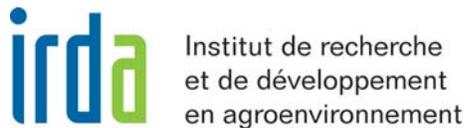


Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et Aux Castors

Dans le cadre du projet Lisière verte

**L'INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN
AGROENVIRONNEMENT (IRDA)**



**LA COOPÉRATIVE DE SOLIDARITÉ DU BASSIN VERSANT DE LA
RIVIÈRE AUX BROCHETS**



Rapport final de projet

**Aubert Michaud, chercheur et coordonnateur du projet, IRDA
Jacques Desjardins, technicien, IRDA**

**Collaborateurs :
Richard Lauzier, MAPAQ, Montérégie-Est
Michèle Grenier, IRDA**

Septembre 2009

Tables des matières

Introduction.....	4
Méthodologie.....	4
Description des sites d'étude	4
Monitoring aux exutoires des bassins versants.....	4
Suivi hydrométrique.....	5
Suivi géochimique en continu.....	5
Echantillonnages ponctuels et dosages analytiques.....	7
Modélisation des flux.....	8
Détection d'une réponse de la qualité de l'eau	9
Résultats et discussion	10
Bilan hydrique et flux de sédiments et nutriments.....	10
Détection de réponses de la qualité de l'eau.....	11
Conclusion	14
Références citées.....	15

Liste des tableaux (p. 17-18)

Tableau 1. Bilan des exportations de sédiments et de nutriments aux exutoires des bassins versants du ruisseau Ewing et Aux Castors pour les périodes d'évaluation de juin 2007 à mai 2008 et de juin 2008 à décembre 2008.

Tableau 2. Bilan hydrique des bassins versants du ruisseau Ewing et Aux Castors pour les périodes de référence 2001-2007 et les périodes d'évaluation de juin 2007 à mai 2008 et de juin 2008 à décembre 2008.

Liste des figures (p. 19-23)

Figure 1. Séries chronologiques du débit et de la conductivité électrique, de même que les conductivités de référence utilisées dans la segmentation de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin Ewing pour l'évènement du 16 au 17 novembre 2008.

Figure 2. Séries chronologiques du signal de conductivité électrique exprimées en fonction du débit (a) et séries chronologiques des précipitations, du flux de sédiments et de la segmentation des hauteurs d'eau journalières totales en ses composantes d'écoulement de surface et souterrain et pour la période d'évaluation de juin 2007 à mai 2008 aux exutoires des bassins versants Ewing et Aux Castors (b).

Figure 3. Séries chronologiques hebdomadaires des hauteurs d'eau (a) et des charges de matières en suspension (b), phosphore total (c), ortho-phosphates (d), calcium (e) et nitrates (f) estimées pour la période d'étude de juin 2007 à décembre 2008 aux exutoires des bassins versants du ruisseau Ewing et Aux Castors.

Figure 4. Modèle d'analyse de covariance (ANCOVA) de l'effet de la période (référence 2001-2006, référence 06/2007-05/2008 et 06-12/2008) et du bassin versant (Ewing vs Aux Castors) sur la concentration en MES (a) et en P total (b) en utilisant le débit des ruisseaux en covariable.

Figure 5. Modèle d'analyse de covariance (ANCOVA) de l'effet de la période (référence 2001-2006, référence 06/2007-05/2008 et 06-12/2008) sur la concentration en MES (a) et en P total (b) observée à l'exutoire du bassin versant Ewing, en utilisant les concentrations en MES et P total observées au bassin versant du ruisseau Aux Castors en covariable.

Liste des annexes (p. 24-26)

Annexes I. Observations des paramètres de qualité de l'eau à l'étude en fonction des débits des ruisseaux pour la période d'évaluation 2007-2008.

Annexes II. Concentrations en MES et P total observées au cours des périodes de référence 2001-2006 et d'évaluation 2007-2008 en fonction des débits des ruisseaux.

Le document peut être cité comme suit :

Michaud, A., J. Desjardins, M. Grenier et R. Lauzier. 2009. Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et Aux Castor – Dans le cadre du projet Lisière verte. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et AAC (PASCAA), Québec, Québec, 27 p.

Ce projet a été réalisé dans le cadre du projet Lisière verte et a été financé par le Programme pour l'avancement du secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire (PASCAA) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC).

Introduction

Le volet *Suivi de qualité de l'eau* du projet Lisière verte (CSBVRB, 2007) avait pour objectif de mettre en place un dispositif expérimental permettant de détecter une réponse éventuelle de la qualité de l'eau aux actions concertées des agriculteurs dans les deux principaux tributaires ciblés par le projet, soit les ruisseaux Ewing et Aux Castors. De façon plus spécifique, ce volet d'étude du projet Lisière verte a supporté 1) un monitoring en continu des hauteurs d'eaux exportées en ruissellement de surface et en écoulement subsurface, de même que des flux de sédiments, de phosphore et d'azote pour la période d'étude de juin 2007 à décembre 2008, et 2) une analyse statistique ciblée sur la détection de la réponse de la qualité de l'eau sur la base de données historiques antérieures au projet Lisière verte.

Méthodologie

Description des sites d'étude

Les bassins versants du ruisseau Ewing (33,2 km²) et du ruisseau Aux Castors (11,2 km²) sont tous deux situés dans la portion aval du bassin versant de la rivière Aux Brochets. Les deux bassins versants sont caractérisés par une utilisation essentiellement agricole du territoire et un paysage chevauchant la plaine des basses terres du Saint-Laurent et le piedmont appalachien. Compte tenu du relief peu accidenté et du potentiel agricole des sols, les productions végétales y sont relativement intensives, alors que près de 80 % des superficies sont dédiées aux cultures annuelles. Plusieurs études agroenvironnementales réalisées à l'échelle de bassin versant de la rivière Aux Brochets (Deslandes et coll., 2004; Michaud et coll., 2007a; Smeltzer et Simoneau, 2008) identifient ces sous-bassins comme les plus vulnérables aux exportations diffuses de phosphore. Aussi, les bassins Ewing et Aux Castors ont été ciblés dans le cadre de la mise en œuvre du projet Lisière verte par la Coopérative de Solidarité du bassin versant de la rivière Aux Brochets (2007). Plusieurs études ont contribué à une description détaillée des activités agricoles et de l'environnement biophysique de la région à l'étude. Le lecteur désireux d'approfondir sa connaissance de la région est invité à prendre connaissance des études réalisées par Deslandes et coll. (2006) et Michaud et coll. (2002, 2004, 2007a et 2009).

Monitoring aux exutoires des bassins versants

Le présent volet d'étude de la qualité d'eau dans le cadre du projet Lisière verte tire profit du monitoring hydrométrique et physico-chimique supporté aux exutoires des bassins versants depuis 2001 dans le cas du ruisseau Ewing (Smeltzer et Simoneau, 2008) et depuis 1997 dans le cas du ruisseau Aux Castors (Michaud et coll., 2005). Pour les fins de la présente étude, ces observations historiques du débit des ruisseaux et de la

qualité de l'eau correspondent à la période de référence (2001-2006) et servent de balise dans la détection d'un changement dans la qualité de l'eau en période d'évaluation. Cette dernière correspond à la mise en œuvre des actions agroenvironnementales dans le cadre du projet Lisière verte (2007-2008) et a fait l'objet d'un monitoring intensif de la qualité de l'eau supporté par le présent volet d'étude.

Les dispositifs de monitoring des bassins versants Ewing et Aux Castors dans le cadre de la présente étude ont été mis en place en juin 2007. La période de monitoring s'échelonne ainsi sur 18 mois, soit jusqu'au 31 décembre 2008. Concrètement, le suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau des ruisseaux Ewing et Aux Castors a été supporté aux moyens de trois dispositifs complémentaires, soit 1) un suivi en continu (15 min.) du débit des ruisseaux au moyen de limnimètres, 2) d'un enregistrement en continu de la conductivité, de la température et de la turbidité de la colonne d'eau au moyen de sondes mobiles multiparamètres et 3) d'échantillonnages ponctuels des ruisseaux à raison de trois campagnes par événement de crue, suivis de la détermination en laboratoire des concentrations des échantillons en MES, en phosphore (total, dissous, orthophosphate et biodisponible), en azote (nitrate et ammoniacal) et autres éléments (Ca, Mg, Na, K, Fe, Al, Mn, Cu et B).

Suivi hydrométrique

Les données météorologiques proviennent de la station située dans la localité de Phillipsburg, à proximité des bassins versants des ruisseaux Ewing et Aux Castors (Environnement Canada, 2006). Le suivi hydrométrique du ruisseau Ewing a été réalisé par le Centre d'expertise en hydrologie du Québec (CEHQ), alors que celui du ruisseau Aux Castors a été assuré par l'équipe de l'IRDA, suivant un protocole similaire à celui du CEHQ. Les hauteurs de la lame d'eau des deux bassins versants expérimentaux ont été mesurées en continu aux stations de mesure localisées près des exutoires des bassins à l'aide de bulleurs (modèles *Hydrologic* 2003), alors que le tarage hauteur-débit des stations de mesure a été supporté par des mesures ponctuelles annuelles quatre fois l'an à l'aide d'un moulinet hydrologique. Deux mesures ont été réalisées sous couvert de glace et deux en période de présence de végétation aquatique afin de générer une correction adéquate de la relation hauteur-débit observée lors de ces périodes.

Suivi géochimique en continu

Le suivi de la signature géochimique de l'eau en continu au 15 min. a été réalisé par l'IRDA au moyen de sondes multi-paramètres (YSI, modèle 6600) permettant l'enregistrement de différents signaux, incluant la conductivité électrique, la température, la hauteur d'eau et la turbidité. La prise ponctuelle d'échantillons lors d'événements de crue a permis de calibrer la sonde.

Les hydrogrammes de crue décrits au cours de la période d'étude ont systématiquement été séparés en leurs composantes d'écoulement au drain, d'écoulement vers la nappe et de ruissellement de surface. La méthode de séparation est basée sur l'application du principe du bilan de masse aux observations de conductivité électrique de l'eau révélées par les lectures en continu (15 min.) des sondes multi-paramètres. L'équation 1 décrit la méthode de calcul permettant d'estimer la contribution de l'écoulement de base au débit à l'exutoire du ruisseau, combinant les contributions des drains et de la résurgence de la nappe.

$$QB_i = \frac{Q_i (C_i - C_{min})}{CB_i - C_{min}} \quad (1)$$

où :

- QB_i = Hauteur d'eau associée à un écoulement souterrain au temps « i » (mm jour^{-1});
- Q_i = Hauteur d'eau journalière totale au temps « i » (mm jour^{-1});
- C_i = Conductivité au temps « i » (uS/cm);
- C_{min} = Conductivité de référence du ruissellement de surface (uS/cm);
- CB_i = Conductivité de l'écoulement de base au temps « i » (uS/cm).

La figure 1 illustre un exemple d'application de la méthode à la segmentation de l'hydrogramme de la crue du ruisseau des 16 et 17 novembre 2008. Conceptuellement, la méthode utilise la conductivité électrique de l'eau comme indicateur naturel de l'origine des écoulements à l'échelle du bassin versant. Compte tenu de la nature calcaire de la roche-mère des sols des bassins à l'étude, les écoulements souterrains se distinguent nettement de l'écoulement de surface au plan de leur composition en électrolytes. Pour chacun des événements hydrologiques comportant une composante significative de ruissellement de surface, une relation linéaire est ainsi établie entre la conductivité électrique et les contributions relatives du ruissellement et de l'écoulement souterrain. Cette approche requiert une conductivité de référence associée exclusivement au ruissellement de surface pour la période d'étude (C_{min}), qui a été obtenue par le calcul de la moyenne de la conductivité du ruissellement de surface associée à des échantillons prélevés aux exutoires des parcelles au cours de six campagnes d'échantillonnage ($N = 60$). La valeur de référence minimale de conductivité pour les eaux de ruissellement de surface a ainsi été estimée à $0,220 \text{ mS cm}^{-1}$ pour la période d'étude. D'autre part, il a été assumé que la conductivité de l'écoulement de base, associé à l'écoulement subsurface, décroissait selon un taux constant entre le début de l'évènement de crue et le retour de l'hydrogramme à son débit de base (figure 1). La contribution de la résurgence de la nappe phréatique au débit du cours d'eau a été fixée à $0,15 \text{ mm jour}^{-1}$. Cette hauteur d'eau journalière moyenne correspond aux débits minima du ruisseau associés aux périodes de plus de deux semaines sans précipitation. La contribution des drains souterrains est alors estimée sur la base de la hauteur d'eau associée à l'écoulement souterrain (équation 1), duquel est déduit l'écoulement associé à la résurgence de la nappe.

Echantillonnages ponctuels et dosages analytiques

Les eaux des deux bassins versants expérimentaux ont été échantillonnées simultanément suivant un protocole favorisant les prélèvements lors des crues significatives du ruisseau, à raison de trois prélèvements par évènement. Typiquement, une paire d'échantillons était prélevée dans la montée de l'hydrogramme et deux paires additionnelles au cours des 24 à 48 heures suivantes, durant la décrue. Des échantillonnages en période d'écoulement de base ont aussi permis de caractériser la qualité de l'eau au fil des étiages saisonniers. Au total, 133 et 98 échantillons ont été prélevés et dosés en laboratoire, respectivement, pour le bassin Ewing et Aux Castors durant la période de monitoring de juin 2007 à décembre 2008 (période d'évaluation). Les échantillons d'eau ont été conservés à 4 °C jusqu'aux analyses en laboratoire. Les échantillons d'eau ont été dosés au laboratoire de physico-chimie de l'IRDA pour les matières en suspension (MES), les formes de N (NO_3^- et NH_4^+), la spéciation du P en ses composantes réactives solubles, dissoutes, particulaires, biodisponibles et totales, et enfin les principaux ions en solution (Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Al, Mn, et B). Les particules en suspension (MES) ont été déterminées par filtration à 0,45 μm (Greenberg *et coll.*, 1992a). Le phosphore réactif dissous (P dissous) a été mesuré sur les échantillons filtrés (< 0,45 μm) en utilisant la méthode de Murphy et Riley (1962). Le phosphore biodisponible (P bio) a été déterminé suite à une extraction avec NaOH 0,1 N selon la méthode de Sharpley *et coll.* (1991), tandis que la concentration de phosphore total (P total) a été mesurée sur un échantillon digéré par la méthode des persulfates (Greenberg *et coll.*, 1992b). Les différentes formes d'azote ammonium (NH_4^+) et nitrates (NO_3^-) ont été mesurées selon le protocole de Greenberg *et coll.* (1992c). Le dosage du calcium et autres éléments en solution a été réalisé selon le protocole de Greenberg *et coll.* (1992d). Les observations de qualité de l'eau de tous les paramètres à l'étude sont reproduites aux annexes I et II.

Les protocoles analytiques appliqués dans le dosage des échantillons des bassins expérimentaux en période de référence (2001-2006) effectué par le laboratoire du MDDEP diffèrent de ceux appliqués par le laboratoire de l'IRDA en période d'évaluation, notamment aux égards du phosphore et des matières en suspension. La conversion des valeurs de concentration en P total proposée par Smeltzer et Simoneau (2008) a ainsi été appliquée aux valeurs de concentration rapportées par le MDDEP pour la période 2001-2006 au bassin Ewing. Retenons aussi que le MDDEP a recours à des filtres de 1,2 μm comparativement à 0,45 μm pour l'IRDA dans la spéciation des formes particulaires et solubles de P. Cette différence de protocole exclut la comparaison des spéciations du P pour le bassin Ewing entre la période de référence et d'évaluation. En ce qui a trait aux concentrations en MES, nous ne disposons pas de documentation sur l'effet du recours à des filtres de porosités différentes pour les observations de la région à l'étude. Cette incertitude appelle à la prudence dans l'interprétation des résultats combinant des observations provenant des laboratoires de l'IRDA et du MDDEP.

Modélisation des flux

Le couplage des données hydrométriques avec les dosages ponctuels des différents paramètres de qualité de l'eau a soutenu la modélisation des séries chronologiques des flux de sédiments et de nutriments aux exutoires des bassins expérimentaux pour la période de référence (2001-2006) et la période d'évaluation (2007-2008). Pour la période de référence, les flux de sédiments et de nutriments ont été modélisés sur la base des observations colligées par le MDDEP aux exutoires des bassins Ewing et Aux Castors. Pour la période d'évaluation, la modélisation s'appuie sur les dosages analytiques réalisés par l'IRDA. Soulignons cependant que le bassin versant du ruisseau Aux Castors fait l'objet de suivis simultanés de la part du MDDEP et de l'IRDA depuis 2001. La comparaison des flux modélisés pour la même période et le même bassin (tableau 1) fournit ainsi de précieuses informations sur l'influence des protocoles d'échantillonnage et de dosage sur les déterminations des exportations de sédiments et de nutriments.

L'estimation des flux de sédiments et de nutriments aux exutoires des bassins versants expérimentaux a été réalisée sur la base de régressions linéaires établies entre les concentrations des différents paramètres de qualité de l'eau et les débits instantanés des ruisseaux à l'aide du logiciel Flux 5,0 (Walker, 1998). Les modèles de régression ont été dérivés sur la base de deux strates de débit distinctes, soit en écoulement de base (hauteur d'eau journalière inférieure à $< 0,46 \text{ mm jour}^{-1}$) et en écoulement de crue ($> 0,46 \text{ mm jour}^{-1}$), sans stratification des jeux de données à l'égard de la saison. Les résidus associés aux modèles de concentration-débit et de flux-débit se sont avérés indépendants du débit journalier, de la date, et de la concentration des paramètres de qualité de l'eau à l'étude. Aucune donnée aberrante de qualité de l'eau n'a été détectée au seuil de confiance de $\alpha = 0,05$. L'ajustement du modèle a été estimé par l'approche de validation croisée (jack-knife). Dans l'ensemble, les coefficients de variation (CV) associés aux estimations en période d'évaluation avoisinant les 10 % se sont avérés satisfaisants pour les paramètres de MES, les différentes fractions de phosphore et les nitrates. En période de référence cependant, les CV sont généralement près du double de ceux estimés pour la période d'évaluation. L'ajustement du modèle pour le paramètre MES en période de référence (2001-2006) est particulièrement problématique, démontrant des coefficients de variation de l'ordre de 27 et 37 % respectivement pour les bassins Ewing et Aux Castors (tableau 1), malgré des périodes de référence de plus de six ans. La différence dans les protocoles d'échantillonnage appliqués par le MDDEP et l'IRDA expliquerait en bonne partie ces différences dans la précision des estimations des flux. En effet, le protocole d'échantillonnage mensuel appliqué par le MDDEP fait en sorte qu'une proportion limitée des échantillons est prélevée lors des crues du ruisseau (approximativement 20 %). Puisque la plus large part des flux de sédiments et de nutriments est associée aux courtes, mais intenses crues des ruisseaux, il s'ensuit une erreur relativement élevée dans l'estimation du modèle de concentration/débit à la base de la modélisation des flux. La période commune de suivi du bassin Aux Castors par le MDDEP et l'IRDA fournit des indications sur les implications des différents protocoles

sur la modélisation des flux. Pour la même période de référence (2001-2007) au bassin versant du ruisseau Aux Castors, le CV associé à la détermination du flux de MES passe ainsi de 37 à 12 %, respectivement, selon un protocole d'échantillonnage mensuel ou ciblé sur les crues.

Détection d'une réponse de la qualité de l'eau

L'approche retenue dans la détection d'une réponse de la qualité de l'eau aux aménagements hydro-agricoles implantés dans la région à l'étude consiste à comparer les concentrations et les débits mesurés au cours de la période référence (2001-2006) à ceux colligés au cours de la réalisation du projet Lisière verte (2007-2008). Compte tenu de l'envergure des aménagements réalisés dans le bassin Ewing, une réponse de la qualité de l'eau était plus susceptible d'y être détectée que dans le bassin du ruisseau Aux Castors. Cette approche tire ainsi profit des dispositifs de mesure hydrométrique et de suivi de la qualité de l'eau mis en place par l'IRDA à l'exutoire du bassin versant du ruisseau Aux Castors en 1997 (Michaud et coll., 2005), de même que celui mis en place par le MDDEP à l'exutoire du bassin Ewing en 2001 (Smeltzer et Simoneau, 2008). Pour les besoins de l'étude, les observations colligées en 2007-2008 ont été scindées en deux périodes d'évaluation distinctes, correspondant aux périodes de juin 2007 à mai 2008, puis de juin 2008 à décembre 2008. Cette séparation des observations visait à favoriser la détection d'un gradient temporel dans les paramètres de qualité d'eau en réponse aux aménagements hydro-agricoles réalisés dans les bassins versants expérimentaux.

La détection d'une réponse significative des différents paramètres de qualité de l'eau a été supportée par des analyses statistiques de covariance (ANCOVA) des observations de concentration en MES et en P total, soit les paramètres les plus susceptibles d'être affectés par des aménagements anti-érosifs des terres. Cette approche s'inspire d'études antérieures réalisées dans le bassin de la rivière Aux Brochets, qui avaient permis de détecter des réponses significatives de la concentration en P total à des actions concertées d'aménagement du ruisseau Aux Castors (Michaud et coll., 2005) et en dispositif de bassins jumeaux dans le ruisseau Walbridge (Michaud et coll., 2007b). Deux types d'analyse ANCOVA ont été appliquées aux jeux de données avec le support du logiciel de biostatistique SAS (2000). Dans un premier temps, les données de débit ont été utilisées en covariable de façon à tester si un changement était perceptible entre les deux périodes dans les relations entre la concentration de l'eau en MES ou en P total et l'activité hydrologique du cours d'eau. Dans un deuxième temps, les observations de concentration en MES et en P total du ruisseau Aux Castors ont été utilisées en covariable dans la détection d'un changement dans les concentrations observées au bassin Ewing. Conceptuellement, le bassin Aux Castors agit alors comme bassin témoin pour témoigner d'un changement significatif dans le bassin Ewing, nonobstant la variabilité interannuelle dans les conditions hydrologiques. Retenons enfin qu'une transformation logarithmique a été appliquée à l'ensemble

des observations de qualité de l'eau et des débits préalablement aux analyses statistiques de covariance, de façon à normaliser leurs distributions.

Résultats et discussion

Bilan hydrique et flux de sédiments et nutriments

La figure 2 illustre les répartitions journalières des hauteurs d'eau associées au ruissellement de surface et aux écoulements souterrains, de même que les flux de sédiments mesurés aux exutoires des bassins Ewing et Aux Castors pour les deux périodes d'évaluation. Le tableau 2 résume quant à lui les bilans hydriques globaux estimés pour les deux bassins versants pour les périodes de référence 2001-2007 et les périodes d'évaluation 2007-2008. Dans l'ensemble, les bassins Ewing et Aux Castors affichent un comportement hydrologique similaire, reflétant des utilisations du sol semblables et des positions relativement basses occupées dans le bassin versant de la rivière Aux Brochets. En réponse aux 2024 mm de précipitation reçus au cours de la période d'évaluation, les hauteurs d'eau globales exportées aux exutoires des bassins Ewing et Aux Castors se situent respectivement à 844 et 954 mm. Les crues à forte composante de ruissellement de surface sont particulièrement importantes au cours de l'automne 2007, au début du printemps 2008, de même qu'en réponse aux précipitations exceptionnellement intenses de l'été 2008. Dans l'ensemble, le ruissellement de surface a contribué à 31 et 37 % des hauteurs d'eau exportées aux exutoires des bassins Ewing et Aux Castors respectivement.

La figure 3 illustre les séries journalières des flux de sédiments et de phosphore total exportés aux exutoires des bassins versants au cours des périodes d'évaluation 2007-2008. Le tableau 2 rapporte les bilans des exportations des deux bassins versants associés aux MES, P et N pour les mêmes périodes d'évaluation, de même que pour la période de référence 2001-2007. Globalement, les charges annuelles de P total exportées aux exutoires deux bassins pour la période d'évaluation de juin 2007 à décembre 2008 se situent respectivement à 2,37 et 2,66 kg P total/ha pour les bassins Ewing et Aux Castors. Ces taux d'exportation apparaissent particulièrement élevés comparativement aux données historiques qui situent les exportations moyennes à 1,27 et 1,56, respectivement, pour les bassins Ewing et Aux Castors et la période de monitoring 2001-2007.

Les taux d'exportation de sédiments, d'azote et de phosphore mesurés au cours de la période d'étude confirment la vulnérabilité élevée des bassins versants Ewing et Aux Castors aux processus de contamination diffuse des eaux de surface. Ces observations reflètent les résultats de campagnes d'étude antérieures qui associent les ruisseaux Ewing et Aux Castors aux contributions par unité de surface les plus élevées de tout le bassin versant de la rivière Aux Brochets (Deslandes et coll., 2004; Michaud et coll., 2007a; Smeltzer et Simoneau, 2008). Les crues exceptionnelles de l'été 2008 contribuent de façon importante à ce bilan élevé

des exportations. Les contributions printanières et automnales contribuent malgré tout à la majeure partie des exportations annuelles diffuses de P aux exutoires des deux bassins.

Détection de réponses de la qualité de l'eau

La figure 4 illustre les modèles d'analyse de covariance (ANCOVA) de l'effet de la période d'étude sur la concentration en MES et en P total de l'eau aux bassins Ewing et Aux Castors, utilisant le débit des ruisseaux en covariable. Rappelons ici que les observations de P total de la période de référence ont été converties en utilisant la méthode proposée par Smeltzer et Simoneau (2008), préalablement aux analyses statistiques. Globalement, l'analyse de la variabilité des concentrations en MES et en P total observées lors des crues des ruisseaux met en relief de fortes augmentations des concentrations en réponse à l'augmentation des débits. Ces relations sont fortement significatives ($p < 0,0001$) pour chacun des bassins à l'étude et témoignent de l'importance des crues à forte composante de ruissellement de surface dans les processus d'érosion. Des pentes de régression élevées pour le P total comme pour les MES témoignent aussi de l'importance des transports de sédiments comme principal vecteur de mobilité du phosphore, largement sous forme particulaire. Chacun des bassins à l'étude témoigne par ailleurs de taux d'accroissement similaires de leurs concentrations en P total ou en MES en fonction du débit des ruisseaux. Ainsi, pour chacune des périodes prises individuellement, les pentes de régression liant les concentrations en MES et en P total aux débits des ruisseaux ne diffèrent pas significativement entre les bassins (interaction « débit » X « bassin » non significative et exclue des modèles). Cette similitude dans la réponse hydrologique des bassins Ewing et Aux Castors témoigne de leur paysage et de leur utilisation du sol relativement semblables.

Bien que les bassins démontrent des réponses similaires de leurs concentrations en MES et P total aux fluctuations du débit, ces relations se distinguent selon les périodes d'étude. Les pentes de régression diffèrent effectivement entre les périodes (interaction « débit » X « période ») de façon très significative pour le P total ($p < 0,001$) et de façon moins significative pour les MES ($p = 0,058$). Ces gradients similaires entre les bassins dans les concentrations en MES et P total en fonction du débit, mais qui diffèrent entre les périodes, témoignent des distributions des précipitations radicalement différentes entre les périodes d'évaluation. Des pentes de régression significativement plus élevées pour la période de juin à décembre 2008 que pour la période d'évaluation précédente (juin 2007 à mai 2008) témoignent ainsi des fortes intensités de pluie à l'origine des transferts de sédiments et de phosphore au cours de l'été 2008. Rappelons par ailleurs que la période d'évaluation de juin à décembre 2008 ne comprend pas de périodes hivernale et printanière. La faible érosivité généralement associée aux précipitations printanières contribuerait à réduire la valeur annualisée de la pente de régression. La différence dans les durées des périodes d'évaluation a pu favoriser l'obtention de pentes de régression concentration/débit relativement plus accentuées pour la période

d'évaluation de juin à décembre 2008. Au plan méthodologique, cette observation milite pour le recours à des périodes de référence similaires quant à leur composition saisonnière.

Notons enfin que le fléchissement du taux de variation de la concentration en MES en fonction du débit durant la période d'évaluation, par rapport à la période de référence 2001-2006, demeure la seule indication d'une possible influence des aménagements hydro-agricoles réalisés dans les bassins versants Ewing et Aux Castors. Cette tendance suggérée par l'interaction « débit » X « période » ($p = 0,058$) doit cependant être interprétée avec prudence en raison des différents protocoles d'échantillonnage et de dosage associés aux périodes de référence et d'évaluation. Il en est de même pour les concentrations significativement plus élevées de MES et de P total au cours des périodes d'évaluation que durant la période de référence. Compte tenu de l'interaction « débit » X « période », cette différence n'est cependant significative que pour les hauteurs d'eau journalières inférieures à 2 mm/jour pour le bassin Ewing en 2007-2008. Encore là, les distributions différentes des observations des concentrations en fonction du débit des ruisseaux, découlant de protocoles d'échantillonnage différents, de même que les différents protocoles analytiques, limitent l'interprétation des gradients dans la qualité de l'eau entre les périodes de référence et d'évaluation.

La figure 5 illustre les modèles d'analyse de covariance (ANCOVA) de l'effet de la période sur la concentration en MES et en P total observée à l'exutoire du bassin versant Ewing, utilisant les concentrations en MES et P total observées au bassin versant du ruisseau Aux Castors en covariable. À l'instar de l'analyse de covariance utilisant le débit en covariable, les analyses ANCOVA de l'effet de la période utilisant les observations du ruisseau Aux Castors en covariable ne permettent pas de détecter une réponse significative à la baisse des concentrations en P total ou en MES attribuable aux interventions réalisées dans le bassin Ewing et Aux Castors. L'effet « période » du modèle ANCOVA demeure en effet non significatif pour les paramètres MES et P total.

L'interprétation à donner aux résultats de l'ANCOVA utilisant les observations du ruisseau Aux Castors en covariable est, d'une part, que les deux bassins versants sont en phase en ce qui a trait à la variabilité de leurs concentrations en MES et P total. Cette proximité dans les réponses hydrologiques des bassins est bien démontrée par les taux élevés de signification ($p < 0,0001$) associés à la covariable (observations au ruisseau Aux Castors) dans le modèle de prédiction des concentrations en MES ou en P total du bassin Ewing. D'autre part, la relation établie entre les paramètres de qualité de l'eau des deux bassins n'est pas affectée par la période, comme c'était le cas pour l'ANCOVA utilisant le débit en covariable. L'effet de la période demeure non significatif dans le modèle du P total comme dans celui des MES. L'absence d'effet significatif de la période sur les concentrations de MES et de P total observée au bassin Ewing, relativement aux observations synchrones colligées pour le ruisseau Aux Castors, indique que les aménagements hydro-agricoles réalisés

dans les bassins n'ont pas conduit à une différenciation dans le comportement hydrologique des bassins entre la période de référence (2001-2006) et la période d'évaluation (2007-2008).

La constance dans les observations de la qualité de l'eau du bassin Ewing, relativement à celles du ruisseau Aux Castors au fil des trois périodes à l'étude, témoigne de l'efficacité de l'approche ANCOVA à minimiser l'influence des fluctuations des conditions hydrologiques et les changements dans les protocoles analytiques sur la détection de gradients dans la qualité de l'eau. Rappelons que l'ANCOVA met en relation les observations prélevées pratiquement de façon synchrone aux exutoires des deux bassins durant les périodes de référence et d'évaluation. Chaque paire d'observations relève ainsi du même protocole analytique, malgré des protocoles différents entre les périodes. Cette approche minimise ainsi l'influence de différents protocoles analytiques dans la détection de gradients dans la qualité de l'eau. Ainsi, la tendance à la hausse des concentrations du bassin Ewing entre les périodes suggérées par l'ANCOVA utilisant le débit en covariable, n'est plus perceptible dans l'ANCOVA utilisant les observations du ruisseau Aux Castors en covariable. Au plan méthodologique, ces résultats militent pour le recours à des dispositifs de bassins en paires (témoin et intervention) de façon à soustraire la détection d'un gradient temporel dans la qualité de l'eau aux influences de conditions hydrologiques et de protocoles analytiques variables dans le temps.

À priori, l'absence de réponse significative de la qualité de l'eau du bassin versant Ewing en réponse aux aménagements hydro-agricoles à l'intérieur de deux années n'est pas surprenante, compte tenu notamment de la dimension du bassin versant. En effet, les temps de réponse de la qualité de l'eau à l'échelle du bassin versant rapportés dans la littérature se comptent généralement sur des périodes plus longues, ou sont associés à des bassins versants de plus petite taille. Dans la région à l'étude, une réponse a ainsi été détectée sur des bassins de l'ordre de 6 à 10 km² (Michaud et coll., 2005; Michaud et coll., 2007b) en quelques années.

Hormis la taille du bassin, la courte période d'évaluation et les différents protocoles d'échantillonnage et de dosage utilisés entre les périodes, les changements observés dans l'utilisation du sol et l'aménagement des terres au cours des périodes de référence et d'évaluation ont possiblement aussi contribué à l'absence de détection d'une réponse de la qualité de l'eau du bassin versant Ewing à l'aménagement systématique de ses rives. Retenons qu'entre 2001 et 2007, les superficies dédiées aux cultures annuelles ont connu une augmentation de l'ordre de 560 ha dans la municipalité de Pike River, dans la portion aval du ruisseau Ewing (Statistique Canada, 2007). Cette augmentation sensible des superficies en cultures annuelles a pu contribuer à masquer en partie l'effet d'aménagements anti-érosifs des terres sur les charges de sédiments et de phosphore exportées.

Rappelons enfin que les deux bassins à l'étude ont été affectés par des aménagements hydro-agricoles au cours de la période d'évaluation 2007-2008, limitant du coup la portée de l'approche ANCOVA dans la

détection d'une réponse de la qualité de l'eau. Typiquement, dans un dispositif en bassins jumeaux, un bassin utilisé en covariable fait office de témoin dans la détection d'une réponse relative de la qualité de l'eau dans un bassin « intervention ». Dans le cas présent, le principal tronçon du ruisseau Aux Castors, utilisé comme bassin témoin pour les fins de l'analyse ANCOVA, a été reprofilé au printemps 2007. La détection d'une tendance de la qualité de l'eau au bassin Ewing, en réponse à l'aménagement systématique de structures de contrôle du ruissellement au cours de la même période, n'a ainsi pas pu profiter d'une balise (le ruisseau Aux Castors) répondant à des conditions relativement constantes entre les périodes de référence et d'évaluation. Au plan méthodologique, ces résultats témoignent de l'importance de disposer de bassins témoins soumis à un minimum de changements au cours de la période d'étude dans la perspective de détecter une réponse de la qualité de l'eau à des actions agroenvironnementales concertées.

Conclusion

La courte durée de la période d'évaluation et les différents protocoles expérimentaux entre les périodes de référence et d'évaluation, n'ont pas permis de détecter une influence significative des aménagements hydro-agricoles sur les exportations de phosphore et de sédiments aux exutoires des bassins versants Ewing et Aux Castors. Le volet *Suivi de la qualité de l'eau* du projet *Lisière verte* a néanmoins permis de décrire de façon détaillée le fonctionnement hydrologique des bassins versants à l'étude et de produire des estimations précises des flux de sédiments et de nutriments. La qualité de l'ajustement des modèles de concentration et des flux de sédiments, N et P associés à la présente étude milite pour le maintien des dispositifs expérimentaux de suivi hydrométrique et de qualité de l'eau selon le protocole établi pour la période d'étude 2007-2008. Au plan méthodologique, il est estimé que la combinaison des dispositifs de mesure hydrométrique, géochimique (sondes multi-paramètres) et de qualité de l'eau (échantillonnages ponctuels favorisant les périodes de crue) est bien adaptée à la détection de gradients temporels de la qualité de l'eau. La poursuite du suivi de la qualité de l'eau des bassins Ewing et Aux Castors est donc recommandée, selon le même protocole en vigueur en 2007-2008, de façon à documenter l'évolution des flux de sédiments et de nutriments suivant l'aménagement hydro-agricole des bassins versants.

Références citées

- Coopérative de solidarité du bassin versant de la Rivière Aux Brochets (CSBVVRB). 2007. Contribution des agriculteurs à la production de biens et services environnementaux dans des sous-bassins ciblés de la Baie Missisquoi. Programme pour l'avancement du secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire (PASCAA).
- Deslandes, J., A.R. Michaud and F. Bonn. 2004. Use of GIS and remote sensing to develop indicators of phosphorus non-point source pollution in the Pike river basin. In: T. O. Manley, P. L. Manley and T.B. Mihuc ed., *Lake Champlain: partnerships and research in the new millennium*. Kluwer Academic/Plenum Pub. New York NY, p. 271-290.
- Deslandes, J., I. Beaudin, A.R. Michaud, F. Bonn and C.A. Madramootoo. 2006. Influence of landscape and cropping system on phosphorus mobility within the Pike River watershed of Southwestern Quebec. *Canadian Water Resources Journal* 32(1): 21-42. January.
- Environnement Canada. 2006. Banque de données météorologiques journalières de la station de Philipsburg, Montérégie, Québec.
- Greenberg, A.E., S. Lenore and S. Clesceri. 1992a. No: 2540D. Total suspended solids dried at 103-105 °C, p. 2-5, In E. A.D., ed. *Standard methods for examination of waste and waste water*, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.
- Greenberg, A.E., S. Lenore and S. Clesceri. 1992b. No: 4500-P B, Total phosphorus, persulfate digestion method, p. 4-112, In E. A.D., ed. *Standard methods for examination of waste and waste water*, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.
- Greenberg, A.E., S. Lenore and S. Clesceri. 1992c. No: 4500-NH3 H. Automated phenate method, p. 4-84, No: 4500-NO3- F. Automated cadmium reduction method, p. 4-84, In E. A.D., ed. *Standard methods for examination of waste and waste water*, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.
- Greenberg, A.E., S. Lenore and S. Clesceri. 1992d. No: 3030 A. Preliminary treatment of samples, p. 3-3, No: 3120. Metals by plasma emission spectroscopy, p. 3-34 – 3-40, In E. A.D., ed. *Standard methods for examination of waste and waste water*, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.
- Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2002. Description du système de transfert du phosphore dans le bassin-versant du ruisseau Aux Castors. *Agrosol* 13:124-39.
- Michaud, A.R., R. Lauzier and M.R. Laverdière. 2004. Temporal and spatial variability in non-point source phosphorous in relation to agricultural production and terrestrial indicators. In: T.O. Manley, P.L. Manley and T.B. Mihuc ed., *Lake Champlain: partnerships and research in the new millennium*. Kluwer Academic/Plenum Pub. New York NY, p. 97-121.
- Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2005. Mobilité du phosphore et intervention agroenvironnementale en bassin versant agricole : Étude de cas du Ruisseau aux Castors, tributaire de la Rivière Aux Brochets, Québec. *Agrosol*, 16(1): 47-59.
- Michaud, A.R., I. Beaudin, J. Deslandes, F. Bonn and C. A. Madramootoo. 2007a. SWAT-predicted influence of different landscape and cropping systems alterations on phosphorus mobility within the Pike River watershed of South-western Quebec. 2007. *Canadian Journal of Soil Science* 87(3) 329-344. May.

- Michaud, A.R., M. Giroux, J. Deslandes, I. Beaudin et R. Lauzier. 2007b. Prévention des transferts diffus de phosphore en bassins-versants agricoles : perspectives québécoises et de l'État du Vermont. *Océanis* • vol. 33-1/2 • 2007b • p. 285-320 ISSN 0182-0745 © Institut océanographique, fondation Albert I^{er}, prince de Monaco.
- Michaud, A.R., J. Deslandes, G. Gagné, L. Grenon et K. Vézina. 2009. Gestion raisonnée et intégrée des sols et de l'eau (GRISE). Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Agriculture et agroalimentaire Canada, Université de Sherbrooke, CDAQ. 89 pages.
- Statistical analysis system. 2000. SAS 8.0 for Windows and SAS/STAT software and user's guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Smeltzer, E. et M. Simoneau. 2008. Apport de phosphore vers la baie Missisquoi en provenance des sous-bassins du Vermont et du Québec 2002 à 2005, préparé pour le Comité directeur du lac Champlain.
- Sharpley, A.N., W. Troeger and S.J. Smith. 1991. The measurement of bioavailable phosphorus in agriculture runoff. *J. Environ Quality*, 20:235-238.
- Walker, W. 1998. Flux, stream loads computations, version 5.0. Environmental laboratory USAE Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi, USA.

Tableau 1. Bilan des exportations de sédiments et de nutriments aux exutoires des bassins versants du ruisseau Ewing et Aux Castors pour les périodes d'évaluation de juin 2007 à mai 2008 et de juin 2008 à décembre 2008.

Paramètre de qualité de l'eau	Période de référence, novembre 2001 à novembre 2007								Période de d'évaluation, IRDA, juin 2007 à décembre 2008											
	Analyses MDDEP				Analyses IRDA				Bassin Ewing				Bassin Castor							
	Bassin Ewing		Bassin Castor		Bassin Castor		Bassin Castor		Bassin Ewing		Bassin Castor		Bassin Castor		Bassin Castor					
	Charge spéc. (kg an-1)	Charge mass. (kg)	Conc. (ug L-1)	CV ¹	Charge spéc. (kg an-1)	Charge mass. (kg)	Conc. (ug L-1)	CV ¹	Charge spéc. (kg an-1)	Charge mass. (kg)	Conc. (ug L-1)	CV ¹	Charge spéc. (kg an-1)	Charge mass. (kg)	Conc. (ug L-1)	CV ¹				
Matières en suspension	411	2 469	96 324	0,272	504	3 029	106 971	0,368	607	3 651	128 969	0,119	992	1 524	222 795	0,103	1 024	1 572	206 774	0,123
Phosphore total ⁽²⁾	1,27	7,66	299	0,133	1,65	9,91	350	0,144	1,82	10,94	387	0,071	2,37	3,64	532	0,060	2,66	4,09	538	0,103
Phosphore total dissous ⁽²⁾	0,44	2,63	102	0,233	0,82	4,94	174	0,136	0,86	5,17	183	0,057	0,76	1,17	171	0,142	1,05	1,62	213	0,107
Phosphore particulaire ⁽²⁾	0,84	5,06	197	0,172	0,80	4,82	170	0,178												
Azote ammoniacal	0,59	3,57	139	0,208	1,07	6,46	228	0,308	3,03	18,21	643	0,228	0,53	0,81	118	0,178	1,51	2,32	305	0,174
Nitrates	17	104	4 061	0,174	19	116	4 099	0,162	33	198	6 987	0,103	23	36	5 276	0,096	15	24	3 120	0,109
Phosphore total ajusté ⁽³⁾	1,51	9,08	354	0,125	1,88	11,30	399	0,130	1,82	10,94	387	0,071	2,37	3,64	532	0,060	2,66	4,09	538	0,103
Hauteur d'eau exportée	426 mm/an (2565 mm)				471mm/an (2381 mm)				471mm/an (2381 mm)				431mm an/an (684 mm)				495 mm/an (761 mm)			
Durée du monitoring	2197 jours				2197 jours				2197 jours				561 jours				561 jours			

⁽¹⁾ Coefficient de variation de l'estimation de la charge estimée par validation croisée (jack-knife).

⁽²⁾ Les protocoles analytiques différent entre le MDDEP et l'IRDA.

⁽³⁾ Conversion à la hausse des concentrations en P total du MDDEP selon la méthode proposée par Simoneau et Smeltzer, (2008).

Tableau 2. Bilan hydrique des bassins versants du ruisseau Ewing et Aux Castors pour les périodes de référence 2001-2007 et les périodes d'évaluation de juin 2007 à mai 2008 et de juin 2008 à décembre 2008.

Bassin versant du ruisseau Aux Castors

Strate	Débit (mm jour-1)	Novembre 2001 à nov. 2007		Juin 2007 à mai 2008		Juin 2008 à décembre 2008	
		Jours	Lames d'eau exportée	Jours	Lames d'eau exportée	Jours	Lames d'eau exportée
Base	< 0,46	1115	209 mm 0,19 mm/jour	141	38 mm 0,27 mm/jour	74	18 mm 0,24 mm/jour
Crue	> 0,46	1082	2624 mm 2,43 mm/jour	221	497 mm 2,25 mm/jour	125	208 mm 1,67 mm/jour
Global		2197	2833 mm 471 mm/an	362	535 mm 539 mm/an	199	226 mm 415 mm/an
Moyenne annuelle des précipitations (pluie et neige)			1 144 mm an ⁻¹		1 014 mm an ⁻¹		1 110 mm an ⁻¹

Bassin versant du ruisseau Ewing

Strate	Débit (mm jour-1)	Novembre 2001 à nov. 2007		Juin 2007 à mai 2008		Juin 2008 à décembre 2008	
		Jours	Lames d'eau exportée	Jours	Lames d'eau exportée	Jours	Lames d'eau exportée
Base	< 0,46	1245	226 mm 0,18 mm/jour	185	48 mm 0,26 mm/jour	100	27 mm 0,27 mm/jour
Crue	> 0,46	952	2339 mm 2,46 mm/jour	177	445 mm 2,51 mm/jour	99	165 mm 1,67 mm/jour
Global		2197	2565 mm 426 mm/an	362	493 mm 497 mm/an	199	192 mm 352 mm/an
Moyenne annuelle des précipitations (pluie et neige)			1 144 mm an ⁻¹		1 014 mm an ⁻¹		1 110 mm an ⁻¹

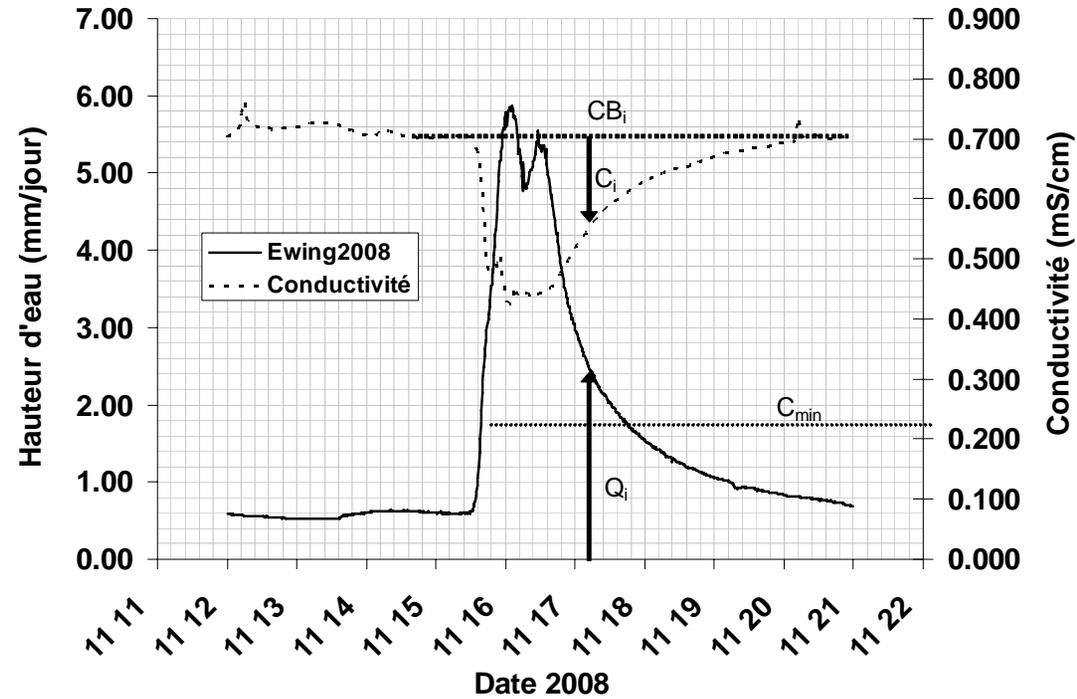
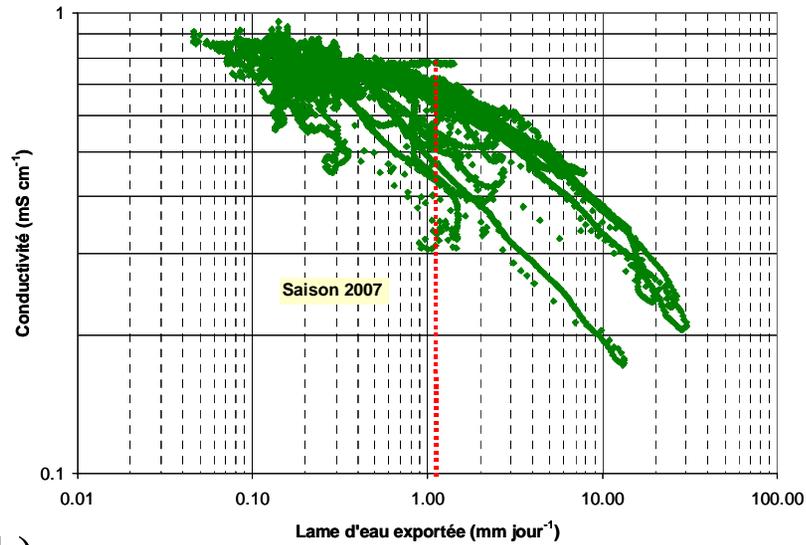
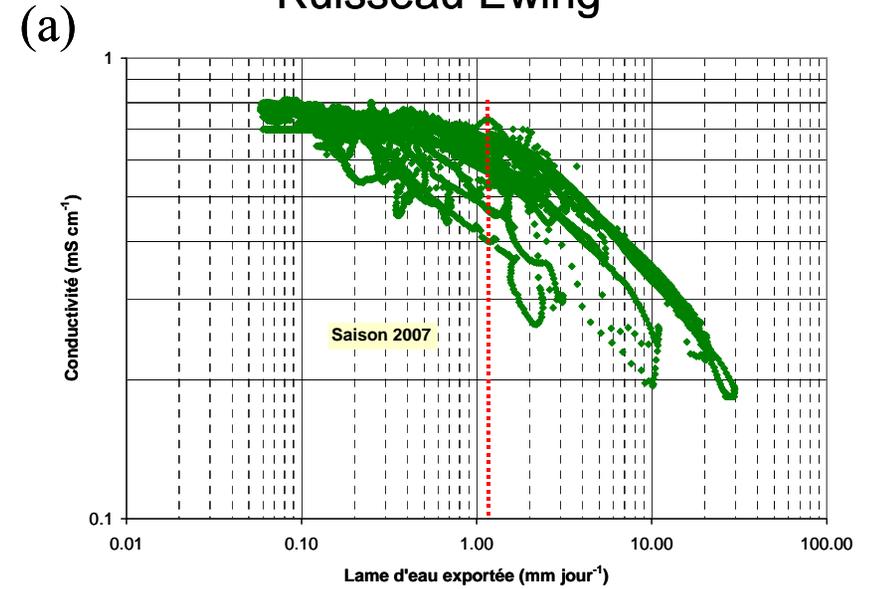


Figure 1. Séries chronologiques du débit et de la conductivité électrique, de même que les conductivités de référence utilisées dans la segmentation de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin Ewing pour l'évènement du 16 au 17 novembre 2008.

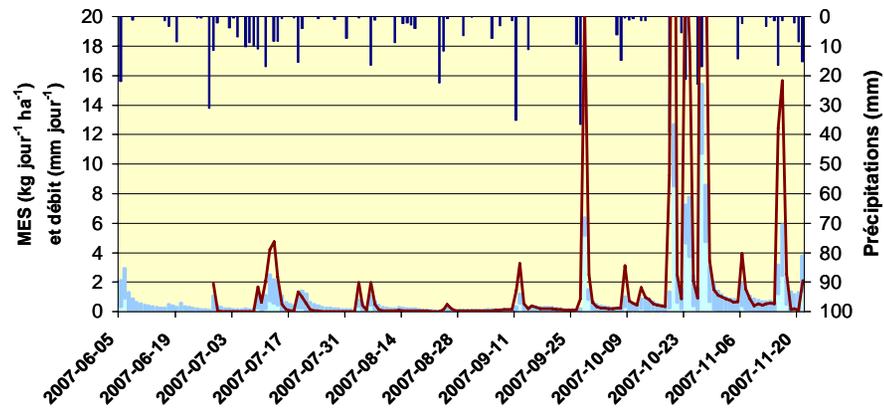
(a) Ruisseau aux Castors



(a) Ruisseau Ewing



(b)



(b)

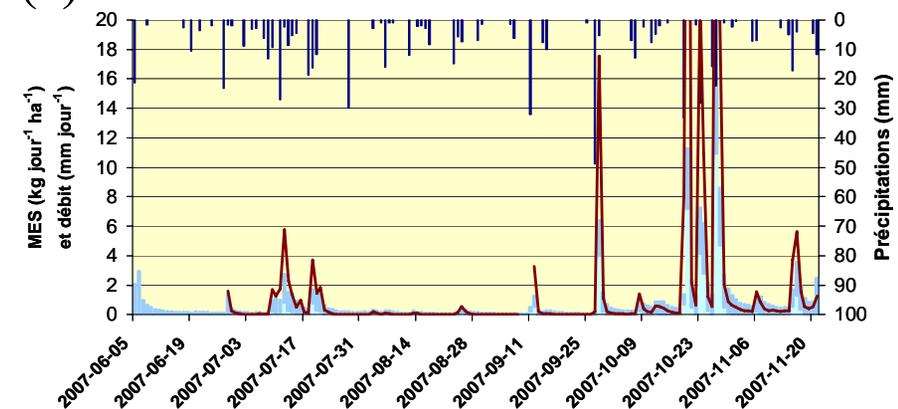


Figure 2. Séries chronologiques du signal de conductivité électrique exprimées en fonction du débit (a) et séries chronologiques des précipitations, du flux de sédiments et de la segmentation des hauteurs d'eau journalières totales en ses composantes d'écoulement de surface et souterrain et pour la période d'évaluation de juin 2007 à mai 2008 aux exutoires des bassins versants Ewing et Aux Castors (b).

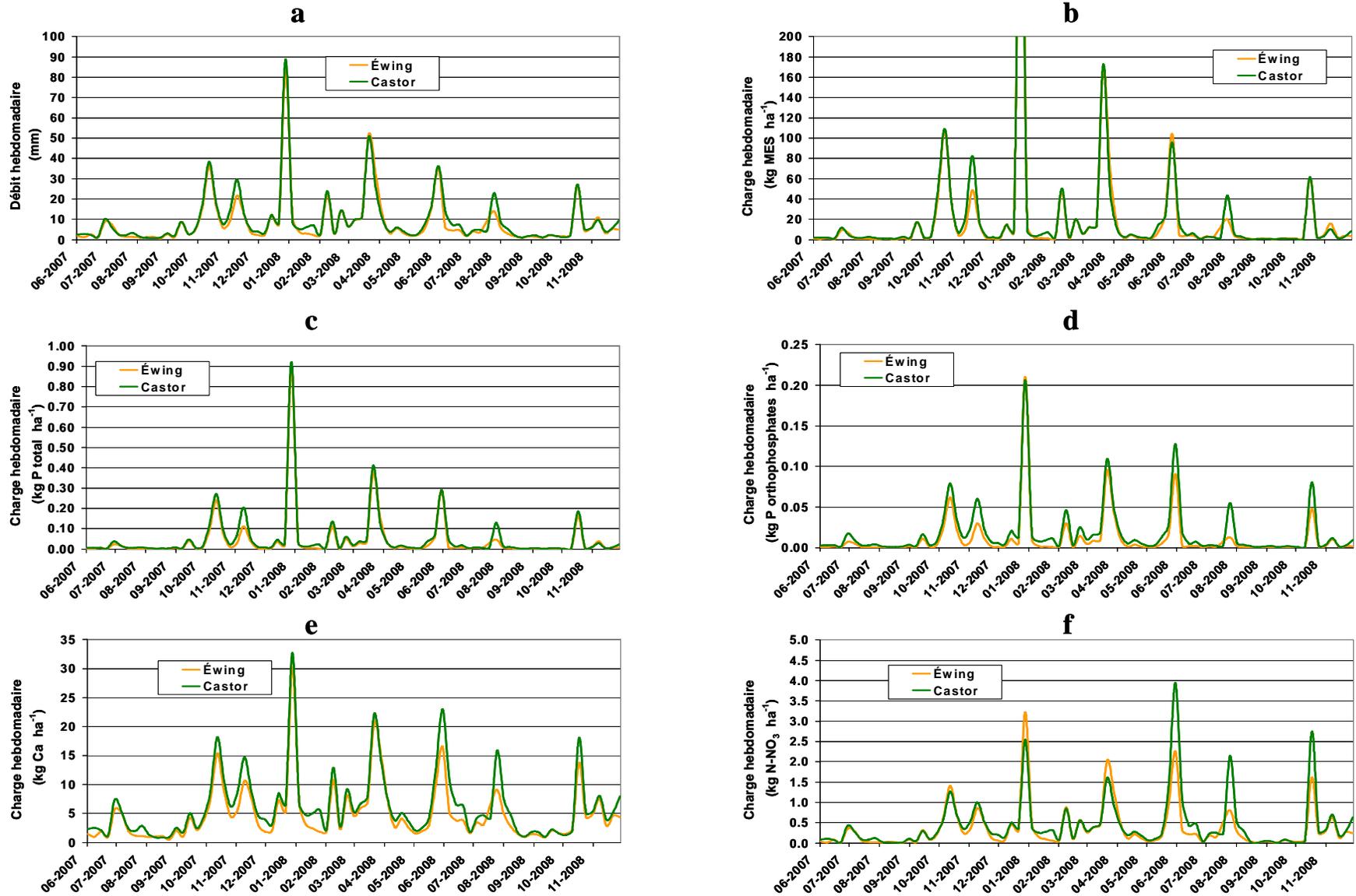
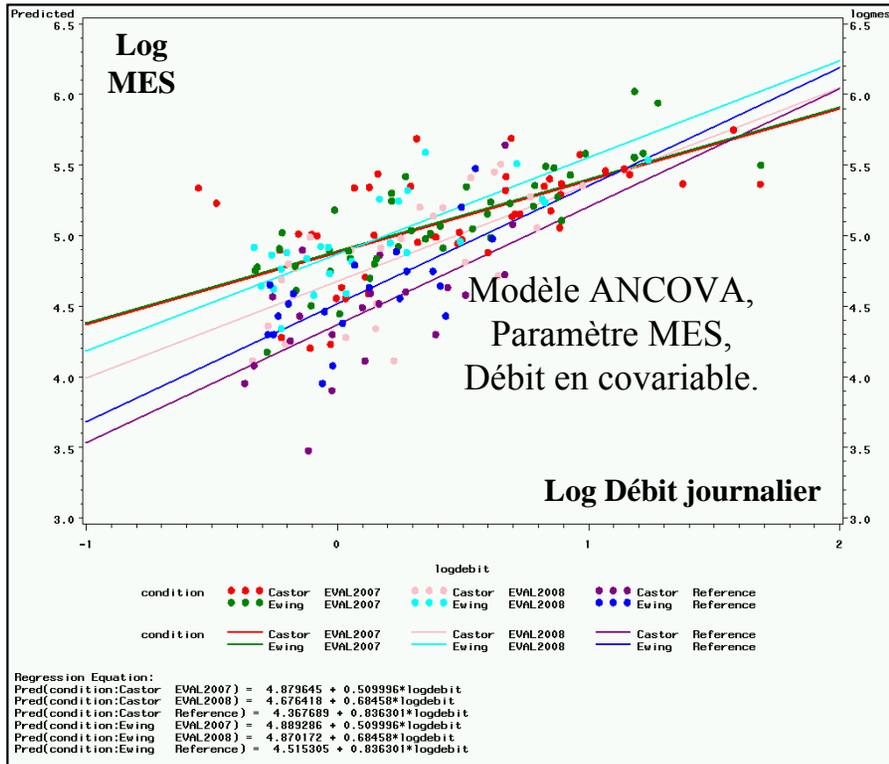


Figure 3. Séries chronologiques hebdomadaires des hauteurs d'eau (a) et des charges de matières en suspension (b), phosphore total (c), ortho-phosphates (d), calcium (e) et nitrates (f) estimées pour la période d'étude de juin 2007 à décembre 2008 aux exutoires des bassins versants du ruisseau Ewing et Aux Castors.

(a)

Tests de type 3 des effets fixes (Paramètre MES)				
Effet	Num DL	Den DL	Valeur F	Pr > F
Période	2	176	27.57	<.0001
Bassin	1	176	7.11	0.0084
Période X Bassin	2	176	2.01	0.1369
Log-Débit	1	176	121.59	<.0001
Log-debit*Période	2	176	2.90	0.0579



(b)

Tests de type 3 des effets fixes (Paramètre P total)				
Effet	Num DL	Den DL	Valeur F	Pr > F
Période	2	209	39.81	<.0001
Bassin	1	209	0.82	0.3649
Période X Bassin	2	209	1.30	0.2740
Log-Débit	1	209	337.76	<.0001
Log-debit*Période	2	209	13.21	<.0001

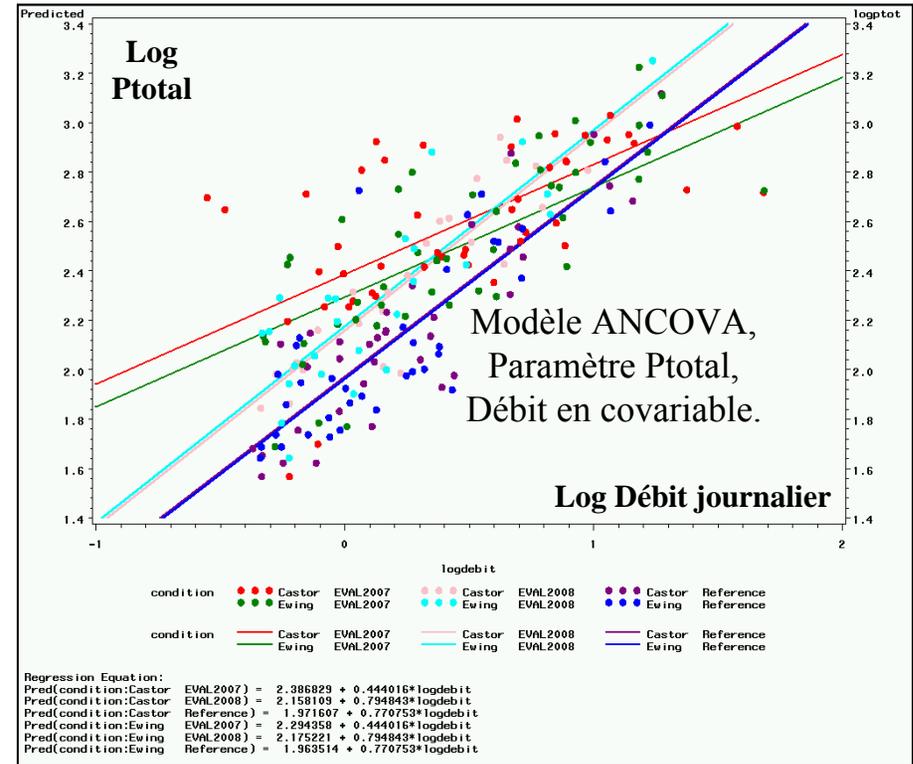
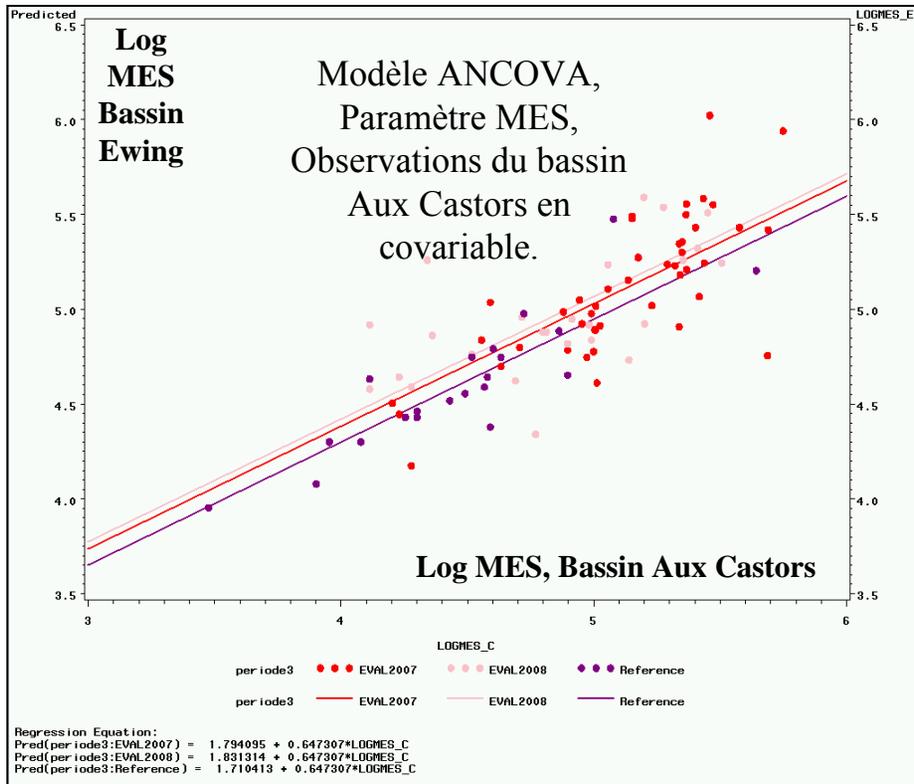


Figure 4. Modèle d'analyse de covariance (ANCOVA) de l'effet de la période (référence 2001-2006, référence 06/2007-05/2008 et 06-12/2008) et du bassin versant (Ewing vs Aux Castors) sur la concentration en MES (a) et en P total (b) utilisant le débit des ruisseaux en covariable.

(a)

Tests de type 3 des effets fixes (Paramètre MES)				
Effet	Num DL	Den DL	Valeur F	Pr > F
Période	2	88	1.35	0.2634
Log conc. MES	1	88	111.82	<.0001



(b)

Tests de type 3 des effets fixes (Paramètre P total)				
Effet	Num DL	Den DL	Valeur F	Pr > F
Période	2	105	0.05	0.9529
Log conc. MES	1	105	284.97	<.0001

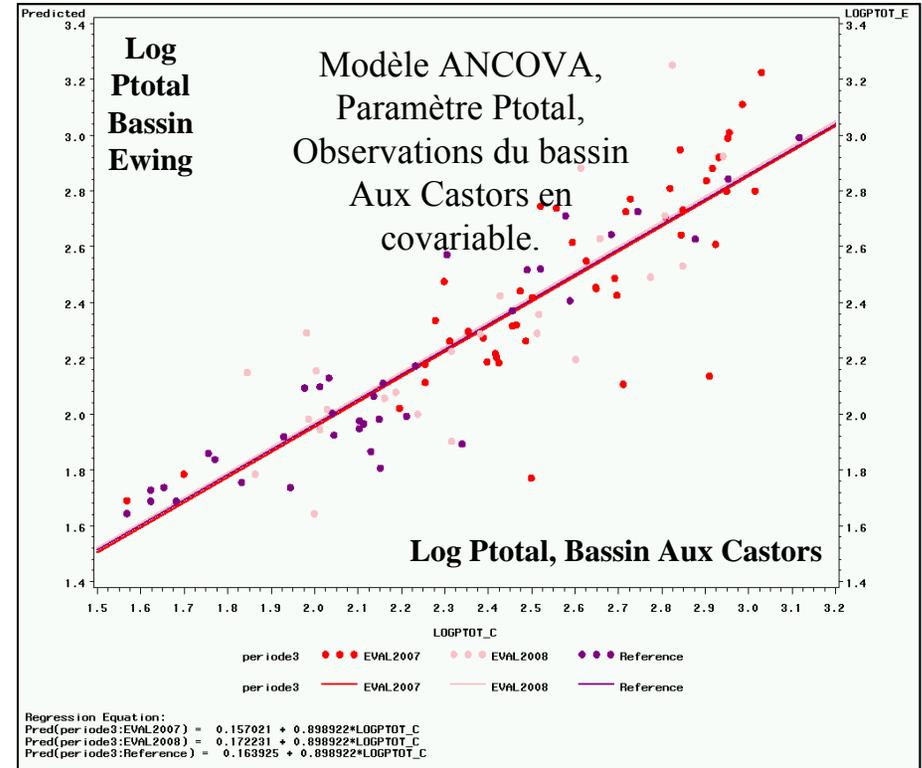
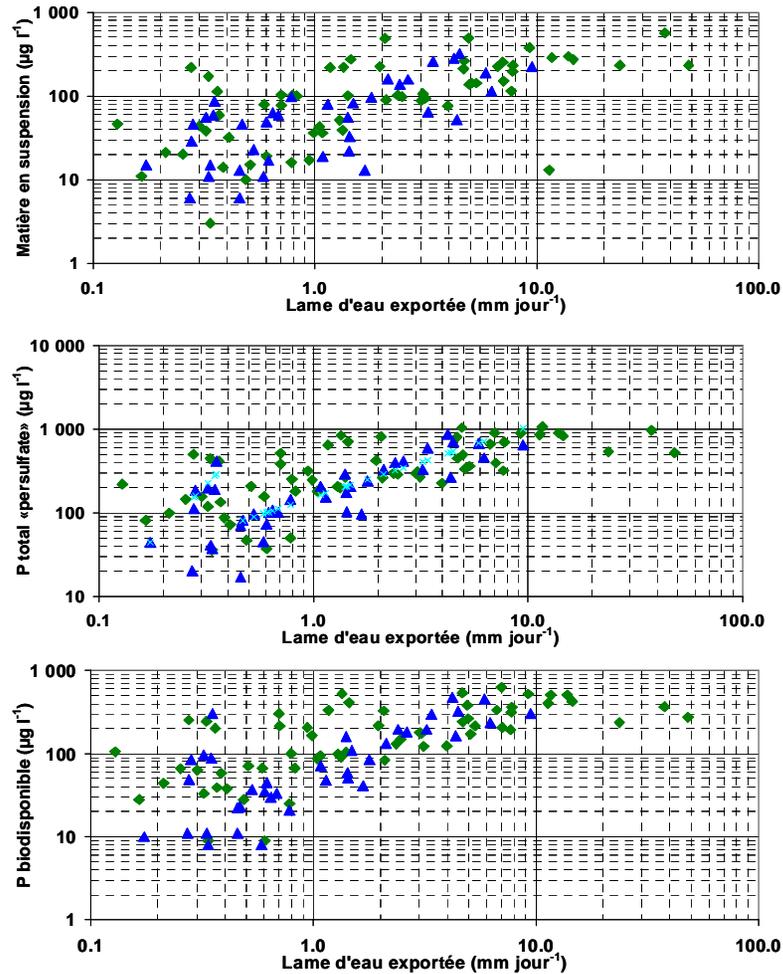


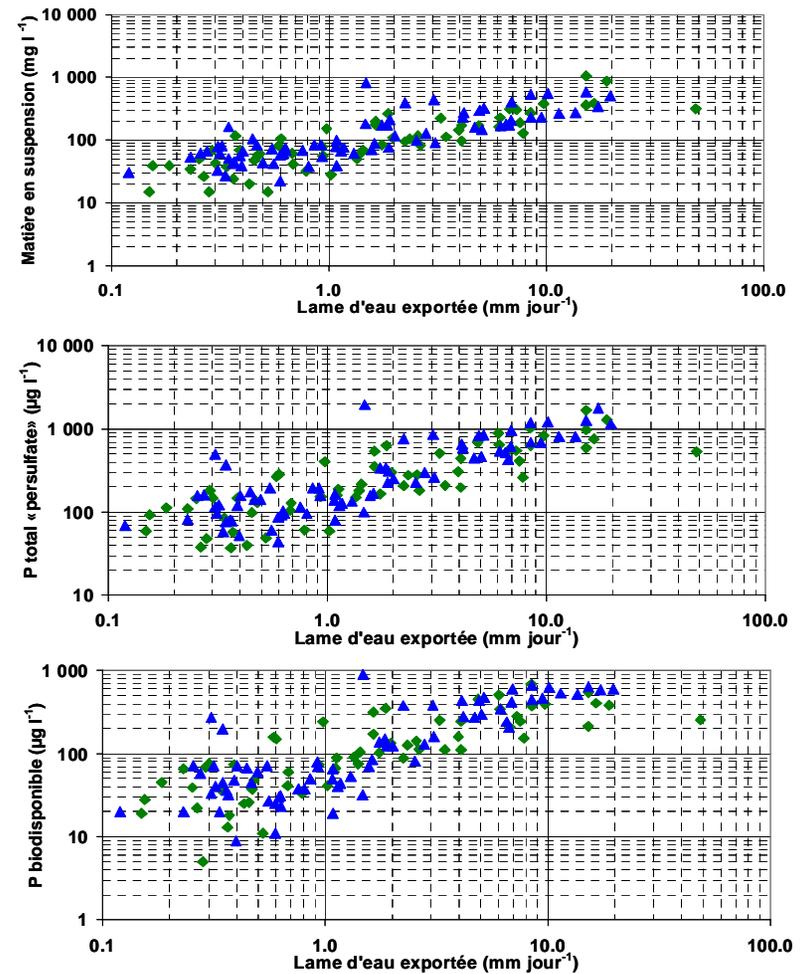
Figure 5. Modèle d'analyse de covariance (ANCOVA) de l'effet de la période (référence 2001-2006, référence 06/2007-05/2008 et 06-12/2008) sur la concentration en MES (a) et en P total (b) observée à l'exutoire du bassin versant Ewing, utilisant les concentrations en MES et P total observées au bassin versant du ruisseau Aux Castors en covariable.

Annexe I. Observations des paramètres de qualité de l'eau à l'étude en fonction des débits des ruisseaux pour la période d'évaluation 2007-2008.

Ruisseau aux Castors



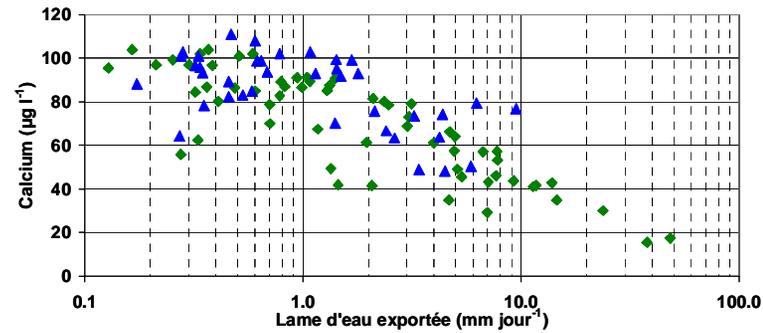
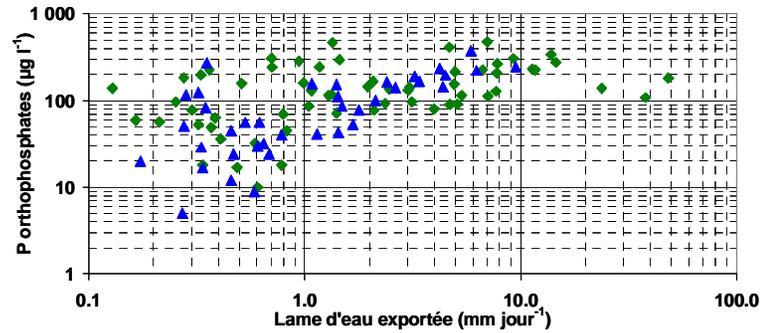
Ruisseau Éwing



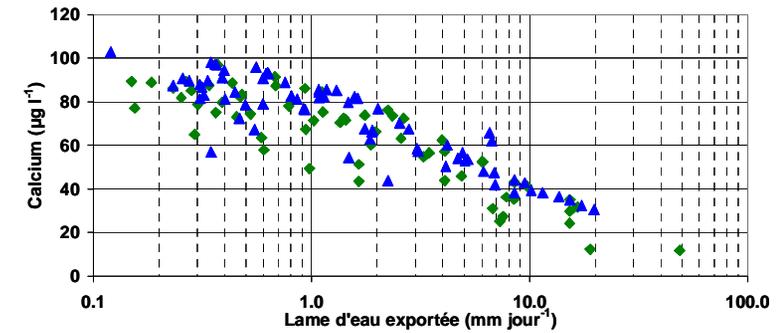
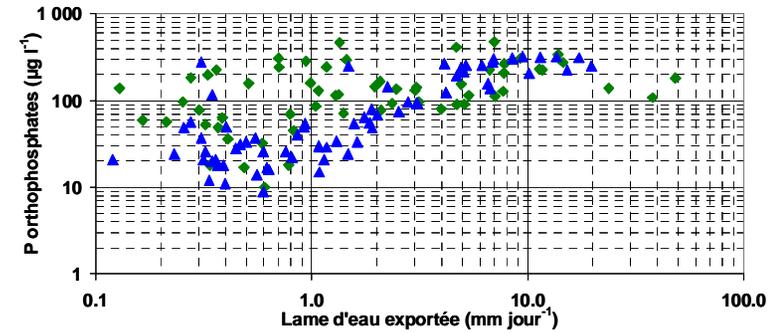
◆ Juin 2007 à juin 2008 ▲ Juin 2008 à décembre 2008

Annexe I (suite). Observations des paramètres de qualité de l'eau à l'étude en fonction des débits des ruisseaux pour la période d'évaluation 2007-2008.

Ruisseau aux Castors



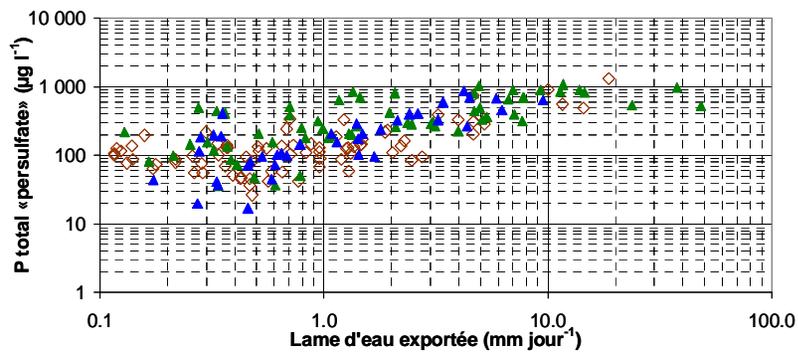
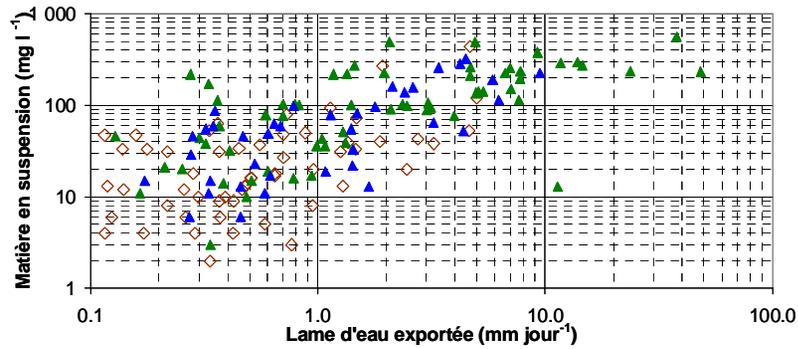
Ruisseau Éwing



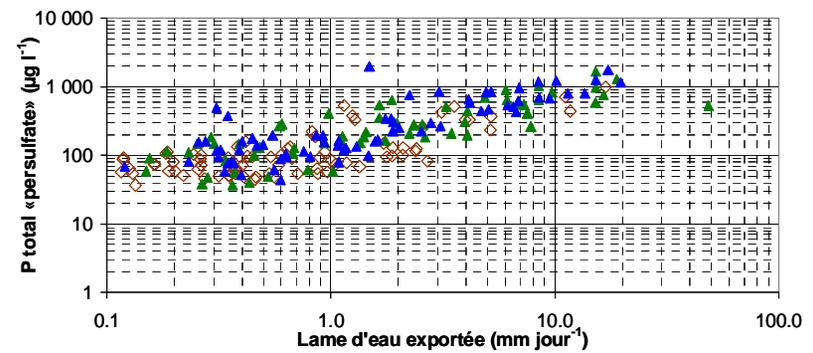
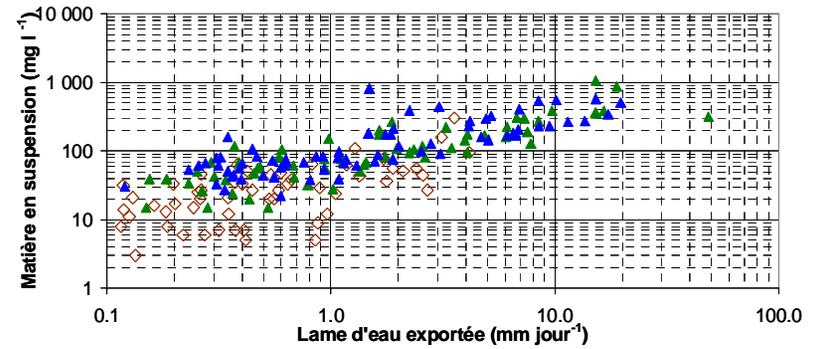
◆ Juin 2007 à juin 2008 ▲ Juin 2008 à décembre 2008

Annexes II. Concentrations en MES et P total observées au cours des périodes de référence 2001-2006 et d'évaluation 2007-2008 en fonction des débits des ruisseaux.

Ruisseau aux Castors



Ruisseau Éwing



◇ MDDEP, novembre 2001 à novembre 2007 ▲ IRDA, juin 2007 à juin 2008 ▲ IRDA, juin 2008 à décembre 2008

