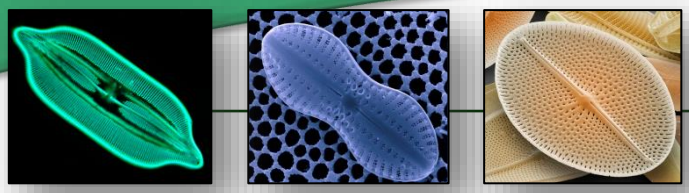


Suivi biologique des cours d'eau de la zone du Chêne de 2009 à 2022 à l'aide de l'indice IDEC

Rapport déposé à l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne (OBV du Chêne)

Stéphane Campeau Ph.D.
Sophie Lacoursière M.Sc.
Dave Mongrain B.Sc.

Mars 2023

Département des sciences de l'environnement
UQTR
Université du Québec à Trois-Rivières

De la goutte d'eau au fleuve
Comprendre, anticiper, réhabiliter
Centre de recherche sur les interactions bassins versants - écosystèmes aquatiques (RIVE)

Réalisation

- Rédaction :
  Stéphane Campeau Ph.D. (UQTR)
- Laboratoire :
  Sophie Lacoursière M.Sc. (UQTR)
- Cartographie :
  Dave Mongrain B.Sc. (UQTR)
- Échantillonnage :
  OBV du Chêne

Contenu

Réalisation 1

Contenu 1

Résumé 2

1. Introduction 4

2. Méthodologie et territoire à l'étude 5

3. Résultats 17

4. Évolution des valeurs d'IDEC de 2009 à 2022 44

Références 54

Annexe I. Interprétation des valeurs et des classes de l'IDEC 55

Annexe II. Inventaires des cultures dans le bassin versant de la rivière du Chêne 57

Département des sciences de l'environnement

UQTR

Université du Québec à Trois-Rivières

Citation : Campeau, S., Lacoursière, S. et Mongrain, D. (2023). Suivi biologique des cours d'eau de la zone du Chêne de 2009 à 2022 à l'aide de l'indice IDEC. Rapport déposé à l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne (OBV du Chêne). Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 61 p.

www.uqtr.ca/IDEC stephane.campeau@uqtr.ca

Résumé

L'Indice Diatomées de l'Est du Canada (**IDEC**) permet d'évaluer la qualité de l'eau et l'état trophique des cours d'eau à partir de la structure des communautés de diatomées. Les **diatomées** sont les algues d'une teinte généralement brunâtre qui tapissent le fond des cours d'eau. De par leur sensibilité aux nutriments (surtout le phosphore et l'azote) et à la matière organique, les diatomées sont d'excellents indicateurs de la qualité de l'eau et du niveau d'**eutrophisation** des cours d'eau. L'indice mesure la différence entre les communautés de diatomées des cours d'eau à l'état naturel, sans aucune pollution, et les communautés des cours d'eau pollués. Les valeurs de l'indice varient entre 0 et 100, une valeur élevée reflétant un niveau d'intégrité biologique élevé et une bonne qualité de l'eau.

En 2009, l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne (**OBV du Chêne**) a mandaté le Laboratoire de recherche sur les bassins versants de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour effectuer le suivi biologique de 32 stations dans les cours d'eau de la zone du Chêne à l'aide de l'Indice IDEC. Le suivi fut réalisé à nouveau en 2010, en ajoutant sept nouvelles stations, pour un total de 39 stations (Campeau et al., 2011). En 2020, soit **une décennie plus tard**, l'OBV du Chêne a de nouveau mandaté l'UQTR afin de procéder à un suivi sur trois ans (**2020-2022**) pour mesurer qu'elle fut l'évolution de la qualité des rivières au cours de la dernière décennie. Au cours de cette période, le nombre de stations suivies fut augmenté à 45. Le suivi effectué dans la zone du Chêne depuis 2011 est **unique au Québec**, étant donné la densité des stations, soit environ une station par 25 km^2, et la fréquence d'échantillonnage, soit entre 4 et 5 échantillonnages annuels sur une période de 14 ans pour la majorité des stations.

Les données de **l'inventaire annuel des cultures** de 2011 et 2021 d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) ont été utilisées pour effectuer le suivi des changements de l'utilisation du territoire dans la zone du Chêne depuis 2011. Selon les données de l'AAC, la superficie agricole totale de la zone du chêne (35%) n'a pas évolué de façon significative entre 2011 et 2021. Par contre, la proportion des différents types de culture a changé. La superficie agricole en 2011 était recouverte à 55 % de pâturages, 19 % de soya, 14 % de maïs, 11 % de cultures céréalières et un peu moins de 1 % d'autres cultures. Une décennie plus tard, les superficies en pâturages et plantes fourragères ont diminué d'environ 10 % au profit des superficies en grandes cultures (maïs et soya).

L'amélioration de la qualité de l'eau observée au cours des 10 dernières années dans la zone du Chêne est remarquable. Pour l'ensemble des stations, **les valeurs d'IDEC ont en moyenne augmenté de 10 points**. Le passage de l'IDEC à une classe supérieure a été observé dans plus de la moitié des stations d'échantillonnage. Sur l'ensemble de la zone du Chêne, 18 stations ont ainsi atteint la **classe B**, qui est considérée comme un objectif à atteindre en milieu agricole. Cette amélioration ne semble pas associée à un biais dans la méthode ou à des conditions météo particulières. Si tel était le cas, l'amélioration de la qualité de l'eau serait systématique, ce qui n'est pas le cas. L'amélioration de la qualité de l'eau n'est en effet pas significative dans le cas de 17 stations, particulièrement dans les petits cours d'eau agricoles (Bois-Clair, Bois-Franc-Pierriche, Gaspard, Bras-des-Boucher, Bourret et Petit-Sault).

Le **premier facteur** qui conditionne la qualité de l'eau est la proportion relative des surfaces occupées par les activités agricoles et les milieux naturels. Lorsqu'il y a moins de **60% de milieux naturels** dans un bassin versant, les communautés de diatomées sont généralement sous la classe B de l'IDEC. Ce critère semble difficilement contournable. Le gain en qualité de l'eau que peuvent procurer les pratiques agroenvironnementales a une limite. Il sera difficile d'atteindre une qualité de l'eau suffisante dans les bassins agricoles sans diversifier les cultures et augmenter la proportion de milieux naturels, particulièrement là où ils ont le plus d'impact, soit le long des cours d'eau.

Par ailleurs, il semble que la **classe A** de l'IDEC soit hors de portée pour les cours d'eau de la zone du Chêne. Cette cote ne fut obtenue qu'à deux reprises au cours des 10 dernières années, en aval de zones forestières dans les deux cas. Il peut sembler étonnant que les bassins majoritairement forestiers plafonnent à la classe B et n'aient pas connu une amélioration de la qualité de l'eau. Deux facteurs peuvent expliquer cette situation. Les zones forestières du bassin de la du Chêne comportent premièrement de vastes milieux humides. Ceux-ci jouent un rôle important, notamment pour la régulation des cours d'eau. Toutefois, ils peuvent également exporter vers l'aval une certaine quantité de nutriments et de matières organiques. Ce lessivage, qui est sans commune mesure avec ce qui exporté du milieu agricole, peut cependant être suffisant pour entretenir

une communauté de diatomées davantage mésotrophe (classe B) qu'oligotrophe (A). Le deuxième facteur à considérer est la présence de coupes forestières. La majorité des zones forestières du bassin ont subi des coupes au cours de ce siècle, ce qui peut avoir augmenté pendant un temps le ruissellement des sols vers les cours d'eau.

Quoiqu'il en soit, la proportion relative des surfaces occupées par les activités agricoles et les milieux naturels dans chaque sous-bassin semble expliquer un peu plus de la moitié de la variance dans les valeurs d'IDEC. Le reste de la variance peut être expliqué par divers facteurs, dont les rejets d'eaux usées, le ruissellement en milieu urbain, les coupes forestières, ainsi que la présence de milieux humides. La question est de savoir lequel de ces facteurs est responsable de l'amélioration notable de la qualité de l'eau dans la zone du Chêne depuis 10 ans. Une des hypothèses est que l'amélioration de la qualité de l'eau soit en fait reliée à **un meilleur traitement des eaux usées municipales**. L'IDEC a en effet augmenté de façon significative en aval des municipalités de la zone du Chêne au cours de la dernière décennie. Cette amélioration peut être attribuée à la mise en opération de nouveaux étangs aérés (Val-Alain, Issoudun), l'amélioration du traitement existant (déphosphoration à Dosquet), ou une meilleure performance des étangs existants, des ouvrages de surverses et des installations septiques, ce qui est plus difficile à identifier. L'amélioration du traitement des eaux usées municipales semble en fait être un des facteurs importants permettant d'expliquer l'amélioration de la qualité de l'eau dans la zone du Chêne.

Une autre hypothèse qui a été considérée est que l'application de pratiques agroenvironnementales (semi-direct, cultures de couverture, fertilisation raisonnée, etc) soit en partie responsable de l'amélioration de la qualité de l'eau. Or ce facteur ne semble pas avoir joué un rôle prépondérant, puisqu'on ne constate pas d'amélioration significative de la qualité de l'eau dans les bassins agricoles, à l'exception du ruisseau Saint-Jean-Baptiste. Il est cependant possible que l'augmentation des superficies en grandes cultures (maïs et soya), qui s'est opérée au détriment des cultures pérennes (cultures fourragères, pâturages) dans la majorité des bassins agricoles, vienne en partie contrecarrer les gains environnementaux apportés par l'adoption de pratiques agroenvironnementales au cours de la dernière décennie. Le cas du ruisseau Saint-Jean-Baptiste est intéressant à cet égard. Il est le seul bassin majoritairement agricole ayant à la fois bénéficié d'une amélioration notable de la qualité de l'eau, sans avoir subi une augmentation des superficies en grandes cultures depuis 10 ans. Ce bassin démontre qu'il est possible d'atteindre une qualité de l'eau satisfaisante dans un bassin agricole, particulièrement dans un contexte de diversification des cultures.

Dans les bassins ayant une occupation mixte du territoire, une amélioration significative de la qualité de l'eau fut également observée. Les facteurs en cause sont divers. Il s'agit parfois de stations situées plus en aval et bénéficiant de la qualité de l'eau observée en amont. Il y a également des facteurs très locaux et ponctuels, tel que la stabilisation d'un terrain de golf. Dans certains cas, les facteurs responsables de l'amélioration de la qualité de l'eau demeurent inconnus, particulièrement dans le cas de petits bassins versants situés à la tête du réseau hydrographique en amont de Saint-Apollinaire. Il serait intéressant dans ces cas de vérifier quelle est l'étendue des améliorations apportées aux installations septiques des résidences isolées au cours des dernières années.

En somme, la qualité de l'eau s'est améliorée de façon significative dans plusieurs cours d'eau de la zone du Chêne depuis 2009. Une part de cette amélioration semble être attribuable à un progrès dans le traitement des eaux usées municipales, bien que des correctifs supplémentaires soient nécessaires afin d'améliorer la performance de certains étangs aérés et de diminuer le nombre de débordements des ouvrages de surverses. L'amélioration de la qualité de l'eau ne fut cependant pas significative dans la plupart des bassins versants agricoles, à l'exception du ruisseau Saint-Jean-Baptiste. Il semble que des efforts importants seront nécessaires dans les bassins plus intensivement agricoles, afin notamment de mieux protéger les sols contre l'érosion, de diversifier les cultures et d'augmenter la proportion de milieux naturels, principalement le long des cours d'eau.

1. Introduction

Les diatomées sont des **algues unicellulaires**, d'une teinte généralement brunâtre, qui tapissent le fond des cours d'eau et des lacs ou qui vivent libres dans la colonne d'eau. Ce tapis brunâtre, qui rend les roches glissantes, est en fait composé de millions de petites cellules microscopiques. Les diatomées forment des communautés diversifiées qui colonisent tous les environnements où il y a présence d'eau, en permanence ou de façon intermittente (mers, rivières, ruisseaux, lacs, milieux humides, sols, glaces, etc.). Chaque roche d'une rivière peut contenir plusieurs dizaines d'espèces de diatomées, plus de **540 espèces** ayant été répertoriées dans les rivières de l'Est du Canada (Lavoie et al., 2008b). Chaque communauté est adaptée à des **conditions spécifiques** de salinité, de pH, de lumière et d'oxygène et à des concentrations spécifiques de matières organiques et de nutriments. La structure d'une communauté de diatomées, c'est-à-dire l'abondance relative de chacune des espèces présentes, fournit ainsi une indication assez précise sur les conditions environnementales prévalant dans une rivière. Une communauté de diatomées **intègre l'ensemble des variations physicochimiques** que subit un milieu aquatique sur une période de quelques semaines. Ainsi, en échantillonnant une rivière et en analysant la structure de sa communauté de diatomées, on peut évaluer quelles sont les conditions environnementales propres à cet écosystème.

Les algues utilisent, entre autres, le **phosphore** et l'**azote** dissous dans l'eau des rivières pour leur croissance. Les sources de pollution qui rejettent du phosphore et de l'azote ont donc une influence directe sur la composition des communautés de diatomées. Parmi ces sources de pollution, les plus importantes sont les épandages de fertilisants agricoles, l'érosion des sols, les effluents d'eaux usées municipales ou domestiques et certaines industries. Les diatomées sont également sensibles à l'enrichissement des eaux en **matières organiques** et à l'augmentation de la concentration en **minéraux dissous**. Elles sont de plus affectées par les métaux et les pesticides.

En raison de leur sensibilité aux nutriments et à la matière organique, les diatomées sont un bon indicateur du niveau d'eutrophisation des cours d'eau. **L'eutrophisation** est le résultat de l'enrichissement excessif de l'eau par les éléments nutritifs, ce qui peut provoquer une croissance accélérée des algues et des plantes aquatiques. Cette production accrue s'accompagne d'une plus grande accumulation de sédiments et de matières organiques, d'une réduction de l'oxygène dissous dans l'eau et le remplacement d'organismes par des espèces mieux adaptées aux nouvelles conditions. Dans certains cas, l'épuisement de la quantité d'oxygène peut entraîner la mort des poissons et d'autres espèces.

Lorsqu'un rejet pollue un cours d'eau, **la structure de la communauté de diatomées se transforme**. Le nombre de diatomées sensibles à la pollution diminue alors que le nombre de diatomées qui tolèrent la pollution augmente. Si la dégradation du cours d'eau s'accentue, les espèces sensibles disparaissent presque complètement au profit des espèces tolérantes qui dominent alors la communauté d'algues. C'est cette transformation dans la structure des communautés que l'Indice Diatomées de l'Est du Canada (IDEC) mesure. Les valeurs de l'indice varient entre **0** et **100**, une valeur élevée reflétant un niveau d'intégrité biologique élevé et une bonne qualité de l'eau. L'échelle de l'indice indique ainsi la distance entre les communautés de diatomées des cours d'eau à l'état naturel, sans aucune pollution, et les communautés des cours d'eau pollués.

En **2009**, l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne (OBV du Chêne) a mandaté le Laboratoire de recherche sur les bassins versants de l'Université du Québec à Trois-Rivières pour effectuer le suivi biologique de 32 stations dans les cours d'eau de la zone du Chêne à l'aide de l'Indice IDEC. Le suivi fut réalisé à nouveau en **2010**, en ajoutant sept nouvelles stations, pour un total de **39 stations** (Campeau et al., 2011). En 2020, soit une décennie plus tard, l'OBV du Chêne a de nouveau mandaté l'UQTR afin de procéder à un nouveau suivi sur trois ans (**2020-2022**) pour mesurer qu'elle fut l'évolution de la qualité des rivières au cours de la dernière décennie.

Échantillonnage du tapis d'algues (biofilm) accumulé sur la surface des roches.

2. Méthodologie et territoire à l'étude

En 2020, **36 échantillons** ont été prélevés entre le 11 et le 21 septembre par l'OBV du Chêne. Il s'agit des mêmes stations que celles échantillonnées en 2009 et 2010. Toutefois, les stations 3, 4 et 14 ne furent pas échantillonnées en 2020 et la localisation de la station 32 a été modifiée. En 2021, **45 échantillons** ont été prélevés entre le 19 et le 25 août par l'OBV du Chêne. Le nombre de stations fut étendu en 2021 afin d'inclure les stations non échantillonnées en 2020 et ajouter des stations dans les cours d'eau du Bois Clair, Gaspard et aux Chevreuils. Finalement, en 2022, **14 échantillons** ont été prélevés le 25 août par l'OBV du Chêne afin d'obtenir une deuxième valeur pour les stations n'ayant été échantillonnées qu'une seule fois et obtenir une troisième valeur pour les stations dont l'IDEC fut très variable entre 2020 et 2021. Au total, les stations échantillonnées (**Tableau 1**) couvrent l'ensemble des principales classes d'utilisation du territoire et les principaux sous-bassins versants de la zone du Chêne (**Figure 1**). Le suivi effectué dans la zone du Chêne est **unique au Québec**, étant donné la densité des stations, soit environ une station par 25 km^2, et la fréquence d'échantillonnage, soit entre 4 et 5 échantillonnages annuels sur une période de 14 ans pour la majorité des stations.

À chacune des stations, un **échantillon composite** de 5 roches a été prélevé en grattant, à l'aide d'une brosse à dents, le tapis d'algue accumulé sur la surface des roches. Les roches ont été échantillonnées sur une distance d'environ 50 m. Le matériel prélevé a été déposé dans un contenant avec un peu d'eau de la rivière. Les échantillons ont été préservés avec du Lugol et gardés au frais (4ºC) et dans l'obscurité jusqu'au moment du traitement en laboratoire. Les échantillons ont été traités au Laboratoire de recherche sur les bassins versants de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Ils ont d'abord été digérés au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 30 %. La suspension contenant les diatomées a ensuite été montée sur lamelle pour l'analyse au microscope. **L'identification et le comptage** des valves de diatomées ont été réalisés à un grossissement de 1000x (ou plus) avec un microscope muni d'un système de contraste interférentiel différentiel (DIC). Environ 400 valves ont été identifiées pour chaque échantillon par balayage systématique de la lamelle. L'identification des espèces a été réalisée à l'aide du ***Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada*** qui est distribué par les Presses de l'Université du Québec. Les cours d'eau de l'Est du Canada comptent plus de 540 espèces de diatomées. Toutefois, l'identification des **271 taxons** les plus abondants est suffisante pour le calcul de l'IDEC (Lavoie et al., 2009), ce qui simplifie les connaissances taxonomiques nécessaires et le temps d'analyse.

Les diatomées **sont peu influencées par la taille d'un cours d'eau**. En uniformisant le type de substrats échantillonnés (substrats rocheux), on peut ainsi retrouver sensiblement la même communauté sur les cailloux d'un petit ruisseau que sur les roches d'une grande rivière ayant la même qualité de l'eau. **Les diatomées sont par contre très sensibles aux variations de pH et de conductivité**. Pour une même qualité de l'eau, les communautés de diatomées des rivières ayant un pH neutre ou légèrement acide seront différentes des communautés des rivières alcalines (Grenier et al., 2006). À titre d'exemple, les communautés des rivières non polluées s'écoulant sur les roches et les dépôts légèrement acides du Bouclier canadien (Laurentides) ne seront pas les mêmes que les communautés des rivières non polluées s'écoulant sur les roches sédimentaires et les argiles marines de la plaine du Saint-Laurent (Grenier et al., 2010). Trois indices ont donc été développés afin de tenir compte du pH et de la conductivité des rivières en milieu naturel, soit l'**IDEC-Neutre,** l'**IDEC-Alcalin** et l'**IDEC-Minéral** (Lavoie et al., 2014).

Lors de l'application de l'indice dans un programme de suivi, il faut donc choisir entre les trois indices en fonction du **pH et de la conductivité naturels** d'un cours d'eau, c'est-à-dire non pas son pH actuel, mais son pH en condition non polluée (le pH qu'un cours d'eau aurait en absence de toutes altérations). La distinction entre les indices est fondamentale, puisqu'elle assure que toute rivière a le potentiel d'atteindre des valeurs élevées, advenant la restauration de son écosystème. Dans la zone du Chêne, selon la géologie en place (**Figure 2**), les dépôts de surface (**Figure 3**) ainsi que le pH et la conductivité mesurés (**Tableau 1**), la plupart des stations correspondent aux critères de **l'IDEC alcalin**, soit un pH supérieur à 7,4 ET une conductivité supérieure à 58 µS/cm. Par souci d'uniformité, l'IDEC alcalin fut utilisé pour toutes les stations.

Les **comptages de diatomées** ont été saisis dans un fichier *Excel* permettant le calcul de l'IDEC. La **version 3 de l'IDEC** a été utilisée. Celle-ci a été développée à partir de la même méthodologie que les **versions antérieures** (Lavoie et al., 2006, 2010, 2014), mais en utilisant un plus grand nombre d'échantillons et en incluant davantage de stations de référence. Afin que les résultats des

différentes versions de l'IDEC soient comparables, toutes les données obtenues au Canada depuis la création de l'IDEC ont été converties à la version 3 et peuvent être consultées sur **l'Atlas de l'eau** du MELCC. Ainsi, dans ce rapport, les valeurs d'IDEC de 2009 et 2010 ont été converties à la version 3 de l'indice afin d'être comparables aux données de 2020-2022. Il est donc important de ne pas comparer les valeurs d'IDEC présentées dans le **rapport de 2011** (Campeau et al., 2011) avec les valeurs de 2020-22, puisqu'il ne s'agit pas de la même version de l'IDEC.

L'écologie des communautés de diatomées a été documentée à partir du programme OMNIDIA, version 6.0.9 (Lecointe et al., 1993) et à partir des spectres écologiques proposés par Van Dam (1994) pour plus de 900 taxons, notamment en ce qui concerne la saprobie.

En 2009, le pH, la température et la turbidité ont été mesurés aux 32 stations échantillonnées. En 2010, 7 stations ont été ajoutées pour un total de 39 et la conductivité fut également mesurée. Dans le cas des nouvelles stations de référence échantillonnées en 2010, l'azote ammoniacal, les nitrites-nitrates, le carbone organique dissous et le phosphore total trace ont également été mesurés à deux reprises en juillet 2010 (Campeau et al., 2011). En 2020, la température, le pH et la conductivité ont été mesurés, auxquels fut ajoutée la turbidité en 2021 (**Tableau 1**). Ces mesures ont été effectuées in situ à l'aide d'une sonde multi- paramètres. Aucune mesure physico-chimique ne fut réalisée en 2022.

Les données de **l'inventaire annuel des cultures** de 2011 et 2021 d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC, 2011; 2021) ont été utilisées pour effectuer le suivi des changements de l'utilisation du territoire dans la zone du Chêne depuis 2011. Cette agence utilise une méthodologie par arbre de décision à l'aide d'images satellitaires optiques et radar afin d'effectuer une classification de l'occupation du territoire. En 2011, les images optiques provenaient du satellite Landsat-5 et de la constellation de satellites DMC, et les images radar du satellite RADARSAT-2. En 2021, les images optiques provenaient des satellites Landsat-8 et Sentinel-2 alors que la source des images radar était MCR. Dans l'ensemble, l'objectif de l'agence consistait à fournir un produit satellitaire à une résolution spatiale de 30 m pour une exactitude globale d'au moins 85 %. L'exactitude a été estimée à l'aide des données des sociétés d'assurance-récolte (Financière agricole du Québec) et des observations ponctuelles de l'équipe d'ACC. L'exactitude globale pour les classes de cultures en 2011 et 2021 atteignait respectivement 81 % et 92 %. Les classes d'occupation du territoire obtenues à partir des données d'inventaire de 2021 s'avèrent davantage détaillées que les classes de 2011. Dans le cas des données de 2011, plusieurs types de céréales et légumes ont été regroupés sous ces classes alors qu'en 2021, ces mêmes classes couvrent une classification plus large. Le suivi des changements de l'utilisation du territoire agricole a été effectué en comparant la superficie totale pour l'ensemble du bassin versant de la zone du Chêne, par sous-bassin versant et par aire de contribution en amont des 45 stations d'échantillonnage de l'IDEC pour les saisons de croissance de 2011 (**Tableau 2 et Figure 4**) et de 2021 (**Tableau 3 et Figure 5**).

En ce qui concerne le suivi des **cultures**, cinq classes basées sur la classification d'AAC ont été définies à des fins de comparaison, soit les classes « pâturage/cultures fourragères », « Maïs », « soya », « céréales » et « autres cultures ». La classe « autres cultures » regroupe les légumes (pommes de terre, serres, autres légumes), les cultures d'oléagineux (haricots, pois et tournesol) et les canneberges et autres baies. Ces cinq classes représentent ainsi la classe générale « culture ».

Outre le suivi des changements de l'utilisation du territoire agricole, quatre autres classes générales d'occupation du territoire ont été définies (milieux anthropiques, milieux boisés, milieux humides et sols à nus). La superficie totale de chacune de ces quatre classes générales et des classes spécifiques de culture a été calculée pour l'aire de drainage de chaque station d'échantillonnage. Finalement, à partir du calcul de la superficie totale et de la proportion d'occupation de chacune de ces classes pour 2011 et 2021, la variation des superficies au cours de la dernière décennie a été calculée (**Tableau 4**).

Selon les données d'AAC, la superficie agricole totale de la zone du chêne (35%) n'a pas évolué de façon significative entre 2011 et 2021 (**Figure 6**). Par contre, la proportion des différents types de cultures a changé. La superficie agricole en 2011 était recouverte à 55 % de pâturages, 19 % de soya, 14 % de maïs, 11 % de cultures céréalières et un peu moins de 1 % d'autres cultures. Une décennie plus tard, les superficies en pâturages et plantes fourragères ont diminué d'environ 10 % au profit des superficies en grandes cultures (maïs et soya).

Tableau 1. Coordonnées et physico-chimie des stations échantillonnées entre 2020 et 2022. La **station 32** fut déplacée aux coordonnées de la station 132. Selon le pH et la conductivité mesurés, la plupart des stations correspondent aux critères de l'**IDEC alcalin**, soit un pH supérieur à 7,4 **ET** une conductivité supérieure à 58 µS/cm. Par souci d'uniformité, l'IDEC alcalin fut utilisé pour toutes les stations.

					2020				2021			
Station	**Cours d'eau**	**Bassin**	**Latitude**	**Longitude**	**Date**	**Temp.** (ºC)	**pH**	**Cond.** (µS/cm)	**Date**	**Temp.** (ºC)	**Cond.** (µS/cm)	**Turbid.** (FNU)
0	Ruisseau Le Rigolet (trib. 1)	Aulneuse	46,600368	-71,442365	15-09	9,4	7,1	91	19-08	19,8	380	1
1	Rivière Huron	Huron	46,538102	-71,623189	18-09	11,2	7,9	532	19-08	19,5	720	6
2	Rivière Henri	Henri	46,461007	-71,564885	15-09	12,4	6,8	112	20-08	21,8	253	5
3	Rivière Aulneuse	Aulneuse	46,706060	-71,381210					25-08	23,7	464	7
4	Ruisseau Bourret	Bourret	46,647910	-71,617940					25-08	-	553	0
5	Ruisseau Bois-Franc-Pierriche	Huron	46,558396	-71,644997	21-09	11,9	8,3	657	23-08	23,9	606	2
6	Rivière Huron	Huron	46,555074	-71,651017	21-09	12,8	8,4	677	19-08	23,7	1022	2
7	Rivière du Bois Clair	Du Bois Clair	46,566455	-71,846226	18-09	11,1	7,7	382	19-08	24,5	815	14
8	Rivière du Bois Clair	Du Bois Clair	46,573215	-71,832159	18-09	11,8	7,9	472	19-08	25,0	1759	78
9	Bras des Boucher	Du Bois Clair	46,570867	-71,829791	18-09	10,5	7,7	295	19-08	22,2	525	8
9A	Bras des Boucher	Du Bois Clair	46,541128	-71,754949					23-08	21,6	336	5
10	Rivière du Chêne	Du Chêne	46,540131	-71,854133	21-09	12,3	7,2	243	23-08	27,7	359	5
11	Rivière du Chêne	Du Chêne	46,431948	-71,782073	18-09	10,2	7,4	169	23-08	24,8	318	4
12	Rivière Henri	Henri	46,458011	-71,744166	18-09	10,1	7,4	217	23-08	27,3	383	1
13	Rivière aux Cèdres	Henri	46,487844	-71,696976	11-09	13,2	8,5	361	23-08	22,7	750	12
14	Rivière du Chêne	Du Chêne	46,554740	-71,968840					24-08	30,5	373	4
15	Rivière du Petit Sault	Saint-Laurent	46,622244	-71,716062	11-09	12,4	7,8	357	19-08	25,0	570	5
16	Ruisseau Gaspard	Saint-Laurent	46,613563	-71,669719	11-09	11,6	6,5	103	25-08	22,3	448	14
16A	Rivière du Bois Clair	Du Bois Clair	46,583599	-71,793698					23-08	22,8	289	4
16B	Ruisseau Gaspard	Saint-Laurent	46,608532	-71,662201					25-08	20,8	482	79
17	Ruisseau des Revend	Du Bois Clair	46,554066	-71,828573	21-09	9,8	6,8	177	19-08	24,1	640	10
18	Ruisseau Bois-Franc	Bourret	46,583133	-71,629387	11-09	12,6	8,1	478	19-08	20,0	1200	1
19	Ruisseau Bourret (trib. 1)	Bourret	46,630073	-71,530676	15-09	10,3	7,2	332	25-08	23,2	853	6
20	Ruisseau Bourret	Bourret	46,595481	-71,517152	15-09	9,3	7,3	136	25-08	22,9	290	18
21	Ruisseau Bourret	Bourret	46,618404	-71,534117	15-09	10,4	7,0	153	25-08	22,4	692	4
22	Rivière Henri	Henri	46,464399	-71,508374	15-09	12,6	6,6	52	19-08	23,4	105	6
23	Rivière Saint-Georges	Du Chêne	46,398381	-71,440744	15-09	12,2	8,2	320	20-08	18,2	425	7
24	Rivière du Chêne	Du Chêne	46,397207	-71,357588	15-09	9,7	7,9	207	20-08	18,5	335	28
25	Rivière aux Chevreuils	Aux Chevreuils	46,409395	-71,657226	15-09	10,6	7,3	119	20-08	21,4	220	0
25A	Rivière aux Chevreuils	Aux Chevreuils	46,389161	-71,460250					20-08	19,0	200	1
25B	Rivière aux Chevreuils	Aux Chevreuils	46,411012	-71,593556					20-08	21,5	192	1
26	Rivière aux Cèdres	Henri	46,481459	-71,660060	15-09	11,1	8,2	325	23-08	21,0	564	2
27	Rivière aux Frênes	Henri	46,466245	-71,694556	15-09	10	7,5	238	23-08	20,1	503	140
29	Rivière du Chêne	Du Chêne	46,412494	-71,744236	18-09	9,9	7,1	167	23-08	24,5	287	5
30	Ruisseau Saint-Jean-Baptiste	Saint-Laurent	46,623707	-71,907621	11-09	13,1	8,9	475	24-08	22,6	583	3
31	Rivière du Chêne	Du Chêne	46,413779	-71,766031	18-09	10,1	7,3	169	23-08	24,7	306	3
32	Rivière Huron*	Huron	46,563470	-71,663290					23-08	25,8	704	5
33	Rivière Huron (trib. 1)	Huron	46,524313	-71,737785	11-09	11,9	7,7	424	24-08	10,0	44 (?)	12
34	Ruisseau Bourret (trib. 1)	Bourret	46,597759	-71,510686	15-09	9,1	7,0	72	25-08	21,6	253	3
35	Bras d'Émond	Du Chêne	46,370908	-71,767599	15-09	10,1	7,0	90	20-08	20,4	249	12
36	Rivière du Chêne (trib. 1)	Du Chêne	46,481767	-71,834881	18-09	10,2	6,0	47	24-08	21,1	142	10
37	Rivière Henri	Henri	46,486086	-71,781391	18-09	10,3	7,4	192	24-08	25,4	377	4
38	Rivière Huron	Huron	46,501672	-71,772881	11-09	13,4	8,5	301	24-08	24,4	489	2
39	Rivière aux Ormes	Huron	46,516481	-71,742607	11-09	12,7	8,8	325	24-08	22,8	520	15
132	Rivière Huron*	Huron	46,561584	-71,702756	11-09	14,2	8,3	522	-	-	-	-
999	Rivière Huron	Huron	46,563470	-71,663290	-	-	-	-	23-08	25,3	826	3,8

* En 2020, la station 32 fut déplacée aux coordonnées de la station 132.

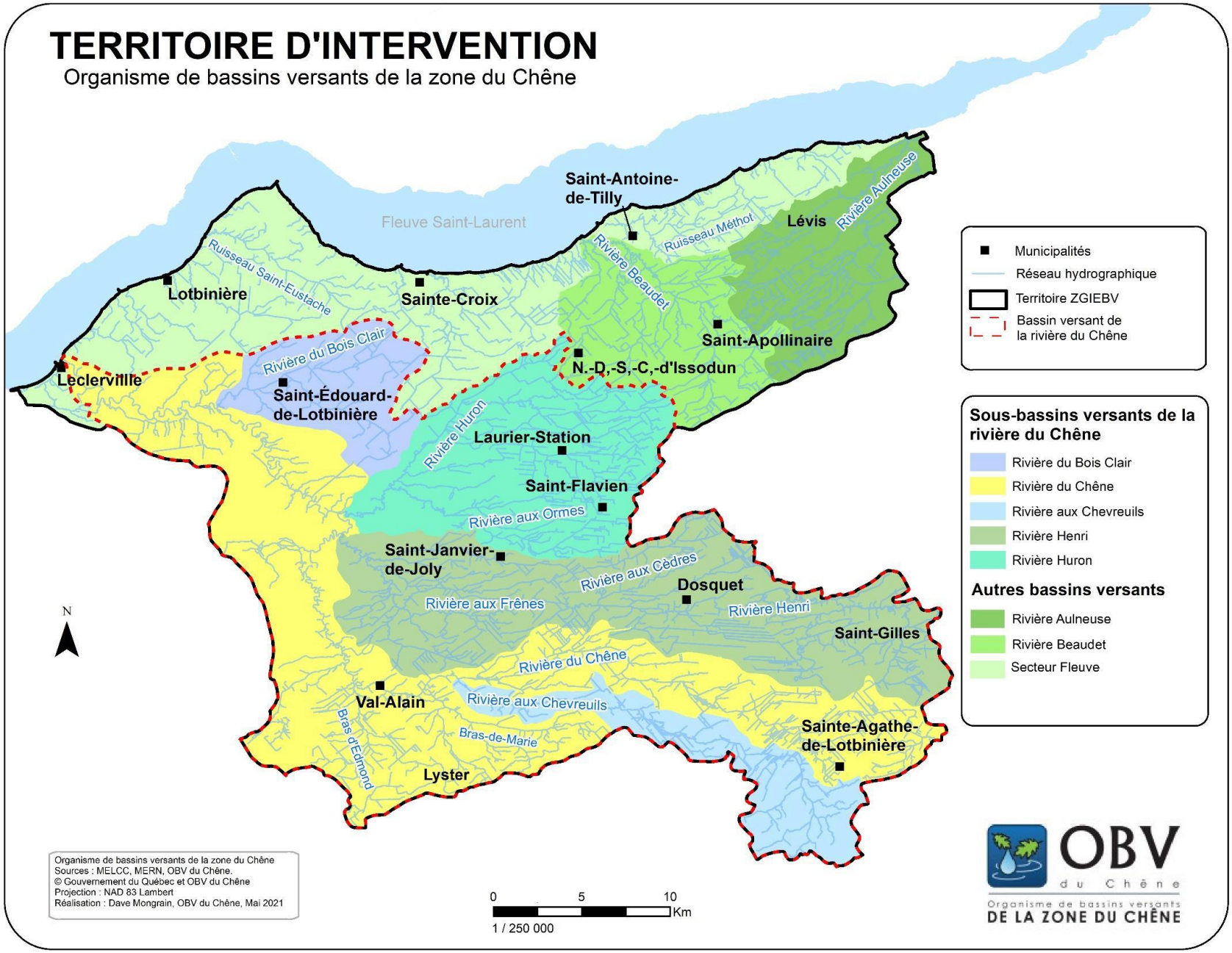


Figure 1. Sous-bassins versants de la zone du Chêne.

Figure 2. Géologie de la zone du Chêne. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

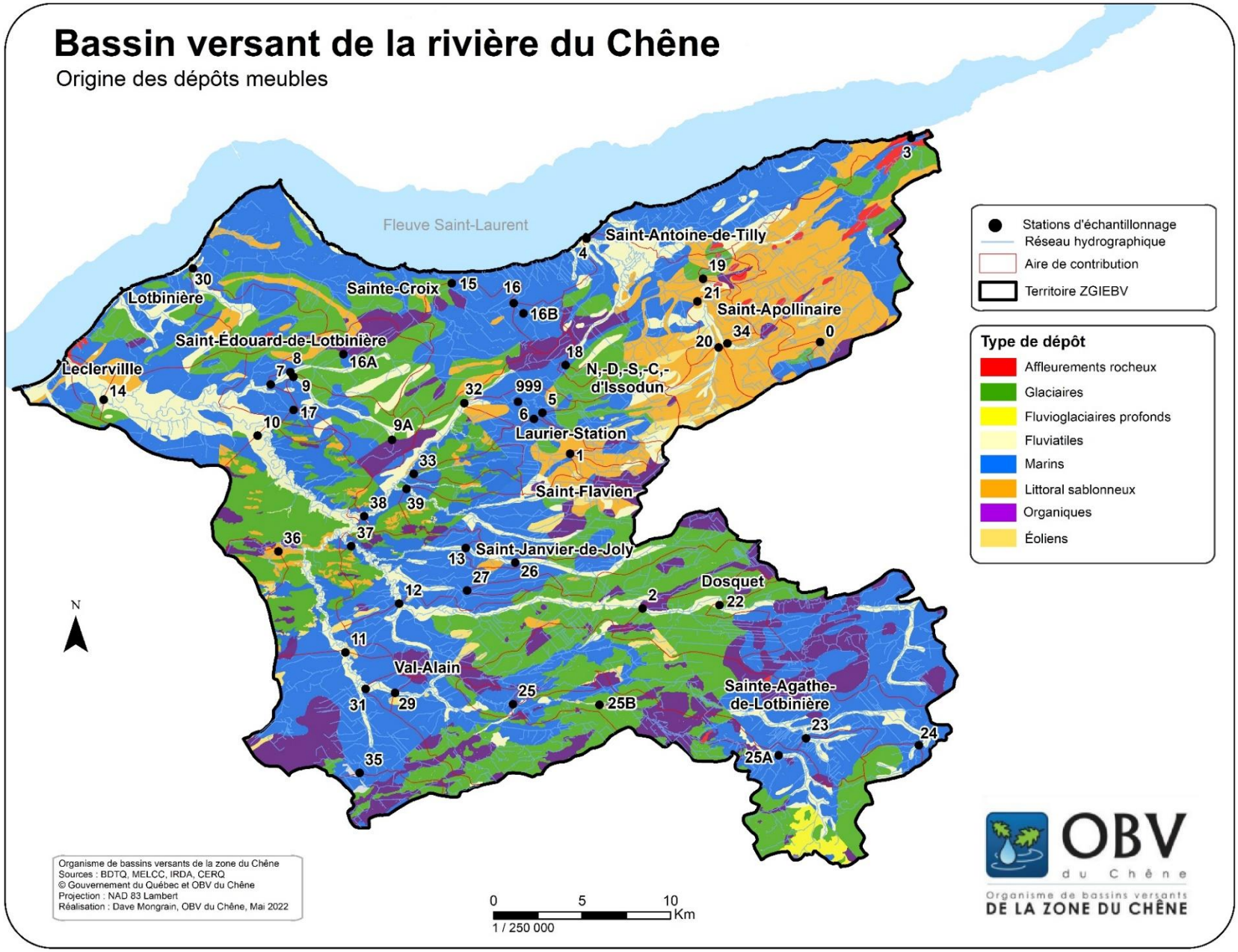


Figure 3. Dépôts de surface de la zone du Chêne. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Tableau 2. Superficie (km²) et occupation du territoire (%) dans les aires drainées par chacune des stations d'échantillonnage en **2011** (AAC, 2011). Le détail des superficies en culture est présenté à l'**Annexe II**. Les stations sont décrites au **Tableau 1**.

Station	Aire totale (km²)	Milieux boisés (%) (2011)	Milieux humides (%) (2011)	Milieux anthropiques (%) (2011)	Sols à nu (%) (2011)	Cultures (%) (2011)	Aire totale cultures (km²) (2011)
0	3,9	87,92	0	3,2	0	8,88	0,34
1	10,2	31,86	0	2,48	0	65,65	6,69
2	87,5	66,01	25,95	0,92	0,18	6,94	6,94
3	85,2	71,97	2,41	5,59	0,97	19,05	16,21
4	88,3	46,47	3,06	3,93	0,13	46,41	40,86
5	18,9	35,21	0,08	5,83	0	58,88	11,09
6	22,5	33,76	0,02	12,85	0	53,37	11,97
7	47,1	20,25	9,22	1,84	0,14	68,55	32,29
8	25,9	8,08	15,73	1,7	0,08	74,41	19,24
9	20,2	36,7	1,35	1,41	0,04	60,49	12,23
10	694,2	61,48	13,91	1,76	0,11	22,75	157,76
11	265,6	57,49	18,86	1,32	0,06	22,27	59,12
12	149,8	60,47	17,37	1,29	0,14	20,73	30,99
13	21,4	41,51	13,93	1,77	0,32	42,47	9,08
14	792,5	57,41	12,75	1,78	0,12	27,94	220,9
15	33,2	21,14	2,18	2,44	0,07	74,17	24,53
16	6,5	74,02	15,62	1,14	0	9,22	0,59
17	4,2	85,39	0	0,98	0	13,62	0,57
18	1,9	7,45	0,45	2,93	0	89,18	1,68
19	4,5	57,6	0	3,39	0,52	38,49	1,72
20	11,95	69,03	2,56	1,29	0,6	26,52	3,17
21	29,6	67,04	5,74	6,28	0,3	20,64	6,09
22	61,5	63,16	33,09	0,3	0,2	3,25	2
23	8,9	9,73	0	4,49	0,54	85,24	7,57
24	5,6	64,48	0	0,06	0	35,45	1,99
25	59,2	55,32	16,1	0,82	0	27,76	16,42
26	17,9	37,85	15,4	0,57	0,39	45,78	8,18
27	3,2	88,33	1,58	0,85	0	9,24	0,3
29	198,9	55,69	16,78	1,05	0,04	26,44	52,54
30	18	24,86	6,38	1,12	0	67,64	12,19
31	201,7	55,79	16,58	1,13	0,04	26,46	53,35
33	7,4	57,51	42,31	0,12	0	0,05	0,01
34	9,1	73,39	14,94	1,91	0	9,77	0,89
35	9,9	72,35	27,65	0	0	0	0
36	6,3	100	0	0	0	0	0
37	208,5	61,74	14,95	1,41	0,13	21,77	45,3
38	140,5	52,24	6,44	3,94	0,22	37,15	52,06
39	42,8	52,25	3,25	2,64	0,71	41,15	17,61
132	43,8	39,5	0,05	9,21	0	51,24	22,38

Tableau 3. Superficie (km²) et occupation du territoire (%) dans les aires drainées par chacune des stations d'échantillonnage en **2021** (AAC, 2021). Le détail des superficies en culture est présenté à l'**Annexe II**. Les stations sont décrites au **Tableau 1**.

Station	Aire totale (km²)	Milieux boisés (%) (2021)	Milieux humides (%) (2021)	Milieux anthropiques (%) (2021)	sols à nu (%) (2021)	Cultures (%) (2021)	Aire totale cultures (km²) (2021)
0	3,9	88,43	1,83	3,07	0,06	6,61	0,26
1	10,2	27,01	2,97	2,07	0,09	67,86	6,93
2	87,5	66,56	26,62	1,1	0,02	5,69	4,97
3	85,2	71,71	5,04	3,71	2,53	17,01	14,47
4	88,3	45,81	4,36	3,21	1,03	45,59	40,12
5	18,9	31,62	1,81	6,38	1,05	59,14	11,13
6	22,5	30,57	2,29	12,95	0,72	53,48	12
7	47,1	20,54	8,67	0,54	0,54	69,71	32,84
8	25,9	9,26	13,85	0,73	0,47	75,69	19,57
9	20,2	35,83	2,45	0,1	0,33	61,29	12,39
10	694,2	60,43	14,68	1,71	0,34	22,85	158,47
11	265,6	56,6	18,16	1,12	0,3	23,83	63,25
12	149,8	59,26	19,57	1,15	0,32	19,7	29,4
13	21,4	45,36	10,81	1,9	1,16	40,76	8,71
14	792,5	56,5	13,45	1,58	0,34	28,13	222,6
15	33,2	19,1	2,91	1,64	0,48	75,88	25,14
16	6,5	73.32	16,25	0	0	10,43	0,67
17	4,2	86,84	2,93	0	0	10,23	0,43
18	1,9	6,71	0,98	1,68	0,53	90,1	1,7
19	4,5	50,37	8,81	1,69	5,64	33,49	1,49
20	11,95	66,87	4,58	0	2,05	26,5	3,16
21	29,6	64,7	5,4	7,7	1,45	20,75	6,12
22	61,5	65,53	32,16	0,33	0,01	1,96	1,2
23	8,9	12,35	0,78	3,23	1,71	81,93	7,27
24	5,6	61,87	0,54	0	0	37,6	2,11
25	59,2	57,35	11,38	0,57	0,14	30,56	18,09
26	17,9	43,67	10,72	0,37	0,76	44,47	7,94
27	3,2	74,29	15,49	1,62	0,06	8,55	0,27
29	198,9	55,28	15,29	0,68	0,18	28,57	56,82
30	18	27,15	4,32	0,74	0,04	67,75	12,21
31	201,7	55,3	15,15	0,92	0,19	28,44	57,36
33	7,4	83,25	16,5	0,2	0,02	0,03	0
34	9,1	78,99	9,84	0,69	0,51	9,98	0,9
35	9,9	67,74	28,6	0	0,17	3,49	0,34
36	6,3	85,59	14,4	0	0,01	0	0
37	208,5	59,94	17,78	1,42	0,42	20,44	42,49
38	140,5	52,91	5,63	4,1	0,39	36,97	51,8
39	42,8	51,03	5,37	3	0,23	40,38	17,28
132	43,8	36,53	1,86	9,58	0,88	51,15	22,33

Tableau 4. Évolution dans l'occupation du territoire entre 2011 et 2021. Un signe négatif indique une perte de superficie en 2021 par rapport à 2011. Le détail des changements dans les types de culture est présenté à l'**Annexe II**. Une synthèse des changements dans l'occupation du territoire est présentée à la **Figure 6**. Les stations sont décrites au **Tableau 1**.

Station	Variation MilieuxBoisés (2011-2021) (%)	Variation MilieuxHumides (2011-2021) (%)	Variation MilieuxAnthropiques (2011-2021) (%)	Variation Sols à nu (2011-2021) (%)	Variation cultures (2011-2021) (%)
0	0,51	1,83	-0,13	0,06	-2,27
1	-4,85	2,97	-0,41	0,09	2,21
2	0,55	0,67	0,18	-0,16	-1,25
3	-0,26	2,63	-1,88	1,56	-2,04
4	-0,66	1,3	-0,72	0,9	-0,82
5	-3,59	1,73	0,55	1,05	0,26
6	-3,19	2,27	0,1	0,72	0,11
7	0,29	-0,55	-1,3	0,4	1,16
8	1,18	-1,88	-0,97	0,39	1,28
9	-0,87	1,1	-1,31	0,29	0,8
10	-1,05	0,77	-0,05	0,23	0,1
11	-0,89	-0,7	-0,2	0,24	1,56
12	-1,21	2,2	-0,14	0,18	-1,03
13	3,85	-3,12	0,13	0,84	-1,71
14	-0,91	0,7	-0,2	0,22	0,19
15	-2,04	0,73	-0,8	0,41	1,71
16	-0,7	0,63	-1,14	0	1,21
17	1,45	2,93	-0,98	0	-3,39
18	-0,74	0,53	-1,25	0,53	0,92
19	-7,23	8,81	-1,7	5,12	-5
20	-2,16	2,02	-1,29	1,45	-0,02
21	-2,34	-0,34	1,42	1,15	0,11
22	2,37	-0,93	0,03	-0,19	-1,29
23	2,62	0,78	-1,26	1,17	-3,31
24	-2,61	0,54	-0,06	0	2,15
25	2,03	-4,72	-0,25	0,14	2,8
26	5,82	-4,68	-0,2	0,37	-1,31
27	-14,04	13,91	0,77	0,06	-0,69
29	-0,41	-1,49	-0,37	0,14	2,13
30	2,29	-2,06	-0,38	0,04	0,11
31	-0,49	-1,43	-0,21	0,15	1,98
33	25,74	-25,81	0,08	0,02	-0,02
34	5,6	-5,1	-1,22	0,51	0,21
35	-4,61	0,95	0	0,17	3,49
36	-14,41	14,4	0	0,01	0
37	-1,8	2,83	0,01	0,29	-1,33
38	0,67	-0,81	0,16	0,17	-0,18
39	-1,22	2,12	0,36	-0,48	-0,77
132	-2,97	1,81	0,37	0,88	-0,09

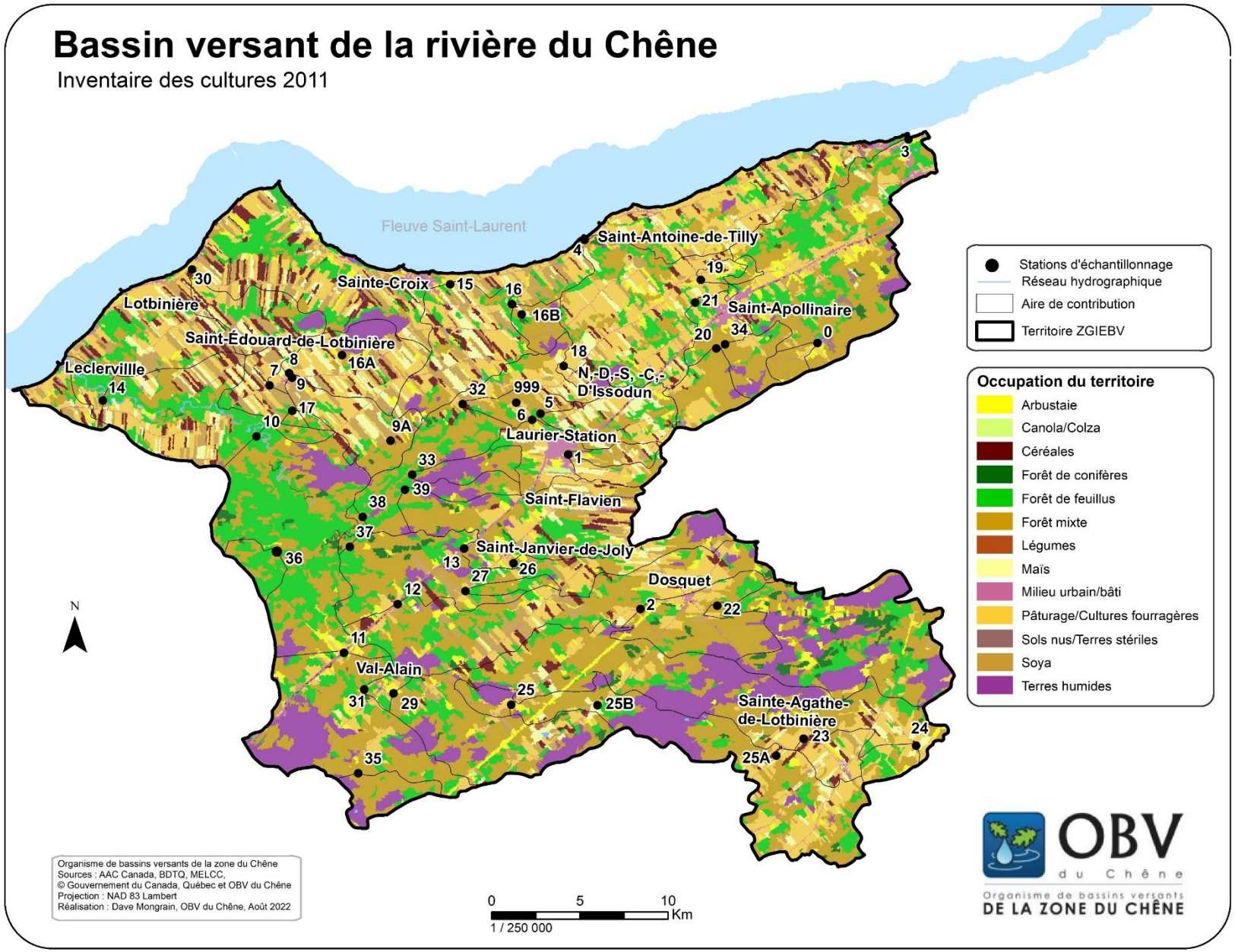


Figure 4. Inventaire des cultures de **2011** (AAC, 2011) et localisation des stations d'échantillonnage. Les données détaillées sont présentées aux **Tableaux 2 et 7**. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

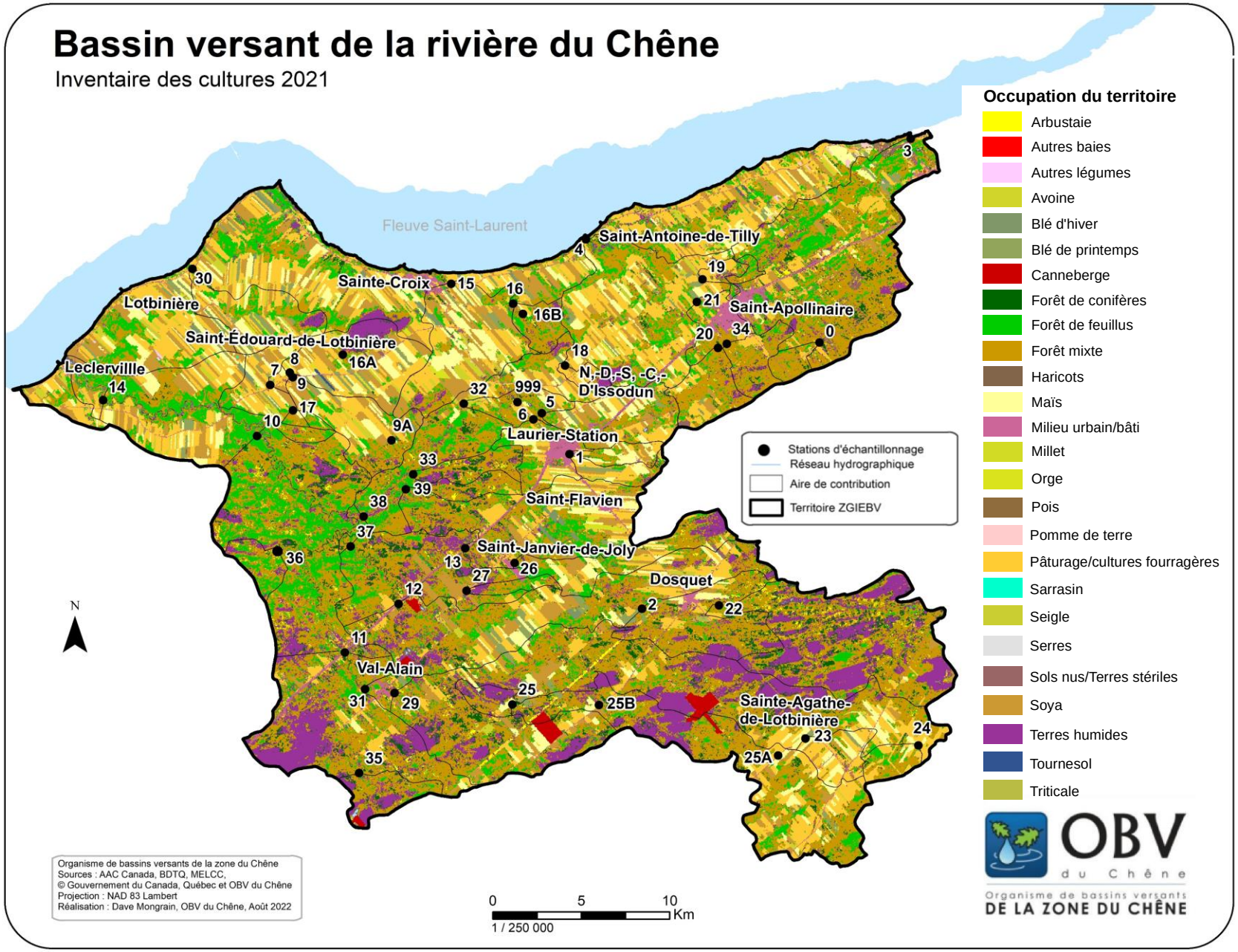


Figure 5. Inventaire des cultures de **2021** (AAC, 2021) et localisation des stations d'échantillonnage. Les données détaillées sont présentées aux **Tableaux 3 et 8**. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

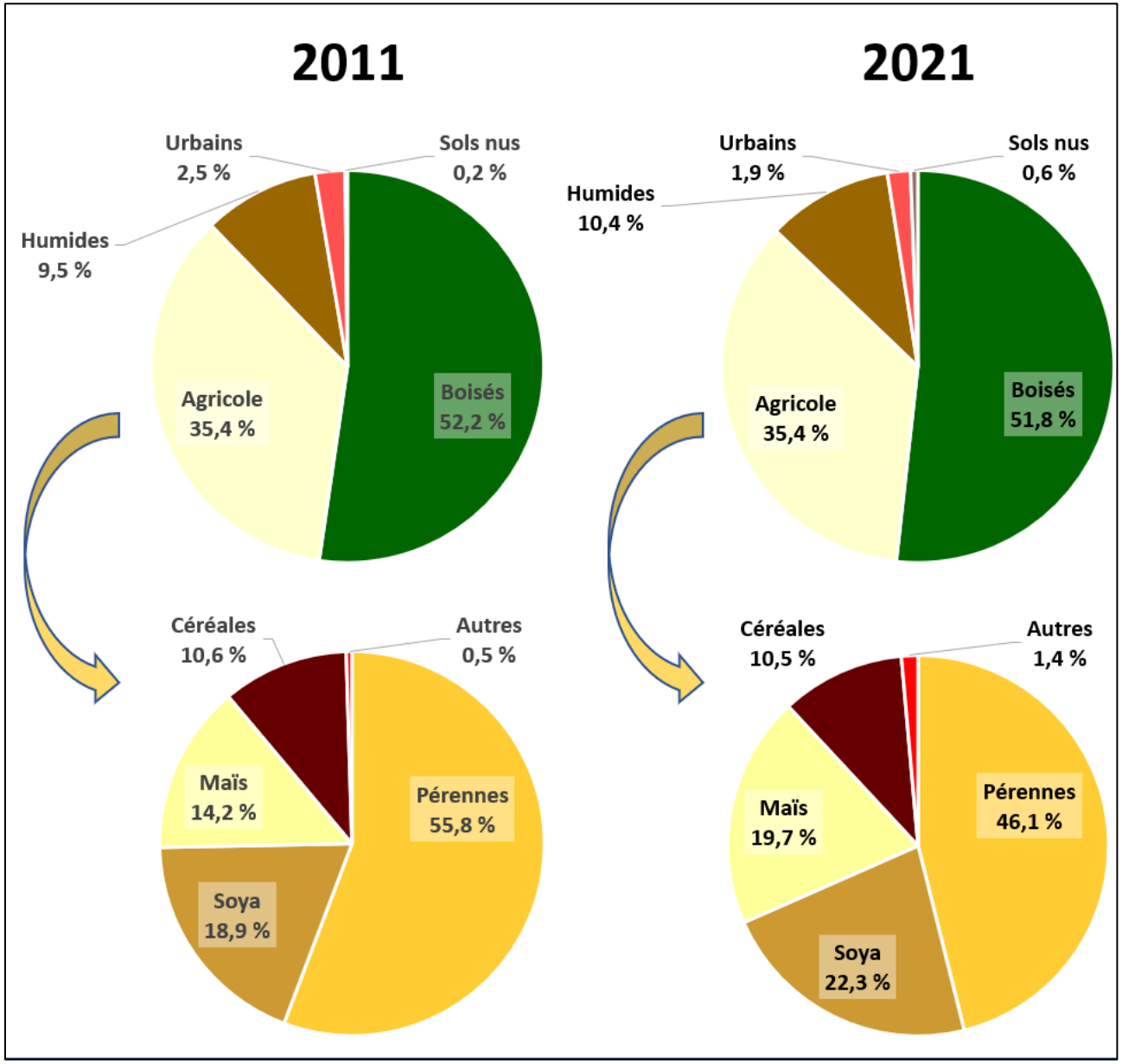


Figure 6. Évolution de l'occupation du territoire du bassin versant de la rivière du Chêne de 2011 à 2021 (AAC, 2011; 2021).

3. Résultats

Les valeurs de l'indice IDEC sont présentées au **Tableau 5** et aux **figures 7 et 8**. Le sens de l'évolution de l'indice entre la moyenne de 2009-2010 et la moyenne de 2020-2022 est indiqué par une flèche au Tableau 5. La première constatation est que dans bien des cas, **les valeurs d'IDEC en 2020-2022 sont plus élevées** que la moyenne de 2009-2010. Il faut cependant être prudent dans l'interprétation de ces résultats et tenir compte des variabilités saisonnières et interannuelles. Ainsi, dans le Tableau 5, seuls les écarts de **8 points d'IDEC** et plus sont considérés significatifs. Des échantillonnages multiples, réalisés dans la rivière Boyer (Lavoie et al., 2008a) et la rivière du Chêne (Campeau et al., 2011), ont permis d'évaluer que l'écart moyen saisonnier de l'IDEC est de 5 points et que l'écart moyen interannuel est de 8 points, surtout en milieu mésotrophe. Ces écarts sont essentiellement reliés à la **variabilité des conditions météorologiques et hydrologiques** au cours de la saison ou d'une année à l'autre. La variabilité de l'IDEC est moins élevée en milieux oligotrophes et eutrophes.

Les paragraphes qui suivent présentent les résultats par sous-bassin versant. Une synthèse de l'évolution des valeurs d'IDEC est présentée à la **Section 4**.

L'amont de la rivière du Chêne, de Saint-Agathe à Val-Alain

La station **24** est située à **l'Est de Saint-Agathe**. Bien qu'étant la station la plus en amont du bassin versant (**Figure 9**), la qualité de l'eau y est déjà dégradée. En 2009-10, cette station affichait une valeur moyenne d'IDEC de 36 sur 100 (classe C) associée à un mauvais état. Elle affichait le même résultat moyen en 2020-21. L'aire de drainage en amont de cette station est occupée à 37% par des terres agricoles, essentiellement des cultures pérennes. Il y a eu peu de changement dans l'occupation du territoire au cours de la dernière décennie dans ce sous-bassin, si ce n'est une légère expansion du maïs au détriment des cultures pérennes (**Tableau 9** de l'Annexe II). Les diatomées de cette station sont bêta-mésosaprobes, comme la majorité des communautés du bassin de la rivière du Chêne, c'est-à-dire qu'elles tolèrent des niveaux de saturation en oxygène dissous pouvant descendre entre 70 et 85% et une DBO_5 pouvant atteindre entre 2 et 4 mg/l.

La station d'échantillonnage **23** est située en aval des étangs aérés de Saint-Agathe, sur le **cours d'eau Saint-Georges**, avant la confluence avec la rivière du Chêne. La qualité de l'eau, à la limite entre les classes D et C, a peu évoluée depuis 2010. L'aire de drainage de cette station est majoritairement agricole (>80%), avec peu de changement au cours de la dernière décennie, si ce n'est l'expansion du maïs. Selon le ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire (MAMROT, 2010; 2011), il n'y a eu que deux débordements des ouvrages de surverses en 2009-2010 et les exigences de rejets furent respectées. Selon le bilan de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées de 2017 à 2019 (MELCC, 2020a; 2020b; 2021), les exigences concernant la demande biochimique en oxygène (DBO_5) n'ont pas été respectées en 2018 et 2019 avec des performances notées entre 50 % et 85 %. De plus, le respect des exigences concernant le phosphore total et la note accordée aux dérivations furent inférieurs à 50 % en 2019. Les diatomées de cette rivière sont plutôt alpha-mésosaprobes, c'est-à-dire qu'elles tolèrent des niveaux de saturation en oxygène dissous pouvant descendre entre 25 et 70% et une DBO_5 pouvant atteindre entre 4 et 13 mg/l.

La station **25** est localisée en **aval de la rivière aux Chevreuils**, à environ 3 km de la confluence avec la rivière du Chêne (**Figure 10**). La qualité de l'eau y est précaire (classe B), l'indice IDEC affichant une valeur moyenne de 55 en 2020-21, avec peu d'évolution depuis 2010. Bien que l'IDEC ait des valeurs intermédiaires, cette rivière est parmi les cours d'eau affichant la meilleure qualité de l'eau de la zone du Chêne. L'aire de drainage en amont de cette station occupe presque la totalité du sous-bassin versant de la rivière aux Chevreuils. Les exploitations agricoles, qui comptent pour 30% de la superficie, sont davantage situées en amont du bassin, mises à part deux cannebergières qui sont davantage en aval. En 2021 et 2022, deux stations supplémentaires (25A et 25B) ont été échantillonnées en amont et en aval de la zone boisée, qui comporte des milieux humides, au centre du bassin. Les résultats indiquent que l'IDEC affiche une cote B en amont et en aval de la zone boisée (60 et 61 sur 100). Ces deux stations ont en fait parmi les meilleures qualités de l'eau de la zone du Chêne.

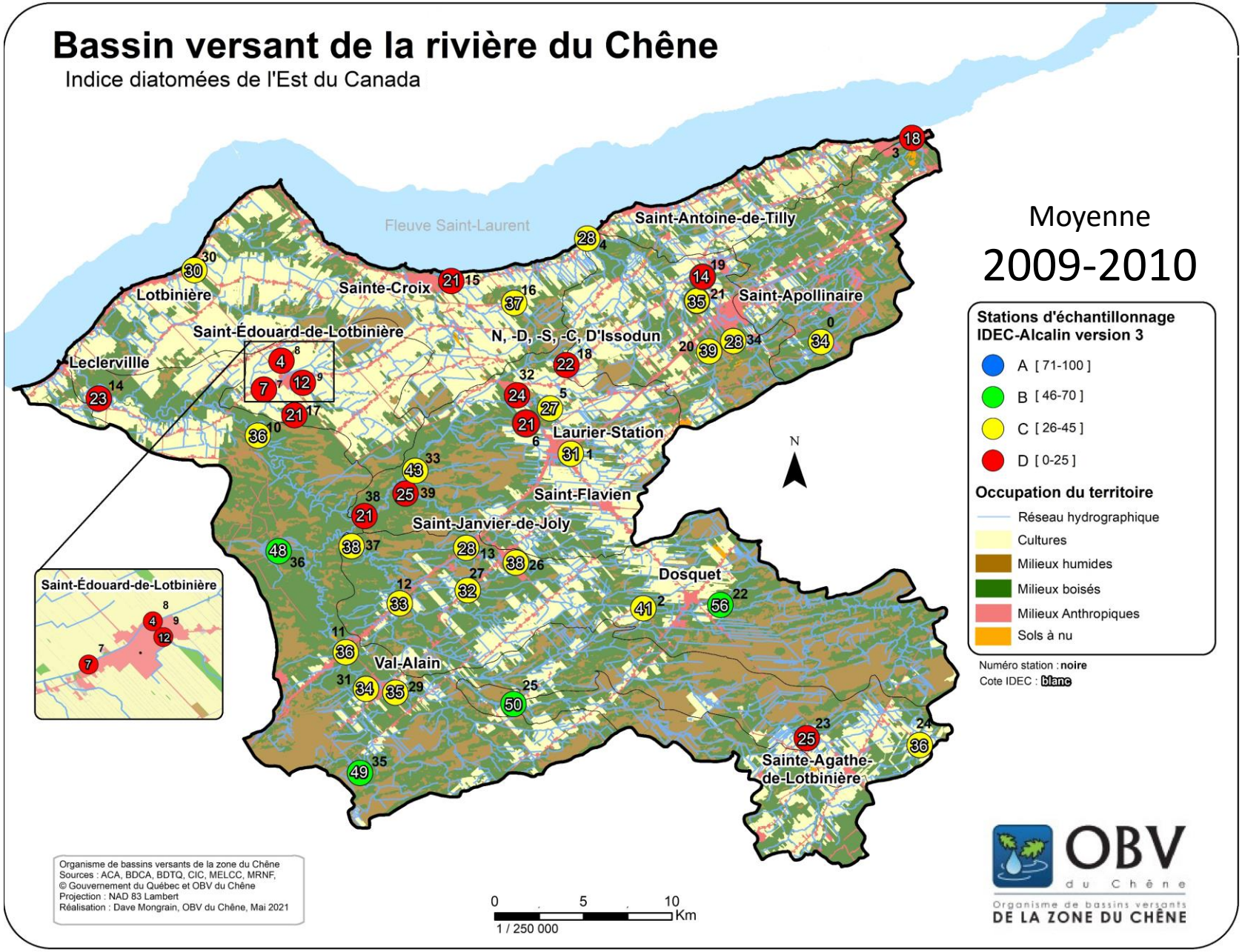


Figure 7. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) des cours d'eau de l'OBV du Chêne en **2009-2010**. Les stations sont décrites au **Tableau 1**. Les résultats détaillés sont présentés au **Tableau 5**.

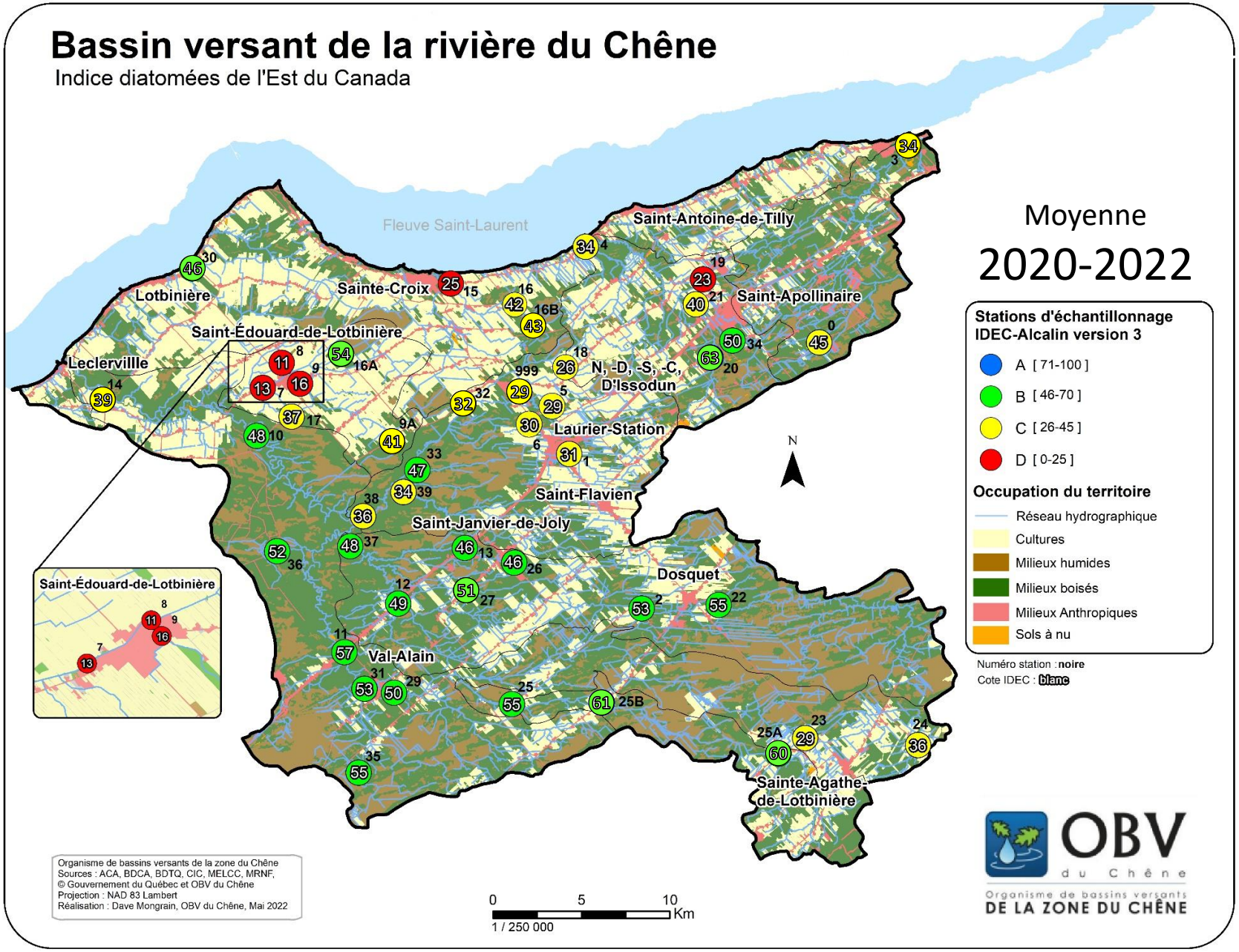


Figure 8. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) des cours d'eau de l'OBV du Chêne de **2020 à 2022**. Les stations sont décrites au **Tableau 1**. Les résultats détaillés sont présentés au **Tableau 5**.

Tableau 5. Valeurs et classes de l'indice **IDEC 3 (alcalin)** des cours d'eau de l'OBV du Chêne de 2009 à 2022. L'interprétation des classes de l'IDEC est présentée à l'Annexe I et sur le site suivant: www.uqtr.ca/IDEC. Le sens de l'évolution de l'indice entre la moyenne de 2009-2010 et la moyenne de 2020-2022 est indiqué par une **flèche**. Seuls les écarts de **8 points d'IDEC** et plus sont considérés significatifs[a]. Les écarts ayant provoqué un changement de classe sont indiqués par une double flèche. Le phosphore total estimé[b] et l'état des cours d'eau en 2020-2022 sont basés sur les données du Tableau 6 (Annexe I). L'écologie des communautés de diatomées a été documentée à partir des spectres écologiques proposés par Van Dam (1994).

Station	Cours d'eau	IDEC3 (alcalin) Valeur (0-100) et classe (A,B,C,D)								Variation 2009-2010 à 2020-2022 Δ ≥ 8[a]	Phosphore total estimé 2020-22 (µg/l)[b]	État 2020-22	Saprobie (charge organique) 2020-22
		2009 Août	2009 Oct.	2010	Moy. 2009-10	2020	2021	2022	Moy. 2020-22				
0	Le Rigolet	36	31	36	34	43	46		45	↑	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
1	Huron	34	28	30	31	31	30		31	--	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
2	Henri	46	38	39	41	58	47		53	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
3	Aulneuse	15	15	23	18	-	39	29	34	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
4	Bourret	19	31	33	28	-	34	33	34	--	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
5	Bois-Franc-Pierriche	22	28	30	27	26	31		29	--	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
6	Huron	17	21	23	20	30	29		30	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
7	Bois-Clair	8	4	10	7	10	15		13	--	71 à 163	Très mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
8	Bois-Clair	2	6	5	4	12	10		11[C]	--	71 à 163	Très mauvais état	Alpha-mésosaprobe[c] (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
9	Bras-des-Boucher	13	12	12	12	16	16		16	--	71 à 163	Très mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
9A	Bras-des-Boucher	-	-	-	-	-	36	45	41		37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
10	du Chêne	32	33	42	36	45	50		48	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
11	du Chêne	33	31	43	36	55	58		57	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
12	Henri	34	26	37	32	48	50		49	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
13	aux Cèdres	28	24	31	28	44	48		46	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
14	du Chêne	15	23	31	23	-	37	40	39	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)

Tableau 5. Suite

Station	Cours d'eau	IDEC3 (alcalin) Valeur (0-100) et classe (A,B,C,D)								Variation 2009-2010 à 2020-2022 Δ ≥ 8[a]	Phosphore total estimé 2020-22 (µg/l)[b]	État 2020-22	Saprobie (charge organique) 2020-22
		2009 Août	2009 Oct.	2010	Moy. 2009-10	2020	2021	2022	Moy. 2020-22				
15	Petit-Sault	-	24	18	21	22	27		25	--	71 à 163	Très mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
16	Gaspard	47	35	30	37	43	40		42	--	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
16A	Bois-Clair						55	52	54[e]		17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
16B	Gaspard						39	46	43		37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
17	des Revend	24	17	21	21	49	25	36	37	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
18	Bois-Franc	23	24	18	22	27	24		26	--	37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
19	Tribut. Bourret	13	17	12	14	20	26		23	↑	71 à 163	Très mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
20	Bourret	37	36	43	39	95	48	46	63	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
21	Bourret	29	30	47	35	45	35		40	--	37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
22	Henri	51	57	59	56	62	55		55	--	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
23	Saint-Georges	32	22	21	25	27	30		29	--	37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
24	du Chêne	35	28	45	36	36	35		36	--	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
25	aux Chevreuils	49	48	52	50	53	56		55	--	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
25A	aux Chevreuils	-	-	-	-	-	61	59	60		17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
25B	aux Chevreuils	-	-	-	-	-	71	51	61		17 à 43	État précaire	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
26	aux Cèdres	36	32	45	38	48	44		46	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
27	aux Frênes	31	-	33	32	70	39	44	51	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
29	du Chêne	35	33	37	35	51	49		50	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)

Tableau 5. Suite

Station	Cours d'eau	IDEC3 (alcalin) Valeur (0-100) et classe (A,B,C,D)								Variation 2009-2010 à 2020-2022 Δ ≥ 8[a]	Phosphore total estimé 2020-22 (µg/l)[b]	État 2020-22	Saprobie (charge organique) 2020-22
		2009 Août	2009 Oct.	2010	Moy. 2009-10	2020	2021	2022	Moy. 2020-22				
30	Saint-Jean-Baptiste	23	25	40	29	43	51	44	46	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
31	du Chêne	-	27	41	34	52	53		53	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
32	Huron[d]	21	28	22	24	37	25	35	32	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
33	Tribut. Huron	-	-	43	43	50	43		47	--	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
34	Tribut. Bourret	-	-	28	28	55	45	49	50	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
35	Bras d'Émond	-	-	49	49	58	52		55	--	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
36	Tribut. du Chêne	-	-	48	48	46	52		52	--	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
37	Henri	-	-	38	38	51	45		48	↑↑	17 à 43	État précaire	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5)
38	Huron	-	-	21	21	37	34		36	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)
39	aux Ormes	-	-	25	25	35	33		34	↑↑	37 à 98	Mauvais état	Bêta-mésosaprobe (70-85% O_2) (2-4 mg/L BDO_5))
999 (40)	Huron	-	-	-	-	-	31	27	29		37 à 98	Mauvais état	Alpha-mésosaprobe (25-70% O_2) (4-13 mg/L BDO_5)

a) Seuls les écarts de 8 points d'IDEC et plus sont considérés significatifs sur une base interannuelle. Les écarts ayant provoqué un changement de classe sont indiqués avec une double flèche. Des échantillonnages multiples, réalisés dans la rivière Boyer (Lavoie et al., 2008) et la rivière du Chêne (Campeau et al., 2011), ont permis d'évaluer que l'écart moyen saisonnier de l'IDEC est de 5 points et que l'écart moyen interannuel est de 8 points, surtout en milieu mésotrophe. Ces écarts sont essentiellement reliés à la variabilité des conditions météorologiques et hydrologiques au cours de la saison ou d'une année à l'autre. La variabilité de l'IDEC est moins élevée en milieux oligotrophes et eutrophes.

b) Intervalles probables (Q_1-Q_3) des concentrations estivales en phosphore total estimés à partir des valeurs d'IDEC selon Lavoie et al. (2014) (voir Tableau 6). Ces intervalles ne sont présentés qu'à titre indicatif. Les mesures ponctuelles de concentration en phosphore total sont très variables et peuvent donc différer des intervalles présentés dans ce tableau. D'autres facteurs peuvent également faire varier l'IDEC, tels que les concentrations en sels dissous et en matières organiques.

c) Les diatomées de cette station sont majoritairement halophiles, c'est-à-dire qu'elles tolèrent une salinité plus élevée.

d) Coordonnées différentes en 2009-2010 (station 32) et en 2020-21 (station 132). Voir Tableau 1.

e) Cette communauté est davantage neutrophile qu'alcaliphile. Toutefois, la valeur de l'IDEC-alcalin est indiquée ici par souci d'uniformité.

Après la confluence de la rivière aux Chevreuils et du Bras-de-Marie avec la rivière du Chêne, celle-ci atteint la municipalité de **Val-Alain** (**Figure 9**). Les stations **29** et **31** sont respectivement situées en amont et en aval de Val-Alain. Une amélioration notable de la qualité de l'eau est observée à ces deux stations, la valeur moyenne de l'IDEC ayant augmenté de 15 points en amont et de 19 points en aval de Val-Alain au cours de la dernière décennie, l'IDEC passant ainsi de la classe C à la classe B. La mise en opération des étangs aérés de Val-Alain en 2012 (**Figure 11**) peut en partie expliquer l'amélioration de la qualité de l'eau en aval, mais il semble qu'une partie de cette amélioration était déjà effective en amont de la municipalité. Selon le MELCC (2020a; 2020b; 2021), il n'y a eu aucun débordement des ouvrages de surverses de 2017 à 2019 et les exigences de rejets furent respectées. L'amélioration de la qualité de l'eau est encore plus manifeste à la station **11**, située à quelques kilomètres en aval de Val-Alain, où l'IDEC a augmenté de 21 points depuis 2010, passant de la classe C à B, ce qui appuie l'hypothèse d'un effet bénéfique de la mise en opération de la station d'épuration de Val-Alain.

Le **bras d'Edmond** est un tributaire dont la confluence avec la rivière du Chêne est située entre les stations 31 et 11. La station **35**, localisée en amont du bras d'Edmond, ne fut échantillonnée qu'une fois en 2010 en tant que station de référence. La qualité de l'eau a peu évolué depuis, la moyenne de 2020-21 étant de 55 sur 100 (classe B). L'aire de contribution en amont est composée à près de 97% de milieux humides ou boisés. Une cannebergière, dont l'expansion a été constatée depuis 2010, est située en amont. En 2010, les coupes forestières récentes occupaient 5% de la superficie de ce sous-bassin, alors qu'elles représentaient 2% de la superficie en 2020.

Les rivières Henri, aux Frênes et aux Cèdres

La station **22** est en amont de la **rivière Henri et de Dosquet** (**Figure 12**). La valeur de l'IDEC (55 sur 100) a été stable au cours de la dernière décennie. Le sous-bassin de cette station est essentiellement composé de milieux boisés (65 %) et de milieux humides (32%). La majeure partie des milieux boisés a été perturbée par des coupes forestières ayant débuté vers 1990 avec un maximum d'exploitation entre 2000 et 2012. Depuis 2012, l'intensité des coupes annuelles de ce secteur a diminué.

La station **2** est située en aval de la municipalité de **Dosquet**. La qualité de l'eau s'y est améliorée depuis 10 ans, l'IDEC moyen ayant augmenté de 12 points, passant ainsi de la classe C à B, rejoignant la qualité de l'eau de la station située en amont de Dosquet. En 2009, il n'y avait pas de suivi du phosphore à l'effluent de la station d'assainissement des eaux usées de Dosquet. Depuis, le MELCC s'est doté de la *Position sur la réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique*, qui vise à limiter la concentration du phosphore dans les effluents d'eaux usées traitées. Bien que cette information serait à confirmer, il semble que la station de Dosquet procède maintenant à l'enlèvement du phosphore total (MELCC, 2021). Bien que le respect des performances attendues était inférieur à 50 % en 2019, l'exigence du retrait du phosphore semble avoir eu un effet positif sur la qualité de l'eau de la station 2.

Cette amélioration de la qualité de l'eau se répercute jusqu'en aval de la rivière Henri, à la **station 12** située près de l'autoroute 20. La valeur moyenne d'IDEC mesurée à cette station a augmenté de 17 points au cours de la dernière décennie, passant ainsi de la classe C à la classe B. L'aire de drainage de la station 12 est occupée à 20% par les terres agricoles, proportion qui a peu évoluée depuis 10 ans, bien que les grandes cultures aient pris de l'expansion au détriment des cultures pérennes. La cannebergière présente dans ce bassin a connu une légère expansion et une seconde exploitation a vu le jour à proximité de la station d'échantillonnage en 2011.

En amont de la **rivière aux Frênes**, les valeurs d'IDEC recueillies en 2020 et 2021 à la **station 27** sont très variables (de 39 à 70). Il est donc difficile d'évaluer quelle fut l'évolution de ce bassin. L'aire de drainage de cette station est composée à 74% de milieux boisés. Un vaste champ agricole en amont de la station fut drainé et converti en terrain de golf en 2009-2010 et semble en opération depuis 2011 (**Figure 13**). Il est possible que les travaux d'aménagement de ce terrain aient pu diminuer la valeur moyenne de l'IDEC (32 sur 100) en 2009 et 2010. L'aire de drainage de la station 27 est petite (3,2 km^2) et de faibles variations dans l'utilisation du territoire et/ou des conditions météo variables peuvent avoir influencé les valeurs d'IDEC. Il est possible (à vérifier) que la forte variabilité observée en 2020-22 soit attribuable au calendrier d'entretien du terrain de golf. Il est à noter que la valeur de turbidité la plus élevée de l'ensemble du territoire (140 FNU) fut mesurée en 2021 à cette station, ce qui suggère qu'il y ait des problèmes de ruissellement en amont.

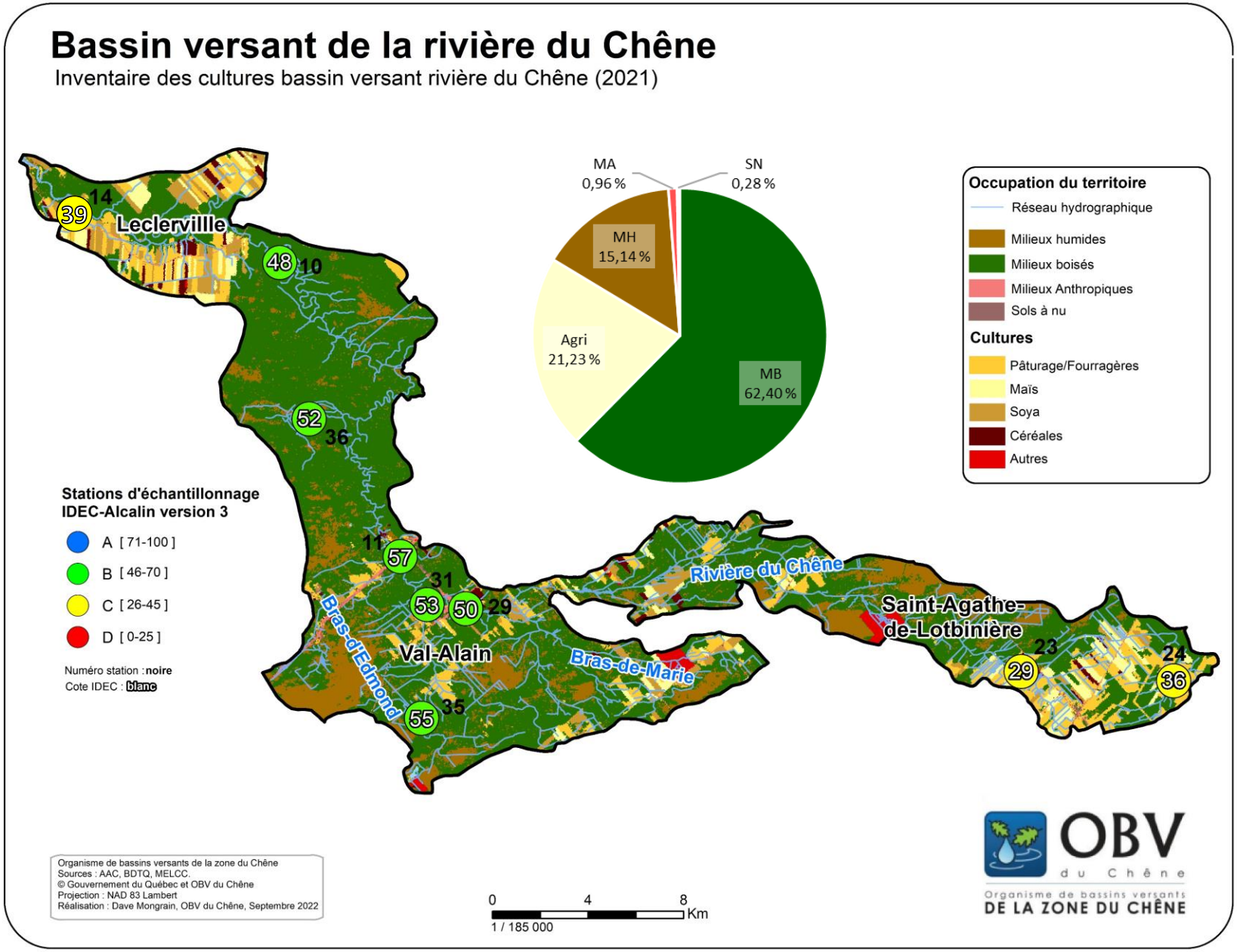


Figure 9. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) sur le parcours principal de la **rivière du Chêne** entre 2020 et 2022. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

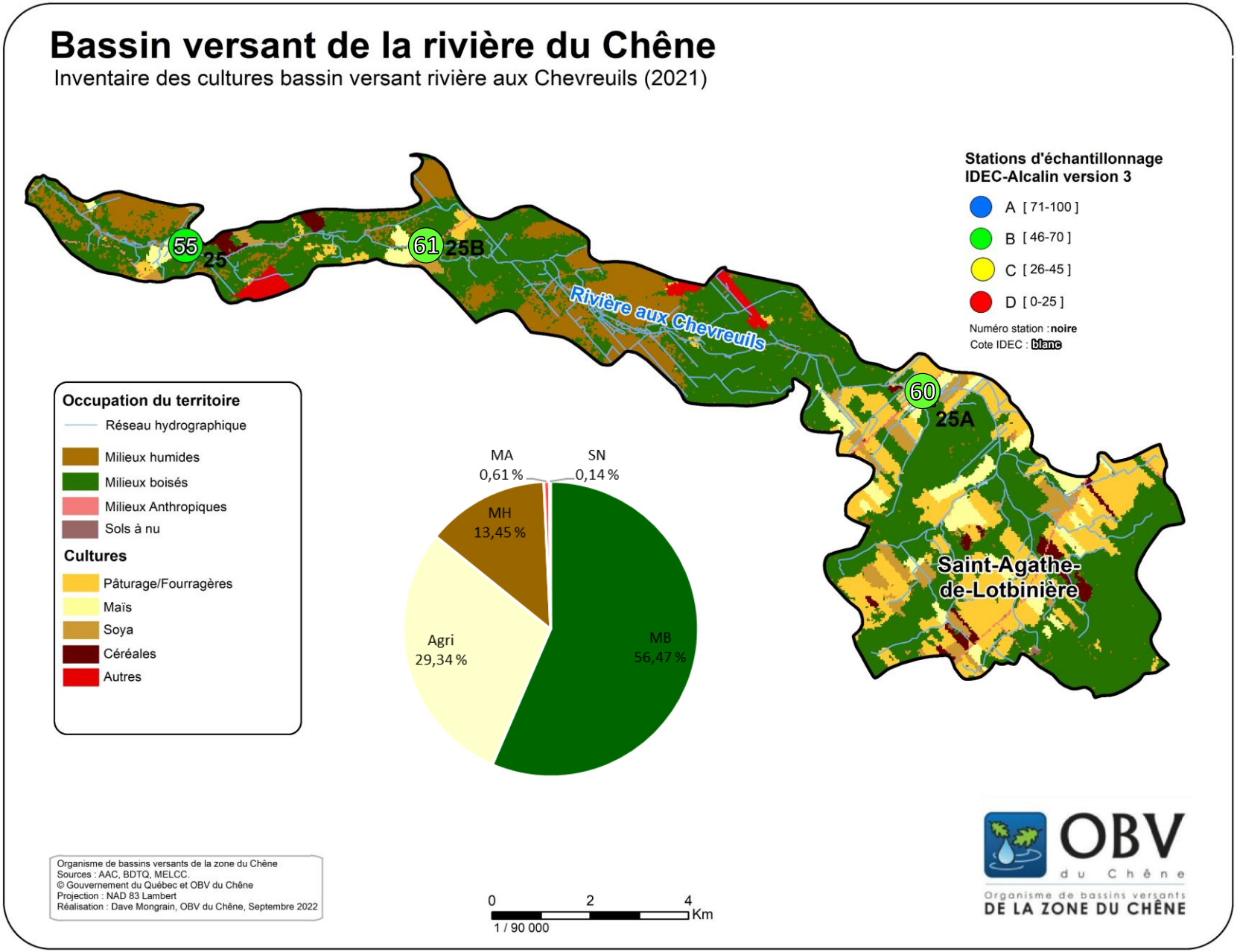


Figure 10. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) dans le bassin de la **rivière aux Chevreuils** entre 2020 et 2022. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Figure 11. Étang aéré de Val-Alain, en construction en 2011, puis en 2019. L'étang est en opération depuis 2012 (*Google Earth*, 2011; 2019). La valeur de l'IDEC a augmenté de 19 points entre 2009-2010 et 2020-2021 en aval de la station d'épuration.

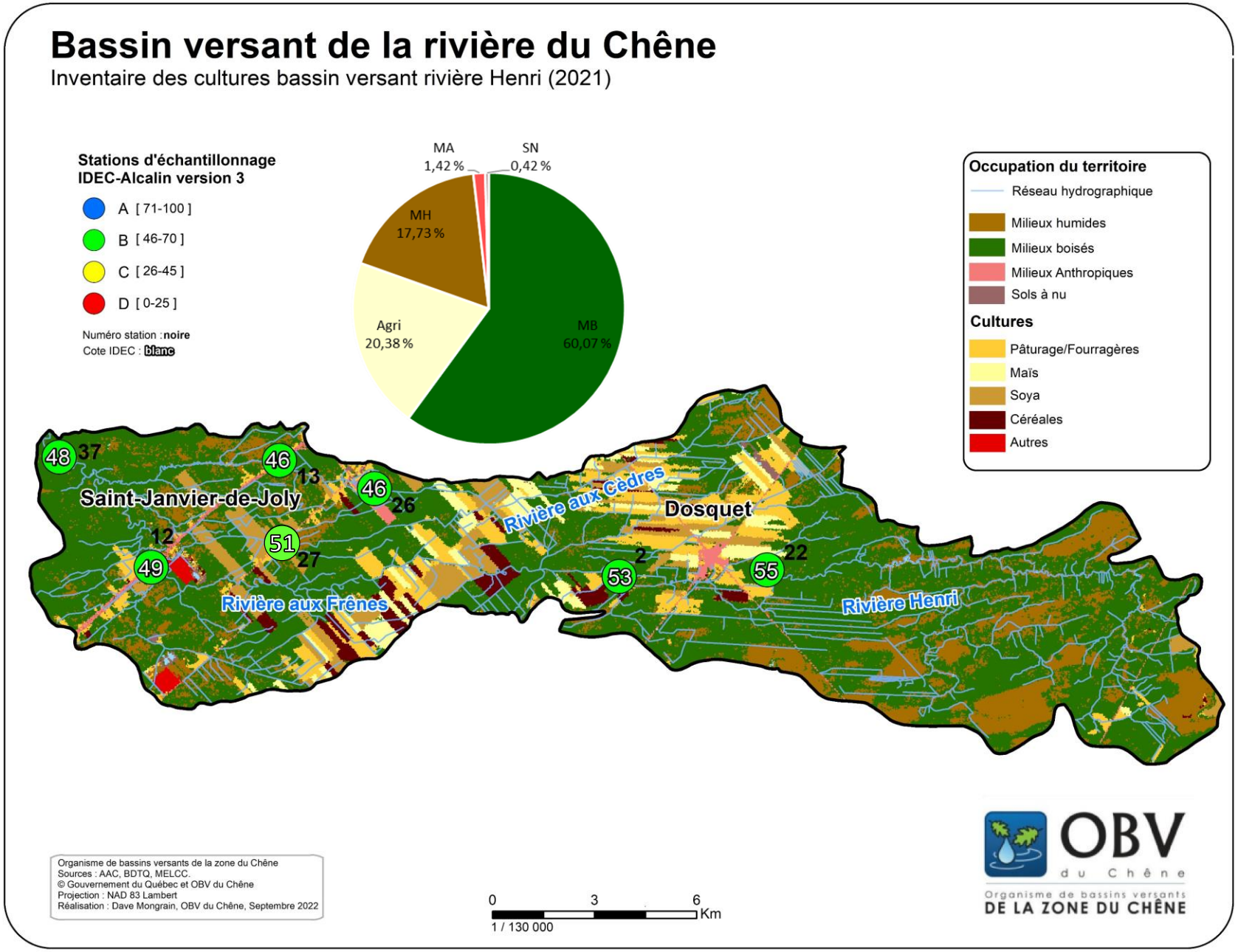


Figure 12. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) dans le bassin de la **rivière Henri** entre 2020 et 2022. Les stations sont décrites au **Tableau 1**.

Figure 13. Évolution du terrain de golf de Saint-Janvier-de-Joly entre 2009 et 2019 (*Google Earth*, 2009; 2011; 2019). Le golf est en opération depuis 2011. La valeur moyenne de l'IDEC en aval de la rivière du Frêne (**station 27**) est passée de 32, pendant la construction du golf en 2009-2010, à 51 une décennie plus tard. L'IDEC de la station en aval de la rivière aux Cèdres (**13**) a quant à elle augmenté de 18 points au cours de la même période.

La station **26** est située en amont de **Saint-Janvier-de-Joly** sur la **rivière aux Cèdres.** La qualité de l'eau moyenne s'est améliorée de 8 points depuis 2009-2010, passant de la classe C à la classe B de l'IDEC, et ce malgré l'expansion des grandes cultures (maïs et soya). L'amélioration de la qualité de l'eau est encore plus notable en aval de **Saint-Janvier-de-Joly**, à la station **13**, où la valeur moyenne de l'IDEC a augmenté de 18 points au cours de la dernière décennie. Alors qu'en 2009-2010 l'IDEC baissait de 10 points d'amont en aval de la municipalité, il n'y a maintenant plus de différence entre l'amont et l'aval. La station **13** est localisée en aval du Club de golf des boisés de Joly, des étangs aérés de la municipalité et en aval de l'autoroute 20. Tout comme pour la station 27, l'aménagement du terrain de golf en amont a peut-être eu un impact négatif sur les résultats de l'échantillonnage de 2009-2010. Depuis, les berges du pont localisé directement en aval du golf sur les rangs 3 et 4 ouest ont été enrochées. De plus, le ponceau situé sous l'autoroute 20 à quelques dizaines de mètres de la station d'échantillonnage a également été refait en 2018. Selon le MELCC (2020a; 2020b; 2021), les étangs aérés n'ont pas toujours respecté les exigences attribuées en 2018 (note inférieure à 50 %) et des dépassements pour les matières en suspension (MES) ont été observés en 2019 (note inférieure à 50 %). Toutefois, il ne semble pas y avoir de problématique récurrente concernant les étangs aérés au fil des ans.

La station **37** fut ajoutée en 2010 sur la **rivière Henri** en aval de la confluence avec les rivières aux Frênes et aux Cèdres, directement à l'exutoire du sous-bassin versant de la rivière Henri. En 2010, l'IDEC affichait une valeur de 38 sur 100, correspondant à la classe C. Une décennie plus tard, la valeur d'IDEC a augmenté de 10 points pour atteindre 48 sur 100, ce qui correspond à la classe B. L'amélioration de la qualité de l'eau à cette station peut être attribuable à l'amélioration générale de la qualité de l'eau des stations en amont (2, 12, 13, 26 et 27). L'amélioration de la station 37 s'est produite malgré la présence de coupes forestières dans la forêt seigneuriale de Lotbinière entre 2009 et 2020 en amont de la station (**Figure 14**). La majorité des coupes forestières réalisées près de la station étaient toutefois des éclaircies commerciales, des coupes de jardinage et des coupes progressives irrégulières, qui peuvent favoriser la régénération des peuplements.

La rivière Huron

Sur la **rivière Huron**, en amont de **Laurier-Station**, la qualité de l'eau n'a pas évoluée au cours de la dernière décennie à la station **1** (**Figure 15**). La valeur moyenne de l'IDEC est de 31 sur 100 (Classe C). Les surfaces agricoles occupent les deux tiers de l'aire de drainage de cette station.

En aval de la municipalité de **Laurier-Station**, la qualité de l'eau de la station **6** s'est améliorée de 10 points depuis 2009-2010. La valeur de l'IDEC est maintenant semblable (30 sur 100) à celle de la station amont. Il y a une décennie, la charge organique de la station 6 semblait élevée et la conductivité la plus élevée des 39 stations y avait été mesurée (1122 µS/cm). Le ruissellement des eaux pluviales de la municipalité, de l'autoroute et des terres agricoles, les eaux des procédés industriels et les débordements des ouvrages de surverse avaient été identifiés en tant que sources possibles de la dégradation de la qualité de l'eau en 2009-2010. Selon le MAMROT (2010, 2011), il y a eu 24 débordements d'eaux usées par année dans le réseau de Laurier-Station entre 2009 et 2010. Les ouvrages de surverse ne respectaient pas toujours les exigences de rejet puisque la note attribuée par le MAMROT était de 28 %. Selon le MELCC (2021), les débordements des ouvrages de surverse semblaient encore problématiques en 2019, mais le pourcentage des ouvrages respectant la performance attendue était entre 50 % à 85 %.

Avant d'atteindre les étangs aérés de la municipalité, la rivière Huron reçoit les eaux du **ruisseau Bois-Franc-Pierriche** (station **5**). La qualité de l'eau de cette station n'a pas évolué depuis 10 ans, la valeur moyenne de l'IDEC étant de 29 sur 100 (Classe C). La majorité de l'aire de drainage est occupée par les milieux agricoles (59 %) et les milieux anthropiques (6 %).

Un peu plus en aval de la rivière Huron, la station **32** est située en aval des étangs aérés de la municipalité de Laurier-Station. Cette station d'échantillonnage a peu évolué depuis 10 ans et a une qualité de l'eau (32 sur 100) comparable aux stations situées en amont. Mis à part les problèmes associés aux ouvrages de surverse mentionnés précédemment, les étangs aérés ont respecté les exigences d'exploitations attendues (MELCC, 2020a; 2020b; 2021).

Avant la confluence avec la rivière du Chêne, la rivière Huron reçoit les eaux de deux tributaires. La station **33** est située sur le premier tributaire. Son aire de drainage est majoritairement composée de milieux boisés (83%) et humides (16%). Malgré une légère amélioration qui a provoqué un changement de classe, la qualité de l'eau a

peu évolué depuis 10 ans à cette station, la valeur moyenne de l'IDEC étant maintenant de 47 sur 100 (classe B). Au cours de la dernière décennie, près de 27% de l'aire de drainage de cette station a fait l'objet de coupes forestières (**Figure 14**). La majorité de ces coupes ont eu lieu entre 2009-2011 (50%) et 2014-2016 (40 %). Peu de coupes ont eu lieu depuis 2016 (10%).

La station **39** est située sur la **rivière aux Ormes**, avant la confluence avec la rivière Huron. La valeur moyenne de l'IDEC a augmenté de 9 points depuis 2009-2010 dans ce bassin, passant de la classe D à la classe C (34 sur 100). L'aire de drainage de cette station est occupée à 51% par des milieux boisés localisés à proximité de la station. Toutefois, les terres agricoles et les milieux anthropiques occupent une superficie importante en amont (43%). La municipalité de **Saint-Flavien**, en amont de ce bassin, est raccordée à Laurier-Station pour le traitement des eaux usées. Depuis 2010, 13 % des milieux forestiers à proximité de la station 39 on subit des coupes forestières dont la majorité ont eu lieu entre 2012 et 2017. Il s'agit principalement de coupes ayant pour but la régénération du couvert forestier à long terme.

La station **38** est située en aval de la **rivière Huron**, avant la confluence avec la rivière du Chêne. On y observe également une amélioration de la qualité de l'eau, l'IDEC ayant augmenté de 15 points au cours de la dernière décennie, passant ainsi de la classe D à la classe C (36 sur 100). Cette amélioration est le reflet de l'augmentation des valeurs moyennes de l'IDEC observée en amont de la rivière Huron, principalement aux stations 39 et 6.

Lors de la campagne d'échantillonnage de 2009-2010, on observait une dégradation de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval de la rivière Huron. En 2020-2021, la tendance s'est inversée et la qualité de l'eau connaît une légère amélioration de l'amont vers l'aval du sous-bassin-versant de la rivière Huron. Cette amélioration, en direction de l'aval, pourrait sans doute être plus marquée, si ce n'était la présence de coupes forestières dans la Forêt seigneuriale (**Figure 16**) et la présence de sols à nu dans les parcelles agricoles à certaines périodes de l'année (**Figure 17**).

Rivière du Bois Clair

L'aval de la **rivière du Bois Clair** affiche la pire qualité de l'eau de la zone du Chêne (classe D de l'IDEC), et la situation a peu évoluée depuis 10 ans (**Figure 18**). La station **8** est localisée en amont des étangs aérés de la municipalité de **Saint-Édouard-de-Lotbinière**. La valeur moyenne d'IDEC y est très basse (11 sur 100). À l'été 2021, cette station affichait la plus forte conductivité (1759 µS/cm) de la zone du Chêne et une turbidité élevée (78 FNU), ce qui suggère que ce bassin est soumis à un ruissellement et une érosion importante. D'ailleurs, la majorité des diatomées de cette rivière sont halophiles, c'est-à-dire qu'elles tolèrent une salinité plus élevée, qui peut être associée au lessivage important des sols. Elles sont également alpha-mésosaprobes, c'est-à-dire qu'elles tolèrent des niveaux de saturation en oxygène dissous pouvant descendre entre 25 et 70% et une DBO_5 pouvant atteindre entre 4 et 13 mg/l. Quelques dizaines de poissons morts ont d'ailleurs été observés dans ce cours d'eau au cours de l'échantillonnage du mois d'août 2021. Les terres agricoles occupent 75% de l'amont de cette station, dont la moitié en grandes cultures (**Figure 19**).

Présence de poissons morts dans la rivière Bois Clair le 19 août 2021 (station 8)

En aval de la municipalité et des étangs aérés, la station **7** affiche également une qualité de l'eau très mauvaise (13 sur 100). Selon le MAMROT (2010, 2011), les étangs aérés n'ont pas toujours respecté les exigences de rejets en 2009-2010, la note attribuée pour le suivi étant respectivement de 88 % et 92 %. Une décennie plus tard, selon le MELCC (2020a; 2020b; 2021), les étangs aérés ne respectent toujours pas les exigences puisqu'ils sont sous la performance attendue (entre 50 % et 85 %). Les exigences concernant la concentration en phosphore total n'ont pas été respectées en 2017 et la performance générale attendue des étangs était inférieure à 50 % en 2019. Il est également à noter que des matériaux issus de la transformation du bois sont entreposés à proximité de la station 7.

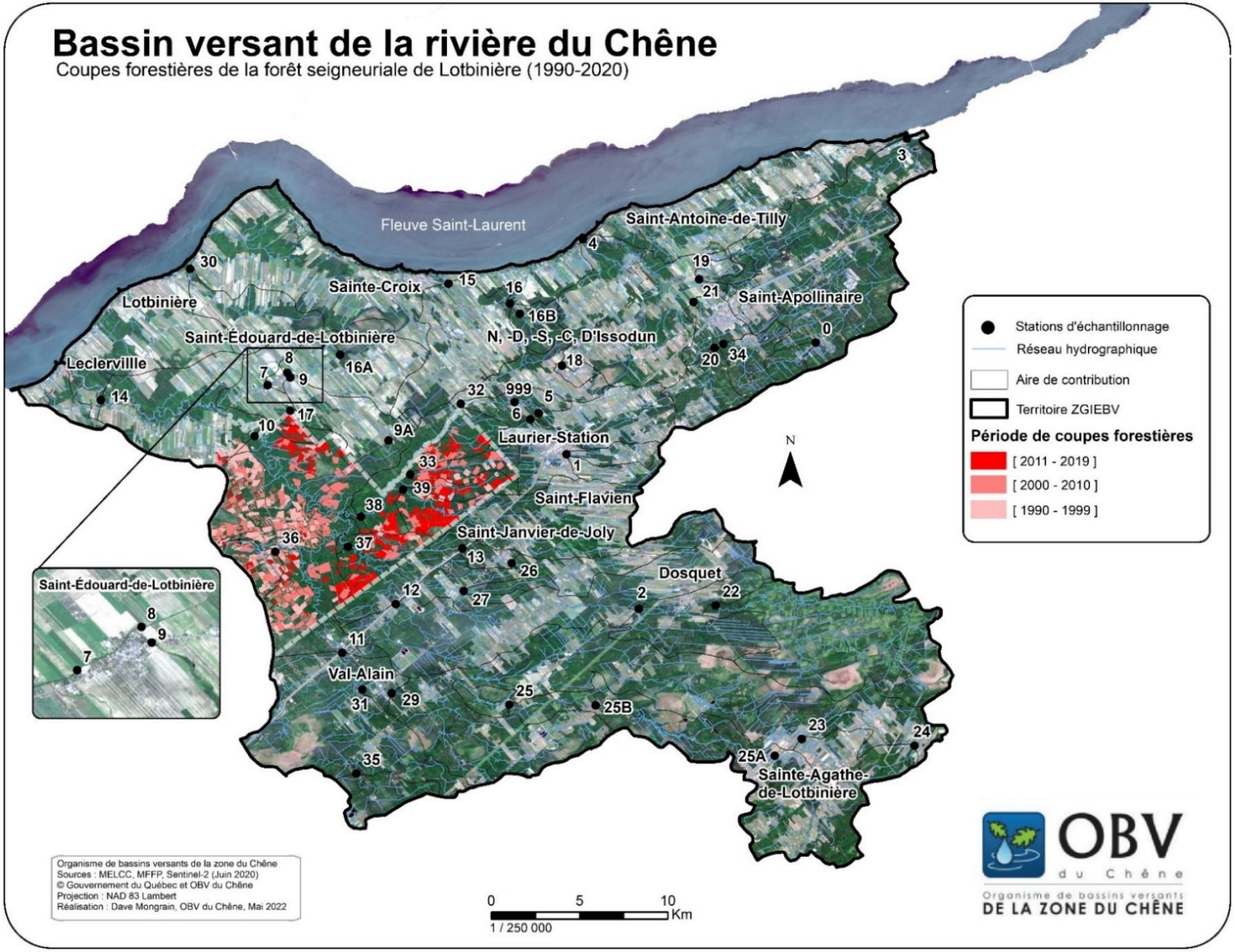


Figure 14. Localisation des **coupes forestières** dans la Forêt seigneuriale de Lotbinière de 1990 à 2020. Les stations sont décrites au **Tableau 1**.

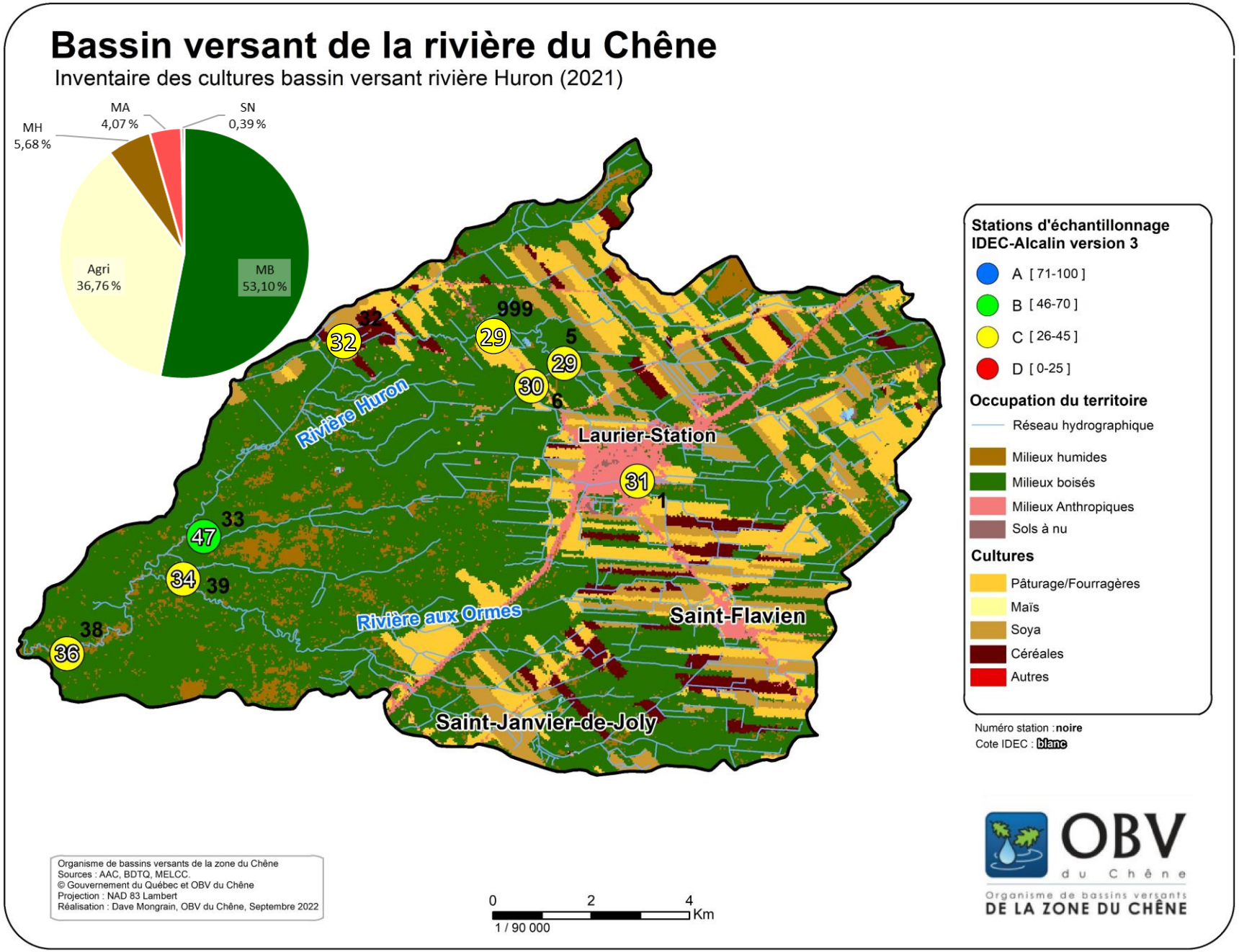


Figure 15. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) dans le bassin de la **rivière Huron** entre 2020 et 2022. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Figure 16. Coupes forestières dans la forêt seigneuriale (*Google Earth*, 2015).

Figure 17. Sols à nu dans des champs à proximité de Laurier-Station (*Google Earth*, 2019).

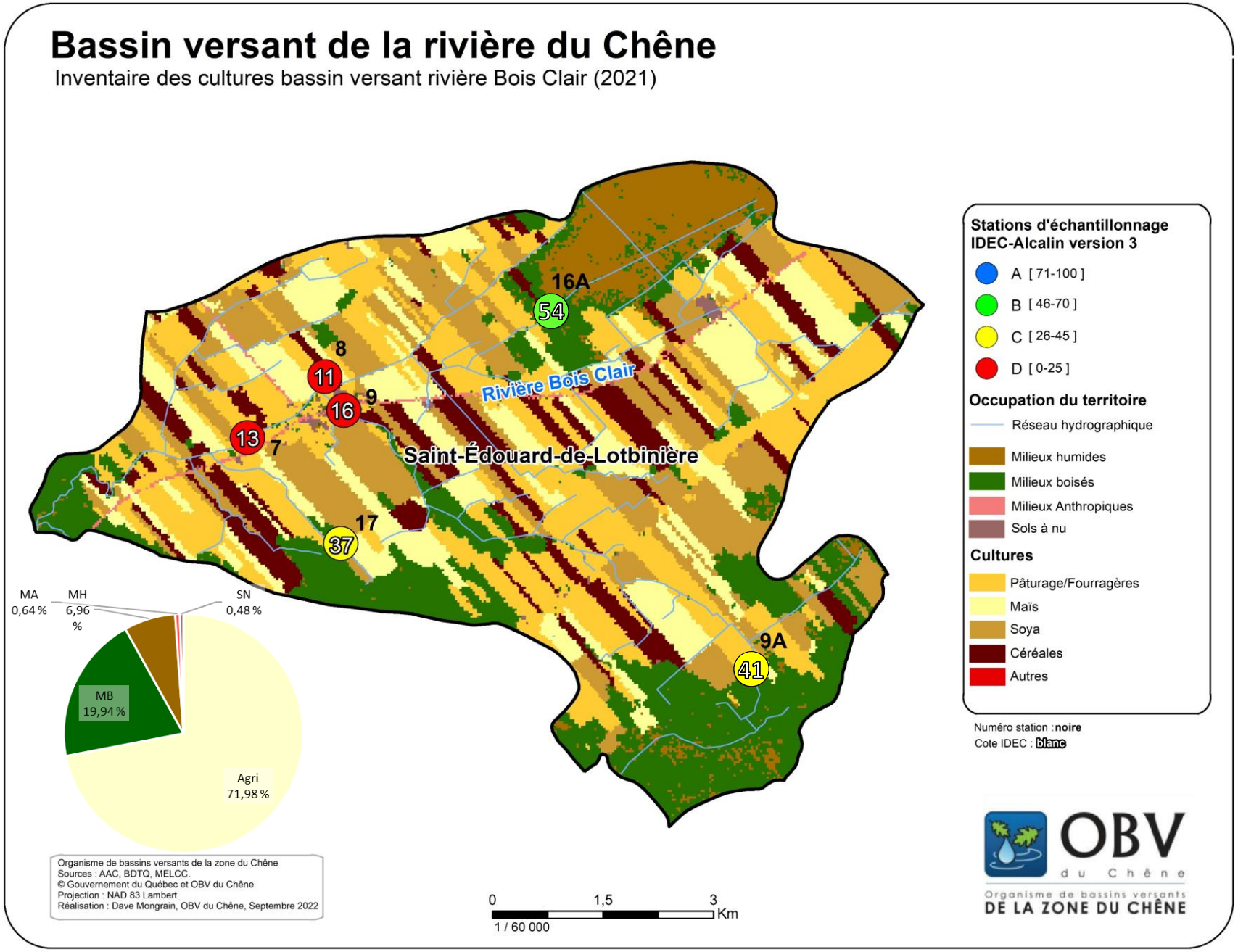


Figure 18. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) dans le bassin de la **rivière Bois Clair** entre 2020 et 2022. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Figure 19. Secteur agricole en amont de Saint-Edouard-de-Lotbinière. Les zones boisées et les bandes riveraines sont minimales le long de la rivière du Bois Clair. Les stations d'échantillonnage situées en aval affichent la pire qualité de l'eau de la zone du Chêne (*Google Earth*, 2020).

La station **9** est située sur le **Bras-des-Boucher** qui rejoint la rivière du Bois Clair à quelques mètres en aval du système de traitement des eaux usées, soit entre les stations 7 et 8. Une station (9A) fut ajoutée en 2021 en amont de ce bassin versant, à titre de station de référence pour ce secteur de la zone du Chêne. De la station 9A en amont, à la station 9 en aval du Bras-des-Boucher, la valeur moyenne d'IDEC passe de 41 sur 100 (classe C) à 16 sur 100 (classe D), soit une diminution de 25 points. Bien que majoritairement forestier, l'amont de la station 9A n'est pas totalement exempt d'activités agricoles.

La station **17**, en amont du **ruisseau des Revend**, avait également été ciblée en tant que station de référence en 2009-2010. Il s'était toutefois avéré que ce bassin était très dégradé, avec une valeur moyenne d'IDEC de 21 sur 100. L'aire de drainage de cette station fut l'objet de coupes forestières avant 2009-2010, mais peu de coupes forestières ont été effectuées depuis 2012. La valeur moyenne de l'IDEC a augmenté de 16 points en 2020-2021, passant de la classe D à C. La valeur actuelle (37 sur 100) est maintenant plus près de celle de la station de référence 9A (41 sur 100).

En 2021, une autre station de référence (**16A**) fut échantillonnée en amont de la rivière du Bois Clair, à la sortie du boisé situé au nord-est de Saint-Édouard-de-Lotbinière. Cette station affiche une qualité de l'eau nettement supérieure au reste de ce bassin versant (54 sur 100). Ce résultat indique qu'il est possible d'atteindre la classe B de l'IDEC dans ce bassin versant. Cette station nous permet également d'évaluer qu'elle est la valeur de référence en ce qui concerne la conductivité, dans ce secteur dominé par des roches sédimentaires. La valeur mesurée à cette station (289 µS/cm) est de 6 fois inférieure à la conductivité mesurée à la station 8, ce qui appuie l'hypothèse d'une érosion intense dans la section agricole de ce bassin.

Ainsi, entre l'amont (station 16A) et l'aval (station 7) de la rivière du Bois Clair, les valeurs moyennes de l'IDEC chutent de 41 points, ce qui est la baisse la plus marquée de la zone du Chêne.

L'aval de la rivière du Chêne

Entre Val-Alain et la confluence avec la rivière du Bois Clair, la **rivière du Chêne** traverse un milieu boisé sur près de 40 km (**Figure 9**). Elle reçoit les eaux des rivières Henri, aux Frênes, aux Cèdres, et Huron. En 2009-2010, les stations **11** et **10**, en amont et en aval de la **Forêt de la Seigneurie de Lotbinière**, présentaient des valeurs d'IDEC identiques (36 sur 100). Ces valeurs ont nettement augmenté en 2020-2021, passant de la classe C à la classe B de l'IDEC, reflétant ainsi l'amélioration généralisée de la qualité de l'eau en amont. Malgré ce long corridor boisé, on observe toutefois une diminution de la qualité de l'eau entre l'amont (station 11) et l'aval (station 10) de la forêt seigneuriale. Cette diminution de 9 points d'IDEC peut être reliée à l'apport des tributaires, qui ont une qualité de l'eau moindre, particulièrement la rivière Huron (station 38). De plus, la forêt seigneuriale a subi de nombreuses coupes forestières (**Figure 14**), particulièrement avant 2010, ce qui peut ralentir la récupération de la rivière du Chêne dans ce secteur.

La station **36** est située sur un tributaire forestier de la rivière du Chêne, à l'intérieur des limites de la Forêt de la Seigneurie de Lotbinière. La qualité de l'eau (classe B) y est stable depuis 10 ans. Seulement 6% de la superficie de ce secteur a fait l'objet de coupes forestières depuis 2010.

La station **14** est située en amont de **Leclerville** et en aval de la confluence avec la rivière du Bois Clair; elle draine la majorité du bassin versant de la **rivière du Chêne** (793 km^2). Tout comme les stations situées plus en amont, la valeur de l'IDEC a augmenté depuis 10 ans, passant de la classe D à la classe C (37 sur 100). Malgré cette amélioration, cette station présente une qualité de l'eau moindre (-9 points) que celle de la station 10, située à la sortie de la forêt seigneuriale. Le parcours de la rivière du Chêne, entre ces deux stations, comporte de nombreux petits tributaires agricoles, dont la rivière du Bois Clair, qui contribuent à dégrader la rivière.

Les petits tributaires du Saint-Laurent

De Lotbinière à Saint-Nicolas, cinq petits affluents du Saint-Laurent ont été échantillonnés (**Figure 20**). Le **ruisseau Saint-Jean-Baptiste** (station **30**) et le **ruisseau Petit-Sault** (station **15**) présentent un contraste intéressant. Dans le premier, la valeur moyenne de l'IDEC a bondi de 18 points en 10 ans, passant de la classe C à la classe B, alors que dans le second, la situation n'a pas évolué, la qualité de l'eau étant toujours très mauvaise (classe D). Ces deux petits bassins versants présentent des proportions semblables de surfaces agricoles (68 et 75%). Il serait intéressant d'analyser plus en profondeur les caractéristiques de ces bassins afin d'expliquer les différences dans l'IDEC. Une hypothèse qui peut être avancée est que dans le cas du

ruisseau Saint-Jean-Baptiste, les boisés sont davantage localisés le long du corridor riverain (**Figure 21**), ce qui peut favoriser une meilleure qualité de l'eau (Clément et al., 2017). Une analyse rapide des photos aériennes suggère également qu'il y ait davantage de population et d'élevages dans le bassin du ruisseau Petit-Sault. De plus, les grandes cultures y ont connu une expansion plus importante au cours de la dernière décennie.

La station **16**, qui est à mi-parcours du **ruisseau Gaspard**, était a priori considérée comme une référence. Bien que la qualité de l'eau se soit légèrement améliorée depuis 10 ans, l'IDEC affiche toujours une mauvaise qualité de l'eau (classe C). La concentration moyenne en phosphore total (71 µg/L), mesurée en juillet 2010, suggère que les milieux humides, qui occupent une forte proportion de ce bassin, soient une source non négligeable de nutriments. Une nouvelle station (**16B**) échantillonnée en 2021, un peu plus en amont et moins affectée par les activités agricoles, affiche un résultat semblable (classe C) à la station 16.

Les **stations 20** et **34** sont en amont de **Saint-Apollinaire**, sur des branches distinctes de la **rivière Bourret**. La qualité de l'eau de ces deux stations s'est nettement améliorée au cours des 10 dernières années. La valeur moyenne de l'IDEC à la station **20** a augmenté de 24 points, ce qui est la plus forte augmentation enregistrée dans la zone du Chêne. Cette station est ainsi passée de la classe C à la classe B. Les valeurs d'IDEC obtenues entre 2020 et 2022 sont toutefois très variables. Bien que moins marquée, une amélioration de la qualité de l'eau est également observée à la station **34**; celle-ci passant de la classe C à la classe B. Les causes de cette amélioration de la qualité de l'eau à ces stations demeurent à élucider. La charge organique de ces cours d'eau semblait élevée en 2009-2010. Il est possible qu'une meilleure gestion des engrais de ferme, et/ou une amélioration des installations septiques domestiques, soient en partie responsables de la restauration de la qualité de l'eau.

La valeur de l'IDEC diminue et passe à la cote C (40 sur 100) à la station **21**, qui est en aval de **Saint-Apollinaire**. Cette station reçoit les eaux pluviales de la municipalité, une partie des débordements des ouvrages de surverse et le ruissellement en provenance des terres agricoles adjacentes. Cette municipalité a connu une expansion importante depuis 2011 (**Figure 22**). La qualité de l'eau de cette station est demeurée stable et n'a donc pas bénéficié de l'amélioration de la qualité de l'eau observée en amont de Saint-Apollinaire.

La station **19** est sur un affluent de la rivière Bourret qui reçoit les rejets des étangs aérés de Saint-Apollinaire et les eaux de ruissellement de l'une des plus grandes pépinières au Québec (**Figure 23**). La qualité de l'eau y est très mauvaise, la valeur moyenne de l'IDEC étant de 23 sur 100 (classe D), bien qu'il y ait eu une certaine amélioration depuis 10 ans. Les diatomées de ce cours d'eau sont alpha-mésosaprobes, c'est-à-dire qu'elles tolèrent des niveaux de saturation en oxygène dissous pouvant descendre entre 25 et 70% et une DBO_5 pouvant atteindre entre 4 et 13 mg/l. En 2010, selon le MAMROT, les exigences de rejet des étangs aérés ne furent pas toujours respectées (note de 88%). De plus, il y eut au total 41 débordements d'eaux usées dans le réseau de Saint-Apollinaire en 2009. Selon le MELCC (2020a; 2020b; 2021), les étangs aérés n'ont pas respecté les exigences de rejets en 2018 et 2019, leurs performances concernant le phosphore total étaient inférieures à 50 %. De plus, la note accordée aux étangs en 2019 concernant la performance attendue était située dans l'intervalle entre 50 % et 85 %. Il semble par ailleurs que la pépinière ait mis en place un système de gestion de l'eau. Il serait intéressant de visiter ces installations afin d'évaluer quels sont les impacts de la fertilisation et de la présence de sols à nu à certains moments de leur cycle de production sur le ruissellement.

La station **18** est sur la **rivière Bois-Franc**, en aval de **Notre-Dame-du-Sacré-Cœur-d'Issoudun**. La qualité de l'eau s'est légèrement améliorée, passant de la classe D à la classe C, mais cette augmentation de l'IDEC n'est pas encore significative. Les diatomées de ce cours d'eau sont également alpha-mésosaprobes. Depuis 2012, les étangs aérés de la municipalité sont en opération (**Figure 24**). Selon le MELCC (2020a; 2020b; 2021), les étangs aérés étaient sous les exigences en 2018 en ce qui concerne les dépassements en phosphore (note inférieure à 50 %). Les terres agricoles occupent 90% de ce bassin.

La station **4** est en aval de la confluence des **rivières Bourret et Bois-Franc**, près du fleuve Saint-Laurent. La qualité de l'eau y est mauvaise, la valeur moyenne de l'IDEC étant de 34 sur 100 (classe C). On constate toutefois une légère amélioration depuis 10 ans, mais non significative. Cette station est en aval de Saint-Apollinaire et d'Issoudun, et plus de 45% de ce bassin est composé de terres agricoles.

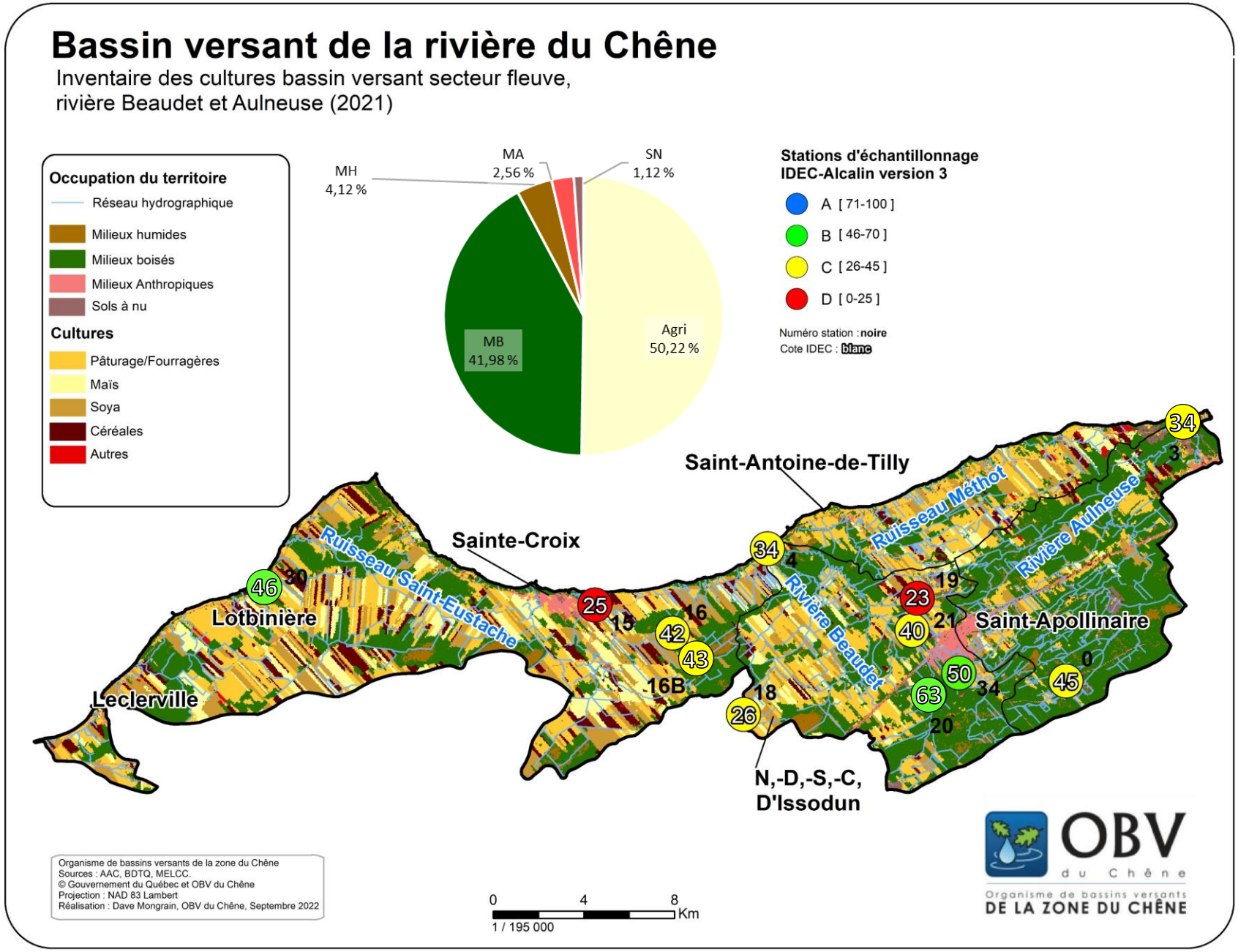


Figure 20. Valeurs moyennes et classes de l'indice IDEC 3 (alcalin) dans les **tributaires directs du fleuve** entre 2020 et 2022. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

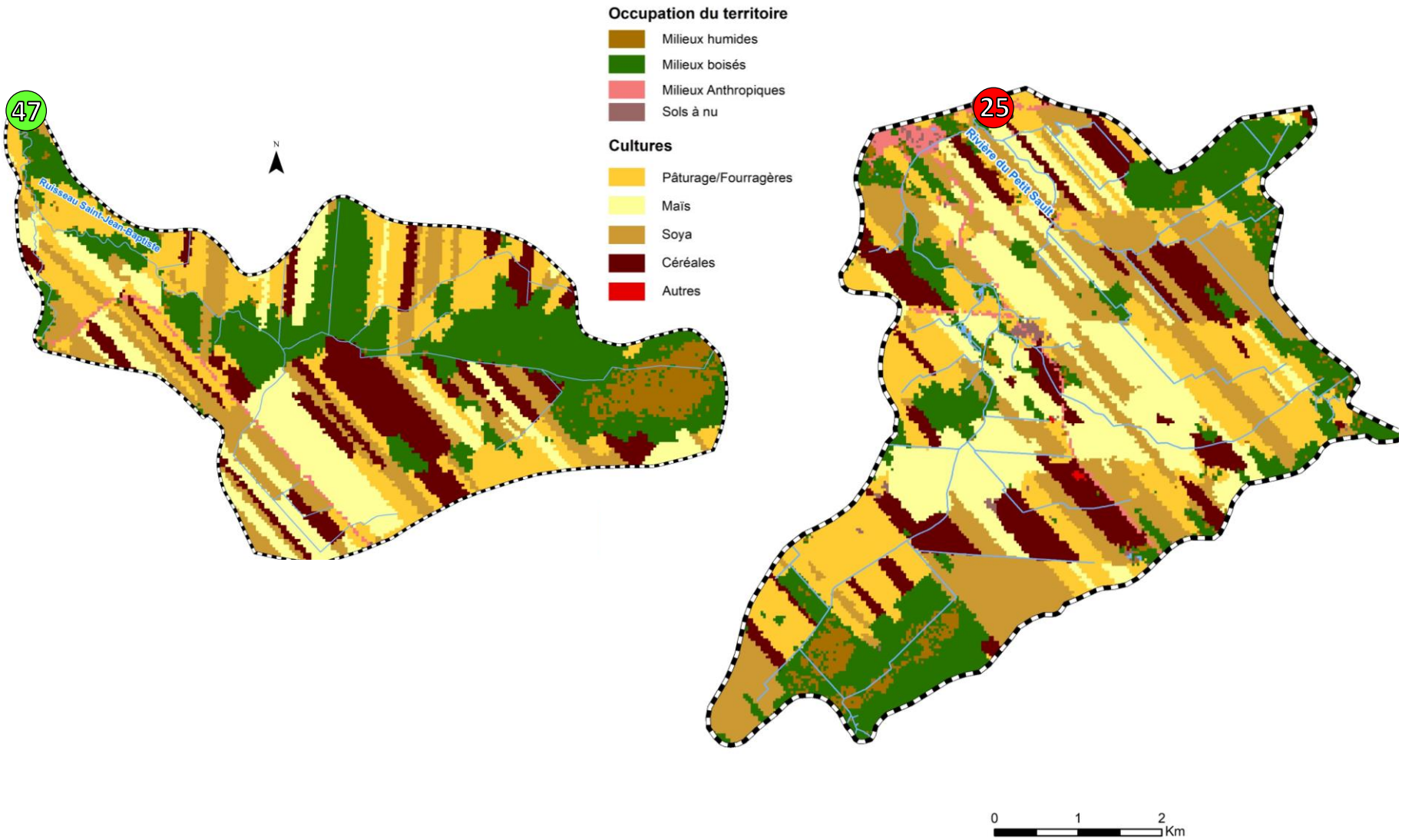


Figure 21. Occupation du territoire et valeurs moyennes de l'indice IDEC dans le ruisseau Saint-Jean-Baptiste (**station 30**), à gauche, et le ruisseau Petit-Sault (**station 15**) à droite. Les milieux boisés et humides, qui occupent sensiblement la même proportion dans ces deux bassins, sont davantage situés le long des cours d'eau dans le cas du bassin du ruisseau Saint-Jean-Baptiste.

Figure 22. Expansion de la municipalité de Saint-Appolinaire entre 2011 et 2021 (*Google Earth*, 2011; 2021).

Figure 23. Étangs aérés de Saint-Apollinaire (couverts d'algues), pépinière et secteur agricole dans le bassin de la **station 19** (*Google Earth*, 2018).

Figure 24. Les étangs aérés de Notre-Dame-du-Sacré-Cœur-d'Issoudun, dans le bassin de la **station 18**, sont en opération depuis 2012 (*Google Earth*, 2011; 2018).

Le bassin de la **rivière Aulneuse** comporte deux stations, soit la station **0**, située en amont sur le **ruisseau le Rigolet**, et la station **3** située en aval du bassin, à **Saint-Nicolas** (Lévis). La qualité de l'eau s'est améliorée dans les deux cas, soit une augmentation de 11 points en amont et de 16 points d'IDEC en aval, la station 3 passant de la classe D à la classe C. Il est à noter qu'un dépôt de neige usée d'envergure est situé tout juste en amont de cette station.

4. Évolution des valeurs d'IDEC de 2009 à 2022

Dans le cadre d'un programme de restauration d'un cours d'eau et de son bassin versant, l'objectif proposé est **d'augmenter d'une classe la cote de l'IDEC** sur une période de 10 ans. Les efforts de restauration nécessaires pour atteindre cet objectif sont variables d'un bassin versant à l'autre. À long terme, l'objectif visé devrait être d'atteindre au moins la **classe B** pour l'ensemble des cours d'eau.

Il faut être conscient que la restauration d'une rivière est un **processus à long terme** qui exige des efforts soutenus. Le passage d'une classe inférieure à une classe supérieure de l'IDEC est en soit un objectif ambitieux. Les classes de l'IDEC ont en effet été délimitées à partir de **seuils écologiques** (Grenier et al., 2010). Le passage d'une classe à l'autre signifie que des changements importants se sont produits dans l'écosystème qui ont eu pour effet de modifier en profondeur la communauté de diatomées. Ainsi, le passage à une classe supérieure ne se produira que si la qualité de l'eau s'est améliorée de façon substantielle. Au Québec, en milieu urbain ou de villégiature, le changement de classe nécessite en général que des améliorations soient apportées aux systèmes de traitement des eaux usées (domestiques ou municipales) et à la gestion des eaux pluviales. En milieu agricole, une meilleure gestion des intrants agricoles et un meilleur contrôle du ruissellement et de l'érosion des sols et des berges sont incontournables.

Dans le cas de la **zone du Chêne**, l'amélioration de la qualité de l'eau observée au cours des 10 dernières années est remarquable. Pour l'ensemble des stations, **les valeurs d'IDEC ont en moyenne augmenté de 10 points**. Le passage de l'IDEC à une classe supérieure a été observé dans plus de la moitié des stations d'échantillonnage. Sur l'ensemble de la zone du Chêne, 18 stations ont ainsi atteint la **classe B**, qui est considérée comme un objectif à atteindre en milieu agricole. Cette amélioration ne semble pas associée à un biais dans la méthode ou à des conditions météo particulières. Si tel était le cas, l'amélioration de la qualité de l'eau serait systématique, ce qui n'est pas le cas. L'amélioration de la qualité de l'eau n'est en effet pas significative dans le cas de 17 stations, particulièrement dans les petits cours d'eau agricoles (Bois-Clair, Bois-Franc-Pierriche, Gaspard, Bras-des-Boucher, Bourret et Petit-Sault).

Le **premier facteur** qui conditionne la qualité de l'eau est la proportion relative des surfaces occupées par les activités agricoles et les milieux naturels (**Figure 25**). Lorsqu'il y a moins de **60% de milieux naturels** dans un bassin versant, les communautés de diatomées sont généralement sous la classe B de l'IDEC. Un seuil de 50% avait également été détecté dans le cas d'une étude portant sur près de 600 bassins versants de diverses tailles au Québec (Clément et al., 2017). Ce critère semble difficilement contournable. Le gain en qualité de l'eau que peuvent procurer les pratiques agroenvironnementales a une limite. Il sera difficile d'atteindre une qualité de l'eau suffisante dans les bassins agricoles sans diversifier les cultures et augmenter la proportion de milieux naturels, particulièrement là où ils ont le plus d'impact, soit le long des cours d'eau.

Par ailleurs, il semble que la **classe A** de l'IDEC soit hors de portée pour les cours d'eau de la zone du Chêne. Cette cote ne fut obtenue qu'à deux reprises au cours des 10 dernières années, aux stations 20 et 25B, en aval de zones forestières dans les deux cas. Il peut sembler étonnant que les bassins majoritairement forestiers plafonnent à la classe B et n'aient pas connu une amélioration de la qualité de l'eau (**Figure 26**). Deux facteurs peuvent expliquer cette situation. Les zones forestières du bassin de la du Chêne comportent premièrement de vastes milieux humides. Ceux-ci jouent un rôle important, notamment pour la régulation des cours d'eau. Toutefois, ils peuvent également exporter vers l'aval une certaine quantité de nutriments et de matières organiques. Ce lessivage, qui est sans commune mesure avec ce qui exporté du milieu agricole, peut cependant être suffisant pour entretenir une communauté de diatomées davantage mésotrophe (classe B) qu'oligotrophe (A). Le deuxième facteur à considérer est la présence de coupes forestières (**Figure 27**). La majorité des zones forestières du bassin ont subit des coupes au cours de ce siècle, ce qui peut avoir augmenté pendant un temps le ruissellement des sols vers les cours d'eau.

Quoiqu'il en soit, la proportion relative des surfaces occupées par les activités agricoles et les milieux naturels dans chaque sous-bassin semble expliquer un peu plus de la moitié de la variance dans les valeurs d'IDEC. Le reste de la variance peut être expliquée par divers facteurs, dont les rejets d'eaux usées, le ruissellement en milieu urbain, les coupes forestières, ainsi que la présence de milieux humides. La question est de savoir lequel de ces facteurs est responsable de l'amélioration notable de la qualité de l'eau dans la zone du Chêne depuis 10 ans. **La première hypothèse** serait que des changements dans l'occupation du territoire en soient responsables, notamment des variations dans les superficies occupées par l'agriculture. Or il ne semble y avoir aucune relation entre l'augmentation des valeurs d'IDEC et les changements dans l'occupation du territoire (**Figure 28**). Même en ne considérant que les superficies en grandes cultures, on ne constate aucun lien significatif avec les variations dans les valeurs d'IDEC.

La deuxième hypothèse serait que l'application de pratiques agroenvironnementales (semi-direct, cultures de couverture, fertilisation raisonnée, etc) seraient en partie responsable de l'amélioration de la qualité de l'eau. Or ce facteur ne semble pas avoir joué un rôle prépondérant, puisqu'on ne constate pas d'amélioration significative de la qualité de l'eau dans les bassins agricoles, à l'exception du ruisseau Saint-Jean-Baptiste (**Figure 29**). Il est cependant possible que l'augmentation des superficies en grandes cultures (maïs et soya), qui s'est opérée au détriment des cultures pérennes (cultures fourragères, pâturages) dans la majorité des bassins agricoles, viennent en partie contrecarrer les gains environnementaux apportés par l'adoption de pratiques agroenvironnementales au cours de la dernière décennie. Le cas du ruisseau Saint-Jean-Baptiste est intéressant à cet égard (**Figure 30**). Il est le seul bassin majoritairement agricole ayant à la fois bénéficié d'une amélioration notable de la qualité de l'eau, sans avoir subit une augmentation des superficies en grandes cultures depuis 10 ans. Ce bassin démontre qu'il est possible d'atteindre une qualité de l'eau satisfaisante dans un bassin agricole, particulièrement dans un contexte de diversification des cultures.

La **troisième hypothèse** est que l'amélioration de la qualité de l'eau soit en fait reliée à l'amélioration du traitement des eaux usées municipales. La **Figure 31** illustre que l'IDEC a globalement augmenté de façon significative en aval des municipalités de la zone du Chêne au cours de la dernière décennie. Cette amélioration peut être attribuée à la mise en opération de nouveaux étangs aérés (Val-Alain, Issoudun), l'amélioration du traitement existant (déphosphoration à Dosquet), ou une meilleure performance des étangs existants, des ouvrages de surverses et des installations septiques, ce qui est plus difficile à identifier. L'amélioration du traitement des eaux usées municipales semble en fait être un des facteurs importants permettant d'expliquer l'amélioration de la qualité de l'eau dans la zone du Chêne.

Dans les bassins ayant une occupation mixte du territoire, une amélioration significative de la qualité de l'eau fut également observée (**Figure 32**). Les facteurs en causes sont divers. Il s'agit parfois de stations situées plus en aval et bénéficiant de la qualité de l'eau observée en amont (stations 10, 11, 14 et 38). Il y a également des facteurs très locaux et ponctuels, telle que la stabilisation d'un terrain de golf à la station 27. Dans certains cas, les facteurs responsables de l'amélioration de la qualité de l'eau demeurent inconnus, particulièrement dans le cas de petits bassins versants situés à la tête du réseau hydrographique en amont de Saint-Apollinaire (stations 0, 20 et 34). Il serait intéressant dans ces cas de vérifier quelle est l'étendue des améliorations apportées aux installations septiques des résidences isolées au cours des dernières années.

En somme, la qualité de l'eau s'est améliorée de façon significative dans plusieurs cours d'eau de la zone du Chêne depuis 2009. Une part de cette amélioration semble être attribuable à un progrès dans le traitement des eaux usées municipales, bien que des correctifs supplémentaires soient nécessaires afin d'améliorer la performance de certains étangs aérés et de diminuer le nombre de débordements des ouvrages de surverses. L'amélioration de la qualité de l'eau ne fut cependant pas significative dans la plupart des bassins versants agricoles, à l'exception du ruisseau Saint-Jean-Baptiste. Il semble que des efforts importants seront nécessaires dans les bassins plus intensivement agricoles, afin notamment de mieux protéger les sols contre l'érosion, de diversifier les cultures et d'augmenter la proportion de milieux naturel, principalement le long des cours d'eau.

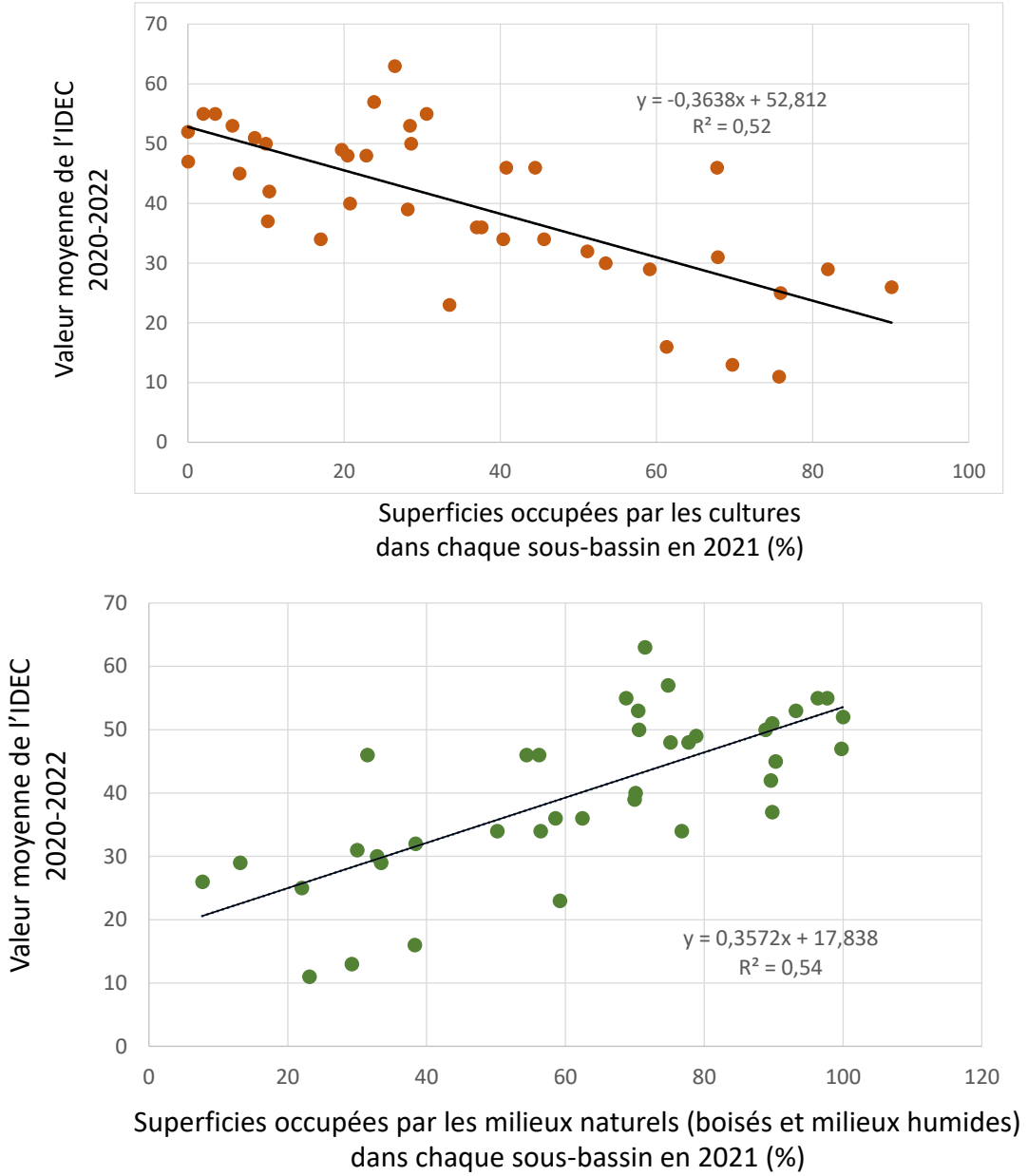


Figure 25. Valeurs moyennes de l'IDEC en 2020-2022, en fonction des superficies en culture (en haut) et des milieux naturels (en bas) dans chaque sous-bassin. Les proportions de ces deux types d'occupation du territoire dans chaque sous-bassin semblent expliquer un peu plus de la moitié de la variance dans les valeurs d'IDEC. Lorsqu'il y a moins de 60% de milieux naturels dans un bassin versant, les communautés de diatomées sont généralement sous la classe B de l'IDEC.

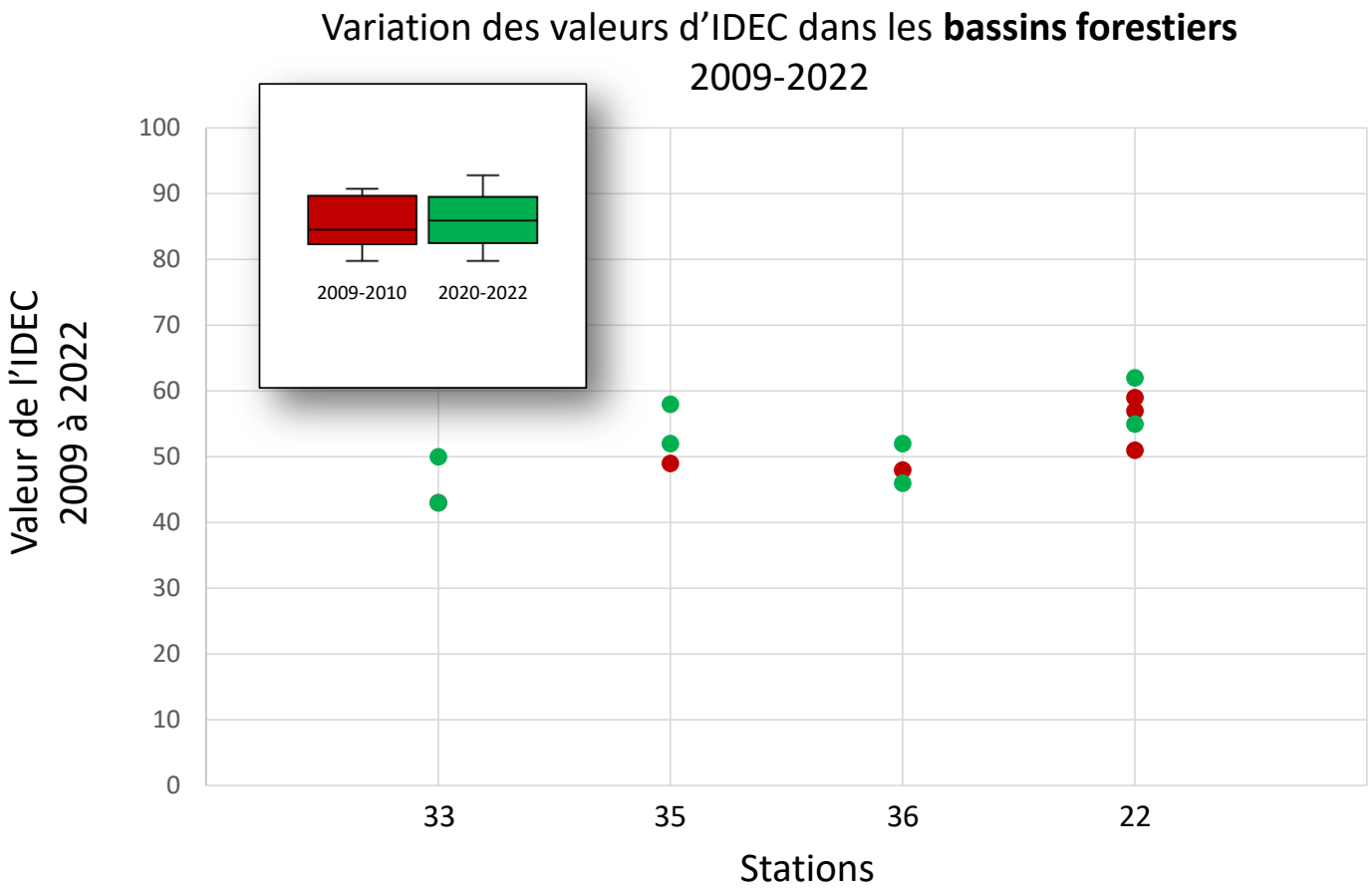
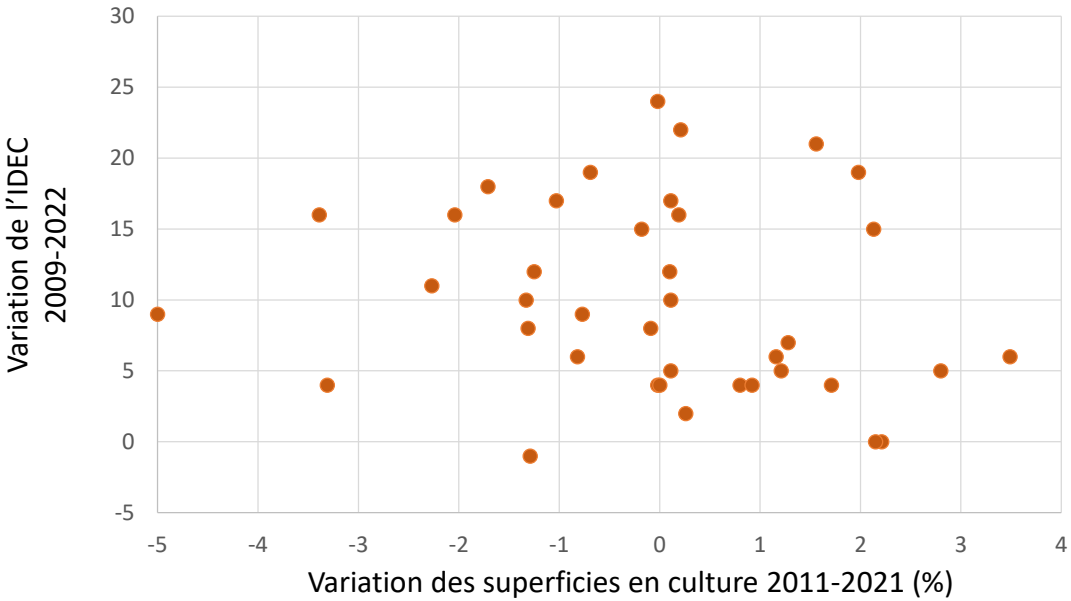


Figure 26. Variation des valeurs d'IDEC dans les bassins majoritairement occupés par des milieux naturels (>95%) entre **2009 et 2010 (en rouge)** et **2020 et 2022 (en vert)**. La différence n'est pas significative entre ces deux périodes pour les valeurs agrégées de l'ensemble de ces stations. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Figure 27. Présence de coupes forestières et de milieux humides en aval de Dosquet (**station 22**) (*Google Earth*, 2019).



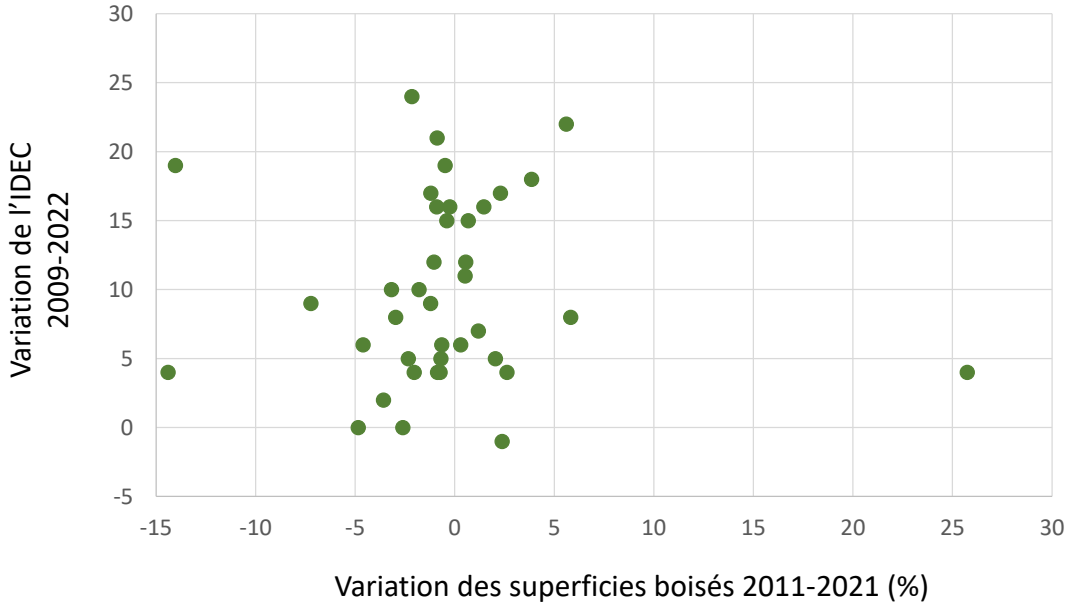


Figure 28. Variation des valeurs de l'IDEC entre 2009 et 2022, en fonction de l'évolution des superficies en culture (en haut) et des boisés (en bas) entre 2011 et 2021. Il ne semble y avoir aucune relation entre l'augmentation des valeurs d'IDEC et les changements dans l'occupation du territoire.

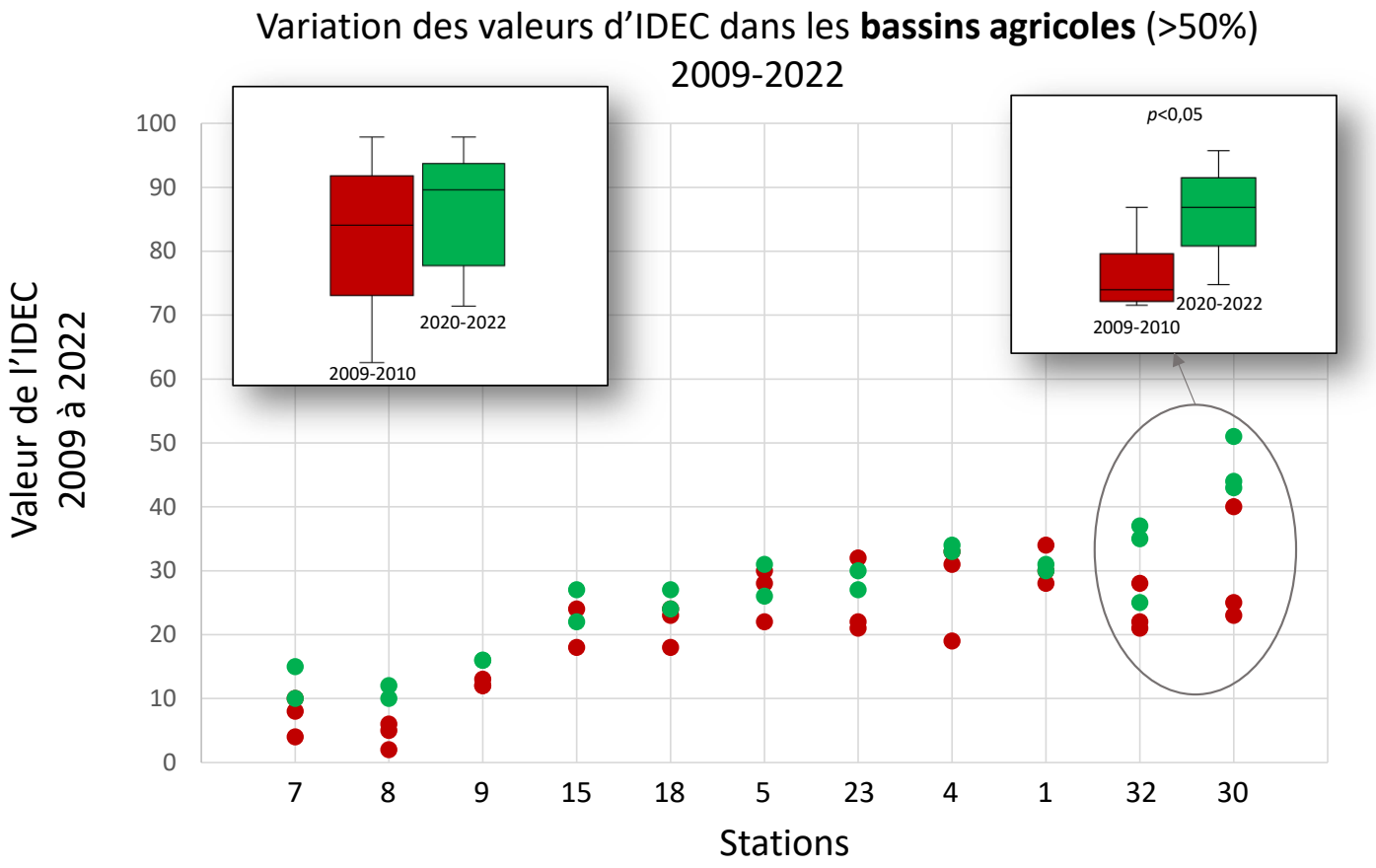


Figure 29. Variation des valeurs d'IDEC dans les bassins majoritairement agricoles (>50%) entre **2009 et 2010 (en rouge)** et **2020 et 2022 (en vert)**. La différence n'est pas significative entre ces deux périodes pour les valeurs agrégées de l'ensemble de ces stations, à l'exception des stations 30 et 32. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

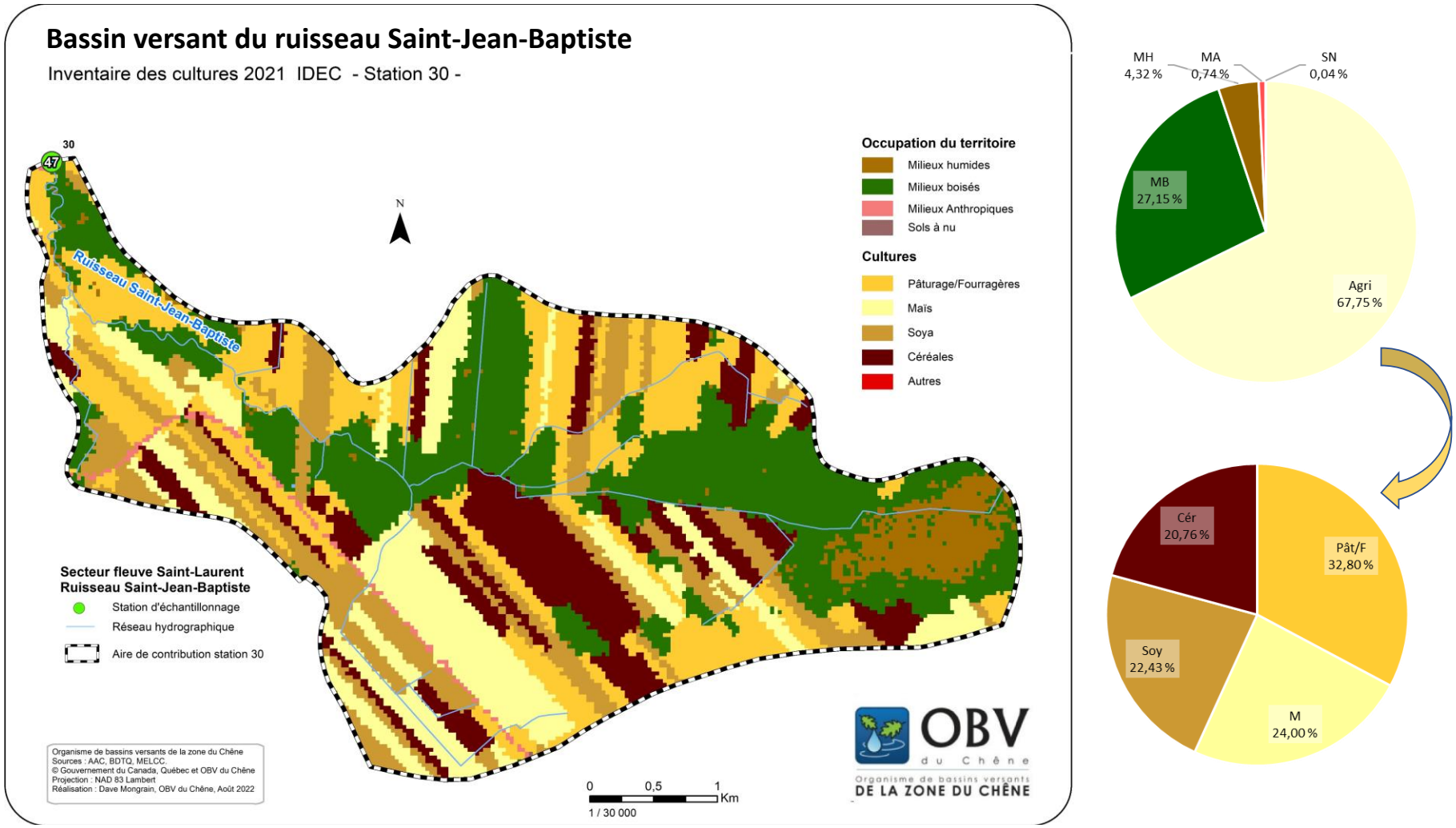


Figure 30. Occupation du territoire dans le bassin versant du ruisseau Saint-Jean-Baptiste (**station 30**). Ce bassin est un modèle à bien des égards. La qualité de l'eau s'y est améliorée de 18 points d'IDEC au cours de la dernière décennie, atteignant la classe B qui est l'objectif visé dans un bassin majoritairement agricole. L'agriculture, qui occupe 67% du bassin, y est davantage diversifiée que dans les autres bassins, avec une mosaïque de grandes cultures (maïs et soya), de céréales, de pâturages et de cultures fourragères. De plus, les milieux naturels sont majoritairement distribués le long du corridor riverain, ce qui participe au maintient de la qualité de l'eau.

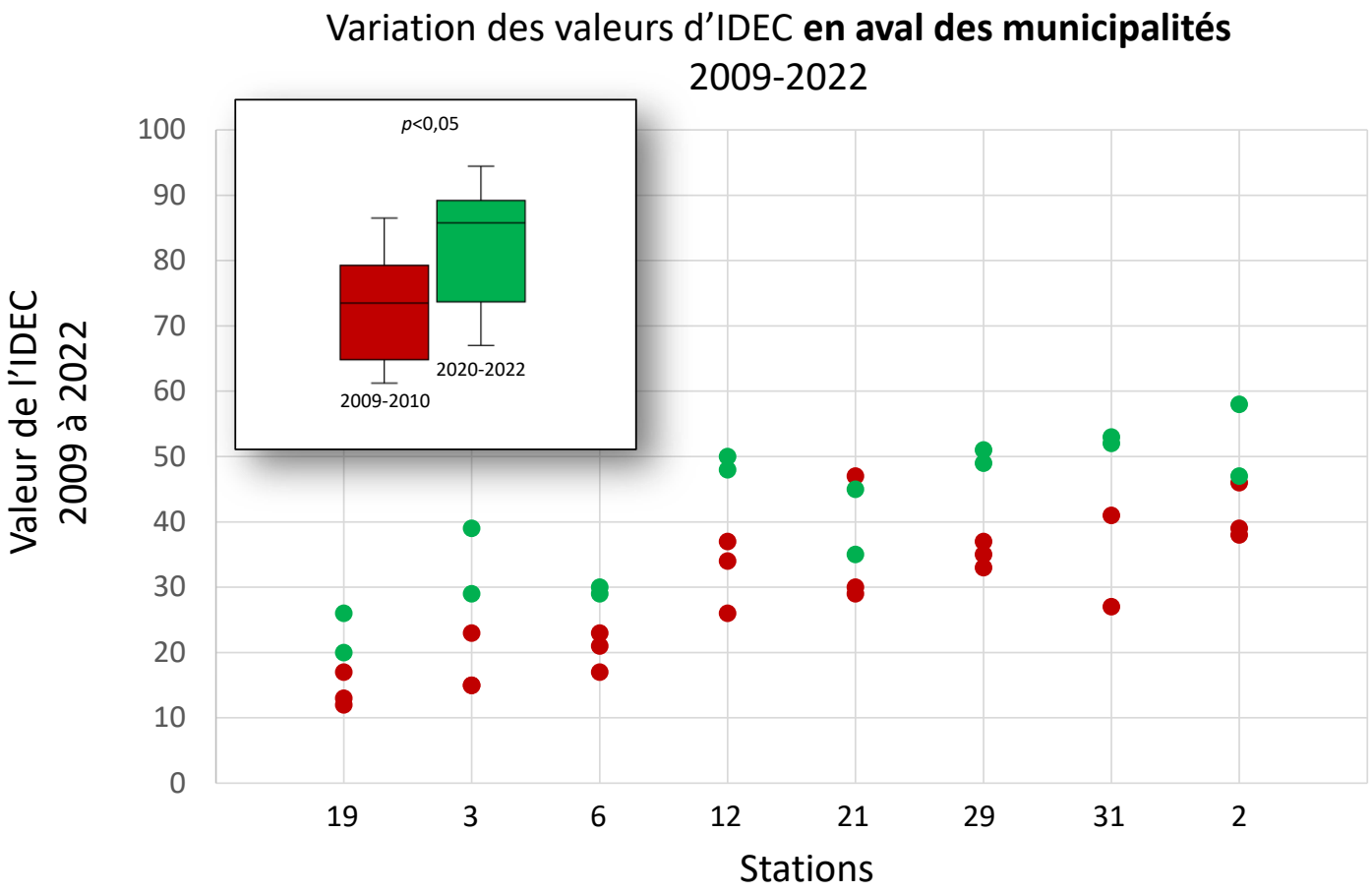


Figure 31. Variation des valeurs d'IDEC en aval des municipalités entre **2009 et 2010 (en rouge)** et **2020 et 2022 (en vert)**. La différence entre ces deux périodes est significative (p<0,05) pour les valeurs agrégées de l'ensemble de ces stations. Les stations sont décrites au **Tableau 1.** L'amélioration de la qualité de l'eau peut être attribuée à la mise en opération de nouveaux étangs aérés (**station 31**), l'amélioration du traitement existant (**station 2**), ou une meilleure performance des étangs existants, des ouvrages de surverses et des installations septiques, ce qui est plus difficile à identifier.

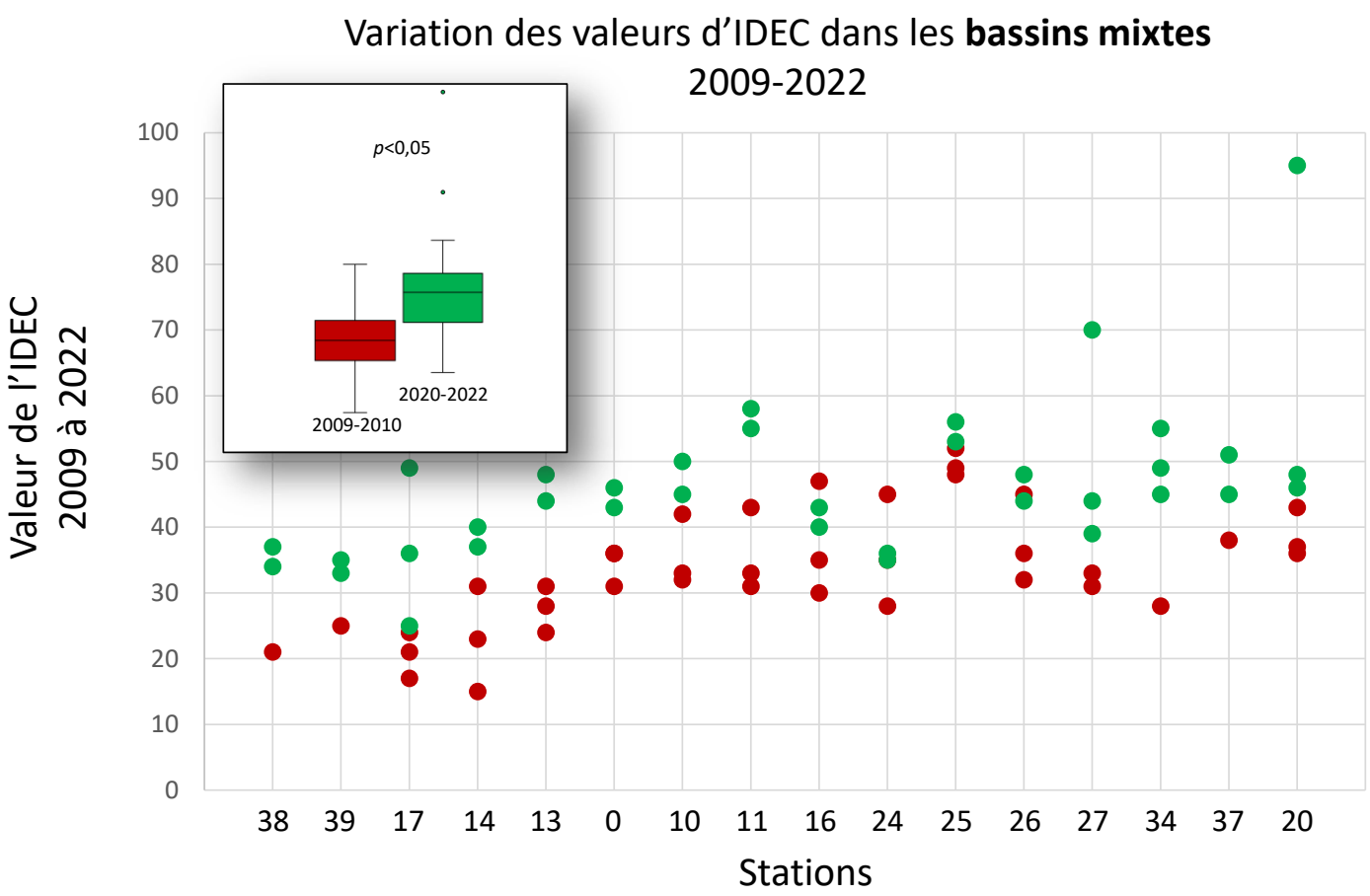


Figure 32. Variation des valeurs d'IDEC dans les bassins mixtes (agricoles et forestiers) entre **2009 et 2010 (en rouge)** et **2020 et 2022 (en vert)**. La différence entre ces deux périodes est significative (p<0,05) pour les valeurs agrégées de l'ensemble de ces stations. Les stations sont décrites au **Tableau 1.** Les facteurs en causes sont divers. Il s'agit parfois de stations situées plus en aval et bénéficiant de la qualité de l'eau observée en amont (stations 10, 11, 14 et 38). Il y a également des facteurs très locaux et ponctuels, tels que la stabilisation d'un terrain de golf à la station 27. Dans certains cas, les facteurs responsables de l'amélioration de la qualité de l'eau demeurent inconnus, particulièrement dans le cas de petits bassin versants situés à la tête du réseau hydrographique en amont de Saint-Apollinaire (stations 0, 20 et 34).

Références

- Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) (2011 et 2021). **Inventaire annuel canadien des cultures par satellite**. Division de l'agroclimatique, de la géomatique, et de l'observation de la Terre. Direction générale des sciences et de la technologie.
- Campeau, S., Lavoie, I., Dubuc, R. et Rousseau Beaumier, T. (2011). **Suivi biologique des cours d'eau de la zone du Chêne à l'aide de l'indice IDEC (2009-2010).** Rapport déposé à l'Organisme de bassins versants de la zone du Chêne (OBV du Chêne). Université du Québec à Trois-Rivières, mars 2011, 33 p.
- Campeau, S. (2012). **Suivi biologique des cours d'eau du bassin versant du lac Davignon à l'aide de l'indice IDEC (2009-2011).** Rapport déposé à l'Organisme de bassin versant de la Yamaska (OBV Yamaska). Université du Québec à Trois-Rivières, avril 2012, 11 p.
- Campeau, S. et Dubuc, R. (2015). **Suivi biologique des cours d'eau de Cowansville à l'aide de l'indice IDEC**. Rapport déposé à l'Organisme de bassin versant de la Yamaska (OBV Yamaska). Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 14 p.
- Clément, F., Ruiz, J., Rodriguez, M.A., Blais, D., Campeau, S. (2017). **Landscape diversity and forest edge density regulate stream water quality in agricultural catchments**. *Ecological Indicators*, 72: 627-639.
- Dodd, W.K. (2007). **Trophic state, eutrophication and nutrient criteria in streams**. *Trends Ecol Evol*, 22: 669–76.
- Grenier, M., Campeau, S., Lavoie, I., Park, Y.-S. et Lek, S. (2006). **Diatom reference communities in Québec (Canada) streams based on Kohonen self-organizing maps and multivariate analyses**. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63: 2087-2106.
- Grenier, M., Lavoie, I., Rousseau, A.N., et Campeau, S. (2010). **Defining ecological thresholds to determine class boundaries in a bioassessment tool: the case of the Eastern Canadian Diatom Index (IDEC).** *Ecological Indicators*, 10: 980–989.
- Grenier, M., Lek, S., Rodríguez, M.A., Rousseau, A.N. et Campeau, S. (2010). **Algae-based Biomonitoring : Predicting Diatom Reference Communities in Unpolluted Streams using Classification Trees, Random Forests, and Artificial Neural Networks**. *Water Quality Research Journal of Canada*, 45: 413-425.
- Lacoursière, S., Lavoie, I., Rodriguez, M.A. et Campeau, S. (2011). **Modeling the response time of diatom assemblages to simulated water quality improvement and degradation in running waters**. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68: 487-497.
- Lavoie, I. et Campeau, S. (2016). **Assemblage diversity, cell density and within-slide variability: Implications for quality assurance/quality control and uncertainty assessment in diatom-based monitoring**. *Ecological Indicators*, 69: 415–421.
- Lavoie, I., Campeau, S., Grenier, M. et Dillon, P. (2006). **A diatom-based index for the biological assessment of Eastern Canadian rivers: an application of correspondence analysis**. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63: 1793-1811.
- Lavoie, I., Campeau, S., Darchambeau, F., Cabana, G. et Dillon, P.J. (2008). **Are diatoms good integrators of temporal variability in stream water quality?** *Freshwater Biology*, 53: 827-841.
- Lavoie, I., Hamilton, P.B., Campeau, S., Grenier, M. et Dillon, P.J. (2008). **Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada**. *Presses de l'Université du Québec*, 241 p. et 68 planches taxonomiques (ISBN 978-2-7605-1557-4).
- Lavoie, I., Dillon, P. et Campeau, S. (2009). **The effect of excluding diatom taxa and reducing taxonomic resolution on multivariate analysis and stream bioassessment**. *Ecological Indicators*, 9: 213-225.
- Lavoie, I., Grenier, M., Campeau, S. et Dillon, P.J. (2010). **The Eastern Canadian Diatom Index (IDEC) version 2.0: Including meaningful ecological classes and an expanded coverage area that encompasses additional geological characteristics**. *Water Quality Research Journal of Canada*, 45: 463-477.
- Lavoie, I., Campeau, S., Drakulic, N., Winter, J. et Fortin, C. (2014). **Using diatoms to monitor stream biological integrity in Eastern Canada: an overview of 10 years of index development and ongoing challenges**. *Science of the Total Environment*, 475: 187–200.
- Lecointe, C., Coste, M. et Prygiel, J. (1993). **"OMNIDIA" software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management**. *Hydrobiologia*, 269/270: 509-513.
- Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT, 2010). **Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2009**. Ouvrage de surverse et stations d'épuration [En ligne].
- Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT, 2011). **Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2010**. Ouvrage de surverse et stations d'épuration [En ligne].
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC, 2020a). **Bilan de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées pour l'année 2017**. 74 p. [En ligne].
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC, 2020b). **Bilan de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées pour l'année 2018**. 77 p. [En ligne].
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC, 2021). **Bilan de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées pour l'année 2019**. 79 p. [En ligne].
- Sladecek, V. (1973). **System of water quality from the biological point of view**. *Arch. Hydrobiol*., 7: 1–218.
- Van Dam, H.A., Mertens, A. et Sinkeldam, J. (1994). **A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands**. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28: 117-133.

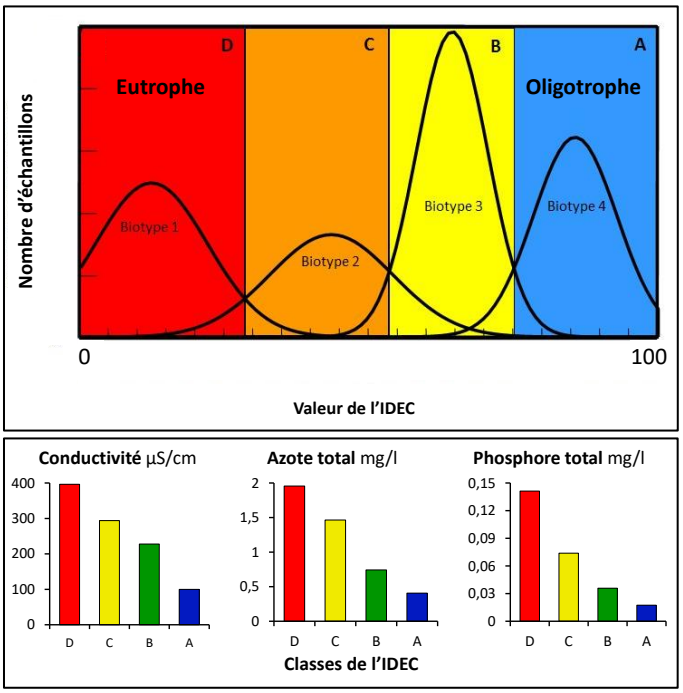
Annexe I. Interprétation des valeurs et des classes de l'IDEC

La version 3 de l'IDEC est divisée en **quatre classes**, de **A** (Bon état, oligotrophe) à **D** (Très mauvais état, eutrophe). Le seuil délimitant chaque classe n'est pas arbitraire, puisque les classes correspondent à des biotypes ayant une structure de communauté spécifique. **Le passage d'une classe à l'autre correspond ainsi à un changement important** dans la structure de la communauté et marque une étape de plus dans la dégradation ou la récupération d'un cours d'eau (Grenier et al., 2010).

Le **Tableau 6** présente les limites de classe des trois indices. Seul l'indice Alcalin a été utilisé dans ce rapport. Notez que les limites de classe ne sont pas exactement les mêmes d'un indice à l'autre. Le Tableau 6 présente également les médianes physico-chimiques et l'état trophique associés à chaque classe. Les médianes ont été calculées à partir du suivi simultané des diatomées et de la physico-chimie de l'eau à 400 stations au Québec et en Ontario (Lavoie et al., 2014). La **classe A** regroupe les communautés de référence des rivières **oligotrophes** non polluées. Dans les rivières faisant partie de cette classe, les concentrations en phosphore, en azote ou en matières organiques sont faibles. Les médianes des concentrations en phosphore sont généralement inférieures à **30 µg/L**, ce qui correspond au seuil à ne pas dépasser selon les critères de qualité de l'eau du MELCCFP pour éviter la croissance excessive des algues. Dans le cas de l'IDEC-Minéral, la classe A correspond à des conditions oligo-mésotrophes puisque les stations les moins polluées qui ont été échantillonnées présentaient des concentrations plus élevées, particulièrement dans le cas de l'azote.

De la classe A à la classe D, on constate que la conductivité et les concentrations en phosphore et en azote augmentent de façon systématique. À l'extrémité du gradient, la **classe D** regroupe les communautés **eutrophes** les plus dégradées des rivières de l'Est du Canada. Cette classe est composée d'espèces très tolérantes à la pollution.

Le **pH** demeure relativement stable d'une classe à l'autre dans le cas de l'IDEC-Alcalin et de l'IDEC-Minéral. Il augmente toutefois de façon notable de la classe A à D dans le cas de l'IDEC-Neutre, étant donné le contraste entre les cours d'eau de référence, légèrement acides dans le cas de cet indice, et les cours d'eau eutrophes ayant un pH plus élevé.



Chaque indice a été divisé en **quatre classes** qui correspondent à des communautés types. Les classes sont corrélées à la physico-chimie (Lavoie et al., 2014).

Le calcul de l'IDEC permet ainsi d'évaluer quel est l'**état trophique** d'un cours d'eau et quelles sont les concentrations médianes en phosphore et en azote. Il faut toutefois être conscient que la **physicochimie des cours d'eau est très variable**, particulièrement en conditions mésotrophes et eutrophes. Les concentrations en phosphore dans un cours d'eau agricole peuvent par exemple varier de 30 µg/L à 300 µg/L en quelques heures, selon les précipitations et les pratiques culturales. Il faut donc être prudent si on désire comparer des mesures physicochimiques ponctuelles avec les valeurs de l'IDEC, puisque ces dernières sont représentatives des conditions médianes des semaines précédant l'échantillonnage. En milieu eutrophe, le temps de réponse des diatomées est d'environ **5 semaines** suite aux variations des concentrations en nutriments (Lacoursière et al., 2011). Moins un cours d'eau est pollué, plus le temps de réponse est rapide. En milieu oligotrophe, les diatomées peuvent répondre en une semaine à un apport en phosphore.

Tableau 6. Les **classes** de l'IDEC, les **médianes physico-chimiques** et l'**état** associés à chaque classe (Lavoie et al., 2014). Notez que les seuils des classes varient selon l'indice. Les médianes physico-chimiques (et les Q_1 et Q_3) ont été calculées à partir du suivi simultané des diatomées et de la physico-chimie de l'eau à 400 stations au Québec et en Ontario. Il faut toutefois être conscient que les mesures ponctuelles de qualité de l'eau, particulièrement dans le cas du phosphore total, sont très variables et peuvent donc différer des intervalles présentés dans ce tableau. D'autres facteurs peuvent également faire varier l'IDEC, tels que les concentrations en matières organiques, les métaux et les pesticides. L'état trophique a été déterminé selon les seuils en phosphore et en azote total proposés par Dodd (2007).

Classe	Valeurs De l'IDEC	pH	Conductivité (µS/cm)	Phosphore total (µg/L)	Azote total (mg/L)	État	État Trophique
	IDEC-Neutre						
A	71-100	7.2 (6.8 - 7.3)	39 (26 - 50)	22 (16 - 36)	0.29 (0.24 - 0.49)	**Bon état**	Oligotrophe
B	46-70	7.4 (7.0 - 7.5)	46 (30 - 54)	24 (21 - 27)	0.30 (0.23 - 0.35)	**État précaire**	Oligo-mésotrophe
C	21-45	7.6 (7.2 - 7.7)	72 (50 - 110)	61 (23 - 70)	0.70 (0.51 - 0.76)	**Mauvais état**	Méso-eutrophe
D	0-20	7.6 (7.5 - 7.7)	114 (86 - 165)	66 (42 - 91)	0.78 (0.46 - 1.19)	**Très mauvais état**	Eutrophe
	IDEC-Alcalin						
A	71-100	7.8 (7.6 - 7.9)	93 (63 - 120)	16 (12 - 19)	0.36 (0.23 - 0.47)	**Bon état**	Oligotrophe
B	46-70	8.0 (7.7 - 8.2)	185 (136 - 268)	26 (17 - 43)	0.53 (0.38 - 0.95)	**État précaire**	Mésotrophe
C	26-45	8.0 (7.8 - 8.5)	256 (195 - 361)	52 (37 - 98)	0.89 (0.58 - 1.98)	**Mauvais état**	Méso-eutrophe
D	0-25	8.0 (7.7 - 8.3)	364 (227 - 502)	114 (71 - 163)	1.59 (0.96 - 2.51)	**Très mauvais état**	Eutrophe
	IDEC-Minéral						
A	76-100	8.3 (8.2 - 8.4)	422 (308 - 458)	24 (18 - 28)	0.79 (0.61 - 1.59)	**Bon état**	Oligo-mésotrophe
B	46-75	8.3 (8.3 - 8.4)	455 (403 - 619)	28 (20 - 40)	1.33 (0.80 - 2.47)	**État précaire**	Mésotrophe
C	26-45	8.2 (8.0 - 8.4)	526 (431 - 775)	58 (40 - 90)	1.36 (0.93 - 2.26)	**Mauvais état**	Méso-eutrophe
D	0-25	8.2 (7.8 - 8.2)	1012 (690 - 1455)	73 (47 - 108)	1.85 (1.05 - 3.81)	**Très mauvais état**	Eutrophe

Annexe II. Inventaires des cultures dans le bassin versant de la rivière du Chêne

Tableau 7. Superficie totale des aires drainées par chacune des stations d'échantillonnage (km²) et superficie occupée par les différents types de culture (%) en **2011** (AAC, 2011). La cartographie de ces résultats est présentée à la page suivante (**Figure 33**). Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Station	Aire totale (km²)	Pâturages (%) (2011)	Maïs (%)(2011)	Soya (%)(2011)	Céréales (%) (2011)	Autres cultures (%) (2011)
0	3,9	100	0	0	0	0
1	10,2	48,52	22,29	24,68	4,51	0
2	87,5	80,03	1,55	18,16	0,27	0
3	85,2	81,4	5,9	8	4,4	0,3
4	88,3	75,94	10,7	6,28	6,7	0,38
5	18,9	40,9	41,52	10,56	7,02	0
6	22,5	46,17	23,77	21,56	2,7	0
7	47,1	43,88	21,69	26,04	8,39	0
8	25,9	45,73	22,85	21,75	9,68	0
9	20,2	39,97	20,25	32,91	6,86	0
10	694,2	58,65	14,4	17,86	8,44	0,65
11	265,6	67,29	13,66	11,27	7,31	0,46
12	149,8	59,16	5,19	25,92	9,72	0
13	21,4	59,2	12,99	20,08	7,73	0
14	792,5	53,98	16,49	19,65	9,41	0,46
15	33,2	41,35	20,69	24	13,12	0,84
16	6,5	3,57	47,11	42,31	7,01	0
17	4,2	40,81	53,15	6,03	0,01	0
18	1,9	60,55	24,09	7,59	7,78	0
19	4,5	68,25	11,05	0,89	15,99	3,83
20	11,95	95,96	0	0	4,04	0
21	29,6	91,83	0,86	4,8	2,51	0
22	61,5	76,44	2,81	20,75	0	0
23	8,9	64,25	15,81	8,8	11,14	0
24	5,6	89,95	8,14	1,91	0	0
25	59,2	74,58	14,9	6,14	4,07	0,32
26	17,9	57,1	12,59	21,82	8,48	0
27	3,2	92,45	0	6,03	1,52	0
29	198,9	65,18	14,89	11,51	7,9	0,52
30	18	34,47	16,92	26,91	21,7	0
31	201,7	65,23	14,7	11,78	7,78	0,51
33	7,4	19,39	0	80,61	0	0
34	9,1	99,21	0	0,79	0	0
35	9,9	0	0	0	0	0
36	6,3	0	0	0	0	0
37	208,5	57,46	6,4	27,11	9,03	0
38	140,5	49,64	22,42	17,56	8,71	1,46
39	42,8	49,05	16,04	21,51	13,4	0
132	43,8	43,11	29,76	17,57	6,45	3,11

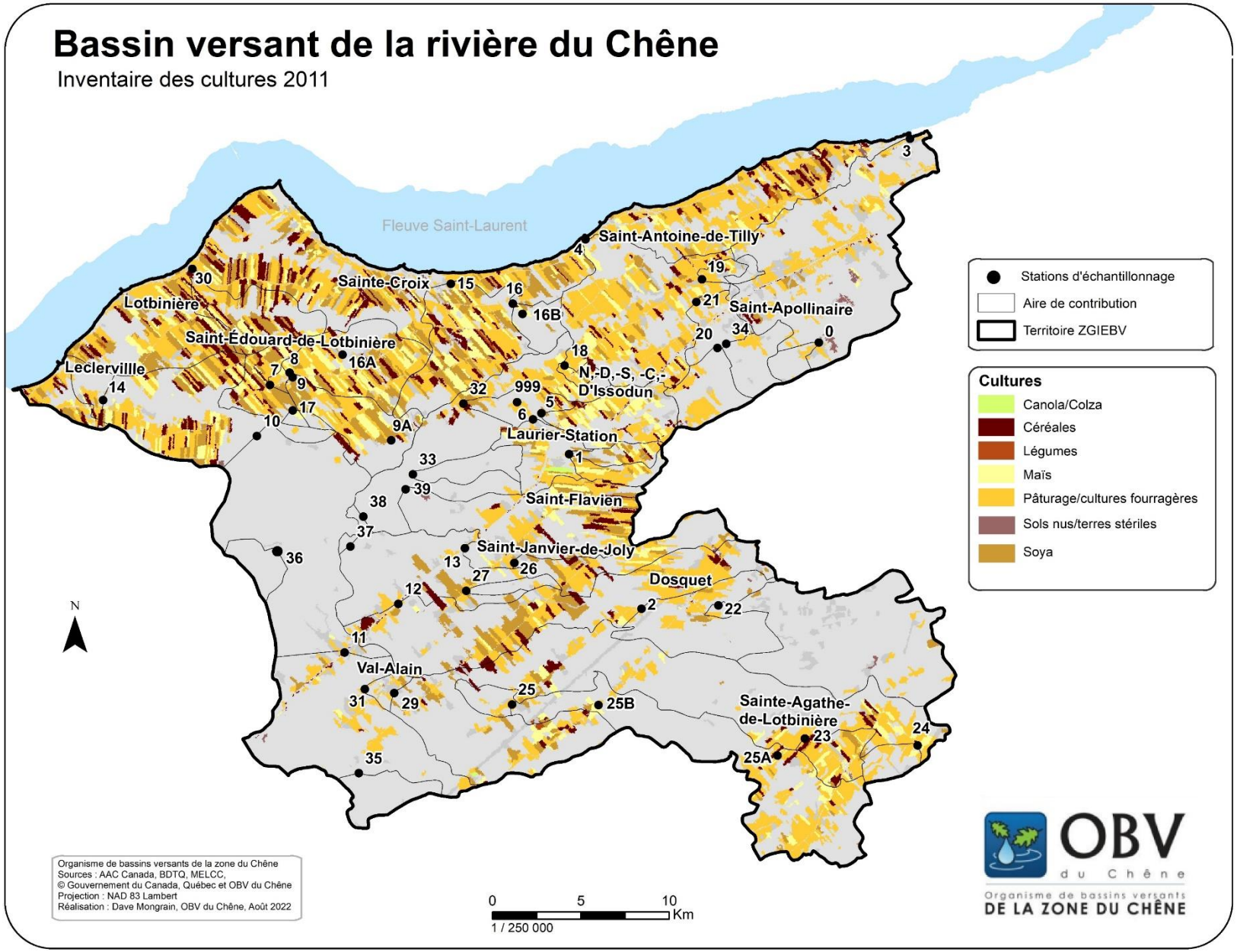


Figure 33. Inventaire des cultures dans le bassin versant de la rivière du Chêne en **2011** (AAC, 2011). Voir le **Tableau 7** pour les données détaillées. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Tableau 8. Superficie totale des aires drainées par chacune des stations d'échantillonnage (km²) et superficie occupée par les différents types de culture (%) en **2021** (AAC, 2021). La cartographie de ces résultats est présentée à la page suivante (**Figure 34**). Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Station	Aire totale (km²)	Pâturages (%) (2021)	Maïs (%) (2021)	Soya (%) (2021)	Céréales (%) (2021)	Autres cultures (%) (2021)
0	3,9	100	0	0	0	0
1	10,2	38,59	34,92	15,92	10,56	0
2	87,5	48,4	18,93	21,84	10,83	0
3	85,2	62,6	10,3	18,4	8,1	0,6
4	88,3	61,33	16,1	14,5	7,93	0,14
5	18,9	33,28	31,23	29,77	5,7	0,02
6	22,5	38,38	38,05	15,68	7,89	0
7	47,1	36,41	22,01	27,21	13,76	0,61
8	25,9	33,88	22,97	27,34	15,82	0
9	20,2	38,98	20,8	27,7	12,53	0
10	694,2	45,27	21,94	21,09	8,76	2,94
11	265,6	54,1	20,57	13,99	5,17	6,18
12	149,8	42,39	16,92	22,98	15,15	2,57
13	21,4	39,86	25,98	28,71	5,44	0
14	792,5	43,32	21,96	22,75	9,87	2,1
15	33,2	28,4	26,26	30,33	14,95	0,06
16	6,5	30,42	20,14	37,25	12,19	0
17	4,2	20,11	63,21	16,69	0	0
18	1,9	55,99	7,97	33,76	2,28	0
19	4,5	95,05	0,06	1,69	2,35	0,85
20	11,95	71,58	4,78	18,27	5,3	0,07
21	29,6	77,18	3,51	13,26	5,89	0,16
22	61,5	55,86	0	40,7	3,44	0
23	8,9	57,81	30,73	5,35	6,11	0
24	5,6	83,18	16,82	0	0	0
25	59,2	58,81	17,04	12,89	6,24	5,02
26	17,9	35,68	28,49	30,03	5,8	0
27	3,2	75,16	20,1	4,75	0	0
29	198,9	51,96	21,79	14,6	5,33	6,33
30	18	32,8	24	22,43	20,76	0,01
31	201,7	52,07	21,58	14,47	5,62	6,27
33	7,4	0	100	0	0	0
34	9,1	94,89	0	1,97	2,29	0,85
35	9,9	13,69	0	0	6,58	79,72
36	6,3	0	0	0	0	0
37	208,5	41,15	17,17	28,02	11,89	1,77
38	140,5	37,17	27,91	24,44	10,48	0
39	42,8	35,27	21,56	27,88	15,29	0
132	43,8	34,56	35,4	24,4	5,63	0,01

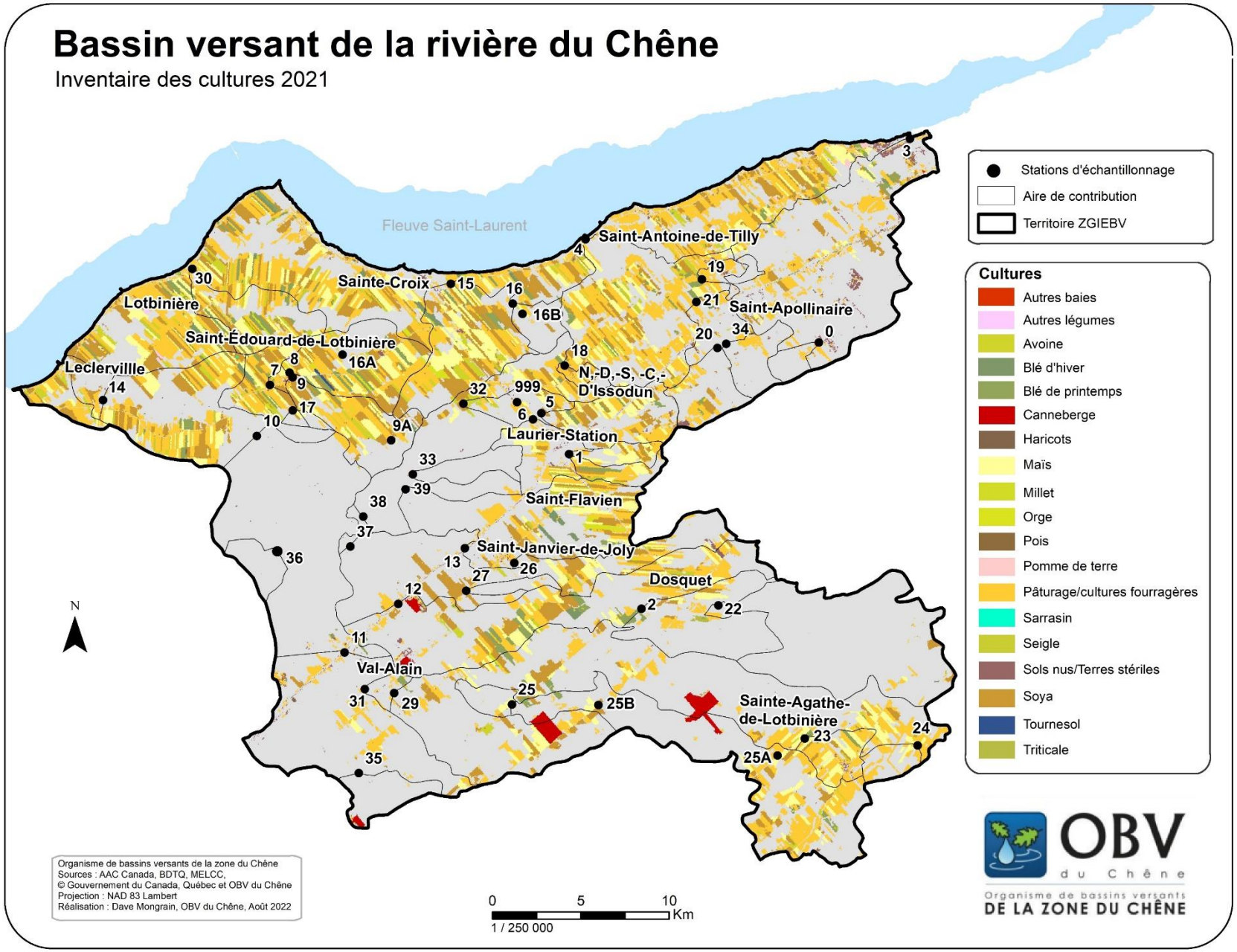


Figure 34. Inventaire des cultures dans le bassin versant de la rivière du Chêne en 2021 (AAC, 2021). Voir le **Tableau 8** pour les données détaillées. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Tableau 9. Évolution dans les types de culture entre 2011 et 2021 dans chaque sous-bassin. Un signe négatif indique une perte de superficie en 2021 par rapport à 2011. Une synthèse des changements dans l'occupation du territoire est présentée à la **Figure 6**. Les stations sont décrites au **Tableau 1.**

Station	Différence aire totale cultures (km²) (2011-2021)	Variation Pâturage (2011-2021) (%)	Variation Maïs (2011-2021) (%)	Variation Soya (2011-2021) (%)	Variation Céréales (2011-2021) (%)	Variation Autres cultures (2011-2021) (%)
0	-0,08	0	0	0	0	0
1	0,24	-9,93	12,63	-8,76	6,05	0
2	-1,97	-31,63	17,38	3,68	10,56	0
3	-1,74	-18,8	4,4	10,4	3,7	0,3
4	-0,74	-14,61	5,4	8,22	1,23	-0,24
5	0,04	-7,62	-10,29	19,21	-1,32	0,02
6	0,03	-7,79	14,28	-5,88	5,19	0
7	0,55	-7,47	0,32	1,17	5,37	0,61
8	0,33	-11,85	0,12	5,59	6,14	0
9	0,16	-0,99	0,55	-5,21	5,67	0
10	0,71	-13,38	7,54	3,23	0,32	2,29
11	4,13	-13,19	6,91	2,72	-2,14	5,72
12	-1,59	-16,77	11,73	-2,94	5,43	2,57
13	-0,37	-19,34	12,99	8,63	-2,29	0
14	1,7	-10,66	5,47	3,1	0,46	1,64
15	0,61	-12,95	5,57	6,33	1,83	-0,78
16	0,08	26,85	-26,97	-5,06	5,18	0
17	-0,14	-20,7	10,06	10,66	-0,01	0
18	0,02	-4,56	-16,12	26,17	-5,5	0
19	-0,23	26,8	-10,99	0,8	-13,64	-2,98
20	-0,01	-24,38	4,78	18,27	1,26	0,07
21	0,03	-14,65	2,65	8,46	3,38	0,16
22	-0,8	-20,58	-2,81	19,95	3,44	0
23	-0,3	-6,44	14,92	-3,45	-5,03	0
24	0,12	-6,77	8,68	-1,91	0	0
25	1,67	-15,77	2,14	6,75	2,17	4,7
26	-0,24	-21,42	15,9	8,21	-2,68	0
27	-0,03	-17,29	20,1	-1,28	-1,52	0
29	4,28	-13,22	6,9	3,09	-2,57	5,81
30	0,02	-1,67	7,08	-4,48	-0,94	0,01
31	4,01	-13,16	6,88	2,69	-2,16	5,76
33	0	0	0	0	0	0
34	0,01	-4,32	0	1,18	2,29	0,85
35	0,34	13,69	0	0	6,58	79,72
36	0	0	0	0	0	0
37	-2,81	-16,31	10,77	0,91	2,86	1,77
38	-0,26	-12,47	5,49	6,88	1,77	-1,46
39	-0,33	-13,78	5,52	6,37	1,89	0
132	-0,05	-8,55	5,64	6,83	-0,82	-3,1