

Projet de Fin d'Etudes (PFE) 2019

Les conséquences chimiques des arasements de barrages : le cas des barrages de la Sélune



Solène Jahan sous la direction de **Karl Matthias Wantzen**

Les conséquences chimiques des arasements de barrages : le cas des barrages de la Sélune

Directeur de recherche : Karl Matthias Wantzen

Auteur : Solène Jahan

2020

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en tout premier lieu les ingénieurs d'étude de l'INRA Mamadou Ndom, Ophélie Fovet ainsi que le coordinateur Stéphane Fraisse pour le temps qu'ils m'ont accordé et les données et nombreuses informations qu'ils m'ont partagées.

Merci également à Monsieur Gilles Berré, responsable technique de l'arasement du barrage de Vezins, pour les précieuses informations qui m'ont permis de mieux comprendre le problème de l'arasement du barrage de Vezins. Merci à Monsieur le Maire d'Isigny-le-Buat pour m'avoir accordé un entretien et orienté vers les personnes qui ont su faire avancer le projet.

Je remercie enfin Monsieur Karl Matthias Wantzen pour l'encadrement de ce PFE.

Table des figures et tableaux.....	7
Introduction.....	9
1. Cadre réglementaire.....	11
2. Historique des barrages de la Sélune	12
2.1 Les barrages de la Sélune au XXème siècle.....	13
2.2 Les études réalisées sur les barrages.....	13
2.3 Les étapes de gestion sédimentaire sur le barrage de Vezins.....	15
2.4 La vidange suivie du démantèlement du barrage de Vezins	16
2.5 Les étapes post-arasement prévues.....	17
3. Analyse des données physico-chimiques au fur et à mesure de l'arasement	18
3.1 Matériel et méthode	18
3.1.1 Récolte des données.....	18
3.1.2 Traitement des données brutes de l'INRA : nutriments et débits	23
3.1.3 Traitement des données brutes d'EDF : température, pH, O ₂ dissous, conductivité, turbidité.....	24
3.1.4 Traitement des données brutes de l'Agence de l'Eau : micropolluants	24
3.2 Résultats	25
3.2.1 Résultats sur les données de l'INRA : nutriments et débit	25
3.2.2 Résultats sur les données d'EDF : température, pH, O ₂ dissous, conductivité, turbidité.....	33
3.2.3 Résultats sur les données de l'Agence de l'Eau : micropolluants	35
3.3 Discussion.....	40
Conclusion	41
Bibliographie.....	43

Table des figures et tableaux

Figure 1 : Logigramme de la circulaire sur la démarche de priorisation. Source : AIDA, 2010	11
Figure 2 : Localisation du barrage de Vezins sur la Sélune (Manche)	12
Tableau 1 : Valeurs de débits de la Sélune. Source : DDTM Manche, 2014	12
Figure 3 : Frise chronologique représentant les dates historiques des barrages de la Sélune. Source : DDT Manche	13
Figure 4 : Frise chronologique représentant les dates importantes des études pré-arasement réalisées sur les barrages de la Sélune. Source : DDT Manche.....	13
Figure 5 : Frise chronologique représentant les dates clef des étapes de la gestion sédimentaire sur le barrage de Vezins. Source : DDT Manche.....	15
Figure 6 : Frise chronologique représentant les dates clef des étapes de vidange et de démantèlement du barrage de Vezins. Source : DDT Manche.....	16
Figure 7 : Carte des stations de mesures physico-chimiques sur la Sélune. Source : INRA	18
Tableau 2 : Emplacement et caractéristiques des stations [LE GONIDEC et al, 2016]	19
Tableau 3 : Equipements des stations [LE GONIDEC et al, 2016].....	19
Figure 8 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques en laboratoire [LE GONIDEC et al, 2016]	20
Tableau 4 : Unités formule des flux [DREAL Centre, 2012]	23
Tableau 5 : Familles de micropolluants analysés par l'Agence de l'Eau et leurs utilisations [Chimie.net] [METZGER, 2018]]	24
Tableau 6 : Flux à la station INRA amont	25
Tableau 7 : Flux à la station INRA aval	25
Figure 9 : Graphique représentant l'évolution des flux de nutriments à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Sources : INRA	26
Figure 13 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en phosphore et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA	31

Figure 14 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en nitrates et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA	31
Figure 15 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en silice et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA.....	32
Figure 16 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en nitrites et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA	32
Figure 17 : Graphique représentant l'évolution des concentrations en ammonium et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA	33
Figure 18 : Graphique représentant l'évolution des paramètres physico-chimiques à l'aval du barrage de Vezins et à l'aval du barrage de La-Roche-Qui-Boit. Source : EDF ...	34
Figure 19 : Graphique représentant les concentrations en familles de micropolluants dans l'Yvrande et à Saint-Aubin en 2016. Source : Agence de l'Eau	35
Figure 20 : Graphique représentant les concentrations en familles de micropolluants à Saint Hilaire, Saint Aubin et dans l'Yvrande en 2017. Source : Agence de l'Eau	36
Figure 21 : Graphique représentant les concentrations en familles de micropolluants à Saint Hilaire, Saint Aubin et dans l'Yvrande en 2018. Source : Agence de l'Eau	36

Introduction

La construction des barrages de la Sélune, fleuve se jetant au niveau de la baie du Mont Saint-Michel dans le département de la Manche, a débuté au début du XX^{ème} siècle dans le cadre du développement régional. Aujourd'hui, les deux barrages (Vezins et La-Roche-Qui-Boit) font l'objet d'une procédure d'arasement dans un objectif de rétablissement de la continuité écologique de la Sélune. Ce projet, dont ANTEA France est le maître d'œuvre, a rapidement pris du retard sur les opérations planifiées, notamment en raison de l'opposition de certaines associations dont « Les Amis du barrage ». Les opposants à l'arasement craignaient notamment une contamination de la baie du Mont Saint Michel par les sédiments. Pour ces raisons politiques, la vidange de la retenue du barrage de Vezins prévue initialement en 2016 a finalement eu lieu en 2018.

En effet, si les barrages ont donc un impact direct sur la physico-chimie des eaux, leur arasement en a aussi. Les barrages de Vezins et de La-Roche-Qui-Boit, dont les fonctionnements sont fortement liés, sont actuellement en cours d'arasement et feront donc l'objet de cette étude de cas sur les conséquences chimiques des arasements de barrages. L'enjeu est important puisque le barrage de Vezins est de classe A, soit le niveau maximum de surveillance [DDTM Manche, 2012]. En outre, 20 000m³ de matières en suspension sont arrêtées tous les ans dans ces barrages [DDTM Manche, 2014 (A)] et font de la problématique de gestion sédimentaire un enjeu majeur.

En moyenne, 20 à 30% des sédiments transportés par les cours d'eau sont piégés dans des réservoirs [DDTM Manche, 2012], et se chargent d'une grande diversité d'éléments chimiques. Notamment, la composition en métaux de ces sédiments varie selon le contexte géologique de la zone : les concentrations sont ainsi considérées comme normales lorsqu'elles sont inférieures au fond géochimique. Or, les schistes à calymènes sur lesquels la Sélune a creusé son lit contiennent naturellement du fer et des sulfures [BRGM, 2015]. Les sédiments stockés en amont des barrages sont par ailleurs les « meilleures archives du captage de la pollution aux métaux lourds » [DESMET et al, 2016]. Ces derniers s'échappent au cours de l'extraction et du traitement des minerais, puis contaminent les eaux et par extension la retenue de certains barrages. La composition physico-chimique des sédiments constitue donc une information majeure dans l'étude des impacts d'un arasement de barrage, néanmoins les données complètes n'ayant pas pu être récupérées, les informations concernant ce paramètre se limitent à quelques tendances générales.

Dans le cadre du Projet de Fin d'Etudes, la récolte d'informations concernant les étapes de l'arasement du barrage de Vezins a donné lieu à des entretiens avec différents acteurs locaux, notamment la mairie d'Isigny-le-Buat (commune sur laquelle a été construit le barrage de Vezins) et la Direction Départementale de la Manche. Dans l'objectif de récolter les données physico-chimiques mesurées depuis le début des étapes pré-arasement sur la Sélune, des échanges ont eu lieu avec les ingénieurs et coordinateurs de l'INRA. L'INRA a également pu fournir ses propres rapports d'analyses sur les données mesurées. Toutes ces informations ont

par la suite été mises en relation afin d'étudier les conséquences chimiques des étapes pré-arasement seulement, l'arasement du barrage de Vezins n'étant pas terminé à l'heure du rendu du rapport.

Ainsi, dans l'objectif de mieux comprendre les mécanismes des arasements de barrages et leurs conséquences, les deux problématiques suivantes seront étudiées tout au long de ce rapport :

Dans quelle mesure les travaux d'arasement des barrages de la Sélune réduisent-ils le risque de pollution chimique en aval ?

Quelle est l'évolution spatio-temporelle des teneurs en espèces chimiques sur le linéaire de la Sélune concerné par les barrages ?

1. Cadre réglementaire

En 2009 a été mis en place par l'ONEMA le ROE, Registre des Obstacles à l'Ecoulement, répertoriant tous les barrages et seuils de France et leur niveau de franchissabilité [AIDA, 2010].

La circulaire du 25/01/10 relative à la mise en œuvre par l'Etat et ses établissements publics d'un plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau propose une méthode de priorisation des ouvrages (figure 1).

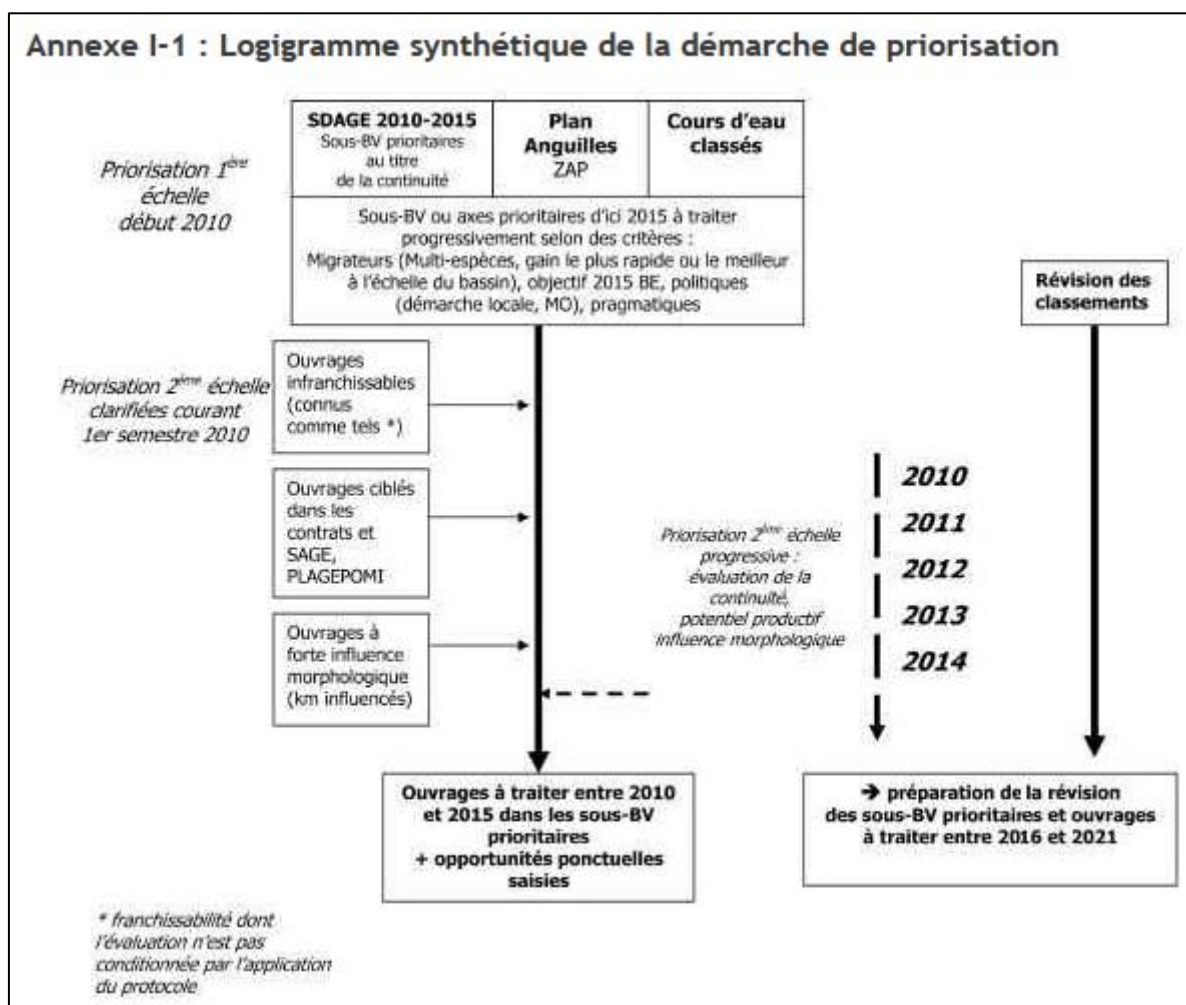


Figure 1 : Logigramme de la circulaire sur la démarche de priorisation. Source : AIDA, 2010

2. Historique des barrages de la Sélune

La Sélune prend sa source à St-Cyr-du-Bailleul (Manche). Son linéaire s'étend sur 72km et son bassin versant sur 1038km² (figure 2). Elle possède onze affluents [DDTM Manche, 2014 (B)].



Figure 2 : Localisation du barrage de Vezins sur la Sélune (Manche)

Tableau 1 : Valeurs de débits de la Sélune. Source : DDTM Manche, 2014

Module	Q crue décennale	Q crue centennale	Q crue millénaire
8 m ³ /s	113 m ³ /s	290 m ³ /s	475 m ³ /s

2.1 Les barrages de la Sélune au XXème siècle

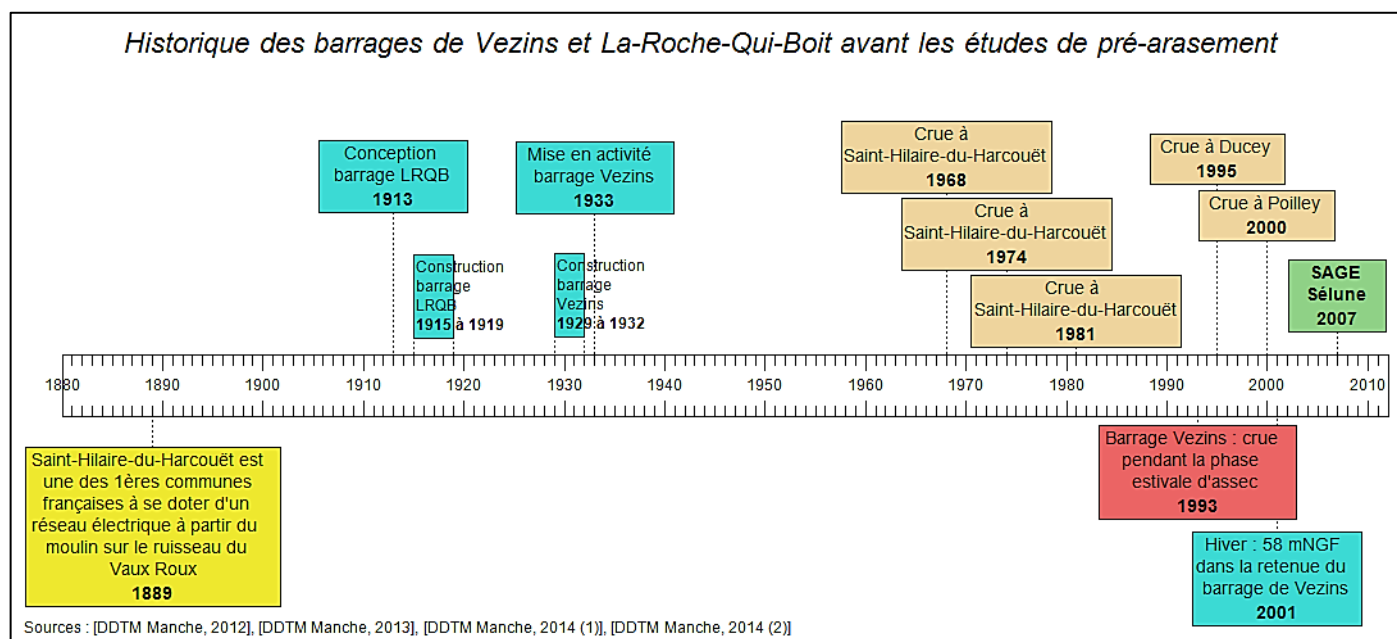


Figure 3 : Frise chronologique représentant les dates historiques des barrages de la Sélune. Source : DDT Manche

Le barrage de La-Roche-Qui-Boit (LRQB sur la frise en figure 3) a été construit par des prisonniers de guerre [DDTM Manche, 2014 (A)] en béton armé. Haut de 16m et large de 129m de large, il a été conçu pour utiliser la grande chute du Taurion [DDTM Manche, 2013]. En ce qui concerne le barrage de Vezins, notons que la crue de 1993 ayant eu lieu pendant une phase de vidange a engendré le départ de 120 000 m³ de sédiments, induisant le colmatage du cours d'eau à l'aval [DDTM Manche, 2014 (A)]. Enfin, le SAGE de la Sélune de 2007 prévoit un inventaire des zones humides et des bocages, ainsi que la conservation des zones d'expansion de crues en amont de St Hilaire du Harcouët [DDTM Manche, 2014 (B)].

2.2 Les études réalisées sur les barrages

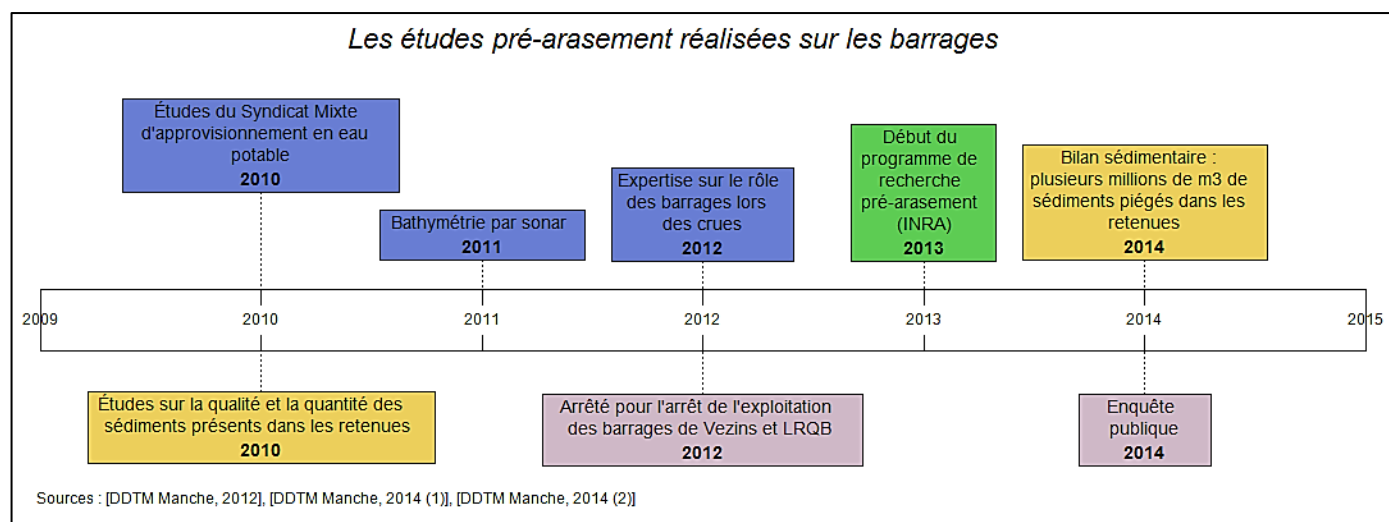


Figure 4 : Frise chronologique représentant les dates importantes des études pré-arasement réalisées sur les barrages de la Sélune. Source : DDT Manche

Dans le cadre de l'étude de 2010 (figure 4), le Syndicat Mixte d'approvisionnement en eau potable a prélevé de l'eau en contrebas du barrage de La-Roche-Qui-Boit : le risque était celui d'une eau plus turbide en période de crue. Suite à cela, une filière d'ultrafiltration et un bassin décantation des eaux brutes ont été ajoutés à la station d'eau potable.

Les études sur la quantité et qualité des sédiments présents ont été réalisées par le groupe IDRA Environnement, dans le but de caractériser les sédiments dans les retenues et les risques liés à la gestion sédimentaire pré-arasement. 141 carottages ont été réalisés sur 20km dans la retenue de Vezins, chaque carottage étant utilisé pour 21 analyses dont la granulométrie, les caractéristiques physiques, la teneur en matière organique et celle de 11 métaux différents. Ces études ont permis de mettre en évidence la contamination aux métaux lourds des sédiments de l'Yvrande, un affluent de la Sélune en amont de la retenue du barrage de Vezins. Cette contamination est due aux rejets d'Electropoli, une usine de traitement de surface sur substrat métallique située à Isigny-le-Buat.

Le BRGM a également lancé le programme ELISE : étude de la capacité libération des contaminants dans les sédiments de la Sélune. Des carottes ont été effectuées dans l'Yvrande afin d'analyser les eaux de ressuyage issues des sédiments pollués. Il s'est avéré qu'il n'y avait pas de réel risque de relargage des métaux lourds en aval. Afin d'étudier la mobilité sédimentaire une fois la vidange effectuée, des échantillons de sédiments ont été soumis à un vieillissement accéléré par ressuyage et humectation. Les eaux de ressuyage ont ensuite été analysées, mettant en évidence une mobilité modérée [DDTM Manche, 2012]. Dans ce cas, le risque serait avéré en cas d'inhalation ou ingestion de poussières, contaminées au Cadmium et au Chrome [DDTM Manche, 2014 (A)].

Les données de bathymétrie par sonar de 2011 ont permis une comparaison avec les données de 1926 et 1993 [DDTM Manche, 2012].

L'arrêté a donné l'obligation de vidange avant le démantèlement de l'ouvrage [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (A)].

L'expertise visant à évaluer le rôle des barrages de la Sélune lors des crues s'est appuyée sur les données enregistrées lors des dernières crues débordantes à l'aval des barrages, notamment sur la variation des débits entrants et restitués. L'étude a mis en évidence un effet nul ou négligeable sur l'écêtement des crues dans 60% des cas. Dans 40% des cas, l'écêtement par les barrages représentait entre 5 et 10% du débit de crue. Un retard de la pointe de crue de 2 à 6h a été constaté dans 50% des cas, de 2 à 4h dans 25% des cas et un effet nul ou négligeable a été observé dans 25% des cas. ARTELIA a également réalisé une étude sur la base de simulations. Ainsi, dans le cas de crues décennales et centennales, la présence des barrages occasionnait une variation du débit de pointe d' $1\text{m}^3/\text{s}$ ainsi qu'une variation du niveau d'eau de -10cm à +1cm. L'hydrogramme de crue était également décalé de 35min. Ces impacts ont été considérés comme faibles.

Le programme de recherche pré-arasement réalisé par l'INRA s'appuie sur des paramètres biotiques et abiotiques, paysagers et relatifs aux usages [DDTM Manche, 2014 (B)].

Les sédiments piégés étaient surtout présents dans la retenue de Vezins, notamment au niveau du pont de la République et dans les anses de Lair et de l'Yvrande. Dans la retenue de Vezins, 350 000 m³ de sédiments sont susceptibles d'être mobilisés lors d'une vidange, plus 30 000 m³ dans la retenue de La-Roche-Qui-Boit. L'objectif était d'envoyer moins de 4000 m³ de sédiments en aval de La-Roche-Qui-Boit au cours de l'arasement, sans prendre en compte les matières en suspension [DDTM Manche, 2014 (A)].

2.3 Les étapes de gestion sédimentaire sur le barrage de Vezins

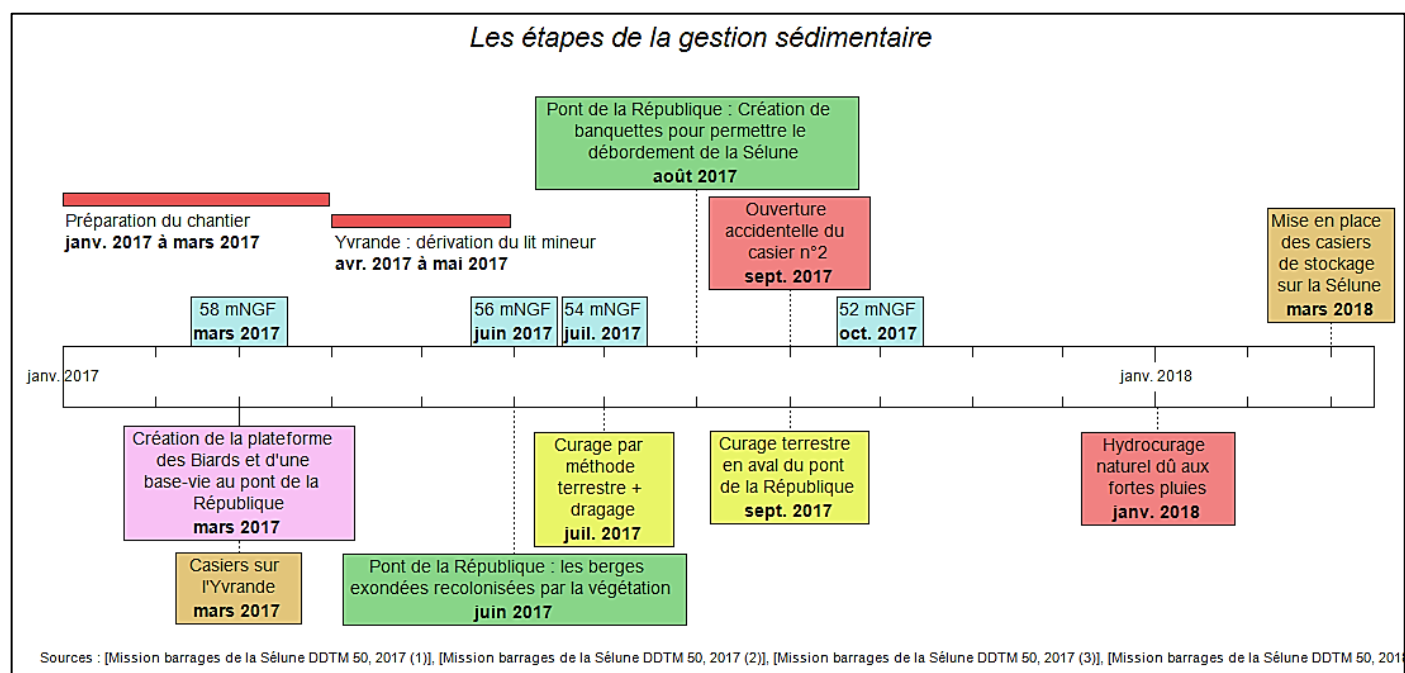


Figure 5 : Frise chronologique représentant les dates clef des étapes de la gestion sédimentaire sur le barrage de Vezins. Source : DDT Manche

La préparation du chantier consiste en l'élaboration de documents et de plans, mais également en repérages sur le terrain, levés topographiques et aménagement d'accès (figure 5).

La dérivation du lit mineur de l'Yvrande sur sa rive droite a été permise par la construction d'une digue en gabions (des cages remplies de sable ou pierres) parallèle aux berges. Dans l'ancien lit mineur, soit de l'autre côté de la digue, 3m de sédiments sains de la Sélune ont été déposés au-dessus des sédiments pollués grâce à une drague aspiratrice. Dans le nouveau lit mineur, 2000 m³ de sédiments pollués ont été placés dans des géocontainers perméables en amont et recouverts de sédiments sains [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (A)]. Les sédiments pollués sont ainsi déconnectés du lit majeur de façon à ce que ni la rivière ni les précipitations ne puissent les remettre dans le lit mineur. Ces opérations ont engendré en tout la gestion de 560 000 m³ de sédiments.

Le curage par méthode terrestre permet de stabiliser les sédiments du lit mineur susceptibles de partir vers l'aval lors de la vidange. Le curage a dans un premier lieu été réalisé du PK

10,75 au PK 13,35, là où la hauteur d'eau et la largeur sont plus faibles (le PK 0 correspondant au barrage de Vezins). Les sédiments du lit mineur ont ainsi été déposés sur les berges, créant ainsi des sortes de merlons en sédiments. Une autre pelleuse éloigne une partie des sédiments de la berge vers des casiers de stockage. Le stockage des sédiments sur place évite ainsi les transports qui peuvent constituer une nuisance. Les opérations de dragage ont été réalisées du PK 7,9 au PK 8,75 : les sédiments ont de cette manière été déplacés derrière une digue [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (C)], [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (B)].

Le 2 janvier 2018, à cause de fortes pluies, 80m³/s transitaient au barrage de Vezins, induisant un hydrocurage naturel redonnant un aspect naturel aux berges. Le départ de sédiments vers l'aval a été récupéré par curage terrestre [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (A)].

2.4 La vidange suivie du démantèlement du barrage de Vezins

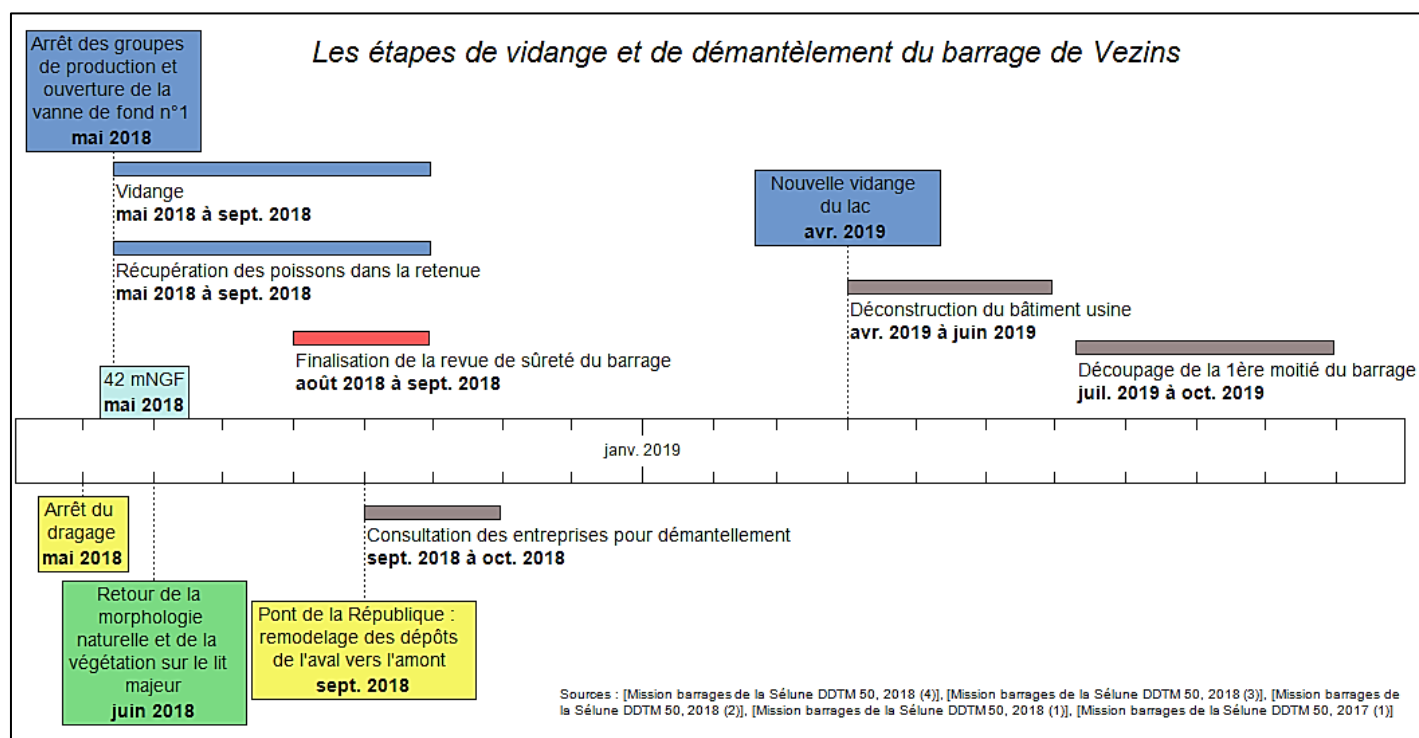


Figure 6 : Frise chronologique représentant les dates clef des étapes de vidange et de démantèlement du barrage de Vezins. Source : DDT Manche

L'année 2018 a vu l'arrêt de la gestion sédimentaire et le début des opérations de vidange.

Au total, 175 000m³ de sédiments ont été dragués dans la Sélune [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (C)].

La vidange de la retenue de Vezins (figure 6) a été effectuée par ouverture des vannes en bas de l'ouvrage dans le but d'abaisser progressivement le plan d'eau et d'éviter la remise en suspension des particules provenant des berges. En 30 jours, le niveau d'eau a été abaissé de 30m. Lors des opérations de récupération de poissons dans la retenue, 13,2 tonnes de poissons ont pu être pêchées [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (A)].

Le mois d'août a vu la deuxième phase de vidange en 10 jours. Le contrôle de la qualité de l'eau a alors été renforcé. A l'approche de l'assec, beaucoup de sédiments sont passés dans la retenue de La-Roche-Qui-Boit via la vanne de fond. Pendant l'hiver 2018, la gestion des eaux s'est faite via le déversoir de crues situé à 54,71m NGF.

Au printemps 2019, les travaux de démantèlement ont débuté par la déconstruction du bâtiment usine en travers de la vallée, qui a d'ailleurs nécessité une opération de désamiantage. Les métaux valorisables ont été revendus. Le béton a été concassé sous forme de granulats valorisables, non seulement sur le site mais également dans d'autres projets [Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (B)].

Pour le découpage du barrage de Vezins, une grosse pince coupante au bout d'un bras de pelle est utilisée en contrebas du barrage. Elle permet de broyer le béton et coupe la ferraille. La rivière coule sous l'ouvrage dans une conduite sur la rive droite. L'ouvrage est arasé du haut vers le bas, par épaisseurs de 4 ou 5 voûtes à la fois. Un grand bras doit être utilisé pour atteindre le haut de l'ouvrage, un plus petit pour la partie basse.

2.5 Les étapes post-arasement prévues

Le dragage des sédiments non stabilisés, suivi d'une vidange lente et enfin du démantèlement du barrage de La-Roche-Qui-Boit, initialement prévus pour 2018, sont maintenant planifiés pour 2021. L'arasement sera suivi de travaux de renaturation tels que des travaux sur les berges, la reprise des casiers et le terrassement des banquettes de sédiments asséchés [DDTM Manche, 2014 (A)].

Jusqu'à 10 ans après la fin de l'arasement, l'INRA mettra en place un programme scientifique de suivi des conditions biotiques et abiotiques [DDTM Manche, 2014 (B)].

3. Analyse des données physico-chimiques au fur et à mesure de l'arasement

3.1 Matériel et méthode

3.1.1 Récolte des données

La problématique des polluants chimiques reste un enjeu important sur la Sélune, notamment concernant l'embouchure de l'Yvrande polluée aux métaux lourds à cause d'une usine de traitement de métaux comme expliqué précédemment. En effet, en 1993, 3000m³ de sédiments contaminés avaient dû être déposés dans une décharge d'Isigny-le-Buat. Les barrages de Vezins et La-Roche-Qui-Boit perturbant fortement ces flux chimiques, mesurer les concentrations de polluants à l'amont et à l'aval des barrages est une priorité.

L'arrêté relatif à l'arasement des barrages de la Sélune précise l'obligation de mesures physico-chimiques en amont de la retenue, avant, pendant et après l'arasement. Le tableau 2 ci-dessous ainsi que la carte en figure 7 récapitulent les emplacements et caractéristiques de chaque station de mesure.

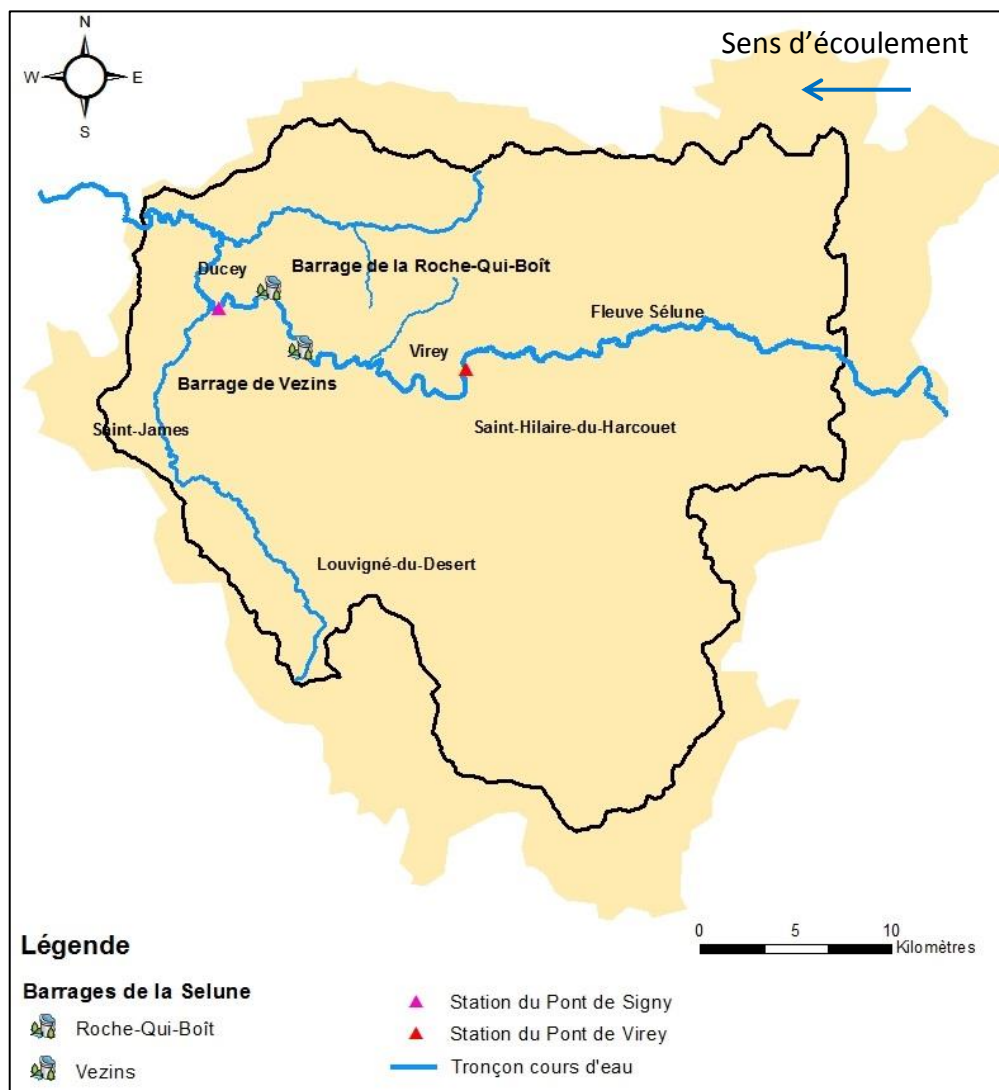


Figure 7 : Carte des stations de mesures physico-chimiques sur la Sélune. Source : INRA

Tableau 2 : Emplacement et caractéristiques des stations [LE GONIDEC et al, 2016]

Nom de la station (de l'amont vers l'aval)	Emplacement	Surface du bassin versant intégré	Gestionnaire	Type de mesures
Saint-Hilaire-du-Harcouët	La Sélune, très en amont du barrage de Vezins		Agence de l'Eau	Echantillonnage ponctuel pour micropolluants
Pont de Virey	La Sélune, amont du barrage de Vezins, 4,6km en amont de la confluence avec l'Yvrande	629km ²	INRA-EDF	Mesures en continu + échantillonnage ponctuel
Le Dorière	La Sélune, aval immédiat du barrage de Vezins		EDF (station automatique)	Mesures en continu
La-Roche-Qui-Boit	La Sélune, aval immédiat du barrage de LRQB		EDF (station automatique)	Mesures en continu
Pont de Signy	La Sélune, 4km en aval du barrage de LRQB	777km ²	INRA	Echantillonnage ponctuel
Saint-Aubin-de-Terrégate	La Sélune, très en aval du barrage de LRQB		Agence de l'Eau	Echantillonnage ponctuel pour micropolluants
Yvrande	L'Yvrande		Agence de l'Eau	Echantillonnage ponctuel pour micropolluants

Chaque station INRA et EDF est équipée d'un certain nombre de dispositifs et d'équipements, synthétisés dans le tableau 3 ci-dessous. En ce qui concerne les micropolluants (pesticides et métaux notamment), il s'agit uniquement de prélèvements ponctuels effectués par l'Agence de l'Eau. Ils ne sont donc pas présentés sur le tableau ci-après.

Tableau 3 : Equipements des stations [LE GONIDEC et al, 2016]

Stations	Turbidimètre	Capteur de niveau d'eau	Sonde de conductivité	Sonde d'oxygène dissous	Sonde pH	Sonde de température	Préleveur automatique réfrigéré*
Pont de Virey	x	x	x	x	x	x	x
La Dorière	x	x	x	x	x	x	x
La-Roche-Qui-Boit	x	x	x	x	x	x	x
Pont de Signy	x	x	x	o	o	x	x

Vert = présence du dispositif

Rouge = absence du dispositif

*Les crues déclenchent une majeure partie des flux chimiques. Le préleveur automatique réfrigéré se déclenche de manière automatique lors d'une crue. Sur une crue, une dizaine d'échantillons d'eau sont ainsi prélevés.

Les mesures ponctuelles sont effectuées manuellement de manière hebdomadaire. Les échantillons prélevés sont ensuite envoyés au laboratoire de l'UMR-SAS. L'échantillon est ensuite traité comme sur le schéma en figure 8. Le phosphore total, composé du phosphore particulaire et dissous, est analysé sur échantillon d'eau brut. Les MES sont pesées après filtration et séchage. Les teneurs en carbone et azote sont mesurés à la fois dans la partie filtrée et dans la partie solide dont la taille des particules est supérieure à $1.2\mu\text{m}$. Le filtre de $1.2\mu\text{m}$ permet d'éliminer les cellules et particules. Les teneurs en nitrates, nitrites, ammonium, phosphates et silice sont mesurées dans la partie filtrée, le filtre de $0.45\mu\text{m}$ permettant d'éliminer la plupart des bactéries, levures, cellules et particules. Les méthodes utilisées pour mesurer les concentrations des différentes espèces chimiques seront présentées par la suite.

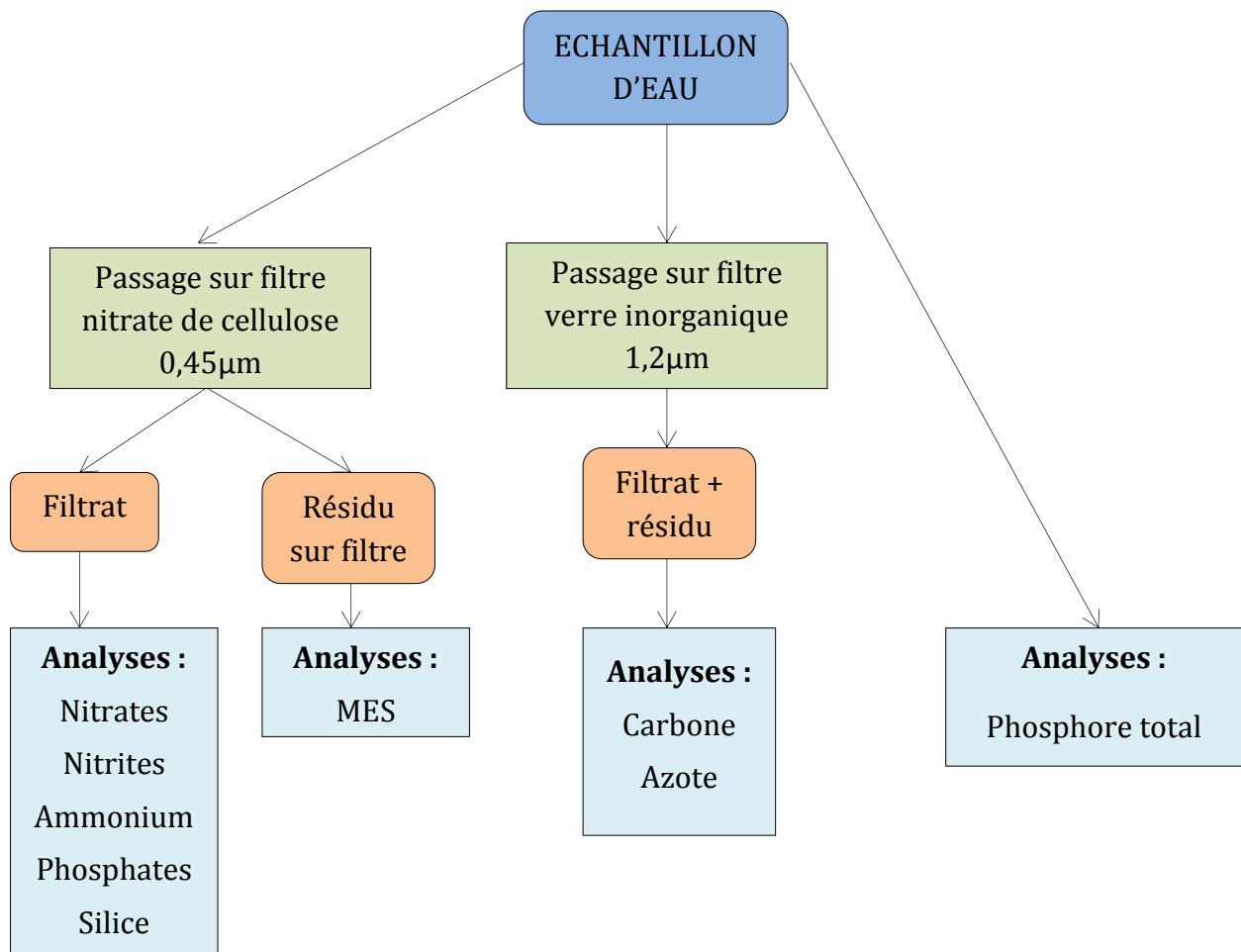


Figure 8 : Méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques en laboratoire [LE GONIDEC et al, 2016]

Des données obtenues en continu sont, elles, gérées par EDF, qui les valide ou non en fonction des dérives des appareils ou de l'encrassement de ces derniers. Par exemple, au

niveau de la station intermédiaire La Dorière, le niveau d'eau a dû être abaissé pour des raisons de gestion du barrage. Les sédiments venant de la retenue de Vezins sont venus colmater les stations et les valeurs ne sont donc plus fiables pour la turbidité notamment, mais restent acceptables pour l'oxygène dissous. Cependant, les valeurs les plus importantes sont celles mesurées dans la retenue du barrage de Vezins. Le paramétrage des capteurs s'effectue via une centrale d'acquisition, et un modem GSM permet le rapatriement des données à distance [LE GONIDEC et al, 2015].

- *Profil de vitesse*

Les données nécessaires à l'établissement d'un profil de vitesse sont mesurées à l'aval immédiat du pont de Signy par vélocimétrie par effet Doppler, à l'aide d'un vélocimètre UB-Flow F156 utilisant les ultrasons. Il s'agit d'un système performant permettant une acquisition de données précises même près du fond. Il est couplé à un ordinateur pour le paramétrage, l'acquisition, la visualisation et l'enregistrement des données sous la forme de profils de vitesse verticaux. La station de mesures est fixe : il s'agit d'une structure métallique conçue pour résister aux crues. Un capteur de mouvements permet également de vérifier sa stabilité [LE GONIDEC et al, 2015]. Préalablement testé en canal de laboratoire à Géosciences Rennes, le système est utilisé pour l'étude du transport des sédiments [MARTIGNAC et al, 2014].

- *Débit*

La mesure de niveau d'eau et une courbe de tarage fournie par la DREAL réalisée à partir de données récoltées au niveau du pont de Signy par ADCP permettent d'obtenir le débit. [LE GONIDEC et al, 2016]. Le niveau d'eau est mesuré grâce à un capteur de pression et d'une échelle limnimétrique [LE GONIDEC et al, 2015].

- *MES/turbidité*

Un contrôle continu des matières en suspension en radeau a été effectué à la sortie du barrage de Vezins après ouverture des vannes pour la vidange. Lors de la première vidange, le niveau d'oxygène dissous était très bas à cause d'une remontée de sédiments et d'une remobilisation de matière organique qui a augmenté la demande en oxygène. La vidange a alors dû être arrêtée pendant quatre jours.

- *Phosphore*

Les orthophosphates et le phosphore total sont mesurés par colorimétrie [LE GONIDEC et al, 2015]. La concentration en phosphore particulaire est donnée par la formule suivante :

$$P_{particulaire} = P_{total} - P_{dissous}$$

- *Nitrates*

Les nitrates sont mesurés par chromatographie ionique [LE GONIDEC et al, 2015].

- *Nitrites*

Les nitrites sont représentatifs d'une activité microbienne très importante. Intermédiaire entre les nitrates et l'ammonium, leur présence dans l'eau est très éphémère. Ils sont mesurés par chromatographie ionique [LE GONIDEC et al, 2015].

- *Silice*

La silice provient de l'altération des roches constitutives du substrat imperméable [NDOM et al, 2019] et se trouve impliquée dans le phénomène d'eutrophisation des réservoirs [MARTIGNAC et al, 2014]. La concentration en silice est mesurée par colorimétrie [LE GONIDEC et al, 2015].

- *Micropolluants*

Les micropolluants sont mesurés par l'Agence de l'Eau aux stations de Saint-Hilaire-du-Harcouët sur la Sélune (en amont des barrages), de l'Yvrande (dont l'embouchure se situe juste en amont du barrage de Vezins) et de Saint-Aubin-de-Terrégate sur la Sélune (à l'aval des barrages). Notons qu'il s'agit uniquement de mesures sur les micropolluants dissous dans la colonne d'eau, les concentrations de micropolluants dans les sédiments n'ayant pas pu être récupérées.

Les **métaux**, provenant des roches et du sol, sont naturellement présents dans l'eau mais peuvent également provenir d'apports anthropiques. Les cours d'eau ont vu une contamination maximale aux métaux aux XIXème et XXème siècles. Les sédiments sont d'ailleurs les vestiges des pollutions passées [DESMET et al, 2016]. Des concentrations préoccupantes de plomb et de chrome ont par exemple été mesurées à 2m de profondeur dans la retenue du barrage de Sauviat dans le Puy-de-Dôme, correspondant à des pollutions antérieures au vu de cette profondeur relativement importante [HOPQUIN, 2000].

Les minéraux sont formés par un réseau cristallin : ainsi, certains métaux intègrent totalement ce réseau et font donc entièrement partie de la roche. D'autres métaux intègrent les sédiments par sorption, formant les liaisons réversibles avec ces derniers. Ce phénomène dépend de la température, du pH et de la composition de l'eau.

Les métaux peuvent également former des agrégats organo-minéraux sur la phase organique des sédiments. Les métaux adoptent des comportements différents selon leur solubilité, laquelle dépend également des conditions oxiques ou anoxiques du milieu. En outre, en cas de compaction de la colonne sédimentaire, une diagénèse précoce dans les eaux interstitielles peut influencer la répartition des métaux dans la colonne sédimentaire [DESMET et al, 2016]. Les seules mesures actuelles concernant les métaux lourds sont réalisées par l'Agence de l'Eau. Ils sont cependant bien pris en compte dans la gestion de l'arasement du barrage : des piézomètres sont en place pour le redragage des métaux lourds. Actuellement, la tendance n'est pas à suivre l'exemple de 1993 et de sortir tous les sédiments contaminés hors du lit mineur pour les mettre en décharge, ce qui ne ferait que déplacer le problème et coûter beaucoup d'argent. En outre, même si les sédiments pollués étaient restés dans l'Yvrande, les polluants resteraient très dilués et leur concentration n'aurait pas atteint le seuil de détection des appareils sur les stations de mesure car la concentration n'était que très légèrement au-dessus de la limite. Par ailleurs, le déplacement des sédiments pollués n'est pas toujours une solution adéquate : un autre site risque d'être abîmé.

Comme les métaux, les concentrations en **pesticides** sont mesurées par l'Agence de l'Eau. En ce qui concerne le PCB, les rejets sont contrôlés de manière stricte depuis le milieu des années

70. Cependant, des poissons contaminés au PCB ont été retrouvés dans le bassin du Rhône. Il a également été constaté une augmentation de la concentration en PCB vers l'aval dans les sédiments [DESMET et al, 2012].

Un traitement des micropolluants par phytoremédiation n'est en outre pas prévu car les matériaux pollués sont confinés sur place. La phytoremédiation entraînerait de toute façon une fauche et il faudrait trouver un endroit où mettre ces plantes contaminées : le problème serait alors une nouvelle fois déplacé.

Une partie des données récoltées par l'INRA, EDF et l'Agence de l'Eau ont pu être récupérées et traitées. Les données sont actuellement exploitées par l'INRA et ont déjà fait l'objet de rapports réguliers depuis le début de l'étude.

3.1.2 *Traitement des données brutes de l'INRA : nutriments et débits*

➤ Concentrations et débits

Tous les paramètres mesurés par l'INRA ont été mesurés aux stations « Pont de Virey », à l'amont du barrage de Vezins, et « Pont de Signy », à l'aval du barrage de La-Roche-Qui-Boit. Le travail a été réalisé à partir des données de débit d'avril 2017 à octobre 2019 sur chacune de ces deux stations.

Les débits aux stations de Virey et Signy sont mesurés toutes les heures. A l'aide d'un tableau dynamique sur Excel, ces données ont été moyennées par jour. Or, les concentrations en nutriments (nitrates, nitrites, ammonium, silice et phosphore) sont mesurées de façon hebdomadaire. Afin d'obtenir des graphiques plus lisibles, les données de débit ont été moyennées par semaine afin de correspondre à l'échelle de temps des données de nutriments. Les données quotidiennes de débit ont cependant été conservées pour représenter son évolution en parallèle de la cote de la retenue.

➤ Calcul de flux

Le flux correspond à un transfert de substances dans un temps donné. Il est donné par la formule suivante [DREAL Centre, 2012] :

$$Flux = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} Q_{moy}$$

Tableau 4 : Unités formule des flux [DREAL Centre, 2012]

Paramètre	Unité	Signification
C_i	mg/L	Concentration des n échantillons hebdomadaires
Q_i	m ³ /s	Débit instantané au moment du prélèvement de l'échantillon i
Q_{moy}	m ³ /s	Débit moyen journalier
K	Sans unité	Facteur de conversion permettant la prise en compte des unités et de la période de calcul du flux, soit un an

Les flux pour chaque espèce chimique (nitrates, nitrites, phosphore, ammonium et silice) ont ainsi été calculés en tonnes par an pour la station amont « Pont de Virey » et la station aval « Pont de Signy » à l'aide de la formule ci-dessus.

3.1.3 *Traitement des données brutes d'EDF : température, pH, O₂ dissous, conductivité, turbidité*

Tous les paramètres mesurés par EDF ont été mesurés aux stations « La Dorière » à l'aval immédiat du barrage de Vezins, et « La-Roche-Qui-Boit », à l'aval immédiat du barrage de La-Roche-Qui-Boit. N'ont pu être récupérées que les données d'octobre 2019, soit la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité, la turbidité et le débit, toutes mesurées de façon quotidienne.

3.1.4 *Traitement des données brutes de l'Agence de l'Eau : micropolluants*

Le traitement des données de micropolluants de l'Agence de l'Eau a été le plus complexe, les données sur les masses d'eau concernées par le projet (Yvrande, amont et aval des barrages de la Sélune) devant être recherchées parmi toutes les masses d'eau disponibles dans les fichiers Excel correspondant au département de la Manche. Ensuite, pour chaque masse d'eau sont données des données sur 2016, 2017 et 2018.

En outre, les concentrations en micropolluant sont mesurées pour plus de 830 molécules pour chaque jour de chaque année et à chaque station. A l'aide de tableaux dynamiques Excel, les molécules ont été regroupées en 14 familles de polluants, dont les caractéristiques sont détaillées dans le tableau ci-dessous. Cette opération a pour vocation la simplification de la donnée afin de la rendre lisible et interprétable graphiquement.

Tableau 5 : Familles de micropolluants analysés par l'Agence de l'Eau et leurs utilisations [Chimie.net] [METZGER, 2018]]

Famille	Provenance et utilisations
Aldéhydes et cétones	Arômes, parfums, formol
Organiques de synthèse divers	Pétrochimie
Phtalates	Perturbateurs endocriniens provenant des plastiques
Chloroalcanes SCCP	Industrie textile, retardateurs de flamme
Chlorobenzène et mono-aromatiques halogénés	Intermédiaire pour production de solvants et pesticides
Métaux et métalloïdes	Industrie métallurgique
Organochlorés	Agent de synthèse, réactifs, solvants
Organométalliques	Pesticides, antifouling
Organophosphorés	Insecticides
Pesticides	Agriculture
Triazines et métabolites	Dés herbants dans la culture du maïs
Anilines et dérivés	Teinture et médicaments
Autres phénols	Désinfectants et médicaments
Urées et métabolites	Déchet azoté provenant de la dégradation des protéines par le corps

Certains paramètres étant exprimés en masse de polluant par kilogramme de matière sèche et d'autre en µg/L, des tableaux dynamiques sur Excel ont également dû être créés afin de conserver uniquement les données en µg/L, toujours dans un objectif de simplification de la représentation des données.

Enfin, les différences dans les ordres de grandeur des concentrations des différentes familles de polluants ont nécessité la création de graphiques sur deux axes dans la présentation des résultats ci-après.

3.2 Résultats

3.2.1 Résultats sur les données de l'INRA : nutriments et débit

Les données de flux pour chaque espèce chimique en tonnes/an sont synthétisées dans les tableaux 5 et 6 et dans le graphique figure 9. Elles rendent compte d'un flux d'espèces chimiques plus important en 2018, année de la vidange. Cette augmentation est due principalement à l'augmentation des débits écoulés au travers du barrage cette année-là. De manière générale, notons que les flux sont supérieurs à l'aval des barrages.

Tableau 6 : Flux à la station INRA amont

AMONT					
Années	Flux de phosphore (t/an)	Flux de nitrates (t/an)	Flux de nitrites (t/an)	Flux de silice (t/an)	Flux d'ammonium (t/an)
2017	6,16	2023,24	21,32	398,48	6,87
2018	18,64	6683,54	47,23	1577,73	30,42
2019	9,03	2849,11	18,54	697,64	3,62

Tableau 7 : Flux à la station INRA aval

AVAL					
Années	Flux de phosphore (t/an)	Flux de nitrates (t/an)	Flux de nitrites (t/an)	Flux de silice (t/an)	Flux d'ammonium (t/an)
2017	5,35	3221,64	19,94	669,17	14,94
2018	32,54	8138,64	61,10	1846,81	27,88
2019	10,87	3573,61	21,41	871,17	5,52

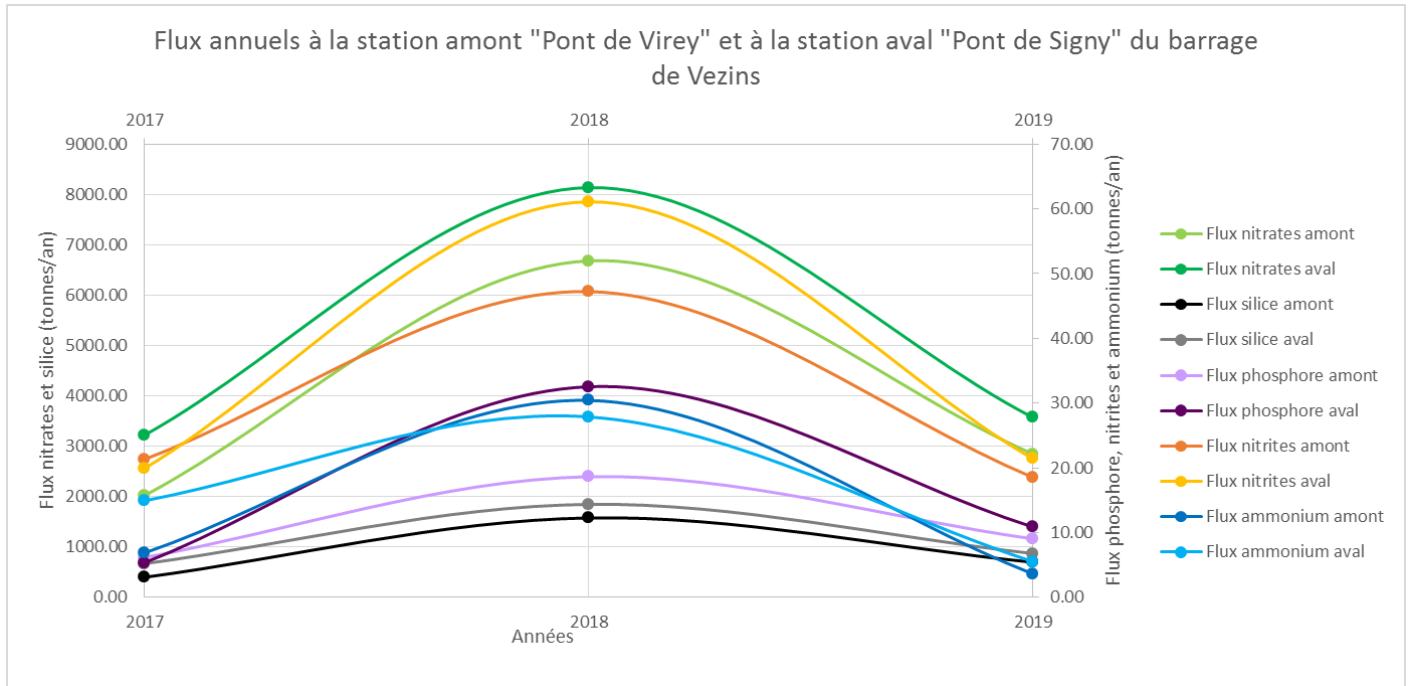


Figure 9 : Graphique représentant l'évolution des flux de nutriments à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins.
Sources : INRA

La figure 10 représente la correspondance entre la cote dans la retenue du barrage de Vezins et les débits amont et aval. Les fortes pluies de janvier 2018 ont influencé à la fois le débit et le niveau de l'eau dans la retenue, la cote ayant augmenté de 5 m au maximum pendant cette période. On remarque que le niveau de l'eau a diminué de 5m d'un coup après ce premier « pic », il est donc probable que les vannes du barrage de Vezins aient été ouvertes à ce moment-là afin de revenir à la cote habituelle de 67m. La régulation artificielle du débit est donc bien mise en valeur sur ce graphique. De même, les trois étapes de vidange indiquées sur le graphique par les barres rouges correspondent à des chutes relativement rapides du niveau d'eau dans la retenue.

Les figures 11 et 12 représentent l'évolution des concentrations de nitrates, silice, phosphore total, nitrites et ammonium à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins de 2017 à 2019. La représentation de tous les nutriments sur un même graphique, bien que difficilement lisible, est efficace pour mettre en évidence un phénomène de dénitrification : en effet, la concentration en nitrates semble augmenter lorsque la concentration en nitrites diminue. On observe également une variabilité importante des concentrations, rendant le graphique difficile à lire. Pour cette raison, le graphique a été décomposé dans les figures 13 à 17, montrant chacune l'évolution d'un paramètre.

Ainsi, en ce qui concerne le phosphore, la concentration en phosphore dissous et total augmente après les opérations de vidange (figure 13). En outre, les flux sont supérieurs à l'aval, excepté en ce qui concerne le phosphore stocké dans les sédiments des retenues [NDOM et al, 2019].

Une dilution des nitrates (figure 14) est observée à l'amont des barrages pendant les crues, ainsi que des variations saisonnières. La silice est également diluée à l'amont des barrages pendant les crues (figure 15). En ce qui concerne les nitrites et l'ammonium (figures 16 et 17), les concentrations à l'amont sont supérieures aux concentrations à l'aval, et les concentrations augmentent pendant la vidange [NDOM et al, 2019].

Débites en amont et en aval du barrage de Vezins et cote de la retenue du barrage de 2017 à 2019 (mesures de l'INRA)

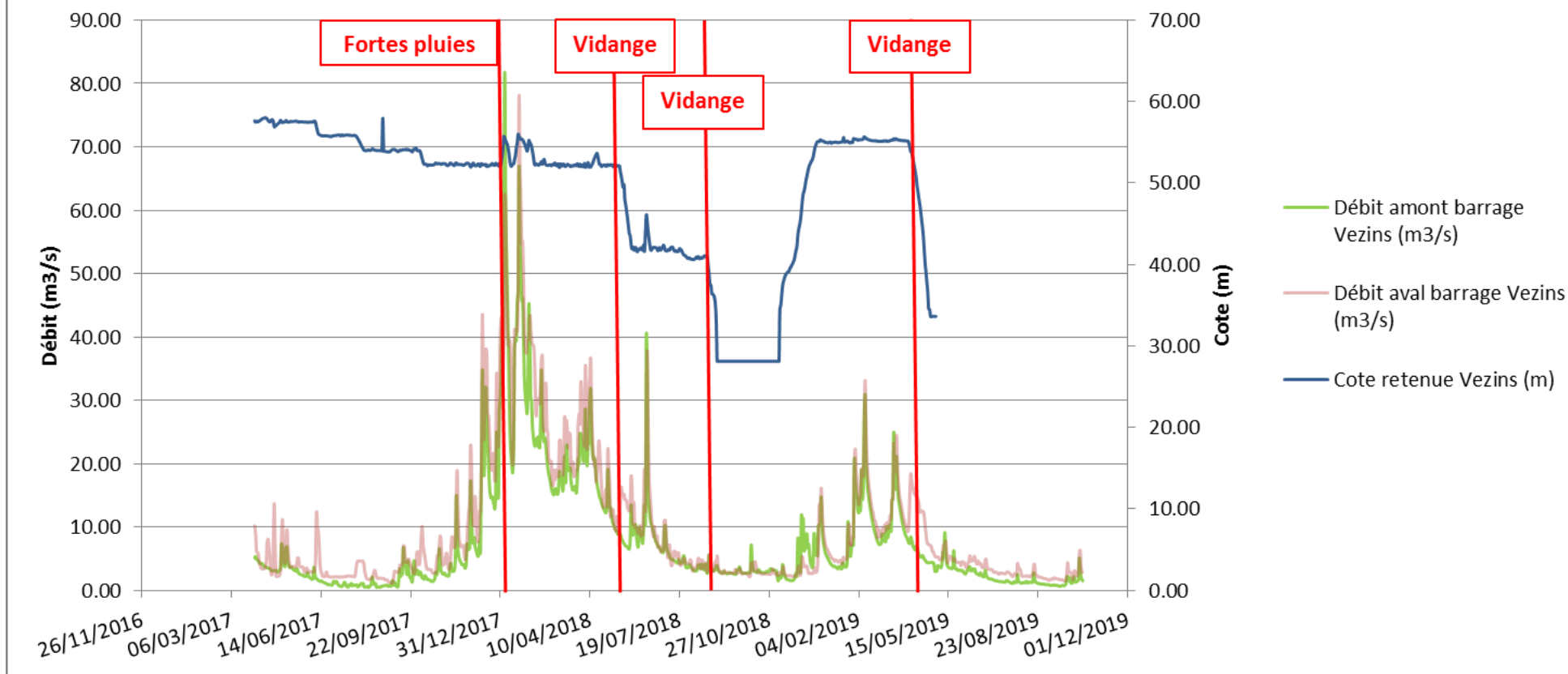


Figure 10 : Graphique représentant l'évolution du débit à l'amont et à l'aval du barrage et de la cote de la retenue. Sources : INRA

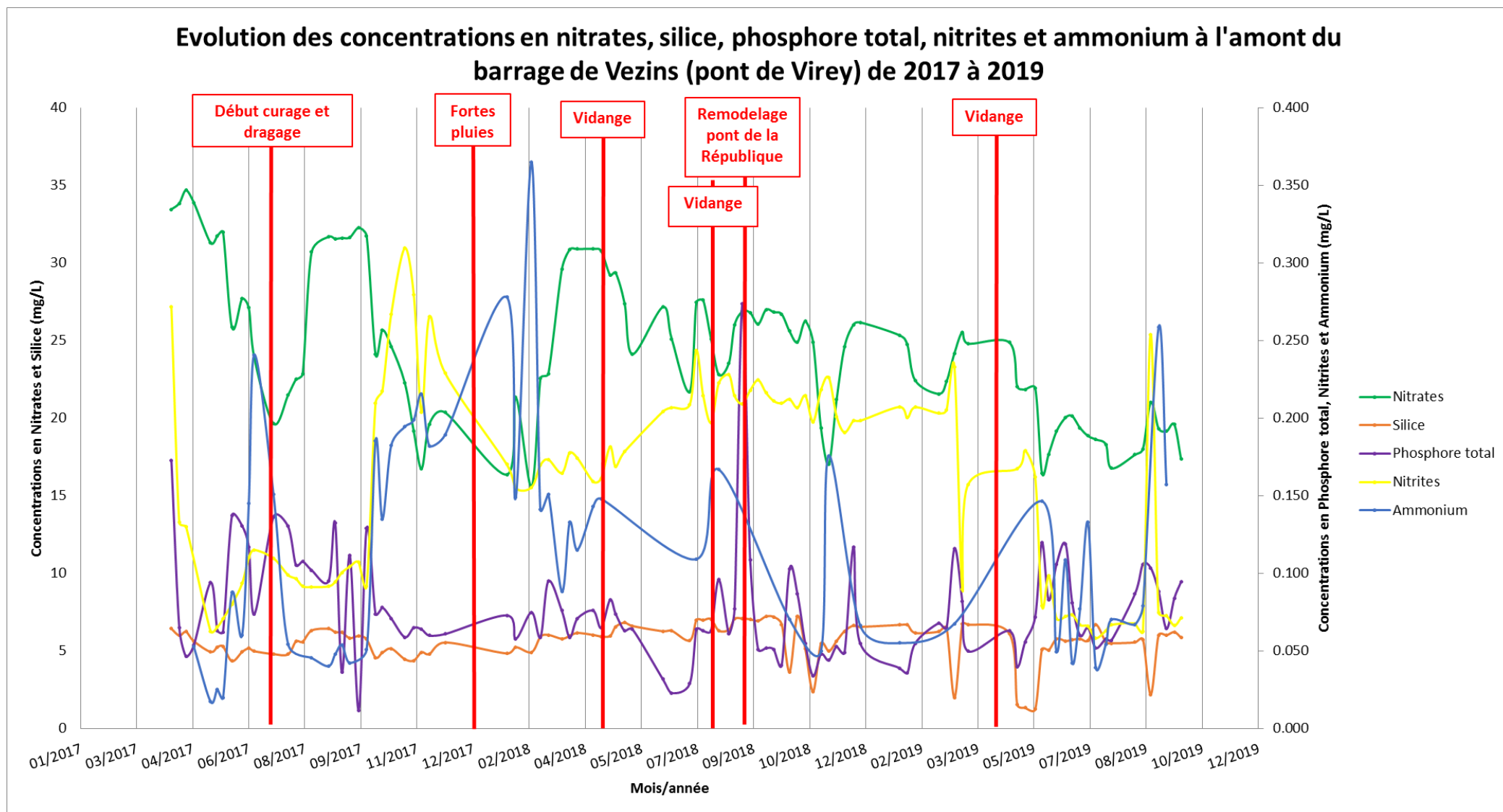


Figure 11 : Graphique représentant l'évolution des concentrations en nutriments à l'amont du barrage de Vezins

Evolution des concentrations en nitrates, silice, phosphore total, nitrites et ammonium à l'aval du barrage de Vezins (pont de Signy) de 2017 à 2019

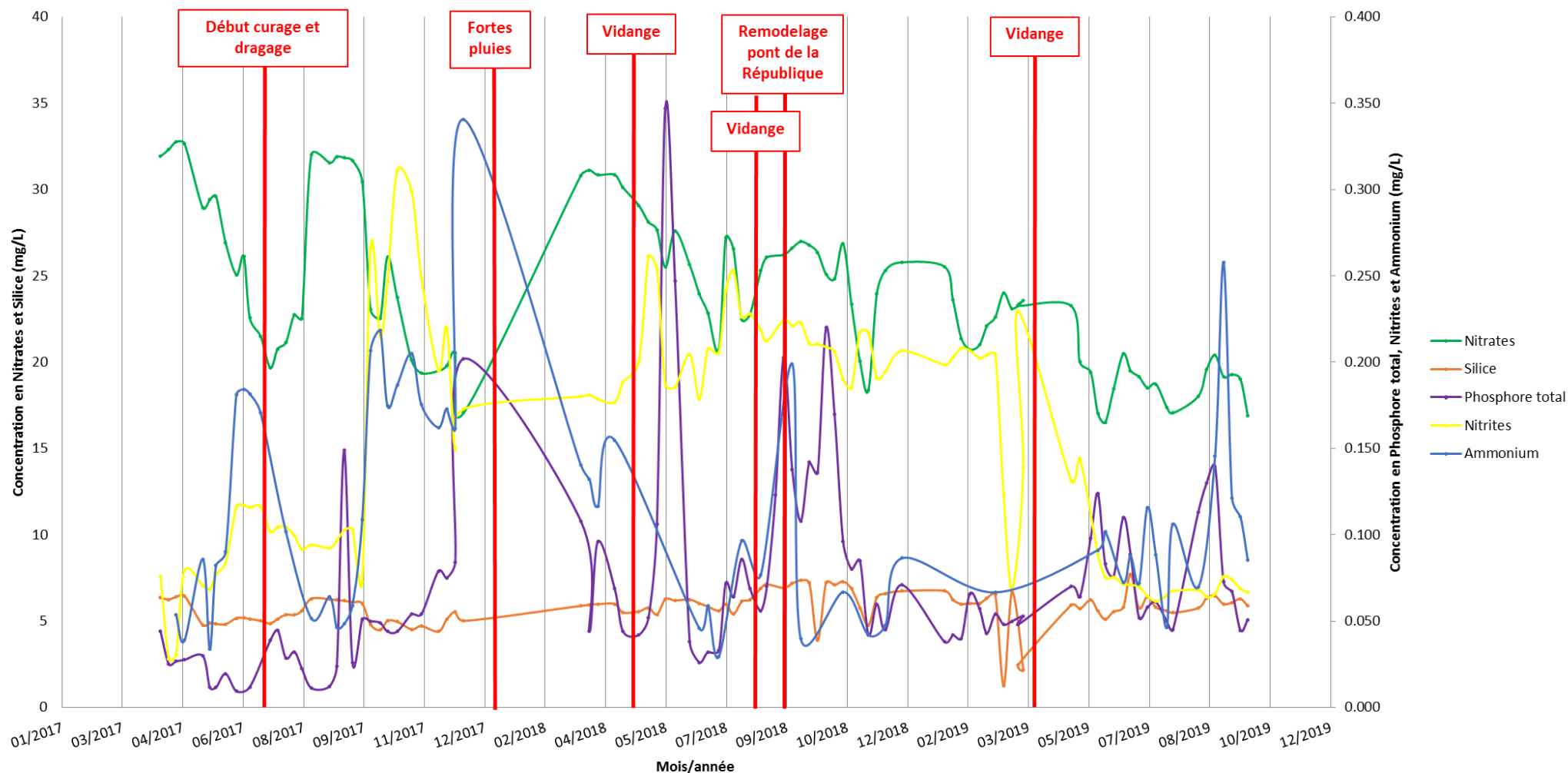


Figure 12 : Graphique représentant l'évolution des concentrations en nutriments à l'aval du barrage de Vezins

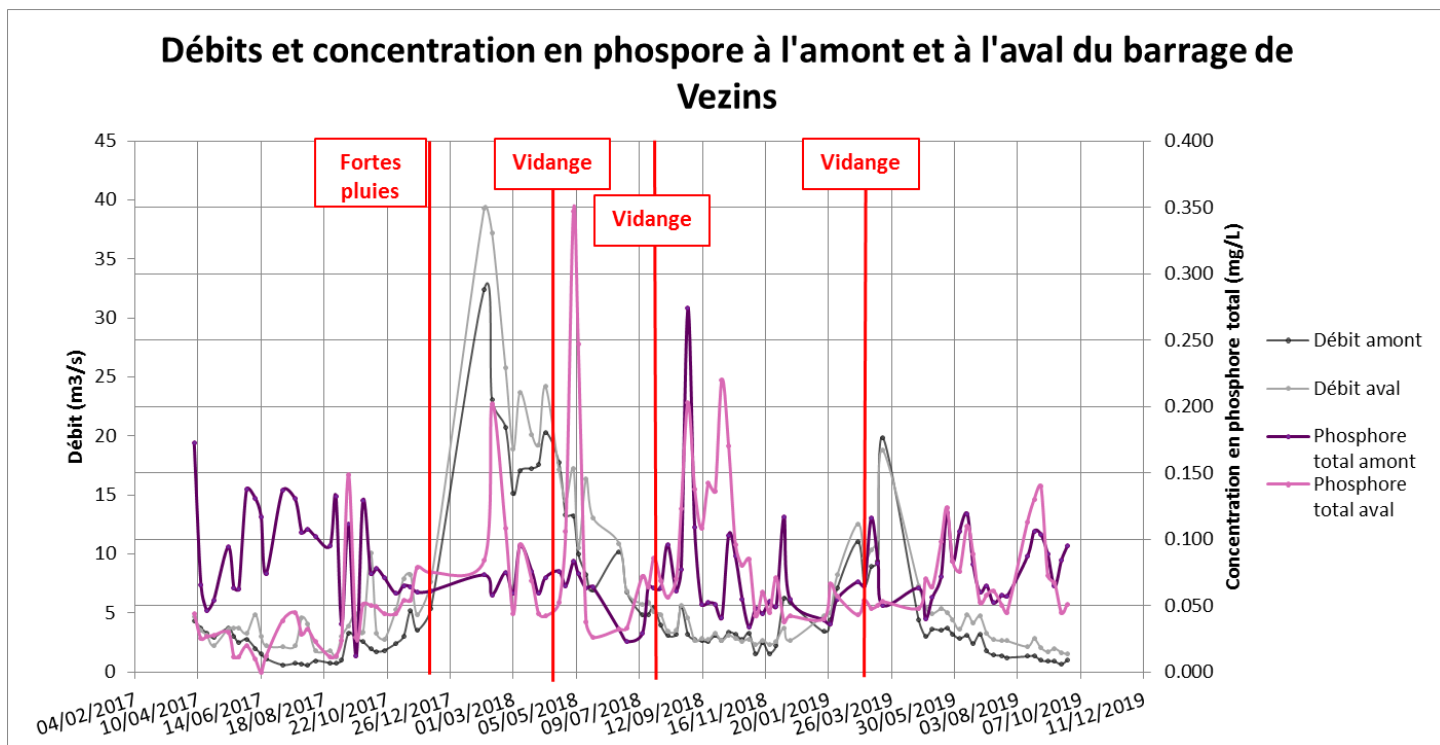


Figure 13 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en phosphore et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA

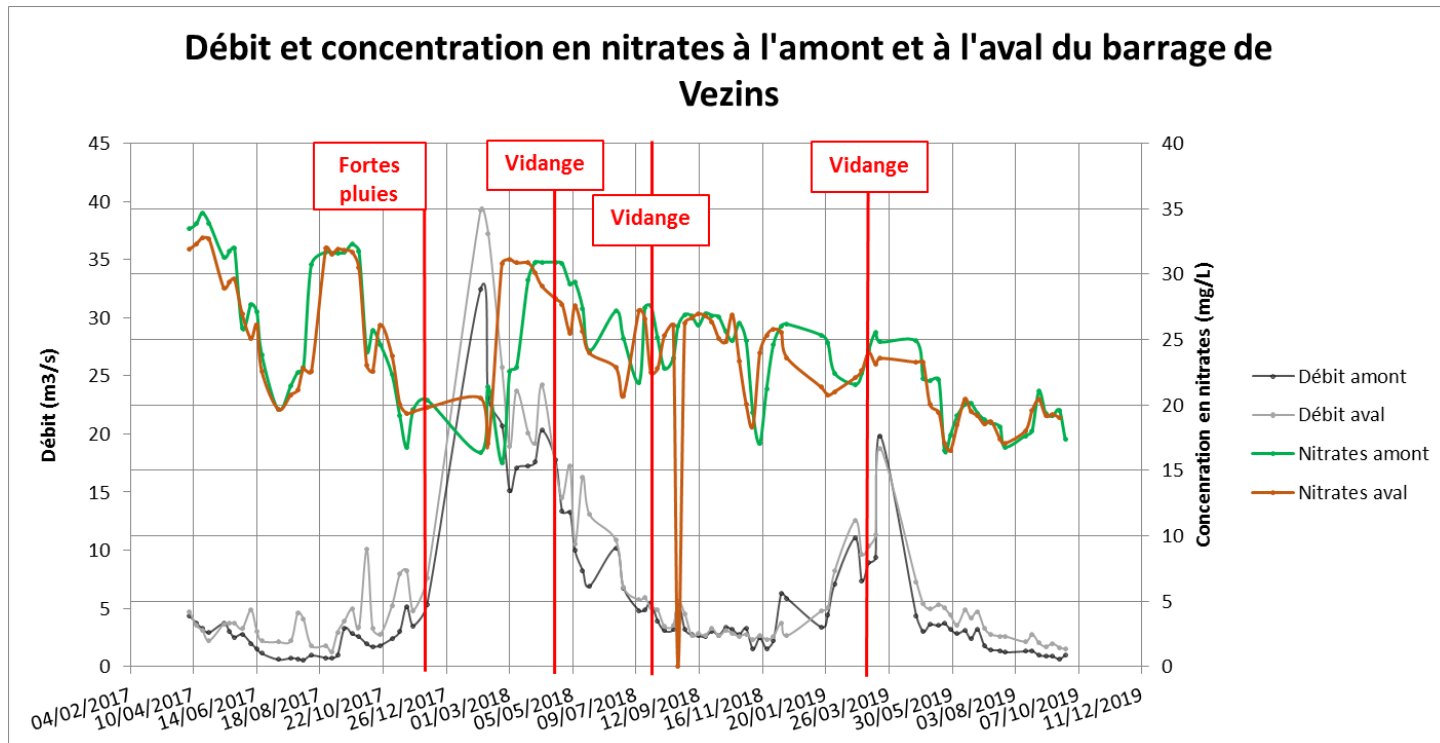


Figure 14 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en nitrates et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA

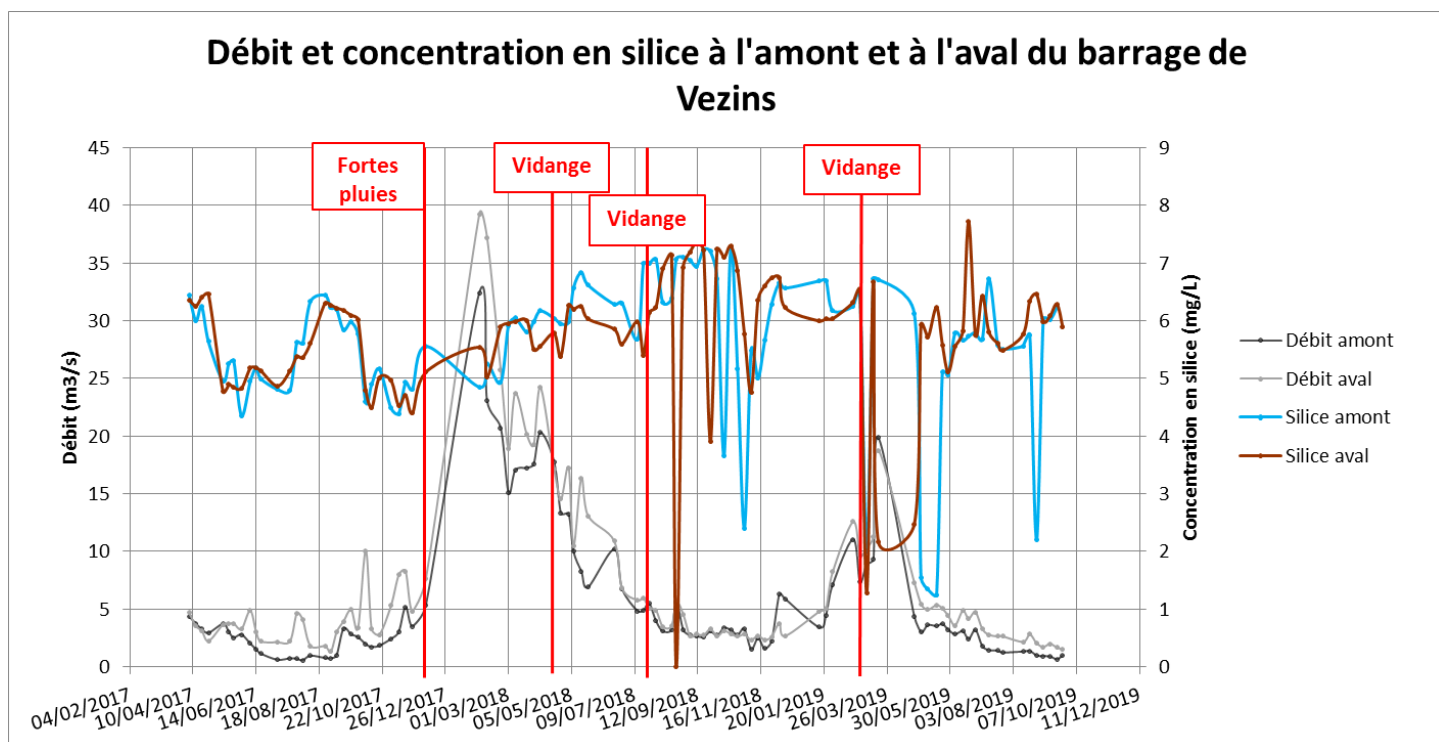


Figure 15 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en silice et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA

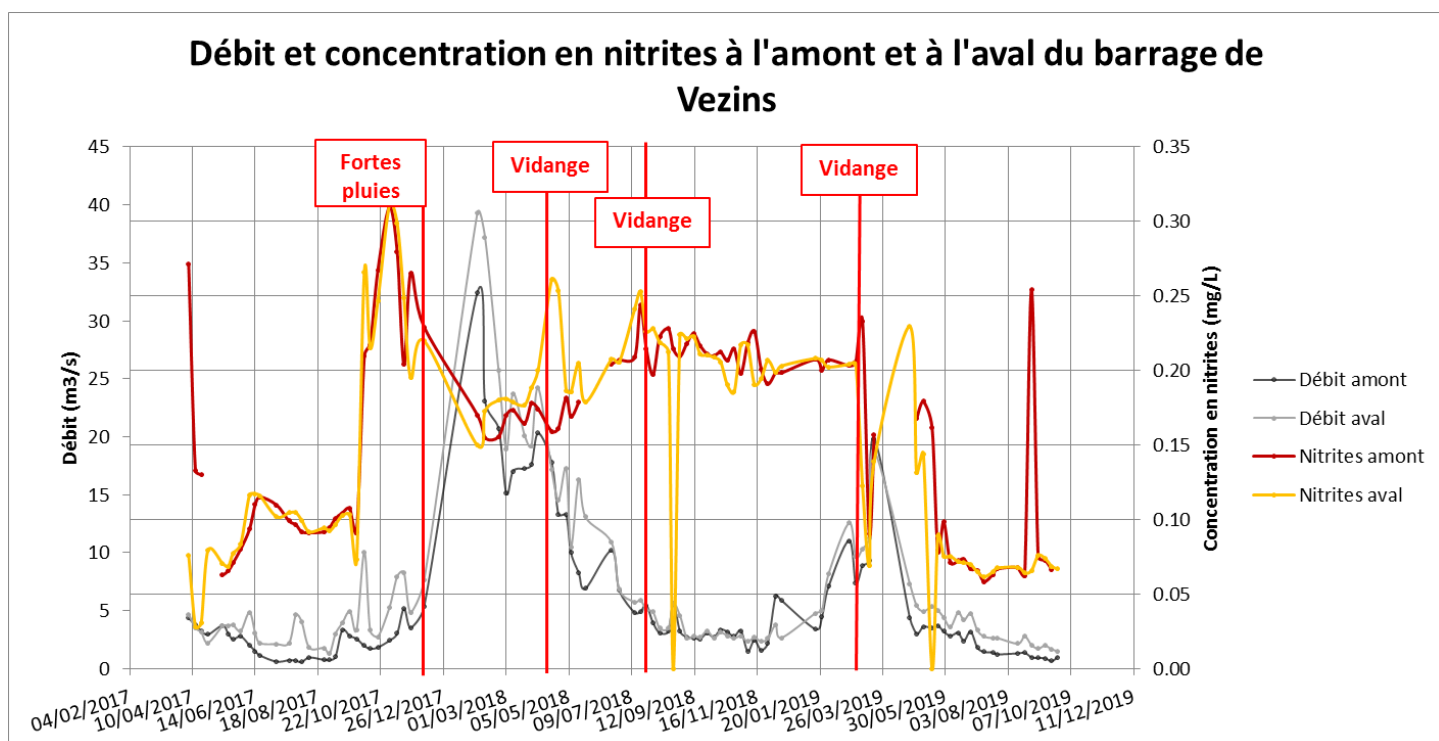


Figure 16 : Graphique représentant l'évolution de la concentration en nitrites et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA

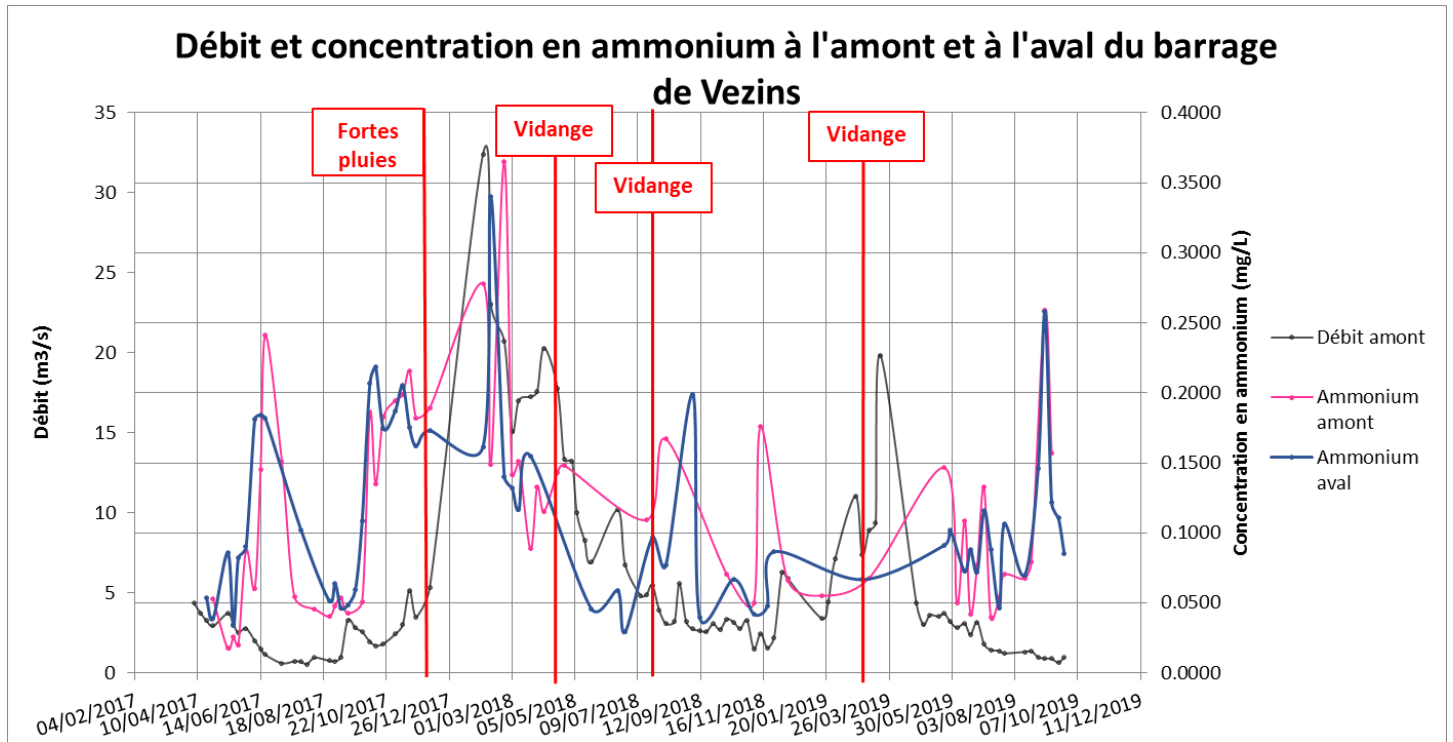


Figure 17 : Graphique représentant l'évolution des concentrations en ammonium et du débit à l'amont et à l'aval du barrage de Vezins. Source : INRA

3.2.2 Résultats sur les données d'EDF : température, pH, O_2 dissous, conductivité, turbidité

Au regard des données d'EDF d'octobre 2019 synthétisées dans la figure 18, la température, la conductivité, l'oxygène dissous et le pH sont toujours plus importants à la station de La-Roche-Qui-Boit qu'à la station de la Dorière. La turbidité semble en outre augmenter avec le débit.

Evolution des paramètres physico-chimiques mesurés aux stations EDF en aval du barrage de Vezins (la Dorière) et en aval du barrage de La-Roche-Qui-Boit (LRQB) en octobre 2019

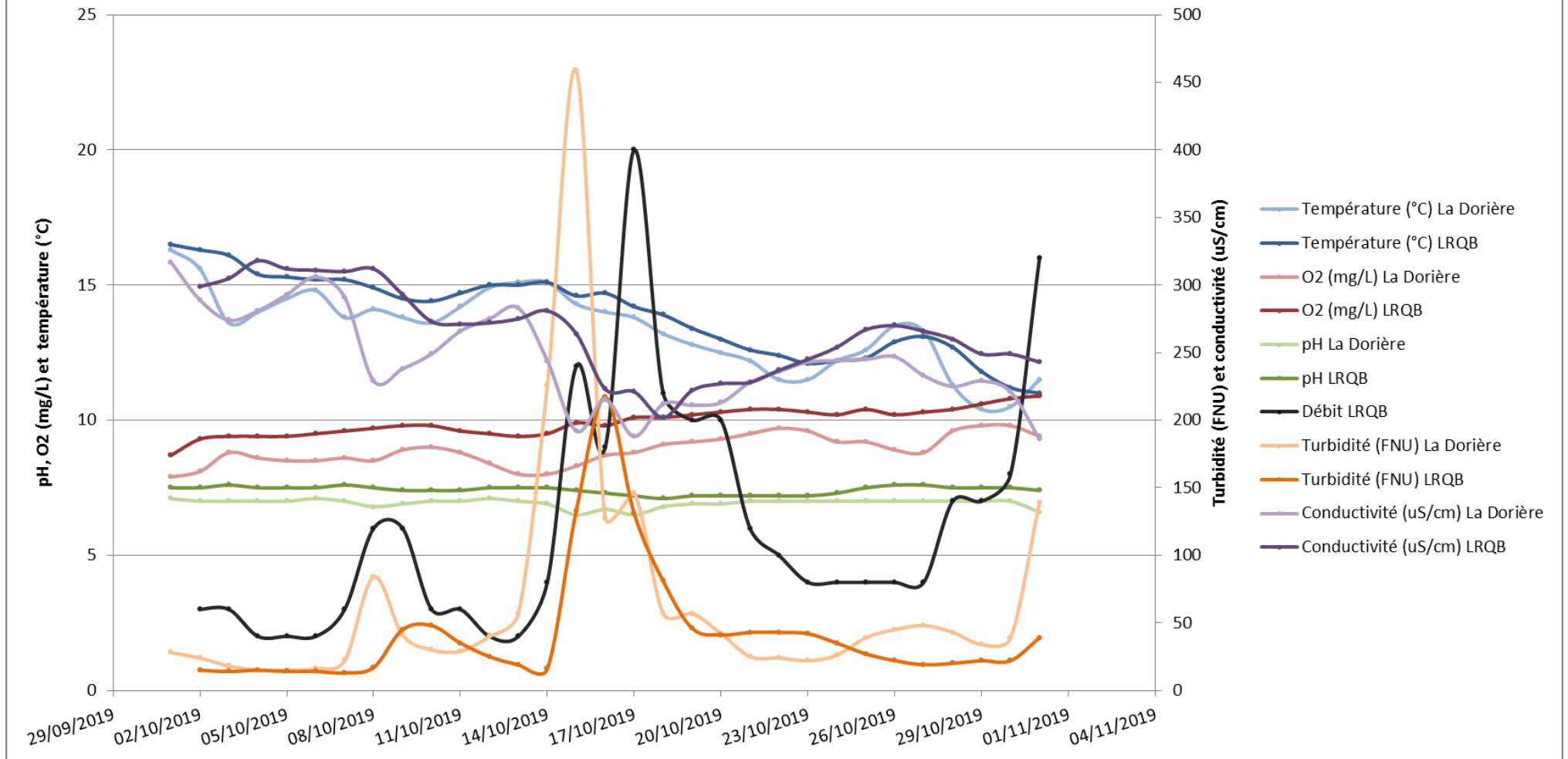


Figure 18 : Graphique représentant l'évolution des paramètres physico-chimiques à l'aval du barrage de Vezins et à l'aval du barrage de La-Roche-Qui-Boit. Source : EDF

3.2.3 Résultats sur les données de l'Agence de l'Eau : micropolluants

Les barres représentées en transparence correspondent ainsi aux aldéhydes et cétones, organiques de synthèse divers et phtalates (axe secondaire). Globalement, les concentrations en polluants sont plus importantes dans l'Yvrande (l'affluent de la Sélune dont la confluence se trouve juste en amont du barrage de Vezins) que dans la Sélune, surtout pour les métaux et les organométalliques. En revanche, peu de différences sont constatées au niveau des micropolluants entre les stations amont et aval sur une même année (figures 19 à 21).

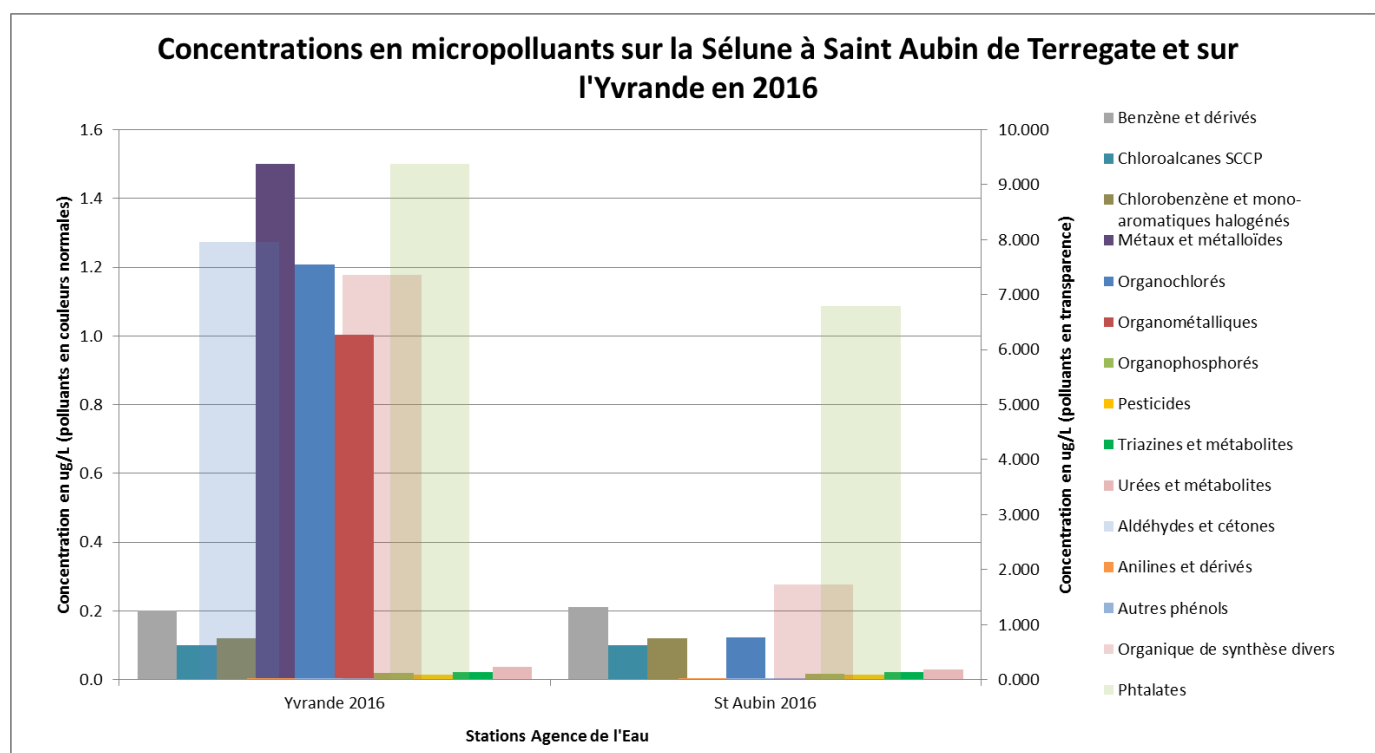


Figure 19 : Graphique représentant les concentrations en familles de micropolluants dans l'Yvrande et à Saint-Aubin en 2016. Source : Agence de l'Eau

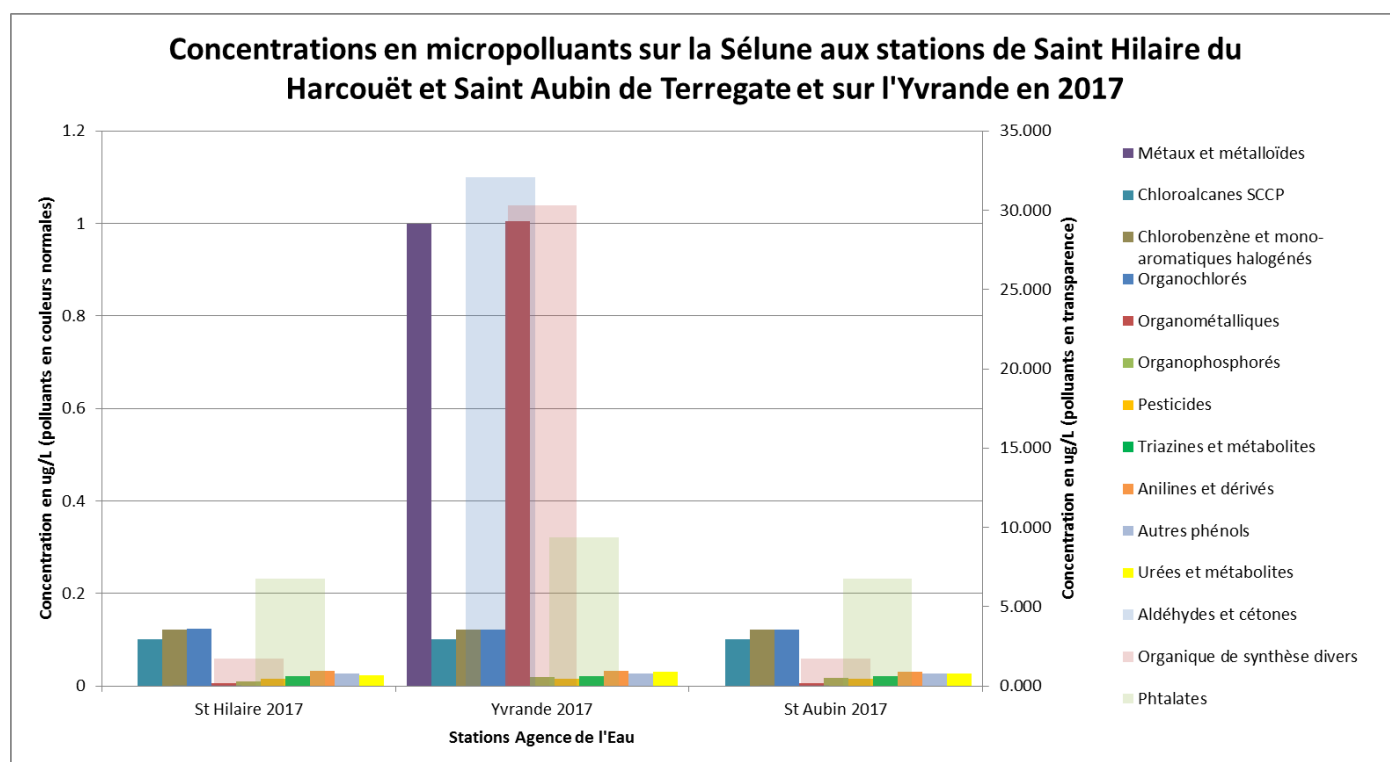


Figure 20 : Graphique représentant les concentrations en familles de micropolluants à Saint Hilaire, Saint Aubin et dans l'Yvrande en 2017. Source : Agence de l'Eau

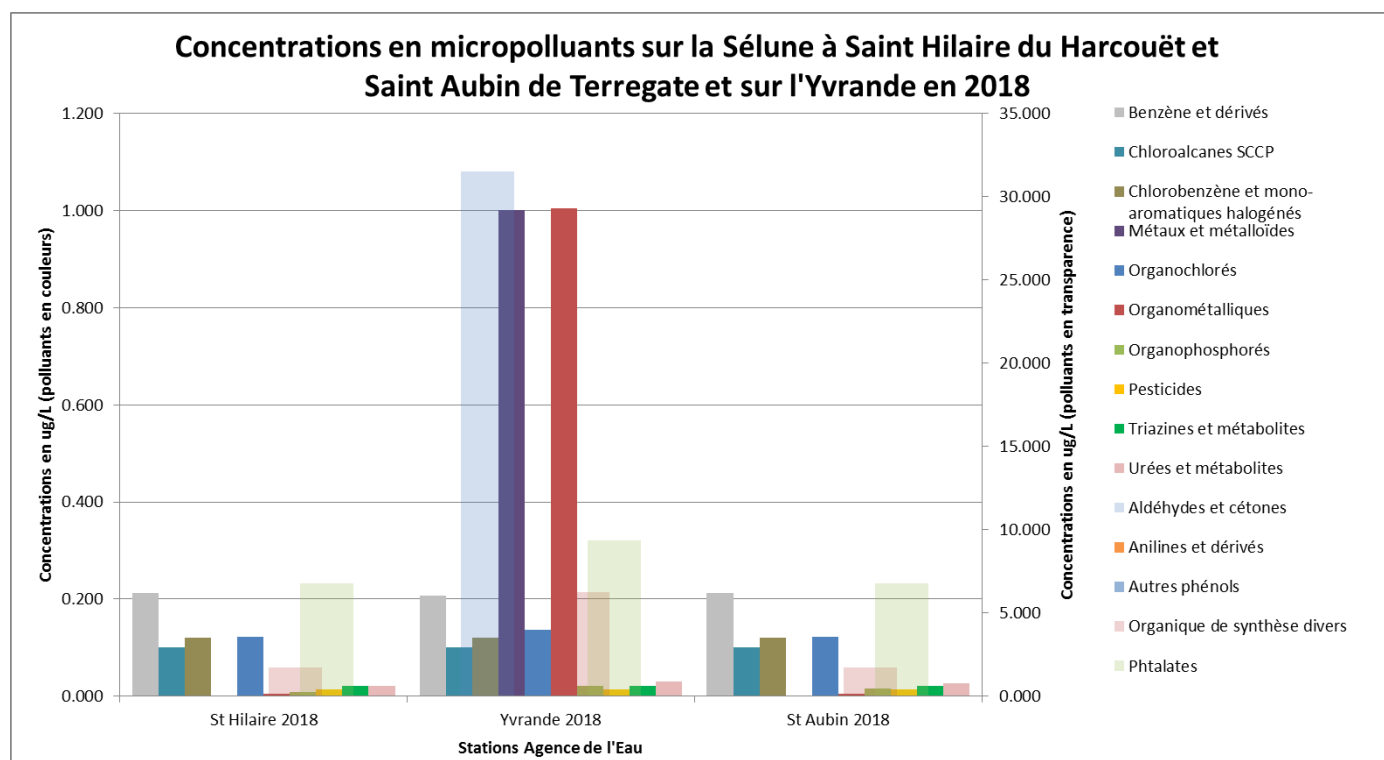


Figure 21 : Graphique représentant les concentrations en familles de micropolluants à Saint Hilaire, Saint Aubin et dans l'Yvrande en 2018. Source : Agence de l'Eau

En ce qui concerne les concentrations en métaux, toutes les espèces chimiques ne sont pas mesurées tous les ans ni aux mêmes stations. Pour des raisons de lisibilité, étant donné que les concentrations en métaux ne sont pas du même ordre de grandeur selon les espèces chimiques, les métaux ont été regroupés sur différents graphiques par ordre de grandeur de concentrations (figures 22 à 25).

De manière générale, l'Yvrande présente les plus hautes concentrations de métaux. La différence avec les autres stations est la plus flagrante pour le cuivre (figure 23). Une importante augmentation de la concentration en Arsenic est à noter entre 2016 et 2018, ainsi que pour le Cadmium et l'Etain. Enfin, les concentrations en Fer sont relativement constantes et élevées, ce qui pourrait s'expliquer par le fond géochimique de la Sélune naturellement riche en élément fer évoqué en introduction.

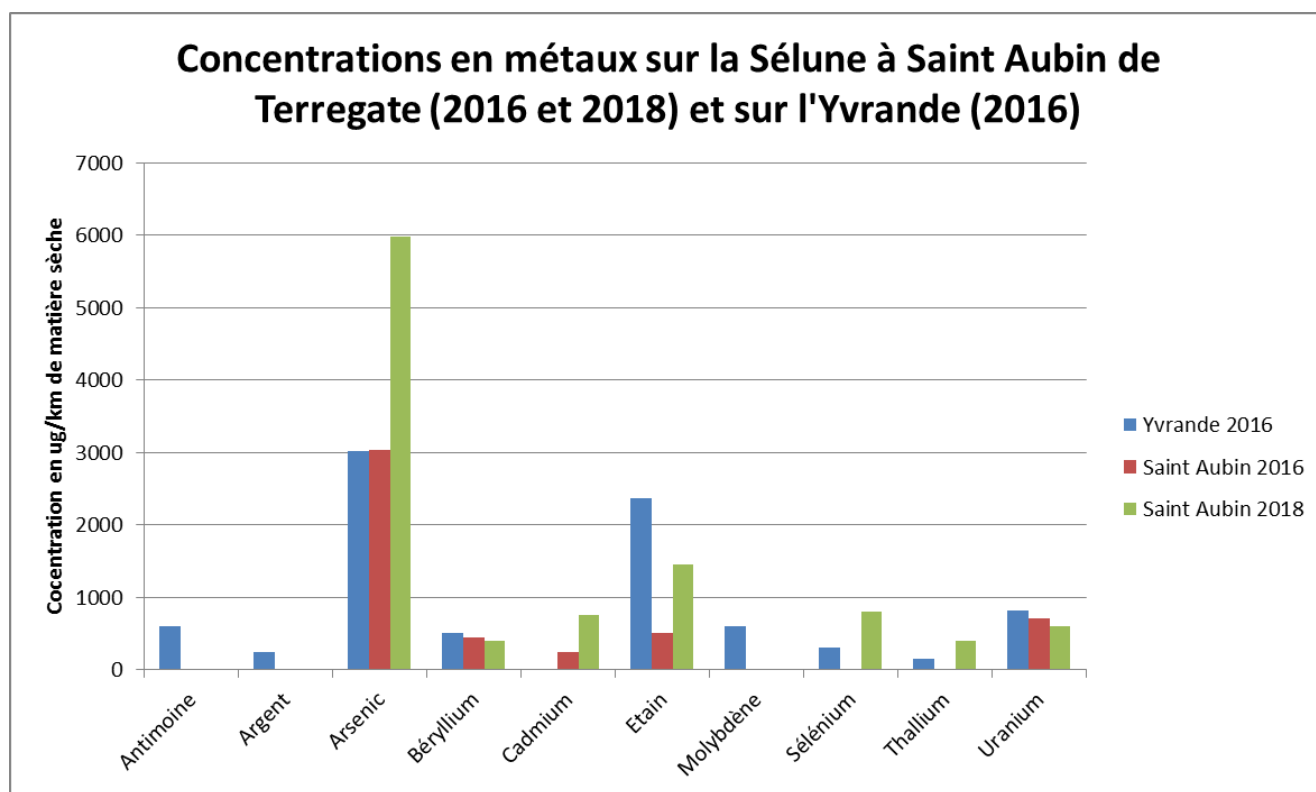


Figure 22 : Concentrations en métaux sur l'Yvrande et Saint-Aubin-de-Terrégate

Concentrations en métaux sur la Sélune à Saint Aubin de Terregate (2016 et 2018) et sur l'Yvrande (2016)

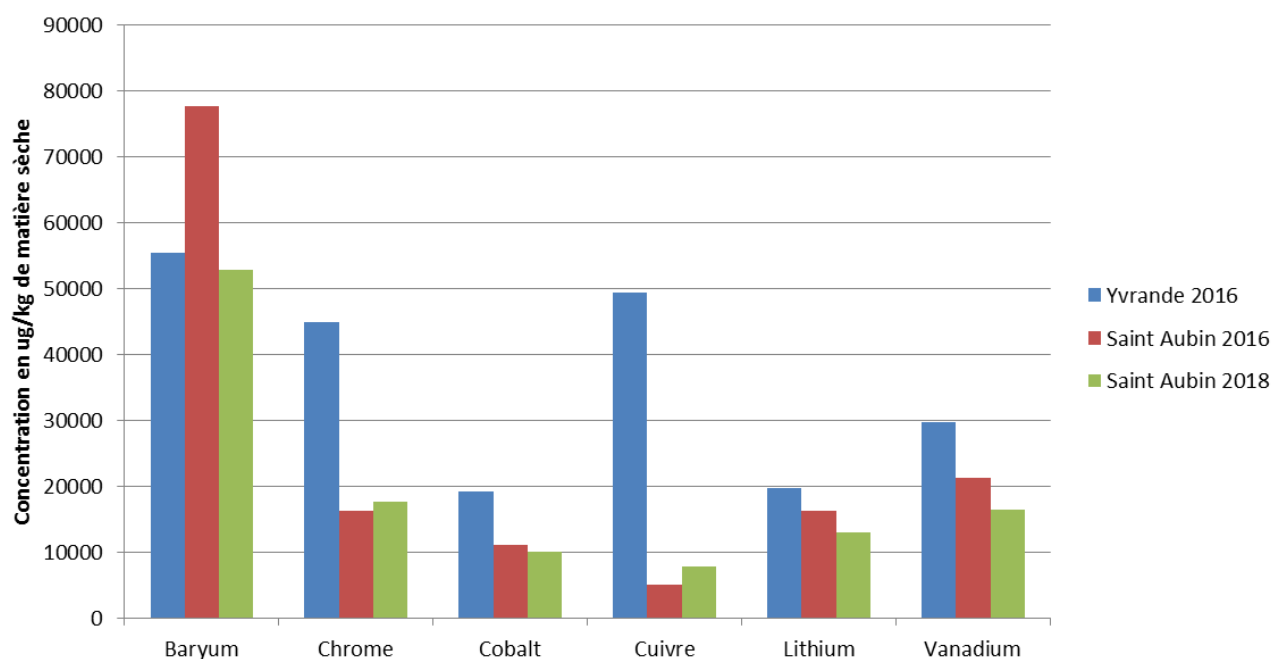


Figure 23 : Concentrations en métaux sur l'Yvrande et Saint-Aubin-de-Terrégate

Concentrations en métaux sur la Sélune à Saint Aubin de Terregate (2016 et 2018) et sur l'Yvrande (2016)

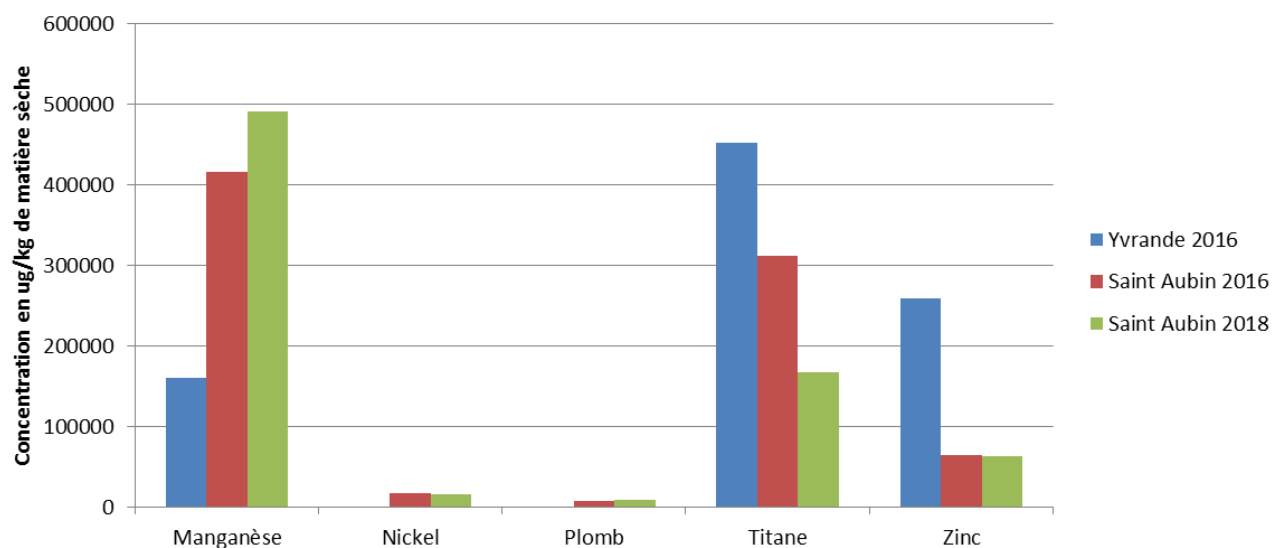


Figure 24 : Concentrations en métaux sur l'Yvrande et Saint-Aubin-de-Terrégate

Concentrations en métaux sur la Sélune à Saint Aubin de Terregate (2016 et 2018) et sur l'Yvrande (2016)

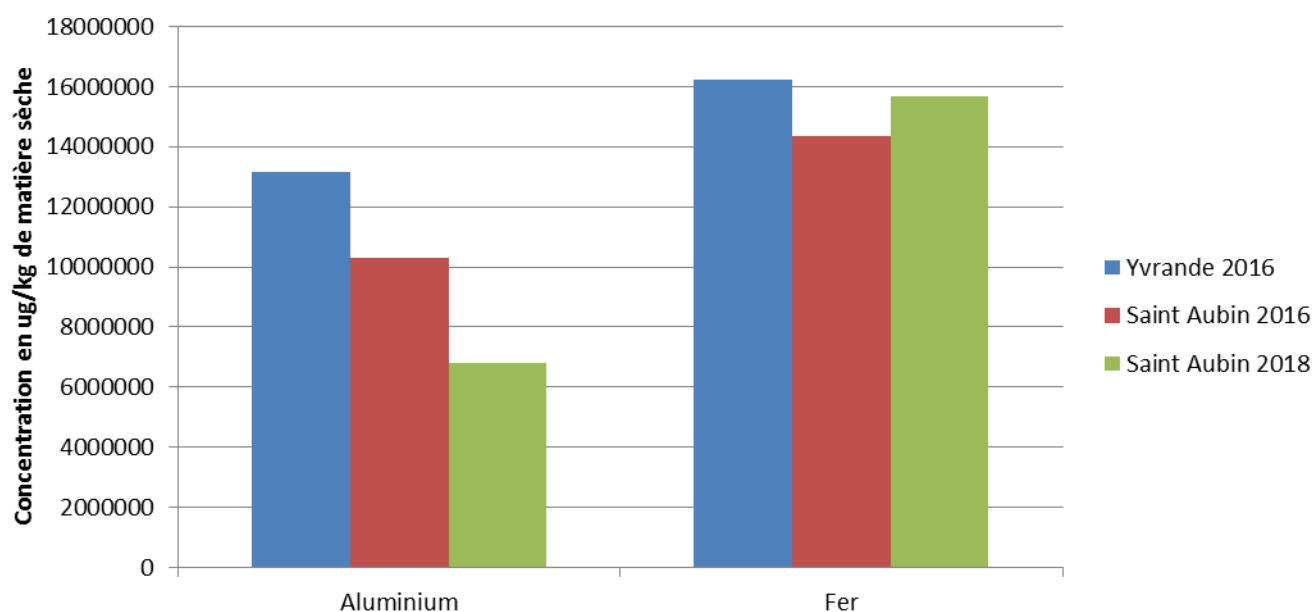


Figure 25 : Concentrations en métaux sur l'Yvrande et Saint-Aubin-de-Terrégate

3.3 Discussion

L'impact des étapes d'arasement du barrage de Vezins est difficile à mettre en évidence en raison des importantes variations saisonnières dans les concentrations de polluants. En outre, les financements alloués au suivi physico-chimique de l'arasement du barrage de Vezins ayant été interrompus entre 2016 et 2017, ce dernier a dû être réduit à un suivi minimal sur cette période [NDOM et al, 2019].

Cependant, il est possible de mettre en évidence un effet tampon des retenues sur les concentrations en polluants [LE GONIDEC et al, 2015]. Notons également que les opérations de curage et de dragage en 2017 ont remué les sédiments et induit un relargage d'ammonium notamment, ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la concentration en ammonium, nitrites et phosphore fin 2017.

Il est également possible de faire un lien entre l'évolution des concentrations de nitrates et celle des concentrations de nitrites. En effet, l'augmentation des concentrations de nitrates est généralement accompagnée d'une diminution des nitrites, et inversement. Cela pourrait s'expliquer par le phénomène d'oxydation des nitrites en nitrates, puis de réduction des nitrates en nitrites. L'anoxie dans la retenue peut induire cette dénitrification [NDOM et al, 2019]. La diminution des nitrates peut également être due à une consommation par le phytoplancton, par les plantes aquatiques (renoncules notamment) ou par les diatomées [LE GONIDEC et al, 2015].

Les données de l'Agence de l'Eau permettent en outre de mettre en évidence une pollution beaucoup plus élevée de l'Yvrande par rapport à la Sélune. Cependant, la dilution de l'affluent dans la Sélune est certainement la raison pour laquelle les concentrations entre l'amont et l'aval de la confluence sont changeant pas.

Dans l'article *A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems* [CISZEWSKI et al, 2016] il est indiqué que : « Les zones les plus polluées correspondent aux zones les moins remaniées, soit les zones les plus profondes du réservoir. En effet, les particules fines et les sédiments organiques s'y accumulent en plus grande quantité. L'appauvrissement en oxygène dans les zones profondes peut conduire à des conditions anoxiques qui conduisent à la réduction des nitrates, hydroxydes de Fe et Mn et sulfates. ». En l'absence de données bathymétriques, il n'a pas été possible de vérifier cette corrélation présumée entre la profondeur de la retenue et la concentration en polluants. En revanche, le rapport de l'INRA de 2019 confirme que les conditions anoxiques des retenues ont pour conséquences la désorption de l'ammonium [NDOM et al, 2019].

Conclusion

Le phasage de l'arasement du barrage de Vezins permet de limiter le relargage d'espèces chimiques à l'aval du barrage. Ainsi, l'extraction des sédiments mobilisables a permis d'éviter que ces sédiments potentiellement pollués ne se déposent en trop grande quantités à l'aval, mais elle permettra également de rétablir la morphologie qu'avait la Sélune avant la construction des barrages. En effet, les opérations de curage et de dragage ont remis en suspension des polluants dans la colonne d'eau, mais d'une façon plus progressive que si les sédiments du lit mineur n'avaient pas été récupérés et avaient été emportés vers l'aval via la vanne du barrage lors des opérations de vidange.

En outre, les trois opérations de vidange ont également permis un écrêtement progressif du départ de polluants vers l'aval comme ont pu le montrer les analyses des concentrations en nutriments de l'INRA. En effet, les courbes ne montrent pas une augmentation pérenne des concentrations à l'aval du barrage de Vezins après les opérations pré-arasement. En revanche, l'accumulation des flux vers l'aval doit continuer à être surveillée, notamment pour les matières en suspension qui sont très sensibles aux variations de débit comme ont pu le démontrer les données d'EDF sur la turbidité. Ces flux auront très certainement un impact sur la composition de la retenue du barrage de La-Roche-Qui-Boit, qui joue un rôle de récupération des polluants issus de l'arasement du barrage de Vezins mais qui devra lui-même être arasé en 2021 et sera donc une source probable de pollution pour la baie du Mont Saint-Michel. Les particules fines en suspension peuvent également avoir un effet néfaste sur la faune piscicole, donc les branchies risquent d'être colmatées par les éléments fins.

La poursuite de la mesure des paramètres actuels pendant une dizaine d'années constituera certainement le protocole de suivi physico-chimique post-arasement. Même si les sédiments contaminés aux métaux lourds ont été enfouis afin d'éviter que les polluants ne soient remis en suspension dans la colonne d'eau, le risque d'apport exogènes au cours d'eau de polluants divers n'est pas à exclure. Dans cette optique, un suivi des micropolluants (notamment les familles de pesticides et de métaux lourds liées aux activités fréquemment retrouvées sur le bassin versant), en priorité dans la colonne d'eau et si nécessaire dans les sédiments, devrait être mis en place en plus des analyses réalisées par l'Agence de l'Eau à Saint-Hilaire-du-Harcouët et à Saint-Aubin-de-Terregatte. En effet, les effets de l'arasement d'un barrage d'une telle ampleur que celui de Vezins se ressentent sur le milieu naturel sur plusieurs dizaines de kilomètres en aval et en amont du barrage. Ainsi, des suivis physico-chimiques en baie du Mont-Saint-Michel (qui plus est centre des inquiétudes des riverains et des élus concernant cet arasement) sur une dizaine d'années pourraient être envisagés. En ce qui concerne les impacts vers l'amont, le suivi physico-chimique pourrait être réalisé sur la même période de temps légèrement en amont de Saint-Hilaire-du-Harcouët.

Les effets de l'arasement du barrage de Vezins sont donc globalement positifs à l'heure où le barrage est arasé à plus des deux tiers. Notons en effet que des problèmes de cyanobactéries ont eu lieu dans la retenue du barrage de Vezins, amplifié par le caractère stagnant de l'eau, et la population craignait une pollution aux cyanobactéries en aval. Or, éviter les eaux stagnantes en rétablissant la continuité du cours d'eau permet au contraire d'éviter la prolifération des algues toxiques. Malgré un réel risque de colmatage et un excès de fer dans la retenue du barrage de

Vezins il y a deux ans mis en évidence par la coloration de l'eau, plus d'un tiers du barrage est déjà actuellement arasé : il n'y a plus de retenue et la rivière coule normalement sur le côté du barrage. Les effets induits par les restes du barrage et par les dernières étapes d'arasement devraient alors être minimales en ce qui concerne les mois à venir.

Bibliographie

[AIDA, 2010] : AIDA, 2010. - *Circulaire du 25/01/10 relative à la mise en oeuvre par l'Etat et ses établissements publics d'un plan d'actions pour la restauration de la continuité écologique des cours d'eau*. – Disponible en ligne sur : https://aida.ineris.fr/consultation_document/7053

[BRGM, 2015] : BRGM, 2015. – *Socle du bassin versant de la Sélune*. – Disponible en ligne sur : http://sigessn.brgm.fr/files/FichesMESO/Fiches_completes/Fiche_MESO_FRHG504_Seine-Normandie.pdf

[CISZEWSKI et al, 2016]: D. CISZEWSKI, T. MATYS GRYGAR, 2016. – *A review of flood-related storage and remobilization of heavy metal pollutants in river systems*. – *Water Air Soil Pollut* (2016) 227:239. DOI 10.1007/s11270-016-2934-8.

[DESMET et al, 2012]: DESMET M., MOURIER B., MAHLER B. et al, 2012. - *Spatial and temporal trends in PCBs in sediment along the lower Rhône River, France*. – ELSEVIER. Disponible en ligne sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969712008704>

[DESMET et al, 2016] : DESMET M., GROSBOIS C., 2016. – *La contamination métallique des sédiments. Améliorer la surveillance de la qualité des milieux aquatiques*. – Disponible en ligne sur : https://geosciences.univ-tours.fr/images/media/20160928175413-livret_metorg2.pdf

[DDTM Manche, 2012] : Service Environnement DDTM 50, 2012. – *Dossier spécial : Sédiments, mieux connaître pour pouvoir gérer*. – Journal de l'opération d'effacement des barrages de la Sélune, n°1.

[DDTM Manche, 2013] : Service Environnement DDTM 50, 2013. – *Dossier spécial : Le schéma de développement durable de la vallée de la Sélune*. – Journal de l'opération d'effacement des barrages de la Sélune, n°2.

[DDTM Manche, 2014 (A)] : Service Environnement DDTM 50, 2014. – *Dossier spécial : Les travaux de gestion sédimentaire*. – Journal de l'opération d'effacement des barrages de la Sélune, n°3.

[DDTM Manche, 2014 (B)] : Service Environnement DDTM 50, 2014. – *Dossier spécial : Hydrographie et inondations*. – Journal de l'opération d'effacement des barrages de la Sélune, n°4.

[DREAL Centre, 2012] : DREAL Centre, 2012. – *Annexe 5. Etude des flux de nitrates sur le bassin Loire-Bretagne*. – Disponible en ligne sur : http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/zv/Annexe5_consultation.pdf

[HOPQUIN, 2000]. HOPQUIN B., 2000. - *Sauviat, ou le barrage enlisé dans les métaux lourds*. – Le Monde. Disponible en ligne sur : https://www.lemonde.fr/archives/article/2000/06/20/sauviat-ou-le-barrage-enlise-dans-les-metaux-lourds_3708657_1819218.html

[LE GONIDEC et al, 2015] : LE GONIDEC C., GRIMALDI C., CRAVE A., ROLLET A-J., BEAUCHAMP A., LESPEZ L., 2015. - *Rapport d'étape annuel 2014. Programme Sélune. Phase pré-arasement*. - INRA

[LE GONIDEC et al, 2016] LE GONIDEC C., GRIMALDI C., FOVET O. et al, 2016. - *Programme Sélune. Phase pré-arasement. Rapport bilan 2013-2015. Dynamique fluviale.* –

[MARTIGNAC et al, 2014]. MARTIGNAC F., LE GONIDEC C., DAROUX A., GUILLARD J., BAGLINIERE J.L., GRIMALDI C., CRAVE A., 2014. - *Rapport d'étape annuel. Programme Sélune. Phase pré-arasement.* – INRA.

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (A)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017. – *Les travaux de la gestion sédimentaire démarrent.* - La Sélune Infos travaux, n°1.

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (B)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017. – *Les travaux de la gestion sédimentaire progressent.* - La Sélune Infos travaux, n°2.

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017 (C)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2017. – *Panneau d'informations Pont des Biards.* -

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (A)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018. – *Les travaux de la gestion sédimentaire se poursuivent.* - La Sélune Infos travaux, n°3.

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (B)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018. – *Les travaux de la gestion sédimentaire réalisés à l'automne 2018.* - La Sélune Infos travaux, n°4.

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (C)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018. – *Panneau d'informations barrage de Vezins.* -

[Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018 (D)] : Mission barrages de la Sélune DDTM 50, 2018. – *Panneau d'informations Pont de la République.* –

[NDOM et al, 2019] : NDOM M., FOVET O., CRAVE A. et GILLIET N., 2019. - *Dynamique fluviale. Volet 1. Flux hydriques, sédimentaires et chimiques.* – INRA

Directeur de recherche :

Karl Matthias Wantzen

Solène Jahan

PFE/DAE5

IMA

2018-2019

Les conséquences chimiques des arasements de barrages : le cas des barrages de la Sélune

Résumé :

L'autorisation d'araser les barrages de Vezins sur la Sélune (Manche) a été prise par arrêté préfectoral mercredi 31 octobre 2018. Cette décision a fait l'objet d'une polémique : le risque d'une contamination chimique de la baie du Mont Saint Michel par les polluants accumulés dans la retenue était ainsi contrebalancé par la nécessité de rétablir la continuité écologique de la Sélune.

L'arrêté préfectoral stipule un phasage précis de l'arasement du barrage incluant les étapes de gestion sédimentaire et de vidange ainsi qu'un suivi physico-chimique avant, pendant et après l'arasement. Ces décisions prennent en compte les particularités des travaux d'arasement et celles intrinsèques au fonctionnement du barrage. Les phénomènes physico-chimiques s'opérant dans la retenue d'un barrage sont régis par le caractère stagnant et anoxique (pour la partie profonde) de l'eau retenue en amont du barrage. Outre les caractéristiques propres du barrage, les opérations d'arasement en elles-mêmes impactent les paramètres physico-chimiques d'un cours d'eau. L'objectif de ce rapport est de mettre en lien l'évolution des paramètres physico-chimiques (phosphore, nitrates, nitrites, silice, ammonium, pH, température, conductivité, oxygène dissous, etc.) en amont et en aval du barrage et les différentes étapes de pré-arasement dans l'objectif de mieux comprendre les impacts chimiques des premières étapes de l'arasement d'un barrage.

Les données utilisées dans le cadre de cette étude ont été récoltées par l'INRA, EDF et l'Agence de l'Eau depuis 2017.

Mots Clés :

Barrages, arasement, Sélune, chimie, sédiments, Vezins, Yvrande, métaux lourds, pesticides, nutriments.