



HAL
open science

Comparaison des dynamiques hydro-sédimentaires pour une grande diversité de bassins versants

Fabien Sève

► To cite this version:

Fabien Sève. Comparaison des dynamiques hydro-sédimentaires pour une grande diversité de bassins versants. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. <dumas-03605533>

HAL Id: dumas-03605533

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03605533v1>

Submitted on 11 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Comparaison des dynamiques hydro-sédimentaires pour une grande diversité de bassins versants

Institut des Géosciences de l'Environnement – Grenoble



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur ENGEES

SEVE Fabien – Promotion Liège

Stage réalisé en 2021

Encadrants : Cédric Legoût, Caroline Le Bouteiller, Guillaume Nord

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Cédric Legoût, mon tuteur principal au cours de ce stage de fin d'étude. Malgré la période difficile, les échanges ont été nombreux, très enrichissants et toujours dans la bonne humeur. Je remercie également Caroline Le Bouteiller et Guillaume Nord, qui ont également apporté leurs conseils pour ce travail. Tous les trois ont pu, au cours des nombreuses réunions, me transmettre leurs connaissances et compétences scientifiques en hydrologie, morphodynamique, transport des sédiments ainsi que pour la méthode de rédaction d'un document scientifique.

J'aimerais remercier l'IGE pour m'avoir accueilli à Grenoble dans de bonnes conditions et avoir permis un bon déroulement de mon stage. Merci également aux doctorants et aux stagiaires sur place pour les échanges partagés.

Un grand merci à l'infrastructure de recherche OZCAR pour le financement de mon stage et aux nombreux responsables de sites que j'ai pu rencontrer par visio-conférence. Sans leurs apports, la qualité des résultats n'aurait pas été la même. Votre disponibilité ainsi que votre gentillesse à mon égard fu très appréciable durant cette période.

Finalement je remercie également Gilles Rixhon pour avoir accepté d'être mon tuteur ENGEES.

Résumé

Les signatures temporelles hydro-sédimentaires de 22 bassins versants contrastés localisés en France et à l'étranger ont été comparées. L'ensemble de sites présente des climats variés avec des régions tropicales, océaniques et méditerranéennes ainsi que des reliefs alpins. Les surfaces drainées varient de 0.602 km² à 70 000 km². Les comparaisons ont été effectuées à partir de chroniques de concentrations de matières en suspension (cMES) et de débits liquides (Q) allant de 4 à 20 ans. Les cMES moyennes et les taux d'érosions annuels varient respectivement de 0.01 à 37.11 g/L et de 3 à 10 981 t/an/km². Un jeu d'indicateurs a été constitué incluant la part de sédiments transportés pendant 0.1% du temps (Mt0.1%) et pendant 2% du volume d'eau (Mv2%), la part de volume écoulé pendant 2% du temps (Vt2%), les pourcentages de temps et de volume pour transporter 50% de la masse de sédiments (Ts50% et Vs50%), ainsi que les valeurs de cMES et de débit en dessous desquelles 50% de la masse de sédiments est transportée (MES50% et Q50%).

Les plus forts taux d'érosions annuels correspondent à des bassins méditerranéens (23.7 à 10981.5 t/an/km²) sur lesquels des fortes valeurs de Mt0.1% sont observées (27 à 90%). Les bassins océaniques présentent de très faibles taux d'érosions annuels (3 à 35.6 t/an/km²) et des Mt0.1% faibles (3.5 à 44%). Des relations entre les distributions temporelles des sédiments et les caractéristiques de chaque site sont finalement présentées. Les tailles de bassins importantes, supérieures à 100 km², sont corrélées avec des fortes valeurs de débit moyen (7.4 à 568.8 m³/s) et de faibles Mt0.1% et Vt2% allant respectivement de 3.5 à 31.8% et de 5.3 à 23.7%. Afin d'étudier la provenance des sources de sédiments, les phénomènes d'hystérésis entre débit et CMES ont été analysés à l'échelle événementielle. Les indices d'hystérésis indiquent une dominance des passages du pic de MES en avance par rapport au pic de débit pour les petits bassins (HI_{MS} moyen de 0.15 pour les versants inférieurs à 100 km² et de -0.02 pour les versants supérieurs à 100 km²).

Mots clés : Erosion, transport sédimentaire, matières en suspension, dynamique temporelle, bassins versants.

Abstract

The temporal hydro sedimentary signatures are studied at 22 catchments coming from France and the world. The dataset presents a climate diversity with tropical, oceanic and Mediterranean sites but also marked relief with alpine sites. Basin surface ranges from 0.602 km² to 70 000 km². OZCAR infrastructure enables to have access to Suspended Sediment Concentration (SSC) and water flow (Q) chronicles for period ranges from 4 to 20 years. Mean SSC values and Suspended Sediment Yield (SSY) ranges from 0.01 to 37.11 g/L and from 3.0 to 10 981.5 t/yr/km², respectively. A data set of indicators is obtained with the percentage of sediment flux discharged in 0.1% of time (Mt0.1%) and in 2% of water volume (Mv2%), the percentage of water volume discharged in 2% of time (Vt2%), the percentage of time and water volume necessary to carry 50% of the sediment flux (Ts50% et Vs50%), the SSC and Q value necessary to carry 50% of the sediment flux (MES50% et Q50%).

Higher SSY correspond to Mediterranean basins (23.7 to 10981.5 t/an/km²) on which high Mt0.1% are observed (27 to 90%). On the contrary SSY oceanic basins ranges from 3 to 35.6 t/yr/km² and low Mt0.1% (3.5 to 44%). Finally, temporal hydro sedimentary distributions are linked to some site characteristics. The important basin areas, higher than 100km², are correlated with high mean water flow ranges from 7.4 to 568.8 m³/s and low Mt0.1% and Vt2% ranges from 3.5 to 31.8% and from 5.3 to 23.7%, respectively. In order to study the sediment sources, hysteresis loops are developed at event scale. For basin smaller than 100km², hysteretic indicator reveals early passage for SSC peak comparing to Q peak with mean value of 0.15 whereas for basin larger than 100km², the mean HI_{MS} value is -0.02.

Keywords: Erosion, sedimentary transport, suspended sediment, temporal dynamic, watersheds.

Sommaire

REMERCIEMENTS.....	3
RESUME.....	5
ABSTRACT	5
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	8
LISTE DES TABLEAUX.....	8
LISTE DES FIGURES.....	9
I. INTRODUCTION	11
II. METHODES.....	13
II.1) Données de l'étude	13
II.1) a) Présentation des sites.....	13
II.1) b) Les chroniques de concentration en MES	16
II.1) c) Pré-traitement des données.....	16
II.2) Les courbes de distribution des flux cumulés	17
II.2) a) Les différentes représentations et les indicateurs hydro-sédimentaires associés.....	17
II.2) b) Sensibilité des courbes de distribution des flux au pas de temps de calcul pour l'ensemble des 18 sites avec des chroniques à haute fréquence de mesure	19
II.3) Les phénomènes d'hystérésis.....	20
II.4) Les caractéristiques de sites	20
II.5) L'analyse statistique : corrélation et régression	21
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	23
III.1) Les jeux de données obtenus pour chaque site	23
III.1) a) Les chroniques de cMES et de débit.....	23
III.1) b) Les caractéristiques de sites.....	25
III.2) La distribution temporelle du flux et les indicateurs hydro-sédimentaires dérivés	25
III.2) a) Analyse inter-sites pour les 18 chroniques à haute fréquence de mesure	25
III.2) a)i) Comparaison des courbes.....	25
III.2) a)ii) Résultats de l'analyse de sensibilité des courbes de distribution selon le pas de temps	27
III.2) b) Analyse inter-sites des courbes de distribution du flux au pas de temps journalier pour l'ensemble des 22 sites	29
III.3) Les indicateurs d'hystérésis pour les 18 sites avec des chroniques à haute fréquence de mesure	31
III.4) Analyse statistique entre les indicateurs hydro-sédimentaires tirés des courbes, les indicateurs hydrologiques et les caractéristiques de sites	33
III.4) a) Matrice de corrélation.....	33
III.4) b) Analyse en Composantes Principales entre les indicateurs dérivés des courbes et les caractéristiques de sites.....	34
III.4) c) Modèles de prédiction d'indicateurs hydro sédimentaires.....	39
IV. CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE.....	42
ANNEXES	45
Annexe 1 : Construction des courbes de distribution.....	45
Annexe 2 : Calcul de l'indicateur d'hystérésis HI_{MS}	46
Annexe 3 : Courbe de distribution du flux en fonction de la cMES et du débit, normalisés par le maximum.....	47
Annexe 4 : Jeu d'indicateurs obtenu au pas de temps de référence.....	48
Annexe 5 : Analyse de sensibilité selon la courbe de calibration cMES-Turbidité.....	49
Annexe 6 : Jeu d'indicateurs obtenu au pas de temps journalier.....	51
Annexe 7 : Carte d'identité de chaque bassin versant	53

Liste des sigles et abréviations

AgrHys : Agro Hydro-systèmes

HYBAM : HYdro-géochimie du Bassin Amazonien

OMERE : Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau

OHMCV : Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen Cévennes-Vivarais

OSR : Observatoire des Sédiments du Rhône

OZCAR : Observatoires de la Zone Critique : Applications et Recherche

RZA : Réseau des Zones Ateliers

cMES : concentration de Matières en Suspension

BV(s): Bassin(s) versant(s)

ACP : Analyse en Composantes Principales

PLSR : Partial Least Squares Regression

Liste des tableaux

Tableau 1 : Présentation des 22 sites et de leurs données de débit et de concentration en MES.....	14
Tableau 2 : Les indicateurs hydro-sédimentaires tirés des courbes	19
Tableau 3 : Résumé des chroniques construites avec les moyennes de débit spécifique ainsi que la production sédimentaire annuelle moyenne.....	23
Tableau 4 : Caractéristiques générale, géologiques, climatiques et d'occupation du sol de chacun des sites.....	26
Tableau 5 : Comparaison des pourcentages de temps nécessaires pour transporter 50% des sédiments	39
Tableau 6 : Valeur de R ² et variance expliquée de la valeur à prédire pour chaque modèle	39

Liste des figures

Figure 1: Localisation des 22 sites du travail dans le Monde et en France.....	15
Figure 2: a. Courbe de distribution du flux en fonction du pourcentage de temps. b. Courbe de distribution du flux en fonction du pourcentage du volume d'eau écoulé. c. Courbe de distribution du flux en fonction de la cMES. d. Courbe de distribution du flux en fonction de la cMES normalisée.	18
Figure 3: Représentation des boxplots de cMES (en g/l) et de débit (en m ³ /s) pour chacune des chroniques obtenues avec les pas de temps de référence indiqués en couleur	24

Figure 4 : a. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de temps pour les 18 sites ; b. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES pour les 18 sites; c. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de temps pour le Laval avec différents pas de temps ; d. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES pour le Laval avec différents pas de temps ; e. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de temps pour l’Arc avec différents pas de temps ; f. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES pour l’Arc avec différents pas de temps 28

Figure 5 : Evolution des erreurs relatives (%) de chaque indicateur par rapport au pas de temps 1min selon les pas de temps 29

Figure 6: a. Valeur de l’indicateur MES90% pour chacun des sites aux différents pas de temps (fin et journalier). b. Valeur de l’indicateur q10% pour chacun des sites aux différents pas de temps (fin et journalier). Classement par ordre décroissant de ces valeurs sur l’ensemble des sites pour les deux pas de temps² 30

Figure 7: a. Courbe de distribution du flux cumulé journalier en fonction du pourcentage de temps ; b. Courbe de distribution du volume d’eau cumulé journalier en fonction du pourcentage de temps ; c. Courbe de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de volume d’eau ; d. Courbe de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES journalière 31

Figure 8: Valeur du HIMS pour chacun des sites classés selon la surface drainée croissante, insertion de la barre d’erreur pour la variabilité saisonnière correspondant à l’indicateur « amplitude ». Code couleur dépendant de la production sédimentaire annuelle (SSY) 32

Figure 9: Valeur du HIMS saisonnier pour chaque site avec le nombre d’événements sélectionnés lors de chaque saison indiqué en rouge..... 33

Figure 10: Matrice de corrélation à partir des 18 sites pour les indicateurs hydro-sédimentaires et hydrologiques obtenus à partir des courbes de distribution (pour 1,2 et 5), de l’étude d’hystérésis (pour 3) et des chroniques brutes (pour 4 et 5). (se référer au tableau 2 pour la définition de chaque indicateur et à l’annexe 1 pour la construction des courbes..... 34

Figure 11: Tracé des relations deux à deux entre indicateurs pour les corrélations les plus fortes avec la représentation des nuages de points dans l’angle inférieur gauche et des coefficients de Pearson dans l’angle droit supérieur. Les coefficients de Pearson supérieurs à 0.70 sont encadrés 35

Figure 12: ACP représentée par des biplots et colorée selon les catégories de climat. a. Représentation des 18 sites (points) en fonction des indicateurs du groupe A (flèches) 1. b. Représentation des 18 sites en fonction des groupes A et B 2. c. Représentation des 19 sites (sans HYBAM) au pas de temps journalier en fonction des groupes A et B. d. Représentation des 22 sites au pas de temps journalier en fonction des groupes A et B 38

Figure 13 : Nuage de points du modèle de prédiction construit à partir des caractéristiques de sites et des variables hydrologiques représentant les valeurs prédites en fonction des valeurs mesurées. a. Modèle pour HIMS avec 1 composante (18 sites). b. Modèle pour Mt0.1% avec 3 composantes (18 sites). c. Modèle pour log(SSY) avec 3 composantes (22 sites). d. Modèle pour Ts50% avec 3 composantes (22 sites) 40

I. Introduction

Le transport des matériaux solides au sein des cours d'eau présente une variabilité temporelle et spatiale importante. Ce transport peut être divisé en deux catégories, les matériaux grossiers qui constituent le charriage et les sédiments plus fins appelés les matières en suspension. La connaissance de la variabilité de ces modes de transport est importante pour comprendre les trajectoires d'évolution des caractéristiques des cours d'eau dans un contexte de changement global et atteindre les divers objectifs de bon état et de bon fonctionnement des cours d'eau par le biais de gestions adaptées. Le transport de sédiments grossiers possède un rôle majeur dans l'évolution morphologique des cours d'eau lors des plus grosses crues appelées morphogènes. Pour parvenir à une morphologie naturelle bénéfique à tous, il est important de comprendre comment le transport de sédiments est distribué dans le temps. En ce qui concerne l'Homme et les zones qu'il occupe, le transport sédimentaire peut parfois devenir une source de danger lors de fortes crues. Sa connaissance peut donc permettre de protéger certaines zones mais aussi de prévenir les dégâts en limitant les zones de constructions. D'un point de vue écologique, le transport et le dépôt de toute la gamme des sédiments présents génèrent une diversité de substrat des cours d'eau bénéfique à la biodiversité. Cependant les cours d'eau peuvent subir un colmatage du fond par des sédiments fins avec des répercussions négatives sur la vie benthique du milieu. Le transfert de particules fines en suspension est finalement un vecteur important pour le transport de nutriments, de contaminants et de pathogènes qui peuvent avoir des atteintes négatives à la vie humaine. De nombreux projets de restauration sont aujourd'hui développés notamment pour répondre à ces contraintes sédimentaires. Les études scientifiques sur le transport sédimentaire réalisées en amont, comme celles de Arnaud et al. (2015), sont indispensables à la réussite de ces projets. Compte tenu des enjeux à la fois quantitatifs (e.g. turbidité, envasement, colmatage) et qualitatifs (i.e. transfert de nutriments et de contaminants) associés aux fines particules, ce travail se focalise exclusivement sur les transferts des matières en suspension (MES) dans les bassins versants.

Plusieurs travaux ont participé à l'amélioration des connaissances sur les sources et les modes de transfert des particules fine. Ainsi Cerdan et al. (2010) ont cherché à lier la variabilité spatiale des taux d'érosion sur des bassins versants européens à des caractéristiques de sites. La géologie, l'usage des sols et la topographie se révèlent avoir une grande influence sur les taux d'érosion des versants. Vanmaercke et al. (2011) et Milliman et Syvitski (1992) soulignent la dépendance des flux de matières en suspension (Suspended Sediment Yield, SSY) à la catégorie de climat des hydro-systèmes et à l'aire des bassins. Selon Milliman et Syvitski (1992), une topographie montagneuse est source de taux d'érosion importants sur les versants à l'inverse des topographies de plaines, et pour des topographies similaires, la production sédimentaire augmente avec la surface du bassin. Cependant la variabilité des flux de MES reste importante et difficile à expliquer avec les seules caractéristiques de pente et de surfaces. Des études ayant pour objectif de prédire la variabilité spatiale de ces flux de sédiments ont donc été réalisées en prenant en compte une plus grande diversité de facteurs explicatifs (De Vente et al., 2011).

Très peu d'études se sont en revanche intéressées à identifier les facteurs de contrôle et prédire la variabilité temporelle des flux hydro-sédimentaires en suspension pour un ensemble de sites diversifiés. Une première raison est que la valeur de la concentration de matière en suspension (cMES) d'un cours d'eau est difficile à mesurer de façon continue pour une grande diversité de régimes hydro-sédimentaires. Une seconde raison est la grande variabilité temporelle des flux de matières en suspension d'un régime hydrologique à l'autre. Pourtant Vercauteren et al. (2017) a démontré que l'évolution de la relation entre le débit et la cMES au cours du temps peut avoir un rôle majeur dans l'explication des processus hydro-sédimentaires et par la suite dans les démarches environnementales

à mettre en place. D'autres études ont souligné l'importance d'événements rares dans le transport sédimentaire annuel (Navratil et al., 2012) et donc la concentration de flux importants sur de très courtes périodes.

L'objectif de mon travail a donc été de i) définir et calculer différentes grandeurs caractérisant les signatures temporelles d'export de MES de différents bassins versants contrastés, ii) de comparer ces différentes signatures entre les différents sites, iii) d'analyser les relations entre ces signatures temporelles sédimentaires et les caractéristiques des sites (e.g. géomorphologiques, climatiques, anthropiques) et iv) tester des premières approches de prédiction de certaines signatures temporelles hydro-sédimentaire à partir des descripteurs de sites et hydrologiques. Pour réaliser ce travail, la première étape est la construction de jeux de données de débit et de concentration en MES de bonne qualité à haute fréquence pour le plus grand nombre de sites possible. Grâce aux infrastructures de recherches (IR) nationales OZCAR (Observatoires de la Zone Critique, Applications, Recherches ; Gaillardet et al., 2018) et RZA (Réseau des Zones Ateliers), le travail de comparaison des dynamiques temporelles de matières en suspension (MES) a pu être réalisé pour 22 sites. Mon travail s'est inscrit dans la suite du stage de fin d'études d'Atiyeh Hosseinzadeh en 2020, également financé par l'IR OZCAR, qui avait permis de disposer de plusieurs jeux de données déjà exploitables. L'analyse des signatures temporelles sédimentaires est réalisée sur la base de courbes de distribution des flux cumulés de MES en fonction de divers paramètres ainsi que sur la base d'indices d'hystérésis événementiels entre débit liquides et cMES. Les indicateurs hydro-sédimentaires obtenus à la suite de cette analyse sont ensuite reliés aux caractéristiques des sites.

II. Méthodes

II.1) Données de l'étude

II.1) a) Présentation des sites

Les sites regroupés pour ce travail présentent une grande diversité de climats et de régimes hydrologiques. Au total 22 sites sont sélectionnés pour l'inter-comparaison des flux solides avec une majorité de sites français (tableau 1, figure 1). La taille des bassins varie de 0.602 km² pour le site de Houay Pano au Laos à 70 000 km² concernant le site Rurrenabaque, sur un affluent de l'Amazone.

Les climats océaniques sont étudiés par le biais de 9 sites français. Parmi ceux-ci, l'observatoire AgrHys gère le site de Kervidy-Naizin situé en Bretagne dans une zone d'élevage intensif et sur une surface de 4.9 km² (Fovet et al., 2018). L'écoulement est intermittent avec une période sans eau durant l'été. A proximité de Tours, un observatoire étudie des écoulements affluents de l'étang du Louroux lui-même affluent de la Loire, les 4 bassins versants (BV) drainent des surfaces variant de 2 à 6 km². Deux d'entre eux (Beaulieu et la Conteraye) ne sont plus en eau durant la période estivale (Grangeon et al., 2017). Le site d'Auradé est un bassin versant agricole d'Occitanie mesurant 3.2 km² et qui présente majoritairement des surfaces cultivées (Ponnou-Delaffon et al., 2020). Le cours d'eau Sélune, qui se jette dans la baie du Mont Saint-Michel, est suivi via deux stations différentes. La station Virey, à l'amont, draine un BV de 629 km². La station Signy, à l'aval, draine un BV de 777 km². Entre les deux stations, deux barrages sont construits sur le cours d'eau et influencent donc le transport sédimentaire (Fovet et al., 2020).

Les climats méditerranéens sont étudiés par le biais de 5 sites. Deux de ces sites appartiennent à l'observatoire de Draix Bléone situé dans les Alpes de Hautes-Provence : Le Galabre avec une taille de bassin de 20 km² (Legoût et al., 2021) et le Laval avec une surface de 0.86 km² (Mathys et al., 2003). La zone étudiée présente des pentes fortes et des zones de badlands très propices à l'érosion. Un fonctionnement hydro-sédimentaire similaire est étudié par le biais du site de Kamech situé en Tunisie présentant une taille de 1.75 km², et géré par OMERE (Molénat et al., 2018). Un autre bassin versant de type méditerranéen, géré par l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR), est situé sur l'Ardèche à Saint Martin d'Ardèche avec une taille de 2 240 km². Enfin, le bassin de la Claduègne de l'Observatoire Hydro Météorologique Cévennes Vivarais (OHMCV ; Nord et al., 2017) avec une taille de 42 km² est un sous bassin de l'Ardèche. Ces deux derniers bassins permettent d'observer de manière emboîtée les comportements sédimentaires influencés par des épisodes cévenols.

Les climats tropicaux sont étudiés par le biais de 4 sites. Parmi eux 3 sites sont gérés par l'observatoire HYBAM et sont situés en Bolivie, en Equateur et au Pérou. Ces trois bassins andins sont des affluents de l'Amazone. Leur taille est importante variant de 12 400 km² à 70 000 km². En allant du nord avec le site de Francisco de Orellana au sud avec le site de Rurrenabaque, les précipitations annuelles baissent alors que la saisonnalité des événements augmente. Ainsi 3 types de régimes hydrologiques amazoniens caractéristiques sont étudiés (Moquet et al., 2011). Par opposition, le site de Houay Pano au Laos de l'observatoire M-TROPICS permet d'étudier la temporalité des flux de MES en zone intertropicale sur un bassin de très petite taille (0.602 km²) fonctionnant avec les périodes de mousson (Boithias et al., 2021a).

Les climats montagneux sont étudiés par le biais de 5 sites. L'observatoire OSR suit le bassin versant du Fier d'une taille de 1379 km² ainsi que celui de l'Arve d'une taille de 2060 km² au niveau de leur confluence avec le Rhône (OSR Suivi réseau, Pon ; Dabrin et al., 2021). Le bassin du Rhône est étudié grâce à la station de Jons avant les confluences avec la Saône et l'Ain. La surface drainée est de 20 058 km² (OSR Suivi réseau, 2020; Dabrin et al., 2021). Pour finir l'Isère ainsi que l'Arc, un de ses affluents rive gauche, respectivement de taille 5 570 km² et 1 500 km², sont étudiés (Thollet et al., 2021).

Tableau 1: Présentation des 22 sites et de leurs données de débit et de concentration en MES

Observatoire	Site (rivière)	Latitude	Longitude	Pays (département)	Surface (km ²)	Type de climat	Années retenues	Pas de temps (min)
AgrHys	Kervidy (Coët-Dan)	48,005	-2,816	France (56)	4,9	Océanique	2007 + 2011 + 2013 + 2015 +2016	10
Arc Isere	Arc à Pontamafrey	45,313	6,334	France (73)	1 500	Montagneux	2011 + 2014 + 2015 + 2017 à 2019	60
	Grenoble Campus (Isère)	45,195	5,761	France (38)	5 570	Montagneux	03/2006 à 12/2014 + 2017	60
	Aurade (Montoussé)	43,554	1,070	France (32)	3,2	Océanique	01/2005 à 12/2018	1 440
Draix Bleone	Galabre	44,167	6,219	France (04)	20	Méditerranéen	10/2007 à 12/2014	10
	Laval	44,141	6,361	France (04)	0,86	Méditerranéen	2004 à 2012 + 2014 à 2019	15
HYBAM	Chazuta (Huallaga)	-6,570	-76,119	Perou	69 000	Tropical	06/04/2005 à 09/02/2014	1 440
	Francisco de Orellana (Napo)	-0,474	-76,978	Equateur	12 400	Tropical	2001+ 2003 à 2005 + 2007 à 2011 + 2016 à 04/2018	1 440
	Rurrenabaque (Beni)	-14,441	-67,534	Bolivie	70 000	Tropical	1998 à 09/2016 (suppression 2001 et 2002)	1 440
Louroux	Beaulieu (Louroux)	47,156	0,770	France (37)	5,91	Océanique	24/01/2014 à 31/08/2019	15
	Conteraye (Louroux)	47,152	0,761	France (37)	2,03	Océanique	12/04/2014 à 31/08/2019	15
	Grand Bray (Louroux)	47,140	0,768	France (37)	5,04	Océanique	17/10/2015 à 31/08/2019	15
	Masniers (Louroux)	47,143	0,775	France (37)	1,96	Océanique	20/09/2013 à 31/08/2019	15
M-Tropics	HouayPano	19,852	102,169	Laos	0,602	Tropical	2011 à 2018	15
OHMCV	Claduegne	44,562	4,479	France (07)	42	Méditerranéen	année entière :2012 à 2019 (2013 supprimée)	10
OMERE	Kamech	36,875	10,876	Tunisie	1,75	Méditerranéen	9/2016 à 9/2020	5
OSR	Ardèche à St Martin	44,301	4,567	France (07)	2 240	Montagneux	01/2016 à fin 2020	60
	Arve à Genève	46,193	6,140	Suisse	2 060	Montagneux	03/2012 à 10/2020	60
	Fier à Motz	45,931	5,841	France (73)	1 379	Montagneux	04/2014 à fin 2019	60
	Rhône à Jons	45,814	5,079	France (69)	20 058	Océanique	2000 à 2018	60
Selune	Signy (Selune)	48,596	-1,294	France (50)	777	Océanique	01/2015 à 03/21	60
	Virey (Selune)	48,562	-1,145	France (50)	629	Océanique	01/2015 à 03/21	60

Comparaison des dynamiques hydro-sédimentaires pour une grande diversité de bassins versants



Figure 1 : Localisation des 22 sites du travail dans le Monde et en France

II.1) b) Les chroniques de concentration en MES

Les valeurs de flux solides, exprimées en kg/s, sont obtenues par le produit du débit liquide instantané et de la concentration de MES instantanées (cMES). Il faut donc disposer en entrée de chroniques de cMES et de débit continues pour pouvoir calculer le flux solide à chaque pas de temps.

La chronique de cMES continue est généralement obtenue indirectement par le biais de la turbidité qui indique le caractère trouble de l'eau. Ainsi sur les 22 sites de cette étude, 17 disposent de turbidimètres. En combinant les mesures en continu de turbidité à des mesures ponctuelles de cMES par pesée et séchage sur des échantillons collectés manuellement ou automatiquement, une courbe de calibration entre la cMES et la turbidité est obtenue pour chaque site d'étude disposant d'un turbidimètre. L'équation qui en découle permet de construire une chronique de cMES continue à partir des mesures continues de la turbidité. Pour les autres sites, seules des mesures de MES faites sur prélèvements sont disponibles. Les bassins amazoniens par exemple ont des cycles hydrologiques particuliers avec une longue phase de montée des eaux durant une partie de l'année puis de redescende du débit sur la deuxième période. Ces bassins versants sont de très grandes tailles et présentent donc des variabilités temporelles à basse fréquence. Ainsi sur ces sites, des chroniques continues de turbidité à haute fréquence n'apporteraient pas d'information supplémentaire, les chroniques viennent donc de mesures ponctuelles de cMES réalisées environ une fois par jour.

II.1) c) Pré-traitement des données

Une fois les jeux de données récupérés, un travail d'évaluation des données a permis de sélectionner les sites avec les chroniques de débit et de cMES les plus complètes et à des fréquences permettant de capturer la variabilité temporelle de ces variables. Tout d'abord l'analyse de chaque chronique a permis de relever les périodes sans valeur de débit ou de cMES, appelées lacunes. Dans certains cas, ces lacunes duraient moins d'une journée. Ainsi un comblement des données manquantes a été fait par interpolation linéaire. Parfois la durée de ces périodes était certes plus importante mais les lacunes étaient relevées durant une période sans crue et par conséquent avec des valeurs de cMES faibles, voire sans eau pour certains sites. Après discussion avec les responsables de site pour s'assurer de l'influence négligeable de cette période, les valeurs de cMES (parfois de débit) manquantes ont été remplacées par 0 g/l (0 m³/s). Enfin, dans le cas où les lacunes sont relevées sur des périodes assez longues comptant des périodes de crues importantes, l'année calendaire complète présentant ce manque est supprimée.

Une fois cette première étape de critique des données réalisée, les chroniques comportant moins de 4 années de données ont été supprimées. Ainsi les sites restants présentent des chroniques qui varient de 4 années pour la station Le Grand Bray sur le Louroux à 19 années pour les stations du Rhône à Jons et de Rurrenabaque avec parfois des années qui ne se suivent pas du fait de lacunes trop importantes (tableau 1).

Pour poursuivre le travail d'analyse de distribution temporelle des flux hydro-sédimentaires, il a été décidé de travailler avec des données de débit et de cMES avec un pas de temps fixe. En entrée les chroniques disponibles présentaient soit des pas de temps de mesure fixes ou variables allant d'une minute à plusieurs jours. Une interpolation linéaire a donc été réalisée pour produire des chroniques avec un pas de temps fixe sur 18 sites présentant des fréquences de mesures plus haute qu'une fois par jour. Ce pas de temps fixe a été choisi selon le fonctionnement hydrologique du site après discussion avec le responsable concerné. Les chroniques des bassins de tailles importantes (>100 km²) sont toutes construites avec un pas de temps de 1 heure alors que pour les plus petits bassins le pas de temps fixé varie de 5 à 15 minutes selon le site (tableau 1).

Pour les 3 bassins versants de l'Amazone, des chroniques continues ont été produites au pas de temps journalier en interpolant les courtes périodes sans données. Les données continues sur le site d'Auradé, mesurant le ruisseau du Montoussé, sont aussi au pas de temps journalier du fait du dispositif de mesure mis en place. Deux niveaux d'analyse seront donc présentés par la suite : le premier à « haute fréquence » sur les 18 sites, complété par un second au pas de temps journalier pour permettre une inter-comparaison des 22 sites.

A partir de ces jeux de données continus de débits et de cMES produits, les quantiles 10% et 90% (MESq10 et MESq90) seront relevés pour la suite de l'étude. Un écart entre les quantiles 75% et 25% est aussi calculé (MESq75-25). Pour prendre en compte la variabilité des données de débit et de cMES, des indicateurs développés par Meybeck et al. (2003) sont utilisés (équations 1 et 2). La variabilité de la cMES (MESvar) est calculée comme le rapport entre la moyenne de la cMES pondérée par les débits (Q) et la médiane de la cMES (MESq50). La variabilité du débit est évaluée par le rapport entre le débit moyen (\bar{Q}) et le débit médian (Qq50).

$$MESvar = \frac{\sum(cMES_i) * Q_i}{\sum(Q_i)} / MESq_{50}$$

Equation 1: Calcul de l'indice de variabilité de la cMES

$$Qvar = \bar{Q} / Q_{q50}$$

Equation 2: Calcul de l'indice de variabilité du débit

II.2) Les courbes de distribution des flux cumulés

L'étude de la variabilité temporelle des flux de MES est basée sur le tracé de courbes représentant les flux solides cumulés en fonction d'autres paramètres, tels que le débit instantané ou le pourcentage de temps. Pour le tracé d'une courbe, les données sont classées soit par ordre décroissant, pour mettre en évidence l'importance des valeurs de cMES ou de débits les plus élevées, soit par ordre croissant. Pour chaque site, la masse de MES ayant transitée à chaque pas de temps est calculée permettant ainsi le calcul du cumul de sédiment augmentant à chaque pas de temps de 0 à 100% de la masse totale transportée. L'annexe 1 présente en détail la construction des courbes.

Dans un premier temps, chaque courbe est tracée avec les chroniques construites sur un pas de temps adapté au fonctionnement de 18 sites puis dans un second niveau d'analyse avec l'ensemble des chroniques construites au pas de temps journalier pour 22 sites.

II.2) a) Les différentes représentations et les indicateurs hydro-sédimentaires associés

Une première façon d'observer la distribution des flux est de classer les flux par ordre décroissant puis de calculer le pourcentage du flux solide cumulé ayant transité pendant un temps allant de 0 à 100%. Le graphique de ce cumul de flux pour chaque site en fonction du pourcentage de temps passé permet de comprendre en combien de temps sont transportés les plus forts flux solides (Figure 2a). En classant la chronique selon les débits décroissants, il est aussi possible de tracer la distribution des volumes d'eau cumulés selon le temps et la distribution des flux cumulés selon ces volumes cumulés. Cette dernière représentation met en évidence l'importance ou non des plus forts volumes d'eau dans le transport des sédiments à la station (Figure 2b).

Chaque représentation permet de sortir de multiples indicateurs pour chaque site. Il est possible de rechercher le pourcentage de temps ou de volume nécessaire pour faire transiter un cumul de

sédiments fixé, ou au contraire, fixer un pourcentage de temps ou de volume d'eau et rechercher ensuite le cumul de sédiments transité correspondant (tableau 2).

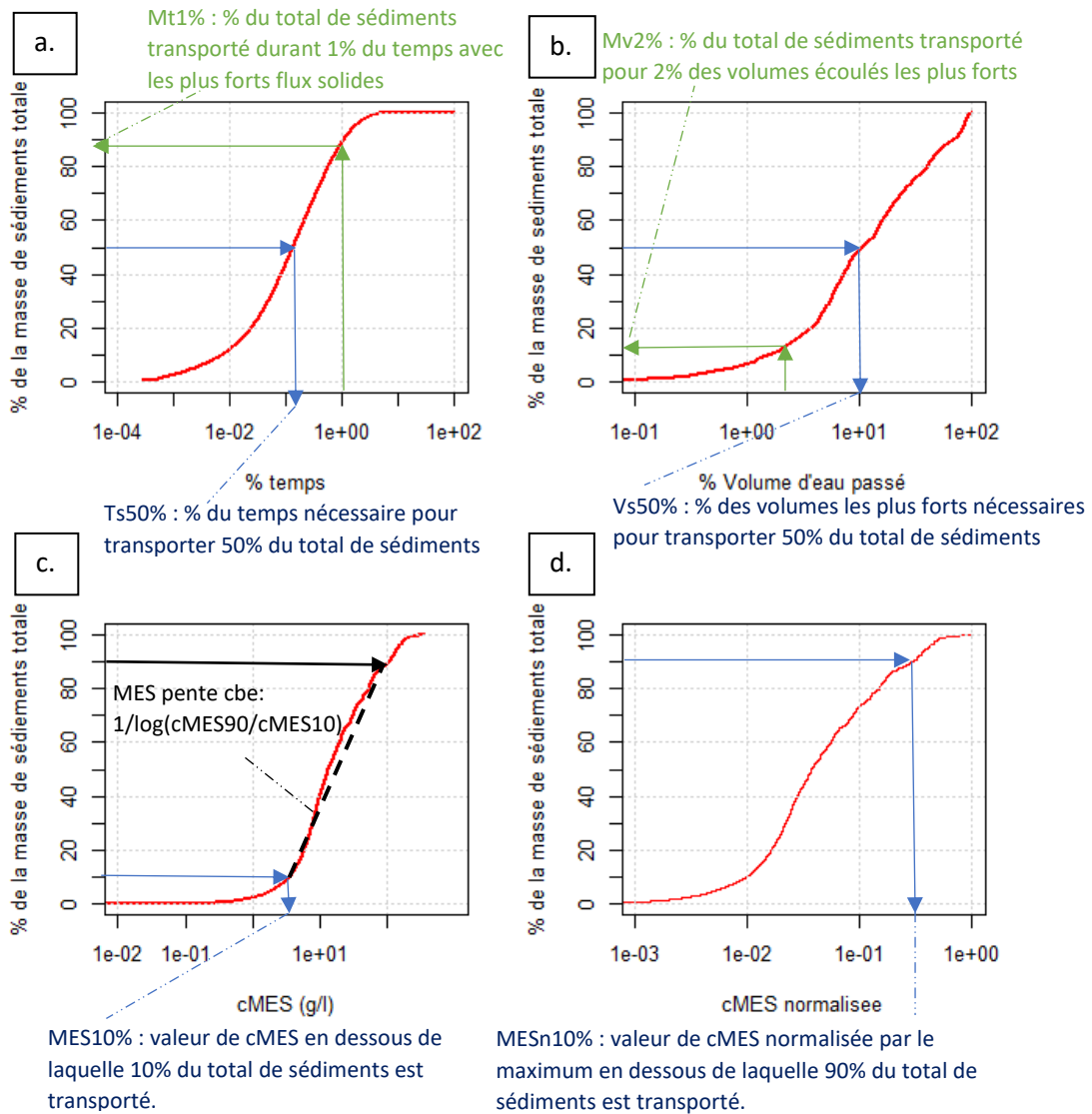


Figure 2: a. Courbe de distribution du flux en fonction du pourcentage de temps. b. Courbe de distribution du flux en fonction du pourcentage du volume d'eau écoulé. c. Courbe de distribution du flux en fonction de la cMES. d. Courbe de distribution du flux en fonction de la cMES normalisée.

Le flux cumulé peut-être tracé en fonction de la cMES instantanée pour comprendre quelles sont les valeurs de concentration qui transportent la majorité du flux (Figure 2c). La courbe peut aussi être tracée en fonction des valeurs de cMES normalisées par la valeur maximum de cMES, ce qui permet d'observer si les gammes de valeurs avec un rôle important sont plus ou moins proches de la concentration maximum (Figure 2d). Le même type de représentations peuvent être tracées en fonction du débit liquide instantané et du flux solide instantané. La taille des bassins versants ayant

une influence très importante sur les gammes de débit des sites, les flux cumulés ont également été représentés en fonction des débits spécifiques ($m^3/s/km^2$) ou des flux solides spécifiques ($kg/s/km^2$).

Tableau 2: Les indicateurs hydro-sédimentaires tirés des courbes

Distribution selon un pourcentage de temps ou de volume				Distributon selon un paramètre instantané			
Courbe	Indicateur	Unité	Signification	Courbe	Indicateur	Unité	Signification
1. Flux cumulé en fonction du % de temps passé (cumul selon les flux décroissants)	TsX%	% de temps	% du temps nécessaire pour transporter X% du flux cumulé	4. Flux cumulé en fonction du débit (flux cumulé selon les débits croissants)	QX%	m^3/s	La valeur de débit en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté
	MtY%	%du flux cumulé	% du flux cumulé transporté pendant X% du temps		QPente		Etendue des valeurs de débit pour le passage de 80% des sédiments intermédiaires
2. Volume cumulé en fonction du % de temps passé (cumul selon les volumes décroissants) Indicateur hydrologique	TvX%	% de temps	% du temps nécessaire pour transiter X% du volume cumulé	5. Flux cumulé en fonction du débit normalisé par le débit maximum	QnX%		La valeur de débit normalisée en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté
	VtY%	%du volume cumulé	% du volume cumulé transité pendant X% du temps	6. Flux cumulé en fonction du débit spécifique	qx%	$m^3/s/km^2$	La valeur de débit spécifique en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté
3. Flux cumulé en fonction du % de volume passé (cumul selon les volumes décroissants)	VsX%	% de volume	% du volume nécessaire pour transporter X% du flux cumulé	7. Flux cumulé en fonction de la cMES (flux cumulé selon les cMES croissantes)	MESX%	g/l	La valeur de cMES en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté
	MvY%	%du flux cumulé	% du flux cumulé transporté pour X% du volume transité		MESPente		Gamme des valeurs de cMES pour le passage de 80% des sédiments intermédiaires
	MvX-Y%	%du flux cumulé	% du flux cumulé transiter pour les volumes compris entre X et Y%	8. Flux cumulé en fonction de la cMES normalisé par le débit maximum	MESnX%		La valeur de cMES normalisée en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté
Courbes 1 & 2	Ts50%/Tv50%	-	Rapport entre les % de temps pour transporter 50% des sédiments et des volumes	9. Flux cumulé en fonction du flux solide (flux cumulé selon les flux croissants)	FX%	kg/s	La valeur de flux en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté
Courbes 1 & 2	Mt2%/Vt2%	-	Rapport entre les %de sédiments et de volumes transportés pendant 2% du temps	10. Flux cumulé en fonction du flux solide spécifique	fx%	$kg/s/km^2$	La valeur de flux spécifique en dessous de laquelle X% du flux de sédiments cumulé est transporté

X% représente un pourcentage fixé à 10, 50 ou 90%. Y% représente un pourcentage de temps fixé à 0.1, 1 ou 2%. X-Y% représente une différence de pourcentages.

A partir de ce type de courbes et en fixant un pourcentage de sédiments transité, il est possible d'obtenir par correspondance, une valeur du paramètre instantané. Les données inférieures à cette valeur transportent le pourcentage de sédiment préalablement fixé alors que les valeurs supérieures participent au transport du pourcentage restant (tableau x). Un indicateur de pente de la courbe est également retenu pour les courbes de distribution en fonction de la cMES et du débit.

II.2) b) Sensibilité des courbes de distribution des flux au pas de temps de calcul pour l'ensemble des 18 sites avec des chroniques à haute fréquence de mesure

L'hétérogénéité des pas de temps des mesures disponibles pour les différents sites peut introduire des biais au niveau de la comparaison de la distribution des flux de MES. Une étude de sensibilité des courbes de flux à ces pas de temps a donc été réalisée afin de définir quels pas de temps retenir (i.e. bruts ou dégradés) et ii) s'assurer que la comparaison des courbes de flux de sites présentant des pas de temps légèrement différents avait du sens. Deux jeux de données contrastés en termes de tailles de bassins et de pas de temps de mesures différents ont été choisis : les sites du Laval (Draix Bléone) et de l'Arc (Arc Isère).

La surface drainée du site Laval est de $0.86 km^2$, ce qui en fait un des plus petits bassins de l'étude et donc un bassin sur lequel des phénomènes très rapides peuvent avoir lieu. Les données brutes étant acquises à des pas de temps plus faibles que la minute, des chroniques de débit et de cMES ont été construites par interpolation linéaire pour des pas de temps fixés à 1 minute, 3, 5, 9, 15, 30, 60 et 1440 minutes (soit 1 jour). Les courbes de distribution du flux ont ensuite été tracées puis comparées entre elles ainsi qu'à celles des autres sites.

Sur les bassins versants de tailles plus importantes, les mesures sont en général réalisées avec des pas de temps plus larges car les phénomènes de montée et de descente des crues sont plus lents. Cependant les jeux de données présentent toujours des pas de temps différents entre eux et il est important de vérifier que cela n'empêche pas de les comparer. Une analyse de sensibilité a donc été réalisée à partir du jeu de données de l'Arc à Pontamafrey représentatif des 8 bassins supérieurs à 100 km². Les chroniques de débit et de cMES sont construites par interpolation linéaire sur des pas de temps de 10, 15, 30, 60, 120 et 1440 minutes (soit 1 jour), puis les courbes de distribution du flux sont tracées.

II.3) Les phénomènes d'hystérésis

Les concentrations en sédiments qui sont mesurées à l'exutoire du bassin peuvent provenir de plusieurs sources dont les contributions peuvent évoluer dans le temps au cours des épisodes pluvieux ou des saisons (Misset et al., 2019 ; Megnounif et al., 2013). Ces sources peuvent être des zones en érosion sur les versants ou directement des stocks présents dans les lits ou les berges de rivières. Ainsi en fonction des zones sollicitées par les précipitations et des configurations géomorphologiques de chaque bassin versant, la relation entre le débit et la cMES peut varier amplement au cours du temps. Pour comprendre cette variabilité, les relations d'hystérésis de cMES en fonction du débit seront étudiées pour les 18 sites présentant une fréquence de mesure au moins horaire. Cette analyse est réalisée à l'échelle événementielle. Les événements de crue sont définis sur la base de seuils sur la cMES et le flux solide. Si la forme de la boucle d'hystérèse est plutôt horaire alors le pic de cMES de l'événement intervient avant le pic de débit et peut s'interpréter comme une contribution de sources proches de l'exutoire. Dans le cas d'une boucle anti-horaire, le pic de débit passe en premier au niveau de la station et peut s'interpréter comme une contribution de sources plus éloignées, pouvant s'exacerber du fait du décalage de propagation de l'onde sédimentaire par rapport à l'onde de débit liquide (Misset et al., 2019 ; Megnounif et al., 2013).

Selon l'approche développée par Misset et al. (2019), les chroniques de chaque site sont découpées en événements avec les pics de débit et de cMES correspondants. Un indice développé par Misset et al. (2019), appelé HI_{MS} (voir annexe 2 pour le calcul du HI_{MS}), sera utilisé pour mettre en valeur le type de boucle pour un ensemble d'événements. Cet indice adimensionnel tend vers +1 lorsque les boucles sont majoritairement de type horaire et vers -1 lorsque la forme est anti-horaire.

Pour la suite de l'étude les valeurs conservées sont un HI_{MS} par site pour l'ensemble des événements et un HI_{MS} par saison calculé sur les événements arrivés durant la saison concernée. Une amplitude saisonnière calculée par la différence entre le HI_{MS} maximum et le HI_{MS} minimum saisonnier est également calculée.

II.4) Les caractéristiques de sites

De nombreux descripteurs du fonctionnement hydro-sédimentaires des bassins versants sont présents dans la littérature. Pour cette étude, une réunion organisée avec tous les responsables de sites a permis de sélectionner une série de variables simples déjà disponibles ou pouvant être obtenues rapidement sur l'ensemble des sites étudiés.

Tout d'abord la surface ainsi que la pente moyenne du bassin versant sont sélectionnées. Cette pente sera calculée via l'indicateur de Melton égal à la différence entre l'altitude maximum et l'altitude à l'exutoire divisée par la racine carrée de la surface du bassin. L'érosion est généralement plus importante sur les surfaces avec de fortes pentes, soit un Melton fort.

Pour étudier l'influence de la géologie, un coefficient d'érodabilité des roches a été construit sur le modèle du coefficient de Probst et Suchet (1992) prenant en compte la lithologie et la pédologie. Les différentes lithologies et formations des sols sont catégorisées selon trois classes d'érosion mécanique (érosion faible, moyenne et forte). Pour chaque site, une surface correspondante à chaque classe est indiquée pour pouvoir calculer une valeur indiquant le potentiel d'érodabilité de chaque bassin versant selon l'équation 3. La susceptibilité à l'érosion (K_{er}) calculée par cette équation est d'autant plus forte qu'elle se rapproche de 100. En complément et pour apporter un regard qualitatif, la catégorie lithologique dominante en termes de surface est relevée.

$$K_{er} = \frac{2 * \%S_{\text{érosion_faible}} + 24 * \%S_{\text{érosion_moyenne}} + 50 * \%S_{\text{érosion_forte}}}{50}$$

Equation 3: Calcul du coefficient d'érodabilité K_{er}

Pour tenter de trouver des relations entre les indicateurs hydro-sédimentaires et le climat, le cumul de précipitation moyenne annuelle de bassin sera pris en compte. Ensuite le caractère saisonnier ou non des événements pluvieux sera relevé via des indicateurs de variabilité (sVC) et d'amplitude des débits moyens mensuels (AQ) développés par Espinoza Villar et al. (2009) et calculés par le biais des équations 4 et 5. Une catégorie du climat sera également notée pour des interprétations qualitatives.

$$sVC = \frac{\sqrt{\frac{\sum(Q_m - \text{moy}(Q_m))^2}{12}}}{\text{moy}(Q_m)}$$

Equation 4: Calcul de la variation de débit mensuel

$$AQ = \frac{\max(Q_m) - \min(Q_m)}{\text{moy}(Q_m)}$$

Equation 5 : Calcul de l'amplitude de débit mensuel

Enfin, l'occupation du sol est décrite via, d'un côté la part des surfaces nues et cultivées et de l'autre la part des surfaces couvertes par des prairies et des forêts ou urbanisées.

II.5) L'analyse statistique : corrélation et régression

La première étape est de produire une matrice de corrélation avec tous les indicateurs hydro-sédimentaires et hydrologiques obtenus à partir des courbes de distribution et de l'analyse d'hystérésis pour tenter d'observer les premiers liens. La mise en relation des paramètres hydro-sédimentaires avec les caractéristiques de sites est réalisée par le biais de deux Analyses en Composantes Principales (ACP). Une première permet de représenter les sites selon leurs indicateurs hydro-sédimentaires et hydrologiques (groupe A). La seconde permet de mettre en relation les variables du groupe A avec les caractéristiques de sites (groupe B). Cette méthode permet de synthétiser les informations apportées par un grand nombre de variables en seulement quelques composantes pour disposer d'une visualisation graphique de la variation des données.

Dans un second temps, la méthode Partial Least Squares Regression (PLSR) sera utilisée pour tester quelques premiers modèles de prédiction pour certaines variables hydro-sédimentaires. Contrairement à la régression linéaire simple, qui nécessite que les variables explicatives soient indépendantes entre elles, cette méthode permet de travailler avec un grand nombre de variables explicatives non indépendantes en appliquant une régression linéaire sur les composantes de l'ACP. La fonction R « pls » sera appliquée sur plusieurs groupes de variables pour étudier quelles sont les

prédictions les plus robustes en prenant 3 composantes maximum en tant que prédicteurs. Les variables qui font l'objet de prédiction sont des variables clés pour caractériser le fonctionnement hydro-sédimentaire d'un site donné sur lequel aucune mesure sédimentaire ne serait disponible. Les variables retenues pour faire l'objet de prédictions sont le SSY (t/an), le HI_{MS} ainsi que l'amplitude saisonnière de HI_{MS} , la part des plus forts flux cumulés qui sont transportés pendant 0.1% du temps ($Mt0.1\%$), la cMES médiane ($MESq50$), le rapport de l'écart inter-quartile à la médiane de cMES ($MES_ecartquartile$), la valeur de cMES en dessous de laquelle 50% des flux cumulés sont transportés ($MES50\%$) et les pourcentages de temps et de volume pour transporter 50% du flux cumulé ($Ts50\%$ et $Vs50\%$). Les distributions des variables SSY, $MES50\%$ et $MESq50$ n'étant pas normales d'après des tests de Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de 0.05, ces variables sont transformées en logarithme pour obtenir des distributions normales de toutes les variables à prédire. Comme les variables prédictives choisies doivent être faciles à calculer pour une grande diversité de sites, des modèles de prédiction ont été construits en prenant comme données prédictives uniquement les caractéristiques de site puis dans un second temps les caractéristiques purement hydrologiques sont ajoutées aux caractéristiques de site. Parmi ces variables, les jeux de données transformés en logarithme sont le Melton, l'aire du bassin, le Q_{moyen} , les quantiles 50 et 90 du débit et le paramètre de variation du débit. Chaque modèle de prédiction sera calibré avec les 18 sites pour travailler à partir des chroniques les plus proches de la réalité. Pour inclure les bassins amazoniens et Auradé, ce travail sera ensuite effectué avec l'ensemble des 22 sites au pas de temps journalier.

III. Résultats et discussions

III.1) Les jeux de données obtenus pour chaque site

III.1) a) Les chroniques de cMES et de débit

La figure 3 montre une grande variabilité hydro-sédimentaire intersites avec des distributions de MES s'étalant sur 5 ordres de grandeurs. Les sites de Draix-Bléone et particulièrement le Laval présentent des gammes de cMES très élevées allant jusqu'à des valeurs extrêmes de 900 g/L. La valeur du taux d'érosion annuel pour le Laval est de 10 981 t/km²/an, soit la plus forte valeur de tous les sites (tableau 3). Des sites de taille similaire comme Houay Pano au Laos et Kamech en Tunisie présentent des valeurs de concentrations et de production sédimentaire également fortes. Les chroniques des sites montagneux de l'Isère, de l'Arc ou encore de l'Arve et du Fier mènent à des gammes de concentrations certes moyennes mais plus fortes que celles des bassins de taille similaire et non montagneux (Sélune, Ardèche). Ainsi ces 4 stations de montagne transportent des cumuls de sédiments variant de 99.4 t/an/km² pour le Fier à 375 t/an/km² pour l'Arc pendant que le Rhône et l'Ardèche transportent respectivement 31.4 et 23.7 t/an/km² de sédiments. Les deux stations de la Sélune sont séparées par deux barrages dont l'impact sur le transport sédimentaire semble important puisque le taux d'érosion annuel varie de 27.1 t/an/km² pour la station amont à 5.96 t/an/km² à l'aval des barrages. Concernant les bassins océaniques de l'Ouest français (Kervidy, Louroux, Auradé), leur petite taille influence les valeurs de débits qui sont parmi les plus faibles (figure 3). Il faut noter que les valeurs de débits spécifiques sont aussi très faibles pour ces sites. Au contraire des autres petits bassins, leurs valeurs de cMES sont également parmi les plus basses. Cet ensemble d'indicateurs mène à des taux d'érosion annuels très faibles (de 3 à 35.6 t/an/km²). Les bassins HYBAM, de tailles plus importantes, sont évidemment régis par des débits très importants mais aussi par des concentrations de MES assez fortes (figure 3). Les concentrations sont plus fortes pour Rurrenabaque, la station la plus au Sud, et plus faibles pour Francisco de Orellana, plus au nord. Les flux solides spécifiques qui en résultent sont forts au regard de leur taille (934 à 2 705 t/km²/an).

Tableau 3: Résumé des chroniques construites avec les moyennes de débit spécifique et la production sédimentaire annuelle moyenne

Observatoire	Site	Débit spécifique moyen (m ³ /s/km ²)	SSY (t/km ² /an)
AgrHys	Kervidy	0,0093	36
Arc Isere	Arc à Pontamafrey	0,0102	375
	Grenoble Campus	0,0291	326
Aurade	Montousse	0,0049	35
Draix Bleone	Galabre	0,0135	644
	Laval	0,0102	10 981
HYBAM	Chazuta	0,0439	934
	Francisco de Orellana	0,1053	1 053
	Rurrenabaque	0,0309	2 705
Louroux	Beaulieu	0,0028	18
	Conteraye	0,0009	3
	Grand Bray	0,0082	18
	Masniers	0,0062	15
M-Tropics	HouayPano	0,0187	721
OHMCV	Claduegne	0,0147	211
OMERE	Kamech	0,0037	1 045
OSR	Ardèche à St Martin	0,0253	24
	Arve à Genève	0,0361	277
	Fier à Motz	0,0241	99
	Rhône à Jons	0,0284	31
Selune	Signy	0,0121	6
	Virey	0,0118	27

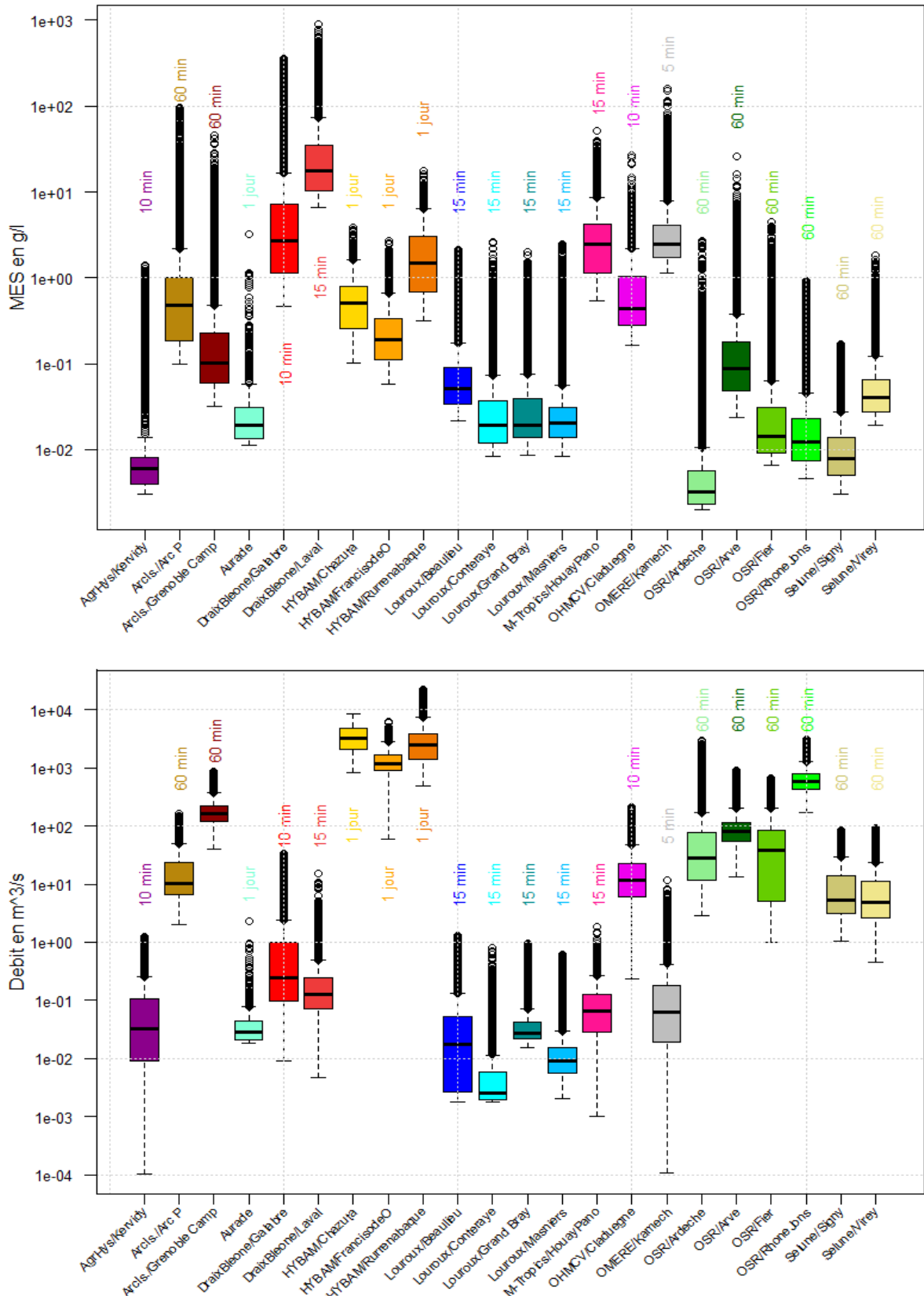


Figure 3: Représentation des boxplots de cMES (en g/l) et de débit (en m³/s) pour chacune des chroniques obtenues avec les pas de temps de référence indiqués en couleur.

Les valeurs transportant moins de 1% du flux cumulé ne sont pas prises en compte. La valeur centrale de la boîte est la médiane, les bords de la boîte sont les 1er et 3eme quartiles et les extrémités des moustaches sont les valeurs extrêmes.

III.1) b) Les caractéristiques de sites

Le tableau 4 présente le jeu de caractéristiques de sites. L'indice de Melton met en évidence des fortes pentes dans les bassins du Laval, de Houay Pano et du Galabre (Melton moyen de 353 m/m, 83 m/m pour l'ensemble des sites). Au contraire les sites océaniques présentent des pentes très faibles (Melton moyen de 12 m/m).

Le coefficient d'érodibilité, informe d'une susceptibilité à l'érosion très forte pour Auradé, le Laval, Kamech ou encore le Rhône (Ker moyen de 95%, 47% pour l'ensemble des sites). Au contraire les sites de Kervidy, et de Sélune présentent des potentiels d'érosion minimum (4%).

Les coefficients de variabilité du débit indiquent que les sites de Kervidy, Louroux, Claduègne, Houay Pano et Kamech ont une variabilité mensuelle importante (sVC moyen de 0.96, 0.67 pour l'ensemble des sites). La tendance inverse est constatée pour l'Isère, l'Ardèche et le Rhône (sVC moyen de 0.33). Les bassins HYBAM présentent un gradient de variabilité croissant allant du nord vers le sud (sVC de 0.25 pour Francisco de Orellana au nord, sVC de 0.68 pour Rurrenabaque au sud). La précipitation annuelle y est au contraire décroissante du nord au sud. Sur l'ensemble des bassins, de plus fortes précipitations annuelles sont observées pour les bassins tropicaux (moyenne de 2015 mm/an, 1173 mm/an pour l'ensemble des sites) et pour les bassins montagneux (moyenne de 1422 mm/an).

Enfin concernant l'occupation des sols, les bassins océaniques du Louroux, de Kervidy et d'Auradé ainsi que ceux de l'Arc, du Laval, de Rurrenabaque et de Kamech ont une majorité de surfaces cultivées ou dénudées. Au contraire, le Galabre, la Claduègne, Houay Pano, l'Isère et les bassins de l'OSR présentent une majorité de surfaces couvertes de prairies ou de forêts.

III.2) La distribution temporelle du flux et les indicateurs hydro-sédimentaires dérivés

III.2) a) Analyse inter-sites pour les 18 chroniques à haute fréquence de mesure

III.2) a)i) Comparaison des courbes

Le tracé des courbes de distribution des flux cumulés permet d'observer la distribution du flux solide selon divers paramètres (figure 4). Le détail des valeurs des indicateurs obtenus est présenté en annexe 4. Les sites de la Claduègne, de Kamech et du Laval font transiter une majorité des flux cumulés en peu de temps (figure 4a). Les valeurs de masse transportée pendant 0.1% du temps sont ainsi élevées (Mt0.1% moyen de 82%, 31.4% pour l'ensemble des sites) et le temps de transport de 50% du flux cumulé est faible (Ts50% moyen de 0.01%, 1.5% pour l'ensemble des sites). Au contraire les sites de la Sélune se caractérisent par les pourcentages de temps les plus élevés pour le transport des sédiments (Ts50% de 6.4% et Mt0.1% de 3.8%). Les bassins de l'Arc, de l'Isère, de l'Arve et du Rhône offrent des courbes similaires entre elles avec des sédiments qui transitent pendant des pourcentages de temps plutôt élevés (Ts50% moyen de 2.6%). La figure 4b, représentant la distribution des flux selon la cMES instantanée, laisse apparaître une corrélation négative entre le pourcentage de temps nécessaire au transport des sédiments et les valeurs cMES. Au sein des bassins qui présentent les plus fortes concentrations en MES, soit le Galabre, Houay Pano, la Claduègne, Kamech et le Laval, la valeur moyenne de cMES au-dessus de laquelle 50% du flux de sédiments transite (MES50%) est de 61.6 g/l, contre une moyenne de 14.5 g/l pour l'ensemble des sites. Sur ces sites, 50% des sédiments sont transportés pendant seulement 0.08% du temps (Ts50%). Au contraire les bassins de Sélune ou de l'OSR, qui exposent une valeur de Ts50% importante de 3.2%, révèlent des MES50% faibles avec une moyenne de 0.3 g/l. Une influence de la taille des surfaces drainées semble se dessiner avec des sédiments qui sont transportés sur des périodes plus courtes pour les petits bassins que pour les grands. Les sites de Kervidy et du Louroux sont des exceptions. Malgré la surface drainée n'excédant pas 6 km², sur ces bassins, le Ts50% est modéré (0.7%) et le MES50% est faible (0.2 g/l).

Comparaison des dynamiques hydro-sédimentaires pour une grande diversité de bassins versants

Tableau 4 : Caractéristiques générales, géologiques, climatiques et d'occupation du sol de chacun des sites

Indicateur :	Aire BV	Indice de Melton	Coefficient d'érodibilité	Cumul de Précipitation moyen annuel	Amplitude des Débits mensuels	Ecart type de Pearson du débit mensuel	Catégorie de climat	%Sols nus & cultivés	% sols couverts	
Symbole & Méthode de calcul :	A, donnée brute	$IM=(h_{max} - h_{min}) / \sqrt{\text{surface BV}}$	$Ker= (2*(\%érod\ faible)+24*(\%érod\ moy)+50*(\%érod\ forte))/50$	$P=\sum(P_{mensuel})$	$AQ=(\max(Q_{mois})-\min(Q_{mois}))/\text{moy}(Q_{mois})$	$sVC=\sum(Q_{mois}-\text{moy}(Q_{mois}))/(\text{moy}(Q_{mois}*12))$	CatC, donnée qualitative brute	%SN	%SC	
Signification :	surface drainée à partir de la station	pende moyenne du bassin	capacité d'érodibilité à partir des %surfaces de lithologie et pédologie	Pluviométrie moyenne de bassin sur les années retenues	Mois avec les deux débits moyen opposés	Variabilité mensuelle des débits	Climat de la zone (4 catégories)	Surfaces exposées à une érosion forte	Surface moins exposées à l'érosion	
Observatoire	Site	km ²	%	mm/an				%Surface	%Surface	
AgrHys	Kervidy	4,9	19	4,0	870	3,11	1,15	Océanique	75	25
Arc Isere	Arc à Ponta.	1500	86	54,5	744	1,84	0,54	Montagneux	63	37
	Grenoble Campus	5570	49	51,8	1529	1,01	0,30	Montagneux	39	61
	Aurade	3,2	54	100,0	598	1,64	0,61	Océanique	92	8
Draix Bleone	Galabre	20	263	58,0	1040	1,62	0,60	Méditerranéen	9	91
	Laval	0,86	433	100,0	920	1,92	0,51	Méditerranéen	68	32
HYBAM	Chazuta	69000	20	6,6	1621	1,39	0,47	Tropical	56	44
	Francisco de Ore.	12400	50	11,9	3496	0,78	0,25	Tropical	46	54
	Rurrenabaque	70000	23	4,0	1406	1,93	0,68	Tropical	67	33
Louroux	Beaulieu	2,03	10	48,0	590	3,56	1,25	Océanique	45	52
	Conteraye	5,91	11	61,2	590	3,71	1,11	Océanique	85	12
	Grand Bray	5,04	14	46,6	696	1,85	0,55	Océanique	88	8
	Masniers	1,96	9	50,8	590	2,26	0,70	Océanique	86	5
M-Tropics	HouayPano	0,602	362	48,0	1538	3,27	1,04	Tropical	38	62
OHMCV	Claduegne	42	97	26,9	972	3,75	0,98	Méditerranéen	12,8	87,2
OMERE	Kamech	1,75	76	92,6	706,7	2,36	0,91	Méditerranéen	75	25
OSR	Ardèche à St Mar.	2240	98	64,6	1649	1,00	0,33	Montagneux	47	53
	Arve à Genève	2060	67	67,5	1586	1,31	0,50	Montagneux	33,3	66,7
	Fier à Motz	1379	35	33,1	1436	2,65	0,70	Méditerranéen	41,8	58,2
	Rhône à Jons	20058	33	86,1	1586	0,51	0,16	Montagneux	37,7	62,3
Selune	Signy	777	12	4,0	820	1,91	0,67	Océanique	43	45
	Virey	629	11	4,0	820	2,02	0,74	Océanique	43	45

La figure 4b permet de mettre en évidence des dynamiques temporelles sédimentaires contrastées et notamment le rôle que peuvent jouer certains épisodes extrêmes. A titre d'exemple, il est possible de mettre en opposition l'Arve et le Galabre, dont les courbes ont une allure horizontale à l'approche des 100% du flux cumulé, avec la Claduègne qui, au contraire, a une tendance verticale sur cette partie. Pour la Claduègne ce phénomène est dû à un seul épisode pluvieux datant de novembre 2014 et ayant généré de très fortes concentrations en cMES et de très forts débits contribuant ainsi à 20% du flux cumulé sur 7 ans. Pour l'Arve, l'aspect horizontal de la courbe est dû à une valeur de cMES beaucoup plus forte que les autres qui fait qu'une faible part du flux cumulé est transporté autour de la valeur maximum de cMES. L'annexe 3 qui présente les courbes de distribution du flux en fonction de la cMES normalisée par le maximum, soutient cette observation puisque la courbe de l'Arve est la plus à gauche. C'est donc le site avec les valeurs de cMES les plus éloignées du maximum. Enfin pour le Galabre, l'allure de la courbe est aussi horizontale mais ceci est dû au fait que les plus fortes valeurs de cMES ne correspondent pas aux plus fortes valeurs de débit et donc de transport de sédiments. Ces fortes valeurs de cMES sont en effet mesurées durant quelques heures au cours d'épisodes estivaux de pluies orageuses.

Ce type de comparaison inter-sites réalisée sur la base de jeux de données à « haute fréquence » permet de mettre en évidence les divers processus qui gouvernent les flux hydro-sédimentaires sur chacun des sites. Le transport sédimentaire est étalé sur de longues périodes pour les bassins versants de grandes tailles ainsi que pour les bassins océaniques de l'ouest français. Au contraire certains bassins présentent des gammes de cMES élevées et donc un transport des flux de sédiments sur de très courtes périodes.

III.2) a)ii) Résultats de l'analyse de sensibilité des courbes de distribution selon le pas de temps

Les comparaisons des signatures hydro-sédimentaires ayant été réalisées sur la base de courbes de distributions des flux de MES calculées à partir de mesures à différents pas de temps selon les sites, la sensibilité de ces courbes et des indicateurs dérivés à ces pas de temps a été analysée. L'observation des courbes du flux cumulées obtenues pour le Laval (figures 4c et 4d) met en évidence des comportements relativement similaires entre les différents pas de temps testés. La position de la courbe du Laval par rapport aux autres courbes reste en effet la même malgré la dégradation de la fréquence de mesure. Les principales différences concernent les courbes aux pas de temps 30 et 60 minutes pour la distribution selon la cMES (figure 4d). Elles sont légèrement décalées vers la gauche et la courbe au pas de temps journalier est significativement décalée des autres. Cela s'explique par le fait que la dégradation du pas de temps a un effet de lissage des pics de cMES. Ces résultats sont en accord avec ceux de la figure 5 où les différences relatives des différents indicateurs du tableau 2 évoluent en fonction de la dégradation du pas de temps. A partir d'un pas de temps plus large que 15 minutes, la différence relative de certains indicateurs devient supérieure à 15% ($T_{s10\%}$, $F_{90\%}$). En considérant que cette analyse menée sur le site du Laval est représentative des bassins versants de petite taille à forte réactivité temporelle, il a été considéré que pour les 10 bassins ayant une aire drainée inférieure à 100 km², l'interpolation des séries temporelles au pas de temps de 15 minutes utilisée pour l'inter-comparaison permettait une bonne représentation de la dynamique temporelle.

L'analyse de sensibilité des courbes au pas de temps réalisée sur un site de plus grande taille, l'Arc à Pontamafrey, montre les mêmes tendances que celles de la figure 5. En effet les courbes tracées pour des pas de temps inférieurs à 60 voire 120 minutes ne présentent que très peu de variabilité. Seule la courbe au pas de temps journalier apparaît significativement décalée par rapport aux autres (figure 4e et 4f). Le pas de temps le plus large acceptable pour des sites de grandes tailles comme l'Arc est le pas de temps horaire. Le fait qu'il n'y ait pas de différences pour les pas de temps infra-horaires

montre que l'ensemble de la variabilité temporelle est capturé au pas de temps horaire pour ces grands bassins et que par conséquent, leur comparaison est pertinente avec les bassins de plus petites tailles décrits au pas de temps de 15 minutes.

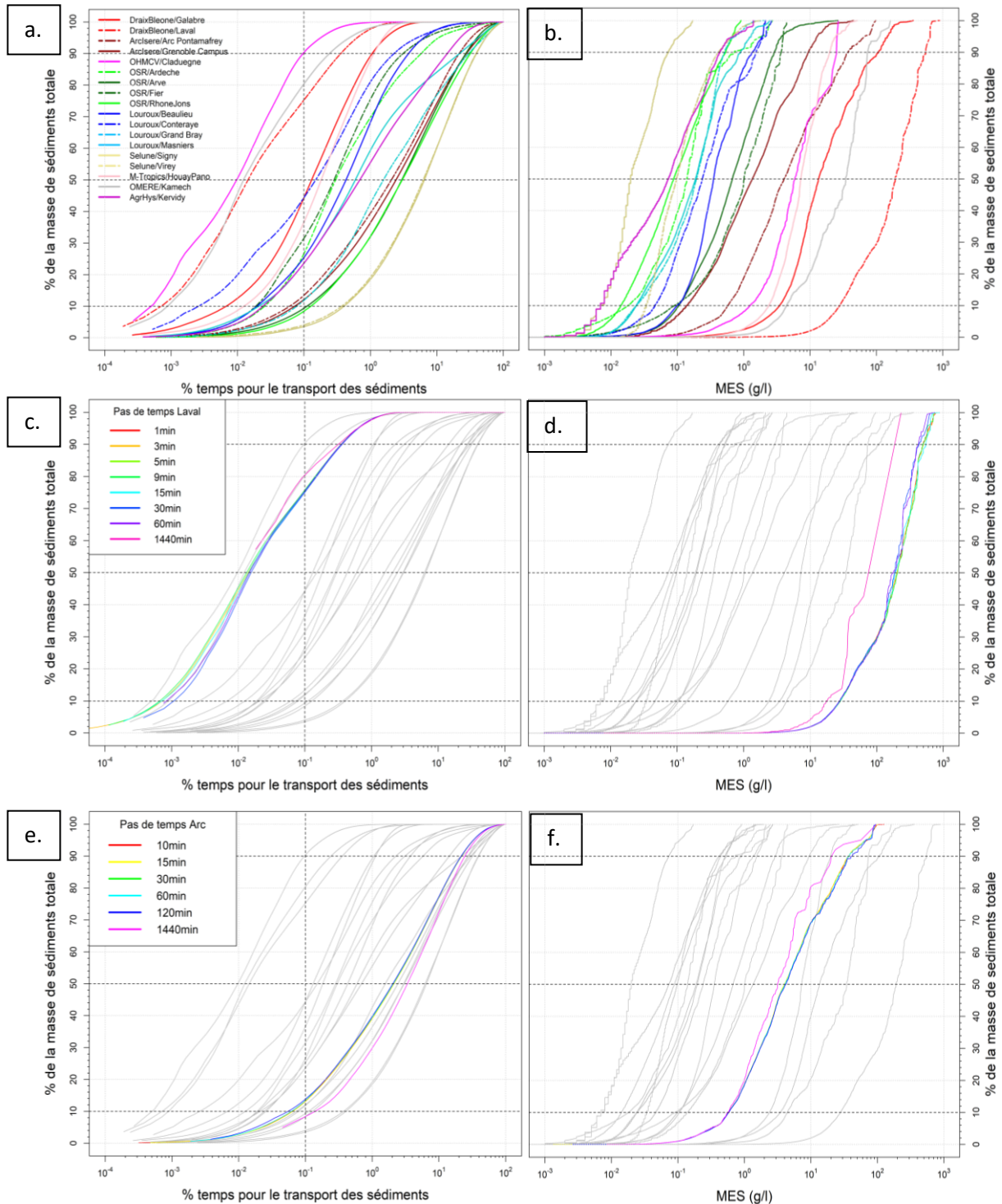


Figure 4: a. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de temps pour les 18 sites ; b. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES pour les 18 sites; c. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de temps pour le Laval avec différents pas de temps ; d. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES pour le Laval avec différents pas de temps ; e. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de temps pour l'Arc avec différents pas de temps ; f. Courbes de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES pour l'Arc avec différents pas de temps.

La production des chroniques de cMES grâce aux courbes de calibration entre la turbidité et la cMES pose également des questions de justesse des données. Une analyse de sensibilité similaire a été réalisée en prenant en compte plusieurs courbes de calibration différentes pour un même site (annexe 5) et permet d'émettre l'hypothèse que cette transformation de la turbidité en cMES est une source importante d'incertitudes au niveau de ce travail.

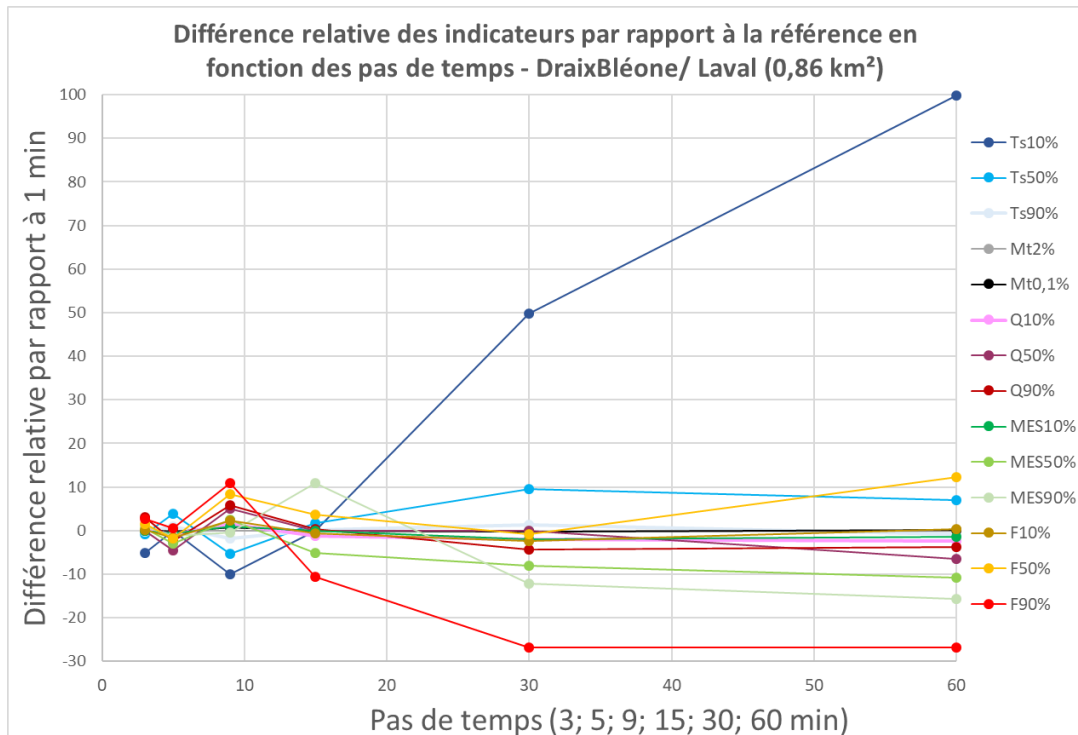


Figure 5: Evolution des erreurs relatives (%) de chaque indicateur par rapport au pas de temps 1min selon les pas de temps

III.2) b) Analyse inter-sites des courbes de distribution du flux au pas de temps journalier pour l'ensemble des 22 sites

Afin d'intégrer au travail d'intercomparaison, les 4 sites présentant uniquement des données journalières, les 18 chroniques analysées dans le paragraphe précédent ont été dégradées au pas de temps journalier. Les figures 4c, 4d, 4e et 4f ont souligné le fait que la dégradation au pas de temps journalier pouvait créer des différences importantes au niveau de l'allure des courbes de flux et donc au niveau des indicateurs temporels dérivés de ces courbes. Cependant, en observant le placement des courbes les unes par rapport aux autres au pas de temps de base puis au pas de temps journalier, il est rassurant de voir que les évolutions sont peu nombreuses. Pour le cas des courbes de distribution en fonction de la cMES, la figure 6a soutient le fait que les différentes courbes restent généralement à la même place entre les deux pas de temps. Pour le cas des courbes de distribution en fonction du débit spécifique, les évolutions de classement sont plus importantes (figure 6b). Cependant les groupes de courbes et conclusions finales restent les mêmes. Ces observations sont aussi faites pour les autres courbes en fonction du débit ou du flux.

Le tracé des courbes de distribution des flux cumulés permet d'observer la distribution du flux solide au pas de temps journalier selon divers paramètres (figure 7), les valeurs des indicateurs obtenus sont présentées dans l'annexe 6. D'après la figure 7a les sites amazoniens ajoutés sont ceux pour lesquels le temps nécessaire au transport des sédiments est le plus élevé (Ts50% moyen de 10.4%, 3.2% pour l'ensemble des sites au pas de temps journalier). Au contraire des relations interprétées précédemment, ces stations ne se distinguent pas par des valeurs de débits spécifiques (q50% moyen

de $0.1 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{s}$, $0.13 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{s}$ pour l'ensemble des sites) ou de cMES (MES50% moyen de 2 g/l , 9.8 g/l pour l'ensemble des sites) particulièrement faibles (figure 7d). Il est possible d'imaginer que les très grandes tailles de ces bassins couplées aux fortes productions sédimentaires annuelles (tableau 3, SSY moyen de $1564 \text{ t}/\text{km}^2/\text{an}$, $992 \text{ t}/\text{km}^2/\text{an}$ pour l'ensemble des sites) requièrent des temps importants pour le transport des sédiments malgré des valeurs de cMES relativement élevées. Les sites d'Auradé et de la Claduègne se remarquent de par leurs temps faibles pour transporter les sédiments (figure 7a, $T_{s50\%}$ moyen de 0.07%) mais également par leur faible part de volume d'eau nécessaire à ce transport (figure 7c, $V_{s50\%}$ moyen de 5.7% , 23% pour l'ensemble des sites). Sur ces deux sites il est possible que seulement quelques-uns des plus forts événements pluvieux jouent un rôle très important dans le transport des sédiments.

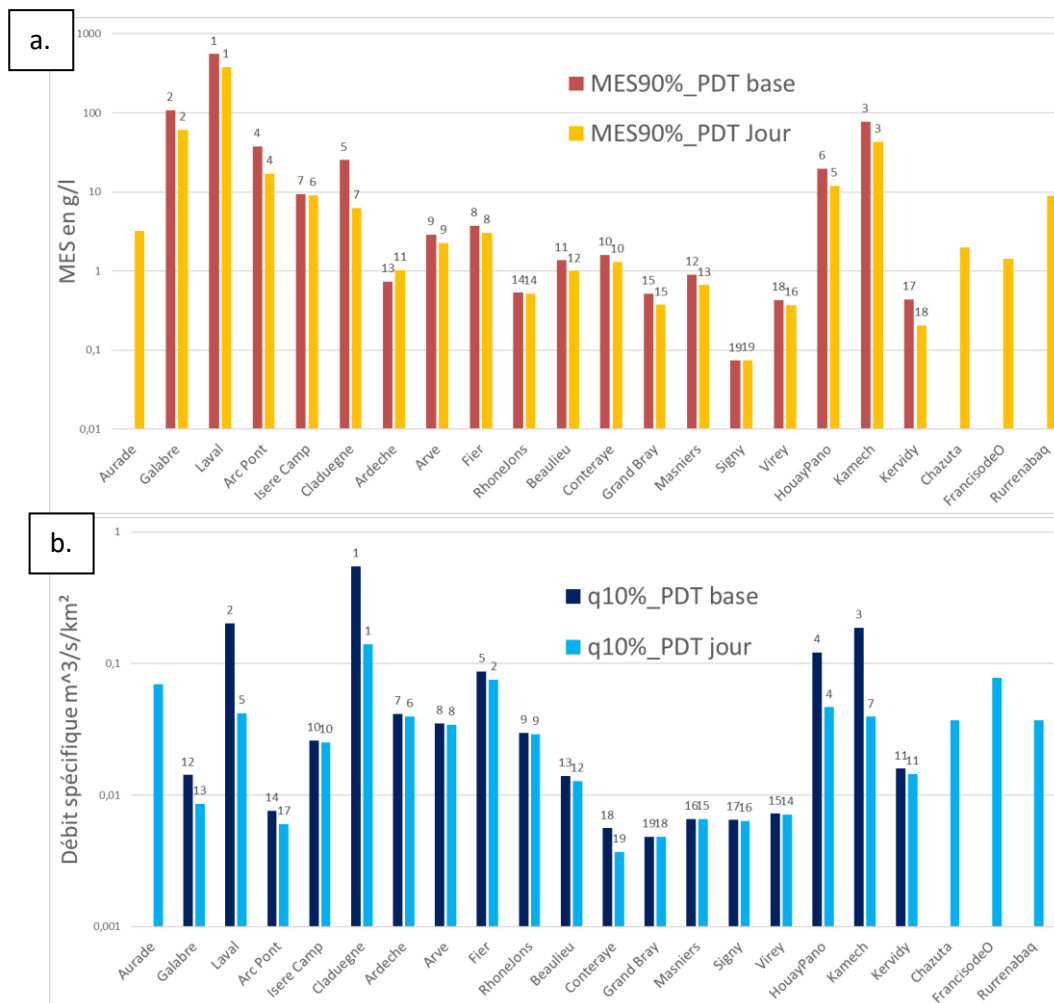


Figure 6: a. Valeur de l'indicateur MES90% pour chacun des sites aux deux pas de temps (PDT), de base et journalier. b. Valeur de l'indicateur q10% pour chacun des sites aux deux pas de temps. Les chiffres au niveau de chaque barre indiquent le classement par ordre décroissant des valeurs des deux indicateurs sur l'ensemble des sites pour les deux pas de temps.

La figure 7b souligne le comportement hydro-sédimentaire spécifique des cours d'eau intermittents, c'est-à-dire présentant des périodes d'assec sur une partie de l'année. Ainsi Kamech, la Conteraye, Beaulieu, le Laval, et Kervidy semblent soumis à de longues périodes sans eaux puisque 100% du volume cumulé est atteint avant les 100% du temps. Ce phénomène semble avoir un impact sur les temps de transport des sédiments puisque le pourcentage de temps moyen pour transporter 50% des MES (Ts50%) est de 0.25% pour ces 5 sites contre 1.5% pour l'ensemble des sites. Tous les indicateurs de cette analyse sont répertoriés annexe 6.

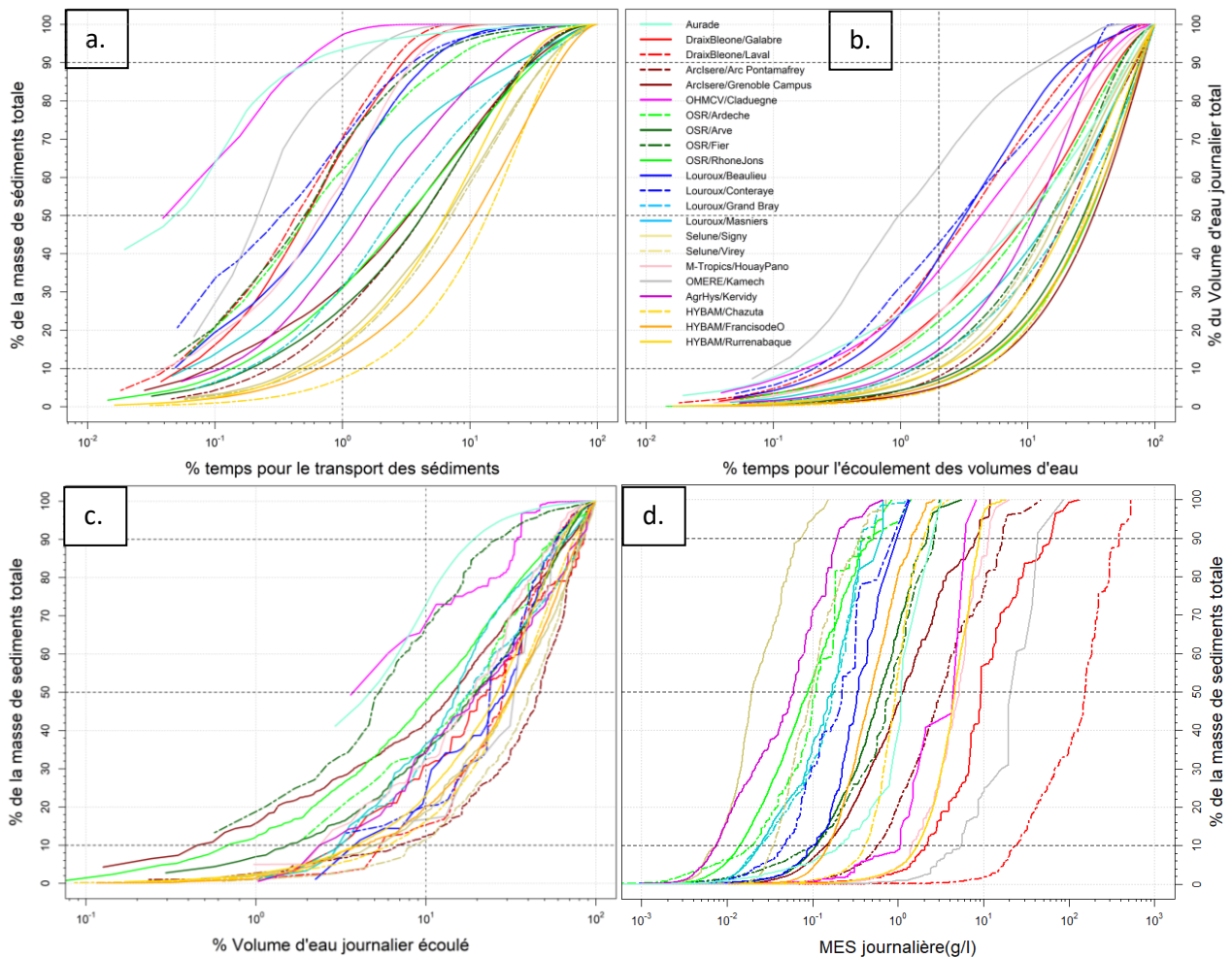


Figure 7 : a. Courbe de distribution du flux cumulé journalier en fonction du pourcentage de temps ; b. Courbe de distribution du volume d'eau cumulé journalier en fonction du pourcentage de temps ; c. Courbe de distribution du flux cumulé en fonction du pourcentage de volume d'eau ; d. Courbe de distribution du flux cumulé en fonction de la cMES journalière.

III.3) Les indicateurs d'hystérésis pour les 18 sites avec des chroniques à haute fréquence de mesure

La figure 8 représente l'indicateur HI_{MS} calculé pour chaque bassin, les bassins étant ordonnés par taille croissante. Un premier groupe de bassins versants de petites tailles est formé, les phénomènes d'hystérésis présentent majoritairement des boucles horaires. Ainsi les sites du Louroux, de Kervidy et de Kamech se détachent avec une tendance à faire passer le pic de cMES avant le pic de débit. Au contraire les bassins de l'OSR ainsi que celui de l'Isère fournissent une majorité d'événements à tendance anti-horaire. Avec le classement des barres selon la taille du bassin, une corrélation entre la valeur HI_{MS} et l'aire apparaît et peut s'interpréter par le fait que sur les petits bassins les sources de

sédiments sont plus proches voir même stockées au sein du lit de la rivière et les sédiments sont donc rapidement transportés à l'exutoire dès lors qu'une crue a lieu. Pour les grands bassins versants, le décalage temporel entre pic de débit et pic de MES peut être lié au temps de propagation plus long de l'onde sédimentaire par rapport à l'onde de crue. Cependant des bassins ne suivent pas cette tendance générale dépendante à l'aire. Par exemple, les stations de Sélune supérieures à 100 km², ont une majorité d'événements horaires, démontrant une bonne connexion hydro-sédimentaire ou une capacité de stockage importante au sein du lit de la Sélune. Au contraire les bassins du Laval et de Houay Pano, malgré leur petite taille, ne présentent pas une majorité d'événements à boucles horaires. Cette variabilité est peut-être due aux localisations des sources productrices de sédiments (Misset et al., 2019). En observant le taux d'érosion annuel des bassin (SSY), mis en valeur par le dégradé de couleur de la figure 8, il apparaît que les bassins du Laval et de Houay Pano ont des taux d'érosions très élevés. La connaissance des localisations des zones favorables à l'érosion et donc productrices de sédiments permettrait d'aller plus loin dans les interprétations du HI_{MS}, notamment pour ces bassins présentant un fort taux d'érosion annuel.

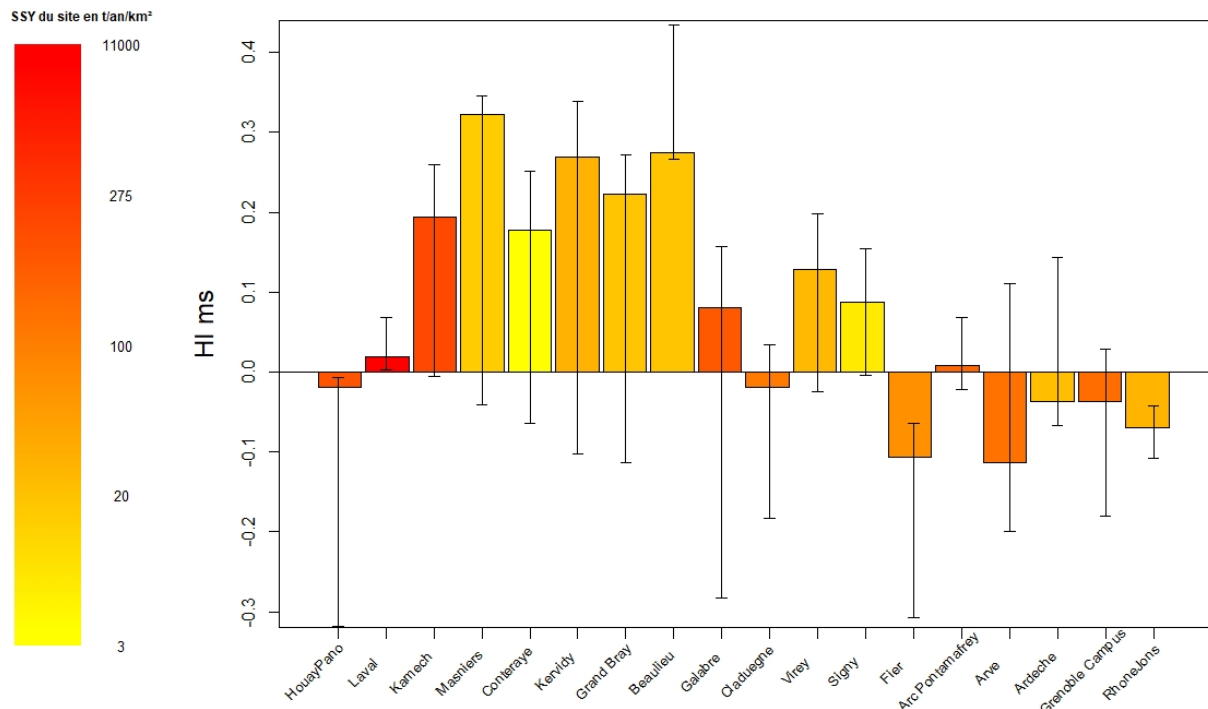


Figure 8: Valeur du HI_{MS} pour chacun des sites classés selon la surface drainée croissante, insertion de la barre d'erreur pour la variabilité saisonnière correspondant à l'indicateur « amplitude ». Le code couleur dépend de la production sédimentaire annuelle (SSY).

La comparaison des HI_{MS} moyens annuels cache une forte variabilité saisonnière. La figure 9 montre que pour la majorité des sites, le HI_{MS} est significativement plus faible en été, sauf pour les sites du Laval, de Beaulieu, de Sélune, de l'Ardèche, de l'Isère et du Rhône. Ce constat peut avoir plusieurs explications : pour les sites à reliefs marqués tels que le Galabre, l'Arve et le Fier, les principaux orages éclatent en été dans les parties amonts des bassins, et donc sur des zones éloignées de l'exutoire. Sur des bassins aux pentes plus faibles, un faible débit des écoulements lors des saisons sèches pourrait causer un dépôt plus important des sédiments dans le lit et donc une moins bonne connexion à l'exutoire. A l'opposé les mois présentant les plus forts HI_{MS} sont l'automne et l'hiver, ces mois influencent beaucoup la valeur annuelle puisque de nombreux événements pluvieux sont enregistrés. Cette tendance plutôt horaire peut s'interpréter par une bonne connexion des différentes sources de sédiments à l'exutoire et par une remise en suspension des sédiments déposés dans les réseaux

hydrographiques durant la période sèche. Ces interprétations sont à modérer car de nombreux facteurs peuvent avoir une influence sur ces phénomènes. Par exemple sur le bassin du Laos de Houay Pano, la localisation des sources d'érosion des sédiments joue un rôle important comme présenté plus haut (Ribolzi et al., 2017) mais de multiples facteurs tels que la contribution de la nappe (Boithias et al., 2021b) ou des phénomènes de glissement de terrains peuvent aussi avoir une influence importante sur la relation débit cMES. Ces interprétations seraient à confirmer et à développer notamment par une étude spatiale de la localisation des différentes sources de sédiments sur les bassins comme cela a été réalisé par Misset et al. (2019).

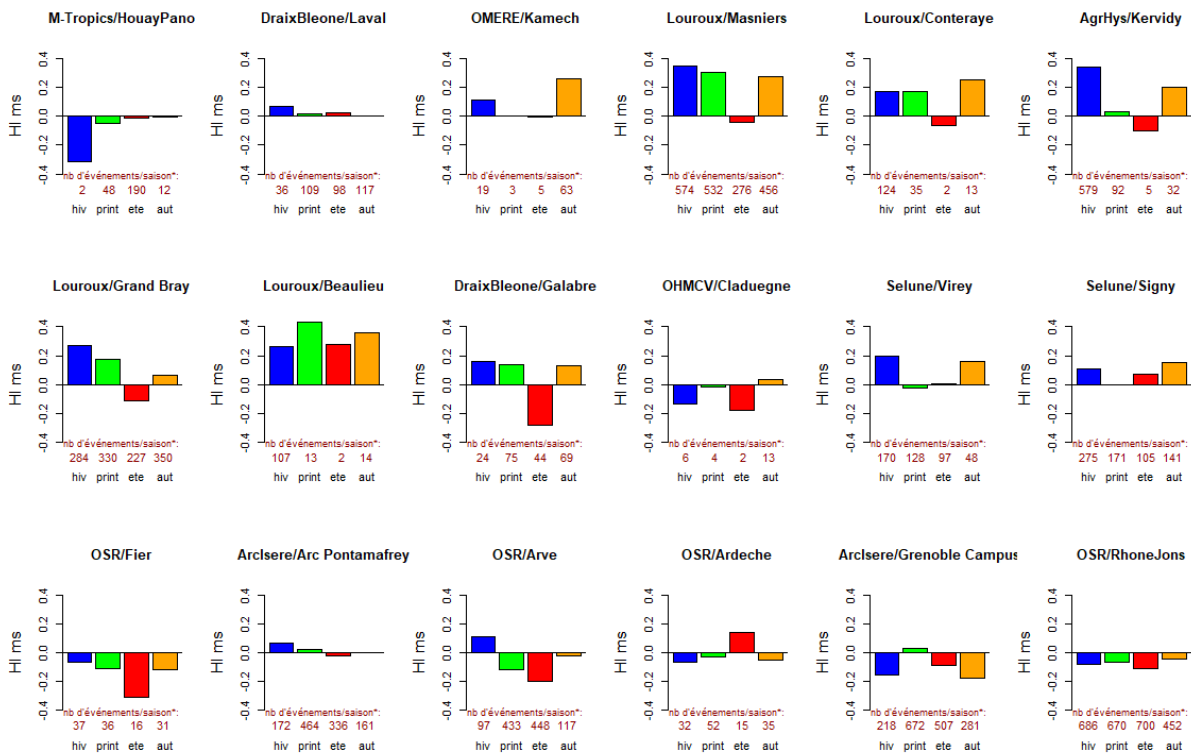


Figure 9: Valeur du Hl_{ms} saisonnier pour chaque site avec le nombre d'événements sélectionnés lors de chaque saison indiqué en rouge.

*Code saison : hiv = janvier, février, mars ; print = avril, mai, juin ; été = juillet, août, septembre ; aut = octobre, novembre, décembre

III.4) Analyse statistique entre les indicateurs hydro-sédimentaires tirés des courbes, les indicateurs hydrologiques et les caractéristiques de sites

III.4) a) Matrice de corrélation

La figure 10 présente la matrice de corrélation entre les différentes variables obtenues à partir des 18 sites. Après observation de la matrice, les fortes valeurs de cMES (MES10%, MESq10) et de débit spécifique (q10%) sont corrélées avec des transports plutôt rapides des flux de sédiments (Mt0.1%), comme notifié dans les parties précédentes. Les transports de sédiments plutôt rapides (Mt0.1%) sont corrélés positivement à la variabilité du débit (Qvar). Les fortes valeurs de débit spécifique (q10%, q90%) sont corrélées à un fort pourcentage de sédiments transportés par une faible part des volumes (Mv2%). Cette relation est confirmée par la figure 11. Cependant le nuage de points entre Mv2% et q90% illustre le fait que la relation est tirée par le cas du Laval présentant une valeur extrême de débit spécifique.

La figure 11 met en évidence quelques couples de variables qui sont particulièrement bien corrélés. C'est par exemple le cas du débit Q_{moy} et du rapport entre la masse de sédiments transportée et le volume d'eau écoulé pendant 2% du temps ($Mt2\%/Vt2\%$). Ce rapport est plus grand sur les bassins versants avec des gammes de débit importantes. Cela signifie que sur ce type de bassins, les crues majeures jouent un rôle plus important dans le transport des sédiments que dans la part des volumes d'eau.

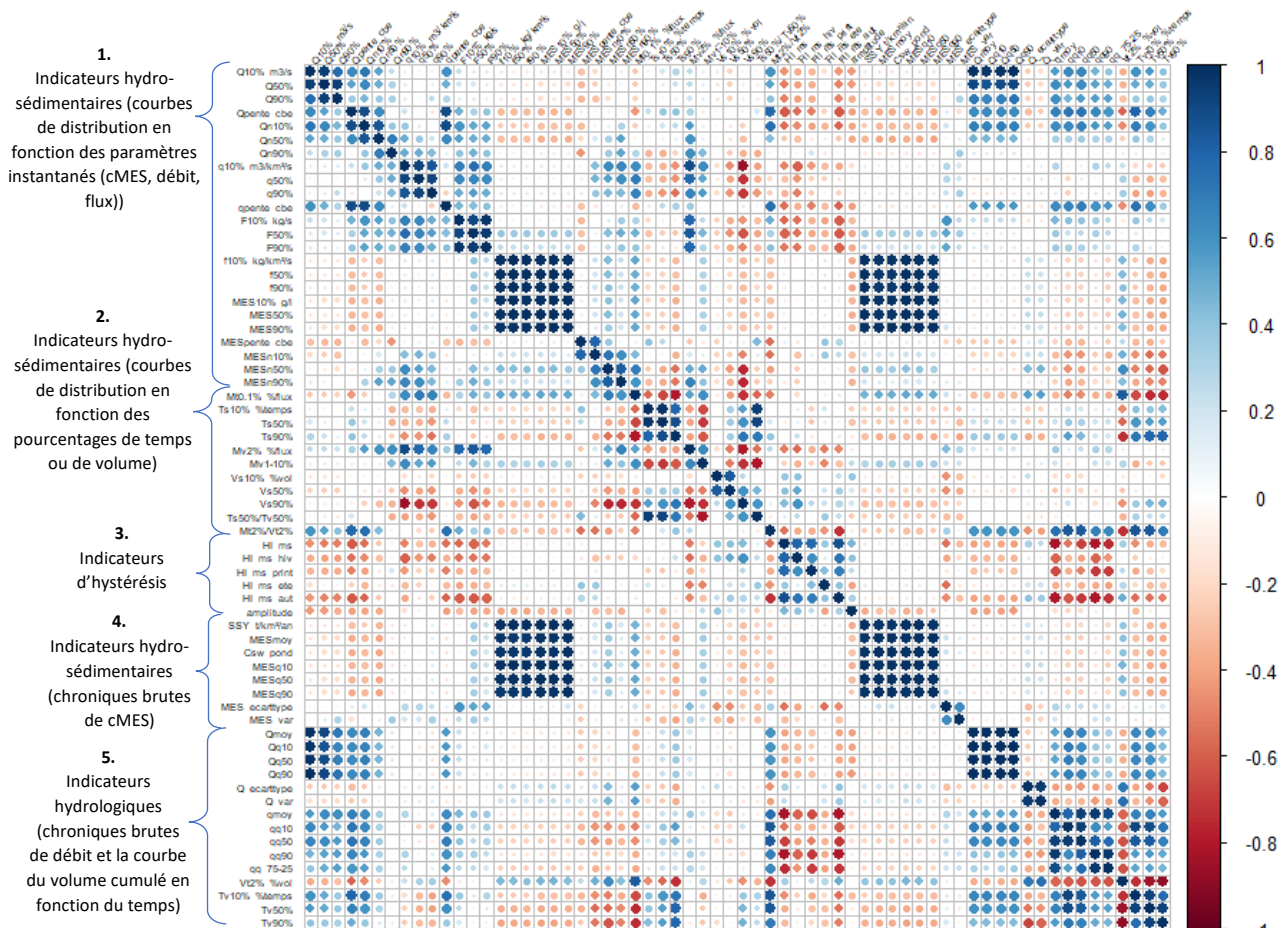


Figure 10: Matrice du coefficient de corrélation de Pearson à partir des 18 sites pour les indicateurs hydro-sédimentaires et hydrologiques obtenus à partir des courbes de distribution (pour 1,2 et 5), de l'étude d'hystérésis (pour 3) et des chroniques brutes (pour 4 et 5). (se référer au tableau 2 pour la définition de chaque indicateur et à l'annexe 1 pour la construction des courbes)

III.4) b) Analyse en Composantes Principales entre les indicateurs dérivés des courbes et les caractéristiques de sites

La figure 12a présente le résultat de l'ACP réalisée avec les indicateurs hydro-sédimentaires et hydrologiques seuls alors que la figure 12b présente le résultat de l'ACP avec ces indicateurs et les caractéristiques des sites. La figure 12 montre de façon générale que les bassins versants étudiés sont assez bien regroupés selon leur catégorie de climat (indiquée par la couleur des points). C'est un résultat intéressant puisque cette caractéristique n'a pas été utilisée pour faire l'ACP. Il y a donc un lien fort entre le climat d'une part, et l'ensemble des indicateurs utilisés pour cette analyse. Un premier groupe de bassins qui ressort clairement est celui des cinq bassins montagneux avec surtout le Rhône, l'Isère, l'Arve, le Fier et l'Arc, qui sont aussi les bassins de tailles plus importantes de cette étude. Sur

ces bassins, les gammes de débit responsables du transport des sédiments sont logiquement les plus élevées (Q10% moyen de 188 m³/s, 59 m³/s pour l'ensemble des sites) et la variation du débit est très faible (Qvar moyen de 1.4, 4.5 pour l'ensemble des sites). Du fait de cette faible variation, la valeur de débit faisant transiter 50% du flux de sédiments (Q50%) est peu éloignée du Qmax et la valeur du débit

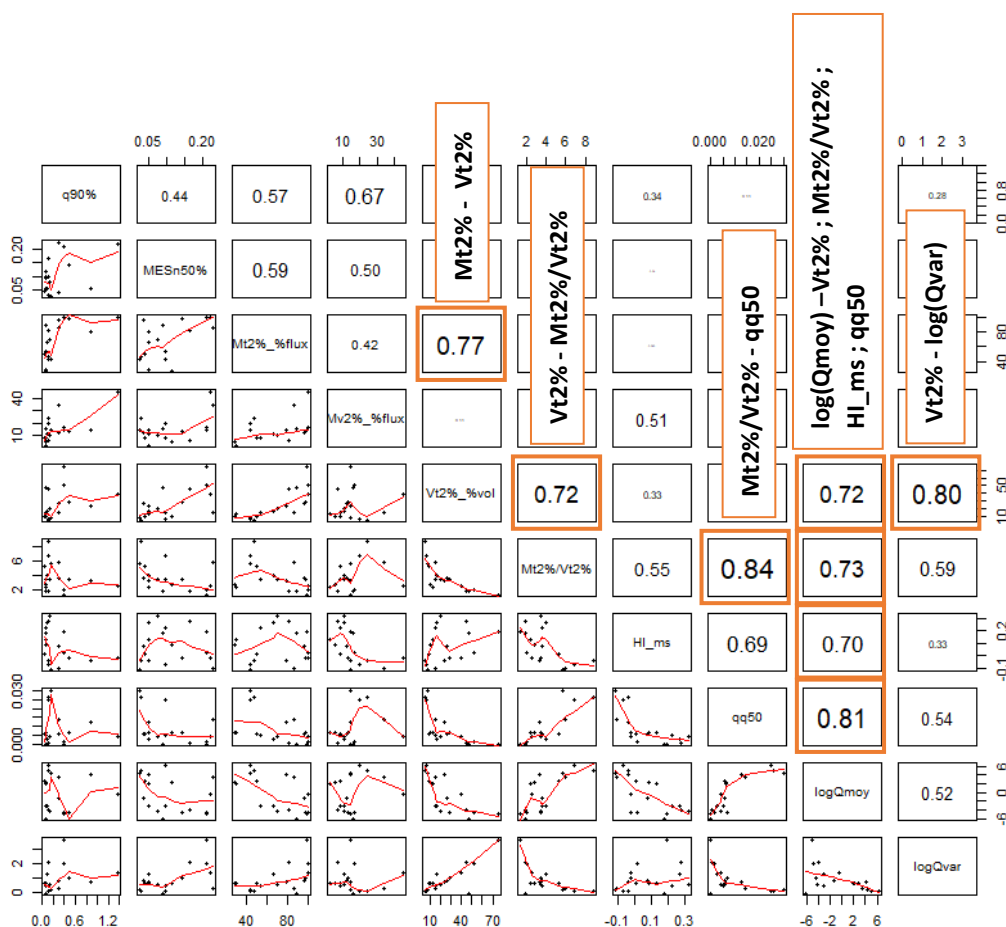


Figure 11: Tracé des relations deux à deux entre indicateurs pour les corrélations les plus fortes avec la représentation des nuages de points dans l'angle inférieur gauche et des coefficients de Pearson dans l'angle droit supérieur. Les coefficients de Pearson supérieurs à 0.70 sont encadrés.

normalisé pour le transit de 50% du flux est élevée (Qn50% moyen de 0.32, 0.24 pour l'ensemble des sites). Il en découle que les temps nécessaires au transport des volumes d'eau sont très élevés (Tv50% moyen de 24.2 %, 13.2% pour l'ensemble des sites). De façon moins caractéristique, les temps de transports des sédiments sont également plus élevés que la moyenne (Ts50% de 2.2%, 1.5 pour l'ensemble des sites). Lorsque ces deux caractéristiques sont assemblées pour former le rapport Mt2%/Vt2%, la part de volumes d'eau écoulee pendant 2% du temps qui est encore plus faible que celle des sédiments mène à un rapport moyen pour les 5 sites de 6.5 particulièrement élevé par rapport au rapport moyen de 3.8. Une application possible de ce résultat pourrait être dans le domaine de la gestion de barrage. Il peut en effet être utile de savoir que sur un certain type de bassins, laisser passer les quelques crues les plus chargées en sédiments permet d'évacuer une grande part de sédiments sans perdre trop de rendement hydraulique. La figure 12b illustre clairement que ces bassins présentent une aire drainée très élevée et dans de moindres mesures une forte précipitation annuelle, probablement dû à leur caractère montagneux.

Le seul bassin de plus de 1000 km² n'étant pas présent dans ce groupe des « grands bassins montagneux » est l'Ardèche. L'Ardèche se rapproche plutôt des sites de Draix Bléone, de Kamech et de la Claduègne, formant le groupe des cinq bassins versants méditerranéens. Houay Pano, le bassin

tropical du Laos, est aussi proche de ce groupe. Sur l'ensemble de ces sites les crues qui jouent un rôle majeur dans le cumul de sédiments présentent des cMES très élevées et proches de la concentration maximum (MES_{n50%} de 42.1%, 14.5% pour l'ensemble des sites). Les valeurs de flux et de débits spécifiques sont elles aussi significativement élevées, ainsi sur ces bassins, les événements de crues intenses jouent un rôle considérable dans le total de sédiments annuel. Malgré un taux d'érosion annuel très élevé pour ce groupe (SSY), seulement 0.1% du temps permet de transporter la majorité des sédiments avec un Mt_{0.1%} moyen de 59% contre 31.4% pour la moyenne des 18 sites. La pente moyenne de ces versants est de 221 m/m contre une moyenne de 83 m/m pour l'ensemble des sites. Une possible explication de ces résultats serait le rôle important de la pente dans les exports de sédiments de ces bassins. Les autres caractéristiques de sites reliées à ces observations sont diverses et par conséquent pas évidentes à relever. L'analyse statistique met en évidence le site du Laval avec de très fortes pentes (Melton de 433 m/m) couplées à un potentiel d'érosion élevé (K_{er} de 100%), ces caractéristiques pouvant être considérées comme les facteurs explicatifs majeurs des comportements extrêmes de ce bassin. Le site de Kamech présente également des surfaces propices à l'érosion ainsi qu'une pente relativement élevée. Il faut noter que l'écoulement mesuré sur ce site est qualifié d'éphémère, c'est-à-dire qu'un débit est présent seulement en cas d'orage récent. Cette caractéristique joue un rôle dans le volume écoulé pendant 2% du temps ($V_{t2\%}$ de 75.3%, 25.3% pour l'ensemble des sites), dans la variation du débit (Q_{var} de 36.9, 4.5 pour l'ensemble des sites) qui sont extrêmement forts pour Kamech (figure 12a) et par conséquent dans l'export des sédiments. Ensuite le site asiatique de Houay Pano présente des pentes très importantes, du même ordre que celles du site Laval (Melton de 362 m/m). Mais à la différence du Laval, ses versants ne disposent pas d'une géologie particulièrement propice à l'érosion. C'est l'occupation du sol qui a un rôle prépondérant avec une dominance de culture de Teaks caractérisée par des sols nus sous les arbres. Cette monoculture couplée aux fortes pentes sont favorables à une érosion importante et peuvent expliquer les fortes cMES observées lors des crues et ainsi les faibles temps de transport des sédiments (Ribolzi et al., 2017). Pour les bassins ardéchois (la Claduègne et l'Ardèche), les paramètres les plus caractéristiques sont la forte variabilité des cMES (MES_{var} moyen de 3.0, 2.1 pour l'ensemble des sites) ainsi que la part très importante de sédiments transportés pendant les plus forts volumes ($M_{v2\%}$ moyen de 30.0%, 15.2% pour l'ensemble des sites). Sur ces sites les plus forts événements en termes de débit, en l'occurrence les épisodes cévenols en Ardèche, ont un rôle majeur dans ce transport particulier des sédiments. Par exemple pour la Claduègne, un seul fort épisode de crue datant de novembre 2014 et présentant les plus fortes valeurs de débit sur la période, joue un rôle très important dans le transport des sédiments. Le site OSR du Fier présente également des valeurs particulièrement fortes de sédiments transportés pour les plus forts volumes ($M_{v2\%}$ de 34.2%).

Les 7 bassins océaniques de l'ouest français présentent des tendances similaires entre eux pour les indicateurs hydro sédimentaires malgré une diversité de surfaces variant de 1.96 km² pour Masniers à 777 km² pour Signy. Sur ces versants de faibles pentes, le temps et le pourcentage de volume nécessaires au transport des matières en suspension sont en général élevés. Cela peut s'expliquer par le fait que les événements de crues soient caractérisés par des cMES qui ne sont pas significativement plus importantes que lors des périodes hors crues. Ainsi le rapport $T_{s50\%}/T_{v50\%}$ est particulièrement élevé avec une moyenne de 0.17 par rapport à 0.10 pour le reste des sites. Comme noté précédemment cet ensemble de sites présente des valeurs de HI_{MS} proches de 1, probablement dues à une capacité de stockage des sédiments importante au sein du lit et donc à une remobilisation rapide de ces stocks lors des crues. Sur ces bassins les surfaces nues ou cultivées sont importantes notamment pour le Grand Bray, les Masniers et Beaulieu. La variation du débit est forte pour ce groupe et c'est notamment l'aspect de cours d'eau intermittent qui est mis en évidence par ce paramètre, jouant ainsi un rôle au niveau des temps de transport des volumes de sédiments et des volumes d'eau.

La figure 12d présente l'ACP réalisées avec l'ensemble des 22 bassins pour lesquels les indicateurs ont été calculés au pas de temps journalier. Les observations sont plus complexes car les 3 bassins sud-américains ajoutés sont totalement différents de tous ceux étudiés précédemment et parce que les phénomènes spécifiques aux petits bassins réactifs subissent un effet de lissage par la dégradation du pas de temps. Dans un premier temps la figure 12c permet d'observer que les relations entre les sites et les différents paramètres évoluent très peu en général. Il est possible d'observer les mêmes regroupements de versants que sur la figure 12b ainsi que les mêmes positions des sites au sein de ces groupes. Par exemple le Fier et l'Arc sont toujours deux bassins respectivement plus proches des sites méditerranéens et océaniques que l'ensemble des sites montagneux. De même trois groupes se distinguent dans les deux études au sein des bassins océaniques avec les sites Sélune qui présentent des faibles parts de sédiments transportés pendant les plus forts volumes ($Mv2\%$). Les sites intermittents de la Conteraye et de Beaulieu présentent une variation de débit importante ($Qvar$) et des volumes écoulés pendant 2% du temps ($Vt2\%$) plus importants que la moyenne de ce groupe. Enfin le site de Kervidy ainsi que les bassins emboîtés de Grand Bray et Masniers présentent des valeurs intermédiaires à ces deux ensembles.

D'après la figure 12d, les trois bassins amazoniens forment un groupe distinct au niveau des indicateurs hydro-sédimentaires et sont proches des bassins OSR et Arc Isère en ce qui concerne les caractéristiques de site avec notamment une aire de bassin et une pluviométrie annuelle très grandes. Pour le transport des sédiments, sans surprise, les bassins HYBAM présentent des valeurs de débit ($Q10\%$, $Qq50$) et de flux instantanés ($F10\%$) fortes. Les paramètres de cMES ($MESvar$) et de débit mensuel ($Qvar$) varient très peu au cours du temps. Par conséquent les temps de transport des sédiments et des volumes d'eau sont élevés ($Ts50\%$ et $Tv50\%$). Le rapport $Ts50\%/Tv50\%$ est plutôt élevé par rapport aux autres sites, ce qui signifie que le fort temps de transport de la MES est plus caractéristique que celui du volume d'eau pour les bassins HYBAM. Cette observation est la différence la plus intéressante par rapport au comportement des bassins OSR et Arc Isère, qui présentaient une tendance inverse pour ce rapport. La moyenne du rapport $Ts50\%/Tv50\%$ pour les trois bassins amazoniens est de 0.39 contre un rapport de 0.12 pour les bassins OSR et une moyenne de 0.18 pour les 22 sites. Sur les bassins amazoniens, une concentration de MES élevée tout au long de l'année et quel que soit le régime hydrologique au sein du cours d'eau peut être responsable de cette observation.

Le site d'Aurade, ajouté grâce au niveau d'analyse journalier, présente des paramètres intermédiaires à ceux de la Claduègne ou du Galabre et ceux de Beaulieu ou de la Conteraye. Ainsi la part des volumes écoulés pendant 2% du temps ($Vt2\%$) est particulièrement forte et la variabilité de cMES ($MESvar$) est la plus importante de tous les sites, par conséquent, la part de sédiments transportés pendant 1% du temps ($Mt1\%$) est également importante. Au niveau des caractéristiques de sites, le site Auradé présente un coefficient d'érodibilité maximum (Ker de 100%) et des pentes intermédiaires ($Melton$ de 54). Ces paramètres peuvent être des facteurs explicatifs de la variabilité hydro-sédimentaire et des fortes valeurs de cMES observées, et ainsi du caractère intermédiaire de ce site océanique avec un comportement qui se rapproche des versants méditerranéens.

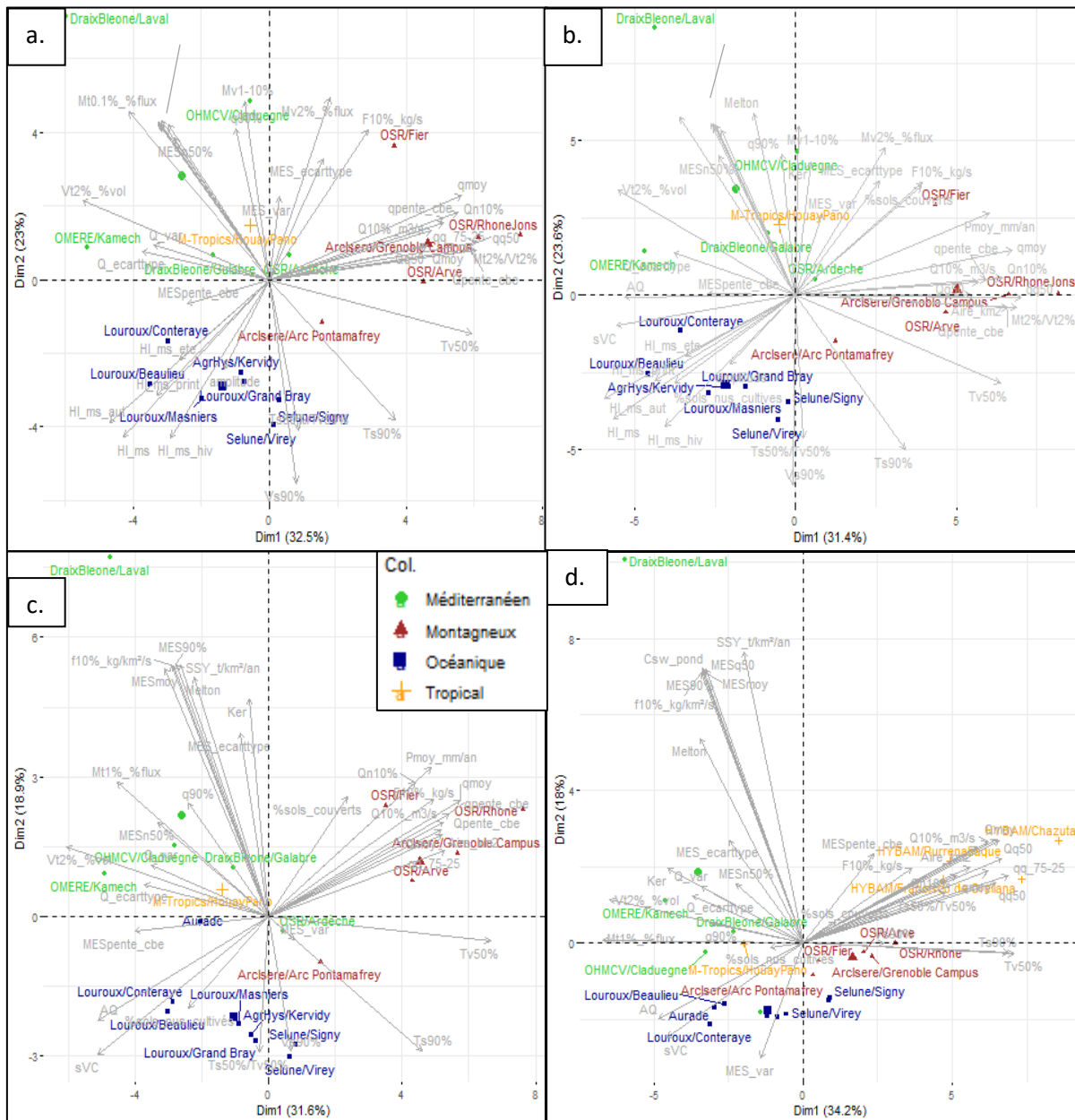


Figure 12: ACP représentée par des biplots et colorée selon les catégories de climat. a. Représentation des 18 sites (points) en fonction des indicateurs (flèches) du groupe A (hydro-sédimentaires et hydrologiques). b. Représentation des 18 sites en fonction des groupes A et B (caractéristiques de sites). c. Représentation des 19 sites (sans HYBAM) au pas de temps journalier en fonction des groupes A et B. d. Représentation des 22 sites au pas de temps journalier en fonction des groupes A et B.

De manière générale, les regroupements de régimes hydro-sédimentaires selon le climat ont également été observés par Milliman et Syvitski (1992). Lorsque l'on compare les pourcentages de temps pour le transport de 50% des sédiments entre les travaux de Meybeck et al. (2003), de Mano et al. (2008) et ceux du présent mémoire, certaines similarités peuvent être soulignées au niveau des groupes de climat similaire (tableau 5). Le groupe des bassins méditerranéens et tropical (Houay Pano) de ce travail se distingue surtout par des concentrations, pentes et Ker élevés, avec des exports de sédiments très irréguliers dans le temps. Les bassins méditerranéens étudiés dans le travail de Mano et al. (2008) ainsi que ceux développés dans ce travail soulignent des Ts50% parmi les plus rapides de l'ensemble des sites. Les bassins tropicaux situés en Thaïlande étudiés dans le travail de Meybeck et al. (2003) présentent des Ts50% assez faibles et finalement proches des valeurs observées pour le site Houay Pano (Ts50% de 0.7). Sur ces bassins le régime de pluies intenses lors de la période de mousson

est probablement un facteur important. Les bassins montagneux de cette étude se distinguent surtout par des aires, précipitations et débits élevés, avec des exports de sédiments plus irréguliers que les débits. Les bassins montagneux des trois études mènent à des gammes de valeur de Ts50% moyennes. Le groupe des bassins océaniques se distingue plutôt par des hystérèses horaires, des débits et concentrations plus faibles et plus réguliers que la moyenne. Les bassins océaniques présentent, dans la grande majorité des cas, des temps de transport des sédiments importants quelles que soient leurs surfaces drainées. Une fois de plus les faibles pentes observées sur ce type de bassins doit être un facteur explicatif du transport lent des sédiments. Le deuxième niveau d'analyse au pas de temps journalier intégrant les bassins amazoniens ainsi qu'Auradé est moins lisible, d'une part à cause de la grande différence des bassins amazoniens, et d'autre part, parce que les comportements les plus spécifiques des petits bassins méditerranéens sont lissés.

Tableau 5: Comparaison des pourcentages de temps nécessaires pour transporter 50% des sédiments

Climat du bassin	Résultats V. Mano (*)		Résultats M.Meybeck (**)			Résultats de cette étude			
	Méditerranéen	Montagneux	Montagneux	Océanique	Tropical	Méditerranéen	Montagneux	Océanique	Tropical
Ts50% (en %)	0,3-1	2-4	3,6	5,2-5,8	0,7-2,2	0,1-0,6	0,5-4,3	0,1-7,2	0,7-13,7

(*) bassins méditerranéens : Bléone et Asse / bassins montagneux : Romanche et Ferrand

(**) bassins montagneux : Alpenrhein (Autriche) / bassins océaniques : Garonne, Lot et Marne / bassins tropicaux : Khlong Mala, Huai Mae Ya et Khlong Sok (Thaïlande)

III.4) c) Modèles de prédiction d'indicateurs hydro sédimentaires

Pour prolonger ce premier niveau d'analyse statistique, une sélection a été faite pour certains indicateurs hydro sédimentaires qu'il serait intéressant de pouvoir prédire à partir des caractéristiques de sites et des indicateurs purement hydrologiques. Le tableau 6 indique la qualité de la régression via le R², ainsi que la proportion de la variance expliquée par le nombre de composantes conservées. D'après le tableau 6 pour 18 sites, la prédiction de l'indicateur d'hystérésis HI_{MS} est bonne avec un R² de 0.67. La valeur de la masse de sédiments transportée pendant 0.1% du temps paraît assez bien prédite à condition d'intégrer aux prédicteurs les variables hydrologiques avec un R² de 0.56. La représentation des valeurs prédites par ces deux modèles en fonction des valeurs mesurées est présentée par le biais des figure 13a et 13b. Sur la figure 13b, le point correspondant à la Claduègne est particulier ; la valeur prédite est largement sous-estimée par rapport à la valeur mesurée. Lorsque les 22 sites sont pris en compte avec les chroniques journalières, le taux d'érosion annuel (log (SSY2) en t/an) est assez bien prédit avec des R² de 0.53 et 0.56 en prenant respectivement les caractéristiques de sites seules, puis l'ensemble des caractéristiques complétées des variables hydrologiques comme prédicteurs. Le temps pour transporter 50% des sédiments est bien prédit par l'ensemble complet des paramètres et présente un R² de 0.66. Les nuages de points de ces prédictions sont présentés en figure 13c et 13d.

Tableau 6 : Valeur du R² et variance expliquée de la valeur à prédire pour chaque modèle.

Prédicteurs :	18 sites				22 sites (pas de temps journalier)			
	Caractéristiques		Caractéristiques + Hydrologie		Caractéristiques		Caractéristiques + Hydrologie	
	R ²	%variance expliquée	R ²	%variance expliquée	R ²	%variance expliquée	R ²	%variance expliquée
Variable prédite								
SSY2 (t/an) *	0,30 (1c)	45	0,31	65	0,53 (2c)	70	0,56	73
HI _{ms}	0,67	81	0,66 (1c)	72				
Amplitude	-0,16 (1c)	2	-0,20 (1c)	2				
MT0.1%	0,01	45	0,56	78	0,26	41	0,21	31
MESq50 *	0,12	45	0,08 (2c)	46	0,31	67	-0,08 (1c)	5
MES_ecartquartile	0,38	62	0,43	74	-0,12	28	-0,15 (1c)	1
MES50% *	0,25	54	0,31 (2c)	59	0,37	61	-0,15 (1c)	1
Ts50%	-0,22	24	0,08 (2c)	46	0,22	62	0,66	71
Vs50%	0,15	53	0,07 (2c)	49	-0,11	2	-0,11	3

*logarithme de la variable

(1c) : modèle construit sur une composante ; (2c) modèle construit sur deux composantes ; sans indication le modèle est construit sur trois composantes.

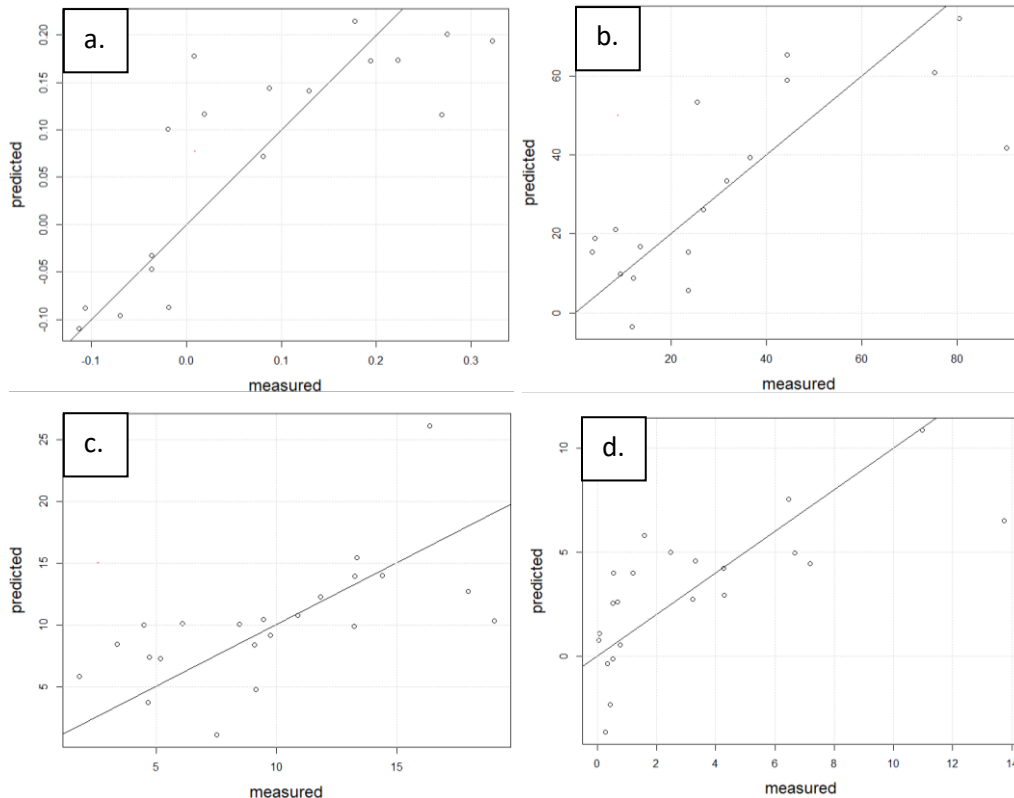


Figure 13 : Nuage de points du modèle de prédiction construit à partir des caractéristiques de sites et des variables hydrologiques représentant les valeurs prédites en fonction des valeurs mesurées. a. Modèle pour H_{IMS} avec 1 composante (18 sites). b. Modèle pour $Mt0.1\%$ avec 3 composantes (18 sites). c. Modèle pour $\log(SSY)$ avec 3 composantes (22 sites). d. Modèle pour $Ts50\%$ avec 3 composantes (22 sites).

Cette étape de construction de modèles de prédiction mène à la conclusion que le grand nombre de facteurs influençant le transport sédimentaire pose des problèmes pour cet objectif. D'après De Vente et al. (2011) les processus d'érosion pour une grande diversité de bassins versants sont régis par de multiples indicateurs. Or dans ce travail l'ensemble des caractéristiques de sites utilisées a été volontairement limité à des grandeurs simples à mesurer permettant d'intégrer le plus grand nombre de bassins versants à cette étude, choix qui a sans doute exclu d'autres variables qui auraient été pertinentes pour la prédiction de l'érosion. Les travaux de Misset et al. (2019) suggèrent par exemple que des indices de forme du bassin ou de distance des zones actives en érosion à l'exutoire pourraient peut-être expliquer une partie de la variation du H_{IMS} . De même la variabilité de la précipitation ou la température moyenne pourraient mettre en avant les bassins avec des climats très caractéristiques. Le nombre restreint de sites par rapport au nombre de facteurs de contrôle pose des problèmes de robustesse des modèles prédictifs, qui limitent leur application à d'autres sites sans une étape préalable de validation de ces modèles. Cela nécessiterait de les tester sur des jeux de données hydro-sédimentaires de sites supplémentaires.

IV. Conclusion

Ce travail a comparé les comportements hydro-sédimentaires de 22 sites présentant une diversité importante de processus et de caractéristiques physiques. Les objectifs étaient de mettre en avant cette diversité par le biais de courbes de distribution du flux cumulé et de boucles d'hystérésis puis de relier ces observations aux caractéristiques de sites. Des tendances en fonction des aires drainées sont observées avec des temps de transport corrélés positivement à la taille des bassins et une transition entre hystérèses horaires et antihoraires selon les tailles de bassins croissantes. Des similarités sont observées au sein des bassins aux climats similaires. Les bassins méditerranéens ainsi que le bassin tropical du Laos présentent des distributions hydro-sédimentaires très irrégulières menant à des transports des sédiments sur de courtes périodes de temps. Au contraire les bassins océaniques sont régis par une distribution plus régulière des cMES dans le temps et ainsi des sédiments transportés sur de plus longues périodes. La caractéristique de pente semble être fortement liée à ces diversités de temps de transport. Une carte d'identité pour chaque bassin est produite en annexe 7 sur la base des différents indicateurs décrits dans ce manuscrit. Dans un second temps des modèles de prédiction ont été développés. Certains indicateurs tel que le HI_{MS} , le SSY ou encore le $Ts_{50\%}$ présentent des qualités de régression assez satisfaisantes mais la robustesse des modèles devra être testée sur des sites supplémentaires.

Ce travail de comparaison d'une grande diversité de régimes hydro-sédimentaires présente quelques limitations. Pour la sélection des caractéristiques de sites, un choix restreint a été fait et certains caractères climatiques ou couverts géologiques ne sont peut-être pas suffisamment pris en compte alors qu'ils jouent un rôle important dans l'explication de la variabilité temporelle des transports de sédiments. Un travail plus approfondi de définition et de calculs d'indicateurs physiographiques dérivés d'orthophotos et de modèles numériques de terrains permettrait de dériver des variables potentiellement plus explicatives des signatures temporelles sédimentaires. De plus les interprétations faites dans ce travail ne prennent pas en compte les diverses incertitudes liées aux données utilisées. Ces incertitudes peuvent provenir des mesures de turbidité et de débit qui font régulièrement face à des soucis techniques, de la conversion de la turbidité en cMES (annexe 5), ou encore du pas de temps utilisé. Il serait pertinent de quantifier ces incertitudes afin d'observer les conséquences sur les conclusions de ce travail.

Bibliographie

- Arnaud, F., Piégay, H., Schmitt, L., et al. (2015) Historical geomorphic analysis (1932–2011) of a by-passed river reach in process-based restoration perspectives: The Old Rhine downstream of the Kembs diversion dam (France, Germany). *Geomorphology*, v.236, p.163-177. DOI:10.1016/j.geomorph.2015.02.009
- Boithias, L., Auda, Y., Audry, S., et al. (2021a) The Multiscale TROPical Catchments critical zone observatory M-TROPICS dataset II: Land use, hydrology and sediment production monitoring in Houay Pano, northern Lao PDR. *Hydrological Processes*, 35:e14126. DOI:10.1002/hyp.14126
- Boithias, L., Ribolzi, O., Lacombe, G., et al. (2021b) Quantifying the effect of overland flow on Escherichia coli pulses during floods: Use of a tracer-based approach in an erosion-prone tropical catchment. *Journal of Hydrology*, 594. DOI:10.1016/j.jhydrol.2020.125935
- Cerdan, O., Govers, G., Le Bissonnais, Y., et al. (2010) Rates and spatial variations of soil erosion in Europe : A study based on erosion plot data. *Geomorphology*, v.122, p.167-177. DOI:10.1016/j.geomorph.2010.06.011
- Dabrin, A., Bégorre, C., Bretier, M., et al. (2021) Reactivity of particulate element concentrations: apportionment assessment of suspended particulate matter sources in the Upper Rhône River, France. *Journal of Soils and Sediments*, v.21, p.1256-1274. DOI:10.1007/s11368-020-02856-0
- De Vente, J., Verduyn, R., Verstraeten, G., et al. (2011) Factors controlling sediment yield at the catchment scale in NW Mediterranean geoecosystems. *Journal of Soils and Sediments*, v.11, p. 690-707. DOI 10.1007/s11368-011-0346-3
- Espinoza Villar, J.C., Guyot, J.L., Ronchail, J., et al. (2009) Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). *Journal of Hydrology*, v.375, p.297-311. DOI:10.1016/j.jhydrol.2009.03.004
- Gaillardet, J., Braud, I., Hankard, F., et al. (2018) OZCAR : The French Network of Critical Zone Observatories. *Vadose Zone Journal*, 17:180067. DOI:10.2136/vzj2018.04.0067
- Grangeon, T., Manière, L., Foucher, A., et al. (2017) Hydro-sedimentary dynamics of a drained agricultural headwater catchment : a nested monitoring approach. *Vadose Zone Journal*, 16(12). DOI:10.2136/vzj2017.05.0113
- Fovet, O., Ruiz, L., Gruau, G., et al. (2018) AgrHys : An observatory of response times in Agro-Hydro systems. *Vadose Zone Journal*. 17 (1), 16 p. DOI:10.2136/vzj2018.04.0066
- Fovet, O., Ndom, M., Crave, A., Pannard, A., (2020) Influence of dams on river water-quality signatures at event and seasonal scales: The Sélune River (France) case study. *River Res Applic.* 36:1267–1278. DOI: 10.1002/rra.3618
- Legoût C., Freche G., Biron R., et al. (2021) A critical zone observatory dedicated to suspended sediment transport : The meso-scale Galabre catchment (southern French Alps). *Hydrological Processes*, 35:e14084. DOI:10.1002/hyp.14084
- Mano, V., Nemery, J., Belleudy, P., Poirel, A. (2009) Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime. *Hydrological Processes*, v.2, p.777-792. DOI:10.1002/hyp.7178
- Mathys, N., Brochot, S., Meunier, M., Richard, D., (2003) Erosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix (Alpes de Haute Provence, France). Calibration of the ETC rainfall–runoff–erosion model. *Catena*, v.50, p.527-548. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00122-4
- Megnounif, A., Terfous, A., Ouillon, S. (2013), A graphical method to study suspended sediment dynamics during flood events in the Wadi Sebdo, NW Algeria (1973–2004). *Journal of Hydrology*, v.497, p.24-36. DOI:10.1016/j.jhydrol.2013.05.029
- Meybeck, M., Laroche, L., Dürr, H.H., Syvitski, J.P.M. (2003) Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers. *Global and Planetary Change*, v.39, p.65-93. DOI:10.1016/S0921-8181(03)00018-3.

Milliman, J.D., Syvitski, P.M. (1992) Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers. *The Journal of Geology*, v.100, p.525-544. DOI:10.1086/629606

Misset, C., Recking, A., Legout, C., et al. (2019) An attempt to link suspended load hysteresis patterns and sediment sources configuration in alpine catchments. *Journal of Hydrology*, v.576, p.72-84. DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.06.039

Molénat, J., Raclot, D., Zitouna, R., et al. (2018) OMERE : A long-term observatory of soil and water resources, in interaction with agricultural and land management in mediterranean hilly catchments. *Vadose Zone Journal*, 17.180086. DOI:10.2136/vzj2018.04.0086

Moquet, J.S, Crave, A., Viers, J., et al. (2011) Chemical weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Andean and Foreland Amazon basins. *Chemical Geology*, v.287, p.1-26. DOI:10.1016/j.chemgeo.2011.01.005

Navratil, O., Evrard, O., Esteves, M., et al. (2012) Temporal variability of suspended sediment sources in an alpine catchment combining river/rainfall monitoring and sediment fingerprinting. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.37, p.828-846. DOI:10.1002/esp.3201

Nord, G., Boudevillain, B., Berne, A., et al. (2017) A high space–time resolution dataset linking meteorological forcing and hydro-sedimentary response in a mesoscale Mediterranean catchment (Auzon) of the Ardèche region, France. *Earth System Science Data*, v.9, p.221-249. DOI:10.5194/essd-9-221-2017

Observatoire des Sédiments du Rhône. (2020) Rapport sur le fonctionnement du réseau d'observation des flux pour l'année 2020 (OSR5). 28p.

Ponnou-Delaffon, V., Probst, A., Payre-Suc, V., et al. (2020) Long and short-term trends of stream hydrochemistry and high frequency surveys as indicators of the influence of climate change, agricultural practices and internal processes (Aurade agricultural catchment, SW France). *Ecological Indicators*, 110. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105894

Probst, J.L., Amiotte Suchet, P. (1992) Fluvial suspended sediments transport and mechanical erosion in the Magreb (North Africa). *Hydrological Sciences Journal*, v.37, p.621-637. DOI:10.1080/02626669209492628

Ribolzi, O., Evrard, O., Huon, S. (2017) From shifting cultivation to teak plantation: effect on overland flow and sediment yield in a montane tropical catchment. *Scientific reports*, 7: 3987. DOI:10.1038/s41598-017-04385-2

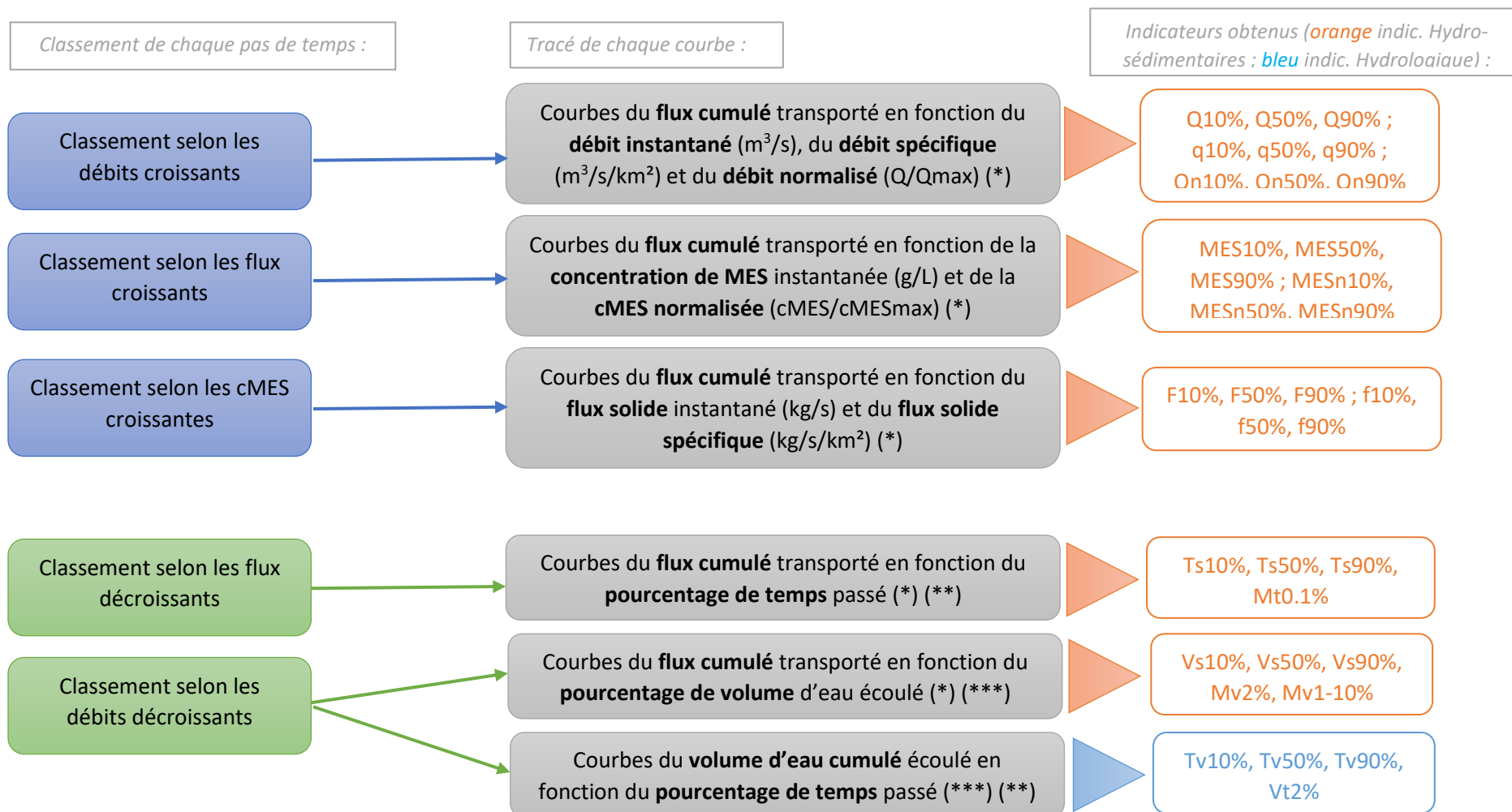
Thollet, F., Rousseau, C., Camenen, B., et al. (2021) Long term high frequency sediment observatory in an alpine catchment: The Arc-Isère rivers, France. *Hydrological Processes*, 35:e14044. DOI:10.1002/hyp.14044

Vanmaercke, M., Poesen, J., Verstraeten, G., et al. (2011) Sediment yield in Europe : Spatial patterns and scale dependency. *Geomorphology*, v.130, p.142-161. DOI:10.1016/j.geomorph.2011.03.010

Vercruyse, K., Grabowski, R.C., Rickson, R.J. (2017) Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation

Annexes

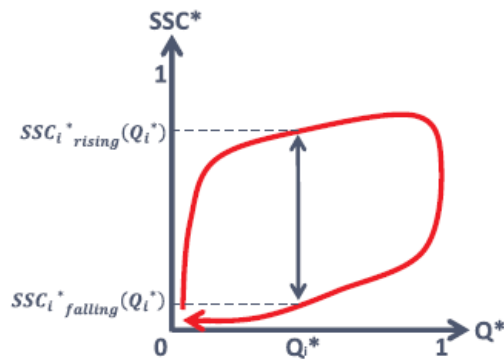
Annexe 1 : Construction des courbes de distribution



(*) Calcul d'un pourcentage de flux cumulé transporté correspondant à chaque pas de temps ; (**) Calcul d'un pourcentage de temps passé correspondant à chaque pas de temps ; (***) Calcul d'un pourcentage de volume d'eau cumulé écoulé correspondant à chaque pas de temps.

Annexe 2 : Calcul de l'indicateur d'hystérésis HI_{MS}

Pour le calcul de cet indicateur, il faut procéder à une sélection d'événements. Ainsi les événements ayant un maximum de cMES ou de flux solide inférieur à un certain seuil ont été supprimés. Le seuil de cMES est la valeur faisant passer 2% du flux cumulé total. De la même manière, le seuil de flux solide est la valeur transportant 6% du flux cumulé total. Ensuite pour chaque événement, il faut normaliser le débit et la cMES avec les équations 1 et 2. Pour chaque événement, la différence entre les valeurs normalisées de cMES durant la phase de montée et de descente de la crue est calculée pour chaque valeur de débit allant de 0.01 à 1. L'indice HI_{MS} est ensuite calculé en pondérant la moyenne des différences par la masse transportée lors de chaque événement. Cet indice permet de mettre en évidence les phénomènes d'hystérésis pour les événements transportant une part importante des sédiments.



Schématisme de boucle d'hystérésis horaire

Les valeurs des axes sont calculées avec les équations suivantes :

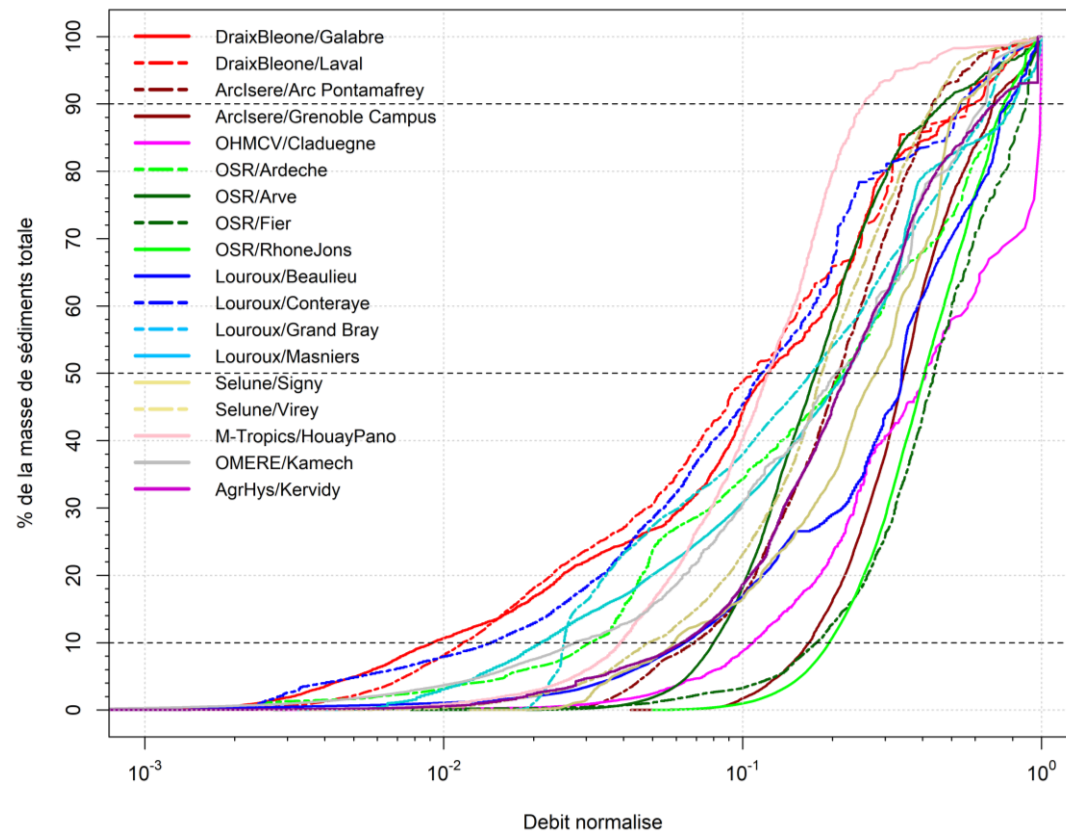
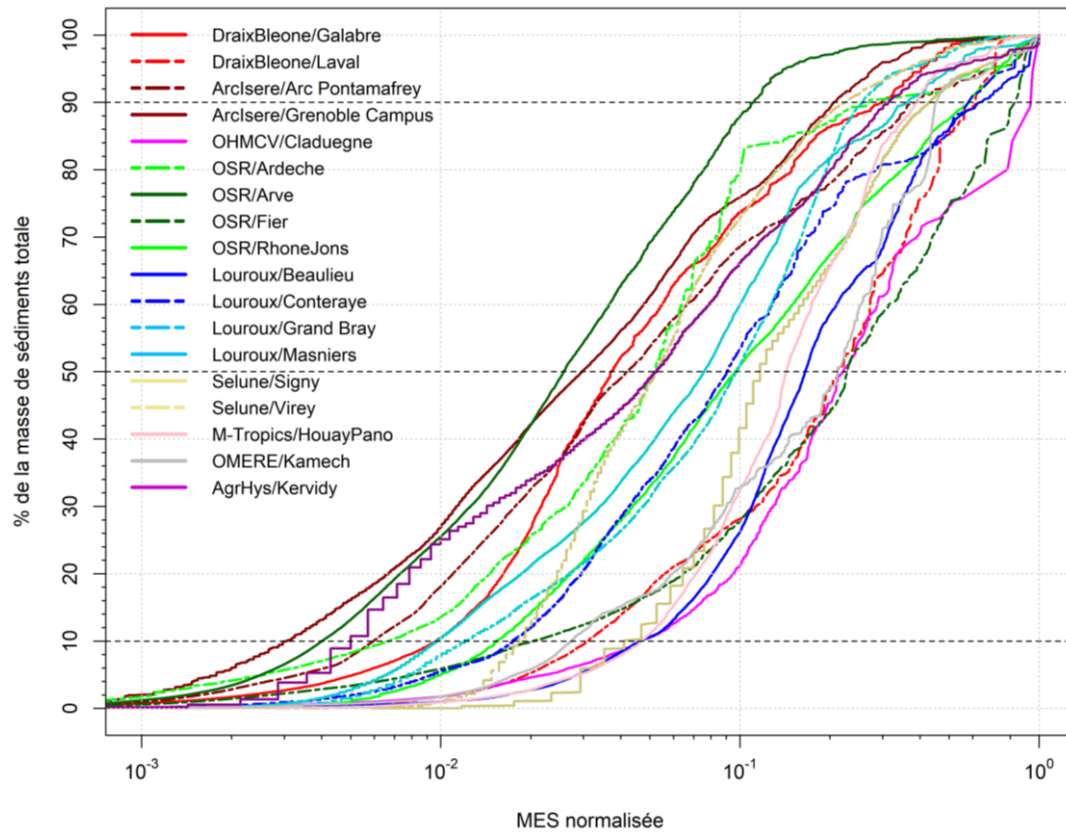
$$SSC_i^* = \frac{SSC_i - SSC_{min}}{SSC_{max} - SSC_{min}}$$

$$Q_i^* = \frac{Q_i - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$

La valeur du paramètre HI_{MS} est calculée avec l'équation suivante :

$$HI_{MS} = \frac{\sum(\text{mean}[SSC_{i \text{ rising}}^*(Q_i) - SSC_{i \text{ falling}}^*(Q_i)]_{\text{év}} * M_{S_{\text{év}}})}{\sum M_{S_{\text{év}}}} \quad i \in [0.01, 1]$$

Annexe 3 : Courbe de distribution du flux en fonction de la cMES et du débit, normalisés par le maximum

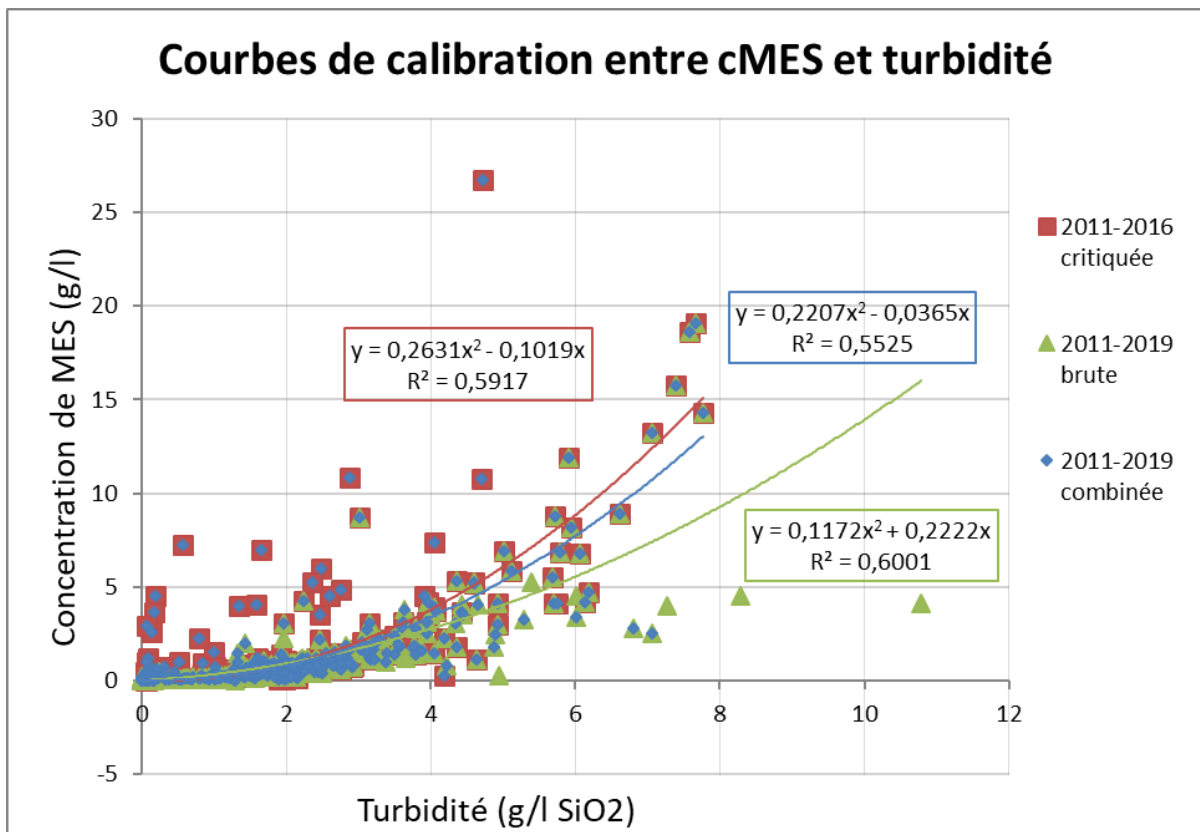


Annexe 4 : Jeu d'indicateurs obtenu au pas de temps de référence

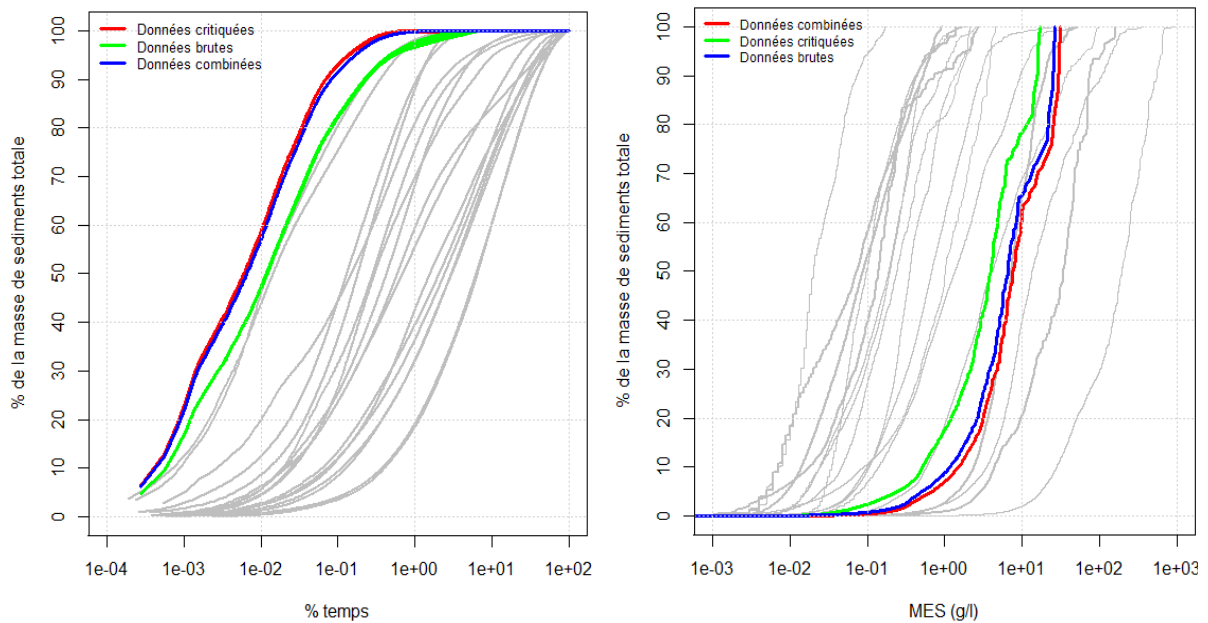
station	AgrHys/ Kervidy	Arcisère/ Arc Ponta.	Arcisère/ Gre. Camp.	DraixBl/ Galabre	DraixBl/ Laval	Louroux/ Beaulieu	Louroux/ Conteraie	Louroux/ Grand Bray	Louroux/ Mansiers	M-Tropics/ HouayPano	OHMCV/ Cladugne	OMERE/ Kamech	OSR/ Ardeche	OSR/Arve Genève	OSR/Fier Motz	OSR/Rhône Jons	Sélune/ Signy	Sélune/ Virey
Q10%_m3/s	7,8E-02	1,1E+01	1,4E+02	3,1E-01	1,7E-01	8,3E-02	1,1E-02	2,4E-02	1,3E-02	7,3E-02	2,3E+01	3,3E-01	9,3E+01	7,2E+01	1,2E+02	5,9E+02	5,0E+00	4,5E+00
Q50%	2,8E-01	3,4E+01	3,0E+02	4,1E+00	1,6E+00	4,4E-01	9,2E-02	1,6E-01	1,4E-01	2,3E-01	8,7E+01	2,4E+00	6,5E+02	1,6E+02	3,0E+02	1,2E+03	2,4E+01	1,7E+01
Q90%	8,7E-01	7,2E+01	6,0E+02	2,0E+01	8,8E+00	9,9E-01	4,2E-01	6,4E-01	5,0E-01	4,8E-01	2,1E+02	7,7E+00	2,4E+03	4,2E+02	6,0E+02	2,3E+03	4,6E+01	4,1E+01
Qpente_cbe	4,1E-01	5,4E-01	7,0E-01	2,4E-01	2,6E-01	4,0E-01	2,8E-01	3,1E-01	2,7E-01	2,7E-01	5,3E-01	4,5E-01	3,2E-01	3,1E-01	5,6E-01	6,2E-01	7,4E-01	4,5E-01
Qn10%	6,3E-02	6,9E-02	1,7E-01	9,2E-03	1,2E-02	6,4E-02	1,4E-02	2,5E-02	2,1E-02	3,9E-02	1,1E-01	2,8E-02	3,1E-02	8,0E-02	1,8E-01	1,9E-01	5,9E-02	4,8E-02
Qn50%	2,2E-01	2,1E-01	3,5E-01	1,2E-01	1,1E-01	3,4E-01	1,2E-01	1,7E-01	2,2E-01	1,2E-01	4,1E-01	2,1E-01	2,1E-01	1,8E-01	4,4E-01	4,1E-01	2,8E-01	1,8E-01
Qn90%	7,0E-01	4,3E-01	6,9E-01	6,0E-01	5,8E-01	7,7E-01	5,3E-01	6,7E-01	8,1E-01	2,6E-01	1,0E+00	6,5E-01	8,1E-01	4,7E-01	8,9E-01	7,5E-01	5,3E-01	4,4E-01
q10%_m3/km²/s	1,4E-02	6,0E-03	2,5E-02	8,6E-03	4,2E-02	1,3E-02	3,7E-03	4,8E-03	6,6E-03	4,7E-02	1,4E-01	3,9E-02	4,0E-02	3,4E-02	7,6E-02	2,9E-02	6,3E-03	7,1E-03
q50%	4,5E-02	1,8E-02	5,2E-02	9,8E-02	1,5E-01	4,7E-02	3,0E-02	2,7E-02	4,3E-02	1,7E-01	9,0E-01	2,1E-01	1,9E-01	7,1E-02	1,8E-01	6,1E-02	3,1E-02	2,7E-02
q90%	1,0E-01	3,7E-02	1,1E-01	3,0E-01	4,0E-01	1,2E-01	7,6E-02	6,5E-02	1,2E-01	4,9E-01	1,4E+00	3,9E-01	8,8E-01	1,7E-01	2,9E-01	1,2E-01	5,8E-02	6,3E-02
qpente_cbe	5,2E-01	5,5E-01	6,9E-01	2,8E-01	4,5E-01	4,5E-01	3,3E-01	3,8E-01	3,4E-01	4,2E-01	4,4E-01	4,3E-01	3,2E-01	6,3E-01	7,5E-01	7,2E-01	4,5E-01	4,6E-01
F10%_kg/s	7,5E-04	1,1E+01	2,6E+01	5,1E+00	8,4E+00	1,0E-02	7,2E-04	9,7E-04	3,2E-04	2,1E-01	3,1E+01	2,2E+00	2,7E+00	9,6E+00	1,1E+01	8,6E+00	6,3E-02	2,3E-01
F50%	2,0E-02	1,3E+02	3,9E+02	6,7E+01	3,5E+02	1,6E-01	1,8E-02	2,9E-02	2,9E-02	1,8E+00	4,9E+02	9,7E+01	1,1E+02	1,1E+02	3,3E+02	1,1E+02	5,2E-01	1,9E+00
F90%	3,1E-01	1,7E+03	4,9E+03	3,4E+02	2,7E+03	1,3E+00	4,1E-01	2,5E-01	2,6E-01	6,9E+00	5,4E+03	5,5E+02	5,3E+02	1,0E+03	2,0E+03	1,1E+03	2,8E+00	1,0E+01
f10%_kg/km²/s	1,5E-04	7,6E-03	4,7E-03	2,5E-01	9,8E+00	1,7E-03	3,5E-04	1,9E-04	1,6E-04	3,6E-01	7,4E-01	1,2E+00	1,2E-03	4,7E-03	8,1E-03	4,3E-04	8,2E-05	3,7E-04
f50%	4,0E-03	8,7E-02	6,9E-02	3,3E+00	4,0E+02	2,6E-02	9,0E-03	5,7E-03	1,5E-02	3,0E+00	1,2E+01	5,5E+01	5,1E-02	5,4E-02	1,4E+01	5,5E-03	6,7E-04	3,0E-03
f90%	6,3E-02	1,2E+00	8,7E-01	1,7E+01	3,1E+03	2,2E-01	2,0E-01	5,0E-02	1,3E-02	1,1E+01	1,3E+02	3,2E+02	2,4E-01	5,0E-01	1,4E+00	5,5E-02	3,6E-03	1,6E-02
MES10%_g/l	7,0E-03	5,8E-01	1,4E-01	3,5E+00	2,8E+01	9,9E-02	4,6E-02	2,4E-02	2,4E-02	2,4E+00	1,2E+00	4,4E+00	1,8E-02	1,0E-01	9,0E-02	1,4E-02	7,0E-03	3,4E-02
MES50%	7,4E-02	4,1E+00	1,4E+00	1,3E+01	1,9E+02	3,5E-01	2,4E-01	1,9E-01	1,9E-01	7,3E+00	5,9E+00	3,4E+01	1,4E-01	6,7E-01	1,0E+00	8,8E-02	2,0E-02	9,8E-02
MES90%	4,4E-01	3,8E+01	9,4E+00	1,1E+02	5,5E+02	1,4E+00	1,6E+00	5,1E-01	9,0E-01	2,0E+01	2,5E+01	7,7E+01	7,3E-01	2,9E+00	3,7E+00	5,3E-01	7,3E-02	4,2E-01
MESpente_cbe	2,4E-01	2,4E-01	2,4E-01	2,9E-01	3,3E-01	3,8E-01	2,8E-01	3,3E-01	2,8E-01	4,7E-01	3,3E-01	3,5E-01	2,7E-01	3,0E-01	2,7E-01	2,8E-01	4,3E-01	4,0E-01
MESn10%	5,0E-03	5,9E-03	3,1E-03	9,6E-03	3,1E-02	4,7E-02	1,7E-02	1,2E-02	9,7E-03	4,7E-02	4,7E-02	2,7E-02	6,7E-03	4,0E-03	2,0E-02	1,5E-02	4,1E-02	1,8E-02
MESn50%	5,3E-02	4,2E-02	3,0E-02	3,7E-02	2,1E-01	1,7E-01	9,0E-02	9,7E-02	7,6E-02	1,4E-01	2,2E-01	2,1E-01	5,2E-02	2,6E-02	2,3E-01	9,7E-02	1,2E-01	5,2E-01
MESn90%	3,1E-01	3,9E-01	2,1E-01	3,0E-01	6,2E-01	6,4E-01	6,0E-01	2,6E-01	3,6E-01	3,9E-01	9,5E-01	4,8E-01	2,7E-01	1,1E-01	8,4E-01	5,8E-01	4,3E-01	2,2E-01
Mt0.1%_flux	2,4E-01	1,4E+01	1,2E+01	4,4E+01	7,5E+01	2,5E+01	4,4E+01	1,2E+01	2,4E+01	3,7E+01	9,0E+01	8,0E+01	2,7E+01	9,4E+00	3,2E+01	8,4E+00	3,5E+00	4,1E+00
Ts10%_%temps	2,4E-02	6,3E-02	7,4E-02	6,8E-03	7,6E-04	2,0E-02	3,6E-03	7,9E-02	2,1E-02	1,3E-02	5,4E-04	9,5E-04	2,8E-02	1,1E-01	2,0E-02	1,3E-01	4,0E-01	3,7E-01
Ts50%	6,9E-01	2,1E+00	2,4E+00	1,3E-01	1,4E-02	4,3E-01	1,5E-01	1,6E+00	5,9E-01	1,8E-01	9,8E-03	1,2E-02	3,0E-01	3,0E+00	2,9E-01	3,0E+00	6,5E+00	6,2E+00
Ts90%	1,4E+01	2,2E+01	2,8E+01	1,1E+00	3,6E-01	3,8E+00	2,3E+00	3,0E+01	2,2E+01	1,1E+00	9,7E-02	2,4E-01	5,8E+00	2,7E+01	3,1E+00	3,2E+01	3,9E+01	3,9E+01
Mv2%_flux	1,1E+01	7,9E+00	2,4E+01	1,2E+01	1,7E+01	6,4E+00	1,6E+01	8,4E+00	1,0E+01	1,3E+01	4,5E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	3,4E+01	2,0E+01	4,9E+00	2,0E+00
Mv1-10%	3,8E+01	1,5E+01	2,9E+01	4,2E+01	4,6E+01	2,1E+01	2,5E+01	3,5E+01	3,8E+01	4,5E+01	4,9E+01	3,9E+01	3,7E+01	3,1E+01	5,1E+01	3,6E+01	1,7E+01	1,1E+01
Vs10%_vol	7,6E+01	3,2E+00	4,5E-01	1,5E+00	1,2E+00	4,0E+00	1,2E+00	2,3E+00	2,0E+00	1,6E+00	1,9E-01	1,6E+00	1,3E+00	1,2E+00	4,2E-01	7,1E-01	4,9E+00	8,4E+00
Vs50%	7,6E+01	4,0E+01	1,3E+01	1,1E+01	7,7E+00	2,4E+01	2,0E+01	1,5E+01	1,2E+01	9,6E+00	2,5E+00	1,1E+01	1,3E+01	1,7E+01	4,2E+00	1,1E+01	3,3E+01	4,0E+01
Vs90%	7,6E+01	7,3E+01	6,9E+01	6,9E+01	3,6E+01	6,1E+01	5,4E+01	8,1E+01	6,6E+01	3,9E+01	1,4E+01	4,9E+01	5,5E+01	6,5E+01	2,7E+01	5,7E+01	8,3E+01	8,2E+01
Ts50%/Tv50%	6,3E-02	1,2E-01	7,5E-02	1,5E-02	8,0E-03	1,6E-01	6,3E-02	7,3E-02	3,9E-02	2,8E-02	2,5E-03	3,7E-02	2,9E-02	1,1E-01	2,0E-02	1,0E-01	3,8E-01	4,0E-01
Mt2%/Vt2%	4,0E+00	5,3E+00	8,8E+00	3,6E+00	1,9E+00	1,8E+00	1,9E+00	3,5E+00	3,4E+00	3,4E+00	2,5E+00	1,3E+00	3,3E+00	5,6E+00	5,9E+00	6,8E+00	2,7E+00	2,3E+00
HI_ms	2,7E-01	8,3E-03	-3,7E-02	8,1E-02	1,9E-02	2,7E-01	1,8E-01	2,2E-01	3,2E-01	-1,9E-02	-1,9E-02	1,9E-01	-3,6E-02	-1,1E-01	-1,1E-01	-7,0E-02	8,7E-02	1,3E-01
HI_ms_hiv	3,4E-01	6,8E-02	-1,6E-01	1,6E-01	6,8E-02	2,7E-01	1,7E-01	2,7E-01	3,5E-01	-3,2E-01	-1,4E-01	1,1E-01	-6,7E-02	1,1E-01	-6,5E-02	-8,2E-02	1,1E-01	2,0E-01
HI_ms_print	3,4E-02	2,4E-02	2,9E-02	1,4E-01	1,5E-02	4,3E-01	1,7E-01	1,8E-01	3,1E-01	-4,9E-02	-1,7E-02	1,2E-03	-2,7E-02	-1,2E-01	-1,1E-01	-6,9E-02	-3,6E-03	-2,4E-02
HI_ms_ete	-1,0E-01	-2,1E-02	-9,1E-02	-2,8E-01	2,6E-02	2,8E-01	-6,4E-02	-1,1E-01	-4,1E-02	-1,3E-02	-1,8E-01	-4,9E-03	1,4E-01	-2,0E-01	-3,1E-01	-1,1E-01	7,1E-02	4,1E-03
HI_ms_aut	2,0E-01	-1,5E-03	-1,8E-01	1,3E-01	3,2E-03	3,6E-01	2,5E-01	6,6E-02	2,7E-01	-7,5E-03	3,4E-02	2,6E-01	-5,3E-02	-2,5E-02	-1,2E-01	-4,2E-02	1,5E-01	1,6E-01
amplitude	4,4E-01	8,9E-02	2,1E-01	4,4E-01	6,5E-02	1,7E-01	3,2E-01	3,8E-01	3,9E-01	3,1E-01	2,2E-01	2,6E-01	2,1E-01	3,1E-01	2,4E-01	6,6E-02	1,6E-01	2,2E-01
SSY	3,6E+01	3,8E+02	3,3E+02	6,4E+02	1,1E+04	1,8E+01	3,0E+00	1,8E+01	1,5E+01	7,2E+02	2,1E+02	1,0E+03	2,4E+01	2,8E+02	9,9E+01	3,1E+01	6,0E+00	2,7E+01
MESmoy	1,1E-02	1,1E+00	2,9E-01	9,5E+00	3,7E+01	8,6E-02	3,6E-02	4,5E-02	3,0E-02	3,4E+00	1,1E+00	4,3E+00	1,7E-02	1,9E-01	5,6E-02	2,5E-02	1,2E-02	6,1E-02
Csw_pond	8,2E-03	9,4E-01	2,6E-01	1,0E+01	4,0E+01	1,3E-01	4,3E-02	4,4E-02	2,3E-02	3,4E+00	1,1E+00	3,5E+00	1,1E-02	1,6E-01	4,1E-02	2,1E-02	1,4E-02	6,5E-02
MESq10	3,0E-03	1,3E-01	4,0E-02	6,8E-01	7,9E+00	2,6E-02	9,1E-03	1,0E-02	1,0E-02	7,3E-01	2,0E-01	1,3E+00	2,0E-03	3,2E-02	7,3E-03	5,5E-03	4,0E-03	2,3E-02
MESq50	6,0E-03	4,8E-01	1,0E-01	2,7E+00	1,8E+01	5,2E-02	2,0E-02	1,9E-02	2,0E-02	2,5E+00	4,4E-01	2,5E+00	3,2E-03	8,8E-02	1,4E-02	1,2E-02	8,0E-03	4,1E-02
MESq90	1,3E-02	2,2E+00	5,5E-01	2,1E+01	7,7E+01	1,7E-01	6,7E-02	1,0E-01	4,9E-02	7,2E+00	2,6E+00	7,5E+00	2,9E-02	4,3E-01	8,1E-02	4,8E-02	2,5E-02	1,2E-01
MES_earthtype	6,7E-01	1,7E+00	1,7E+00	2,2E+00	1,4E+00	1,1E+00	1,3E+00	1,3E+00	8,4E-01	1,2E+00	1,7E+00	9,9E-01	1,1E+00	1,5E+00	1,6E+00	1,2E+00	1,1E+00	9,4E-01
MES_var	1,4E+00	2,0E+00	2,5E+00	3,7E+00	2,3E+00	2,6E+00	2,2E+00	2,3E+00	1,2E+00	1,4E+00	2,4E+00	1,4E+00	3,5E+00	1,8E+00	2,9E+00	1,7E+00	1,8E+00	1,6E+00
Qmoy	4,6E-02	1,5E+01	1,6E+02	2,7E-01	8,8E-03	1,8E-02	2,3E-03	4,1E-02	1,4E-02	1,1E-02	6,2E-01	6,5E-03	5,7E+01	7,4E+01	3,3E+01	5,7E+02	9,4E+00	7,4E+00
Qq10	0,0E+00	5,1E+00	8,5E+01	2,9E-02	1,0E-04	0,0E+00	0,0E+00	2,0E-02	4,0E-03	1,0E-03	2,4E-02	0,0E+00	6,2E+00	2,7E+01	3,7E+00	2,6E+02	2,4E+00	1,2E+00
Qq50	1,3E-02	7,8E+00	1,5E+02	1,1E-01	1,2E-03	2,4E-03	2,4E-03	2,7E-02	8,4E-03	4,0E-03	1,6E-01	1,8E-04	2,7E+01	6,1E+01	2,4E+01	5,0E+02	5,0E+00	

Annexe 5 : Analyse de sensibilité selon la courbe de calibration cMES-Turbidité

Les représentations graphiques de la distribution du flux reposent notamment sur les chroniques de cMES. Comme présenté plus haut, pour de nombreux sites les données continues de cMES sont obtenues à partir de mesures de la turbidité puis d'une transformation grâce à une courbe de calibration. L'utilisation de cette courbe de calibration crée des incertitudes importantes au niveau de la cMES car pour une valeur de turbidité, il peut parfois exister plusieurs valeurs de cMES différentes. La minéralogie et la taille des sédiments mesurés sont notamment responsables des variations entre turbidité et cMES. Un test de sensibilité des courbes de distribution du flux a été réalisé avec différentes équations de calibration pour observer plus précisément l'impact des erreurs liées à la courbe de calibration. Ce test est fait à partir des données du site OHMCV sur la Claduègne avec trois courbes de calibration différentes. Une première calibration est faite à partir des données brutes de cMES et de turbidité sur la période 2011 à 2019, une autre est faite à partir de données critiquées de 2011 à 2016, c'est-à-dire que les points avec des valeurs aberrantes ont été modifiés. La dernière calibration est faite avec un combiné des données critiquées pour la période avant 2016 et des données brutes après 2016.



Des différences importantes sont observées entre les différentes courbes : pour une turbidité de 8 g/L SiO₂, l'utilisation de l'équation à partir des données brutes associerait une valeur de 9.3 g/L de cMES, la courbe à partir de données retravaillées donnerait une valeur de 16 g/L et celle qui combine les deux, une valeur intermédiaire de 13.8 g/L. Lorsque 3 chroniques de cMES sont construites avec ces trois équations différentes, les courbes de distribution du flux sont décalées en conséquence les unes par rapport aux autres. Après construction des 3 chroniques avec les différentes équations puis traçage de la distribution des flux selon le pourcentage de temps et la cMES, on remarque que l'erreur créée par l'utilisation des données brutes est importante, les deux autres courbes sont relativement proches. Lorsque l'on compare avec les courbes des autres sites, il faut souligner que peu importe l'équation utilisée, le site de la Claduègne présente le transport des sédiments le plus rapide de tous ceux étudiés. Les observations varient un peu pour la courbe du flux cumulé en fonction de la concentration, cependant les interprétations générales restent les mêmes dans le cas de ce cours d'eau. Ainsi nous allons privilégier le jeu de données critiquées mais aussi maximiser le nombre d'année étudiées et donc utiliser l'équation intermédiaire issue des données combinées. Cette conclusion est étendue à l'ensemble des sites pour la suite de l'étude.



Les courbes de distribution du flux selon les différentes équations de calibration utilisées

Annexe 6 : Jeu d'indicateurs obtenu au pas de temps journalier

station	AgrHys/ Kervidy	Arcsère/ Arc Ponta.	Arcsère/ Gre. Campus	Auradé	DraixBl./ Galabre	DraixBl./ Laval	HYBAM/ Chazuta	HYBAM/ Francisco de O.	HYBAM/ Rurrenabaque	Louroux/ Beaulieu	Louroux/ Conteraye
Q10%_m3/s	7,1E-02	9,0E+00	1,4E+02	2,2E-01	1,7E-01	3,6E-02	2,6E+03	9,7E+02	2,5E+03	7,5E-02	7,5E-03
Q50%	2,2E-01	2,7E+01	2,9E+02	9,3E-01	2,0E+00	1,3E-01	5,0E+03	1,9E+03	4,8E+03	2,8E-01	6,0E-02
Q90%	4,9E-01	5,6E+01	6,0E+02	2,3E+00	5,9E+00	3,4E-01	6,7E+03	3,8E+03	1,2E+04	7,0E-01	1,5E-01
Qpente_cbe	5,2E-01	5,5E-01	6,9E-01	4,3E-01	2,8E-01	4,5E-01	1,0E+00	7,3E-01	6,5E-01	4,5E-01	3,3E-01
Qn10%	8,2E-02	1,1E-01	1,9E-01	9,7E-02	1,7E-02	7,4E-02	3,0E-01	1,6E-01	1,1E-01	9,0E-02	4,9E-02
Qn50%	2,6E-01	3,4E-01	3,9E-01	4,0E-01	1,9E-01	2,6E-01	6,0E-01	3,1E-01	2,1E-01	3,3E-01	3,9E-01
Qn90%	5,7E-01	7,2E-01	8,2E-01	1,0E+00	5,7E-01	6,9E-01	7,9E-01	6,2E-01	5,3E-01	8,3E-01	1,0E+00
q10%_m3/km²/s	1,4E-02	6,0E-03	2,5E-02	7,0E-02	8,6E-03	4,2E-02	3,7E-02	7,8E-02	3,6E-02	1,3E-02	3,7E-03
q50%	4,5E-02	1,8E-02	5,2E-02	2,9E-01	9,8E-02	1,5E-01	7,3E-02	1,5E-01	6,8E-02	4,7E-02	3,0E-02
q90%	1,0E-01	3,7E-02	1,1E-01	7,3E-01	3,0E-01	4,0E-01	9,7E-02	3,1E-01	1,7E-01	1,2E-01	7,6E-02
qpente_cbe	5,2E-01	5,5E-01	6,9E-01	4,3E-01	2,8E-01	4,5E-01	1,0E+00	7,3E-01	6,5E-01	4,5E-01	3,3E-01
F10%_kg/s	7,7E-04	1,0E+01	2,6E+01	4,7E-02	2,4E+00	2,4E+00	1,2E+03	1,9E+02	4,9E+03	9,7E-03	6,6E-04
F50%	1,4E-02	9,0E+01	3,2E+02	1,0E+00	2,3E+01	1,6E+01	4,7E+03	9,3E+02	2,5E+04	9,7E-02	9,1E-03
F90%	5,1E-02	4,4E+02	4,5E+03	7,4E+00	6,6E+01	6,7E+01	1,1E+04	4,4E+03	8,8E+04	6,9E-01	7,8E-02
f10%_kg/km²/s	1,6E-04	6,9E-03	4,6E-03	1,5E-02	1,7E-01	2,8E+00	1,7E-02	1,5E-02	6,9E-02	1,6E-03	3,3E-04
f50%	2,9E-03	6,0E-02	5,8E-02	3,2E-01	1,1E+00	1,9E+01	6,8E-02	7,5E-02	3,5E-01	1,6E-02	4,5E-03
f90%	1,0E-02	3,0E-01	8,2E-01	2,3E+00	3,3E+00	7,8E+01	1,6E-01	3,6E-01	1,3E+00	1,2E-01	3,9E-02
MES10%_g/l	7,4E-03	5,7E-01	1,4E-01	2,1E-01	2,2E+00	2,4E+01	4,1E-01	1,5E-01	1,7E+00	1,0E-01	4,5E-02
MES50%	6,0E-02	3,2E+00	1,1E+00	1,1E+00	9,4E+00	1,6E+02	9,4E-01	4,8E-01	4,6E+00	3,3E-01	2,2E-01
MES90%	2,0E-01	1,7E+01	9,0E+00	3,2E+00	6,1E+01	3,8E+02	2,0E+00	1,4E+00	8,9E+00	9,9E-01	1,3E+00
MESpente_cbe	3,0E-01	2,9E-01	2,4E-01	3,7E-01	3,0E-01	3,6E-01	6,3E-01	4,5E-01	6,0E-01	4,4E-01	3,0E-01
MESn10%	1,1E-02	1,2E-02	1,2E-02	6,6E-02	1,7E-02	4,5E-02	1,1E-01	5,7E-02	9,4E-02	7,4E-02	3,5E-02
MESn50%	9,0E-02	7,0E-02	9,4E-02	3,4E-01	7,2E-02	2,9E-01	2,4E-01	1,8E-01	2,6E-01	2,4E-01	1,7E-01
MESn90%	3,0E-01	3,7E-01	7,6E-01	1,0E+00	4,6E-01	7,2E-01	5,2E-01	5,4E-01	5,0E-01	7,3E-01	1,0E+00
Mt1%_flux	4,2E+01	2,4E+01	3,2E+01	9,4E+01	6,8E+01	7,1E+01	7,6E+00	1,3E+01	1,6E+01	5,7E+01	7,0E+01
Ts10%_%temps	1,6E-01	3,2E-01	1,1E-01	2,0E-02	7,6E-02	5,5E-02	1,5E+00	6,6E-01	4,9E-01	4,9E-02	5,1E-02
Ts50%	1,6E+00	4,3E+00	3,3E+00	5,9E-02	5,3E-01	4,4E-01	1,4E+01	1,1E+01	6,5E+00	7,8E-01	3,6E-01
Ts90%	1,5E+01	2,8E+01	3,0E+01	5,5E-01	3,0E+00	2,4E+00	4,5E+01	5,0E+01	2,8E+01	4,8E+00	3,6E+00
Mv2%_flux	1,0E+01	5,1E+00	2,3E+01	4,1E+01	8,8E+00	2,5E+00	3,7E+00	4,3E+00	5,4E+00	1,1E+00	1,3E+01
Mv1-10%	3,4E+01	9,5E+00	2,6E+01	3,3E+01	2,9E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,8E+01	2,0E+01	2,9E+01	7,4E+00
Vs10%_%vol	3,0E+00	6,8E+00	5,6E-01	2,9E+00	3,7E+00	5,8E+00	6,1E+00	4,3E+00	4,0E+00	4,1E+00	3,4E+00
Vs50%	2,0E+01	4,7E+01	1,5E+01	5,3E+00	2,3E+01	2,9E+01	3,3E+01	3,2E+01	2,7E+01	3,0E+01	2,4E+01
Vs90%	7,9E+01	7,9E+01	7,0E+01	1,9E+01	8,5E+01	6,0E+01	7,4E+01	7,9E+01	6,3E+01	6,3E+01	5,9E+01
Ts50%/Tv50%	1,4E-01	2,2E-01	1,0E-01	6,1E-03	5,5E-02	1,3E-01	4,8E-01	3,7E-01	3,1E-01	2,4E-01	1,2E-01
Mt2%/Vt2%	3,7E+00	4,4E+00	7,9E+00	3,1E+00	3,3E+00	2,2E+00	2,7E+00	3,2E+00	2,6E+00	1,9E+00	1,9E+00
SSY_t/km²/jan	3,6E+01	3,8E+02	3,3E+02	3,5E+01	6,4E+02	1,1E+04	9,3E+02	1,1E+03	2,7E+03	1,8E+01	3,0E+00
MESmoy	1,3E-02	1,2E+00	2,9E-01	4,8E-02	8,6E+00	7,1E+01	6,2E-01	2,8E-01	2,2E+00	9,4E-02	4,6E-02
Csw_pond	2,0E-02	1,2E+00	3,5E-01	2,3E-01	1,5E+00	3,4E+01	6,7E-01	3,2E-01	2,8E+00	1,8E-01	8,4E-02
MESq10	3,6E-03	1,3E-01	4,1E-02	1,2E-02	6,2E-01	1,0E+01	1,5E-01	7,8E-02	4,4E-01	2,5E-02	1,0E-02
MESq50	5,9E-03	5,1E-01	1,1E-01	1,9E-02	2,8E+00	3,3E+01	5,1E-01	1,9E-01	1,5E+00	5,5E-02	2,1E-02
MESq90	1,8E-02	2,4E+00	6,0E-01	6,7E-02	2,2E+01	1,9E+02	1,2E+00	6,1E-01	4,9E+00	2,0E-01	9,5E-02
MES_ecarttype	8,1E-01	1,7E+00	1,9E+00	9,2E-01	2,7E+00	1,9E+00	1,1E+00	1,2E+00	1,5E+00	1,2E+00	1,6E+00
MES_var	3,4E+00	2,3E+00	3,4E+00	1,2E+01	5,4E-01	1,0E+00	1,3E+00	1,6E+00	1,8E+00	3,3E+00	4,1E+00
Qmoy	4,6E-02	1,5E+01	1,6E+02	1,6E-02	2,7E-01	8,8E-03	3,0E+03	1,3E+03	2,2E+03	1,8E-02	2,3E-03
Qq10	0,0E+00	5,1E+00	8,5E+01	2,0E-03	2,9E-02	1,0E-04	1,1E+03	6,3E+02	6,3E+02	0,0E+00	0,0E+00
Qq50	1,3E-02	8,6E+00	1,4E+02	8,5E-03	1,2E-01	1,4E-03	2,6E+03	1,1E+03	1,4E+03	2,4E-03	2,4E-03
Qq90	1,4E-01	3,6E+01	2,7E+02	2,5E-02	5,6E-01	1,9E-02	5,6E+03	2,2E+03	4,5E+03	4,0E-02	3,7E-03
Q_ecarttype	5,2E+00	1,7E+00	6,3E-01	9,0E-01	2,1E+00	3,2E+00	1,1E+00	7,0E-01	1,6E+00	3,3E+00	8,4E-01
Q_var	3,4E+00	1,8E+00	1,1E+00	1,8E+00	2,3E+00	6,3E+00	1,2E+00	1,2E+00	1,6E+00	7,7E+00	9,6E-01
qmoy	9,3E-03	1,0E-02	2,9E-02	4,9E-03	1,4E-02	1,0E-02	4,4E-02	1,1E-01	3,1E-02	3,1E-03	1,1E-03
qq10	0,0E+00	3,4E-03	1,5E-02	6,3E-04	1,4E-03	1,2E-04	1,5E-02	5,1E-02	9,0E-03	0,0E+00	0,0E+00
qq50	2,7E-03	5,7E-03	2,6E-02	2,7E-03	5,8E-03	1,6E-03	3,8E-02	9,0E-02	2,0E-02	4,0E-04	0,0E+00
qq90	2,8E-02	2,4E-02	4,8E-02	8,0E-03	2,8E-02	2,2E-02	8,1E-02	1,8E-01	6,4E-02	6,8E-03	1,8E-03
qq_75-25	1,4E-02	9,7E-03	1,6E-02	2,4E-03	1,2E-02	5,3E-03	4,1E-02	6,3E-02	3,1E-02	1,3E-03	9,8E-04
Vt2%_%vol	1,5E+01	8,0E+00	5,2E+00	3,1E+01	2,5E+01	3,9E+01	4,8E+00	6,4E+00	1,0E+01	3,9E+01	4,3E+01
Tv10%_%temps	1,2E+00	2,6E+00	4,4E+00	1,6E-01	4,9E-01	2,6E-01	4,4E+00	3,5E+00	2,0E+00	3,4E-01	2,5E-01
Tv50%	1,1E+01	2,0E+01	3,3E+01	9,6E+00	9,6E+00	3,5E+00	2,8E+01	3,0E+01	2,1E+01	3,2E+00	3,0E+00
Tv90%	3,5E+01	7,1E+01	8,0E+01	6,1E+01	5,0E+01	2,6E+01	7,4E+01	7,9E+01	6,9E+01	2,1E+01	2,9E+01

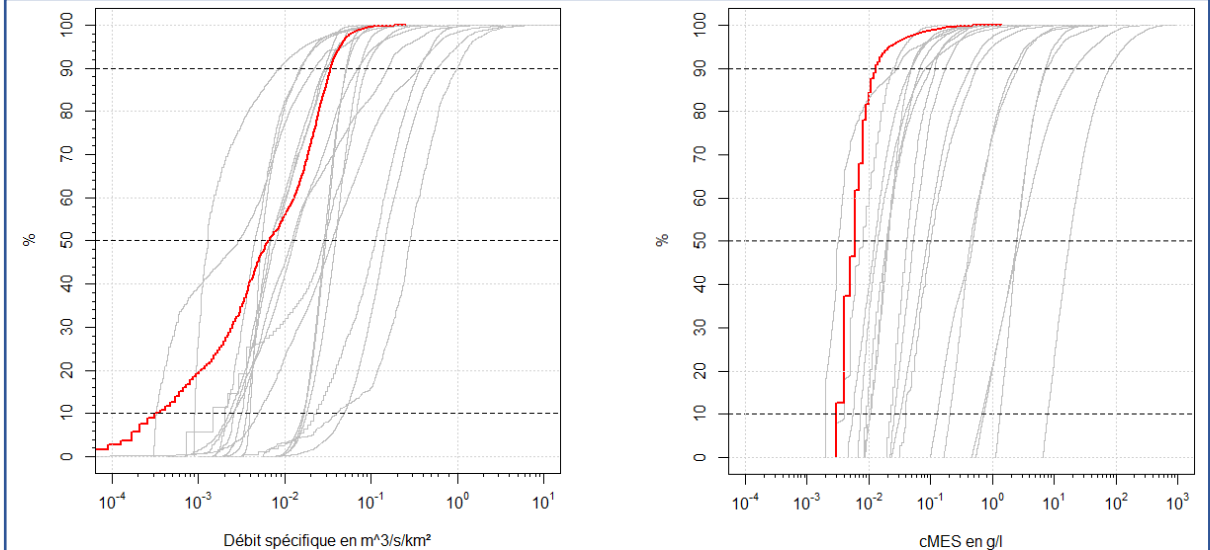
Annexe 6 (suite) :

station	Louroux/ GrandBray	Louroux/ Masniers	M-Tropics/ HouayPano	OHMCV/ Claduegne	OMERE/ Kamech	OSR/ Ardeche St Martin	OSR/ Arve Genève	OSR/ Fier Motz	OSR/ Rhône Jons	Sélune/ Signy	Sélune/ Virey
Q10%_m3/s	2,4E-02	1,3E-02	2,8E-02	5,9E+00	6,9E-02	8,9E+01	7,1E+01	1,0E+02	5,9E+02	4,9E+00	4,5E+00
Q50%	1,3E-01	8,5E-02	1,1E-01	3,8E+01	3,7E-01	4,3E+02	1,5E+02	2,5E+02	1,2E+03	2,4E+01	1,7E+01
Q90%	3,3E-01	2,4E-01	3,0E-01	5,7E+01	6,9E-01	2,0E+03	3,5E+02	4,0E+02	2,3E+03	4,5E+01	3,9E+01
Qpente_cbe	3,8E-01	3,4E-01	4,2E-01	4,4E-01	4,3E-01	3,2E-01	6,3E-01	7,5E-01	7,2E-01	4,5E-01	4,6E-01
Qn10%	4,0E-02	3,6E-02	8,7E-02	1,0E-01	1,0E-01	4,5E-02	1,0E-01	2,6E-01	2,0E-01	6,3E-02	5,5E-02
Qn50%	2,2E-01	2,4E-01	3,3E-01	6,6E-01	5,3E-01	2,1E-01	2,1E-01	6,4E-01	4,2E-01	3,1E-01	2,1E-01
Qn90%	5,4E-01	6,7E-01	9,3E-01	1,0E+00	1,0E+00	1,0E+00	5,1E-01	1,0E+00	8,0E-01	5,8E-01	4,8E-01
q10%_m3/km²/s	4,8E-03	6,6E-03	4,7E-02	6,6E-01	3,9E-02	4,0E-02	3,4E-02	7,6E-02	2,9E-02	6,3E-03	7,1E-03
q50%	2,7E-02	4,3E-02	1,7E-01	9,0E-01	2,1E-01	1,9E-01	7,1E-02	1,8E-01	6,1E-02	3,1E-02	2,7E-02
q90%	6,5E-02	1,2E-01	4,9E-01	1,4E+00	3,9E-01	8,8E-01	1,7E-01	2,9E-01	1,2E-01	5,8E-02	6,3E-02
qpente_cbe	3,8E-01	3,4E-01	4,2E-01	4,4E-01	4,3E-01	3,2E-01	6,3E-01	7,5E-01	7,2E-01	4,5E-01	4,6E-01
F10%_kg/s	9,4E-04	3,1E-04	7,0E-02	6,6E+00	6,2E-01	3,2E+00	9,9E+00	1,1E+01	8,5E+00	6,3E-02	2,3E-01
F50%	2,6E-02	1,8E-02	4,8E-01	7,9E+01	9,2E+00	6,9E+01	9,4E+01	1,8E+02	1,0E+02	5,2E-01	1,9E+00
F90%	1,2E-01	1,0E-01	2,0E+00	3,5E+02	1,6E+01	3,6E+02	6,9E+02	1,2E+03	9,9E+02	2,7E+00	7,2E+00
f10%_kg/km²/s	1,9E-04	1,6E-04	1,2E-01	1,6E-01	3,5E-01	1,1E-03	4,8E-03	8,2E-03	4,2E-04	8,2E-05	3,7E-04
f50%	5,2E-03	9,2E-03	8,0E-01	1,9E+00	3,5E+00	1,3E-02	4,6E-02	1,3E-01	5,2E-03	6,3E-03	3,0E-03
f90%	2,4E-02	5,1E-02	3,3E+00	8,4E+00	8,9E+00	1,6E-01	3,4E-01	8,7E-01	5,0E-02	3,5E-03	1,1E-02
MES10%_g/l	2,5E-02	2,4E-02	1,4E+00	1,1E+00	5,5E+00	1,9E-02	1,1E-01	1,0E-01	1,4E-02	7,3E-03	3,5E-02
MES50%	1,8E-01	1,7E-01	5,2E+00	6,2E+00	2,4E+01	1,1E-01	6,1E-01	8,3E-01	8,8E-02	2,0E-02	9,8E-02
MES90%	3,7E-01	6,6E-01	1,2E+01	6,2E+00	4,3E+01	1,0E+00	2,3E+00	3,0E+00	5,1E-01	7,4E-02	3,6E-01
MESpente_cbe	3,7E-01	3,0E-01	4,7E-01	5,6E-01	4,9E-01	2,5E-01	3,3E-01	2,9E-01	2,8E-01	4,3E-01	4,3E-01
MESn10%	2,0E-02	3,6E-02	7,2E-02	1,3E-01	6,4E-02	1,4E-02	2,0E-02	3,3E-02	1,7E-02	4,8E-02	4,8E-02
MESn50%	1,5E-01	2,5E-01	2,6E-01	7,6E-01	2,8E-01	7,8E-02	1,1E-01	2,8E-01	1,0E-01	1,3E-01	1,4E-01
MESn90%	3,0E-01	9,9E-01	6,0E-01	7,6E-01	5,0E-01	7,2E-01	4,1E-01	1,0E+00	6,1E-01	4,9E-01	5,0E-01
Mt1%_%flux	3,2E+01	4,7E+01	5,9E+01	9,7E+01	8,6E+01	6,3E+01	2,6E+01	6,8E+01	3,1E+01	1,9E+01	1,6E+01
Ts10%_%temps	2,1E-01	9,2E-02	6,8E-02	3,9E-02	6,8E-02	5,5E-02	1,9E-01	4,8E-02	1,4E-01	4,6E-01	5,8E-01
Ts50%	2,5E+00	1,2E+00	6,8E-01	7,8E-02	2,7E-01	5,5E-01	4,3E+00	5,3E-01	3,2E+00	6,7E+00	7,2E+00
Ts90%	3,1E+01	2,3E+01	3,5E+00	5,1E-01	1,4E+00	6,8E+00	2,9E+01	4,1E+00	4,0E+01	4,0E+01	4,0E+01
Mv2%_%flux	6,8E+00	7,1E+00	1,4E+01	4,9E+01	1,6E+01	2,2E+01	1,2E+01	2,7E+01	1,9E+01	5,0E+00	2,1E+00
Mv1-10%	3,2E+01	3,5E+01	2,8E+01	2,1E+01	1,5E+00	2,4E+01	2,8E+01	4,8E+01	3,5E+01	1,6E+01	1,0E+01
Vs10%_%vol	3,5E+00	3,6E+00	2,8E+00	3,6E+00	7,3E+00	1,9E+00	1,6E+00	5,7E-01	7,1E-01	5,2E+00	8,7E+00
Vs50%	1,8E+01	1,6E+01	1,9E+01	6,0E+00	3,5E+01	1,9E+01	2,0E+01	5,4E+00	1,1E+01	3,2E+01	4,1E+01
Vs90%	8,1E+01	6,7E+01	5,6E+01	3,5E+01	6,1E+01	5,6E+01	6,6E+01	2,6E+01	5,7E+01	8,4E+01	8,3E+01
Ts50%/Tv50%	1,1E-01	7,7E-02	9,1E-02	1,8E-02	2,7E-01	5,1E-02	1,6E-01	3,4E-02	1,1E-01	3,8E-01	4,6E-01
Mt2%/Vt2%	3,3E+00	3,4E+00	3,1E+00	2,8E+00	1,5E+00	3,3E+00	5,0E+00	5,9E+00	6,7E+00	2,7E+00	2,0E+00
SSY_t/km²/an	1,8E+01	1,5E+01	7,2E+02	5,1E+02	1,0E+03	2,4E+01	2,8E+02	9,9E+01	3,1E+01	6,0E+00	2,7E+01
MESmoy	4,6E-02	3,1E-02	2,9E+00	1,1E+00	8,4E+00	1,7E-02	2,0E-01	6,2E-02	2,5E-02	1,3E-02	6,3E-02
Csw_pond	6,8E-02	6,4E-02	1,2E+00	4,6E-01	9,0E+00	3,0E-02	2,4E-01	1,3E-01	3,5E-02	1,6E-02	7,2E-02
MESq10	1,1E-02	1,1E-02	7,9E-01	2,1E-01	1,4E+00	2,1E-03	3,3E-02	7,5E-03	5,5E-03	4,0E-03	2,3E-02
MESq50	1,9E-02	2,0E-02	2,0E+00	4,5E-01	3,6E+00	3,4E-03	9,4E-02	1,5E-02	1,3E-02	8,0E-03	4,2E-02
MESq90	1,0E-01	5,0E-02	6,2E+00	2,1E+00	1,9E+01	3,2E-02	4,7E-01	1,2E-01	4,8E-02	2,6E-02	1,2E-01
MES_ecarttype	1,3E+00	7,9E-01	1,2E+00	2,4E+00	1,9E+00	1,2E+00	1,6E+00	1,6E+00	1,2E+00	1,2E+00	9,3E-01
MES_var	3,5E+00	3,1E+00	6,2E-01	1,0E+00	2,5E+00	8,7E+00	2,6E+00	8,8E+00	2,8E+00	2,0E+00	1,7E+00
Qmoy	4,1E-02	1,4E-02	1,1E-02	6,2E-01	6,5E-03	5,7E+01	7,4E+01	3,3E+01	5,7E+02	9,4E+00	7,4E+00
Qq10	2,0E-02	4,0E-03	1,0E-03	2,4E-02	0,0E+00	6,2E+00	2,7E+01	3,7E+00	2,6E+02	2,4E+00	1,2E+00
Qq50	2,7E-02	8,4E-03	4,0E-03	1,6E-01	2,1E-04	2,8E+01	6,2E+01	1,9E+01	5,0E+02	5,0E+00	4,0E+00
Qq90	7,6E-02	2,8E-02	2,8E-02	1,1E+00	6,1E-03	1,2E+02	1,3E+02	8,1E+01	9,7E+02	2,2E+01	1,8E+01
Q_ecarttype	7,4E-01	1,1E+00	2,0E+00	2,4E+00	1,1E+01	1,8E+00	8,8E-01	1,8E+00	6,8E-01	1,9E+00	1,8E+00
Q_var	1,6E+00	1,7E+00	2,8E+00	3,8E+00	3,1E+01	2,0E+00	1,2E+00	1,7E+00	1,1E+00	1,9E+00	1,9E+00
qmoy	8,2E-03	7,4E-03	1,9E-02	1,5E-02	3,7E-03	2,5E-02	3,6E-02	2,4E-02	2,8E-02	1,2E-02	1,2E-02
qq10	3,9E-03	2,0E-03	1,7E-03	5,7E-04	0,0E+00	2,8E-03	1,3E-02	2,7E-03	1,3E-02	3,0E-03	1,9E-03
qq50	5,3E-03	4,3E-03	6,6E-03	3,9E-03	1,2E-04	1,2E-02	3,0E-02	1,4E-02	2,5E-02	6,5E-03	6,3E-03
qq90	1,5E-02	1,4E-02	4,6E-02	2,7E-02	3,5E-03	5,2E-02	6,5E-02	5,9E-02	4,8E-02	2,8E-02	2,8E-02
qq_75-25	3,9E-03	4,7E-03	1,3E-02	9,4E-03	1,3E-03	2,2E-02	2,7E-02	2,6E-02	1,7E-02	1,2E-02	1,1E-02
Vt2%_%vol	1,4E+01	1,8E+01	2,5E+01	3,6E+01	6,3E+01	2,3E+01	7,2E+00	1,4E+01	6,3E+00	1,0E+01	1,2E+01
Tv10%_%temps	1,3E+00	8,3E-01	5,5E-01	2,0E-01	1,4E-01	6,1E-01	3,1E+00	1,3E+00	3,6E+00	2,0E+00	1,6E+00
Tv50%	2,2E+01	1,6E+01	7,5E+00	4,3E+00	1,0E+00	1,1E+01	2,7E+01	1,5E+01	3,1E+01	1,7E+01	1,6E+01
Tv90%	7,9E+01	6,8E+01	4,4E+01	3,7E+01	1,4E+01	5,3E+01	7,5E+01	5,4E+01	7,8E+01	6,5E+01	6,0E+01

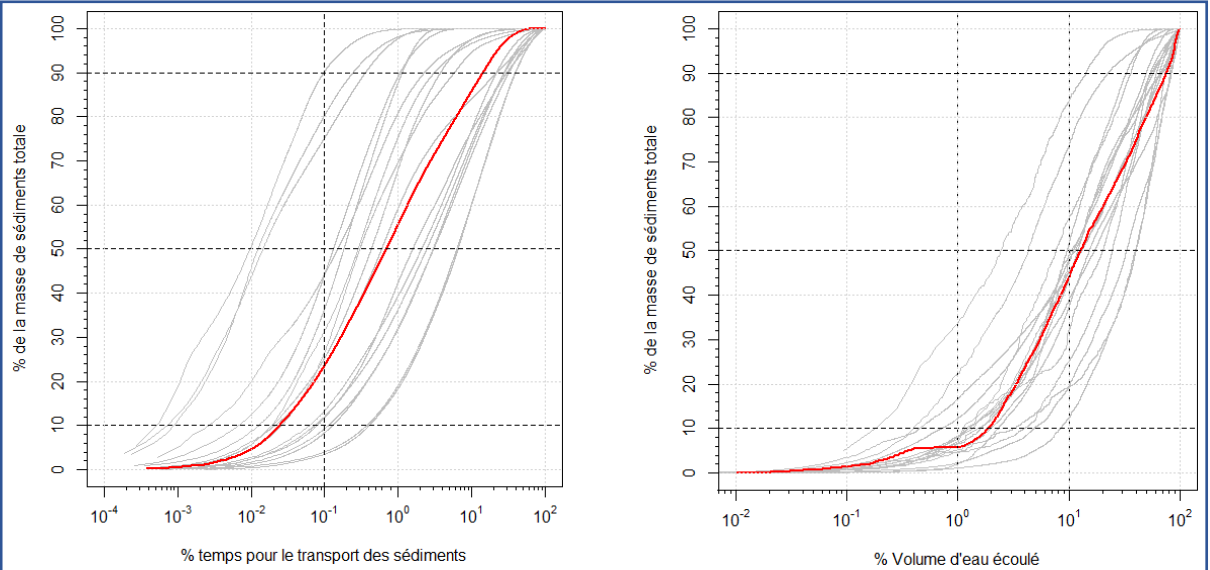
Annexe 7 : Carte d'identité de chaque bassin versant

AgrHys – Bassin versant de Kervidy Naizin (France)

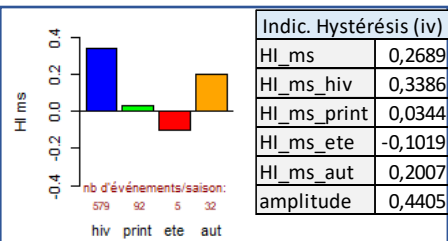
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/cultivés (%)	Sols couverts (%)
	48,005	-2,816	2007 + 2011 + 2013 + 2015 + 2016	10	4,9	Océanique	19	4,0	870	3,11	1,15	75	25



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	4,6E-02	0,0E+00	1,3E-02	1,4E-01	3,5E+00	9,3E-03	0,0E+00	2,7E-03	2,8E-02	1,4E-02	1,6E+01	9,4E-01	1,1E+01	3,4E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	3,6E+01	1,1E-02	8,2E-03	3,0E-03	6,0E-03	1,3E-02	6,7E-01	1,4E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	2,4E+01	2,4E-02	6,9E-01	1,4E+01	1,1E+01	3,8E+01	7,6E+01	7,6E+01	7,6E+01	6,3E-02	4,0E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	7,8E-02	2,8E-01	8,7E-01	4,1E-01	6,3E-02	2,2E-01	7,0E-01	1,4E-02	4,5E-02	1,0E-01	5,2E-01	7,5E-04
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	2,0E-02	3,1E-01	1,5E-04	4,0E-03	6,3E-02	7,0E-03	7,4E-02	4,4E-01	2,4E-01	5,0E-03	5,3E-02	3,1E-01

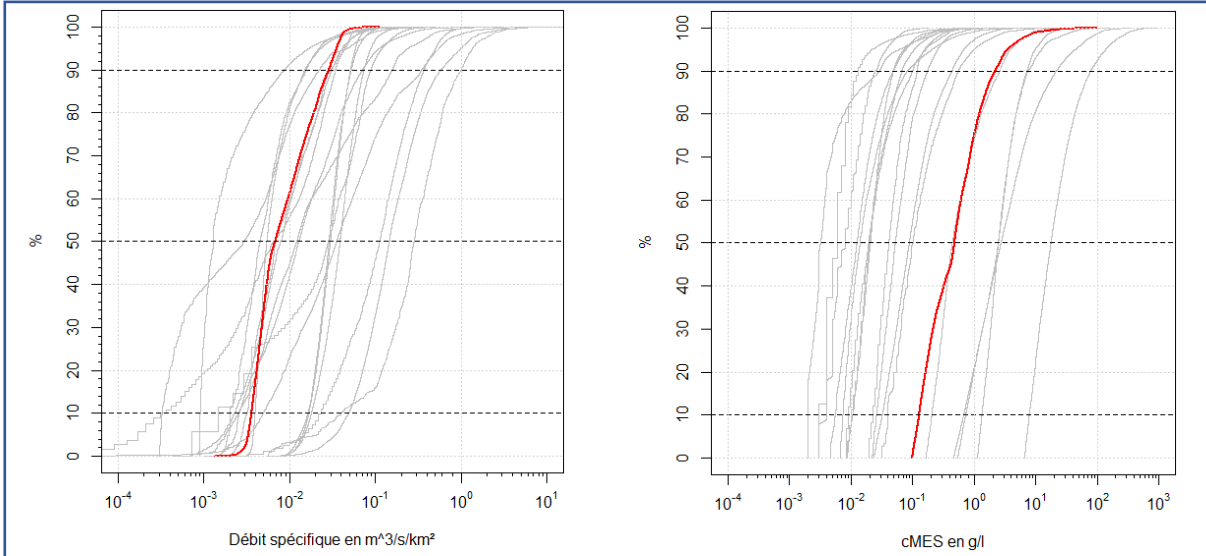


- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 1. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 1. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

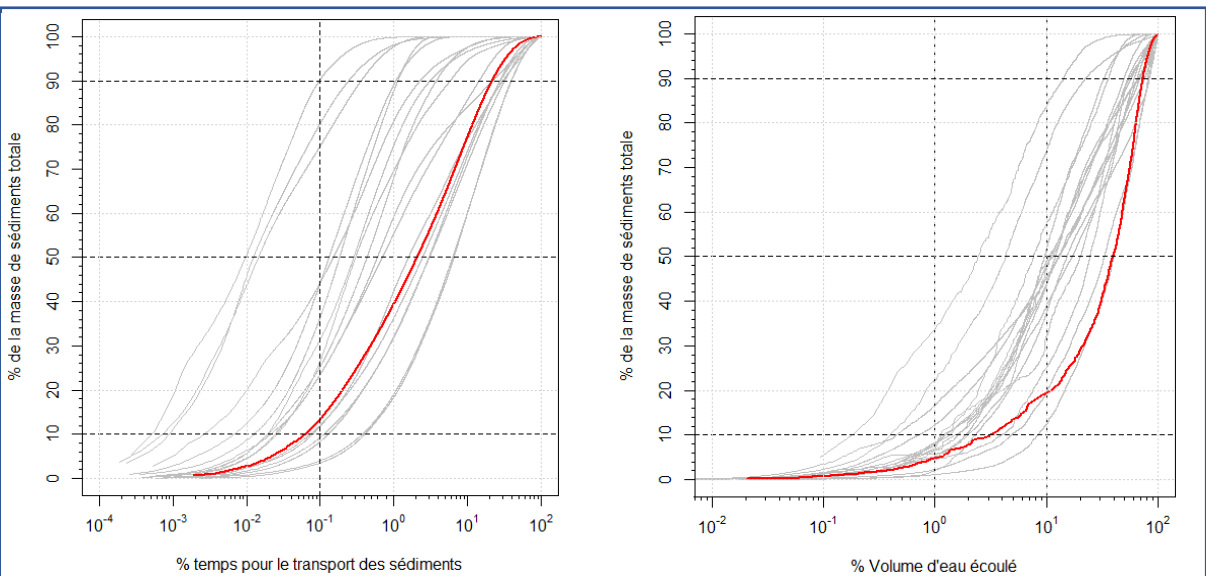
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

Arc Isère – Bassin versant de l’Arc à Pontamafrey (France)

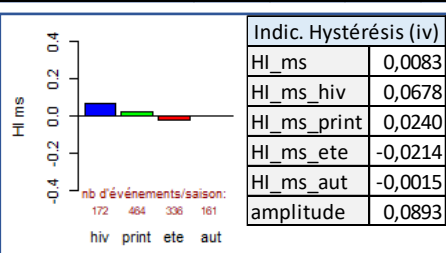
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	45,313	6,334	2011 + 2014 + 2015 + 2017 à 2019	60	1500	Montagneux	86	54,5	744	1,84	0,54	63	37



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	1,5E+01	5,1E+00	7,8E+00	3,6E+01	2,0E+00	1,0E-02	3,4E-03	5,7E-03	2,4E-02	9,7E-03	9,3E+00	2,2E+00	1,7E+01	7,0E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	3,8E+02	1,1E+00	9,4E-01	1,3E-01	4,8E-01	2,2E+00	1,7E+00	2,0E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	1,4E+01	6,3E-02	2,1E+00	2,2E+01	7,9E+00	1,5E+01	3,2E+00	4,0E+01	7,3E+01	1,2E-01	5,3E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	1,1E+01	3,4E+01	7,2E+01	5,4E-01	6,9E-02	2,1E-01	4,3E-01	6,0E-03	1,8E-02	3,7E-02	5,5E-01	1,1E+01
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	1,3E+02	1,7E+03	7,6E-03	8,7E-02	1,2E+00	5,8E-01	4,1E+00	3,8E+01	2,4E-01	5,9E-03	4,2E-02	3,9E-01

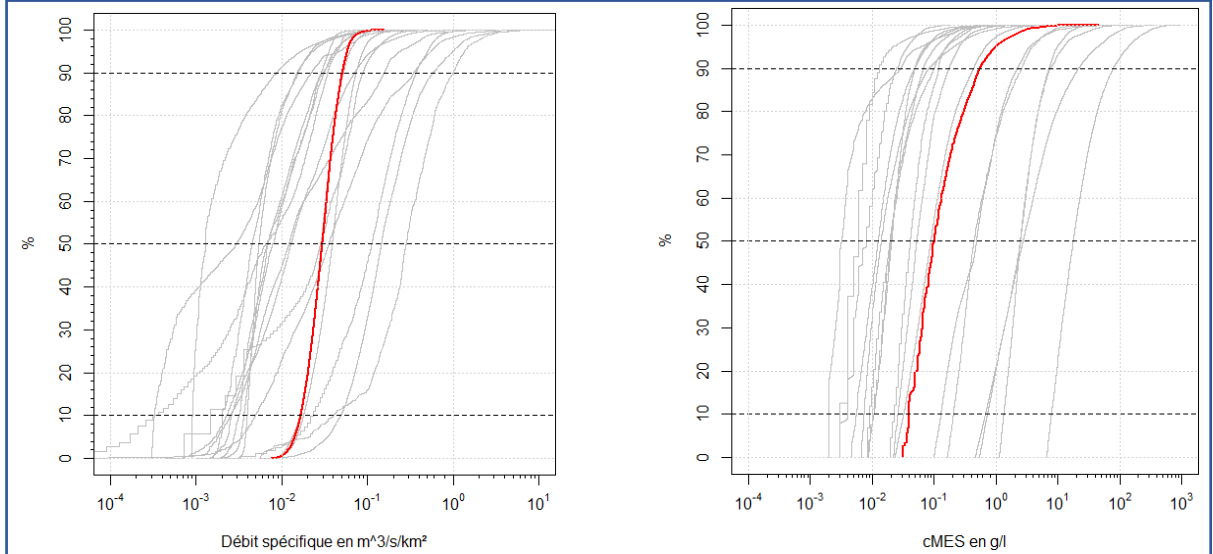


- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 1. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 1. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

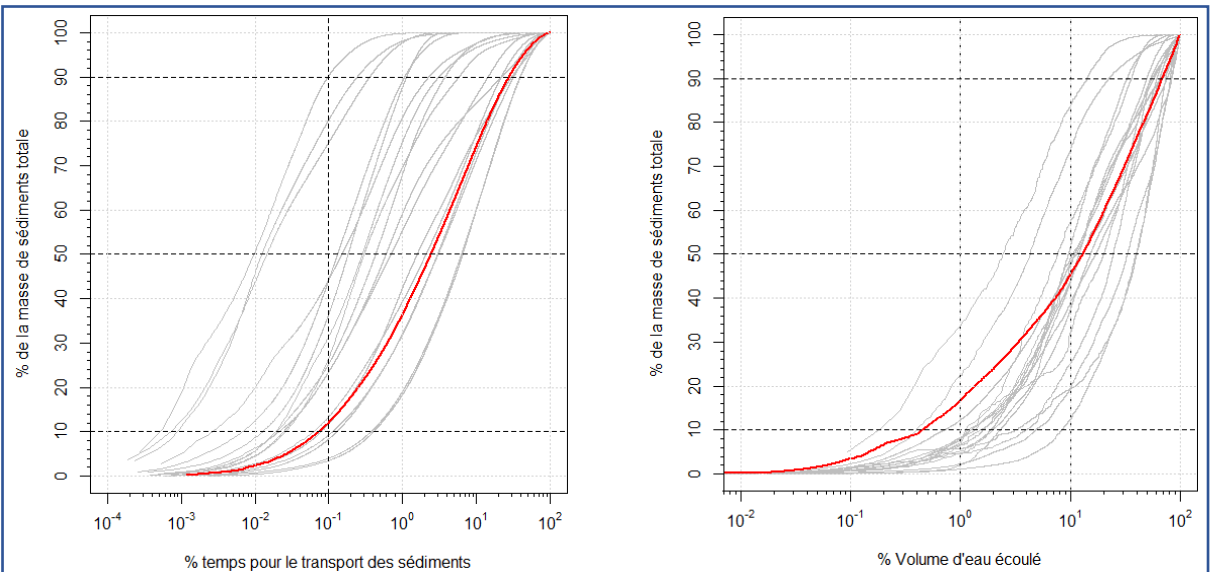
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

Arc Isère – Bassin versant de l'Isère à Grenoble Campus (France)

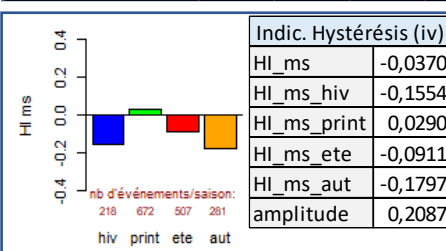
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	45,195	5,761	03/2006 à 12/2014+2017	60	5570	Montagneux	49	51,8	1529	1,01	0,30	39	61



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	1,6E+02	8,5E+01	1,5E+02	2,7E+02	1,1E+00	2,9E-02	1,5E-02	2,6E-02	4,8E-02	1,6E-02	5,3E+00	4,3E+00	3,2E+01	8,0E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km ² /an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	3,3E+02	2,9E-01	2,6E-01	4,0E-02	1,0E-01	5,5E-01	1,7E+00	2,5E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
		1,2E+01	7,4E-02	2,4E+00	2,8E+01	2,4E+01	2,9E+01	4,5E-01	1,3E+01	6,9E+01	7,5E-02	8,8E+00
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	1,4E+02	3,0E+02	6,0E+02	7,0E-01	1,7E-01	3,5E-01	6,9E-01	2,5E-02	5,2E-02	1,1E-01	6,9E-01	2,6E+01
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	3,9E+02	4,9E+03	4,7E-03	6,9E-02	8,7E-01	1,4E-01	1,4E+00	9,4E+00	2,4E-01	3,1E-03	3,0E-02	2,1E-01

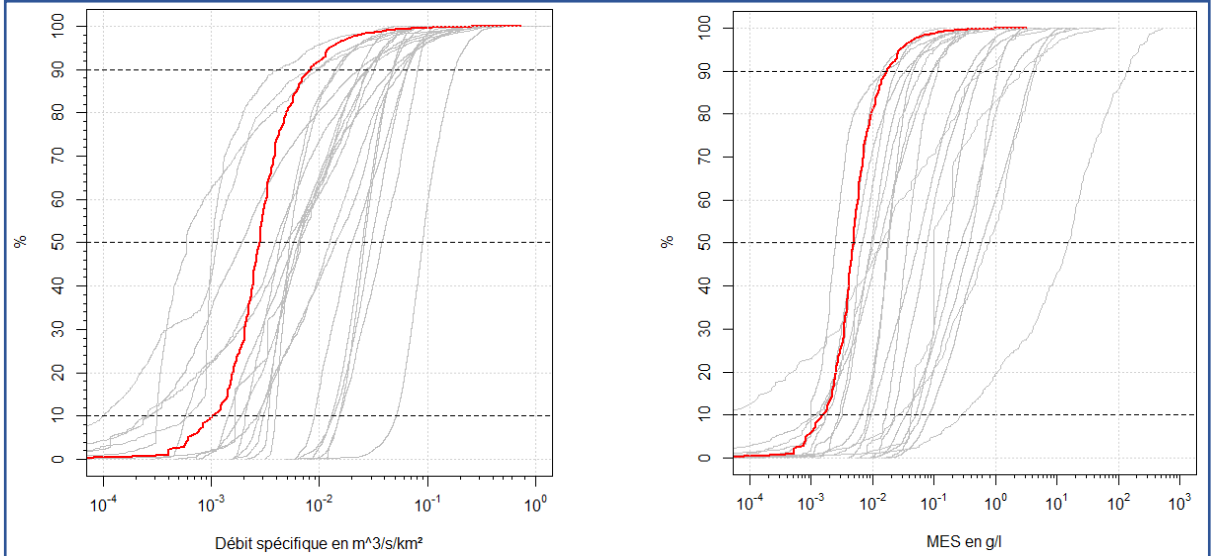


- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

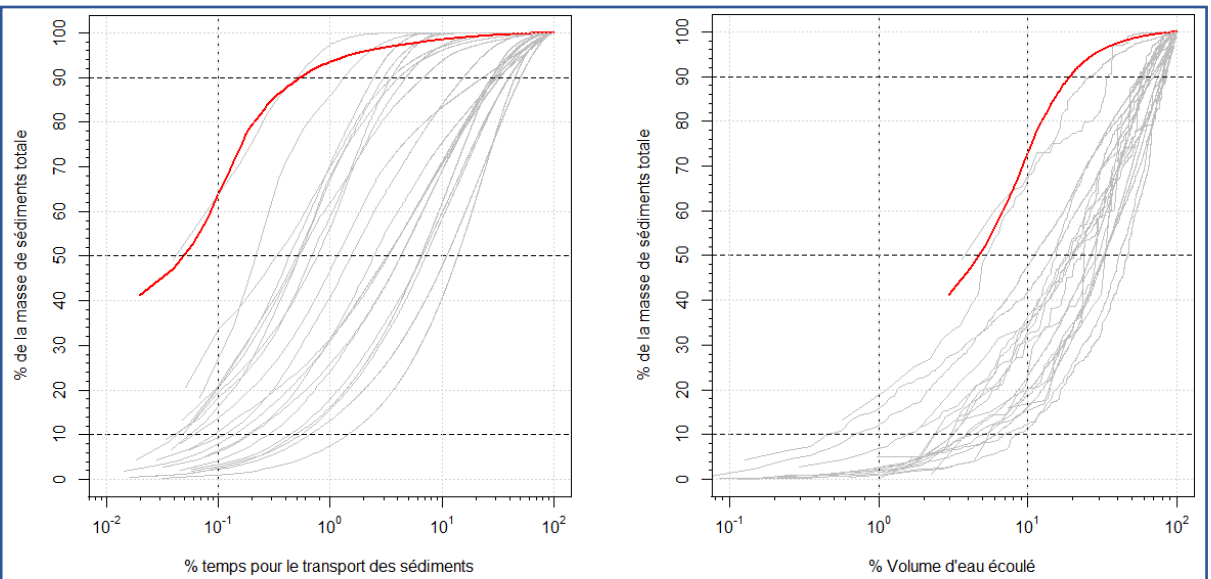
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

Aurade – Bassin versant du Montoussé (France)

Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	43,554	1,070	01/2005 à 12/2018	1 440	3,2	Océanique	54	100,0	598	1,64	0,61	92	8



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	1,6E-02	2,0E-03	8,5E-03	2,5E-02	1,8E+00	4,9E-03	6,3E-04	2,7E-03	8,0E-03	2,4E-03	3,1E+01	1,6E-01	9,6E+00	6,1E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km ² /an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	3,6E+00	4,8E-02	2,3E-01	1,2E-02	1,9E-02	6,7E-02	9,2E-01	1,2E+01						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	9,4E+01	2,0E-02	5,9E-02	5,5E-01	4,1E+01	3,3E+01	2,9E+00	5,3E+00	1,9E+01	6,1E-03	3,1E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	4,5E+00	1,7E+01	4,1E+01	4,6E-01	4,8E-02	1,8E-01	4,4E-01	7,1E-03	2,7E-02	6,3E-02	4,6E-01	2,3E-01
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	1,0E+00	7,4E+00	1,5E-02	3,2E-01	2,3E+00	2,1E-01	1,1E+00	3,2E+00	3,7E-01	6,6E-02	3,4E-01	1,0E+00

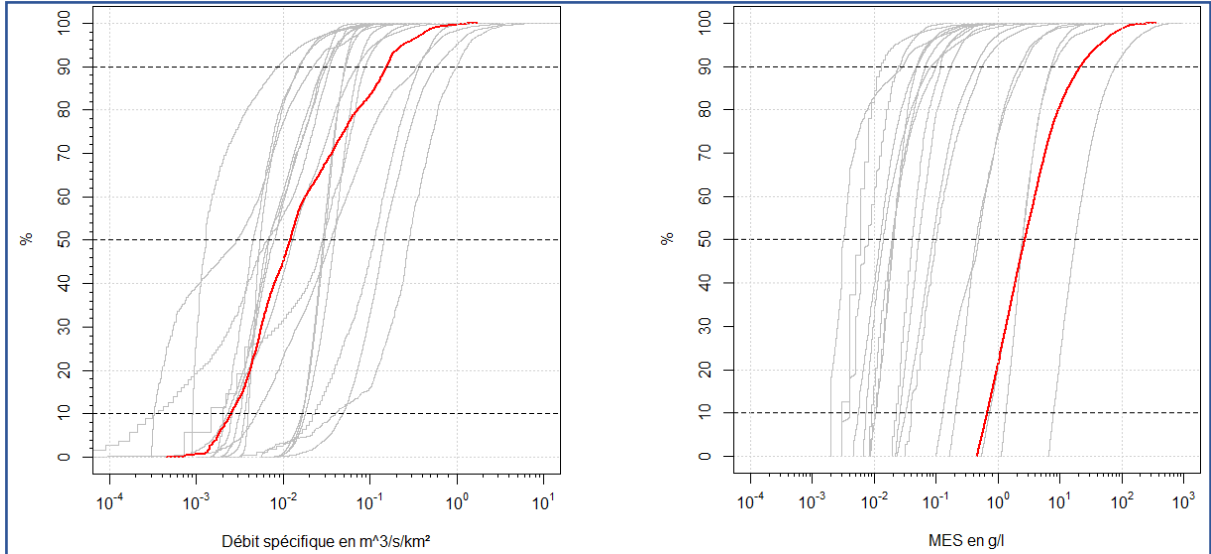
- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps journalier.

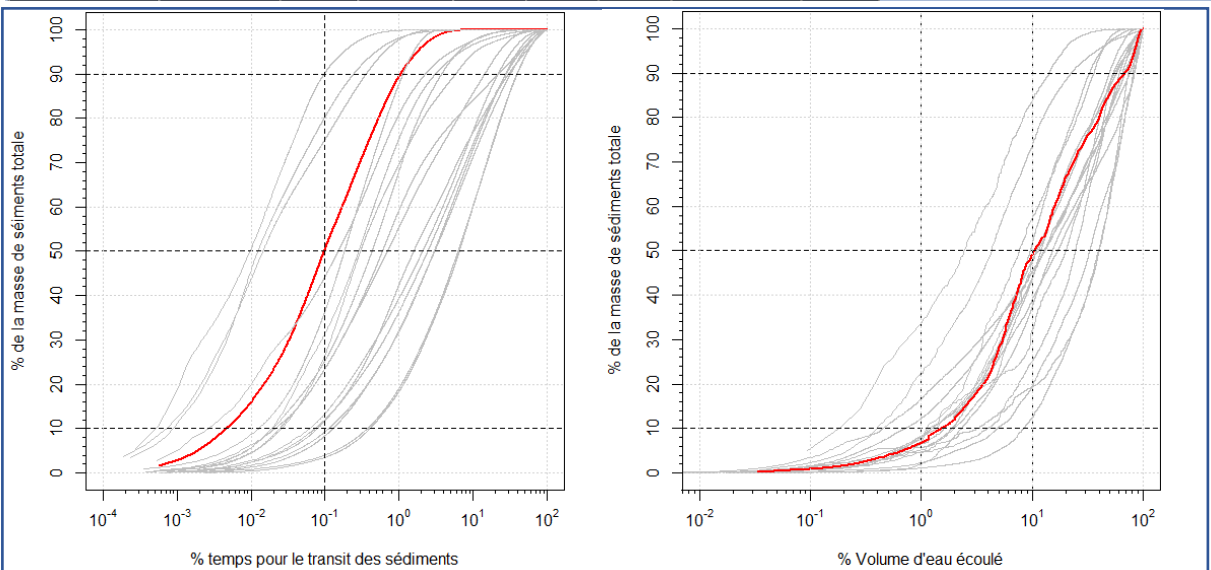
Ponnou-Delaffon, V., Probst, A., Payre-Suc, V., et al. (2020) Long and short-term trends of stream hydrochemistry and high frequency surveys as indicators of the influence of climate change, agricultural practices and internal processes (Aurade agricultural catchment, SW France). Ecological Indicators, 110. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.105894

Draix Bléone – Bassin versant du Galabre (France)

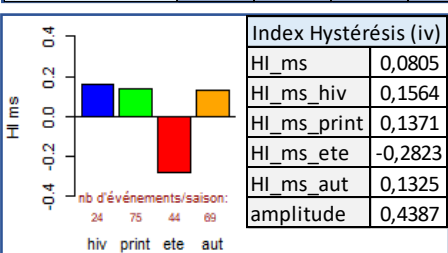
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	44,167	6,219	10/2007 à 2014	10	20	Méditerranéen	263	58,0	1040	1,62	0,60	9	91



Indic. Hydrologiques (ii)	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
	2,7E-01	2,9E-02	1,1E-01	5,6E-01	2,4E+00	1,4E-02	1,4E-03	5,8E-03	2,8E-02	1,2E-02	2,7E+01	3,2E-01	9,0E+00	5,0E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	6,4E+02	9,5E+00	1,0E+01	6,8E-01	2,7E+00	2,1E+01	2,2E+00	3,7E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	4,4E+01	6,8E-03	1,3E-01	1,1E+00	1,2E+01	4,2E+01	1,5E+00	1,1E+01	6,9E+01	1,5E-02	3,6E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	3,1E-01	4,1E+00	2,0E+01	2,4E-01	9,2E-03	1,2E-01	6,0E-01	8,6E-03	9,8E-02	3,0E-01	2,8E-01	5,1E+00
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	6,7E+01	3,4E+02	2,5E-01	3,3E+00	1,7E+01	3,5E+00	1,3E+01	1,1E+02	2,9E-01	9,6E-03	3,7E-02	3,0E-01

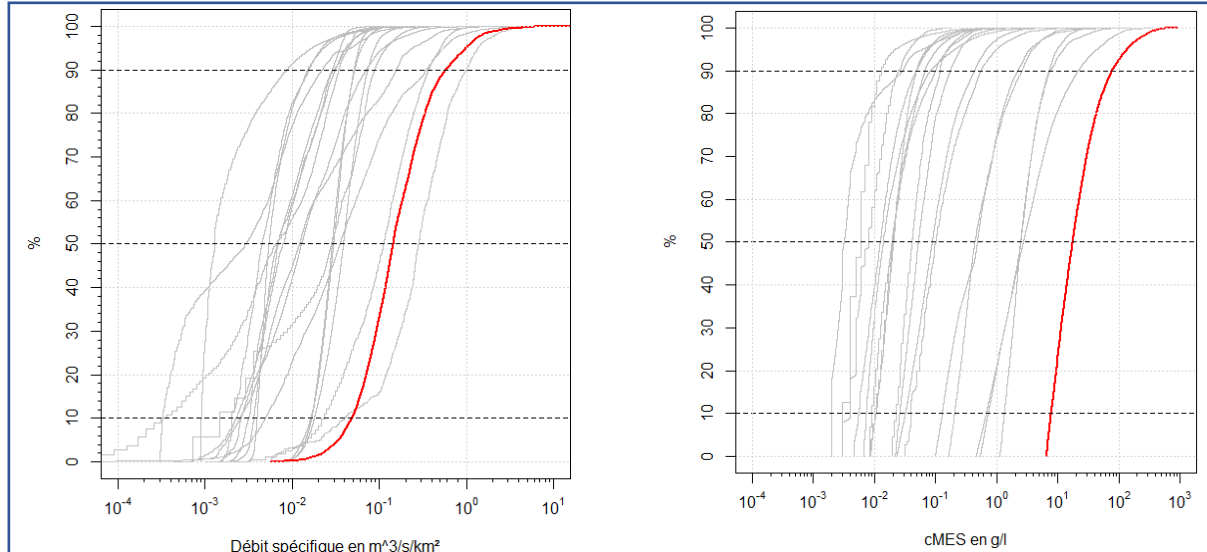


- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

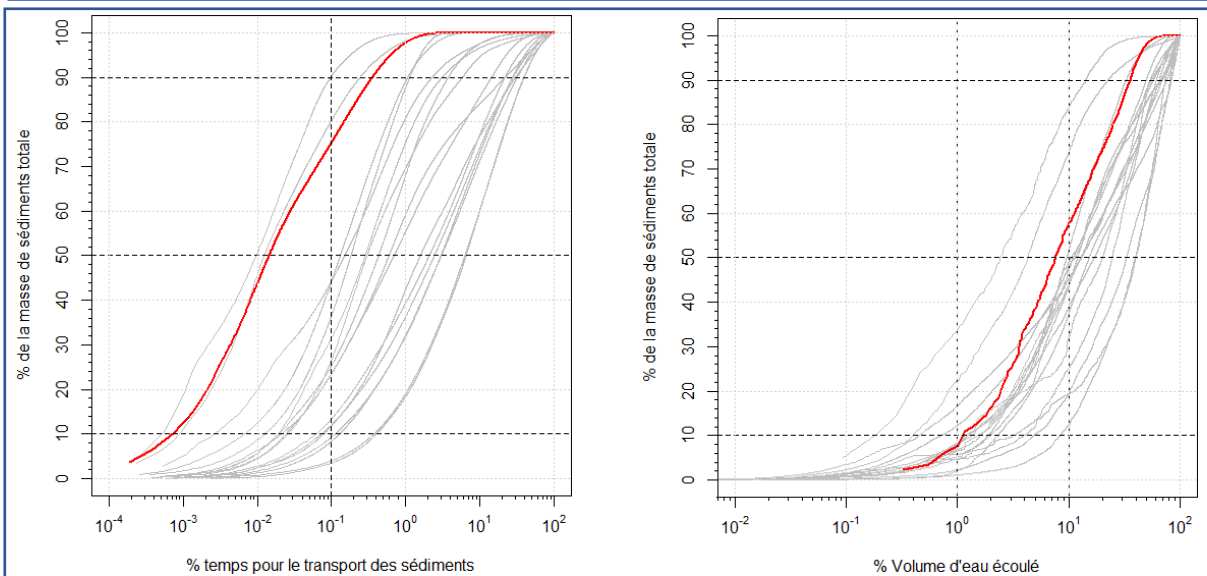
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 10 minutes.

Draix Bléone – Bassin versant du Laval (France)

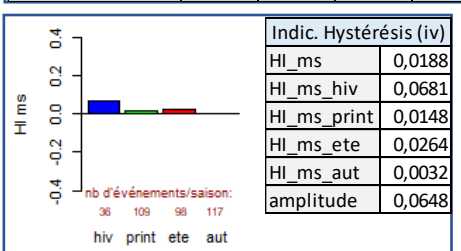
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	44,141	6,361	2004 à 2019 (-2013)	15	0,86	Méditerranéen	433	100,0	920	1,92	0,51	68	32



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	8,8E-03	1,0E-04	1,2E-03	1,9E-02	7,3E+00	1,0E-02	1,2E-04	1,6E-03	2,2E-02	5,3E-03	5,2E+01	3,6E-02	1,8E+00	2,3E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecartype	MES_var						
	1,1E+04	3,7E+01	4,0E+01	7,9E+00	1,8E+01	7,7E+01	1,4E+00	2,3E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	7,5E+01	7,6E-04	1,4E-02	3,6E-01	1,7E+01	4,6E+01	1,2E+00	7,7E+00	3,6E+01	8,0E-03	1,9E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	1,7E-01	1,6E+00	8,8E+00	2,6E-01	1,2E-02	1,1E-01	5,8E-01	4,2E-02	1,5E-01	4,0E-01	4,5E-01	8,4E+00
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	3,5E+02	2,7E+03	9,8E+00	4,0E+02	3,1E+03	2,8E+01	1,9E+02	5,5E+02	3,3E-01	3,1E-02	2,1E-01	6,2E-01



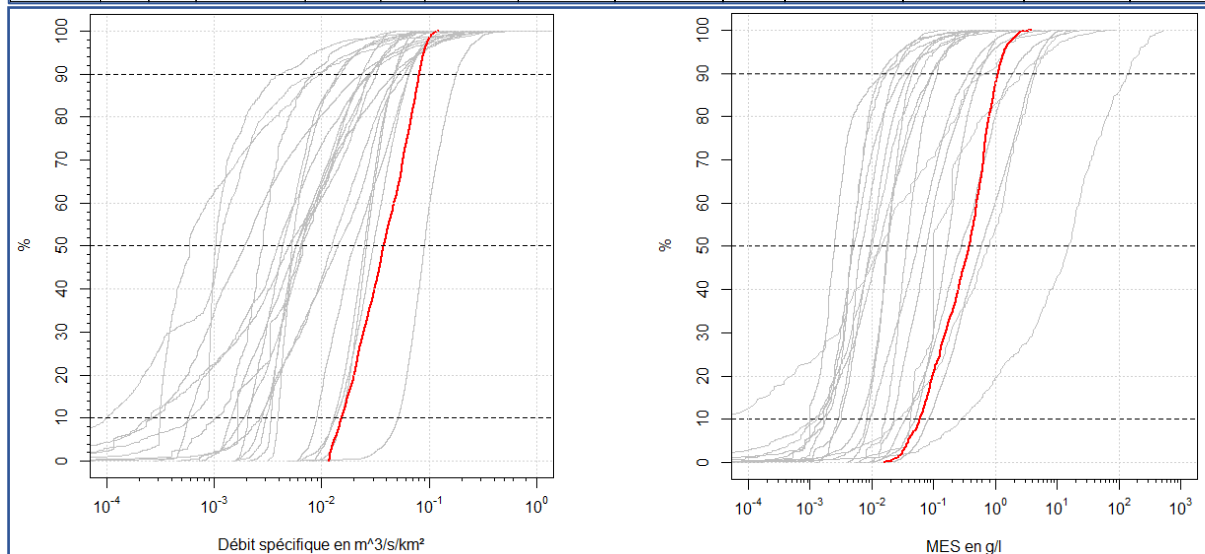
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

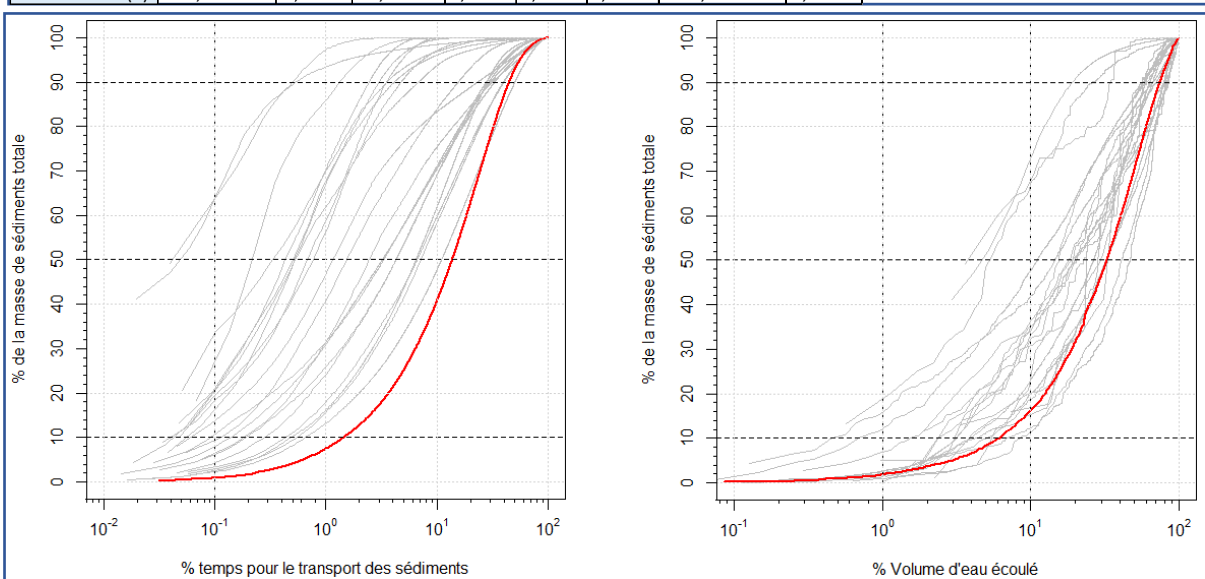
Mathys, N., et al. (2003) Erosion quantification in the small marly experimental catchments of Draix. Catena, v.50, p.527-548. DOI:10.1016/S0341-8162(02)00122-4

HYBAM – Bassin versant de Chazuta (Pérou)

Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	-6,570	-76,119	06/04/2005 à 09/02/2014	1 440	69000	Tropical	20	6,6	1621	1,39	0,47	56	44



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	3,0E+03	1,1E+03	2,6E+03	5,6E+03	1,2E+00	4,4E-02	1,5E-02	3,8E-02	8,1E-02	4,1E-02	4,8E+00	4,4E+00	2,8E+01	7,4E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	6,8E+00	6,2E-01	6,7E-01	1,5E-01	5,1E-01	1,2E+00	1,1E+00	1,3E+00						



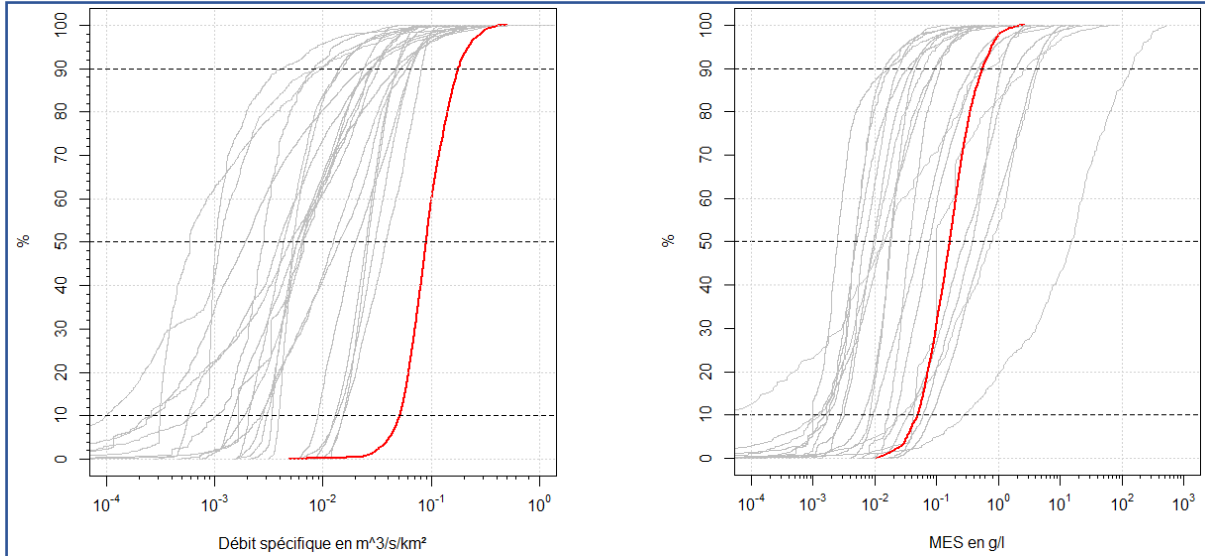
Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	7,6E+00	1,5E+00	1,4E+01	4,5E+01	3,7E+00	1,4E+01	6,1E+00	3,3E+01	7,4E+01	4,8E-01	2,7E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	2,6E+03	5,0E+03	6,7E+03	1,0E+00	3,0E-01	6,0E-01	7,9E-01	3,7E-02	7,3E-02	9,7E-02	1,0E+00	1,2E+03
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	4,7E+03	1,1E+04	1,7E-02	6,8E-02	1,6E-01	4,1E-01	9,4E-01	2,0E+00	6,3E-01	1,1E-01	2,4E-01	5,2E-01

- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2 et tableau x. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

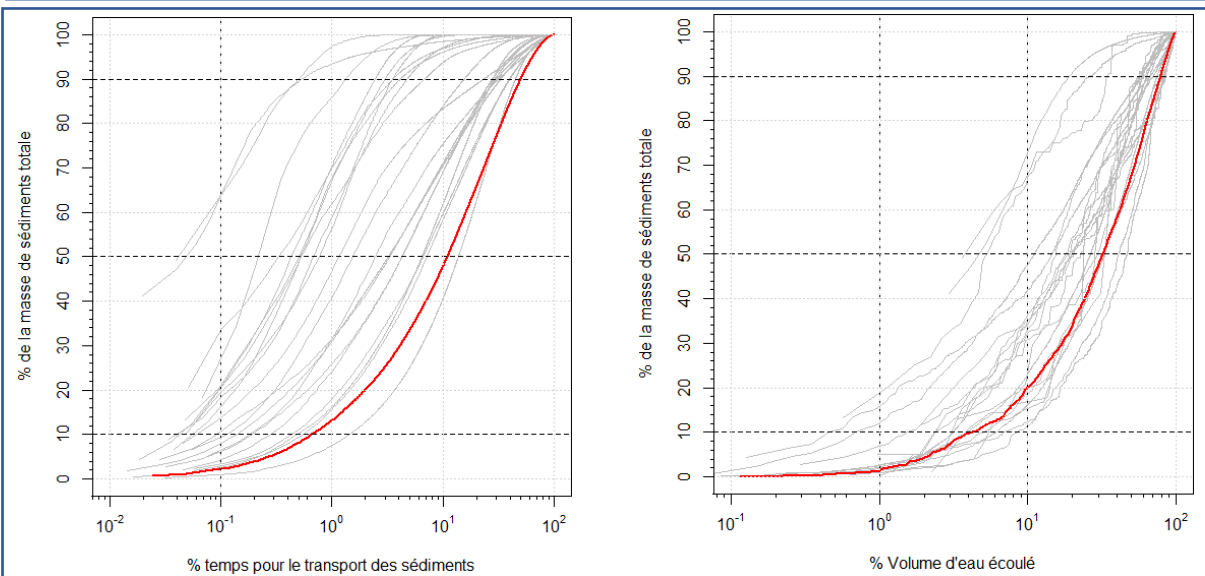
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps journalier.

HYBAM – Bassin versant de Francisco de Orellana (Equateur)

Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catégorie climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	-0,474	-76,978	2001+2003 à 2005+2007 à 2011+2016 à 04/2018	1 440	12400	Tropical	50	11,9	3496	0,78	0,25	46	54



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	1,3E+03	6,3E+02	1,1E+03	2,2E+03	1,2E+00	1,1E-01	5,1E-02	9,0E-02	1,8E-01	6,3E-02	6,4E+00	3,5E+00	3,0E+01	7,9E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	7,0E+00	2,8E-01	3,2E-01	7,8E-02	1,9E-01	6,1E-01	1,2E+00	1,6E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2				
	1,3E+01	6,6E-01	1,1E+01	5,0E+01	4,3E+00	1,8E+01	4,3E+00	3,2E+01	7,9E+01	3,7E-01	3,2E+00				
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%			
	9,7E+02	1,9E+03	3,8E+03	7,3E-01	1,6E-01	3,1E-01	6,2E-01	7,8E-02	1,5E-01	3,1E-01	7,3E-01	1,9E+02			
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%			
	9,3E+02	4,4E+03	1,5E-02	7,5E-02	3,6E-01	1,5E-01	4,8E-01	1,4E+00	4,5E-01	5,7E-02	1,8E-01	5,4E-01			

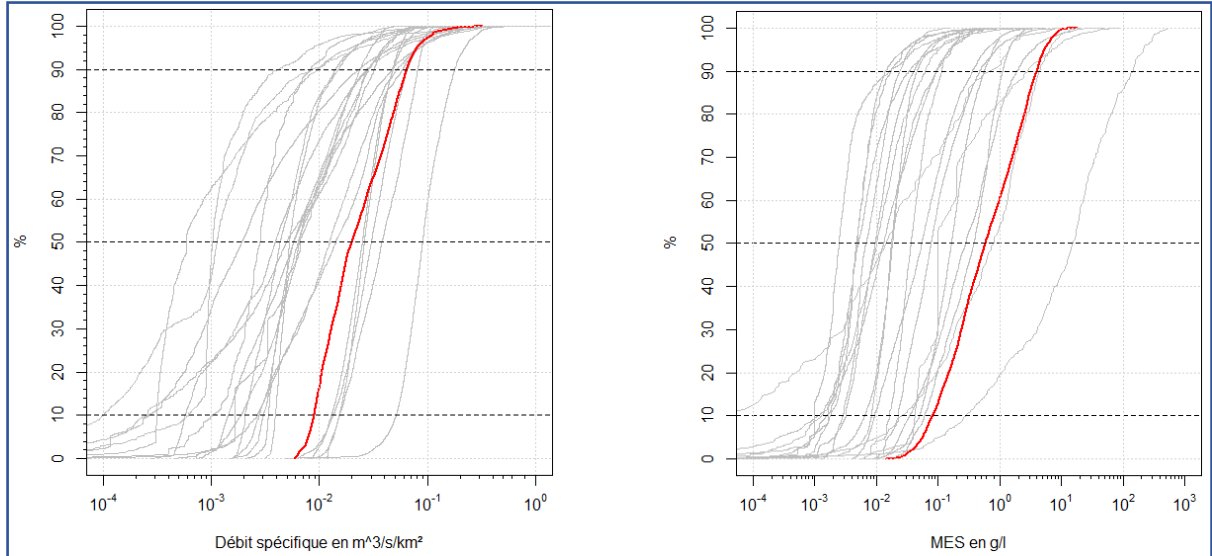
- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps journalier.

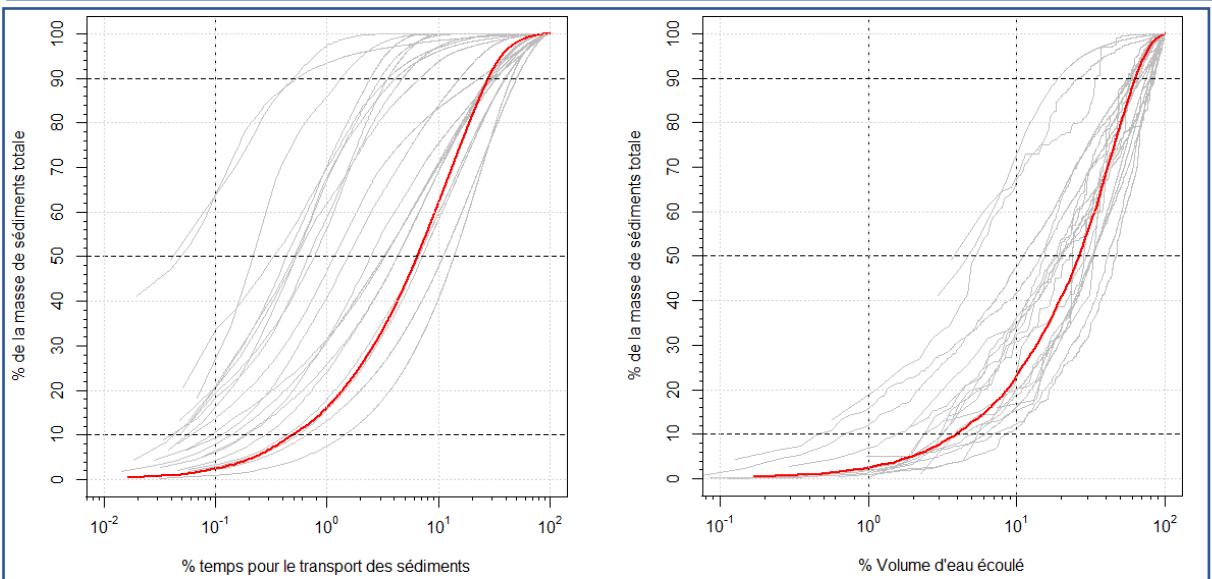
Moquet, J.S, Crave, A., Viers, J., et al. (2011) Chemical weathering and atmospheric/soil CO2 uptake in the Andean and Foreland Amazon basins. Chemical Geology, v.287, p.1-26.

HYBAM – Bassin versant de Rurrenabaque (Bolivie)

Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	-14,441	-67,534	1998 à 09/2016 (2001 et 2002)	1 440	70000	Tropical	23	4,0	1406	1,93	0,68	67	33



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	2,2E+03	6,3E+02	1,4E+03	4,5E+03	1,6E+00	3,1E-02	9,0E-03	2,0E-02	6,4E-02	3,1E-02	1,0E+01	2,0E+00	2,1E+01	6,9E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km ² /an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	7,9E+00	2,2E+00	2,8E+00	4,4E-01	1,5E+00	4,9E+00	1,5E+00	1,8E+00						



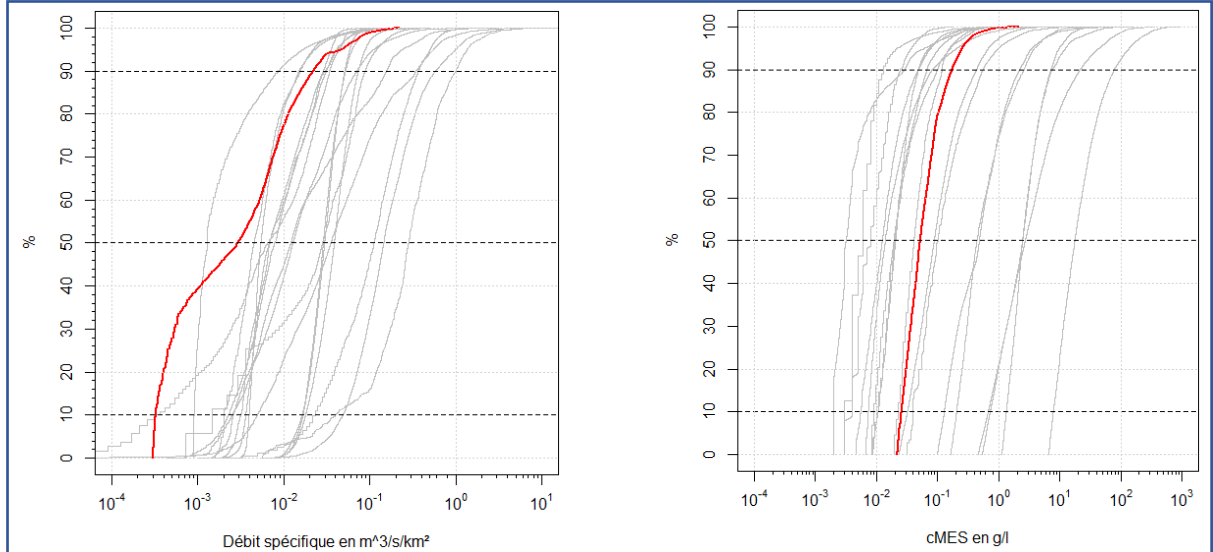
Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	1,6E+01	4,9E-01	6,5E+00	2,8E+01	5,4E+00	2,0E+01	4,0E+00	2,7E+01	6,3E+01	3,1E-01	2,6E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	2,5E+03	4,8E+03	1,2E+04	6,5E-01	1,1E-01	2,1E-01	5,3E-01	3,6E-02	6,8E-02	1,7E-01	6,5E-01	4,9E+03
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	2,5E+04	8,8E+04	6,9E-02	3,5E-01	1,3E+00	1,7E+00	4,6E+00	8,9E+00	6,0E-01	9,4E-02	2,6E-01	5,0E-01

- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

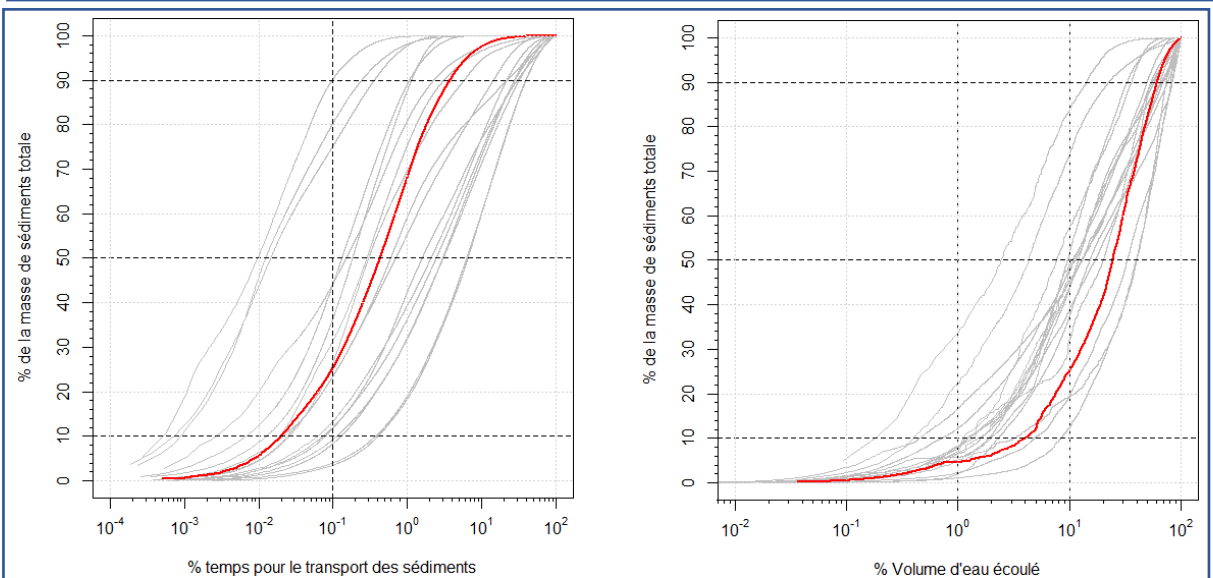
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps journalier.

Louroux – Bassin versant de Beaulieu (France)

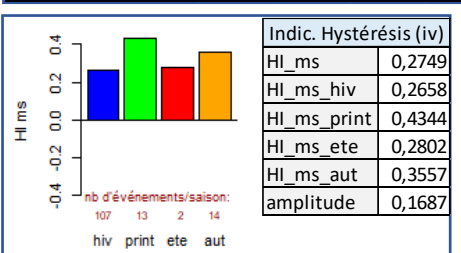
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	47,156	0,770	24/01/2014 à 31/08/2019	15	5,91	Océanique	10	48,0	590	3,56	1,25	45	52



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	1,6E+02	8,5E+01	1,5E+02	2,7E+02	1,1E+00	2,9E-02	1,5E-02	2,6E-02	4,8E-02	1,6E-02	5,3E+00	4,3E+00	3,2E+01	8,0E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecartype	MES_var						
	3,3E+02	2,9E-01	2,6E-01	4,0E-02	1,0E-01	5,5E-01	1,7E+00	2,5E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	1,2E+01	7,4E-02	2,4E+00	2,8E+01	2,4E+01	2,9E+01	4,5E-01	1,3E+01	6,9E+01	7,5E-02	8,8E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	1,4E+02	3,0E+02	6,0E+02	7,0E-01	1,7E-01	3,5E-01	6,9E-01	2,5E-02	5,2E-02	1,1E-01	6,9E-01	2,6E+01
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	3,9E+02	4,9E+03	4,7E-03	6,9E-02	8,7E-01	1,4E-01	1,4E+00	9,4E+00	2,4E-01	3,1E-03	3,0E-02	2,1E-01



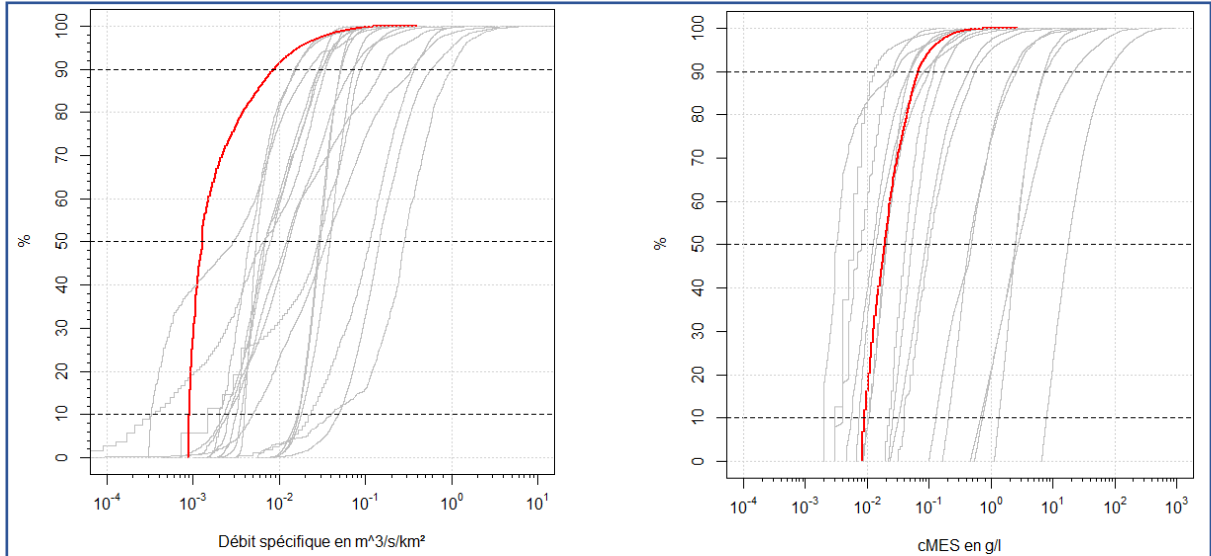
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

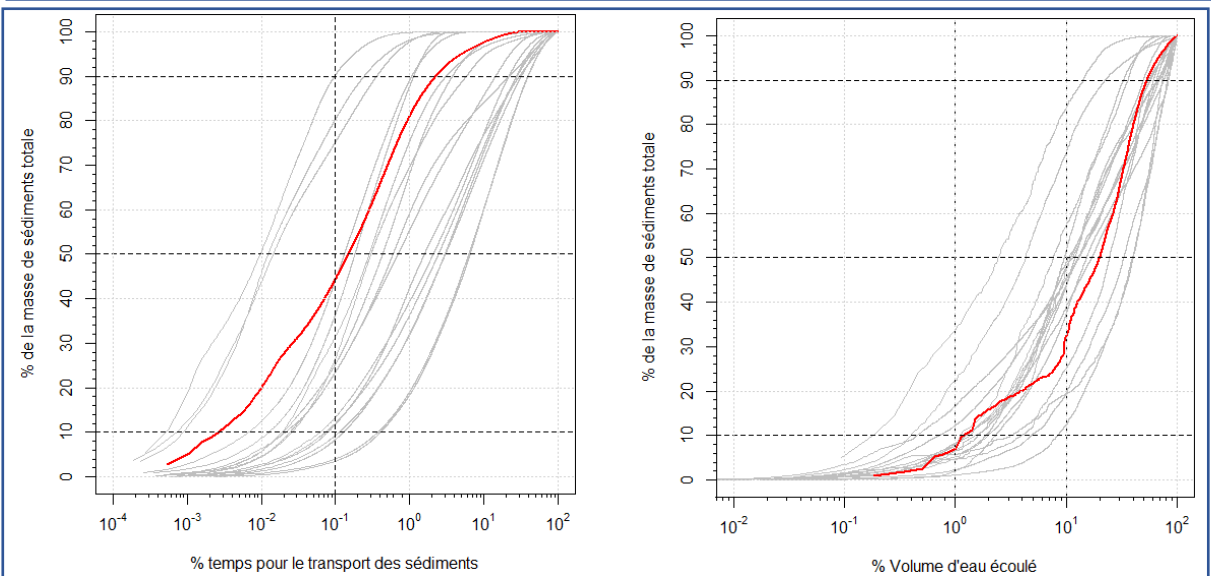
Grangeon, T., Manière, L., Foucher, A., et al. (2017) Hydro-sedimentary dynamics of a drained agricultural headwater catchment : a nested monitoring approach. Vadose Zone Journal, 16(12). DOI:10.2136/vzj2017.05.0113

Louroux – Bassin versant de la Conteraye (France)

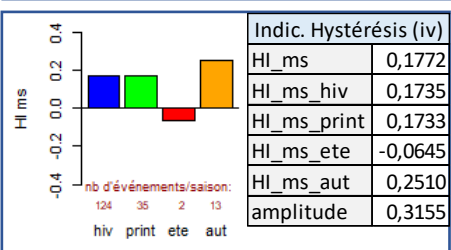
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	47,152	0,761	12/04/2014 à 31/08/2019	15	2,03	Océanique	11	61,2	590	3,71	1,11	85	12



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	2,3E-03	0,0E+00	2,4E-03	3,7E-03	9,5E-01	1,1E-03	0,0E+00	0,0E+00	1,8E-03	9,8E-04	4,7E+01	1,0E-01	2,4E+00	2,8E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	3,0E+00	3,6E-02	4,3E-02	9,1E-03	2,0E-02	6,7E-02	1,3E+00	2,2E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	4,4E+01	2,6E-03	1,5E-01	2,3E+00	1,6E+01	2,5E+01	1,2E+00	2,0E+01	5,4E+01	6,3E-02	1,9E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	1,1E-02	9,2E-02	4,2E-01	2,8E-01	1,4E-02	1,2E-01	5,3E-01	3,7E-03	3,0E-02	7,6E-02	3,3E-01	7,2E-04
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	1,8E-02	4,1E-01	3,5E-04	9,0E-03	2,0E-01	4,6E-02	2,4E-01	1,6E+00	2,8E-01	1,7E-02	9,0E-02	6,0E-01



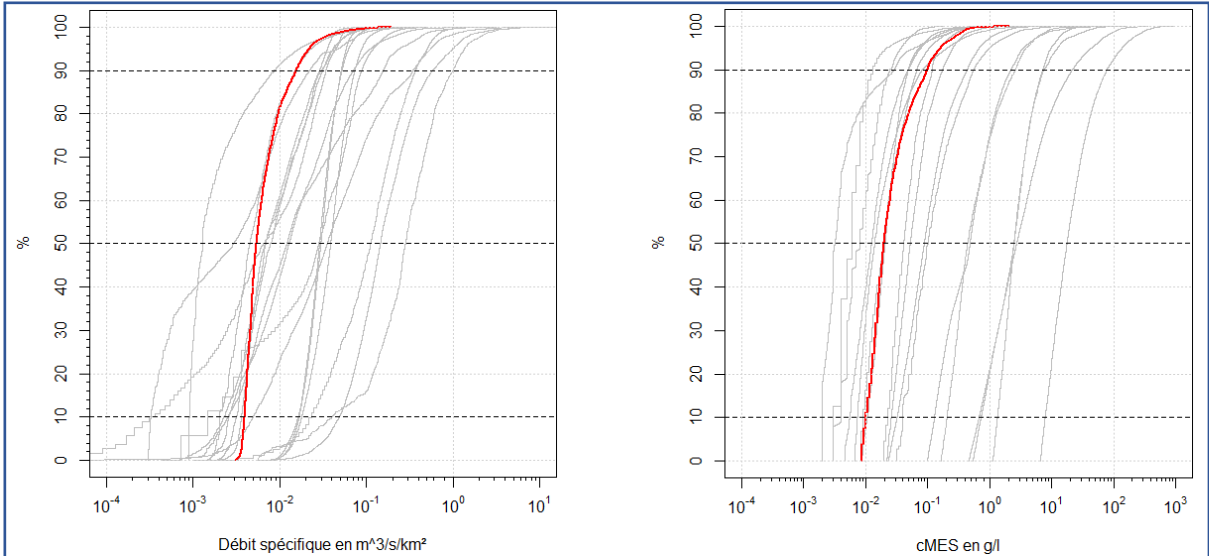
- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

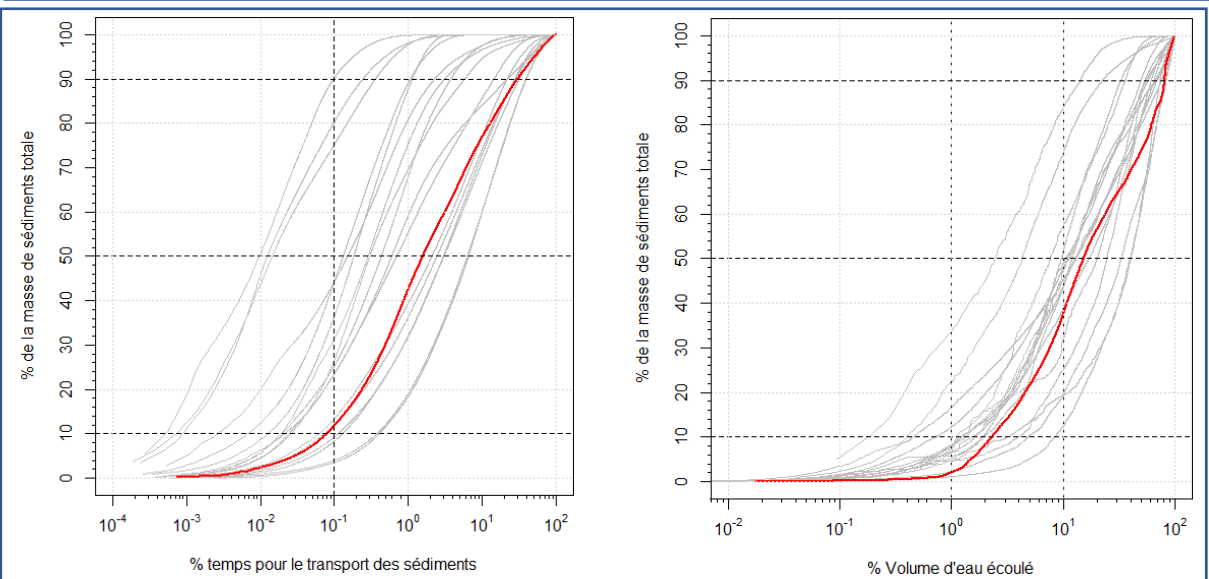
Grangeon, T., Manière, L., Foucher, A., et al. (2017) Hydro-sedimentary dynamics of a drained agricultural headwater catchment : a nested monitoring approach. Vadose Zone Journal, 16(12). DOI:10.2136/vzj2017.05.0113

Louroux – Bassin versant de Grand Bray (France)

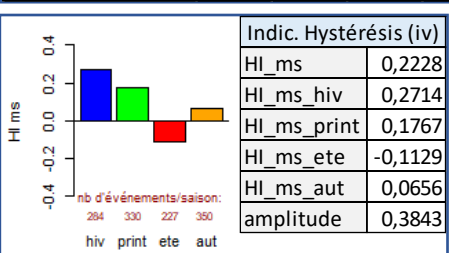
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	47,140	0,768	17/10/2015 à 31/08/2019	15	5,04	Océanique	14	46,6	696	1,85	0,55	88	8



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	4,1E-02	2,0E-02	2,7E-02	7,6E-02	1,5E+00	8,2E-03	3,9E-03	5,3E-03	1,5E-02	3,9E-03	1,5E+01	9,4E-01	2,1E+01	7,9E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	1,8E+01	4,5E-02	4,4E-02	1,0E-02	1,9E-02	1,0E-01	1,3E+00	2,3E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2				
	1,2E+01	7,9E-02	1,6E+00	3,0E+01	8,4E+00	3,5E+01	2,3E+00	1,5E+01	8,1E+01	7,3E-02	3,5E+00				
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%			
	2,4E-02	1,6E-01	6,4E-01	3,1E-01	2,5E-02	1,7E-01	6,7E-01	4,8E-03	2,7E-02	6,5E-02	3,8E-01	9,7E-04			
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%			
	2,9E-02	2,5E-01	1,9E-04	5,7E-03	5,0E-02	2,4E-02	1,9E-01	5,1E-01	3,3E-01	1,2E-02	9,7E-02	2,6E-01			



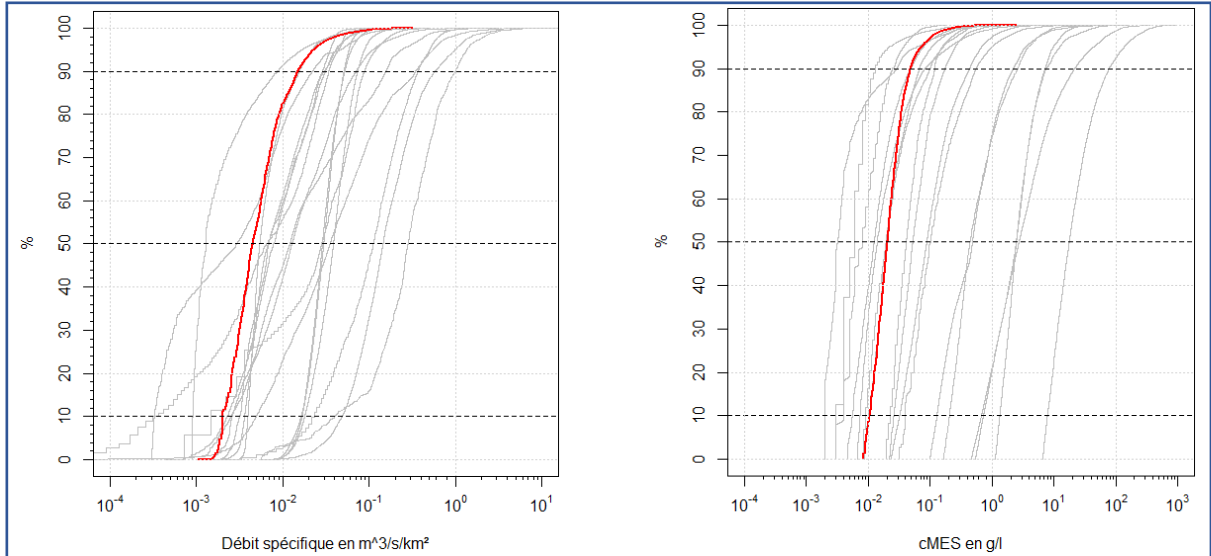
- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

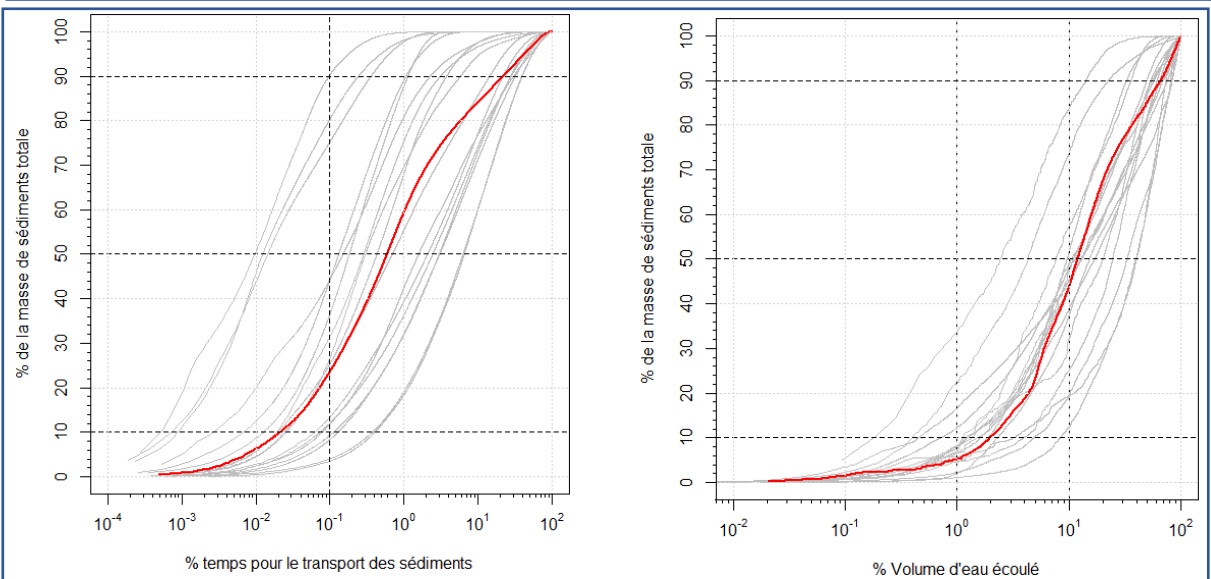
Grangeon, T., Manière, L., Foucher, A., et al. (2017) Hydro-sedimentary dynamics of a drained agricultural headwater catchment : a nested monitoring approach. Vadose Zone Journal, 16(12). DOI:10.2136/vzj2017.05.0113

Louroux – Bassin versant des Masniers (France)

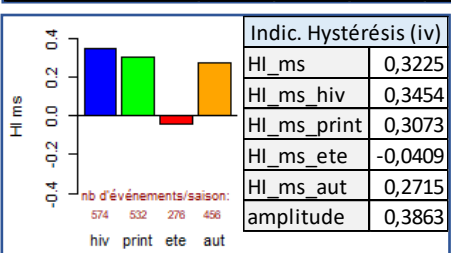
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	47,143	0,775	20/09/2013 à 31/08/2019	15	1,96	Océanique	9	50,8	590	2,26	0,70	86	5



Indic. Hydrologiques (ii)	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
	1,4E-02	4,0E-03	8,4E-03	2,8E-02	1,7E+00	7,4E-03	2,0E-03	4,3E-03	1,4E-02	4,7E-03	2,0E+01	5,5E-01	1,5E+01	6,8E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	1,5E+01	3,0E-02	2,3E-02	1,0E-02	2,0E-02	4,9E-02	8,4E-01	1,2E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2				
	2,4E+01	2,1E-02	5,9E-01	2,2E+01	1,0E+01	3,8E+01	2,0E+00	1,2E+01	6,6E+01	3,9E-02	3,5E+00				
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%			
	1,3E-02	1,4E-01	5,0E-01	2,7E-01	2,1E-02	2,2E-01	8,1E-01	6,6E-03	4,3E-02	1,2E-01	3,4E-01	3,2E-04			
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%			
	2,9E-02	2,6E-01	1,6E-04	1,5E-02	1,3E-01	2,4E-02	1,9E-01	9,0E-01	2,8E-01	9,7E-03	7,6E-02	3,6E-01			



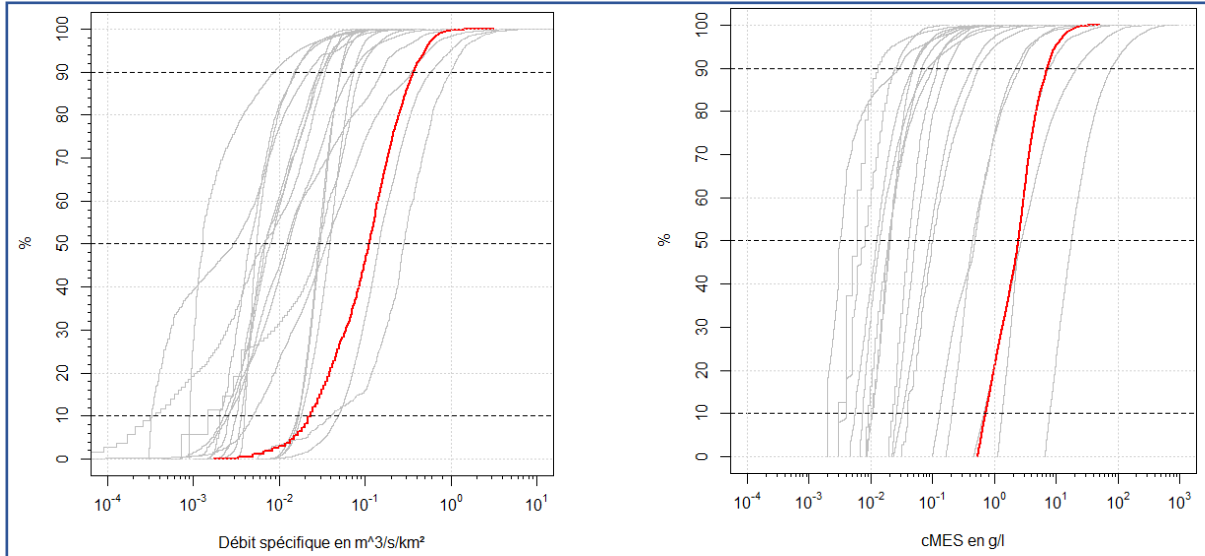
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

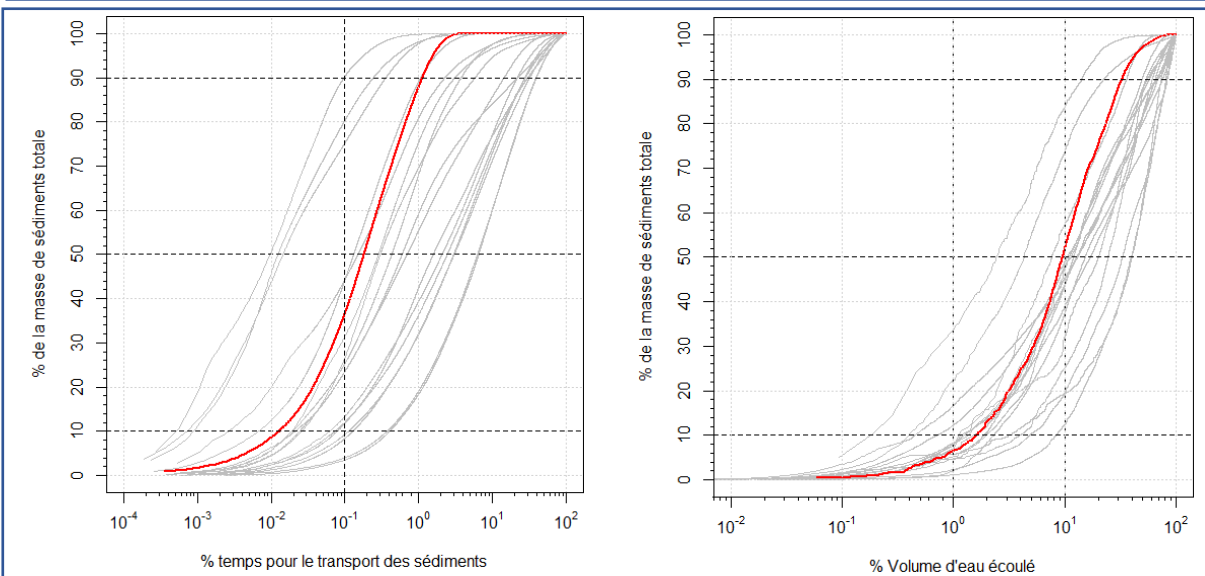
Grangeon, T., Manière, L., Foucher, A., et al. (2017) Hydro-sedimentary dynamics of a drained agricultural headwater catchment : a nested monitoring approach. Vadose Zone Journal, 16(12). DOI:10.2136/vzj2017.05.0113

M-Tropics – Bassin versant de Houay Pano (Laos)

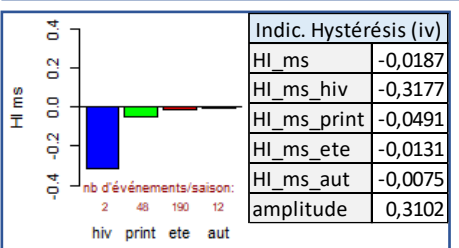
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/cultivés (%)	Sols couverts (%)
	19,852	102,169	2011 à 2018	15	0,602	Tropical	362	48,0	1538	3,27	1,04	38	62



Indic. Hydrologiques (ii)	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
	1,1E-02	1,0E-03	4,0E-03	2,8E-02	2,8E+00	1,9E-02	1,7E-03	6,6E-03	4,6E-02	1,3E-02	2,9E+01	3,4E-01	6,4E+00	4,3E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	7,2E+02	3,4E+00	3,4E+00	7,3E-01	2,5E+00	7,2E+00	1,2E+00	1,4E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2				
	3,7E+01	1,3E-02	1,8E-01	1,1E+00	1,3E+01	4,5E+01	1,6E+00	9,6E+00	3,3E+01	2,8E-02	3,4E+00				
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%			
	7,3E-02	2,3E-01	4,8E-01	5,3E-01	3,9E-02	1,2E-01	2,6E-01	4,7E-02	1,7E-01	4,9E-01	4,2E-01	2,1E-01			
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%			
	1,8E+00	6,9E+00	3,6E-01	3,0E+00	1,1E+01	2,4E+00	7,3E+00	2,0E+01	4,7E-01	4,7E-01	1,4E-01	3,9E-01			



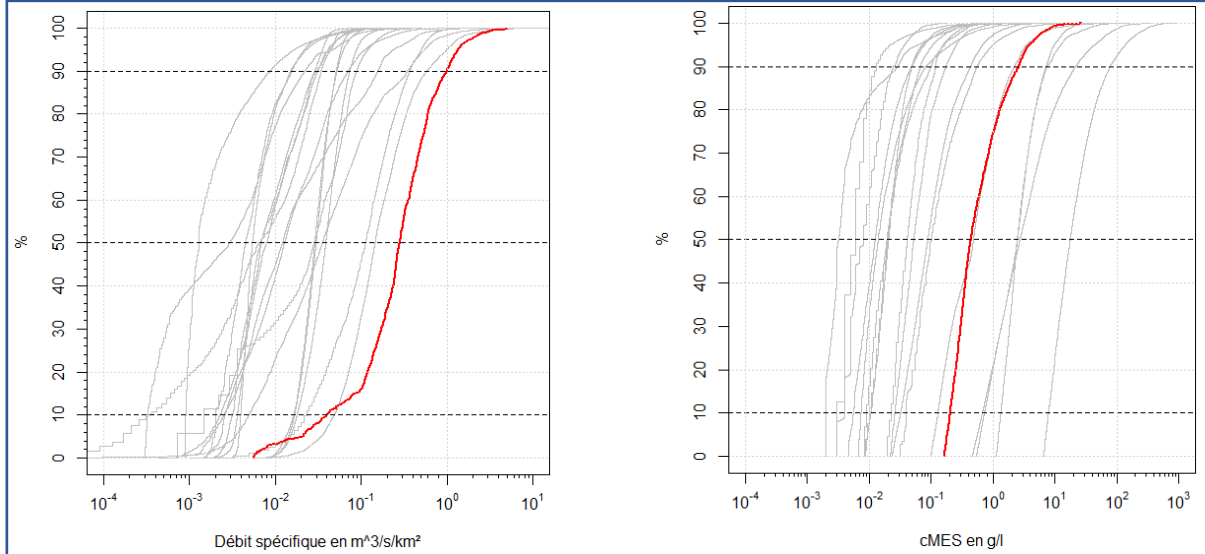
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 15 minutes.

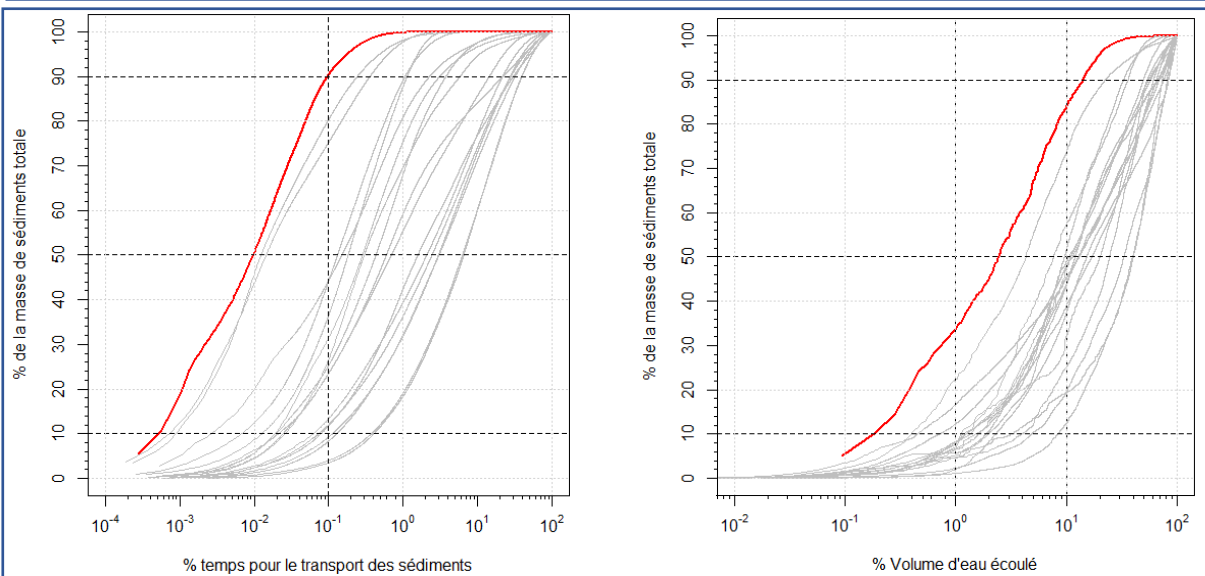
Boithias, L., Auda, Y., Audry, S., et al. (2021) The Multiscale TROPical CatchmentS critical zone observatory M-TROPICS dataset II: Land use, hydrology and sediment production monitoring in Houay Pano, northern Lao PDR. *Hydrological Processes*, 35:e14126. DOI:10.1002/hyp.14126

OHMCV – Bassin versant de la Claduègne (France)

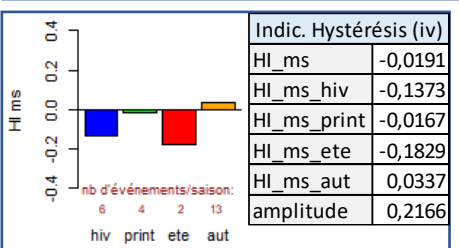
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	44,562	4,479	année entière :2012 à 2019	10	42	Méditerranéen	97	26,9	972	3,75	0,98	12,8	87,2



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	6,2E-01	2,4E-02	1,6E-01	1,1E+00	3,8E+00	1,5E-02	5,7E-04	3,9E-03	2,7E-02	9,4E-03	3,9E+01	1,1E-01	3,8E+00	3,6E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	2,1E+02	1,1E+00	1,1E+00	2,0E-01	4,4E-01	2,6E+00	1,7E+00	2,4E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	9,0E+01	5,4E-04	9,8E-03	9,7E-02	4,5E+01	4,9E+01	1,9E-01	2,5E+00	1,4E+01	2,5E-03	2,5E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	2,3E+01	8,7E+01	2,1E+02	4,5E-01	1,1E-01	4,1E-01	1,0E+00	1,4E-01	9,0E-01	1,4E+00	4,4E-01	3,1E+01
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	4,9E+02	5,4E+03	7,4E-01	1,2E+01	1,3E+02	1,2E+00	5,9E+00	2,5E+01	3,3E-01	4,7E-02	2,2E-01	9,5E-01



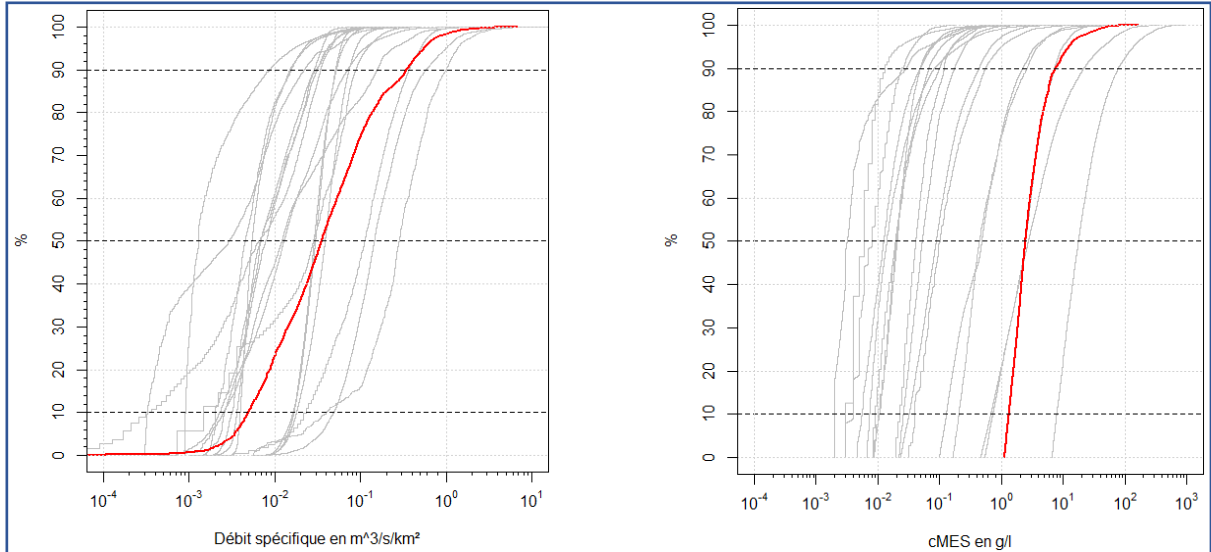
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 10 minutes.

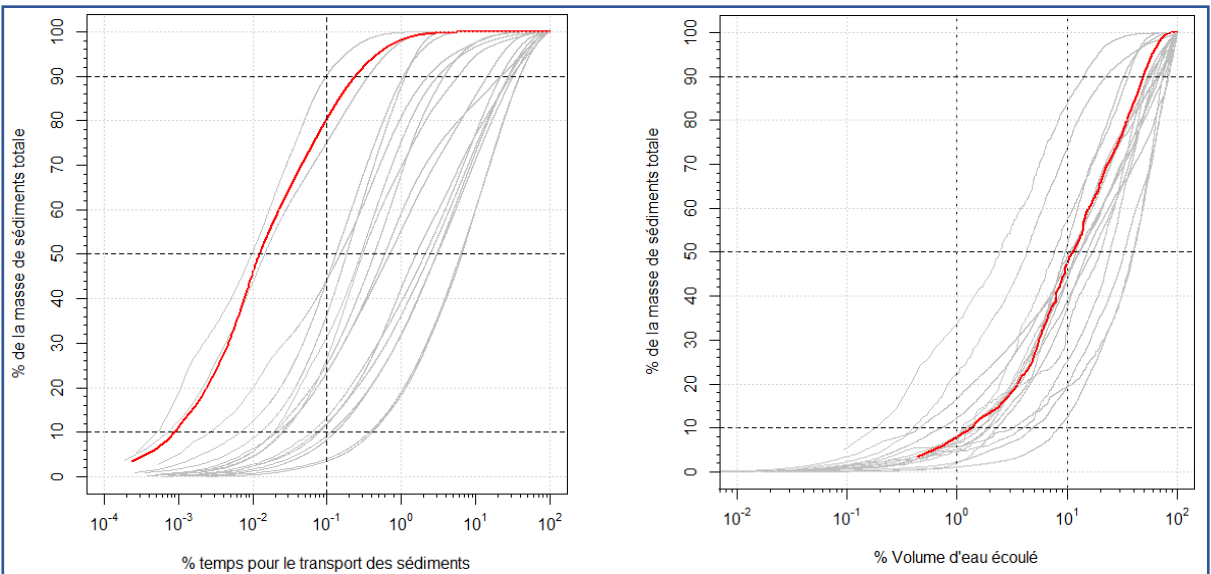
Nord, G., Boudevillain, B., Berne, A., et al. (2017) A high space-time resolution dataset linking meteorological forcing and hydro-sedimentary response in a mesoscale Mediterranean catchment (Auzon) of the Ardèche region, France. Earth System Science Data, v.9, p.221-249. DOI:10.5194/essd-9-221-2017

OMERE – Bassin versant de Kamech (Tunisie)

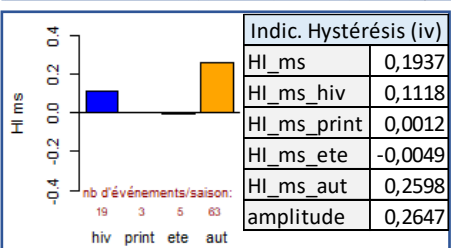
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	36,875	10,876	9/2016 à 9/2020	5	1,75	Méditerranéen	76	92,6	706,7	2,36	0,91	75	25



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	6,5E-03	0,0E+00	1,8E-04	6,1E-03	3,7E+01	3,7E-03	0,0E+00	1,2E-04	3,5E-03	1,3E-03	7,5E+01	1,4E-02	3,3E-01	1,2E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km ² /an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	1,0E+03	4,3E+00	3,5E+00	1,3E+00	2,5E+00	7,5E+00	9,9E-01	1,4E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	8,0E+01	9,5E-04	1,2E-02	2,4E-01	1,4E+01	3,9E+01	1,6E+00	1,1E+01	4,9E+01	3,7E-02	1,3E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	3,3E-01	2,4E+00	7,7E+00	3,2E-01	2,8E-02	2,1E-01	6,5E-01	3,9E-02	2,1E-01	3,9E-01	4,3E-01	2,2E+00
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	9,7E+01	5,5E+02	1,2E+00	5,5E+01	3,2E+02	4,4E+00	3,4E+01	7,7E+01	3,5E-01	2,7E-02	2,1E-01	4,8E-01



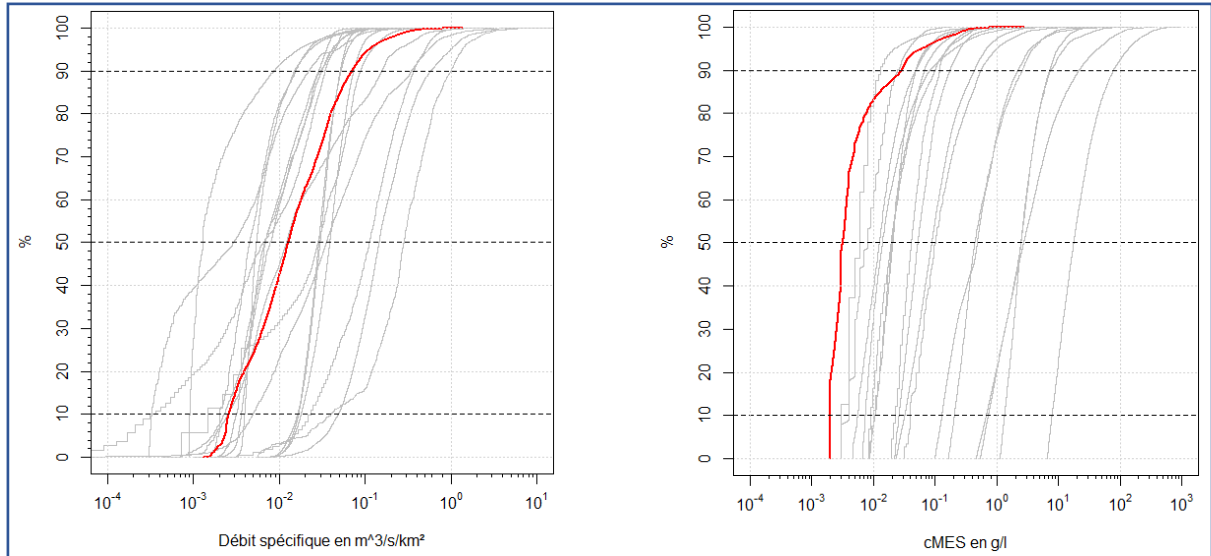
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 5 minutes.

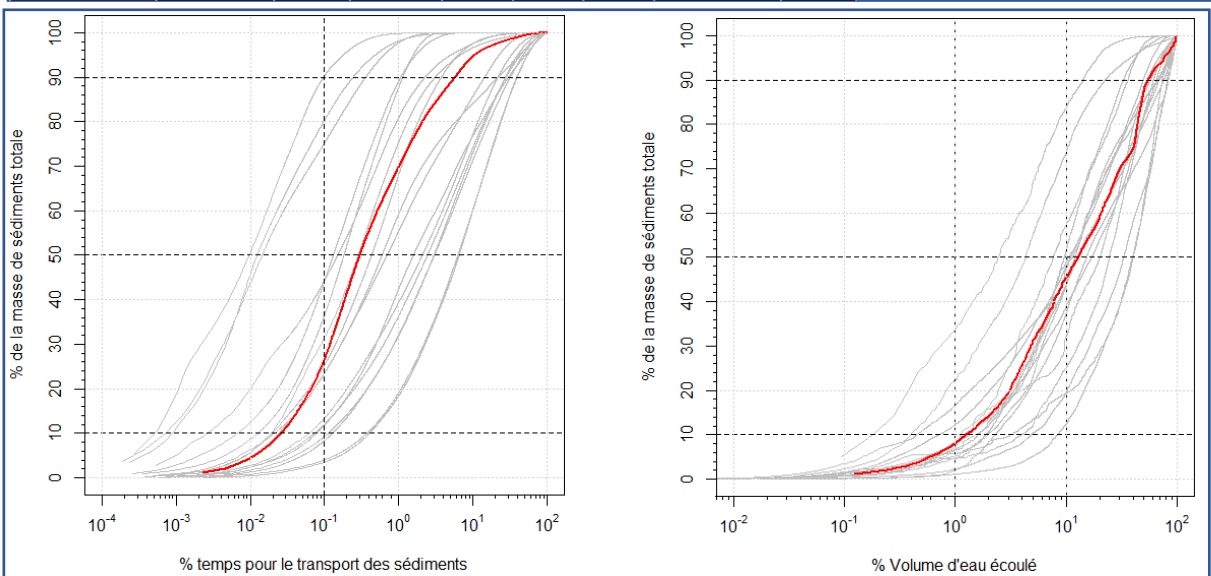
Molénat, J., Raclot, D., Zitouna, R., et al. (2018) OMERE : A long-term observatory of soil and water resources, in interaction with agricultural and land management in mediterranean hilly catchments. Vadose Zone Journal, 17.180086. DOI:10.2136/vzj2018.04.0086

OSR – Bassin versant de l’Ardèche à Saint Martin d’Ardèche (France)

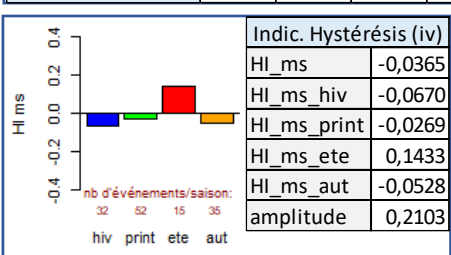
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	44,301	4,567	01/2016 à fin 2020	60	2240	Méditerranéen	98	64,6	1649	1,00	0,33	47	53



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	5,7E+01	6,2E+00	2,7E+01	1,2E+02	2,1E+00	2,5E-02	2,8E-03	1,2E-02	5,2E-02	2,2E-02	2,4E+01	4,5E-01	1,0E+01	5,2E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km ² /an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	2,4E+01	1,7E-02	1,1E-02	2,0E-03	3,2E-03	2,9E-02	1,1E+00	3,5E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	2,7E+01	2,8E-02	3,0E-01	5,8E+00	1,4E+01	3,7E+01	1,3E+00	1,3E+01	5,5E+01	2,9E-02	3,3E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	9,3E+01	6,5E+02	2,4E+03	3,1E-01	3,1E-02	2,1E-01	8,1E-01	4,0E-02	1,9E-01	8,8E-01	3,2E-01	2,7E+00
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	1,1E+02	5,3E+02	1,2E-03	5,1E-02	2,4E-01	1,8E-02	1,4E-01	7,3E-01	2,7E-01	6,7E-03	5,2E-02	2,7E-01

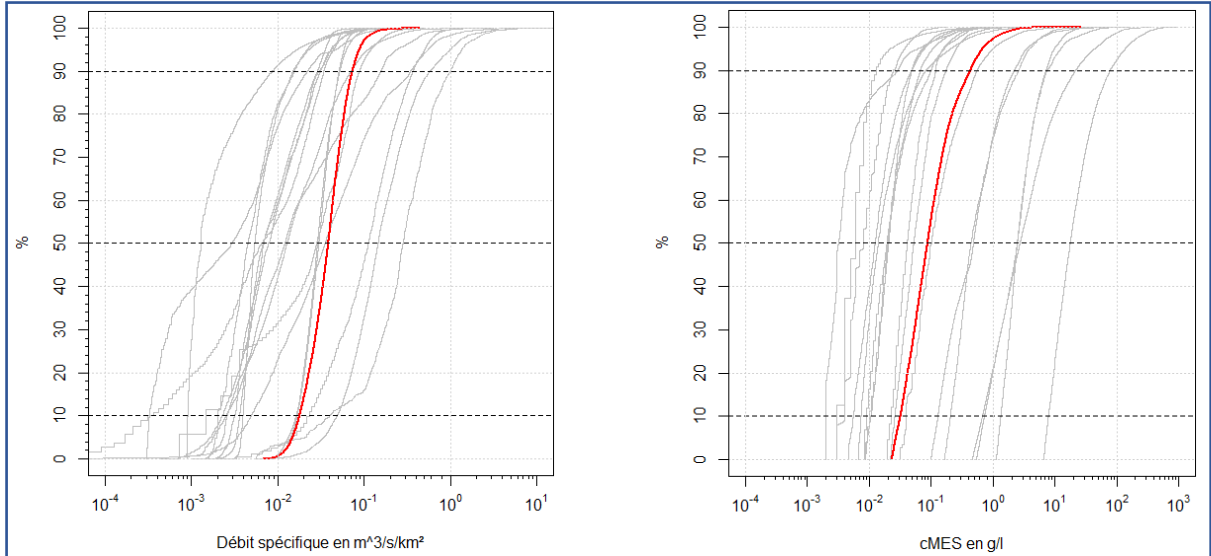


(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d’eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d’hystérésis voir page 21.

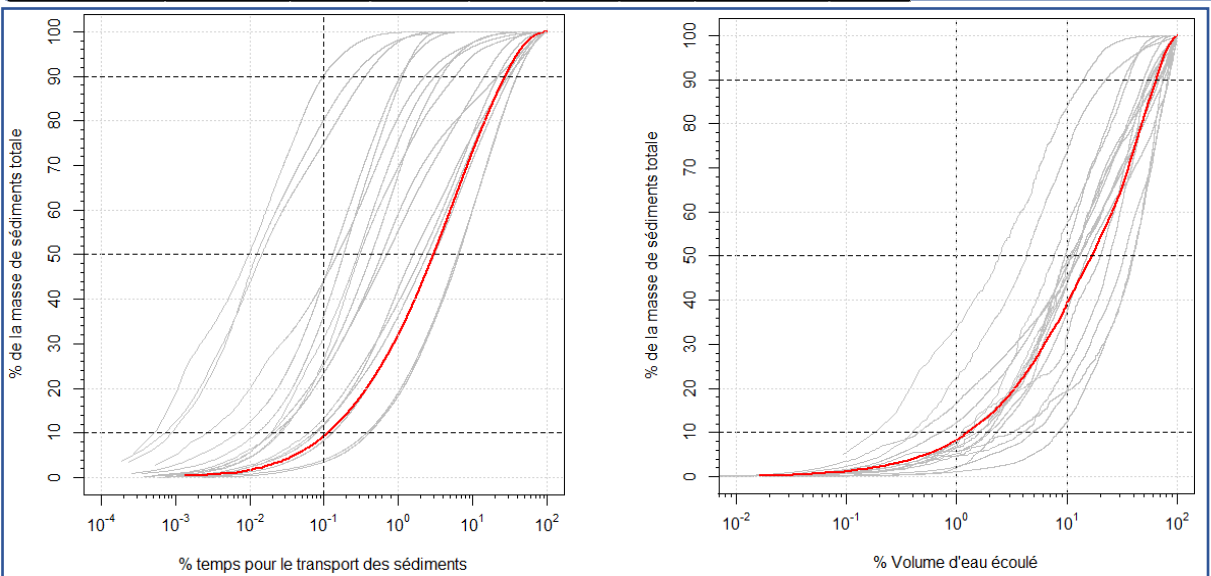
Indicateurs calculés à partir d’une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

OSR – Bassin versant de l’Arve à Genève (Suisse)

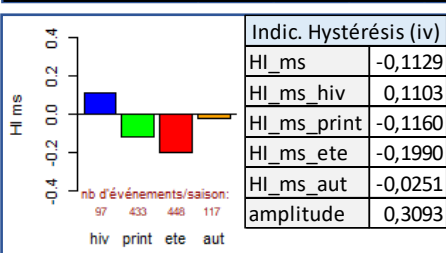
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	46,193	6,140	03/2012 à 10/2020	60	2060	Montagneux	67	67,5	1586	1,31	0,50	33,3	66,7



Indic. Hydrologiques (ii)	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
	7,4E+01	2,7E+01	6,1E+01	1,3E+02	1,2E+00	3,6E-02	1,3E-02	3,0E-02	6,5E-02	2,7E-02	7,6E+00	2,9E+00	2,7E+01	7,4E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	2,8E+02	1,9E-01	1,6E-01	3,2E-02	8,8E-02	4,3E-01	1,5E+00	1,8E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	9,4E+00	1,1E-01	3,0E+00	2,7E+01	1,4E+01	3,1E+01	1,2E+00	1,7E+01	6,5E+01	1,1E-01	5,6E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	7,2E+01	1,6E+02	4,2E+02	5,6E-01	8,0E-02	1,8E-01	4,7E-01	3,4E-02	7,1E-02	1,7E-01	6,3E-01	9,6E+00
	1,1E+02	1,0E+03	4,7E-03	5,4E-02	5,0E-01	1,0E-01	6,7E-01	2,9E+00	3,0E-01	4,0E-03	2,6E-02	1,1E-01

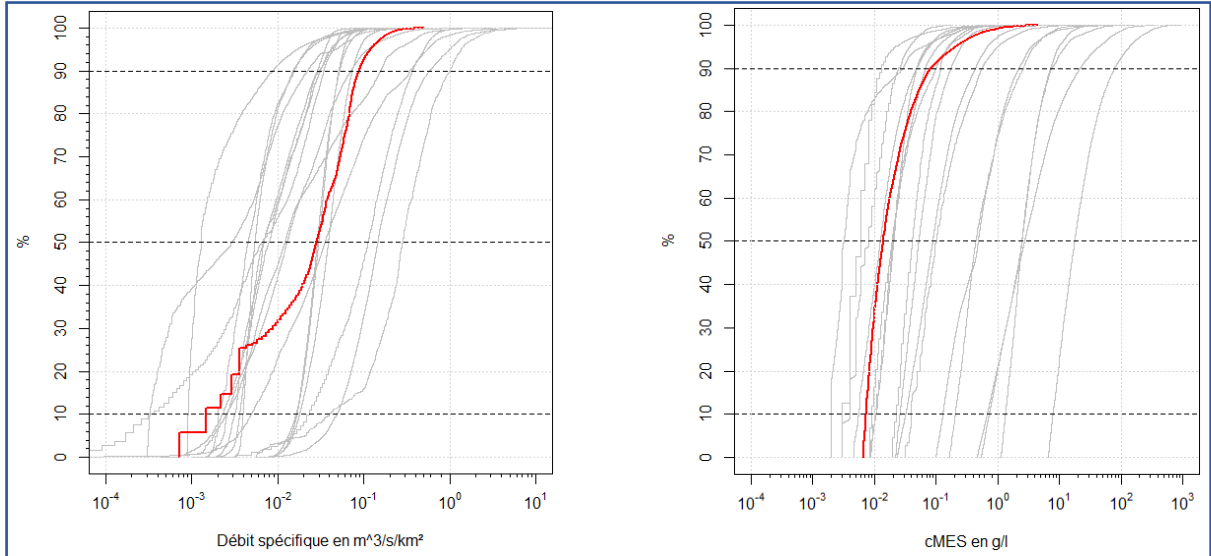


(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

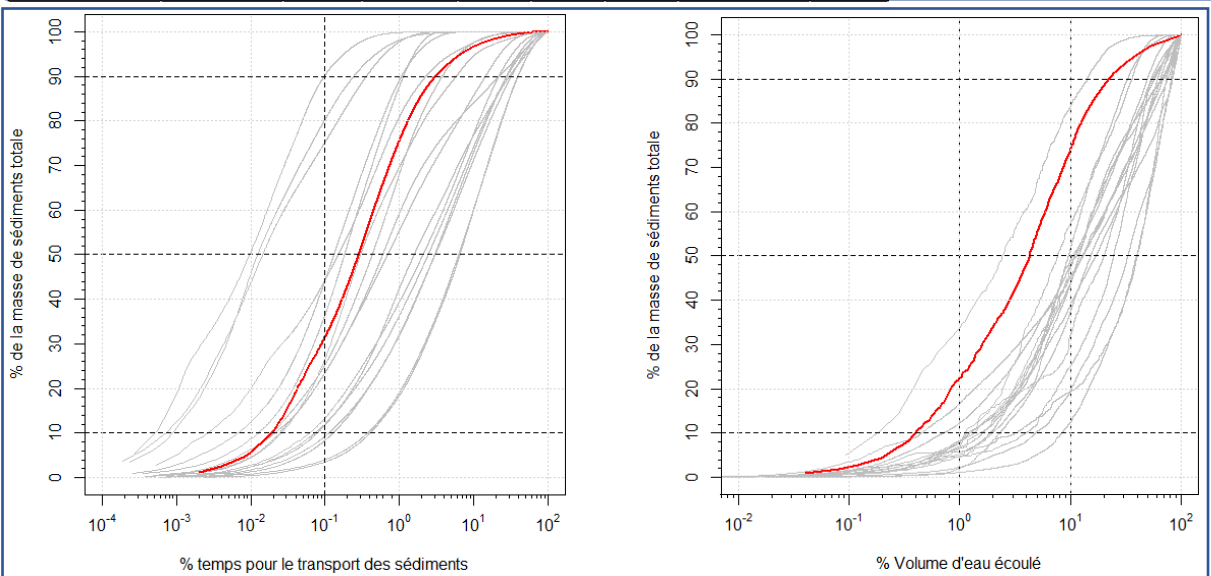
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

OSR – Bassin versant du Fier à Motz (France)

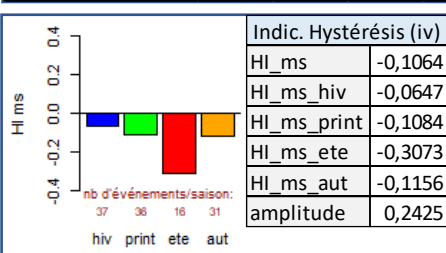
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	45,931	5,841	04/2014 à fin 2019	60	1379	Montagneux	35	33,1	1436	2,65	0,70	41,8	58,2



Indic. Hydrologiques (ii)	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
	3,3E+01	3,7E+00	2,4E+01	8,1E+01	1,4E+00	2,4E-02	2,7E-03	1,4E-02	5,9E-02	2,6E-02	1,5E+01	1,2E+00	1,4E+01	4,9E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	9,9E+01	5,6E-02	4,1E-02	7,3E-03	1,4E-02	8,1E-02	1,6E+00	2,9E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2			
	3,2E+01	2,0E-02	2,9E-01	3,1E+00	3,4E+01	5,1E+01	4,2E-01	4,3E+00	2,2E+01	2,0E-02	5,9E+00			
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%		
	1,2E+02	3,0E+02	6,0E+02	6,2E-01	1,8E-01	4,4E-01	8,9E-01	7,6E-02	1,8E-01	2,9E-01	7,5E-01	1,1E+01		
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%		
	3,3E+02	2,0E+03	8,1E-03	2,4E-01	1,4E+00	9,0E-02	1,0E+00	3,7E+00	2,7E-01	2,0E-02	2,3E-01	8,4E-01		

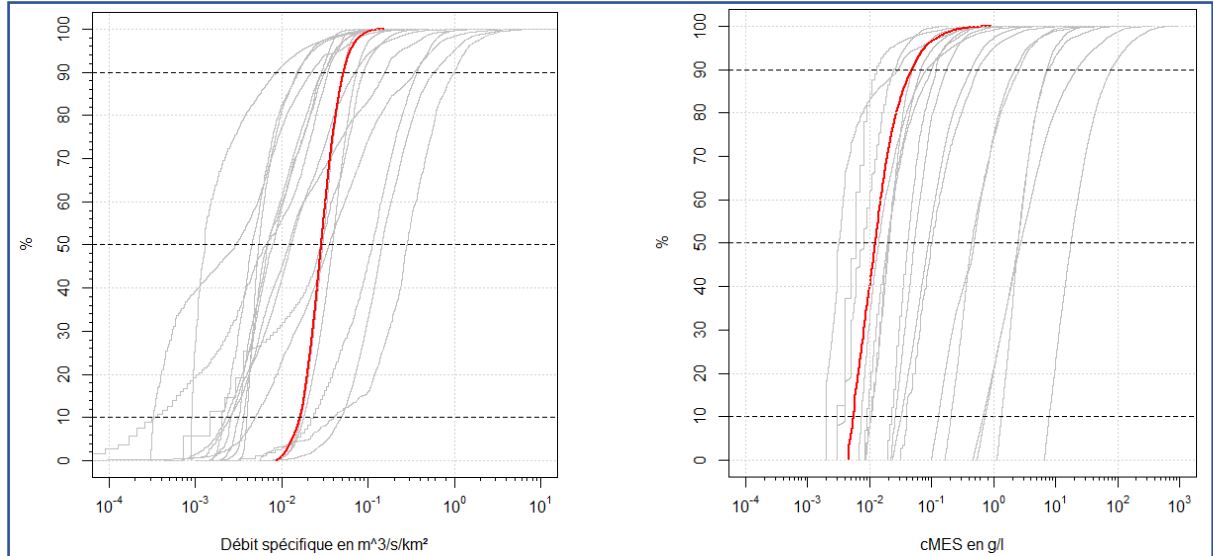


- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

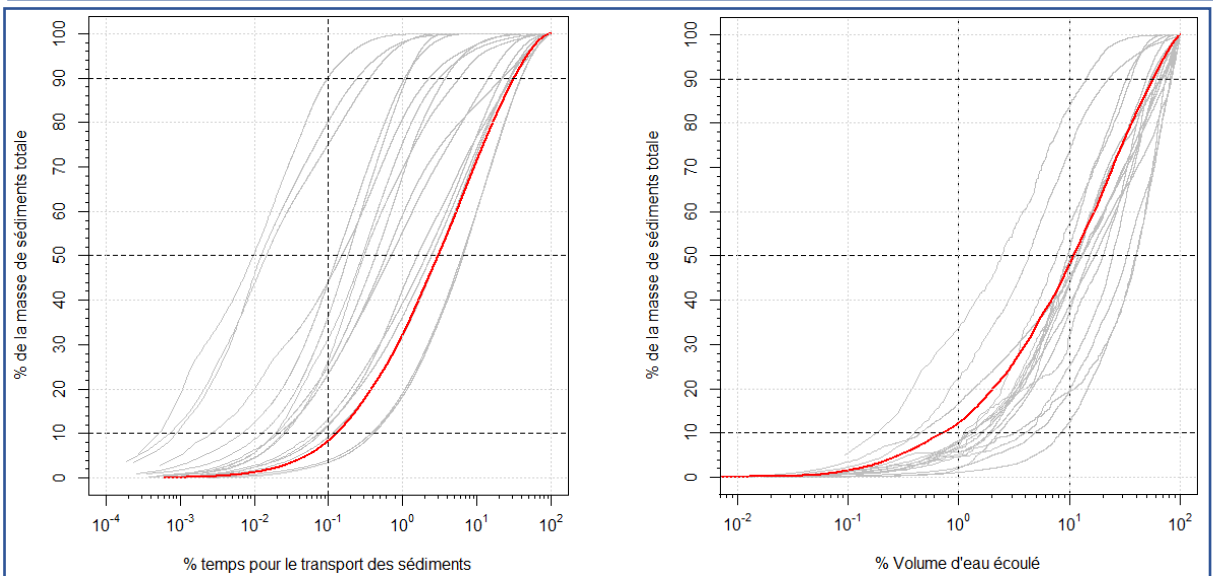
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

OSR – Bassin versant du Rhône à Jons (France)

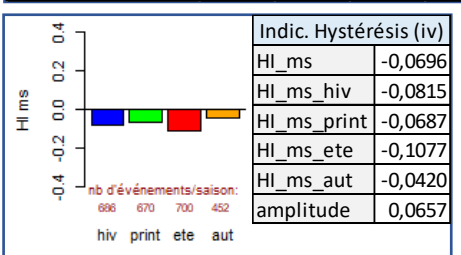
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	45,814	5,079	2000 à 2018	60	20058	Montagneux	33	86,1	1586	0,51	0,16	37,7	62,3



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	5,7E+02	2,6E+02	5,0E+02	9,7E+02	1,1E+00	2,8E-02	1,3E-02	2,5E-02	4,8E-02	1,7E-02	6,4E+00	3,5E+00	3,0E+01	7,8E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	3,1E+01	2,5E-02	2,1E-02	5,5E-03	1,2E-02	4,8E-02	1,2E+00	1,7E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	8,4E+00	1,3E-01	3,0E+00	3,2E+01	2,0E+01	3,6E+01	7,1E-01	1,1E+01	5,7E+01	1,0E-01	6,8E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	5,9E+02	1,2E+03	2,3E+03	7,4E-01	1,9E-01	4,1E-01	7,5E-01	2,9E-02	6,1E-02	1,2E-01	7,2E-01	8,6E+00
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	1,1E+02	1,1E+03	4,3E-04	5,5E-03	5,5E-02	1,4E-02	8,8E-02	5,3E-01	2,8E-01	1,5E-02	9,7E-02	5,8E-01

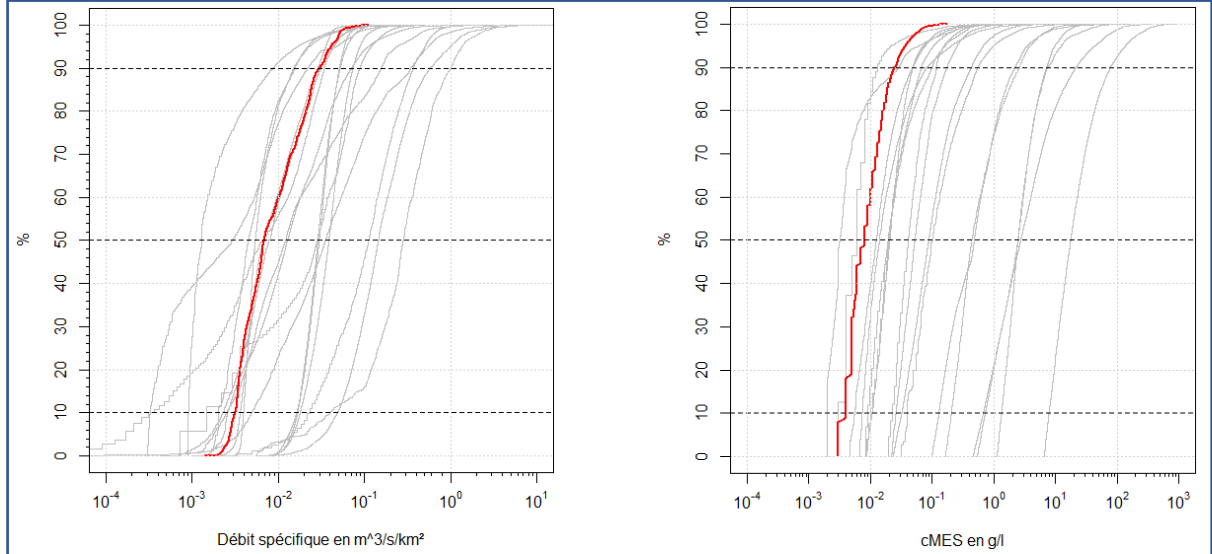


- (i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
- (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
- (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
- (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

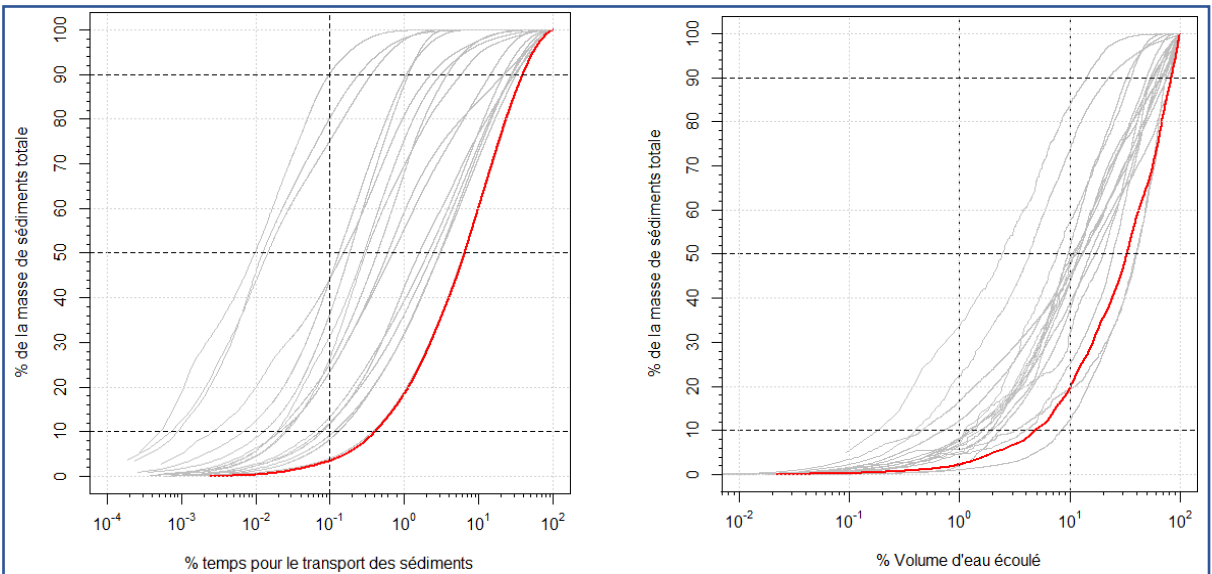
Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

Sélune – Bassin versant de Signy (France)

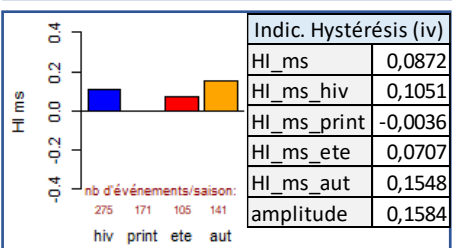
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	48,596	-1,294	01/2015 à 03/21	60	777	Océanique	12	4,0	820	1,91	0,67	43	45



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	9,4E+00	2,4E+00	5,0E+00	2,2E+01	1,9E+00	1,2E-02	3,0E-03	6,5E-03	2,8E-02	1,2E-02	1,0E+01	1,9E+00	1,7E+01	6,5E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km²/an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	6,0E+00	1,2E-02	1,4E-02	4,0E-03	8,0E-03	2,5E-02	1,1E+00	1,8E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	3,5E+00	4,0E-01	6,5E+00	3,9E+01	4,9E+00	1,7E+01	4,9E+00	3,3E+01	8,3E+01	3,8E-01	2,7E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	5,0E+00	2,4E+01	4,6E+01	4,5E-01	5,9E-02	2,8E-01	5,3E-01	6,3E-03	3,1E-02	5,8E-02	4,5E-01	6,3E-02
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	5,2E-01	2,8E+00	8,2E-05	6,7E-04	3,6E-03	7,0E-03	2,0E-02	7,3E-02	4,3E-01	4,1E-02	1,2E-01	4,3E-01



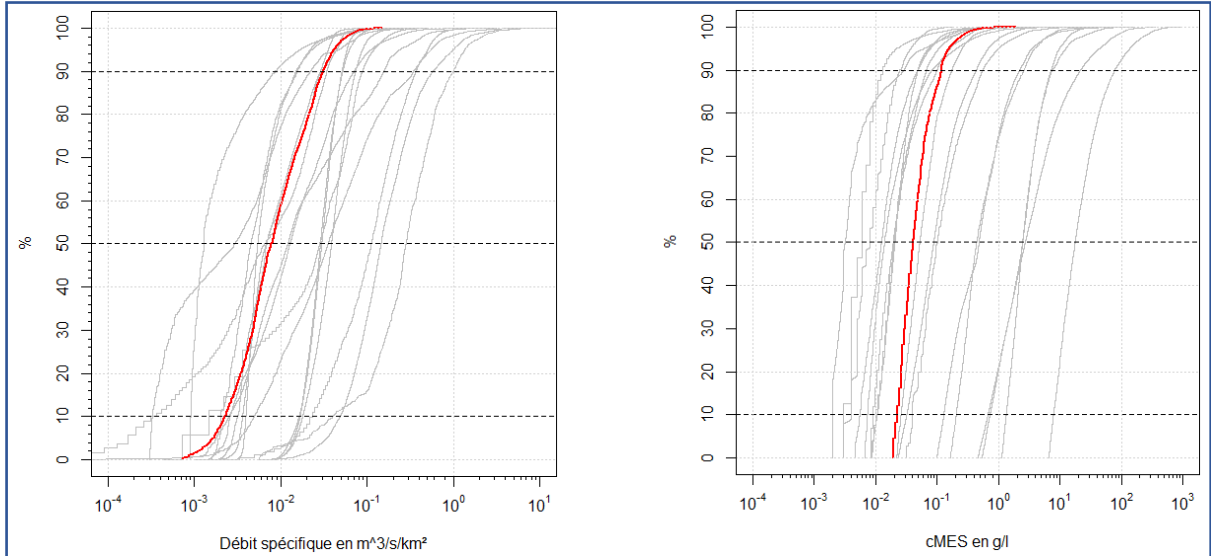
(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

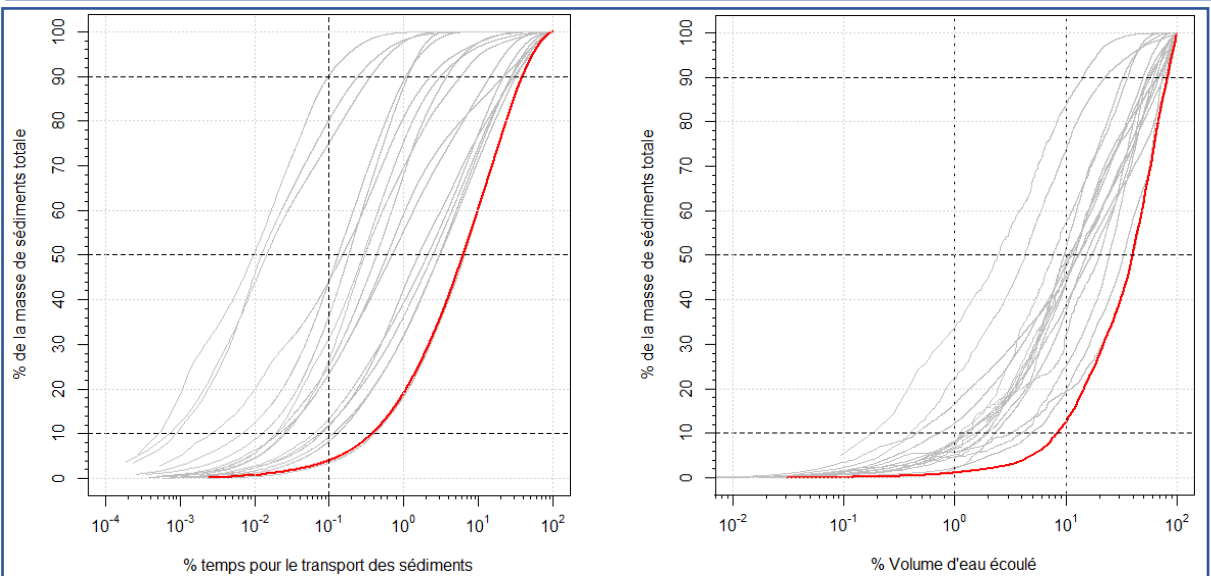
Fovet, O., Ndam, M., Crave, A., Pannard, A., (2020) Influence of dams on river water-quality signatures at event and seasonal scales: The Sélune River (France) case study. River Res Applic. 36:1267–1278. DOI: 10.1002/rra.3618

Sélune – Bassin versant de Virey (France)

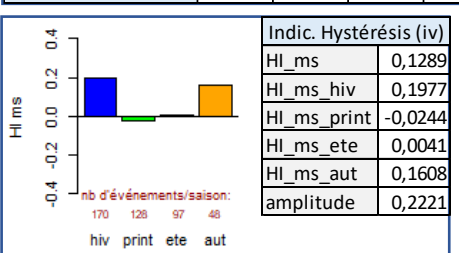
Caractéristiques de site (i)	Lat.	Long.	Années retenues	Pas de temps (min)	Aire (km ²)	Catég. climat	Indice de pente (Melton, m/m)	Indice érodibilité (Ker, %)	Pluie moy (mm/an)	Amplitude de débit (AQ, -)	Variabilité du débit (sVC, -)	Sols nus/ cultivés (%)	Sols couverts (%)
	48,562	-1,145	01/2015 à 03/21	60	629	Océanique	11	4,0	820	2,02	0,74	43	45



Indic.	Qmoy	Qq10	Qq50	Qq90	Q_var	qmoy	qq10	qq50	qq90	qq_75-25	Vt2%	Tv10%	Tv50%	Tv90%
Hydrologiques (ii)	9,4E+00	2,4E+00	5,0E+00	2,2E+01	1,9E+00	1,2E-02	3,0E-03	6,5E-03	2,8E-02	1,2E-02	1,0E+01	1,9E+00	1,7E+01	6,5E+01
Indic. Hydro-sédimentaire (ii)	SSY_t/km ² /an	MESmoy	Csw_pond	MESq10	MESq50	MESq90	MES_ecarttype	MES_var						
	6,0E+00	1,2E-02	1,4E-02	4,0E-03	8,0E-03	2,5E-02	1,1E+00	1,8E+00						



Indic. % pour flux cumulé (iii)	Mt0.1%	Ts10%	Ts50%	Ts90%	Mv2%	Mv1-10%	Vs10%	Vs50%	Vs90%	Ts50/Tv50	Mt2/Vt2	
	3,5E+00	4,0E-01	6,5E+00	3,9E+01	4,9E+00	1,7E+01	4,9E+00	3,3E+01	8,3E+01	3,8E-01	2,7E+00	
Indic. instantanés pour flux cumulé (iii)	Q10%	Q50%	Q90%	Qpente	Qn10%	Qn50%	Qn90%	q10%	q50%	q90%	qpente	F10%
	4,5E+00	1,7E+01	4,1E+01	4,6E-01	4,8E-02	1,8E-01	4,4E-01	7,1E-03	2,7E-02	6,3E-02	4,6E-01	2,3E-01
	F50%	F90%	f10%	f50%	f90%	MES10%	MES50%	MES90%	MESpente	MESn10%	MESn50%	MESn90%
	1,9E+00	1,0E+01	3,7E-04	3,0E-03	1,6E-02	3,4E-02	9,8E-02	4,2E-01	4,0E-01	1,8E-02	5,3E-02	2,2E-01



(i) Pour le calcul et la signification des caractéristiques voir tableau 4.
 (ii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; Vt en % de Volume ; Tv en % de temps ; MES en g/L.
 (iii) Pour la signification des indicateurs voir tableau 2. Mt et Mv en % de masse de sédiments ; Ts en % de temps ; Vs en % de volume d'eau ; Q en m³/s ; q en m³/s/km² ; F en kg/s ; f en kg/s/km² ; MES en g/L ; Qn et MESn sans unité.
 (iv) Pour la signification des indicateurs d'hystérésis voir page 21.

Indicateurs calculés à partir d'une chronique interpolée au pas de temps 1 heure.

Fovet, O., Ndam, M., Crave, A., Pannard, A., (2020) Influence of dams on river water-quality signatures at event and seasonal scales: The Sélune River (France) case study. River Res Applic. 36:1267–1278. DOI: 10.1002/rra.3618



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s)

Ingénieur ENGEES

Spécialité

Hydrosystèmes – Eaux de surfaces

Auteur

Fabien SEVE

Année

2021

Nombre de pages : texte - 43 annexes – 30

Nombre de références bibliographiques : 29

Titre : Comparaison des dynamiques hydro-sédimentaires pour une grande diversité de bassins versants

Structure d'accueil :

Institut des Géosciences de l'Environnement – Université Grenoble-Alpes – Grenoble, Isère

Maître de stage : Cédric Legoût

Résumé

Les signatures temporelles hydro-sédimentaires sont étudiées pour 22 bassins versants de l'infrastructure de recherche OZCAR. L'ensemble de sites présente des climats variés avec des régions tropicales, océaniques, montagnardes et méditerranéennes. Un travail de comparaison est effectué à partir de chroniques de concentration de matières en suspension (cMES) et de débit. Les cMES moyennes et les taux d'érosions annuels varient respectivement de 0.01 à 37.11 g/L et de 3.0 à 10 981.5 t/an/km². Afin d'étudier la provenance des sources de sédiments, les phénomènes événementiels d'hystérésis sont analysés. Des relations entre les distributions temporelles des sédiments et les caractéristiques de chaque site sont présentées.

Mots clés :

Erosion, transport sédimentaire, matières en suspension, dynamique temporelle, bassins versants.