

# **Bilan de la qualité des eaux de surface, des eaux souterraines et des sols du bassin versant de la rivière Saint-André**

**Violaine Ponsin  
Marie Larocque  
Marilys Mercure-Nadeau**

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL**

Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère

**1<sup>er</sup> DÉCEMBRE 2024**

## **Équipe de réalisation**

### ***Auteurs du rapport***

Violaine Ponsin	Responsable du projet, géochimiste et professeure au département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM
Marie Larocque	Spécialiste en hydrogéologie et professeure au département des sciences de la Terre et de l'atmosphère de l'UQAM
Marilys Mercure-Nadeau	Support aux activités de terrain, d'analyse des résultats et de rédaction, étudiante de premier cycle en sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQAM

### ***Référence à citer***

Ponsin V., Larocque M., Mercure-Nadeau M. 2024. Bilan de la qualité des eaux de surface, des eaux souterraines et des sols du bassin versant de la rivière Saint-André. Rapport déposé à Abrinord. Université du Québec à Montréal, Canada. 69 pages.

**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Méthodologie.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Choix des stations d'échantillonnage.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Échantillonnage .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Analyses effectuées.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4. Critères de qualité de l'eau .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Résultats .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Contrôle qualité.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Sols.....</b>	<b>9</b>
<b>3.3. Eau de surface.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4. Eaux souterraines .....</b>	<b>19</b>
<b>4. Présence de pesticides : Comparaison avec des études similaires.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Dans les sols .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. Dans les eaux de surface .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3. Dans les eaux souterraines.....</b>	<b>29</b>
<b>5. Conclusions .....</b>	<b>31</b>
<b>Références.....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE A – points d'échantillonnage des eaux de surface.....</b>	<b>37</b>
<b>ANNEXE B – Pesticides et ppsp analysés en 2023 et 2024 .....</b>	<b>52</b>
<b>ANNEXE C - critères CVAC .....</b>	<b>59</b>
<b>ANNEXE D - critères de qualité de l'eau potable .....</b>	<b>61</b>
<b>ANNEXE E - teneurs en éléments majeurs et métaux dans les sols .....</b>	<b>63</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 : Carte des sites d'échantillonnage de l'eau de surface en 2023.</b> .....	<b>3</b>
<b>Figure 2. Carte des sites d'échantillonnage de l'eau souterraine et du sol en 2023.</b> .....	<b>4</b>
<b>Figure 3 : Teneurs en glyphosate (mg/kg) en fonction de la campagne d'échantillonnage (toutes cultures confondues).</b> .....	<b>10</b>
<b>Figure 4 : Teneurs en AMPA (mg/kg) en fonction de la campagne d'échantillonnage (toutes cultures confondues).</b> .....	<b>10</b>
<b>Figure 5 : Précipitations journalières (mm) et teneurs en nitrates (mg N-nitrates/L) en fonction de la campagne d'échantillonnage.</b> .....	<b>15</b>
<b>Figure 6 : Concentrations moyennes en nitrates+nitrites (mg N/L) sur les cinq campagnes pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface.</b> .....	<b>16</b>
<b>Figure 7 : Concentrations moyennes en S-métolachlore (ng/L) sur les cinq campagnes pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface en 2023.</b> .....	<b>17</b>
<b>Figure 8 : Concentrations moyennes en atrazine (ng/L) sur les cinq campagnes pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface en 2023.</b> .....	<b>18</b>
<b>Figure 9 : Indice de confinement. Carte établie à l'aide des données du PACES-LAULM (Gagné et al., 2022).</b> .....	<b>20</b>
<b>Figure 10 : Diagramme de Piper représentant les types d'eau.</b> .....	<b>21</b>
<b>Figure 11 : Concentrations en nitrates+nitrites (mg N/L) pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface à l'été 2023.</b> .....	<b>23</b>
<b>Figure 12 : Tendances des fréquences de détection pour quelques pesticides dans les cours d'eau du réseau de surveillance de base (Giroux, 2022).</b> .....	<b>28</b>
<b>Figure 13. Aval et amont du point 1 (45, 54008, -74,332797).</b> .....	<b>37</b>
<b>Figure 14. Aval et amont du point 2 (45,569238, -74,284661).</b> .....	<b>38</b>
<b>Figure 15. Aval et amont du point 3 (45,572501, -74,276903).</b> .....	<b>39</b>
<b>Figure 16. Aval et amont du point 4 (45,576961, -74,264001).</b> .....	<b>40</b>
<b>Figure 17. Aval et amont du point 5 (45,580719, -74,238808).</b> .....	<b>41</b>
<b>Figure 18. Aval et amont du point 6 (45,577828, -74,230402).</b> .....	<b>42</b>

<b>Figure 19. Aval et amont du point 7 (45,586528, -74,231203).....</b>	<b>43</b>
<b>Figure 20. Aval et amont du point 8 (45,591313, -74,23529).....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 21. Aval et amont du point 9 (45,591206, -74,240822).....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 22. Aval et amont du point 10 (45,588824, -74,25007).....</b>	<b>46</b>
<b>Figure 23. Aval et amont du point 11 (45,606934, -74,251301).....</b>	<b>47</b>
<b>Figure 24. Aval et amont du point 12 (45,590363, -74,219508).....</b>	<b>48</b>
<b>Figure 25. Aval et amont du point 13 (45,595395, -74,20439).....</b>	<b>49</b>
<b>Figure 26. Aval et amont du point 14 (45,608712, -74,150681).....</b>	<b>50</b>
<b>Figure 27. Aval et amont du point 15 (45,629096, -74,150065).....</b>	<b>51</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 : Teneurs en glyphosate et en AMPA dans les sols échantillonnés (mg/kg). ....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2 : Résumé statistique des teneurs en nitrates pour les 15 points d'échantillonnage (mg N/nitrates/L) .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 3 : Résumé statistique des teneurs en nitrites pour les 15 points d'échantillonnage (mg N-nitrites/L) .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 4 : Pesticides détectés dans les eaux de surface en 2024. Les composés en bleu n'étaient pas analysés en 2023.....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 5 : Résumé des dépassements des normes de qualité de l'eau potable.....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 6 : Résumé des dépassements des objectifs esthétiques.....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 7 : Comparaison entre les pesticides détectés en 2012 (Giroux, 2015) et en 2023-24. Les herbicides sont indiqués en bleu, les insecticides en vert et les fongicides en orange.....</b>	<b>27</b>
<b>Tableau 8 : Liste des composés analysés en 2023 à l'Université de Sherbrooke, ainsi que leur LDM et LQM. ....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau 9 : Liste des composés analysés en 2024 au CEAEQ, ainsi que leur LDM. ....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau 10 : LDM et LQM pour glyphosate et AMPA. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 11 : Liste des anions analysés, ainsi que les LDM et LQM. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 12 : Liste des cations majeurs analysés, ainsi que les LDM et LQM. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tableau 13 : Liste des éléments trace analysés, ainsi que les LDM et LQM.....</b>	<b>58</b>
<b>Tableau 14 : CVAC pour les paramètres inorganiques.....</b>	<b>59</b>
<b>Tableau 15 : CVAC pour les pesticides et PSPP.....</b>	<b>60</b>
<b>Tableau 16 : Critères de qualité de l'eau potable pour les paramètres inorganiques.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau 17 : Critères de qualité de l'eau potable pour les pesticides et les PSPP .....</b>	<b>62</b>
<b>Tableau 18 : Critères de qualité de l'eau potable pour les pesticides et les PSPP .....</b>	<b>63</b>

## **1. INTRODUCTION**

Le bassin versant de la rivière Saint-André se situe à l'ouest de la ville de Mirabel (Basses-Laurentides), et débouche dans la rivière du Nord puis dans la rivière des Outaouais. C'est un bassin versant qui se distingue par une agriculture intensive : la production laitière est une composante importante de cette région d'étude. Les cultures sur le bassin sont principalement destinées à l'alimentation animale, avec une superficie importante de zones cultivées en maïs et en soya. À noter que les superficies exactes pour ces deux cultures ne sont pas fournies dans ce rapport en raison de données incomplètes, mais représentaient au moins 34,3% de la superficie du bassin versant en 2023.

Les mesures faites à l'exutoire de la rivière Saint-André montrent des problèmes récurrents de qualité de l'eau (phosphore, matières en suspension, MELCCFP, 2023), mais le portrait des problématiques de qualité n'est pas complet, en particulier au niveau de la présence de pesticides. Les données actuellement disponibles sur la présence de pesticides dans les eaux de surface ne concernent que l'exutoire et remontent à 2012, tandis qu'elles sont inexistantes pour les eaux souterraines (Giroux, 2015). Or, le bassin compte des zones de recharge importantes pour l'aquifère qui alimente en eau potable une partie de la population locale et les eaux souterraines ne sont donc pas à négliger.

L'objectif de cette étude était d'établir un portrait global de la qualité de l'eau et de la présence de pesticides dans les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines du bassin versant de la rivière Saint-André via plusieurs campagnes d'échantillonnage qui ont eu lieu entre mai et septembre 2023, ainsi qu'une campagne supplémentaire, réduite, en juin 2024. Ces campagnes ont ciblé non seulement l'exutoire de la rivière, mais aussi différents points au sein du bassin versant.

Ce rapport synthétise les données suivantes :

- Anions et cations majeurs ainsi que quelques éléments traces dans les eaux de surface, eaux souterraines et sols;
- Les données de pesticides et produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP) dans les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1. Choix des stations d'échantillonnage

Les stations d'échantillonnage pour les eaux de surface ont été sélectionnées afin d'assurer une représentation adéquate du bassin versant : les 15 stations choisies ont été réparties sur l'ensemble du bassin versant, en suivant le cours d'eau principal et en incluant au moins une station à l'exutoire de chaque sous-bassin versant (**Figures 1 et 2**). Ces stations ont été échantillonnées lors de cinq campagnes réparties sur les mois d'été, à savoir mai, juin, juillet, août et septembre 2023, le plus possible après des événements de pluie, afin de capturer les variations saisonnières et environnementales.

Une approche similaire a été adoptée pour les points d'eau souterraine et de sol pour garantir une couverture représentative du bassin versant. Le bassin versant a été divisé en 15 cases identiques et les 14 points d'eau souterraine et les 11 points de sol ont été répartis sur ces cases, avec pour objectif de couvrir l'ensemble de la zone. Les points de sol ont été sélectionnés dans des zones où l'échantillonnage d'eau souterraine était aussi réalisable, privilégiant les milieux agricoles. Une campagne d'échantillonnage unique a été menée pour l'eau souterraine, étant donné que les paramètres varient beaucoup moins dans le temps par rapport aux eaux de surface. Pour le sol, deux campagnes d'échantillonnage ont été effectuées, une au début et une à la fin de la saison, afin d'évaluer la persistance des composés dans le sol au cours de la période de culture.

En 2024, un nombre restreint de stations a été échantillonné, uniquement pour les pesticides ; il s'agit des stations S1 et S2 pour les sols ainsi que pour les eaux souterraines, et des stations 1 (exutoire du bassin versant), 8 et 12 (exutoires des deux plus grands sous-bassins versants) pour les eaux de surface. Les coordonnées de chaque point d'échantillonnage ainsi que des photos de ces différents points sont disponibles en **annexe A**.



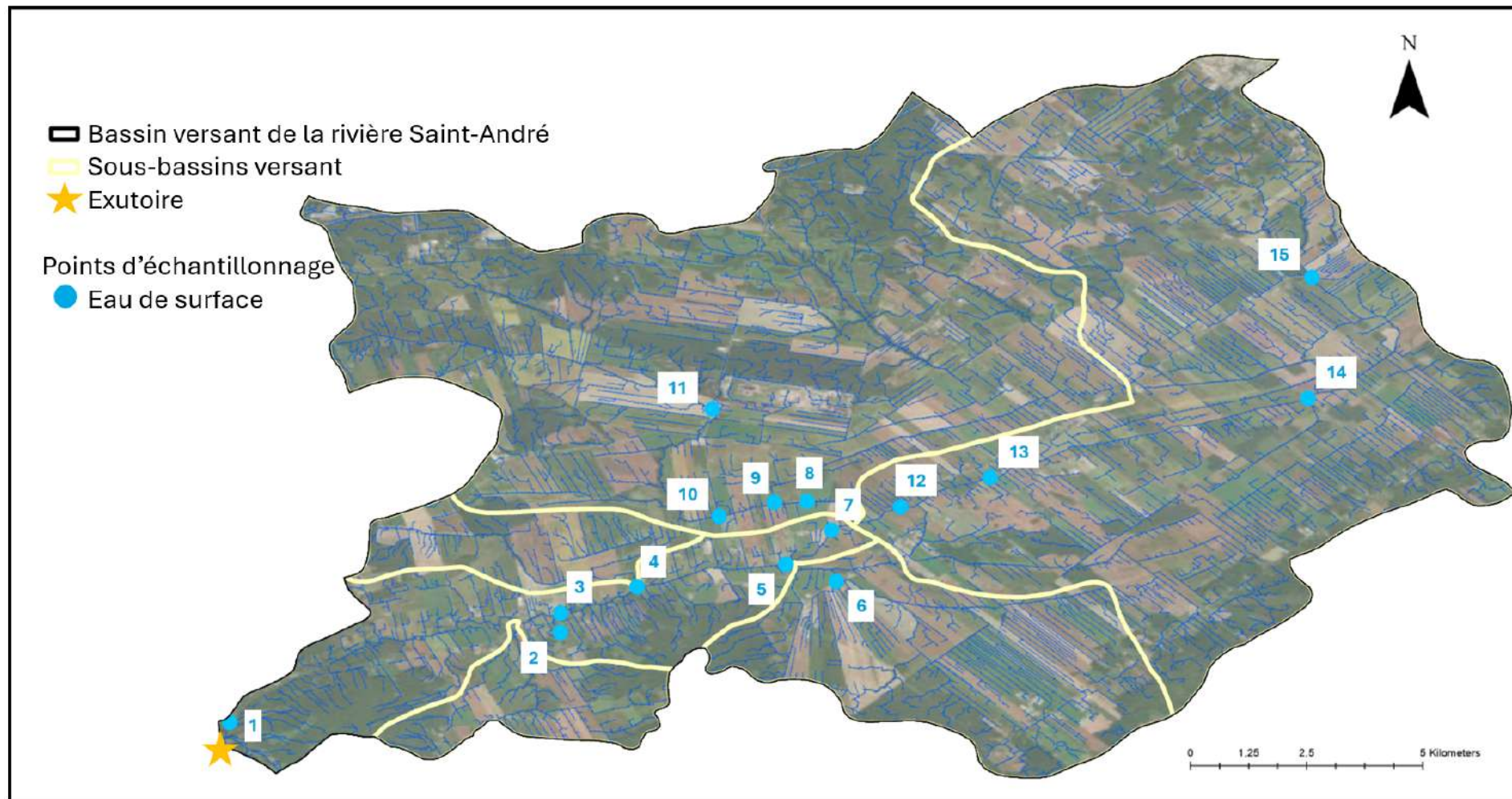


Figure 1 : Carte des sites d'échantillonnage de l'eau de surface en 2023.

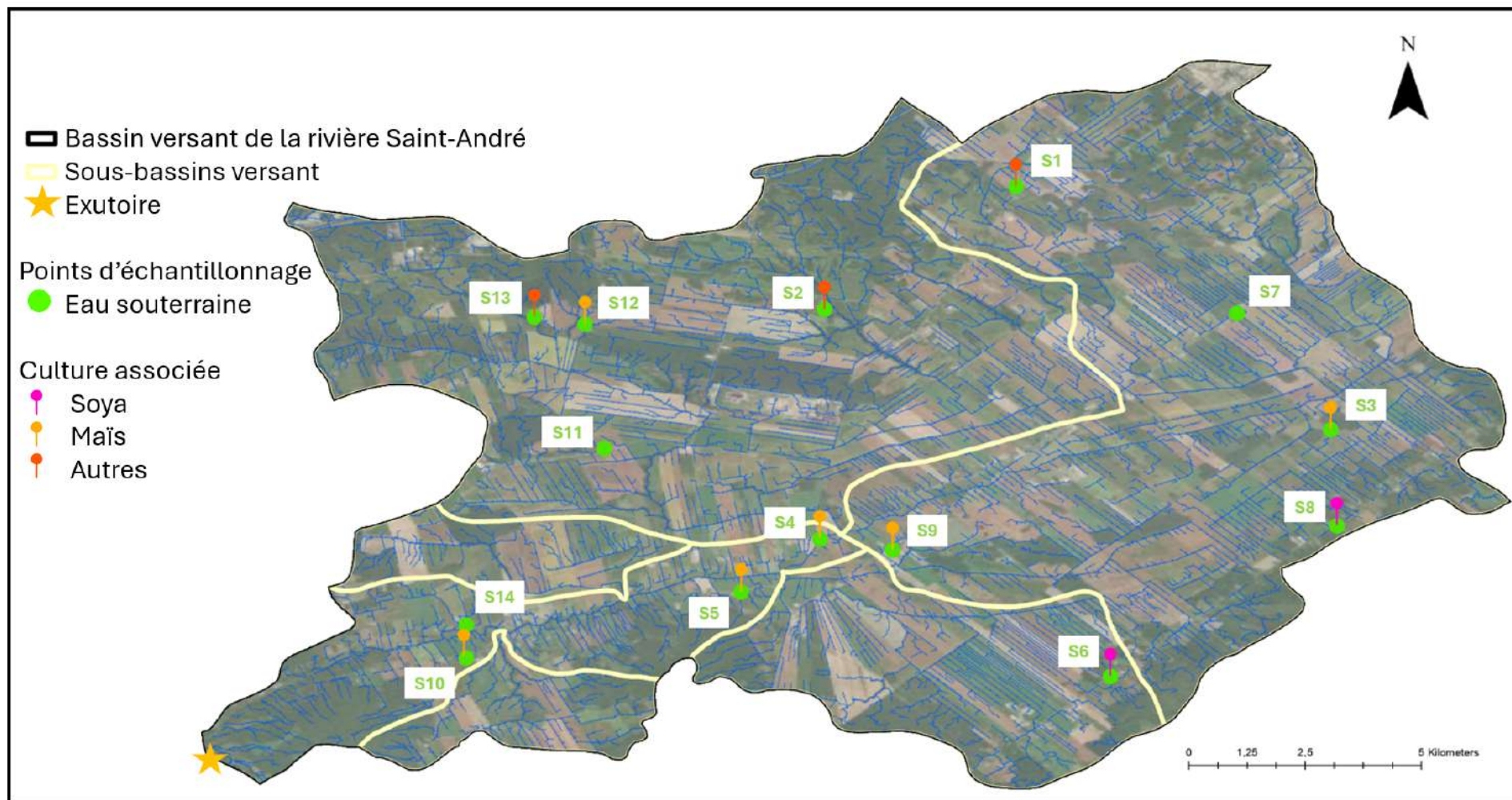


Figure 2. Carte des sites d'échantillonnage de l'eau souterraine et du sol en 2023.

## 2.2. Échantillonnage

L'échantillonnage de l'eau de surface a été réalisé en prélevant directement l'eau du cours d'eau. Si le cours d'eau n'était pas aisément accessible (présence de végétation, etc.), le processus d'échantillonnage impliquait l'utilisation de seaux. Un seau était dédié à la collecte de l'eau tandis que l'autre était utilisé pour mesurer les paramètres physico-chimiques. Avant le début de l'échantillonnage, les deux seaux étaient rincés trois fois avec l'eau à échantillonner. Entre chaque relevé des paramètres physicochimiques et à chaque remplissage des bouteilles d'échantillon, l'eau était renouvelée pour garantir la prise d'échantillons représentatifs du cours d'eau.

Les échantillonnages d'eau souterraine se sont déroulés chez des particuliers qui ont accepté que l'eau de leur puits soit prélevée. Lors de l'échantillonnage, le robinet extérieur était utilisé pour prélever l'eau du puits afin que l'eau échantillonnée soit exempte de tout traitement avant consommation, et soit la plus représentative possible de l'eau de l'aquifère. Le processus d'échantillonnage impliquait la fixation d'un tuyau en caoutchouc au robinet extérieur, dirigeant ainsi l'eau vers un seau. Avant le prélèvement de l'échantillon, le système était purgé en laissant couler l'eau pendant environ cinq minutes. L'échantillonnage se déroulait directement dans le seau.

Les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, température, oxygène dissous) étaient mesurés au moyen d'une sonde multiparamètres (Multi 3630 IDS, WTW). Les extrémités des sondes étaient immergées dans l'eau de la station (cours d'eau, eau souterraine). Les données étaient enregistrées trois fois, avec un intervalle d'environ cinq minutes entre chaque prise. La température de l'eau est relevée par les trois sondes, et celle enregistrée correspondait à celle de la sonde d'oxygène dissous.

Pour l'échantillonnage destiné à l'analyse des pesticides et PPSP, des bouteilles en plastique brun en Nalgène de 1000 mL ont été utilisées en 2023. Elles étaient rincées trois fois avec l'eau de la station, puis remplies en laissant de l'air, car elles ont été congelées (-18 °C) jusqu'à l'analyse. En 2024, les pesticides ont été échantillonnés dans des bouteilles en verre ambré de 500 mL (méthode OPS+, Giroux, 2019) ou dans des bouteilles en verre clair de 40 mL remplies à ras bord (méthode Pest-émergents, Giroux, 2019). Les bouteilles ont été conservées à 4°C jusqu'à leur envoi au laboratoire dans les sept jours suivant le prélèvement. En ce qui concerne l'échantillonnage destiné à l'analyse des cations, des anions et de l'alcalinité, de l'eau était prélevée à l'aide d'une seringue (rincée trois fois) puis filtrée (0,45 µm, cellulose). La bouteille en verre destinée à l'analyse de l'alcalinité était remplie jusqu'à débordement et fermée pour éviter



toute bulle d'air. Les bouteilles destinées à l'analyse des cations et des anions étaient remplies en laissant un espace de tête. Après l'échantillonnage, environ huit gouttes d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3^-$ ) étaient ajoutées à l'échantillon destiné à l'analyse des cations. Toutes les bouteilles étaient conservées dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire. Les bouteilles destinées à l'analyse des anions étaient congelées ( $-18^\circ\text{C}$ ), tandis que celles destinées à l'analyse de l'alcalinité et des cations étaient placées au réfrigérateur ( $4^\circ\text{C}$ ).

Un échantillon duplicata et un blanc (préparé avec de l'eau ultrapure) étaient prélevés pour chaque dix échantillons pour s'assurer de la reproductibilité des résultats (duplicatas) et de l'absence de contamination (blancs). Les échantillons duplicatas étaient collectés selon les mêmes méthodes que celles décrites précédemment. Les blancs étaient prélevés à partir d'une bouteille de 1000 mL d'eau ultrapure amenée du laboratoire, en suivant les mêmes étapes que pour les échantillons (filtration, conservation). Aucun blanc ni duplicata n'a été prélevé en 2024.

L'échantillonnage des sols commençait par la sélection de trois emplacements distincts sur la parcelle agricole, afin de garantir une représentativité adéquate, les sols étant par nature très hétérogènes. À chacun de ces endroits, un échantillon de sol était prélevé en creusant jusqu'à une profondeur d'environ 15 cm à l'aide d'une tarière à main. Une fois prélevée, la terre était placée dans un sac en plastique (Ziploc), en veillant à ramasser toute la colonne de sol prélevée. Des gants étaient utilisés pour manipuler le sol et éviter toute contamination. Les échantillons de sol provenant des trois emplacements étaient ensuite mélangés de manière homogène dans le sac afin de constituer un échantillon composite représentatif de la zone étudiée. Ce mélange de sol était transféré dans des tubes en plastique Falcon de 50 mL. Pour chaque échantillon composite, trois tubes étaient utilisés : un pour l'analyse des cations et de la matière organique, un pour le glyphosate et son produit de transformation l'acide aminométhylphosphonique (AMPA), et un autre pour les pesticides et les produits pharmaceutiques et de soins personnels (PPSP). Seul le tube destiné à l'analyse des cations et de la matière organique était conservé à  $4^\circ\text{C}$  au réfrigérateur, les deux autres étaient conservés à  $-18^\circ\text{C}$  au congélateur. Des duplicatas étaient prélevés tous les 10 échantillons pour les sols.

### **2.3. Analyses effectuées**

Les analyses effectuées sur l'eau de surface et l'eau souterraine suivent les mêmes protocoles. L'alcalinité correspond à la capacité de l'eau à neutraliser les acides (pouvoir tampon de l'eau). Elle a été mesurée dans les jours suivant l'échantillonnage afin de garantir sa stabilité et la précision des résultats. Cette mesure a été réalisée selon la méthode de Gran (Stumm and

Morgan, 1981), qui consiste en un titrage à l'acide sulfurique pour déterminer l'alcalinité présente dans l'eau.

L'analyse des anions majeurs (fluorures, chlorures, nitrates, nitrites, bromures, sulfates et phosphates) a été conduite au laboratoire à l'UQAM via chromatographie ionique (CEAEQ, 2020). L'analyse des cations majeurs (calcium, sodium, potassium et magnésium) ainsi que de quelques éléments trace (liste en Annexe B) a été réalisée au laboratoire de chimie NanoQAM via ICP-OES (Plasma à Couplage Inductif-Spectrométrie d'Émission Optique).

Concernant les analyses des échantillons de sols, plusieurs paramètres ont été évalués pour caractériser leur composition et leur qualité. La quantité de matière organique a été déterminée par perte au feu (référence), une méthode qui consiste à déterminer la masse des échantillons avant et après combustion de la matière organique dans un four à moufle. Cette technique permet d'estimer la proportion de matière organique présente dans le sol. Les cations et éléments traces dans les sols ont été analysés au laboratoire NanoQAM, de la même manière que pour les échantillons d'eau. Avant cette analyse, une mise en solution des échantillons de sol a été effectuée au laboratoire. Cette manipulation vise à déterminer les éléments facilement solubles dans l'eau, à la suite d'une pluie par exemple.

Les analyses de glyphosate et d'AMPA dans les sols ont été effectuées à l'UQAM dans le Laboratoire d'Analyses Environnementales de l'Institut des Sciences de l'Environnement en 2023 et 2024 (Samson-Brais et *al.*, 2022). Les analyses de pesticides et PPSP ont été effectuées à l'Université de Sherbrooke en 2023 et au Centre d'Expertise en Analyses Environnementales du Québec (CEAEQ) en 2024 (Giroux, 2019). Les listes de composés analysés étant différentes entre chaque organisme, cette approche permet d'avoir une vision plus complète des pesticides présents sur le bassin versant. La liste des composés analysés dans chaque laboratoire est disponible dans l'**annexe B**, ainsi qu'une comparaison des composés analysés par chaque laboratoire.

La limite de détection de la méthode (LDM) représente la concentration la plus basse d'une substance dans un échantillon pouvant être détectée par une méthode d'analyse, mais pas nécessairement quantifiée avec précision. La limite de quantification de la méthode (LQM) est la plus faible concentration de cette substance pouvant être mesurée avec précision. Pour chacune des analyses, les LDM et LQM sont données dans l'**annexe B**.

#### **2.4. Critères de qualité de l'eau**

L'un des critères de qualité de l'eau de surface les plus utilisés est le critère de vie aquatique chronique (CVAC), défini par le MELCCFP comme étant la concentration maximale d'un composé qui n'affectera pas négativement les organismes aquatiques, y compris leur descendance, lors d'une exposition quotidienne tout au long de leur vie. La liste des critères CVAC pour les composés analysés lors de l'étude est disponible en **annexe C**.

Les critères utilisés pour définir la qualité de l'eau souterraine proviennent des normes de potabilité du Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP), en vigueur depuis 2001. Les critères de potabilité sont représentés par les concentrations maximales acceptables (CMA) qui sont liées aux risques encourus pour la santé humaine suivant la consommation d'eau contenant des contaminants d'origine naturelle ou anthropique. Cette norme garantit la sécurité et la salubrité de l'eau pour la santé publique, assurant ainsi la conformité des sources d'eau souterraine utilisées à des fins de consommation. Les objectifs esthétiques (OE) n'ont pas d'incidence sur la santé et concernent principalement le goût, l'odeur et la couleur de l'eau, etc. Ils font l'objet de recommandations seulement (Santé Canada, 2019). La liste des critères de qualité pour l'eau potable pour les composés analysés lors de l'étude est disponible en **annexe D**.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Contrôle qualité

Les blancs ont montré une absence de contamination pour tous les paramètres mesurés, que ce soit dans les eaux souterraines ou de surface. Les duplicatas ont des valeurs très similaires pour tous les paramètres mesurés, que ce soit dans les eaux et les sols, assurant une bonne reproductibilité des résultats.

L'électroneutralité de chaque échantillon d'eau a été vérifiée en calculant la balance ionique à l'aide des concentrations en cations et anions majeurs. Environ 90% des échantillons ont une balance ionique inférieure à  $\pm 10\%$ . Parmi les échantillons ayant une balance ionique supérieure à  $\pm 10\%$ , la plupart ont une concentration élevée pour un ou plusieurs ions; une imprécision dans la détermination de concentrations élevées peut mener à une balance ionique faussée.

#### 3.2. Sols

##### 3.2.1. Matière organique et paramètres inorganiques

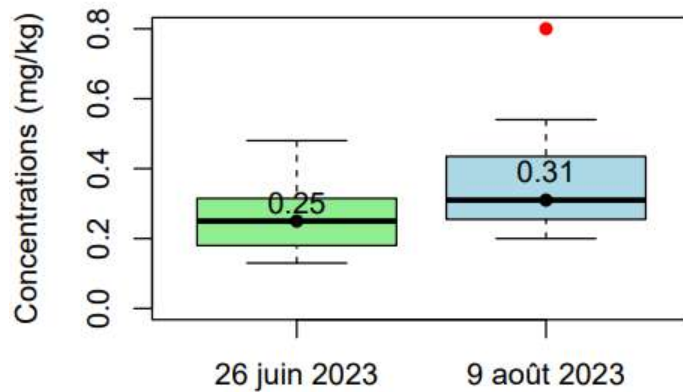
La teneur en matière organique dans les sols échantillonnés est comprise entre 3,9 et 11,5%, avec une médiane à 6,4%. Les teneurs les plus élevées sont observées dans le verger de pommiers. Les teneurs mesurées sont comparables à celles rapportées dans d'autres sols similaires du Québec (argileux ou sableux), bien qu'elles se situent dans la gamme haute des valeurs mesurées (IRDA, 2023). Les concentrations en cations et métaux dans les sols ont été comparées au fond géochimique pour la plateforme des Basses-Terres du Saint-Laurent (Beaulieu, 2021). Aucune valeur ne dépasse ce fond géochimique (**Annexe E**).

##### 3.2.2. Pesticides

Chaque sol a été échantillonné deux fois en 2023, au même endroit, une fois en début d'été (26 juin 2023) et une fois en fin d'été (9 août 2023). Trois pesticides et un produit de transformation ont été détectés dans les sols : il s'agit des herbicides S-métolachlore, imazéthapyre, glyphosate et du produit de transformation de ce dernier l'acide aminométhylphosphonique (AMPA).

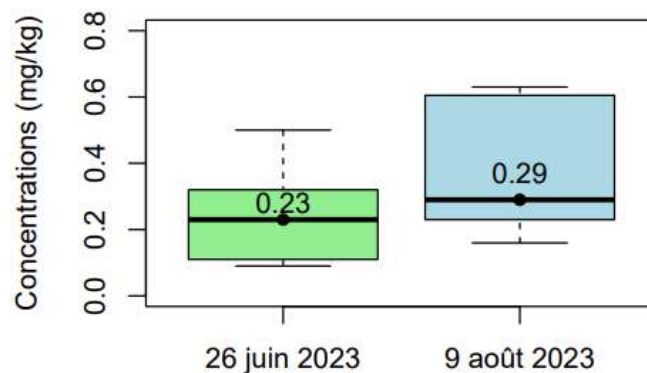
L'imazéthapyre a été détecté dans deux sols cultivés en soya à des teneurs inférieures à 0,005 mg/kg. Le S-métolachlore a été détecté dans cinq sols lors de chaque campagne, à une teneur moyenne de 0,003 mg/kg pour chaque campagne. Il a été détecté dans des sols cultivés en maïs, soya, orge et dans un verger de pommes.

Le glyphosate a été détecté dans la totalité des échantillons, et l'AMPA dans 79% des échantillons. La teneur médiane de glyphosate est de 0,27 mg/kg de sol. La teneur médiane en AMPA est également de 0,27 mg/kg de sol (excluant les échantillons pour lesquels la teneur est comprise entre la LDM et la LQM). Les **Figures 3** et **4** représentent la répartition des teneurs en glyphosate et en AMPA par campagne d'échantillonnage. Les teneurs en glyphosate et en AMPA, ainsi que le type de culture pour chaque sol, sont résumés dans le **tableau 1**.



**Figure 3 : Teneurs en glyphosate (mg/kg) en fonction de la campagne d'échantillonnage (toutes cultures confondues).**

Les diagrammes en boîte représentent la médiane (trait gras), les 25<sup>ème</sup> et 75<sup>ème</sup> percentiles, ainsi que le minimum et maximum. Les points rouges représentent les potentielles données aberrantes.



**Figure 4 : Teneurs en AMPA (mg/kg) en fonction de la campagne d'échantillonnage (toutes cultures confondues).**



**Tableau 1 : Teneurs en glyphosate et en AMPA dans les sols échantillonnés (mg/kg).**

Sol	Culture	26 juin 2023		9 août 2023	
		Glyphosate (mg/kg)	AMPA (mg/kg)	Glyphosate (mg/kg)	AMPA (mg/kg)
1	Soya	0,34	0,50	0,20	0,27
2	Soya	0,29	0,36	0,54	0,63
3	Maïs	0,48	0,23	0,45	0,59
4	Maïs	0,16	LOD<x<LOQ	0,27	0,16
5	Maïs	0,14	0,11	0,31	LOD<x<LOQ
6	Pommiers	0,20	0,09	0,80	0,29
7	Soya	0,13	<LOD	0,33	LOD<x<LOQ
8	Maïs	0,35	0,11	0,24	LOD<x<LOQ
9	Maïs	0,27	<LOD	0,22	<LOD
10	Maïs	0,25	0,28	0,27	0,62
11	Orge	0,21	<LOD	0,42	0,19
	Minimum	0,13	<LOD	0,20	<LOD
	Maximum	0,48	0,50	0,80	0,62
	Médiane	0,25	0,23	0,31	0,29
	Moyenne	0,26	0,24	0,37	0,39
	Écart-type	0,10	0,14	0,17	0,19

Le glyphosate est actuellement l'ingrédient actif de pesticide le plus vendu au Québec et représentait 42% des ventes totales tous secteurs confondus selon le dernier bilan publié par le MELCCFP sur les ventes de pesticides en 2022 (MELCCFP, 2024). Il s'agit d'un herbicide foliaire systémique, c'est-à-dire qu'il est absorbé par les feuilles et non sélectif. L'acide aminométhylphosphonique (AMPA) est le principal produit de dégradation du glyphosate dans les sols et les eaux. Il n'existe actuellement pas de normes sur les concentrations maximales acceptables de pesticides dans les sols.

Une augmentation des teneurs en AMPA et en glyphosate ainsi que de l'étalement des valeurs sont observables entre la campagne de juin et celle d'août, mais cette augmentation n'est pas significative au sens statistique. La plus grande variabilité des valeurs observée en août peut résulter d'épandages supplémentaires de glyphosate sur certaines parcelles, et/ou peut provenir d'une dégradation variable du glyphosate en AMPA suivant les sols. Par exemple, les teneurs en glyphosate et AMPA sont nettement plus élevées en août qu'en juin dans la culture d'orge et le verger de pommiers, ce qui suggère des épandages supplémentaires. Les teneurs sont sensiblement les mêmes entre les cultures de maïs et de soya.

Les teneurs en glyphosate et AMPA mesurées en 2024 sont du même ordre de grandeur que celles de 2023 : 1,04 et 0,09 mg/kg pour le glyphosate pour S1 et S2, respectivement, et 0,32 et 0,14 mg/kg pour l'AMPA pour S1 et S2, respectivement. La teneur assez élevée en glyphosate pour S1 pourrait correspondre à un épandage juste avant la période d'échantillonnage (juin 2024).

### 3.3. Eau de surface

#### 3.3.1. Paramètres physico-chimiques et inorganiques

La rivière Saint-André fait l'objet d'un suivi de la qualité de l'eau par le MELCCFP à son exutoire, à raison d'un échantillonnage par mois (Banque de données sur la qualité du milieu aquatique - BQMA, MELCCFP, 2024). Les données collectées dans cette étude ont été comparées, lorsque c'était pertinent, aux dernières données disponibles en ligne pour la période estivale (mai 2021-octobre 2023 ; mesures prises à l'exutoire du bassin versant).

La température des eaux de surface est comprise entre 10,2 et 25,6 °C, la température la plus haute étant mesurée durant la campagne du 2 juin 2023 et la température la plus basse lors de la campagne du 22 septembre 2023. Le pH de l'eau des différentes stations de mesure est compris entre 7,1 et 8,7, et rentre dans la gamme recommandée pour la protection de la vie aquatique en eau douce. La conductivité électrique de l'eau (CE) représente sa capacité à conduire le courant électrique, et sa valeur est directement proportionnelle à la quantité d'ions dissous dans l'eau (minéralisation). La CE s'échelonne entre 411 et 914  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui correspond à la gamme de valeurs attendues pour une eau naturelle. La saturation en oxygène dissous est comprise entre 8% et 156%, avec une médiane à 93%, qui indique que les eaux sont très majoritairement bien oxygénées. Les valeurs prises par ces différents paramètres sont comparables aux données de la BQMA.

90% des concentrations en nitrates mesurées dans les eaux de surface dépassent le critère CVAC (3 mg N/L, toutes mesures confondues soit un total de 69), et ce chiffre monte à 97% pour les nitrites (0,02 mg N/L). Tous les points d'échantillonnage montrent des dépassements. Les statistiques par point d'échantillonnage sont présentées dans les **Tableaux 2** (nitrates) et **3** (nitrites), et celles par campagne sont montrées dans la **Figure 5** (nitrates). Une carte de la répartition des concentrations moyennes en nitrates+nitrites est également présentée dans la **Figure 6**.

Les données de la BQMA pour les périodes estivales 2020-2023 montraient 28% de dépassement du critère CVAC sur l'ensemble des mesures en période estivale (total de 18 mesures sur trois

étés), avec une valeur moyenne de 2,3 mg N/L (somme nitrites et nitrates). En 2018-2020, la concentration moyenne était de 1,9 mg N/L (25% de dépassement), en 2016-2018 de 2,2 mg N/L (22% de dépassement), et en 2014-2016 de 3,1 mg N/L (22% de dépassement). La concentration moyenne mesurée à l'exutoire à l'été 2023 est beaucoup plus élevée, avec une valeur de 8,0 mg N/L pour les nitrates et de 0,09 mg N/L pour les nitrites (point 1 dans les **Tableaux 3 et 4**). À noter que les valeurs de concentration sont en général très dispersées, quel que soit le point d'échantillonnage, ce qui montre que les concentrations en nitrates/nitrites sont très dynamiques.

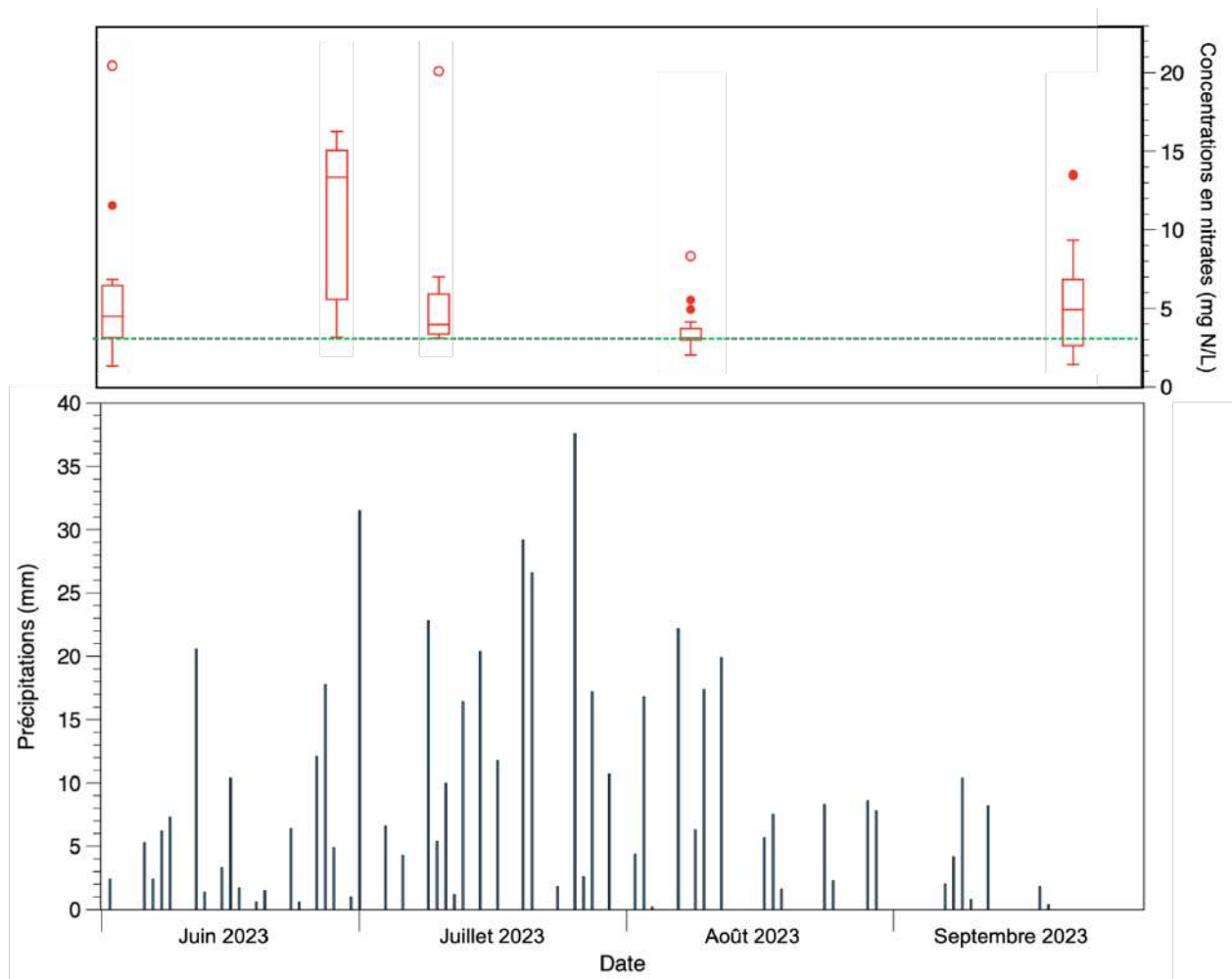
**Tableau 2 : Résumé statistique des teneurs en nitrates pour les 15 points d'échantillonnage (mg N/nitrates/L)**

Point	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Médiane	Nb de mesures
1	1,4	13,5	8,0	5,3	8,6	4
2	3,2	10,5	5,7	2,5	4,9	5
3	3,7	20,4	9,6	7,0	4,3	5
4	1,4	13,6	7,9	4,4	8,2	4
5	3,9	15	8,8	4,2	9,3	5
6	4,1	14,2	7,5	3,5	6,2	5
7	3,1	5,2	3,9	0,9	3,6	4
8	1,8	14,6	6,0	4,5	4,0	5
9	2,6	4,1	3,6	0,6	4,0	5
10	3,8	20,1	8,1	6,0	5,7	5
11	4,6	13,4	7,5	3,5	6,1	4
12	1,6	16,2	5,7	5,3	3,3	5
13	1,3	5,2	3,6	1,7	4,2	3
14	3,3	16	7,4	4,5	6,8	5
15	1,4	6,8	4,0	1,8	4,3	5

**Tableau 3 : Résumé statistique des teneurs en nitrites pour les 15 points d'échantillonnage (mg N-nitrites/L)**

Point	Min	Max	Moyenne	Écart-type	Médiane	Nb de mesures
1	0,07	0,20	0,11	0,05	0,09	4
2	0,00	0,21	0,10	0,07	0,11	5
3	0,07	0,25	0,15	0,06	0,13	5
4	0,07	0,21	0,14	0,06	0,15	4
5	0,08	0,24	0,16	0,07	0,16	5
6	0,10	0,24	0,16	0,05	0,16	5
7	0,07	0,21	0,16	0,05	0,18	4
8	0,06	0,33	0,15	0,10	0,14	5
9	0,06	0,15	0,08	0,03	0,07	5
10	0,07	0,35	0,17	0,11	0,15	5
11	0,08	1,57	0,59	0,61	0,35	4
12	0,08	0,24	0,13	0,06	0,10	5
13	0,09	0,10	0,10	0,00	0,10	3
14	0,00	0,20	0,09	0,07	0,07	5
15	0,00	0,17	0,08	0,06	0,05	5

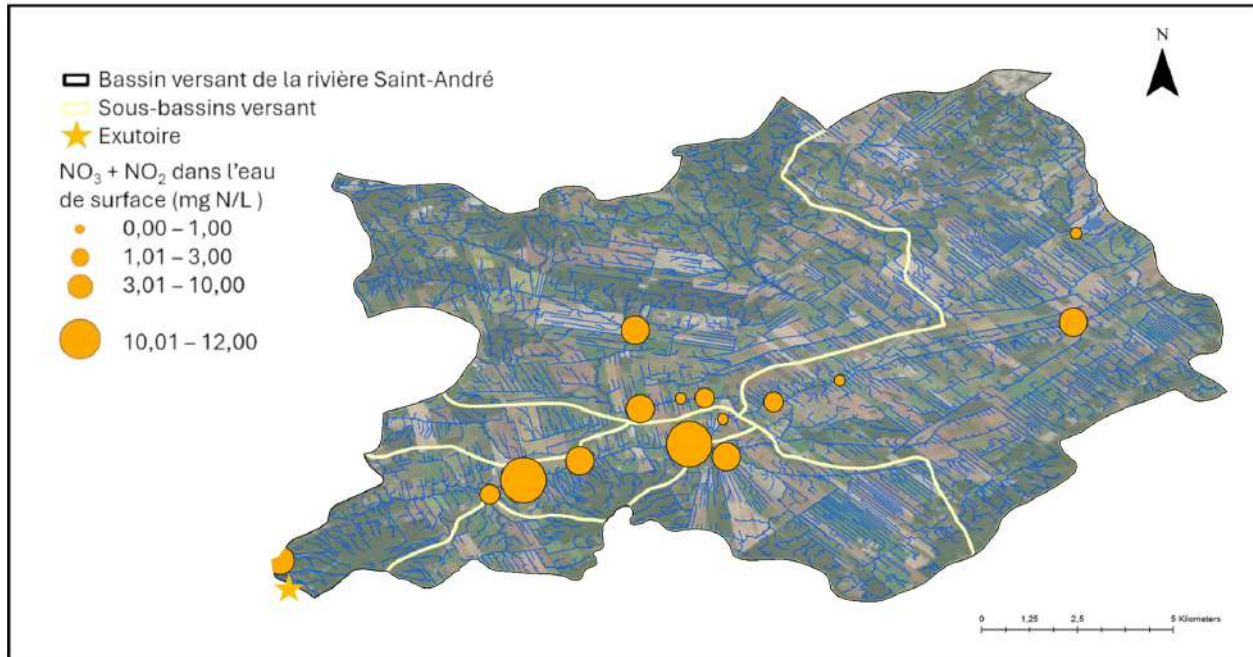
Les concentrations en nitrates les plus élevées ont été mesurées lors de la seconde campagne d'échantillonnage (28 juin 2023), avec une médiane à 13,3 mg N/L, tandis que les concentrations les plus basses ont été mesurées lors de la campagne du 9 août 2023 avec une médiane à 4,2 mg N/L (**Figure 5**). L'augmentation marquée des concentrations entre la première et la seconde campagne d'échantillonnage pourrait correspondre à un apport de fertilisants, que ce soit du fumier (épandage permis entre le 1<sup>er</sup> avril et le 1<sup>er</sup> octobre, Règlement sur les exploitations agricoles, Québec, 2024), bien qu'il soit plutôt appliqué avant les semis, ou des fertilisants synthétiques, en particulier pour le maïs. Les concentrations plus basses mesurées en août suivent une période de précipitations intenses : il est tombé 256 mm de pluie en juillet 2023, soit presque trois fois plus qu'en juillet 2022 (données climatiques de la station Lachute, MELCCFP, 2024). L'évolution des concentrations en nitrates est souvent fortement corrélées aux débits, que ce soit une corrélation négative ou positive (Dupas *et al.*, 2016). Une interprétation plus poussée des dynamiques de concentrations par rapport aux conditions hydrologiques nécessiterait de mesurer également les débits aux différents points d'échantillonnage.



**Figure 5 : Précipitations journalières (mm) et teneurs en nitrates (mg N-nitrates/L) en fonction de la campagne d'échantillonnage.**

**Les points rouges et blancs représentent les potentielles données aberrantes. La ligne pointillée verte représente le CVAC.**

Il y a un effet cumulatif des concentrations, les concentrations moyennes les plus élevées ayant été mesurées en aval du bassin versant, le long de la rivière principale (**Figure 6**).



**Figure 6 : Concentrations moyennes en nitrates+nitrites (mg N/L) sur les cinq campagnes pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface.**

Le phosphore total n'a pas été mesuré lors de cette étude. Seuls les phosphates dissous ont été quantifiés (après filtration des échantillons), et les concentrations sont <LDM (limite de détection de la méthode).

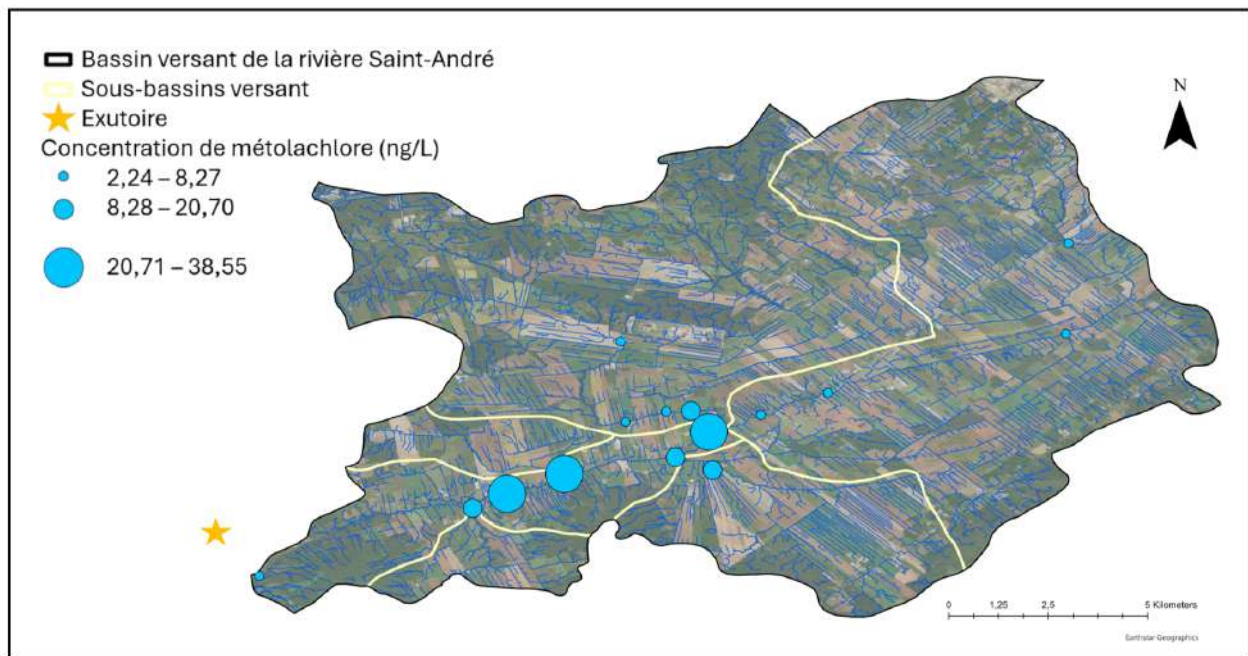
### 3.3.2. Pesticides

Deux ingrédients actifs à effet herbicide ont été détectés et quantifiés dans les eaux de surface en 2023. Il s'agit de l'atrazine (Aatrex 480, Converge 480) et du S-métolachlore (Dual Magnum). L'atrazine a été détectée dans 33% des échantillons, à une concentration moyenne de 1,2 ng/L. Le S-métolachlore a été détecté dans 76% des échantillons, à une concentration moyenne de 11,4 ng/L. Des cartes de la répartition des concentrations moyennes en S-métolachlore et atrazine sont présentées dans les **Figure 7** et **8**, respectivement. Tous les points d'échantillonnage ont au moins une détection pour le S-métolachlore lors des cinq campagnes d'échantillonnage, tandis que certains points n'ont pas de détection pour l'atrazine. Pour les deux composés, ce sont les points situés le long de la rivière principale qui montrent les concentrations moyennes les plus élevées.

Le glyphosate a été détecté à un point (point 9) et l'AMPA à deux points (points 2 et 13). Les concentrations sont sous les limites de quantification (LQM) à chaque fois. La faible détection de ces deux composés, à la fois en fréquence et en concentration, est inattendue au regard des

concentrations mesurées dans les sols lors de cette étude et dans des contextes similaires (voir section 4). Un problème lors de la conservation des échantillons ou de l'analyse ne peut être exclu, et les concentrations rapportées devraient être considérées comme des concentrations minimales.

Aucun de ces composés ne dépasse le CVAC.



**Figure 7 : Concentrations moyennes en S-métolachlore (ng/L) sur les cinq campagnes pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface en 2023.**

En 2024, trois stations ont été échantillonnées pour les eaux de surface : les stations 1 (exutoire), 8 et 12. 12 pesticides ont été détectés dans les eaux de surface, dont neuf herbicides (et un produit de transformation), un fongicide et deux insecticides. Un résumé des substances détectées, des concentrations et des stations concernées est présenté dans le **Tableau 4**.

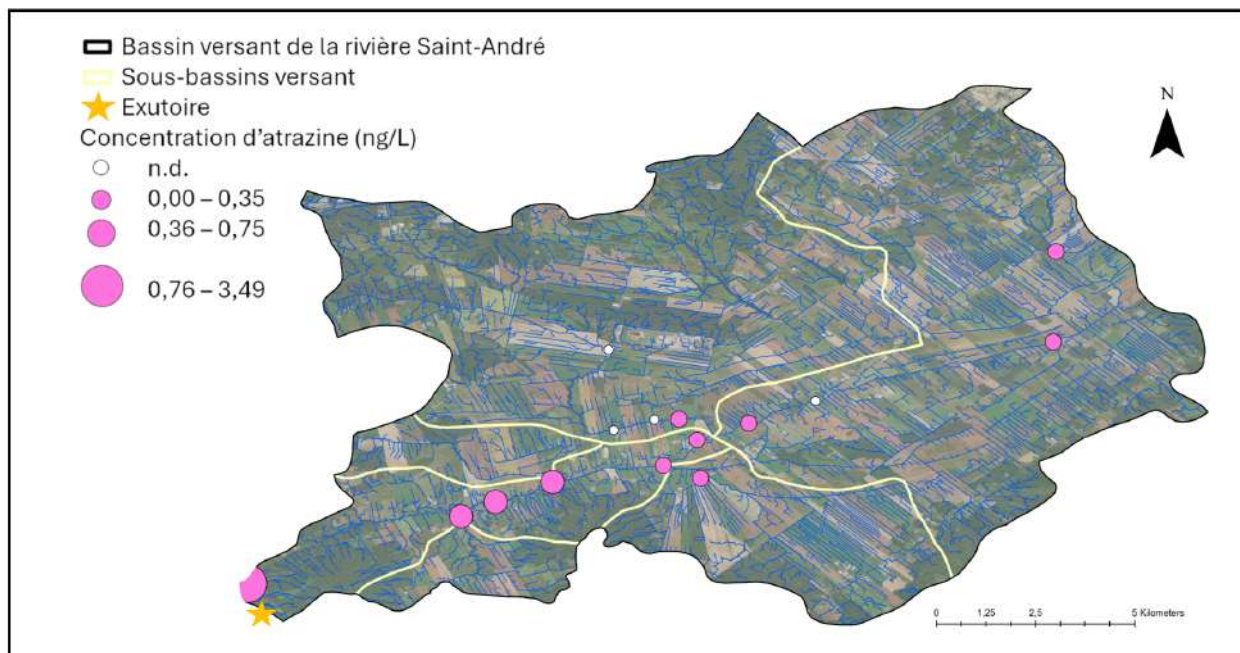


Figure 8 : Concentrations moyennes en atrazine (ng/L) sur les cinq campagnes pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface en 2023.

Tableau 4 : Pesticides détectés dans les eaux de surface en 2024. Les composés en bleu n'étaient pas analysés en 2023.

Composé (ng/L)	Point 1	Point 8	Point 12
<i>Herbicides</i>			
Atrazine	10	<LDM	_b
Déethyl-atrazine <sup>a</sup>	10	10	_b
S-métolachlore	2000	1200	_b
Imazéthapyre	350	100	320
Mésotrione	490	360	470
Diméthénamide	980	330	_b
Rimsulfuron	20	30	20
Métribuzine	340	40	_b
Flumetsulam	530	330	540
Chlorimuron éthyl	8	<LDM	8
<i>Fongicides</i>			
Azoxystrobine	2	<LDM	2
<i>Insecticides</i>			
Chlorantraniliprole	70	60	60
Clothianidine	20	20	30

<sup>a</sup>Produit de transformation de l'atrazine

<sup>b</sup>composés non-analysés pour le point 12 suite à un bris de bouteille lors du transport.

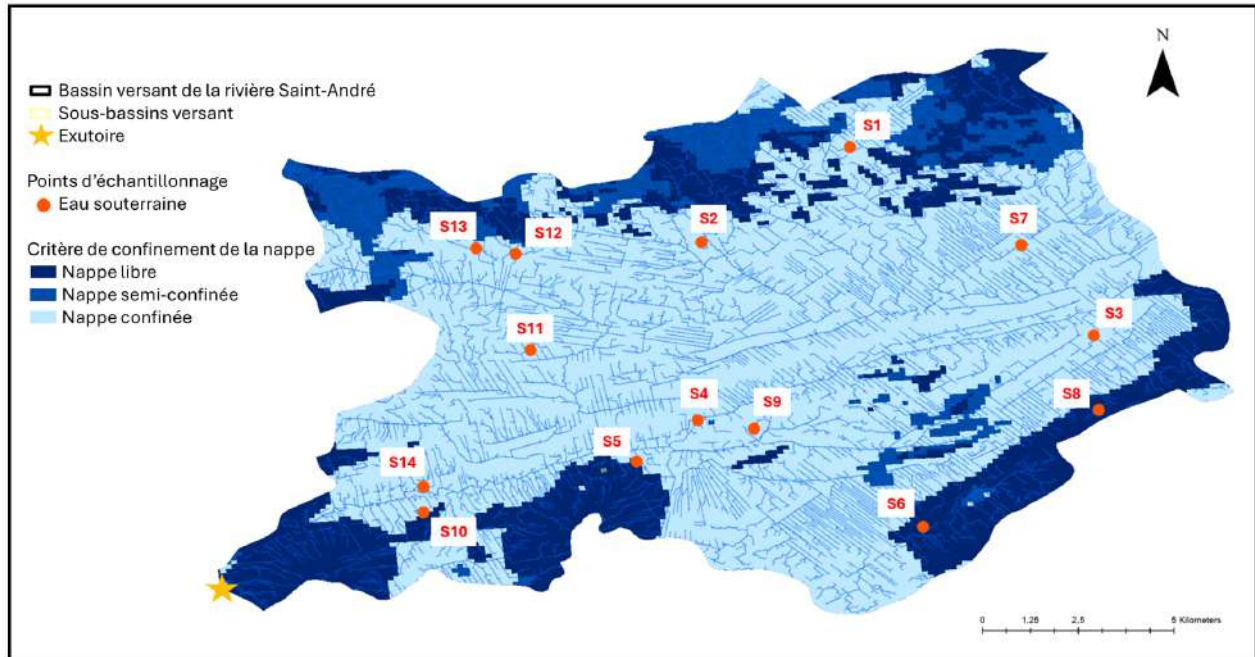


Les résultats tendent à montrer que l'on retrouve plus de composés à l'exutoire, à des concentrations en général plus élevées, bien qu'il soit difficile de tirer une conclusion sur trois points de mesure. Mis à part l'azoxystrobine, le chlorimuron éthyl et l'atrazine, les détections sont systématiques pour les trois points d'eau de surface. Parmi les cinq composés analysés en 2023 et 2024, seuls l'atrazine et le S-métolachlore ont été détectés les deux années. La concentration en atrazine en 2024 est très proche de la limite de quantification de la méthode. Les concentrations en S-métolachlore mesurées en 2024 sont plus élevées qu'en 2023, de plusieurs ordres de grandeur. L'échantillonnage ayant eu lieu à la même période lors des deux ans, et le S-métolachlore étant très utilisé en cultures de maïs/soya d'une année sur l'autre, il est probable que cette différence s'explique en partie par l'approche analytique différente utilisée dans les deux laboratoires.

Les concentrations en clothianidine, insecticide de la famille des néonicotinoïdes, dépassent systématiquement la valeur du CVAC (8,3 ng/L). Il s'agit du seul composé présentant un dépassement des normes.

### 3.4. Eaux souterraines

Les aquifères captifs sont confinés par un ou plusieurs niveaux imperméables (aquitards), et sont sous pressions (puits artésiens). Les aquifères à nappe libre quant à eux sont soumis à la pression atmosphérique et sont en général plus sensibles à une contamination provenant de la surface. Les aquifères semi-captifs se trouvent dans une situation intermédiaire. Les conditions de confinement dans le bassin versant sont présentées à la **Figure 9**. Ces données sont tirées du Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines réalisé dans la région des Laurentides et dans la MRC Les Moulins (PACES-LAULM, Gagné et *al.*, 2022). La plupart des puits échantillonnés interceptent la nappe confinée par les argiles de la Mer de Champlain. Seuls deux puits se trouvent clairement dans la nappe libre (S6 et S8), et deux autres en limite de zone captive/zone libre (S5 et S10).

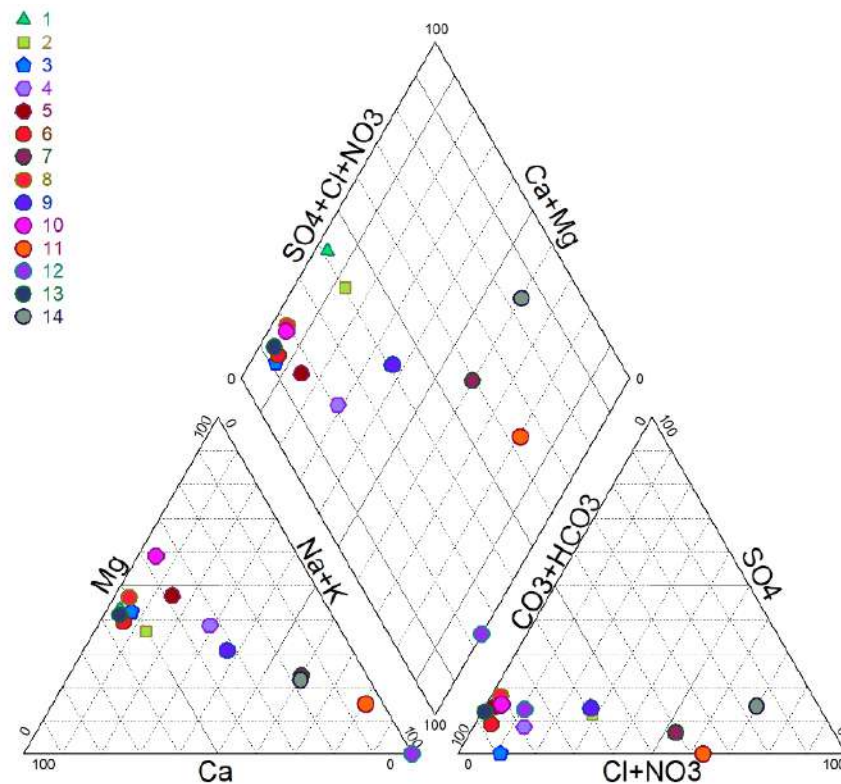


**Figure 9 : Indice de confinement. Carte établie à l'aide des données du PACES-LAULM (Gagné et al., 2022).**

### 3.4.1. Paramètres physico-chimiques et inorganiques

La température des eaux souterraines s'échelonne entre 8,4 et 14,9 °C. Le pH de l'eau des différents puits est compris entre 6,8 et 8,4. La conductivité électrique n'a pu être mesurée que sur les puits 1 à 3 suite à un problème de sonde, et les valeurs sont comprises entre 423 et 683  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La saturation en oxygène dissous est très variable d'un point à l'autre et est comprise entre 0% et 82% (les valeurs ne sont pas disponibles pour les points 1 à 3), ce qui indique un milieu réducteur dans certains puits.

Les types d'eau sont définis selon les concentrations en ions majeurs ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) présents dans l'eau, et reflètent à la fois la composition minéralogique de l'aquifère et les temps de séjour de l'eau dans cet aquifère. Le type d'eau dominant sur le bassin versant est  $\text{Ca-HCO}_3$  (10 puits, **Figure 10**), qui correspond en général à des eaux peu minéralisées. Trois puits présentent une composition de type  $\text{Na-Cl}$ , et un puits est de type  $\text{Na-HCO}_3$ . Les faciès  $\text{Na-Cl}$  et  $\text{Na-HCO}_3$  représentent des eaux plus minéralisées que le faciès  $\text{Ca-HCO}_3$ , ayant séjourné plus longtemps dans l'aquifère. Les trois puits de type  $\text{Na-Cl}$ , qui interceptent la nappe confinée, présentent des concentrations élevées en sodium et chlorures, associées à la présence de bromure. Cette signature chimique reflète l'influence de dépôts salins hérités de la mer de Champlain.



**Figure 10 : Diagramme de Piper représentant les types d'eau.**

Les résultats pour les critères de potabilité sont présentés dans le **Tableau 5**, ceux pour les objectifs esthétiques sont présentés dans le **Tableau 6**. Il est à noter que tous les paramètres réglementés n'ont pas été mesurés. Au niveau des critères de potabilité, l'antimoine, l'arsenic, le sélénium et l'uranium n'ont pas été quantifiés. Au niveau des objectifs esthétiques, ce sont la matière dissoute totale et le sulfure qui n'ont pas été quantifiés.

**Tableau 5 : Résumé des dépassements des normes de qualité de l'eau potable.**

Paramètres	Nb de dépassement (Nb de points) % de dépassement	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Moyenne (mg/L)	Écart- type (mg/L)	Critère de potabilité* (mg/L)
Nitrites/Nitrates (mg N/L)	2(14), 14%	0	12	2,1	3,8	10
Manganèse (mg/L)	4(14), 29%	0	0,56	0,12	0,17	0,12
Fluor (mg/L)	1(14), 7%	0,2	2,9	0,65	0,67	1,5

\*Règlement sur la qualité de l'eau potable (Québec, 2019)

Seuls les paramètres présentant des dépassements sont présentés.

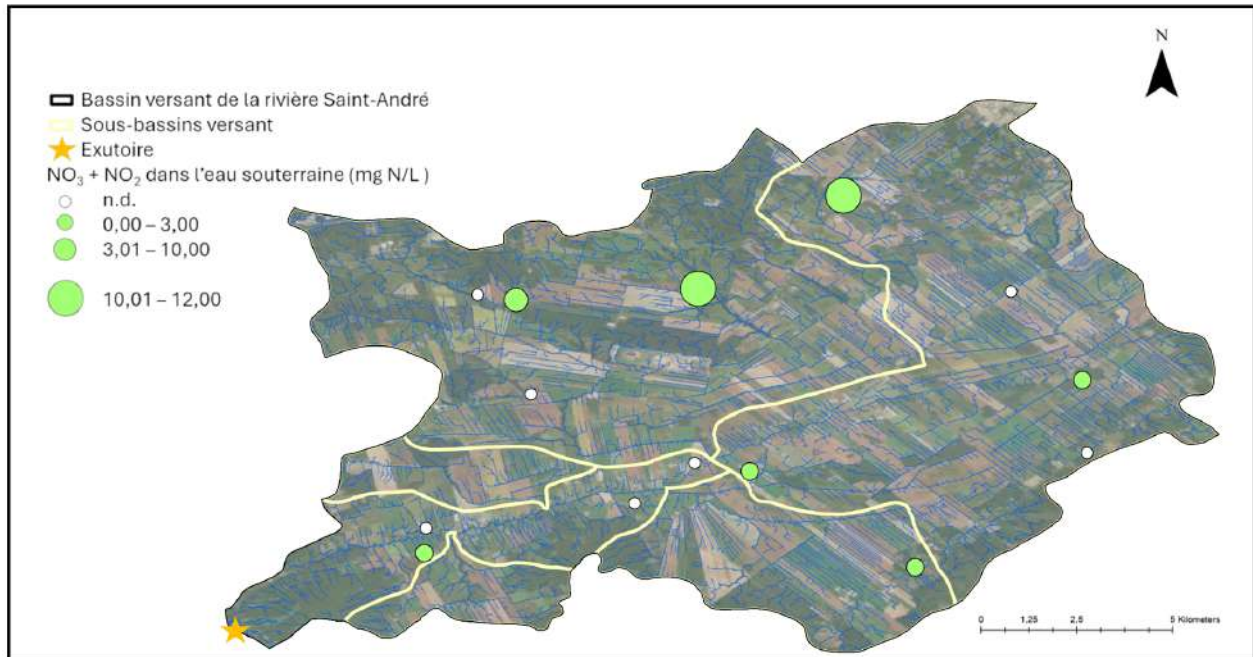
**Tableau 6 : Résumé des dépassements des objectifs esthétiques.**

Paramètres	Nb de dépassement (Nb de points) % de dépassement	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Moyenne (mg/L)	Écart- type (mg/L)	Critère OE* (mg/L)
Chlorures (mg/L)	2(14), 14%	1,2	461,4	89,8	151,5	250
Manganèse (mg/L)	6(14), 43%	0	0,56	0,12	0,17	0,05
Sodium (mg/L)	2(14), 14%	2,9	443	85,5	135,3	200
Dureté totale	11(14), 79%	111	515	271	103	200

\*Santé Canada, 2019

Seuls les paramètres présentant des dépassements sont présentés.

La présence de manganèse est due à la dissolution des minéraux de la roche et du sol dans lesquels l'eau circule. On peut observer ces dépassements dans l'eau provenant d'aquifères rocheux fracturés et provenant de dépôts meubles. Des dépassements en manganèse ont été également mesurés dans les eaux souterraines de la région lors du PACES-LAULM (Gagné et al., 2022). La présence de fluor traduit la présence d'une eau évoluée, et la concentration la plus élevée se retrouve dans le puits qui montre la plus forte influence des dépôts salins de la mer de Champlain. L'existence de ces dépôts salins explique également les dépassements en critères OE pour le sodium et le chlorure. La dureté est contrôlée par les concentrations en calcium et en magnésium, et peut être élevée dans l'eau circulant dans les roches sédimentaires qui constituent la plateforme des Basses-Terres et du Saint-Laurent.



**Figure 11 : Concentrations en nitrates+nitrites (mg N/L) pour chaque point d'échantillonnage d'eau de surface à l'été 2023.**

Les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines sont présentées dans la **Figure 11**. Des nitrates et/ou des nitrites ont été détectés dans 50% des puits (7 sur 14). Les gammes de concentration mesurées, ainsi que leur dispersion, sont similaires à celles rapportées lors d'études précédentes (Meyzonnat et al., 2016, Saby et al., 2017). Deux puits (les points 1 et 2) présentent des concentrations en nitrates dépassant le critère de potabilité. Il s'agit de puits en bordure de champs agricole. Leur profondeur est de 19 et 27 m, respectivement, il ne s'agit donc pas de puits de surface (Système d'Information Hydrogéologique, MELCC, 2018). Ils se trouvent d'ailleurs dans la nappe confinée d'après la **Figure 9**. Il n'existe pas de relation apparente entre le degré de confinement d'un puits et sa concentration en nitrates. Une contamination depuis la surface est l'explication la plus probable pour expliquer ces concentrations élevées. Que ce soit dans les eaux de surface ou les eaux souterraines, les nitrates peuvent provenir des fertilisants organiques (fumier, lisier), des fertilisants synthétiques, des fosses septiques et des effluents municipaux, ou encore être présents naturellement. La détermination des sources potentielles de nitrates nécessite de déterminer la composition isotopique en <sup>18</sup>O et <sup>15</sup>N dans les nitrates (Aelion et al., 2009). De telles mesures ont été faites lors du PACES-LAULM sur certains puits (hors de la zone de la présente étude); les résultats ont montré que les nitrates sont issus de plusieurs sources différentes en mélange (Pithon 2021).

### 3.4.2. Pesticides

Aucun pesticide n'a été détecté dans les eaux souterraines en 2023. En 2024, les puits 1 et 2 ont été échantillonnés à nouveau. Aucun pesticide n'a été détecté dans le puits 2, tandis que l'herbicide mésotrione (21 ng/L) et l'insecticide chlorantraniliprole (3 ng/L) ont été détectés dans le puits 1. Pour les deux composés, les concentrations détectées dans l'eau souterraine sont plus basses que les concentrations détectées dans les eaux de surface (voir **Tableau 4**). Cette différence de concentration peut s'expliquer par le rôle d'atténuation des sols : une fraction importante des pesticides y est retenue et/ou dégradée (Fenner et *al.*, 2013). En revanche, cette atténuation peut se traduire par une présence importante de produits de transformation de pesticides dans les eaux souterraines, qui ne sont généralement pas mesurés dans les programmes de surveillance (Postigo et Barceló, 2015).

#### **4. PRÉSENCE DE PESTICIDES : COMPARAISON AVEC DES ÉTUDES SIMILAIRES**

Dans cette section, l'occurrence et la concentration en pesticides pour les années 2023-24 sont comparées à des études similaires, au Québec si de telles études sont disponibles, et ailleurs dans le monde.

##### **4.1. Dans les sols**

Peu d'études s'intéressent aux pesticides dans les sols comparativement aux eaux de surface. Les fréquences de détection élevées tant pour le glyphosate que pour l'AMPA dans les sols du bassin versant de la rivière Saint-André sont comparables avec celles rapportées par une étude faite en 2014 sur 45 sols cultivés en soya dans les Basses-Terres du Saint-Laurent (Montérégie, Estrie, Centre-du-Québec, Mauricie et Lanaudière ; Maccario et *al.*, 2022) : 91% des échantillons contenaient du glyphosate, de l'AMPA ou les deux. Les teneurs moyennes en glyphosate étaient comprises entre 0,06 et 0,07 mg/kg, tandis que les teneurs moyennes en AMPA étaient plus élevées, entre 0,26 et 0,30 mg/kg dans les champs ayant été traités avec du glyphosate. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles rapportées dans la présente étude (**Tableau 1**), bien que les teneurs en glyphosate soient un peu plus élevées sur le bassin versant de la rivière Saint-André. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les échantillonnages dans l'étude de Maccario et *al.* (2022) ont eu lieu juste avant le semis et juste après la récolte ; dans les deux cas, on s'attend à une teneur en glyphosate réduite suite à la dégradation en AMPA. Dans la présente étude, les deux échantillonnages ont eu lieu après les premières applications et avant la récolte par suite de contraintes calendaires, ce qui réduit le temps disponible pour une dégradation du glyphosate.

Le glyphosate et l'AMPA sont également fréquemment détectés dans les sols d'autres régions du monde. Aux États-Unis, les deux composés ont été détectés dans plus de 90% des échantillons de sol provenant de deux États (Alabama et Mississippi, total de 45 échantillons) à des concentrations médianes de 0,01 mg/kg pour le glyphosate et de 0,02 mg/kg pour l'AMPA (Battaglin et *al.*, 2014). Ces concentrations sont inférieures à celles reportées sur le bassin versant de la rivière Saint-André, mais les auteurs ne donnant pas d'information sur l'occupation des sols échantillonnés (agriculture ou autre), une comparaison directe est difficile. Une autre étude portant sur 317 sols agricoles provenant de 11 pays de l'Union Européenne a montré que 21% des sols échantillonnés contenaient du glyphosate, et 42% contenaient de l'AMPA, à des teneurs similaires à celles mesurées dans cette étude (Silva et *al.*, 2018).

Une autre étude portant sur les mêmes 317 sols européens a montré qu'outre le glyphosate et l'AMPA, des fongicides tels que le boscalide, l'époxiconazole et le tébuconazole étaient fréquemment détectés (Silva et al., 2019). Le S-métolachlore et l'imazéthapyre détectés dans la présente étude, ne faisaient pas partie des composés analysés lors de l'étude européenne, tandis que l'époxiconazole and le tébuconazole n'ont pas été analysés dans les sols du bassin versant de la rivière Saint-André. À noter que les concentrations rapportées dans ce rapport sont d'un moins un ordre de grandeur inférieures aux concentrations médianes rapportées pour les pesticides analysés dans l'étude européenne (Silva et al., 2019).

#### **4.2. Dans les eaux de surface**

Les dernières mesures de pesticides dans l'eau de surface sur le bassin versant de la rivière Saint-André datent de 2012, et concernent uniquement l'exutoire (Giroux, 2015). 11 prélèvements avaient été faits entre mai et août 2012. Au total, 22 pesticides avaient été détectés. À noter que seules les fréquences de détection et les fréquences de dépassement des CVAC ont été rapportées dans cette étude, les données de concentrations ne sont pas disponibles.

Une comparaison des composés détectés avec la présente étude est donnée dans le **Tableau 7**. Un certain nombre de composés détectés en 2012 le sont toujours en 2023, tels que l'atrazine, le S-métolachlore, le glyphosate l'imazéthapyre ou encore la clothianidine. À l'exception de l'atrazine et de la clothianidine, il s'agit de composés qui sont homologués en 2024 et largement appliqués (MELCCFP, 2024). L'atrazine et la clothianidine font l'objet d'une restriction d'usage depuis 2018 (code de gestion des pesticides, 2024), mais ces composés sont toujours détectés dans les eaux de surface en 2024. La clothianidine était responsable de la totalité des dépassements du CVAC en 2012 pour la rivière Saint-André (Giroux, 2015), et c'est le seul composé dont les concentrations dépassent encore le CVAC en 2024.

D'autres pesticides ont été détectés uniquement en 2012 ou 2023-24. Cette différence s'explique par le fait que la liste des pesticides analysés par les différents laboratoires évolue avec le temps en fonction des tendances à la baisse ou à la hausse des fréquences de détection, et des usages de ces pesticides. Par exemple, le chlorantraniliprole n'était pas analysé en 2012 ; par suite des restrictions d'usage des semences enrobées d'insecticides néonicotinoïdes (clothianidine, imidaclopride et thiaméthoxame), les ventes de cet insecticide ont triplé entre 2017 et 2021 au Québec (MELCCFP, 2023), justifiant son ajout dans la liste des composés mesurés.



**Tableau 7 : Comparaison entre les pesticides détectés en 2012 (Giroux, 2015) et en 2023-24. Les herbicides sont indiqués en bleu, les insecticides en vert et les fongicides en orange.**

Composés détectés en 2012 et 2023-24	Composés détectés en 2012 uniquement	Composés détectés en 2023-24 uniquement
Atrazine	*Déisopropyl-atrazine <sup>a</sup>	Chlorantraniliprole
Dééthylatrazine <sup>a</sup>	Dicamba	<sup>§</sup> Métribuzine
S-Métolachlore	*Bentazone	<sup>§</sup> Flumetsulame
Imazéthapyre	Mécoprop	Chlorimuron Éthyl
Mésotrione	2,4-D	<sup>§</sup> Azoxystrobine
Diméthénamide	*Nicosulfuron	
Glyphosate	MCPA	
AMPA <sup>b</sup>	Clopyralide	
Rimsulfuron	Bromoxynil	
Clothianidine	*Tébutiuron	
	*Simazine	
	*Dichlobénil	
	2,6 dichlorobenzamide <sup>c</sup>	

<sup>a</sup>Produit de transformation de l'atrazine

<sup>b</sup>Produit de transformation du glyphosate

<sup>c</sup>Produit de transformation du dichlobénil

\*Mesuré également en 2023-24, mais non détecté

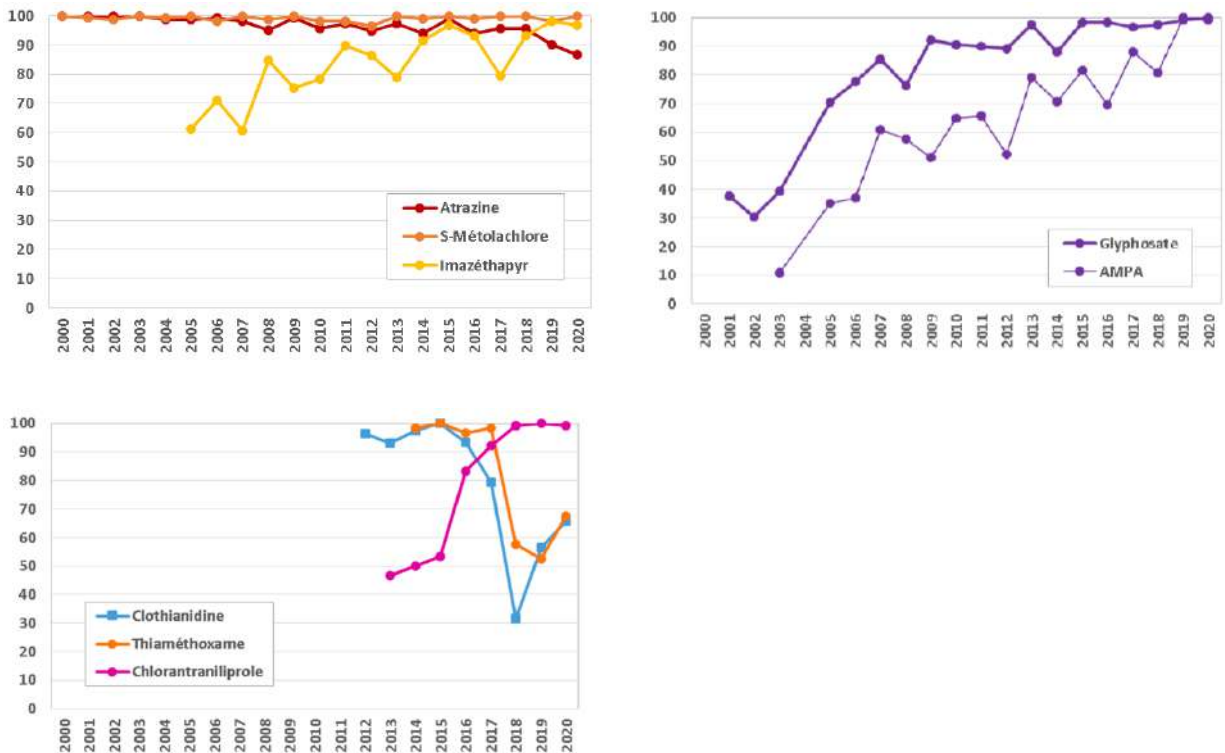
<sup>§</sup>Mesuré également en 2012, mais non détecté

Le MELCCFP fait un suivi régulier des concentrations en pesticides entre début mai et fin août dans quatre cours d'eau dans des zones cultivées en maïs/soya. Lors du dernier suivi pour lequel les données sont disponibles (période 2018-2020, Giroux, 2022), les herbicides les plus fréquemment détectés étaient, dans l'ordre décroissant de fréquence de détection, le S-métolachlore, le glyphosate, l'imazéthapyre, l'AMPA, l'atrazine, le bentazone et le dééthylatrazine. Les insecticides les plus souvent détectés étaient le chlorantraniliprole, le thiaméthoxame et la clothianidine. Les fongicides azoxystrobine, boscalide et pyriméthanil étaient également fréquemment trouvés. Les pesticides détectés dans le bassin versant de la rivière Saint-André en 2023-24 sont très identiques à ceux rapportés par le MELCCFP dans des zones cultivées en maïs-soya.

À l'exception notable du glyphosate et de l'AMPA, dont seules des traces ont été détectées en 2023 à certains points de mesure (pas de suivi en 2024), les gammes de concentration détectées sur le bassin versant de la rivière Saint-André sont similaires à celles rapportées par le MELCCFP

(Giroux, 2022). Le chlorantraniliprole et le S-métolachlore ont été détectés dans la rivière Saint-André à des concentrations un peu plus élevées que celles rapportées par le MELCCFP ; à noter que les tendances pour les concentrations dans les eaux de surface de ces deux composés sont à la hausse, et que les dernières données disponibles datent de 2020 (Giroux, 2022).

La **Figure 12** montre l'évolution de la fréquence de détection de plusieurs pesticides dans les cours d'eau du réseau de base du MELCCFP entre 2000 et 2020 (Giroux, 2022).



**Figure 12 : Tendances des fréquences de détection pour quelques pesticides dans les cours d'eau du réseau de surveillance de base (Giroux, 2022).**

La fréquence de détection de l'atrazine diminue depuis 2018, reflétant une diminution de ses ventes et de son usage. Les concentrations détectées tendent également à diminuer (Giroux, 2022). Le constat est similaire pour les insecticides clothianidine et thiaméthoxame. Au contraire, l'imazéthapyre est de plus en plus détecté, ainsi que le glyphosate, l'AMPA et le chlorantraniliprole. Ce constat est à mettre en parallèle avec l'augmentation des ventes pour ces composés (MELCCFP, 2023).

### 4.3. Dans les eaux souterraines

Comparativement aux eaux de surface, peu d'études s'intéressent à la présence de pesticides dans les eaux souterraines au Québec. Les échantillonnages sont en général plus restreints que pour les eaux de surface et il n'y a pas de suivi dans le temps des puits échantillonnés pour les pesticides. Les études rapportées ici sont, dans la mesure du possible, regroupées par contexte hydrogéologique (Basses-Terres du Saint-Laurent et plaine argileuse, ou Appalaches/Laurentides et sols plus minces et drainants).

Au cours d'une étude menée par le MELCCFP dans les zones cultivées en maïs/soya, 52 puits individuels situés à proximité des cultures ont été échantillonnés en 2015-2016 (Giroux, 2019). Des pesticides ont été détectés dans sept puits : l'atrazine et son produit de dégradation le dééthylatrazine, le glyphosate, le S-métolachlore, le bentazone, l'imazéthapyre et le nicosulfuron, ainsi que les insecticides clothianidine et diazinon. Les concentrations mesurées étaient de l'ordre du ng/L - dizaine de ng/L. Dans un contexte hydrogéologique et de cultures similaires aux travaux précédents, une étude de 2010 a rapporté la présence des herbicides atrazine, S-métolachlore, linuron, diuron, métribuzine, des insecticides chlorpyrifos, diazinon, et du fongicide chlorothalonil dans 13 puits sur 57 échantillonnés dans le bassin versant de la rivière Châteauguay, en zone argileuse ou organique, dans des gammes de concentrations similaires à celles de l'étude précédente (Giroux et *al.*, 2010).

Saby et *al.*, (2017) ont échantillonné 33 puits dans le cadre du PACES de la rivière Nicolet et du bas de la rivière Saint-François, dans un contexte hydrogéologique en partie similaire à celui de la rivière Saint-André. Ils ont rapporté la détection d'un moins un pesticide sur les 47 mesurés dans 23 puits, incluant des puits municipaux. La concentration moyenne totale était de 67 ng/L, ce qui est du même ordre de grandeur que la somme des concentrations détectées dans le puits 1 en 2024. Les composés les plus détectés étaient le krésoxim-méthyl (fongicide), le butoxyde de pipéronyle (insecticide), le trifloxystrobine (fongicide), l'imazéthapyre (herbicide) et le pyriméthanil (fongicide). Aucun de ces composés n'a été détecté lors de la présente étude, et la mésotrione et le chlorantraniliprole n'étaient pas mesurés lors de l'étude de Saby et *al.*, (2017). Une étude portant sur des puits privés et municipaux a mis en évidence la présence d'atrazine, de S-métolachlore, d'hexazinone, de terbuthylazine, de thiabendazole et de carbendazim dans certains puits (Husk et *al.*, 2019). A contrario, une seconde étude concentrée sur la présence de l'herbicide atrazine et de son produit de dégradation la dééthylatrazine dans l'eau potable de différentes municipalités du Québec a montré une absence de ces composés dans les puits municipaux

échantillonnés (Montiel-León, et *al.*, 2019). Lors du PACES Laurentides et les Moulins, sept pesticides ont été détectés dans 14 puits (sur 386) : l'herbicide pendiméthaline, les insecticides phosmet, diazinon, malathion, parathion, chlorpyrifos et dinotéfuran (Gagné et *al.*, 2022). Les concentrations étaient de l'ordre du ng/L.

Enfin, lors d'une étude portant sur la présence de pesticides dans les eaux souterraines dans les secteurs maraîchers, de vergers, de vignes et de petits fruits, Giroux (2016) a rapporté la présence d'au moins un pesticide dans 42 puits sur 103 échantillonnés. 20 substances ont été rapportées (16 pesticides et 4 produits de transformation). Le 2,6-dichlorobenzamide était le composé le plus fréquemment détecté (produit de transformation de l'herbicide dichlobénil), suivi du S-métholachlore, de l'atrazine et son produit de dégradation, le dééthylatrazine, du diméthénamide et du glyphosate. Parmi les fongicides, le boscalide a été détecté le plus fréquemment. Des insecticides étaient aussi présents dans certains puits, tels que le chlorantraniliprole, le chlorpyrifos, le thiaméthoxame et l'imidaclopride. Les gammes de concentrations étaient similaires à celles rapportées ici (ng/L - dizaine de ng/L) ou supérieures suivant le composé.

Lors de ces études, les concentrations rapportées étaient toujours plus basses que celles typiquement détectées dans les eaux de surface. Aucun dépassement des critères de potabilité n'a été rapporté (quand ces critères existent). Plusieurs études soulignent l'absence de lien entre les sources de contamination identifiées à l'échelle du paysage, les caractéristiques de l'aquifère régional, et la pollution des eaux souterraines. Cette dernière semble plutôt liée à des sources de contamination locales. La relation entre la profondeur des puits et le nombre de pesticides détectés et leur concentration n'est pas non plus évidente, bien que les puits de surface soient plus souvent contaminés.

## 5. CONCLUSIONS

La totalité des échantillons de sol contient des résidus de l'herbicide glyphosate et 79% des échantillons contient également son produit de transformation AMPA, à une teneur moyenne de 0,27 mg/kg pour les deux composés. Les teneurs, tant en glyphosate qu'en AMPA, sont globalement plus élevées en fin d'été qu'au début de la saison de culture. Ces composés sont fréquemment détectés dans les sols agricoles des Basses-Terres du Saint-Laurent, et le bassin versant de la rivière Saint-André ne fait pas exception. Deux autres herbicides, le S-métolachlore et l'imazéthapyre, ont été ponctuellement détectés à l'état de trace ( $\mu\text{g/g}$ ).

Les eaux de surface sont fortement influencées par les activités agricoles, avec des dépassements quasi systématiques et parfois importants du critère CVAC pour les nitrates et les nitrites sur l'ensemble du bassin versant au cours de l'été 2023. 15 pesticides (ou leurs produits de transformation), dont une large majorité d'herbicides, ont été détectés en 2023-24. Il s'agit des herbicides atrazine (et produit de transformation dééthylatrazine), S-métolachlore, imazéthapyre, mésotrione, diméthénamide, glyphosate (et produit de transformation AMPA), mésotrione, rimsulfuron, métribuzine, flumetsulame et chlorimuron éthyl ; des insecticides chlorantraniliprole et clothianidine, et du fongicide azoxystrobine. Les concentrations détectées sont généralement plus importantes le long du cours d'eau principal, proche de l'exutoire. Les concentrations en clothianidine (insecticide néonicotinoïde) dépassent systématiquement le critère CVAC, malgré les restrictions d'usage de ce composé mises en place en 2018.

22 pesticides (ou produits de transformation) avaient été détectés lors de l'étude de 2012 (Giroux, 2015), dont un bon nombre de composés est toujours détecté en 2023-24. Les listes de pesticides analysés sont différentes d'un laboratoire à l'autre, et évoluent au cours du temps, ce qui rend les comparaisons entre laboratoires, entre études, et dans le temps, difficiles. On peut cependant tirer quelques remarques générales :

- Les herbicides S-métolachlore, atrazine et dans une moindre mesure imazéthapyre, ainsi que les insecticides néonicotinoïdes sont omniprésents dans les eaux de surface du bassin versant de la rivière Saint-André. C'est également le cas dans les zones cultivées en maïs et soya sur l'ensemble du Québec, et ce, depuis de nombreuses années. La différence notable entre cette étude et les précédentes est la relative absence de glyphosate et d'AMPA dans les échantillons analysés dans cette étude, une différence qui pourrait s'expliquer par un problème après l'échantillonnage.

- L'insecticide néonicotinoïde clothianidine dépasse fréquemment le critère CVAC, tant lors de cette étude que dans d'autres études au Québec. Ce composé était déjà responsable des dépassements du critère CVAC en 2012 sur le bassin versant.
- L'insecticide chlorantraniliprole est de plus en plus fréquemment détecté dans les zones cultivées en maïs/soya dans les eaux de surface. Le bassin versant de la rivière Saint-André ne fait pas exception, et ce composé a été détecté également dans un puits. Il s'agit d'un composé qui est particulièrement toxique pour les organismes aquatiques (Sage pesticides, 2024), qui devrait faire l'objet d'une attention particulière lors de futures études. À noter que le critère CVAC pour le chlorantraniliprole n'a pas été dépassé.

Les eaux souterraines sont globalement de bonne qualité, avec toutefois quelques dépassements des critères de potabilité par rapport aux nitrates, manganèse et fluor. Les dépassements en fluor et manganèse sont liés à la géologie de la région et au confinement de l'aquifère et ont été observés lors d'une étude précédente dans la région (Gagné et *al.*, 2022). Un seul puits contient des pesticides, à des concentrations inférieures à celles retrouvées dans les eaux de surface, ce qui est généralement le cas dans les études québécoises. Il ne semble pas y avoir de lien entre les caractéristiques de l'aquifère, notamment de confinement, et la présence de contaminants d'origine agricole provenant de la surface.

Pour conclure, la qualité de l'eau dans le bassin versant de la rivière Saint-André est typique de la qualité de l'eau mesurée dans beaucoup de bassins versants cultivés en maïs et soya dans les Basses-Terres du Saint-Laurent.

## **RÉFÉRENCES**

Aelion, C. E., et al. (2009). *Environmental Isotopes in Biodegradation and Bioremediation*. Boca Raton, CRC Press. 466 p. <https://doi.org/10.1201/9781420012613>

Battaglin, W. A., et al. (2014). "Glyphosate and Its Degradation Product AMPA Occur Frequently and Widely in U.S. Soils, Surface Water, Groundwater, and Precipitation." *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 50(2): 275-290. <https://doi.org/10.1111/jawr.12159>

Beaulieu, M. 2021. *Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*. Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec, mai 2021, 326 p. [<http://www.environnement.gouv.qc.ca/sol/terrains/guide-intervention/guide-intervention-protection-rehab.pdf>]

Centre D'expertise en Analyse Environnementale du Québec. Détermination des anions : méthode par chromatographie ionique. MA. 300 – Ions 1.3, révision 6, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2020, 14 p. [En ligne]. <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA200Met12.pdf> (page consultée le 16 avril 2024).

Dupas, R., et al. (2016). "Disentangling the influence of hydroclimatic patterns and agricultural management on river nitrate dynamics from sub-hourly to decadal time scales." *Science of The Total Environment* 571: 791-800. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.053>

Fenner, K., et al. (2013). "Evaluating Pesticide Degradation in the Environment: Blind Spots and Emerging Opportunities." *Science* 341(6147): 752. <https://doi.org/10.1126/science.1236281>

Gagné, S., Larocque, M., Morard, A., Roux, M. 2022. *Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans la région des Laurentides et de la MRC Les Moulins - Rapport final mars 2022, Rapport déposé au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*. Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada. 210 p.

Gasser, M.-O., Bossé C., Clément, C.C., Bernard, C., Grenon., L., Mathieu, J.-B., Tremblay, M.-E. 2023. *Rapport 1 de l'Étude sur l'état de santé des sols agricoles du Québec : État de santé des principales séries de sols cultivées*. Rapport final présenté au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ). IRDA. 190 pages.

Giroux, I., et al. (2010). "Présence de Pesticides dans l'Eau Souterraine en Milieu Agricole : Étude Pilote du Bassin Versant de la Rivière Châteauguay." *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques* 35(4): 527-542. <https://doi.org/10.4296/cwrj3504527>

Giroux, I. (2015). Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2011 à 2014, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN. 978-2-550-73603-5, 47 p. + 5 ann. [En ligne] <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/pesticides.htm>

Giroux, I., (2016). Portrait de la présence de pesticides dans l'eau souterraine près de secteurs maraîchers, vergers, vignes et petits fruits - Échantillonnage 2012 à 2014, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 25 p. + 5 ann.

Giroux, I. (2019). Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2015 à 2017, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 64 p. + 6 ann.

Giroux, I. (2022). Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2018 à 2020, Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de la qualité des milieux aquatiques, 71 p. + 15 ann.

Husk, B., et al. (2019). "Pharmaceuticals and pesticides in rural community drinking waters of Quebec, Canada – a regional study on the susceptibility to source contamination." *Water Quality Research Journal* 54(2): 88-103. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2019.038>

Maccario, S., et al. (2022). "Impact of Soil Characteristics and Weed Management Practices on Glyphosate and AMPA Persistence in Field Crops Soils from the St. Lawrence Lowlands (Quebec, Canada)." *Agronomy* 12(5): 992. <https://doi.org/10.3390/agronomy12050992>

MELCC (2018a) Système d'information hydrogéologique (SIH). Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatique. Récupéré de [www.sih.mddep.gouv.qc.ca/](http://www.sih.mddep.gouv.qc.ca/)

MELCCFP (2023). Bilan des ventes de pesticides au Québec – année 2021. Récupéré de <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/pesticides/bilan-ventes-pesticides-quebec.pdf>

MELCCFP (2024). Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA), Québec, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement. Récupéré de : <https://services-mddelcc.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=371faa9786634167a7bdefdead35>



[e43e&extent=-9909340.0871%2C5349374.0518%2C-6323526.2162%2C7120267.1232%2C102100&showLayers=1889229b6cc-layer-178%3B1889229b6c8-layer-170](https://www.melccfp.gouv.qc.ca/ressources/rapports/rapport-qualite-eau-2024-03-12)

MELCCFP (2024). Données climatiques : sommaire des données climatiques à la station Lachute. Récupéré de : [https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/sommaire.asp?cle=7033650&date\\_selection=2024-03-12](https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/sommaire.asp?cle=7033650&date_selection=2024-03-12)

Mezzonati, G., et al. (2015). "The potential of major ion chemistry to assess groundwater vulnerability of a regional aquifer in southern Quebec (Canada)." *Environmental Earth Sciences* 75(1): 68. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4793-9>

Montiel-León, J. M., et al. (2019). "Quality survey and spatiotemporal variations of atrazine and desethylatrazine in drinking water in Quebec, Canada." *Science of The Total Environment* 671: 578-585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.228>

Pithon, F. (2021) Caractérisation de la géochimie de l'eau souterraine et de l'impact anthropique sur la qualité de l'eau dans la région des Laurentides et de la MRC les Moulins. Mémoire de maîtrise en sciences de la Terre, UQAM. 206 p.

Postigo, C. and D. Barceló (2015). "Synthetic organic compounds and their transformation products in groundwater: Occurrence, fate and mitigation." *Science of The Total Environment* 503-504: 32-47. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.019>

Québec (2019). Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP). <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/q-2,%20r.%2040>

Québec (2024). Règlement sur les exploitations agricoles. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/q-2,%20r.%2026>

Québec (2024). Code de gestion des pesticides. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/p-9.3,%20r.%201>

Saby, M., et al. (2017). "Regional assessment of concentrations and sources of pharmaceutically active compounds, pesticides, nitrate, and E. coli in post-glacial aquifer environments (Canada)." *Science of The Total Environment* 579: 557-568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.061>

Samson-Brais, É., et al. (2022). "Glyphosate and aminomethylphosphonic acid contents in field crops soils under various weed management practices." *Agrosystems, Geosciences & Environment* 5(3): e20273. <https://doi.org/10.1002/agg2.20273>

Santé Canada (2019) Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada – Tableau sommaire. Santé Canada. Récupéré de [https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt\\_formats/pdf/pubs/water-eau/sum\\_guide-res\\_recom/sum\\_guide-res\\_recom-fra.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/sum_guide-res_recom-fra.pdf)

Sage pesticides (2024). Récupéré de : <https://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=518> Consulté le 29 novembre 2024.

Silva, V., et al. (2018). "Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union." *Science of The Total Environment* 621: 1352-1359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>

Silva, V., et al. (2019). "Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded." *Science of The Total Environment* 653: 1532-1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.093>

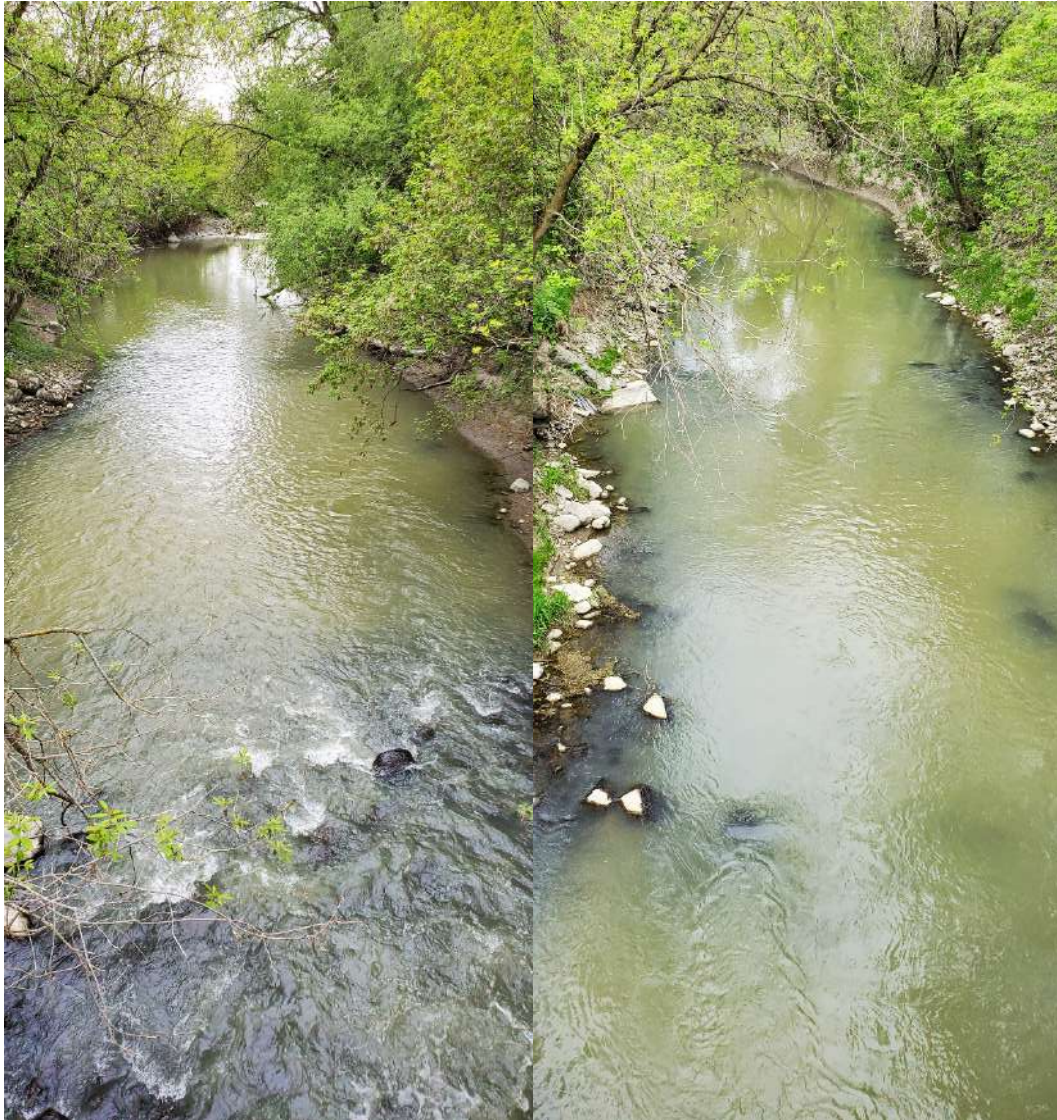
Stumm, W. and Morgan, J.J. (1981) *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., New York.

**ANNEXE A – POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX DE SURFACE**



**Figure 13. Aval et amont du point 1 (45, 54008, -74,332797)**





**Figure 14. Aval et amont du point 2 (45,569238, -74,284661)**





**Figure 15. Aval et amont du point 3 (45,572501, -74,276903)**





**Figure 16. Aval et amont du point 4 (45,576961, -74,264001)**





**Figure 17. Aval et amont du point 5 (45,580719, -74,238808)**





**Figure 18. Aval et amont du point 6 (45,577828, -74,230402)**





**Figure 19. Aval et amont du point 7 (45,586528, -74,231203)**



**Figure 20. Aval et amont du point 8 (45,591313, -74,23529)**





**Figure 21. Aval et amont du point 9 (45,591206, -74,240822)**



**Figure 22. Aval et amont du point 10 (45,588824, -74,25007)**





**Figure 23. Aval et amont du point 11 (45,606934, -74,251301)**





**Figure 24. Aval et amont du point 12 (45,590363, -74,219508)**



**Figure 25. Aval et amont du point 13 (45,595395, -74,20439)**





**Figure 26. Aval et amont du point 14 (45,608712, -74,150681)**





**Figure 27. Aval et amont du point 15 (45,629096, -74,150065)**

**ANNEXE B – PESTICIDES ET PPSP ANALYSÉS EN 2023 ET 2024**

Dans les tableaux 8 et 9, les composés en vert ont été analysés en 2023 et 2024.

**Tableau 8 : Liste des composés analysés en 2023 à l'Université de Sherbrooke, ainsi que leur LDM et LQM.**

Nom du composé	LDM (ng/L)	LQM (ng/L)
Insecticides		
Abamectin	0,23	0,39
Acétamipride	0,09	0,23
Aldicarbe	0,05	0,22
Bendiocarbe	0,16	0,47
Carbaryl	0,26	0,61
Carbofuran	0,06	0,16
Chlorantraniliprole	0,21	0,34
Chlorfenvinphos	0,07	0,16
Chlorpyrifos	0,03	0,12
Clothianidine	0,03	0,12
Coumaphos	0,07	0,15
Cyantraniliprole	0,23	0,36
Diazinon	0,11	0,28
Dichlorvos	0,05	0,23
Diméthoate	0,06	0,15
Dinotefuran	0,13	0,28
Disulfoton	0,08	0,24
Fenchlorophos	0,12	0,36
Imidaclopride	0,06	0,15
Malathion	0,19	0,63
Nitenpyram	0,05	0,29
O-méthoate	0,18	0,54
Parathion	0,15	0,48
Parathion-methyl	0,09	0,31
Perméthrine	0,08	0,19
Phosmet	0,1	0,23
Prothiofos	0,11	0,26
Spinosad	0,07	0,21
Spinosad D	0,09	0,22
Thiaclopride	0,06	0,13
Thiaméthoxame	0,09	0,24
Herbicides		
Atrazine	0,05	0,12

Bentazone	0,12	0,25
Chlortoluron	0,09	0,22
Cyanazine	0,14	0,31
Diuron	0,12	0,24
Hexazinone	0,07	0,16
Imazethapyre	0,11	0,31
Isoproturon	0,25	0,57
Linuron	0,22	0,59
Methibenzuron	0,04	0,19
Métobromuron	0,09	0,2
S-Métolachlore	0,05	0,1
Métoxuron	0,07	0,16
Monolinuron	0,08	0,17
Pendiméthaline	0,07	0,19
Sebuthylazine	0,07	0,15
Simazine	0,09	0,22
Terbuthylazine	0,07	0,18
Fongicides		
Boscalid	0,05	0,23
Carbendazime	0,06	0,17
Fludioxonil	0,18	0,55
Imazalil	0,08	0,22
Iprodione	0,09	0,31
Krésoxim-méthyl	0,04	0,15
Pyraclostrobin	0,08	0,22
Pyriméthanol	0,16	0,37
Thiabendazole	0,05	0,14
PPSP		
Acétaminophène	0,09	0,31
Amoxicilline	0,16	0,27
Aténolol	0,12	0,6
Bézafibrate	0,15	0,49
Caféine	0,12	0,36
Carbamazépine	0,12	0,34
Ciprofloxacine	0,12	0,38
Cyclophosphamide	0,09	0,25
Fénofibrate	0,03	0,23
Ibuprofène	0,17	0,68
Ifosfamide	0,28	0,81
Indométacine	0,14	0,35

Kétoprofène	0,09	0,22
Mefenamic acid	0,32	0,65
Naproxen	0,07	0,24
Ofloxacin	0,07	0,19
Triméthoprim	0,03	0,27
Autres composés		
1-Naphtol	0,07	0,16
Piperonyl butoxide	0,05	0,14
Aldicarb-sulfone	0,1	0,35
Aldicarb-sulfoxide	0,19	0,49
Azinphos-méthyl	0,11	0,3
Ethoprophos	0,04	0,11

**Tableau 9 : Liste des composés analysés en 2024 au CEAEQ, ainsi que leur LDM.**

Nom du composé	LDM (ng/L)
Insecticides	
Aldrine	10
Bendiocarb	10
Carbaryl	20
Carbofurane	10
Chlorpyrifos	10
chlorantraniliprole	2
Chlorfenvinphos	20
clothianidine	5
cyantraniliprole	6
cyfluthrin	6
Cyhalothrin	10
Cyperméthrin	60
Deltaméthrin	40
Dieldrin	10
Diméthoate	10
Diazinon	10
Dichlorvos	20
Disulfoton	20
Fénitrothion	20
flupyradifurone	5
Fonofos	10
imidaclopride	4
Malathion	10

Maloxon	30
Méthidathion	10
Méthoxychlore	10
Mévinphos	10
Parathion	10
Parathion-méthyl	10
Perméthrine	40
Phorate	30
Phosalone	20
Phosmet	20
Primicarbe	100
Propoxur	10
Terbufos	20
tétraniliprole	4
thiaclopride	2
thiaméthoxame	2
ométhoate	10
Herbicides	
Atrazine	30
Bromacil	30
Butilate	10
Carfentrazone éthyle	20
chlorimuron éthyl	6
Chloroxuron	40
Chlorpropham	30
Cyanazine	10
Dééthyle atrazine	10
Désisopropyl atrazine	10
Dichlobénil	10
Diméthazone	20
Diméthénamide	10
Diuron	100
EPTC	10
flumetsulfame	4
imazapyr	10
imazéthapyre	7
isoxaflutole	5
Linuron	70

mésotrione	10
S-Métolachlore	10
Métribuzine	10
Napropamide	30
nicosulfuron	5
Pendiméthaline	20
Propyzamide	20
rimsulfuron	3
Simazine	10
sulfosulfuron	7
Tébuithiuron	220
Terbacil	10
Trifluraline	20
Fongicides	
Azoxystrobine	50
Boscalid	20
Captafol	30
Captane	20
Chloroneb	40
Chlorothalonil	10
Difénoconazole	150
Diméthomorphe	90
fénamidone	1
fénamidone	
métabolite	7
Fluazinam	80
Fludioxonil	60
Iprodion	70
Métalaxyl	70
Metconazole	470
Myclobutanil	100
Penthopyrad	70
Propiconazole	180
Pyraclostrobine	180
pyriméthanil	3
Quintozène	30
Tébuconazole	100
Tétraconazole	120
Trifloxystrobine	30
Triticonazole	430

Autres composés	
1-Naphtol	30
2,6-Dichlorobenzamide	20
imidaclopride-guanidine	6
imidaclopride-urée	6
acétamipride	2
Azinphos-méthyle	50
Busan	60

**Tableau 10 : LDM et LQM pour glyphosate et AMPA.**

	LOD (µg/g)	LOQ (µg/g)
Glyphosate	0,02	0,05
AMPA	0,03	0,09

**Tableau 11 : Liste des anions analysés, ainsi que les LDM et LQM.**

	LDM (µg/L)	LQM (µg/L)
Fluorures	12	25
Chlorures	4	12
Nitrites	5	14
Bromure	6	20
Nitrates	12	32
Phosphate	17	42
Sulfate	14	38

**Tableau 12 : Liste des cations majeurs analysés, ainsi que les LDM et LQM.**

	LDM (µg/L)	LQM (µg/L)
Calcium	40	69
Potassium	181	439
Magnésium	10	31
Sodium	44	72

**Tableau 13 : Liste des éléments trace analysés, ainsi que les LDM et LQM.**

	LDM (µg/L)	LQM (µg/L)
Argent	10	31
Aluminium	10	47
Bore	78	201
Barium	10	31
Bismuth	68	259
Cadmium	10	31
Cobalt	10	31
Chrome	10	31
Cuivre	10	31
Fer	10	31
Gallium	26	84
Indium	83	280
Lithium	10	31
Manganèse	10	31
Nickel	10	31
Plomb	25	114
Strontium	10	31
Thallium	54	169
Zinc	10	31



**ANNEXE C - CRITÈRES CVAC****Tableau 14 : CVAC pour les paramètres inorganiques.**

<b>Élément</b>	<b>Concentration (mg/L)</b>
Argent	0,0001
Baryum	0,91
Bore	5
Cadmium	0,00045
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	120
Chrome	0,15
Cobalt	0,1
Cuivre	0,017
Fer	1,3
Fluorures	2,5
Lithium	0,44
Manganèse	3,5
Nickel	0,094
N-Nitrates	3
N-Nitrites	0,02
Plomb	0,0077
Strontium	21
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1499
Thallium	0,0072
Zinc	0,22

**Tableau 15 : CVAC pour les pesticides et PSPP**

<b>Nom du composé</b>	<b>Concentration (mg/L)</b>
2,4-D	
2,6 dichlorobenzamide	
AMPA	
Atrazine	0,0018
Azoxystrobine	
Bentazone	0,51
Bromoxynil	0,005
Chlorantraniliprole	1 * 10 <sup>-4</sup>
Chlorimuron Éthyl	
Clopyralide	
Clothianidine	8,3 * 10 <sup>-6</sup>
Dééthylatrazine	
Déisopropyl- atrazine	
Dicamba	0,01
Dichlobénil	
Diméthénamide	0,0056
Flumetsulame	0,0031
Glyphosate	0,8
Imazéthapyre	0,0081
MCPA	
Mécoprop	0,013
Mésotrione	
Métribuzine	0,001
Nicosulfuron	
Rimsulfuron	0,0046
Simazine	0,01
S-Métolachlore	0,0078
Tébutiuron	0,0016

**ANNEXE D - CRITÈRES DE QUALITÉ DE L'EAU POTABLE****Tableau 16 : Critères de qualité de l'eau potable pour les paramètres inorganiques**

<b>Élément</b>	<b>Concentration (mg/L)</b>
Aluminium	0,1
Argent	0,1
Barium	1
Bore	5
Cadmium	0,005
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	250
Chrome	0,05
Cuivre	1
Manganèse	0,05
N-Nitrite	1
Plomb	0,01
Sodium	200
Zinc	5

**Tableau 17 : Critères de qualité de l'eau potable pour les pesticides et les PSPP**

<b>Nom du composé</b>	<b>Concentration (µg/L)</b>
2,4-D	
2,6	
dichlorobenzamide	70
AMPA	
Atrazine	3,5
Azoxystrobine	
Bentazone	
Bromoxynil	
Chlorantraniliprole	
Chlorimuron Éthyl	
Clopyralide	
Clothianidine	
Déethylatrazine	3,5
Déisopropyl- atrazine	3,5
Dicamba	85
Dichlobénil	
Diméthénamide	
Flumetsulame	
Glyphosate	210
Imazéthapyre	
MCPA	
Mécoprop	
Mésotrione	
Métribuzine	60
Nicosulfuron	
Rimsulfuron	
Simazine	9
S-Métolachlore	35
Tébutiuron	

**ANNEXE E - TENEURS EN ÉLÉMENTS MAJEURS ET MÉTAUX DANS LES SOLS****Tableau 18 : Critères de qualité de l'eau potable pour les pesticides et les PSPP**

Éléments	Fond géochimique (mg/kg)	Minimum (mg/kg)	Maximum (mg/kg)	Moyenne (mg/kg)	Médiane (mg/kg)
Calcium		0,0	21,3	11,2	11,5
Potassium		0,0	3,6	1,9	2,0
Magnésium		0,0	5,9	3,0	3,0
Sodium		0,0	2,3	1,7	1,8
Argent	2	0,0	0,0	0,0	0,0
Aluminium		0,1	0,7	0,2	0,2
Bore		0,0	0,0	0,0	0,0
Barium	340	0,0	0,2	0,0	0,0
Bismuth		0,0	0,0	0,0	0,0
Cadmium	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Cobalt	25	0,0	0,0	0,0	0,0
Chrome	110	0,0	0,0	0,0	0,0
Cuivre	50	0,0	0,0	0,0	0,0
Fer		0,0	0,3	0,1	0,1
Gallium		0,0	0,0	0,0	0,0
Indium		0,0	0,0	0,0	0,0
Lithium		0,2	0,2	0,2	0,2
Manganèse	1210	0,0	0,7	0,2	0,1
Nickel	65	0,0	0,0	0,0	0,0
Plomb	50	0,0	0,0	0,0	0,0
Strontium		0,0	0,1	0,0	0,0
Thallium		0,0	0,0	0,0	0,0
Zinc	140	0,0	0,0	0,0	0,0

Le fond géochimique a été déterminé à l'aide du **Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés**<sup>1</sup>. Le terrain d'étude se situe dans la province géologique des basses-terres du Saint-Laurent.

<sup>1</sup> <https://www.environnement.gouv.qc.ca/sol/terrains/guide-intervention/index.htm>