



AGENCE DE L'EAU
ADOUR-GARONNE

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



**ETUDE DES GRADIENTS DES VARIATIONS DE DEBIT
NATURELLES EN VUE DE LA FIXATION DES CRITERES POUR LE
REPERAGE DES ECLUSEES HYDROELECTRIQUES**

SEPTEMBRE 2010

COURRET D.

RAPPORT GHAAPPE RA. 09. 04



Pôle Ecohydraulique

AVANT PROPOS ET REMERCIEMENTS

L'agence de l'eau Adour-Garonne a lancé en 2007, dans le cadre de la mission technique commune avec EDF, une étude pour la définition d'indicateurs synthétiques et opérationnels pour la caractérisation des éclusées sur les cours d'eau du bassin. Cette problématique a fait l'objet d'un premier travail réalisé par le bureau d'étude Eaucéa (2007). Ce travail a permis de réaliser un état des lieux de l'existant et d'identifier une série d'indicateurs hydrologiques pertinents. Le Pôle Ecohydraulique de l'ONEMA (GHAAPPE) a proposé à l'Agence d'approfondir cette première approche, afin de lever les principales difficultés identifiées et d'améliorer les outils d'analyse. La méthodologie développée a été présentée dans un premier rapport (Courret et Larinier, 2008), plusieurs points restant toutefois à affiner. Cette méthodologie a été retenue par le comité de pilotage (voir le compte-rendu de la réunion du 2 juin 2008).

Le présent travail sur les gradients des variations de débit naturelles répond au besoin d'affinage concernant la fixation des critères pour le repérage des éclusées.

Nous tenons à remercier :

- le SCHAPI, pour l'accès aux données hydrologiques de la banque HYDRO,
- EDF pour la mise à disposition de données hydrologiques au pas de temps horaire.

SOMMAIRE

1. Introduction.....	1
2. Constitution du jeu de données d'hydrologie naturelle.....	2
3. Méthodologie de traitement des hydrogrammes	11
4. Illustrations des résultats par station	14
5. Exploitation des résultats pour la fixation des critères pour le repérage des éclusées hydroélectriques.....	18
5.1. Etablissement de relations donnant l'ordre de grandeur des gradients naturels maximaux par gamme de variation	18
5.2. Reconstitution des hausses et des baisses de débit « les plus rapides possibles naturellement ».....	27
6. Test du nombre de variations retenues sur les chroniques de débit naturelles.....	34
7. Conclusions - Discussion.....	36
8. Bibliographie.....	38
9. Annexe 1 : Tableau des valeurs de gradients (9^{ème} décile).....	39
10. Annexe 2 : Tableaux détaillant la création des points pour les régressions	41

1. INTRODUCTION

La méthodologie de traitement des hydrogrammes développée par le Pôle Ecohydraulique (GHAAPPE) pour la production d'un indicateur de la perturbation hydrologique liée aux éclusées hydroélectriques (Courret et Larinier, 2008) a été retenue par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Dans cette méthodologie, on a cherché à différencier les variations de débit d'origine naturelle de celles liées au démarrage ou à l'arrêt du turbinage (éclusées), de façon à ce que l'indicateur représente au mieux le niveau de perturbation hydrologique. Cette différenciation repose sur 3 critères :

- Le débit maximum de la variation de débit (débit après une hausse ou débit avant une baisse) doit être inférieur au débit d'équipement du ou des aménagements présents à l'amont. Au-delà, on considère que l'on est en état de crue, les débits n'étant en principe plus vraiment influencés par l'aménagement.
- Une amplitude minimale. Cette condition vise à ne prendre en compte que des variations de débit induisant des modifications significatives des paramètres hydromorphologiques, ainsi qu'à exclure les micro-variations artificielles liées aux instabilités et artefacts du capteur, ou réelles liées à des prélèvements ou des rejets intermittents (AEP, irrigation, STEP, ...), ou des manœuvres d'organes sur des microcentrales, des parcours d'eau vive, ...
- Un gradient, ou vitesse de variation, minimal. Cette condition vise à ne prendre en compte que les variations de débit plus rapides que les variations naturelles.

Pour pouvoir présenter l'ensemble de la méthodologie dans le rapport de 2008 (Courret et Larinier, 2008), la fixation des gradients minimaux a été faite de façon empirique, par « essai-erreur », sur un nombre limité de stations à l'hydrologie naturelle, et ce uniquement pour les hausses de débit. Pour rappel, il avait été adopté une valeur minimale de gradient de hausse représentant un pourcentage du module¹ du cours d'eau dégressif (mais une valeur en m³/s/h croissante) : de 10% du module par heure pour un cours d'eau de module égal à 5 m³/s (0.5 m³/s/h), jusqu'à 3% pour un cours d'eau de module égal à 200 m³/s (6 m³/s/h). Il n'avait pas été considéré de progressivité dans la condition de gradient minimal selon la gamme de débit sur laquelle intervient la variation de débit.

A partir de l'étude d'un nombre aussi conséquent que possible de stations à l'hydrologie naturelle ou très peu perturbée, **l'objet du présent travail est de fixer des valeurs de gradient minimal pour les hausses et les baisses de débit, avec une progressivité selon la taille des cours d'eau et la gamme de débit sur laquelle intervient la variation, si cela est pertinent.**

La constitution du jeu de données hydrologiques est tout d'abord présentée. La méthodologie de traitement des hydrogrammes est ensuite détaillée. Quelques résultats par station illustrent certains constats. L'exploitation de l'ensemble des résultats pour la fixation des gradients minimaux de repérage des éclusées hydroélectriques est enfin présentée.

¹ module : débit moyen interannuel.

2. CONSTITUTION DU JEU DE DONNEES D'HYDROLOGIE NATURELLE

Les données hydrologiques regroupées proviennent d'une part de la banque HYDRO et d'autre part d'EDF.

Pour constituer ce jeu de données, on a cherché des **données d'hydrologie naturelle** sur des cours d'eau concernés ou qui pourraient être concernés par la problématique des éclusées, c'est-à-dire :

- sur des cours d'eau touchés par des éclusées, des stations hydrométriques situées en amont des aménagements hydroélectriques, ou en aval mais pour lesquelles on dispose alors de données antérieures aux aménagements.
- des stations situées sur des cours d'eau voisins de ceux touchés par les éclusées (affluents),

De fait, les stations se situent principalement dans les massifs montagneux des Pyrénées (24), du Massif Central (36), des Alpes (20) et du Jura (9), ainsi que dans les Vosges (3), en Corse (4) et dans le Massif Armoricaïn (2). Le caractère naturel ou très peu perturbé de l'hydrologie des stations a été validé préalablement au traitement par un examen visuel détaillé (inspection des hydrogrammes année par année). Au final, **97 stations ont été retenues** ; leurs caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1. A minima 10 années de chroniques ont été traitées pour chaque station ; les travaux portent ainsi sur le **traitement de plus de 1 000 années de chroniques hydrologiques**.

Des données à différents pas de temps ont été utilisées. Les données extraites de la banque HYDRO sont soit des débits à pas de temps variables (QTVAR 5%), soit des débits moyens journaliers (QMJ). Les données d'EDF sont des débits horaires (QH). Les chroniques de débits à pas de temps variables ou au pas de temps horaire rendent compte fidèlement des variations et permettent une évaluation précise de leurs gradients.

Les chroniques de débits moyens journaliers peuvent amener à sous-estimer les gradients des variations se déroulant en moins d'une journée. C'est toutefois le seul type de données dont on dispose pour les données anciennes, antérieures aux aménagements hydroélectriques. Leur emploi a été limité aux cours d'eau de taille importante, de module de l'ordre de ou supérieur à une vingtaine de m^3/s , sur lesquels les variations se déroulent plus lentement et les risques de sous-estimation sont moindres. On a eu recours à des chroniques anciennes de débits moyens journaliers compte tenu du manque de données récentes d'hydrologie naturelle sur des grands cours d'eau drainant les massifs montagneux, l'hydrologie de la quasi-totalité de ces cours d'eau étant aujourd'hui notablement influencée.

Pour certaines stations situées sur des grands cours d'eau, en complément des chroniques de QTVAR, il a également été fait appel à des débits moyens journaliers pour « gommer » de légères perturbations, non liées à des régimes d'éclusées, apparaissant à faibles débits (type de données noté QTVAR / QMJ). Cela a permis d'extraire des valeurs plus fiables de gradients pour les lentes variations se déroulant sur les gammes de débit en deçà du module.

Les valeurs de module des stations constituant le jeu de données s'échelonnent d'environ $1 m^3/s$ à plus de $100 m^3/s$. La Figure 1 présente la répartition du nombre de stations en fonction des valeurs de module et du type de données. On a pu regrouper un nombre conséquent de stations à l'hydrologie naturelle de module inférieur à $10 m^3/s$. Les données d'hydrologie naturelle sur des cours d'eau de module supérieur à $10 m^3/s$ drainant des massifs montagneux sont beaucoup plus rares.

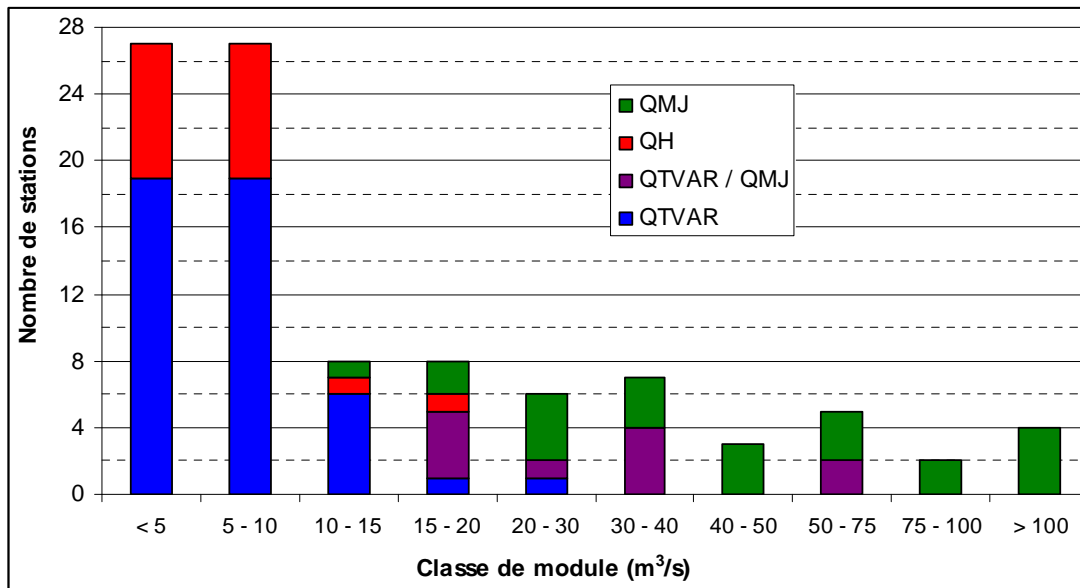


Figure 1 : Répartition du nombre de stations en fonction des valeurs de module et du type de données.

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
1a	Pyrénées Aquitaine	40	Audon	Adour	Audon	54.8	DIREN Aquitaine	Q1420010	QTVAR	1999 2008	6 à 8	6 à 8	Station situé au pont de la D7, en amont de la confluence de la Midouze, recours au QMJ pour lisser les légères perturbations à bas débit.
1b									QMJ	1974 2008	1 à 5	1 à 5	
2	Pyrénées Aquitaine	64	Saint-Etienne de Baïgorry	Nives des Aldudes	Saint-Etienne de Baïgorry	7.20	DIREN Aquitaine	Q9164610	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RG de la Nive, station située à la sortie de Saint-Etienne (aval pont D15).
3a	Pyrénées Aquitaine	64	Cambo-les-bains	Nive	Cambo-les-bains	30.1	DIREN Aquitaine	Q9312510	QTVAR	1999 2008	5 à 8	6 à 8	Affluent RG de l'Adour, conflant au niveau de Bayonne, station située à l'entrée de Cambo (pont de la D10)
3b									QMJ	1999 2008	4	4 à 5	
4	Pyrénées Aquitaine	64	Saint-Pée-sur-Nivelle	Nivelle	Saint-Pée-sur-Nivelle	4.96	DIREN Aquitaine	S5144010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Fleuve cotier se jetant au niveau de Saint-Jean-de-Luz
5	Pyrénées Aquitaine	64	Aïciritz-Camou-Suhast	Bidouze	Aïciritz-Camou-Suhast	5.23	DIREN Aquitaine	Q8032510	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG de l'Adour, station située au niveau du moulin en amont de Aïcirits
6	Pyrénées Aquitaine	64	Oloron-Sainte-Marie	Gave d'Ossau	Oloron-Sainte-Marie	19.7	DDE 64	Q6142910	QMJ	1912 1928	3 à 8	3 à 8	Station située à l'amont d'Oloron, 1-2 km en amont de la confluence avec le Gave d'Aspe, 1er aménagement, Artouste, achevé en 1929.
7	Pyrénées Aquitaine	64	Oloron-Sainte-Marie	Gave d'Oloron	Oloron-Sainte-Marie	51.6	DDE 64	Q7002910	QMJ	1912 1923	4 à 8	4 à 8	Station située à l'aval d'Oloron, au niveau du pont de la voie ferrée, aménagement des vallées d'Aspe à partir de 1924 (Estaens, Peilhou) et de la vallée d'Ossau à partir de 1929 (Artouste).
8	Pyrénées Aquitaine	64	Escos	Gave d'Oloron	Escos	102	DDE 65	Q7412910	QMJ	1922 1944	3 à 8	3 à 8	Station située en amont d'Escos, en aval de la confluence du Saison, recours au QMJ pour lisser les premières influences, chronique arrêtée avant les constructions de barrages et d'usines des années 1940-50
9	Pyrénées Aquitaine	64	Bérenx	Gave de Pau	Bérenx	81.9	DIREN Aquitaine	Q5501010	QMJ	1923 1945	4 à 8	4 à 8	Station située en amont du pont de l'autoroute, entre Baigts et Puyoo, chronique arrêtée avant les constructions de barrages et d'usines des années 1950
10	Pyrénées Midi-Pyrénées	9	Soulan	Arac	Soulan	6.07	DIREN Midi-Pyrénées	O0384010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RD du Salat, station située 1-2 km en amont de la confluence, au pont de la D217.
11	Pyrénées Midi-Pyrénées	9	Lacourt	Salat	Pont Lacourt	19.0	EDF	1460	QH	1997 2007	4 à 8	4 à 8	Station située en aval de la centrale de Lacourt (fil de l'eau)
12	Pyrénées Midi-Pyrénées	9	Le Peyrat	Hers Vif	Peyrat	4.10	DIREN Midi-Pyrénées	O1442910	QTVAR	1999 2008	5 à 8	5 à 8	Affluent RD de l'Ariège, station en aval de la Bastide sur l'Hers
13	Pyrénées Midi-Pyrénées	9	Foix	Ariège	Foix	39.9	DIREN Midi-Pyrénées	O1252510	QMJ	1906 1939	4 à 8	4 à 8	Station située dans Foix, au premier pont en amont de la confluence de l'Arget, 1er aménagement, Izourt, achevé en 1940.
14	Pyrénées Midi-Pyrénées	31	Castelbiague	Arbas	Castelbiague	1.78	DIREN Midi-Pyrénées	O0554010	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Affluent RG du Salat, confluant en amont de Salies, station située en aval du village de Castelbiague, au lieu-dit Le Pont de Prades.
15	Pyrénées Midi-Pyrénées	31	Saint-Gaudens	Garonne	Saint-Gaudens	60.2	DIREN Midi-Pyrénées	O0200030	QMJ	1912 1931	5 à 8	5 à 8	Station située au niveau du pont de la voie ferrée, chronique arrêtée aux 20 premières années disponibles, avant les aménagements des années 1930.

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
16	Pyrénées Midi-Pyrénées	31	Palaminy	Garonne	Palaminy	104	DIREN Midi-Pyrénées	O0600010	QMJ	1924 1943	4 à 8	4 à 8	Station située au niveau du pont de Cazère, chronique arrêtée aux 20 premières années disponibles.
17	Pyrénées Midi-Pyrénées	31	Portet	Garonne	Portet	189	DIREN Midi-Pyrénées	O1900010	QMJ	1910 1939	4 à 8	4 à 8	Station située au niveau de l'embarcadère du bac, 1 km en aval de la confluence de l'Ariège, chronique arrêtée aux 30 premières années disponibles.
18	Pyrénées Midi-Pyrénées	31	Roquefort sur Garonne	Salat	Roquefort	42.5	DIREN Midi-Pyrénées	O0592510	QMJ	1913 1939	4 à 8	4 à 8	Station située 1 km en amont de la confluence avec la Garonne, barrage d'Araing sur le Lez achevé en 1941.
19	Pyrénées Midi-Pyrénées	65	Gourgue	Arros	Gourgue	3.64	DIREN Aquitaine	Q0522520	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RD de l'Adour, station situé en amont de Gourgue, au pont de la D81.
20	Pyrénées Midi-Pyrénées	65	Gedre	Gave d'Estaubé	Gloriette	0.99	EDF	1151	QH	1997 2007	4 à 8	5 à 8	Affluent RG du Gave d'Héas ; en amont du lac des Gloriettes
21	Pyrénées Midi-Pyrénées	65	Lourdes	Gave de Pau	Lourdes	44.6	DDE 64	Q4761010	QMJ	1919 1948	5 à 8	5 à 8	Station située à la sortie de Lourdes, premiers aménagements du bassin dans les années 1950 (Cap de long, Migoelou, Tech, Gloriette, Escoulous).
22	Pyrénées Languedoc-Rousillon	11	Belviane et Cavirac	Aude	Belviane	13.5	DDE 11	Y1112010	QMJ	1914 1930	5 à 8	5 à 8	Station située en aval de Belviane et Cavirac, entre les deux seuils, 1er aménagement, Puyvalador, achevé en 1932.
23	Pyrénées Languedoc-Rousillon	66	Saint-Paul de Fenouillet	Agly	Saint-Paul de Fenouillet	2.80	DDE 11	Y0624020	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Fleuve cotier, station située au niveau de la confluence avec la Boulzane, à l'aval du village de Saint Paul.
N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
24	Massif central Midi-Pyrénées	12	Vabre-l'Abbaye	Dourdou	Vabre-l'Abbaye	11.9	DIREN Midi-Pyrénées	O3594020	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RG du Tarn, station située en aval de la confluence de la Sorgue, au lieu-dit Radier, en amont de la station EDF
25a	Massif central Midi-Pyrénées	12	Mostuéjols	Tarn	Mostuéjols	31.5	DIREN Midi-Pyrénées	O3141010	QTVAR	1990 2008	4 à 8	6 à 8	Station située en amont de la confluence de la Jonte, au lieu-dit Plaisance
25b									QMJ	1969 2008	-	4 à 5	
26	Massif central Midi-Pyrénées	12	Millau	Dourbie	Millau	13.8	DIREN Midi-Pyrénées	O3394030	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RD du Tarn, confluent à Millau, station située 2 km en amont de la confluence, au lieu-dit Massebiau.
27	Massif central Midi-Pyrénées	12	Saint Georges de Luzençon	Cernon	Saint-Georges	2.96	EDF	2521	QH	1997 2007	2 à 8	2 à 8	Affluent RG du Tarn, confluent en aval de Millau
28	Massif central Midi-Pyrénées	12	Millau	Tarn	Millau	47.4	DIREN Midi-Pyrénées	O3401010	QMJ	1969 2008	3 à 8	3 à 8	Station située dans Millau, au pont entre deux seuils, à l'aval immédiat du parcours d'eaux vives, recours au QMJ pour lisser les légères perturbations à bas débit, liées notamment au parcours d'eaux vives
29	Massif central Midi-Pyrénées	12	Entraygues	Lot	Entraygues	34.0	DIREN Midi-Pyrénées	O7191510	QMJ	1937 1947	1 à 8	1 à 8	Station située 2-3 km en amont de la confluence avec la Truyère, 1er aménagement, Castelnau, achevé en 1948.
30	Massif central Midi-Pyrénées	81	Anglès	Arn	Taillades	2.54	EDF	1623	QH	1997 2007	1 à 8	1 à 8	Affluent RD du Thoré (lui-même affluent RG de l'Agout), station située en amont de la retenue de Saint-Peyres

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
31	Massif central Midi-Pyrénées	82	Montauban	Aveyron	Montauban	56.5	DIREN Midi-Pyrénées	O5882510	QMJ	1979 2008	1 à 8	1 à 8	Station située au lieu-dit Loubéjac, au nord de Montauban, recours au QMJ pour lisser les légères perturbations à bas débit.
32	Massif central Midi-Pyrénées	82	Laguépie	Aveyron	Laguépie	19.4	DIREN Midi-Pyrénées	O5292510	QMJ	1979 2008	1 à 8	1 à 8	Station située au lieu-dit Magnounelle, en amont de la confluence du Viaur, recours au QMJ pour lisser les légères perturbations à bas débit.
33	Massif central Languedoc-Rousillon	7	Meyras	Ardèche	Meyras	3.60	DIREN Rhône-Alpes	V5004030	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Station située au pont de la D26, juste en amont des confluences du Lignon et de la Fontaulière.
34	Massif central Languedoc-Rousillon	30	Généralgues	Gardon de Mialet	Généralgues	6.34	SPC Grand Delta	V7124010	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Affluent RG du Gardon, station située juste en amont de la confluence, entre le pont de la voie ferrée à l'aval et un seuil à l'amont.
35	Massif central Languedoc-Rousillon	30	Saint-Laurent-le-Minier	Vis	Saint-Laurent-le-Minier	10.0	DIREN Languedoc-Roussillon	Y2035010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	4 à 8	Affluent RD de l'Hérault, station située environ 500 m à l'amont de la confluence avec l'Hérault.
36	Massif central Languedoc-Rousillon	34	Fraisse-sur-Agoût	Agoût	Fraisse	1.60	EDF	1616	QH	1997 2007	1 à 8	1 à 8	Station située en amont du lac de la Raviège
37a	Massif central Languedoc-Rousillon	34	Laroque	Hérault	Laroque	19.7	DIREN Languedoc-Roussillon	Y2102010	QTVAR	1990 2008	2 à 8	6 à 8	Station située à l'aval de Laroque, au niveau des Grottes, en aval de la confluence de la Vis.
37b									QMJ	1969 2008	-	3 à 5	
38a	Massif central Languedoc-Rousillon	48	Banassac	Lot	Banassac	16.1	DIREN Languedoc-Roussillon	O7101510	QTVAR	1999 2008	4 à 8	6 à 8	Station située au lieu-dit La Mothe
38b									QMJ	1979 2008	2 à 3	2 à 5	
39	Massif central Languedoc-Rousillon	48	Saint-Juery	Bès	Saint-Juery	7.78	EDF	2522	QH	1997 2007	3 à 8	3 à 8	Affluent RG de la Truyère, confluant dans le lac de Grandval.
40	Massif central Languedoc-Rousillon	48	Langogne	Allier	Langogne	8.40	DIREN Centre	K2070810	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Station située au pont de la N88, en amont de l'apport du barrage de Naussac.
41	Massif central Auvergne	15	Condat	Santoire	Condat	4.68	EDF	2207	QH	1997 2007	2 à 8	2 à 8	Affluent RG de la Rhue (elle-même affluent RG de la Dordogne, entre Bort et Marèges), confluant à Condat
42	Massif central Auvergne	15	Lacapelle-Viescamp	Authre	Viescamp	3.17	EDF	2483	QH	1997 2007	1 à 8	1 à 8	Affluent RD de la Cère, confluant dans la retenue Saint-Etienne de Cantalès, station juste en amont de la retenue
43	Massif central Auvergne	63	Pontgibaud	Sioule	Pontgibaud	6.37	DIREN Auvergne	K3222010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG de l'Allier, station située au niveau du pont de la D943
44	Massif central Auvergne	63	Singles	Burande (Jarrigue)	Singles	3.03	EDF	2201	QH	1997 2007	2 à 8	2 à 8	Affluent RG de la Dordogne, confluant dans Bort, source à Chastreix (Puy de Sancy), station juste en amont de la retenue

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
45	Massif central Limousin	19	Corrèze	Corrèze	Corrèze	5.60	SPC Dordogne	P3352510	QH	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Station en amont du village de Corrèze (pont de neupont) et de l'aménagement de Corrèze-Bar.
46	Massif central Limousin	19	Monestier-Merlines	Chavanon	Celette	6.53	EDF	2274	QH	1997 2007	2 à 8	2 à 8	Affluent RD de la Dordogne, confluent dans Bort
47	Massif central Limousin	19	Moustier-Ventadour	Luzège	Pont de Bouyges	6.56	EDF	2269	QH	1997 2007	3 à 8	3 à 8	Affluent RD de la Dordogne, confluent dans Chastang, station en amont du barrage de Luzège.
48	Massif central Limousin	19	Argentat	Dordogne	Argentat	106	SPC Dordogne	P1350010	QMJ	1900 1934	1 à 8	1 à 8	Station située en amont du vieux pont d'Argentat, 1er aménagement de la chaîne Dordogne, Marèges, achevé en 1935.
49	Massif central Limousin	19	Argentat	Maronne	Basteyroux	20.2	SPC Dordogne	P1592510	QMJ	1918 1944	1 à 8	1 à 8	Affluent RG de la Dordogne, confluent en aval d'Argentat, 1 ^{er} aménagement, Gour-Noir achevé en 1945.
50	Massif central Limousin	19	Brive	Corrèze	Brive	21.2	SPC Dordogne	P3922510	QMJ	1918 1937	3 à 8	4 à 8	Affluent RG de la Vézère, elle-même affluent RD de la Dordogne, station située à la sortie de Brive, 4-5 km en amont de la confluence, chronique arrêtée aux 20 premières années disponibles.
51	Massif central Limousin	23	Felletin	Creuse	Felletin	3.86	DIREN Limousin	L4010710	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Station située au niveau du Pont des Malades (D10), en amont du barrage des Combes (Confolent), en aval de la confluence du Dejoune.
52	Massif central Limousin	23	Fresselines	Petite Creuse	Fresselines	8.70	DIREN Limousin	L4411710	QTVAR	1994 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RD de la Creuse, station située juste en amont de la confluence avec la Creuse et de la retenue d'Eguzon, au niveau du pont de la D44.
53	Massif central Limousin	23	Genouillac	Petite Creuse	Genouillac	5.48	EDF	2009	QH	1997 2007	3 à 8	3 à 8	Affluent RD de la Creuse, confluent à Fresselines, juste en amont de la retenue d'Eguzon
54	Massif central Limousin	23	Lafat	Sedelle	Lafat	2.89	EDF	2018	QH	1997 2007	2 à 8	2 à 8	Affluent RG de la Creuse, confluent dans la retenue d'Eguzon au Crozant
55a	Massif central Limousin	87	Saint-Bonnet-de-Bellac	Gartempe	Saint-Bonnet-de-Bellac	17.7	DIREN Limousin	L5301810	QTVAR	1999 2008	4 à 8	6 à 8	Affluent RG de la Creuse ; station située au pont de la D26 (Pont Saint-Martin)
55b	QMJ								1995 2008	3	3 à 5		
56	Massif central Limousin	87	Journac	Briance	Chambon Veyrinas	8.21	EDF	2120	QH	1997 2007	3 à 8	3 à 8	Affluent de la Vienne, confluent en aval de Limoges
57	Massif central Centre	36	Saint-Cyran-du-Jambot	Indre	Saint-Cyran-du-Jambot	13.3	DIREN Centre	K7312610	QTVAR	1999 2008	4 à 8	5 à 8	Station située au pont de la D28d, au lieu-dit Razeray
58	Massif central Rhône-Alpes	42	Poncins	Lignon du Nord (ou du Forez)	Poncins	8.24	DIREN Centre	K0773220	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG de la Loire, confluent à Feurs ; station située au pont de Poncins.
59	Massif central Rhône-Alpes	43	Bas-en-Basset	Loire	Bas-en-Basset	38.10	DIREN Centre	K0550010	QMJ	1919 1938	3 à 8	3 à 8	Station située au pont de la D42, en aval de la confluence de l'Ance du Nord et du Lignon du Sud, chronique arrêtée aux 20 premières années disponibles.

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
60	Alpes PACA	4	Barcelonnette	Ubaye	Barcelonnette	10.6	DIREN PACA	X0434010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RG de la Durance, confluant dans le lac de Serre-Ponçon, station située dans Barcelonnette (partie chenalisée)
61	Alpes PACA	4	Saint-Andre-les-Alpes	Issole	Saint-Andre-les-Alpes	2.70	DIREN PACA	X2114010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RD du Verdon, confluant juste en amont du barrage de Castillon
62	Alpes PACA	4	Mure-Argens	Verdon	Mure-Argens	7.22	EDF	0296	QH	1997 2007	4 à 8	4 à 8	Affluent RG de la Durance, station située juste à l'amont de la retenue de Castillon
63	Alpes PACA	5	Villar-Loubière	Séveraisse	Villar-Loubière	5.10	DIREN PACA	W2114010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RD du Drac, station située au pont de Villar-Loubière, en amont du barrage de dérivation vers la centrale de Saint-Maurice
64	Alpes PACA	5	L'Argentière-la-Bessée	Durance	Argentière	27.5	DIREN PACA	X0130010	QMJ	1910 1929	5 à 8	5 à 8	Station située en aval d'Argentière, au pont de la D104
65	Alpes PACA	5	Espinasses	Durance	Espinasses	77.9	EDF	X0500010	QMJ	1948 1959	5 à 8	5 à 8	Station située au niveau du barrage de Serre-Ponçon achevé en 1960.
66	Alpes PACA	6	Le Broc	Estéron	Au Broc	7.02	DIREN PACA	Y6434010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RD du Var, station située au lieu-dit La Clave, 3-4 km en amont de la confluence avec le Var.
67	Alpes PACA	6	Tende	Roya	Tende	2.91	DIREN PACA	Y6614010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Fleuve cotier dont le cours aval est en Italie, station située au pont de la voie ferrée, en amont de la confluence avec le torrent de Bieugne et la centrale de Saint-Dalmas.
68	Alpes PACA	83	Callian	Siagne	Callian	6.49	DIREN PACA	Y5514040	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Fleuve cotier se jetant à l'ouest de Cannes, station située au nord de la commune, au lieu-dit Ajustadoux, en aval de la centrale (fil de l'eau) de la Siagne, en aval de la prise d'eau du canal de la Siagne, mais en amont du barrage de dérivation vers la retenue de Saint-Cassien.
69	Alpes PACA	83	Châteauvert	Argens	Châteauvert	3.41	DIREN PACA	Y5032010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Fleuve cotier se jetant au niveau de Fréjus, station située au pont de Châteauvert
70	Alpes Rhône-Alpes	26	Châtillon-en-diois	Bez	Châtillon-en-diois	4.26	DIREN Rhône-Alpes	V4225010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RD de la Drôme, station située au pont de la D539, juste à l'amont du village
71a	Alpes Rhône-Alpes	26	Saillans	Drôme	Saillans	17.7	DIREN Rhône-Alpes	V4264010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	6 à 8	Affluent RG du Rhône, station située à l'amont du village de saillans, à l'amont d'un seuil en ruine
71b	QMJ								1979 2008	2	2 à 5		
72	Alpes Rhône-Alpes	38	Saint-Christophe-sur-Guiers	Guiers vif	Saint-Christophe-sur-Guiers	4.68	DIREN Rhône-Alpes	V1515010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG du Rhône, station située au pont Saint-Martin, en amont de la confluence avec le Guiers Mort, et du barrage de dérivation vers l'usine de Saint-Béron
73	Alpes Rhône-Alpes	38	Saint-Christophe-en-Oisan	Vénéon	Les Etages	5.38	EDF	0111	QH	1997 2007	3 à 8	3 à 8	Affluent RG de la Romanche, confluant en amont du Bourg-d'Oisant, station située un dizaine de km en amont du barrage de dérivation vers la centrale de Pont-Escoffier
74	Alpes Rhône-Alpes	73	Moutiers	Isère	Moutiers	27.5	DIREN Rhône-Alpes	W0110010	QMJ	1903 1926	5 à 8	5 à 8	Station située dans Moutiers, 500 m en amont de la confluence des Dorons, barrage de Tignes achevé en 1952.
75	Alpes Rhône-Alpes	74	Saint-Jean-de-Sixt	Borne	Saint-Jean-de-Sixt	3.1	DIREN Rhône-Alpes	V0205420	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG de l'Arve, station située au lieu-dit Les Epinettes, en aval du Grand-Bornand
76	Alpes Rhône-Alpes	74	Seytroux	Dranse de Morzine	Seytroux	7.5	DIREN Rhône-Alpes	V0325010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Conflue avec la Dranse d'Abondance en RG et forme La Dranse se jetant dans le lac Léman au niveau de Thonon, station située au pont de Couvaloup, 2-3 km en amont de la retenue du Jatty (alimentant la centrale de Bioge)

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
77	Alpes Rhône-Alpes	74	Dingy-Saint-Clair	Fier	Dingy-Saint-Clair	9.5	DIREN Rhône-Alpes	V1214010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG du Rhône, confluant en amont de l'aménagement de Chautagne, station située au pont Saint-Clair, en amont d'Annecy et de la confluence de la Filière.
78	Alpes Rhônes-Alpes	74	Argonay	Fier	Argonay	14.1	EDF	3118	QH	1997 2007	3 à 8	3 à 8	Affluent RG du Rhône, confluant en amont de l'aménagement de Chautagne, station située en aval de la confluence de la Filière.
79	Alpes Rhône-Alpes	74	Allèves	Chéran (ou Chéron)	Allèves	7.7	DIREN Rhône-Alpes	V1255010	QTVAR	1999 2008	3 à 8	3 à 8	Affluent RG du Fier, confluant dans la retenue de Vallière, station située au lieu-dit La Charnia, juste en aval de la confluence du ruisseau de Bellecombe et amont de la résurgence de la grotte de Prér rouge
N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
80	Jura Rhônes-Alpes	1	Chezery-Florens	Valserine	Chezery-Florens	4.57	DIREN Franche-Comté	V1015030	QTVAR	1999 2008	4 à 8	4 à 8	Affluent RD du Rhône, confluant à Bellegarde, station située juste à l'aval du village.
81	Jura Rhônes-Alpes	1	Saint-Denis-en-Bugey	Albarine	Saint-Denis-en-Bugey	6.89	DIREN Rhônes-Alpes	V2924010	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Affluent RG de l'Ain, station située au pont juste en aval de celui de la voie ferrée
82	Jura Rhônes-Alpes	1	Chatillon-en-Michaille	Semine	Chatillon-en-Michaille	9.37	DIREN Rhônes-Alpes	V1015810	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Affluent RD de la Valserine, station située en aval du pont de Coz, juste à l'amont de la confluence avec la Valserine
83	Jura Franche-Comté	25	Saint-Hyppolyte	Dessoubre	Saint-Hyppolyte	13.8	DIREN Franche-Comté	U2215020	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Affluent RG du Doubs, station située 2-3 km en amont de la confluence
84a	Jura Franche-Comté	25	Vuillafans	Loue	Vuillafans	21.3	DIREN Franche-Comté	U2604030	QTVAR	1999 2008	4 à 8	6 à 8	Affluent RG du Doubs, station située en amont du village de Vuillafans, au lieu-dit Le Champ.
84b									QMJ	1969 2008	3	3 à 5	
85a	Jura Franche-Comté	39	Champagne-sur-Loue	Loue	Champagne-sur-Loue	52.8	DIREN Franche-Comté	U2634010	QTVAR	1990 2008	4 à 8	6 à 8	Affluent RG du Doubs, station située au pont de la D274
85b									QMJ	1963 2008	3	3 à 5	
86	Jura Franche-Comté	25	Villers-le-lac	Doubs	Lac des Brenets	19.3	OFEV	2247	QTVAR	1974 2003	2 à 8	2 à 8	Station suisse sur le Doubs frontière, située à la sortie du lac naturel des brenets (ou lac de Chaillexon), variations de débit possiblement atténuées par le lac
87	Jura Franche-Comté	39	Saint-Claude	Bienne	Saint-Claude	9.61	DIREN Franche-Comté	V2414010	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Affluent RG de l'Ain, confluant dans le lac du Coiselet, station située au lieu-dit Les Cheneviers, 2-3 km en amont de Saint-Claude et de la confluence du Tacon.
88a	Jura Franche-Comté	70	Pesmes	Ognon	Pesmes	33.9	DIREN Franche-Comté	U1084010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	6 à 8	Affluent RG de la Saône, station située en aval de Pesmes, au lieu-dit Les Grandes Raies, une dizaine de km en amont de la confluence.
88b									QMJ	1964 2008	3	3 à 5	

N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
89	Vosges Alsace	67	Holtzheim	Bruche	Holtzheim	8.19	DIREN Alsace	A2860110	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Affluent RG de l'Ill, confluant à Strasbourg, station située au pont de Holtzheim.
90a	Vosges Lorraine	88	Saint-Narbord	Moselle	Saint-Narbord	24.7	DIREN Lorraine	A4200630	QTVAR	1999 2008	4 à 8	5 à 8	Station située en aval de Saint-Narbord, au lieu-dit Noirgueux.
90b	QMJ								1962 2008	1 à 3	1 à 4		
91a	Vosges Lorraine	54	Laneuveville-devant-Nancy	Meurthe	Laneuveville-devant-Nancy	37.6	DIREN Lorraine	A6921010	QTVAR	1999 2008	4 à 8	5 à 8	Affluent RD de la Moselle, confluant à l'aval de Nancy, station située au niveau du pont du canal, en amont de Nancy.
91b	QMJ								1986 2008	-	4		
N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
92	Massif Armoricaïn Basse-Normandie	50	Notre-Dame-du-Touchet	Sélune	Notre-Dame-du-Touchet	2.79	DIREN Basse-Normandie	I9031010	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Fleuve cotier normand, station située au niveau du pont de la D46, en amont du barrage de Vezins.
93	Massif Armoricaïn Bretagne	22	Saint-Jouan de l'Isle	Rance	Saint-Jouan de l'Isle	1.24	DIREN Bretagne	J0611610	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 7	Fleuve cotier breton, station située au niveau du pont de la D166, en amont du village et du barrage de Rophemel.
N	Massif Région	Dép	Commune	Cours d'eau	Nom Station	Mod (m ³ /s)	Producteur de données	Code	Type données	Période	Gamme Hausse	Gamme Baisse	Commentaire
94	Corse Haute-Corse	2B	Albertacce	Golo	Albertacce	2.93	DIREN Corse	Y7002020	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Station située au pont altu, en amont de la retenue de Calacuccia.
95	Corse Haute-Corse	2B	Morosaglia	Asco	Morosaglia	5.08	DIREN Corse	Y7114020	QTVAR	1999 2008	1 à 8	1 à 8	Affluent RG du Golo, station située juste en amont de la confluence avec le Golo, au second pont de voie ferrée.
96	Corse Haute-Corse	2B	Ghisoni	Fium-Orbo	Ghisoni	3.68	DIREN Corse	Y9414020	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Station située peu en amont du pont de sampolo et de la retenue EDF de Sampolo (début des travaux en 1987, mise en service en 1992)
97	Corse Corse du Sud	2A	Zoza	Rizzanese	Zoza	3.69	DIREN Corse	Y8814010	QTVAR	1999 2008	2 à 8	2 à 8	Station située en amont du village de Zoza, au Ponte Novu

Tableau 1 : Liste des stations hydrométriques constituant le jeu de données d'hydrologie naturelle.

3. METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DES HYDROGRAMMES

L'objectif du traitement est d'extraire des hydrogrammes les valeurs de gradients des hausses et des baisses de débit.

Huit gammes de variation ont été définies en fonction du module du cours d'eau, de 5% à 400% (Tableau 2), délimitées par 9 valeurs de débit-seuils.

Les variations au-delà de 4 fois le module du cours d'eau (épisodes de crue) n'ont pas été étudiées étant donné que la quasi-totalité des débits d'équipement des aménagements hydroélectriques sont inférieurs à cette valeur (Lauters, 1995). Les quelques aménagements qui présentent des débits d'équipement supérieurs à 4 fois le module font généralement partie de chaîne d'aménagements dont le dernier à l'aval présente un débit d'équipement inférieur à cette valeur.

N°	Gamme de variation du débit (% du module du cours d'eau)
1	5% - 10%
2	10% - 15%
3	15% - 25%
4	25% - 50%
5	50% - 100%
6	100% - 200%
7	200% - 300%
8	300% - 400%

Tableau 2 : Gammes de variation de débit définies.

Le traitement des chroniques de débit s'effectue sous Excel et est automatisé au travers d'une Macro codée en Visual Basic. La Figure 4 présente un extrait du fichier de traitement des hydrogrammes. A partir des données brutes (couple date-débit, colonne A et B), des données secondaires sur les variations élémentaires entre deux mesures consécutives sont calculées : durée entre les 2 mesures, amplitude de la variation, gradient de la variation (colonne C, D et E). Les valeurs de débit sont typées (colonne F) selon la plage à laquelle elles appartiennent, conformément au Tableau 3. Les changements de type de débit entre chaque paire de mesures sont repérés (colonne G), ainsi que le nombre de débit-seuils franchis (colonne J). A chaque franchissement d'un débit-seuil est associée une date interpolée entre les dates des 2 mesures qui l'encadrent (colonne K à S selon le débit-seuil). Dès que 2 débit-seuils sont consécutivement franchis à la hausse ou à la baisse, cela indique qu'une variation de débit s'est déroulée sur l'ensemble d'une des gammes définies. Les informations suivantes sont alors reportées dans un tableau : numéro de la gamme de variation, valeur du gradient de la variation (en m^3/s et en % du module), date de début et de fin de la variation (Figure 2). La méthodologie de traitement des hydrogrammes est illustrée en Figure 3. Elle est applicable aux différents types de données (QTVAR, QH et QMJ). Pour chacune des 8 gammes de variations, et pour les hausses et les baisses, le dénombrement des valeurs de gradient extraites, ainsi que la production de différents quantiles des valeurs de gradients (min, max, 1^{er} et 9^{eme} décile, 1^{er} et 3^{eme} quartile, médiane, ...) sont également automatisés.

La méthodologie développée extrait une valeur de gradient sur une gamme de variation, que la variation se soit déroulée de façon continue ou non (les deux cas sont illustrés en Figure 3). Certaines valeurs de gradient sont ainsi calculées en incluant potentiellement des phases de stabilité du débit et/ou d'inversion de tendance. Ces valeurs sous-estiment alors les gradients instantanés effectifs. Le découpage en de multiples gammes de variation, d'amplitude de plus en plus faible vers les bas débits, limite toutefois le phénomène. L'opportunité de ne prendre en compte que les variations de débit continues a été envisagée et testée, mais n'a pas été retenue. Cette approche s'avère en fait difficile à mettre en œuvre en pratique, les grandes variations dans les chroniques de débit incluant fréquemment des variations élémentaires (entre 2 mesures consécutives) où le débit est stable, voire où la tendance s'inverse. Cela se produit d'autant plus que le pas de temps de la chronique est fin et que les événements sont lents. Cela est donc particulièrement problématique pour les baisses de débit, dans les gammes de bas débits.

Plage de débit	Type de débit
≤ 5%	1
] 5% - 10%]	2
] 10% - 15%]	3
] 15% - 25%]	4
] 25% - 50%]	5
] 50% - 100%]	6
] 100% - 200%]	7
] 200% - 300%]	8
] 300% - 400%]	9
> 400%	10

Tableau 3 : Définition des types de débit.

	A	B	C	D	E
	Gamme de variation	Gradient de hausse (m ³ /s)	Gradient de hausse (% mod)	Date avant hausse	Date après hausse
1					
2	1	0.00	0.01%	11/08/1986 08:58	16/09/1986 10:22
3	1	0.06	0.11%	06/07/1989 00:53	07/07/1989 22:02
4	1	0.03	0.05%	09/08/1989 04:39	13/08/1989 05:55
5	1	0.02	0.03%	24/07/1998 16:00	31/07/1998 12:21
6	1	0.04	0.08%	02/09/1998 02:24	04/09/1998 20:25
7	1	0.04	0.06%	03/09/2003 12:00	06/09/2003 20:21
8	1	0.05	0.08%	29/07/2005 05:15	31/07/2005 19:19
9	1	0.10	0.18%	26/07/2006 14:24	27/07/2006 18:55
10	1	0.01	0.01%	16/08/2006 12:33	08/09/2006 16:47
11	2	0.14	0.24%	17/08/1976 04:13	18/08/1976 01:07
12	2	0.08	0.13%	25/08/1985 21:36	27/08/1985 10:42

Figure 2 : Extrait d'un tableau regroupant les caractéristiques des variations de débit à la hausse.

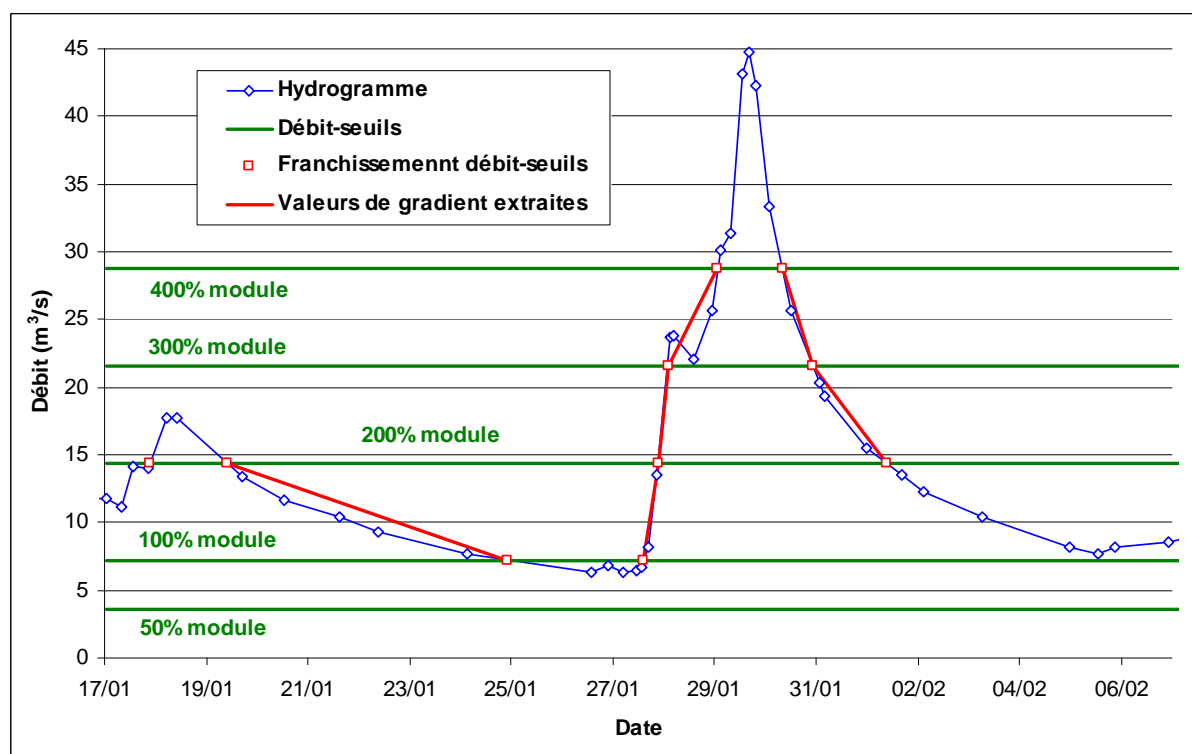


Figure 3 : Illustration de la méthodologie de traitement des hydrogrammes et d'extraction des valeurs de gradient.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	Lancer Analyse																		
5	Données brutes		Données secondaires							Date franchissement Débit-Seuil									
6	Date et heure	Débit (m³/s)	Durée entre deux mesures (jours)	Amplitude (m³/s)	Gradient ((m³/s)/h)	"Type de débit"	Changement type	Type min	Type max	Nb seuils franchis	0.36	0.72	1.08	1.80	3.60	7.20	14.40	21.60	28.80
49	36182.39	9.20	1.73	-1.63	-0.04	7	0			0									
50	36184.13	7.65	2.43	-1.36	-0.02	7	1	6	7	-1						36184.93			
51	36186.56	8.29	0.33	0.51	0.06	6	0			0									
52	36186.90	6.80	0.31	0.53	-0.07	6	0			0									
53	36187.20	6.27	0.27	0.19	0.03	6	0			0									
54	36187.47	6.46	0.08	0.22	-0.41	6	0			0									
55	36187.56	6.60	0.14	1.50	0.47	6	1	6	7	1						36187.61			
56	36187.70	8.24	0.17	5.26	1.30	7	0			0									
57	36187.87	13.50	0.20	10.20	1.54	7	1	7	9	2							36187.89	36188.08	
58	36188.14	23.70	0.05	0.10	0.08	9	0			0									
59	36188.19	23.80	0.40	-1.70	-0.18	9	0			0									
60	36188.60	22.10	0.34	3.60	0.44	9	0			0									
61	36188.94	25.70	0.19	4.40	0.99	9	1	9	10	1									36189.07
62	36189.12	30.10	0.21	1.30	0.26	10	0			0									
63	36189.33	31.40	0.23	11.70	2.09	10	0			0									
64	36189.56	43.10	0.11	1.70	0.62	10	0			0									
65	36189.68	44.80	0.15	-2.50	-0.70	10	0			0									
66	36189.83	42.30	0.26	-8.90	-1.41	10	0			0									
67	36190.09	33.40	0.42	-7.70	-0.76	10	1	9	10	-1									36190.34
68	36190.51	25.70	0.56	-5.40	-0.40	9	1	8	9	-1								36190.93	
69	36191.07	20.30	0.11	-0.90	-0.35	8	0			0									
70	36191.18	19.40	0.83	-3.90	-0.20	8	0			0									
71	36192.00	15.50	0.69	-2.00	-0.12	0	1	7	0	-1									36192.38
72	36192.69	13.50	0.43	-1.20	-0.12	7	0			0									
73	36193.12	12.30	1.14	-1.90	-0.07	7	0			0									

Figure 4 : Vue partielle du fichier de traitement des chroniques de débit : données brutes, données secondaires, repérage des dates de franchissement des débit-seuils.

4. ILLUSTRATIONS DES RESULTATS PAR STATION

Des figures de résultats pour quelques stations (3 des Pyrénées, 3 du Massif Central et 3 des Alpes) sont présentées dans les pages suivantes (Figure 5 à Figure 7). On a porté sur ces figures certains quantiles caractéristiques de la distribution des valeurs de gradient de hausse et de baisse pour chaque gamme de variation (les 1^{er} et 9^{ème} déciles, les 1^{er} et 3^{ème} quartiles et la médiane). On ne dispose pas toujours de valeurs de gradient pour les gammes de variation 1 (5%-10%), 2 (10%-15%) ou 3 (15%-25%), le débit de certains des cours d'eau étudiés ne descendant pas naturellement en deçà de ces valeurs. Il se peut également que le nombre de valeurs de gradient extraites sur ces gammes soit trop faible (< 10) pour en extraire des valeurs statistiques.

Ces résultats sont présentés pour illustrer 2 constats :

- d'une part, le fait que, **pour une station et une gamme de variation donnée, les gradients des hausses de débit sont plus importants que ceux des baisses de débit,**
- et d'autre part, le fait que **pour une station donnée, les gradients de hausses et de baisses sont globalement d'autant plus faibles que la variation se déroule vers les faibles débits.**

Il apparaît donc important que les critères sur le gradient pour le repérage des éclusées soient différenciés entre les hausses et les baisses et qu'ils soient progressifs selon la gamme de débit sur laquelle se déroule la variation.

Au delà de l'exploitation qui en est faite pour la fixation des critères sur le gradient pour le repérage des éclusées hydroélectriques, ces résultats par station pourront également venir alimenter les réflexions des études de cas sur la problématique des éclusées.

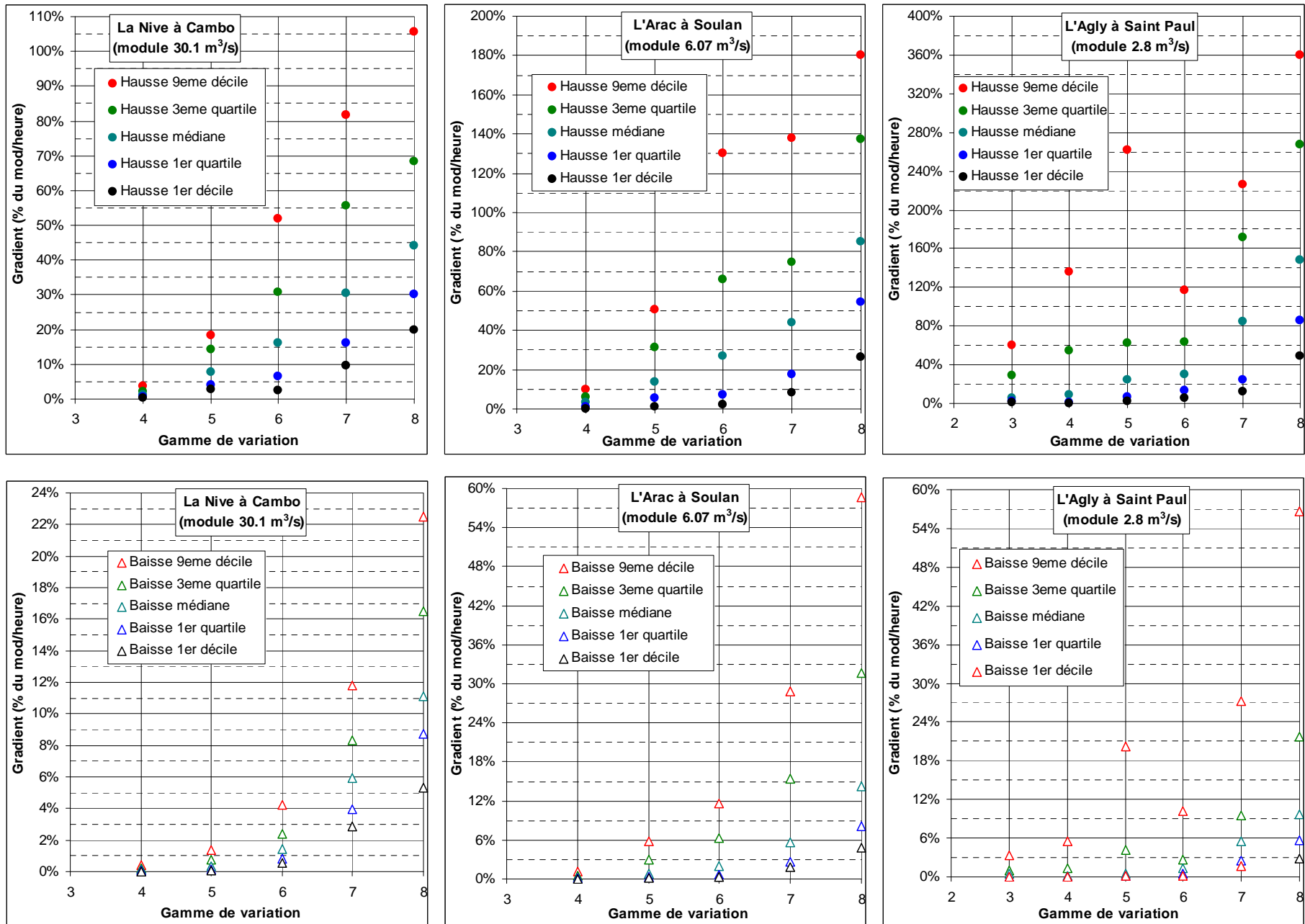


Figure 5 : Valeurs caractéristiques de la distribution des gradients (en % du module / heure) par gamme de variation, pour les hausses et les baisses de débit, pour 3 stations des Pyrénées.

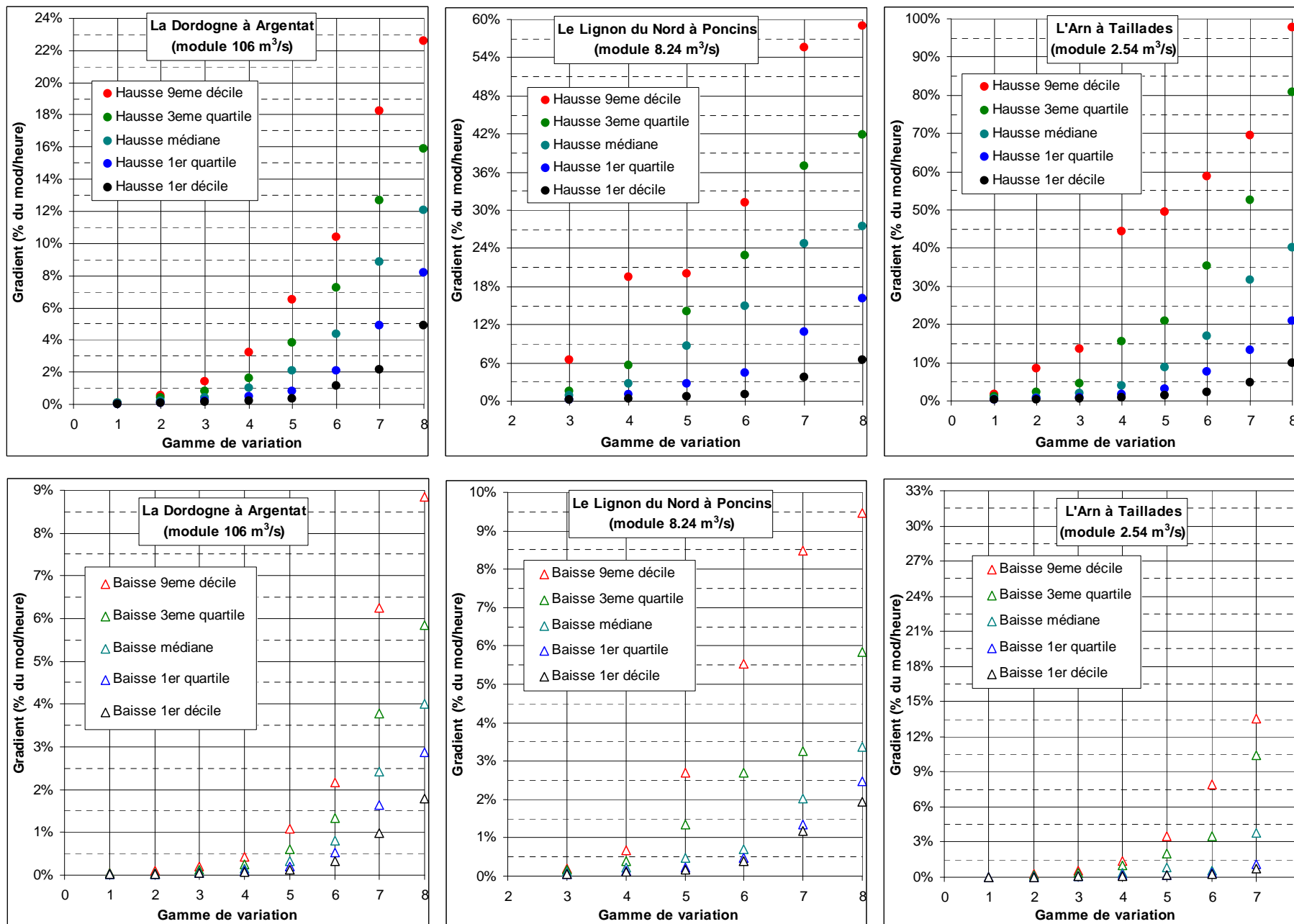


Figure 6 : Valeurs caractéristiques de la distribution des gradients (en % du module / heure) par gamme de variation, pour les hausses et les baisses de débit, pour 3 stations du Massif Central.

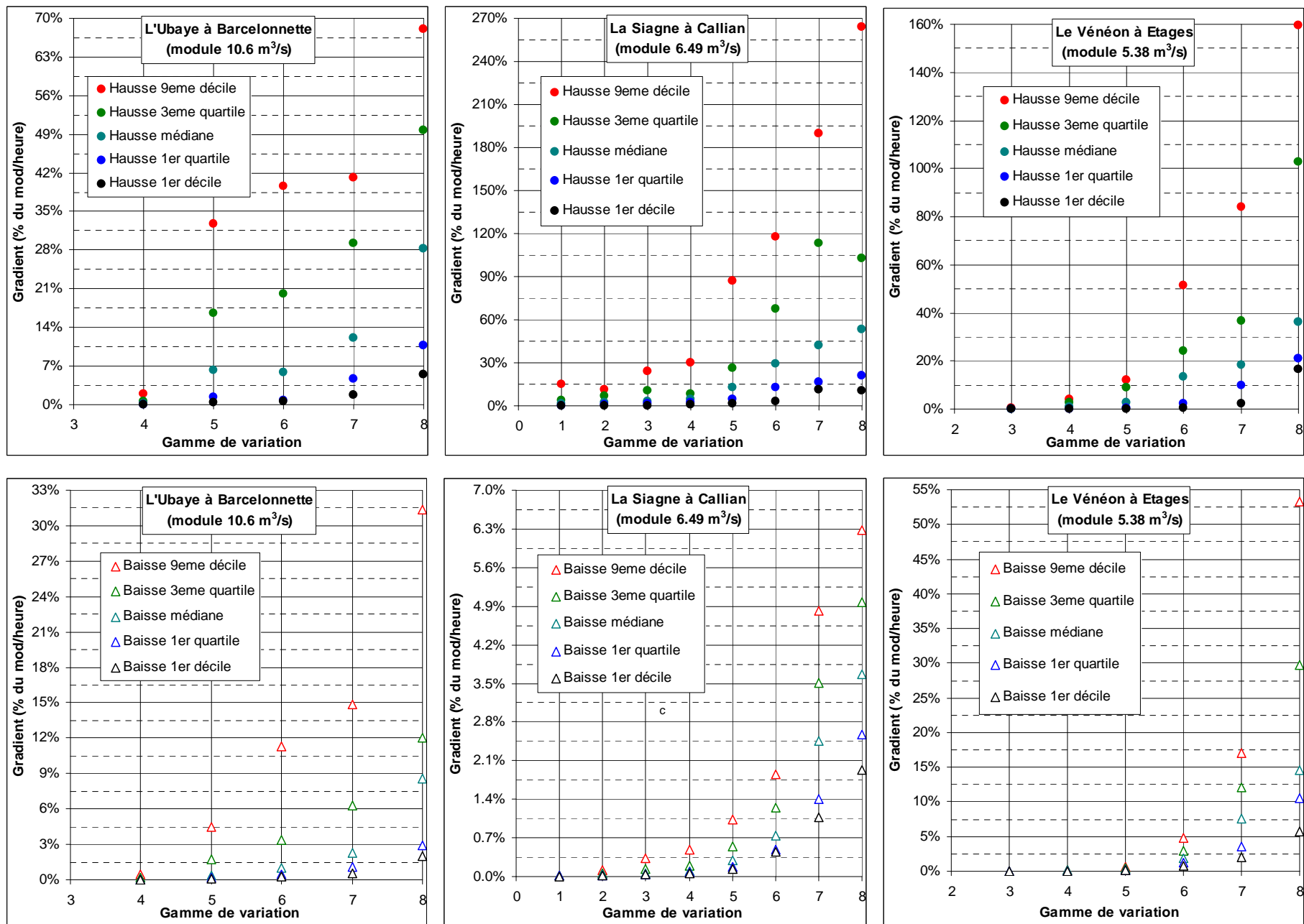


Figure 7 : Valeurs caractéristiques de la distribution des gradients (en % du module / heure) par gamme de variation, pour les hausses et les baisses de débit, pour 3 stations des Alpes.

5. EXPLOITATION DES RESULTATS POUR LA FIXATION DES CRITERES POUR LE REPERAGE DES ECLUSEES HYDROELECTRIQUES

Dans la méthodologie de traitement des hydrogrammes développée pour la production d'un indicateur de la perturbation hydrologique liée aux éclusées hydroélectriques, la condition de gradient minimal vise à ne sélectionner que les variations de débit plus rapide que les variations naturelles.

5.1. Etablissement de relations donnant l'ordre de grandeur des gradients naturels maximaux par gamme de variation

La démarche adoptée consiste à prendre en compte – pour chaque station et sur chaque gamme de variation – le 9^{ème} décile des valeurs de gradient de hausse et de baisse, comme valeur représentative des plus forts gradients naturels que l'on peut rencontrer. Un tableau regroupant l'ensemble de ces valeurs de gradients est reporté en Annexe 1. La démarche porte uniquement sur les gammes de variation 3 à 8, donc globalement sur une gamme de variation de 15% à 400% du module, le nombre de données sur les gammes 1 et 2 étant trop faible. On a porté dans les Figure 11 à Figure 16 les graphiques des valeurs de 9^{ème} décile des gradients de baisse de débit (en % du module/heure) en fonction des modules des stations (en m³/s) ; et de même pour les gradients de hausse dans les Figure 17 à Figure 22. Il s'avère que, **pour une gamme de variation donnée, ces valeurs de gradients, pour les hausses comme pour les baisses, ont globalement tendance à décroître au fur et à mesure que la valeur du module du cours d'eau augmente**. Il apparaît donc important que les critères sur le gradient pour le repérage des éclusées soient fonction de la taille du cours d'eau. Au-delà de 50 m³/s de module, on n'observe plus de tendance nette de décroissance.

A partir de ces résultats, nous avons cherché à établir, pour chaque gamme de variation, une relation donnant en fonction du module l'ordre de grandeur des plus fortes valeurs de gradients naturels que l'on peut rencontrer. Pour ce faire, les stations ont été regroupées en 6 classes selon leurs valeurs de module, sur les intervalles : < 4, [4 ; 8[, [8 ; 15[, [15 ; 30[, [30 ; 50[et > 50. La Figure 8 présente le nombre de stations et le type de données selon les classes. A partir de chaque classe, on a créé un point avec :

- pour ordonnée la moyenne des 3 valeurs de gradient les plus fortes, en excluant toutefois les valeurs supérieures à la moyenne plus 2 fois l'écart type,
- et pour abscisse la moyenne des valeurs de module des trois stations prises en compte (sauf pour le dernier groupe, pour lequel on a fixé l'abscisse à 50 m³/s).

Les tableaux présentant le détail des valeurs prises en compte pour la création de ces points sont reportés en Annexe 2. Les points créés sont portés dans les graphiques des Figure 11 à Figure 22 (losanges noirs). Des régressions ont été ajustées sur ces points avec des équations de la forme : $y = 1 / (a x^2 + b x + c)$, en veillant à conserver une décroissance continue des courbes de 1 à 50 m³/s. Les courbes obtenues sont tracées sur les graphiques. Au-delà de 50 m³/s de module, on a adopté une valeur constante de gradient (en % du module/heure) égale à la valeur donnée par la régression pour un module de 50 m³/s.

Les Figure 9 et Figure 10 présentent les relations établies pour les différentes gammes de variation, réunies dans deux graphiques pour les baisses et les hausses de débit respectivement. **La démarche menée a permis d'aboutir à des relations donnant un ordre de grandeur des gradients naturels maximaux à la hausse et à la baisse, progressives selon la gamme de variation du débit (entre 15% et 400% du module) et selon la taille du cours d'eau (entre 1 et 50 m³/s).**

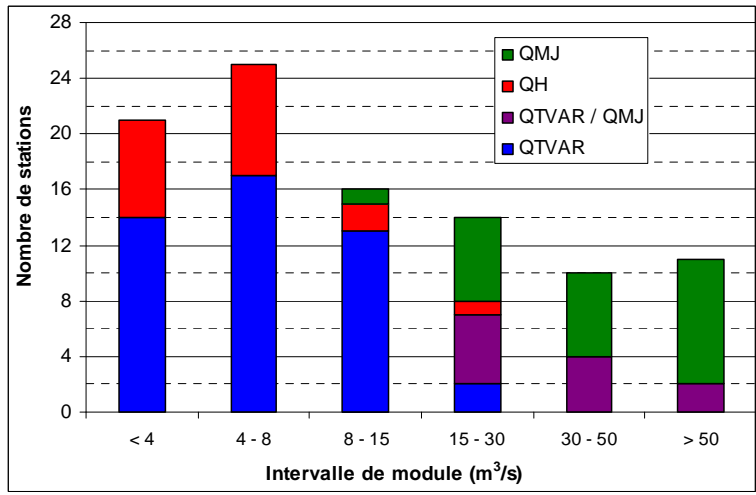


Figure 8 : Nombre de stations et type de données selon les regroupements de stations.

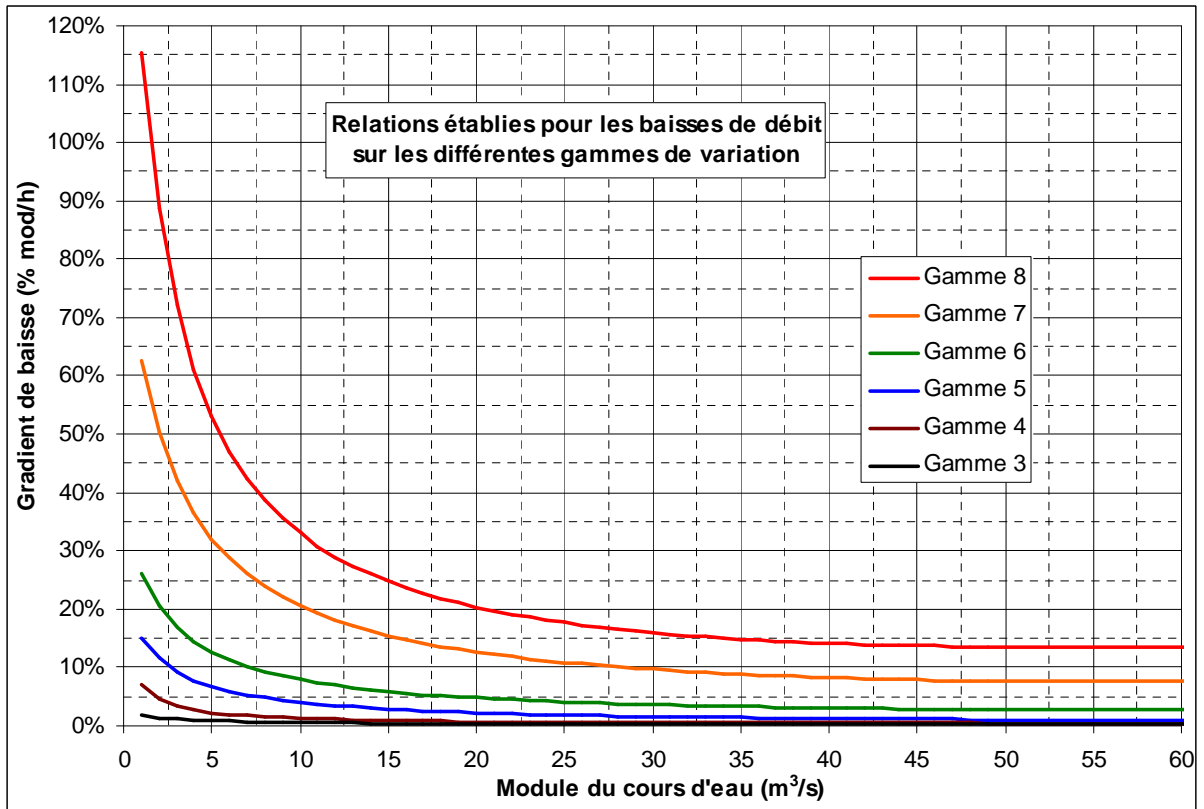


Figure 9 : Relations établies pour les baisses de débit sur les différentes gammes de variation.

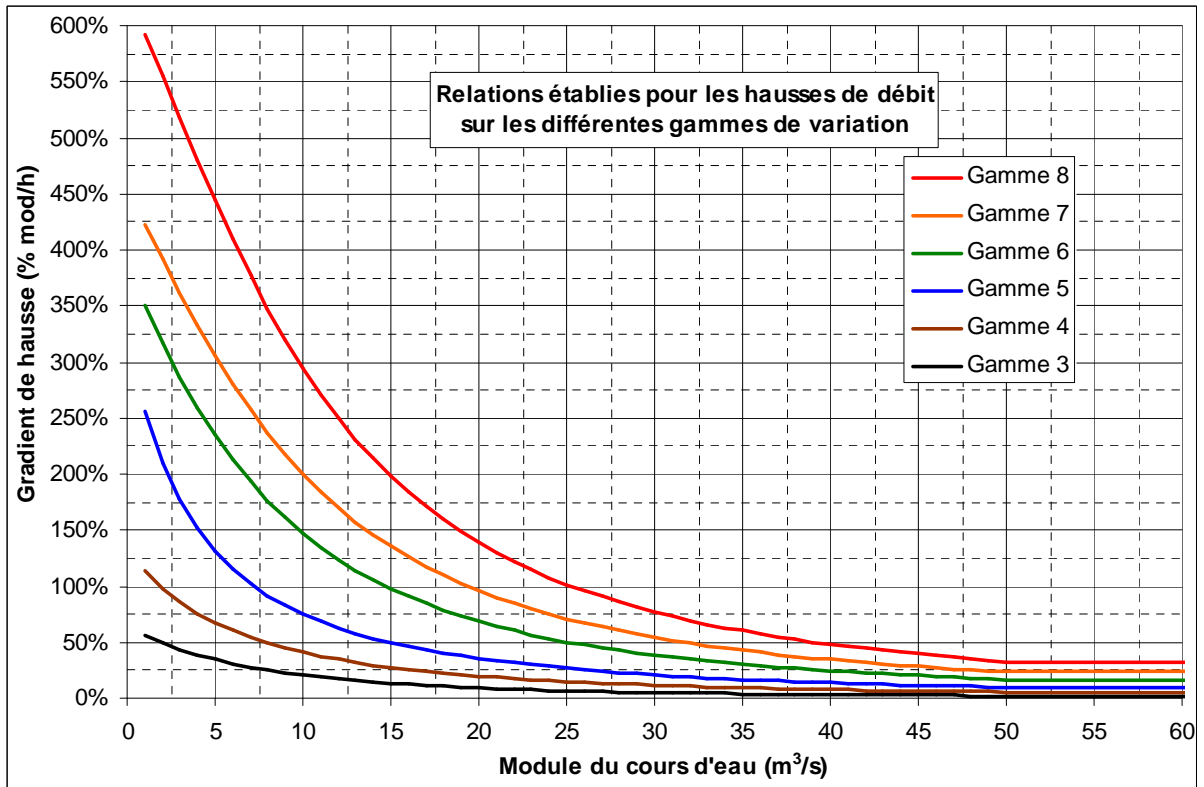


Figure 10 : Relations établies pour les hausses de débit sur les différentes gammes de variation.

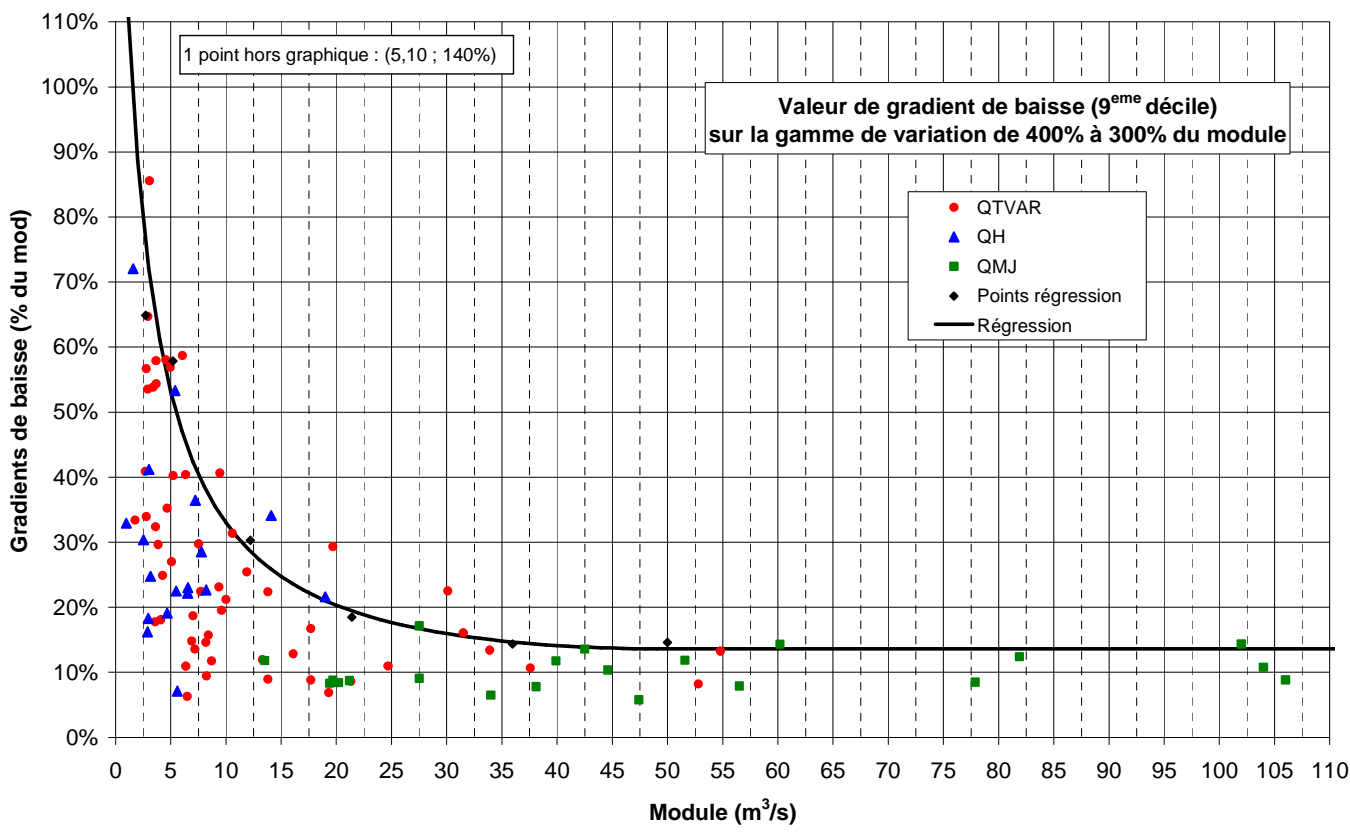


Figure 11 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 8 (400% à 300% du module) en fonction du module des stations.

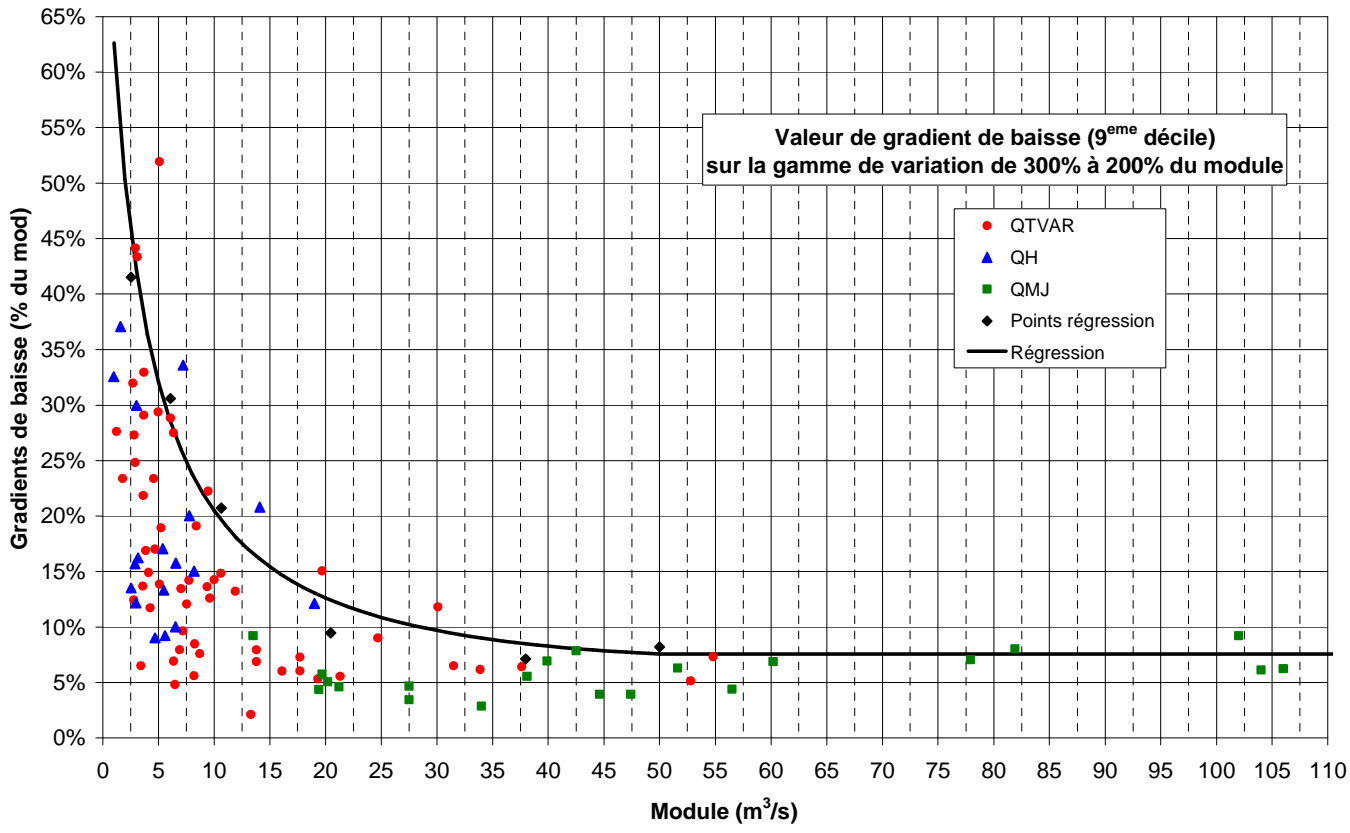


Figure 12 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 7 (300% à 200% du module) en fonction du module des stations.

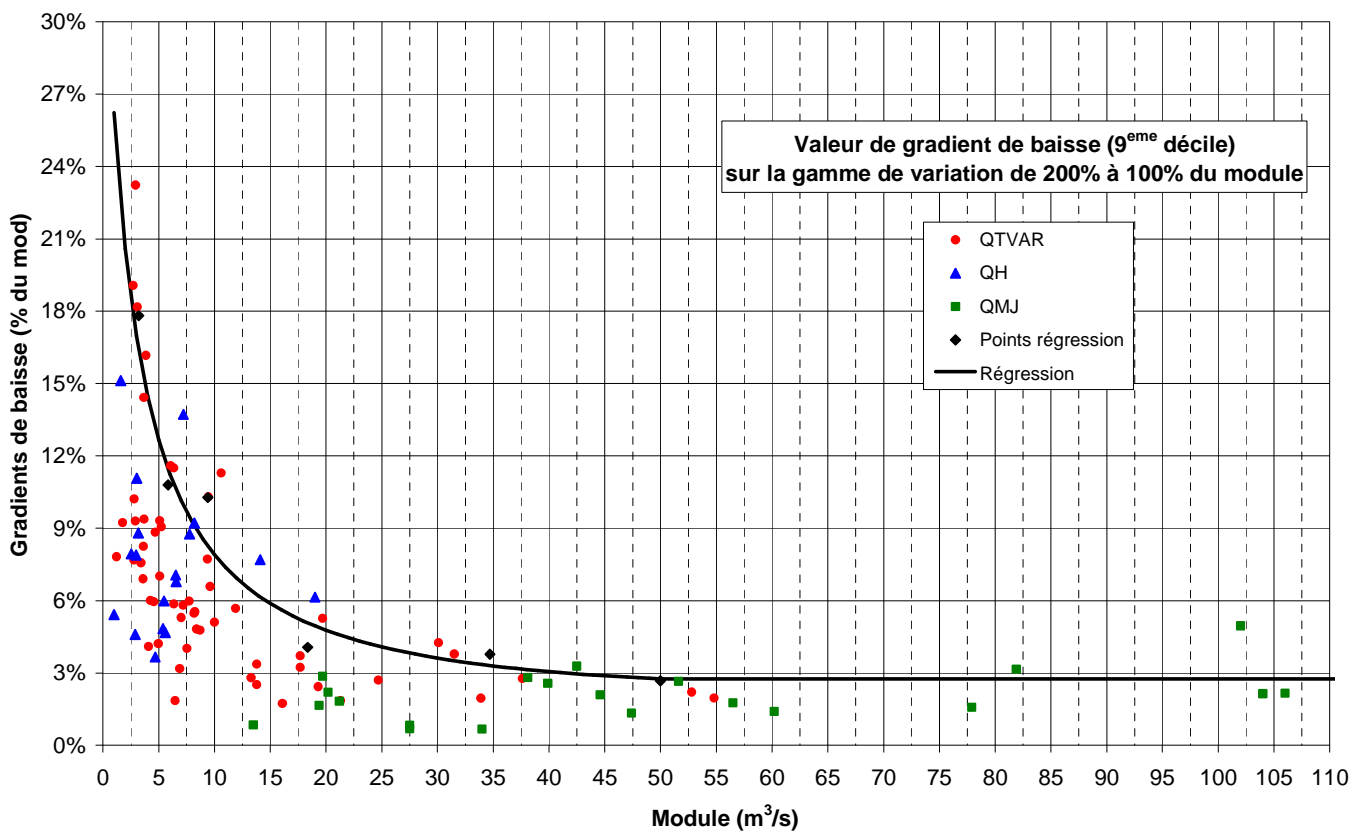


Figure 13 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 6 (200% à 100% du module) en fonction du module des stations.

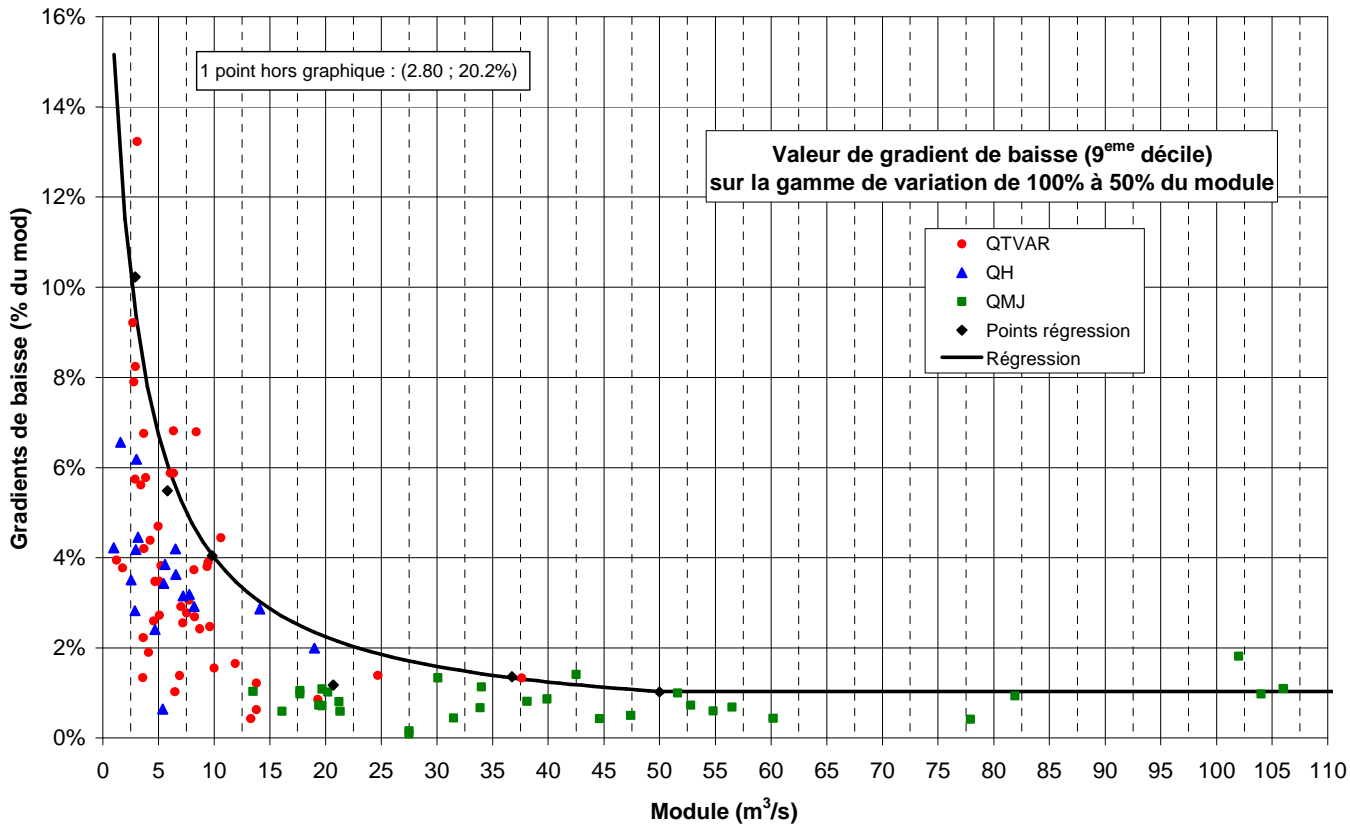


Figure 14 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 5 (100% à 50% du module) en fonction du module des stations.

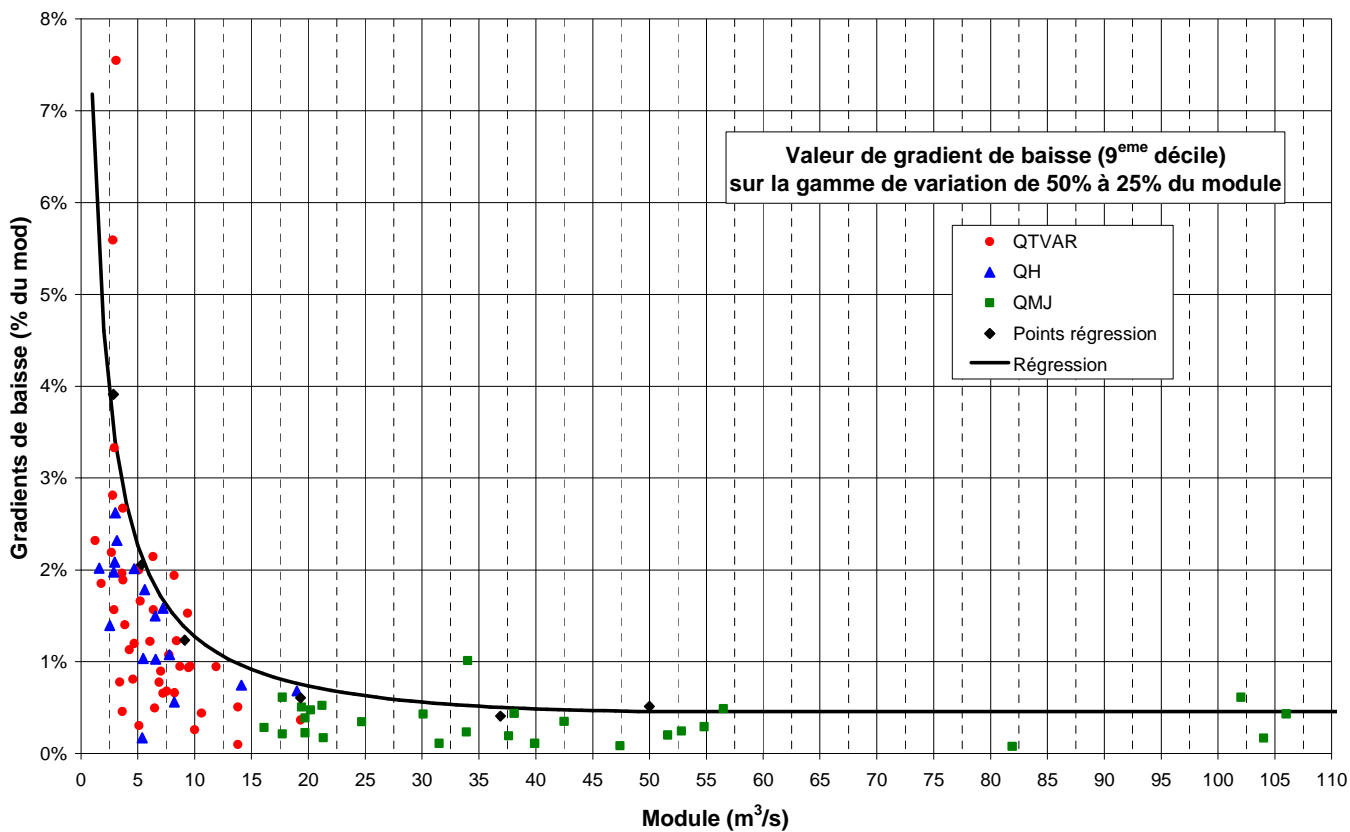


Figure 15 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 4 (50% à 25% du module) en fonction du module des stations.

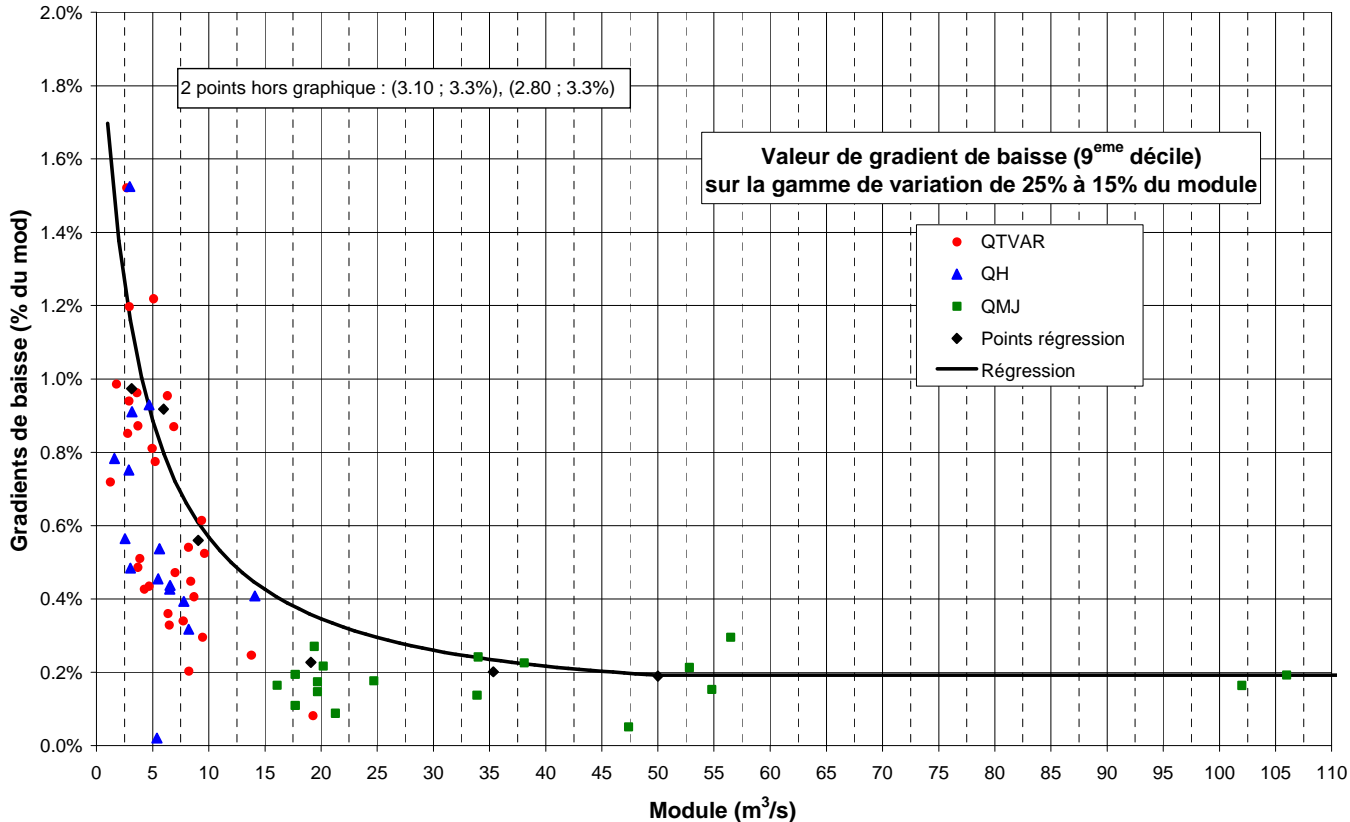


Figure 16 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 3 (25% à 15% du module) en fonction du module des stations.

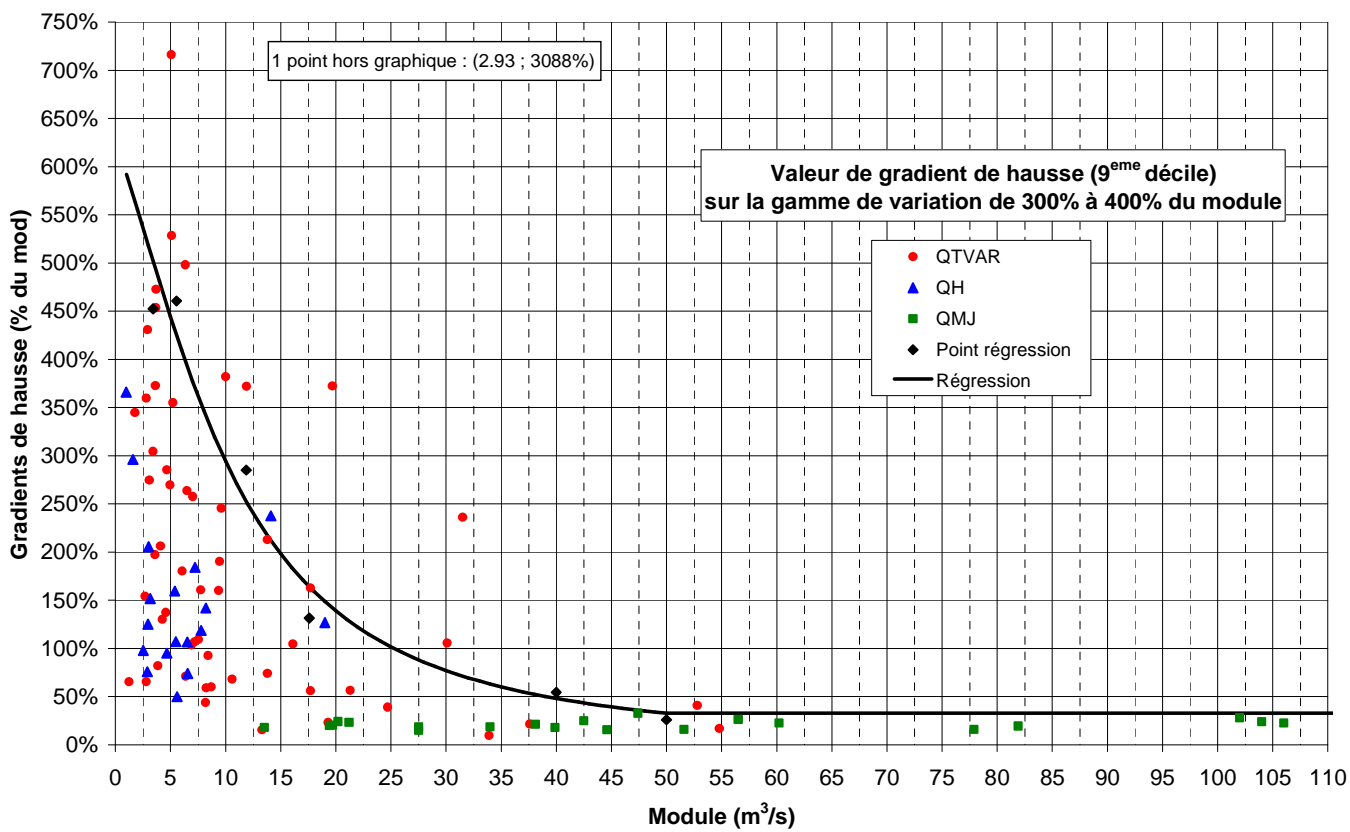


Figure 17 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 8 (300% à 400% du module) en fonction du module des stations.

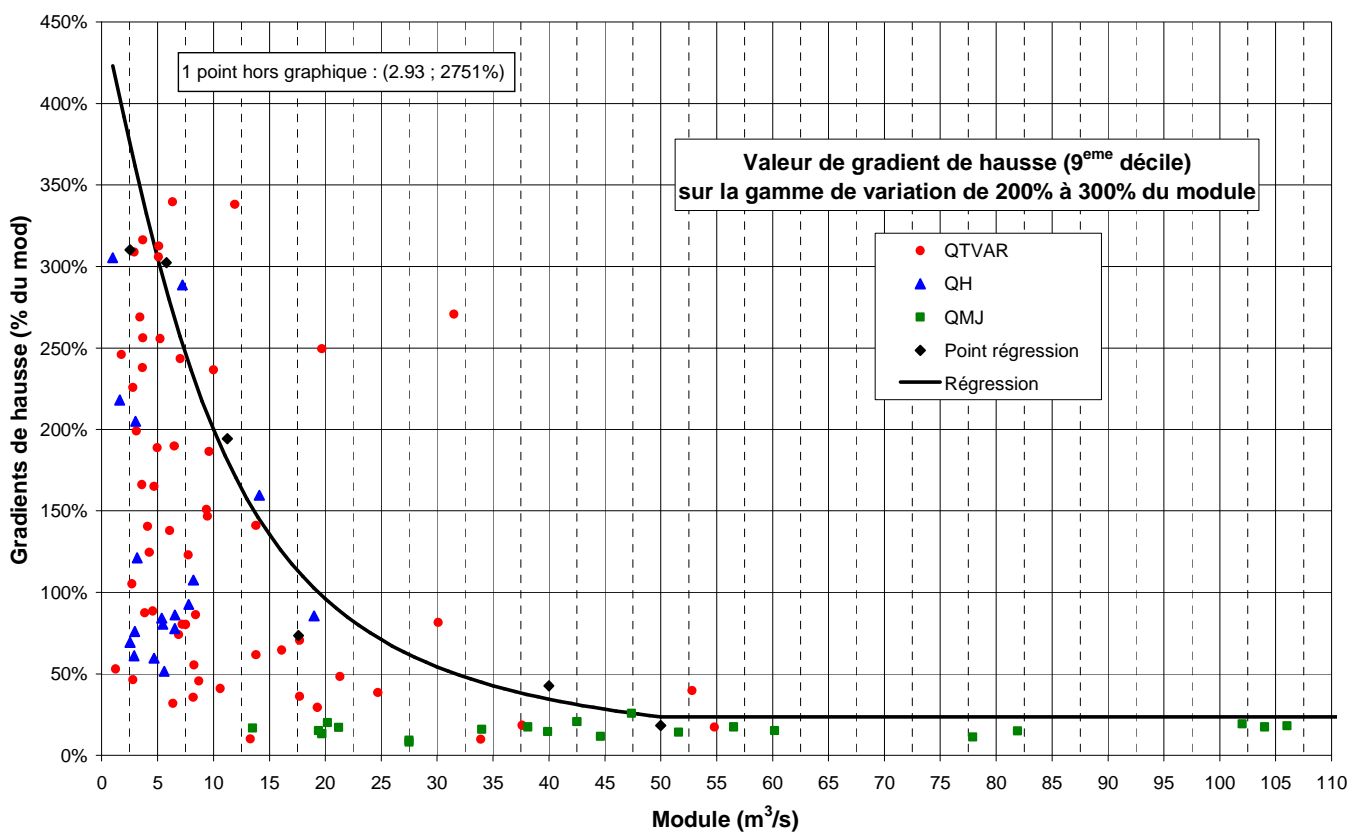


Figure 18 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 7 (200% à 300% du module) en fonction du module des stations.

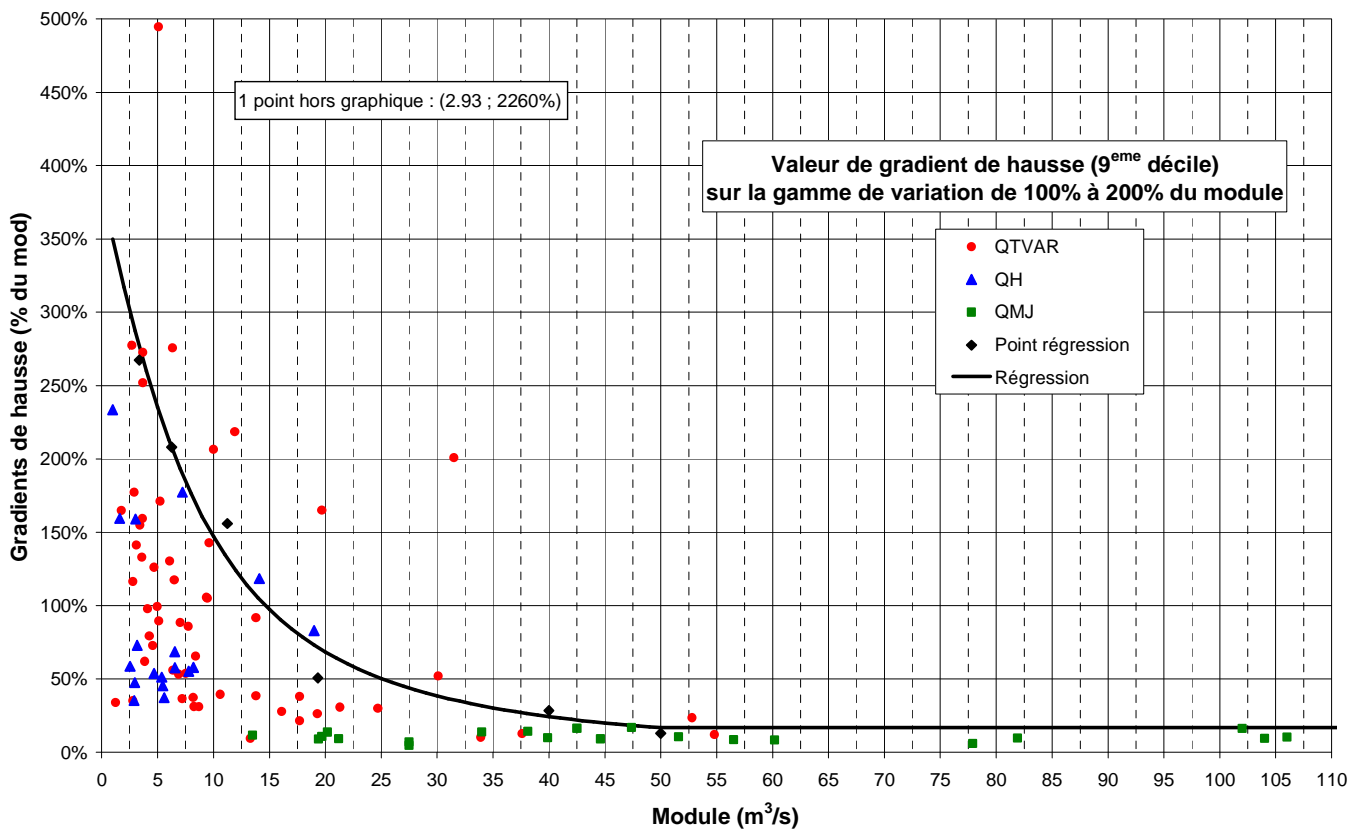


Figure 19 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 6 (100% à 200% du module) en fonction du module des stations.

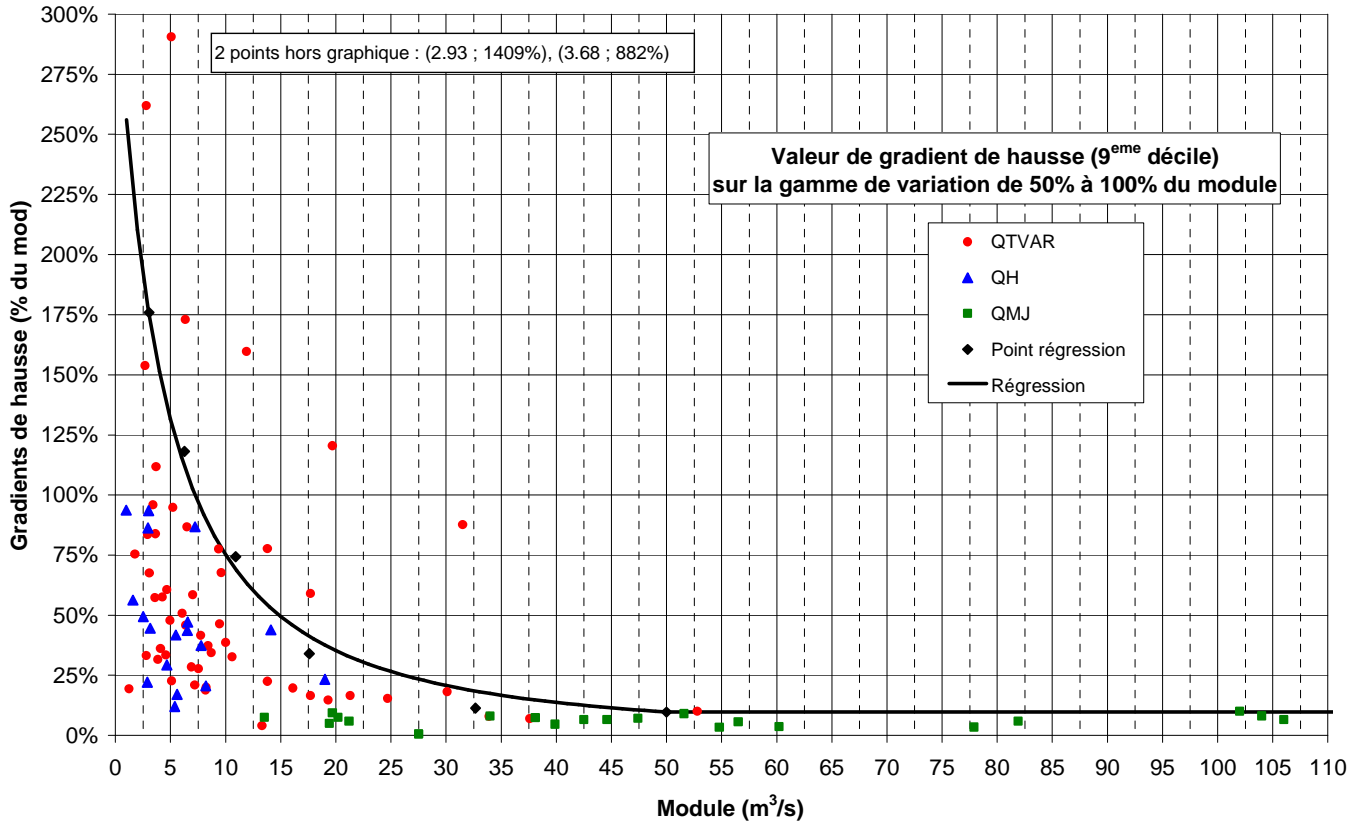


Figure 20 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 5 (50% à 100% du module) en fonction du module des stations.

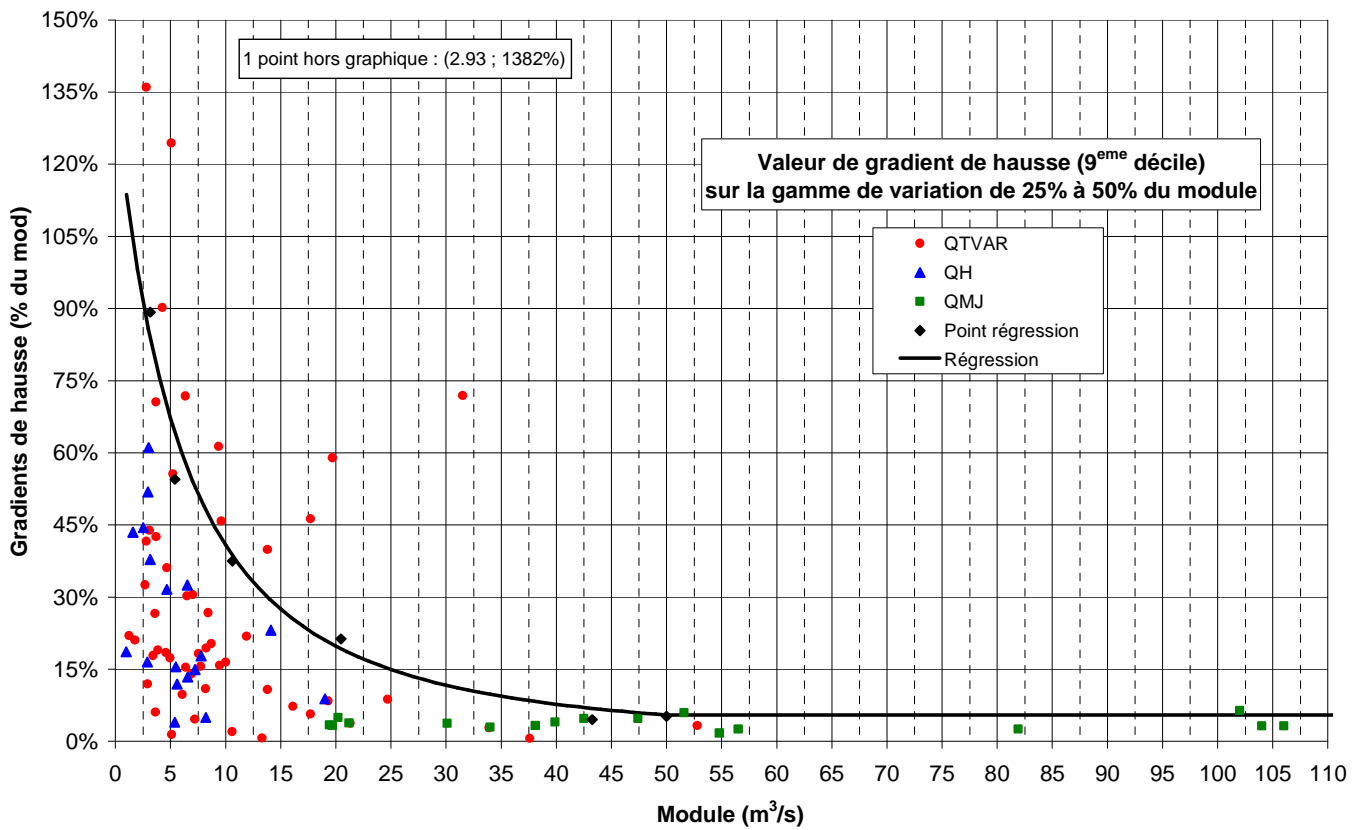


Figure 21 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 4 (25% à 50% du module) en fonction du module des stations.

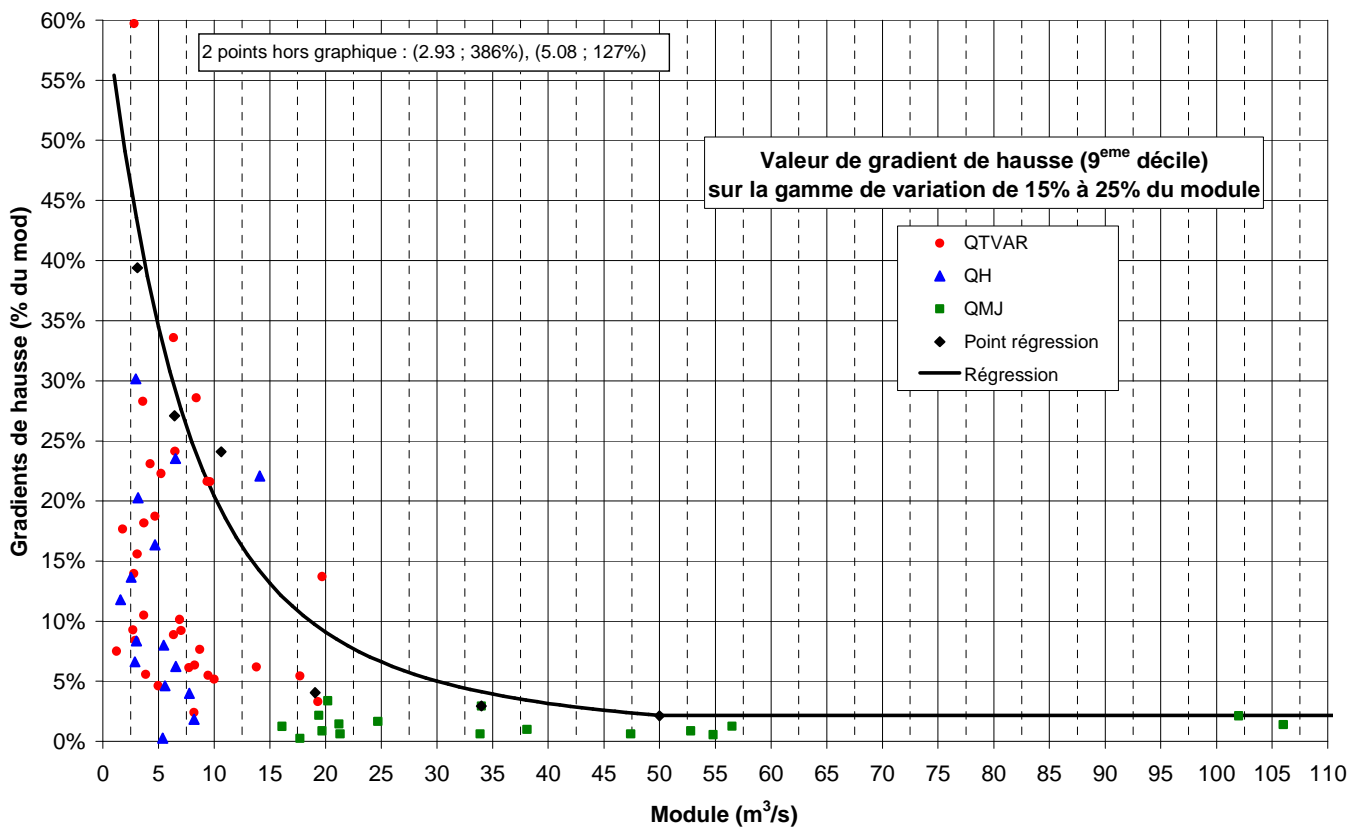


Figure 22 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 3 (15% à 25% du module) en fonction du module des stations.

5.2. Reconstitution des hausses et des baisses de débit « les plus rapides possibles naturellement »

En fonction de la valeur du module du cours d'eau, on a reconstitué les hausses et baisses de débit « les plus rapides possibles naturellement », en appliquant, sur les 6 gammes de variation du débit entre 15% et 400% du module, les valeurs de gradient maximal données par les relations établies précédemment. Les hausses et les baisses de débit ainsi obtenues sont illustrées en Figure 23 et Figure 24.

Cela amène à considérer par exemple :

- qu'une hausse de débit de 15% à 200% du module se déroule au plus vite naturellement en environ 50 minutes sur un cours de 1 m³/s de module, 1H30 sur un cours de 5 m³/s, 3H45 sur un cours de 15 m³/s, 7H sur un cours de 25 m³/s et 20H sur un cours de 50 m³/s.
- qu'une hausse de débit de 200% à 400% du module se déroule au plus vite naturellement en environ 25 minutes sur un cours de 1 m³/s de module, 35 minutes sur un cours de 5 m³/s, 1H15 sur un cours de 15 m³/s, 2H20 sur un cours de 25 m³/s et 7H15 sur un cours de 50 m³/s.
- qu'une baisse de débit de 400% à 200% du module se déroule au plus vite naturellement en environ 2H30 sur un cours de 1 m³/s de module, 5H sur un cours de 5 m³/s, 10H30 sur un cours de 15 m³/s, 15H sur un cours de 25 m³/s et 20H30 sur un cours de 50 m³/s.
- qu'une baisse de débit de 200% à 15% du module se déroule au plus vite naturellement en environ 16H30 sur un cours de 1 m³/s de module, 37H30 sur un cours de 5 m³/s, en 3.5 jours sur un cours de 15 m³/s, en plus de 5 jours sur un cours de 25 m³/s et en près de 8 jours sur un cours de 50 m³/s.

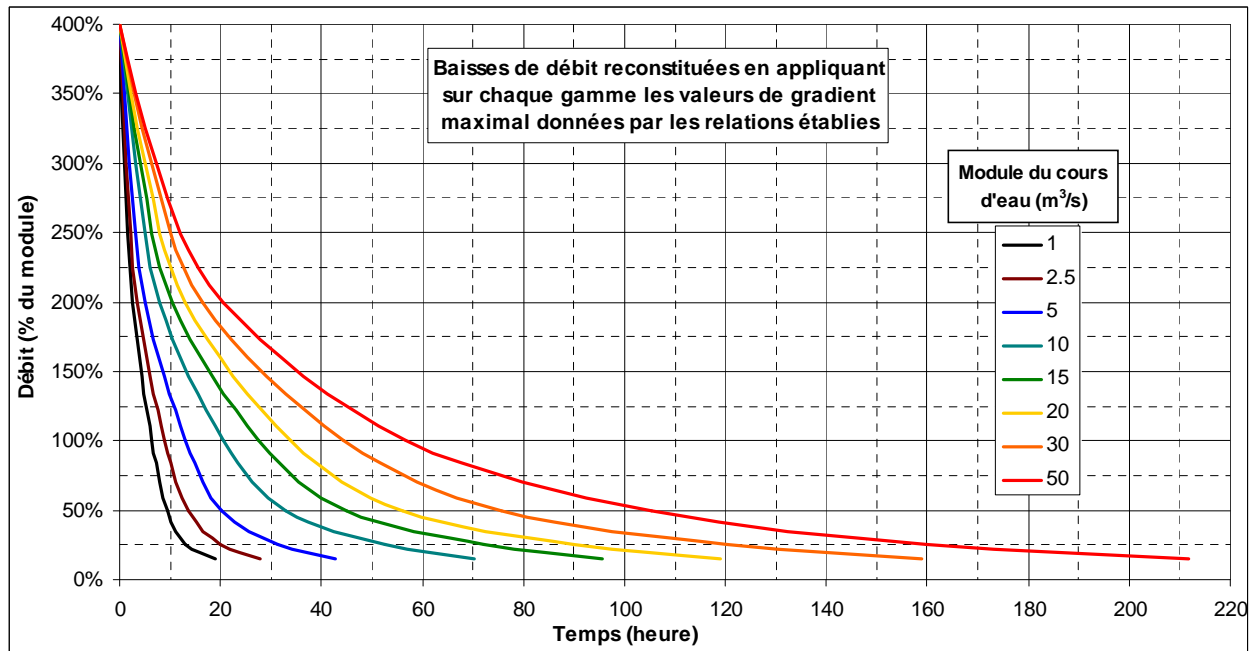


Figure 23 : Baisses de débit reconstituées en appliquant sur chaque gamme les valeurs de gradient maximal données par les relations établies.

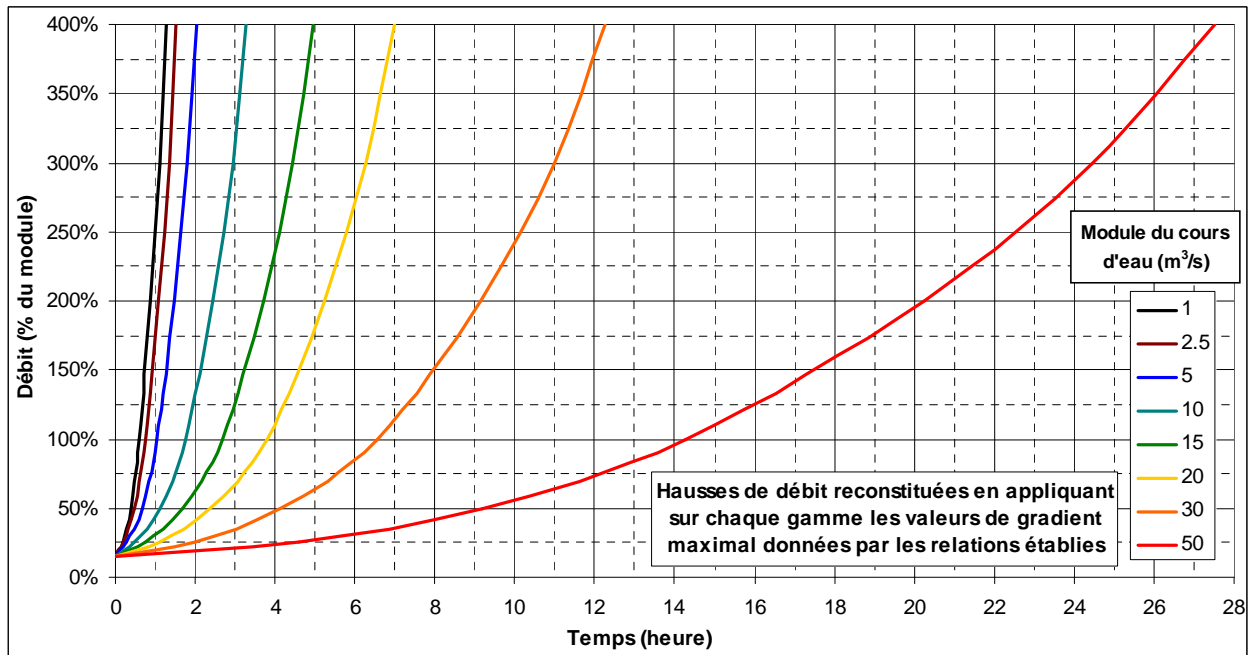


Figure 24 : Hausses de débit reconstituées en appliquant sur chaque gamme les valeurs de gradient maximal données par les relations établies.

Quelle que soit la valeur du module du cours d'eau, les baisses de débit ainsi reconstituées peuvent être fidèlement représentées par une fonction exponentielle de la forme : $Q = 4 * \exp(-a * t^{0.75})$, avec Q le débit en proportion du module et t le temps en heure ($R^2 > 99.75\%$). Pour un temps de variation t donné (valeur nécessairement positive), cette fonction donne la valeur de débit atteinte lors d'une baisse débutant depuis un débit de 400% du module.

La valeur du coefficient a diminue au fur et à mesure que le module du cours d'eau augmente (Figure 25) ; cela rend compte de la tendance des baisses de débit à se dérouler d'autant plus lentement que le cours d'eau est important. La valeur du coefficient a peut elle-même être exprimée en fonction du module de la station au travers d'une fonction de type : $y = 1 / (a x^3 + b x^2 + c x + d)$. Pour des valeurs de module de cours d'eau supérieures à 50 m³/s, la valeur du coefficient a est constante du fait des choix en amont dans la démarche.

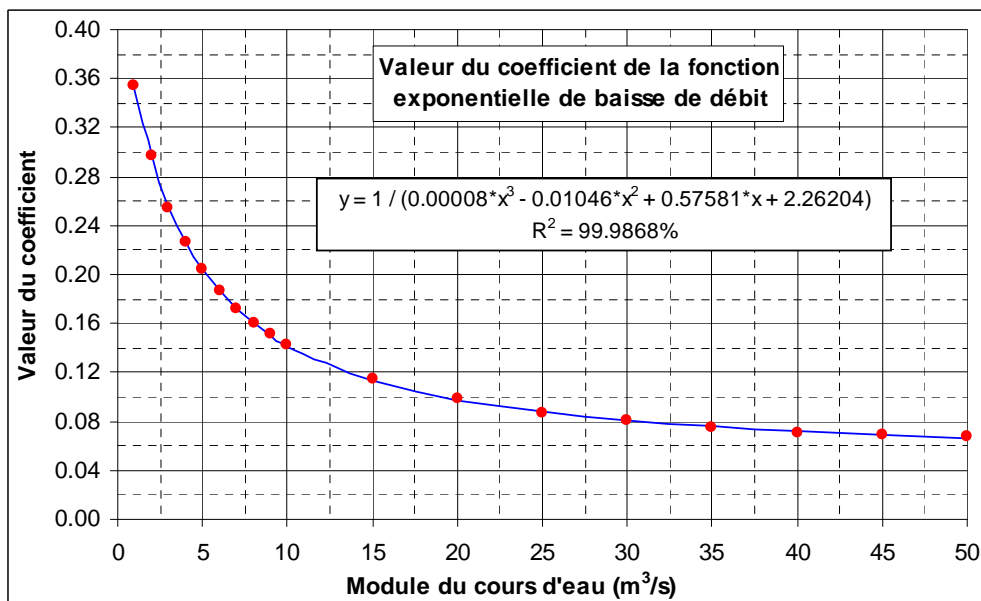


Figure 25 : Valeur du coefficient a de la fonction exponentielle de baisse de débit.

De même, quelle que soit la valeur du module du cours d'eau, les hausses de débit reconstituées peuvent être fidèlement représentées par une fonction exponentielle de la forme : $Q = 4 * \exp(-a * t^{1.15})$, avec Q le débit en proportion du module et t le temps en heure ($R^2 > 99.60\%$). Pour un temps de variation t donné (valeur nécessairement positive), cette fonction donne la valeur de débit de laquelle débiterait une hausse atteignant un débit de 400% du module.

La valeur du coefficient a diminue au fur et à mesure que le module du cours d'eau augmente (Figure 26) ; cela rend compte de la tendance des hausses de débit à se dérouler d'autant plus lentement que le cours d'eau est important. La valeur du coefficient a peut elle-même être exprimée en fonction du module de la station au travers d'une fonction de type : $y = 1 / (a x^3 + b x^2 + c x + d)$. Pour des valeurs de module de cours d'eau supérieures à 50 m³/s, la valeur du coefficient a est constante du fait des choix en amont dans la démarche.

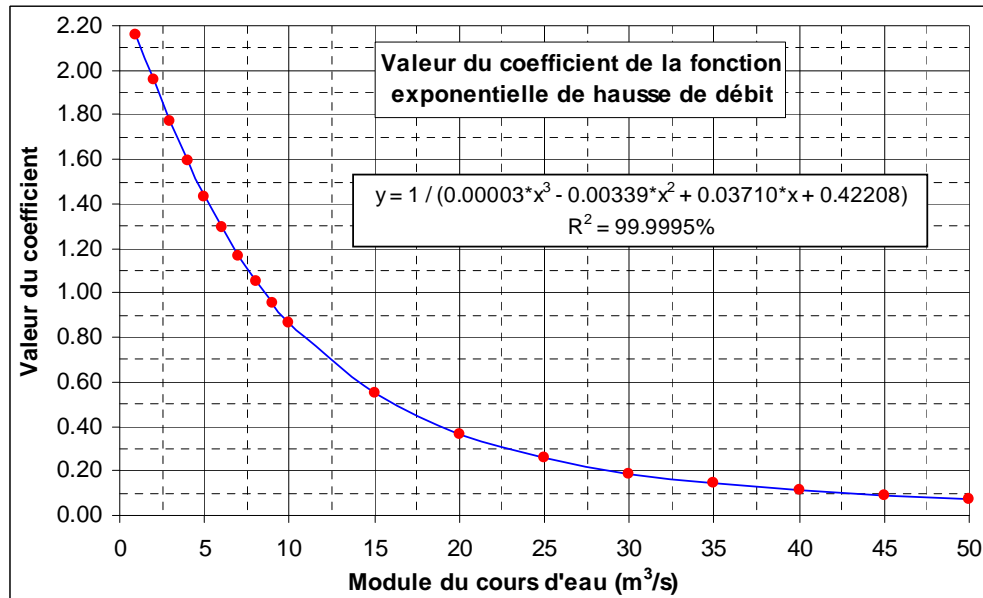


Figure 26 : Valeur du coefficient a de la fonction exponentielle de hausse de débit.

Sur le domaine de valeurs de t positives, les fonctions mathématiques employées sont strictement décroissantes, cette décroissance étant de plus en plus lente (dérivées 1^{ère} et 2^{nde} toujours négatives). Cela permet d'envisager une extrapolation réaliste de ces fonctions vers les débits inférieurs à 15% du module. Les valeurs de gradient de hausses et de baisses données par les formules correspondent bien à l'ordre de grandeur des gradients maximaux extraits dans les chroniques de débit naturel sur les gammes de variation 1 (5% à 10%) et 2 (10% à 15%) (Figure 27 à Figure 30). Cette extrapolation vers les faibles débits est nécessaire dans la mesure où les éclusées hydroélectriques présentent sur certains cours d'eau des débits de base faibles, de l'ordre de 2.5%, 5% ou 10% du module, voisins des débits réservés réglementaires (1/40^{ème}, 1/20^{ème} ou 1/10^{ème}).

Les formules $Q = f(t)$ établies représentant les hausses et les baisses de débit « les plus rapides possibles naturellement » peuvent être inversées pour exprimer le temps de variation en fonction du débit $t = f(Q)$. Pour une valeur de débit Q donnée, inférieure à 400% du module, ces formules donnent alors le temps de variation pour atteindre 400% du module à partir de ce débit dans le cas d'une hausse, et pour atteindre ce débit à partir de 400% du module dans le cas d'une baisse. **Par différence, il est ainsi possible de déterminer le temps de variation minimal naturel de toutes variations de débit se déroulant en deçà de 400% du module.** Les Figure 31 et Figure 32 présentent respectivement les baisses et les hausses de débit "les plus rapides possibles naturellement", sur une gamme de variation de 2% à 400% du module, selon les formules établies.

Ces formules ont été intégrées dans le fichier de traitement des chroniques de débit influencées par les éclusées hydroélectriques décrit dans Courret et Larinier (2008). Elles permettent d'évaluer si les variations de débit repérées se déroulent ou non à des gradients supérieurs à ce qui est possible naturellement, auquel cas ces variations sont alors considérées comme des perturbations hydrologiques.

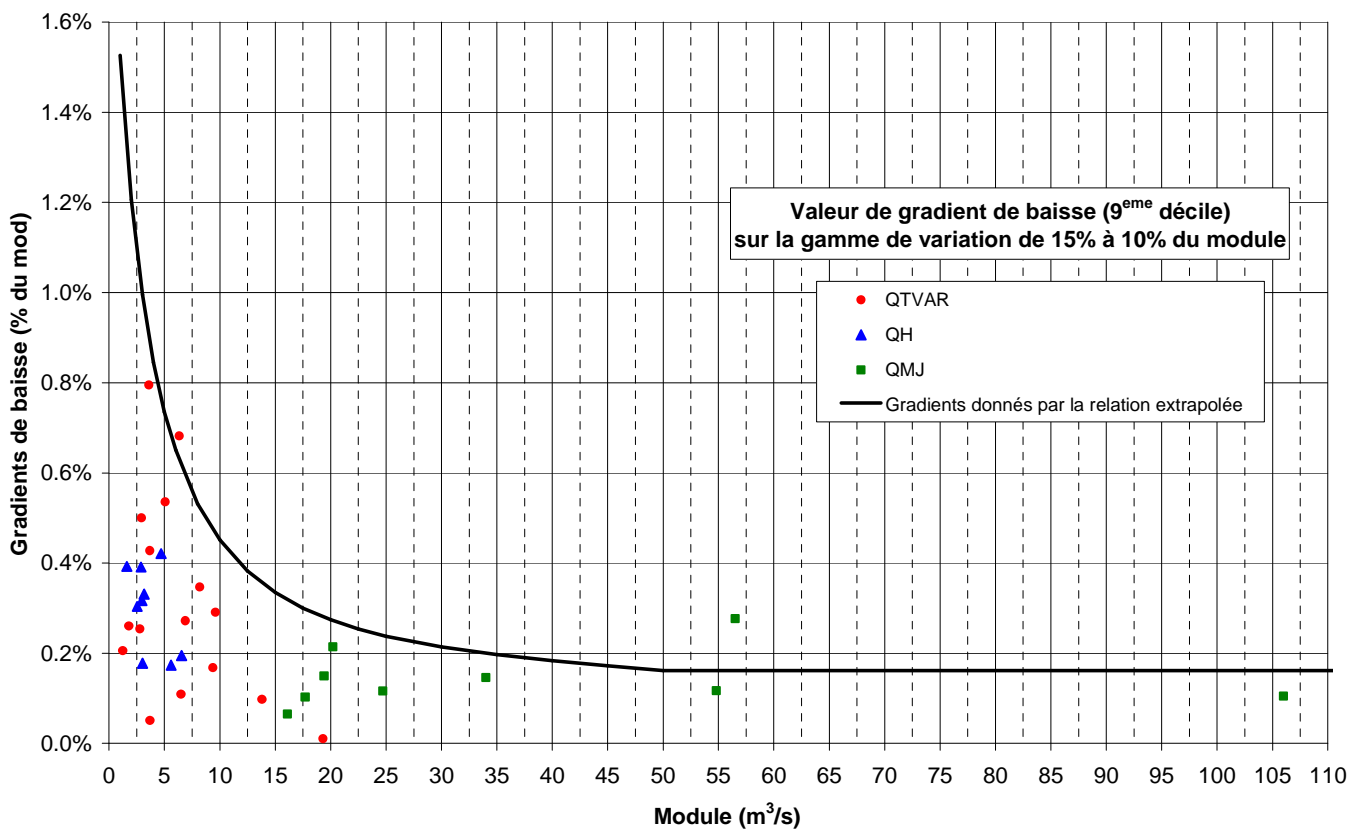


Figure 27 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 2 (15% à 10% du module) en fonction du module des stations.

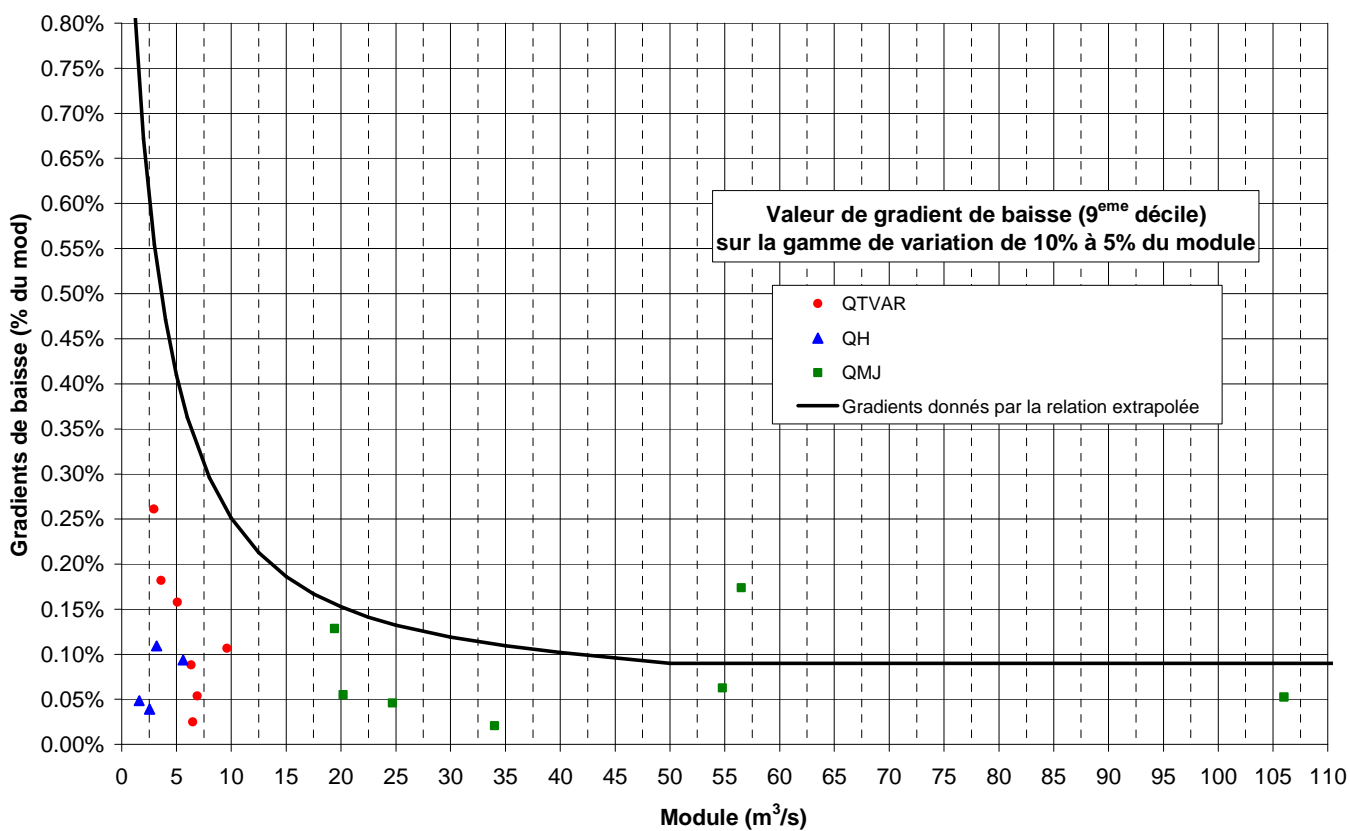


Figure 28 : Gradient de baisse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 1 (10% à 5% du module) en fonction du module des stations.

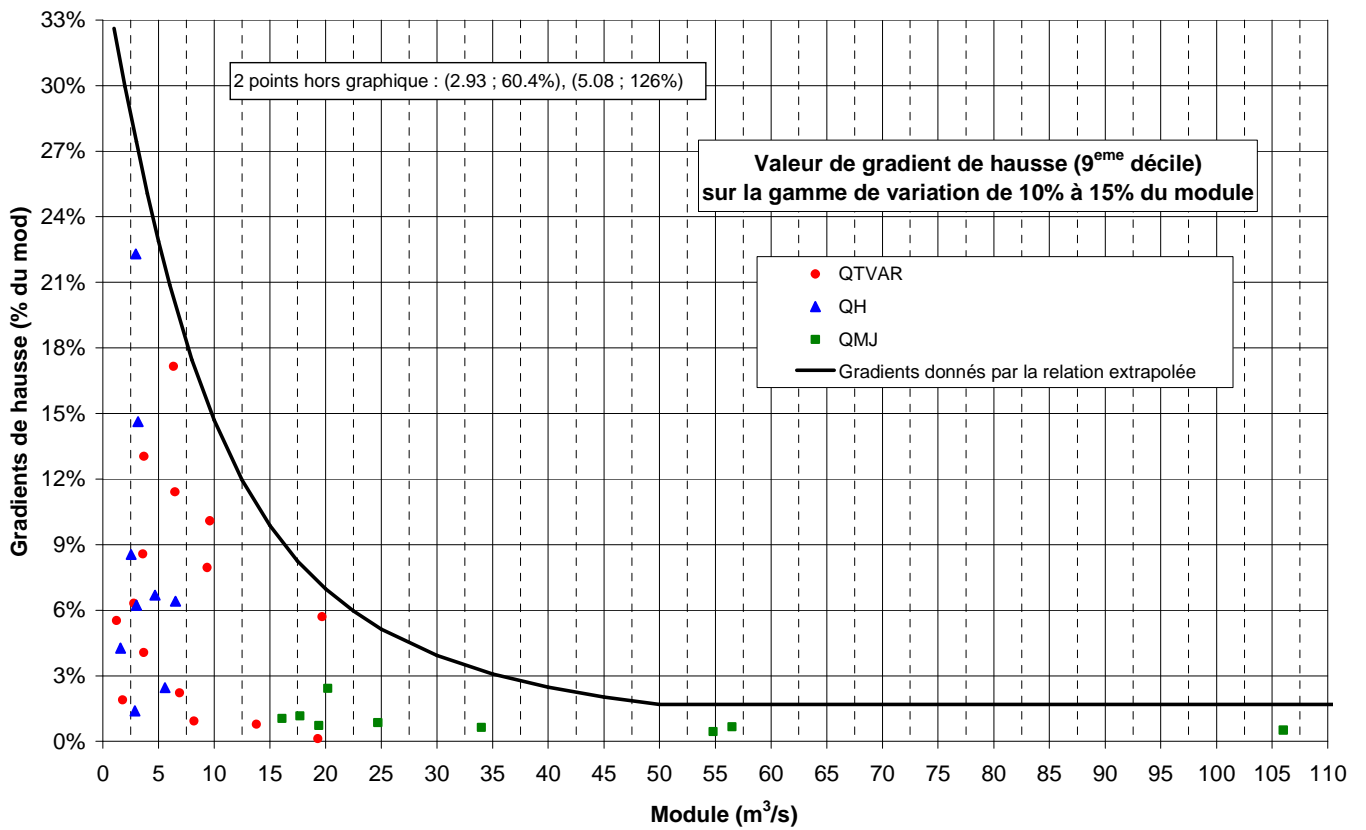


Figure 29 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 2 (10% à 15% du module) en fonction du module des stations.

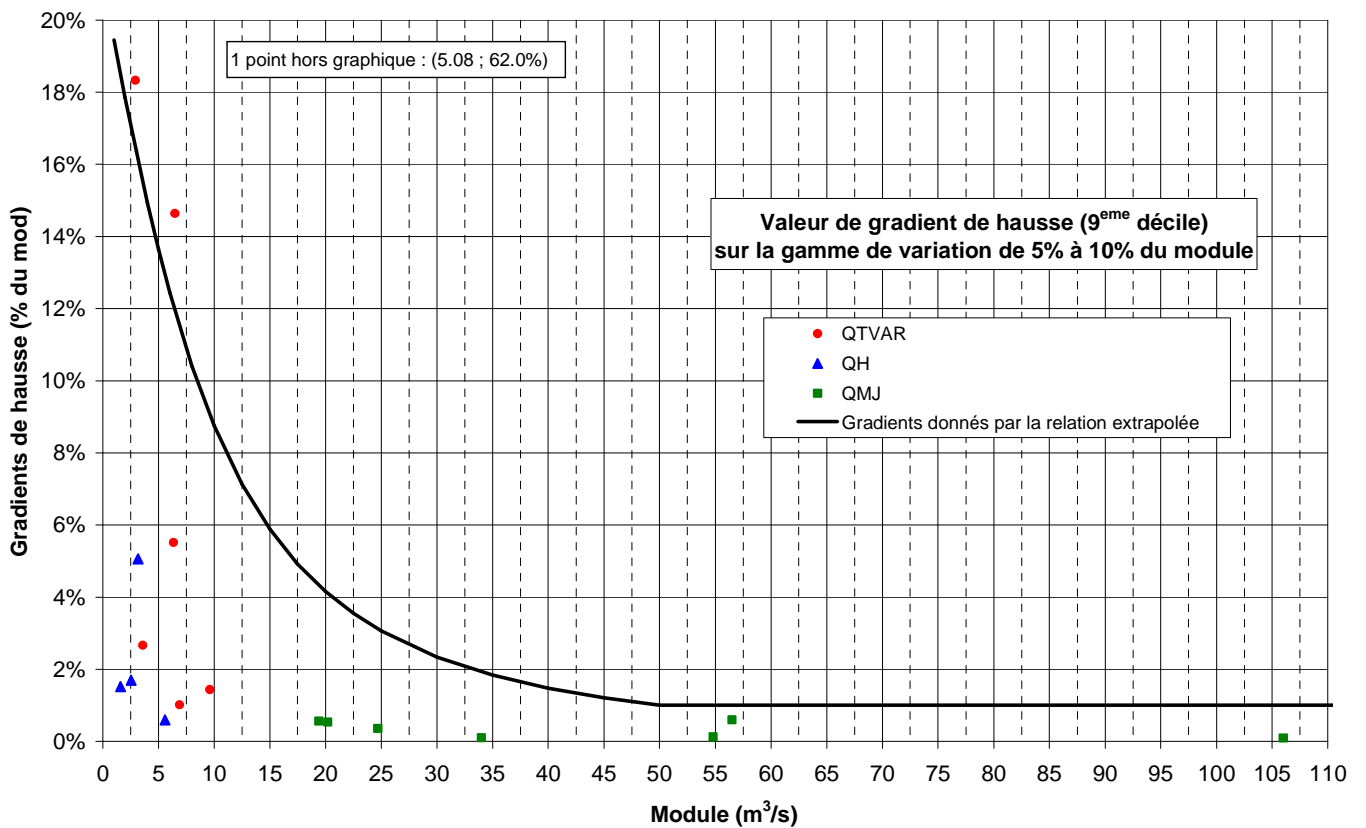


Figure 30 : Gradient de hausse de débit (9^{ème} décile) sur la gamme de variation 1 (5% à 10% du module) en fonction du module des stations.

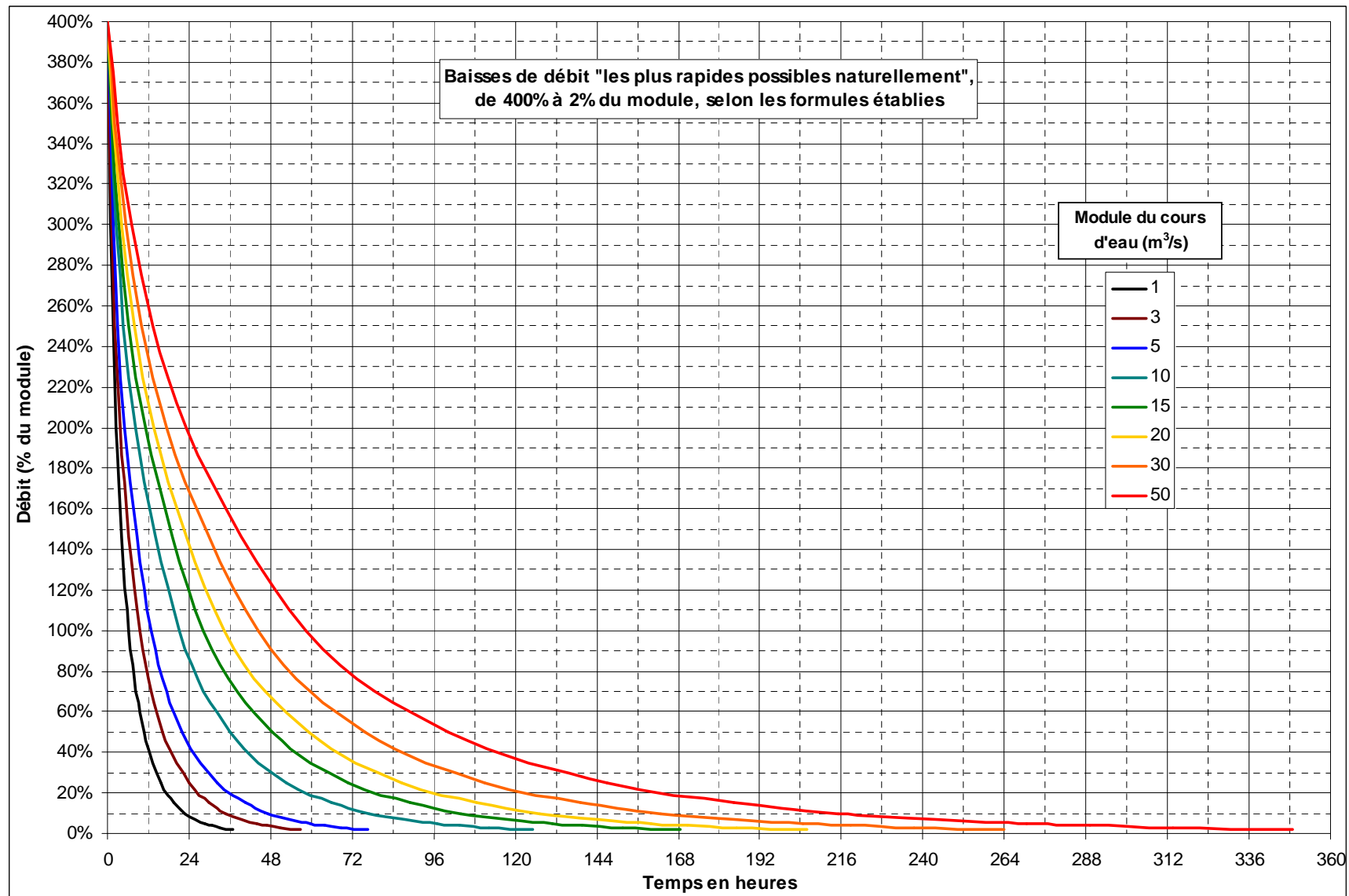


Figure 31 : Baisses de débit "les plus rapides possibles naturellement", de 400% à 2% du module, pour des cours d'eau de module entre 1 et 50 m³/s selon les formules établies.

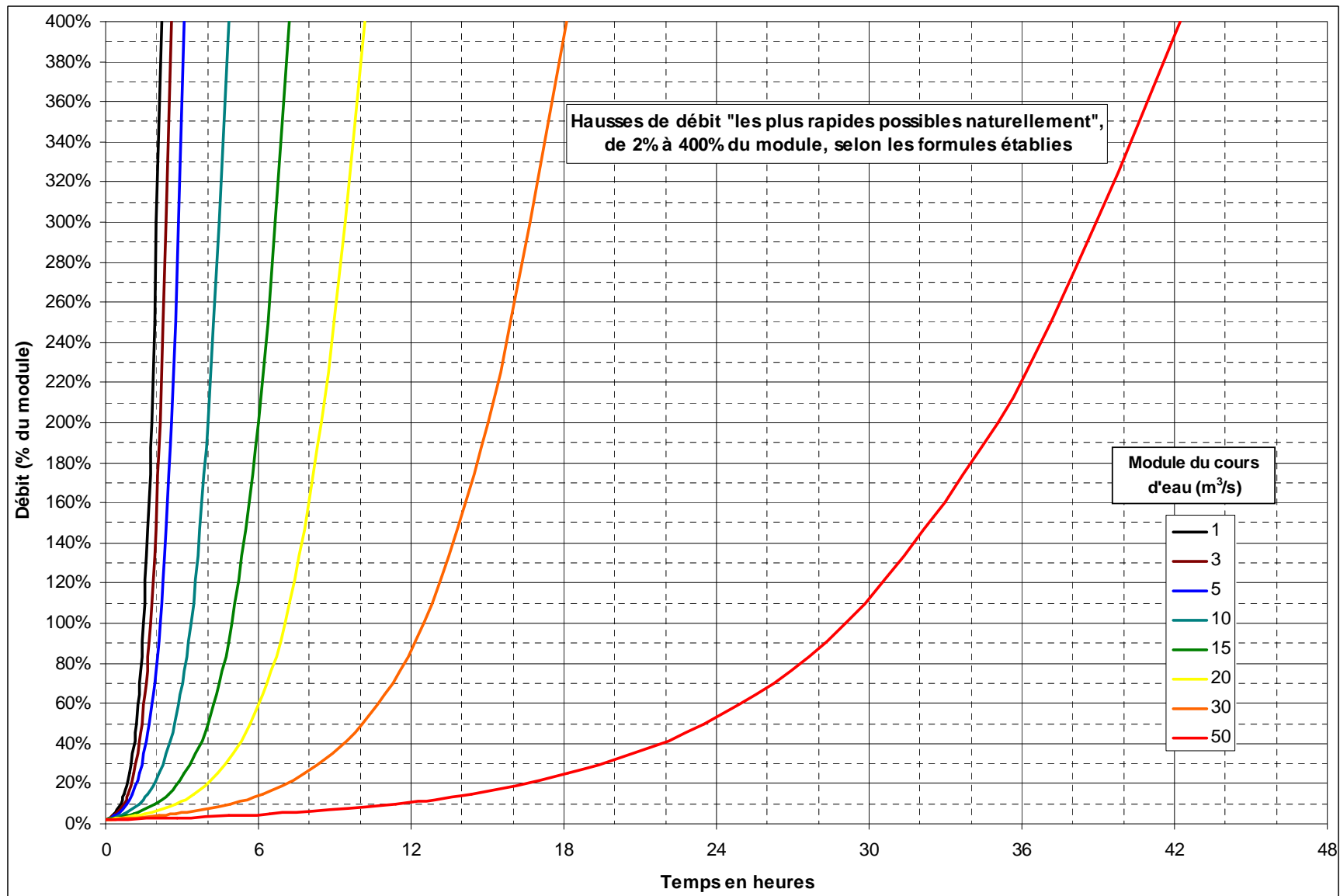


Figure 32 : Hausse de débit "les plus rapides possibles naturellement", de 2% à 400% du module, pour des cours d'eau de module entre 1 et 50 m³/s selon les formules établies.

6. TEST DU NOMBRE DE VARIATIONS RETENUES SUR LES CHRONIQUES DE DEBIT NATURELLES

Le fichier de traitement des chroniques de débit développé dans le cadre de l'indicateur « éclusées » (Courret et Larinier, 2008) a été testé sur le jeu de données des chroniques de débit naturelles. L'objectif de ce test est de déterminer les nombres annuels de variations de débit qui peuvent être retenues au sein des chroniques naturelles malgré les critères de sélection. Il a été appliqué les mêmes critères que pour les chroniques influencées :

- une limite haute sur le débit maximum.

La limite haute sur le débit maximum a pour but d'éviter de prendre en compte les événements hydrologiques de crues et décrues dépassant les capacités des aménagements. Cette limite haute a été fixée à sa plus forte valeur envisageable dans le cadre de l'indicateur « éclusées », c'est-à-dire à 4 fois le module. Les variations dont le débit maximum dépasse cette valeur ne sont donc pas retenues.

- une condition d'amplitude minimale.

La condition d'amplitude minimale est fixée à 10% du module. Cette condition permet d'éviter de comptabiliser les petites variations dont les conséquences sur les paramètres hydromorphologiques restent a priori faibles. Elle permet d'autre part d'exclure des petites variations liées aux dysfonctionnements et aux imprécisions des capteurs.

- et le critère sur le gradient des variations construit dans le cadre de la présente étude.

Le test a porté sur 1363 années-stations. La Figure 33 présente les pourcentages cumulés des années selon le nombre de baisses, le nombre de hausses et le nombre cumulé de baisses et hausses.

Concernant le nombre de baisse, il n'en est retenue aucune pour près de la moitié des années, moins de 4 pour environ 90% des années, moins de 12 pour 99% des années et au maximum 19. Concernant le nombre hausse, il n'en est retenue aucune pour environ 95% des années, moins de 4 pour 99% des années, et au maximum 9. Concernant le nombre cumulé de baisse et hausse, il n'en est retenue aucune pour près de la moitié des années, moins de 4 pour environ 90% des années, moins de 14 pour 99% des années et au maximum 20.

Ces résultats permettent d'avancer que, **compte tenu des critères de sélection adoptés, l'hydrologie d'une station pourra être considérée au moins sensiblement perturbée dès lors que le cumul des nombres annuels de baisses et de hausses retenues est supérieur à 20**. Dans le processus de l'indicateur « éclusées », cette condition sur le nombre annuel de hausse et de baisse retenues permet de faire une première distinction entre les stations jugées à l'hydrologie naturelle ou très peu perturbée (classe 0), et les stations jugées à l'hydrologie sensiblement à très sévèrement perturbée (classe 1 à 5).

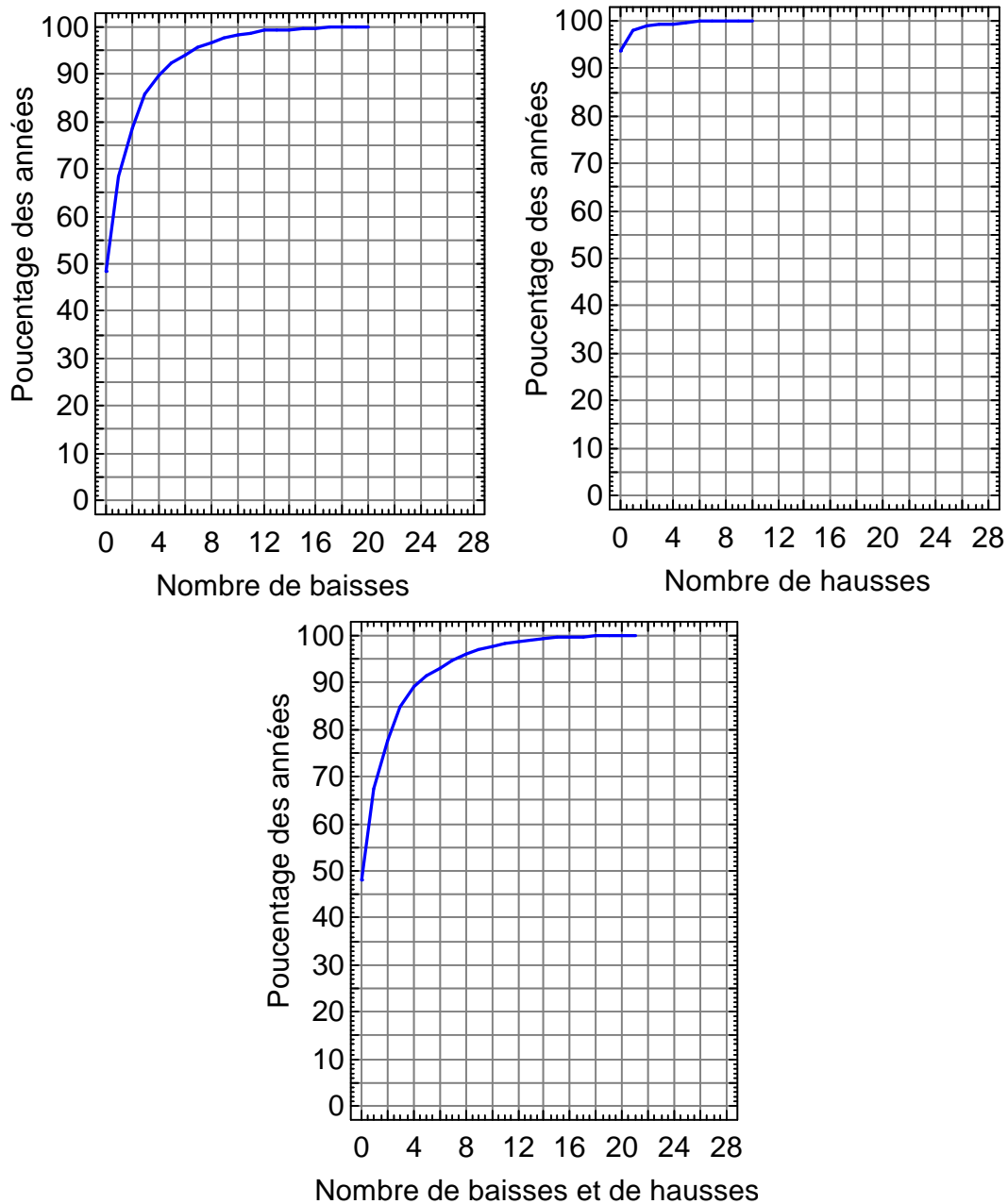


Figure 33 : Pourcentages cumulés des années selon le nombre de baisses retenues, le nombre de hausses retenues et le nombre cumulé de baisses et hausses retenues.

7. CONCLUSIONS - DISCUSSION

Pour cette étude, on a constitué un jeu de données de 97 stations à l'hydrologie naturelle situées sur des cours d'eau drainant les massifs montagneux, concernés ou qui pourraient être concernés par la problématique des éclusées hydroélectriques (plus de 1 000 années de chroniques au total).

Les variations au-delà de 4 fois le module du cours d'eau (épisodes de crue) n'ont pas été étudiées étant donné que la quasi-totalité des débits d'équipement des aménagements hydroélectriques sont inférieurs à cette valeur.

Le traitement de ces chroniques a permis de caractériser les gradients des hausses et des baisses de débit naturelles sur 8 gammes de variation entre 5% et 400% du module pour chacune des stations, et ainsi d'établir 3 constats :

- pour une station et une gamme de variation donnée, les gradients des hausses de débit sont plus importants que ceux des baisses de débit,
- pour une station donnée, les gradients de hausses et de baisses sont globalement d'autant plus faibles que la variation se déroule vers les faibles débits,
- et pour une gamme de variation donnée, les valeurs de gradients de hausses et de baisses ont globalement tendance à décroître au fur et à mesure que la valeur du module du cours d'eau augmente.

Ces résultats ont été exploités pour construire des formules représentant les hausses et les baisses de débit « les plus rapides possibles naturellement ». Pour ce faire, on a pris en compte – pour chaque station et sur chaque gamme de variation – le 9^{ème} décile des valeurs de gradient de hausse et de baisses, comme valeur représentative des plus forts gradients naturels que l'on peut rencontrer. La démarche a ensuite été basée sur les plus fortes valeurs de 9^{ème} décile pour établir, pour chaque gamme de variation, des relations donnant l'ordre de grandeur des gradients naturels maximaux en fonction du module du cours d'eau. Les hausses et les baisses de débit « les plus rapides possibles naturellement » ont enfin été reconstituées en appliquant sur chaque gamme de variation les valeurs de gradient maximal.

Cette démarche est globalement sécuritaire vis-à-vis du risque de sous-estimer les gradients des variations naturelles de débit. Sur les différentes gammes de variation, la plupart des stations présentent en effet des valeurs de 9^{ème} décile des gradients inférieures aux valeurs données par les relations établies. D'autre part, une même variation de débit naturelle ne se déroule généralement pas sur plusieurs gammes, en présentant sur chacune les gradients maximaux possibles. C'est-à-dire que, par exemple dans le cas d'un cours d'eau de régime pluvial océanique, les gradients maximaux sur les gammes de débit en deçà du module sont plutôt liés à des orages estivaux intervenant pendant l'étiage, alors que ceux sur les gammes de débit au-delà du module sont plutôt liés à des crues automnales et hivernales.

Les formules construites permettent ainsi d'obtenir un ordre de grandeur du temps de variation minimal naturel, de toutes variations de débit, à la hausse ou à la baisse, se déroulant en deçà de 400% du module. Elles ne sont basées que sur la valeur du module du cours d'eau qui est une information dont on dispose a priori à chaque station hydrométrique. Conformément aux constats effectués, les cas des hausses et des baisses de débit sont différenciés et les formules sont progressives selon la gamme sur laquelle se déroule la variation et selon la valeur du module du cours d'eau, entre 1 et 50 m³/s, puis constantes au-delà.

Ces formules ont été intégrées dans le fichier de traitement des chroniques de débit influencées par les aménagements hydroélectriques, développé dans le cadre de l'indicateur « éclusées ». Elles permettent d'évaluer si les variations de débit repérées se déroulent ou non à des gradients

supérieurs à ce qui est possible naturellement, auquel cas ces variations sont alors considérées comme des perturbations hydrologiques. Le but final est de rendre l'indicateur le plus représentatif possible du niveau de perturbation hydrologique liée à la gestion par éclusées des aménagements hydroélectriques.

La construction de cette référence générale sur les gradients des variations naturelles de débit permet, dans le cadre de la construction de l'indicateur « éclusée », de contourner l'impossibilité de trouver systématiquement une référence locale d'hydrologie naturelle pour chaque site touchée par la problématique. Cela ne doit cependant pas empêcher, dans le cadre d'étude de cas, d'adopter des critères mieux adaptés au contexte local.

Le test du fichier de traitement des chroniques de débit développé dans le cadre de l'indicateur « éclusées » sur le jeu de données des chroniques de débit naturelles a permis de déterminer les nombres annuels de variations de débit retenues malgré les critères de sélection. Les résultats permettent d'avancer que l'hydrologie d'une station pourra être considérée au moins sensiblement perturbée dès lors que le cumul des nombres annuels de baisses et de hausses retenues est supérieur à 20. Dans le processus de l'indicateur « éclusées », cette condition sur le nombre annuel de hausse et de baisse retenues permet de faire une première distinction entre les stations jugées à l'hydrologie naturelle ou très peu perturbée (classe 0), et les stations jugées à l'hydrologie sensiblement à très sévèrement perturbée (classe 1 à 5).

8. BIBLIOGRAPHIE

Courret D et Larinier M, 2008. Etude pour la définition d'indicateurs pour la caractérisation des éclusées dans le bassin Adour-Garonne. Rapport GHAAPPE RA.07.09.

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.

9. ANNEXE 1 : TABLEAU DES VALEURS DE GRADIENTS (9^{EME} DECILE)

Station	Type de Données	Module (m ³ /s)	Valeur de gradient de <u>baisse</u> (9 ^{eme} décile) sur les différentes gammes de variation								Valeur de gradient de <u>hausse</u> (9 ^{eme} décile) sur les différentes gammes de variation							
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
1a	QTVAR	54.8						2.0%	7.3%	13.3%						12.1%	17.3%	16.9%
1b	QMJ	54.8	0.06%	0.12%	0.2%	0.3%	0.6%				0.1%	0.4%	0.6%	1.7%	3.4%			
2	QTVAR	7.20				0.7%	2.5%	5.8%	9.7%	13.6%				4.6%	21.0%	36.6%	80.5%	107%
3a	QTVAR	30.1						4.3%	11.8%	22.5%					18.2%	52.0%	81.6%	106%
3b	QMJ	30.1				0.4%	1.3%							3.8%				
4	QTVAR	4.96			0.8%	2.0%	4.7%	4.2%	29.4%	56.9%			4.6%	17.4%	47.8%	99.3%	189%	270%
5	QTVAR	5.23			0.8%	1.7%	3.8%	9.1%	18.9%	40.2%			22.3%	55.6%	94.8%	171%	256%	355%
6	QMJ	19.7			0.1%	0.2%	0.7%	2.9%	5.7%	8.8%			0.9%	3.3%	9.5%	10.9%	13.4%	20.0%
7	QMJ	51.6				0.2%	1.0%	2.7%	6.3%	11.9%				6.0%	9.1%	10.6%	14.3%	15.9%
8	QMJ	102			0.2%	0.6%	1.8%	5.0%	9.2%	14.3%			2.1%	6.4%	10.1%	16.2%	19.2%	28.0%
9	QMJ	81.9				0.1%	0.9%	3.2%	8.0%	12.4%				2.6%	5.9%	9.7%	15.0%	19.3%
10	QTVAR	6.07				1.2%	5.9%	11.6%	28.8%	58.7%				9.7%	50.8%	130%	138%	180%
11	QH	19.0				0.7%	2.0%	6.1%	12.1%	21.6%				8.8%	23.4%	83.0%	85.6%	127%
12	QTVAR	4.10					1.9%	4.1%	14.9%	18.1%					36.1%	97.9%	141%	206%
13	QMJ	39.9				0.1%	0.9%	2.6%	6.9%	11.7%				4.0%	4.7%	10.0%	14.7%	17.8%
14	QTVAR	1.78		0.26%	1.0%	1.9%	3.8%	9.2%	23.4%	33.4%		1.9%	17.7%	21.1%	75.5%	165%	246%	345%
15	QMJ	60.2					0.4%	1.4%	6.9%	14.3%					3.7%	8.4%	15.1%	22.5%
16	QMJ	104				0.2%	1.0%	2.1%	6.1%	10.8%				3.2%	8.1%	9.5%	17.4%	23.8%
17	QMJ	189				0.1%	0.6%	2.0%	6.2%	15.2%				0.9%	5.5%	9.8%	16.9%	21.9%
18	QMJ	42.5				0.4%	1.4%	3.3%	7.9%	13.6%				4.8%	6.5%	16.4%	20.7%	24.8%
19	QTVAR	3.64				0.5%	2.2%	8.2%	21.9%	32.4%				6.1%	83.9%	159%	238%	373%
20	QH	0.99					4.2%	5.4%	32.6%	32.9%				18.6%	93.6%	234%	305%	366%
21	QMJ	44.6					0.4%	2.1%	3.9%	10.3%					6.6%	9.2%	11.7%	15.5%
22	QMJ	13.5					1.0%	0.8%	9.2%	11.8%					7.6%	11.6%	16.8%	17.9%
23	QTVAR	2.80			3.3%	5.6%	20.2%	10.2%	27.3%	56.7%			59.7%	136%	262%	116%	226%	360%
24	QTVAR	11.9				0.9%	1.7%	5.7%	13.2%	25.4%				21.8%	160%	219%	338%	372%
25a	QTVAR	31.5						3.8%	6.5%	16.1%				72%	88%	201%	271%	236%
25b	QMJ	31.5				0.1%	0.4%											
26	QTVAR	13.8				0.1%	0.6%	2.5%	8.0%	22.4%				39.9%	77.7%	91.7%	141%	213%
27	QH	2.96		0.32%	1.5%	2.1%	4.2%	7.9%	12.2%	18.3%		22.3%	30.2%	51.9%	86.3%	47.7%	76.1%	125%
28	QMJ	47.4			0.1%	0.1%	0.5%	1.3%	3.9%	5.8%			0.6%	4.8%	7.1%	16.9%	25.7%	32.7%
29	QMJ	34.0	0.02%	0.15%	0.2%	1.0%	1.1%	0.7%	2.9%	6.5%	0.1%	0.6%	2.9%	3.0%	8.1%	13.9%	16.0%	18.7%
30	QH	2.54	0.04%	0.30%	0.6%	1.4%	3.5%	7.9%	13.5%	30.4%	1.7%	8.6%	13.7%	44.5%	49.4%	58.6%	69.5%	97.9%
31	QMJ	56.5	0.17%	0.28%	0.29%	0.49%	0.68%	1.8%	4.4%	7.9%	0.6%	0.7%	1.3%	2.6%	5.7%	8.8%	17.4%	26.2%
32	QMJ	19.4	0.13%	0.15%	0.27%	0.51%	0.73%	1.6%	4.4%	8.3%	0.6%	0.7%	2.2%	3.4%	5.0%	9.0%	15.1%	19.8%
33	QTVAR	3.60	0.18%	0.80%	1.0%	2.0%	1.3%	6.9%	13.7%	17.8%	2.7%	8.6%	28.3%	26.6%	57.3%	133%	166%	197%
34	QTVAR	6.34	0.09%	0.68%	1.0%	2.1%	6.8%	11.5%	27.5%	40.4%	5.5%	17.2%	33.6%	71.8%	173%	276%	340%	498%
35	QTVAR	10.0				0.3%	1.5%	5.1%	14.3%	21.2%			5.2%	16.5%	38.7%	207%	237%	382%
36	QH	1.60	0.05%	0.39%	0.8%	2.0%	6.6%	15.1%	37.1%	72.1%	1.5%	4.3%	11.8%	43.5%	56.3%	159%	218%	296%
37a	QTVAR	19.7						5.25%	15.1%	29.3%		5.7%	13.7%	59.0%	121%	165%	250%	372%
37b	QMJ	19.7			0.2%	0.4%	1.1%											
38a	QTVAR	16.1						1.7%	6.0%	12.9%				7.3%	19.7%	27.9%	64.6%	105%
38b	QMJ	16.1		0.06%	0.2%	0.3%	0.6%					1.0%	1.3%					
39	QH	7.78			0.4%	1.1%	3.2%	8.8%	20.0%	28.5%			4.0%	17.7%	37.4%	55.2%	92.7%	119%
40	QTVAR	8.40			0.4%	1.2%	6.8%	4.8%	19.1%	15.7%			28.6%	26.8%	37.3%	65.5%	86.4%	92.5%
41	QH	4.68		0.42%	0.9%	2.0%	2.4%	3.7%	9.0%	19.1%		6.7%	16.4%	31.6%	29.3%	53.7%	59.7%	95.0%
42	QH	3.17	0.11%	0.33%	0.9%	2.3%	4.5%	8.8%	16.2%	24.8%	5.1%	14.6%	20.3%	37.8%	44.6%	73.0%	121%	152%
43	QTVAR	6.37			0.4%	1.6%	5.9%	5.9%	6.9%	11.0%			8.9%	15.4%	45.9%	56.0%	31.9%	71.2%
44	QH	3.03		0.18%	0.5%	2.6%	6.2%	11.1%	30.0%	41.2%		6.2%	8.3%	61.1%	93.5%	159%	205%	205%
45	QH	5.60	0.09%	0.17%	0.5%	1.8%	3.8%	4.7%	9.2%	7.1%	0.6%	2.5%	4.6%	11.9%	17.1%	37.3%	51.7%	50.0%
46	QH	6.53		0.19%	0.4%	1.5%	4.2%	7.1%	10.0%	22.2%		6.4%	23.5%	32.5%	43.6%	68.6%	77.9%	107%
47	QH	6.56			0.4%	1.0%	3.6%	6.8%	15.8%	23.0%			6.2%	13.4%	47.2%	57.7%	86.3%	73.9%
48	QMJ	106	0.05%	0.10%	0.2%	0.4%	1.1%	2.2%	6.3%	8.8%	0.1%	0.5%	1.4%	3.2%	6.5%	10.4%	18.2%	22.6%
49	QMJ	20.2	0.06%	0.21%	0.2%	0.5%	1.0%	2.2%	5.1%	8.4%	0.5%	2.4%	3.4%	5.0%	7.5%	13.8%	20.2%	23.9%
50	QMJ	21.2				0.5%	0.8%	1.8%	4.6%	8.7%			1.5%	3.8%	5.8%	9.4%	17.2%	23.1%
51	QTVAR	3.86			0.5%	1.4%	5.8%	16.2%	16.9%	29.6%			5.6%	19.0%	31.6%	62.1%	87.5%	82.0%
52	QTVAR	8.70			0.4%	0.9%	2.4%	4.8%	7.6%	11.7%			7.7%	20.4%	34.4%	31.1%	45.8%	59.9%

Station	Type de Données	Module (m ³ /s)	Valeur de gradient de <u>baisse</u> (9 ^{ème} décile) sur les différentes gammes de variation								Valeur de gradient de <u>hausse</u> (9 ^{ème} décile) sur les différentes gammes de variation							
			1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
53	QH	5.48			0.5%	1.0%	3.4%	6.0%	13.3%	22.5%			8.0%	15.5%	41.8%	45.4%	80.5%	107%
54	QH	2.89		0.39%	0.8%	2.0%	2.8%	4.6%	15.7%	16.2%		1.4%	6.6%	16.5%	22.1%	35.3%	61.2%	75.9%
55a	QTVAR	17.7						3.2%	6.1%	8.8%				5.7%	16.5%	21.5%	36.3%	55.9%
55b	QMJ	17.7			0.1%	0.2%	1.0%						0.3%					
56	QH	8.21			0.3%	0.6%	2.9%	9.2%	15.0%	22.7%			1.9%	5.0%	20.7%	57.9%	108%	142%
57	QTVAR	13.3					0.4%	2.8%	2.1%	11.9%				0.7%	4.1%	9.5%	10.2%	15.5%
58	QTVAR	8.24			0.2%	0.7%	2.7%	5.5%	8.5%	9.5%			6.4%	19.4%	20.0%	31.2%	55.6%	58.9%
59	QMJ	38.10			0.2%	0.4%	0.8%	2.8%	5.6%	7.8%			1.0%	3.3%	7.4%	14.4%	17.5%	21.2%
60	QTVAR	10.6				0.4%	4.4%	11.3%	14.8%	31.4%				2.0%	32.7%	39.5%	41.1%	68.0%
61	QTVAR	2.70			1.5%	2.2%	9.2%	19.1%	32.0%	40.9%			9.3%	32.5%	154%	277%	105%	154%
62	QH	7.22				1.6%	3.2%	13.7%	33.6%	36.4%				14.9%	86.8%	177%	289%	184%
63	QTVAR	5.10				0.3%	2.7%	9.3%	51.9%	140%				1.4%	22.7%	89.6%	312%	528%
64	QMJ	27.5					0.1%	0.8%	3.4%	9.1%					0.5%	7.1%	9.3%	15.0%
65	QMJ	77.9					0.4%	1.6%	7.1%	8.5%					3.5%	6.0%	11.3%	15.8%
66	QTVAR	7.02			0.5%	0.9%	2.9%	5.3%	13.5%	18.7%			9.2%	30.5%	58.6%	88.5%	243%	258%
67	QTVAR	2.91			0.9%	1.6%	5.7%	9.3%	24.8%	53.5%			8.4%	12.0%	83.5%	177%	309%	431%
68	QTVAR	6.49	0.02%	0.11%	0.3%	0.5%	1.0%	1.9%	4.8%	6.3%	14.6%	11.4%	24.1%	30.3%	86.8%	118%	190%	264%
69	QTVAR	3.41				0.8%	5.6%	7.6%	6.5%	53.8%				17.8%	95.9%	155%	269%	304%
70	QTVAR	4.26			0.4%	1.1%	4.4%	6.0%	12%	25%			23.1%	90.2%	57.5%	79.3%	125%	130%
71a	QTVAR	17.7						3.7%	7.3%	16.7%			5.5%	46.3%	59.0%	38.1%	70.7%	163%
71b	QMJ	17.7		0.10%	0.2%	0.6%	1.0%					1.2%						
72	QTVAR	4.68			0.4%	1.2%	3.5%	8.8%	17.0%	35.2%			18.7%	36.1%	60.6%	126%	165%	285%
73	QH	5.38			0.0%	0.2%	0.6%	4.8%	17.1%	53.3%			0.3%	4.0%	12.1%	51.2%	84.2%	160%
74	QMJ	27.5					0.2%	0.7%	4.7%	17.1%					0.6%	4.7%	8.1%	18.5%
75	QTVAR	3.1			3.3%	7.5%	13.2%	18.2%	43.4%	85.6%			15.6%	43.9%	67.5%	141%	199%	275%
76	QTVAR	7.5				0.7%	2.8%	4.0%	12.1%	29.8%				18.3%	27.8%	53.7%	80.4%	109%
77	QTVAR	9.5			0.3%	0.9%	3.9%	10.3%	22.2%	40.7%			5.5%	15.8%	46.4%	105%	147%	190%
78	QH	14.1			0.4%	0.7%	2.9%	7.7%	20.8%	34.1%			22.1%	23.1%	43.9%	119%	160%	237%
79	QTVAR	7.7			0.3%	1.1%	3.1%	6.0%	14.2%	22.4%			6.1%	15.6%	41.6%	85.8%	123%	160%
80	QTVAR	4.57				0.8%	2.6%	5.9%	23.4%	58.0%				18.5%	33.4%	72.9%	88.6%	137%
81	QTVAR	6.89	0.05%	0.27%	0.9%	0.8%	1.4%	3.2%	7.9%	14.8%	1.0%	2.2%	10.2%	14.0%	28.5%	53.3%	74.1%	103%
82	QTVAR	9.37		0.17%	0.6%	1.5%	3.8%	7.7%	13.6%	23.1%		7.9%	21.6%	61.3%	77.6%	106%	151%	160%
83	QTVAR	13.8		0.10%	0.2%	0.5%	1.2%	3.4%	6.9%	8.9%		0.8%	6.2%	10.8%	22.5%	38.6%	61.8%	74.2%
84a	QTVAR	21.3						1.9%	5.6%	8.6%				3.8%	16.6%	30.7%	48.3%	56.5%
84b	QMJ	21.3			0.1%	0.2%	0.6%						0.6%					
85	QTVAR	52.8						2.2%	5.2%	8.2%				3.3%	10.1%	23.6%	39.8%	40.8%
85b	QMJ	52.8			0.2%	0.2%	0.7%						0.9%					
86	QTVAR	19.3		0.01%	0.1%	0.4%	0.9%	2.4%	5.3%	6.9%		0.1%	3.3%	8.4%	14.8%	26.3%	29.5%	23.1%
87	QTVAR	9.61	0.11%	0.29%	0.5%	1.0%	2.5%	6.6%	12.6%	19.5%	1.4%	10.1%	21.6%	45.8%	67.8%	143%	187%	245%
88a	QTVAR	33.9						1.9%	6.2%	13.4%				2.8%	7.9%	10.3%	10.0%	9.6%
88b	QMJ	33.9			0.1%	0.2%	0.7%						0.6%					
89	QTVAR	8.19		0.35%	0.5%	1.9%	3.7%	5.5%	5.6%	14.6%		0.9%	2.4%	11.0%	18.9%	37.4%	35.6%	43.8%
90a	QTVAR	24.7					1.4%	2.7%	9.0%	11.0%				8.8%	15.4%	30.0%	38.5%	39.0%
90b	QMJ	24.7	0.05%	0.12%	0.2%	0.3%					0.4%	0.9%	1.7%					
91a	QTVAR	37.6					1.3%	2.8%	6.4%	10.7%				0.6%	7.0%	12.7%	18.5%	21.4%
91b	QMJ	37.6				0.2%												
92	QTVAR	2.79		0.25%	0.9%	2.8%	7.9%	7.7%	12.4%	33.9%		6.3%	14.0%	41.6%	33.3%	35.2%	46.4%	65.4%
93	QTVAR	1.24		0.21%	0.7%	2.3%	3.9%	7.8%	27.6%			5.5%	7.5%	22.0%	19.4%	34.0%	53.0%	65.2%
94	QTVAR	2.93	0.26%	0.50%	1.2%	3.3%	8.2%	23.2%	44.2%	64.7%	18.3%	60.4%	386%	1382%	1409%	2260%	2751%	3088%
95	QTVAR	5.08	0.16%	0.54%	1.2%	2.0%	3.5%	7.0%	13.9%	27.0%	62.0%	126%	127%	124%	291%	495%	306%	716%
96	QTVAR	3.68		0.43%	0.9%	2.7%	6.8%	14.4%	29.1%	57.9%		4.1%	10.5%	70.6%	882%	273%	316%	454%
97	QTVAR	3.69		0.05%	0.5%	1.9%	4.2%	9.4%	32.9%	54.3%		13.0%	18.2%	42.5%	112%	252%	256%	473%

10. ANNEXE 2 : TABLEAUX DETAILLANT LA CREATION DES POINTS POUR LES REGRESSIONS

Baisse - Gamme de variation 8 (300% - 400% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				42.5%			33.1%			20.3%			12.6%			11.8%			11.4%
Ecart-type (SD)				19.1%			27.2%			9.3%			6.5%			5.0%			2.7%
M + 2 SD				80.7%			87.5%			38.8%			25.5%			21.8%			16.8%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	75	3.1	85.6%	63	5.1	140.4%	77	9.5	40.7%	37a	19.7	29.3%	3a	30.1	22.5%	17	189	15.2%
	2^{ème}	36	1.6	72.1%	10	6.1	58.7%	78	14.1	34.1%	11	19	21.6%	25a	31.5	16.1%	8	102	14.3%
	3^{ème}	94	2.9	64.7%	80	4.6	58.0%	60	10.6	31.4%	74	27.5	17.1%	18	42.5	13.6%	15	60.2	14.3%
	4^{ème}	96	3.7	57.9%	4	5.0	56.9%	24	11.9	25.4%	71a	17.7	16.7%	88a	33.9	13.4%	1a	54.8	13.3%
	5^{ème}	23	2.8	56.7%	73	5.4	53.3%	82	9.4	23.1%	38a	16.1	12.9%	13	39.9	11.7%	9	81.9	12.4%
	6^{ème}	97	3.7	54.3%	34	6.3	40.4%	56	8.2	22.7%	90a	24.7	11.0%	91a	37.6	10.7%	7	51.6	11.9%
	7^{ème}	69	3.4	53.8%	5	5.2	40.2%	26	13.8	22.4%	64	27.5	9.1%	21	44.6	10.3%	16	104	10.8%
	8^{ème}	67	2.9	53.5%	62	7.2	36.4%	35	10.0	21.2%	55a	17.7	8.8%	59	38.1	7.8%	48	106	8.8%
	9^{ème}	44	3.0	41.2%	72	4.7	35.2%	87	9.6	19.5%	6	19.7	8.8%	29	34	6.5%	65	77.9	8.5%
	10^{ème}	61	2.7	40.9%	76	7.5	29.8%	40	8.4	15.7%	50	21.2	8.7%	28	47.4	5.8%	85	52.8	8.2%
Valeurs adoptées			2.7	64.9%		5.2	57.9%		12.2	30.3%		21.4	18.5%		36.0	14.3%		50.0	14.6%

Baisse - Gamme de variation 7 (200% - 300% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				24.44%			17.38%			12.10%			6.74%			6.20%			6.63%
Ecart-type (SD)				10.56%			10.43%			5.66%			3.25%			2.52%			1.31%
M + 2 SD				45.57%			38.24%			23.41%			13.24%			11.24%			9.25%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	94	2.9	44.16%	63	5.1	51.94%	77	9.5	22.24%	37a	19.7	15.06%	3a	30.1	11.82%	8	102	9.20%
	2^{ème}	75	3.1	43.36%	62	7.2	33.59%	78	14.1	20.81%	11	19	12.12%	18	42.5	7.87%	9	81.9	8.04%
	3^{ème}	36	1.6	37.08%	4	5.0	29.39%	40	8.4	19.09%	90a	24.7	9.01%	13	39.9	6.94%	1a	54.8	7.32%
	4^{ème}	97	3.7	32.95%	10	6.1	28.83%	56	8.2	15.03%	71a	17.7	7.29%	25a	31.5	6.52%	65	77.9	7.06%
	5^{ème}	20	1.0	32.56%	34	6.3	27.50%	60	10.6	14.83%	55a	17.7	6.05%	91a	37.6	6.42%	15	60.2	6.89%
	6^{ème}	61	2.7	31.98%	80	4.6	23.38%	35	10.0	14.27%	38a	16.1	6.04%	88a	33.9	6.17%	7	51.6	6.30%
	7^{ème}	44	3.0	29.97%	39	7.8	20.04%	82	9.4	13.64%	6	19.7	5.74%	59	38.1	5.55%	48	106	6.26%
	8^{ème}	96	3.7	29.08%	5	5.2	18.94%	24	11.9	13.21%	84a	21.3	5.57%	21	44.6	3.93%	17	189	6.22%
	9^{ème}	93	1.2	27.62%	73	5.4	17.05%	87	9.6	12.61%	86	19.3	5.32%	28	47.4	3.93%	16	104	6.13%
	10^{ème}	23	2.8	27.30%	72	4.7	17.01%	22	13.5	9.23%	49	20.2	5.06%	29	34	2.86%	85	52.8	5.16%
Valeurs adoptées			2.5	41.53%		6.1	30.60%		10.7	20.71%		20.5	9.47%		38.0	7.11%		50.0	8.19%

Baisse - Gamme de variation 6 (100% - 200% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				10.87%			6.60%			5.86%			2.65%			2.55%			2.36%
Ecart-type (SD)				4.92%			2.86%			2.87%			1.55%			1.09%			0.99%
M + 2 SD				20.71%			12.32%			11.59%			5.74%			4.72%			4.33%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	94	2.9	23.23%	62	7.2	13.72%	60	10.6	11.30%	11	19	6.15%	3a	30.1	4.25%	8	102	4.95%
	2^{ème}	61	2.7	19.07%	10	6.1	11.59%	77	9.5	10.30%	37a	19.7	5.25%	25a	31.5	3.79%	9	81.9	3.16%
	3^{ème}	75	3.1	18.18%	34	6.3	11.50%	56	8.2	9.22%	71a	17.7	3.71%	18	42.5	3.28%	7	51.6	2.66%
	4^{ème}	51	3.9	16.17%	63	5.1	9.31%	82	9.4	7.73%	55a	17.7	3.23%	59	38.1	2.81%	85	52.8	2.21%
	5^{ème}	36	1.6	15.12%	5	5.2	9.06%	78	14.1	7.70%	6	19.7	2.86%	91a	37.6	2.76%	48	106	2.16%
	6^{ème}	96	3.7	14.42%	72	4.7	8.84%	87	9.6	6.59%	90a	24.7	2.70%	13	39.9	2.57%	16	104	2.14%
	7^{ème}	44	3.0	11.08%	39	7.8	8.76%	24	11.9	5.68%	86	19.3	2.43%	21	44.6	2.10%	17	189	1.97%
	8^{ème}	23	2.8	10.22%	46	6.5	7.06%	58	8.2	5.54%	49	20.2	2.19%	88a	33.9	1.95%	1a	54.8	1.96%
	9^{ème}	97	3.7	9.30%	95	5.1	7.01%	89	8.2	5.47%	84a	21.3	1.85%	28	47.4	1.34%	31	56.5	1.76%
	10^{ème}	67	2.9	9.30%	47	6.6	6.79%	35	10.0	5.10%	50	21.2	1.83%	29	34	0.68%	65	77.9	1.58%
Valeurs adoptées			3.2	17.81%		5.8	10.80%		9.4	10.27%		18.4	4.06%		34.7	3.77%		50.0	2.67%

Baisse - Gamme de variation 5 (50% - 100% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				6.19%			3.35%			2.66%			0.86%			0.89%			0.85%
Ecart-type (SD)				4.16%			1.46%			1.64%			0.48%			0.39%			0.39%
M + 2 SD				14.51%			6.26%			5.94%			1.82%			1.67%			1.63%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	23	2.8	20.17%	34	6.3	6.82%	40	8.4	6.79%	11	19	1.99%	18	42.5	1.41%	8	102	1.81%
	2^{ème}	75	3.1	13.23%	10	6.1	5.88%	60	10.6	4.44%	90a	24.7	1.39%	3b	30.1	1.34%	48	106	1.09%
	3^{ème}	61	2.7	9.21%	43	6.4	5.87%	77	9.5	3.90%	37b	19.7	1.09%	91a	37.6	1.33%	7	51.6	1.00%
	4^{ème}	94	2.9	8.24%	4	5.0	4.70%	82	9.4	3.80%	71b	17.7	1.05%	29	34	1.13%	16	104	0.98%
	5^{ème}	92	2.8	7.90%	70	4.3	4.39%	89	8.2	3.73%	49	20.2	1.02%	13	39.9	0.87%	9	81.9	0.93%
	6^{ème}	96	3.7	6.75%	46	6.5	4.20%	56	8.2	2.92%	55b	17.7	0.98%	59	38.1	0.81%	85b	52.8	0.73%
	7^{ème}	36	1.6	6.56%	45	5.6	3.85%	78	14.1	2.87%	86	19.3	0.86%	88b	33.9	0.67%	31	56.5	0.68%
	8^{ème}	44	3.0	6.18%	5	5.2	3.83%	58	8.2	2.68%	50	21.2	0.81%	28	47.4	0.50%	17	189	0.63%
	9^{ème}	51	3.9	5.77%	47	6.6	3.62%	87	9.6	2.47%	32	19.4	0.73%	25b	31.5	0.44%	1b	54.8	0.60%
	10^{ème}	67	2.9	5.74%	72	4.7	3.47%	52	8.7	2.42%	6	19.7	0.71%	21	44.6	0.43%	15	60.2	0.44%
Valeurs adoptées			2.9	10.23%		5.8	5.48%		9.8	4.05%		20.7	1.18%		36.7	1.36%		50.0	1.02%

Baisse - Gamme de variation 4 (25% - 50% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				2.44%			1.20%			0.84%			0.40%			0.33%			0.29%
Ecart-type (SD)				1.59%			0.56%			0.49%			0.16%			0.29%			0.18%
M + 2 SD				5.62%			2.32%			1.82%			0.73%			0.91%			0.65%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	75	3.1	7.55%	34	6.3	2.15%	89	8.2	1.94%	11	19	0.68%	29	34	1.01%	8	102	0.61%
	2^{ème}	23	2.8	5.59%	41	4.7	2.01%	82	9.4	1.53%	71b	17.7	0.61%	59	38.1	0.44%	31	56.5	0.49%
	3^{ème}	94	2.9	3.33%	4	5.0	2.01%	40	8.4	1.23%	50	21.2	0.52%	3b	30.1	0.43%	48	106	0.43%
	4^{ème}	92	2.8	2.81%	95	5.1	2.00%	87	9.6	0.95%	32	19.4	0.51%	18	42.5	0.35%	1b	54.8	0.29%
	5^{ème}	96	3.7	2.67%	45	5.6	1.78%	52	8.7	0.95%	49	20.2	0.48%	88b	33.9	0.23%	85b	52.8	0.24%
	6^{ème}	44	3.0	2.62%	5	5.2	1.66%	24	11.9	0.95%	37b	19.7	0.39%	91b	37.6	0.19%	7	51.6	0.20%
	7^{ème}	93	1.2	2.32%	62	7.2	1.58%	77	9.5	0.94%	86	19.3	0.37%	13	39.9	0.11%	16	104	0.17%
	8^{ème}	42	3.2	2.32%	43	6.4	1.56%	78	14.1	0.74%	90b	24.7	0.35%	25b	31.5	0.11%	17	189	0.14%
	9^{ème}	61	2.7	2.19%	46	6.5	1.50%	58	8.2	0.66%	38b	16.1	0.28%	28	47.4	0.08%	9	81.9	0.08%
	10^{ème}	27	3.0	2.08%	10	6.1	1.22%	56	8.2	0.56%	6	19.7	0.22%						
Valeurs adoptées			2.8	3.91%		5.3	2.06%		9.1	1.24%		19.3	0.61%		36.9	0.41%		50.0	0.51%

Baisse - Gamme de variation 3 (15% - 25% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				1.15%			0.57%			0.40%			0.16%			0.16%			0.20%
Ecart-type (SD)				0.84%			0.29%			0.13%			0.06%						
M + 2 SD				2.84%			1.16%			0.67%			0.28%						
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	75	3.1	3.31%	95	5.1	1.22%	82	9.4	0.61%	32	19.4	0.27%	29	34	0.24%	31	56.5	0.29%
	2^{ème}	23	2.8	3.32%	34	6.3	0.95%	89	8.2	0.54%	49	20.2	0.22%	59	38.1	0.23%	85b	52.8	0.21%
	3^{ème}	94	2.9	1.20%	41	4.7	0.93%	87	9.6	0.52%	71b	17.7	0.19%	88b	33.9	0.14%	48	106	0.19%
	4^{ème}	92	2.8	0.85%	81	6.9	0.87%	40	8.4	0.45%	90b	24.7	0.18%	28	47.4	0.05%	8	102	0.16%
	5^{ème}	96	3.7	0.87%	4	5.0	0.81%	78	14.1	0.41%	37b	19.7	0.17%				1b	54.8	0.15%
	6^{ème}	44	3.0	0.48%	5	5.2	0.77%	52	8.7	0.41%	38b	16.1	0.16%						
	7^{ème}	93	1.2	0.72%	45	5.6	0.54%	56	8.2	0.32%	6	19.7	0.15%						
	8^{ème}	42	3.2	0.91%	66	7.0	0.47%	77	9.5	0.30%	55b	17.7	0.11%						
	9^{ème}	61	2.7	1.52%	53	5.5	0.46%	83	13.8	0.25%	84b	21.3	0.09%						
	10^{ème}	27	3.0	1.52%	47	6.6	0.44%	58	8.2	0.20%	86	19.3	0.08%						
Valeurs adoptées			3.1	0.97%		6.0	0.92%		9.1	0.56%		19.1	0.23%		35.3	0.20%		50.0	0.19%

Hausse - Gamme de variation 8 (300% - 400% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				380%			211%			148%			76%			50.3%			23.1%
Ecart-type (SD)				635%			162%			117%			97%			70.8%			7.1%
M + 2 SD				1651%			536%			381.9%			270%			192%			37%
Valeurs les plus fortes	1 ^{ère} (max)	94	2.9	3088%	95	5.1	716%	35	10.0	382.0%	37a	19.7	372%	25a	31.5	236.1%	85	52.8	40.8%
	2 ^{ème}	97	3.7	473%	63	5.1	528%	24	11.9	372%	71a	17.7	163%	3a	30.1	105.5%	8	102	28.0%
	3 ^{ème}	96	3.7	454%	34	6.3	498%	87	9.6	245%	11	19	127%	28	47.4	32.7%	31	56.5	26.2%
	4 ^{ème}	67	2.9	431%	5	5.2	355%	78	14.1	237%	38a	16.1	105%	18	42.5	24.8%	16	104	23.8%
	5 ^{ème}	19	3.6	373%	72	4.7	285%	26	13.8	213%	84a	21.3	56%	91a	37.6	21.4%	48	106	22.6%
	6 ^{ème}	20	1.0	366%	4	5.0	270%	77	9.5	190%	55a	17.7	56%	59	38.1	21.2%	15	60.2	22.5%
	7 ^{ème}	23	2.8	360%	68	6.5	264%	82	9.4	160%	90a	24.7	39%	29	34	18.7%	17	189	21.9%
	8 ^{ème}	14	1.8	345%	66	7.0	258%	56	8.2	142%	49	20.2	24%	13	39.9	17.8%	9	81.9	19.3%
	9 ^{ème}	69	3.4	304%	12	4.1	206%	40	8.4	93%	50	21.2	23%	21	44.6	15.5%	1a	54.8	16.9%
	10 ^{ème}	36	1.6	296%	62	7.2	184%	83	13.8	74%	86	19.3	23%	88a	33.9	9.6%	7	51.6	15.9%
Valeurs adoptées		3.4	452%		5.6	460%		11.9	285%		17.6	131%		40.0	54.3%		50.0	26.0%	

Hausse - Gamme de variation 7 (200% - 300% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				301%			148%			114%			50%			48.7%			18.4%
Ecart-type (SD)				569%			92%			89%			62%			80.7%			7.4%
M + 2 SD				1438%			332%			292%			175%			210%			33%
Valeurs les plus fortes	1 ^{ère} (max)	94	2.9	2751%	34	6.3	340%	24	11.9	338%	37a	19.7	250%	25a	31.5	270.7%	85	52.8	39.8%
	2 ^{ème}	96	3.7	316%	63	5.1	312%	35	10.0	237%	11	19	86%	3a	30.1	81.6%	8	102	19.2%
	3 ^{ème}	67	2.9	309%	95	5.1	306%	87	9.6	187%	71a	17.7	71%	28	47.4	25.7%	48	106	18.2%
	4 ^{ème}	20	1.0	305%	62	7.2	289%	78	14.1	160%	38a	16.1	65%	18	42.5	20.7%	31	56.5	17.4%
	5 ^{ème}	69	3.4	269%	5	5.2	256%	82	9.4	151%	84a	21.3	48%	91a	37.6	18.5%	16	104	17.4%
	6 ^{ème}	97	3.7	256%	66	7.0	243%	77	9.5	147%	90a	24.7	39%	59	38.1	17.5%	1a	54.8	17.3%
	7 ^{ème}	14	1.8	246%	68	6.5	190%	26	13.8	141%	55a	17.7	36%	29	34	16.0%	17	189	16.9%
	8 ^{ème}	19	3.6	238%	4	5.0	189%	56	8.2	108%	86	19.3	30%	13	39.9	14.7%	15	60.2	15.1%
	9 ^{ème}	23	2.8	226%	72	4.7	165%	40	8.4	86%	49	20.2	20%	21	44.6	11.7%	9	81.9	15.0%
	10 ^{ème}	36	1.6	218%	12	4.1	141%	83	13.8	62%	50	21.2	17%	88a	33.9	10.0%	7	51.6	14.3%
Valeurs adoptées		2.5	310%		5.8	302%		11.2	194%		17.6	74%		40.0	42.7%		50.0	18.3%	

Hausse - Gamme de variation 6 (100% - 200% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				238%			107%			82%			34.1%			35.7%			11.4%
Ecart-type (SD)				470%			97%			64%			42.6%			59.4%			4.8%
M + 2 SD				1178%			301%			211%			119%			154.4%			21%
Valeurs les plus fortes	1 ^{ère} (max)	94	2.9	2260%	95	5.1	495%	24	11.9	219%	37a	19.7	165.1%	25a	31.5	200.8%	85	52.8	23.6%
	2 ^{ème}	61	2.7	277%	34	6.3	276%	35	10.0	207%	11	19	83.0%	3a	30.1	52.0%	8	102	16.2%
	3 ^{ème}	96	3.7	273%	62	7.2	177%	87	9.6	143%	71a	17.7	38.1%	28	47.4	16.9%	1a	54.8	12.1%
	4 ^{ème}	97	3.7	252%	5	5.2	171%	78	14.1	119%	84a	21.3	30.7%	18	42.5	16.4%	7	51.6	10.6%
	5 ^{ème}	20	1.0	234%	10	6.1	130%	82	9.4	106%	90a	24.7	30.0%	59	38.1	14.4%	48	106	10.4%
	6 ^{ème}	67	2.9	177%	72	4.7	126%	77	9.5	105%	38a	16.1	27.9%	29	34	13.9%	17	189	9.8%
	7 ^{ème}	14	1.8	165%	68	6.5	118%	26	13.8	92%	86	19.3	26.3%	91a	37.6	12.7%	9	81.9	9.7%
	8 ^{ème}	36	1.6	159%	4	5.0	99%	40	8.4	65%	55a	17.7	21.5%	88a	33.9	10.3%	16	104	9.5%
	9 ^{ème}	19	3.6	159%	12	4.1	98%	56	8.2	58%	49	20.2	13.8%	13	39.9	10.0%	31	56.5	8.8%
	10 ^{ème}	44	3.0	159%	63	5.1	90%	60	10.6	39%	6	19.7	10.9%	21	44.6	9.2%	15	60.2	8.4%
Valeurs adoptées		3.4	267%		6.3	208%		11.2	156%		19.3	50.6%		40.0	28.4%		50.0	13.0%	

Hausse - Gamme de variation 5 (50% - 100% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				182%			60%			44%			22.5%			16.1%			6.5%
Ecart-type (SD)				335%			58%			38%			31.7%			25.4%			2.5%
M + 2 SD				852%			177%			120%			85.9%			67.0%			11.5%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	94	2.9	1409%	95	5.1	291%	24	11.9	160%	37a	19.7	120.5%	25a	31.5	87.7%	85	52.8	10.1%
	2^{ème}	96	3.7	882%	34	6.3	173%	26	13.8	78%	71a	17.7	59.0%	3a	30.1	18.2%	8	102	10.1%
	3^{ème}	23	2.8	262%	5	5.2	95%	82	9.4	78%	11	19	23.4%	29	34	8.1%	7	51.6	9.1%
	4^{ème}	61	2.7	154%	62	7.2	87%	87	9.6	68%	38a	16.1	19.7%	88a	33.9	7.9%	16	104	8.1%
	5^{ème}	97	3.7	112%	68	6.5	87%	77	9.5	46%	84a	21.3	16.6%	59	38.1	7.4%	48	106	6.5%
	6^{ème}	69	3.4	96%	72	4.7	61%	78	14.1	44%	55a	17.7	16.5%	28	47.4	7.1%	9	81.9	5.9%
	7^{ème}	20	1.0	94%	66	7.0	59%	35	10.0	39%	90a	24.7	15.4%	91a	37.6	7.0%	31	56.5	5.7%
	8^{ème}	44	3.0	93%	70	4.3	58%	40	8.4	37%	86	19.3	14.8%	21	44.6	6.6%	17	189	5.5%
	9^{ème}	27	3.0	86%	10	6.1	51%	52	8.7	34%	6	19.7	9.5%	18	42.5	6.5%	15	60.2	3.7%
	10^{ème}	19	3.6	84%	4	5.0	48%	60	10.6	33%	49	20.2	7.5%	13	39.9	4.7%	65	77.9	3.5%
Valeurs adoptées			3.1	176%		6.3	118%		10.9	74%		17.6	34.0%		32.7	11.4%		50.0	9.7%

Hausse - Gamme de variation 4 (25% - 50% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				102%			29.0%			21.4%			13.6%			11.0%			3.33%
Ecart-type (SD)				294%			29.4%			16.7%			18.5%			22.9%			1.81%
M + 2 SD				691%			87.7%			54.8%			50.7%			56.8%			7%
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	94	2.9	1382%	95	5.1	124.4%	82	9.4	61.3%	37a	19.7	59.0%	25a	31.5	71.9%	8	102	6.43%
	2^{ème}	23	2.8	136%	70	4.3	90.2%	87	9.6	45.8%	71a	17.7	46.3%	28	47.4	4.8%	7	51.6	5.98%
	3^{ème}	96	3.7	71%	34	6.3	71.8%	26	13.8	39.9%	11	19	8.8%	18	42.5	4.8%	85	52.8	3.31%
	4^{ème}	44	3.0	61%	5	5.2	55.6%	40	8.4	26.8%	90a	24.7	8.8%	13	39.9	4.0%	16	104	3.25%
	5^{ème}	27	3.0	52%	72	4.7	36.1%	78	14.1	23.1%	86	19.3	8.4%	3b	30.1	3.8%	48	106	3.20%
	6^{ème}	30	2.5	44%	46	6.5	32.5%	24	11.9	21.8%	38a	16.1	7.3%	59	38.1	3.3%	31	56.5	2.59%
	7^{ème}	75	3.1	44%	41	4.7	31.6%	52	8.7	20.4%	55a	17.7	5.7%	29	34	3.0%	9	81.9	2.58%
	8^{ème}	36	1.6	43%	66	7.0	30.5%	58	8.2	19.4%	49	20.2	5.0%	88a	33.9	2.8%	1b	54.8	1.75%
	9^{ème}	97	3.7	43%	68	6.5	30.3%	35	10.0	16.5%	50	21.2	3.8%	91a	37.6	0.6%	17	189	0.88%
	10^{ème}	92	2.8	42%	80	4.6	18.5%	77	9.5	15.8%	84a	21.3	3.8%						
Valeurs adoptées			3.2	89%		5.4	54.5%		10.6	37.5%		20.5	21.3%		43.3	4.5%		50.0	5.24%

Hausse - Gamme de variation 3 (15% - 25% du module)

		Classe de module																	
		1			2			3			4			5			6		
		< 4 m ³ /s			4 - 8 m ³ /s			8 - 15 m ³ /s			15 - 30 m ³ /s			30 - 50 m ³ /s			> 50 m ³ /s		
		N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur	N°	Mod	Valeur
Moyenne (M)				37.3%			19.5%			11.7%			3.10%			1.30%			1.25%
Ecart-type (SD)				88.1%			28.3%			9.6%			3.83%						
M + 2 SD				213.5%			76.1%			31.0%			11%						
Valeurs les plus fortes	1^{ère} (max)	94	2.9	386.5%	95	5.1	126.9%	40	8.4	28.6%	37a	19.7	13.71%	29	34	2.95%	8	102	2.12%
	2^{ème}	23	2.8	59.7%	34	6.3	33.6%	78	14.1	22.1%	71a	17.7	5.46%	59	38.1	1.01%	48	106	1.40%
	3^{ème}	27	3.0	30.2%	68	6.5	24.1%	82	9.4	21.6%	49	20.2	3.39%	88b	33.9	0.64%	31	56.5	1.27%
	4^{ème}	33	3.6	28.3%	46	6.5	23.5%	87	9.6	21.6%	86	19.3	3.31%	28	47.4	0.62%	85b	52.8	0.88%
	5^{ème}	42	3.2	20.3%	70	4.3	23.1%	52	8.7	7.7%	32	19.4	2.16%				1b	54.8	0.56%
	6^{ème}	97	3.7	18.2%	5	5.2	22.3%	58	8.2	6.4%	90b	24.7	1.67%						
	7^{ème}	14	1.8	17.7%	72	4.7	18.7%	83	13.8	6.2%	50	21.2	1.46%						
	8^{ème}	75	3.1	15.6%	41	4.7	16.4%	77	9.5	5.5%	38b	16.1	1.26%						
	9^{ème}	92	2.8	14.0%	81	6.9	10.2%	35	10.0	5.2%	6	19.7	0.88%						
	10^{ème}	30	2.5	13.7%	66	7.0	9.2%	89	8.2	2.4%	84b	21.3	0.61%						
Valeurs adoptées			3.1	39.4%		6.5	27.1%		10.6	24.1%		19.1	4.05%		34.0	2.95%		50.0	2.12%