIE

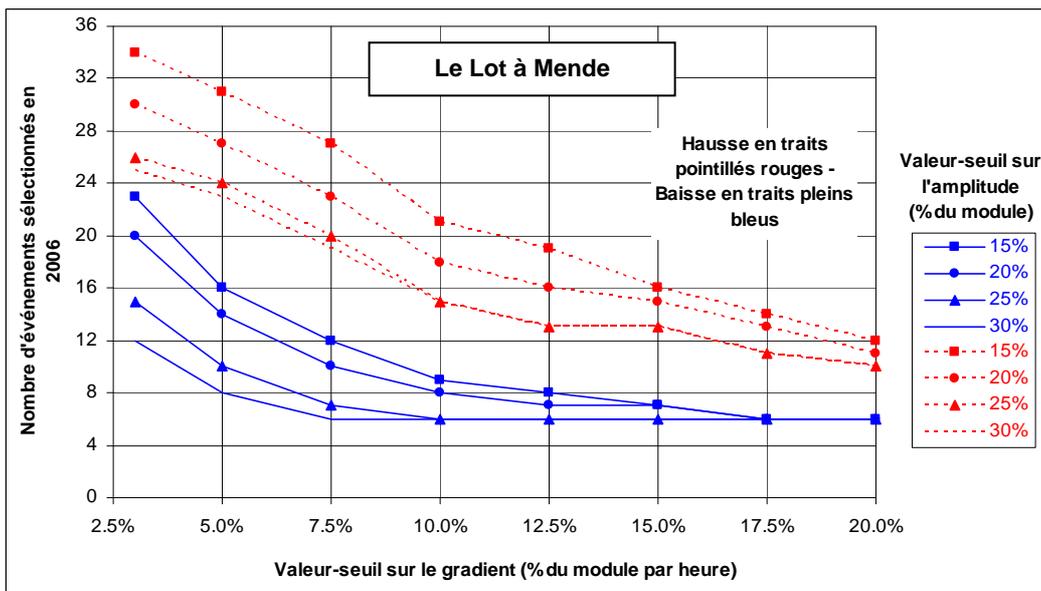
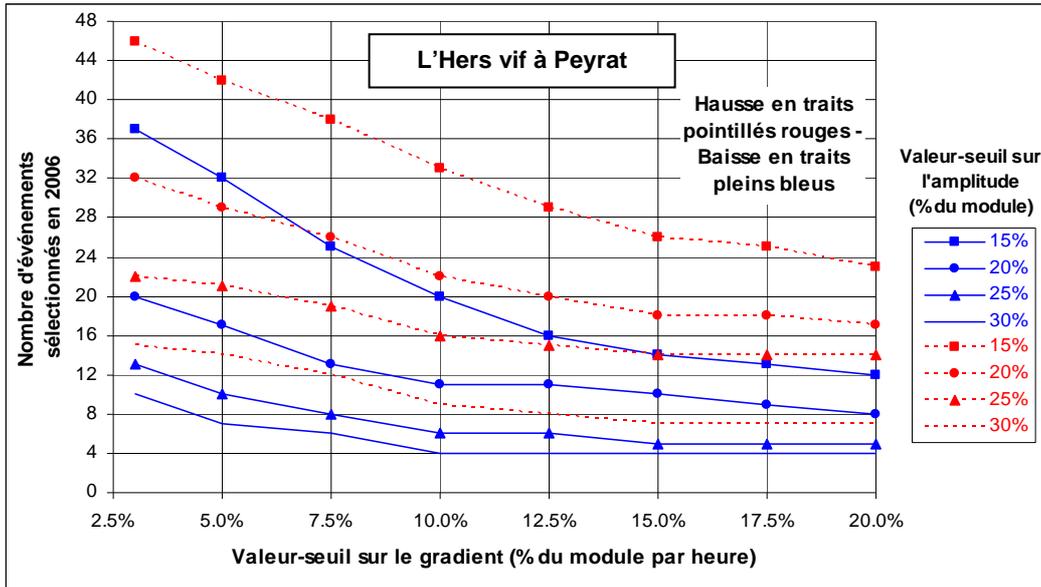
Courret D, Larinier P, Lascaux JM, Chanseau M et Larinier M, 2006. Etude pour une limitation des effets des éclusées sur la Dordogne en aval de l'aménagement du Sablier pour le saumon atlantique – Secteur Argentat – Saulières. Rapport MIGADO 8D-06-RT / Rapport GHAAPPE RA.06.02.

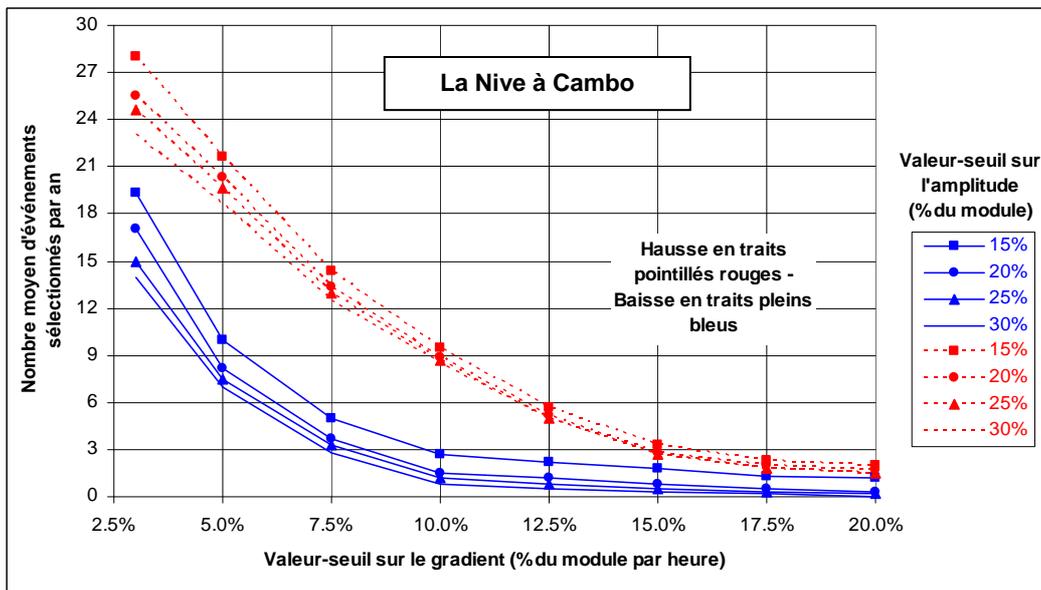
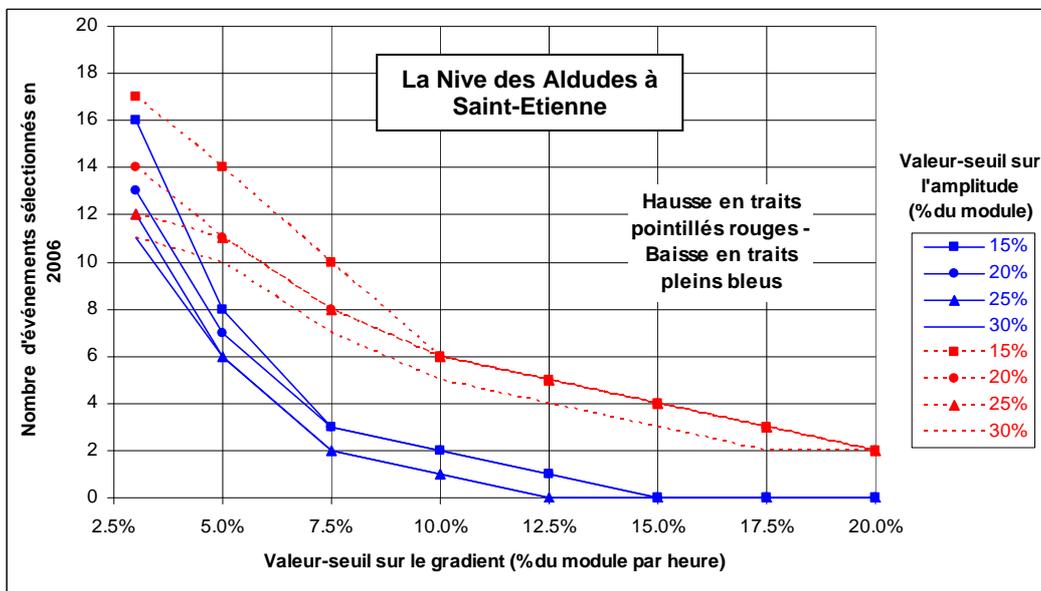
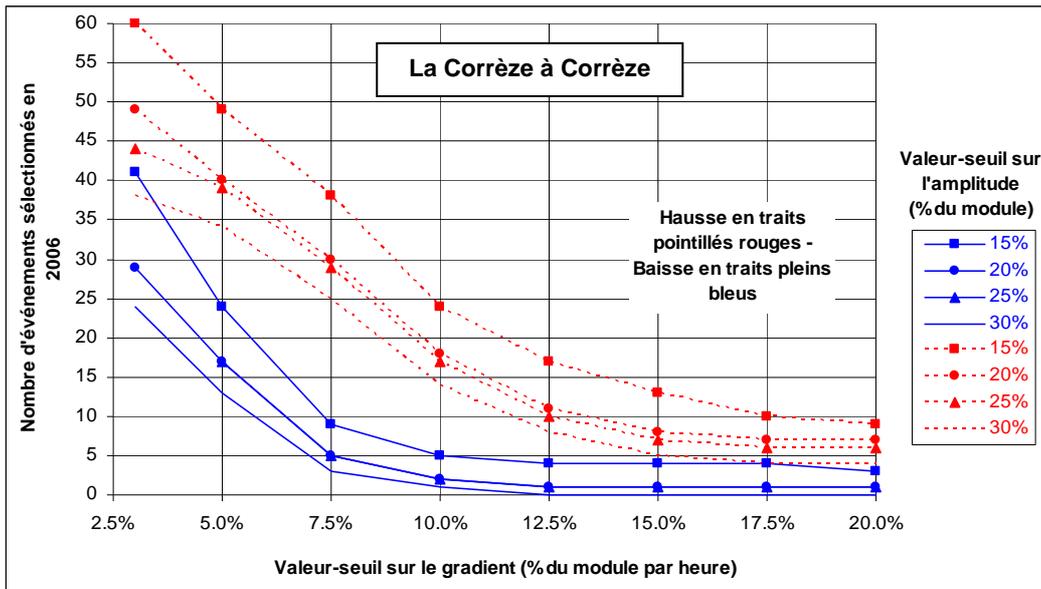
Eaucéa, 2007. Etude de définition d'indicateurs pour la caractérisation des éclusées sur le bassin Adour-Garonne – Inventaire des méthodes et propositions d'indicateurs.

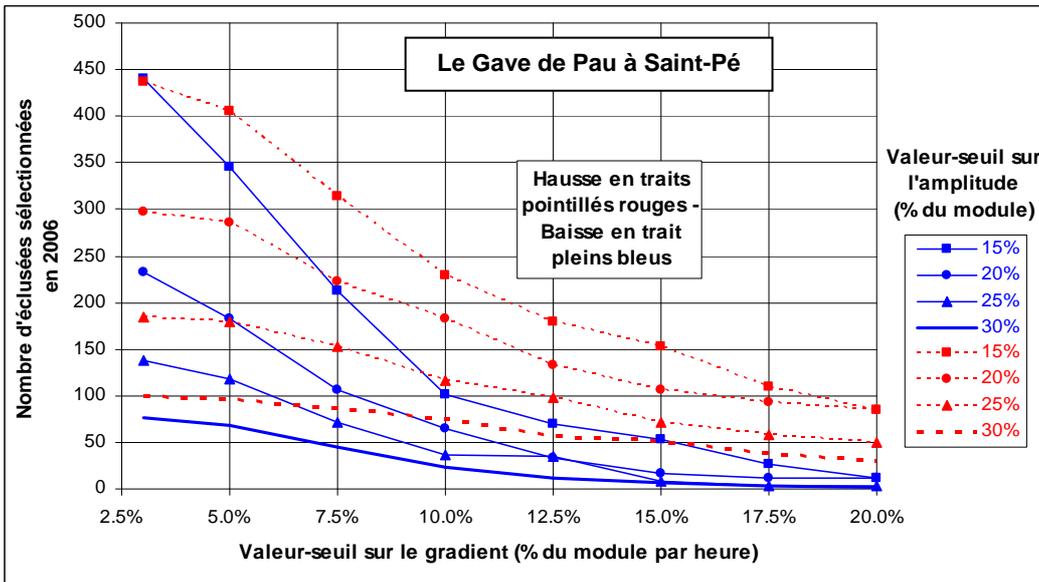
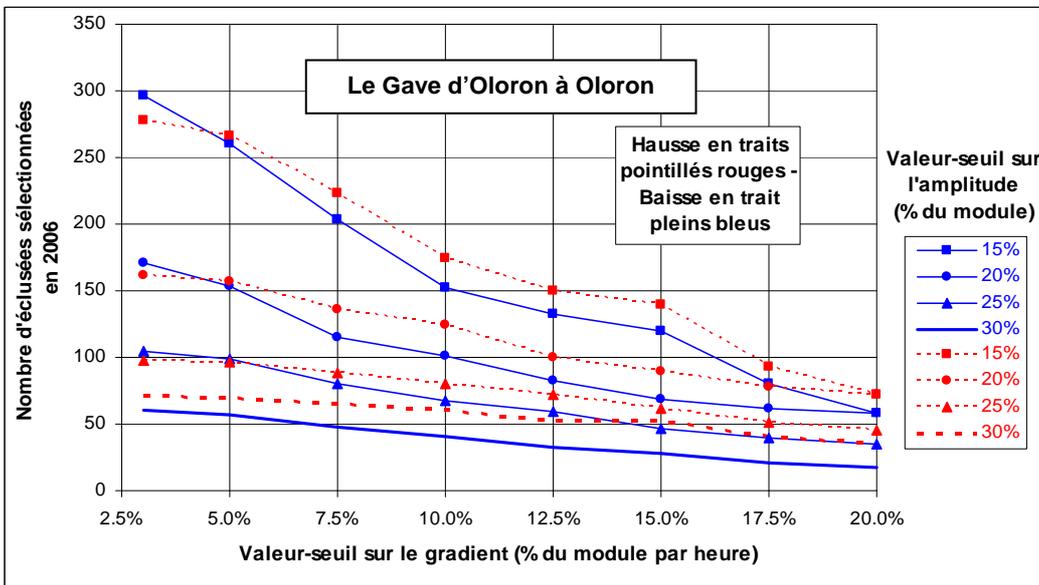
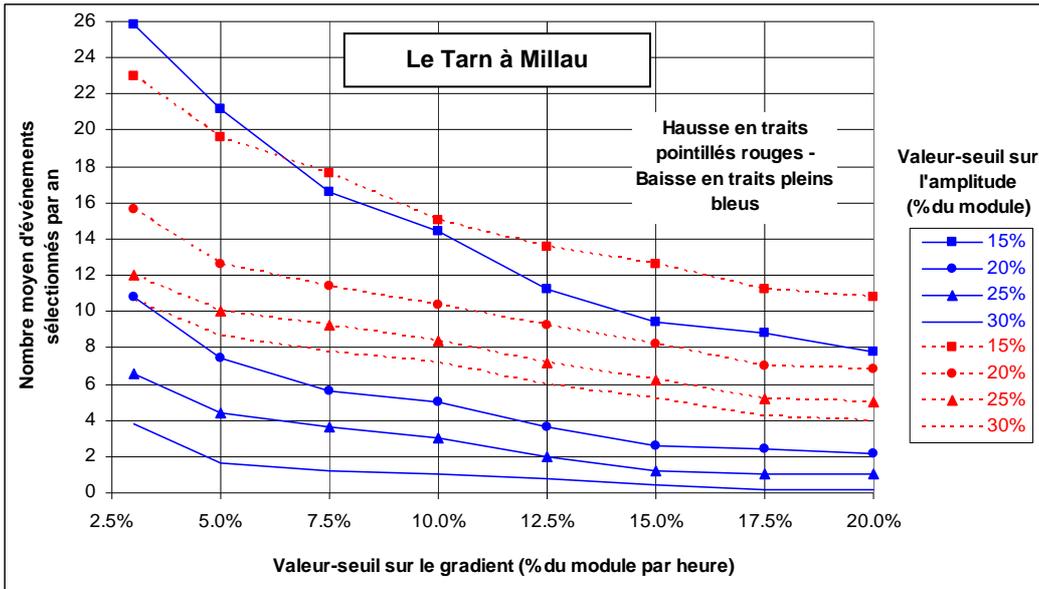
Lauters F, 1995. Impacts sur l'écosystème aquatique de la gestion par éclusées des ouvrages hydroélectriques – Etude de quelques cours d'eau et analyse des phénomènes mis en jeu. Thèse de Doctorat.

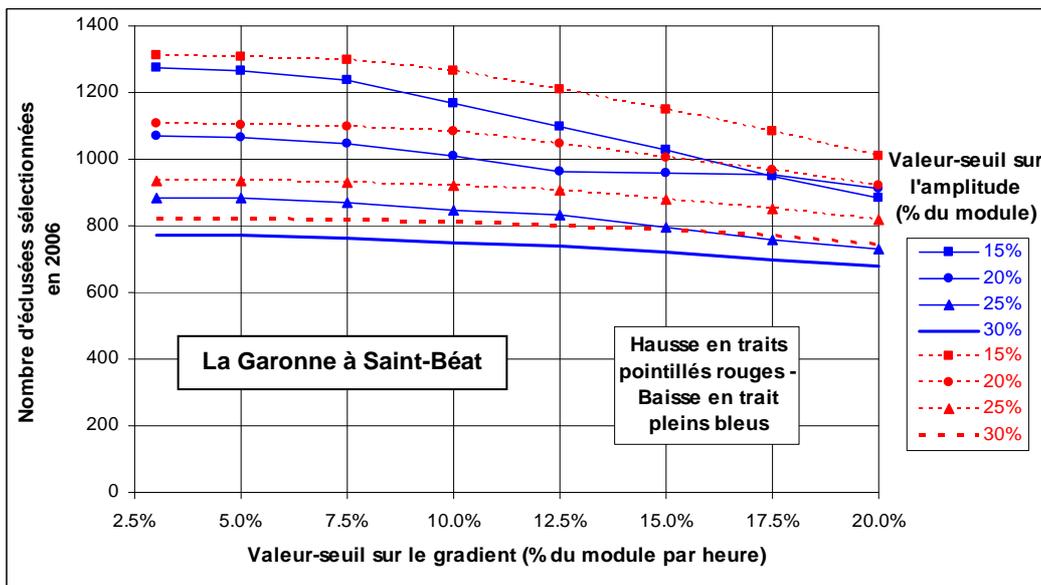
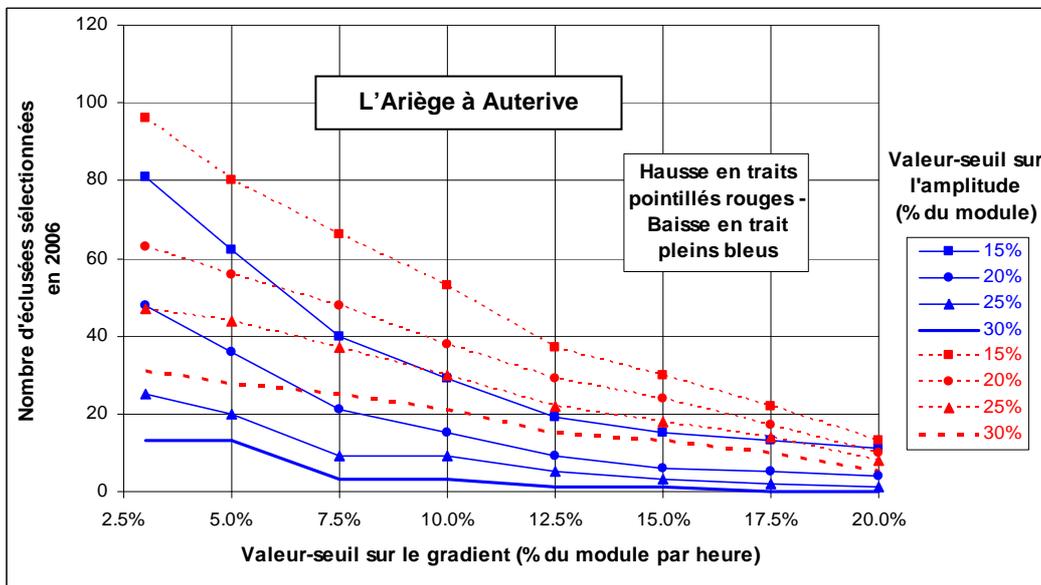
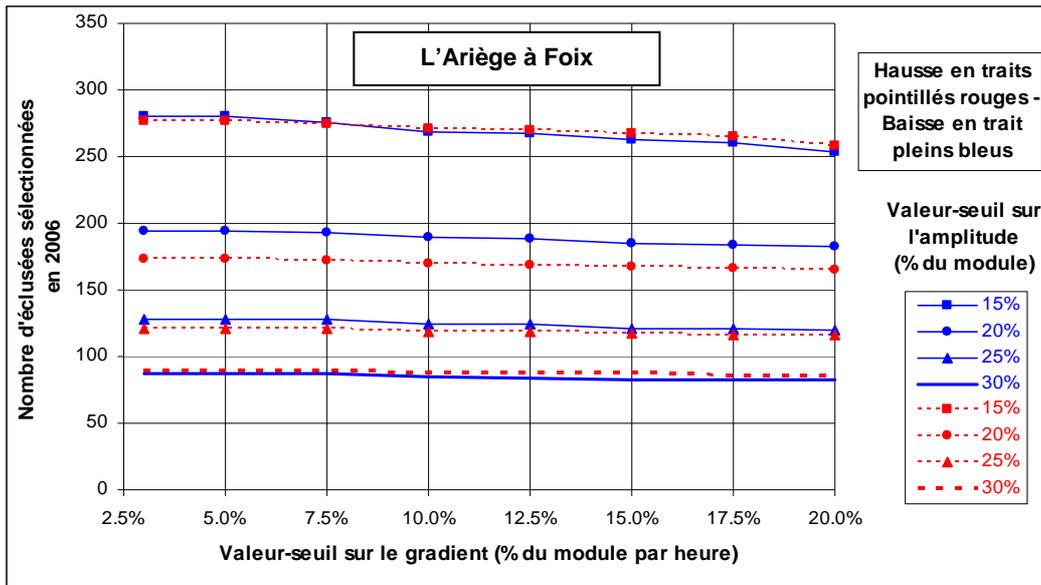
Pfaundler M et Keusen M, 2007. Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0712. Bundesamt für Umwelt, Bern. 110 S.

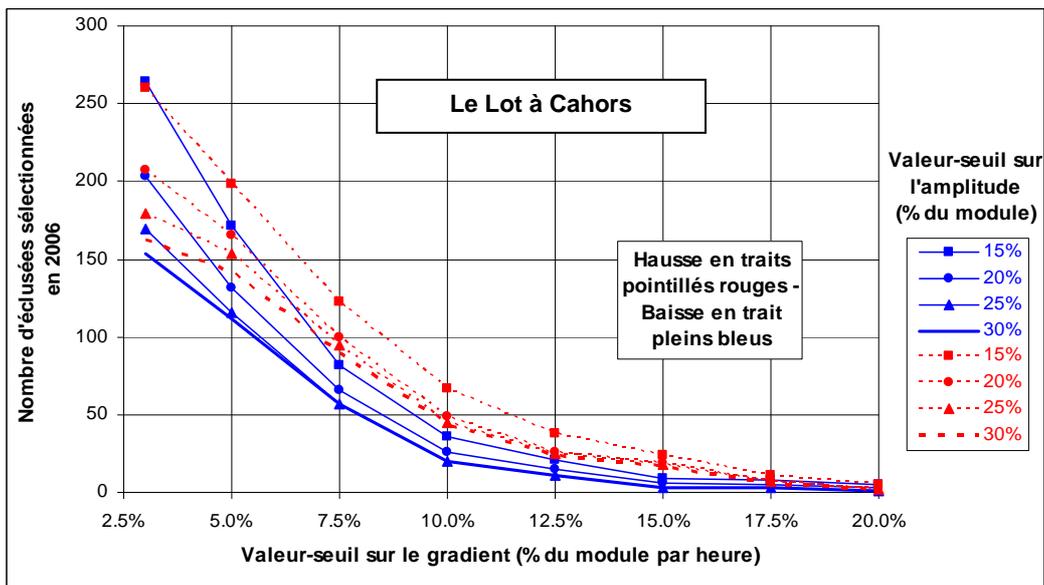
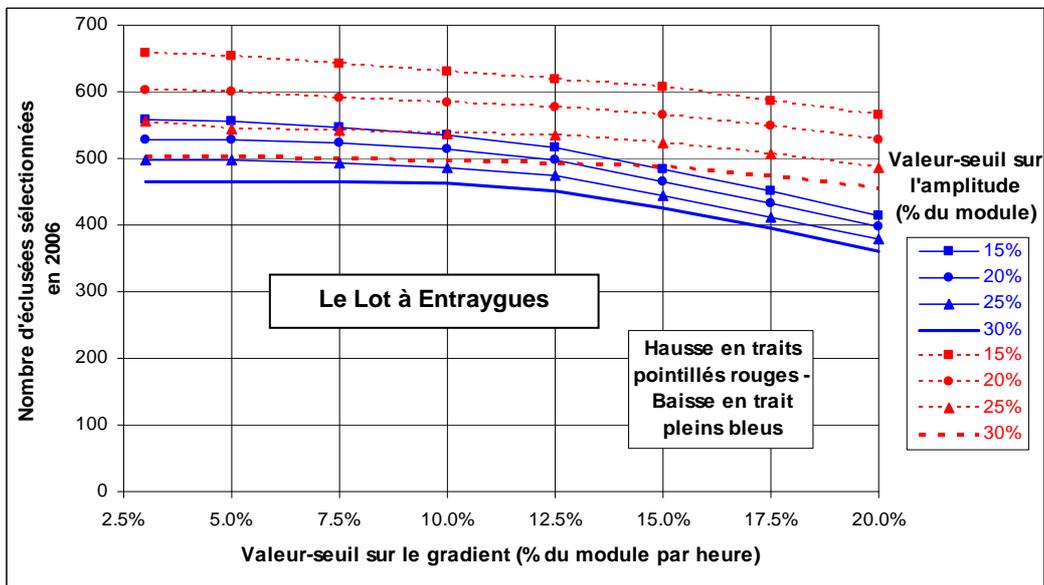
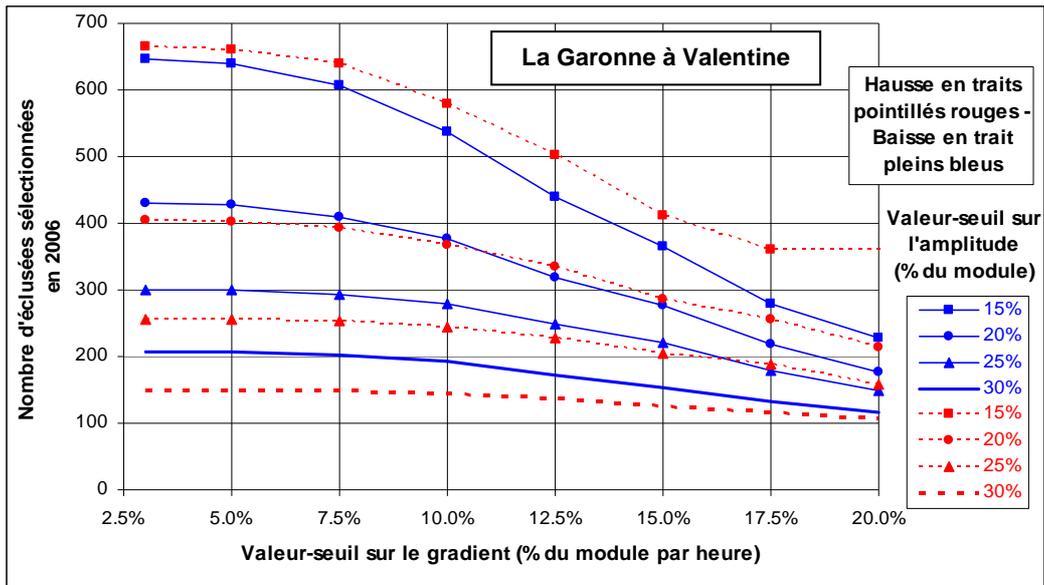
7. ANNEXE 1 : GRAPHIQUES PRESENTANT LE NOMBRE D'ÉVÉNEMENTS SÉLECTIONNÉS EN FONCTION DU COUPLE DE VALEUR-SEUIL CONSIDÉRÉ.

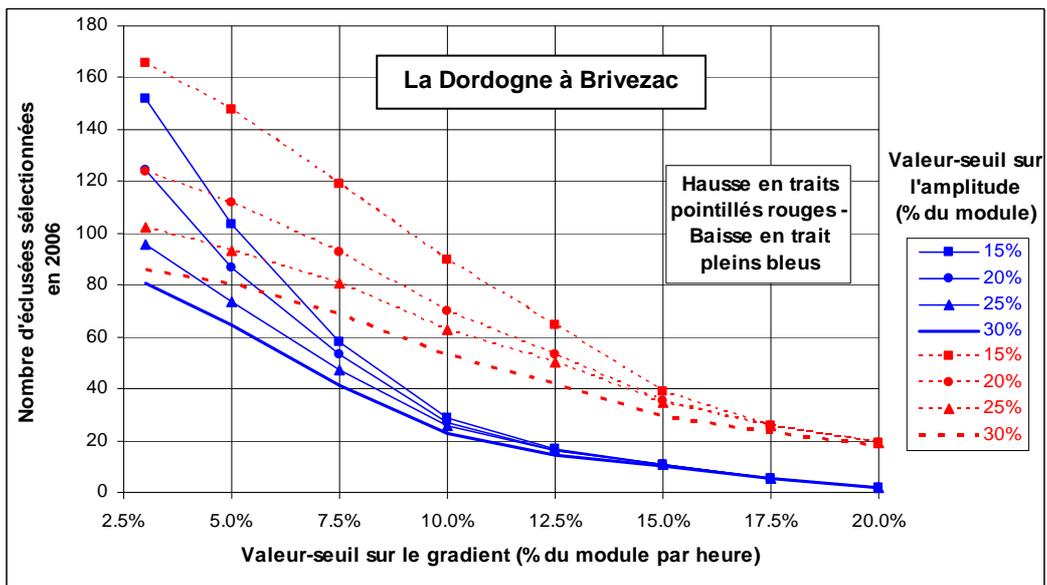
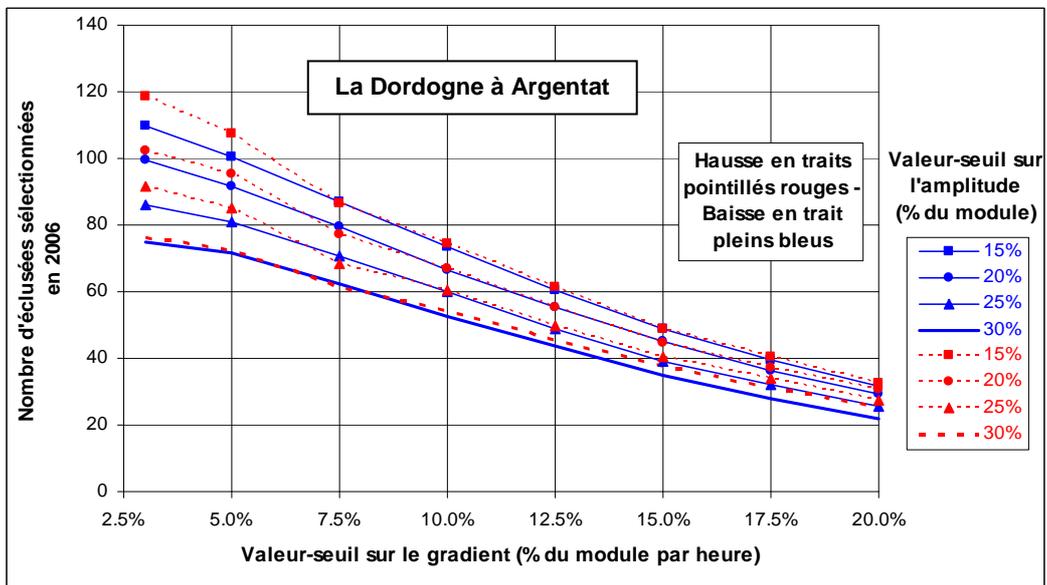
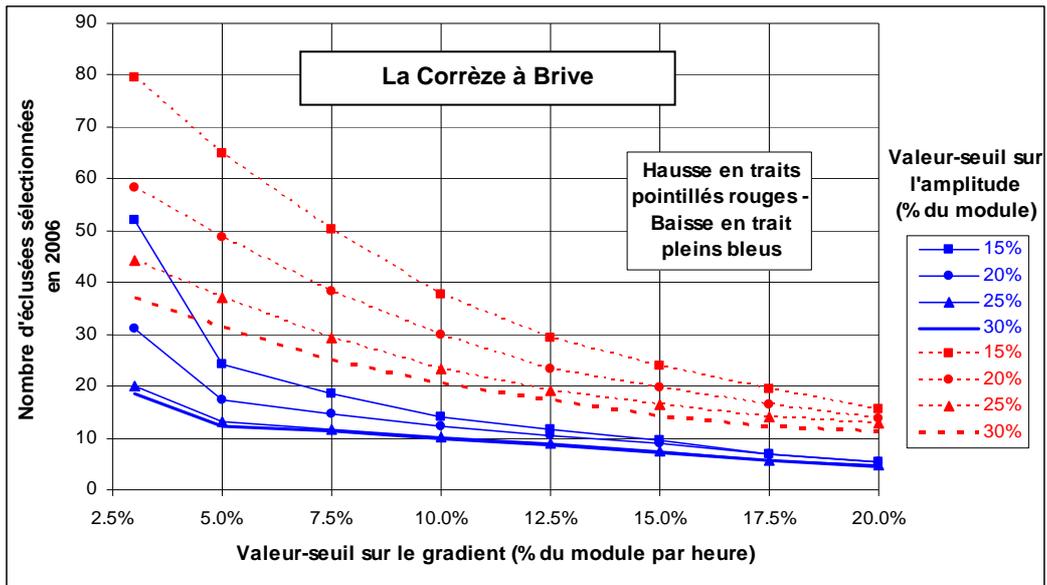


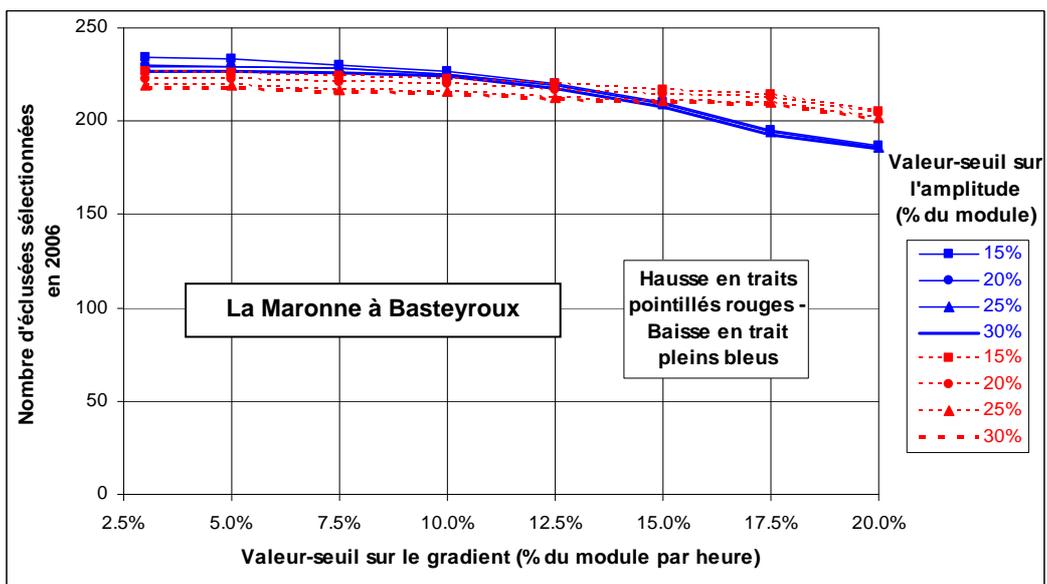
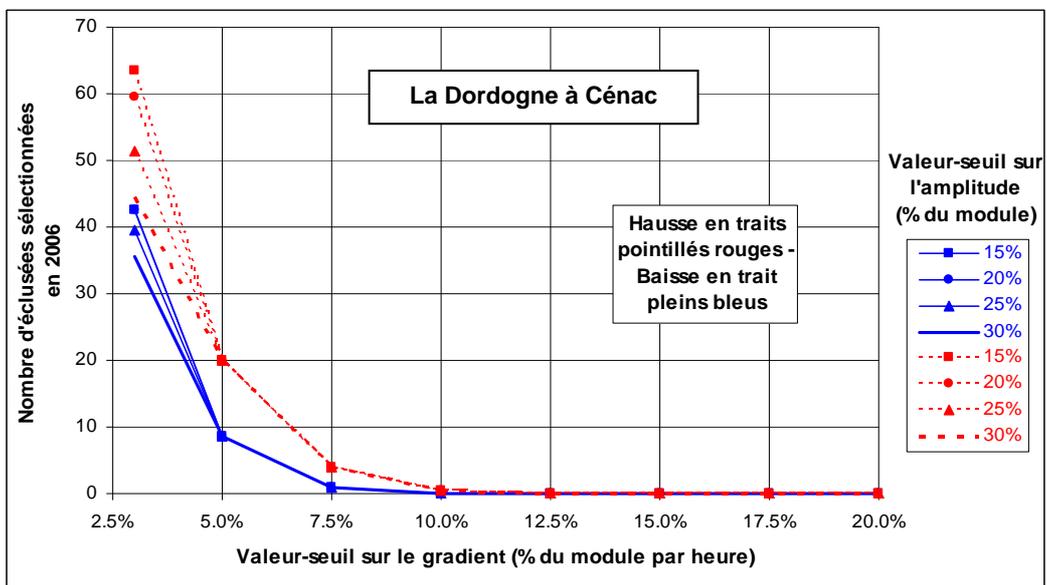
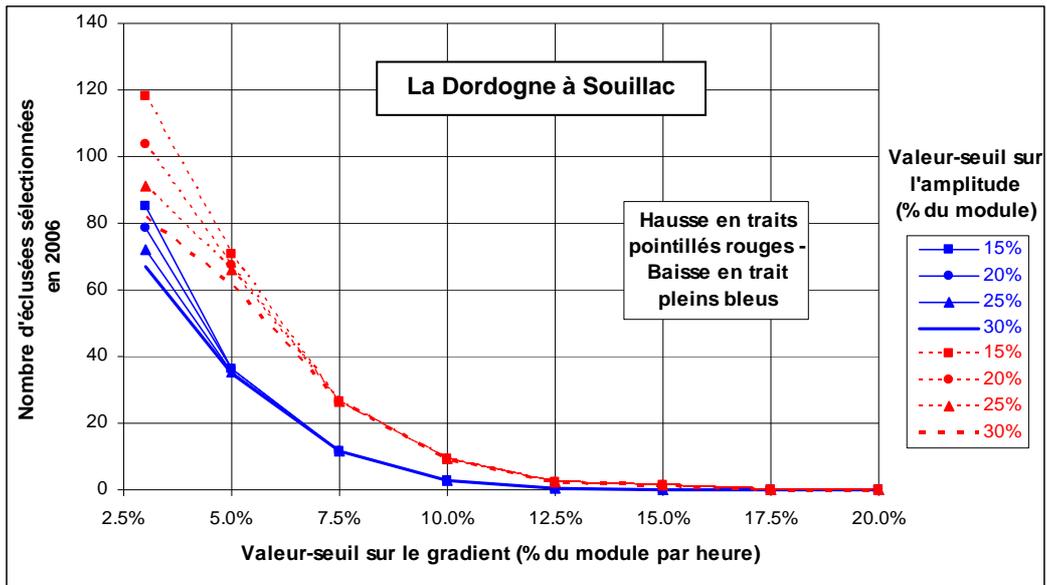












8. ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DES EVENEMENTS IDENTIFIES DANS LES CHRONIQUES DES STATIONS A L'HYDROLOGIE NATURELLE

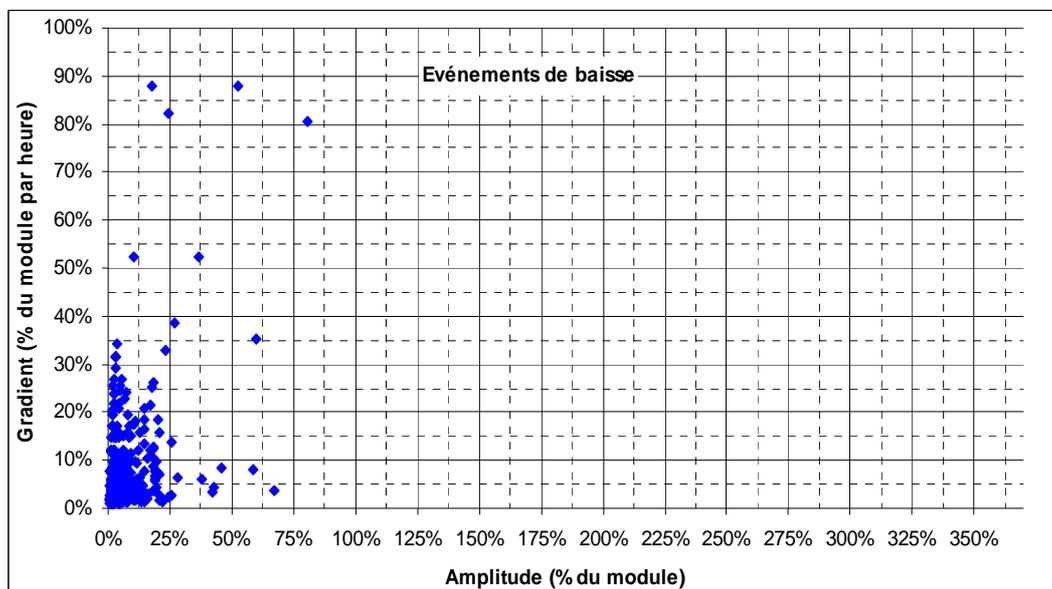
A partir des chroniques de débit en notre possession, 6 stations à l'hydrologie naturelle ou peu perturbée ont été analysées : l'Hers Vif au Peyrat (module de 4.12 m³/s, 2006), le Lot à Mende (module de 4.57 m³/s, 2006), la Corrèze à Corrèze (module de 5.6 m³/s, 2006), la Nive des Aldudes à Saint-Etienne (module de 7.17 m³/s, 2006), la Nive à Cambo-les-bains (module de 30.1 m³/s, 2000-2005) et le Tarn à Millau (module de 47.6 m³/s, 2002-2006).

Pour chaque station à l'hydrologie naturelle, on a porté sur deux graphiques les caractéristiques amplitude – gradient des événements de hausse et de baisse identifiés dans les chroniques. On peut distinguer sur ces graphiques trois ensembles d'événements, cette distinction étant plus ou moins évidente selon les cours d'eau :

- les événements à forte amplitude et faible gradient qui correspondent le plus souvent aux crues et décrues naturelles et qui peuvent être exclus par une condition de gradient minimal. Les caractéristiques de ces événements vont dépendre du contexte hydrologique de chaque cours d'eau (type de pluviométrie, temps de concentration des écoulements,...).
- les événements à faible amplitude et fort gradient qui peuvent correspondre à des dysfonctionnements du capteur (artefacts, imprécisions) ou à une influence anthropique et qui peuvent être exclus par une condition d'amplitude minimale.
- les événements à faible amplitude et faible gradient qui peuvent être exclus par les deux conditions précédentes.

L'Hers vif au Peyrat

La Figure 42 présente les caractéristiques amplitude – gradient des événements de hausse et de baisse identifiés dans les chroniques de l'Hers vif au Peyrat (2006) et dont le débit maximum est inférieur à 3.7 fois le module. De nombreux événements (489 baisses et 428 hausses) en partie dus aux imprécisions et artefacts du capteur et en partie à une légère influence anthropique sensible à faible débit sont identifiés dans cette gamme de débit (Figure 43).



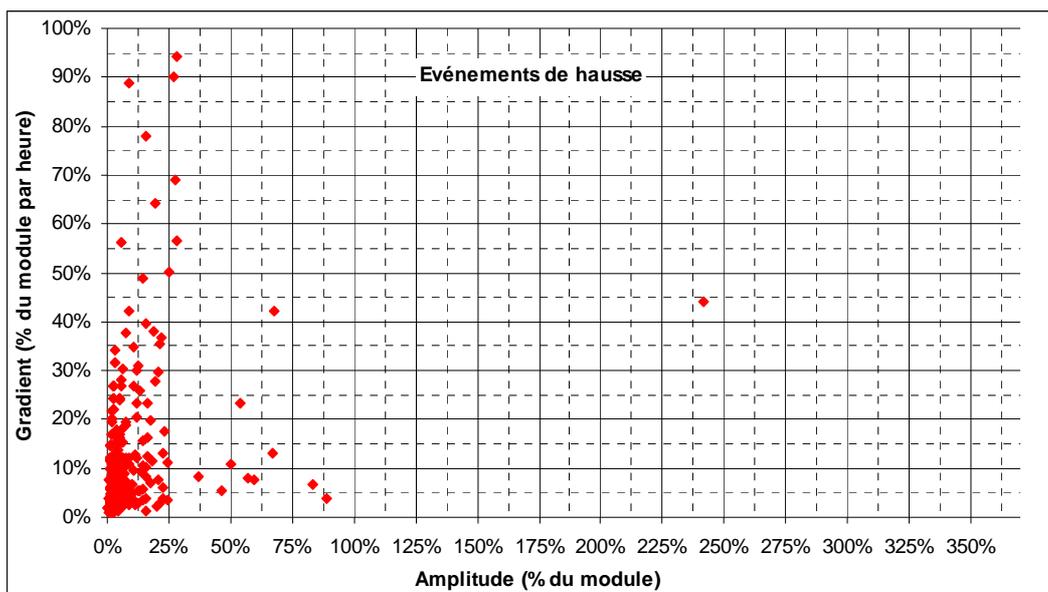


Figure 42 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de l’Hers vif au Peyrat (2006).

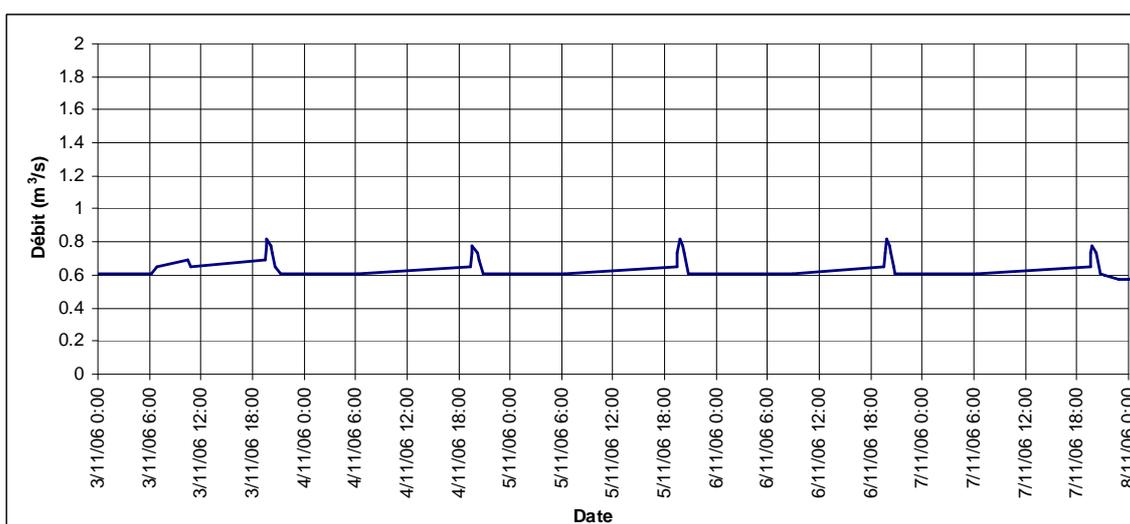


Figure 43 : Chronique de débit de l’Hers Vif au Peyrat du 31 août au 7 septembre 2006 illustrant une légère influence anthropique à faible débit.

Le Lot à Mende

La Figure 44 présente les caractéristiques amplitude – gradient des événements de hausse et de baisse identifiés dans les chroniques du Lot à Mende (2006) et dont le débit maximum est inférieur à 3.7 fois le module. Ces événements (64 baisses et 71 hausses) semblent en majeure partie dus à des crues et décrues naturelles, sans influence ni artefact notable du capteur. Certaines crues et décrues présentent à la fois des amplitudes et des gradients particulièrement élevés (supérieurs à 30% du module), vraisemblablement suite à des pluies cévenoles, connues pour leurs fortes intensités.

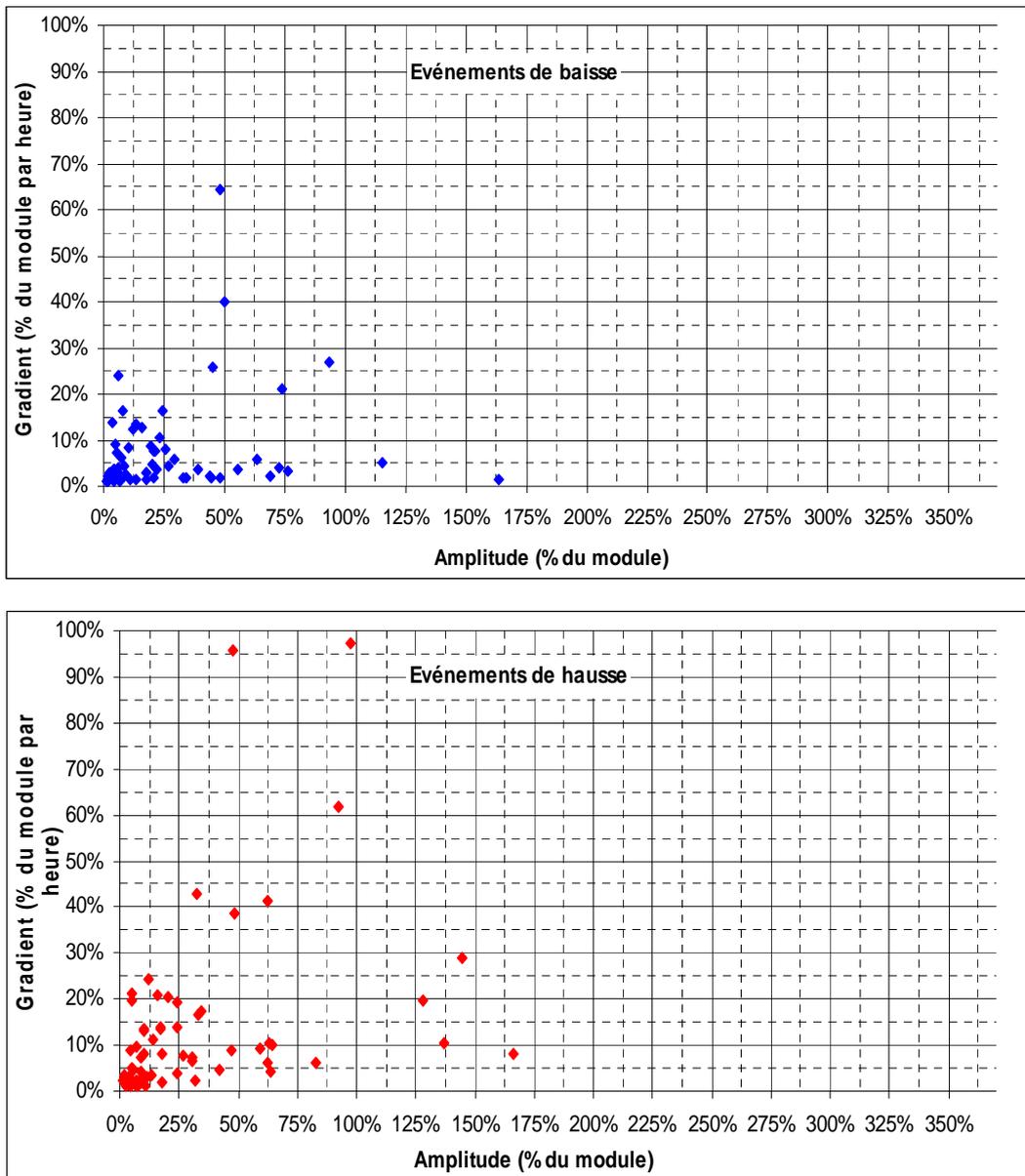


Figure 44 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit du Lot à Mende (2006).

La Corrèze à Corrèze

L'examen visuel des chroniques de la Corrèze à Corrèze révèle que cette station présente des variations de débit vraisemblablement non naturelles de faible amplitude et fort gradient. Ces variations sont nombreuses durant la période 2002-2005, leur nombre étant beaucoup plus réduit en 2006. Il est difficile de se prononcer sur l'origine de ces variations qui ne montrent pas de périodicité et interviennent aussi bien durant les phases de débit stable que pendant les crues et décrues (Figure 45). En conséquence, l'analyse sur les caractéristiques amplitude – gradient des événements n'a porté que sur l'année 2006 (333 baisses et 261 hausses identifiées). Dans le cas de la Corrèze, on distingue nettement sur la Figure 46 les événements d'une part dus à des crues et décrues naturelles (fortes amplitudes et faibles gradients) et d'autres part dus aux variations non naturelles (faibles amplitudes et forts gradients).

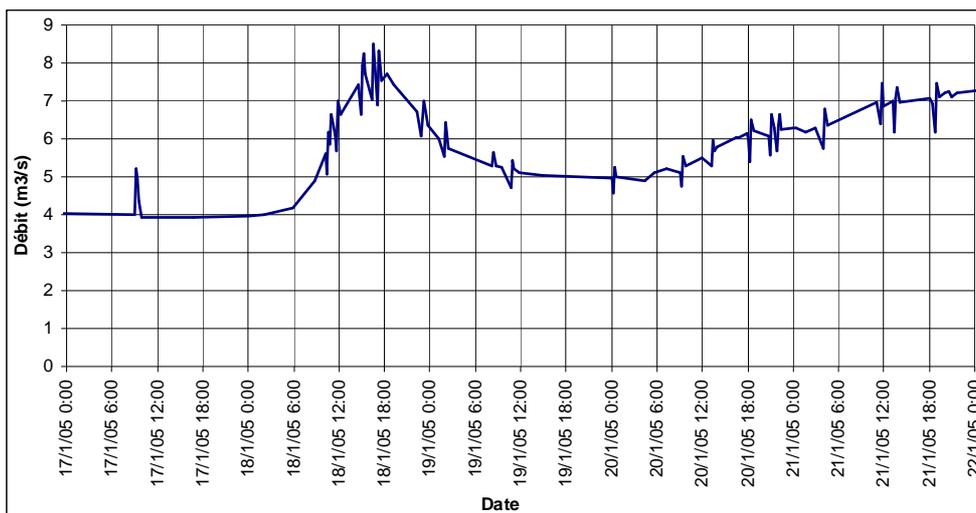
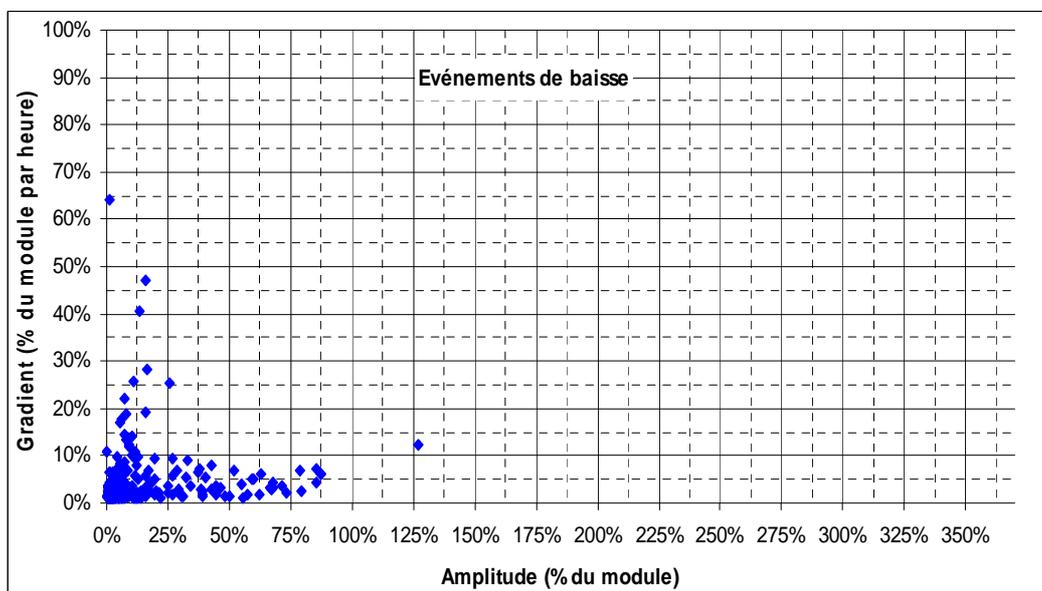


Figure 45 : Chronique de débit de la Corrèze à Corrèze du 17 au 22 janvier 2005 illustrant les variations de débit non naturelles de faible amplitude et fort gradient.



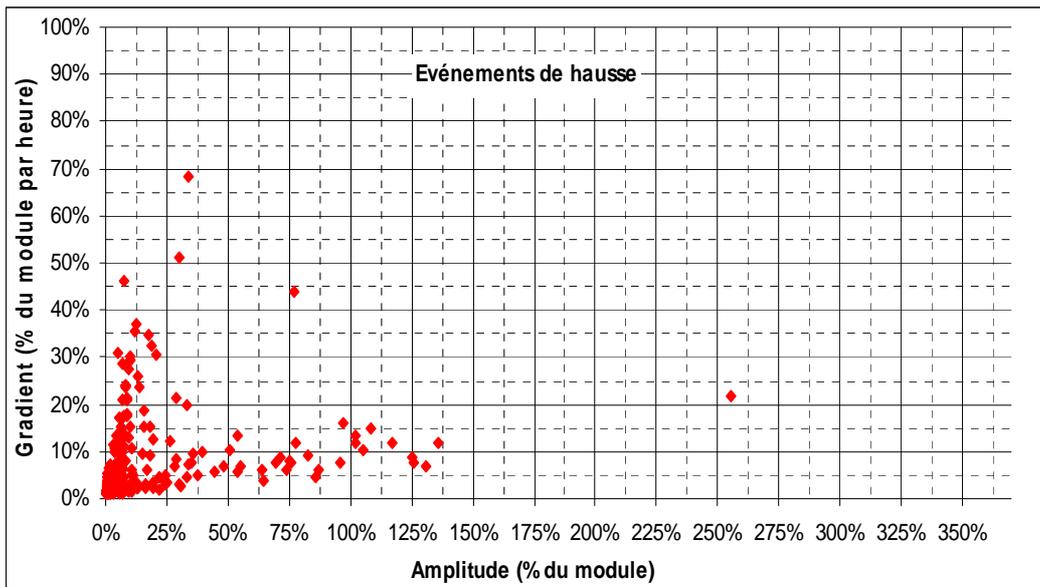
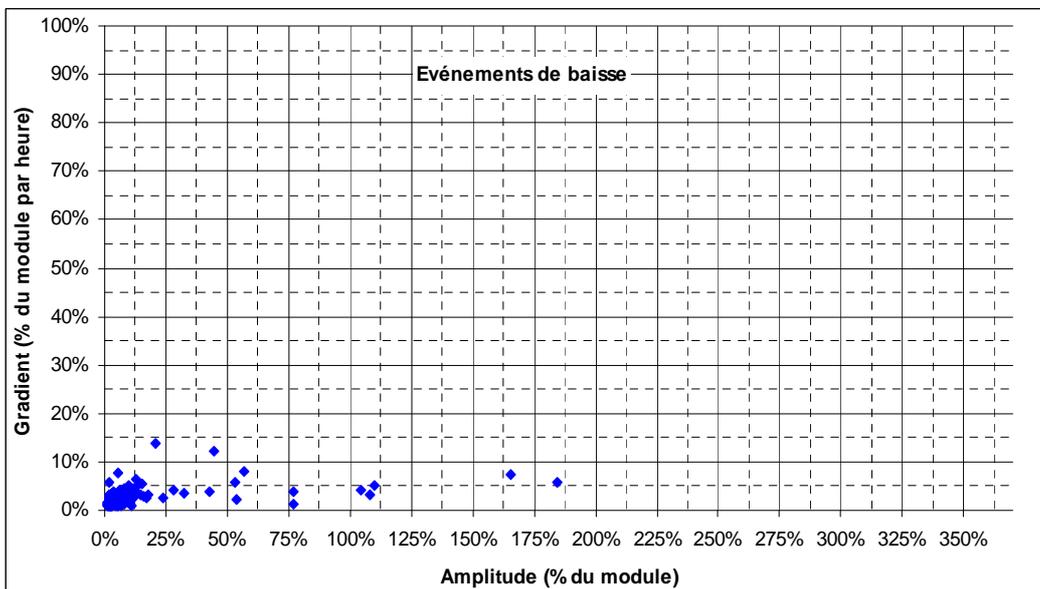


Figure 46 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de la Corrèze à Corrèze en 2006.

La Nive des Aldudes à Saint-Etienne

La chronique de la Nive des Aldudes à Saint-Etienne ne présentant pas d'influence anthropique, ni d'artefact du capteur, les événements sont pratiquement tous dus à des crues naturelles. Une condition sur le gradient minimal est alors seule en mesure d'exclure l'ensemble des événements de baisse (15% du module par heure) ou de hausses (23% du module par heure) (Figure 47).



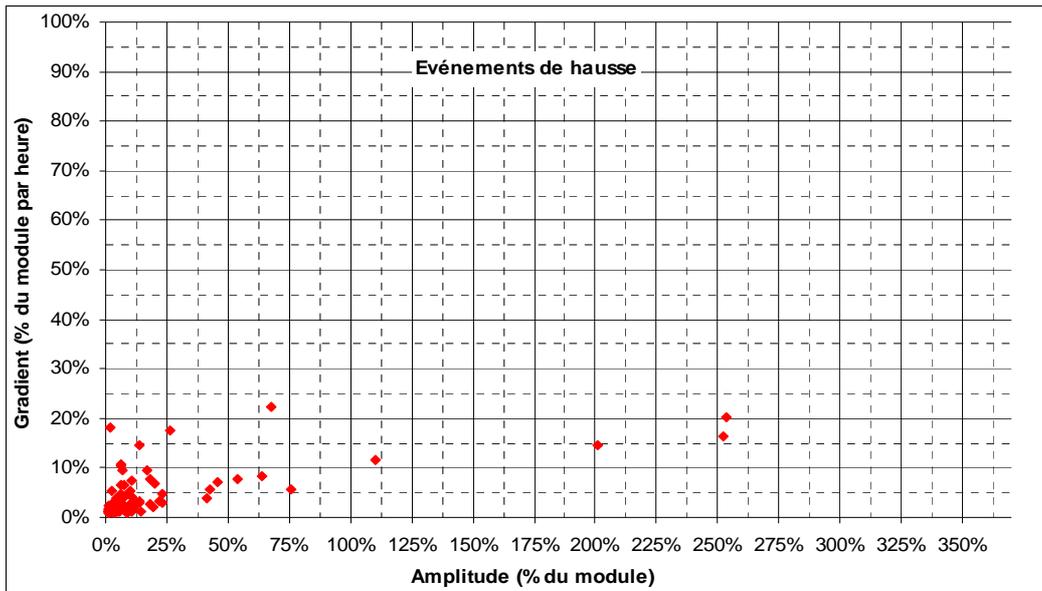
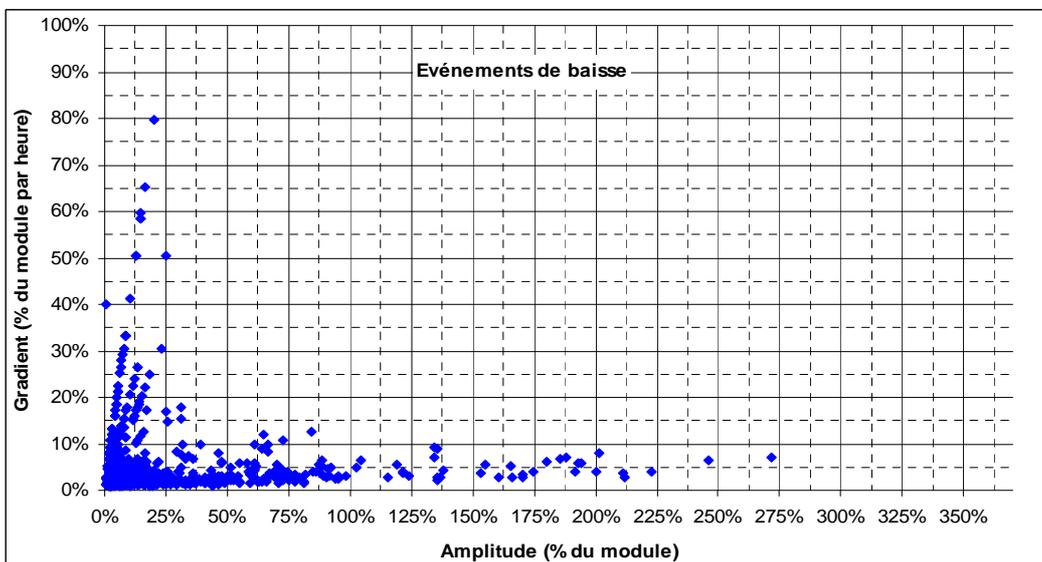


Figure 47 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de la Nive des Aldudes à Saint-Etienne en 2006.

La Nive à Cambo

La Figure 48 présente les caractéristiques amplitude – gradient des événement de hausse et de baisse identifiés dans les chroniques de la Nive à Cambo (2000 à 2005) et dont le débit maximum est inférieur à 3.7 fois le module. En moyenne, 147 baisses et 142 hausses sont identifiées par an. De même que dans le cas de la Corrèze, on distingue nettement sur la Figure 48 les événements d'une part dus à des crues et décrues naturelles (fortes amplitudes et faibles gradients) et d'autres part dus aux variations non naturelles (faibles amplitudes et forts gradients).



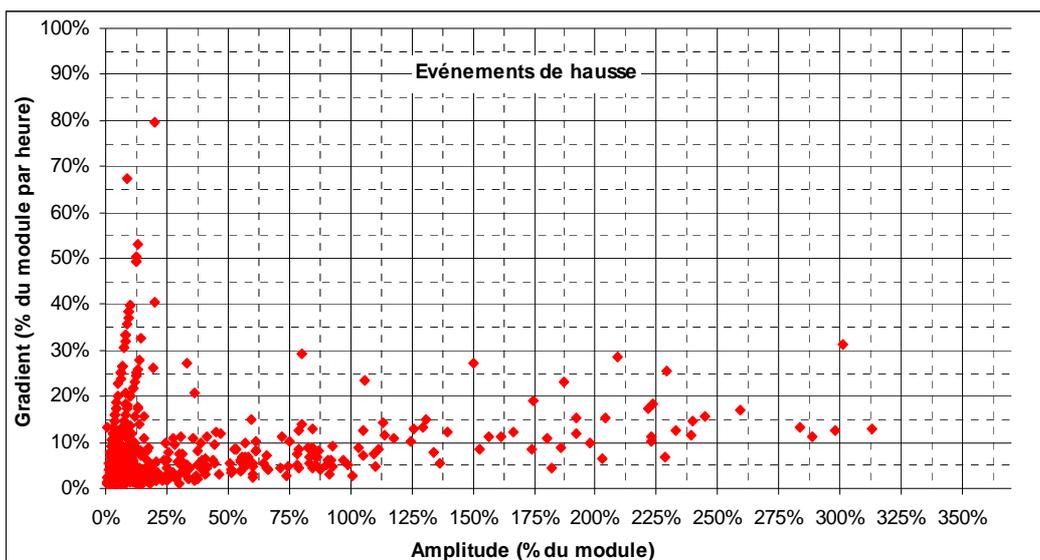


Figure 48 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit de la Nive à Cambo (2000-2005).

Le Tarn à Millau

L'examen visuel des chroniques du Tarn à Millau révèle que cette station est influencée à débit moyen et faible par des variations non naturelles de faible amplitude et fort gradient. Ces variations concernent toute la période de données 2002-2006. Elles ne semblent pas dues à des artefacts du capteur, mais bien à une régulation anthropique étant donné leur périodicité (hausse de débit le matin à 9-10H et l'après-midi à 13-14H et baisse de débit généralement à partir de 12H et 18H) et la « conservation » des volumes d'eau. Les volumes apparaissent tout d'abord déstockés (hausse de débit) puis reconstitués (baisse de débit) (Figure 49). En conséquence, de nombreux événements sont identifiés : en moyenne 596 baisses et 655 hausses par an.

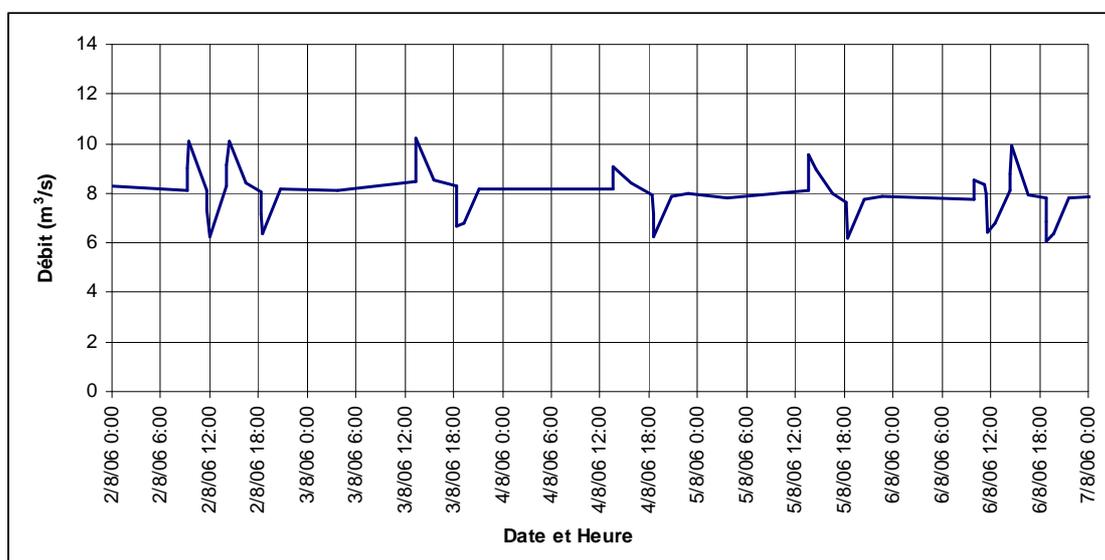


Figure 49 : Chronique de débit du Tarn à Millau du 2 au 7 août 2006 illustrant les variations de faible amplitude et fort gradient d'origine anthropique.

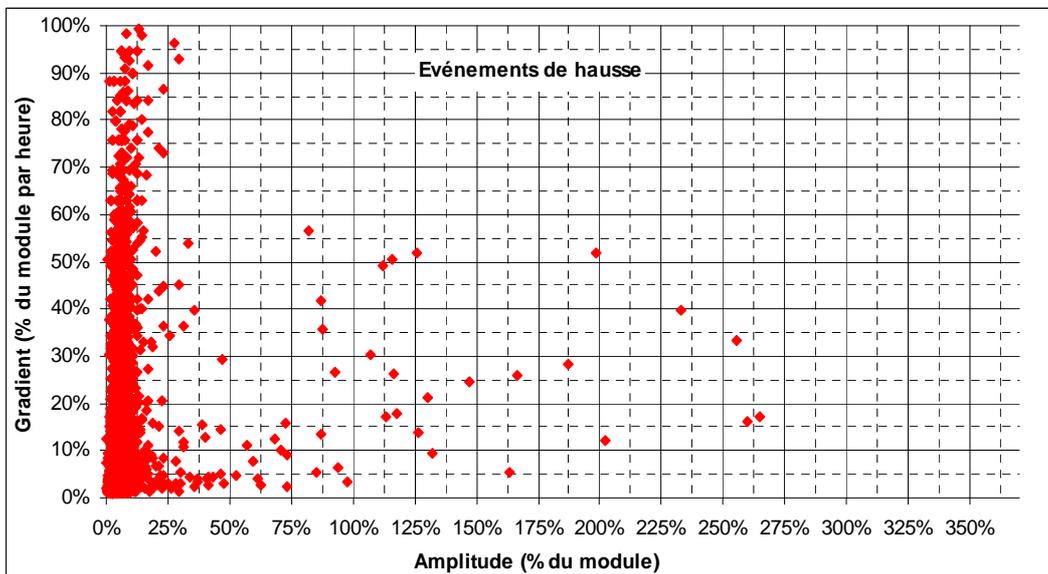
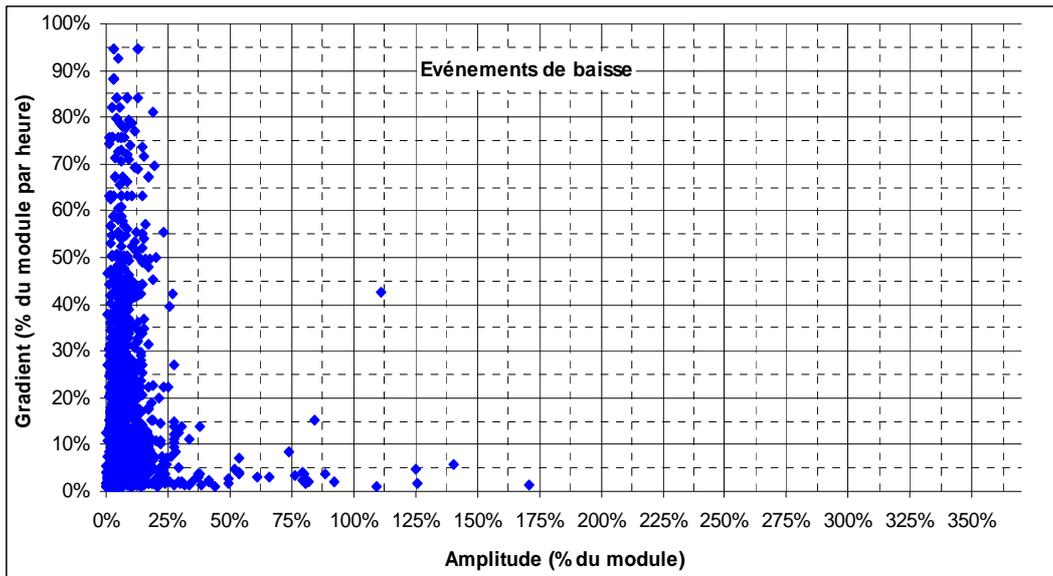


Figure 50 : Caractéristiques amplitude – gradient des événements de baisse et de hausse identifiés dans la chronique de débit du Tarn à Millau (2002-2006).

9. ANNEXE 3 : TABLEAU RECAPITULATIF DU CLASSEMENT EVALUEE A PRIORI DES STATIONS ET DU RECLASSEMENT DONNE PAR L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Dans la colonne « Reclassement par l'analyse discriminante », les chiffres en gras accompagnés d'un astérisque correspondent aux sept erreurs de classement.

Pour les stations pour lesquelles nous disposons de nombreuses années de chroniques, toutes les années n'ont pas été intégrées au jeu de données pour ne pas donner trop d'importance à ces stations par rapport aux autres dans la calibration des fonctions de classement.

Cours d'eau	Station	Année	Classement évalué a priori	Reclassement par l'analyse discriminante
Gave d'Oloron	Oloron	2004	3	3
Gave d'Oloron	Oloron	2005	2	2
Gave d'Oloron	Oloron	2006	2	2
Gave d'Ossau	Oloron	2004	3	3
Gave d'Ossau	Oloron	2005	3	3
Gave d'Ossau	Oloron	2006	3	3
Gave de Pau	Saint-Pé	2004	3	3
Gave de Pau	Saint-Pé	2005	3	3
Gave de Pau	Saint-Pé	2006	3	3
Gave de Pau	Bérenx	2004	2	2
Gave de Pau	Bérenx	2005	2	2
Gave de Pau	Bérenx	2006	1	1
Cère	Bretenoux	1996	3	3
Cère	Bretenoux	1997	3	*2
Cère	Bretenoux	1998	3	3
Cère	Bretenoux	1999	2	*3
Cère	Bretenoux	2000		3
Cère	Bretenoux	2001		3
Cère	Bretenoux	2002		3
Cère	Bretenoux	2003		3
Cère	Bretenoux	2004		3
Cère	Bretenoux	2005		3
Cère	Bretenoux	2006		3
Corrèze	Tulle	2004	1	1
Corrèze	Tulle	2005	1	1
Corrèze	Tulle	2006	1	1
Corrèze	Brive	2004	1	1
Corrèze	Brive	2005	1	1
Corrèze	Brive	2006	1	1
Dordogne	Saint-Sauves	2004	4	4
Dordogne	Saint-Sauves	2005	4	4
Dordogne	Saint-Sauves	2006	4	4
Dordogne	Argentat	1989		3
Dordogne	Argentat	1990	3	3
Dordogne	Argentat	1991	3	3
Dordogne	Argentat	1992	3	3
Dordogne	Argentat	1993		2
Dordogne	Argentat	1995		3
Dordogne	Argentat	1996		3

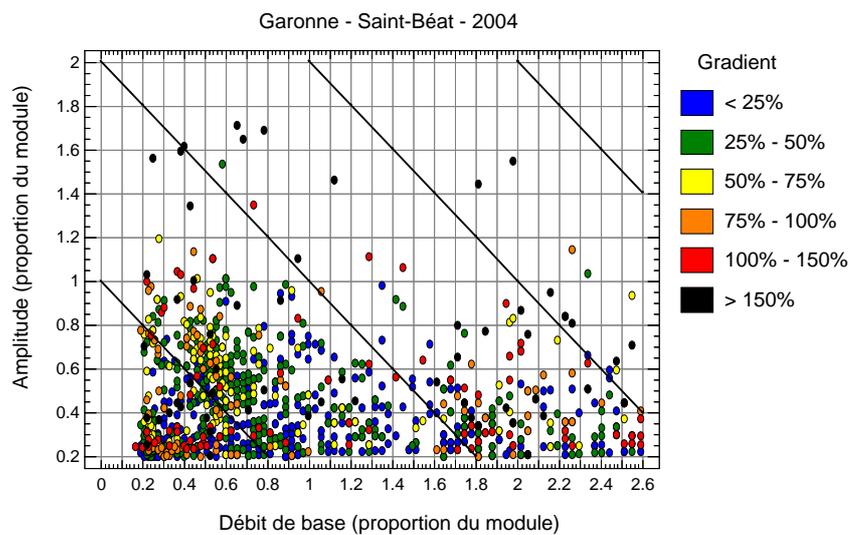
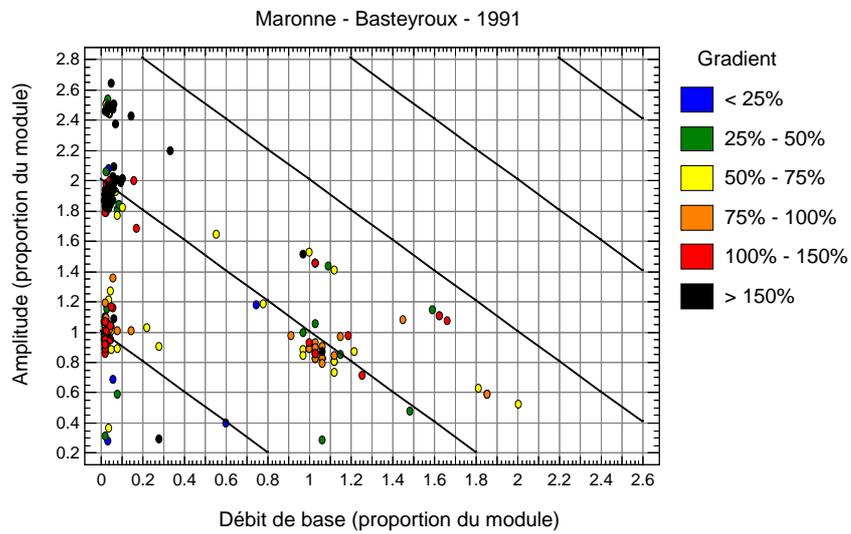
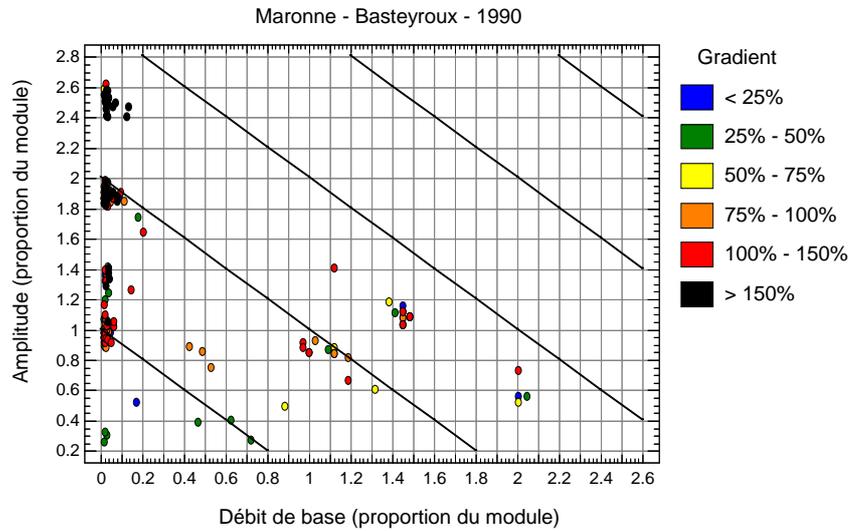
Cours d'eau	Station	Année	Classement évalué a priori	Reclassement par l'analyse discriminante
Dordogne	Argentat	1998		3
Dordogne	Argentat	1999		3
Dordogne	Argentat	2000		3
Dordogne	Argentat	2001		2
Dordogne	Argentat	2002		3
Dordogne	Argentat	2003	2	2
Dordogne	Argentat	2004	2	2
Dordogne	Argentat	2005	2	2
Dordogne	Argentat	2006	2	2
Dordogne	Brivezac	1988		3
Dordogne	Brivezac	1989		3
Dordogne	Brivezac	1990	3	3
Dordogne	Brivezac	1991	3	3
Dordogne	Brivezac	1992	3	3
Dordogne	Brivezac	1993		3
Dordogne	Brivezac	1994		3
Dordogne	Brivezac	1995		3
Dordogne	Brivezac	1996		3
Dordogne	Brivezac	1997		3
Dordogne	Brivezac	1998		3
Dordogne	Brivezac	1999		3
Dordogne	Brivezac	2000		3
Dordogne	Brivezac	2001		2
Dordogne	Brivezac	2002		3
Dordogne	Brivezac	2003	2	2
Dordogne	Brivezac	2004	2	2
Dordogne	Brivezac	2005	2	2
Dordogne	Brivezac	2006	2	2
Dordogne	Carennac	2003	2	2
Dordogne	Carennac	2004	2	2
Dordogne	Carennac	2005	2	2
Dordogne	Carennac	2006	2	2
Dordogne	Souillac	2003	2	2
Dordogne	Souillac	2004	2	2
Dordogne	Souillac	2005	2	2
Dordogne	Souillac	2006	2	2
Dordogne	Cénac	2003	1	1
Dordogne	Cénac	2004	1	1
Dordogne	Cénac	2005	1	1
Dordogne	Cénac	2006	1	1
Maronne	Basteyroux	1989	5	5
Maronne	Basteyroux	1990	5	5
Maronne	Basteyroux	1991	5	5
Maronne	Basteyroux	1992	5	5
Maronne	Basteyroux	1993		5
Maronne	Basteyroux	1994		5
Maronne	Basteyroux	1995		5
Maronne	Basteyroux	1996		5
Maronne	Basteyroux	1997		5
Maronne	Basteyroux	1998		5

Cours d'eau	Station	Année	Classement évalué a priori	Reclassement par l'analyse discriminante
Maronne	Basteyroux	2000		5
Maronne	Basteyroux	2001		5
Maronne	Basteyroux	2002	5	5
Maronne	Basteyroux	2003	5	*4
Maronne	Basteyroux	2004	5	5
Maronne	Basteyroux	2005	5	5
Maronne	Basteyroux	2006	4	*5
Vézère	Uzerche	2004	2	2
Vézère	Uzerche	2005	2	2
Vézère	Uzerche	2006	2	2
Vézère	Saint-Viance	1997		2
Vézère	Saint-Viance	1998		2
Vézère	Saint-Viance	1999		2
Vézère	Saint-Viance	2000		2
Vézère	Saint-Viance	2001		2
Vézère	Saint-Viance	2002		2
Vézère	Saint-Viance	2003		2
Vézère	Saint-Viance	2004	2	2
Vézère	Saint-Viance	2005	2	*1
Vézère	Saint-Viance	2006	2	2
Ariège	Foix	2004	4	*3
Ariège	Foix	2005	4	4
Ariège	Foix	2006	3	3
Ariège	Auterive	2004	1	1
Ariège	Auterive	2005	2	2
Ariège	Auterive	2006	1	1
Garonne	Saint-Béat	2004	5	5
Garonne	Saint-Béat	2005	5	5
Garonne	Saint-Béat	2006	5	5
Garonne	Chaum	2004	4	4
Garonne	Chaum	2005	5	5
Garonne	Chaum	2006	4	4
Garonne	Valentine-part	2004	4	4
Garonne	Valentine-part	2005	4	*3
Garonne	Valentine-part	2006	3	3
Garonne	Portet	2004	1	1
Garonne	Portet	2005	1	1
Garonne	Portet	2006	1	1
Lez	Bordes	2004	3	3
Lez	Bordes	2005	4	4
Lez	Bordes	2006	3	3
Lez	Engomer	2004	3	3
Lez	Engomer	2005	3	3
Lez	Engomer	2006	4	4
Lot	Entraygues	2004	5	5
Lot	Entraygues	2005	5	5
Lot	Entraygues	2006	5	5
Lot	Cahors	2005	3	3
Lot	Cahors	2006	3	3
Salat	Saint-Lizier	2004	1	1

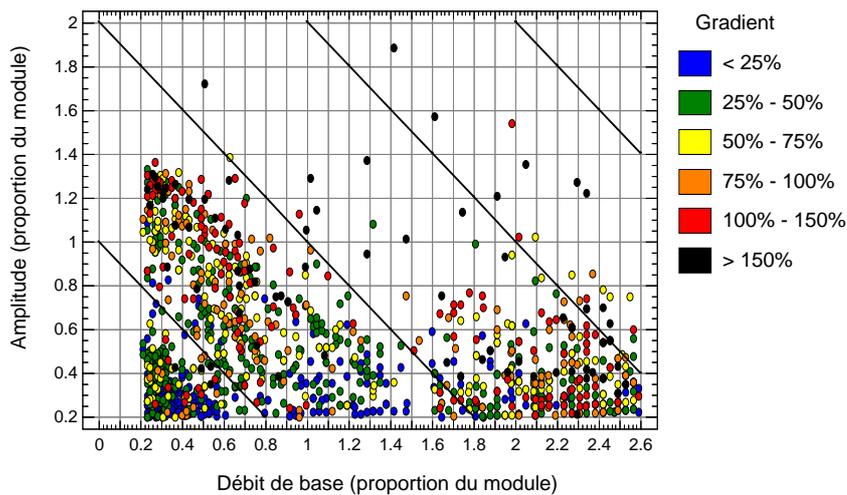
Cours d'eau	Station	Année	Classement évalué a priori	Reclassement par l'analyse discriminante
Salat	Saint-Lizier	2006	1	1
Salat	Roquefort	2004	3	3
Salat	Roquefort	2005	3	3
Salat	Roquefort	2006	3	3
Tarn	Villemur	2004	1	1
Tarn	Villemur	2005	1	1
Tarn	Villemur	2006	1	1
Doubs	La Rasse	1994	4	4
Doubs	La Rasse	1995	4	4
Doubs	La Rasse	1996	4	4
Doubs	La Rasse	1997	4	4
Doubs	La Rasse	1998	4	4
Doubs	La Rasse	1999		3
Doubs	La Rasse	2000		3
Doubs	La Rasse	2001		4
Doubs	La Rasse	2002		3
Doubs	La Rasse	2003		3
Doubs	La Rasse	2004		3
Doubs	La Rasse	2005		4
Doubs	La Rasse	2006		3

10. ANNEXE 4 : DIAGRAMMES EN BULLE DES HAUSSES D'ECLUSEES POUR PLUSIEURS STATIONS DE CHAQUE NIVEAU DE PERTURBATION

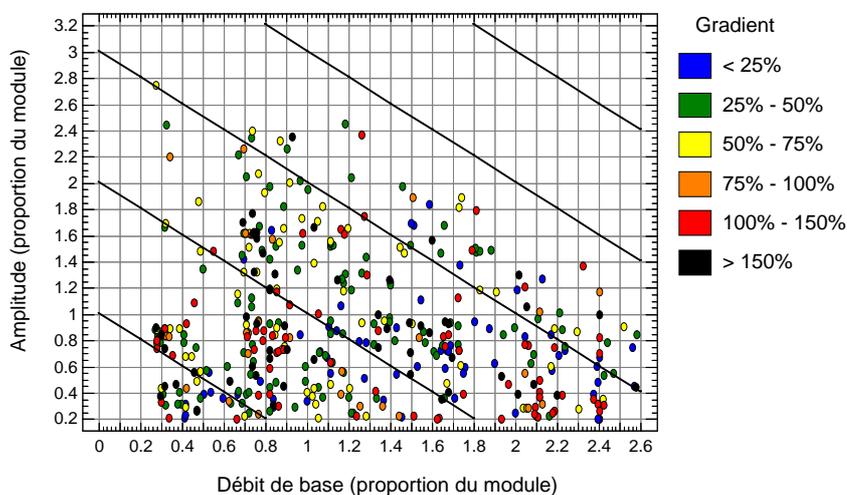
Classe 5 : Perturbation hydrologique très sévère



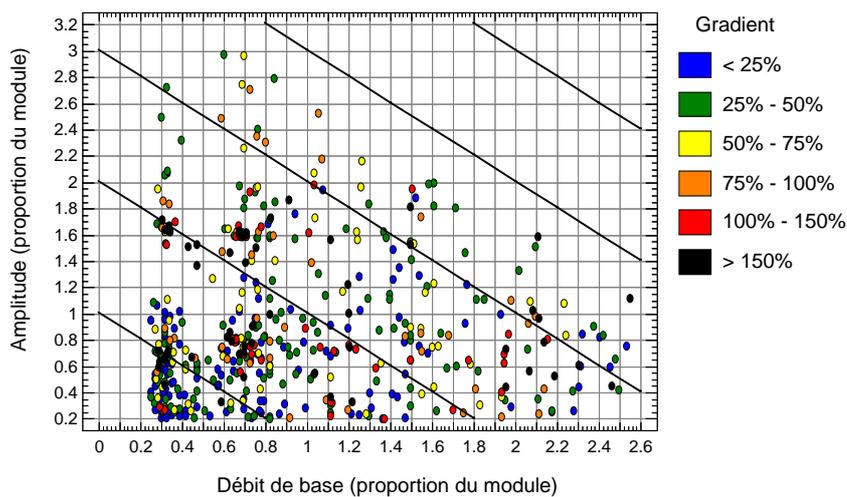
Garonne - Saint-Béat - 2005



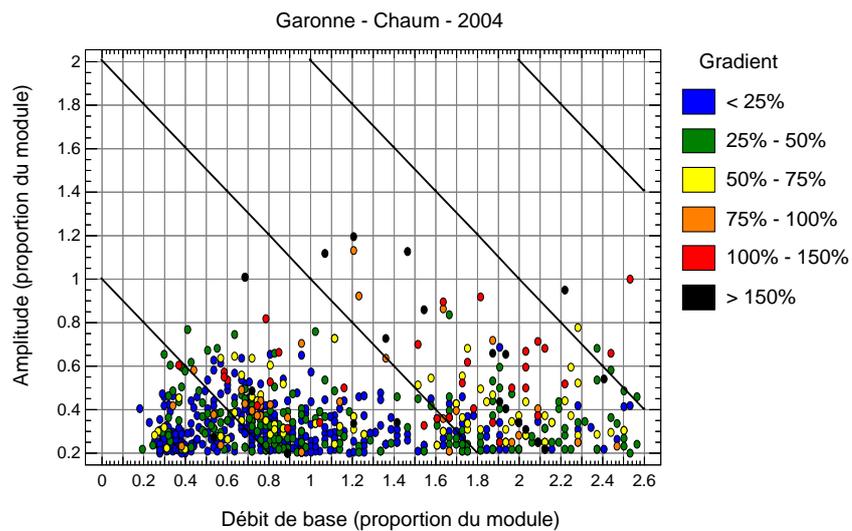
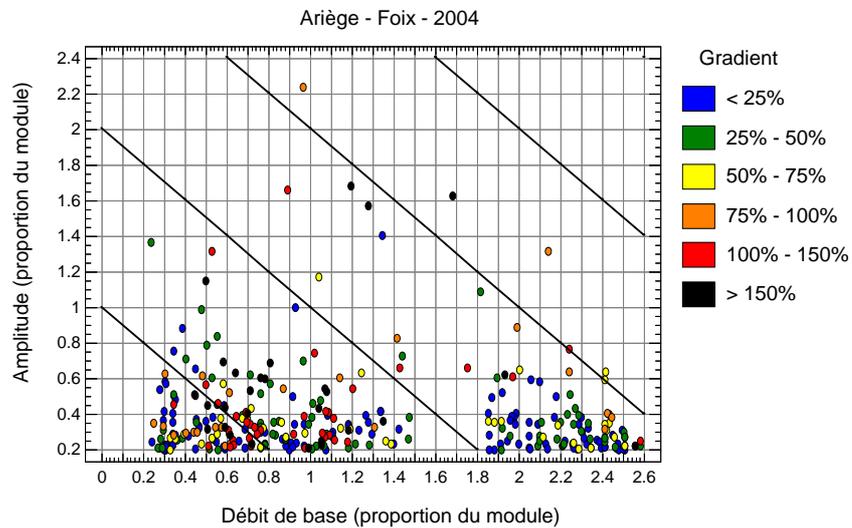
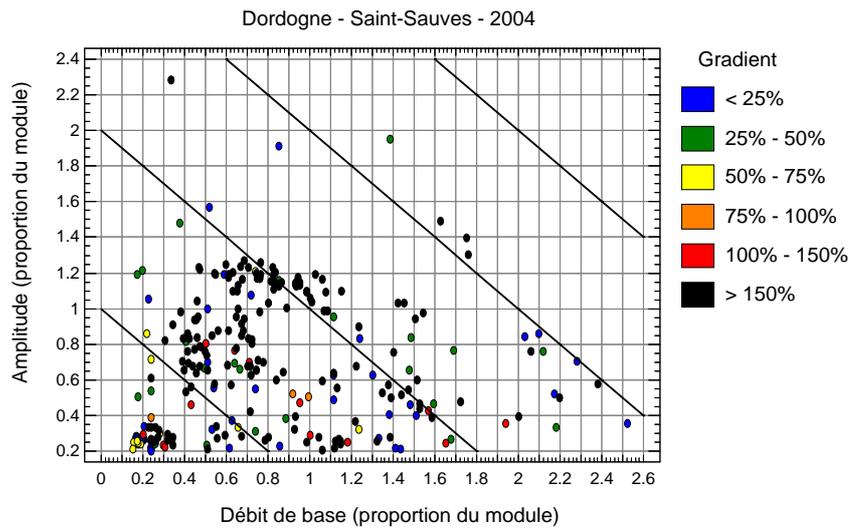
Lot - Entraygues - 2004



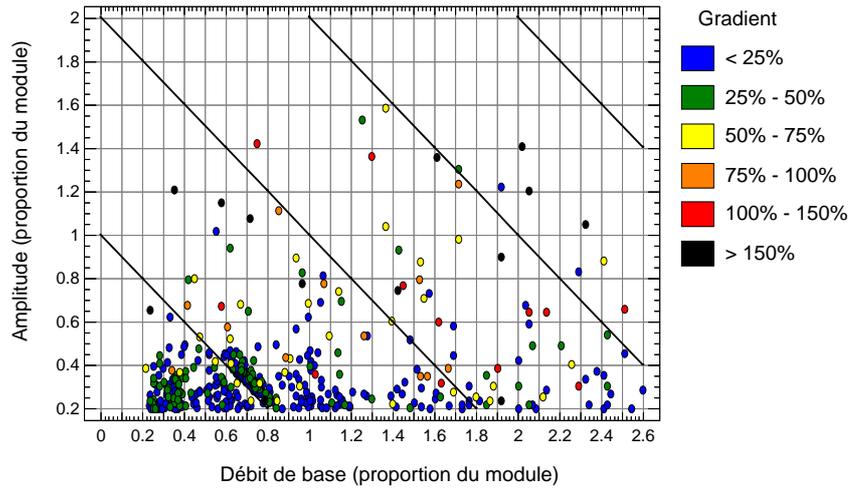
Lot - Entraygues - 2005



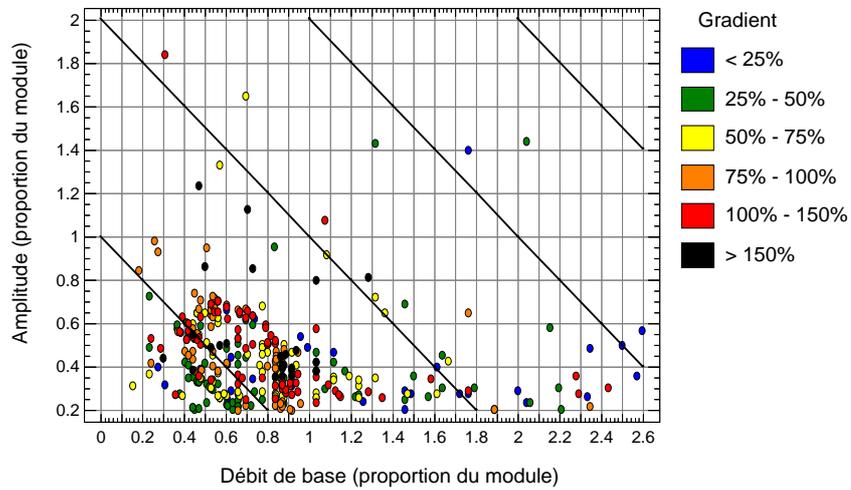
Classe 4 : Perturbation hydrologique sévère



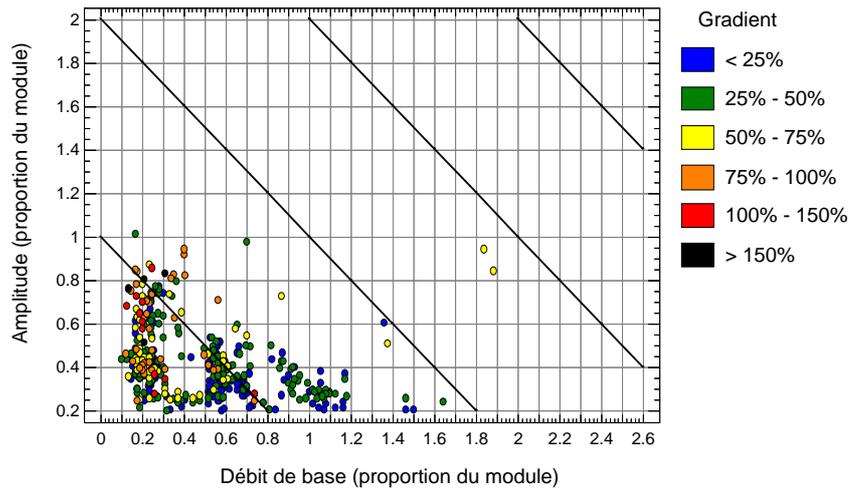
Garonne - Valentine - 2004



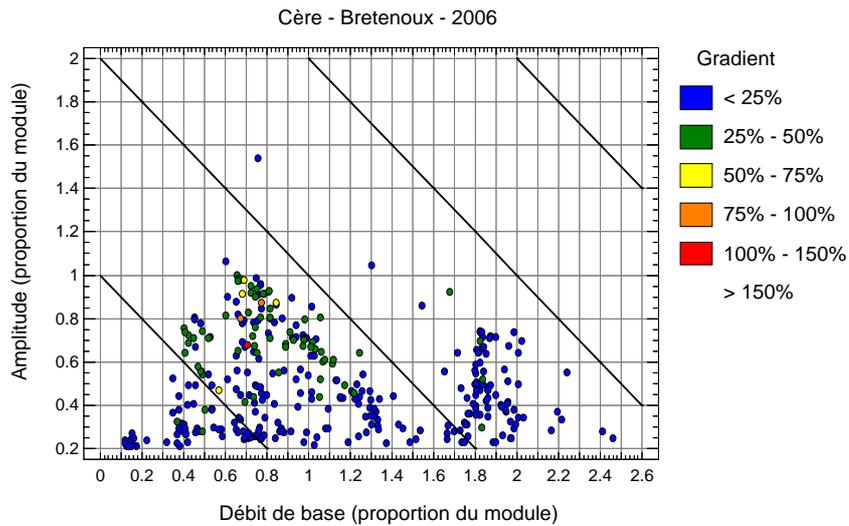
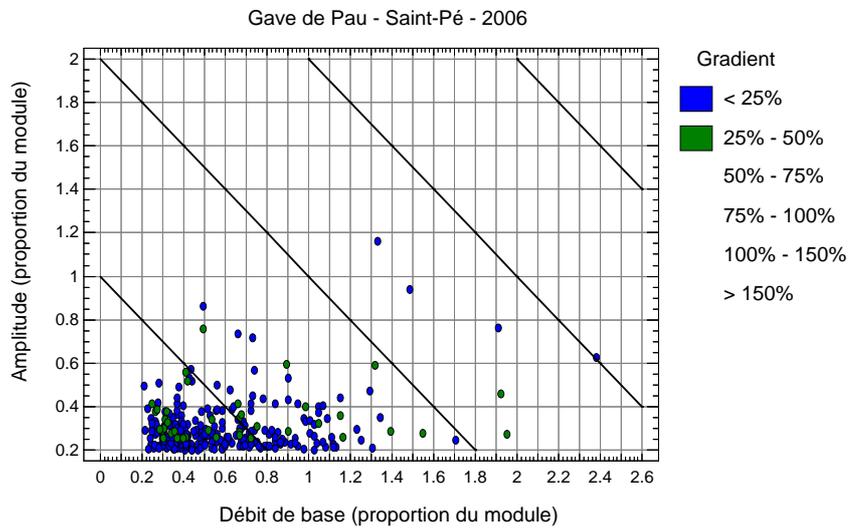
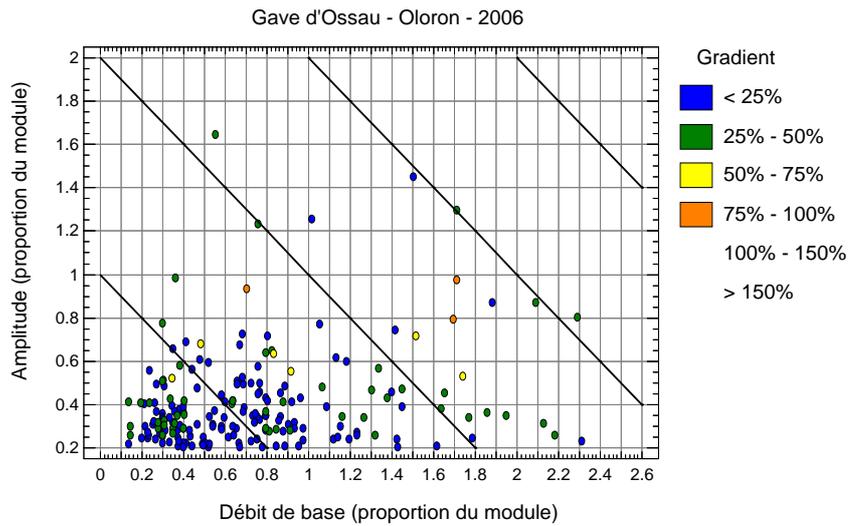
Lez - Bordes - 2005

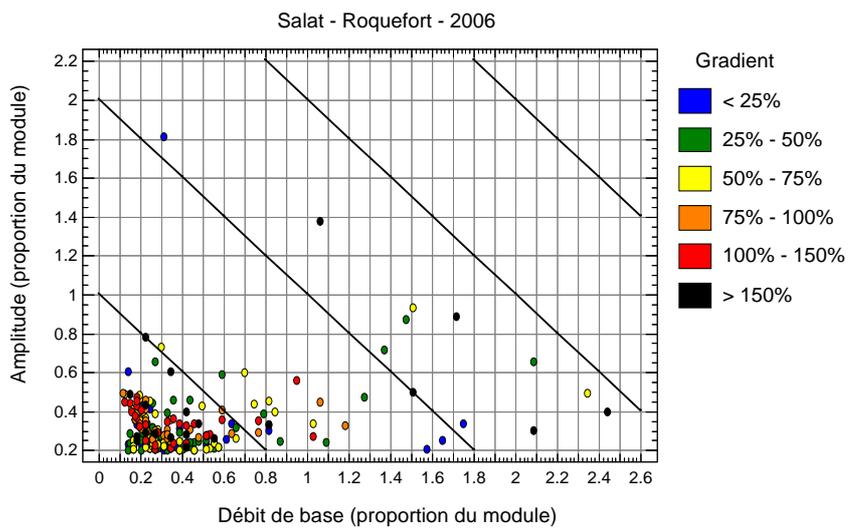
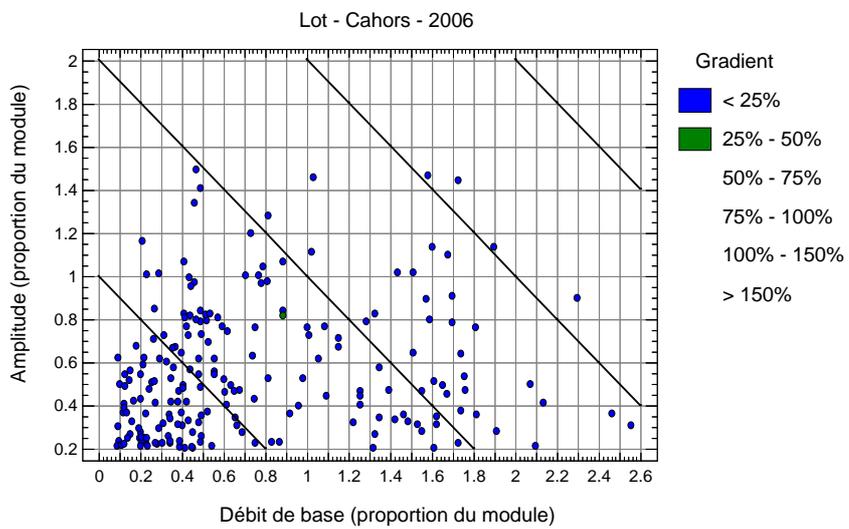
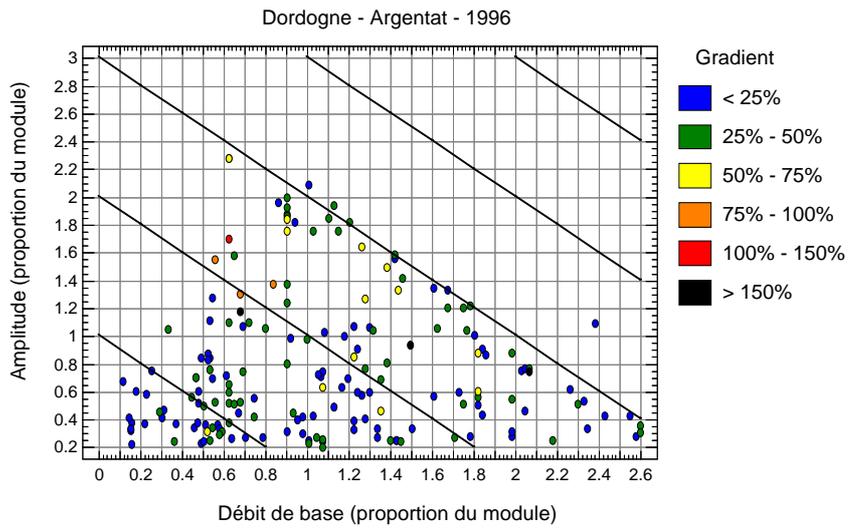


Lez - Engomer - 2006

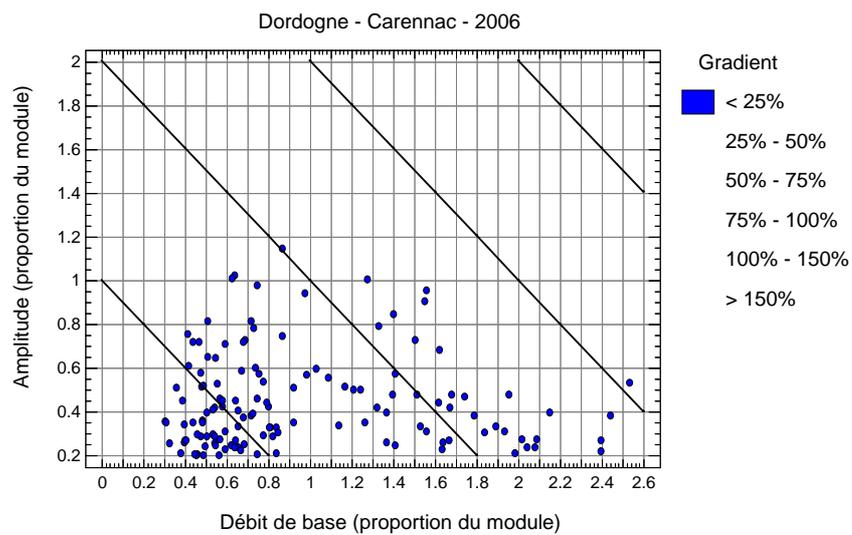
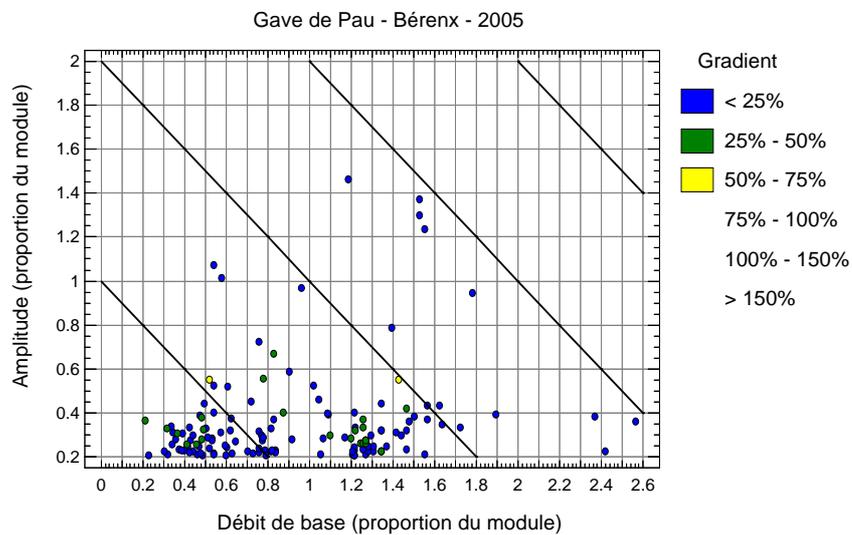
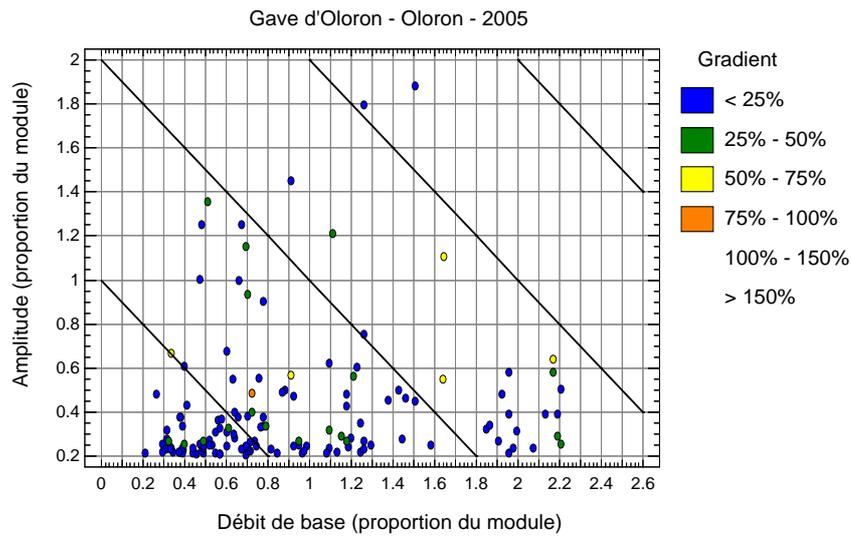


Classe 3 : Perturbation hydrologique très marquée

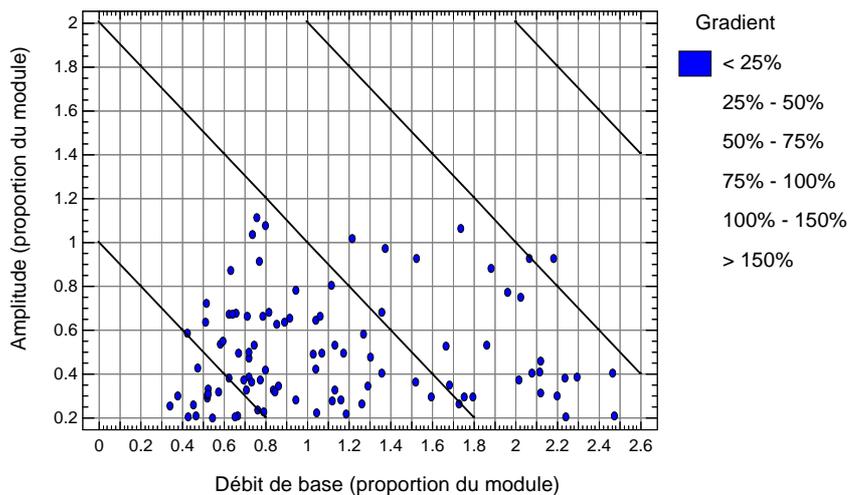




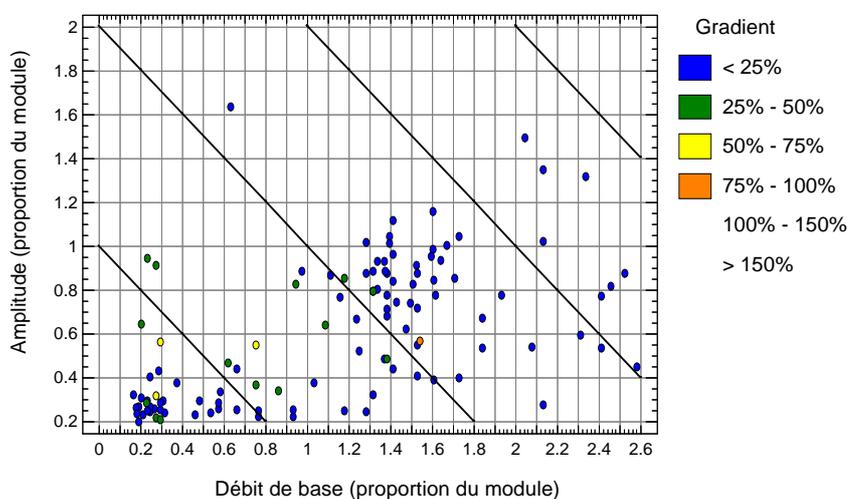
Classe 2 : Perturbation hydrologique marquée



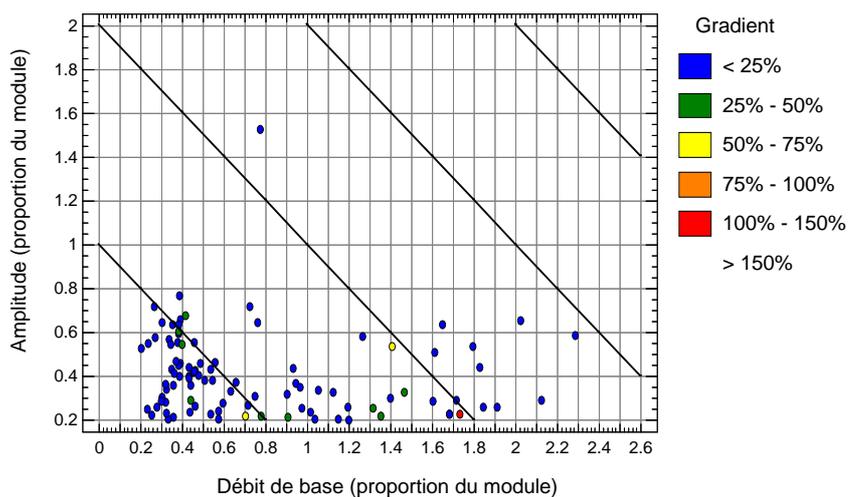
Dordogne - Souillac - 2006



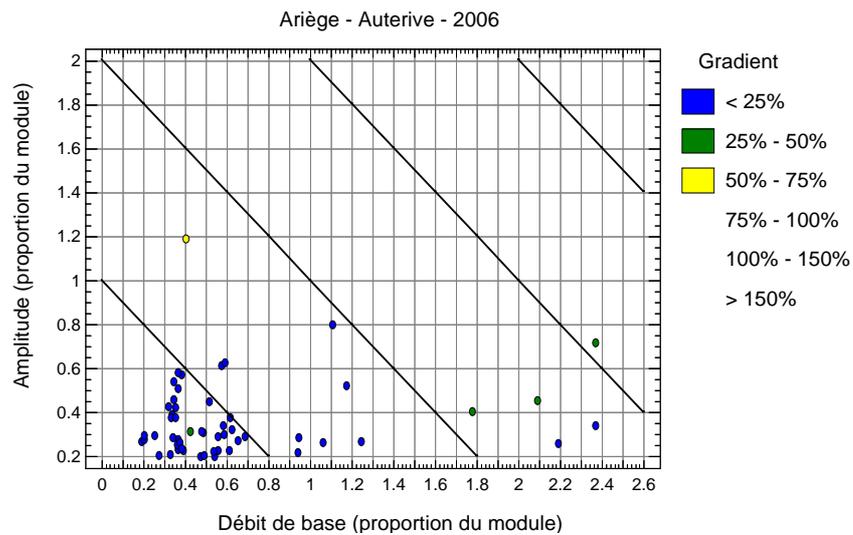
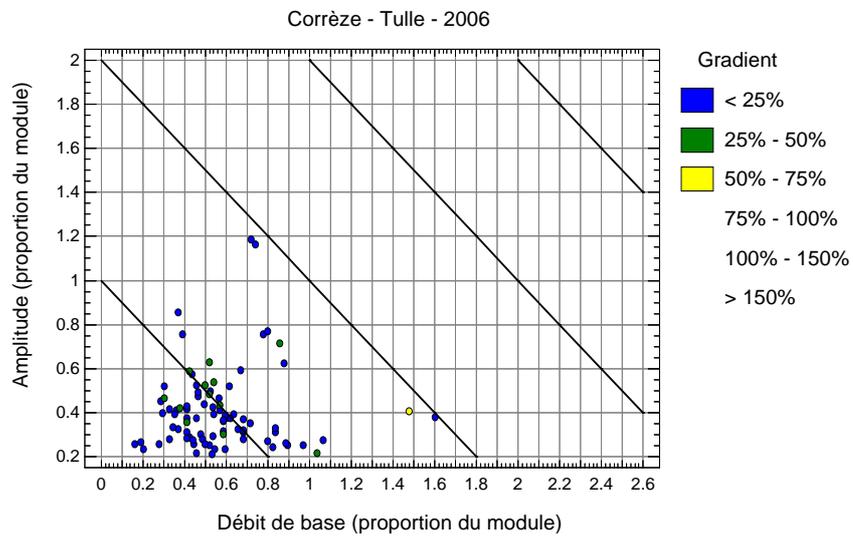
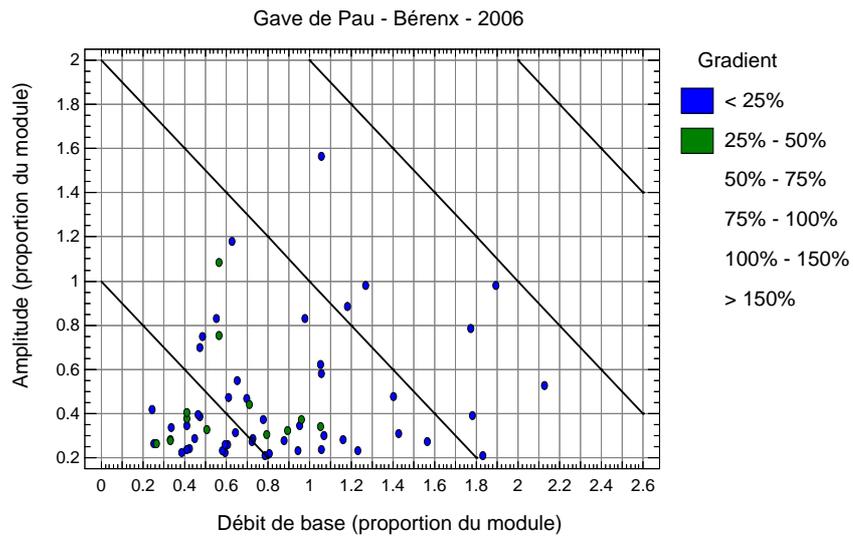
Vézère - Uzerche - 2006



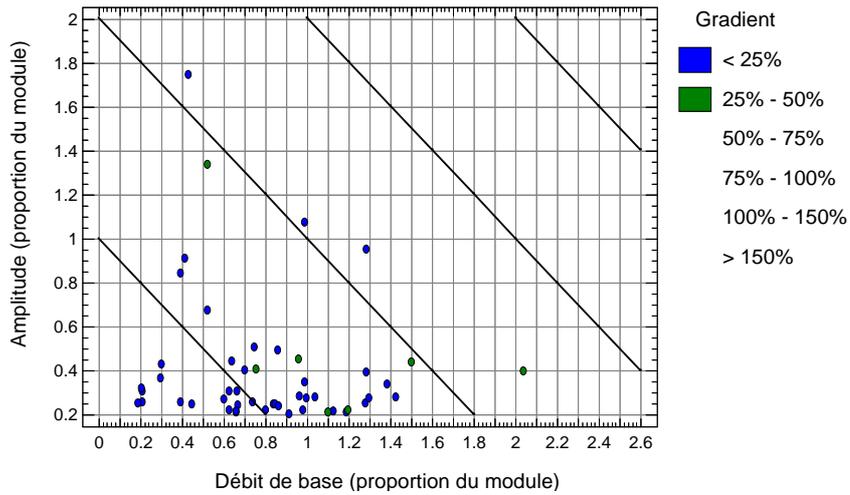
Ariège - Auterive - 2005



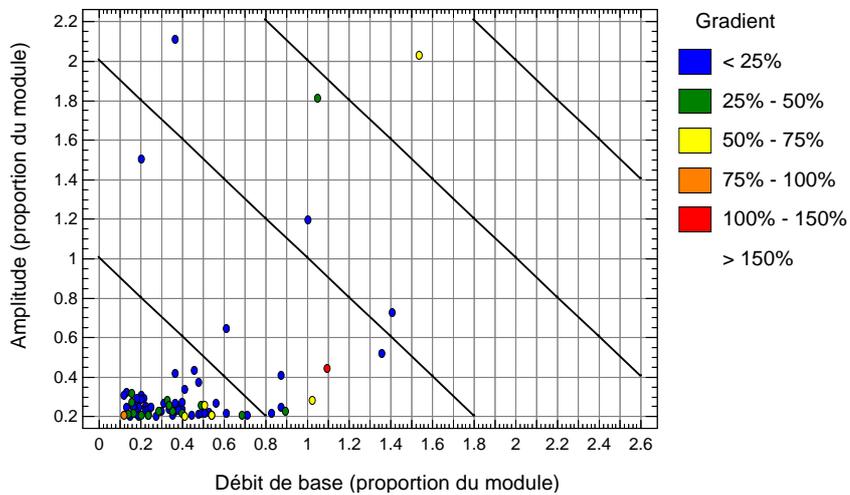
Classe 1 : Perturbation hydrologique sensible



Garonne - Portet - 2006



Salat - Saint-Lizier - 2006



Tarn - Villemur - 2006

