



INSTITUT DE RECHERCHE  
ET DE DÉVELOPPEMENT  
EN AGROENVIRONNEMENT  
ИИ УСКОЕИЛИВОИИЕИИИ  
ИИ ДИ ДЕЛЕГОБЪЕИИИ

## RAPPORT D'ÉTAPE

# PROJECTION DES RÉPONSES HYDROLOGIQUES À L'AMÉLIORATION DE LA CONDITION PHYSIQUE DES SOLS DES BASSINS VERSANTS POT-AU- BEURRE ET SAINT-GERMAIN



**Responsable scientifique : Simon Ricard, Ph.D., Chercheur IRDA**

Collaborateurs : Arianne Blais-Gagnon, William Huertas, Colline Gombault

Rapport présenté à : Mikael Guillou, MAPAQ

31<sup>er</sup> mars 2022

Projet IRDA #400243



2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

---

POUR EN SAVOIR  
DAVANTAGE

**Simon Ricard**, Ph. D.

Chercheur en conservation de l'eau

Téléphone : 418 643 2380, poste 691

[simon.ricard@irda.gc.ca](mailto:simon.ricard@irda.gc.ca)

# TABLE DES MATIÈRES

1	Mise en contexte .....	1
2	Installation des sites et prises de mesures initiales .....	3
2.1	Pot-au-beurre .....	3
2.1.1	Instrumentation hydrométrique en parcelles .....	3
2.1.2	Suivi agronomique et conditions physiques des sols des parcelles .....	5
2.2	Saint-Germain.....	7
3	Suivi des mesures 2021.....	11
3.1	Pot-au-beurre .....	11
3.1.1	Suivi hydrométrique .....	11
3.1.2	Analyse des sols.....	11
3.2	Saint-Germain.....	11
3.2.1	Suivi hydrométrique et évaluation du débit.....	11
3.2.2	Séparation de l'hydrogramme et flux de sédiments .....	15
4	Modélisation.....	18
4.1	Description du modèle SWAT.....	18
4.2	Méthodologie sommaire de la modélisation hydrologique et climatique .....	20
4.2.1	Mise en œuvre et données d'entrée .....	21
4.2.2	Séries météorologiques .....	3
4.2.3	Séries hydrométriques pour l'optimisation du modèle .....	4
4.2.4	Scénarios climatiques .....	4
5	Planification pour l'année 2022 .....	6
5.1	Traitement de données .....	6
5.2	Campagnes terrain .....	6
5.2.1	Pot-au-Beurre .....	6
5.2.2	Saint-Germain .....	6
5.3	Modélisation .....	8
5.4	Suivi de projet.....	9
5.4.1	Pot-au-Beurre .....	9
5.4.2	Saint-Germain .....	10

6	Références.....	1
	Annexe A. Résultats de la pesée des sols dans le bassin Pot-au-Beurre .....	1
	Annexe B. Résultats des analyses Sédimentaires des suivi hydrologique dans le bassin Saint-Germain.....	1
	Annexe C. Compte-rendu de la réunion technique pour le bassin Saint-Germain .....	1

## LISTE DES TABLEAUX

	Tableau 2.1 : Inventaire et description des champs/parcelles à l'étude dans Pot-au-Beurre .....	5
	Tableau 2.2 : Caractéristiques des parcelles à l'étude dans la région de Pot-au-Beurre.....	6
	Table 2.3 : Description des instruments en place à chaque station hydrométrique. ....	8
	Table 2.4 : Localisation et coordonnées des stations instrumentées sur la rivière Saint-Germain en 2021.....	8
	Table 3.1 : Bilan des hauteurs d'eau exportées. ....	15
	Tableau 4.1 : Séries hydrométriques disponibles pour la modélisation hydrologique des bassins Pot-au-Beurre et Saint-Germain .....	4

## LISTE DES FIGURES

	Figure 1.1 : Localisation des bassins de la petite rivière Pot-au-Beurre et de la rivière Saint-Germain.....	2
	Figure 2.1 : Localisation des champs à l'étude dans la région du bassin Pot-au-Beurre .....	4
	Figure 2.2 : Sonde ISCO à la sortie d'un drain et station d'alimentation en énergie dans Pot-au-Beurre .....	5
	Figure 2.3 : Prélèvement de carottes de sol au Giddings. ....	6
	Figure 2.4 : Installation et entretien des stations hydrologiques dans le bassin versant de la rivière Saint-Germain. a) sonde à pression-b) sonde multi-paramétrique YSI, c) entretien de la sonde YSI, et d) opération de jaugeage. ....	9
	Figure 3.1 Courbes de tarage selon les dernières mis à jour aux stations (a) St-Germain, (b) Brébeuf, (c) Berry ..	12
	Figure 3.3 Débits calculés à la station Berry .....	13
	Figure 3.2 Débits calculés à la station St-Germain et Brébeuf .....	13
	Figure 3.4 Lames d'eau journalières exportées et précipitations aux stations. ....	14
	Figure 3.5 Données de turbidité et conductivité électrique à la station Saint-Germain. ....	16
	Figure 3.6 Données de turbidité et conductivité électrique à la station Brébeuf.....	16
	Figure 3.7 Données de turbidité et conductivité électrique à la station Berry. ....	17
	Figure 4.1 : Relief (a), Carte des sols b) et d'occupation des sols 2003 c) et 2020 d) du bassin de la petite rivière Pot-au-Beurre. Les codes couleurs de la carte des sols va ainsi : bleu : loam argileux; jaune loam sableux, vert loam limoneux, rose : ravin. ....	1

Figure 5.1 Suivi hydrologique de la DEH à la station hydrologique 030299 juste à l'exutoire du bassin, nommée St-Germain-act sur la figure 1.1. ....7

# 1 MISE EN CONTEXTE

---

Le projet s'inscrit dans le cadre du programme d'appui à la lutte des changements climatiques en agriculture du MAPAQ. Au Québec, plusieurs régions agricoles font face à d'important risque d'inondation et/ou de stress hydriques potentiellement liés aux changements climatiques (Michaud et al., 2019 ; Ouranos 2018), aux changements morphologiques et anthropiques des réseaux hydriques (Biron et al. 2020 ; Trudel, étude préliminaire sur la rivière St-Germain ; Simoneau, 2019) ainsi qu'aux changements d'occupation du sol et, l'on soupçonne lié à la dégradation de la condition physique des sols.

Ce projet étudie ainsi les effets de l'amélioration de la condition physique des sols et des systèmes de cultures sur la réponse hydrologique des bassins versants agricoles. Il s'articule plus spécifiquement autour des problématiques hydroagricoles des bassins versants de la rivière Pot-au-Beurre, affluent de la Baie de Lavallière, et de la rivière Saint-Germain affluent de la rivière Saint-François, située dans les régions de la Montérégie et du Centre du Québec. Les bassins Pot-au-Beurre et Saint-Germain sont tous deux témoins de problématiques hydro-agricoles relatives à des surplus d'eau en période humide (printemps, orages estivaux, ou automne) et/ou à des pertes de sols et nutriments vers les cours d'eau. Ces problématiques se répercutent négativement sur la gestion des terres, des parcelles, des rendements de cultures mais aussi sur les activités riveraines non agricoles (circulation, inondations résidentielles, etc.).

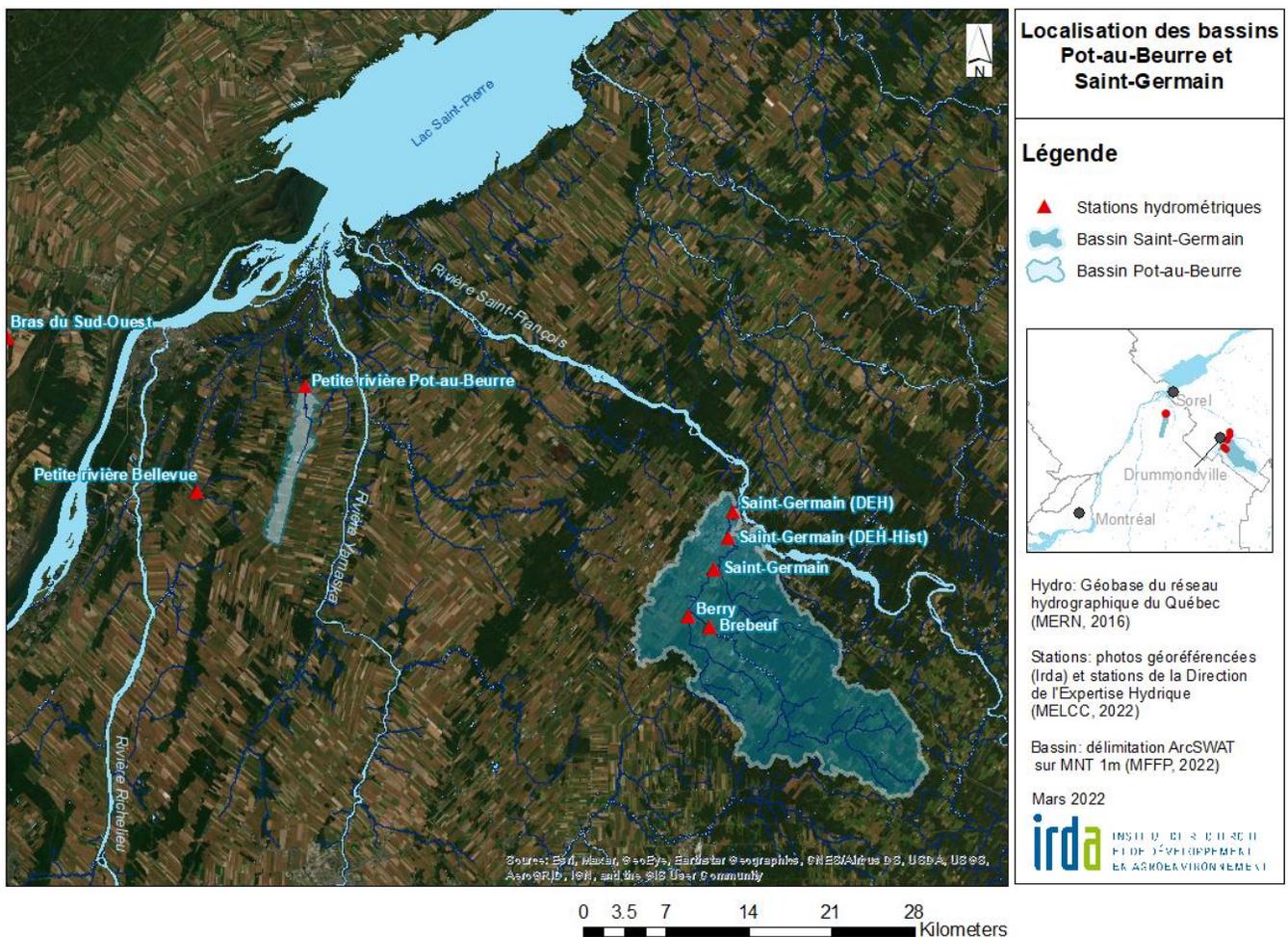
Le projet soutient donc l'analyse et l'évaluation de techniques visant à améliorer la capacité de rétention d'eau des sols et l'infiltration de l'eau afin de limiter les pointes de crues et les charges de sédiments et de nutriments des cours d'eau. La démarche du projet consiste à projeter l'évolution des réponses hydrologiques des rivières Saint-Germain et Pot-au-Beurre à l'amélioration des systèmes culturaux et de la condition physique des sols de leurs bassins versants, sous les conditions climatiques actuelles et futures. Le projet s'appuie à la fois sur des dispositifs de mesures au champ et au cours d'eau et sur la modélisation hydrologique à l'échelle des bassins versants, couplée avec des scénarios climatiques historiques et en climat futur.

En rappel, les objectifs spécifiques du projet consistent à :

1. Évaluer au champ les effets de systèmes culturaux bénéfiques sur la condition physique des sols;
2. Évaluer les effets de la condition physique du sol sur la quantité et la qualité du ruissellement de surface et de l'eau de drainage;
3. Projeter par modélisation hydrologique les effets de systèmes culturaux et d'aménagement des terres alternatifs sur les réponses hydrologiques du bassin versant;
4. Projeter l'interaction entre les changements du climat et l'introduction de scénarios alternatifs de régies de cultures et d'aménagement des terres sur les réponses hydrologiques et;
5. Analyser les implications économiques des systèmes culturaux et d'aménagement des terres alternatifs à l'étude.

Quelques modifications ont été apportées au projet. Initialement, le bassin du ruisseau Au Castor, en Montérégie avait été choisi pour cette étude. Les activités de recherche ont cependant été transférées dans le bassin de la

rivière Pot-au-Beurre afin d'améliorer les partenariats et assurer une collaboration forte avec les acteurs locaux. Il a de plus été impossible d'instrumenter le volet en parcelles dans le bassin de la rivière Saint-Germain dû à la difficulté de trouver quatre champs réunissant les conditions de recherche nécessaires. Finalement, en raison du contexte actuel de pénurie de main d'œuvre et du transfert du bassin Castor au bassin Pot-au-Beurre, certains objectifs n'ont pu être rencontrés pleinement et seront discutés dans les sections sous-jacentes. Dans l'ensemble, l'instrumentation aux champs et en rivière a été complétée avec succès en 2021 et le dépouillement des données des stations en rivière est bien avancé. Deux réunions de démarrage avec les partenaires de chaque bassin ont été tenues et les premiers comités aviseurs de 2022 se tiendront les 4 et 7 avril. La figure 1 illustre la localisation des deux bassins l'un par rapport à l'autre.



**Figure 1.1 : Localisation des bassins de la petite rivière Pot-au-Beurre et de la rivière Saint-Germain**

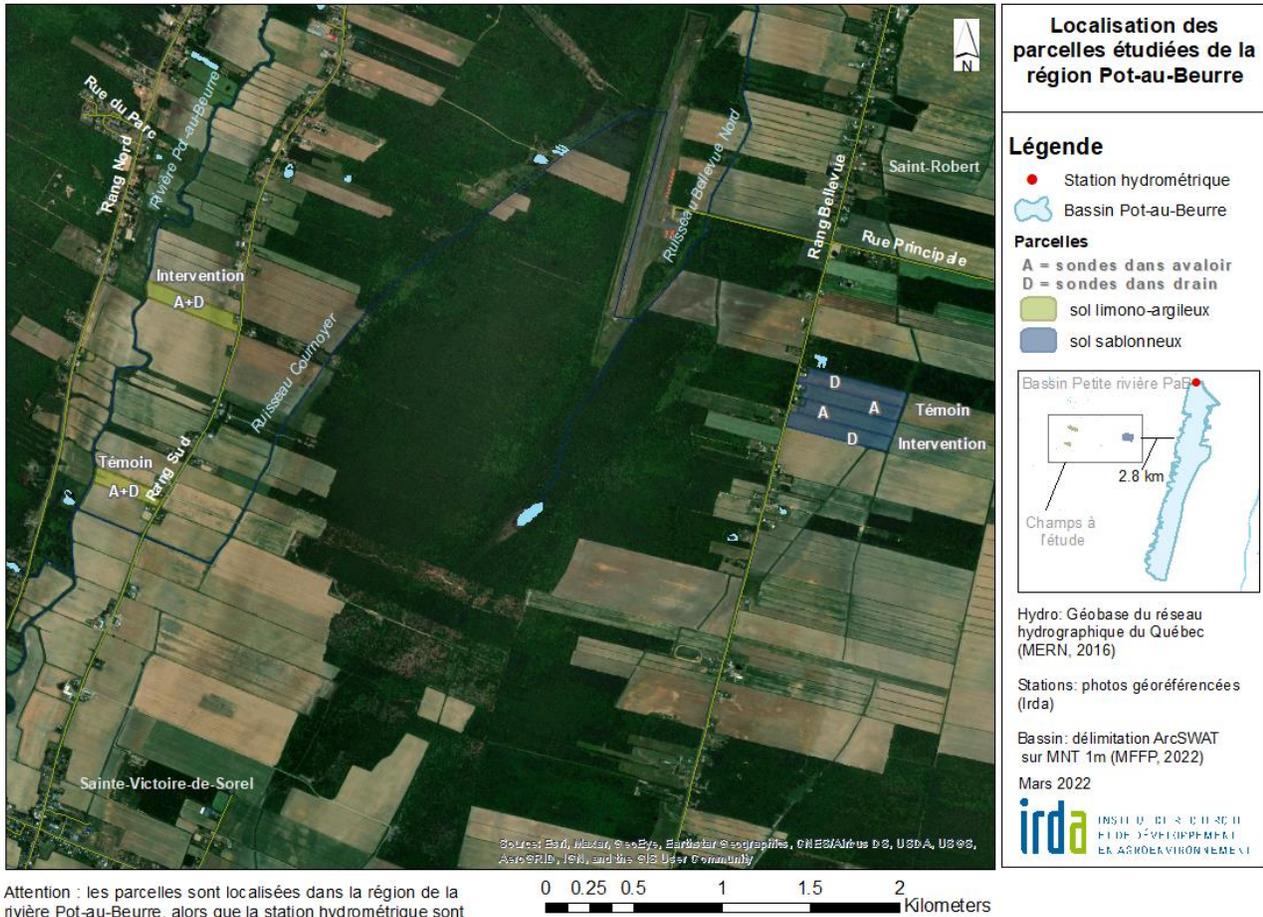
## 2 INSTALLATION DES SITES ET PRISES DE MESURES INITIALES

---

### 2.1 POT-AU-BEURRE

#### 2.1.1 Instrumentation hydrométrique en parcelles

À l'automne 2021, quatre champs ont été instrumentés, deux dans la municipalité de Sainte-Victoire-de-Sorel et deux autres à Saint-Robert (Figure 2.1). Le dispositif est adapté pour mesurer la hauteur et la vitesse de l'eau, variables qui permettent d'estimer le débit par la résolution des équations hydrauliques. Une sonde acoustique ISCO (Figure 2.2) installée dans les avaloirs et les collecteurs de sortie de drain collige en continue les observations aux 15 minutes. Cette sonde a un dispositif électronique d'enregistrement de données qui s'alimente par une source d'électricité provenant d'une batterie de 12V et un panneau solaire installé sur le bord des fossés de drainage. Le dispositif comporte au total huit sondes acoustiques réparties aux quatre sorties d'avaloirs et aux quatre sorties de drains (Tableau 2.1). Les champs sont divisés en champs témoins et interventions afin de comparer et isoler les effets de changement de pratiques agricoles sur la condition physique des sols et leur réponse hydrologique. Ainsi, les champs interventions accueilleront des pratiques culturales modifiées telles que décrites dans la prochaine section.



**Figure 2.1 : Localisation des champs à l'étude dans la région du bassin Pot-au-Beurre**



Figure 2.2 : Sonde ISCO à la sortie d'un drain et station d'alimentation en énergie dans Pot-au-Beurre

Tableau 2.1 : Inventaire et description des champs/parcelles à l'étude dans Pot-au-Beurre

Municipalité	Champ	Type de sol	Localisation	Équipement
Ste-Victoire de Sorel (rang sud)	Témoïn	limono-argileux	Drain	Sonde Acoustique ISCO
		limono-argileux	Avaloir	Sonde Acoustique ISCO
	Intervention	limono-argileux	Drain	Sonde Acoustique ISCO
		limono-argileux	Avaloir	Sonde Acoustique ISCO
St-Robert (rang Bellevue)	Témoïn	sablonneux	Drain	Sonde Acoustique ISCO
		sablonneux	Avaloir	Sonde Acoustique ISCO
	Intervention	sablonneux	Drain	Sonde Acoustique ISCO
		sablonneux	Avaloir	Sonde Acoustique ISCO

### 2.1.2 Suivi agronomique et conditions physiques des sols des parcelles

Les quatre champs suivis hydrologiquement sont aussi suivis sur le plan agronomique. Les deux champs adjacents intervention et témoïn sur le rang Bellevue à Saint-Robert ont des sols de texture sablonneuse, alors que les deux autres à proximité sur le rang Sud à Sainte-Victoire-de-Sorel sont de texture limono-argileuse (Tableau 2.1). Ces parcelles étaient cultivées avec des engrais verts, du soya et du maïs grain pour la saison 2021 (Tableau 2.2). En post-récolte à l'automne 2021, la caractérisation de la masse volumique apparente le long de profils de sol des champs du rang Sud a été réalisée. Les profils de sols ont été échantillonnés à partir de carottes prélevées avec une sonde Giddings suivant trois transects de 20 m orientés de façon transversale par rapport à la longueur de chacun des champs (Figure 2.3). Les champs du rang Bellevue n'ont pu être échantillonnés, les premiers essais

ayant démontré que la texture était trop sablonneuse pour obtenir des carottes non friables. En tout, cinq profils de sol espacés de 5 m et de 60 cm de profondeur (6 échantillons de 10 cm) ont été réalisés le long des trois transects. Un portrait de la résistance à la pénétration de la surface jusqu'à 1m de profondeur a aussi été réalisé simultanément à l'aide d'une sonde Veris sur des transects parallèles, à raison de 21 mesures (espacement de 1m) par transect.

**Tableau 2.2 : Caractéristiques des parcelles à l'étude dans la région de Pot-au-Beurre.**

Municipalité	Traitement	Type de sol	Culture 2021	Ferme	Propriétaire
Ste-Victoire de Sorel (rang sud)	Témoin	limono-argileux	Engrais vert	Ferme des Trèfles	Martin Cournoyer
	Intervention	limono-argileux	Soya	Ferme Caplette INC	Dominique Caplette
St-Robert (rang Bellevue)	Témoin	sablonneux	Soya	Céréales Bellevue	Paul Caplette
	Intervention	sablonneux	Maïs grain	Ferme Caplette INC	Dominique Caplette



**Figure 2.3 : Prélèvement de carottes de sol au Giddings.**

Les régies de cultures prévues par les agriculteurs partenaires au projet sur les champs intervention est telle que suit :

### **Pour le champ du Rang Sud**

#### Saison 2022 :

- Déchaumage printanier et semis de maïs avec culture secondaire intercalaire;
- Aucun travail du sol à l'automne

#### Saison 2023 :

- Semis direct et/ou déchaumage printanier avec culture secondaire intercalaire;
- Aucun travail du sol à l'automne

### **Pour le champ du Bellevue**

#### Saison 2022 :

- Déchaumage printanier et semis de soja suivi d'un semis de blé d'automne

#### Saison 2023 :

- Implantation printanière de culture secondaire intercalaire;
- Aucun travail du sol à l'automne

## **2.2 SAINT-GERMAIN**

Trois stations hydrométriques ont été installées sur la rivière Saint-Germain (Figure 1.1) et ses affluents (Berry, et Brébeuf) à la fin mars 2021. Les protocoles et dispositifs utilisés décrits ci-dessous sont spécifiquement adaptés pour les mesures de hauteur d'eau et le calcul des débits. Les mesures de conductivité électrique permettent aussi de différencier les écoulements lents (souterrain) vs les écoulements rapides (ruissellement) selon la charge minérale (conductivité) des eaux. Les tableaux 2.3 et 2.4 colligent l'information relative à l'instrumentation des trois stations, de leur entretien et emplacement. Sur la carte de la figure 1.1, deux autres stations opérées par la Direction de l'Expertise Hydrique (DEH) du MELCC sont localisées, soit les stations St-Germain (DEH) et St-Germain-historique (DEH-hist-station fermée en juillet 2014). Ces stations nous sont utiles pour déclencher les sorties sur le terrain ainsi que fournir de longues séries de données hydrométriques nécessaires à l'optimisation du modèle hydrologique.

**Table 2.3 : Description des instruments en place à chaque station hydrométrique.**

Équipements de mesure	Pas de temps	Paramètres mesurés	Entretien requis
Sonde multi-paramétrique (YSI).	15 minutes	Turbidité, conductivité électrique, température	Calibration (Annuellement) Changement de batterie (au 3 mois) Nettoyage sondes (au 3 mois) Entretien cours d'eau (au 3 mois)
Sondes barométriques (HOBO) (1 hors cours d'eau pour les trois stations).	15 minutes	Hauteur de la colonne d'eau par différence de pression atmosphérique	Pas d'entretien nécessaire

**Table 2.4 : Localisation et coordonnées des stations instrumentées sur la rivière Saint-Germain en 2021.**

Nom de la station (Code Irda)	Coordonnées géographiques (NAD 83)	Période de mesures prévues
Saint-Germain (#17_STG)	LAT : 45.85318 LONG : -72.52811	24 mars 2021 à mars 2024
Brebeuf (#17_BRE)	LAT : 45.81011 LONG : -72.53536	24 mars 2021 à mars 2024
Berry (#17_BER)	LAT : 45.81856 LONG : -72.55745	24 mars 2021 à mars 2024

Plus spécifiquement les sondes barométriques de type HOBO permettent de calculer la hauteur d'eau. Les pressions atmosphériques mesurées par chaque sonde l'une au fond du cours d'eau et l'autre à l'air libre sont soustraites pour donner la hauteur d'eau. Ces informations sont complétées par des mesures ponctuelles de débit (jaugeage) prises lors des visites régulières sur le terrain (Figure 2.4a et d). Chaque jaugeage est effectué avec un minimum de 10 observations réparties uniformément le long de la section du cours d'eau. Les mesures de débits instantanés obtenues par le moulinet hydrologique permettent d'établir la courbe de tarage servant au calcul de débit en continu. Idéalement, huit jaugeages en ciblant les débits les plus élevés ainsi que les plus faibles sur l'année sont visés pour établir la courbe de tarage et calculer les hauteurs d'eau en débits 15 minutes.



**Figure 2.4 : Installation et entretien des stations hydrologiques dans le bassin versant de la rivière Saint-Germain. a) sonde à pression-b) sonde multi-paramétrique YSI, c) entretien de la sonde YSI, et d) opération de jaugeage.**

Les sondes multiparamétriques YSI (Figure 2.4b et c) sont complètement immergées et protégées par un cylindre en acier perforé. Le dispositif est installé au centre du cours d'eau. Cette sonde mesure les signaux géochimiques en continu dont la conductivité électrique, de même que la turbidité à l'aide d'un capteur optique. Le dispositif immergé de la sonde assure sa protection contre le gel ainsi que l'impact des glaces lors des redoux hivernaux et des crues printanières. Il permet ainsi de prendre des mesures pendant la période hivernale sans manquer l'épisode de fonte des neiges. La sonde fonctionne avec huit batteries AA qui lui donnent une autonomie d'environ trois mois.

À chaque visite d'entretien de la station par l'équipe de l'IRDA, un échantillon d'eau est prélevé et rapporté en laboratoire pour l'analyse de conductivité et turbidité afin de calibrer les sondes installées. La station hydrométrique sur la Saint-Germain du MELCC (DEH-030299<sup>1</sup>) sert à observer la montée de l'hydrogramme et à mieux cibler les événements pour prendre une mesure de débit.

---

<sup>1</sup> <https://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=030299>

## 3 SUIVI DES MESURES 2021

---

### 3.1 POT-AU-BEURRE

#### 3.1.1 Suivi hydrométrique

L'acquisition en continu des données de vitesse et d'hauteur d'eau est en cours depuis l'instrumentation à l'automne 2021. Le traitement des données d'écoulement aux sorties de drains et d'avaloir n'a toutefois pas encore été réalisé. Une sortie terrain effectuée dans la semaine de 18 mars 2022 a permis de vérifier le bon fonctionnement de l'instrumentation, et ainsi permettre le juste suivi de l'épisode de fonte printanière. Des échantillons récoltés aux drains et avaloirs des champs du rang Sud ont été envoyés au Laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA pour des analyses de qualité de l'eau (matières en suspension, azote, phosphore). Une seconde sortie effectuée le 29 mars 2022 a permis d'échantillonner drains et avaloirs.

#### 3.1.2 Analyse des sols

À l'automne 2021, les échantillons de sol ont été pesés, séchés pendant 48h00 et repesés une seconde fois pour obtenir les Masses Volumiques Apparentes (MVA). Une balance calibrée a été utilisée lors des pesées. Le séchage s'est fait à sec à une température de 105 C dans l'étuve de l'IRDA. Les résultats des MVAs sont disponibles en annexe A pour les champs limono-argileux du rang Sud.

### 3.2 SAINT-GERMAIN

#### 3.2.1 Suivi hydrométrique et évaluation du débit

En 2021, quatre sorties terrains ont été assurées par l'équipe de l'IRDA tout au long de l'année pour le jaugeage des débits et la prise d'échantillon d'eau. Malgré le nombre de sorties terrains réduits, les quatre jaugeages effectués les 23 mars, 22 avril, 15 juillet, et 23 novembre ont néanmoins permis d'établir des courbes de tarage préliminaires (Figure 3.1) pour chacune des trois stations afin de calculer les débits (Figure 3.2) pour la période en date du dernier dépouillement. Le contexte de pénurie de main d'œuvre en 2021 a rendu impossible le recrutement d'étudiants pour compléter le jaugeage et l'échantillonnage prévue initialement au nombre de huit. Les courbes de tarages et les débits issus de celles-ci doivent être considérés préliminaires et devront être ajustés avec les jaugeages de 2022.

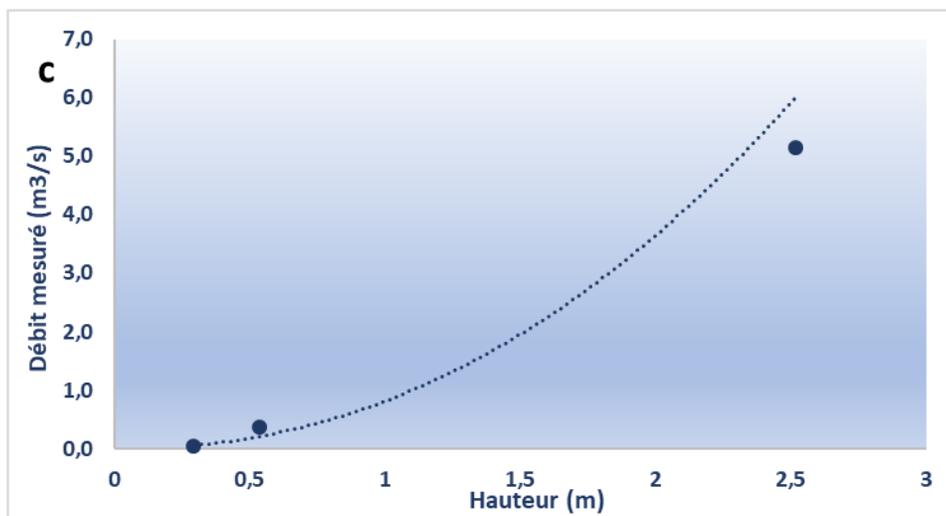
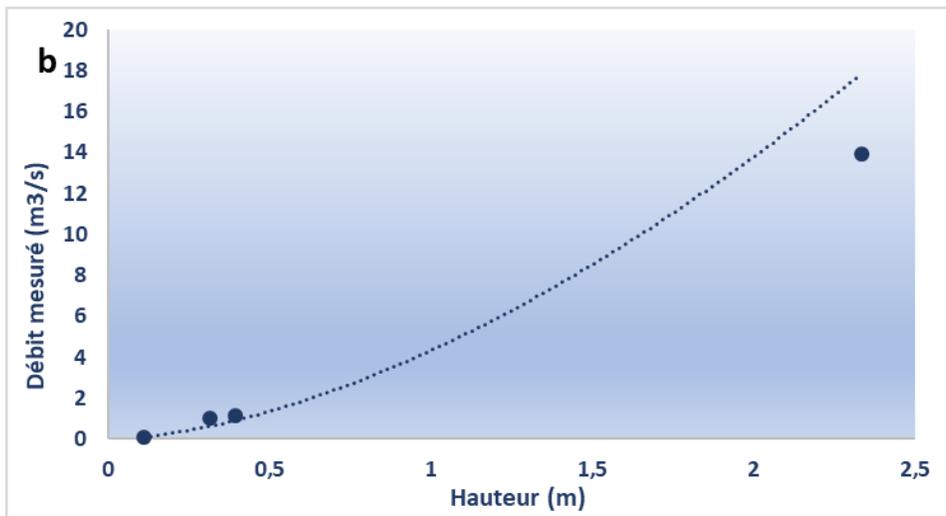
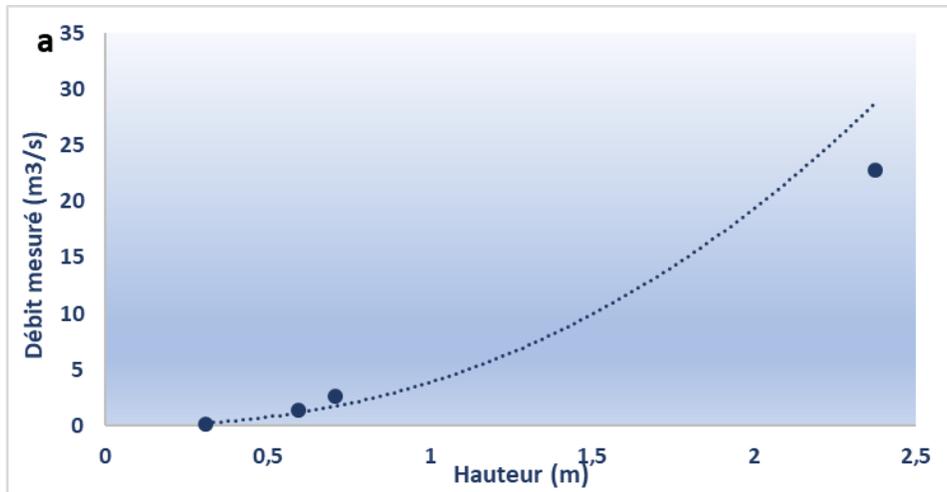
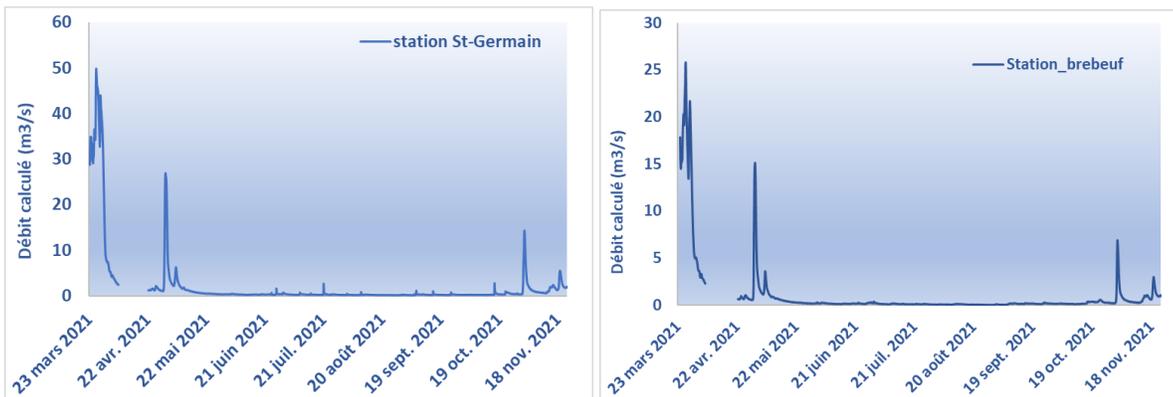
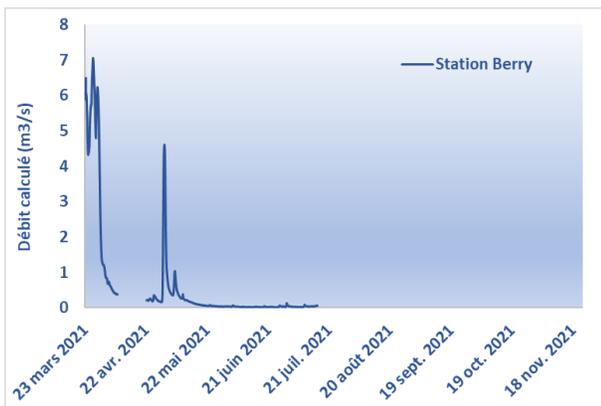


Figure 3.1 Courbes de tarage selon les dernières mis à jour aux stations (a) St-Germain, (b) Brébeuf, (c) Berry

Les figures 3.2 et 3.3 ci-dessous illustrent la série des débits observés aux 15 minutes aux stations pour la période d'étude en date du dernier dépouillement. Sans surprise, les débits calculés les plus élevés observés sont associés à la période printanière hâtive en mars 2021, alors que la fonte du couvert de neige et les précipitations sur des sols saturés en eau favorisent l'émission du ruissellement. L'été 2021 plutôt sec a influencé l'état des cours d'eau pris avec de très faibles débits de la fin mai à la mi-octobre. En avril 2021, les sondes hors de l'eau n'ont pu enregistrer les données, expliquant le trou d'environ deux semaines couvrant cette période. La comparaison des trois hydrogrammes mets en avant la différence des débits aux trois stations. Berry petit affluent en amont compte pour 1/5 des débits enregistrés à la station sur la rivière Saint-Germain, alors que les débits de l'affluent Brébeuf comptent pour au moins la moitié.



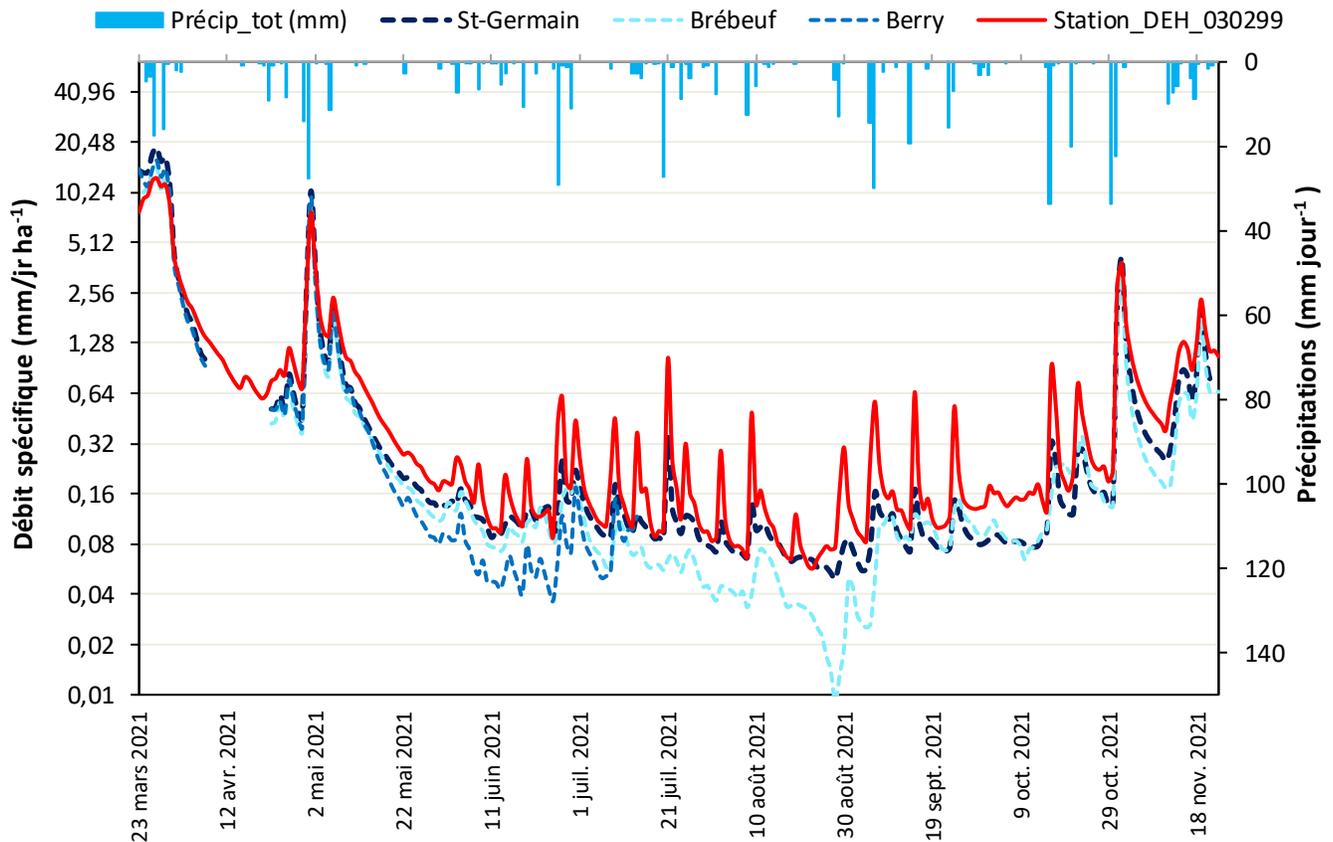
**Figure 3.2 Débits calculés à la station Berry**



**Figure 3.3 Débits calculés à la station St-Germain et Brébeuf**

La figure 3.4 montre les lames d'eau journalières exportées aux trois stations en lien avec les précipitations journalières mesurées à la station météo 7022160 du MELCC localisée à Drummondville. Le débit à la station hydrométrique 030299 du MELCC est présenté comme comparatif. Curieusement les débits printaniers aux trois stations instrumentées par l'IRDA sont au-dessus de ceux de la station de la DEH malgré leur position plus en

amont dans le bassin et la dimension plus petite des bassins Berry et Brébeuf. L'inverse est observé avec des débits un peu plus élevés à la station DEH à l'embouche en été. La mise à jour des courbes de tarage 2022 nous permettra de mieux analyser et comprendre ces différences. Les pics printaniers de mars 2021 sont de 5, 15 et 33 m<sup>3</sup>/s pour les stations Berry, Brébeuf et Saint-Germain respectivement. Le cumule des lames d'eau exportées de chacun de ces bassins au mois de mars équivaut à 107, 55 et 125 mm/j. En période estivale les débits spécifiques moyens se situent autour de 0.4 m<sup>3</sup>/s à la station Berry, entre 0.6 et 0.17 m<sup>3</sup>/s à la station Brébeuf et entre 0.18 et 0.31 m<sup>3</sup>/s à la station Saint-Germain. L'équivalence en lame d'eau exportée pour les mois de juin, juillet et août sont respectivement de 3.33 mm/j, 6.80 mm/j et 9.78 mm/j.



**Figure 3.4 Lames d'eau journalières exportées aux stations hydrométriques et précipitations.**

Finalement, le tableau 3.1 présente les résultats préliminaires du bilan des hauteurs d'eau exportées pour la période d'étude enregistrée en continu avec les HOBO. Les hauteurs d'eau totales annuelles moyennes exportées sont de 798, 378 et 238 mm/an aux stations Saint-Germain, Brébeuf et Berry respectivement.

**Table 3.1 : Bilan des hauteurs d'eau exportées.**

Nom du bassin	Superficie du sous-bassin (ha)	Durée du suivi (jr)	Volume d'eau annualisé (m3)	Hauteur d'eau annualisée (mm/an)
St-Germain	1 224	232	164 546 633	798
Brébeuf	12 955	230	49 022 606	378
Berry	3 679	102	8 742 700	238

### 3.2.2 Séparation de l'hydrogramme et flux de sédiments

#### Suivi géochimique en continu et ponctuel

La mesure en continu, selon un intervalle de 15 minutes, de la conductivité électrique et de la turbidité au moyen de la sonde multi-paramètres permet de témoigner des processus hydrologiques à l'œuvre dans le cours d'eau.

Le signal de conductivité permet de séparer les écoulements lents souterrains des écoulements rapides de ruissellement de surface et drainage qui permettront, entre autres, d'optimiser le modèle hydrologique selon un bilan hydrologique cohérent et comprendre le cheminement de l'eau du sol dans le bassin. Le signal de turbidité permet de quantifier le flux de sédiments et d'interpréter les cycles de sédimentation et de re-suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Les mesures de turbidité sont traduites en concentrations de matières en suspension (MES) suivant une calibration avec les dosages effectués en laboratoire sur les échantillons prélevés ponctuellement lors des visites d'entretien des sondes. L'annexe B présente les analyses de laboratoire des échantillons.

Les figures 3.5 à 3.7 montrent les résultats du suivi de la qualité de l'eau, données mesurées par les sondes et par les résultats des dosages en laboratoire pour chacune des stations. Il est possible d'apprécier les variations de turbidité et de conductivité électrique de l'eau en fonction du temps, dont les baisses de conductivité et de hausses de turbidité relativement synchrones. Ces observations mettent en évidence le principe que l'eau qui s'infiltre dans le sol se charge en éléments minéraux et développe alors une conductivité électrique plus élevée que l'eau qui a rejoint rapidement le cours d'eau par ruissellement de surface. Les graphiques de turbidité mettent en évidence le fort effet de la période de ressuyage de sol après la fonte de neige au printemps.

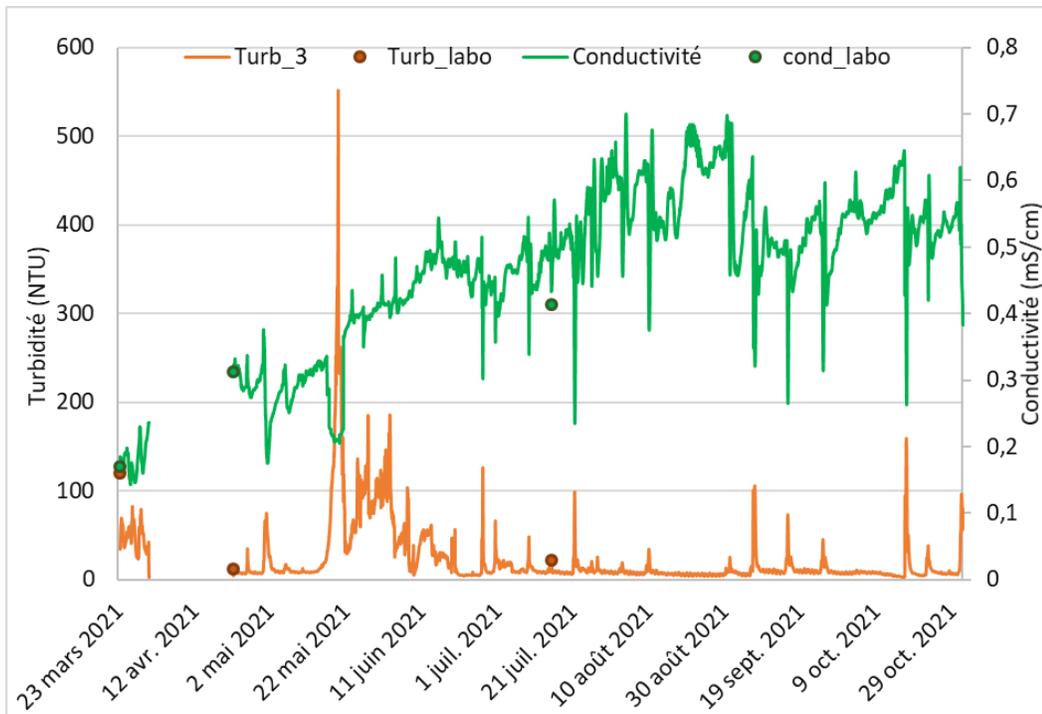


Figure 3.5 Données de turbidité et conductivité électrique à la station Saint-Germain.

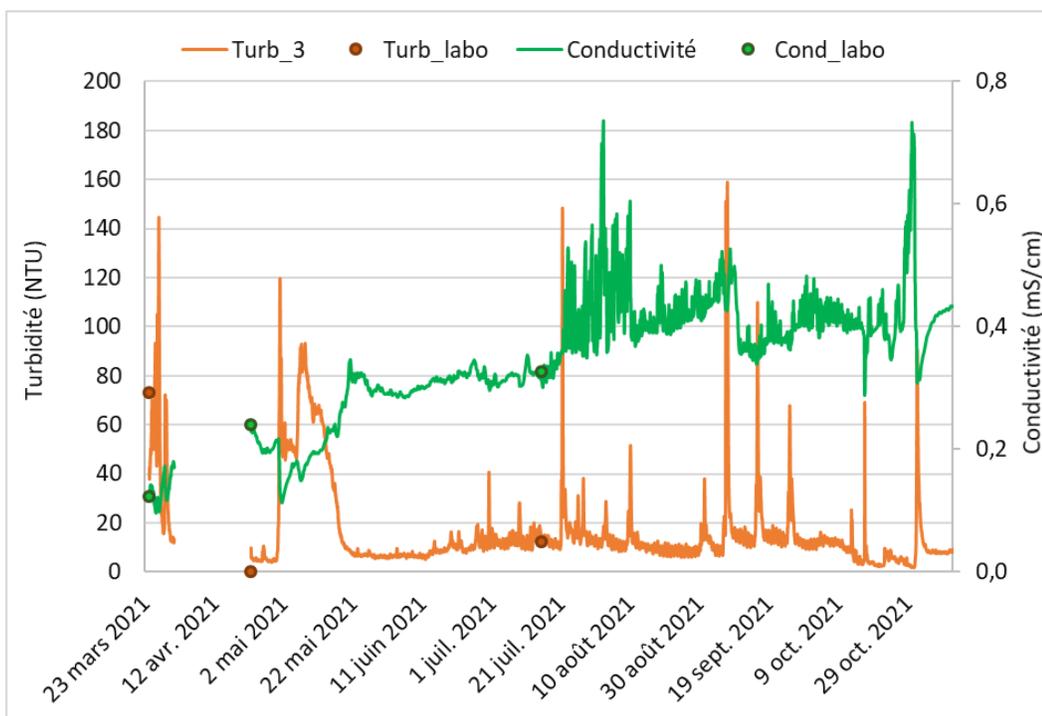


Figure 3.6 Données de turbidité et conductivité électrique à la station Brébeuf.

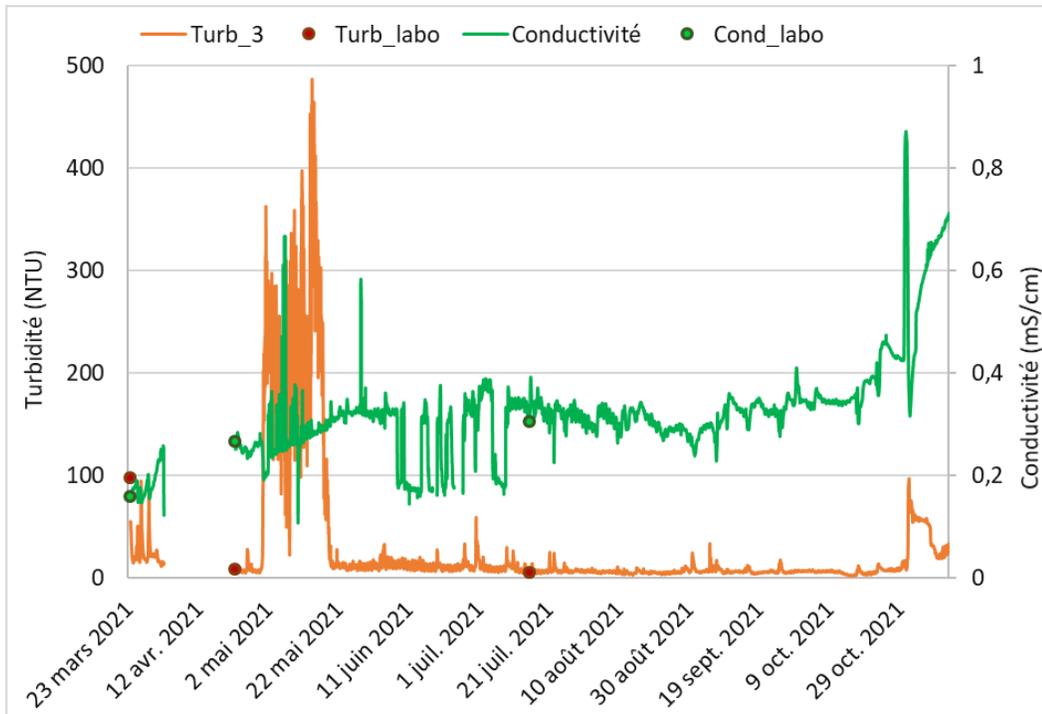


Figure 3.7 Données de turbidité et conductivité électrique à la station Berry.

## 4 MODÉLISATION

Les bassins de la rivière Pot-au-Beurre et de la rivière Saint-Germain sont situés dans les régions de la Montérégie et du Centre-du-Québec respectivement à 31 km environ l'un de l'autre. Tous deux fortement agricoles, ils se différencient principalement par leur taille soit 272.6 km<sup>2</sup> pour Saint-Germain et 20 km<sup>2</sup> pour Pot-au-Beurre (Figure 1.1). En plus des mesures colligées actuellement dans le projet, les deux bassins ont été instrumentés historiquement et détiennent des séries hydrométriques et de qualité d'eau permettant de caler et valider le modèle hydrologique SWAT-MAC (SWAT-Macropore - Poon et al., 2021 ; Soil and Water Assessment Tool - Arnold et al., 1998).

### 4.1 DESCRIPTION DU MODÈLE SWAT

Le modèle SWAT constitue aujourd'hui un outil bien intégré sur le plan agronomique et hydrologique. Il est largement utilisé en Amérique du Nord et en Europe pour prédire les transferts diffus de sédiments, de nutriments et de pesticides des parcelles agricoles vers les cours d'eau. C'est un modèle déterministe semi distribué permettant de simuler la réponse hydrologique et l'évolution de la qualité de l'eau d'un bassin versant sur de longues périodes en fonction de scénarios d'occupation du sol, de pratiques agricoles, et/ou de changements climatiques.

Le modèle SWAT emprunte les bases conceptuelles de différents outils de modélisation agro-environnementale développés antérieurement, notamment les modèles :

- SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Bassins) conçu par Williams et al. (1985);
- EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator) développé par Williams et al., (1984) ;
- CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems), développé par Knisel (1980);
- GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems), créé par Leonard et al. (1987).

Ces modèles, et donc SWAT, ont été développés aux États-Unis pour des conditions climatiques et agroenvironnementales différentes du Québec. Plusieurs applications précédentes en Montérégie (Deslandes et al., 2006; Michaud et al., 2007; Gombault et al. 2015) ont mis en relief la difficulté de SWAT à représenter la séparation des écoulements de surface versus des écoulements souterrains, avec une surestimation du ruissellement de surface, et trop peu d'eau dans les drains et le souterrain. Une version modifiée de SWAT (version 2009), appelé SWAT-MAC (pour macropore) a ainsi été développée par Poon (2013) en collaboration avec l'IRDA pour assurer une meilleure représentation de l'hydrologie du parcellaire agricole spécifique au Québec. SWAT-MAC reproduit cette spécificité où le parcellaire agricole est dominé par des écoulements souterrains via les écoulements préférentiels des macropores du sol et les systèmes de drainage artificiel (Poon, 2021). La description détaillée des fondements théoriques et des algorithmes de modélisation des modules hydrologiques

de SWAT-MAC est disponible dans le mémoire de Poon (2013) disponible en ligne et son dernier article (Poon, 2021).

Plus spécifiquement, SWAT et SWAT-MAC, simulent la réponse hydrologique d'un bassin versant selon deux phases : la phase terrestre et la phase aquatique. Le territoire est divisé en unités de réponse hydrologique (URH) homogènes qui constituent la base des calculs de la phase terrestre. Ces URHs sont issues de la combinaison unique de propriétés géophysiques et d'utilisation du sol à l'intérieur d'un sous-bassin. L'activité hydrologique modélisée au sein de chacune des URHs est cumulée à l'échelle du sous-bassin versant. La phase terrestre reproduit et simule donc de façon continue et journalière les bilans hydrologiques, l'évolution des stocks terrestres de nutriments, la croissance et les prélèvements des plantes, ainsi que les transferts d'eau, de sédiments et nutriments vers le réseau hydrographique pour chacune de ces URHs. La phase terrestre est aussi tributaire des conditions climatiques et de la gestion du parcellaire. Dans la phase aquatique du modèle, les exportations d'eau, de sédiments et de nutriments en provenance des sous-bassins et URH sont prises en charge par diverses routines qui simulent les processus de transport, de déposition et de re-suspension des sédiments, de transformation des nutriments ainsi que d'érosion des berges.

Dans SWAT, le cycle de l'eau est reproduit journalièrement de manière simplifiée pour chacune des URHs selon l'équation 1. Les précipitations et la fonte de neige sont d'abord séparées entre ruissellement et infiltration à l'aide de la méthode du numéro de courbe du Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1972). Cette méthode attribue un numéro de courbe (CN) à chacune des URHs selon le groupe hydrologique du sol, l'utilisation du sol ainsi que les pratiques agricoles. Les numéros de courbe sont ensuite ajustés journalièrement en fonction du CN de la journée précédente et du contenu en eau du sol. Les routines développées par Poon et al. 2021 permettent ensuite de différencier les écoulements matriciels des écoulements préférentiels du sol en fonction de leurs propriétés physiques et la connectivité de la matrice du sol avec les macropores. L'eau s'écoulant par les macropores (écoulement préférentiel) rejoint les drains et les cours d'eau. L'eau qui s'infiltré ensuite par écoulement matriciel percole d'une couche à l'autre lorsque la capacité au champ de la couche est atteinte, pour atteindre l'aquifère peu profond et possiblement, l'aquifère profond. Les cours d'eau sont ensuite alimentés par l'aquifère peu profond et les sols. Seul l'eau dans le sol est disponible pour répondre aux besoins des plantes. L'accumulation d'unités de chaleur ainsi que les besoins/prélèvements en eau, en azote et en phosphore régissent la croissance de ces dernières. SWAT modélise également l'évapotranspiration du sol et des plantes.

$$SW_t = SW + \sum_{t=1}^t (R - Q - ET - P - Qr) \quad (1)$$

où:

SW<sub>t</sub> est le contenu final en eau disponible pour les plantes dans le sol (mm);

SW est le contenu en eau disponible pour les plantes (mm);

R est la pluviométrie (mm);

Q est le ruissellement (mm);

Et est l'évapotranspiration (mm);

P est la percolation (mm);

Qr est l'écoulement restitué du sol ou de l'aquifère peu profond (mm);

t est la durée en jours.

L'émission et le transport des sédiments sont estimés avec l'équation universelle de perte de sol modifiée (MUSLE; Williams, 1975) (équation 2).

$$MUSLE = 11.8 (Q_{surf} \times q_{max} \times SUP_{URH})^{0.56} \times K_{usle} \times C_{usle} \times LS_{usle} \times CFRG$$

où:

$Q_{surf}$  est le ruissellement (mm ha-1);

$q_{max}$  est le débit de pointe (m<sup>3</sup> s-1);

$SUP_{URH}$  est l'aire de l'URH modélisée (ha);

$K_{USLE}$  est le facteur d'érodabilité du sol (0.013 tonne m<sup>2</sup> h (m<sup>3</sup> tonne cm) -1);

$C_{USLE}$  est le facteur de couverture végétale du sol (--);

$LS_{USLE}$  est le facteur topographique impliquant la pente et la longueur de pente (--);

$CFRG$  est le facteur de teneur en fragments rocheux (--).

Ces facteurs sont dérivés des banques données en entrée aux modèles décrites dans la section ci-dessous.

## 4.2 MÉTHODOLOGIE SOMMAIRE DE LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET CLIMATIQUE

Les étapes de modélisation des bassins versants à l'étude avec SWAT-MAC suivent un processus de modélisation hydrologique classique, soit :

- la mise en œuvre du modèle,
- l'optimisation du modèle pour l'adapter aux conditions bio-géo-climatiques du lieu,
- et la simulation de scénarios conçus pour répondre aux problématiques ciblées.

Les scénarios en intrant au modèle seront de trois types : ceux reproduisant l'altération ou l'amélioration des conditions physiques du sol en cohérence avec les opérations agricoles, ceux reproduisant un ensemble de climats futurs, et ceux combinant les deux types. L'optimisation du modèle fait référence au calage et à la validation du modèle en faisant varier des paramètres permettant d'ajuster les sorties hydrologiques du modèle aux hydrogrammes et sédimentogrammes observés, le plus réalistement possible. Et, la mise en œuvre permet de mettre en place les modèles en reconstituant les caractéristiques géophysiques des bassins.

#### 4.2.1 Mise en œuvre et données d'entrée

Les données en intrants et leur utilisation pour la mise en œuvre du modèle ont été colligées dans des systèmes d'information géographique propre aux deux bassins à l'étude et sont décrites dans le tableau ci-dessous 4.1.

**Table 4.1 : Données d'entrées et leurs utilisations pour la mise en œuvre des modèles SWAT-MAC**

Données	Sources	Utilisation
MNT issue des données Lidar (résolution 1 m). Le bassin de la Saint-Germain étant beaucoup plus grand, la résolution spatiale a été réduite à 20 m pour produire un résultat plus lisse, rapide et conséquent avec la taille du bassin.	Forêt ouverte (MFFP, 2021)	Permet de délimiter les bassins, sous-bassins et les indices topographiques pour les calculs d'érosion avec le module ArcSWAT.
Réseau hydrologique	GRHQ (MERN, 2016)	Permet de forcer le modèle lors de la délimitation des bassins et sous-bassins dans le module ArcSWAT.
Carte pédologique Propriétés des sols physico-chimiques (BHP, BDS, Inventaire des sols de 1990)	Irda, (2021)	Permet la création des URHs, unités hydrologiques uniques dans chaque sous-bassin, à la base des calculs de SWAT (Intersection des couches).
Carte matricielle de l'occupation du sol	Inventaire écoforestiers (MFFP, 2021) BDPPAD (FADQ, 2003-2021) Milieux Humides détaillés (Canards Illimités Canada, 2021) AQreseau- route (MERN, 2015)	
Données météorologiques (Précipitation, températures minimales et maximales journalières)	CaPA (2021) – précipitations Grille interpolée du MELCC - température	À la base de toutes les équations du modèle. Fournit l'énergie aux simulations (section 4.1)
Scénarios de régies des systèmes cultureux représentatifs	Guide fertilisation, CRAAQ Comités aviseurs	Permet d'optimiser les modèles selon une représentation réaliste des activités agricoles sur le bassin (Apports en nutriment, travaux aux champs, rotation, récolte, pratiques bénéfiques, etc.) aillant un impact sur la réponse hydrologique.

Débits journaliers	DEH (MELCC, 2021)	Permet d'ajuster les hydrogrammes simulés sur des mesures observées longues et historiques
Scénarios climatiques	Simulations régionales CORDEX (en réflexion).	Permettent de simuler les réponses hydrologiques selon des scénarios climatiques mises à l'échelle régionale.

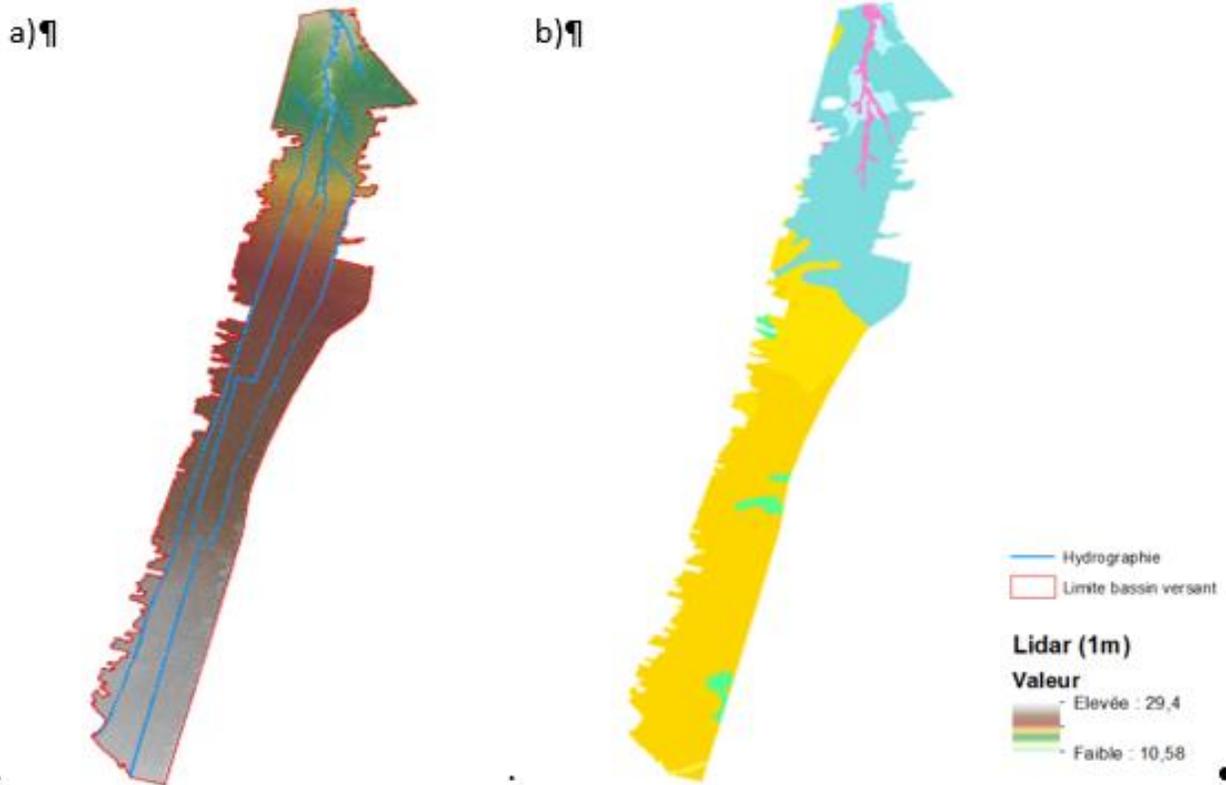
La figure ci-dessous 4.1 brosse le portrait préliminaire du bassin versant de la petite rivière Pot-au-Beurre en présentant le relief, l'occupation du sol et la couverture pédologique intégrée au modèle SWAT pour créer les unités de réponses hydrologiques (URH).

Le relief du bassin est relativement faible avec un dénivelé maximum d'une vingtaine de mètres, des élévations qui varient entre 10 et 30 m et une pente moyenne de 0.66%. Les sols sont plutôt de type argileux sur la partie nord du bassin et sableux sur la partie sud, mais avec plus de 99% des sols appartenant au groupe hydrologique C. Ce groupe de sols est caractérisé par un taux d'infiltration lent, possédant une couche qui empêche le mouvement de l'eau vers le bas ou ayant typiquement une texture très fine. Ces sols présentent une conductivité hydraulique lente et ils sont associés à un potentiel modérément élevé de ruissellement, et un potentiel de drainage plutôt faible. Historiquement, 63 % du bassin est cultivé en monoculture sous maïs, le reste du bassin se divisant entre le foin/pâturage et le soja (Tableau 4.2). En 2020, le portrait cultural a sensiblement changé avec une croissance de la culture de soja (Figure 4.1, d).

**Table 4.2 : Occupation du sol représentative du bassin de la petite rivière Pot-au-Beurre dérivée des données de la BDPPAD.**

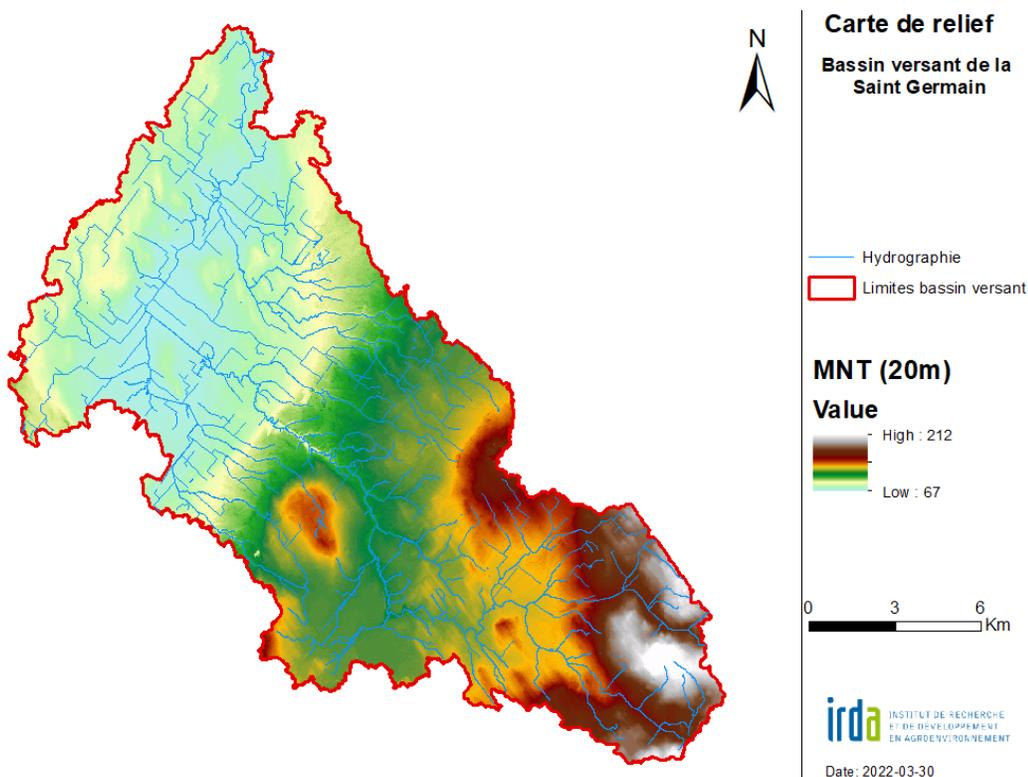
Occupation	Pot au beurre	
	ha	%
Céréales	50.2	2.5
Eau	0.2	0.01
Foin/Pâturage	330.1	16.5
Forêt	50.7	2.5
Mais	1270.8	63.4
Maraicher	25.4	1.3
Route	17.6	0.9
Soya	261	13.01
<b>Total</b>	<b>2005.8</b>	<b>100</b>

Figure 4.1 : Relief (a), Carte des sols b) et d'occupation des sols 2003 c) et 2020 d) du bassin de la petite rivière Pot-au-Beurre. Les codes couleurs de la carte des sols va ainsi : bleu : loam argileux; jaune loam sableux, vert loam limoneux, rose : ravin.

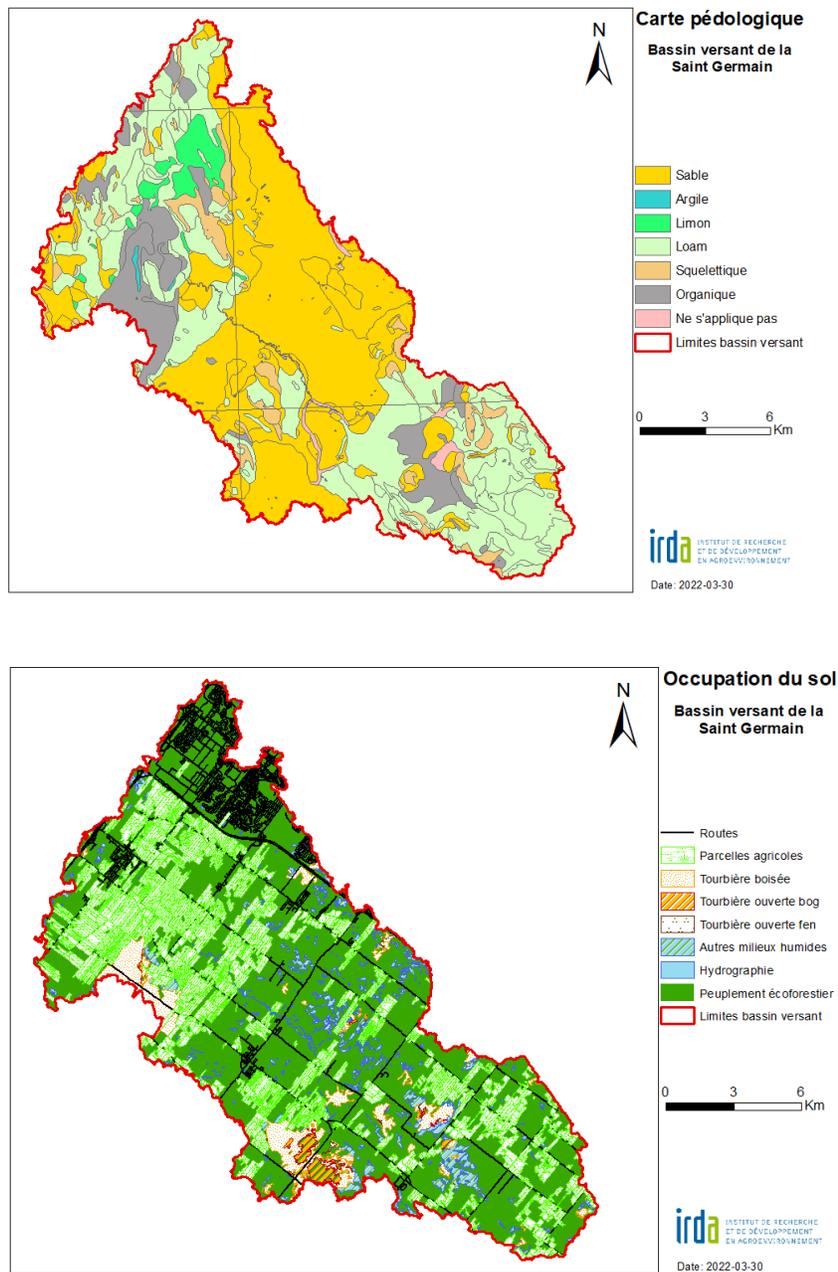


Les figures 4.2 et 4.3 brossent quant à elles le portrait préliminaire de la rivière Saint- Germain. Le bassin est en position un peu plus élevé que celui de Pot-au-Beurre avec des altitudes variant entre 67 et 212 m pour un dénivelé de 145m. La portion amont en tête de bassin présente un relief plus vallonné qui graduellement s’aplanit en allant vers l’embouchure pour former une plaine. Les sols prépondérants sont de type sableux au centre du bassin et loameux en position élevée et tête de bassin et en position basse plus en aval. Il est aussi à noter la présence non négligeable de sol organiques et limoneux. Cette distribution qui au premier abord par la texture des sols laisse à penser à un bon drainage sur le bassin, n’explique pas les surplus d’eau lors de la fonte printanières évoqués par les acteurs locaux. Les données de drainage et groupe hydrologique nous permettrons ultérieurement de mieux comprendre les conditions des sols.

L’occupation du sol se divise à part plutôt égale entre l’occupation forestière et l’occupation agricole. La ville de Drummondville est située à l’embouchure du bassin. Plusieurs tourbières et milieux humides sont aussi présents en milieu forestier et tête de cours d’eau. L’activité agricole plus intensive se retrouve sans surprise sur les sols loameux et organique en aval du bassin mais aussi sur une moindre surface sur la portion amont. Quelques superficies sont aussi cultivées sur les sols sableux dans le sud du bassin en marge des tourbières.



**Figure 4.2 Relief du bassin de la rivière Saint-Germain**



**Figure 4.3 Carte des sols et de l'occupation des sols du bassin de la rivière Saint-Germain**

#### 4.2.2 Séries météorologiques

Les données météorologiques utilisées pour l'optimisation du modèle et les simulations ne sont pas encore complètement déterminées. La série CaPA (Canadian Précipitation Analyses) (Lespinas et al., 2015) disponible de 2000 à 2017 sur une grille de 10km\*10km, et les données interpolées sur une grille de même résolution du

MELCC pour les températures pourraient être utilisées en cohérence avec les autres bassins modélisés à l'IRDA. Les données d'environnement canada de la station météorologique de Drummondville peuvent aussi être considérée et sont disponibles à partir de 1913.

CaPA est un produit d'analyse des précipitations développé par le service météorologique du Canada. La méthodologie CaPA est basée sur l'assimilation de différentes sources de données telles que les prévisions du modèle de prévision météo numérique (Numerical Weather Prediction -NWP), les estimations ponctuelles des stations météorologiques et les mesures de précipitations provenant de données radar. Les données radar ne sont introduites comme source de données additionnelles qu'après l'année 2012. Les précipitations CaPA sont des précipitations totales, il n'y a pas de distinction entre les précipitations solides et liquides (Umuhire et al, 2021). Les données peuvent être téléchargée sur le dépôt Caspar à l'adresse suivante : <https://caspar-data.ca/caspar>

#### 4.2.3 Séries hydrométriques pour l'optimisation du modèle

**Tableau 4.3 : Séries hydrométriques disponibles pour la modélisation hydrologique des bassins Pot-au Beurre et Saint-Germain**

Nom et code de la station	Opérateur	Période (Débits journaliers)	Période (Séparation de l'hydrogramme journaliers)
<b>030262 (Saint-Germain historique)<sup>2</sup></b>	DEH (MELCC)	09-1996 à 07-2014 04-1972 à 05-1985	Pas de données
<b>030299 (Saint-Germain actuel)</b>	DEH (MELCC)	Données en temps réel	Pas de données
<b>SGT</b>	Irda	03-2021-03-2022	03-2021-03-2022
<b>BER</b>	Irda	03-2021-03-2022	03-2021-03-2022
<b>BRE</b>	Irda	03-2021-03-2022	03-2021-03-2022
<b>PAB</b>	Irda	06-2009 à 11-2014	06-2009 à 10-2011 01-2013 à 11-2014

#### 4.2.4 Scénarios climatiques

L'ensemble de simulations climatiques CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment; Mearns et al, 2017) est considéré pour l'analyse de la réponse hydrologique future. Cet ensemble consiste en neuf séries de simulations climatiques (précipitation et température journalière) couvrant les fenêtres 1970-

<sup>2</sup> [https://www.cehq.gouv.gc.ca/hydrometrie/historique\\_donnees/fiche\\_station.asp?NoStation=030262](https://www.cehq.gouv.gc.ca/hydrometrie/historique_donnees/fiche_station.asp?NoStation=030262)

1999 et 2040-2069. Ces neuf séries sont produites par une variété de modèles régionaux climatiques de résolution spatiale de 50 km / 50 km, forcés par différents modèles climatiques globaux et par le scénario de gaz à émission TRC 8.5, un scénario typiquement considéré pessimiste à l'horizon 2070. Le tableau suivant résume les caractéristiques de ces simulations.

**Table 4.4 : Caractéristiques des scénarios climatiques considérés pour l'étude**

ID	Modèle global du climat (GMC)	Modèle régional du climat (MRC)	Résolution	TRC	Référence période	Futur période
<b>Cr1</b>	CanESM2	CRCM5				
<b>Cr2</b>	CanESM2	CaRCM4				
<b>Cr3</b>	CanESM2	RCA4				
<b>Cr4</b>	EC-EARTH	HIRHAM5				
<b>Cr5</b>	EC-EARTH	RCA4				
<b>Cr6</b>	GFDL-ESM2M	RegCM4	50 x 50 km	8.5	1970-1999	2040-2069
<b>Cr7</b>	MPI-ESM-LR	CRCM5-UQAM				
<b>Cr8</b>	MPI-ESM-LR	RegCM4				
<b>Cr9</b>	MPI-ESM-LR	WRF				

TRC : trajectoire représentative de concentration

## 5 PLANIFICATION POUR L'ANNÉE 2022

### 5.1 TRAITEMENT DE DONNÉES

Pour les champs du bassin Pot-au-Beurre, les données hydrométriques et de qualité de l'eau seront dépouillées pour la série complète enregistrée. Des graphiques de hauteur d'eau seront compilés et le modèle FLUX sera utilisé pour obtenir des séries de données continues de qualité de l'eau. Ces données seront mises en relation avec les opérations agricoles, les systèmes de culture implantés et les données de MVA afin de mieux comprendre la réponse hydrologique par rapport à l'état des sols et des pratiques culturales. Elles permettront aussi de supporter la mise en place des scénarios de condition physique des sols dans le modèle SWAT-MAC. Les données Veris seront aussi traitées afin d'ajouter à l'analyse le portrait de la résistance des sols à la pénétration de la surface jusqu'à 1m de profondeur.

Pour le bassin de la Saint-Germain, les courbes de tarage seront mises à jour annuellement pendant la période d'étude et les hydrogrammes seront prolongés avec le reste des enregistrements 2022. La séparation des hydrogrammes sera aussi effectuée pour séparer les écoulements lents (souterrains) des écoulements rapides (ruissellement de surface + drainage). Les sedimentogrammes journaliers obtenus à partir des données de sondes YSI devront être conçus et analysés pour les trois stations. Ces données permettront de valider l'optimisation du modèle SWAT.

### 5.2 CAMPAGNES TERRAIN

#### 5.2.1 Pot-au-Beurre

Environ huit campagnes d'échantillonnage de l'eau (drains et avaloirs) seront réalisées en appui avec deux collaborateurs locaux. Au printemps, en plus du suivi de l'eau aux drains/avaloirs qui est déjà amorcé, un dispositif de suivi de la nappe (trois piézomètres par champs avec sonde acoustique HOBO) sera implanté. Pour compléter le portrait de la caractérisation initiale des sols (MVA), des cylindres seront prélevés dans les champs du rang Bellevue, selon le même dispositif de transects réalisé dans les deux champs du rang Sud. Les travaux sont prévus pour le mois de juin. À l'automne, le calendrier prévoit la récolte manuelle (3 rangs sur une longueur de 10 mètres) du maïs (champs du rang Sud), du soya (champs du rang Bellevue) et de la biomasse des cultures intercalaires, afin de faire le suivi des rendements des cultures.

#### 5.2.2 Saint-Germain

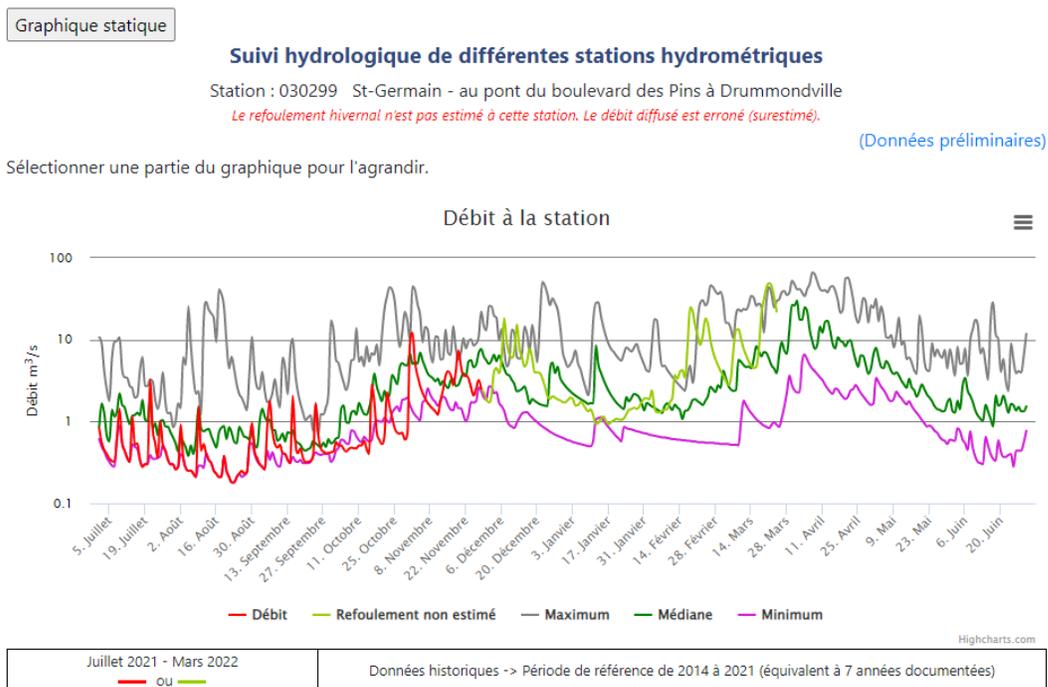
Environ 6 à 8 campagnes sont visées pour l'entretien des stations, l'échantillonnage de la qualité de l'eau (matières en suspension) et les jaugeages des rivières (courbe de tarage) en 2022 :

- 1<sup>ère</sup> sortie début avril pour le début-milieu de crue (ADCP - Université de Sherbrooke) – effectuée dimanche 27 mars 2022.

- 2<sup>ème</sup> sortie avec deux passages en fin de crue (ADCP - Université de Sherbrooke)
- 3<sup>ème</sup> sortie en mai-juin (ADCP et Flowtracker – Université de Sherbrooke et IRDA, pour la comparaison des instruments)
- 2 à 4 autres sorties selon les conditions météo à l'été et l'automne (Flow tracker - IRDA et ADCP à l'automne si prêt ou achat possible).

Le moulinet hydrologique en main à l'IRDA ne peut servir à enregistrer les hauteurs d'eau supérieures à 120mm. Or en date du 20 mars 2022, juste avant la crue, les débits enregistrés à la station 030299 du MELCC sont déjà supérieurs à 30 m<sup>3</sup>/s, et les hauteurs d'eau dépassait notre capacité de mesures. Historiquement, toujours selon le suivi fait par le MELCC à cette station, le débit maximum des 7 dernières années a atteint 66 m<sup>3</sup>/s vers la mi-avril (Figure 5.1).

En 2022, le prêt d'un ADCP par l'Université de Sherbrooke, partenaire au projet, nous permettra de prendre des mesures, nous le souhaitons, au plus haut de la crue. La première sortie de jaugeage pour 2022 est prévue autour de la première semaine d'avril. De plus, ces partenaires utiliseront les trois rivières pour un projet d'évaluation de débit par drone. La fréquence d'échantillonnage sera donc sensiblement augmentée. Les détails doivent encore être confirmés.



**Figure 5.1 Suivi hydrologique de la DEH à la station hydrologique 030299 juste à l'exutoire du bassin, nommée St-Germain-act sur la figure 1.1.**

## 5.3 MODÉLISATION

En modélisation, la plupart des données permettant la mise en œuvre des modèles ont été regroupées dans des SIG spécifiques aux bassins (Figure 5.2). La délimitation des bassins-versants de la petite rivière Pot-au-Beurre et de la rivière Saint-Germain est terminée. Les bassins seront prêts, après validation de l'occupation des sols et des scénarios de gestion, à être paramétrisés pour l'optimisation des modèles et pour les simulations de scénarios subséquentes. En 2022, il faudra donc :

- Paramétriser les propriétés physiques du sol dans SWAT-Mac pour chaque bassin
- Monter et valider les scénarios des régies agricoles
- Optimiser le modèle sur les données hydrologiques et de qualité de l'eau historique et actuel

Les simulations des scénarios d'amélioration ou détérioration de conditions physiques des sols ainsi que des changements climatiques seront certainement intégrés aux modèles en 2023.

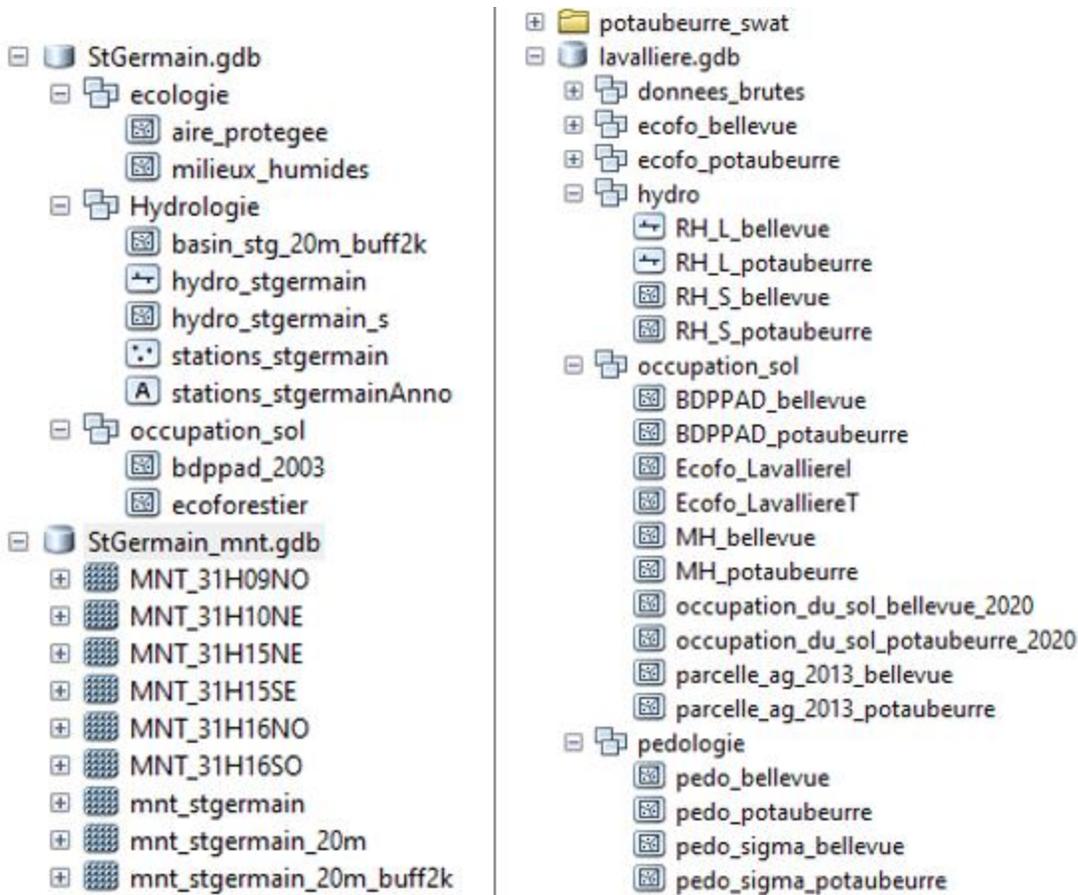


Figure 5.2 : Détails des systèmes d'information géographique pour la modélisation SWAT sur les bassins Saint-Germain et Pot-au-Beurre

## 5.4 SUIVI DE PROJET

Malgré quelques ajustements dus au manque de main d'œuvre, un échantillonnage restreint en 2021 et le changement de bassin du ruisseau Au Castor vers celui de la petite rivière Pot-au-Beurre, le projet se déroule relativement comme prévu.

### 5.4.1 Pot-au-Beurre

Le premier comité aviseur pour la région de la rivière Pot-au-Beurre est prévu pour le 7 avril 2022. Les invitations ont été lancées aux partenaires de projet de l'UPA Montérégie, au MAPAQ, à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), à quelques producteurs intéressés et à leurs agronomes de club. Un second comité est prévu en fin d'année.

#### 5.4.2 Saint-Germain

En 2022, un comité de travail restreint avec Mélanie Trudel de l'Université de Sherbrooke a eu lieu au premier trimestre afin de préparer la saison de terrain 2022 (Annexe C – Compte rendu). Deux comités de suivi incluant les producteurs sont aussi prévus au second et quatrième trimestre de l'année. Le premier comité aviseur est cédulé pour le 4 avril par téléconférence. Une vingtaine de personnes ont été invités représentant des secteurs variés soit les membres partenaires (cogesaf, usherbrooke, IRDA), l'UPA, les clubs conseils agricoles, le ministère de l'environnement, la ville et MRC de Drummondville, le MAPAQ, et un représentant agriculteur.

Si les deux comités le souhaitent la seconde rencontre de fin d'année pourrait être commune aux deux bassins.

## 6 RÉFÉRENCES

---

Biron, P., A.R. Michaud, W. Massey, N. Stämpfli, M. Niang, R. Lagacé, G. Martinelli. 2020. « Projet EPERLAB : Ensemble pour l'étude et la restauration de la rivière Boyer ». Université Concordia. 150 p.

Canards Illimités Canada. 2021. Assemblage de données milieux humides de la cartographie détaillée pour les secteurs habités du sud du Québec. (2009-2021). Accessible sur Données Québec.

DEH-MELCC. 2021. Historiques des données de la station hydrométrique de la rivière Saint-Germain. Station 030262.

[https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique\\_donnees/ListeStation.asp?regionhydro=03&Tri=Non](https://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/ListeStation.asp?regionhydro=03&Tri=Non)

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.

FADQ. 2003-2021. Base de données des parcelles et productions agricoles déclarées.

Gombault, C., M.-F. Sottile, F. F. Ngwa, C. A. Madramootoo, A. R. Michaud, I. Beaudin and M. Chikhaoui. 2015. « Modelling climate change impacts on the hydrology of an agricultural watershed in southern Québec ». *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*. Vol. 40, no. 1. 71-86.

Irda. 2021. Banque données hydro-pédologique.

Knisel, W.G. 1980. CREAMS, a field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. USDA Conservation Research Report. No 26. 643 p.

Leonard, R. A., Knisel, W. G., et Still, D.A. 1987. GLEAMS: Groundwater loading effects on agricultural management systems. *Trans. ASAE* 30 (5), pp 1403-1428.

Lespinas, F., Fortin, V., Roy, G., Rasmussen, P. et Stadnyk, T. 2015. Performance Evaluation of the Canadian Precipitation Analysis (CaPA). *Journal of hydrometeorology*. 16:5. 2045-2064.

Mearns, L.O, et al. 2017. The NA-Cordex dataset, version 1.0. NCAR Climate Data Gateway, Boulder, CO.

MERN, 2015. AQRéseau+. Données géospatiales du réseau routier du Québec. Accessible sur Données Québec.

MERN. 2016. Géobase du réseau hydrographique du Québec. Accessible sur Données Québec.

MFFP. 2021. Données géospatiales de l'inventaire ecoforestier. Forêt ouverte.

Michaud, A.R., I. Beaudin, J. Deslandes, F. Bonn et C. A. Madramootoo. 2007. 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.

Ouranos. (2018). Simulation et analyse du climat. Extrait de [http://www.ouranos.ca/en/scientific-program/climate-sci\\_ence/climatesimulations/default.php](http://www.ouranos.ca/en/scientific-program/climate-sci_ence/climatesimulations/default.php)

Poon, D. (2013). Re-Conceptualizing the SWAT to Better Predict Subsurface Water Flow through Macroporous Soils (Master's thesis).

[http://digitool.library.mcgill.ca/webclient/StreamGate?folder\\_id=0&dvs=1523834861472~686](http://digitool.library.mcgill.ca/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1523834861472~686)

Poon, D., Whalem, J. K., Michaud, A. R. 2021. Re-conceptualizing the Soil and Water Assessment Tool to Predict Subsurface Water Flow Through Macroporous Soils. *Frontiers in Water*. Volume 3.

Ricard, S., Lucas-Picher, P., Anctil, F. 2021. Producing hydrologic scenarios from raw climate model outputs using an asynchronous modelling framework. Submitted. HESS. DOI: 10.5194/hess-2021-451.

Simoneau, M. 2018. Qualité de l'eau des tributaires de la baie Missisquoi : évolution temporelle 1999-2017 et portrait récent 2015-2017. Version préliminaire. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 92 p. + 12 ann.

Trudel, M. 2020. Communication personnelle. Étude préliminaire sur la rivière St-Germain

Umuhire, F. Gombault, C., Michaud, A. R, et Ricard, S. 2021. Évaluation des données météorologiques pour la modélisation hydrologique avec SWAT. Focus sur les précipitations CaPA. Irda. Rapport technique. 36p.

USDA-SCS. 1972. National Engineering Handbook, Hydrology Section 4, Chapters 4-10.

Williams, J.R., Jones, C.A., et Dyke, P.T. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27(1), pp. 129-144.

Williams, J.R., Nicks, A.D., et Arnold, J. G. 1985. Simulator for water resources in rural basins. *Journal of Hydraulic Engineering*. 111. Vol4. Pp 970-986.

# ANNEXE A. RÉSULTATS DE LA PESÉE DES SOLS DANS LE BASSIN POT-AU-BEURRE

Échantillons Gidding											
Chaque échantillon avait une profondeur théorique de 10 cm:											
Automne 2021											
Baie Lavalliere, Rang Sud											
Projet 400243											
Séchés 48h à 105°C											
Champs Témoin	MVA	Champs Intervention	MVA	Champs Témoin	MVA	Champs Intervention	MVA	Champs Témoin	MVA	Champs Intervention	MVA
Échantillons	g/cm3	Échantillons	g/cm3	Échantillons	g/cm3	Échantillons	g/cm3	Échantillons	g/cm3	Échantillons	g/cm3
TémoinLimono-Arg 101A	1.3	InterventLimono-Arg 101A	1.2	TémoinLimono-Arg 201A	1.1	InterventLimono-Arg 201A	1.4	TémoinLimono-Arg 301A	1.1	InterventLimono-Arg 301A	1.1
TémoinLimono-Arg 101B	1.4	InterventLimono-Arg 101B	1.4	TémoinLimono-Arg 201B	1.1	InterventLimono-Arg 201B	1.5	TémoinLimono-Arg 301B	1.2	InterventLimono-Arg 301B	1.2
TémoinLimono-Arg 101C	1.6	InterventLimono-Arg 101C	1.4	TémoinLimono-Arg 201C	1.3	InterventLimono-Arg 201C	1.8	TémoinLimono-Arg 301C	0.9	InterventLimono-Arg 301C	1.3
TémoinLimono-Arg 101D	1.6	InterventLimono-Arg 101D	1.5	TémoinLimono-Arg 201D	1.7	InterventLimono-Arg 201D	1.6	TémoinLimono-Arg 301D	1.3	InterventLimono-Arg 301D	1.5
TémoinLimono-Arg 101E	1.6	InterventLimono-Arg 101E	1.5	TémoinLimono-Arg 201E	1.7	InterventLimono-Arg 201E	1.5	TémoinLimono-Arg 301E	1.6	InterventLimono-Arg 301E	1.3
TémoinLimono-Arg 101F	1.6	InterventLimono-Arg 101F	1.4	TémoinLimono-Arg 201F	1.7	InterventLimono-Arg 201F	1.6	TémoinLimono-Arg 301F	1.5	InterventLimono-Arg 301F	1.3
TémoinLimono-Arg 102A	1.2	InterventLimono-Arg 102A	1.5	TémoinLimono-Arg 202A	1.0	InterventLimono-Arg 202A	1.1	TémoinLimono-Arg 302A	1.2	InterventLimono-Arg 302A	1.3
TémoinLimono-Arg 102B	1.3	InterventLimono-Arg 102B	1.5	TémoinLimono-Arg 202B	1.1	InterventLimono-Arg 202B	1.3	TémoinLimono-Arg 302B	1.2	InterventLimono-Arg 302B	1.1
TémoinLimono-Arg 102C	1.3	InterventLimono-Arg 102C	1.5	TémoinLimono-Arg 202C	0.9	InterventLimono-Arg 202C	1.5	TémoinLimono-Arg 302C	1.1	InterventLimono-Arg 302C	1.3
TémoinLimono-Arg 102D	1.4	InterventLimono-Arg 102D	1.6	TémoinLimono-Arg 202D	0.9	InterventLimono-Arg 202D	1.4	TémoinLimono-Arg 302D	1.0	InterventLimono-Arg 302D	1.3
TémoinLimono-Arg 102E	1.6	InterventLimono-Arg 102E	1.6	TémoinLimono-Arg 202E	1.5	InterventLimono-Arg 202E	1.4	TémoinLimono-Arg 302E	1.5	InterventLimono-Arg 302E	1.4
TémoinLimono-Arg 102F	1.5	InterventLimono-Arg 102F	1.5	TémoinLimono-Arg 202F	1.7	InterventLimono-Arg 202F	1.4	TémoinLimono-Arg 302F	1.7	InterventLimono-Arg 302F	1.4
TémoinLimono-Arg 103A	1.4	InterventLimono-Arg 103A	1.3	TémoinLimono-Arg 203A	1.0	InterventLimono-Arg 203A	1.2	TémoinLimono-Arg 303A	1.0	InterventLimono-Arg 303A	1.4
TémoinLimono-Arg 103B	1.4	InterventLimono-Arg 103B	1.3	TémoinLimono-Arg 203B	1.0	InterventLimono-Arg 203B	1.5	TémoinLimono-Arg 303B	1.1	InterventLimono-Arg 303B	1.3
TémoinLimono-Arg 103C	1.4	InterventLimono-Arg 103C	1.3	TémoinLimono-Arg 203C	1.0	InterventLimono-Arg 203C	1.5	TémoinLimono-Arg 303C	1.1	InterventLimono-Arg 303C	1.3
TémoinLimono-Arg 103D	1.6	InterventLimono-Arg 103D	1.5	TémoinLimono-Arg 203D	1.5	InterventLimono-Arg 203D	1.5	TémoinLimono-Arg 303D	1.0	InterventLimono-Arg 303D	1.4
TémoinLimono-Arg 103E	1.6	InterventLimono-Arg 103E	1.4	TémoinLimono-Arg 203E	1.7	InterventLimono-Arg 203E	1.6	TémoinLimono-Arg 303E	1.5	InterventLimono-Arg 303E	1.5
TémoinLimono-Arg 103F	1.5	InterventLimono-Arg 103F	1.4	TémoinLimono-Arg 203F	1.8	InterventLimono-Arg 203F	1.5	TémoinLimono-Arg 303F	1.5	InterventLimono-Arg 303F	1.6
TémoinLimono-Arg 104A	1.2	InterventLimono-Arg 104A	1.4	TémoinLimono-Arg 204A	1.0	InterventLimono-Arg 204A	1.2	TémoinLimono-Arg 304A	1.0	InterventLimono-Arg 304A	1.4
TémoinLimono-Arg 104B	1.4	InterventLimono-Arg 104B	1.5	TémoinLimono-Arg 204B	1.0	InterventLimono-Arg 204B	1.3	TémoinLimono-Arg 304B	1.2	InterventLimono-Arg 304B	1.4
TémoinLimono-Arg 104C	1.3	InterventLimono-Arg 104C	1.5	TémoinLimono-Arg 204C	1.0	InterventLimono-Arg 204C	1.3	TémoinLimono-Arg 304C	1.1	InterventLimono-Arg 304C	1.4
TémoinLimono-Arg 104D	1.6	InterventLimono-Arg 104D	1.6	TémoinLimono-Arg 204D	1.4	InterventLimono-Arg 204D	1.4	TémoinLimono-Arg 304D	1.0	InterventLimono-Arg 304D	1.6
TémoinLimono-Arg 104E	1.5	InterventLimono-Arg 104E	1.6	TémoinLimono-Arg 204E	1.6	InterventLimono-Arg 204E	1.4	TémoinLimono-Arg 304E	0.9	InterventLimono-Arg 304E	1.5
TémoinLimono-Arg 104F	1.5	InterventLimono-Arg 104F	1.5	TémoinLimono-Arg 204F	1.7	InterventLimono-Arg 204F	1.3	TémoinLimono-Arg 304F	#VALUE!	InterventLimono-Arg 304F	1.5
TémoinLimono-Arg 105A	1.3	InterventLimono-Arg 105A	1.3	TémoinLimono-Arg 205A	1.0	InterventLimono-Arg 205A	1.4	TémoinLimono-Arg 305A	1.0	InterventLimono-Arg 305A	1.2
TémoinLimono-Arg 105B	1.5	InterventLimono-Arg 105B	1.4	TémoinLimono-Arg 205B	1.1	InterventLimono-Arg 205B	1.5	TémoinLimono-Arg 305B	1.1	InterventLimono-Arg 305B	1.3
TémoinLimono-Arg 105C	1.6	InterventLimono-Arg 105C	1.5	TémoinLimono-Arg 205C	1.0	InterventLimono-Arg 205C	1.5	TémoinLimono-Arg 305C	0.9	InterventLimono-Arg 305C	1.3
TémoinLimono-Arg 105D	1.6	InterventLimono-Arg 105D	1.4	TémoinLimono-Arg 205D	1.5	InterventLimono-Arg 205D	1.6	TémoinLimono-Arg 305D	1.3	InterventLimono-Arg 305D	1.4
TémoinLimono-Arg 105E	1.6	InterventLimono-Arg 105E	1.5	TémoinLimono-Arg 205E	1.7	InterventLimono-Arg 205E	1.5	TémoinLimono-Arg 305E	1.6	InterventLimono-Arg 305E	1.4
TémoinLimono-Arg 105F	1.6	InterventLimono-Arg 105F	1.3	TémoinLimono-Arg 205F	1.8	InterventLimono-Arg 205F	1.6	TémoinLimono-Arg 305F	#VALUE!	InterventLimono-Arg 305F	1.5

## ANNEXE B. RÉSULTATS DES ANALYSES SÉDIMENTAIRES DES SUIVI HYDROLOGIQUE DANS LE BASSIN SAINT-GERMAIN

	Base:	H	H
	Paramètre:	402	412
	Élément:	MES	Conductivité
	Méthode:	0,45 um	Conductim.
	Unité:	mg/l	uS/cm à 25
	Limite de détection:	7	
No. de Lab	Limite de quantification:	24	
	Date d'analyse:	2021-04-09	2021-04-07
	Codification		
21PO0001FQ	SG 210323 14:00	119	170
21PO0002FQ	BE 210323 19:00	97	157
21PO0003FQ	BR 210324 12:00	73	123
	Date d'analyse:	2021-06-02	2021-06-04
	Codification		
21PO0004FQ	SG 210420 16:00	11	301
21PO0005FQ	BE 210420 16:30	8	265
21PO0006FQ	BR 210420 18:15	0	239
	Date d'analyse:	2021-08-05	2021-07-27
	Codification		
21PO0007FQ	SG 210715 12:00	22	412
21PO0008FQ	BE 210715 16:30	5	305
21PO0009FQ	BR 210715 14:30	12	325
	Date d'analyse:	2022-01-20	2022-01-19
	Codification		
21PO0010FQ	SG 211123 13:15	3	473
21PO0011FQ	BR 211123 11:45	1	364
21PO0012FQ	BE 211123 13:45	5	535

SG = Saint-Germain, BE = Berry, BR = Brebeuf

Échantillon du 23/24 mars 2021

Échantillon du 20 avril 2021

Échantillon du 15 juillet 2021

Échantillon du 23 Novembre 2021

# ANNEXE C. COMPTE-RENDU DE LA RÉUNION TECHNIQUE POUR LE BASSIN SAINT-GERMAIN

RE: Projet PALCCA - Modélisation hydrologique St **Germain** - Terrain mars-avril



Colline Gombault

To Mélanie Trudel

Cc Simon Ricard; Arianne Blais-Gagnon; William Huertas



Fri 3/11/2022 11:32 AM

Bonjour à tous,

Merci Mélanie pour la discussion d'hier après-midi.

Voici le résumé. Je suis en attente des réponses du COGESAF pour les prises d'échantillon et notre administration pour les remboursements des transports.

#### Mesures et sorties ADCP:

- . On ne prévoit pas de grande crue en Estrie.
- . Utilisation de l'ADCP si débits sup à 20 m3/s.
- . Au 10 mars on est à 10 m3/s à la station 03299 – St-**Germain**. Débits max de la rivière 60 m3/s environ.
- . Les cours d'eau doivent être complètement libre de glace. Vérifier le plus possible avec les acteurs locaux (Julie et Vickie).
- . On surveille débits + météo lorsqu'on est autour de 18 m3/s – On devrait pouvoir sortir **48h00 après** (Samedi/Dimanche compris).
- . Mélanie aura de la difficulté de sortir avant la semaine du 28 mars – Serait excellent qu'elle vienne la première sortie pour expliquer ADCP à l'équipe IRDA.
- . Plan actuel :
  - . 1<sup>er</sup> sortie – 1 passage de mesures sur les 3 stations (autour du 1<sup>er</sup> avril).
  - . 2ieme sortie (3ieme sortie si nécessaire) – 1 passage le matin, puis retour et second passage l'après-midi, pour deux sets de mesures sur les trois stations.
  - . 3ieme ou 4ieme sortie avec l'ADCP et le flow tracker doit être prévue vers la Mai-Juin : 10 cm d'eau minimum.
  - . On envisage donc trois à quatre sorties pour ce printemps, l'IRDA complète avec Flow Tracker pour cet été et cet automne.
  - . On se laisse la possibilité de retourner cet automne avec ADCP (Si Mélanie acquière un second ADCP, Prêt possible). PC terrain + GPS+ logiciel à installer et prendre en main.

#### Échantillonnage MES :

- . L'IRDA peut prendre les échantillons d'eau lors de ses sorties
- . Voir avec Julie Grenier et Vickie Villard si qq un de la région peut compléter

#### Traitements de données ADCP :

- . Mesures instantanées + vérification minimale au bureau.

#### Remboursement et déplacement :

- . Les vérifications et demandent ont été faites auprès de notre administration. ON te transmettra les formulaires et directives dès que possible, Mélanie.

#### Disponibilité 2023 :

- . Peu de disponibilité pour l'équipe USherbrooke
- . Il est donc d'autant plus important pour l'équipe IRDA d'apprendre à se servir de l'ADCP et d'évaluer la possibilité d'achat/location.

#### Comité aviseur et conseil SWAT

- . Mélanie reste disponible 😊 (Merci !!)