

Évolution 2002-2018 de l'état de santé des lacs de Saint-Hippolyte
et cartographie des macrophytes

Pour

La Municipalité de Saint-Hippolyte

Par

Richard Carignan, PhD.

Le 31 décembre 2018

Sommaire

Dans les Laurentides, la gestion responsable des lacs habités demande un examen périodique de leur état afin de détecter toute détérioration, d'en identifier la cause et, s'il y a lieu, de mettre en œuvre des mesures correctrices. Quatorze lacs de la Municipalité de Saint-Hippolyte déjà examinés en 2002 et 2007 par la Station de biologie des Laurentides furent revisités en 2018 afin d'en établir l'évolution.

À quelques exceptions près, les résultats montrent une amélioration générale attribuable aux pratiques de gestion adoptées par la Municipalité depuis 2008. Les lacs rapprochés de la route 333 (Cornu, Morency) ont connu des réductions marquées (30 à 60%) de concentrations en sels alors que la majorité des autres lacs montrent des baisses de l'ordre de 10%. Seuls les lacs Écho, Fournelle, et Montaubois ont vu augmenter leurs concentrations en ions majeurs dans des proportions variables, probablement en raison de changements dans les pratiques d'utilisation de sels déglaçants et anti-poussière dans leurs bassins versants par la Municipalité et par les riverains.

Des diminutions significatives de concentration en phosphore total entre les années 2001 à 2007 et l'année 2018 sont observées dans les lacs Bleu, Connelly, Cornu et du Pin Rouge alors que des tendances à la baisse apparaissent dans les lacs de l'Achigan, Fournelle, Montaubois, Morency et Tracy. Dans la majorité des cas, les baisses en phosphore total sont accompagnées de baisses en azote total. Il semble que les efforts déployés par la Municipalité depuis 2007 pour réduire la charge anthropique de phosphore se traduisent déjà par une amélioration générale de la qualité de l'eau des lacs. Dans certains cas, la baisse en phosphore total s'accompagne aussi d'une baisse en biomasse algale et d'une augmentation de la transparence de l'eau.

L'ortho-photographie aérienne à basse altitude et l'échosondage ont permis de documenter la distribution des macrophytes à feuilles flottantes et de certaines espèces submergées dans les lacs Connelly, Écho, en Cœur, Fournelle, Maillé, Morency et du Pin Rouge où le Nymphéa odorant, la Brasénie de Schreber et le Grand nénuphar jaune sont répandus. Aux lacs de l'Achigan, Écho et Connelly, le développement du Myriophylle à épi pourrait être en régression. Au lac Écho, une perturbation majeure de la distribution des macrophytes par les embarcations à moteur ainsi qu'une prolifération importante mais locale de cyanobactéries sont décrites. Le lac Morency présente à trois endroits une croissance anormale d'algues filamenteuses benthiques associées à la pollution par le phosphore et l'azote vraisemblablement issus de l'Auberge du Lac Morency et de deux tributaires drainant des édifices locaux. Aux lacs en Cœur, Fournelle et du Pin Rouge, la présence d'herbiers luxuriants dans les baies peu

profondes serait associée à l'enneiement par le castor de sols organiques dont la décomposition a créé des conditions favorables à la nutrition des macrophytes. Dans les lacs habités en général, la distribution de la végétation à feuilles flottantes et submergées suggère un effet stimulant provenant de l'azote et du phosphore libérés depuis des décennies par certaines installations sanitaires.

Malgré une amélioration générale de la qualité des eaux de son territoire depuis 2007, il est recommandé que la Municipalité procède bientôt à la caractérisation *in situ* des problèmes particuliers relevés aux lacs Connelly et Morency. Au lac Écho, la situation d'interférence sévère de la navigation motorisée avec le développement de la végétation aquatique et l'apparition de cyanobactéries existe probablement depuis longtemps. L'atténuation des problèmes liés aux embarcations motorisées du lac Écho demandera l'adoption de mesures spéciales.

Contenu

Sommaire	ii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures	vi
Introduction	1
Objectifs	3
Méthodes.....	3
a) Propriétés chimiques, biologiques et optiques de la colonne d'eau	3
b) Cartographie des macrophytes submergés et bathymétrie	4
c) Ortho-mosaïques aériennes des lacs	5
Résultats.....	6
Évolution temporelle des propriétés chimiques, biologiques et optiques de la colonne d'eau	6
Concentrations en ions majeurs	6
Concentrations en nutriments et en carbone organique dissous	7
Oxygène dissous.....	9
Propriétés optiques de la colonne d'eau	10
Composition algale et importance des cyanobactéries.....	11
Cartographie des macrophytes submergés et à feuilles flottantes	12
Le lac Croche	12
Le lac Écho.....	13
Le Lac Connelly.....	14
Le lac de l'Achigan.....	16
Le lac en Cœur	16
Le lac Morency	17
Le lac Fournelle	18
Le lac du Pin Rouge	19
Le lac Maillé	19
Conclusions	21
Remerciements	21
Références	23

Liste des tableaux

Tableau 1. Concentrations moyennes (mg/l) en ions majeurs observées dans les lacs de Saint-Hippolyte en 2001-2002 et en 2018. Noter que les concentrations les plus élevées en sodium et chlorure se retrouvent dans les lacs très habités ou situés en bordure de la route 333. 24

Tableau 2. Concentrations de phosphore total ($\mu\text{g/l}$) observées depuis 2001 entre les mois de mai et août dans les lacs de Saint-Hippolyte. Ces valeurs sont les moyennes d'au moins 12 mesures réalisées chaque année..... 25

Tableau 3. Concentrations moyennes en chlorophylle-a ($\mu\text{g/l}$) observées depuis 2001 entre les mois de mai et août dans les lacs de Saint-Hippolyte. 26

Liste des figures

- Figure 1. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac de l’Achigan. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 27
- Figure 2. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Bleu. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 28
- Figure 3. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Connelly. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 29
- Figure 4. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Cornu. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 30
- Figure 5. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Croche. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 31
- Figure 6. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Écho. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 32
- Figure 7. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac en Cœur. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 33
- Figure 8. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Fournelle. Les barres d’erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois

mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 34

Figure 9. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Maillé. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 35

Figure 10. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Montaubois. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 36

Figure 11. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Morency. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 37

Figure 12. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac à l'Ours. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 38

Figure 13. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac du Pin Rouge. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 39

Figure 14. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Tracy. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007. 40

Figure 15. Haut : Débit mensuel médian à la station 040122 de la rivière du Nord à Sainte-Agathe-des-Monts entre janvier 2001 et août 2018. Les lignes pointillées indiquent le 1^{er} janvier de chaque année. Bas : Débit mensuel moyen \pm un écart-type durant l'intervalle 2000-2017 (courbe noire) et débit mensuel moyen pour les 7 premiers mois de 2018 (courbe rouge). Ces graphiques montrent que l'écoulement mensuel des bassins versants de la région a été exceptionnellement faible et n'a pas connu de crue printanière usuelle en 2018. Source des données : Centre d'expertise hydrique du Québec http://www.cehq.gouv.qc.ca/depot/historique_donnees/fichier/040122. 41

Figure 16. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac à de l'Achigan, station 1, en 2018.	42
Figure 17. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac à de l'Achigan, station 2, en 2018.	43
Figure 18. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Bleu en 2018.	44
Figure 19. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Connelly en 2018.	45
Figure 20. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Cornu en 2018.	46
Figure 21. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Croche en 2018.	47
Figure 22. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Écho en 2018.	48
Figure 23. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac en Cœur en 2018.	49
Figure 24. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Fournelle en 2018.	50
Figure 25. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Maillé en 2018.	51
Figure 26. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Montaubois en 2018.	52
Figure 27. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Morency en 2018.	53
Figure 28. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac à l'Ours en 2018.	54
Figure 29. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac du Pin Rouge en 2018.	55
Figure 30. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Tracy en 2018.	56
Figure 31. Évolution de la transparence (disque de Secchi, cercles en quadrants) et du coefficient d'atténuation de la lumière visible 400-700 nm (cercles blancs) dans les lacs de l'Achigan, Bleu, en Cœur, Connelly, Cornu et Croche entre 2001-2002, 2007 et 2018.	57

- Figure 32. Évolution de la transparence (disque de Secchi, cercles en quadrants) et du coefficient d'atténuation de la lumière visible 400-700 nm (cercles blancs) dans les lacs Écho, Fournelle, Maillé, Montaubois, Morency, et à l'Ours entre 2001-2002, 2007 et 2018..... 58
- Figure 33. Évolution de la transparence (disque de Secchi, cercles en quadrants) et du coefficient d'atténuation de la lumière visible 400-700 nm (cercles blancs) dans les lacs du Pin Rouge et Tracy entre 2001-2002, 2007 et 2018..... 59
- Figure 34. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau du lac de l'Achigan, stations 1 et 2 en juillet 2018. 60
- Figure 35. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Bleu et en Cœur en août 2018..... 60
- Figure 36. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Cornu et Croche en août 2018..... 61
- Figure 37. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Écho et Fournelle en août 2018..... 61
- Figure 38. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Maillé et Montaubois en août 2018..... 62
- Figure 39. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Morency et à l'Ours en août 2018..... 62
- Figure 40. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs du Pin Rouge et Tracy en août 2018..... 63
- Figure 41. Ortho-mosaïque d'un petit lac inhabité de Saint-Hippolyte, le lac Croche (Station de biologie des Laurentides) acquis le 14 septembre 2018. Le rectangle jaune délimite l'agrandissement de la figure suivante (42). Les lignes noires superposées sont les isobathes impaires. 64
- Figure 42. Agrandissement d'un secteur du lac Croche montrant la rareté des plantes aquatiques à feuilles flottantes ou submergées dans ce lac inhabité. Les lignes noires sont les isobathes impaires..... 65
- Figure 43. Mise à jour de la carte bathymétrique du lac Écho selon les sondages réalisés en 2018 dans le cadre de la cartographie des macrophytes submergés..... 66

Figure 44. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Écho en août 2018. Les symboles carrés indiquent la position et le numéro des photographies sous-marines ayant servi à l'identification des espèces. Sur cette image, les hauteurs supérieures à 1,5 mètre indiquent la présence d'herbiers monospécifiques de Myriophylle à épi ou d'un mélange de Myriophylle à épi et de Potamot à longs pédoncules. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m..... 67

Figure 45. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Écho recréée à partir des données acquises en 2011 par Ariane Denis-Blanchard (2015). Les hauteurs supérieures à 1,5 mètre indiquent la présence d'herbiers monospécifiques de Myriophylle à épi ou d'un mélange de Myriophylle à épi et de Potamot à longs pédoncules..... 68

Figure 46. Secteurs survolés au drone entre les 7 et 13 septembre 2018 pour l'acquisition des photographies ayant servi à la réalisation des ortho-mosaïques. Fond de carte : ortho-photographies aériennes MRNQ 2007..... 69

Figure 47. Ortho-mosaïque du secteur 1 au lac Écho, photographié le 8 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. 70

Figure 48. Ortho-mosaïque du secteur 1a au lac Écho montrant un herbier dominé par le Myriophylle à épi. La forme semi-circulaire de cet herbier n'a aucun lien avec la bathymétrie locale et rappelle la forme des sillons d'embarcations motorisées présents partout dans le lac. Ici, le développement du myriophylle à épi a pu être stimulé il y a plusieurs années par le passage d'une embarcation qui a perturbé les sédiments et la végétation indigène. Cette image illustre la complexité des interactions végétation-nautisme dans ce lac. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 71

Figure 49. Ortho-mosaïque du secteur 1b au lac Écho montrant la distribution des principales espèces à feuilles flottantes ainsi qu'une ancienne trace d'embarcation motorisée qui a modifié l'organisation de la végétation aquatique submergée. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 72

Figure 50. Ortho-mosaïque du secteur 1c au lac Écho montrant les principales espèces à feuilles flottantes présentes au lac Écho. Les marbrures de couleur vert-pâle à vert-foncé teintant la zone plus profonde indiquent la présence de végétation submergée courte, composée d'espèces variées telles la Vallisnérie américaine et le Potamot de Robbins. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 73

Figure 51. Ortho-mosaïque du secteur 1d au lac Écho montrant deux espèces communes au lac Écho, soit le Potamot à larges feuilles et la Brasénie de Schreber. Les flèches blanches indiquent un sillon d'embarcation motorisée. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 74

Figure 52. Ortho-mosaïque du secteur 2 au lac Écho acquis le 8 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes..... 75

Figure 53. Ortho-mosaïque du secteur 2a au lac Écho illustrant la ceinture de Potamot à longs pédoncules qui entoure la fosse du lac à plusieurs endroits. Les traces circulaires/semi-circulaires ont vraisemblablement été causées par l'hélice d'une embarcation qui s'est aventurée dans une zone rocheuse et trop peu profonde. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018..... 76

Figure 54. Ortho-mosaïque du secteur 2b au lac Écho montrant de multiples traces d'embarcations motorisées dans la végétation submergée à une profondeur de 1 à 1,5 mètres. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 77

Figure 55. Ortho-mosaïque du secteur 3 au lac Écho acquis le 12 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Le rectangle jaune montre la position de l'agrandissement de la figure suivante. 78

Figure 56. Ortho-mosaïque du secteur 3a au lac Écho montrant une vingtaine de traces d'embarcations motorisées entrecoupant la végétation aquatique submergée. De faibles traînées de cyanobactéries apparaissent près du quai en haut de l'image. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 79

Figure 57. Ortho-mosaïque du secteur 4 au lac Écho acquis le 13 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes..... 80

Figure 58. Ortho-mosaïque du secteur 4a au lac Écho. L'image montre une importante fleur d'eau de cyanobactéries poussée par le vent au sud-est du lac le 13 septembre 2018. De nombreux sillons d'embarcations motorisées sont visibles à une profondeur de 0,5 à 1,0 mètre sur la partie gauche de l'image. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018..... 81

Figure 59. Ortho-mosaïque du secteur 4b du lac Écho montrant, à une profondeur d'environ 1,5 mètre, de multiples sillons d'embarcations motorisées entrecoupant la végétation aquatique. La flèche blanche indique un panache de sédiments fraîchement (secondes) re- suspendus par une petite embarcation visible sur l'image suivante. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 82

Figure 60. Petite embarcation responsable du panache de sédiments montré sur l'ortho-mosaïque précédente (figure 59). Noter la présence de multiples sillons causés par le passage d'autres embarcations motorisées. 83

Figure 61. Ortho-mosaïque du secteur 4c au lac Écho montrant des herbiers de Brasénie de Schreber et de Potamot à longs pédoncules. La droite de l'image est occupée par de multiples sillons d'embarcations motorisées. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018..... 84

Figure 62. Ortho-mosaïque du secteur 5 au lac Écho acquis le 7 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes..... 85

Figure 63. Ortho-mosaïque du secteur 5a au lac Écho montrant le quai du Centre récréatif du lac Écho (Prévost). Les herbiers à feuilles flottantes sont dominés par la Brasénie de Schreber et le Nymphéa odorant. De multiples sillons d'embarcations motorisées convergent souvent vers le bout du quai. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018..... 86

Figure 64. Ortho-mosaïque du secteur 5b au lac Écho montrant les multiples traces d'embarcations motorisées entre la rive et l'île Bessette. L'image-fantôme du ponton bleu située au bas de la mosaïque est un artéfact de la technique de création dû au déplacement de l'embarcation pendant l'acquisition des images (20 minutes). La flèche blanche indique le panache de re-suspension créé dans les minutes précédentes par le même ponton. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 87

Figure 65. Ortho-mosaïque du secteur 5c au lac Écho montrant les herbiers de Grand nénuphar jaune et de Brasénie de Schreber entourant l'île Derenne. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 88

Figure 66. Ortho-mosaïque du secteur 6 au lac Écho acquis le 7 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes..... 89

Figure 67. Ortho-mosaïque du secteur 6a au lac Écho montrant des sillons d'embarcations motorisées. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018..... 90

Figure 68. Ortho-mosaïque du secteur 6b au lac Écho montrant les herbiers de Brasénie de Schreber et de Nymphéa odorant développés à une profondeur d'environ un mètre. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 91

Figure 69. Ortho-mosaïque du secteur 6c au lac Écho. Ce secteur recoupe le secteur 2a (figure 53), photographié à une date différente, et permet de vérifier l'exactitude du positionnement géographique. Les différences de positionnement géographique des cailloux de cette image et de l'image 2a sont inférieures à un mètre. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. 92

Figure 70. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Connelly acquise les 27 et 28 août 2018. Les isobathes (2 m, courbes noires) sont issues de la carte bathymétrique produite en mai 2001. Les symboles carrés indiquent la position et le numéro des photographies sous-marines (27 et 28 août 2018) ayant servi à l'identification des espèces. Sur cette image, les hauteurs supérieures à 1,5 mètre indiquent la présence d'herbiers monospécifiques de Myriophylle à épi ou d'un mélange de Myriophylle à épi et de Potamot à longs pédoncules..... 93

Figure 71. Secteurs survolés au drone entre les 30 août et 13 septembre 2018 pour l'acquisition des photographies ayant servi à la réalisation des ortho-mosaïques du lac Connelly. 94

Figure 72. Ortho-mosaïque du secteur 1 du lac Connelly photographié le 30 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. 95

Figure 73. Ortho-mosaïque du secteur 1a du lac Connelly acquis le 30 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m produites lors de l'échosondage 2018. Au lac Connelly, les plantes aquatiques à feuilles flottantes s'installent principalement entre les quais, où la résurgence d'eau souterraine riche en nutriments issus des installations septiques et une plus faible turbulence de l'eau favoriseraient l'accumulation de sédiments fins et l'enracinement des plantes. 96

Figure 74. Ortho-mosaïque du secteur 1b du lac Connelly (haut-fond nord) acquis le 30 août 2018. La présence de végétation aquatique submergée très dense loin des habitations montre que la nutrition et la croissance des macrophytes ne dépend pas uniquement des apports directs de nutriments issus des installations septiques. Les trous dans la végétation trahissent la présence de blocs rocheux où la végétation ne peut s'enraciner. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. 97

Figure 75. Ortho-mosaïque du secteur 1c du lac Connelly acquis le 30 août 2018. L'image montre trois espèces communes dans ce lac. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m provenant de l'échosondage de la végétation submergée réalisé en août 2018..... 98

Figure 76. Ortho-mosaïque du secteur 2 du lac Connelly acquis le 31 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m issues de l'échosondage de la végétation submergée en août 2018. Le rectangle jaune montre la position de l'agrandissement présenté à la figure suivante (77)..... 99

Figure 77. Ortho-mosaïque du secteur 2a du lac Connelly acquis le 30 août 2018. Sur cette image, le Myriophylle à épi forme un herbier continu de quelques mètres de largeur approximativement situé entre les isobathes 2 m et 3 m..... 100

Figure 78. Ortho-mosaïque du secteur 3 du lac Connelly (haut-fond sud) acquis le 31 août 2018. Comme à la figure 72, la présence de végétation aquatique submergée très dense loin des habitations montre que la nutrition et la croissance des macrophytes ne dépend pas uniquement des apports directs de nutriments issus des installations septiques. Les trous dans la végétation trahissent la présence de blocs rocheux où la végétation ne peut s'enraciner. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. 101

Figure 79. Ortho-mosaïque du secteur 4 au lac Connelly photographié le 31 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. 102

Figure 80. Ortho-mosaïque du secteur 4a au lac Connelly montrant un petit haut-fond occupé par le Myriophylle à épi. Les trous dans la végétation signalent la présence de blocs rocheux où la végétation ne peut s'enraciner. Noter les herbiers de végétation à feuilles flottantes entre les quais. 103

Figure 81. Ortho-mosaïque du secteur 4b au lac Connelly montrant l'organisation des ceintures de végétation aquatique submergée dans cette partie sablonneuse du lac. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. 104

Figure 82. Ortho-mosaïque du secteur 4c au lac Connelly montrant la profondeur maximale de colonisation par la Brasénie de Schreber (environ 1,5 m). Les lignes noires sont les isobathes acquises en 2018. 105

Figure 83. Ortho-mosaïque du secteur 5 au lac Connelly photographié le 13 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. Le barrage peut être aperçu à l'extrême sud de la baie. 106

Figure 84. Ortho-mosaïque du secteur 5a au lac Connelly montrant le développement d'une végétation aquatique à feuilles flottantes dominée par la Brasénie de Schreber et le Nymphéa odorant. Jusqu'à une profondeur d'environ 3 m, la végétation submergée est dominée par le Myriophylle à épi et le Potamot de Robbins. Les lignes noires sont les isobathes acquises en 2018. 107

Figure 85. Ortho-mosaïque du secteur 5b au lac Connelly montrant la ceinture de Myriophylle à épi occupant majoritairement les profondeurs situées entre 2 et 4 mètres dans cette partie du lac. 108

Figure 86. Ortho-mosaïque de l'extrémité ouest du lac de l'Achigan photographiée le 24 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes paires (mètres) acquises en septembre 2000. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. 109

Figure 87. Ortho-mosaïque du secteur a au lac de l’Achigan montrant un herbier important de Brasénie de Schreber ainsi qu’un herbier diffus de Myriophylle à épi présent à une profondeur de 2 à 4 mètres. La ligne blanche est l’isobathe de 2 mètres acquise en septembre 2000..... 110

Figure 88. Ortho-mosaïque du secteur b au lac de l’Achigan montrant un haut-fond entouré de Myriophylle à épi semblable mais moins dense que ceux observés sur les hauts-fonds du lac Connelly. 111

Figure 89. Ortho-mosaïque du secteur c au lac de l’Achigan montrant un herbier de Brasénie de Schreber. 112

Figure 90. Mise à jour de la carte bathymétrique du lac en Cœur selon les sondages réalisés du 24 au 30 juillet 2018 dans le cadre de la cartographie des macrophytes submergés..... 113

Figure 91. Cartographie de la végétation aquatique submergée au lac en Cœur le 30 juillet 2018. Les lignes blanches sont les isobathes de 1,0 mètre. L’image montre que la couverture du fond par la végétation y est relativement faible et devient nulle à partir d’une profondeur d’environ 4,5 mètres. Seuls certains endroits sont complètement recouverts par une végétation composée de Potamot à larges feuilles souvent invisible de la surface. 114

Figure 92. Cartographie de la hauteur de la végétation aquatique submergée au lac en Cœur le 30 juillet 2018. Les lignes blanches sont les isobathes de 1,0 mètre. Les taches en vert-clair indiquent les endroits où la hauteur de la végétation dépasse un mètre et où elle est composée de Potamot à larges feuilles. Ces herbiers ne sont pas visibles de la surface et leur composition a été vérifiée par photographie sous-marine géoréférencée. 115

Figure 93. Ortho-mosaïque du lac en Cœur, acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues de l’échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). Cette vue d’ensemble montre la localisation des fonds rocheux souvent dénudés et montre que la couverture et la densité des herbiers à feuilles flottantes sont supérieures à ce qui est observé au lac Croche inhabité (figure 42), mais moindres qu’aux lacs Connelly, Écho, Fournelle et Morency. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. 116

Figure 94. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l’échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018)..... 117

Figure 95. Ortho-mosaïque du secteur « b » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l’échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018)..... 118

Figure 96. Ortho-mosaïque du secteur « c » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). Le carré jaune indique la position des agrandissements montrés aux deux figures suivantes (97 et 98). 119

Figure 97. Agrandissement « a » de l'ortho-mosaïque du secteur « c » peu profond du lac en Cœur montré à la figure 96. Les lignes grises (en haut à droite) sont les isobathes de 1 m issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). 120

Figure 98. Agrandissement « b » de l'ortho-mosaïque du secteur « c » du lac en Cœur montré à la figure 96. Noter la forme en bulle de l'herbier de Nymphéa odorant qui suggère la lente expansion d'un panache d'eau souterraine enrichie. Les lignes noires sont les isobathes de 1 m issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). 121

Figure 99. Ortho-mosaïque du secteur « d » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). Le rectangle jaune indique la position de l'agrandissement de la figure suivante (100). 122

Figure 100. Agrandissement « a » de l'ortho-mosaïque du secteur « d » du lac en Cœur montré à la figure 99. Sur cette image, apparaissent des tiges espacées de Potamot à larges feuilles. Les lignes noires sont les isobathes de 1 m issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). 123

Figure 101. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Morency acquise le 2 août 2018. Les isobathes (courbes blanches) sont issues de la carte bathymétrique produite en mai 2001. Sur cette image, les hauteurs supérieures à un mètre indiquent la présence d'herbiers de Potamot à longs pédoncules et de Potamot à larges feuilles. 124

Figure 102. Ortho-mosaïque du lac Morency, acquis le 14 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues de l'échosondage littoral du 2 août 2018. Cette vue d'ensemble montre la localisation de trois foyers d'algues filamenteuses benthiques, indicatrices de pollution par les nutriments. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. 125

Figure 103. Ortho-mosaïque du secteur « a » au lac Morency, acquis le 14 septembre 2018 (voir figure 102). À cet endroit, un tapis d'algues filamenteuses benthiques d'environ 50 mètres de longueur, visible par sa couleur verte, recouvre le fond. Ces algues sont indicatrices de l'arrivée d'eau souterraine riche en nutriments. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage littoral réalisé le 2 août 2018. 126

Figure 104. Ortho-mosaïque du secteur « b » au lac Morency, acquis le 14 septembre 2018 (voir figure 102). La portion inférieure droite de l'image montre un tapis d'algues filamenteuses vertes d'une

superficie d'environ 140 m² confiné par un herbier composé de Rubanier flottant et de Brasénie de Schreber, et situé à l'embouchure d'un ruisseau intermittent gazonné remontant vers le village et l'école primaire des Hauteurs. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage littoral réalisé le 2 août 2018. 127

Figure 105. Ortho-mosaïque du secteur « c » au lac Morency, acquis le 14 septembre 2018 (voir figure 102). L'image montre un tapis d'algues filamenteuses vertes, entouré d'une « bulle » de Brasénie, et situé à l'embouchure d'un ruisseau intermittent qui remonte vers le chemin des Hauteurs. 128

Figure 106. Ortho-mosaïque du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues des levés effectués en septembre 2000. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes. 129

Figure 107. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Les lignes noires sont les isobathes approximatives issues des levés effectués en septembre 2000. Cette carte illustre les très grands herbiers de Nymphéa odorant présents à l'ouest du lac, et dont l'origine remonte probablement au rehaussement du lac par le castor. 130

Figure 108. Ortho-mosaïque du secteur « b » du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Les lignes noires sont les isobathes approximatives issues des levés effectués en septembre 2000. Noter l'herbier de Potamot à larges feuilles présent entre les profondeurs d'un et deux mètres. 131

Figure 109. Ortho-mosaïque du secteur « c » du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Les lignes noires sont les isobathes approximatives issues des levés effectués en septembre 2000. 132

Figure 110. Ortho-mosaïque du secteur « d » peu profond du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Cette portion du lac est recouverte de Nymphéa odorant et de Brasénie de Schreber. Au bas de l'image, on peut apercevoir une résurgence d'eau souterraine très claire provenant de la colline voisine. 133

Figure 111. Ortho-mosaïque du secteur « e » peu profond du lac Fournelle, acquise le 20 août 2018 (voir figure 106) où dominant le Nymphéa odorant et la Brasénie de Schreber. Les plages pâles sont des zones exondées à cette date. 134

Figure 112. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac du Pin Rouge acquise le 31 juillet 2018. Les isobathes (courbes blanches) sont issues de la carte bathymétrique produite en mai 2001. Sur cette image, les hauteurs supérieures à 50 centimètres indiquent la présence d'herbiers de Potamot à larges feuilles. 135

Figure 113. Ortho-mosaïque du lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes..... 136

Figure 114. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Les lignes noires sont les isobathes issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Noter que certains secteurs périphériques des deux grands herbiers de Nymphéa odorant sont beaucoup plus denses que les portions centrales. 137

Figure 115. Ortho-mosaïque du secteur « b » peu profond du lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Les lignes noires sont les isobathes issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Noter que certains secteurs rapprochés des habitations présentent des densités de plantes beaucoup plus élevées que celles représentatives de l'ensemble de la baie. Les taches pâles dénotent des endroits où le fond affleurerait la surface de l'eau. 138

Figure 116. Ortho-mosaïque du secteur « c » au lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Les lignes noires sont les isobathes issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Les herbiers vigoureux de cette image sont très rapprochés des habitations. 139

Figure 117. Ortho-mosaïque du secteur « d » du lac du Pin Rouge (agrandissement de la figure 114), acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Comme les autres herbiers à feuilles flottantes, cet herbier est entouré principalement de Potamot de Robbins (invisible sur l'image) croissant à une profondeur de 1,0 à 1,5 mètre. 140

Figure 118. Ortho-mosaïque du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018. Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes. Noter la réflectance verte élevée du plan d'eau produite par les algues microscopiques et autres particules en suspension. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes..... 141

Figure 119. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118). Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. La composition de la végétation émergente de la structure artificielle ronde apparaissant près du centre de l'image est inconnue. 142

Figure 120. Ortho-mosaïque du secteur « b » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118). Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010..... 143

Figure 121. Ortho-mosaïque du secteur « c » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118). Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. La petite baie de cette image est presque entièrement recouverte de Brasénie de Schreber..... 144

Figure 122. Ortho-mosaïque du secteur « d » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118) où se trouve l'exutoire. Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. Dans la majeure partie de ce secteur, la profondeur est trop grande pour permettre, en 2018, la croissance des plantes aquatiques à feuilles flottantes ou submergées..... 145

Introduction

Depuis les descriptions de l'état des lacs de Saint-Hippolyte réalisées en 2003 et 2008 par la Station de biologie de l'Université de Montréal (Carignan et al., 2003; Carignan, 2008)¹, la Municipalité de Saint-Hippolyte a déployé plusieurs efforts pour assurer la protection des plans d'eau situés sur son territoire (Geneviève Simard, communication personnelle). Notamment, la Municipalité a adopté en 2007 un règlement interdisant les interventions de contrôle de la végétation, dont la tonte de gazon, le débroussaillage et l'abattage d'arbres sur une bande de 5 mètres à partir de la ligne des hautes eaux des lacs et cours d'eau ainsi que sur les talus intérieurs des fossés. De 2007 à 2015, toutes (4055) les installations sanitaires de Saint-Hippolyte ont été inspectées et 789 installations sanitaires déficientes ont été relevées. Entre janvier 2007 et octobre 2018, 855 installations sanitaires ont été remplacées. Depuis janvier 2009, la Municipalité a pris en charge la vidange des fosses septiques sur l'ensemble de son territoire afin de s'assurer du respect de la fréquence de vidange à tous les deux ans. Entre 2008 et 2018, la Municipalité a fait appel au Soutien technique des lacs du CRE Laurentides, entre autres pour sensibiliser les riverains aux problèmes d'eutrophisation et d'érosion des berges. Ces actions auraient dû limiter considérablement les charges d'éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore) vers les lacs et les cours d'eau.

Le phosphore est un des éléments nutritifs essentiels au développement de la vie. Dans les lacs cependant, un apport trop grand de phosphore cause une dégradation de la qualité du milieu. Appelée « *eutrophisation* », cette dégradation se manifeste par un développement excessif d'algues et de plantes aquatiques, une diminution de la transparence des eaux, une augmentation de la consommation en oxygène dans les eaux profondes et la perte de certains poissons intolérants comme les salmonidés. De plus, en l'absence d'azote disponible, un excès en phosphore peut causer l'apparition de cyanobactéries qui fixent l'azote atmosphérique gazeux, mais qui sont potentiellement toxiques. Ces effets dégradent la qualité esthétique du milieu et compromettent certains usages des plans d'eau, tel leur utilisation comme source d'eau potable et la pêche sportive.

Généralement, le phosphore est l'élément nutritif *limitant* dans les lacs du Bouclier canadien (Schindler, 1974); ceci signifie que de toutes les substances dont ont besoin les algues, le phosphore est celui dont les sources sont les moins abondantes par rapport à la demande. C'est donc l'élément qui, ultimement,

¹ Ces documents peuvent être consultés sur la clé USB accompagnant ce rapport.

contrôlera les quantités d'algues planctoniques qui pourront se développer. Bien que l'azote soit également un élément nutritif requis en grande quantité par les algues et les plantes aquatiques, les algues ont accès, par l'entremise de cyanobactéries fixatrices d'azote atmosphérique, à une source illimitée d'azote.

Le rôle limitant du phosphore pour les plantes aquatiques vasculaires enracinées (« macrophytes » dans ce texte) est indirect car il dépend aussi du cycle biogéochimique de l'azote dans les sédiments. En effet, dans les milieux pauvres en éléments nutritifs, les macrophytes puisent des sédiments l'essentiel de leurs besoins en éléments nutritifs. Or, en l'absence de sources humaines abondantes, une proportion importante de l'azote organique parvenant aux sédiments par décantation du plancton est transformée en nitrate (NO_3^{2-}), puis dénitrifiée et perdue sous forme gazeuse (N_2) non disponible. Ainsi, l'azote utilisable peut lui aussi limiter la croissance des macrophytes. Cependant, c'est la sédimentation de la matière organique, en partie contrôlée par une production biologique limitée par le phosphore, qui contrôlera ultimement l'arrivée d'azote vers les macrophytes.

Pour ces raisons, les efforts de contrôle de l'eutrophisation des lacs doivent particulièrement viser la réduction des sources de phosphore parvenant aux lacs. C'est pourquoi, depuis 2010, une législation fédérale interdit la présence de polyphosphates dans les détergents à lave-vaisselle. Dans les lacs de Saint-Hippolyte, le phosphore et l'azote proviennent de sources naturelles (atmosphère, forêts ennoyées par le castor) mais aussi de sources anthropiques tels les installations sanitaires, le déboisement et l'usage d'engrais horticoles.

Malgré les efforts de la Municipalité visant la protection de ses ressources aquatiques, le développement anthropique soutenu des bassins versants exerce sur les lacs une pression qui les rend potentiellement vulnérables. C'est pourquoi il importe d'effectuer périodiquement un bilan de santé approfondi des lacs permettant de quantifier leur évolution, de diagnostiquer les détériorations, d'en identifier les causes et de suggérer des pistes de solutions.

Objectifs

Ce rapport répète les observations rapportées par Carignan et al. (2003) et Carignan (2008) dans 14 lacs selon des méthodologies identiques ou équivalentes dans le but de détecter tout changement ayant pu survenir depuis 2007. De plus, des cartographies précises de la distribution de la végétation aquatique submergée et à feuilles flottantes sont présentées pour quelques lacs au moyen de deux méthodes complémentaires, soient l'échosondage scientifique et l'orthophotographie aérienne par drone.

Méthodes

a) Propriétés chimiques, biologiques et optiques de la colonne d'eau

Les échantillons d'eau destinés au dosage du phosphore total (PT), de l'azote total (NT), du nitrate (NO_3^- -N), du carbone organique dissous (COD), de la chlorophylle-*a* et des ions majeurs Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ furent prélevés dans quatorze lacs, à quatre dates entre mai et août 2018 au point de profondeur maximale, à un mètre de profondeur et en triplicata au moyen d'une bouteille Van Dorn. Au lac de l'Achigan, une deuxième station (Station-2) plus centrale au lac fut ajoutée aux coordonnées 45.94082° N et -73.98864° O. Les échantillons furent conservés dans des bouteilles HDPE de 500 ml et maintenus à une température voisine de 4°C pendant un maximum de trois heures jusqu'à leur transfert (PT, NT), après agitation vigoureuse, dans des tubes de digestion en borosilicate de 50 ml, ou leur filtration (membrane Gelman Supor $0,45\mu\text{m}$ préincées). Les échantillons destinés au dosage de la chlorophylle-*a* furent passés au travers de filtres GF/F, et les filtres furent immédiatement congelés à -40°C jusqu'à leur extraction à l'éthanol froid et lecture des filtrats par spectrophotométrie (Sartory et Grobelaar 1984; Nusch 1980). La chlorophylle-*a*, le PT, NT, NO_3^- -N et le COD furent déterminés au laboratoire de qualité des eaux de l'Université de Montréal. Les anions majeurs Cl^- et SO_4^{2-} -S furent dosés par chromatographie ionique au laboratoire de l'INRS-ETE (Québec). Les cations majeurs Na^+ , K^+ , Ca^{++} , et Mg^{++} furent mesurés au même laboratoire par ICP-AES.

Le phosphore total fut dosé par auto-analyseur (Astoria2, limite de détection : $0,2 \mu\text{g/L}$) après digestion à 120°C en présence de $0,3 \text{ g/50 ml}$ de persulfate de potassium, en incorporant des étalons et des blancs

cachés aux lots d'échantillons. Les différences entre les valeurs observées et les contrôles cachés n'ont jamais dépassé 5%. Le NT fut mesuré après digestion alcaline au persulfate de potassium et mesuré sous forme de nitrate dosé par auto-analyse (Lachat, FIA, méthode #10-107-06-1-F) avec une limite de détection de 1 µg/L. Le carbone organique dissous a été mesuré avec un analyseur OI Analytical Aurora 1030 après dégazage des échantillons et oxydation au persulfate.

Les profils d'oxygène dissous, de température, de pH et de conductivité furent acquis aux mêmes dates au moyen de multi-sondes YSI (600 QS ou 6920 V2) calibrées dans de l'air saturé de vapeur d'eau à pression barométrique ambiante ou dans des solutions-étalon appropriées.

La transparence fut mesurée au moyen d'un disque de Secchi de 20 cm de diamètre. Le coefficient d'atténuation lumineuse quantifie plus exactement que le disque de Secchi l'absorption de la lumière par l'eau; ce coefficient fut mesuré pour la lumière visible et disponible à la photosynthèse (400-700 nm) au moyen de sondes de surface et submersible Li-Cor LI-190 et LI-192SA.

En août 2018, la chlorophylle-*a* et l'abondance des principaux groupes d'algues (cyanobactéries, diatomées, algues vertes et cryptophycées) furent estimées au moyen d'une sonde Fluoroprobe BBE Moldaenke (Kiel, Allemagne). Les résultats furent corrigés pour la fluorescence due au carbone organique dissous (COD) en mesurant la signature fluorométrique du COD de l'eau de surface filtrée (GF/C). Notons que parmi les capteurs commercialement disponibles, seule la sonde Fluoroprobe BBE peut correctement estimer l'abondance des cyanobactéries en corrigeant les résultats pour la fluorescence due au COD et à la phycocyanine présente non seulement dans les cyanobactéries, mais aussi dans les algues cryptophycées communes dans les lacs des Laurentides.

L'analyse de variance fut employée (logiciel Statgraphics Centurion) pour déceler la présence de différences significatives entre les années.

b) Cartographie des macrophytes submergés et bathymétrie

Une cartographie acoustique des plantes aquatiques submergées fut réalisée dans les lacs Connelly, Écho, en Cœur et Morency en août 2018 au moyen d'un échosondeur BioSonics MX relié à un GNSS différentiel SxBlue ayant une précision de positionnement supérieure à un mètre. Les données furent acquises en suivant des lignes perpendiculaires à la rive du lac, espacées d'environ 5 à 15 mètres selon la taille du lac. La hauteur et le pourcentage de couverture par les macrophytes furent déterminés par l'analyse des

échogrammes au moyen du logiciel BioSonics Visual Habitat. Les logiciels MapInfo/VerticalMapper V. 10.5 ont servi à produire, après maillage triangulaire et interpolation linéaire des données, des modèles numériques de hauteur et de couverture par la végétation. Puisque cette méthode ne permet pas d'identifier les espèces présentes, elle a été accompagnée par l'acquisition dans chaque lac, au moyen d'une caméra submersible GoPro Hero 6, d'environ 70 courts vidéos géoréférencés. Brièvement, l'embarcation était solidement immobilisée à des points choisis aléatoirement entre un et six mètres de profondeur, une photo géoréférencée (± 1 mètre) était prise, puis la caméra était lentement descendue en mode vidéo jusqu'au fond.

c) Ortho-mosaïques aériennes des lacs

Les techniques d'échosondage ne peuvent pas détecter complètement les plantes aquatiques dont la canopée atteint la surface de l'eau. C'est le cas, par exemple, du Myriophylle à épi (MàÉ) et des espèces à feuilles flottantes comme les Nymphéas, les Nénuphars, le Faux-nymphéa, la Brasénie de Schreber, certains potamots et le Rubanier flottant. Afin de délimiter la répartition de ces espèces, des ortho-mosaïques aériennes des lacs Croche, en Cœur, du Pin Rouge, Fournelle, Morency, Écho, Connelly, Maillé et de certains secteurs du lac de l'Achigan ont été produites après l'acquisition (Pix4D Capture) au moyen d'un drone DJI Phantom 4 Pro², de 200 à 2000 photographies verticales à une élévation de 70 mètres (100 mètres au lac Croche). Ces photographies étaient prises par temps ensoleillé et par vent faible, tôt le matin ou vers la fin de l'après-midi, de façon à minimiser les réflexions par les vagues et à maximiser la visibilité des plantes submergées. Ces images furent ensuite assemblées en mosaïques continues avec le logiciel Pix4D Mapper Pro avec une précision géographique supérieure à un mètre et une résolution de 3 cm/pixel. Toutefois, cette technique exige la présence de pixels issus des mêmes objets fixes sur plusieurs photographies afin de les assembler; elle ne s'applique donc pas aux surfaces d'eau homogènes et dépourvues d'objets fixes. De plus, en bordure des mosaïques, certaines discontinuités spatiales d'un à deux mètres peuvent apparaître en raison du trop petit nombre de photos ayant servi à la synthèse de la mosaïque. Les images brutes ayant servi à la création des ortho-mosaïques et les mosaïques traitées sont consignées sur une clé USB accompagnant ce rapport.

² Certificat d'opération d'aéronef spécialisé (COAS) de Transports Canada ATS-17-18-00078623.

Résultats³

Évolution temporelle des propriétés chimiques, biologiques et optiques de la colonne d'eau

Concentrations en ions majeurs

Quatre facteurs influencent principalement l'évolution des concentrations en ions majeurs dans les lacs de Saint-Hippolyte. Ce sont **1-** des changements dans les taux d'application de sels déglaçants sur les routes en hiver (NaCl à Saint-Hippolyte), **2-** des changements dans les taux d'application de produits anti-poussière (CaCl₂ à Saint-Hippolyte), **3-** la diminution continue des précipitations acides depuis 1980 qui influencent le lessivage des cations et des anions adsorbés sur les particules des dépôts meubles, et **4-** les variations annuelles du ruissellement issu des précipitations liquides et solides qui auront un effet de dilution des sels récemment appliqués et influenceront aussi le lessivage des ions adsorbés aux dépôts meubles.

Le [tableau 1](#) montre les différences entre les concentrations de cations (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) et d'anions (SO₄²⁻, S, Cl⁻) majeurs observées entre 2001-2002 et 2018. Selon ce tableau, le lac Croche, inhabité et situé loin des chemins publics, affiche les concentrations les plus faibles. Ces concentrations sont caractéristiques des eaux de surface soumises à l'altération naturelle de la roche en place (anorthosite de Morin à Saint-Hippolyte) dans un contexte de déclin graduel des précipitations acides. Tous les autres lacs montrent des concentrations en ions majeurs supérieures à celles du lac Croche et témoignent d'une utilisation plus ou moins importante de sels déglaçants et anti-poussière par la Municipalité et par les riverains. Parmi ces lacs, les plus habités et ceux situés en bordure de la route 333 (Bleu, Connelly, Écho, Maillé et Morency) montrent les concentrations les plus élevées.

Le [tableau 1](#) montre aussi que l'utilisation de NaCl autour de plusieurs lacs a considérablement diminué depuis 2001-2002, sauf autour des lacs Écho, Fournelle, Montaubois et Tracy, où elle a légèrement augmenté, peut-être en raison de changements dans les pratiques des riverains ou dans le traitement hivernal ou estival des chemins municipaux. Enfin, précisons que la concentration maximale de chlorure

³ Une clé USB contenant toutes les données physico-chimiques de chaque lac, les photos/vidéos géoréférencées et certaines cartes géographiques accompagne ce rapport. Les ortho-mosaïques en format GeoTiff NAD83 MTM8 peuvent être extraites des «workspaces» MapInfo.

(64 mg/l) au lac Maillé, situé en bordure de la route 333, est encore inférieure à la concentration (230 mg/l) jugée acceptable pour la protection de la vie aquatique⁴. Cependant, cette concentration se rapproche du seuil de 100 mg/l rapporté par Collins et Russell (2009) pour la protection de certains amphibiens.

Concentrations en nutriments et en carbone organique dissous

Cette section met à jour les concentrations en phosphore total, azote total, nitrate et carbone organique dissous rapportées en 2008 dans les 14 lacs. Ces composés avaient été initialement choisis parce qu'ils déterminent ou influencent la quantité et le type d'algues qui occupera la colonne d'eau.

Dans les eaux de surface des lacs oligotrophes, près de la moitié du phosphore total (PT) peut se retrouver concentré dans le gros zooplancton (Prepas et Vickery, 1984; Clark et al. 2010). Puisque ces grosses particules ne sont pas distribuées de façon homogène, il est très difficile d'estimer la concentration de PT d'un lac entier à partir de l'analyse d'un seul échantillon de taille réduite (7 ml), comme le fait actuellement au Québec le Réseau de surveillance volontaire des lacs du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Pour cette raison, nous avons choisi, comme auparavant, de déterminer la concentration en PT pour chaque date en faisant la moyenne de trois échantillons indépendants de 50 ml.

Les figures [1](#) à [14](#) illustrent les tendances dans l'évolution des concentrations en phosphore total (PT), azote total (NT), nitrate (NO_3^-) et carbone organique dissous (COD) dans les 14 lacs. Afin de déceler les changements ayant pu survenir entre l'année 2018 et les années précédentes, le [tableau 2](#) rapporte les concentrations moyennes en PT mesurées uniquement entre les mois de mai et septembre de chaque année. Selon les figures 1 à 14, les concentrations de nitrate tendent à être élevées en début de saison et à devenir ensuite très basses ou non-détectables vers le milieu de l'été. Cette grande variabilité saisonnière, mais normale, de la concentration en nitrate est due au fait qu'une grande partie de la charge annuelle en nitrate provient de la fonte printanière de la neige sur les bassins versants, du lessivage printanier de certains champs d'épuration et de la décomposition hivernale de la matière organique dans

⁴ www.environnement.gouv.qc.ca/eau/critères_eau

les lacs. Cet excès de nitrate est ensuite plus ou moins rapidement assimilé par les algues et les bactéries planctoniques, puis atteint des valeurs voisines du seuil de détection de 1 µg/l dans tous les lacs.

Plusieurs des tendances annuelles/saisonnnières en PT affichées aux figures [1](#) à [14](#) suggèrent des baisses considérables survenues entre 2001 à 2007 et 2018. Ces changements furent soumis à l'analyse de variance afin d'identifier les lacs pour lesquels les baisses sont statistiquement significatives. Ainsi, le [tableau 2](#) montre des diminutions significatives ($P < 0,05$) entre les années 2001 à 2007 et l'année 2018 pour les lacs Bleu, Connelly, Cornu et du Pin Rouge. Le même tableau montre aussi des tendances à la baisse pour les lacs de l'Achigan, Fournelle, Montaubois, Morency et Tracy. Il semble donc que les efforts déployés par la Municipalité depuis 2007 pour réduire la charge anthropique de phosphore se traduisent déjà par une amélioration générale de la qualité de l'eau de ses lacs. Cependant, tel qu'indiqué à la [figure 15](#), le ruissellement fut exceptionnellement faible au printemps 2018 par rapport à celui des années antérieures. Cette particularité hydrologique a pu réduire l'exportation de nutriments des milieux humides vers les lacs et contribuer ainsi à la baisse en PT généralisée observée en 2018. Pourtant, aucune tendance systématique n'a été observée en 2018 pour le COD qui provient majoritairement des milieux humides des bassins versants, ce qui tend à invalider l'influence de l'hydrologie anormale en 2018 comme cause de la diminution en PT des lacs.

Selon le [tableau 2](#), parmi les lacs habités, seuls les lacs [Écho](#) et [Maillé](#) ne semblent pas avoir répondu aux efforts municipaux. Il sera vu plus loin que les sédiments du lac Écho sont soumis à une re-suspension très importante par les activités nautiques motorisées. Ici, la perturbation des sédiments a sans doute contribué à remettre en circulation non seulement le phosphore associé aux particules, mais aussi l'ortho-phosphate de l'eau poreuse biologiquement très disponible. Quant au lac [Maillé](#), dont le PT semble avoir augmenté en 2018, il est reconnu que le comportement de ces petits lacs peu profonds peut varier considérablement d'une année à l'autre (voir plus loin).

En théorie, les baisses de concentration en phosphore total observées en 2018 dans la majorité des lacs auraient dû se traduire par des baisses équivalentes de biomasse phytoplanctonique et par des augmentations de la transparence des eaux. Le [tableau 3](#) montre que la biomasse phytoplanctonique, exprimée ici en concentration de chlorophylle-*a*, n'a été significativement réduite que dans les lacs Bleu et Connelly, mais que plusieurs autres (de l'Achigan, en Cœur, Fournelle et du Pin Rouge) montrent des baisses notables par rapport aux valeurs observées en 2007. Le faible taux de réponses statistiquement significatives observées ici est attribuable au fait que très peu (4) d'observations sont disponibles dans

chaque lac entre les mois de mai et août de chaque année. Seuls des suivis beaucoup plus serrés dans le temps permettraient d'augmenter la puissance statistique des comparaisons effectuées entre les années.

Oxygène dissous

Une concentration élevée en oxygène dissous dans les eaux profondes et froides constitue une propriété désirable car elle permet la présence des salmonidés, prisés par les pêcheurs, mais intolérants des faibles concentrations en oxygène. Une faible concentration en oxygène dans les eaux profondes (hypolimnion) peut résulter de causes naturelles (anoxie morphométrique, Carignan et al. 2003) mais peut aussi être associée à une charge excessive en phosphore, responsable de la croissance des algues dans les eaux de surface et d'une demande anormale en oxygène dans les eaux profondes due à la sédimentation et la décomposition de ces algues.

Les lacs de la Municipalité présentent des conditions d'oxygénation très variées selon la forme de leur cuvette, selon la présence et la vigueur du brassage printanier des eaux, et selon la fertilité (concentration en phosphore et productivité biologique) de leurs eaux de surface. Les profils verticaux de température et d'oxygène dissous acquis en 2018 sont illustrés aux figures [16](#) à [30](#). Ces profils peuvent être comparés à ceux apparaissant dans des figures semblables présentées dans Carignan et al. (2003) et Carignan (2008) en gardant à l'esprit que certaines différences interannuelles pourront apparaître en raison de variations de dates de disparition du couvert de glace au printemps et/ou de conditions météorologiques durant les brassages printaniers et automnaux.

Plusieurs profils montrent une sursaturation estivale en oxygène métalimnétique associée à un maximum de concentration en chlorophylle-*a*, tel qu'illustré aux figures [34](#) à [40](#). Ces maxima résultent du fait que la production d'oxygène par la photosynthèse est supérieure à la respiration planctonique dans un métalimnion très statique en raison du fort gradient thermique.

Brièvement, on retrouve cinq types de lacs dans la municipalité :

Type 1) Grands lacs profonds assez bien oxygénés en profondeur. Cette catégorie n'est représentée que par le lac de l'Achigan (figures [16](#) et [17](#)), dont toute la colonne d'eau se sature en oxygène dissous au printemps et dont la teneur en oxygène décroît progressivement durant l'été mais reste assez élevée, sauf très près du fond, jusqu'au brassage automnal.

Type 2) Petits lacs profonds, peu productifs mais devenant totalement anoxiques en profondeur.

Représentée par les lacs Montaubois et Tracy, cette catégorie comprend les lacs profonds où l'emprise du vent est parfois insuffisante pour provoquer un brassage complet au printemps et parfois même en automne. Par exemple, l'hypolimnion du lac Tracy est resté anoxique durant tout l'été 2018 ([figure 30](#)) alors que le lac Montaubois n'a connu qu'un brassage printanier incomplet et a débuté sa période de stratification thermique avec un déficit prononcé en oxygène dissous ([figure 26](#)). Il est important de réaliser que les piètres conditions d'oxygénation dans ces lacs sont naturelles et peuvent être entièrement indépendantes d'une quelconque pollution d'origine humaine.

Type 3) Petits lacs de profondeur intermédiaire développant une anoxie prononcée mais naturelle.

Les lacs Cornu et Croche ([figures 20](#) et [21](#)) appartiennent à cette catégorie où, en raison du faible volume hypolimnétique, la quantité d'oxygène injectée dans l'hypolimnion après le brassage printanier est rapidement épuisée au cours de l'été malgré une faible production biologique en surface. De plus, en raison de leur petite taille, le brassage printanier est souvent incomplet dans de tels lacs.

Type 4) Lacs développant une anoxie prononcée en profondeur en raison de leur productivité biologique élevée en surface.

Le lac à l'Ours ([figure 28](#)) appartient à cette catégorie.

Type 5) Lacs peu profonds sans hypolimnion bien défini.

Les lacs [Écho](#), [en Cœur](#), [Fournelle](#) et [Maillé](#) sont trop peu profonds pour emmagasiner une réserve d'oxygène appréciable en profondeur suite au brassage printanier. L'oxygène initialement contenu dans le métalimnion est donc très rapidement épuisé, qu'ils soient oligotrophes ou eutrophes.

La comparaison des profils d'oxygène dissous relevés en 2007 et 2018 aux lacs Bleu, Connelly et du Pin Rouge suggère que la consommation hypolimnétique d'oxygène a légèrement diminué entre ces années. Cette diminution vient confirmer l'« oligotrophisation » de ces lacs depuis 2007 rapportée aux tableaux [2](#) et [3](#).

Propriétés optiques de la colonne d'eau

L'évolution de la transparence de la colonne d'eau et du coefficient d'atténuation de la lumière visible dans l'épilimnion entre 2001 et 2018 est illustrée pour les 14 lacs aux figures [31](#) à [33](#). Rappelons ici que la transparence correspond à la profondeur moyenne de disparition/apparition du disque de Secchi et que le coefficient d'atténuation de la lumière correspond à la pente k de la relation quasi-linéaire : $\ln(I_z/I_0) =$

kZ , où I_z est l'intensité à la profondeur Z , I_0 est l'intensité de la lumière pénétrant la surface de l'eau. Ces deux propriétés varient de façon inverse : plus la transparence est grande, plus le coefficient d'atténuation est petit. Dans les lacs des Laurentides, la transparence de l'eau et son coefficient d'atténuation lumineuse dépendent essentiellement de deux propriétés, soit la concentration en carbone organique dissous (COD) coloré et la quantité d'algues en suspension. Dans ces mêmes lacs, la concentration en COD dépend surtout de l'importance des milieux humides producteurs de COD dans le bassin versant alors que la biomasse algale dépend surtout de la charge en phosphore. Ainsi, une réduction de la charge en phosphore devrait se traduire par une diminution de la biomasse algale, une augmentation de la transparence de l'eau et par une diminution du coefficient d'atténuation de la lumière.

Dans certains lacs (à l'Ours, du Pin Rouge, figures [32](#) et [33](#)), la transparence et l'atténuation de la lumière sont majoritairement influencées par des apports externes prononcés en COD coloré issu des milieux humides de leurs bassins versants. La clarté des eaux de ces lacs ne devrait pas montrer un changement aisément détectable suite à une diminution des apports en phosphore et de la biomasse algale. Par contre, les lacs Bleu, en Cœur, Connelly, Cornu, Fournelle, Morency et Tracy affichent tous une amélioration de la clarté de l'épilimnion (figures [31](#) à [33](#)). Ces améliorations viennent confirmer les baisses de concentrations en phosphore total rapportées au [tableau 2](#).

Composition algale et importance des cyanobactéries

Les figures [34](#) à [40](#) présentent l'importance des grands groupes d'algues dans la composition du phytoplancton dans les premiers mètres de la colonne d'eau entre les 23 juillet et 23 août 2018. Durant cette période, aucun lac, même les plus riches en phosphore, n'a montré des concentrations alarmantes de cyanobactéries. Cependant, les cyanobactéries représentaient jusqu'à 50% (environ 1 $\mu\text{g/l}$) de la biomasse algale aux deux stations du lac de l'Achigan ([figure 34](#)). Bien que l'instrument employé pour ces mesures ne permette pas de préciser le type, le potentiel de formation de fleurs d'eau et la toxicité potentielle de ces cyanobactéries, les profils algaux de ces deux stations signalent que les riverains devraient exercer une surveillance spéciale au cours des années à venir. Toujours au lac de l'Achigan, la biomasse algale était complétée par des diatomées et des algues vertes.

Les limites de l'instrument (Fluoroprobe) et de la méthode utilisée à une seule date, à une seule station centrale, pour détecter les problèmes liés aux cyanobactéries sont particulièrement bien illustrées aux

figures [37](#) et [58](#). En effet, alors qu'au lac Écho, le profil algal Fluoroprobe ne montrait pas de concentration inquiétante de cyanobactéries le 14 août ([figure 37](#)) sauf dans le métalimnion vers 6,5 mètres de profondeur, l'ortho-mosaïque du 13 septembre révèle la présence d'une importante fleur d'eau superficielle localisée au sud-est du lac ([figure 58](#)). Deux raisons peuvent expliquer cette discordance : **1**) le 14 août, une très faible quantité de cyanobactéries à flottabilité positive était présente dans l'épilimnion de l'ensemble du lac et les conditions météorologiques ne permettaient pas aux cyanobactéries de s'accumuler à la surface du lac près de la station d'échantillonnage; **2**) les cyanobactéries détectées par le Fluoroprobe le 14 août dans le petit métalimnion du lac Écho sont remontées quelques semaines plus tard vers la surface pour être poussées et concentrées par le vent au sud-est du lac. Ces deux possibilités rappellent que dans les lacs riches en phosphore, les observations doivent être géographiquement et temporellement extensives et soulignent les avantages de l'orthophotographie aérienne au drone pour détecter et cartographier les fleurs d'eau de cyanobactéries. Au lac Écho, des actions devraient être entreprises pour surveiller et contrôler le développement des fleurs d'eau potentiellement toxiques.

Les profils algaux des autres lacs de Saint-Hippolyte confirment les observations généralement rapportées ailleurs. Dans la majorité des lacs, des maxima métalimnétiques importants apparaissent en été (figures [34](#) à [40](#)); ces pics de phytoplancton sont responsables de la sursaturation en oxygène dissous observée dans les mêmes lacs. Le phytoplancton des lacs oligotrophes ([Croche](#), [Montaubois](#), [Tracy](#)) est dominé par les diatomées alors que les algues vertes deviennent plus importantes dans les systèmes plus riches en phosphore tels les lacs [Bleu](#), [en Cœur](#), [Maillé](#) et [du Pin Rouge](#).

Cartographie des macrophytes submergés et à feuilles flottantes

Cette section combine les données acquises dans neuf lacs (Écho, Croche, Connelly, de l'Achigan, en Cœur, Maillé, Morency, Fournelle et du Pin Rouge) par échosondage et/ou par photographie aérienne entre le 20 juillet et 15 septembre 2018. Ces données serviront à établir la situation actuelle et à illustrer les particularités de chaque lac.

Le lac Croche

Plusieurs études rapportent que les concentrations tissulaires des macrophytes en azote et en phosphore sont souvent voisines de celles qualifiées de limitantes (Gerloff et Krombholz 1966; Demars et Edwards 2007). En d'autres termes, la croissance des macrophytes submergés ou à feuilles flottantes serait

fréquemment contrôlée par la disponibilité des éléments nutritifs majeurs que sont l'azote et le phosphore. Puisque la grande majorité des macrophytes puisent l'azote et le phosphore des sédiments dans lesquels elles sont enracinées (Carignan et Kalff, 1980; plusieurs autres), et puisque dans les lacs habités, les installations sanitaires, le déboisement et les engrais horticoles sont des sources potentiellement importantes de nutriments, une relation positive devrait exister entre l'abondance des macrophytes et l'occupation humaine des bassins versants, telle que rapportée dans les Laurentides par Denis-Blanchard (2015). Si cette hypothèse était correcte, les macrophytes devraient être particulièrement peu abondants dans les lacs inhabités et non perturbés des Laurentides. À Saint-Hippolyte, ces caractéristiques se retrouvent au lac Croche (figures 41 et 42) qui se distingue des autres lacs par une faible abondance de macrophytes. Même si les propriétés de ce lac (ratio de drainage, temps de séjour de l'eau, profondeur moyenne) diffèrent de celles d'autres lacs de la Municipalité, le lac Croche pourra servir de point de comparaison avec les lacs habités.

Le lac Écho

Deux déterminations des macrophytes submergés par échosondage sont disponibles au lac Écho. Une première mesure fut réalisée entre les 26 et 28 juillet 2011 par Ariane Denis-Blanchard en parcourant environ 30 km de lignes (Denis-Blanchard, 2015). La deuxième mesure, plus détaillée, fut effectuée dans le cadre de cette étude entre les 6 et 13 août 2018 en parcourant 110 km de transects. Les transects plus serrés de 2018 ont permis la mise à jour de la carte bathymétrique⁵ (figure 43). Les cartographies produites pour les deux dates (figures 44 et 45) montrent que la distribution en hauteur des plantes aquatiques submergées dans le lac Écho n'a pas changé radicalement au cours des sept dernières années. Les deux cartes indiquent un maximum de biomasse localisé au nord de la fosse, avec des concentrations mineures localisées vers le centre et le sud du lac. Selon ces cartes, étonnamment, la quantité de plantes aquatiques reste très faible dans plusieurs secteurs dont la profondeur est pourtant idéale à leur croissance. De plus, les vidéos sous-marines géoréférencées enregistrées durant ces travaux suggèrent que le Potamot à larges feuilles (*Potamogeton amplifolius*) a été déplacé à plusieurs endroits depuis 2011 par le Potamot à longs pédoncules (*Potamogeton praelongus*).

La photographie aérienne (figures 46 à 69) apporte une explication à l'énigme du peu d'abondance des macrophytes submergés à des endroits apparemment propices à leur développement. En effet, la

⁵ Les isobathes du lac Écho et son modèle numérique d'élévation ont été consignées en format MapInfo.tab, ESRI.shp et ASCIIgridfile.txt sur la clé USB accompagnant ce rapport.

majorité des orthophotographies en haute résolution montre un fond constamment labouré par les turbulences causées par l'action des hélices d'embarcations motorisées. La figure [60](#) montre que dans ces eaux peu profondes, les embarcations n'ont pas besoin d'être très puissantes (de l'ordre de 15 à 20 C.V.) pour soulever un panache considérable de sédiments. Ainsi, la présence et la dynamique des plantes aquatiques submergées au lac Écho serait principalement contrôlée par les activités nautiques motorisées. Ce phénomène vient aussi expliquer pourquoi les efforts de réduction de la charge en phosphore déployés par la Municipalité depuis 2007 n'ont pas produit les résultats observés dans d'autres lacs (voir [tableau 2](#)).

Dans l'ensemble du lac, et par ordre d'importance, les macrophytes à feuilles flottantes sont dominés par trois espèces ubiquistes à Saint-Hippolyte:

- 1- La Brasénie de Schreber
- 2- Le Nymphéa odorant
- 3- Le Grand nénuphar jaune

Localement, des herbiers de Rubanier flottant et de Potamot à larges feuilles apparaissent. Malgré la faible transparence des eaux de ce lac, on peut apercevoir des espèces submergées tels le Myriophylle à épi et le Potamot à longs pédoncules dont les tiges s'approchent suffisamment de la surface de l'eau (figures [48](#), [53](#), [54](#), [56](#), [59](#), [61](#) et [69](#)).

Le Lac Connelly

Le lac Connelly se distingue de la majorité des lacs de Saint-Hippolyte par la présence d'une espèce exotique envahissante (le Myriophylle à épi) probablement introduite, comme aux lacs Écho et de l'Achigan, vers le début des années 1990. Comparativement aux espèces indigènes, le Myriophylle à épi possède des avantages compétitifs remarquables dont un système racinaire exceptionnellement développé, capable d'exploiter efficacement les 40 premiers centimètres des sédiments riches en nutriments, une forme de croissance en hauteur lui permettant d'atteindre rapidement la surface de l'eau et d'intercepter la lumière, la persistance des tiges en hiver et un mode de propagation par fragmentation et bouturage. Dans les lacs thermiquement stratifiés, le Myriophylle à épi suit une chronologie de développement montrant souvent une phase particulièrement agressive durant les premières décennies suivant son introduction, suivie, comme au lac Connelly, d'un déclin partiel probablement dû à l'épuisement progressif des nutriments sédimentaires. Contrairement à la majorité des macrophytes

submergés de la région, les tiges de Myriophylle à épi peuvent atteindre jusqu'à 6 m de hauteur dans les lacs où l'eau est suffisamment transparente. Dans la région des Laurentides, seuls le Potamot à longs pédoncules (*Potamogeton praelongus*) et le Potamot à larges feuilles (*Potamogeton amplifolius*) possèdent certaines caractéristiques semblables à celles du Myriophylle à épi et arrivent à former des herbiers denses atteignant la surface de l'eau à une profondeur atteignant ou dépassant 1,5 mètres.

Une cartographie complète de la hauteur de la végétation aquatique submergée fut réalisée au lac Connelly les 27 et 28 août 2018 (figure 70). Sur cette figure, les endroits occupés majoritairement par le Myriophylle à épi et occasionnellement par le Potamot à longs pédoncules correspondent à ceux où la hauteur de la végétation dépasse environ 1,5 mètre. La photographie sous-marine révèle que les autres herbiers occupant la zone comprise entre 1,5 et 6 mètres sont majoritairement composés de Potamot de Robbins, Potamot de Richardson, Potamot à larges feuilles et de Vallisnérie américaine.

Selon une étude récente de l'abondance des macrophytes submergés dans les lacs des Laurentides (Denis-Blanchard 2015), la densité des plantes, toutes espèces confondues, serait significativement reliée à la densité des habitations occupant les premiers 100 mètres de la rive. Cette observation suggère que la croissance vigoureuse des plantes serait soutenue par les nutriments (azote, phosphore) provenant d'eaux souterraines enrichies en nutriments d'origine domestique tels ceux issus des installations septiques et des engrais domestiques. Cependant, la présence d'herbiers de Myriophylle à épi autour des hauts-fonds situés à l'est du lac et éloignés des habitations (figures 70, 74 et 78) démontre que le lien entre l'abondance de la végétation aquatique et les sources domestiques de nutriments est plus complexe que celui suggéré par Denis-Blanchard (2015). En effet, ce sont plutôt les apports locaux en nutriments d'origine domestique qui favoriseraient la croissance des algues planctoniques et le dépôt de sédiments enrichis sur l'ensemble du lac et qui, à long terme (plusieurs décennies) conduiraient à la formation d'un substrat propice à une croissance vigoureuse des plantes.

Les ortho-mosaïques assemblées au lac Connelly (figures 71 à 85) montrent que trois espèces à feuilles flottantes occupent les rives. La Brasénie de Schreber s'installe à des profondeurs variant de 0,5 à 1,5 mètre et domine la végétation à feuilles flottantes, alors que de petites colonies de Nymphéa odorant et de Grand nénuphar jaune se retrouvent localement à des profondeurs dépassant rarement un mètre. Il semble que dans ce lac, les plantes aquatiques à feuilles flottantes s'installent principalement entre les quais, là où la résurgence d'eau souterraine, riche en nutriments issus des installations sanitaires et une plus faible turbulence de l'eau entre les structures physiques, favorisent l'accumulation de sédiments fins, l'enracinement et la nutrition des plantes tel que montré aux figures 72, 75, 80, 82, 84 et 85.

En raison de la bonne transparence de l'eau (environ 5 m, figure 31), en l'absence de vent et de vagues, on distingue aisément les herbiers submergés croissant en hauteur, composés principalement de Myriophylle à épi, de Potamot à longs pédoncules et de Potamot à larges feuilles (figures [73](#), [74](#), [75](#), [77](#), [78](#), [80](#), [81](#), [82](#), [84](#) et [85](#)).

Le lac de l'Achigan

Seule l'extrémité ouest du lac de l'Achigan fut survolée au drone (figures [86](#) à [89](#)) en 2018. Ce survol partiel suggère que la croissance des macrophytes à feuilles flottantes entre les quais du lac de l'Achigan est moins prononcée qu'aux lacs Écho et Connelly bien qu'un herbier considérable de Brasénie de Schreber soit présent à l'extrémité ouest du lac (figures [86](#) et [87](#)). La figure [87](#) révèle aussi un herbier extensif de Myriophylle à épi près du rivage et, comme au lac Connelly, un autre (figure [88](#)) occupant un haut-fond. Cependant, la hauteur modeste des plantes et leur faible densité suggère un épuisement des ressources nutritives dans les sédiments où elles croissent.

Le lac en Cœur

Une cartographie complète du pourcentage de recouvrement (figure [91](#)) et de la hauteur (figure [92](#)) de la végétation aquatique submergée fut réalisée au lac en Cœur entre les 24 et 30 juillet 2018. Les levés bathymétriques précis acquis durant cet exercice ont permis de mettre à jour la carte bathymétrique du lac (figure [90](#)). Dans ce lac, les macrophytes submergés croissent jusqu'à une profondeur d'environ 4,5 mètres et recouvrent environ 70% de la superficie du fond. Toutefois, la densité et la hauteur des plantes restent relativement faibles en comparaison avec nos observations aux lacs Connelly, Écho et Morency. Tous les secteurs où la densité dépasse 75% et où la hauteur des plantes atteint 75 cm sont occupés par le Potamot à larges feuilles croissant souvent à une profondeur supérieure à trois mètres et invisible de la surface, tel que confirmé par la caméra géoréférencée.

Les photographies aériennes (figures [93](#) à [100](#)) révèlent qu'au lac en Cœur, les herbiers à feuilles flottantes, dominés par la Brasénie de Schreber et le Nymphéa odorant, sont beaucoup moins denses et importants que ceux cartographiés aux lacs Connelly, Écho, Fournelle, Morency et du Pin Rouge. Cependant, les herbiers à feuilles flottantes sont particulièrement abondants à l'extrémité de la baie sud-ouest (figures [96](#) et [97](#)) très peu profonde et qui draine un sol possiblement saturé d'eau en raison de sa topographie peu prononcée (figure [90](#)). Dans les Laurentides, les milieux humides sont des sources

importantes d'azote et de phosphore (Carignan et al. 2006) et fournissent aussi des particules organiques qui contribuent à créer un substrat propice à la croissance des plantes aquatiques. De plus, il y a plusieurs décennies, le niveau du lac en Cœur a probablement été rehaussé de quelques décimètres par les castors, dont le barrage a depuis été remplacé par une petite digue de pierres visible en agrandissant l'image 99 et localisée aux coordonnées 45.968706° N, -74.001264 O. L'enneigement et la décomposition d'un possible sol forestier organique initialement présent dans la baie sud-ouest a pu créer une source d'azote et de phosphore supportant la croissance vigoureuse des espèces à feuilles flottantes.

La figure 98 montre un herbier de Nymphéa odorant dont la forme, commune dans les lacs habités, rappelle celle des colonies microscopiques de bactéries et de champignons cultivées en laboratoire dans des boîtes de pétri. Ces herbiers, souvent localisés près des habitations, présentent des plantes particulièrement vigoureuses en périphérie; ils pourraient signaler la présence de résurgences souterraines riches en nutriments issus d'installations septiques et alimentant les plantes aquatiques. L'examen sommaire de l'évolution des herbiers sur les orthophotographies aériennes acquises à l'été 2001 par l'auteur dans certains lacs de la Municipalité (Connelly, Écho, Fournelle) et en 2007 par le MRN, sur lesquelles ces « bulles » de macrophytes sont visibles, suggère qu'elles sont en croissance. Seule une étude systématique de l'évolution chronologique de ces herbiers couplée à des analyses de composition chimique de l'eau poreuse des sédiments de ces « bulles » permettrait d'en élucider la nature exacte.

Le lac Morency

Au lac Morency, une couverture de la zone littorale à l'échosondeur BioSonics a permis de mettre en évidence une ceinture de macrophytes submergés croissant en hauteur, à une profondeur de 2 à 6 mètres, et composée de Potamot à longs pédoncules et de Potamot à larges feuilles (figure 101). En raison de la bonne transparence des eaux du lac Morency, cette ceinture est visible sur les mosaïques produites en 2018 (figures 103 à 105).

Les images 102 à 105 révèlent aussi la présence inusitée d'algues filamenteuses vertes à trois endroits. Ces tapis d'algues benthiques sont indicateurs de résurgences riches en nutriments provenant, entre autres, d'installations septiques déficientes ou qui, dans le passé, l'ont été. Deux de ces tapis d'algues sont situés à l'embouchure de ruisseaux intermittents. Selon ces images et la topographie BDTQ, les sources probables de pollution par l'azote et le phosphore sont l'Auberge du lac Morency (figure 103), le village et l'école des Hauteurs (figure 104) et les édifices situés près du chemin des Hauteurs (figure 105). Noter que ces sources potentielles de pollution pourraient avoir été tariées depuis plusieurs années. En effet, les podzols forestiers développés sur les tills glaciaires issus de l'anorthosite de Morin (la roche en place à

Saint-Hippolyte) sont généralement riches en oxydes de fer reconnus pour leur grand pouvoir d'adsorption et de rétention du phosphate. Les sols locaux drainant les effluents riches en phosphate pourraient ainsi avoir mis des décennies à devenir saturés en phosphate; en contrepartie, ils mettront aussi des décennies pour perdre l'excès de phosphate qu'ils auraient pu accumuler. Néanmoins, la situation des algues filamenteuses au lac Morency demanderait qu'une attention particulière soit portée à la qualité des eaux des tributaires intermittents responsables des colonies identifiées aux figures [104](#) et [105](#), et à la qualité des eaux souterraines responsables de celle montrée à la figure [103](#).

La présence d'herbiers vigoureux de Brasénie de Schreber et de Rubannier flottant autour des taches d'algues filamenteuses benthiques illustrées aux figures [104](#) et [105](#) vient supporter la notion selon laquelle les apports locaux de nutriments (azote, phosphore) issus de sources ponctuelles telles les installations septiques pourraient stimuler la croissance des plantes aquatiques à feuilles flottantes ou submergées.

Le lac Fournelle

Les lacs Fournelle et du Pin Rouge sont les deux plans d'eau traités par la présente étude dont le niveau a été rehaussé et est encore contrôlé par la présence d'une digue de castor (figures [106](#) et [113](#)) depuis au moins 1931, tel qu'en témoignent les anciennes photographies aériennes de la région (Bibliothèque et Archives Canada). En supposant que la hauteur de ces digues atteint environ un mètre, au lac Fournelle, le rehaussement du niveau aurait provoqué non seulement l'envasement complet la grande baie étroite située à l'est, mais aussi celui de superficies importantes situées à l'ouest et au nord, tel que suggéré par la position des isobathes superposées à l'ortho-mosaïque de la [figure 106](#). Tout comme aux lacs en Cœur et du Pin Rouge, le castor a donc fort probablement contribué à la création de substrats organiques propices à la croissance vigoureuse des macrophytes à feuilles flottantes ou submergées, tel qu'illustré aux figures [106](#), [107](#), [110](#) et [111](#).

En raison de l'influence du castor, la majorité des images produites au lac Fournelle ne permettent pas d'associer la présence d'herbiers importants uniquement à la présence de puisards et d'installations septiques près de la rive, même si la perte de nutriments par ces équipements aurait pu contribuer à leur développement. Cependant, la forme et la position très rapprochée de la rive et des bâtiments des herbiers de Nymphéa odorant illustrés aux figures [108](#) et [109](#) suggère l'influence de sources locales et récentes. Ici, un examen rigoureux des herbiers présents sur les orthophotographies aériennes disponibles dans la région et une comparaison avec celles produites pour le présent rapport pourra peut-

être permettre d'infirmier/confirmer leur expansion. Si la résolution des orthophotographies du MRNQ était insuffisante, il faudra archiver les images de 2018 et répéter l'exercice dans quelques années.

Le lac du Pin Rouge

Le lac du Pin Rouge possède un très grand ratio de drainage (51) et une proportion élevée de milieux humides dans son bassin versant. Pour ces raisons, son eau est colorée et sa transparence réduite à 0,5 mètre ([figure 33](#)) ne permet pas de bien distinguer les macrophytes submergés à partir d'une embarcation ou encore sur les ortho-mosaïques (figures [114](#) à [117](#)). Toutefois, l'échosondage réalisé le 31 juillet 2018 met en évidence la présence de deux bandes de végétation submergée composées de Potamot à larges feuilles, localisées à une profondeur d'environ 2 mètres ([figure 112](#)) et dont les feuilles supérieures atteignent une profondeur suffisante pour permettre la photosynthèse. Des plantes submergées plus courtes, tel le Potamot de Robbins, occupent une bonne partie de la zone délimitée par les isobathes d'un et de deux mètres.

Les mosaïques assemblées au lac du Pin Rouge (figures [113](#) à [116](#)) révèlent une situation semblable à celle observée au lac Fournelle. Brièvement, toutes les zones à pente faible, délimitées par la ligne de rivage et l'isobathe d'environ un mètre, sont occupées par des herbiers denses composés principalement de Nymphéa odorant. Ces zones correspondent à celles où la végétation terrestre a été ennoyées par le castor et où la décomposition des sols organiques aurait pu fournir l'azote et le phosphore nécessaires au développement des herbiers à feuilles flottantes. Comme au lac Fournelle et en raison de l'influence du castor, les images ne permettent pas d'associer la présence d'herbiers importants uniquement à la présence de puisards et d'installations septiques près de la rive, même si la perte de nutriments par ces équipements a pu contribuer à leur développement.

Les figures [114](#) et [117](#) montrent qu'au sud du lac, les feuilles délimitant le contour des herbiers de Nymphéa odorant sont particulièrement grosses et resserrées. Cette disposition pourrait trahir une croissance accrue en raison des nutriments issus des installations septiques locales; elle pourrait aussi être due à un réchauffement récent des sédiments épilimniques qui aurait provoqué une minéralisation accrue de la matière organique sédimentaire et ainsi augmenté la disponibilité des nutriments.

Le lac Maillé

Vraisemblablement créé par l'Homme, le « lac » Maillé est un étang qui se distingue des autres lacs par sa faible profondeur et, en 2018, sa grande turbidité, probablement causée par l'abondance des algues

microscopiques en suspension. Au lac Maillé, la concentration anormalement élevée de phosphore dans l'eau ([figure 9](#), [tableau 2](#)) pourrait provenir des puisards et installations septiques, ou encore de la minéralisation de la matière organique initialement présente dans un sol artificiellement ennoyé, selon un mécanisme analogue à celui évoqué pour les lacs dont le niveau a été rehaussé par le castor. Cependant, à la différence des lacs Fournelle et du Pin Rouge, le lac Maillé n'a pas de zone profonde pouvant capturer le phosphore libéré par ces sources. Ce dernier est donc constamment remis en circulation.

Dans ce type de milieu, s'installe souvent une compétition pour la lumière entre les algues en suspension et les macrophytes submergés. En effet, les herbiers de macrophytes amortissent la turbulence de l'eau et favorisent la sédimentation des algues, ce qui clarifie l'eau. De l'autre côté, le développement d'une biomasse élevée de phytoplancton produit une eau turbide qui capte rapidement la lumière nécessaire à la photosynthèse des macrophytes. Pour cette raison, les étangs peu profonds sont instables et alternent typiquement entre des états troubles, dominés par les algues planctoniques, et des états transparents, dominés par les macrophytes submergés (Scheffer et al. 1993).

L'ortho-mosaïque produite en 2018 ([figures 118](#) à [122](#)) révèle un étang très turbide, de couleur verte, dont la réflectance élevée trahit une abondance d'algues microscopiques en suspension. Les plantes aquatiques à feuilles flottantes sont confinées, comme ailleurs, à des profondeurs ne dépassant pas 1,5 mètre mais atteignent localement des densités très élevées ([figures 120](#) et [121](#)), alors que les macrophytes submergés visibles, tel le Potamot à larges feuilles, dépassent difficilement cette profondeur et peinent à développer des biomasses importantes ([figures 119](#) et [120](#)). Toute tentative d'amélioration de cette condition devra commencer par une quantification et une réduction des principales sources de nutriments à ce système qui draine un secteur particulièrement habité de la Municipalité. Ensuite, un contrôle des espèces de poisson prédatrices de zooplancton, consommateur d'algues, pourra être envisagé, de façon à clarifier l'eau et à permettre le développement des macrophytes submergés.

Conclusions

Plusieurs lacs de Saint-Hippolyte montrent en 2018 une amélioration générale de la qualité de leur eau relativement aux dernières observations de 2007. Puisque cette amélioration semble indépendante des conditions hydrologiques anormales survenues au printemps 2018, elle résulte fort probablement des mesures, adoptées par la Municipalité depuis 2007, dont l'un des objectifs est de réduire la charge en azote et en phosphore vers les eaux de surface.

Malgré un bilan 2018 très positif, dans les années futures, la Municipalité devra songer à confirmer, par des observations directes, certains des problèmes détectés dans ce document. Au lac Morency, par exemple, une surveillance détaillée de la qualité des eaux provenant de l'Auberge et des tributaires intermittents serait indiquée car elle permettrait de circonscrire les sources de pollution et, s'il y a lieu, d'agir en conséquence. Au lac Écho, l'amélioration de la qualité de l'eau passe sans doute par la définition et l'application de normes de navigation particulières incluant la délimitation de canaux de navigation⁶, en concertation avec la municipalité de Prévost. Enfin, un nouveau portrait de l'état des lacs, reconduit dans quelques années, permettra de confirmer l'efficacité des pratiques de gestion du patrimoine hydrique de Saint-Hippolyte.

Remerciements

La réalisation de ce projet n'aurait pas été possible sans la collaboration compétente de Geneviève Simard (Service de l'environnement, Saint-Hippolyte) et des nombreux riverains qui ont mis leurs embarcations et leurs quais à la disposition de l'équipe technique. Un merci spécial à Pia Amping, Claude Amyot, Sylvie Arcand, Gilles Beauregard, Charles Breton, Lyne Demontigny, Richard Drolet, Jean-Pierre Fabien, Nadine Filion, Monique Forget, Pierre Frigon, Johanne Gauthier, Annie Girard, Marie-Francine Hébert, Pierre Henrichon, Pierre Jolicoeur, Michel Lamontagne, Véronique Landry, Marie-Claude Mailly, Paulette et Michel Lauzon, Jacques L'Écuyer, Patrice Limoges, Frédéric Marceau, Lise Monette, Fernand Pagé, François Péloquin, Estelle Piché, Serge Picher, Jocelin Quirion, Hélène Saint-Pierre, Hugo Thériault-Viau, Jean-François Vachon-Gareau, Simon Vaillancourt et Steven Wanamaker.

Je remercie aussi le Conseil régional de l'environnement des Laurentides qui s'est gracieusement chargé des questions administratives. De même, la Station de biologie des Laurentides de l'Université de Montréal a fourni l'espace-laboratoire nécessaire au traitement des échantillons. Finalement, Kristel

⁶ À cet effet, les isobathes du lac Écho et son modèle numérique d'élévation peuvent être trouvés sur la clé USB accompagnant le rapport.

Bégin et Joëlle Guitard ont affronté avec bonne humeur les moustiques, la pluie, le vent, les moteurs mal réglés, les portables et les logiciels capricieux pour fournir les échantillons/données indispensables à la réalisation de ce rapport.

Références

- Carignan, R. et J. Kalff. 1980. Phosphorus sources to aquatic weeds: Water or sediments? *Science*, 207: 987-989.
- Carignan, R., Perceval, O., Prairie, Y., et A. Parkes. 2006. Développement d'un outil de prévention de l'eutrophisation des lacs des Laurentides et de l'Estrie. Remis au MDDEP, 74 p.
- Carignan, R., Van Leeuwen, H., et C. Crago. 2003. État des lacs de la Municipalité de Saint-Hippolyte et de deux lacs de la Municipalité de Prévost en 2001 et 2002. Rapport soumis à la municipalité de Saint-Hippolyte. 123 p. et 5 annexes.
- Carignan, R. 2008. Évolution de l'état des lacs de la municipalité de Saint-Hippolyte entre 1998 et 2008. Remis à la municipalité de Saint-Hippolyte. 59 pages.
- Clark, B.J., Paterson, A.M., Jeziorski, A., et S. Kelsey. 2010. Assessing variability in total phosphorus measurements in Ontario lakes. *Lake and Reservoir Management*, 26: 63–72.
- Collins, S.J. et R. W. Russell. 2009. Toxicity of road salt to Nova Scotia amphibians. *Environmental Pollution*, 157: 320-324.
- Demars, B.O.L. et A.C. Edwards 2007. Tissue nutrient concentrations in aquatic macrophytes: high inter-taxon differences and low phenotypic response to nutrient supply. *Freshwater Biology*, 52: 2073-2086.
- Denis-Blanchard, A. 2015. Effet du développement résidentiel sur la distribution et l'abondance des macrophytes submergés dans la région des Laurentides et de Lanaudière. Thèse. Sciences biologiques. Université de Montréal.
- Gerloff, C.C. et P.H. Krombholz. 1966. Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants. *Limnology and Oceanography*, 11: 529-537.
- Nusch, E.A. 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 14: 14-36.
- Prepas, E.E. et J. Vickery. 1984. Contribution of particulate phosphorus (>250 μm) to the total phosphorus pool in lake water. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 41: 351-363.
- Sartory, D.P. et J.U. Grobelaar. 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 114: 177-187.
- Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M.-L., Moss, B. et E. Jeppesen. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Tree*, 8: 275-279.
- Schindler, D.W. 1974. Eutrophication and Recovery in Experimental Lakes: Implications for Lake Management. *Science*, 184: 897-899.

TABLEAU 1. Concentrations moyennes (mg/l) en ions majeurs observées dans les lacs de Saint-Hippolyte en 2001-2002 et en 2018. Noter que les concentrations les plus élevées en sodium et chlorure se retrouvent dans les lacs très habités ou situés en bordure de la route 333.

Élément Années	Sodium		Potassium		Calcium		Magnésium		Chlorure		Sulfate-S	
	2001-02	2018	2001-02	2018	2001-02	2018	2001-02	2018	2001-02	2018	2001-02	2018
de l'Achigan	3.57	3.26	0.29	0.30	5.83	4.80	1.21	1.03	5.24	4.93	1.60	1.06
Bleu	10.80	9.98	0.61	0.54	10.82	8.41	2.52	2.15	17.85	16.82	2.24	1.72
Connelly	14.04	11.77	0.61	0.48	11.21	8.40	2.17	1.81	21.50	19.78	2.27	1.70
Cornu	21.19	15.33	0.75	0.53	13.20	8.83	3.16	2.21	39.17	15.33	2.33	0.53
Croche	0.79	0.69	0.08	0.09	2.74	1.76	0.40	0.30	0.28	0.27	1.23	0.61
Écho	6.29	7.83	0.45	0.38	15.32	15.42	5.71	5.12	13.37	17.42	2.60	2.50
en Cœur	3.82	3.76	0.42	0.38	5.09	4.77	0.98	0.95	6.35	6.93	1.45	0.77
Fournelle	3.11	3.46	0.20	0.23	7.38	6.30	1.66	1.49	4.38	5.03	1.95	1.25
Maillé		36.22		1.07		16.20		4.74		63.97		3.62
Montaubois	2.22	2.63	0.25	0.28	6.34	5.92	1.29	1.29	3.98	4.96	1.67	1.46
Morency	12.47	9.14	0.62	0.52	14.85	10.50	3.54	2.54	19.78	14.49	2.85	2.06
à l'Ours	3.51	2.88	0.30	0.33	6.20	6.00	1.59	1.52	4.00	3.90	1.64	1.05
du Pin Rouge	2.82	2.79	0.31	0.28	5.15	4.67	1.09	1.03	3.68	4.17	1.48	1.03
Tracy	3.65	3.72	0.27	0.30	7.12	6.10	1.60	1.38	7.04	7.17	1.58	1.34

TABEAU 2. Concentrations de phosphore total ($\mu\text{g/l}$) observées depuis 2001 entre les mois de mai et août dans les lacs de Saint-Hippolyte. Ces valeurs sont les moyennes d'au moins 12 mesures réalisées chaque année.

Lac/année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2018
de l'Achigan	5,46	5,00	4,85	4,68	5,98	5,60	5,75	4,75
Bleu	9,30	11,40					10,28	6,63
en Cœur	6,38	8,05					7,88	6,88
Connelly	7,72	8,53	6,86	7,04	9,20		7,63	5,48
Cornu	5,44	7,55					9,13	5,65
Croche	3,76	4,88				4,73		4,07
Écho	13,36	14,90					12,18	13,48
Fournelle	7,96	7,18					8,40	6,70
Maillé							15,43	16,83
Montaubois	4,54	5,35					4,45	3,78
Morency	4,78	7,05					6,29	4,90
à l'Ours	13,48	14,55				15,47	16,78	12,08
du Pin Rouge	10,46	12,57				12,66	13,75	8,65
Tracy	4,68	4,83					4,60	3,60

	baisse significative
	tendance à la baisse
	pas de mesures

TABLEAU 3. Concentrations moyennes en chlorophylle-a ($\mu\text{g/l}$) observées depuis 2001 entre les mois de mai et août dans les lacs de Saint-Hippolyte.

Lac/année	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2018
de l'Achigan			2,00	2,09	2,01	2,58	2,75	2,28
Bleu							3,81	2,01
en Cœur							2,98	2,21
Connelly			2,27	2,86	2,58		3,37	2,21
Cornu							1,17	2,20
Croche						1,26	1,60	1,17
Écho							3,42	5,1
Fournelle							2,47	1,92
Maillé							3,66	7,12
Montaubois							1,28	1,28
Morency							1,72	2,01
à l'Ours						14,9	9,35	5,41
du Pin Rouge							4,34	2,95
Tracy							1,22	1,28

	baisse significative
	tendance à la baisse
	pas de mesures

FIGURE 1. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac de l'Achigan. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

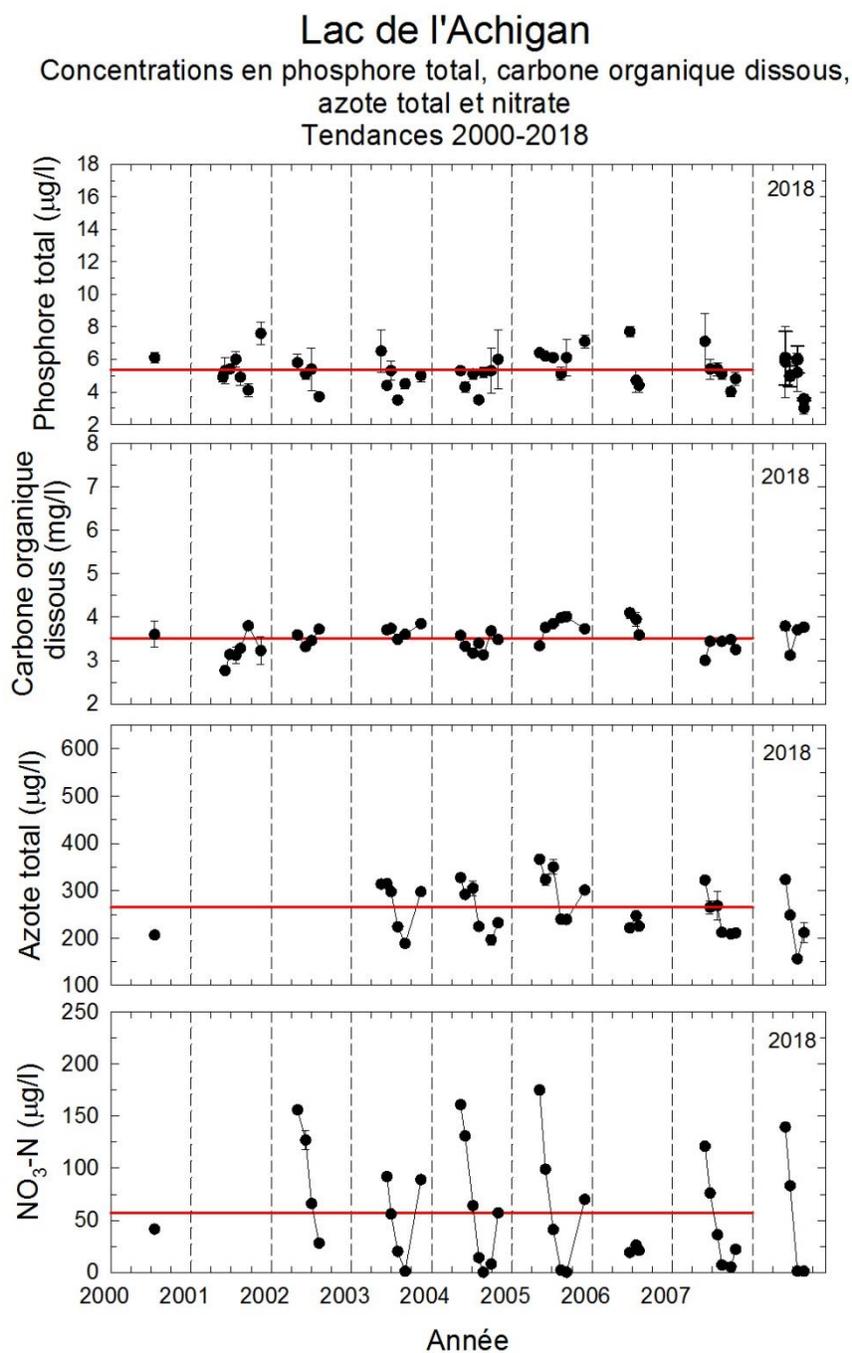


FIGURE 2. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Bleu. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

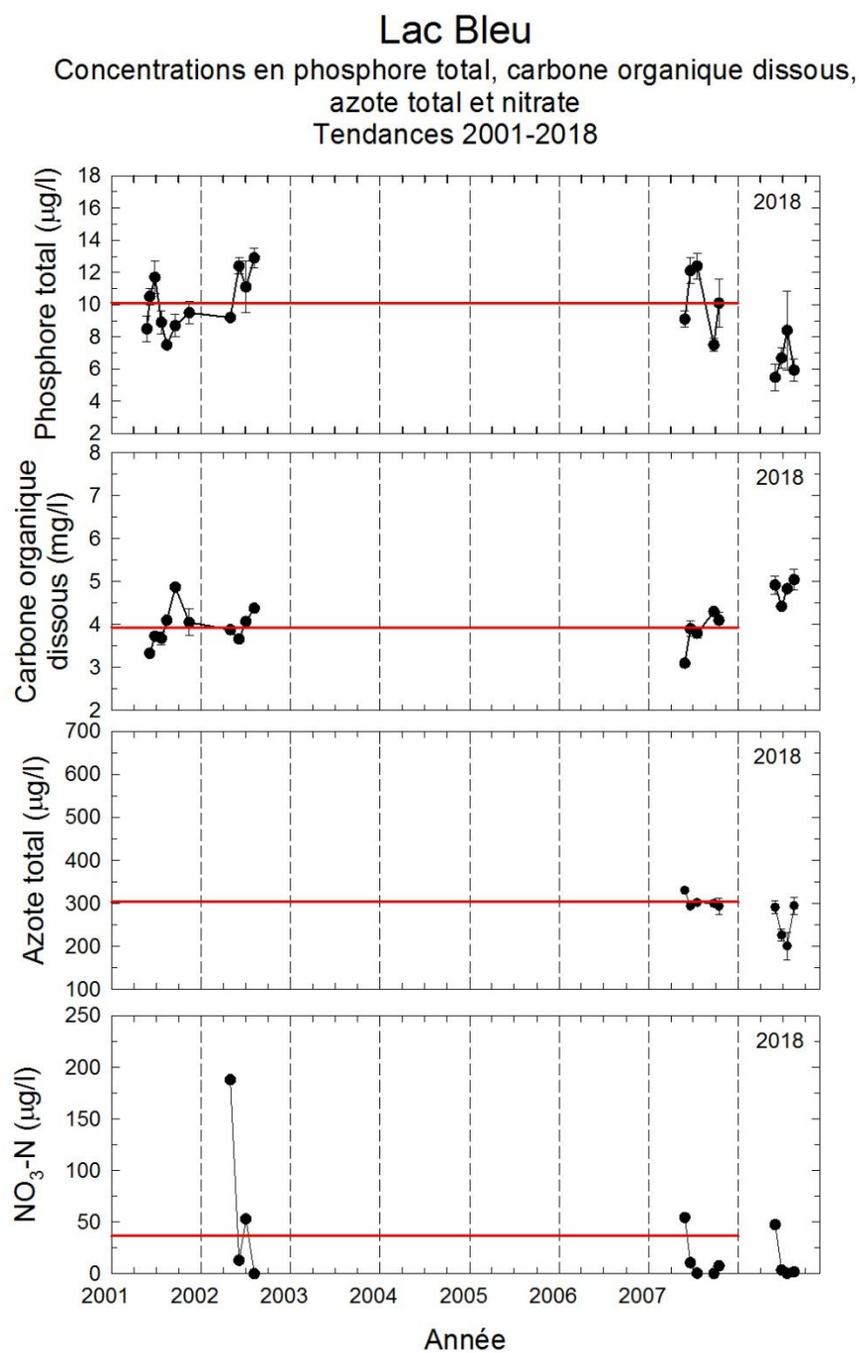


FIGURE 3. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Connelly. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

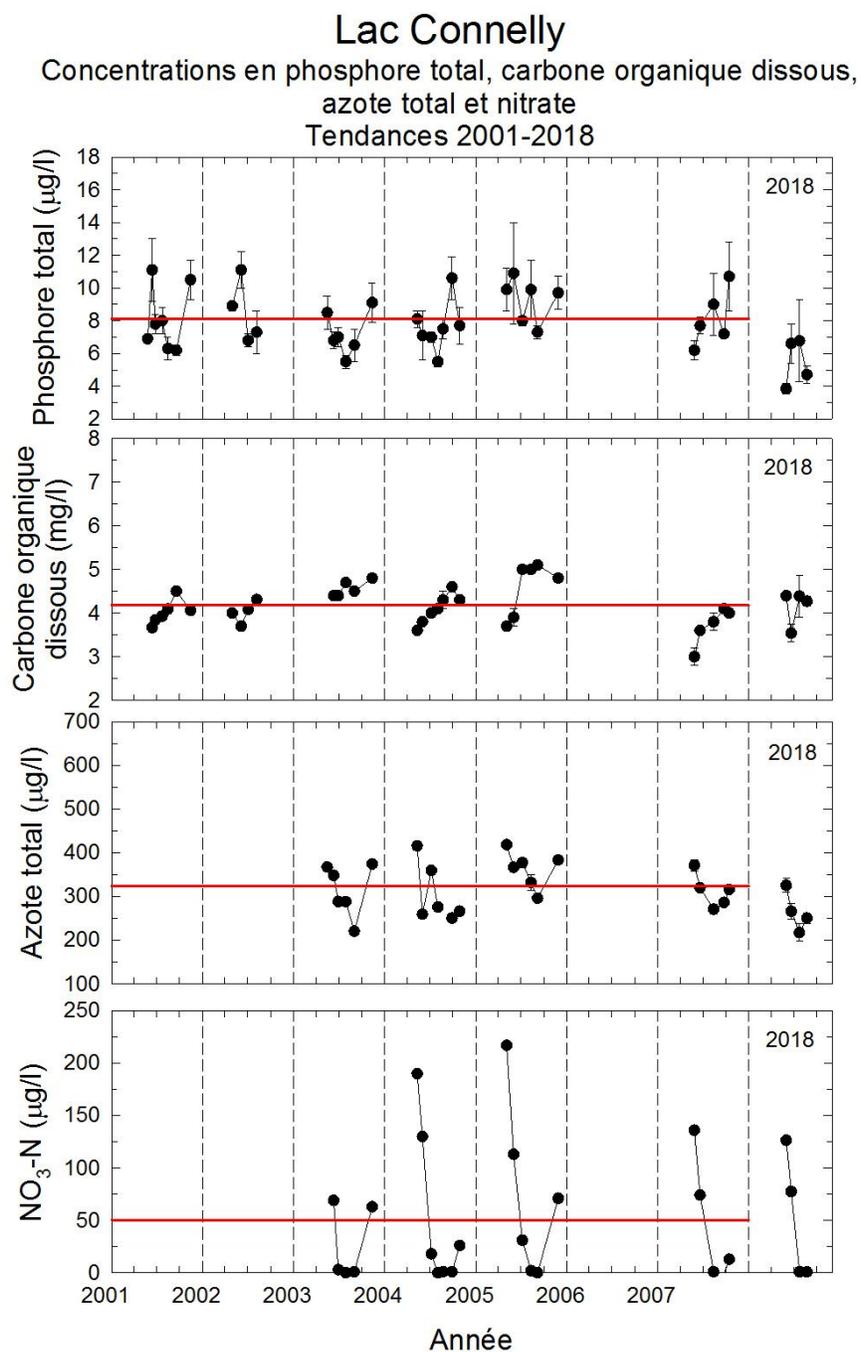


Figure 4. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Cornu. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

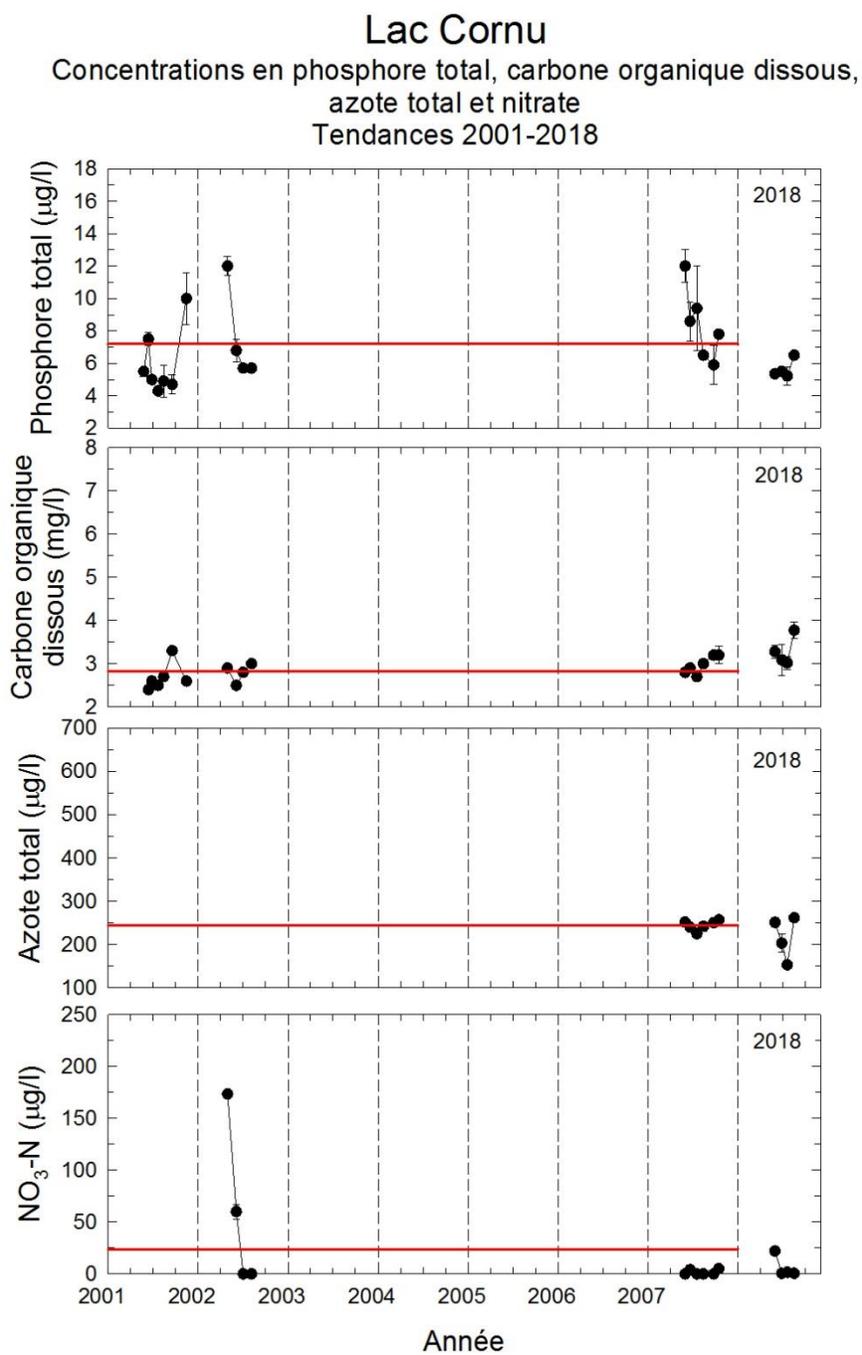


FIGURE 5. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Croche. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

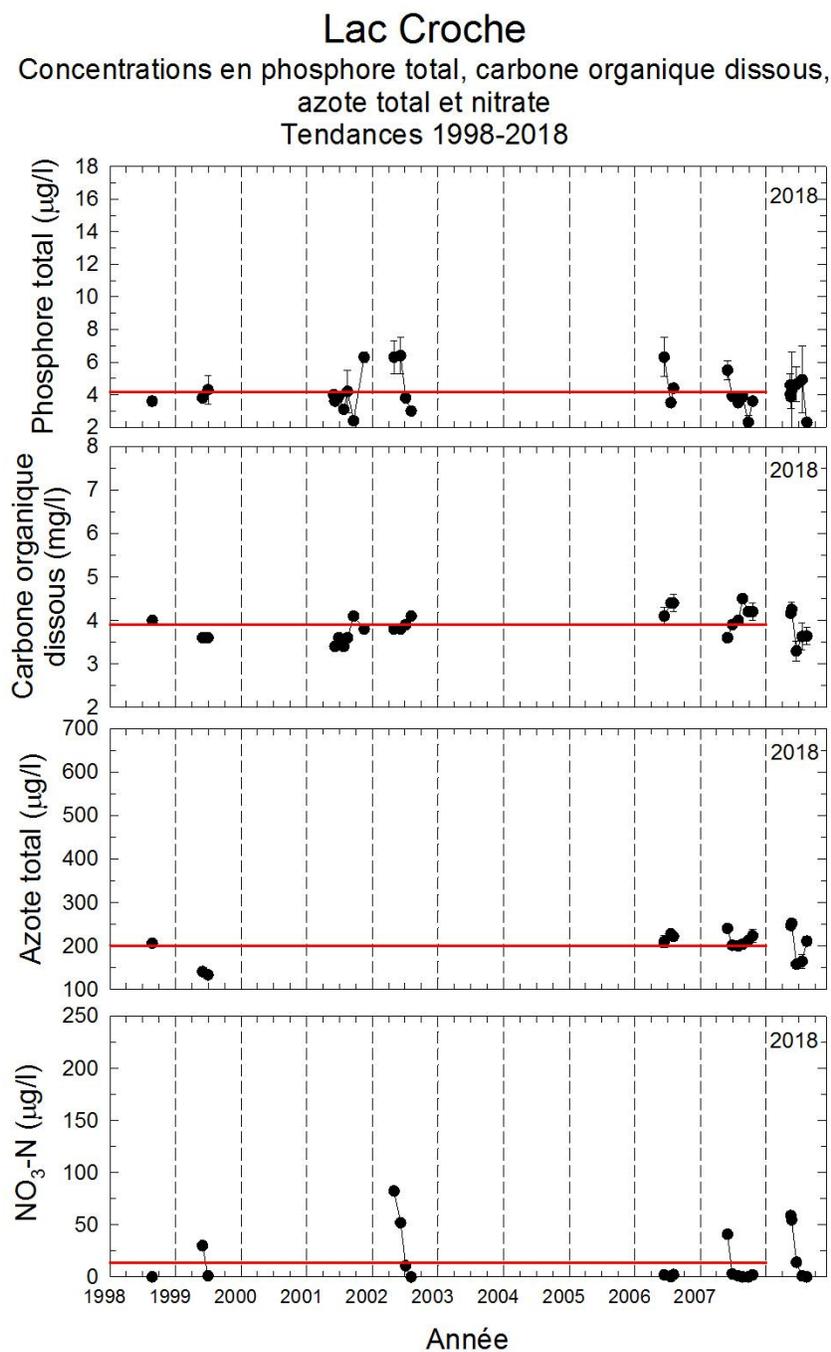


FIGURE 6. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Écho. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

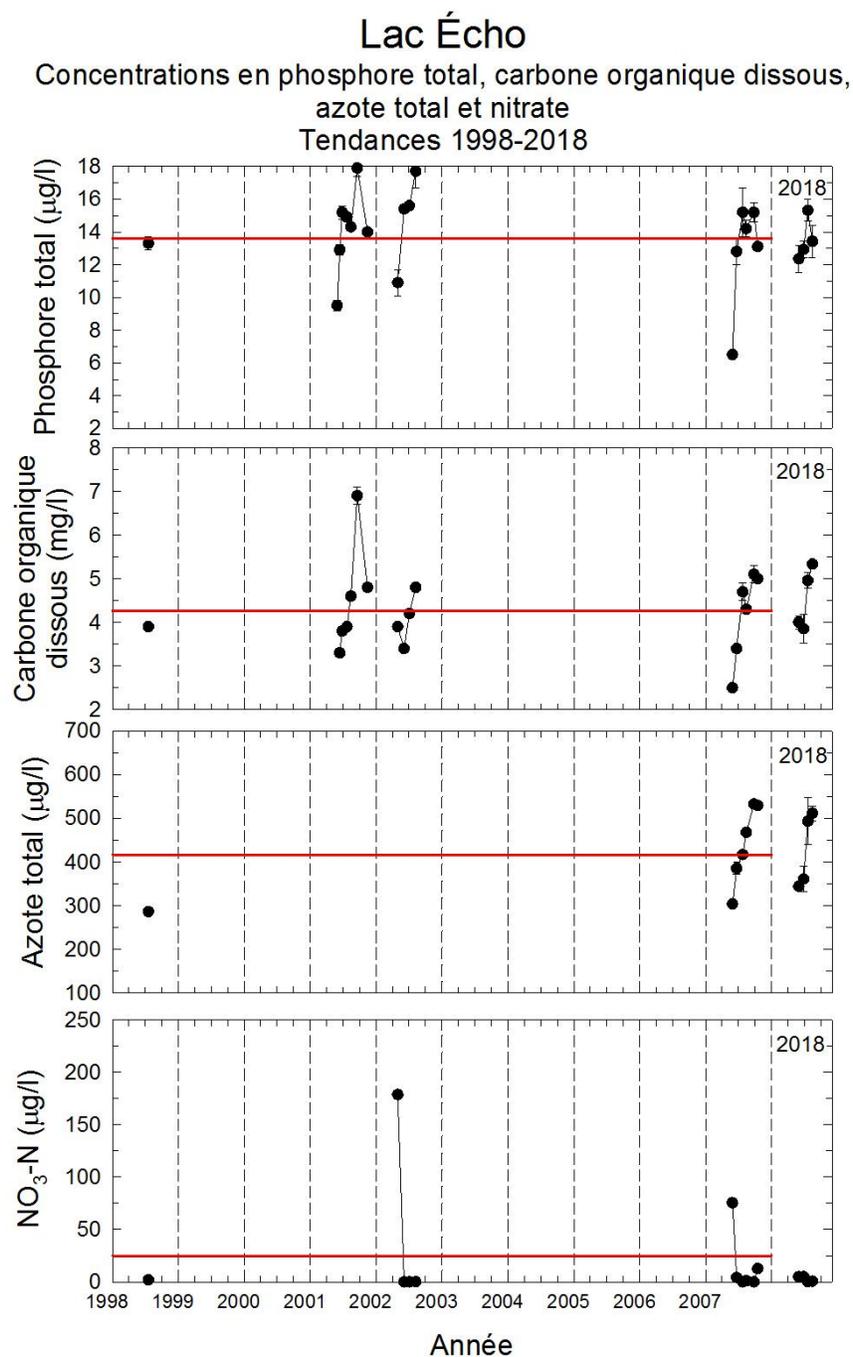


FIGURE 7. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac en Cœur. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

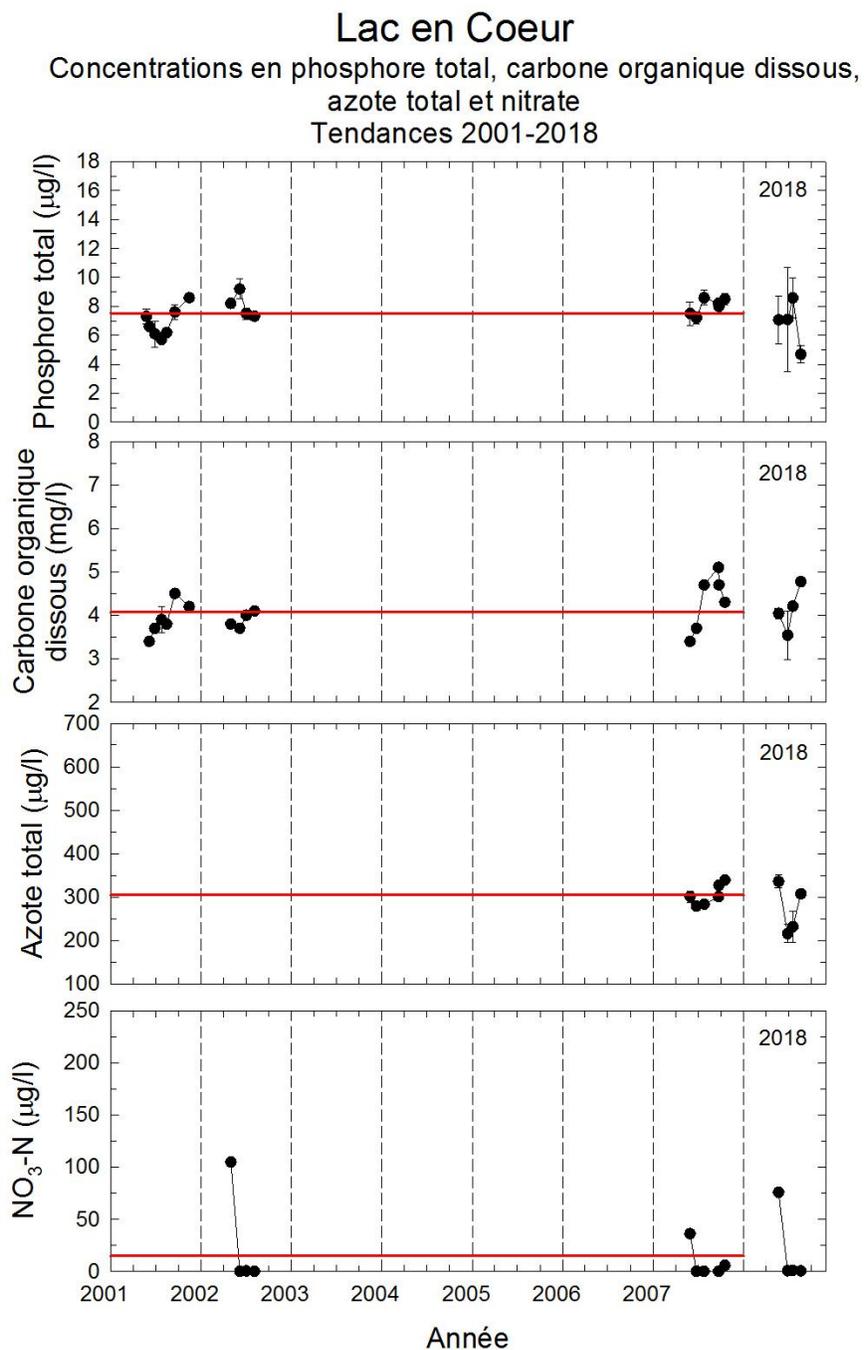


FIGURE 8. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Fournelle. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

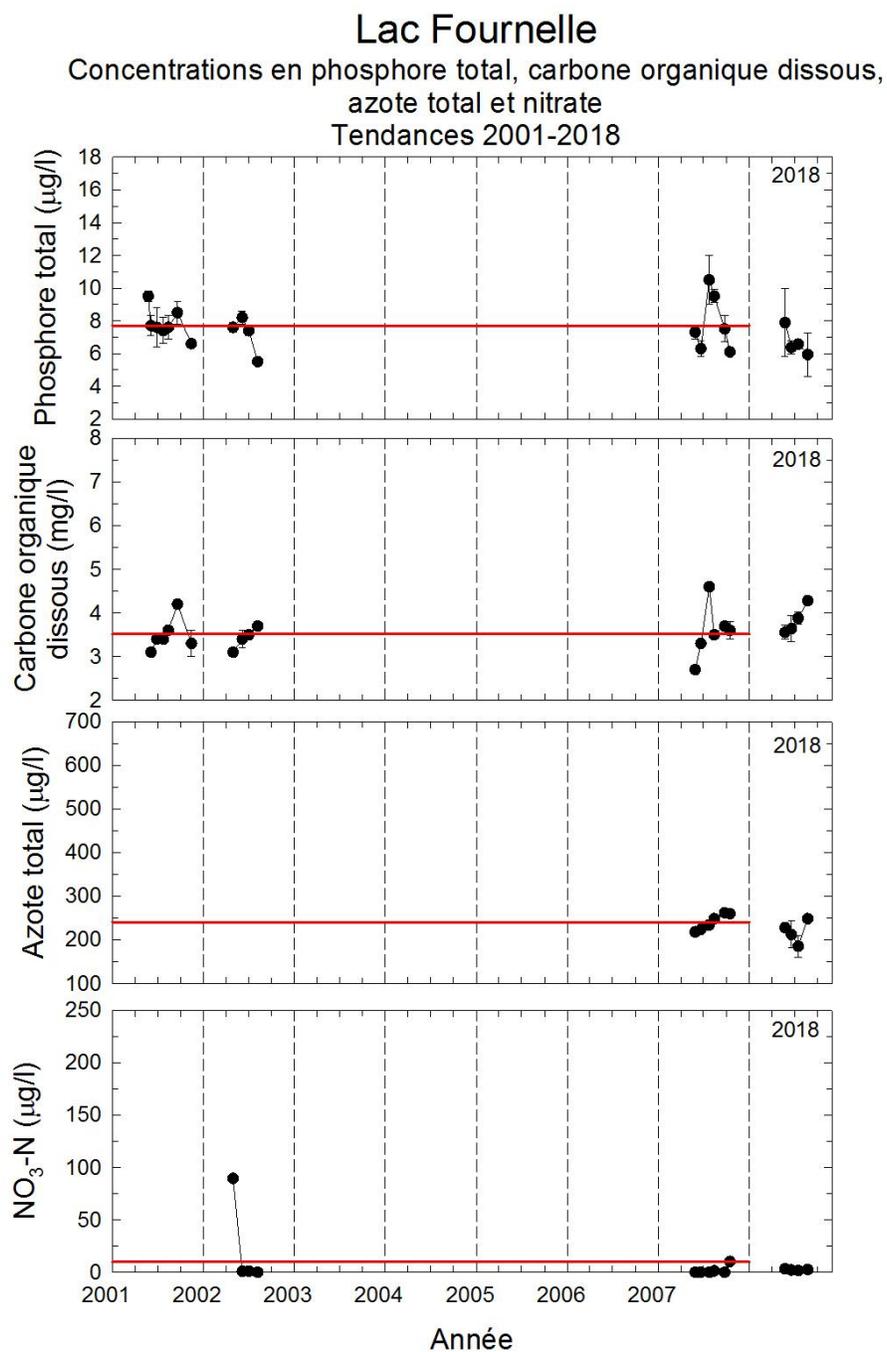


FIGURE 9. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Maillé. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

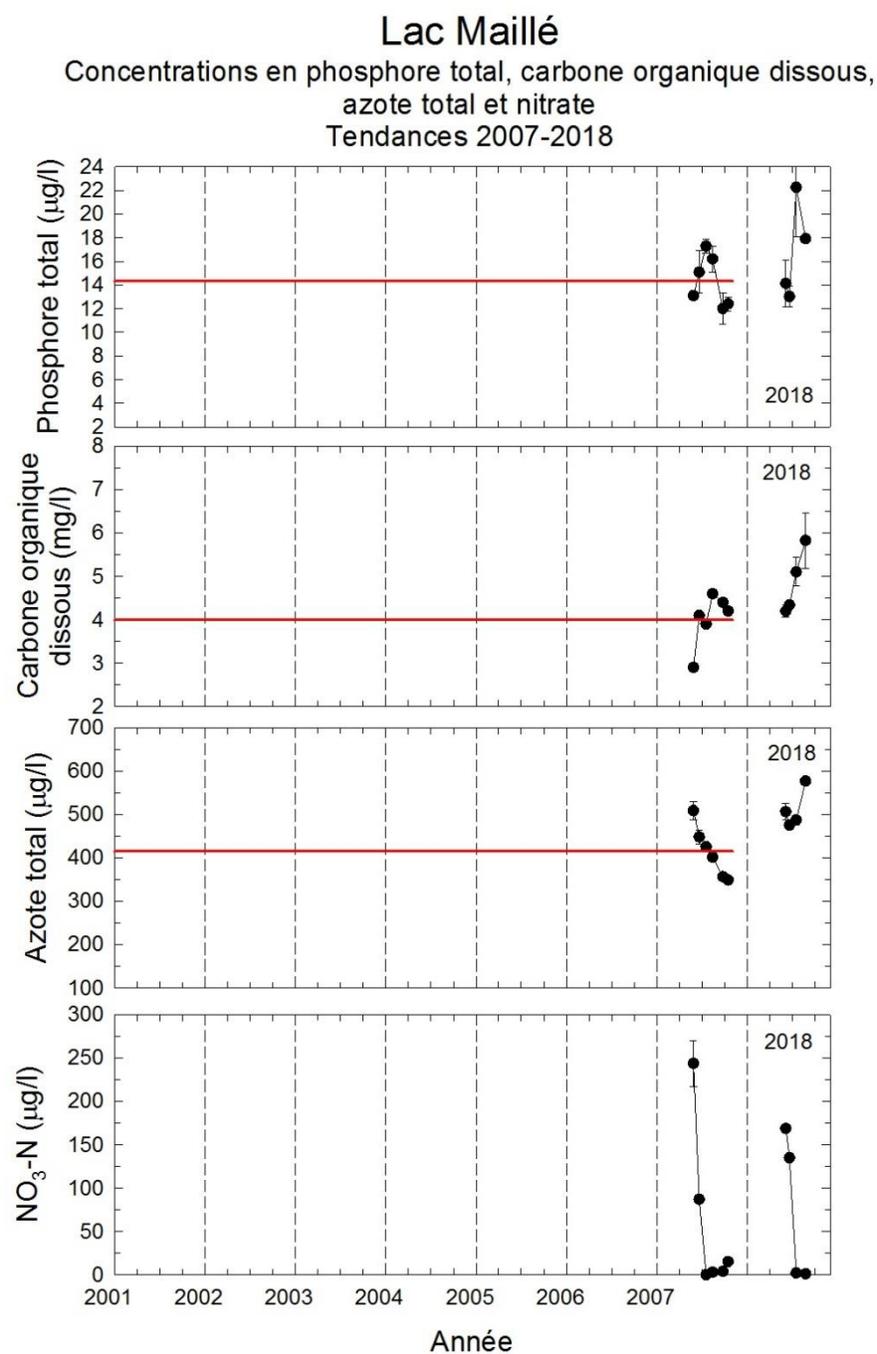


FIGURE 10. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Montaubois. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

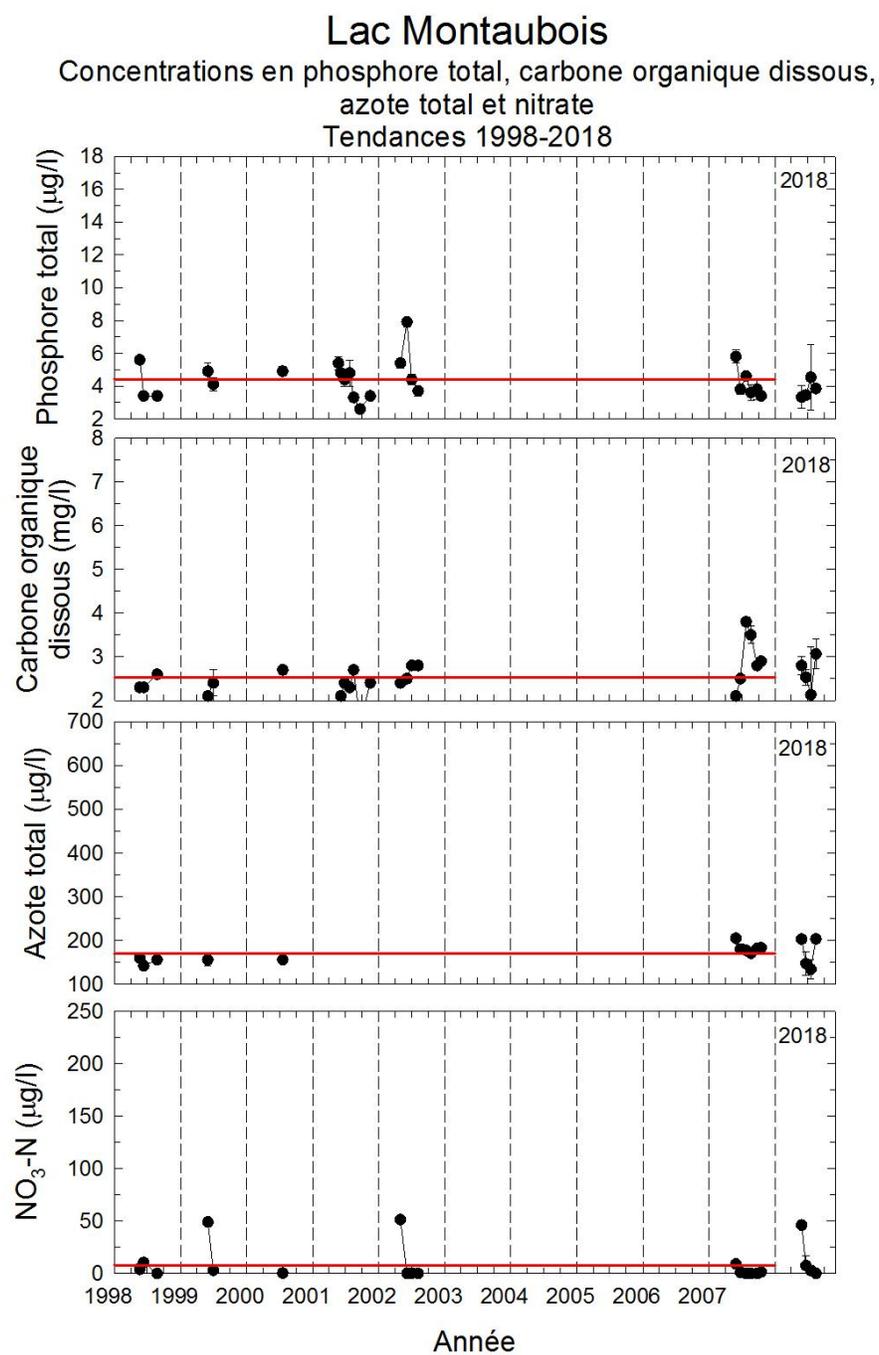


FIGURE 11. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Morency. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

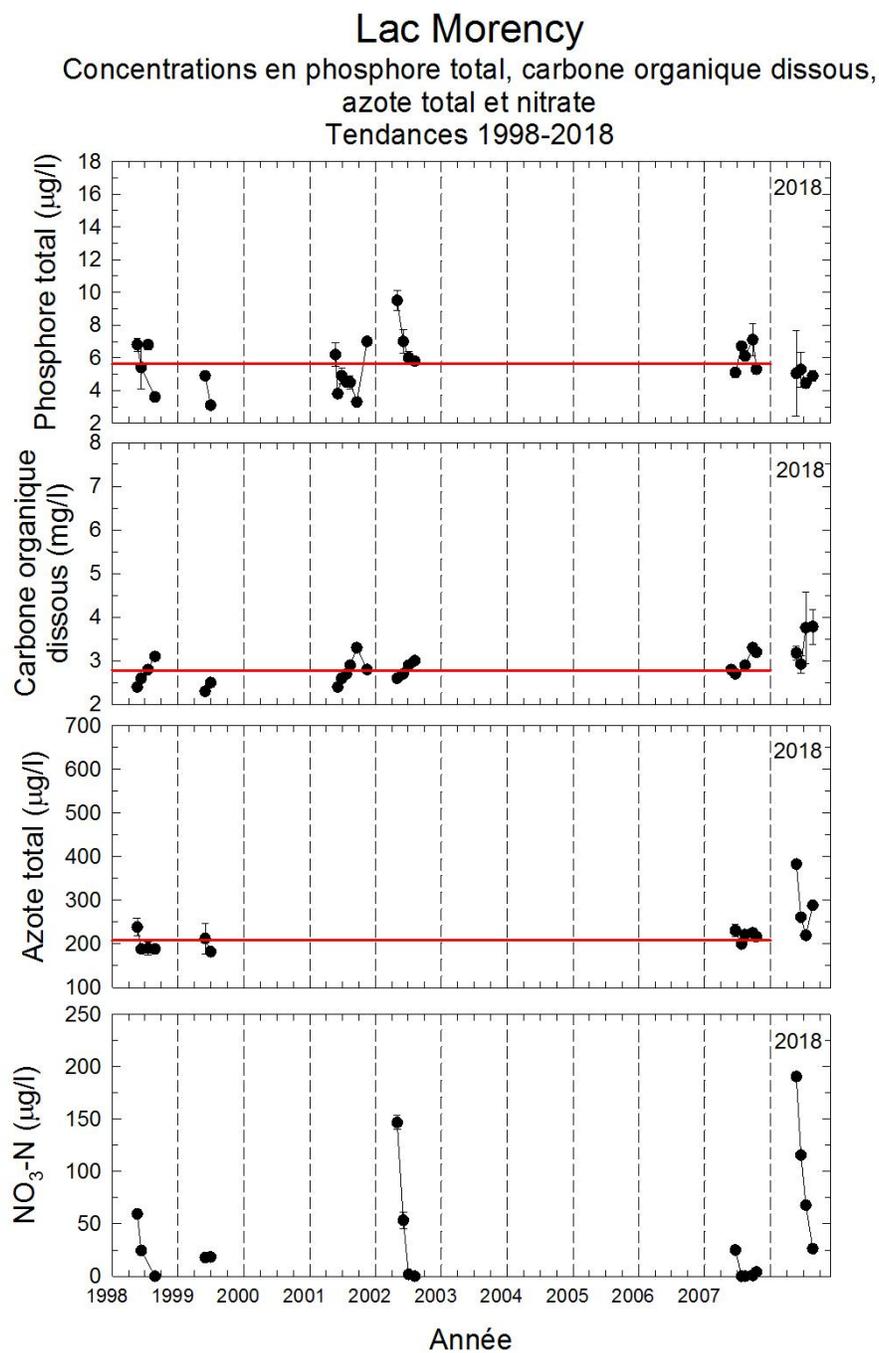


FIGURE 12. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac à l'Ours. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

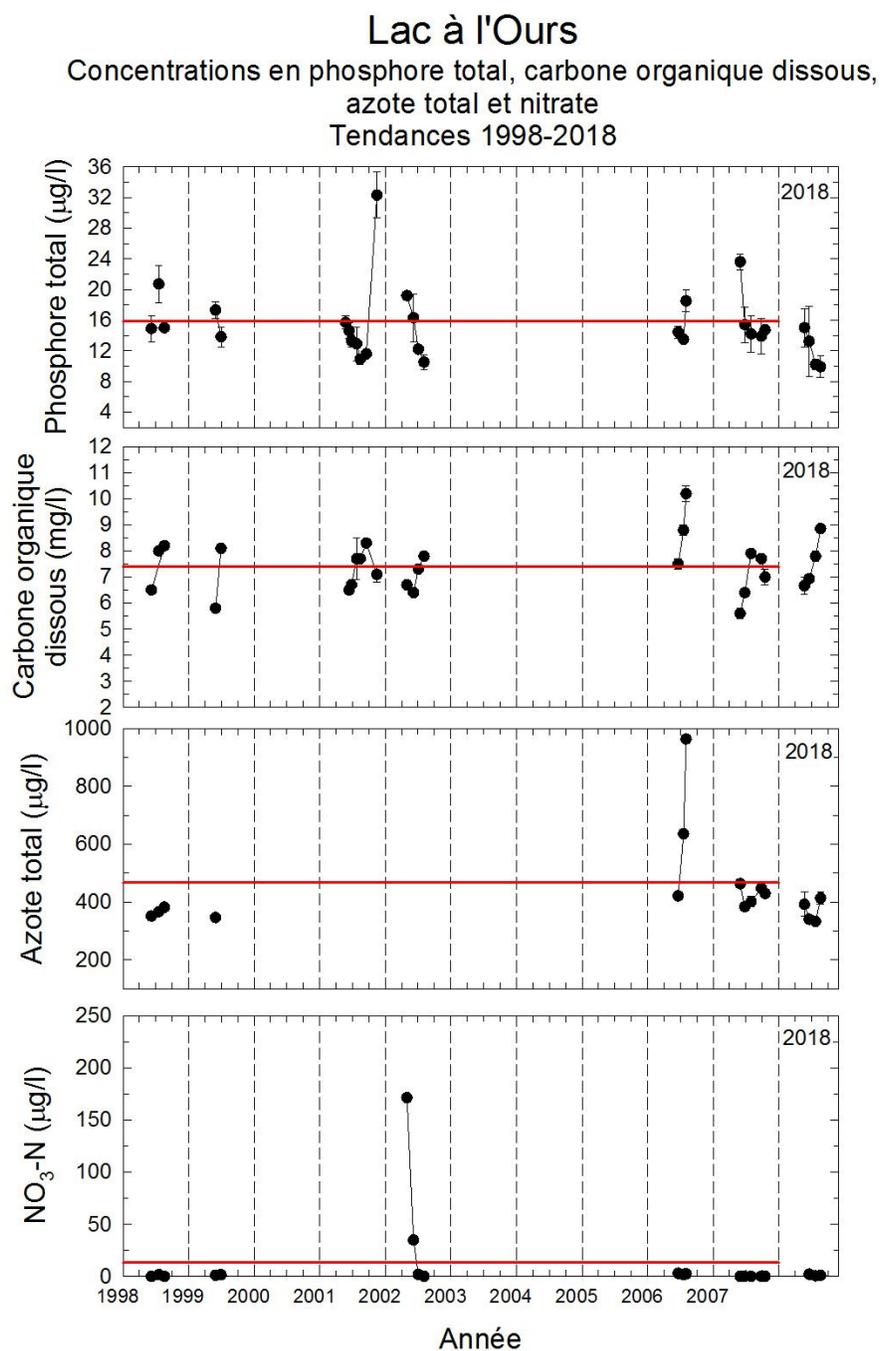


FIGURE 13. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac du Pin Rouge. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

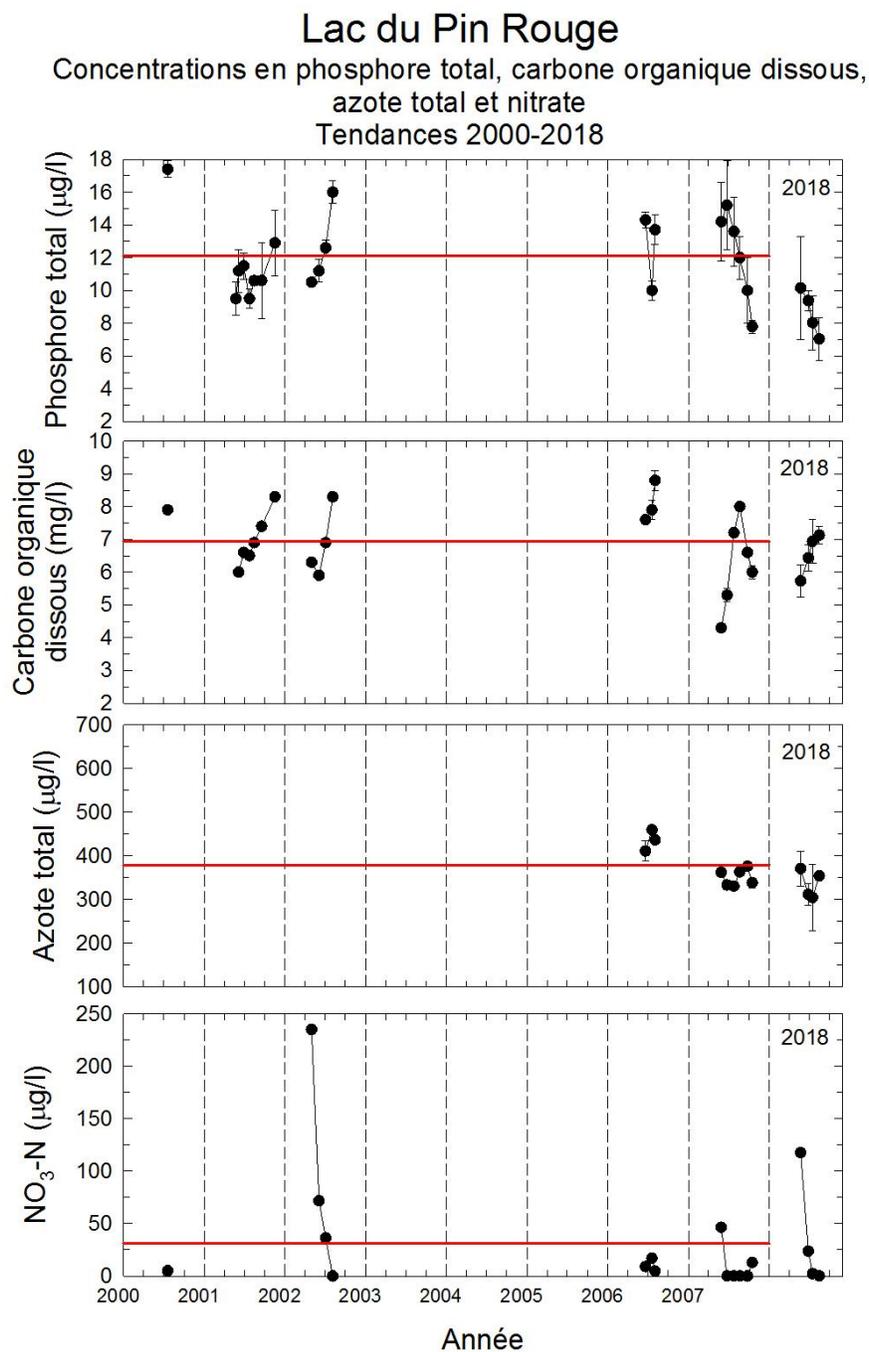


FIGURE 14. Concentrations en phosphore total, carbone organique dissous, azote total et nitrate observées depuis 2001 au lac Tracy. Les barres d'erreur indiquent \pm un écart-type à la moyenne de trois mesures indépendantes. La ligne rouge représente la moyenne de toutes les observations réalisées entre 2001 et 2007.

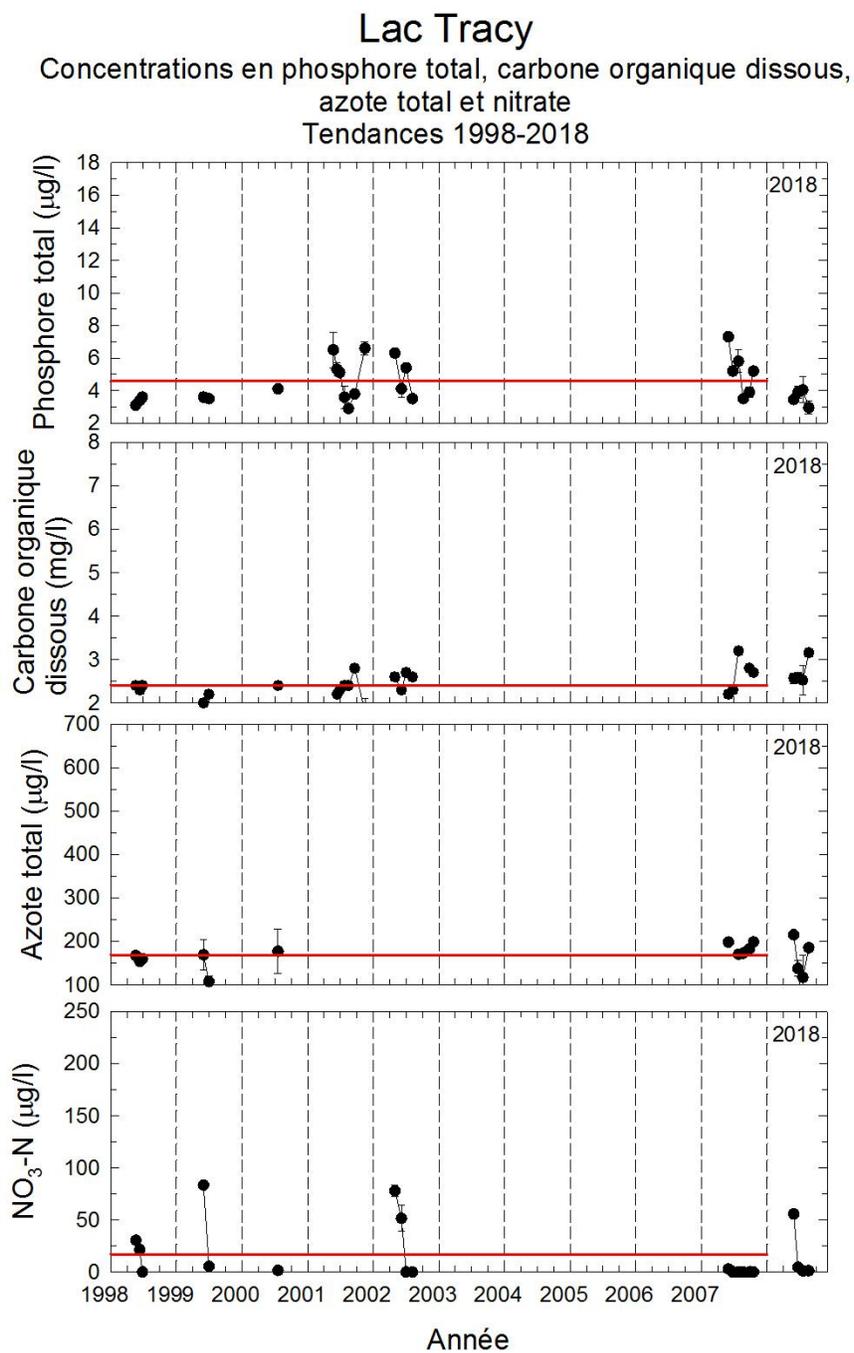


FIGURE 15. Haut : Débit mensuel médian à la station 040122 de la rivière du Nord à Sainte-Agathe-des-Monts entre janvier 2001 et août 2018. Les lignes pointillées indiquent le 1^{er} janvier de chaque année. Bas : Débit mensuel moyen \pm un écart-type durant l'intervalle 2000-2017 (courbe noire) et débit mensuel moyen pour les 7 premiers mois de 2018 (courbe rouge). Ces graphiques montrent que l'écoulement mensuel des bassins versants de la région a été exceptionnellement faible et n'a pas connu de crue printanière usuelle en 2018. Source des données : Centre d'expertise hydrique du Québec http://www.cehq.gouv.qc.ca/depot/historique_donnees/fichier/040122.

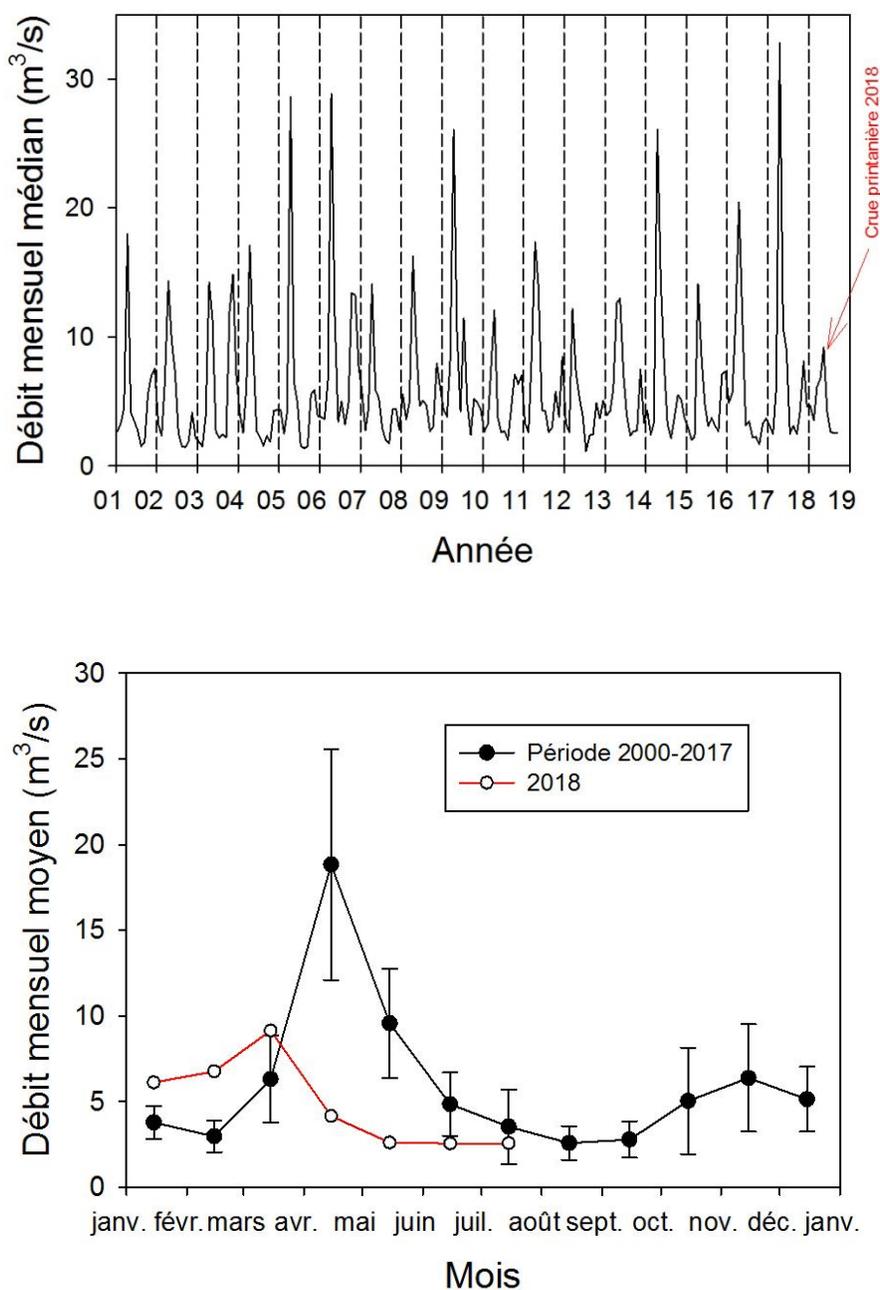


FIGURE 16. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac à de l'Achigan, station 1, en 2018.

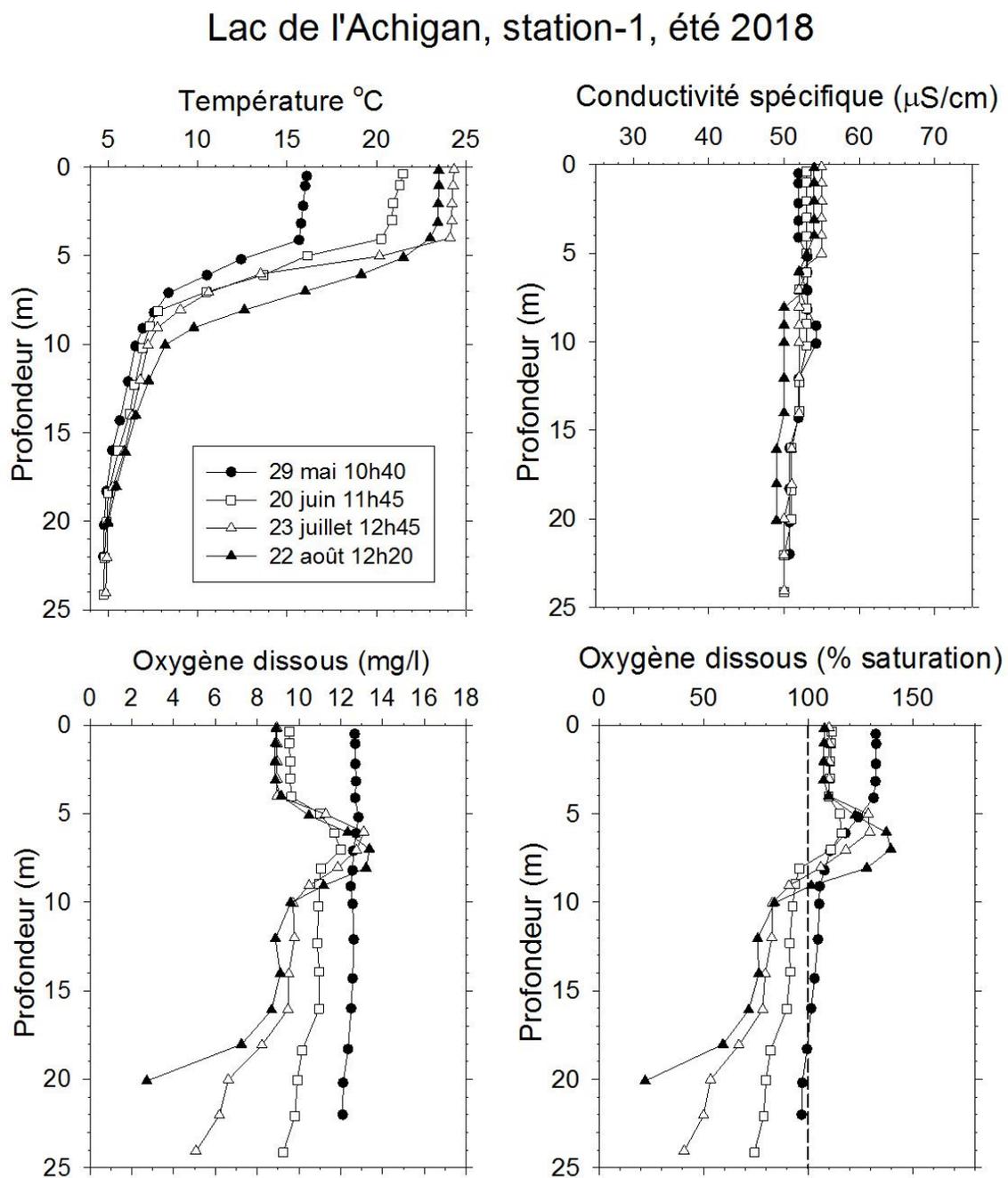


FIGURE 17. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac à de l'Achigan, station 2, en 2018.

Lac de l'Achigan, station-2, été 2018

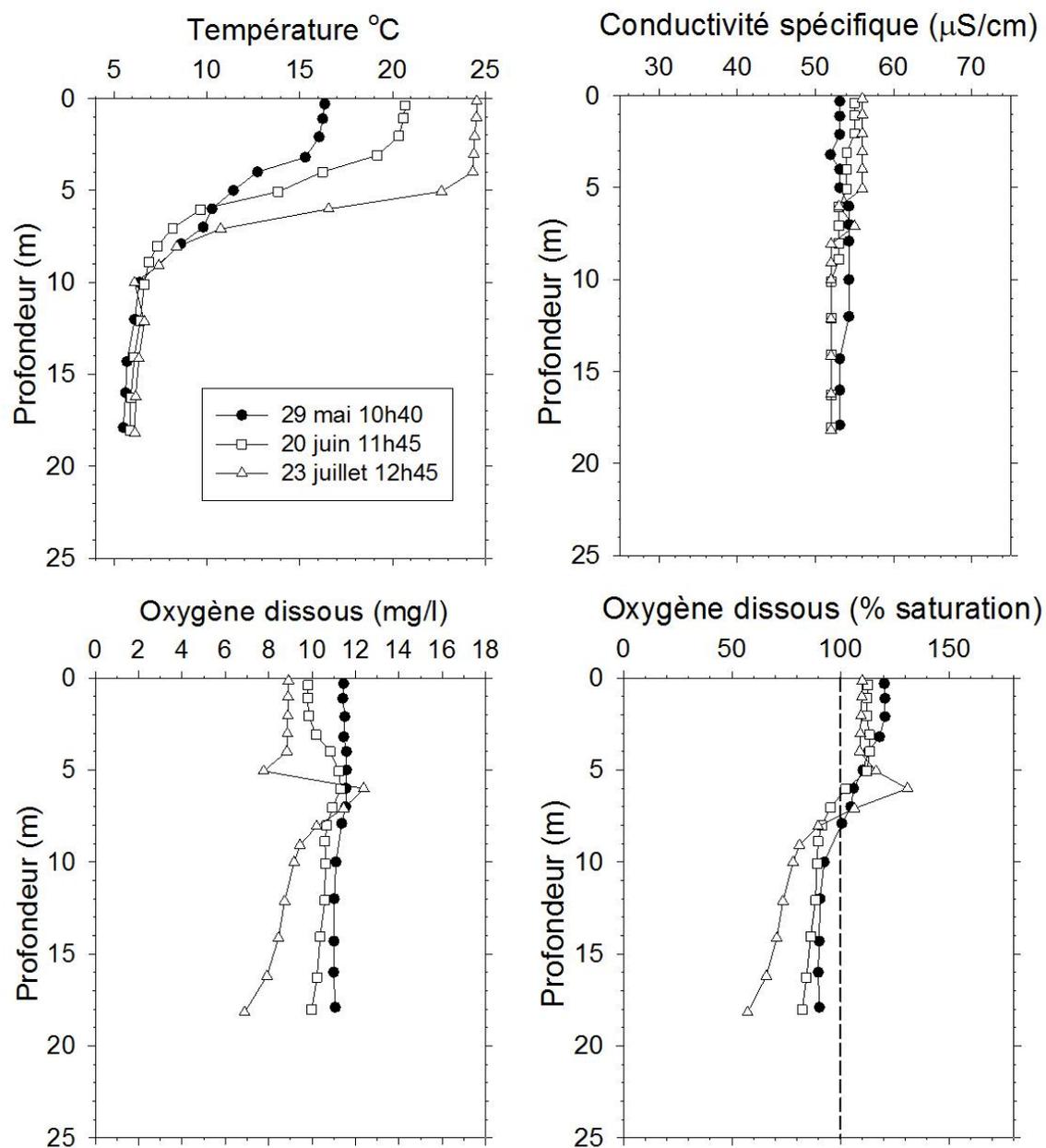


FIGURE 18. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Bleu en 2018.

Lac Bleu, été 2018

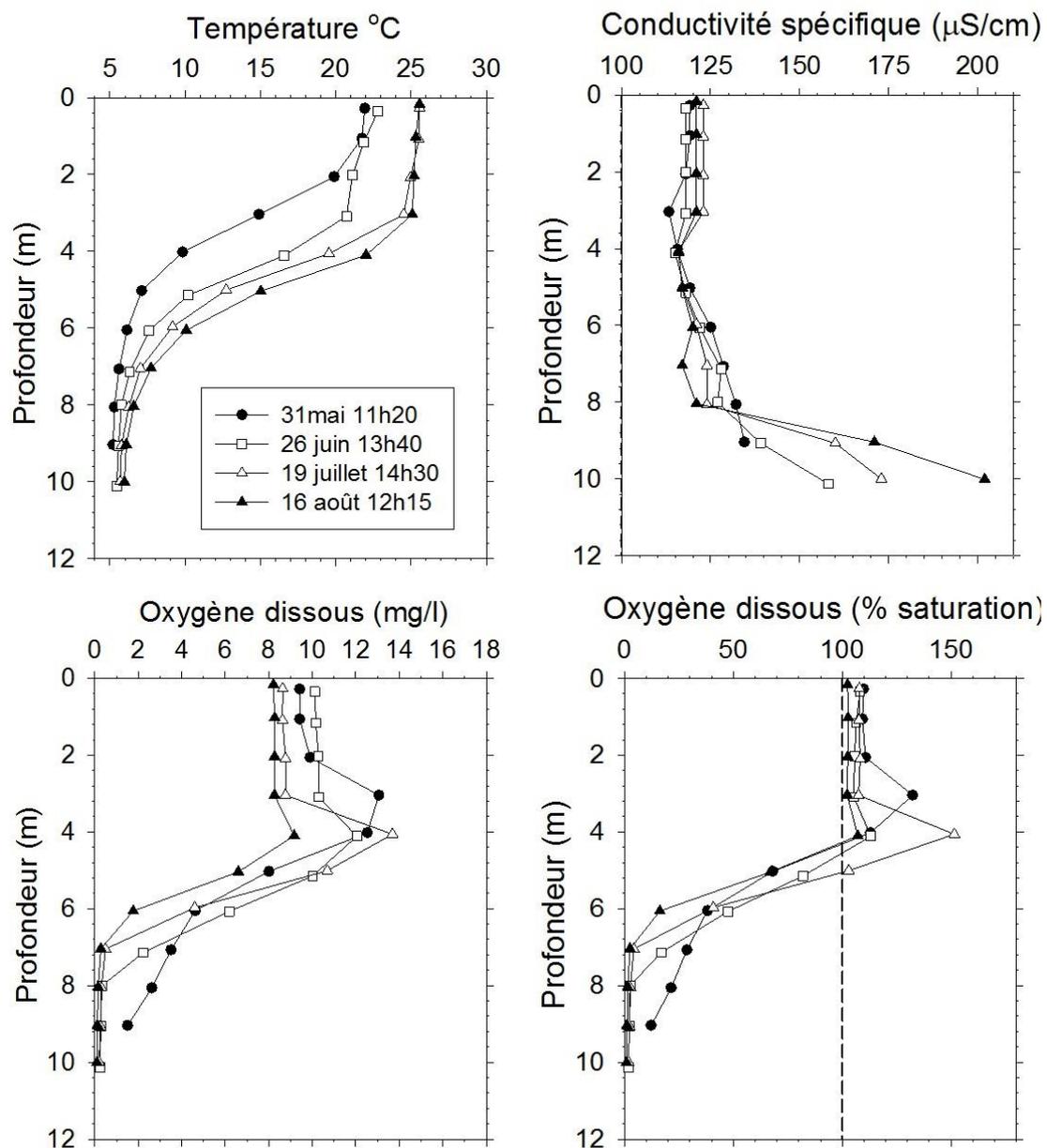


FIGURE 19. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Connelly en 2018.

Lac Connelly, été 2018

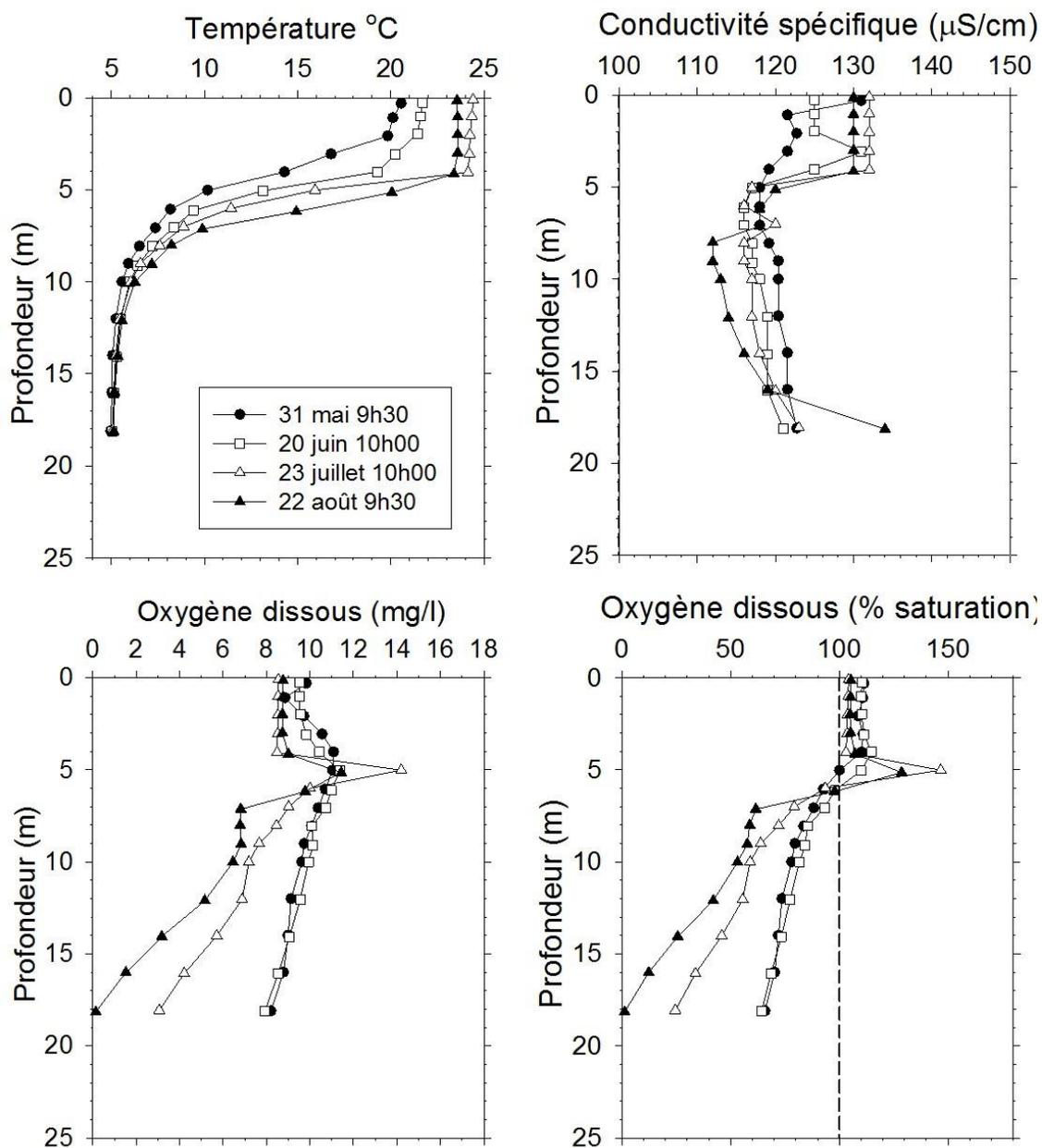


FIGURE 20. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Cornu en 2018.

Lac Cornu, été 2018

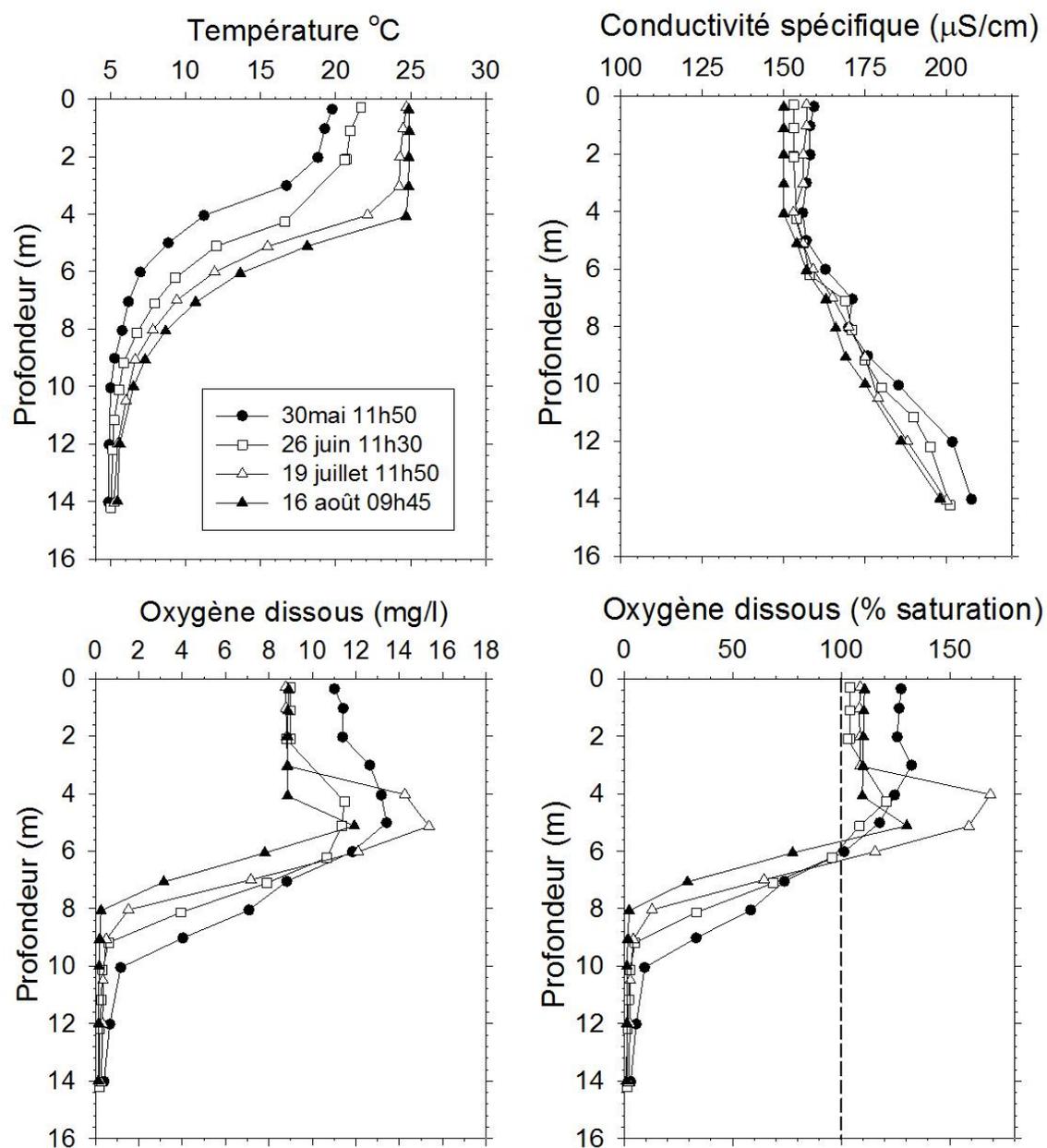


FIGURE 21. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Croche en 2018.

Lac Croche, été 2018

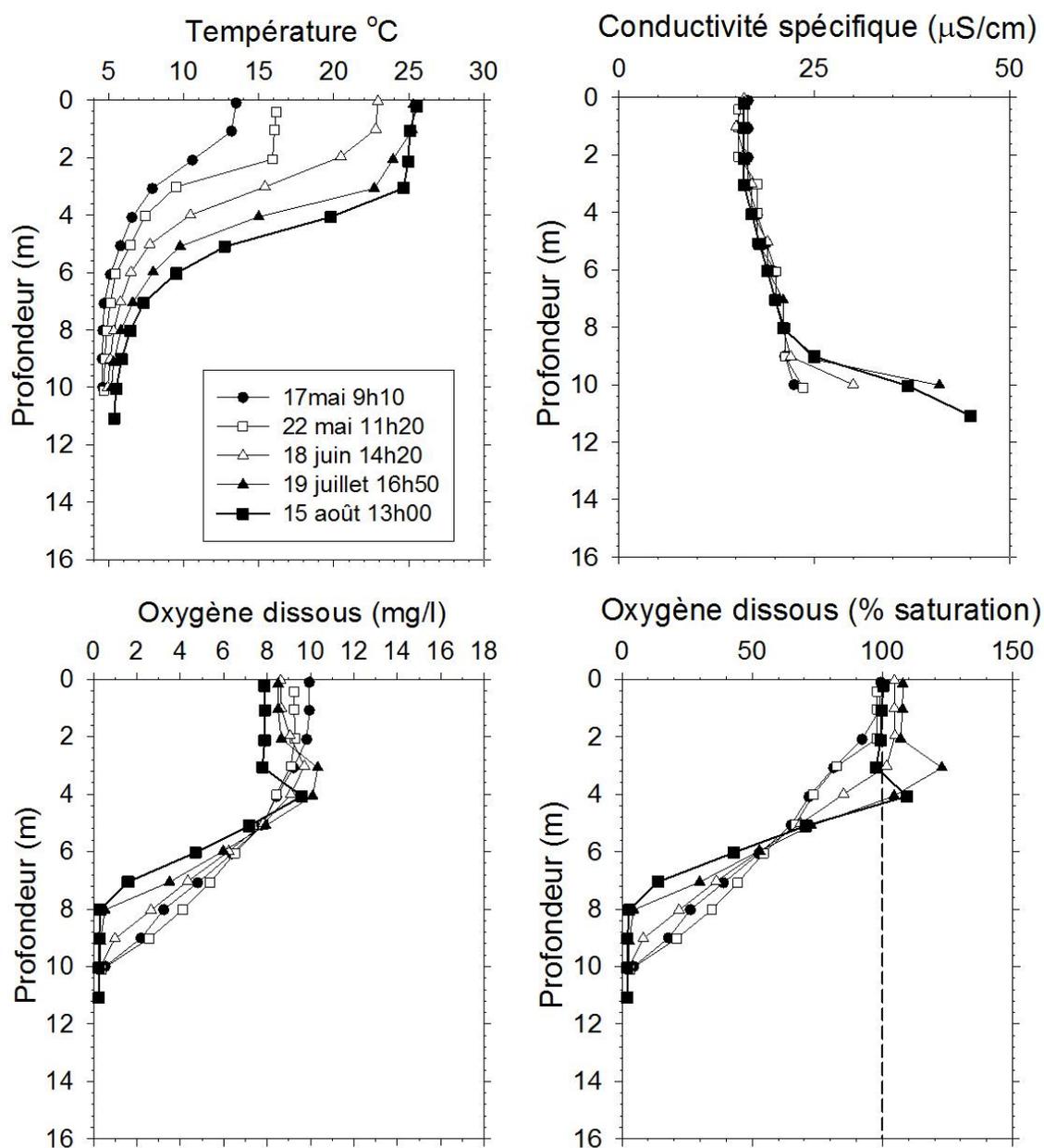


FIGURE 22. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Écho en 2018.

Lac Écho, été 2018

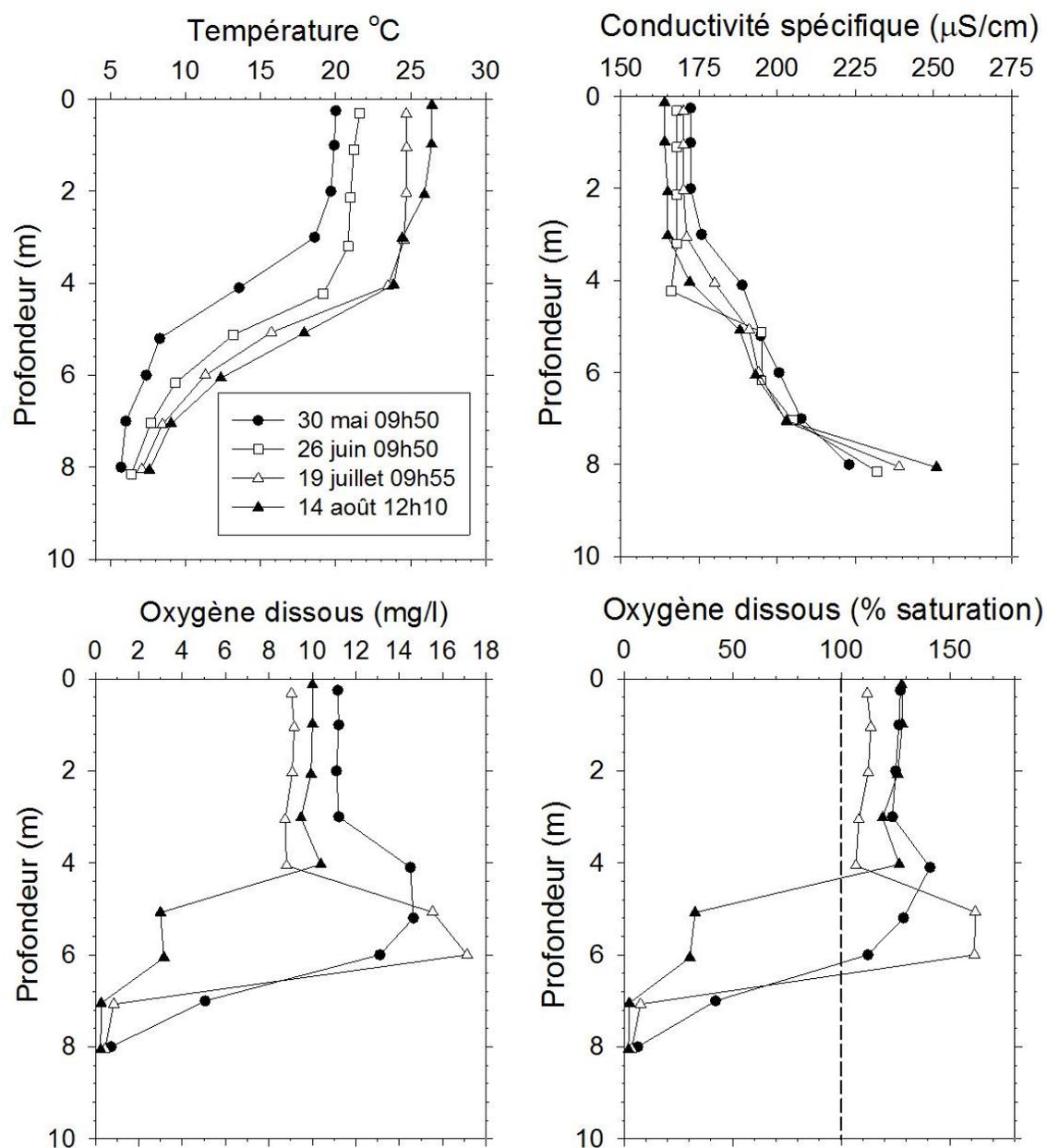


FIGURE 23. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac en Cœur en 2018.

Lac en Coeur, été 2018

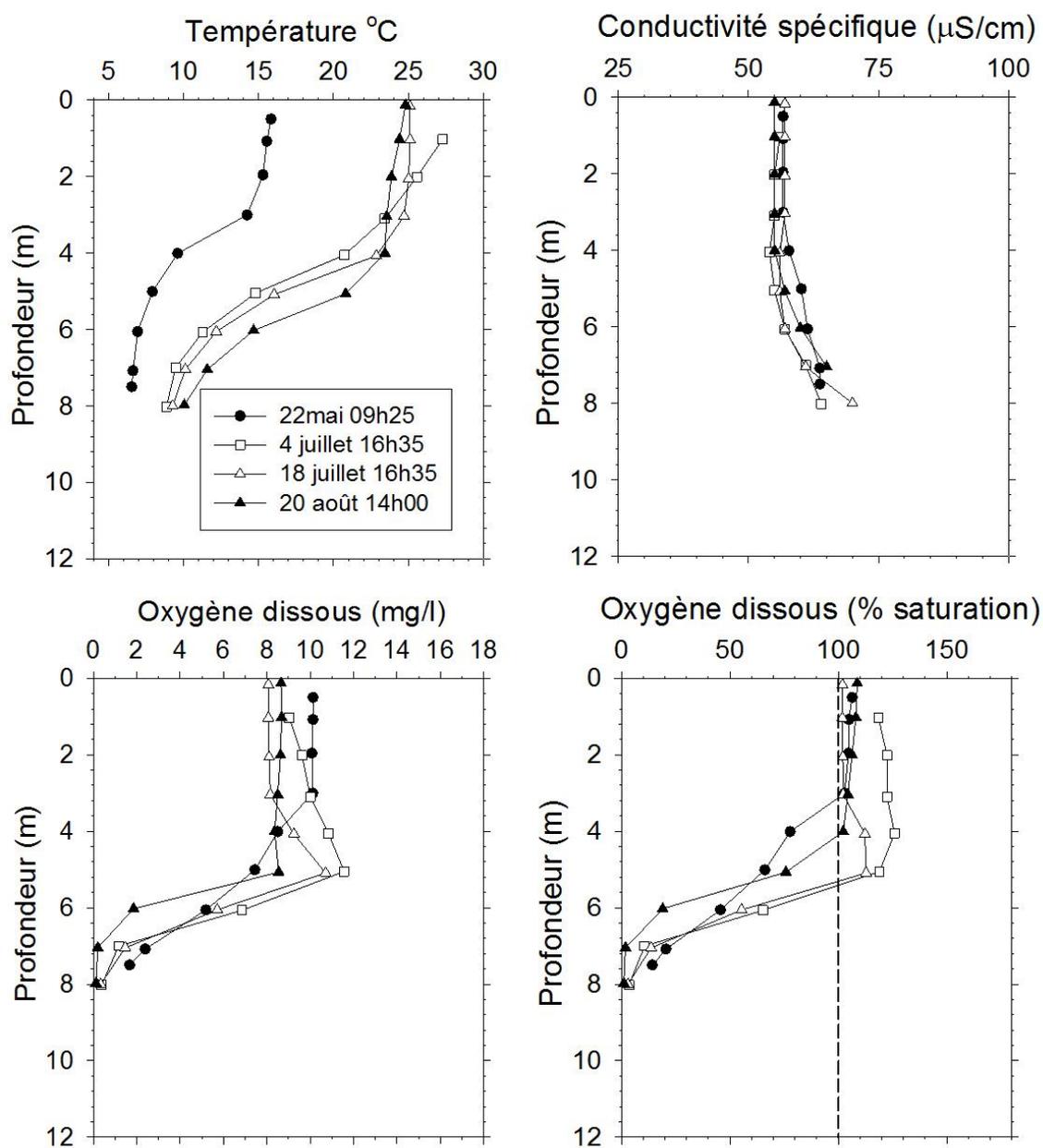


FIGURE 24. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Fournelle en 2018.

Lac Fournelle, été 2018

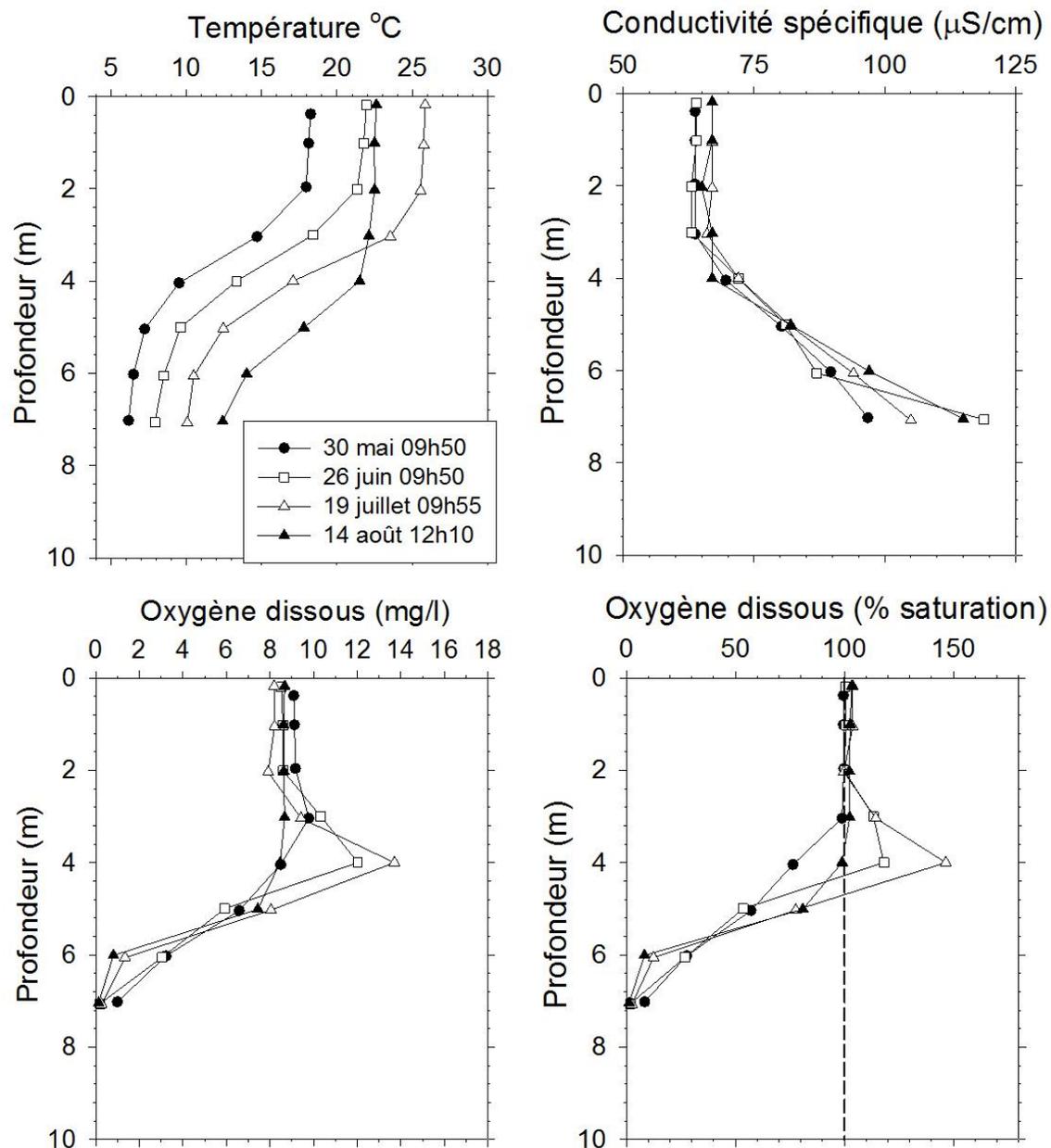


FIGURE 25. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Maillé en 2018.

Lac Maillé, été 2018

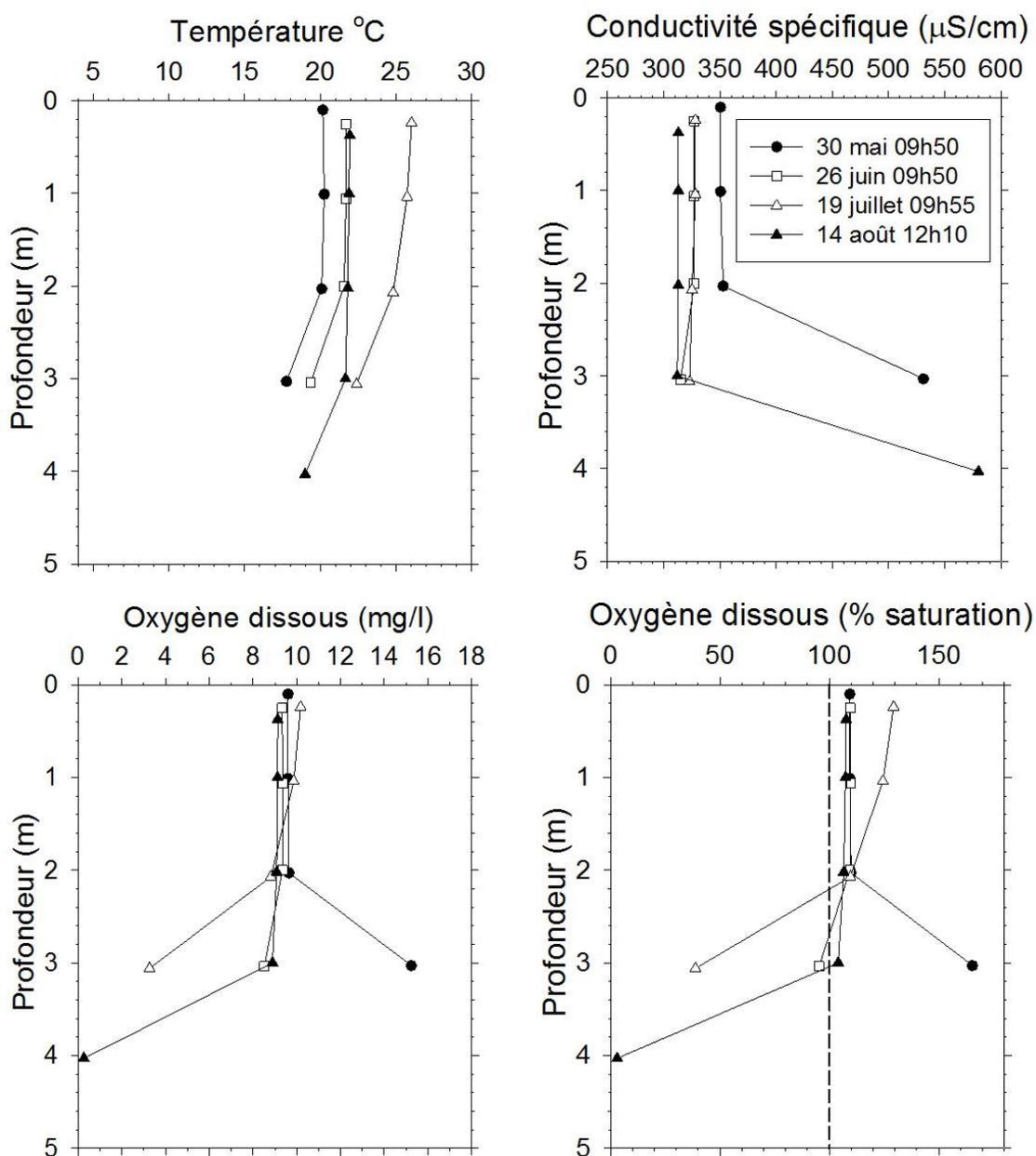


FIGURE 26. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Montaubois en 2018.

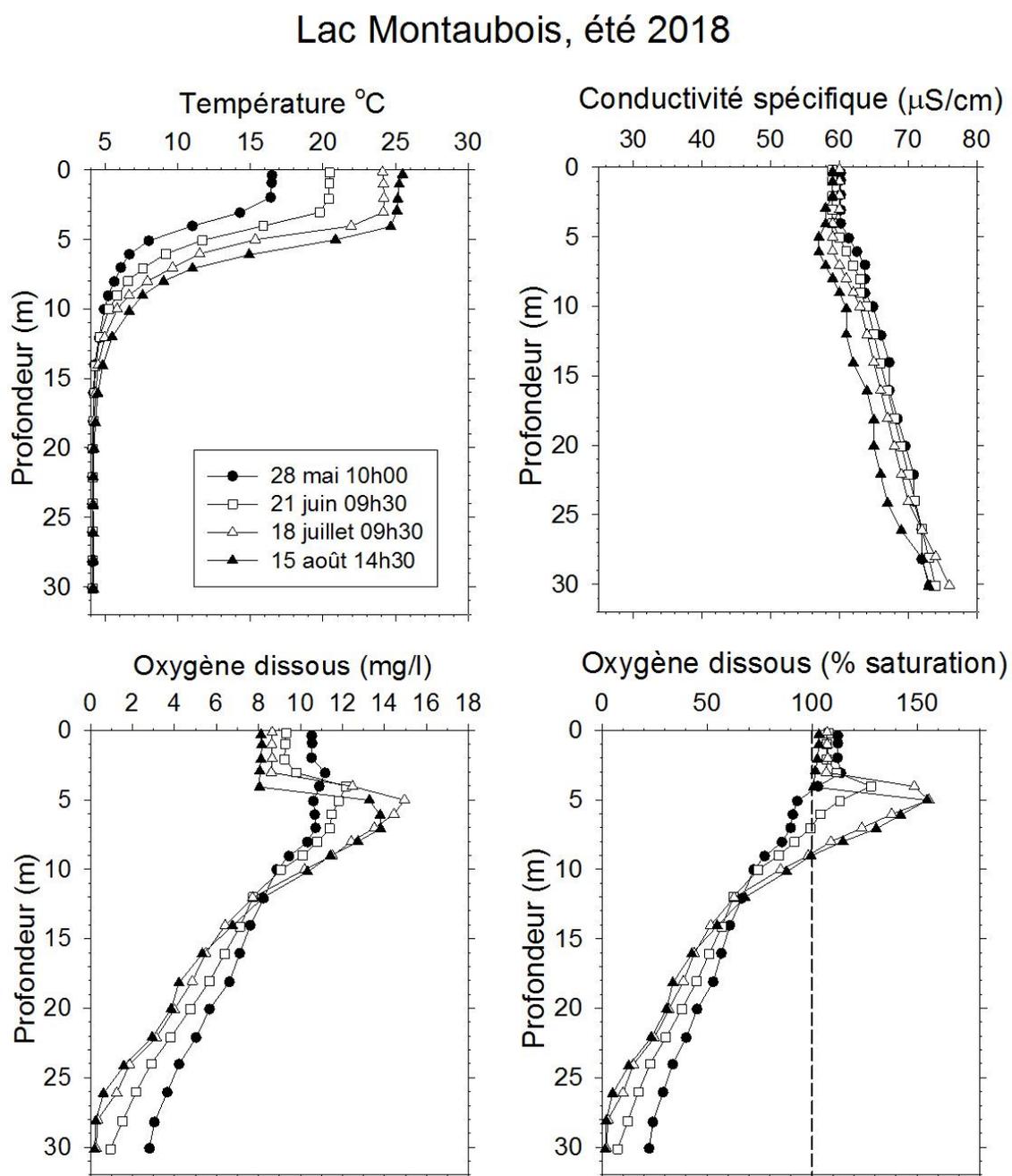


FIGURE 27. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Morency en 2018.

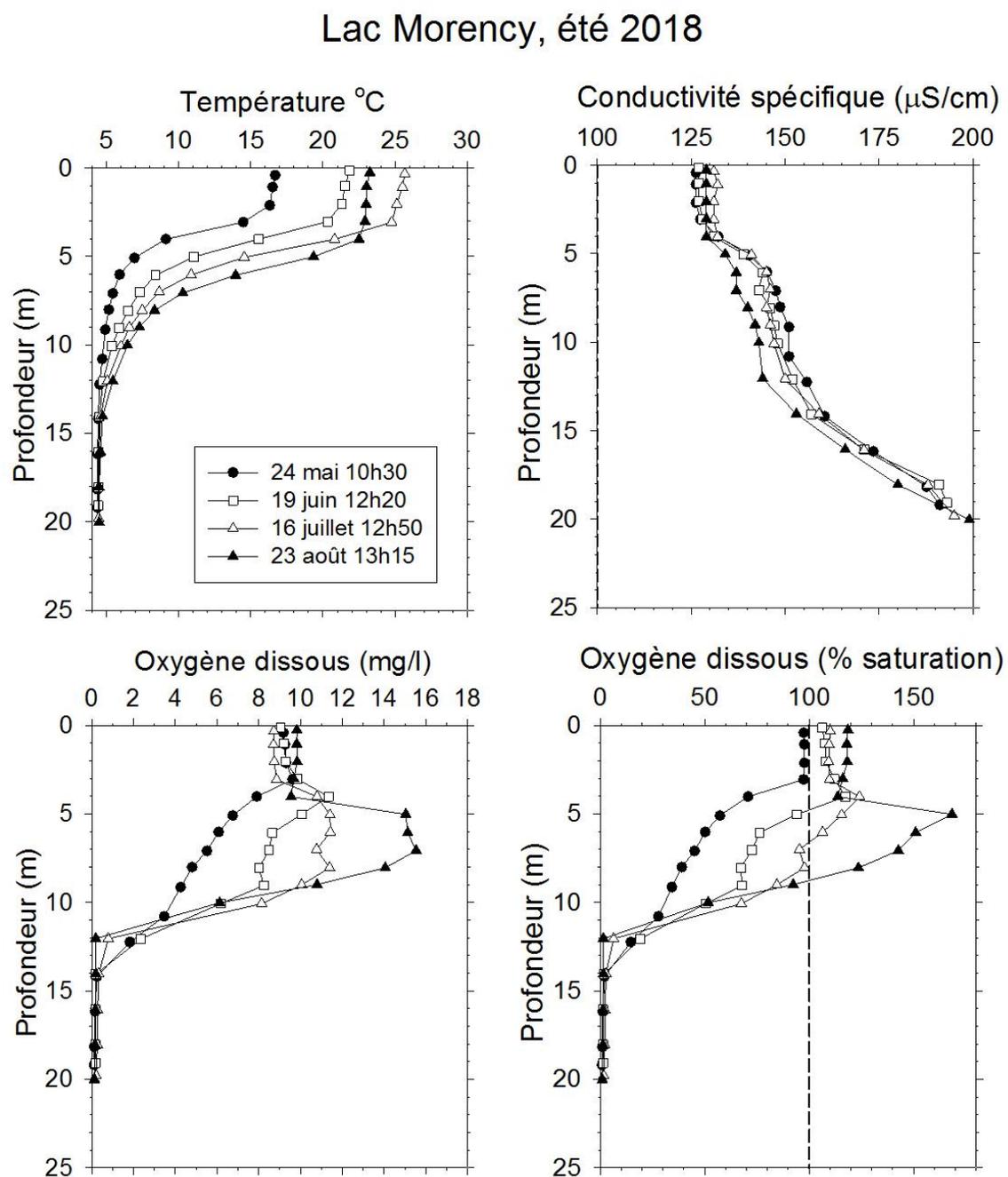


FIGURE 28. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac à l'Ours en 2018.

Lac à l'Ours, été 2018

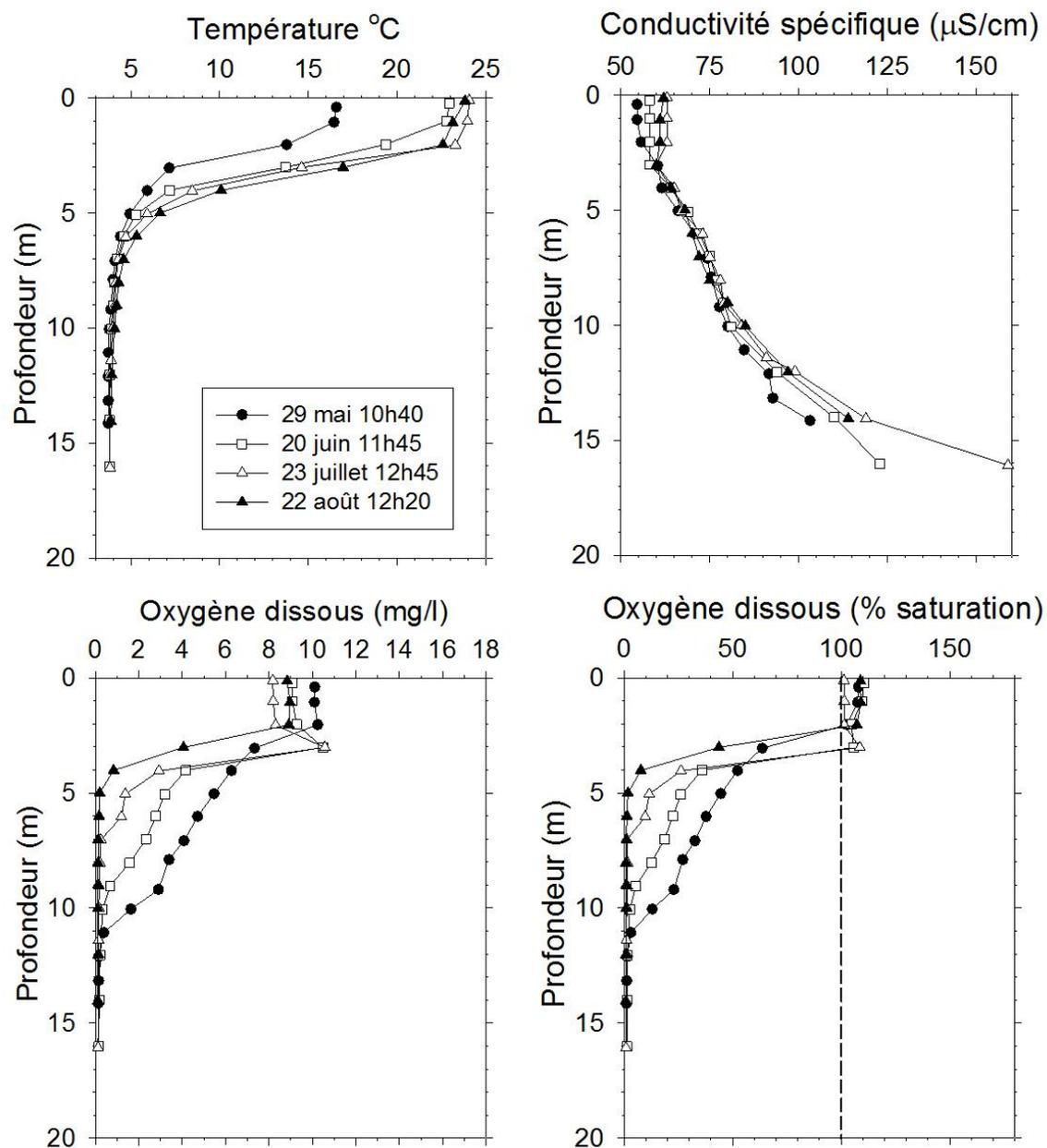


FIGURE 29. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac du Pin Rouge en 2018.

Lac du Pin Rouge, été 2018

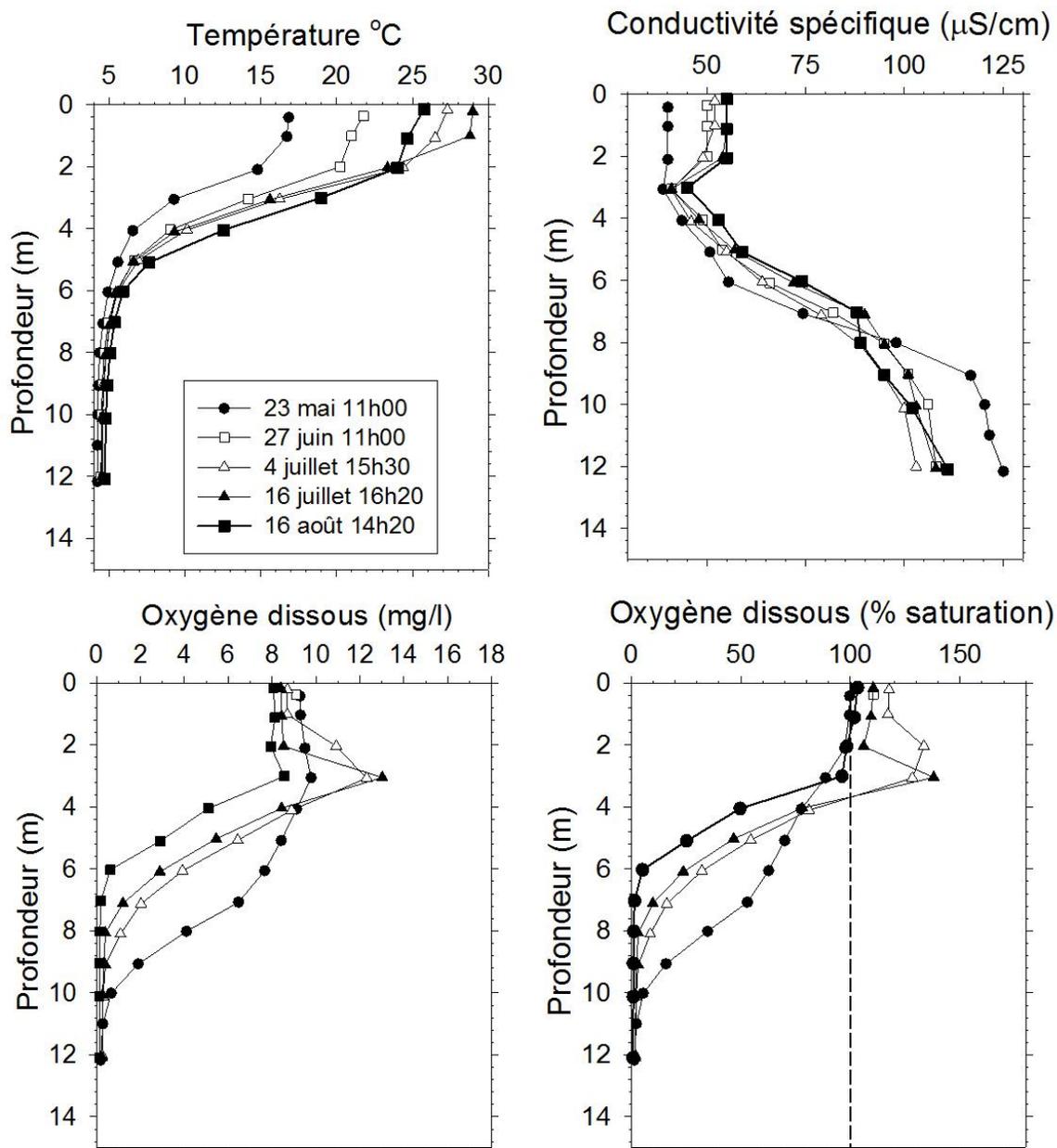


FIGURE 30. Évolution de la température et de l'oxygène dissous au lac Tracy en 2018.

Lac Tracy, été 2018

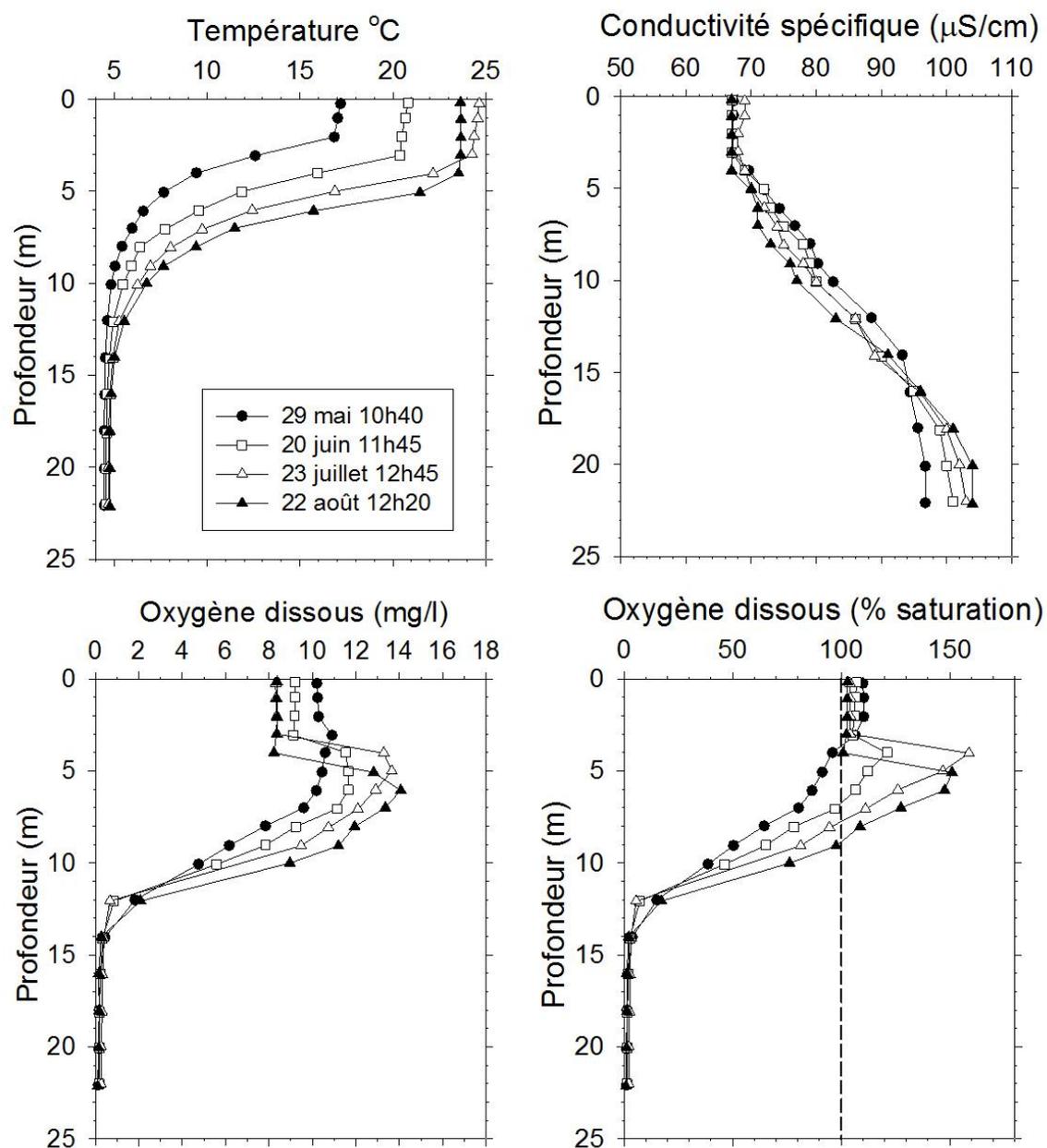


FIGURE 31. Évolution de la transparence (disque de Secchi, cercles en quadrants) et du coefficient d'atténuation de la lumière visible 400-700 nm (cercles blancs) dans les lacs de l'Achigan, Bleu, en Cœur, Connelly, Cornu et Croche entre 2001-2002, 2007 et 2018.

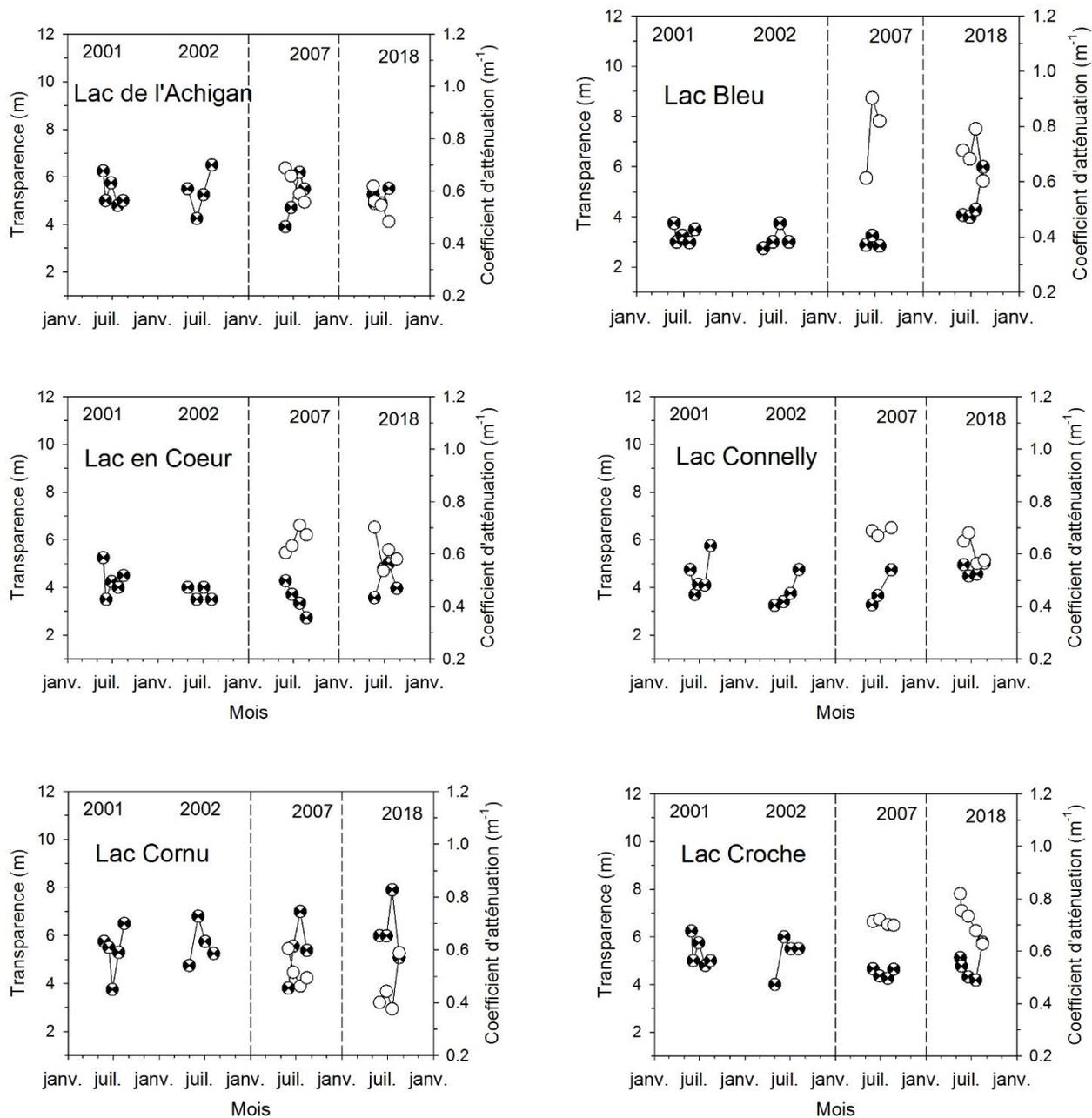


FIGURE 32. Évolution de la transparence (disque de Secchi, cercles en quadrants) et du coefficient d'atténuation de la lumière visible 400-700 nm (cercles blancs) dans les lacs Écho, Fournelle, Maillé, Montaubois, Morency, et à l'Ours entre 2001-2002, 2007 et 2018.

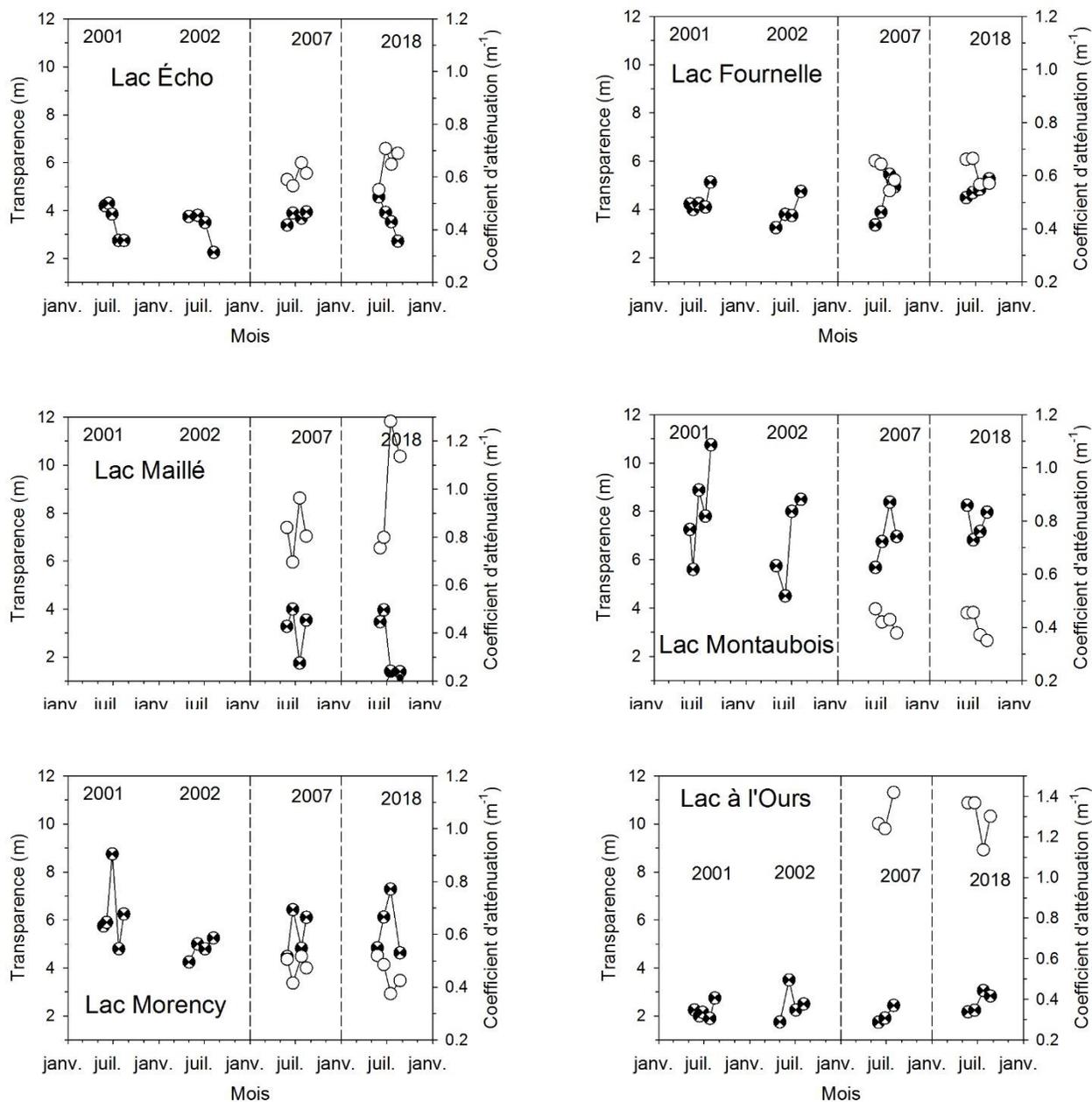


FIGURE 33. Évolution de la transparence (disque de Secchi, cercles en quadrants) et du coefficient d'atténuation de la lumière visible 400-700 nm (cercles blancs) dans les lacs du Pin Rouge et Tracy entre 2001-2002, 2007 et 2018.

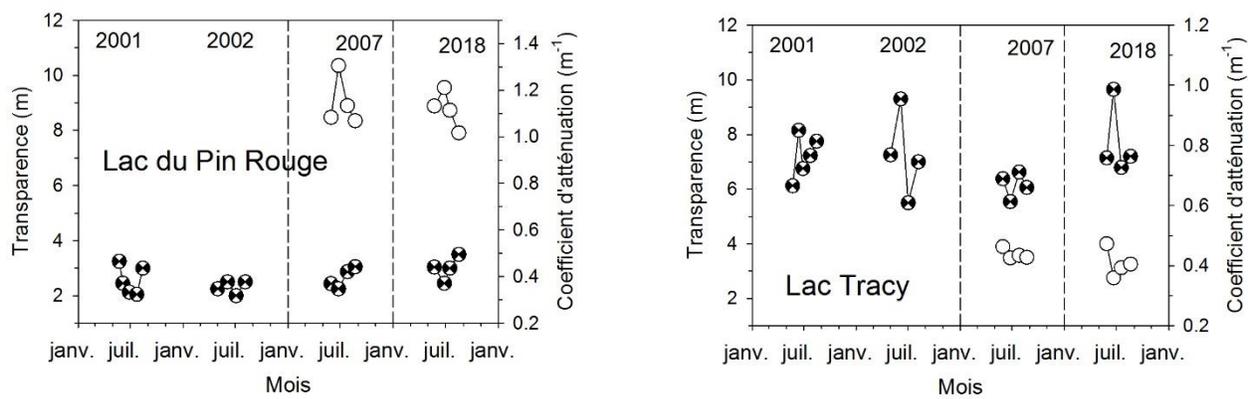


FIGURE 34. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau du lac de l'Achigan, stations 1 et 2 en juillet 2018.

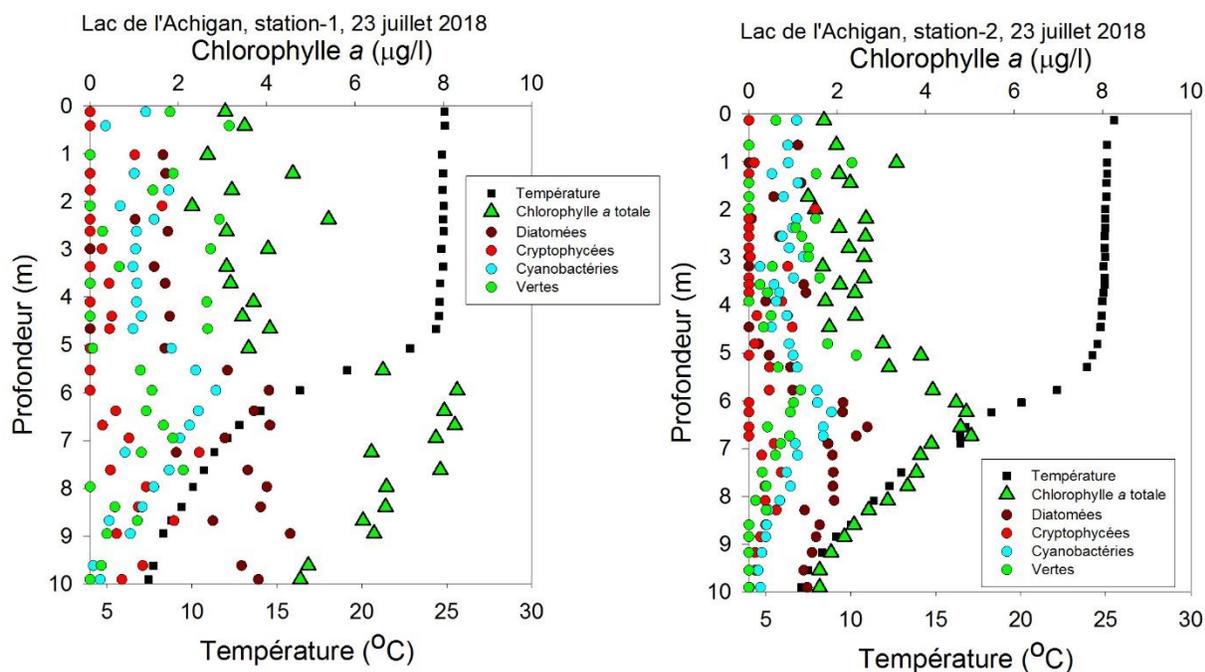


FIGURE 35. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Bleu et en Cœur en août 2018.

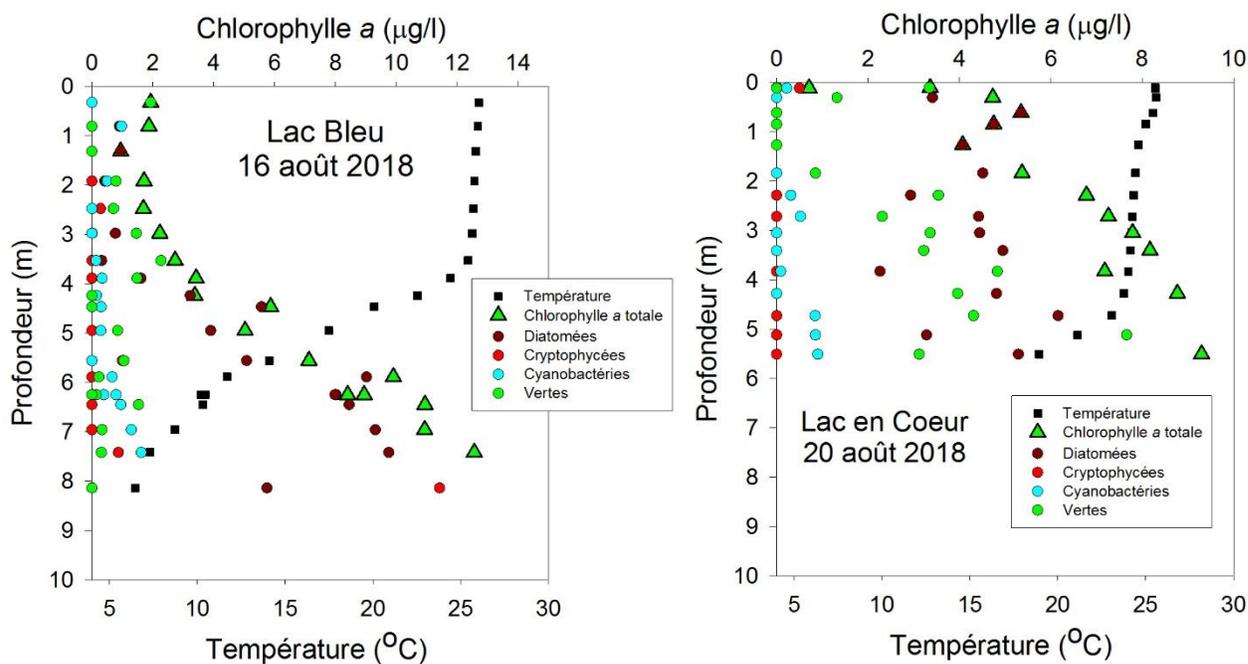


FIGURE 36. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Cornu et Croche en août 2018.

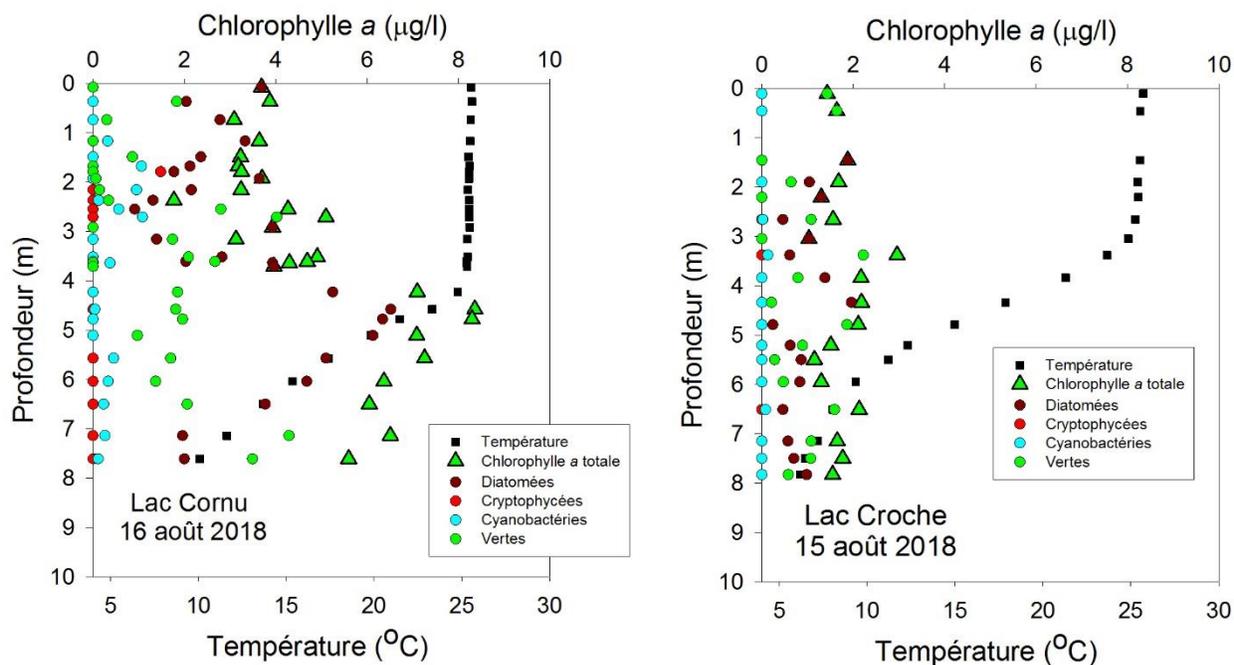


FIGURE 37. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Écho et Fournelle en août 2018.

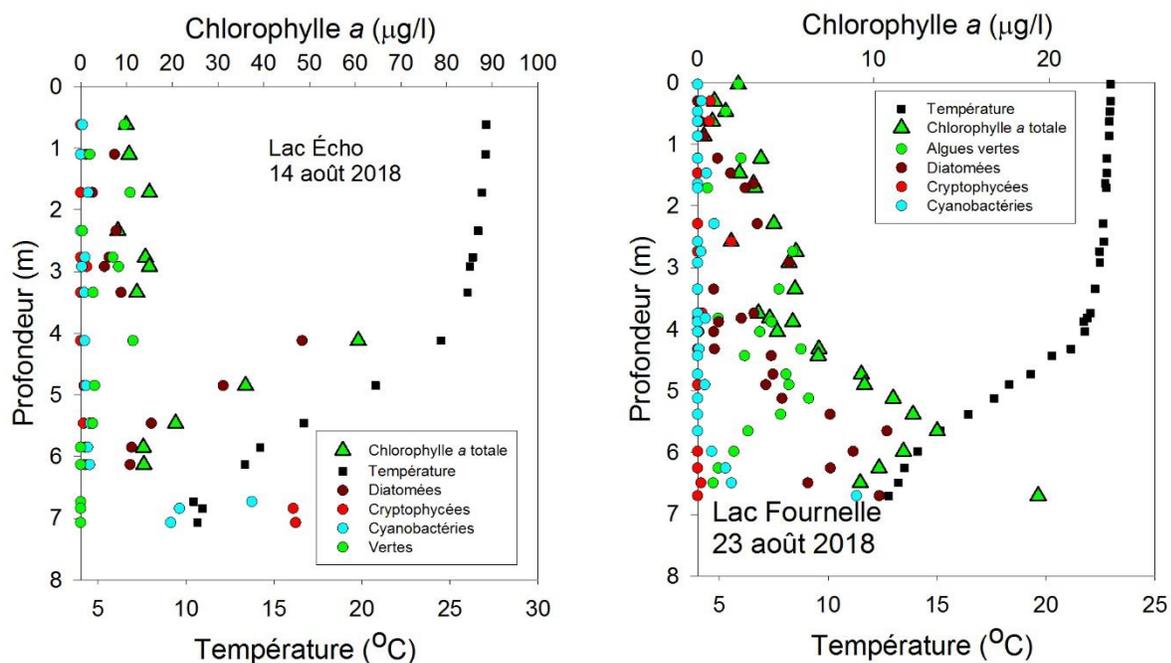


FIGURE 38. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Maillé et Montauboïs en août 2018.

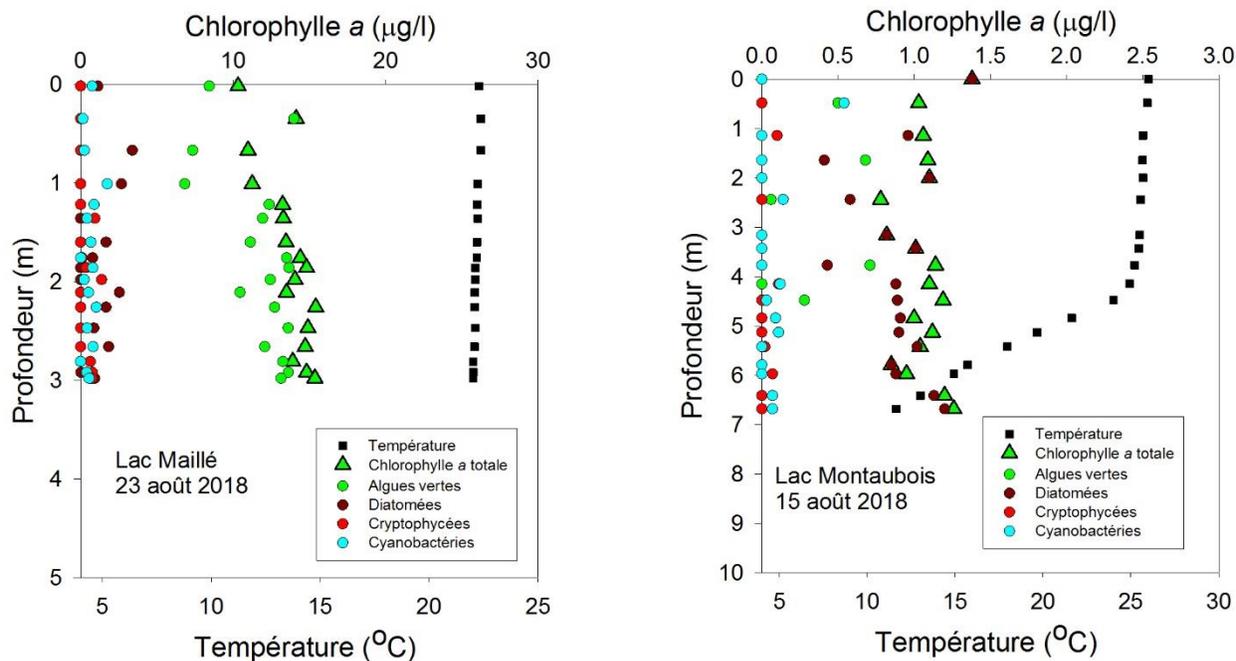


FIGURE 39. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs Morency et à l'Ours en août 2018.

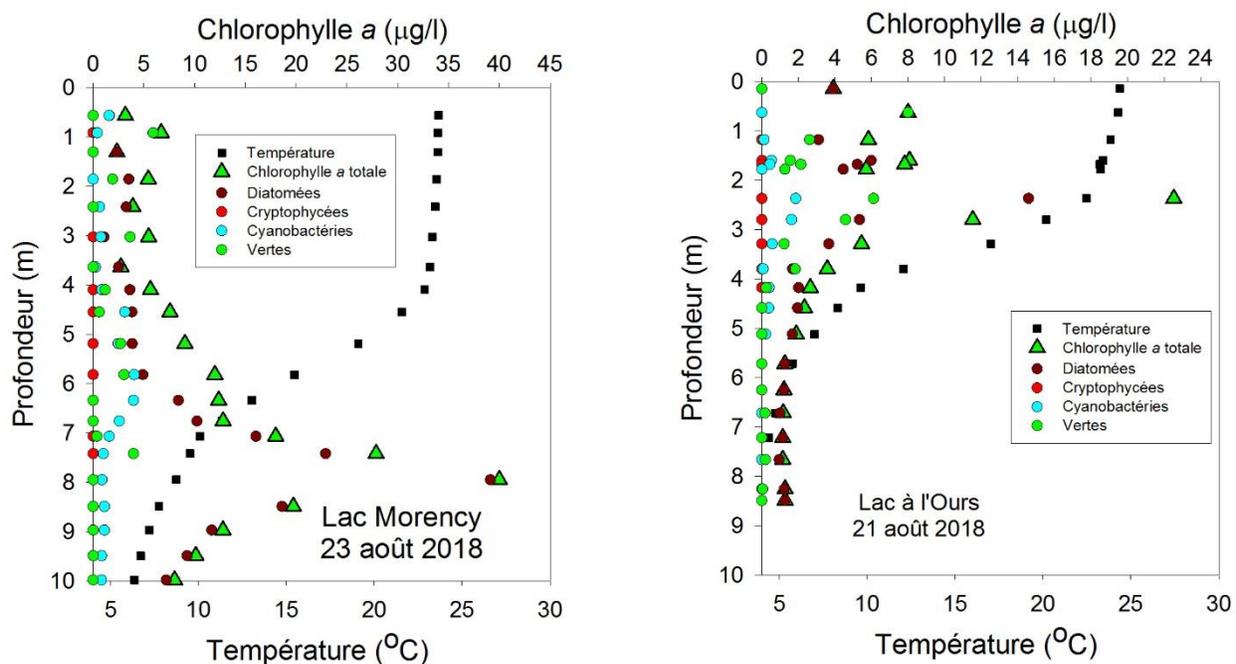


FIGURE 40. Dominance algale dans les premiers mètres de la colonne d'eau des lacs du Pin Rouge et Tracy en août 2018.

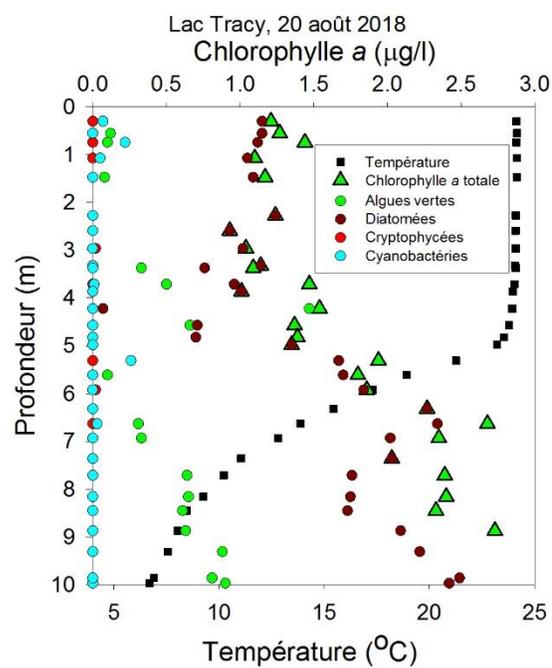
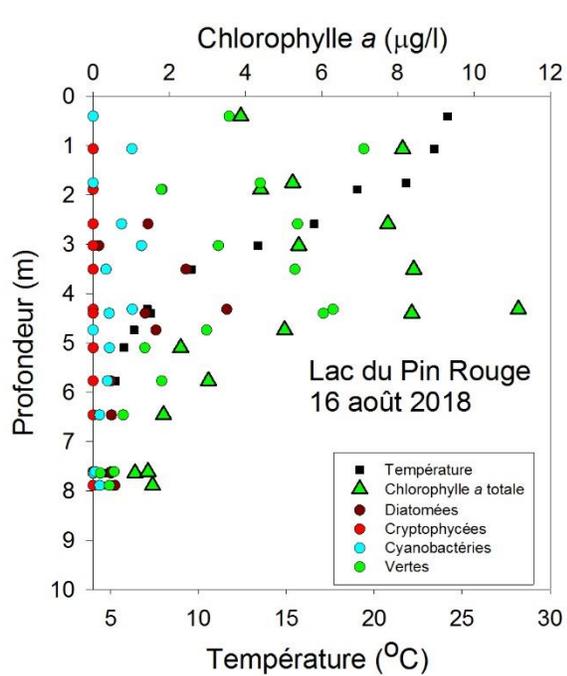


FIGURE 41. Ortho-mosaïque d'un petit lac inhabité de Saint-Hippolyte, le lac Croche (Station de biologie des Laurentides) acquis le 14 septembre 2018. Le rectangle jaune délimite l'agrandissement de la figure suivante (42). Les lignes noires superposées sont les isobathes impaires.

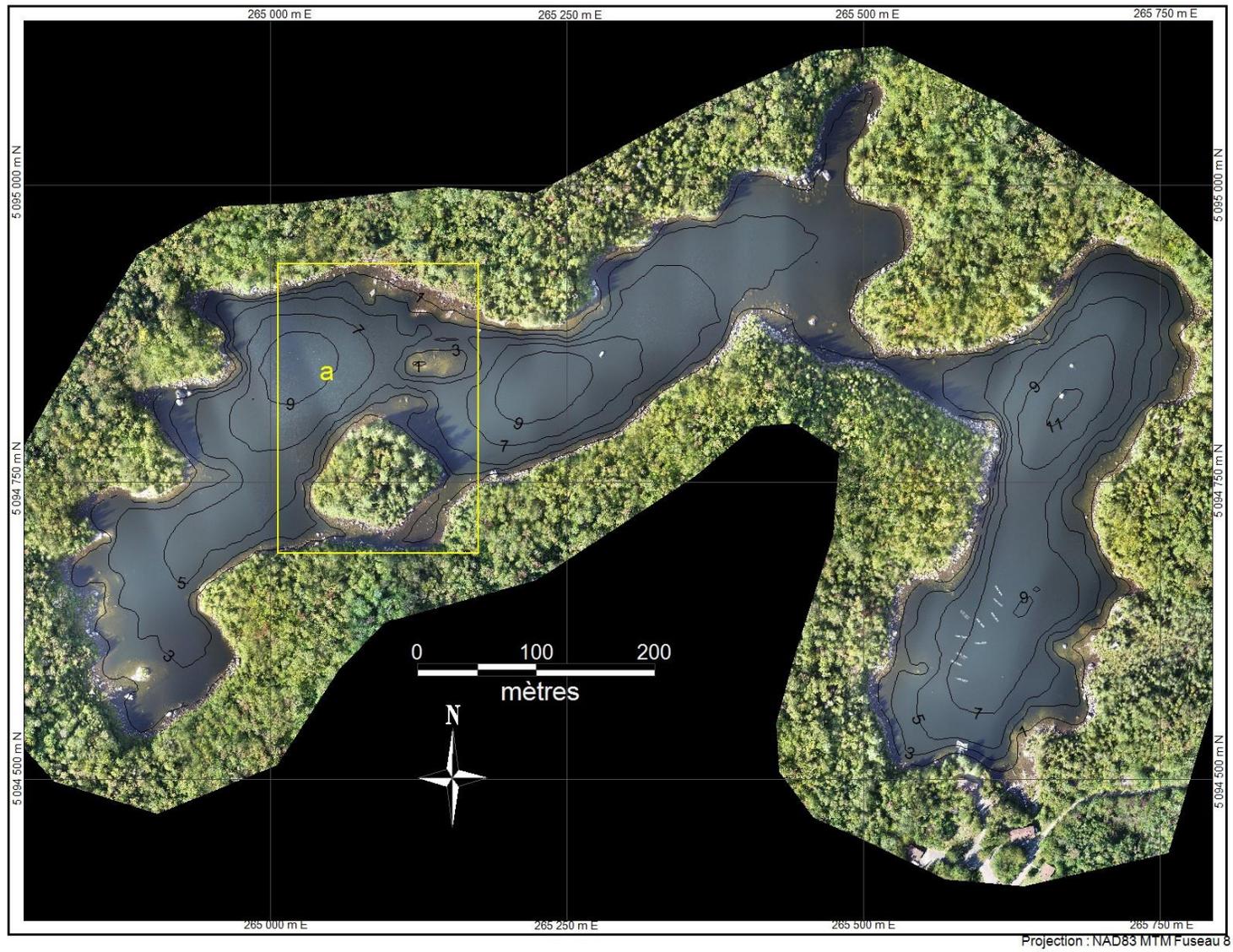


FIGURE 42. Agrandissement d'un secteur du lac Croche montrant la rareté des plantes aquatiques à feuilles flottantes ou submergées dans ce lac inhabité. Les lignes noires sont les isobathes impaires.

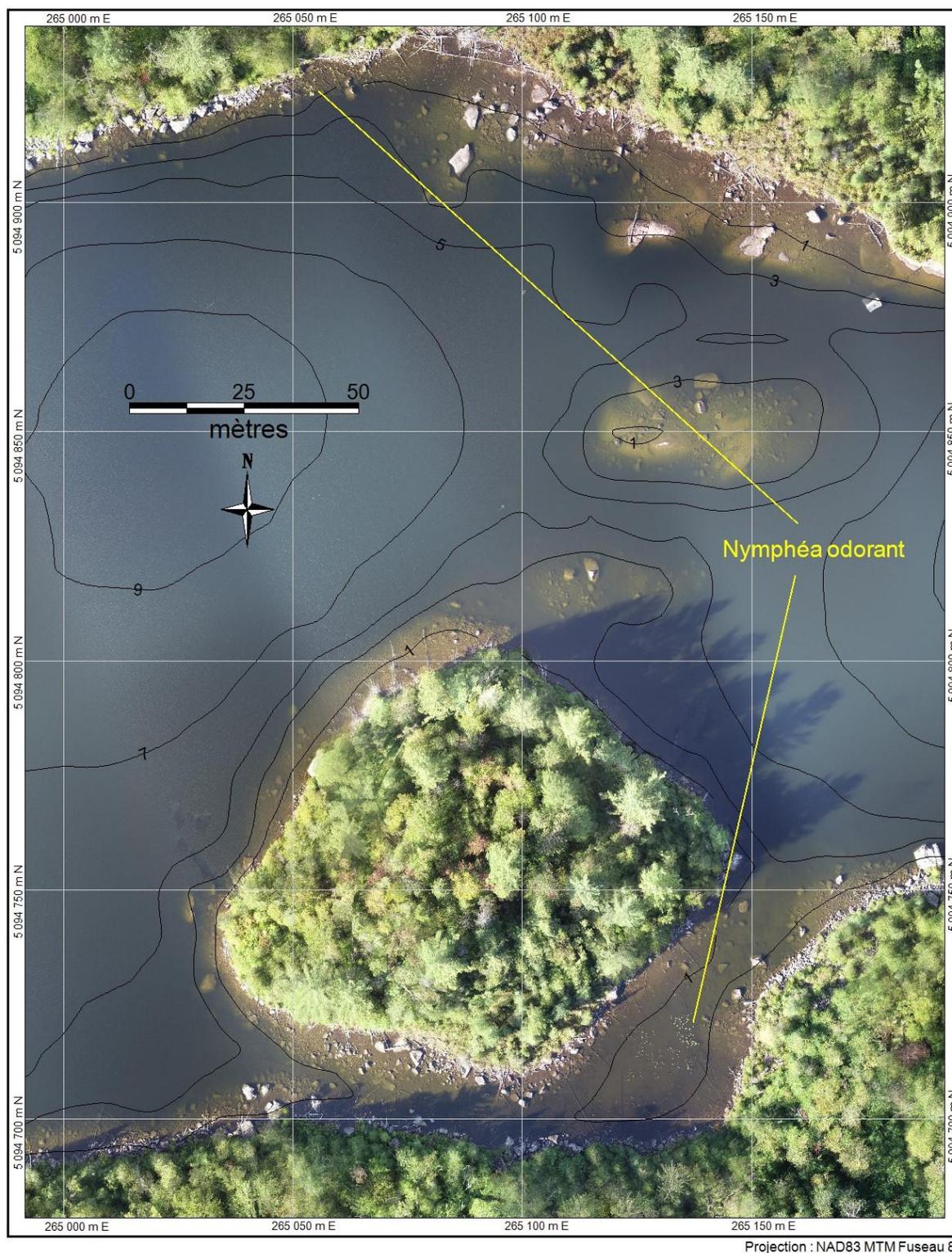


FIGURE 43. Mise à jour de la carte bathymétrique du lac Écho selon les sondages réalisés en 2018 dans le cadre de la cartographie des macrophytes submergés.

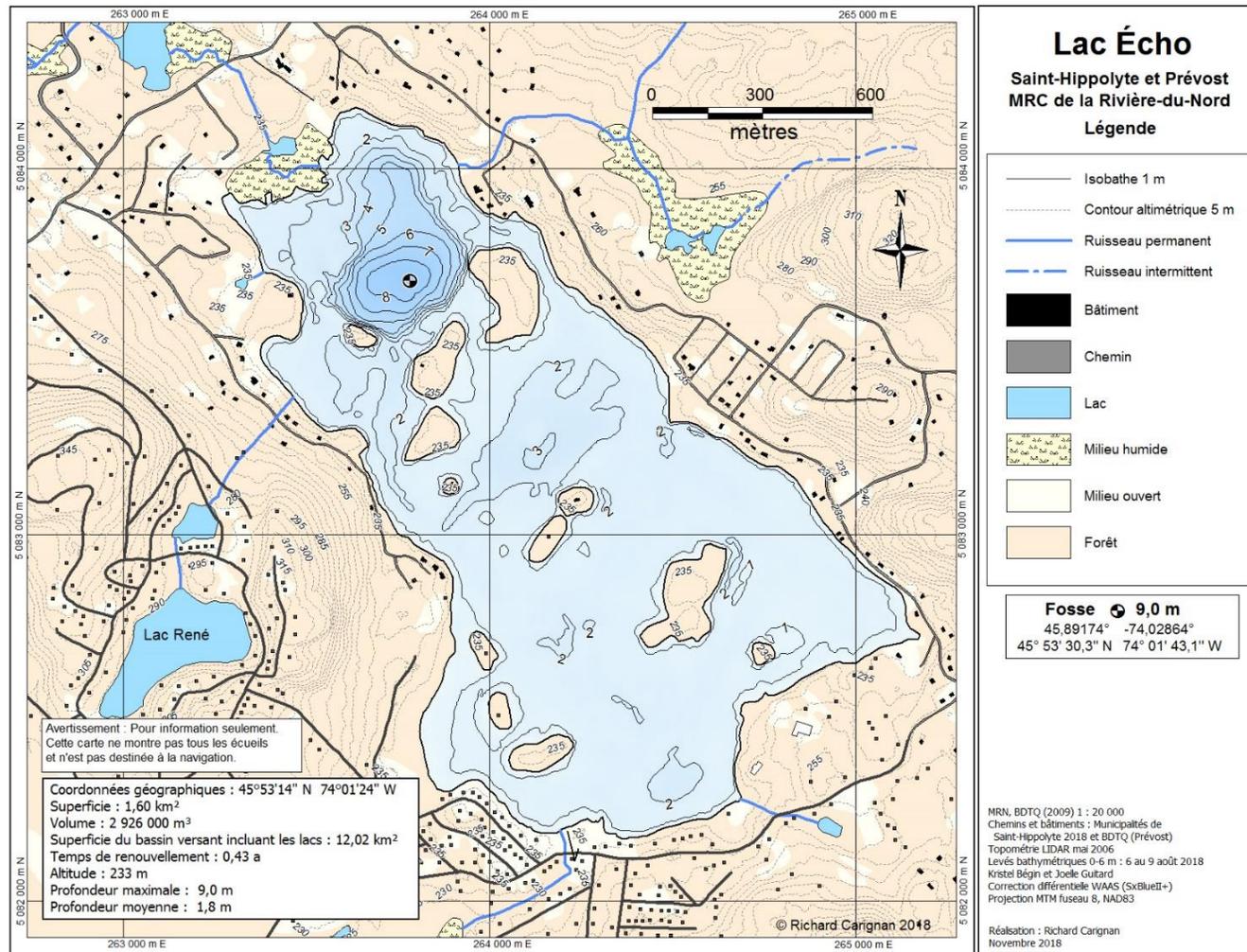


FIGURE 44. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Écho en août 2018. Les symboles carrés indiquent la position et le numéro des photographies sous-marines ayant servi à l'identification des espèces. Sur cette image, les hauteurs supérieures à 1,5 mètre indiquent la présence d'herbiers monospécifiques de Myriophylle à épi ou d'un mélange de Myriophylle à épi et de Potamot à longs pédoncules. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m.

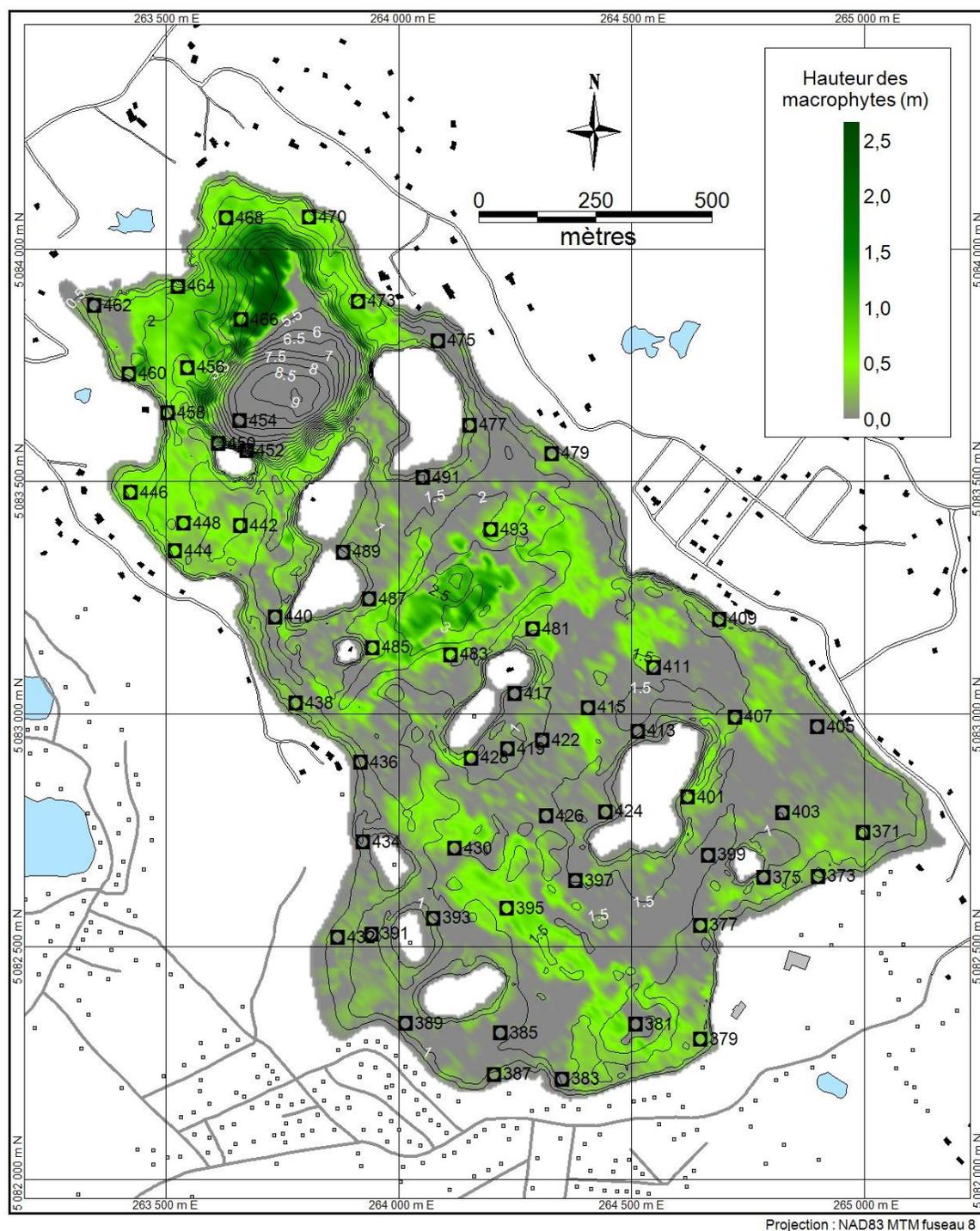


FIGURE 45. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Écho recréée à partir des données acquises en 2011 par Ariane Denis-Blanchard (2015). Les hauteurs supérieures à 1,5 mètre indiquent la présence d’herbiers monospécifiques de Myriophylle à épi ou d’un mélange de Myriophylle à épi et de Potamot à longs pédoncules.

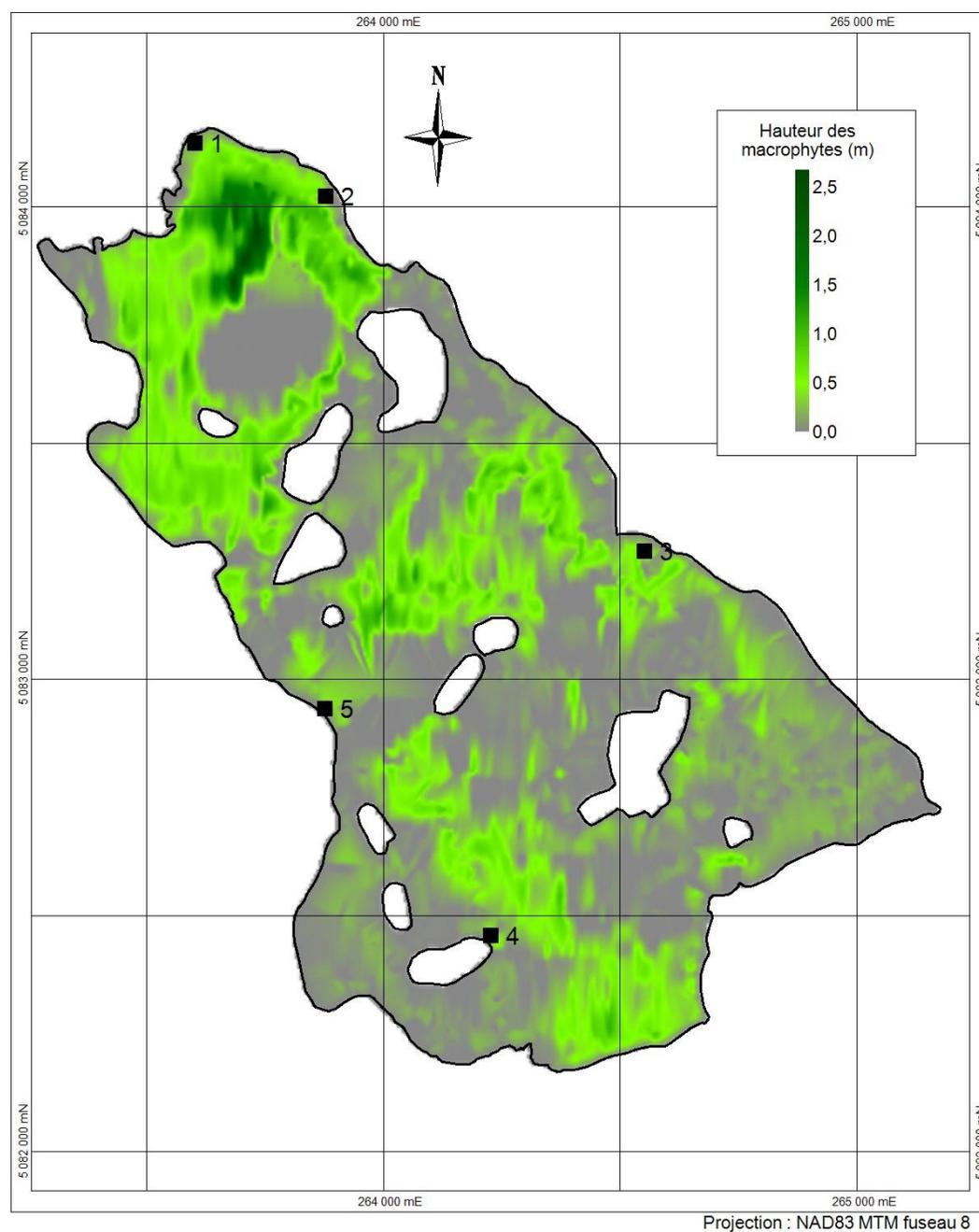


FIGURE 46. Secteurs survolés au drone entre les 7 et 13 septembre 2018 pour l'acquisition des photographies ayant servi à la réalisation des ortho-mosaïques. Fond de carte : ortho-photographies aériennes MRNQ 2007.

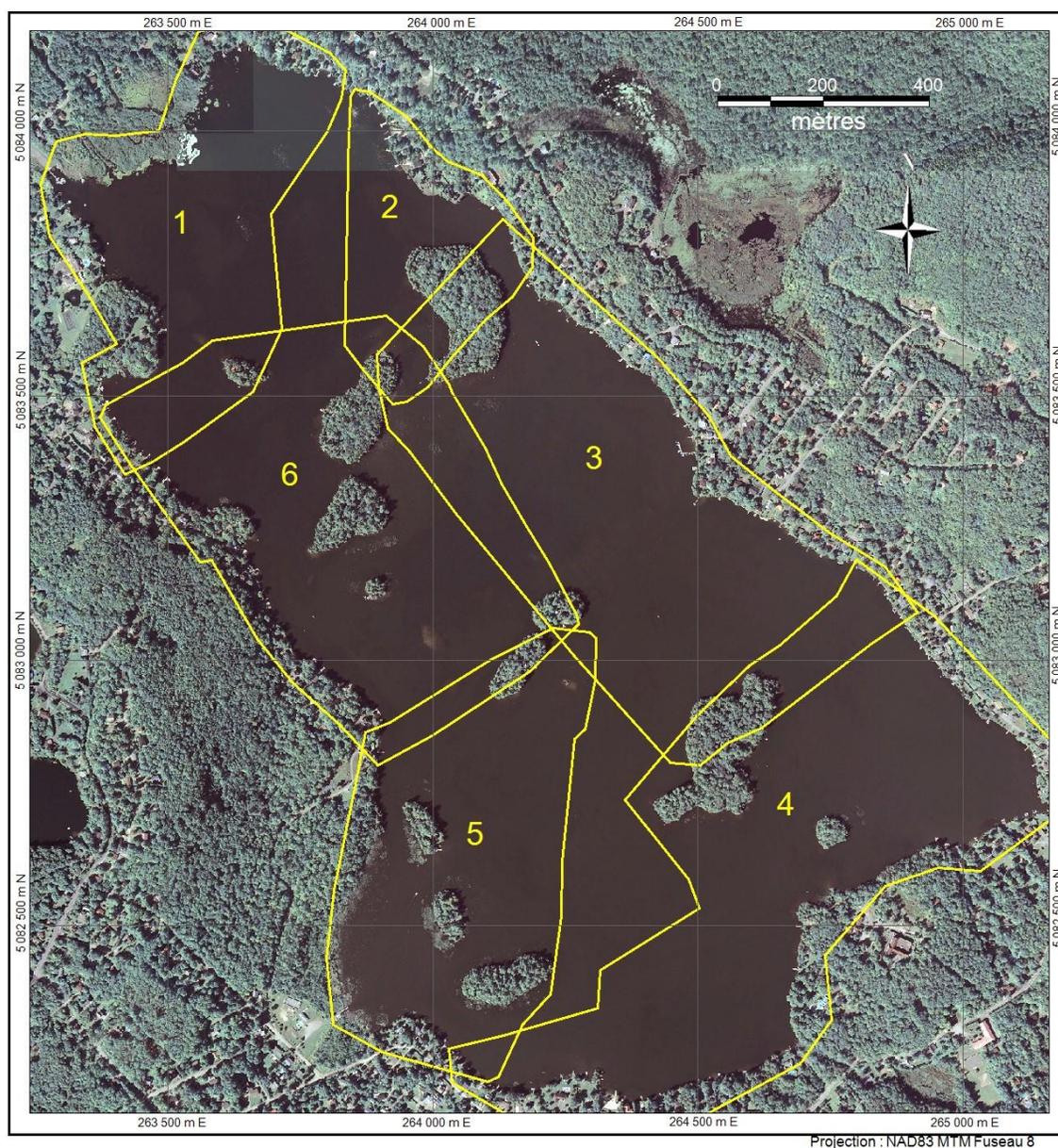


FIGURE 47. Ortho-mosaïque du secteur 1 au lac Écho, photographié le 8 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

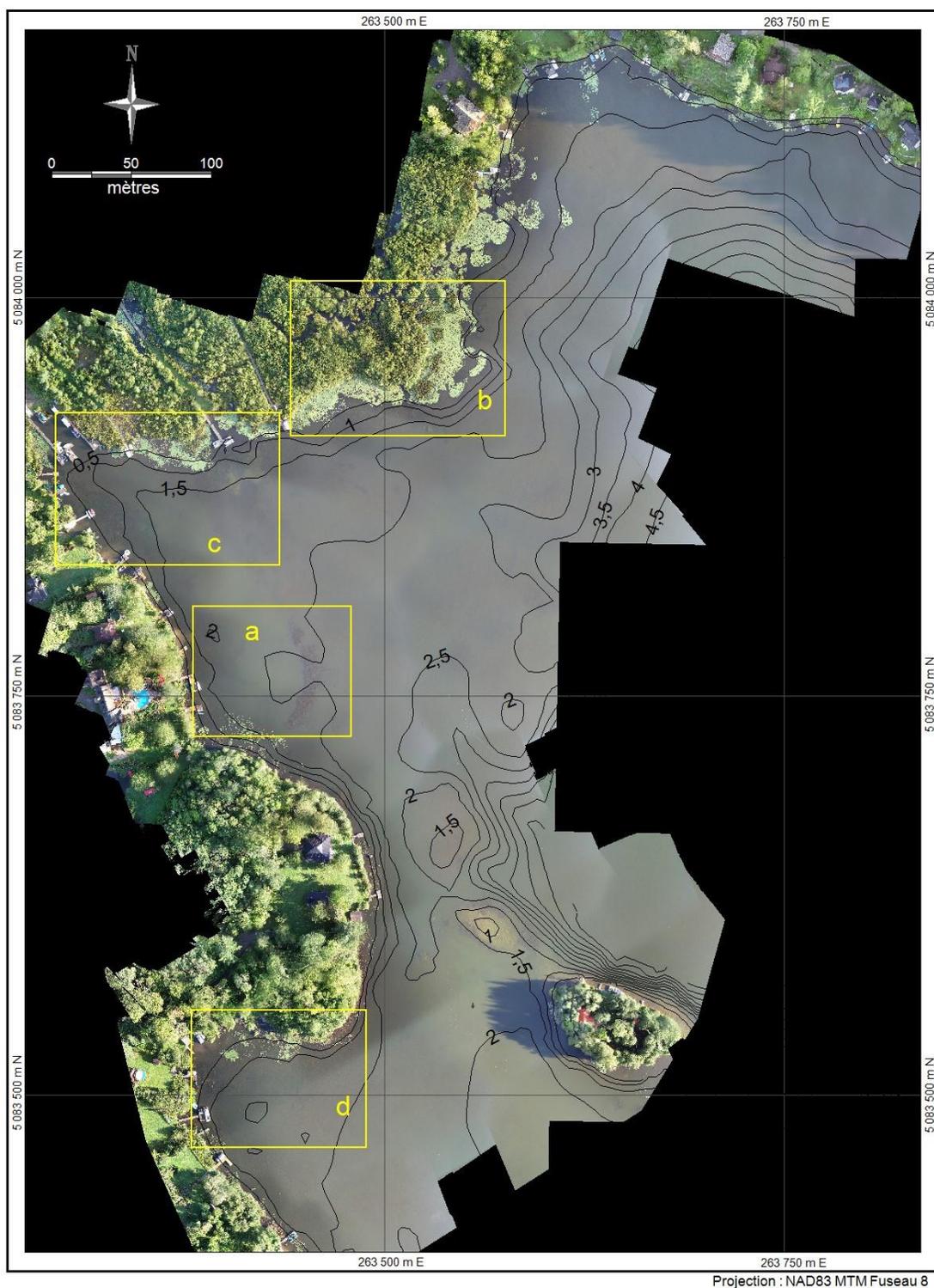


FIGURE 48. Ortho-mosaïque du secteur **1a** au lac Écho montrant un herbier dominé par le Myriophylle à épi. La forme semi-circulaire de cet herbier n'a aucun lien avec la bathymétrie locale et rappelle la forme des sillons d'embarcations motorisées présents partout dans le lac. Ici, le développement du myriophylle à épi a pu être stimulé il y a plusieurs années par le passage d'une embarcation qui a perturbé les sédiments et la végétation indigène. Cette image illustre la complexité des interactions végétation-nautisme dans ce lac. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

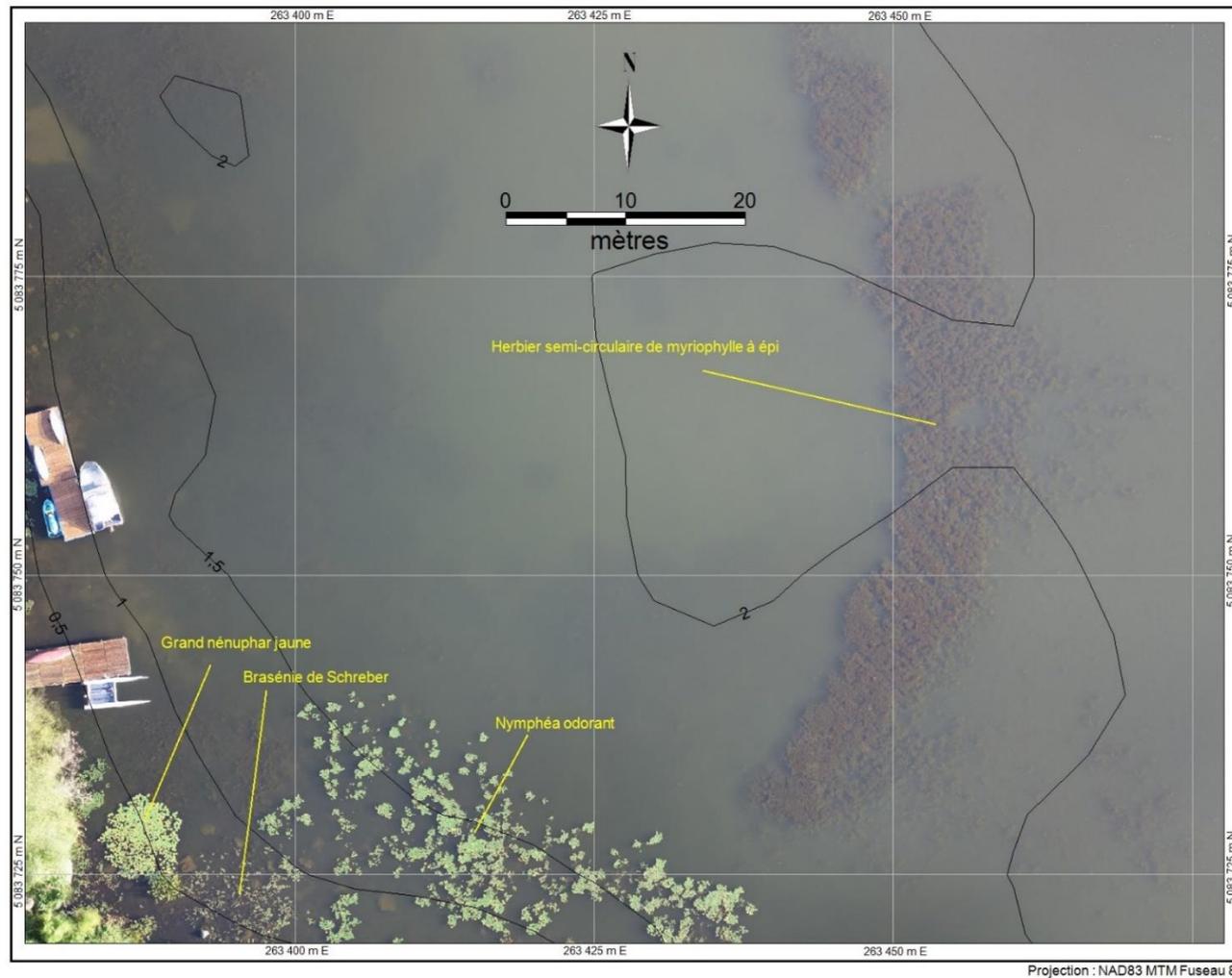


FIGURE 49. Ortho-mosaïque du secteur **1b** au lac Écho montrant la distribution des principales espèces à feuilles flottantes ainsi qu'une ancienne trace d'embarcation motorisée qui a modifié l'organisation de la végétation aquatique submergée. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

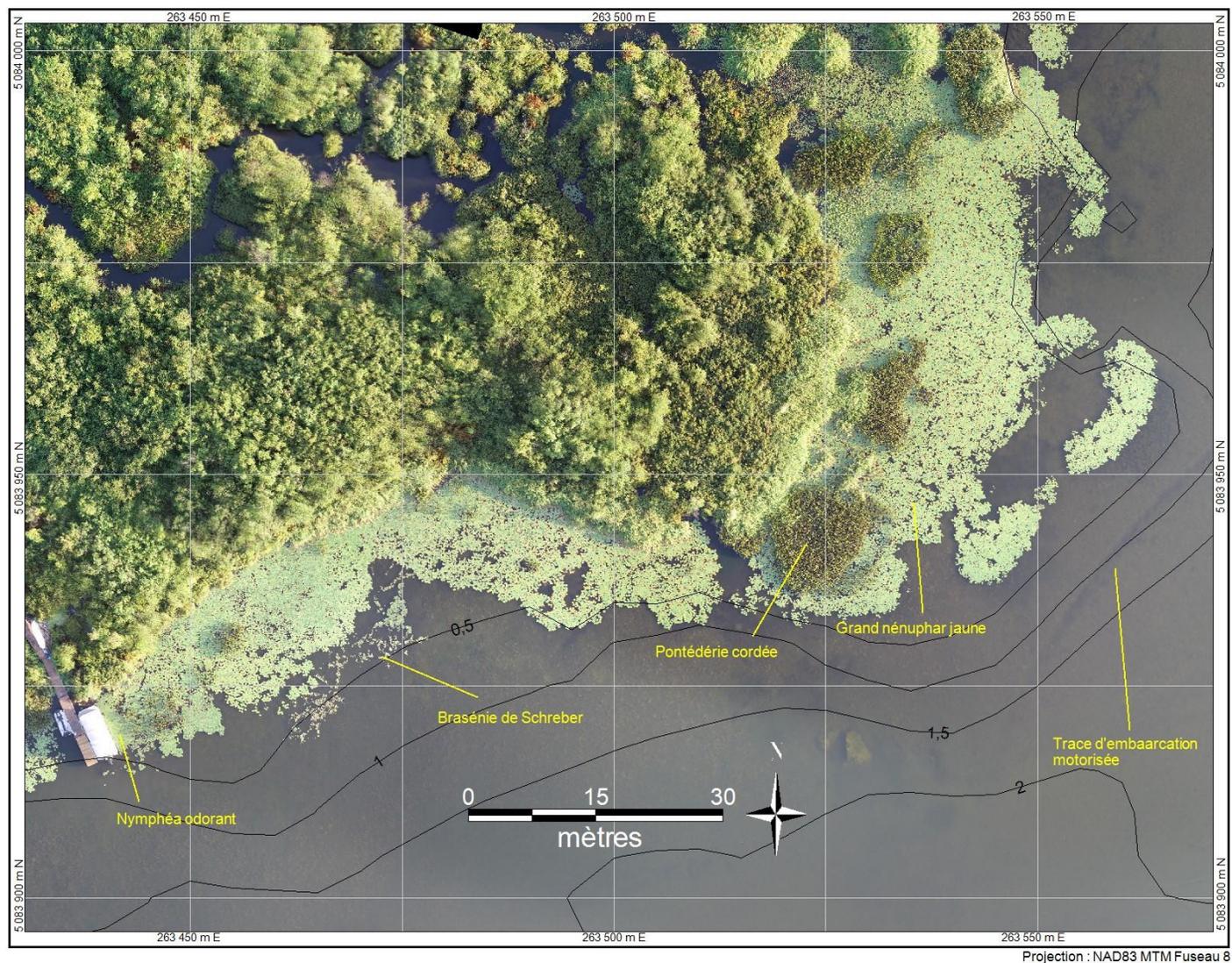


FIGURE 50. Ortho-mosaïque du secteur 1c au lac Écho montrant les principales espèces à feuilles flottantes présentes au lac Écho. Les marbrures de couleur vert-pâle à vert-foncé teintant la zone plus profonde indiquent la présence de végétation submergée courte, composée d'espèces variées telles la Vallisnérie américaine et le Potamot de Robbins. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

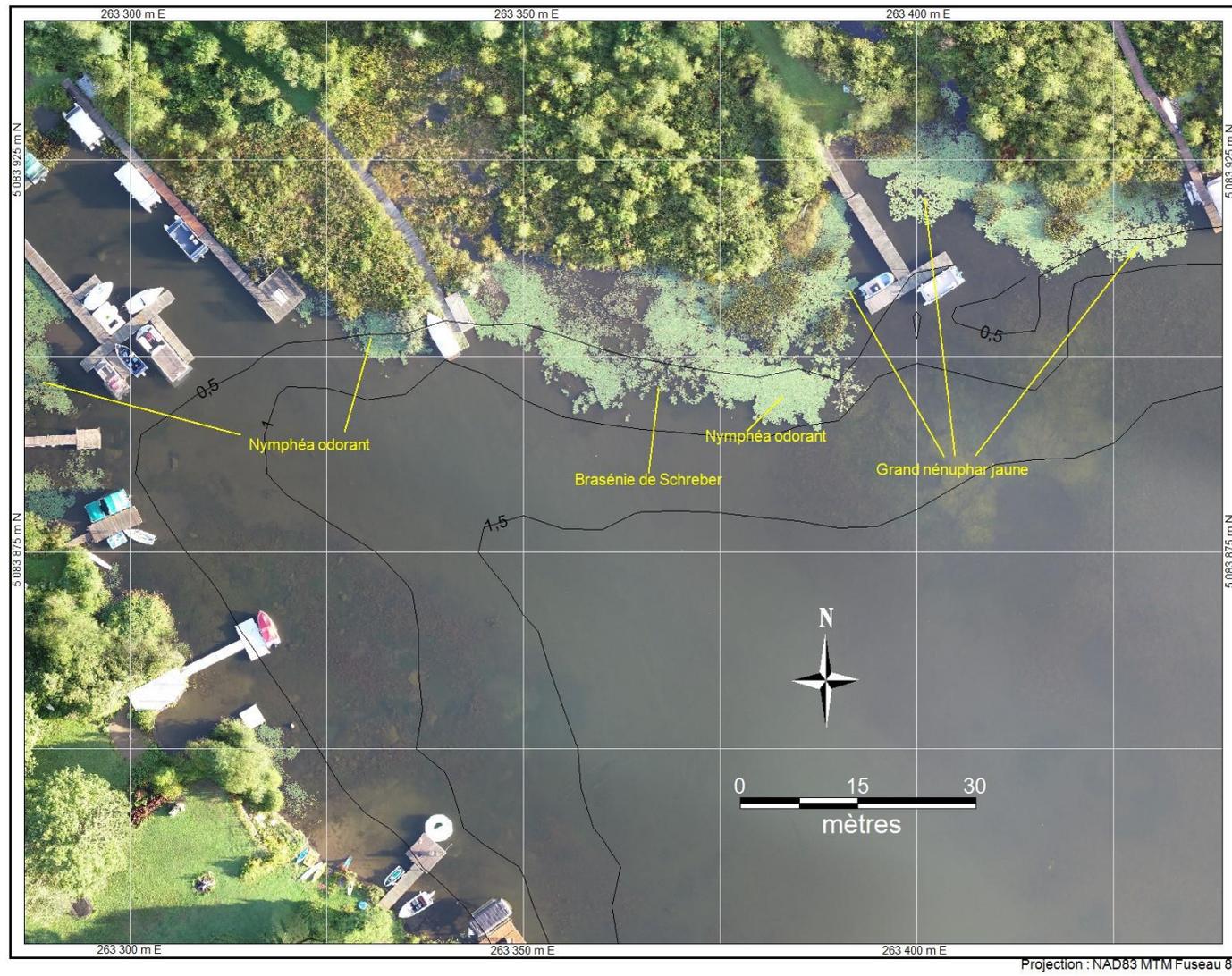


FIGURE 51. Ortho-mosaïque du secteur **1d** au lac Écho montrant deux espèces communes au lac Écho, soit le Potamot à larges feuilles et la Brasénie de Schreber. Les flèches blanches indiquent un sillon d'embarcation motorisée. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

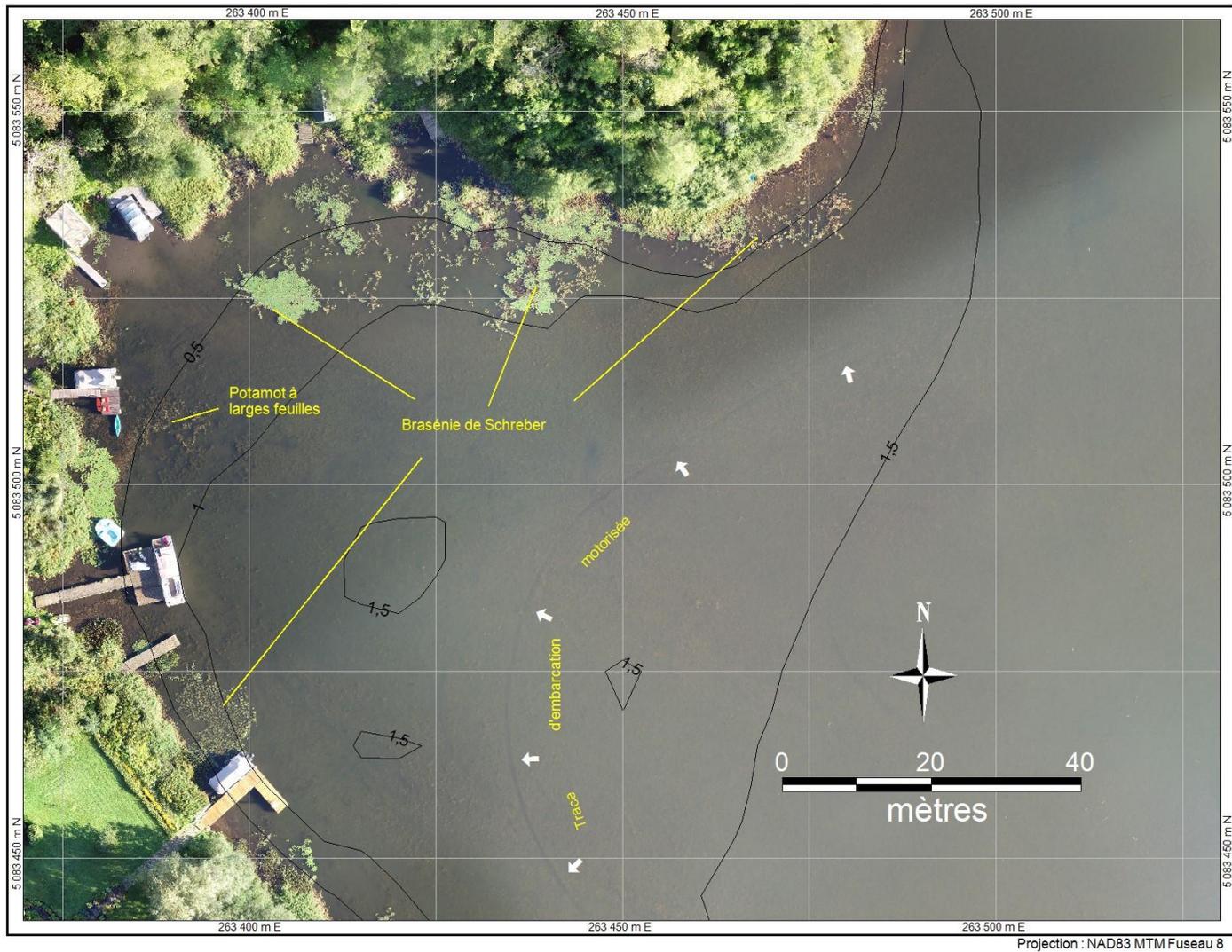


FIGURE 52. Ortho-mosaïque du secteur 2 au lac Écho acquis le 8 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

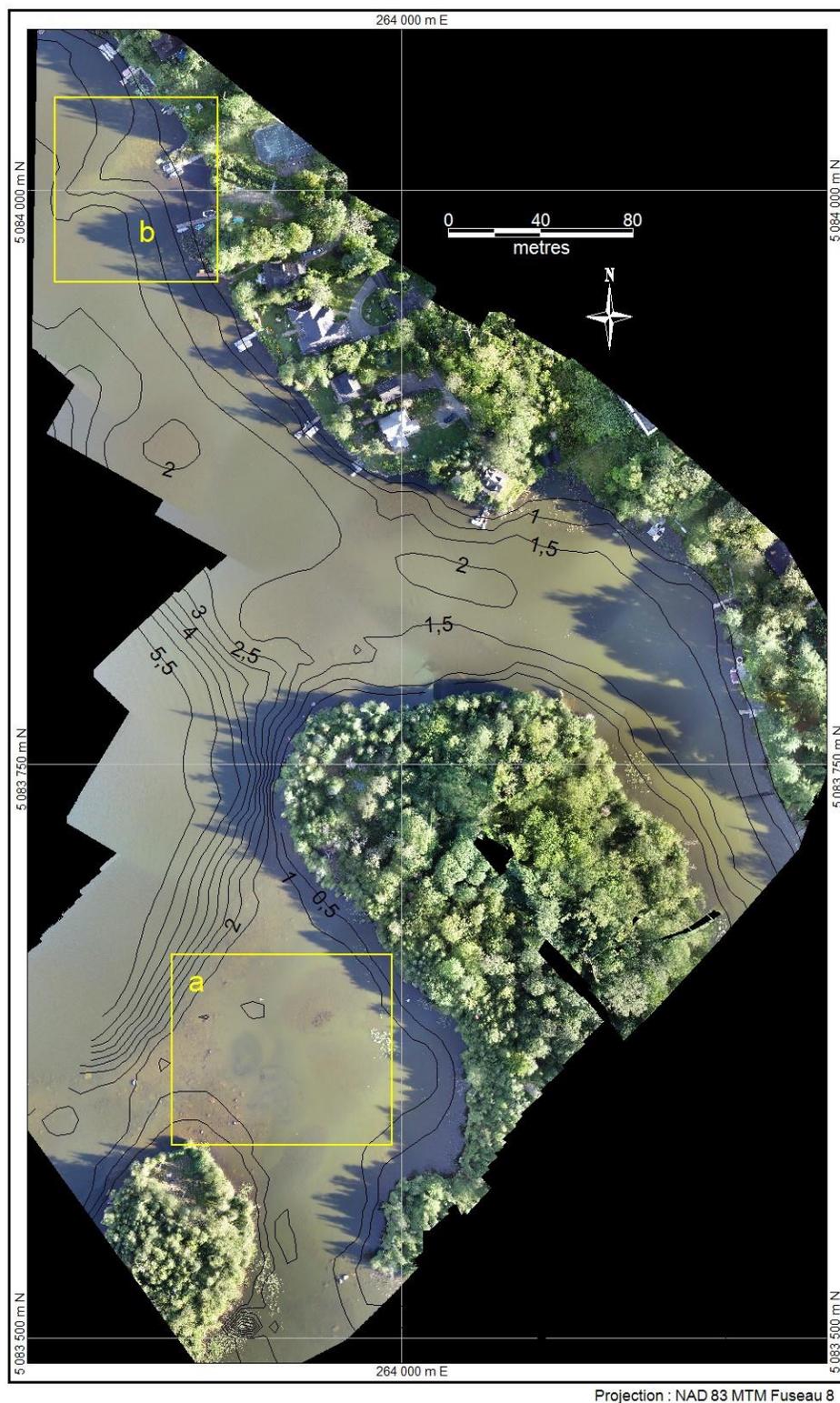


FIGURE 53. Ortho-mosaïque du secteur **2a** au lac Écho illustrant la ceinture de Potamot à longs pédoncules qui entoure la fosse du lac à plusieurs endroits. Les traces circulaires/semi-circulaires ont vraisemblablement été causées par l'hélice d'une embarcation qui s'est aventurée dans une zone rocheuse et trop peu profonde. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

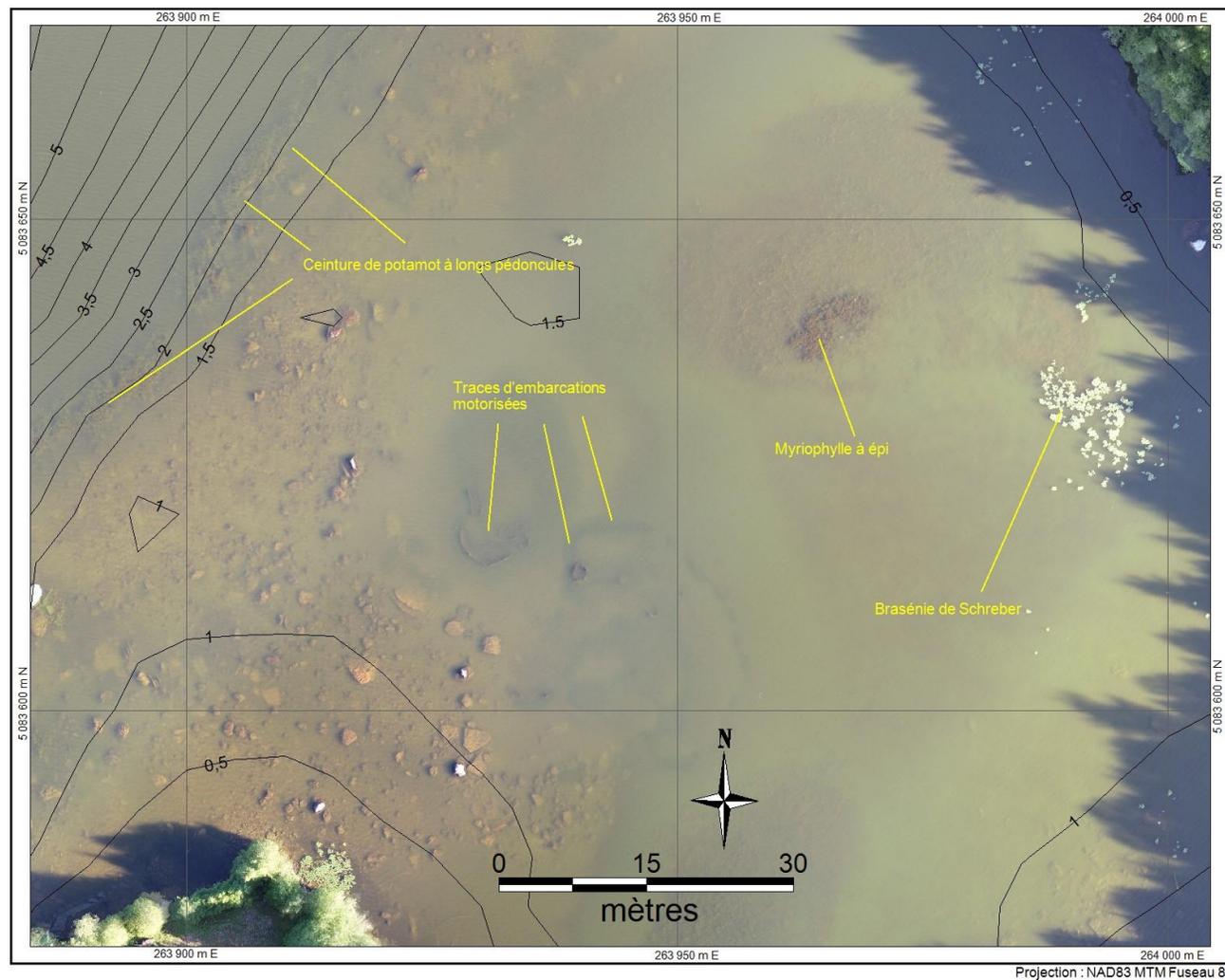


FIGURE 54. Ortho-mosaïque du secteur 2b au lac Écho montrant de multiples traces d'embarcations motorisées dans la végétation submergée à une profondeur de 1 à 1,5 mètres. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

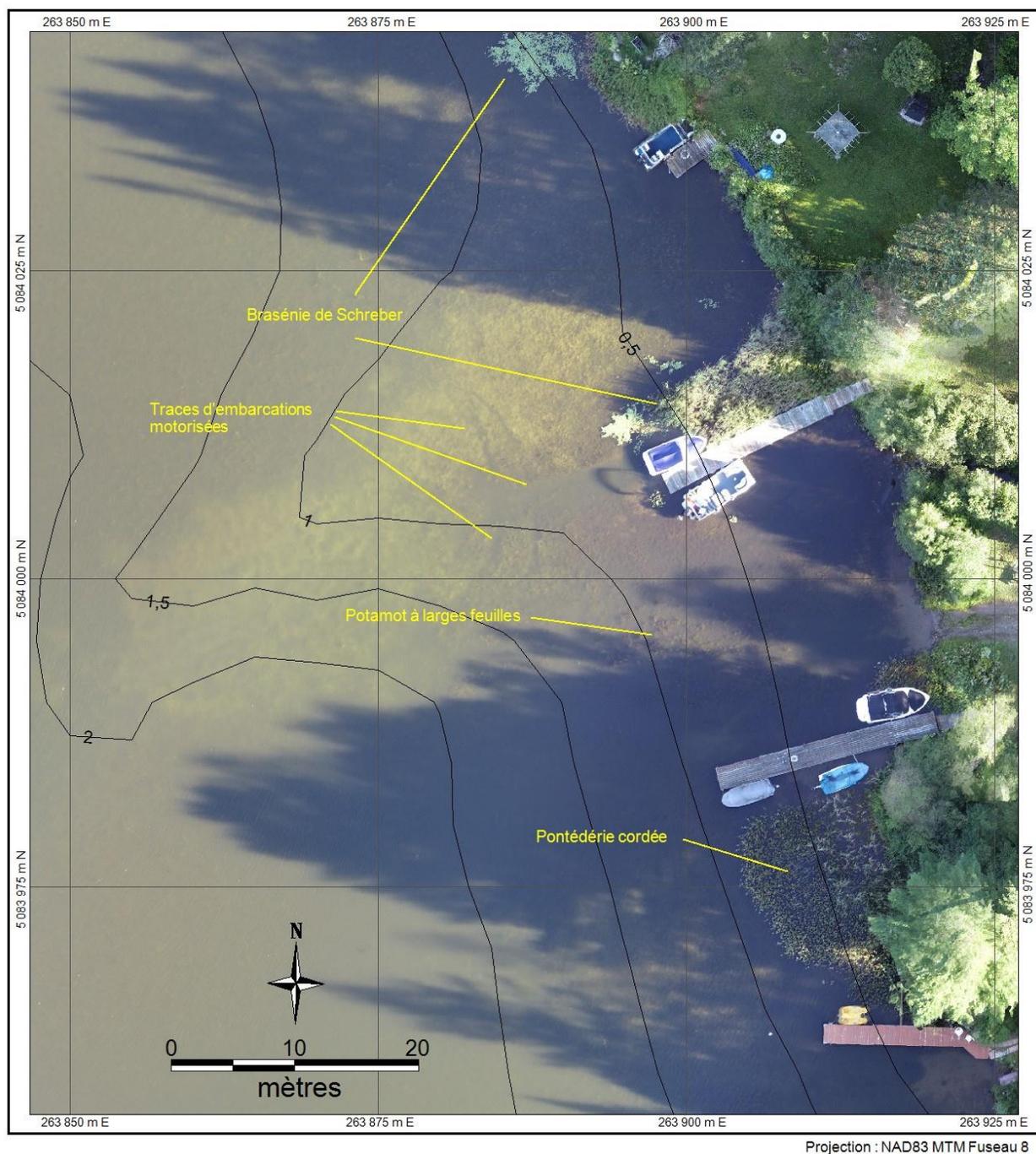
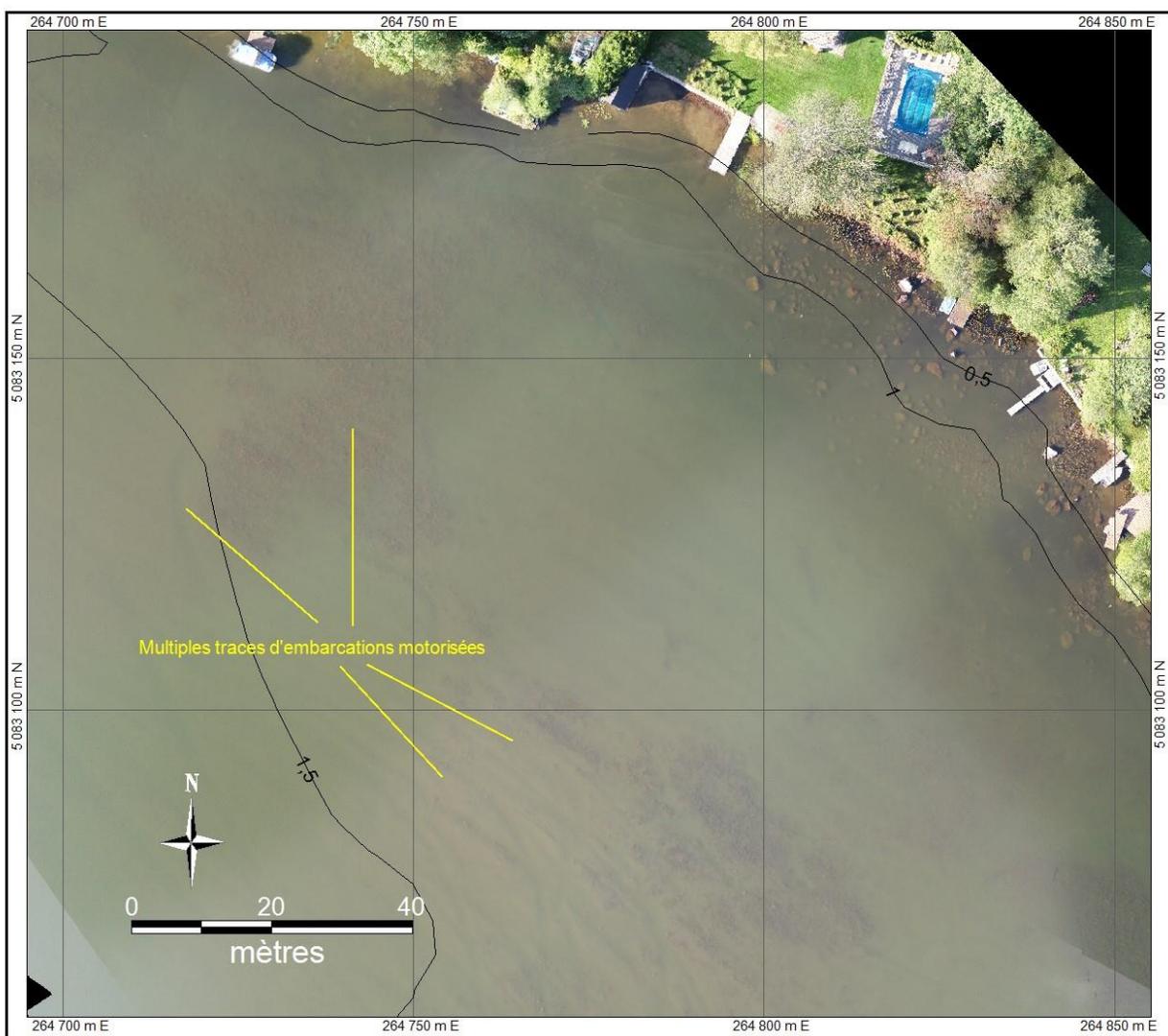


FIGURE 55. Ortho-mosaïque du secteur 3 au lac Écho acquies le 12 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquies en 2018. Le rectangle jaune montre la position de l'agrandissement de la figure suivante.



FIGURE 56. Ortho-mosaïque du secteur **3a** au lac Écho montrant une vingtaine de traces d'embarcations motorisées entrecoupant la végétation aquatique submergée. De faibles traînées de cyanobactéries apparaissent près du quai en haut de l'image. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.



Projection : NAD83 MTM Zone 8

FIGURE 57. Ortho-mosaïque du secteur 4 au lac Écho acquies le 13 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquies en 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

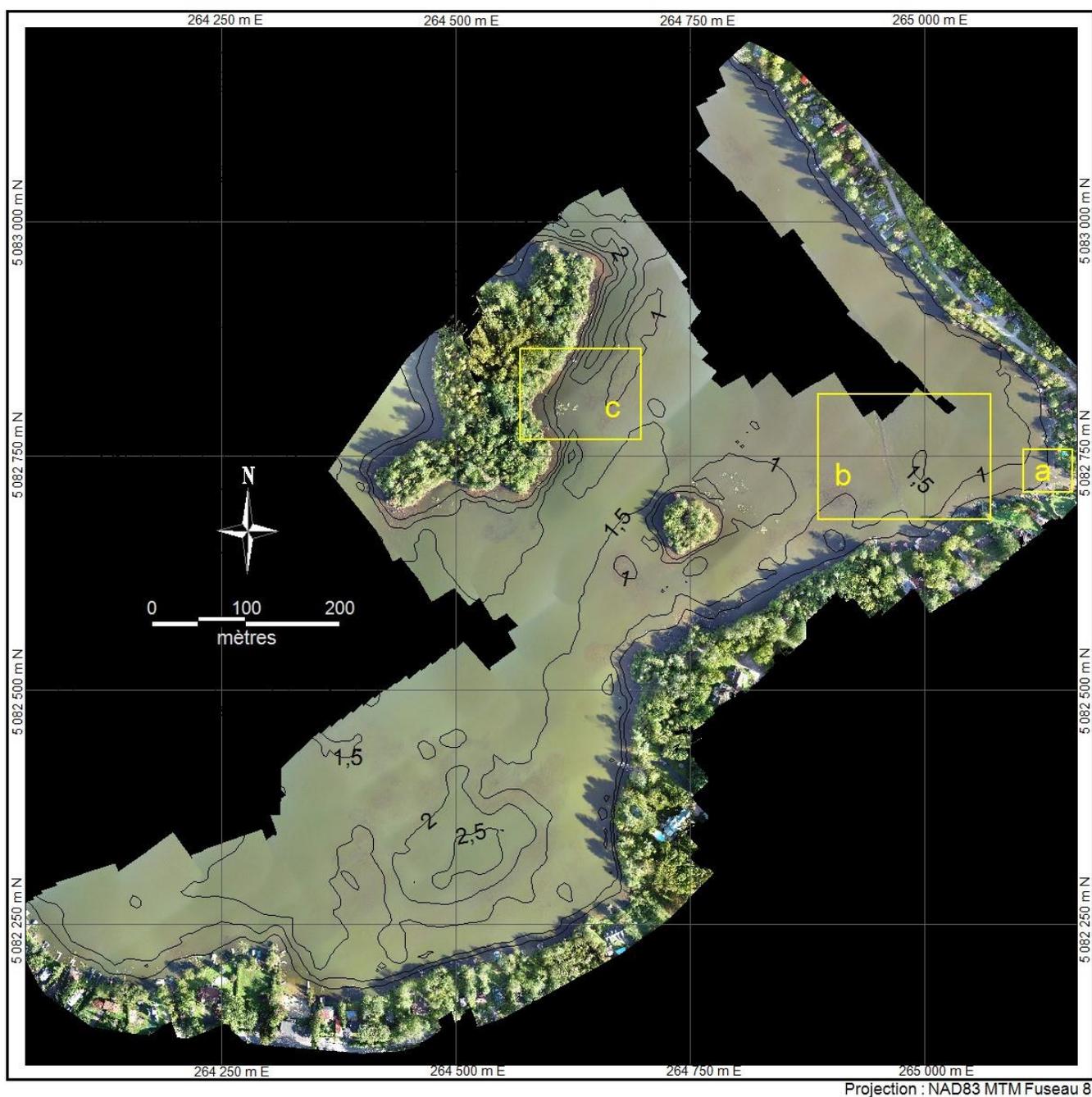


FIGURE 58. Ortho-mosaïque du secteur **4a** au lac Écho. L'image montre une importante fleur d'eau de cyanobactéries poussée par le vent au sud-est du lac le 13 septembre 2018. De nombreux sillons d'embarcations motorisées sont visibles à une profondeur de 0,5 à 1,0 mètre sur la partie gauche de l'image. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 59. Ortho-mosaïque du secteur **4b** du lac Écho montrant, à une profondeur d'environ 1,5 mètre, de multiples sillons d'embarcations motorisées entrecoupant la végétation aquatique. La flèche blanche indique un panache de sédiments fraîchement (secondes) re-suspendus par une petite embarcation visible sur l'image suivante. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.



FIGURE 60. Petite embarcation responsable du panache de sédiments montré sur l'ortho-mosaïque précédente (figure 59). Noter la présence de multiples sillons causés par le passage d'autres embarcations motorisées.



FIGURE 61. Ortho-mosaïque du secteur 4c au lac Écho montrant des herbiers de Brasénie de Schreber et de Potamot à longs pédoncules. La droite de l'image est occupée par de multiples sillons d'embarcations motorisées. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

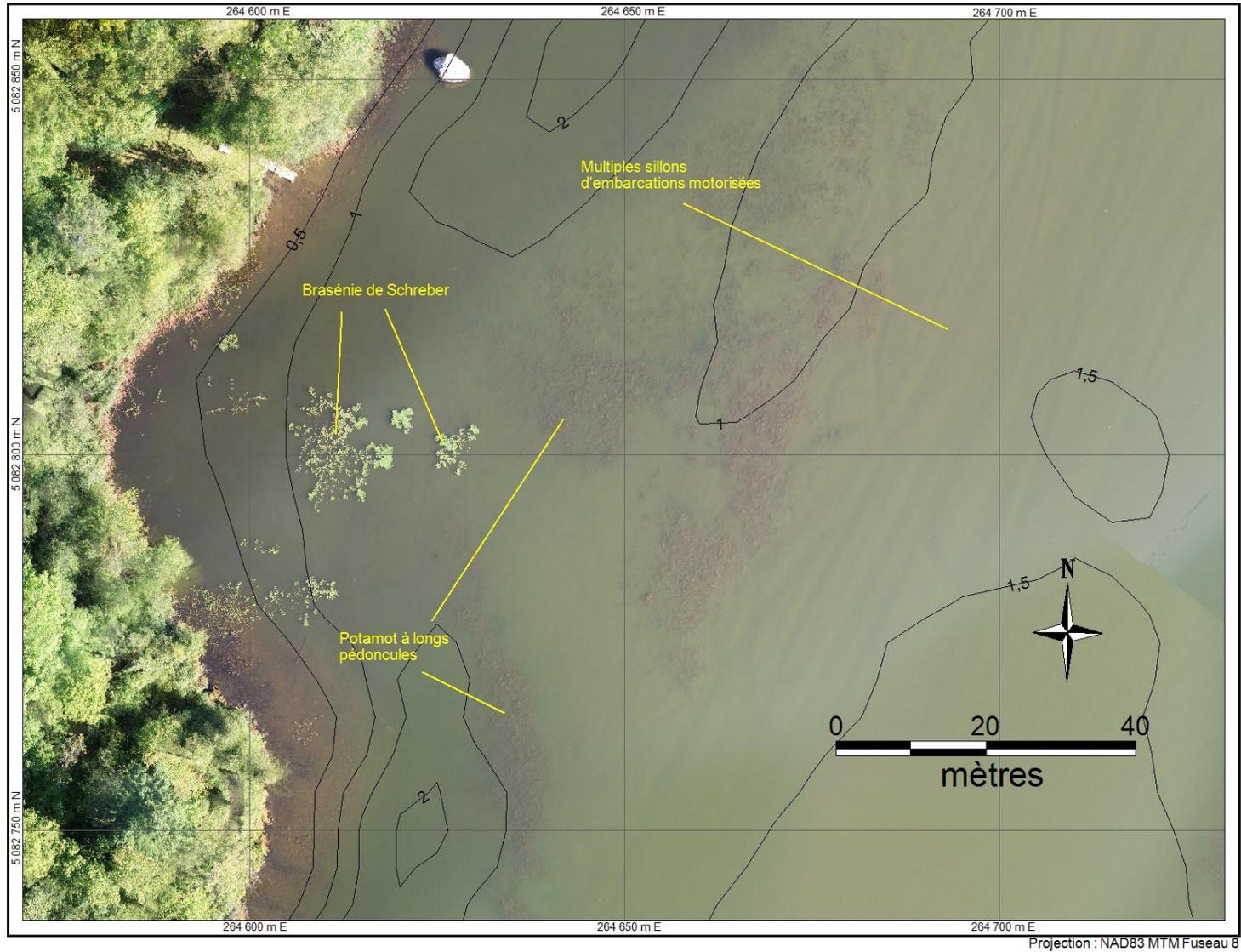


FIGURE 62. Ortho-mosaïque du secteur 5 au lac Écho acquies le 7 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquies en 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

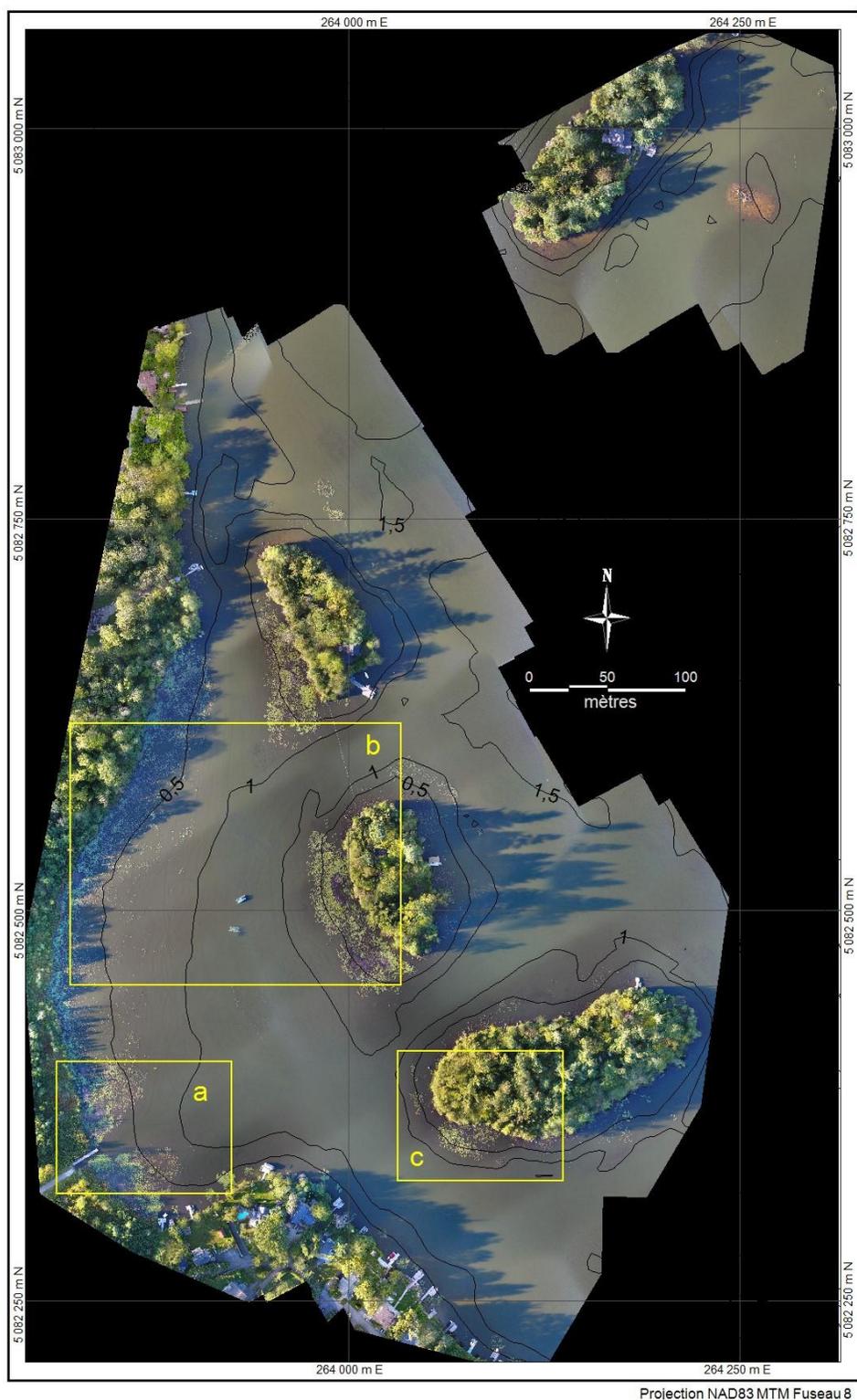


FIGURE 63. Ortho-mosaïque du secteur 5a au lac Écho montrant le quai du Centre récréatif du lac Écho (Prévost). Les herbiers à feuilles flottantes sont dominés par la Brasénie de Schreber et le Nymphéa odorant. De multiples sillons d'embarcations motorisées convergent souvent vers le bout du quai. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

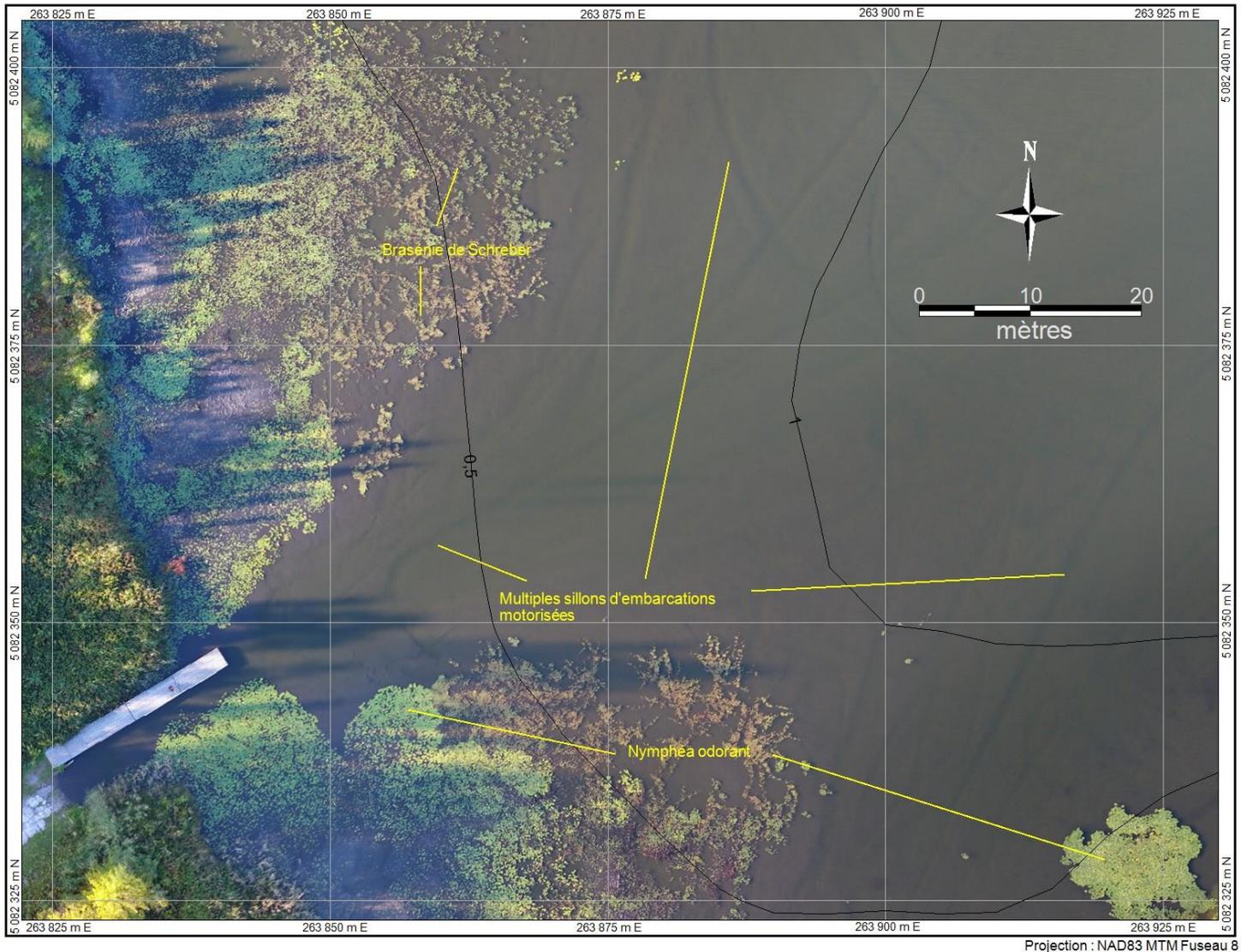
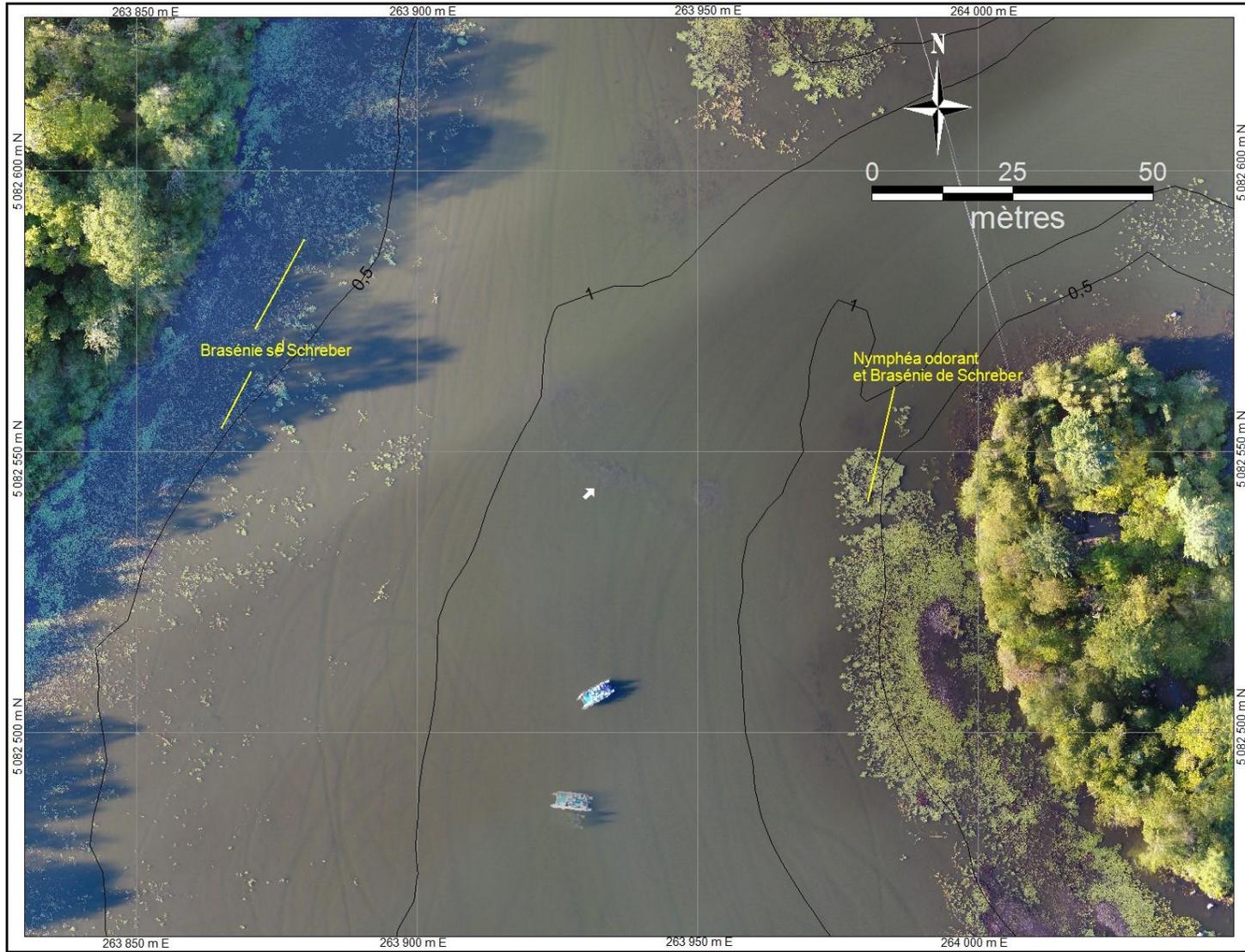


FIGURE 64. Ortho-mosaïque du secteur **5b** au lac Écho montrant les multiples traces d'embarcations motorisées entre la rive et l'île Bessette. L'image-fantôme du ponton bleu située au bas de la mosaïque est un artéfact de la technique de création dû au déplacement de l'embarcation pendant l'acquisition des images (20 minutes). La flèche blanche indique le panache de re-suspension créé dans les minutes précédentes par le même ponton. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.



Projection : NAD83 MTMFuseau 8

FIGURE 65. Ortho-mosaïque du secteur 5c au lac Écho montrant les herbiers de Grand nénuphar jaune et de Brasénie de Schreber entourant l'île Derenne. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

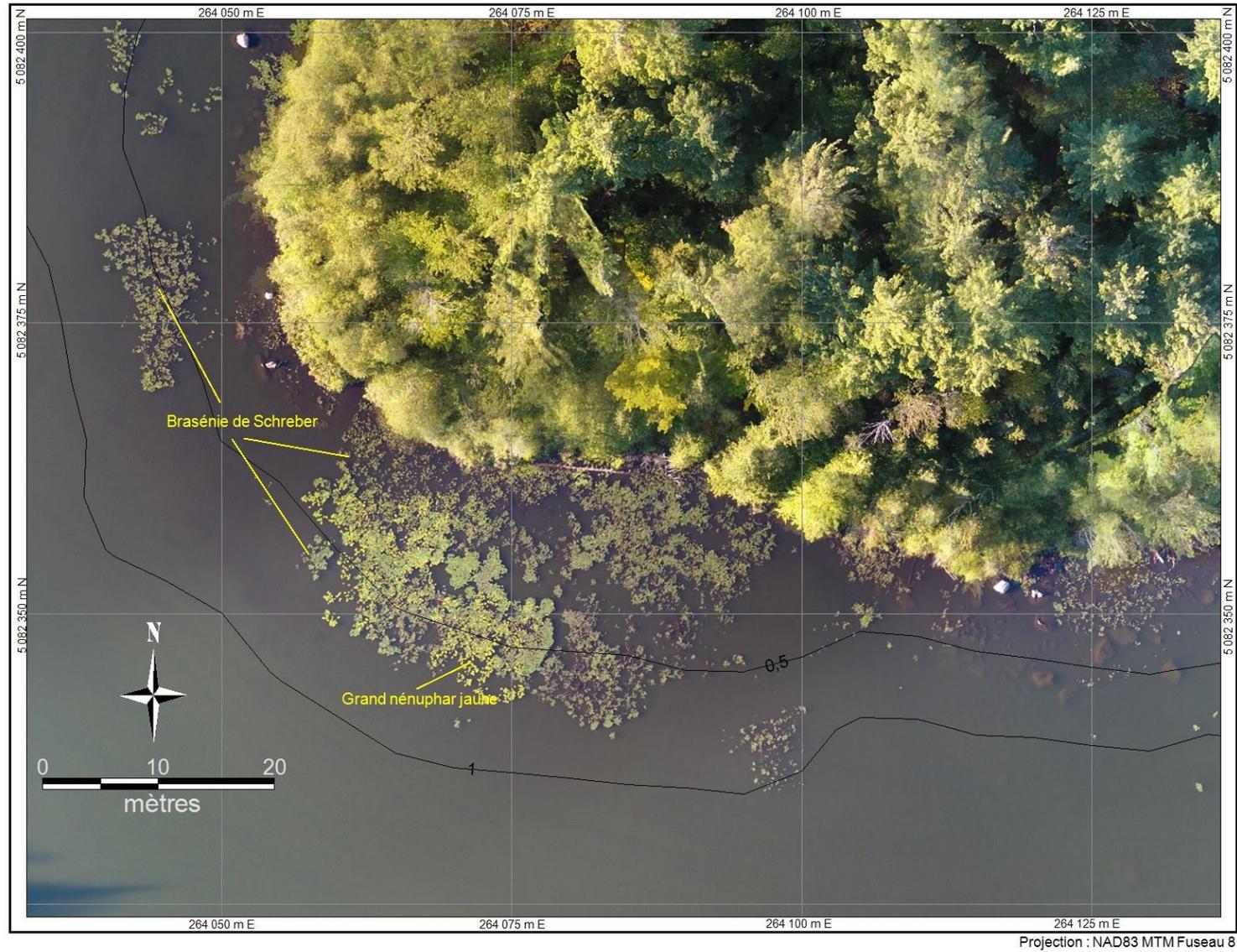


FIGURE 66. Ortho-mosaïque du secteur 6 au lac Écho acquies le 7 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquies en 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

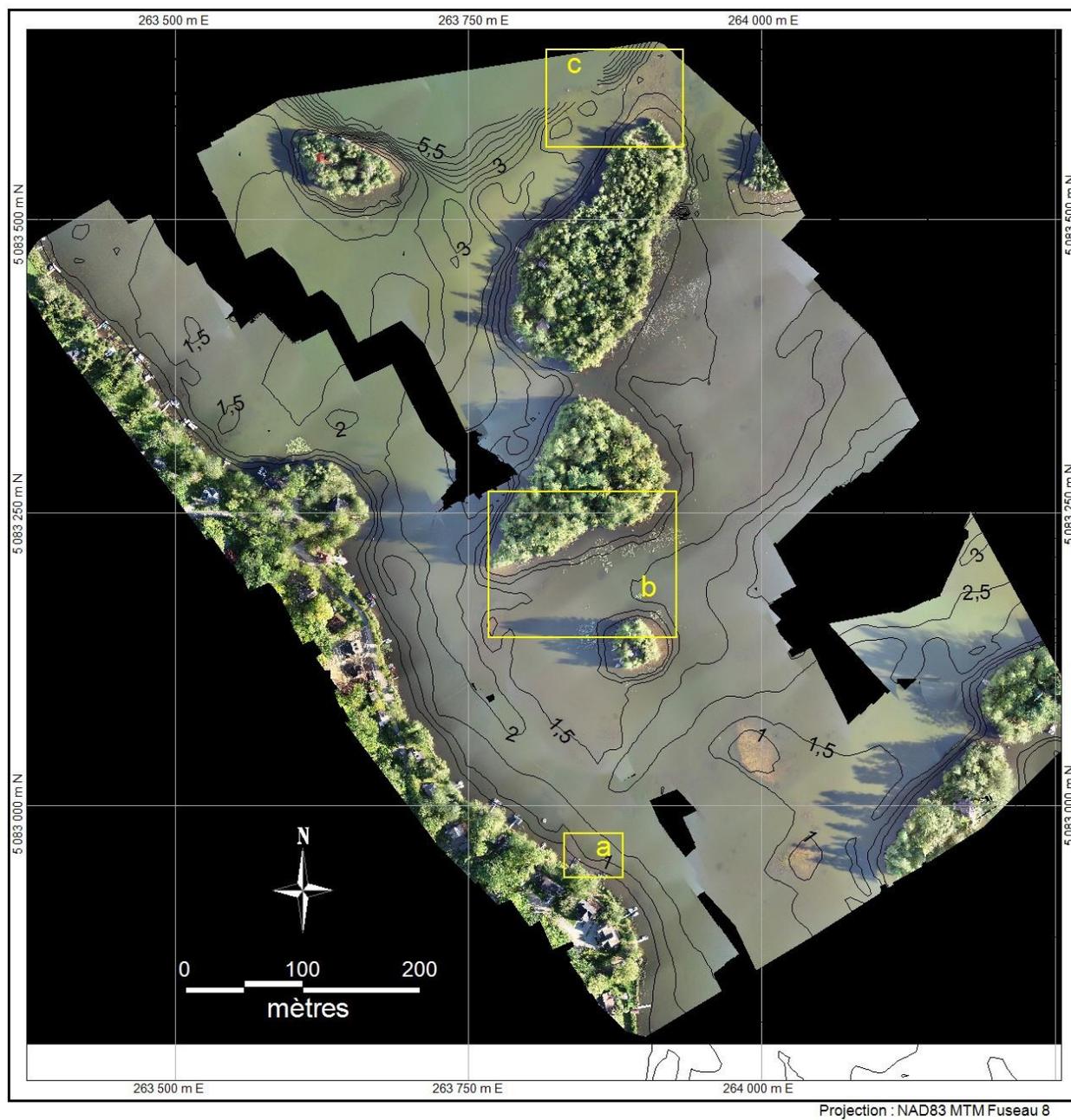
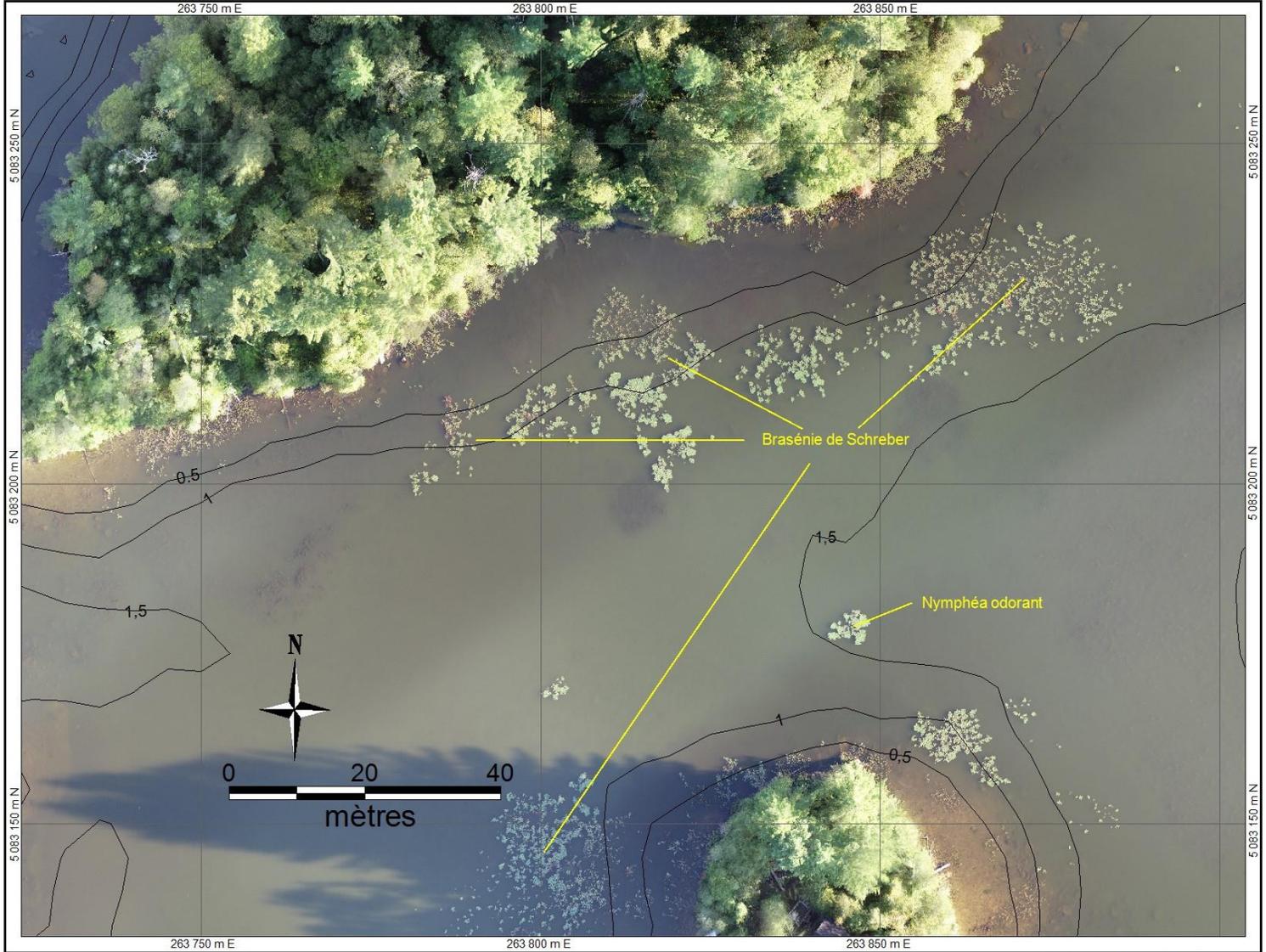


FIGURE 67. Ortho-mosaïque du secteur 6a au lac Écho montrant des sillons d'embarcations motorisées. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 68. Ortho-mosaïque du secteur **6b** au lac Écho montrant les herbiers de *Brasénie de Schreber* et de *Nymphéa odorant* développés à une profondeur d'environ un mètre. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 69. Ortho-mosaïque du secteur 6c au lac Écho. Ce secteur recoupe le secteur 2a (figure 53), photographié à une date différente, et permet de vérifier l'exactitude du positionnement géographique. Les différences de positionnement géographique des cailloux de cette image et de l'image 2a sont inférieures à un mètre. Les lignes noires sont les isobathes 0,5 m acquises en 2018.

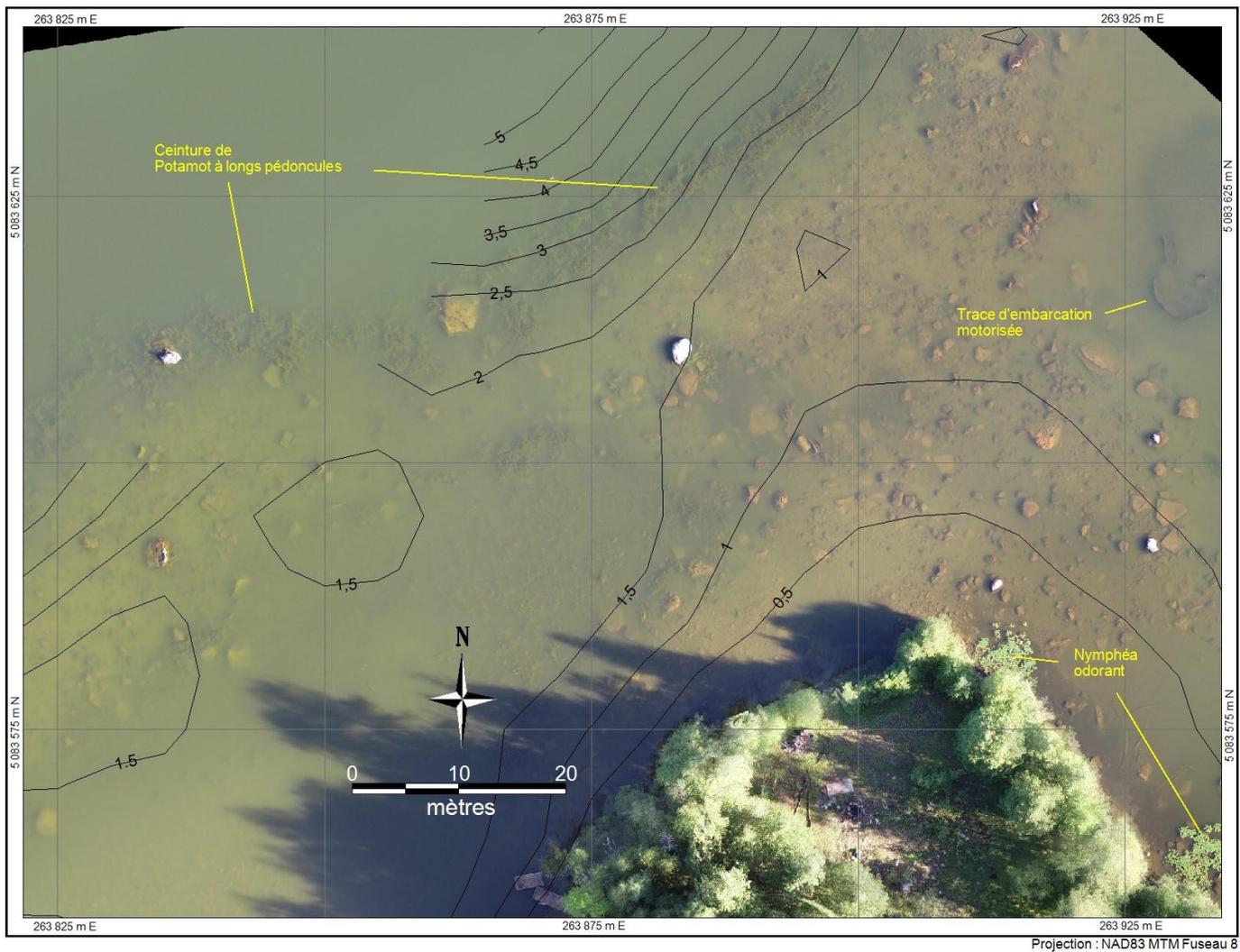


FIGURE 70. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Connelly acquise les 27 et 28 août 2018. Les isobathes (2 m, courbes noires) sont issues de la carte bathymétrique produite en mai 2001. Les symboles carrés indiquent la position et le numéro des photographies sous-marines (27 et 28 août 2018) ayant servi à l'identification des espèces. Sur cette image, les hauteurs supérieures à 1,5 mètre indiquent la présence d'herbiers monospécifiques de *Myriophylle* à épi ou d'un mélange de *Myriophylle* à épi et de *Potamogeton* à longs pédoncules.

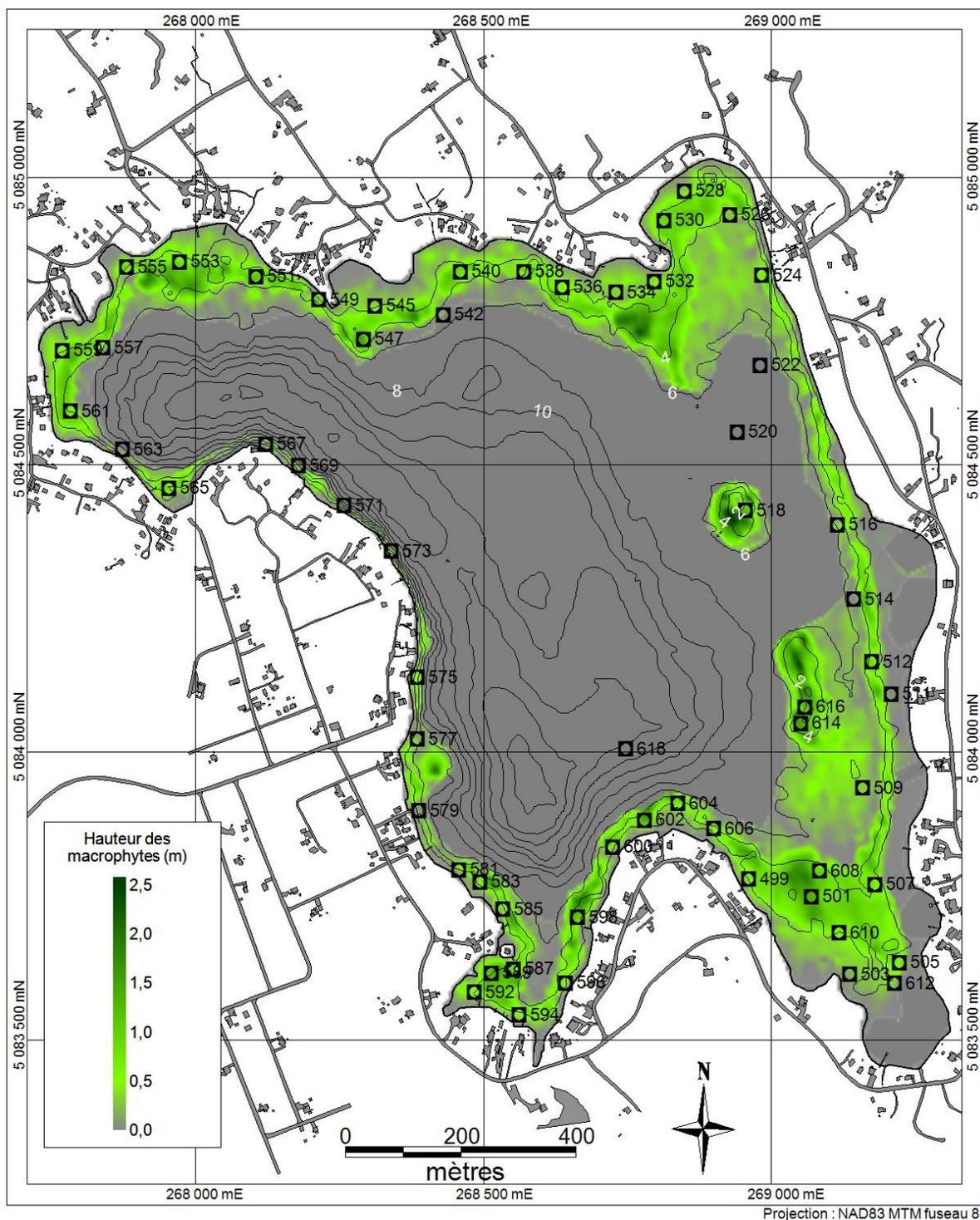


FIGURE 71. Secteurs survolés au drone entre les 30 août et 13 septembre 2018 pour l'acquisition des photographies ayant servi à la réalisation des ortho-mosaïques du lac Connelly.

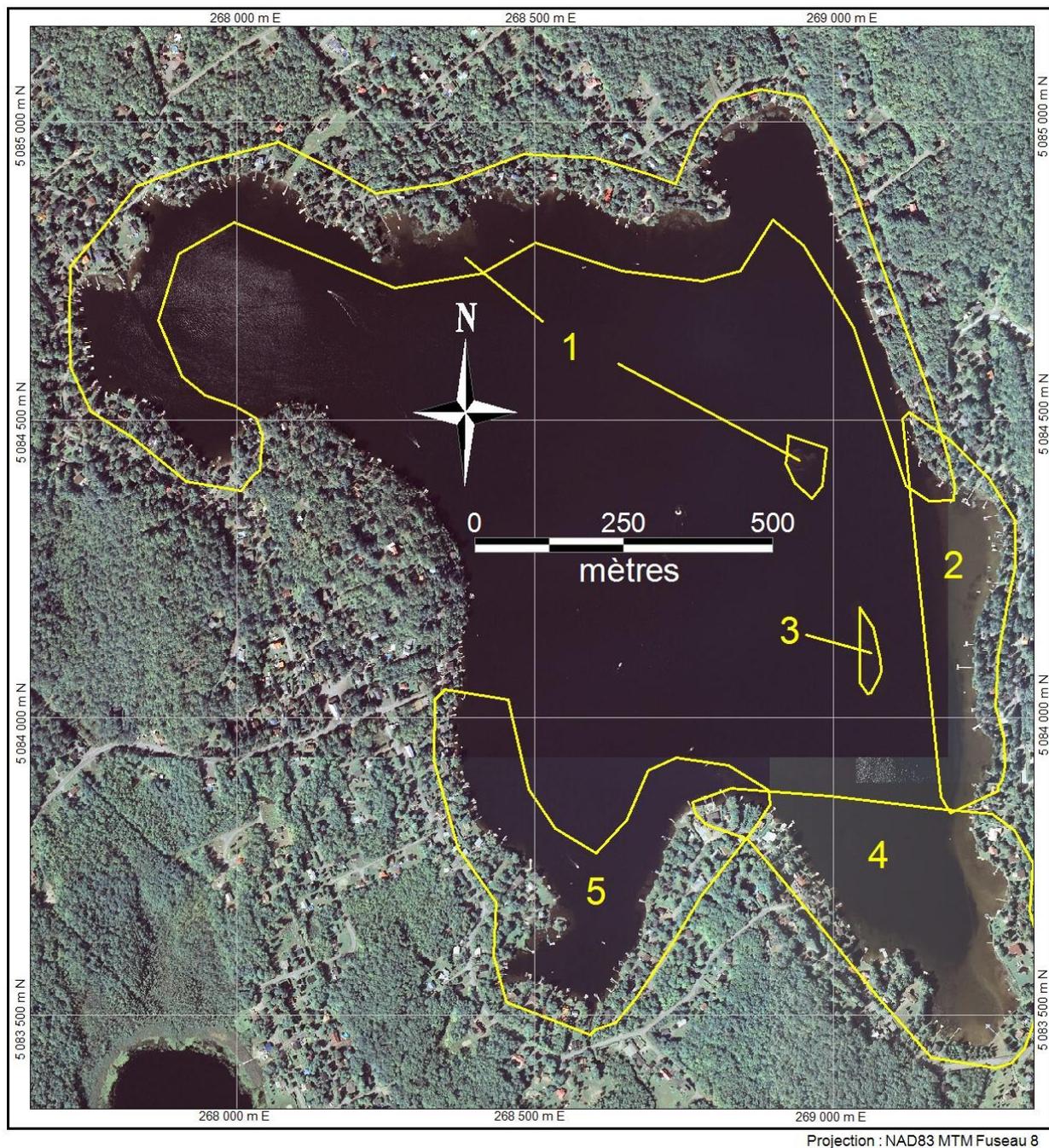


FIGURE 72. Ortho-mosaïque du secteur 1 du lac Connelly photographié le 30 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

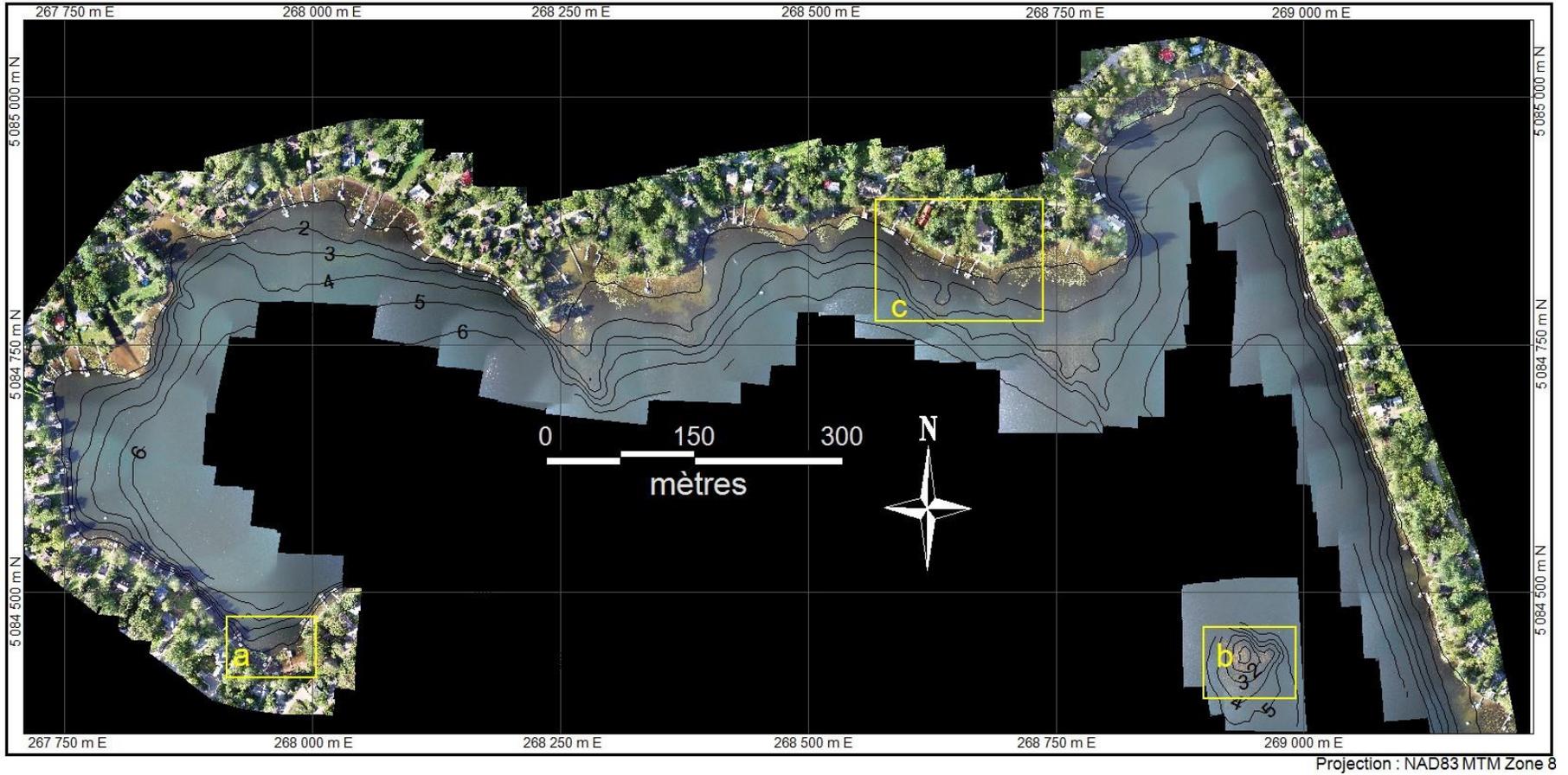
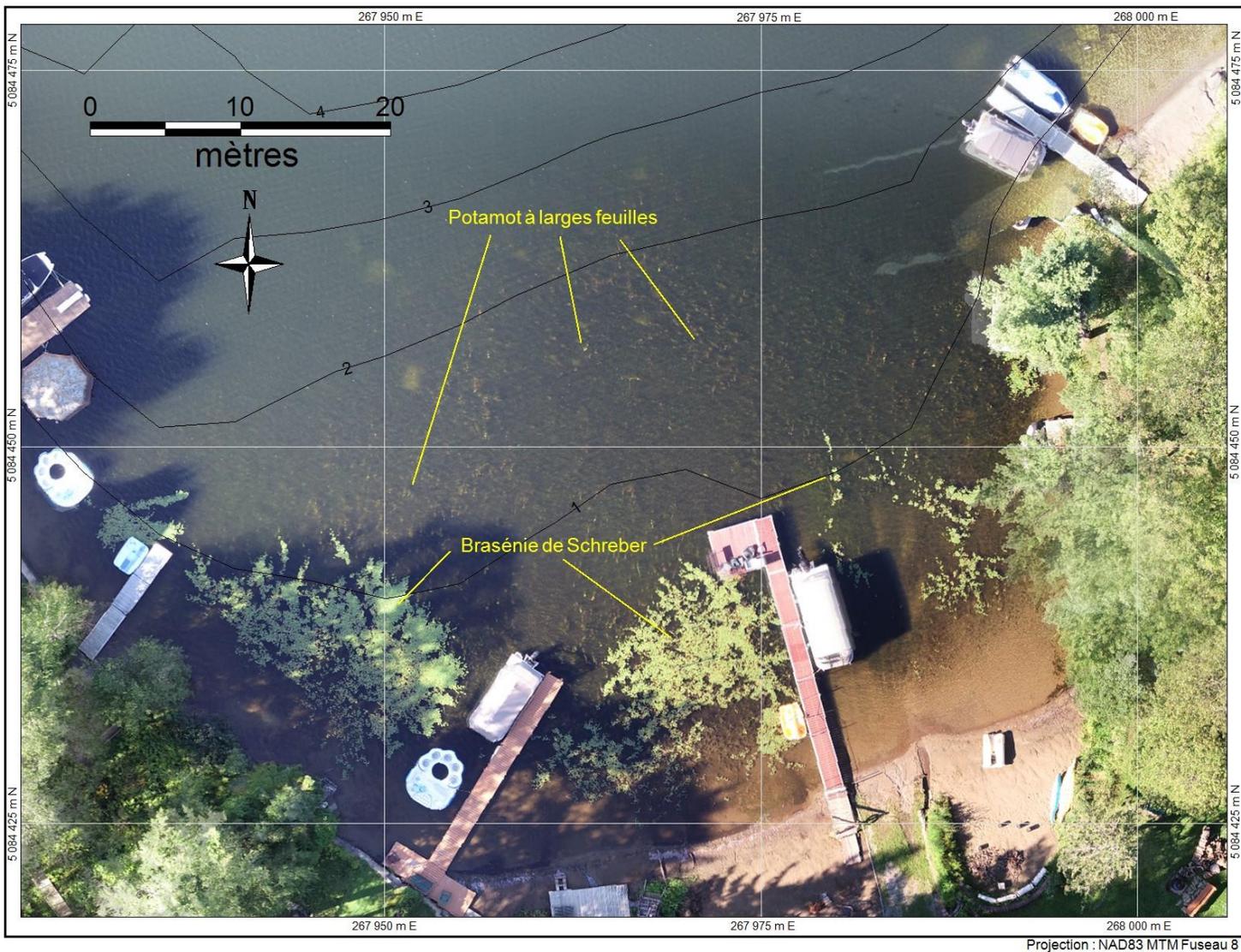


FIGURE 73. Ortho-mosaïque du secteur **1a** du lac Connelly acquis le 30 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m produites lors de l'échosondage 2018. Au lac Connelly, les plantes aquatiques à feuilles flottantes s'installent principalement entre les quais, où la résurgence d'eau souterraine riche en nutriments issus des installations septiques et une plus faible turbulence de l'eau favoriseraient l'accumulation de sédiments fins et l'enracinement des plantes.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 74. Ortho-mosaïque du secteur **1b** du lac Connelly (haut-fond nord) acquis le 30 août 2018. La présence de végétation aquatique submergée très dense loin des habitations montre que la nutrition et la croissance des macrophytes ne dépend pas uniquement des apports directs de nutriments issus des installations septiques. Les trous dans la végétation trahissent la présence de blocs rocheux où la végétation ne peut s'enraciner. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018.

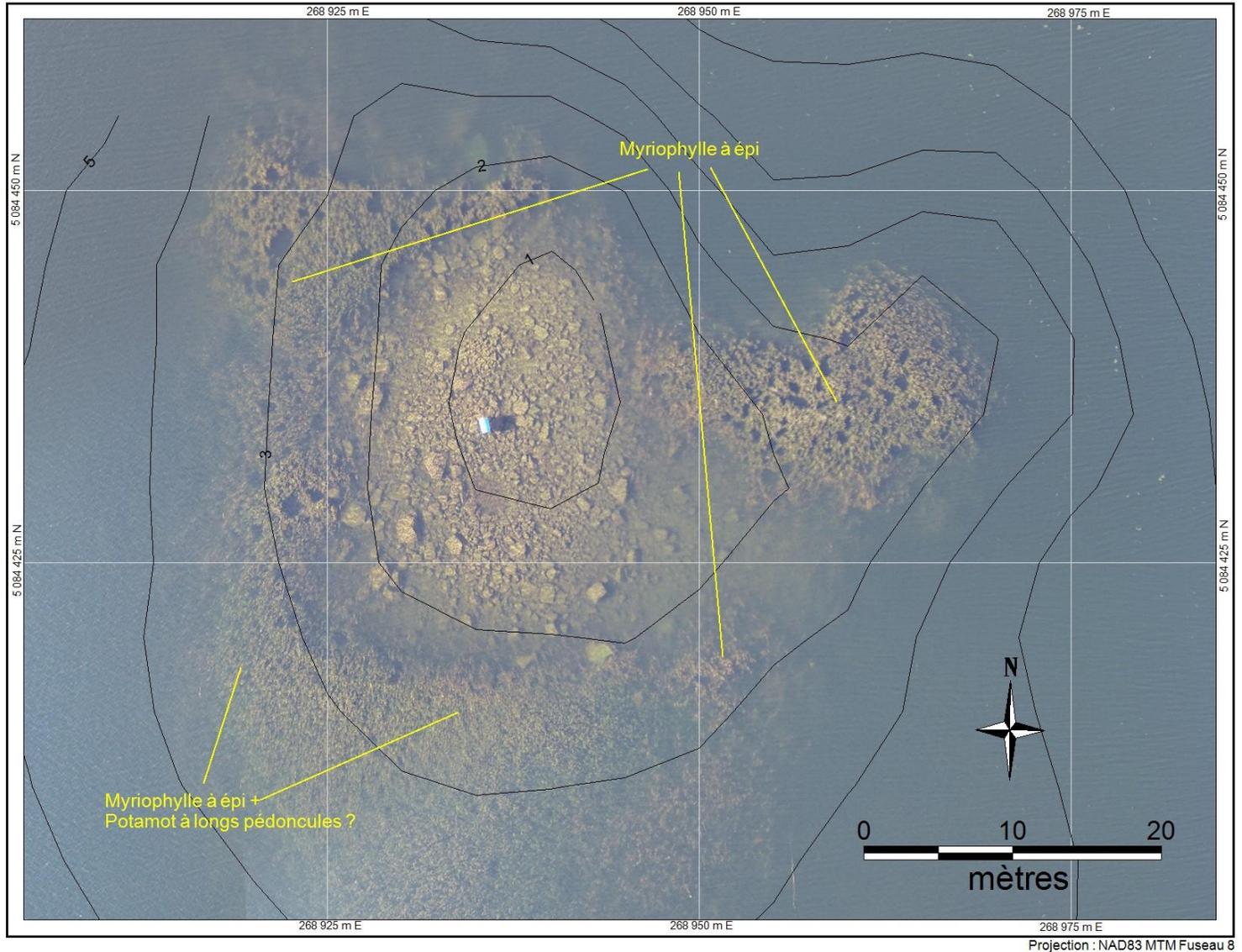


FIGURE 75. Ortho-mosaïque du secteur 1c du lac Connelly acquis le 30 août 2018. L'image montre trois espèces communes dans ce lac. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m provenant de l'échosondage de la végétation submergée réalisé en août 2018.

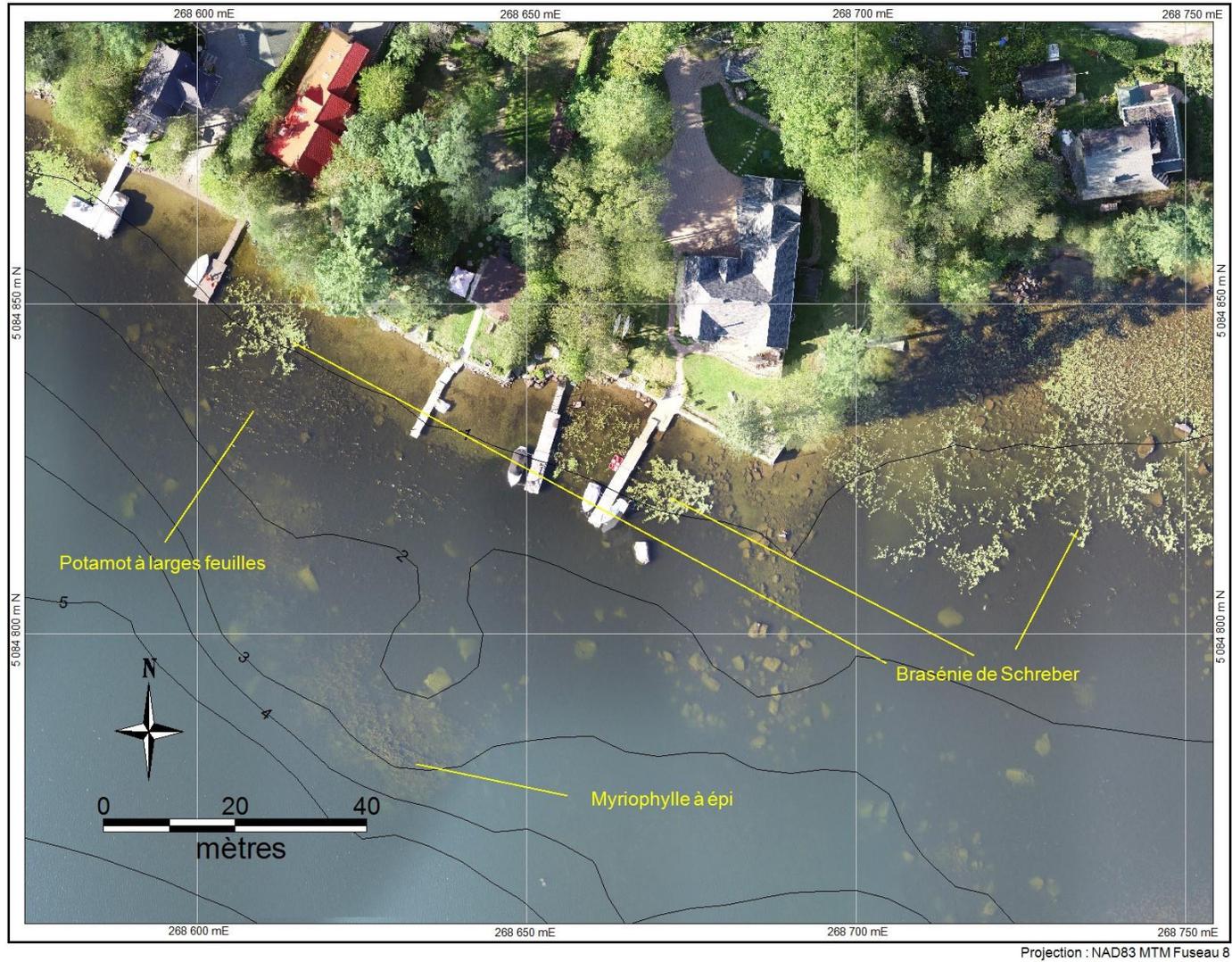


FIGURE 76. Ortho-mosaïque du secteur 2 du lac Connelly acquis le 31 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m issues de l'échosondage de la végétation submergée en août 2018. Le rectangle jaune montre la position de l'agrandissement présenté à la figure suivante (77).



FIGURE 77. Ortho-mosaïque du secteur **2a** du lac Connelly acquis le 30 août 2018. Sur cette image, le Myriophylle à épi forme un herbier continu de quelques mètres de largeur approximativement situé entre les isobathes 2 m et 3 m.

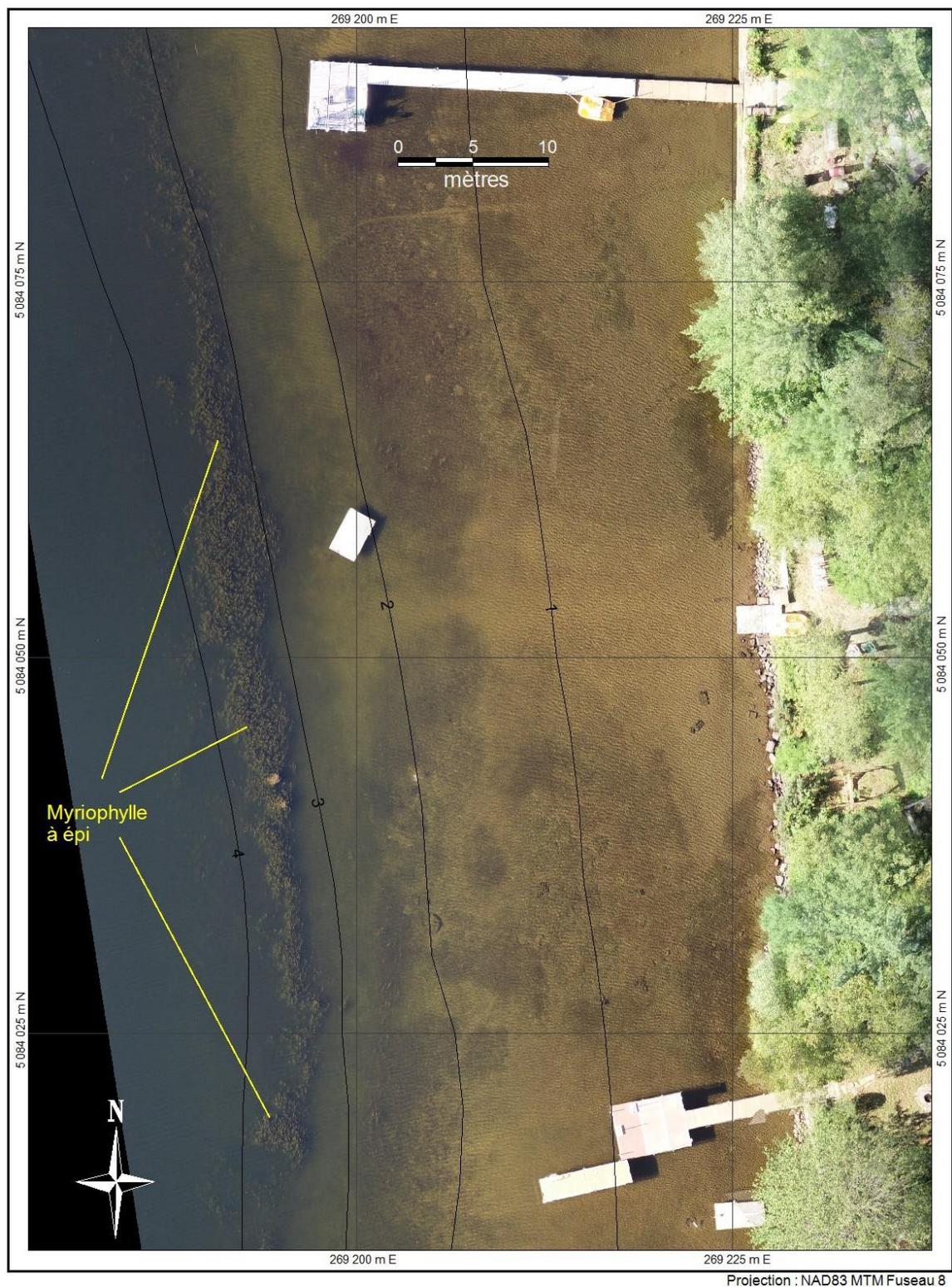


FIGURE 78. Ortho-mosaïque du secteur 3 du lac Connelly (haut-fond sud) acquis le 31 août 2018. Comme à la figure 72, la présence de végétation aquatique submergée très dense loin des habitations montre que la nutrition et la croissance des macrophytes ne dépend pas uniquement des apports directs de nutriments issus des installations septiques. Les trous dans la végétation trahissent la présence de blocs rocheux où la végétation ne peut s'enraciner. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018.

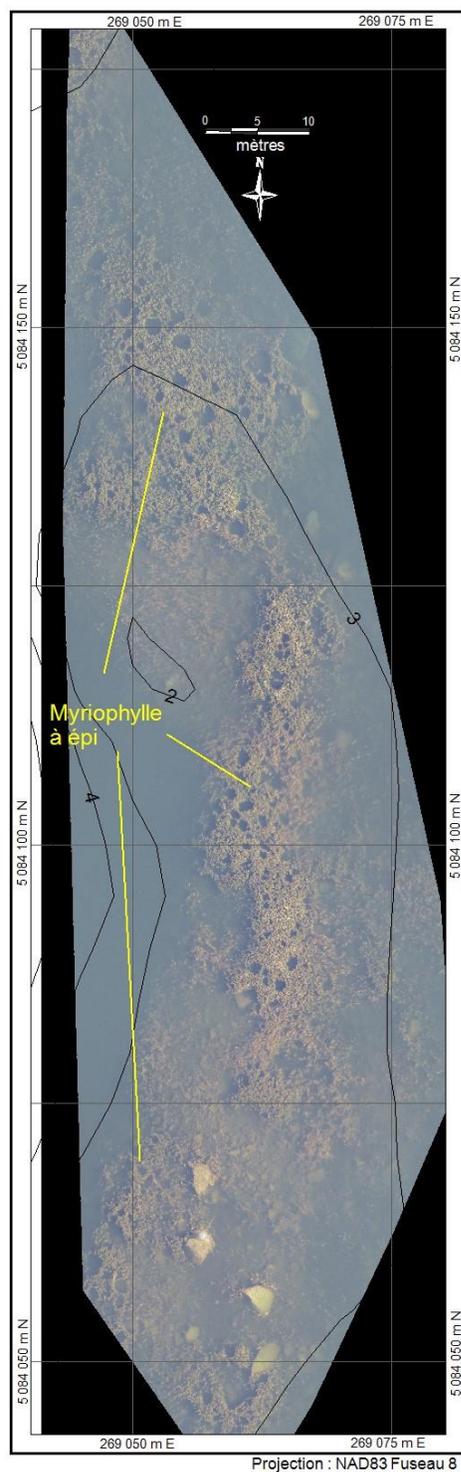


FIGURE 79. Ortho-mosaïque du secteur 4 au lac Connelly photographié le 31 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

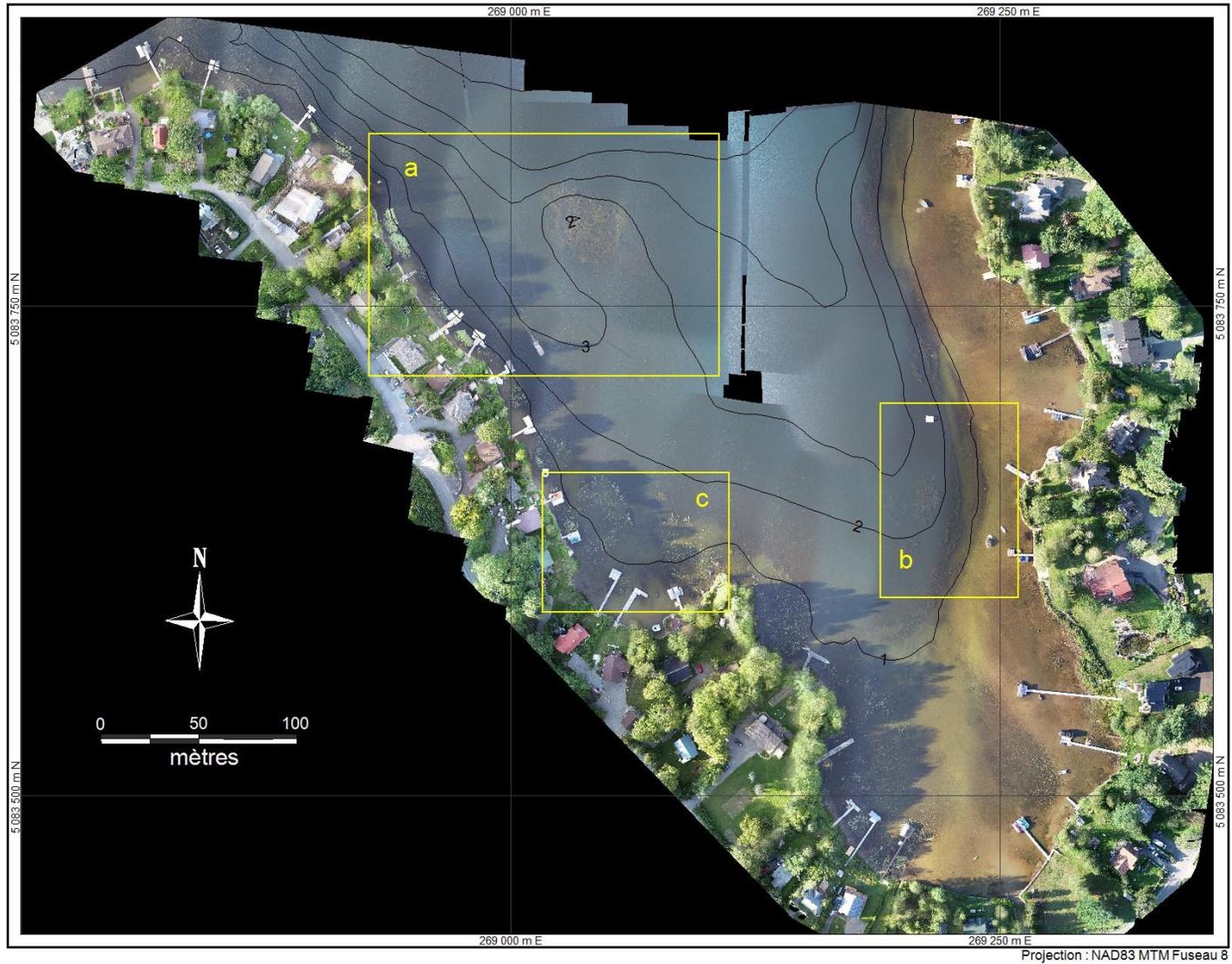


FIGURE 80. Ortho-mosaïque du secteur 4a au lac Connelly montrant un petit haut-fond occupé par le Myriophylle à épi. Les trous dans la végétation signalent la présence de blocs rocheux où la végétation ne peut s'enraciner. Noter les herbiers de végétation à feuilles flottantes entre les quais.

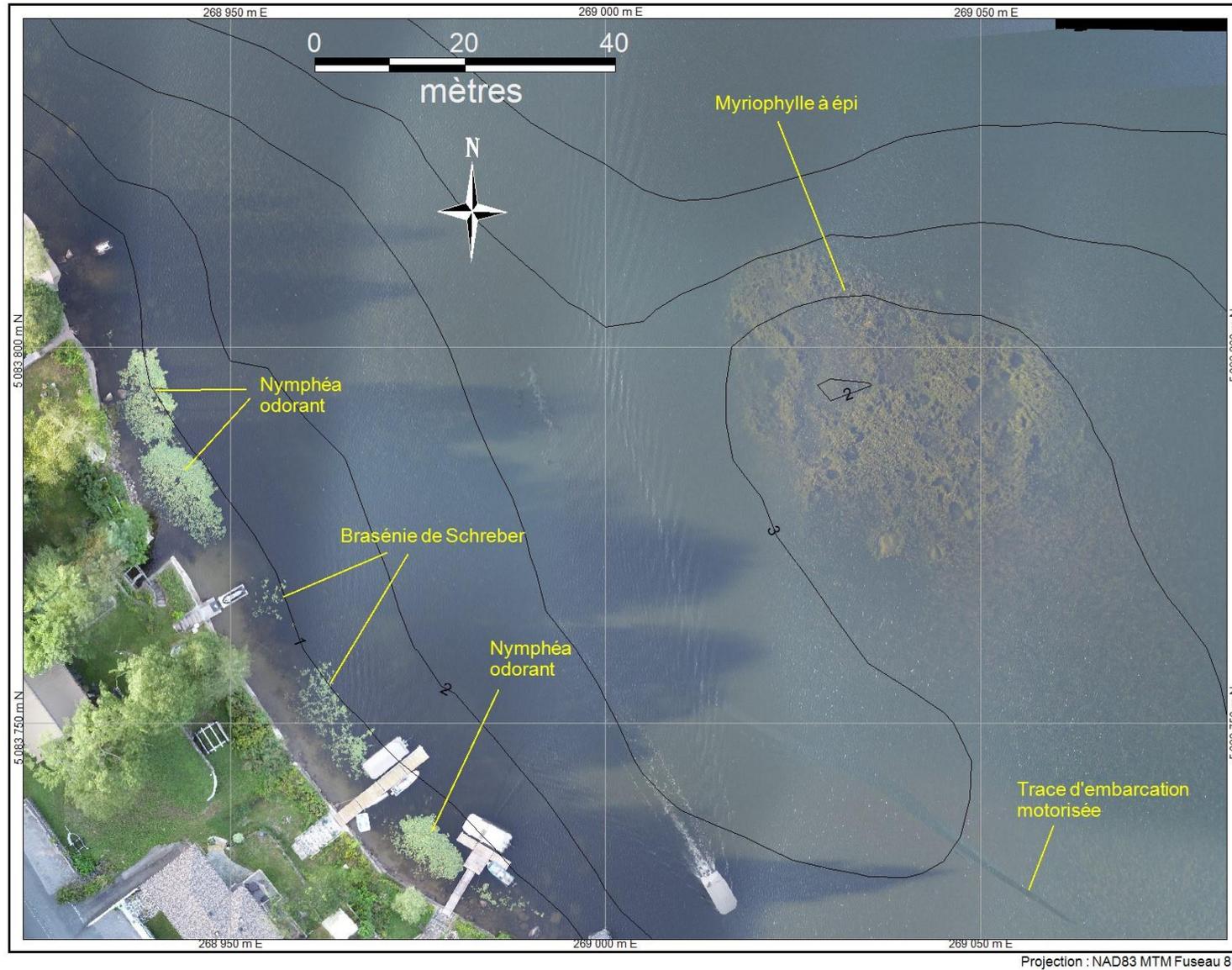


FIGURE 81. Ortho-mosaïque du secteur **4b** au lac Connelly montrant l'organisation des ceintures de végétation aquatique submergée dans cette partie sablonneuse du lac. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018.

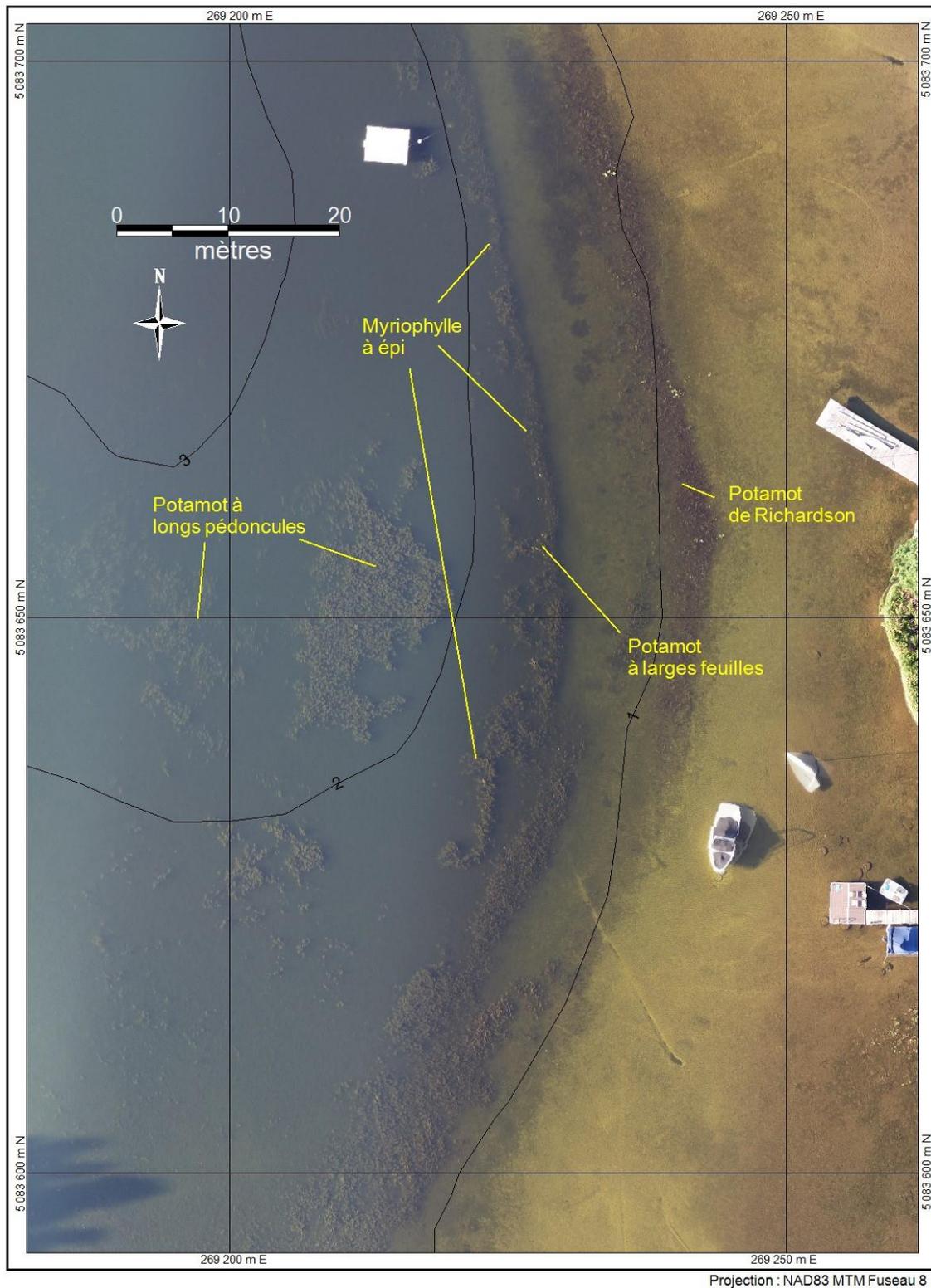


FIGURE 82. Ortho-mosaïque du secteur **4c** au lac Connelly montrant la profondeur maximale de colonisation par la Brasénie de Schreber (environ 1,5 m). Les lignes noires sont les isobathes acquises en 2018.

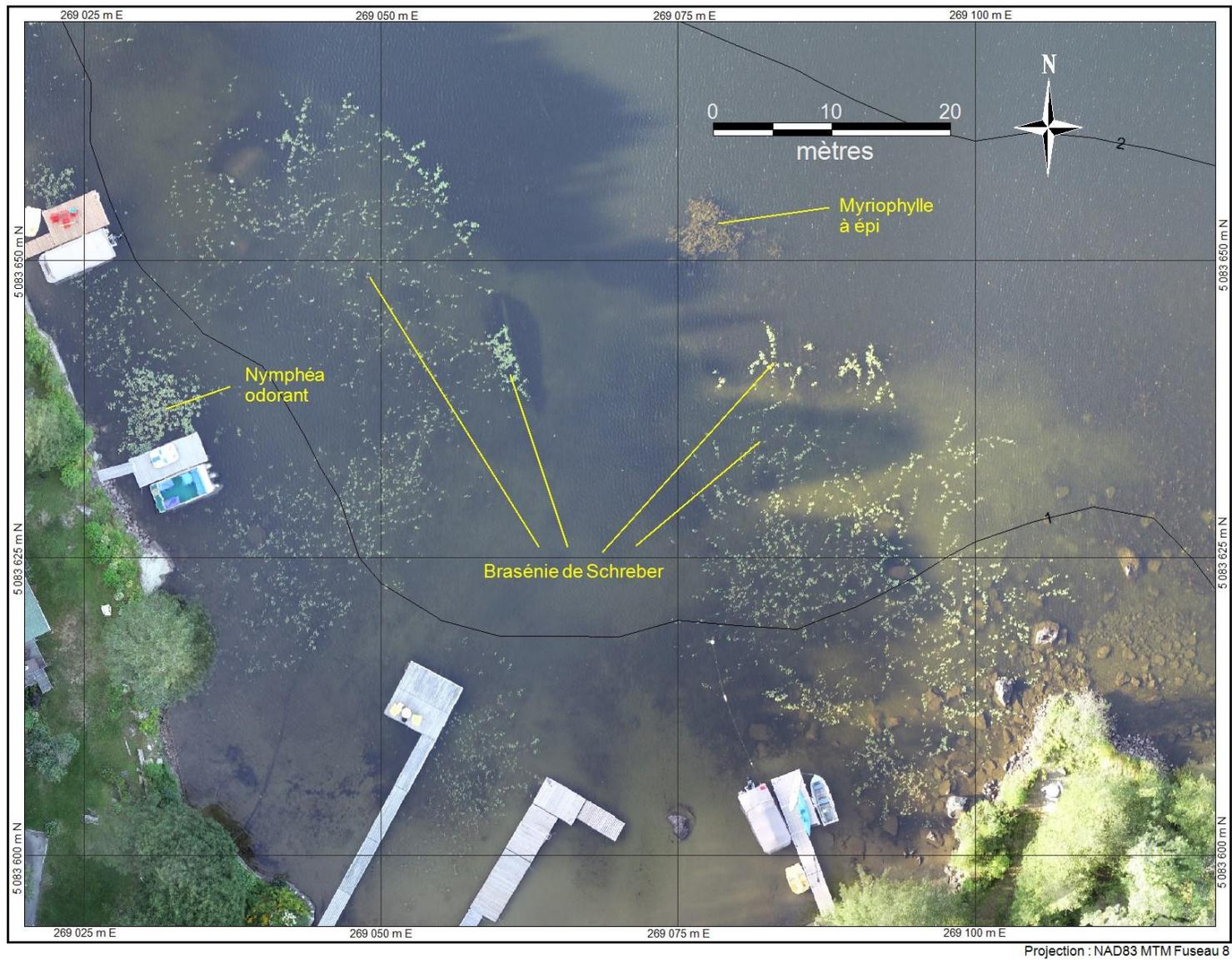


FIGURE 83. Ortho-mosaïque du secteur 5 au lac Connelly photographié le 13 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes 1,0 m acquises lors de l'échosondage 2018. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes. Le barrage peut être aperçu à l'extrême sud de la baie.

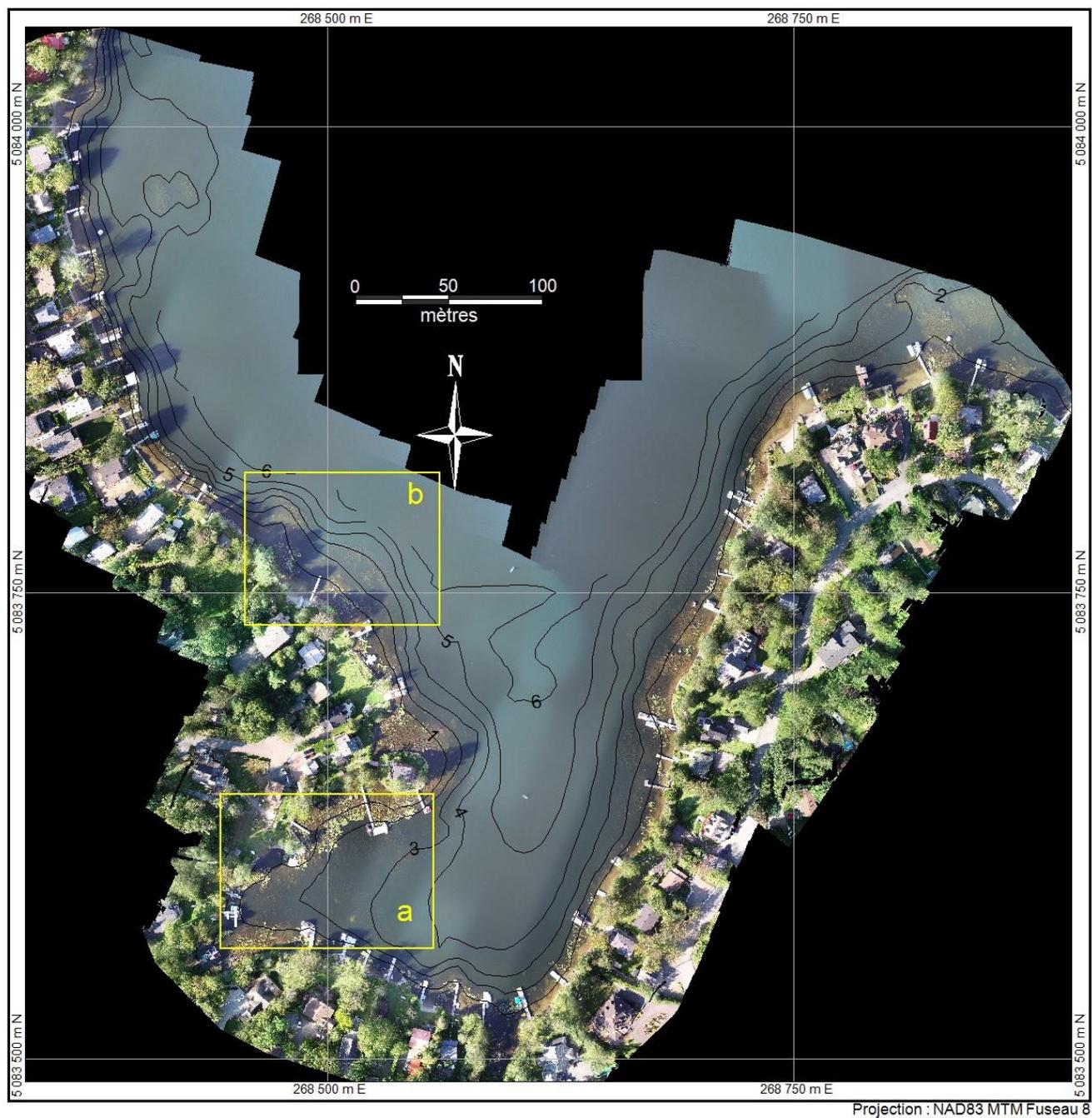


FIGURE 84. Ortho-mosaïque du secteur 5a au lac Connelly montrant le développement d'une végétation aquatique à feuilles flottantes dominée par la Brasénie de Schreber et le Nymphéa odorant. Jusqu'à une profondeur d'environ 3 m, la végétation submergée est dominée par le Myriophylle à épi clairsemée et le Potamot de Robbins. Les lignes noires sont les isobathes acquises en 2018.

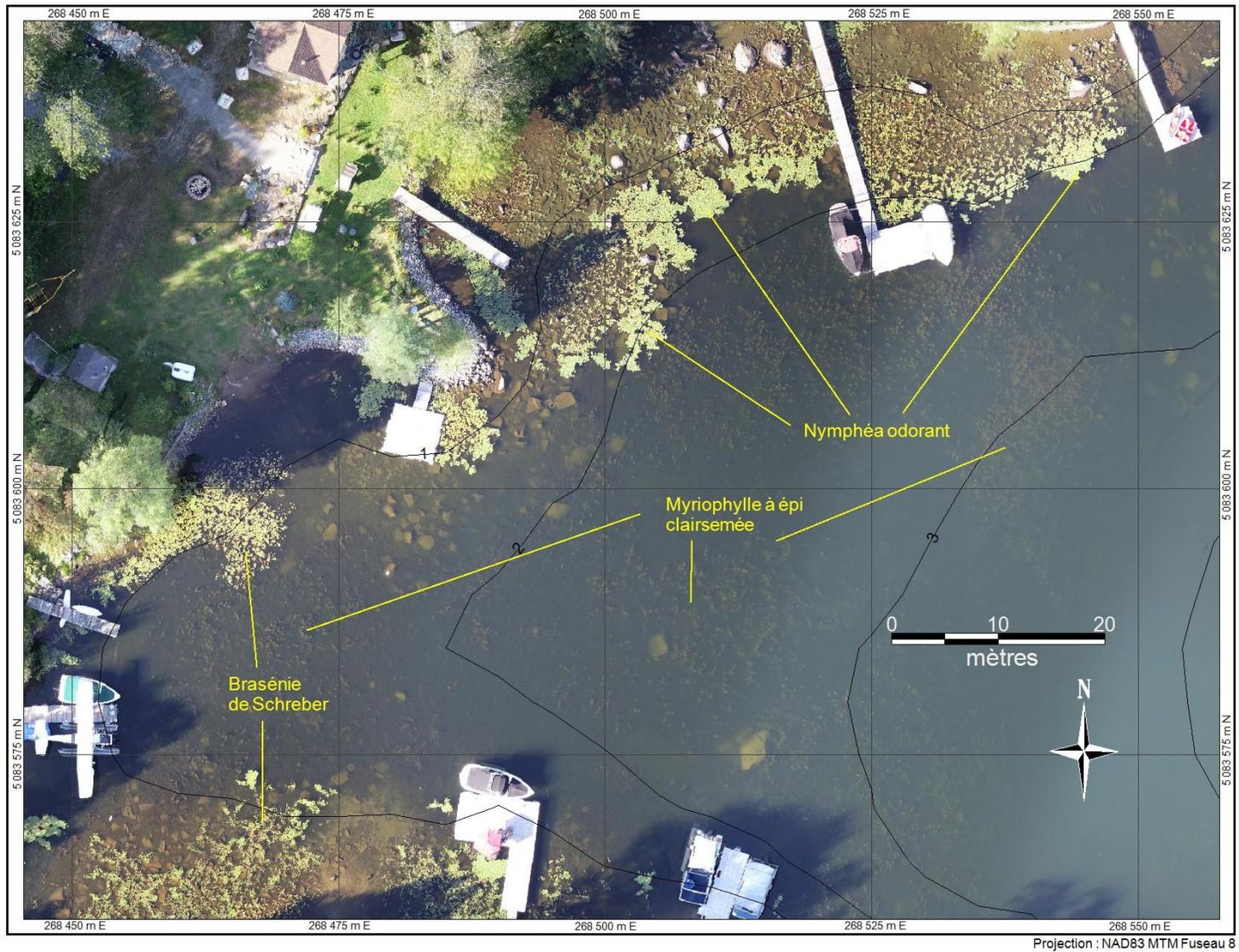
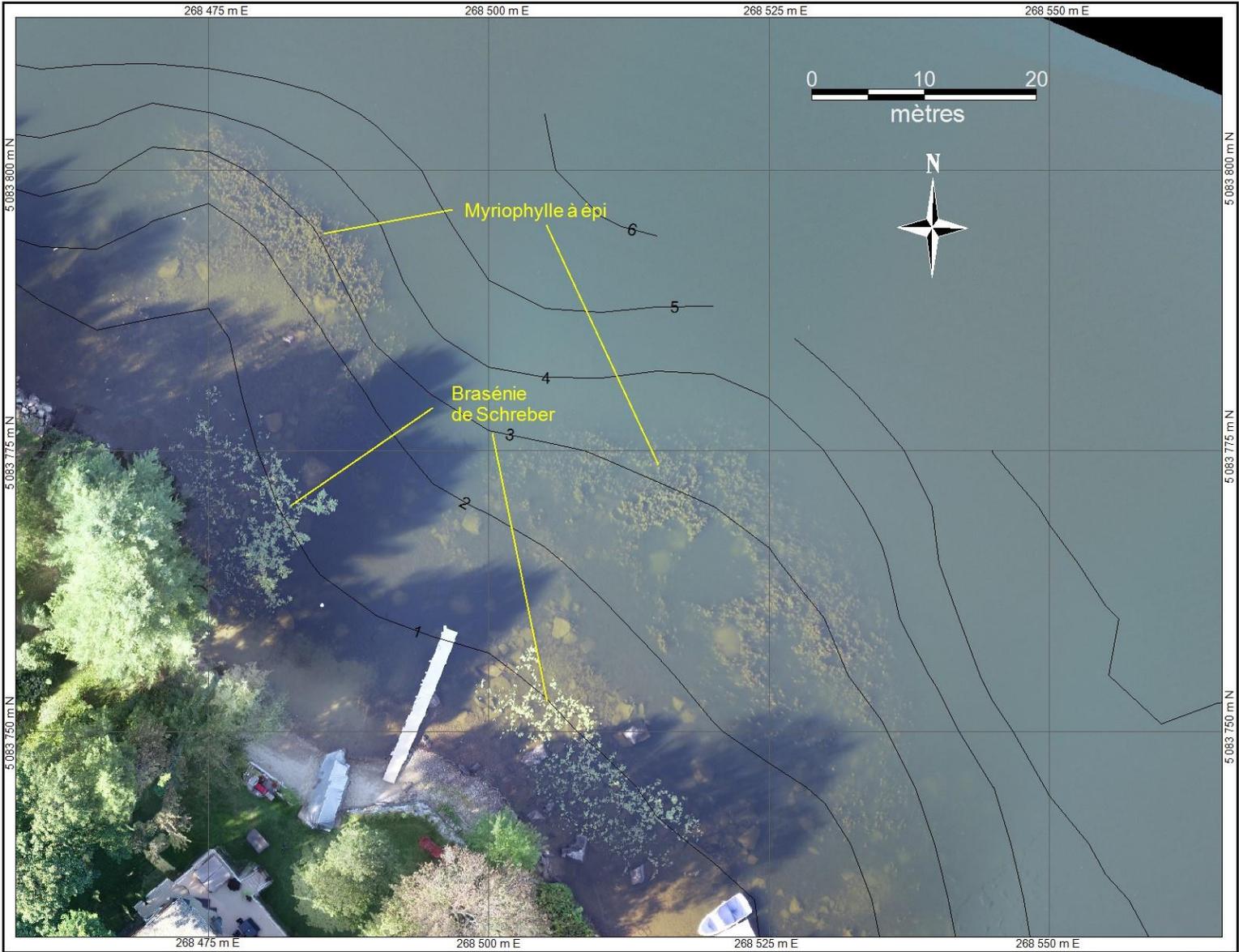


FIGURE 85. Ortho-mosaïque du secteur **5b** au lac Connelly montrant la ceinture de Myriophylle à épi occupant majoritairement les profondeurs situées entre 2 et 4 mètres dans cette partie du lac.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 86. Ortho-mosaïque de l'extrémité ouest du lac de l'Achigan photographiée le 24 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes paires (mètres) acquises en septembre 2000. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.



FIGURE 87. Ortho-mosaïque du **secteur a** au lac de l'achigan montrant un herbier important de *Brasénie de Schreber* ainsi qu'un herbier diffus de *Myriophylle à épi* présent à une profondeur de 2 à 4 mètres. La ligne blanche est l'isobathe de 2 mètres acquise en septembre 2000.

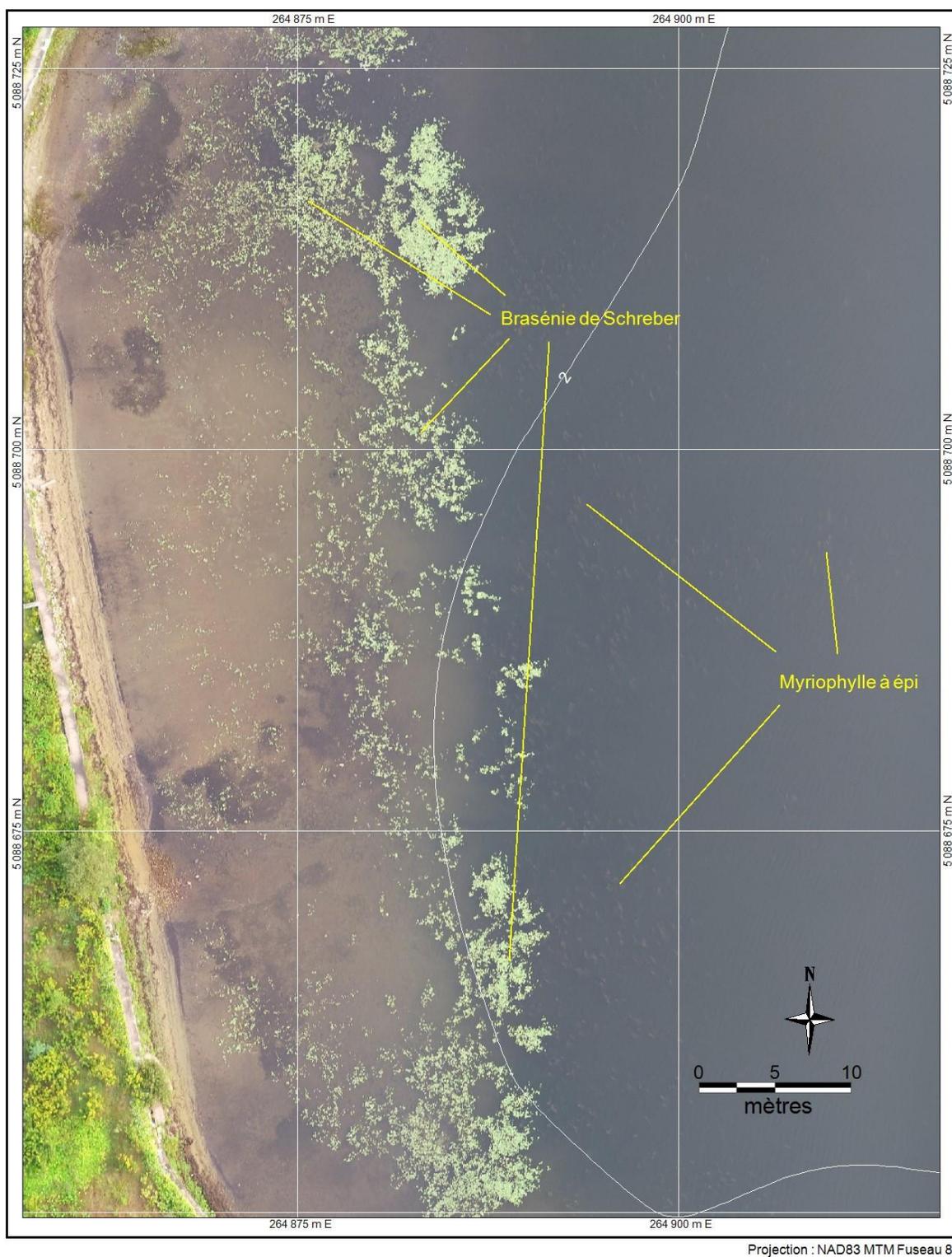


FIGURE 88. Ortho-mosaïque du **secteur b** au lac de l’Achigan montrant un haut-fond entouré de Myriophylle à épi semblable mais moins dense que ceux observés sur les hauts-fonds du lac Connelly.

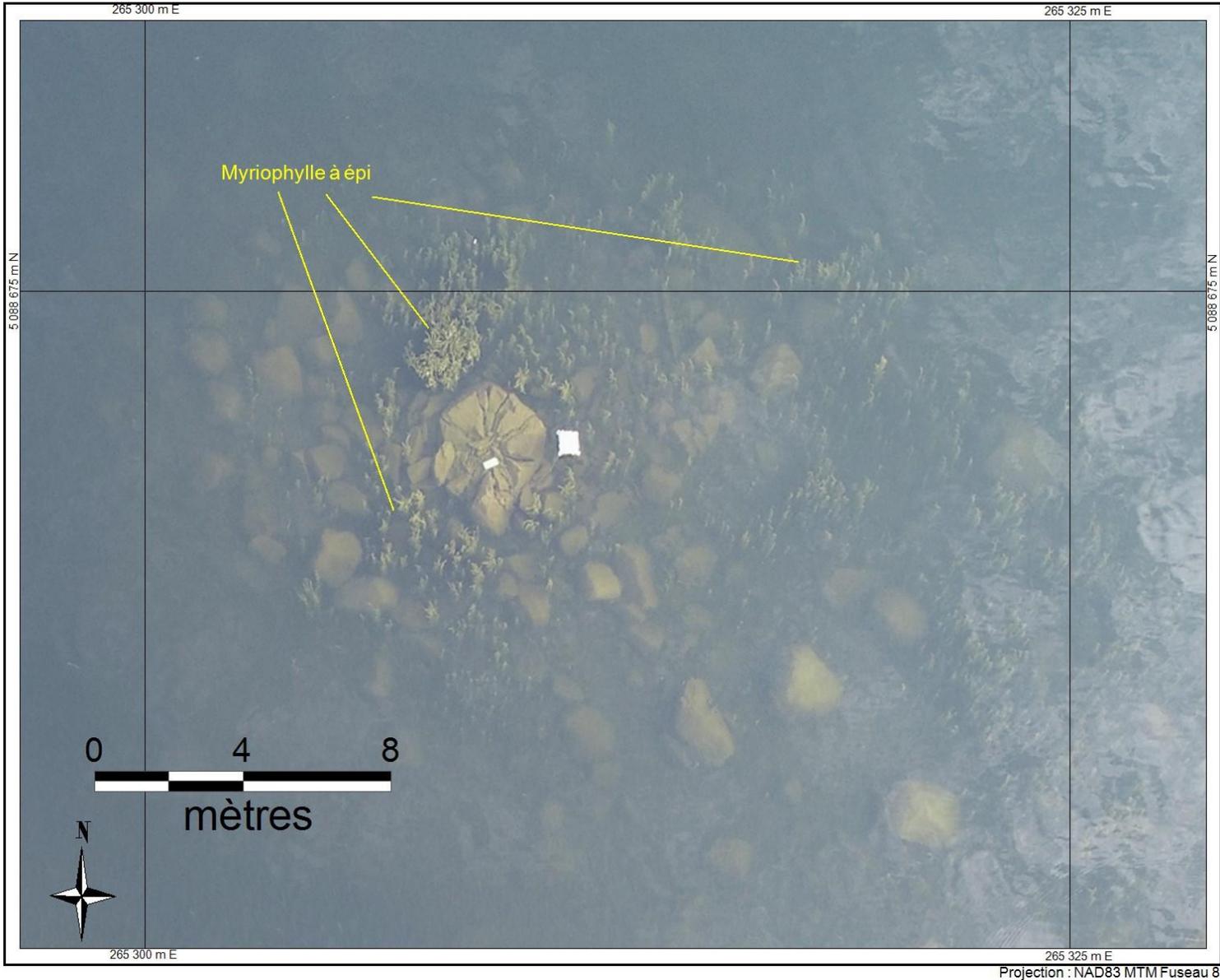
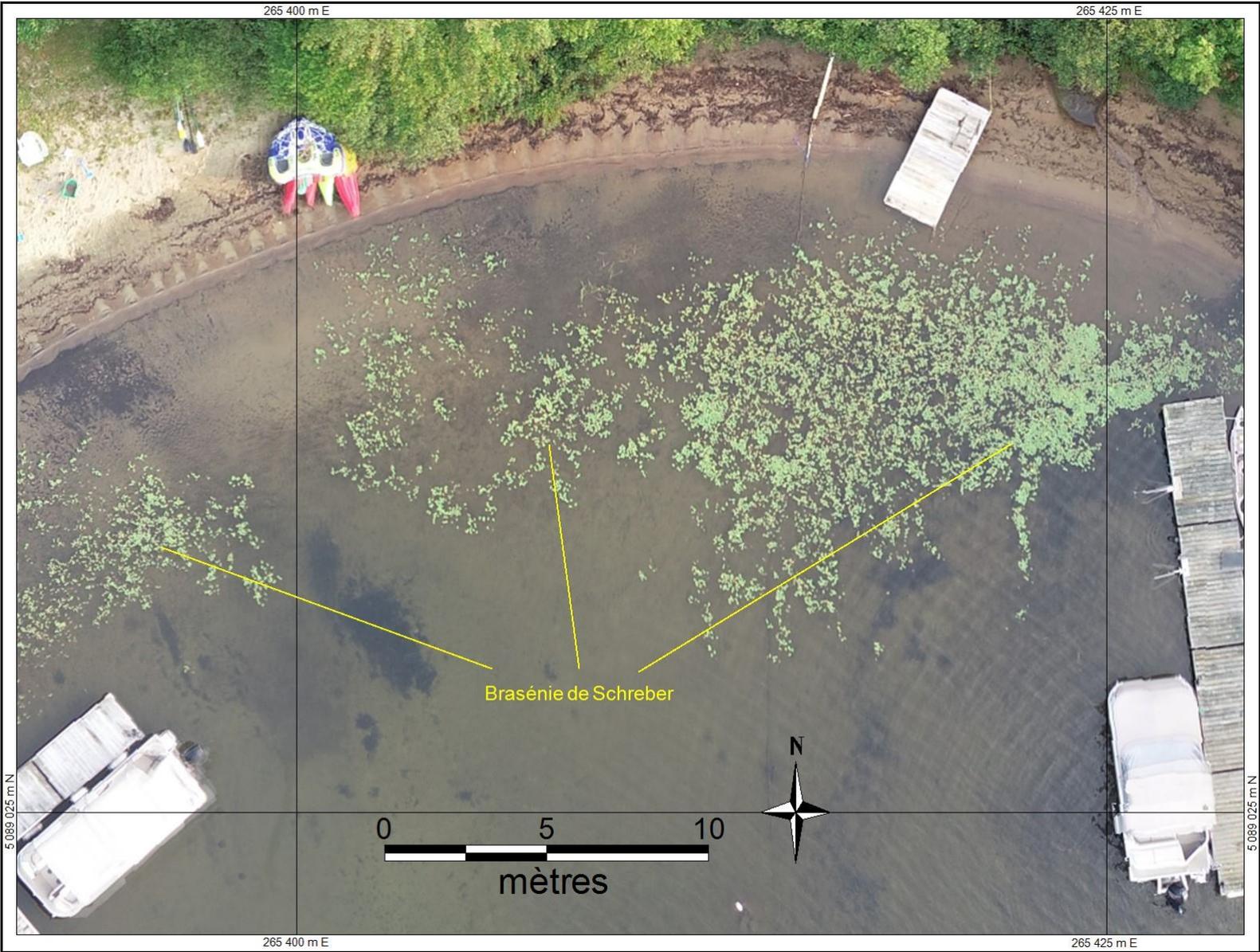


FIGURE 89. Ortho-mosaïque du secteur c au lac de l’Achigan montrant un herbier de Brasénie de Schreber.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 90. Mise à jour de la carte bathymétrique du lac en Cœur selon les sondages réalisés du 24 au 30 juillet 2018 dans le cadre de la cartographie des macrophytes submergés.

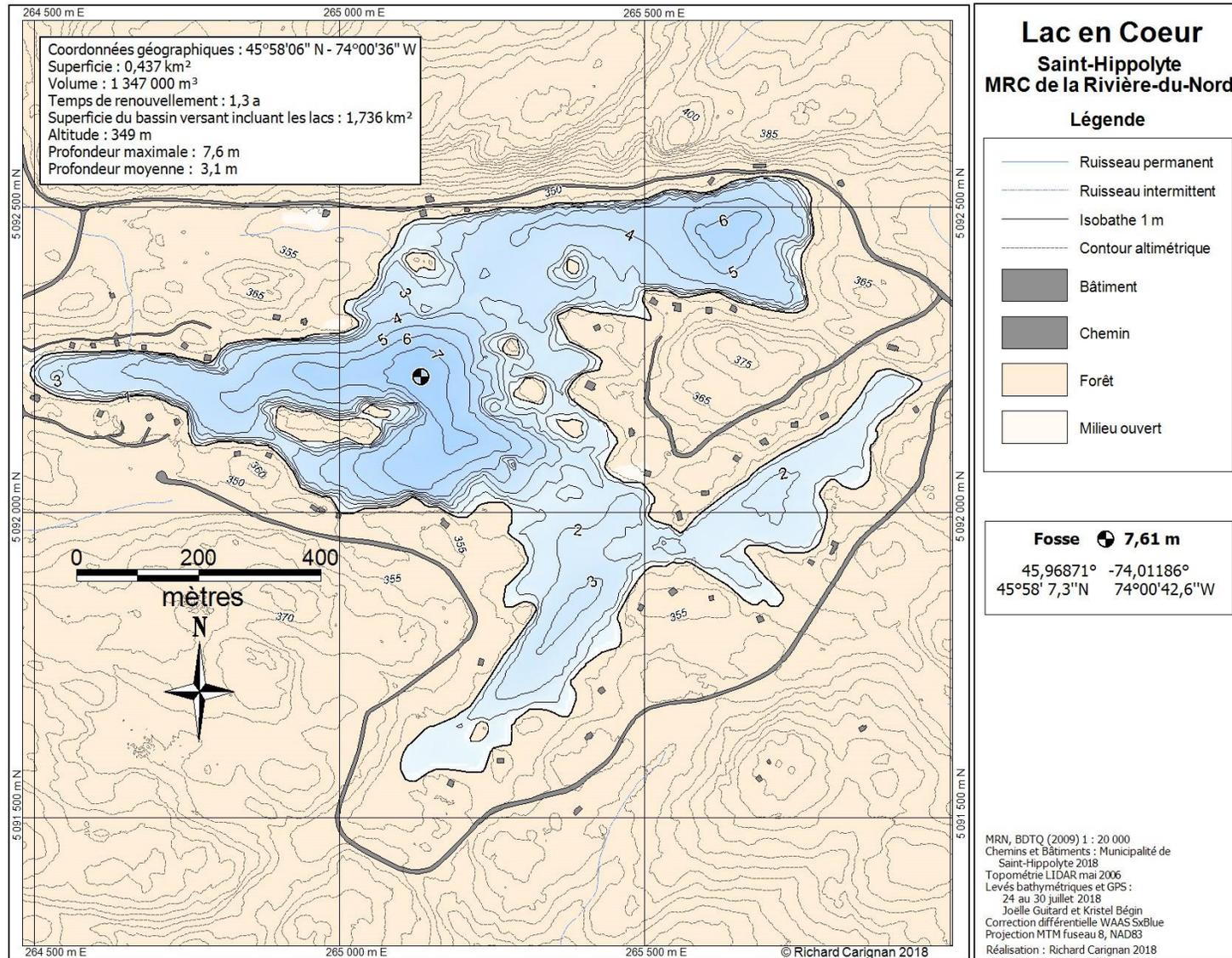


FIGURE 91. Cartographie de la végétation aquatique submergée au lac en Cœur le 30 juillet 2018. Les lignes blanches sont les isobathes de 1,0 mètre. L'image montre que la couverture du fond par la végétation y est relativement faible et devient nulle à partir d'une profondeur d'environ 4,5 mètres. Seuls certains endroits sont complètement recouverts par une végétation composée de Potamot à larges feuilles souvent invisible de la surface.

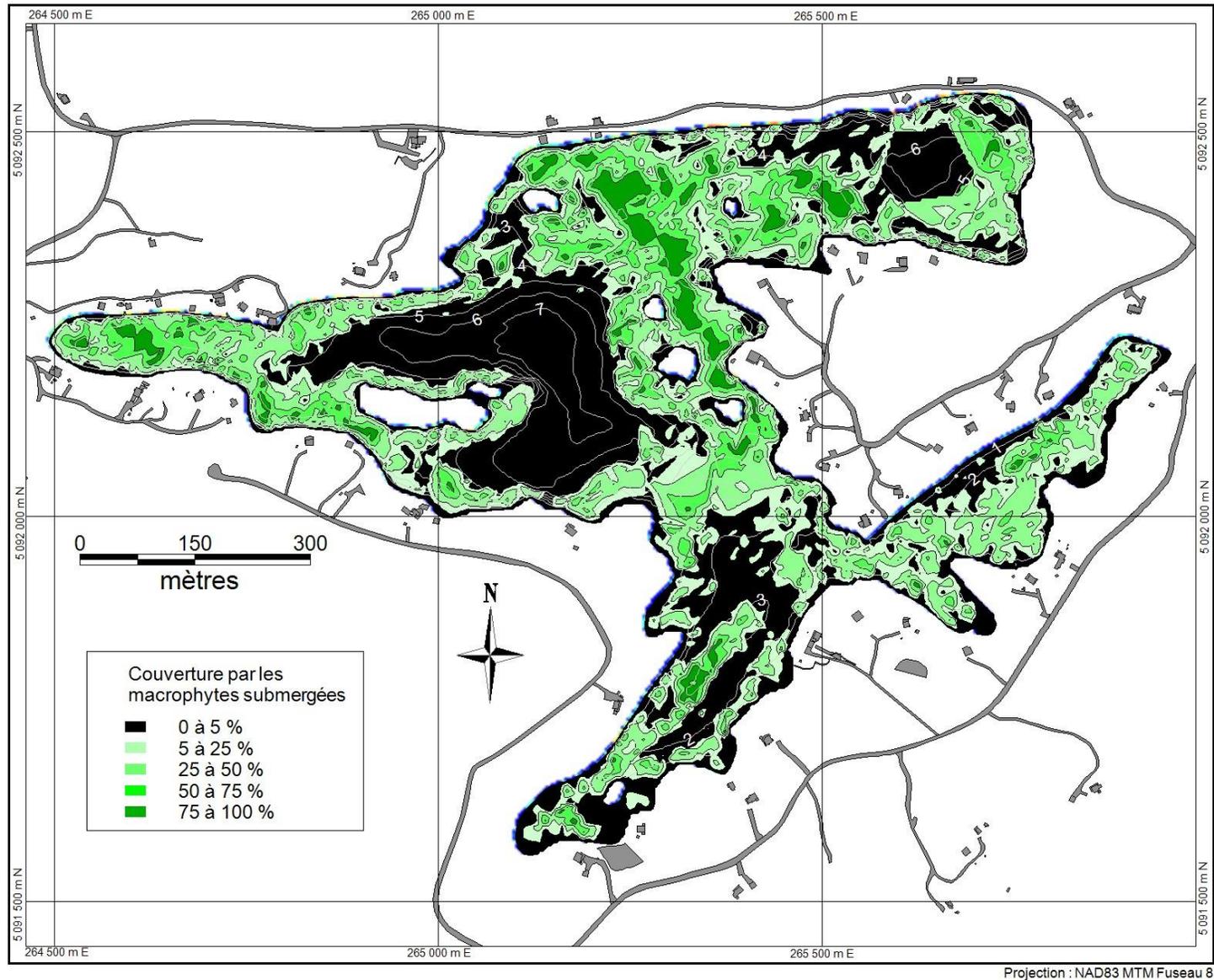


FIGURE 92. Cartographie de la hauteur de la végétation aquatique submergée au lac en Cœur le 30 juillet 2018. Les lignes blanches sont les isobathes de 1,0 mètre. Les taches en vert-clair indiquent les endroits où la hauteur de la végétation dépasse un mètre et où elle est composée de Potamot à larges feuilles. Ces herbiers ne sont pas visibles de la surface et leur composition a été vérifiée par photographie sous-marine géoréférencée.

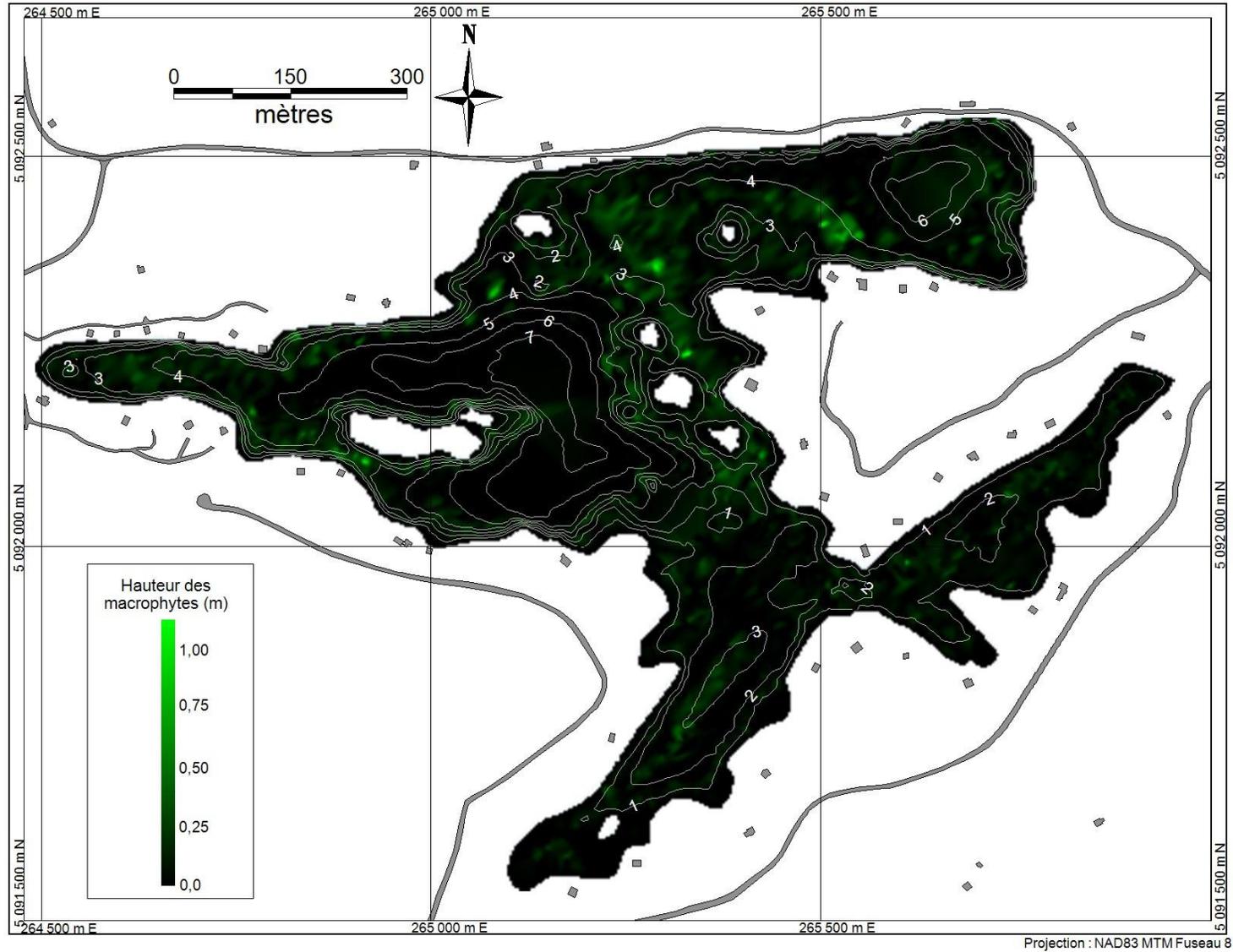


FIGURE 93. Ortho-mosaïque du lac en Cœur, acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). Cette vue d'ensemble montre la localisation des fonds rocheux souvent dénudés et montre que la couverture et la densité des herbiers à feuilles flottantes sont supérieures à ce qui est observé au lac Croche inhabité (figure 42), mais moindres qu'aux lacs Connelly, Écho, Fournelle et Morency. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

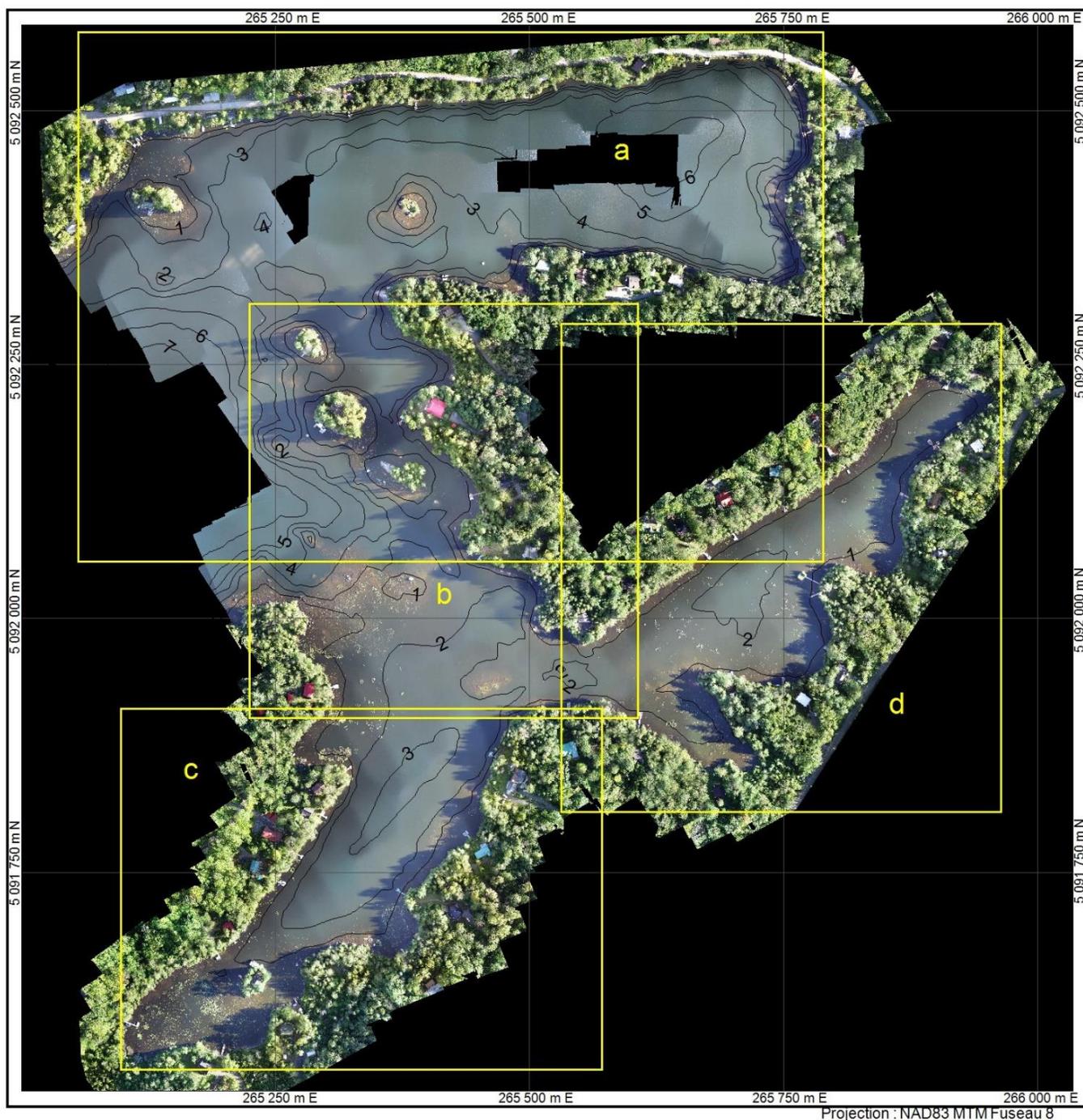


FIGURE 94. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018).

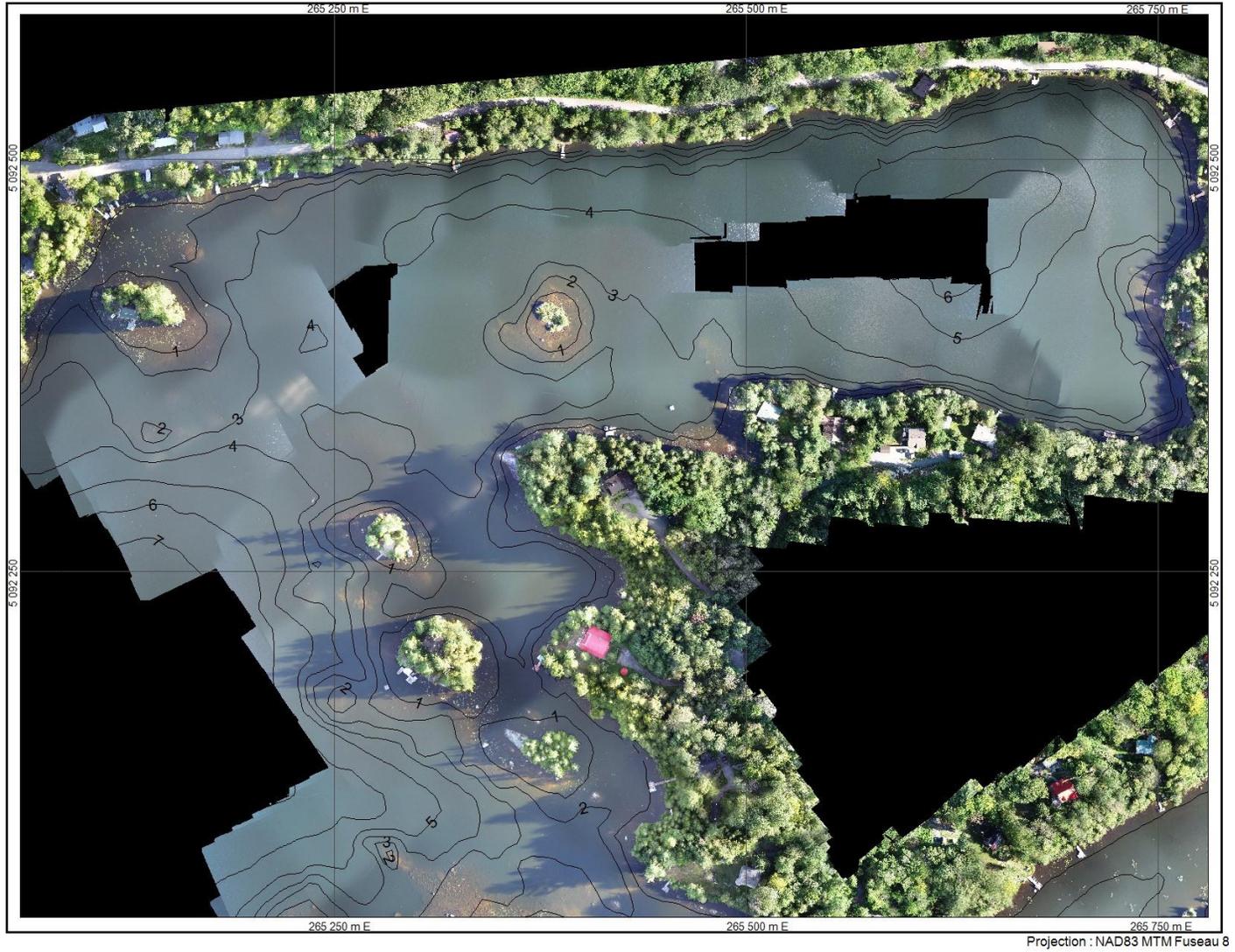


FIGURE 95. Ortho-mosaïque du secteur « b » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018).

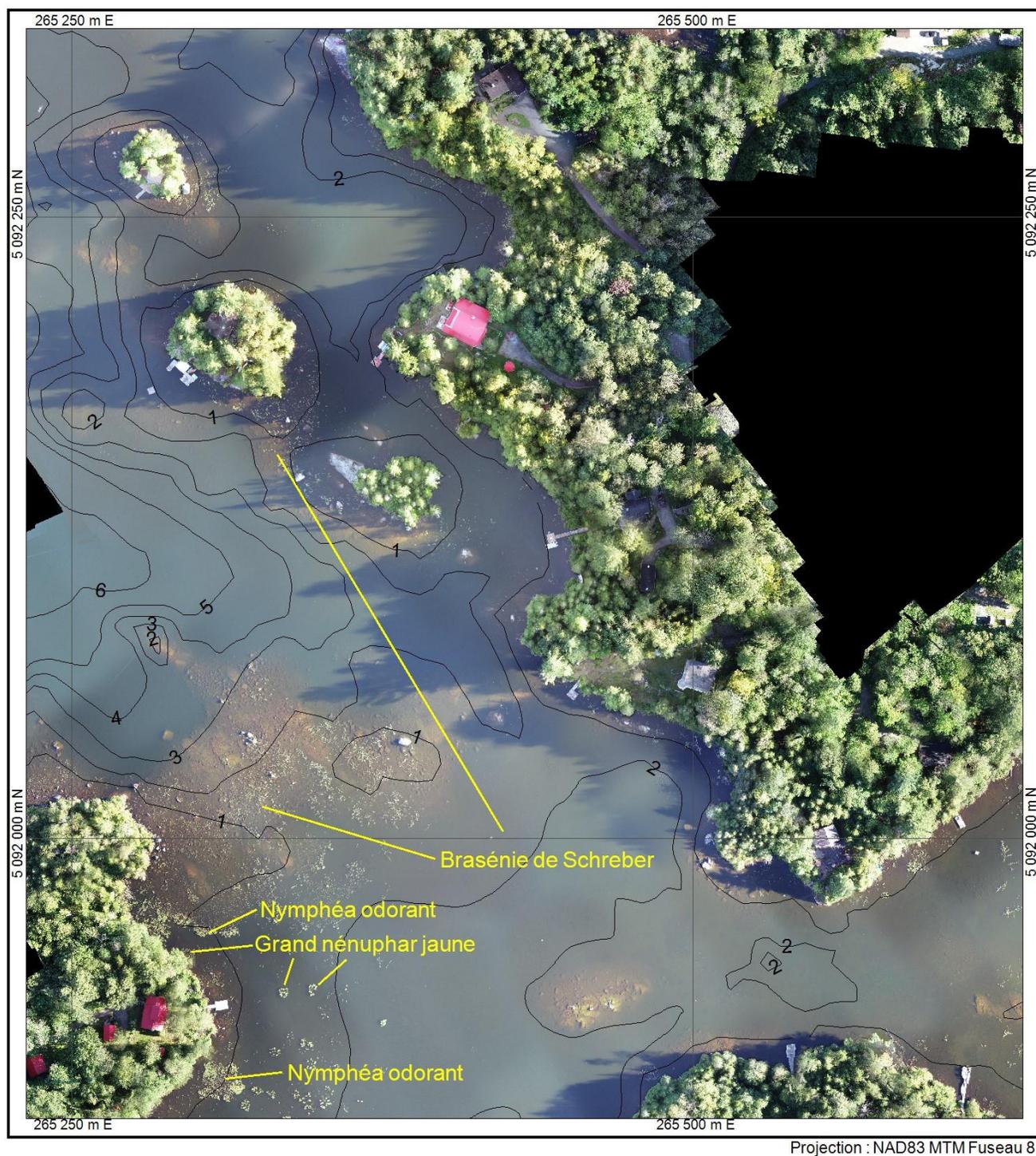


FIGURE 96. Ortho-mosaïque du secteur « c » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). Le carré jaune indique la position des agrandissements montrés aux deux figures suivantes (97 et 98).

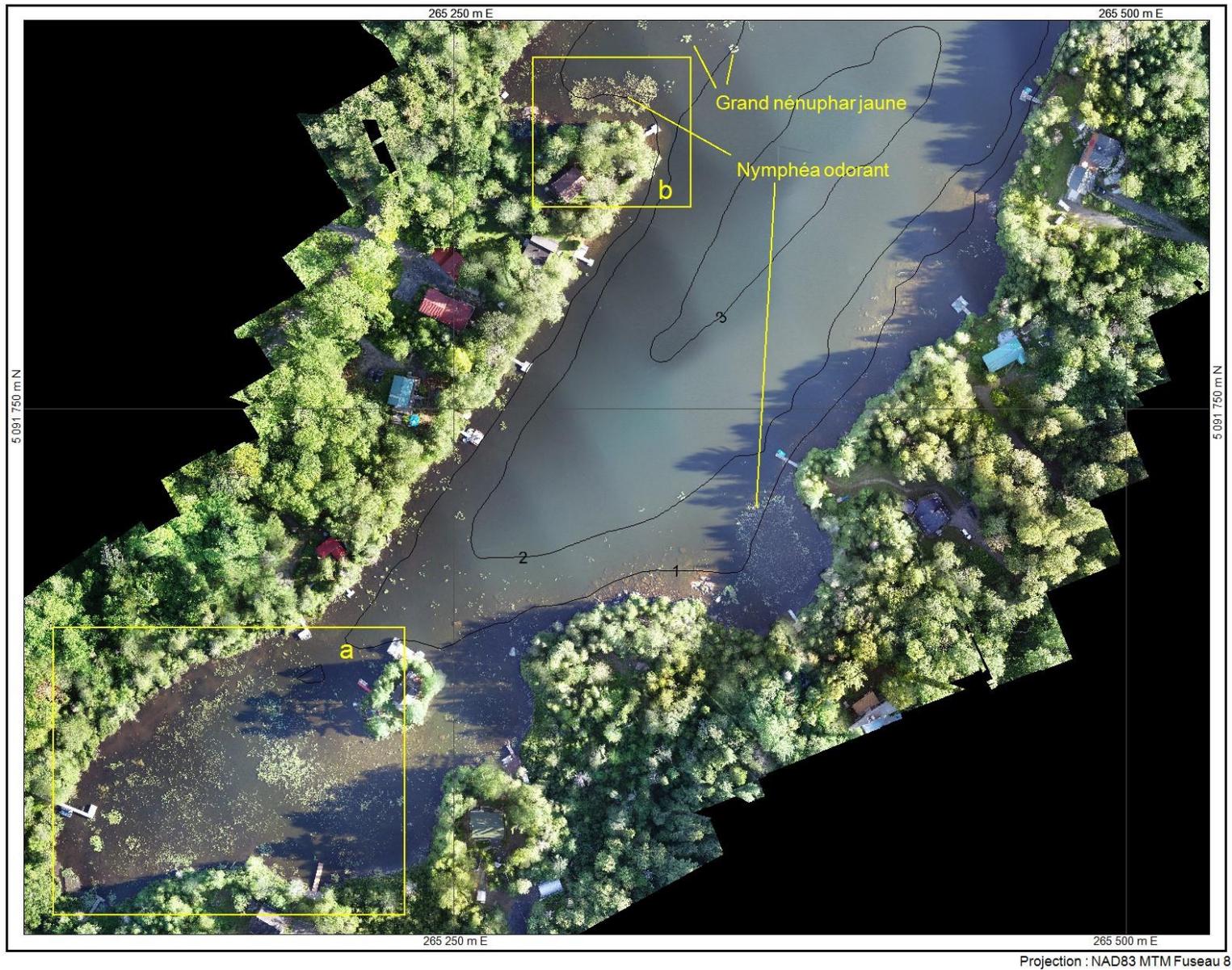


FIGURE 97. Agrandissement « a » de l'ortho-mosaïque du secteur « c » peu profond du lac en Cœur montré à la figure 96. Les lignes grises (en haut à droite) sont les isobathes de 1 m issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018).

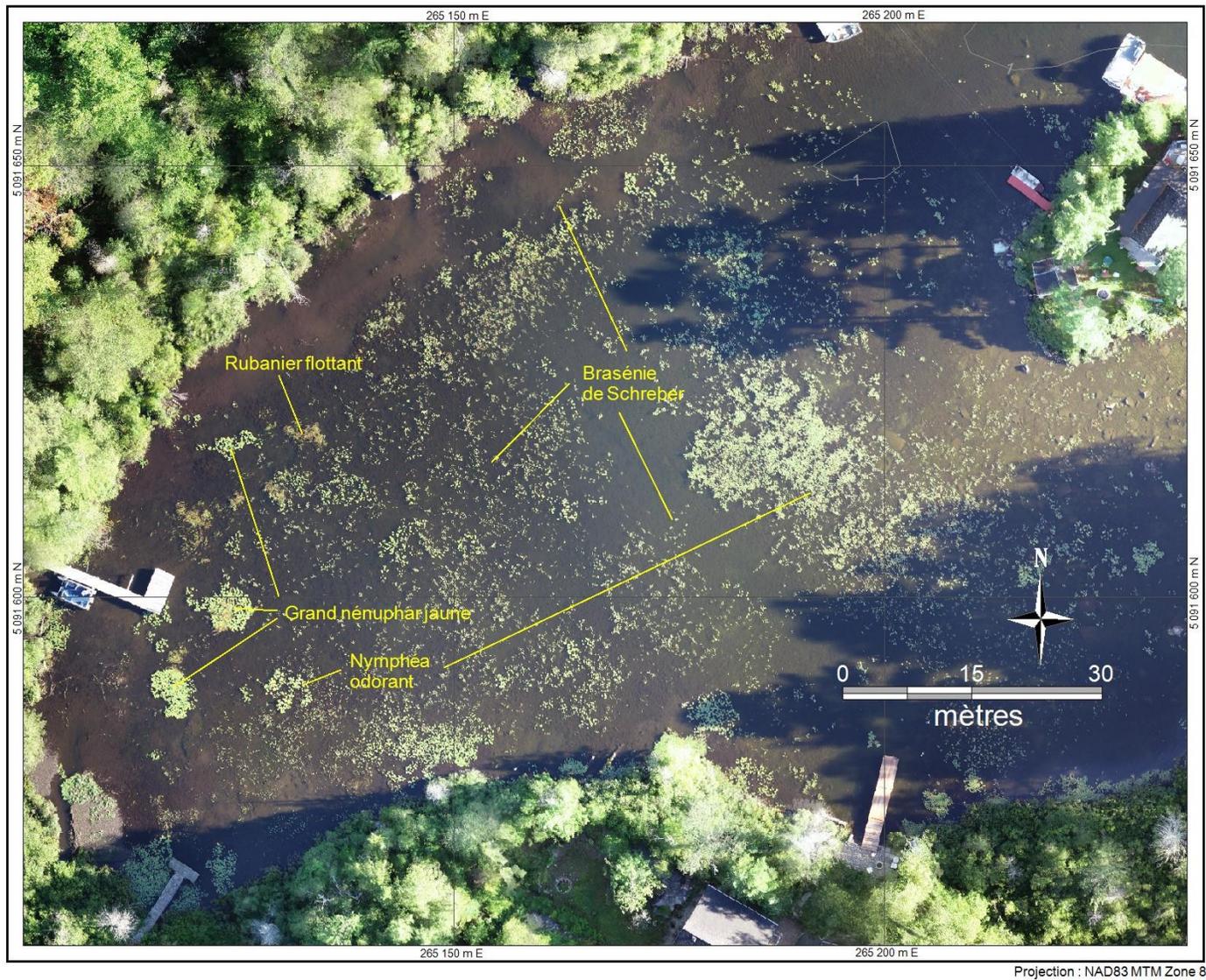


FIGURE 98. Agrandissement « b » de l'ortho-mosaïque du secteur « c » du lac en Cœur montré à la figure 96. Noter la forme en bulle de l'herbier de Nymphéa odorant qui suggère la lente expansion d'un panache d'eau souterraine enrichie. Les lignes noires sont les isobathes de 1 m issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018).

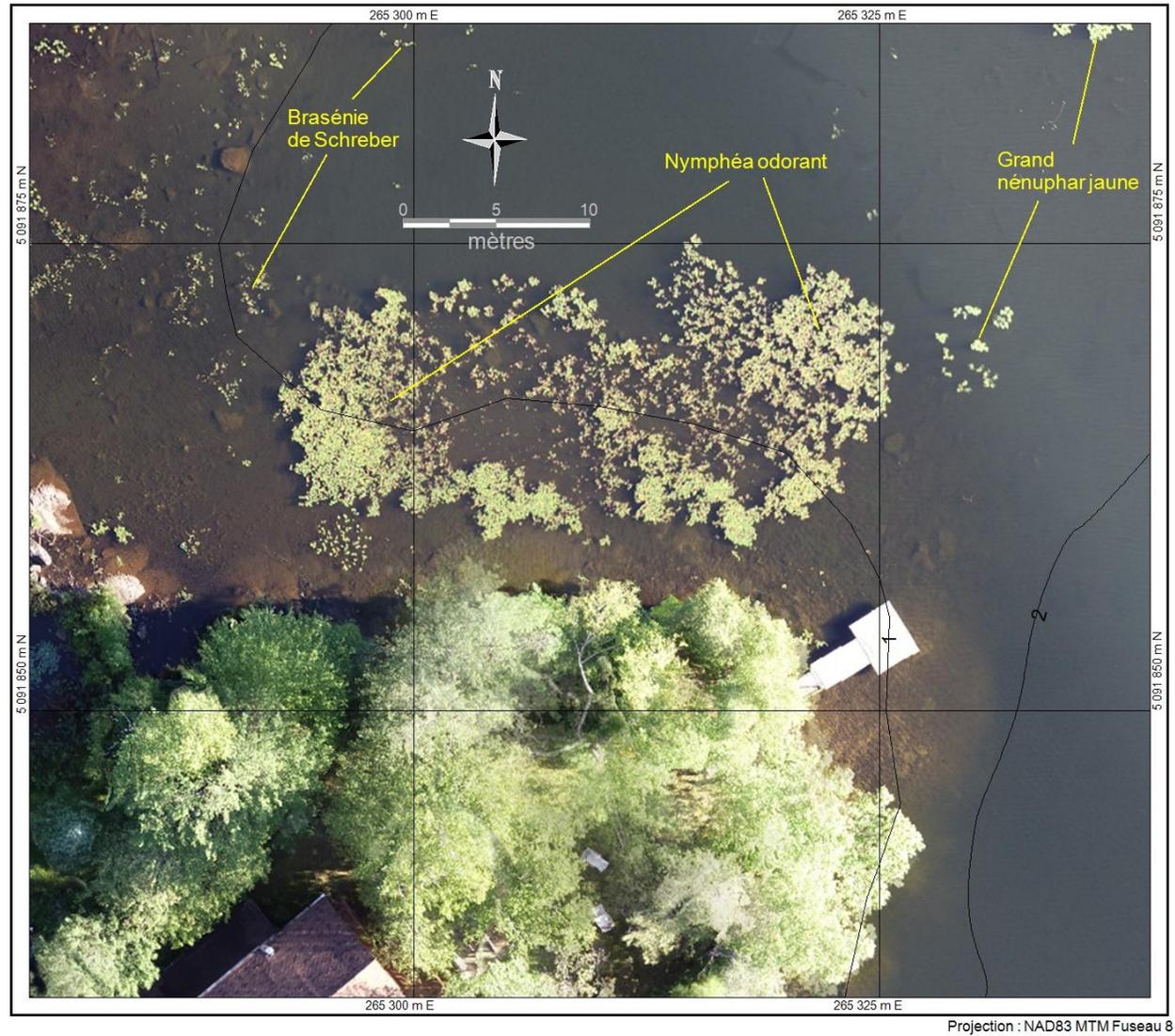


FIGURE 99. Ortho-mosaïque du secteur « d » du lac en Cœur acquis le 18 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018). Le rectangle jaune indique la position de l'agrandissement de la figure suivante (100).

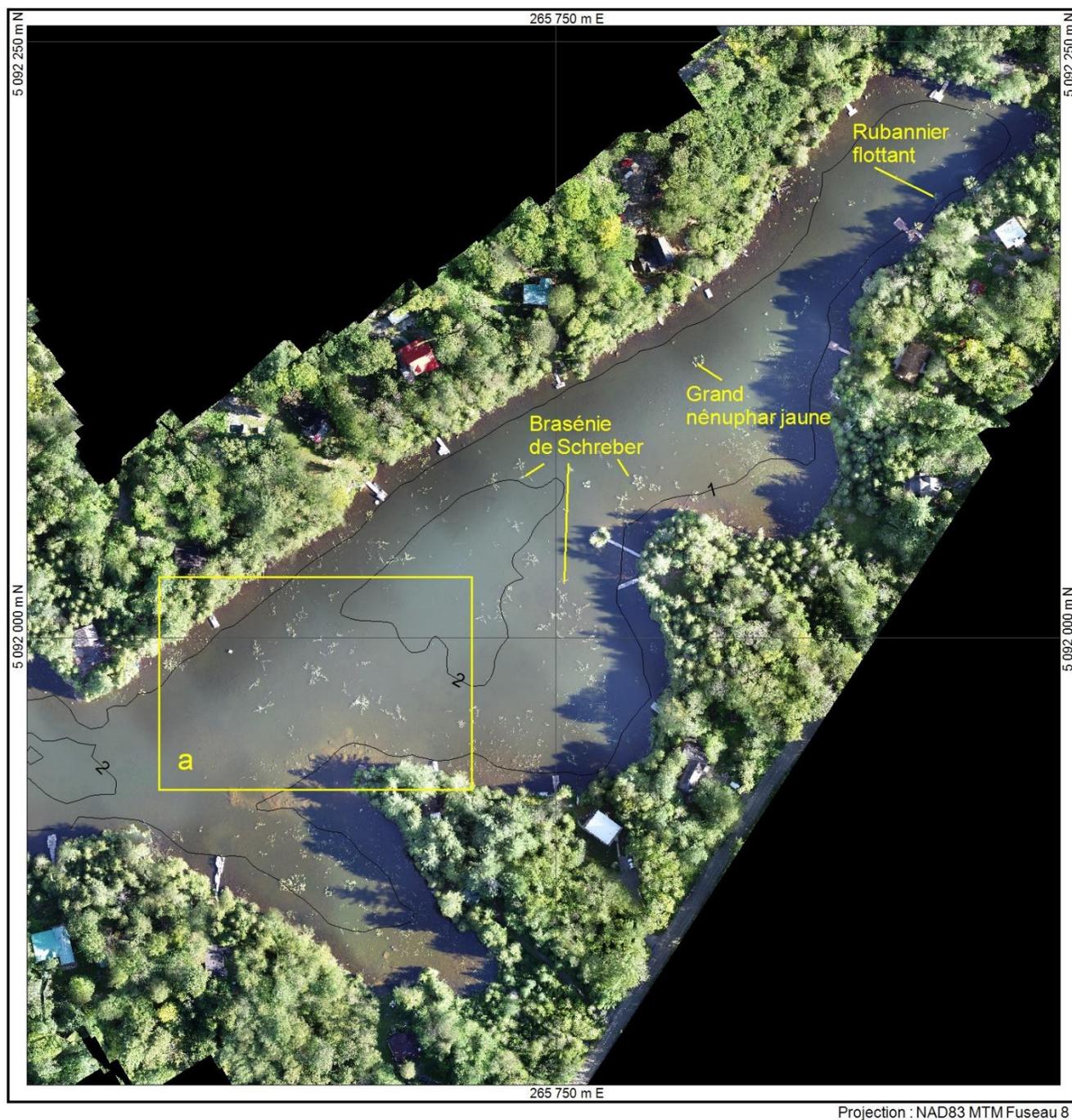


FIGURE 100. Agrandissement « a » de l'ortho-mosaïque du secteur « d » du lac en Cœur montré à la figure 99. Sur cette image, apparaissent des tiges espacées de Potamot à larges feuilles. Les lignes noires sont les isobathes de 1 m issues de l'échosondage des macrophytes (24 au 30 août 2018).

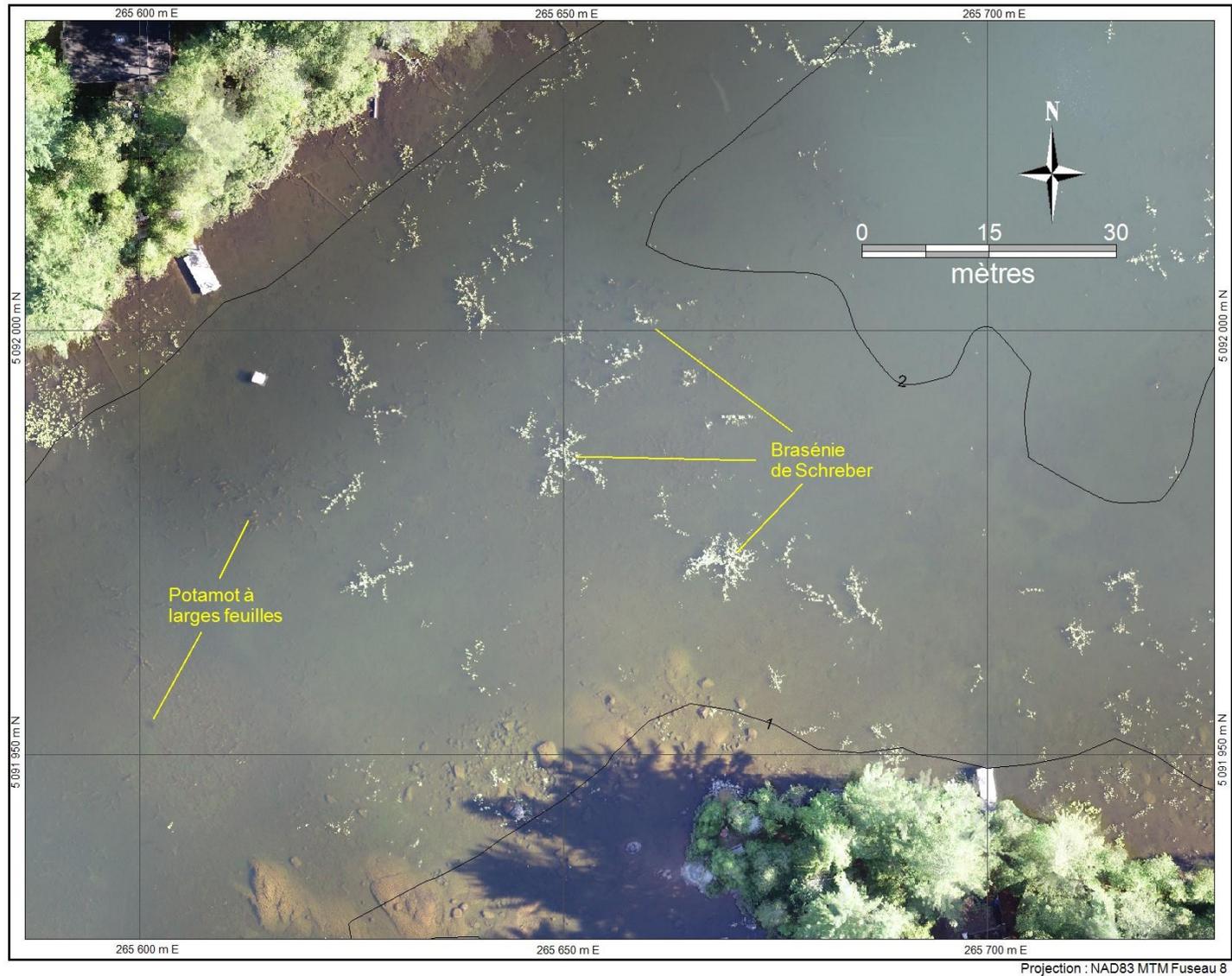


FIGURE 101. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac Morency acquise le 2 août 2018. Les isobathes (courbes blanches) sont issues de la carte bathymétrique produite en mai 2001. Sur cette image, les hauteurs supérieures à un mètre indiquent la présence d’herbiers de Potamot à longs pédoncules et de Potamot à larges feuilles.

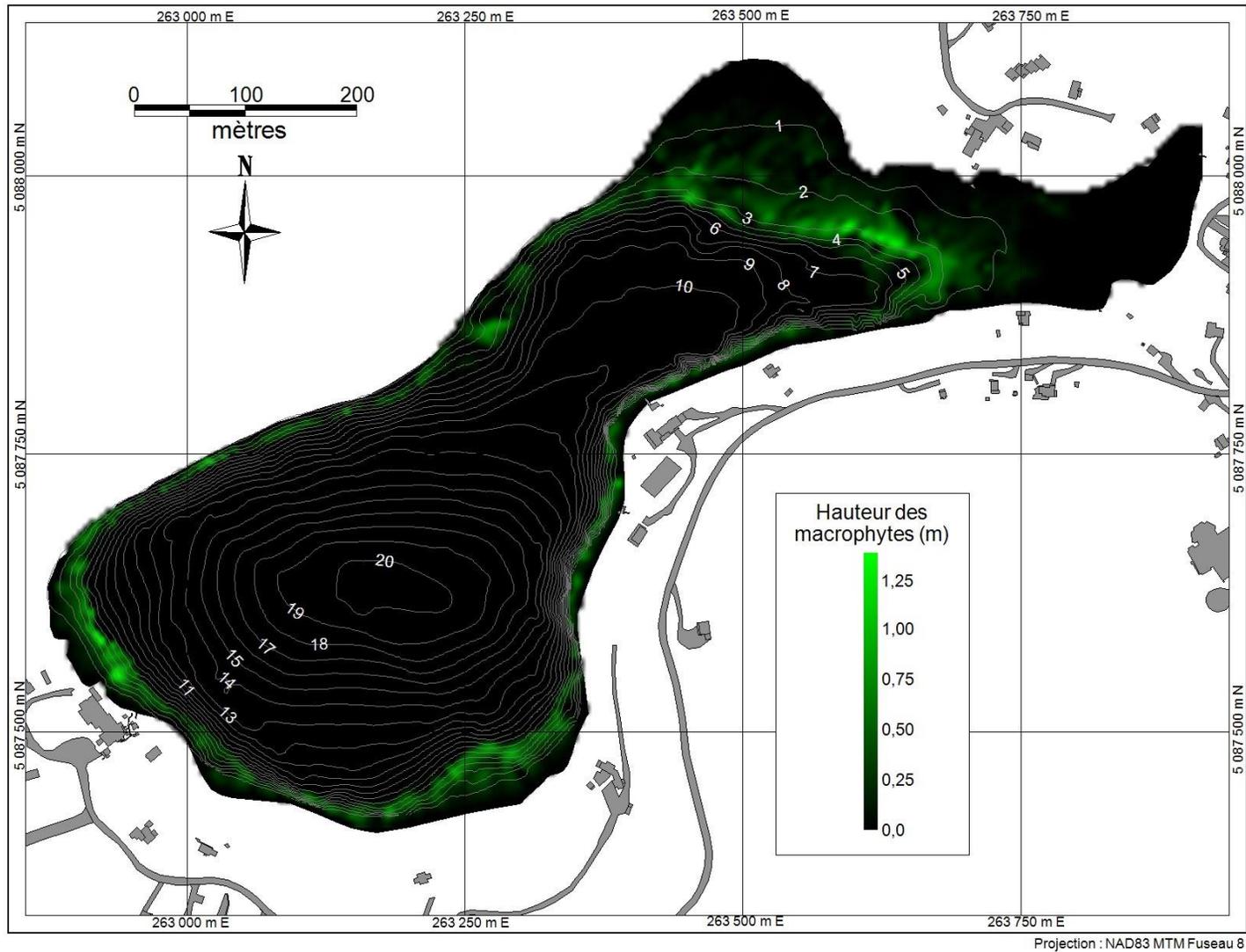


FIGURE 102. Ortho-mosaïque du lac Morency, acquies le 14 septembre 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues de l'échosondage littoral du 2 août 2018. Cette vue d'ensemble montre la localisation de trois foyers d'algues filamenteuses benthiques, indicatrices de pollution par les nutriments. Les rectangles jaunes montrent les positions des agrandissements présentés aux figures suivantes.

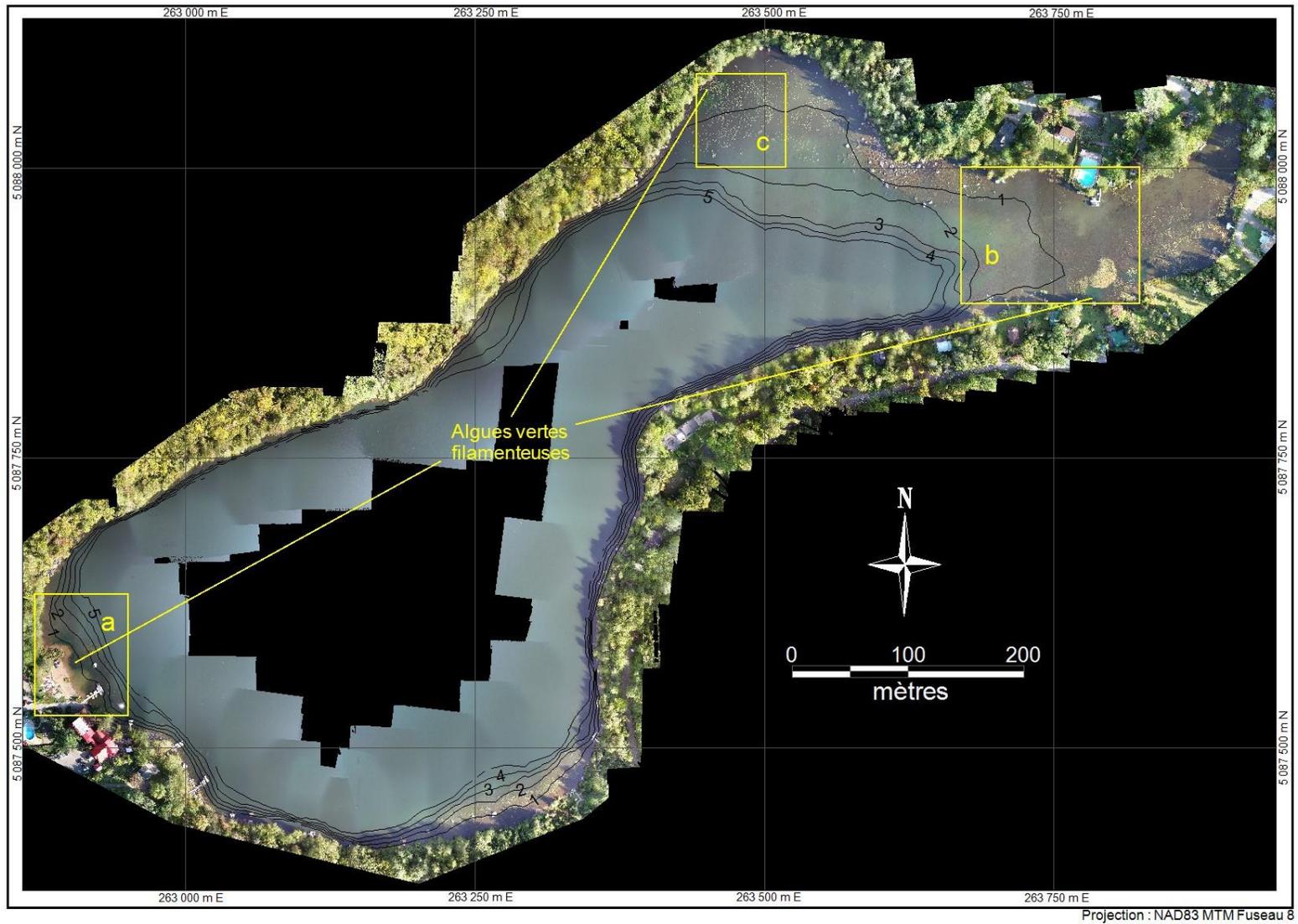


FIGURE 103. Ortho-mosaïque du secteur « a » au lac Morency, acquis le 14 septembre 2018 (voir figure 102). À cet endroit, un tapis d'algues filamenteuses benthiques d'environ 50 mètres de longueur, visible par sa couleur verte, recouvre le fond. Ces algues sont indicatrices de l'arrivée d'eau souterraine riche en nutriments. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage littoral réalisé le 2 août 2018.

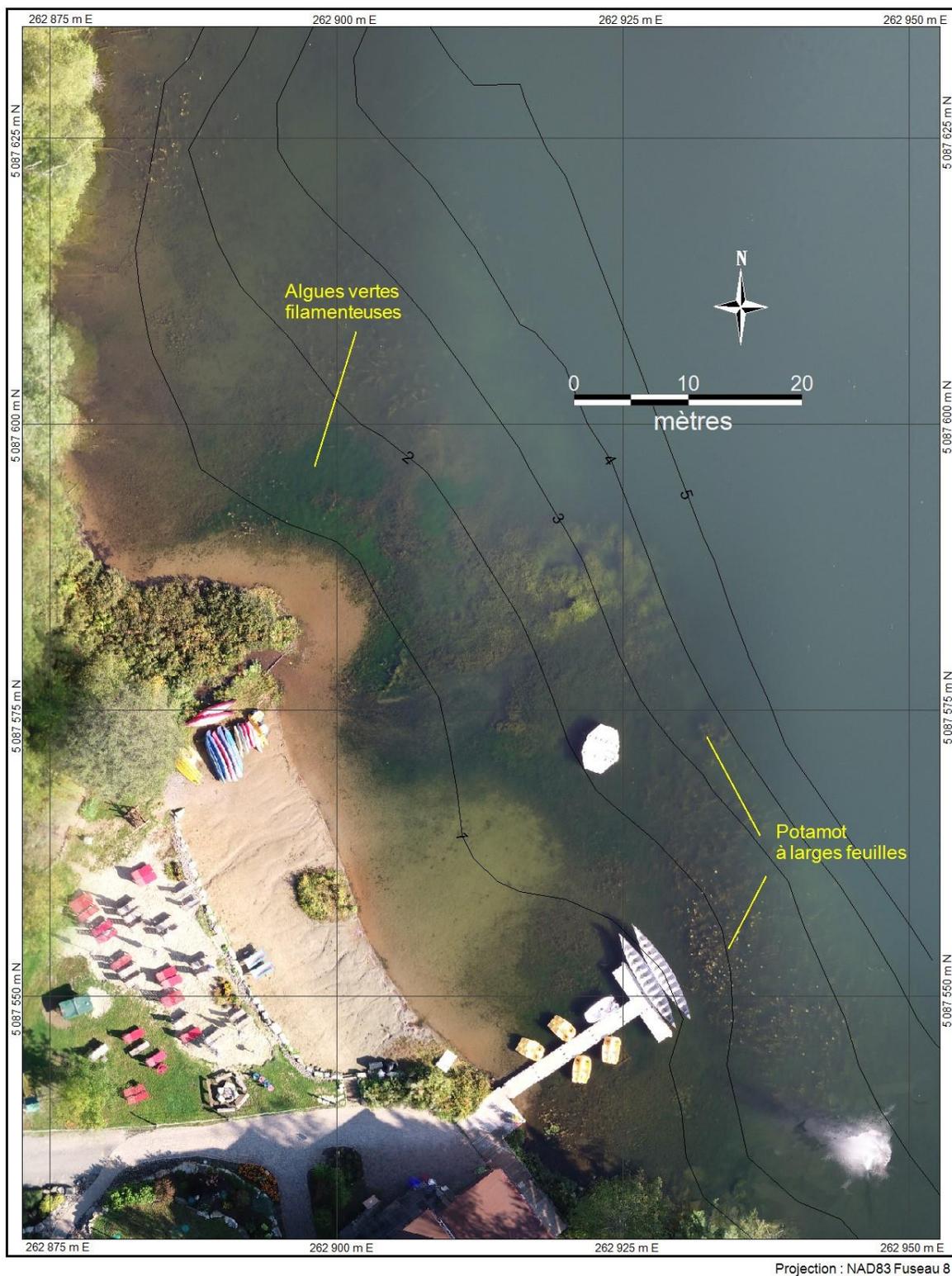


FIGURE 104. Ortho-mosaïque du secteur « b » au lac Morency, acquis le 14 septembre 2018 (voir figure 102). La portion inférieure droite de l'image montre un tapis d'algues filamenteuses vertes d'une superficie d'environ 140 m² confiné par un herbier composé de Rubanier flottant et de Brasénie de Schreber, et situé à l'embouchure d'un ruisseau intermittent gazonné remontant vers le village et l'école primaire des Hauteurs. Les lignes noires sont les isobathes issues de l'échosondage littoral réalisé le 2 août 2018.

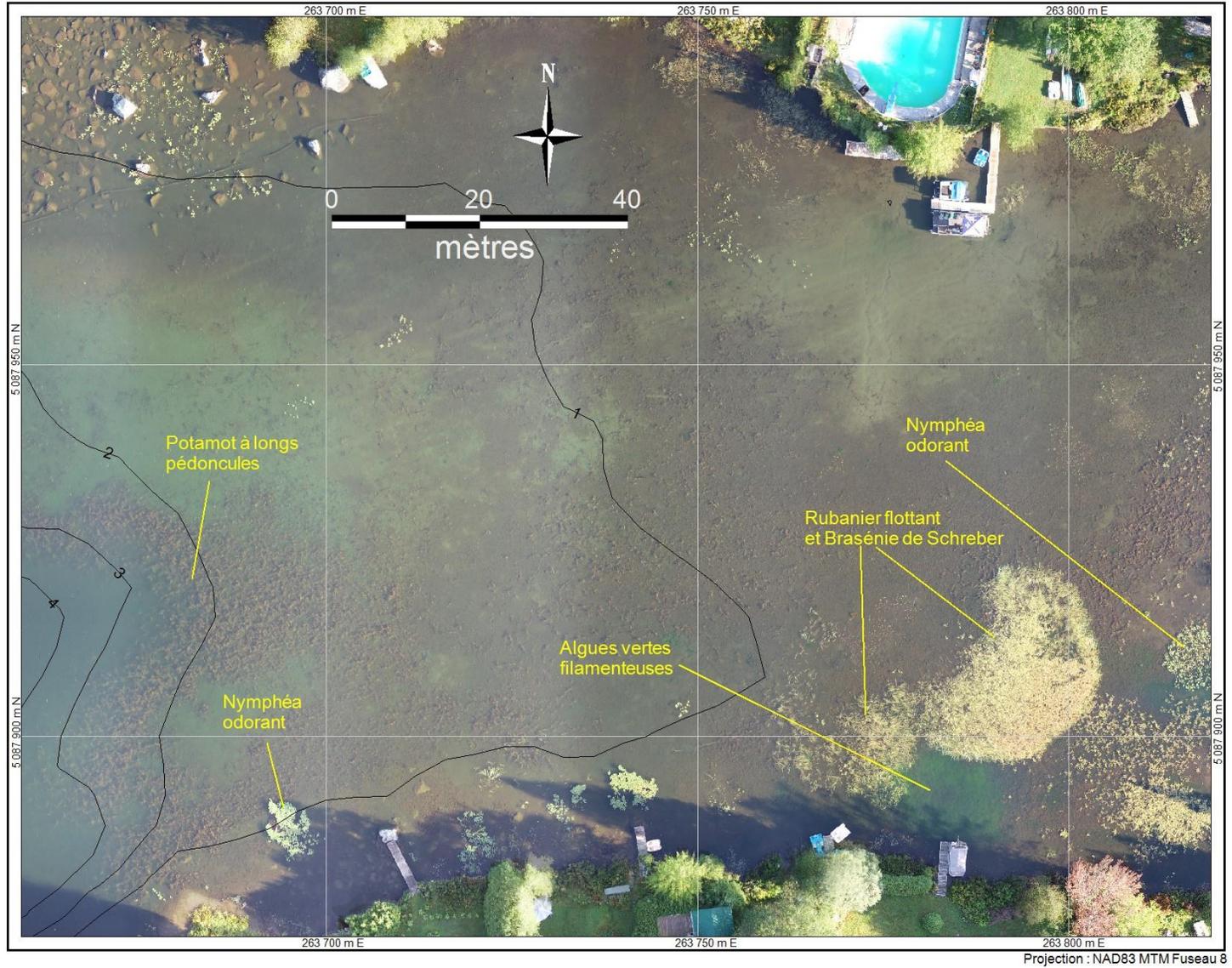


FIGURE 105. Ortho-mosaïque du secteur « c » au lac Morency, acquies le 14 septembre 2018 (voir figure 102). L'image montre un tapis d'algues filamenteuses vertes, entouré d'une « bulle » de Brasénie, et situé à l'embouchure d'un ruisseau intermittent qui remonte vers le chemin des Hauteurs.

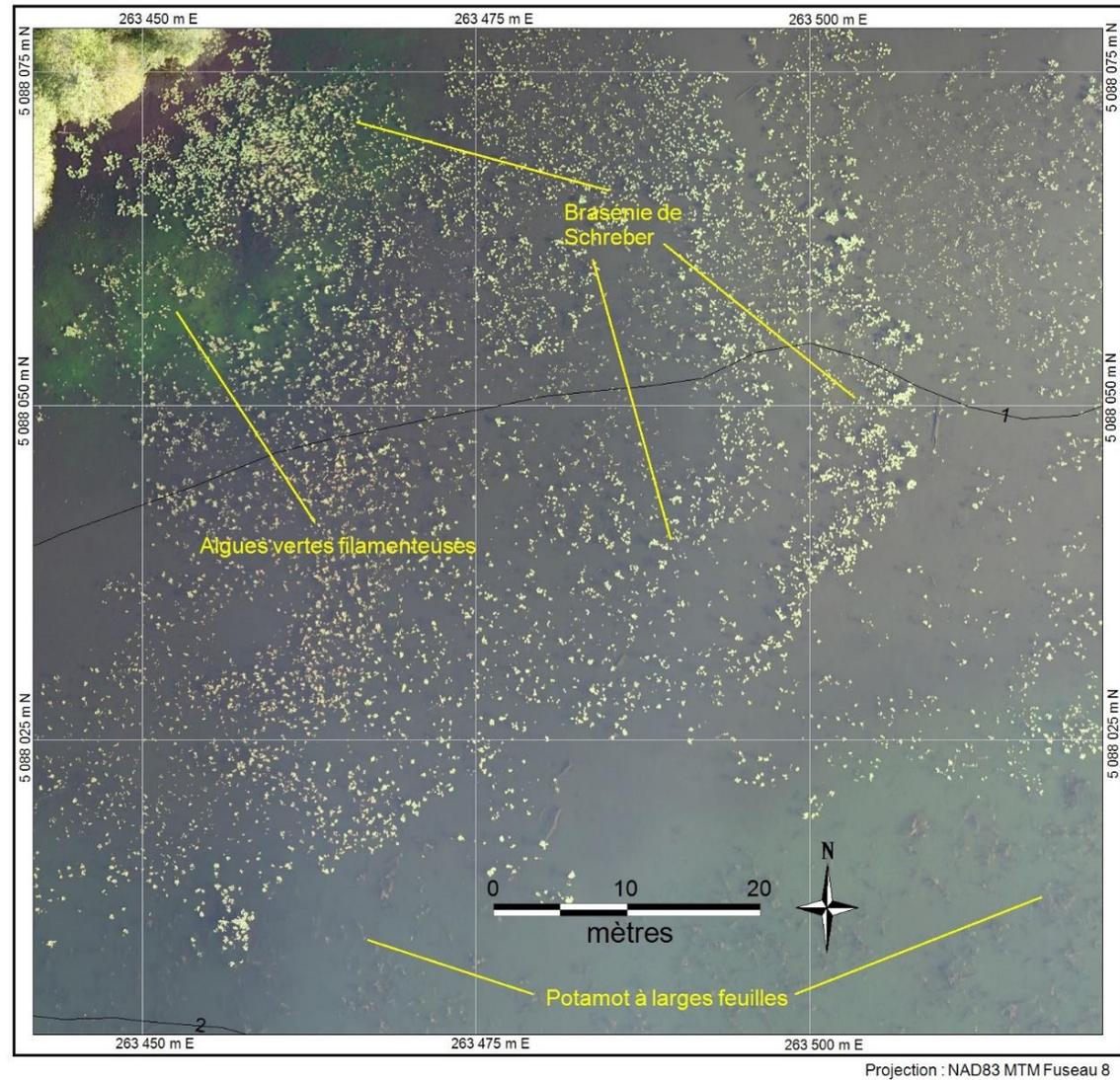
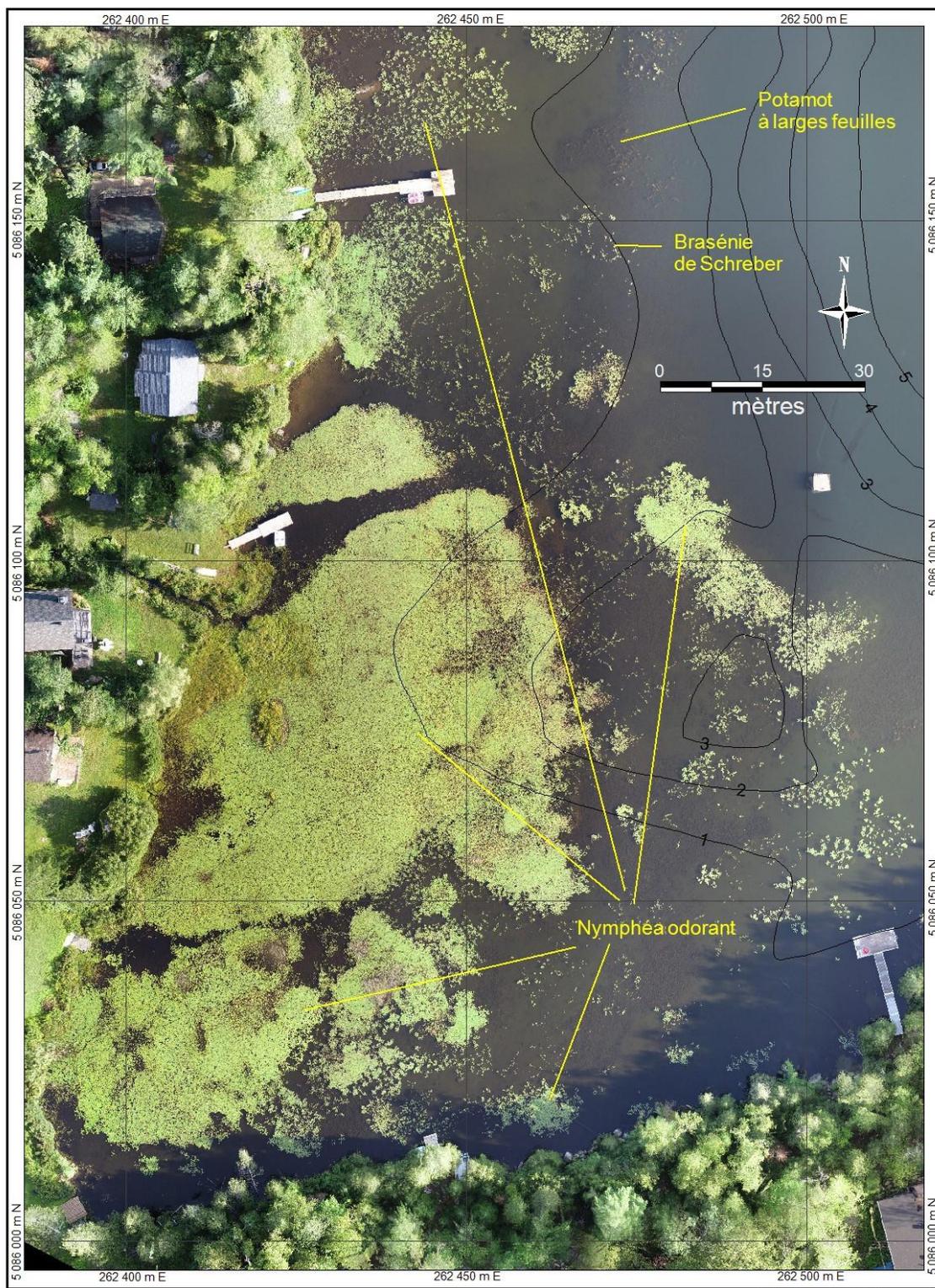


FIGURE 106. Ortho-mosaïque du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues des levés effectués en septembre 2000. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes.



FIGURE 107. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Les lignes noires sont les isobathes approximatives issues des levés effectués en septembre 2000. Cette carte illustre les très grands herbiers de Nymphéa odorant présents à l'ouest du lac, et dont l'origine remonte probablement au rehaussement du lac par le castor.



Projection : NAD83 Fuseau 8

FIGURE 108. Ortho-mosaïque du secteur « b » du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Les lignes noires sont les isobathes approximatives issues des levés effectués en septembre 2000. Noter l'herbier de Potamot à larges feuilles présent entre les profondeurs d'un et deux mètres.

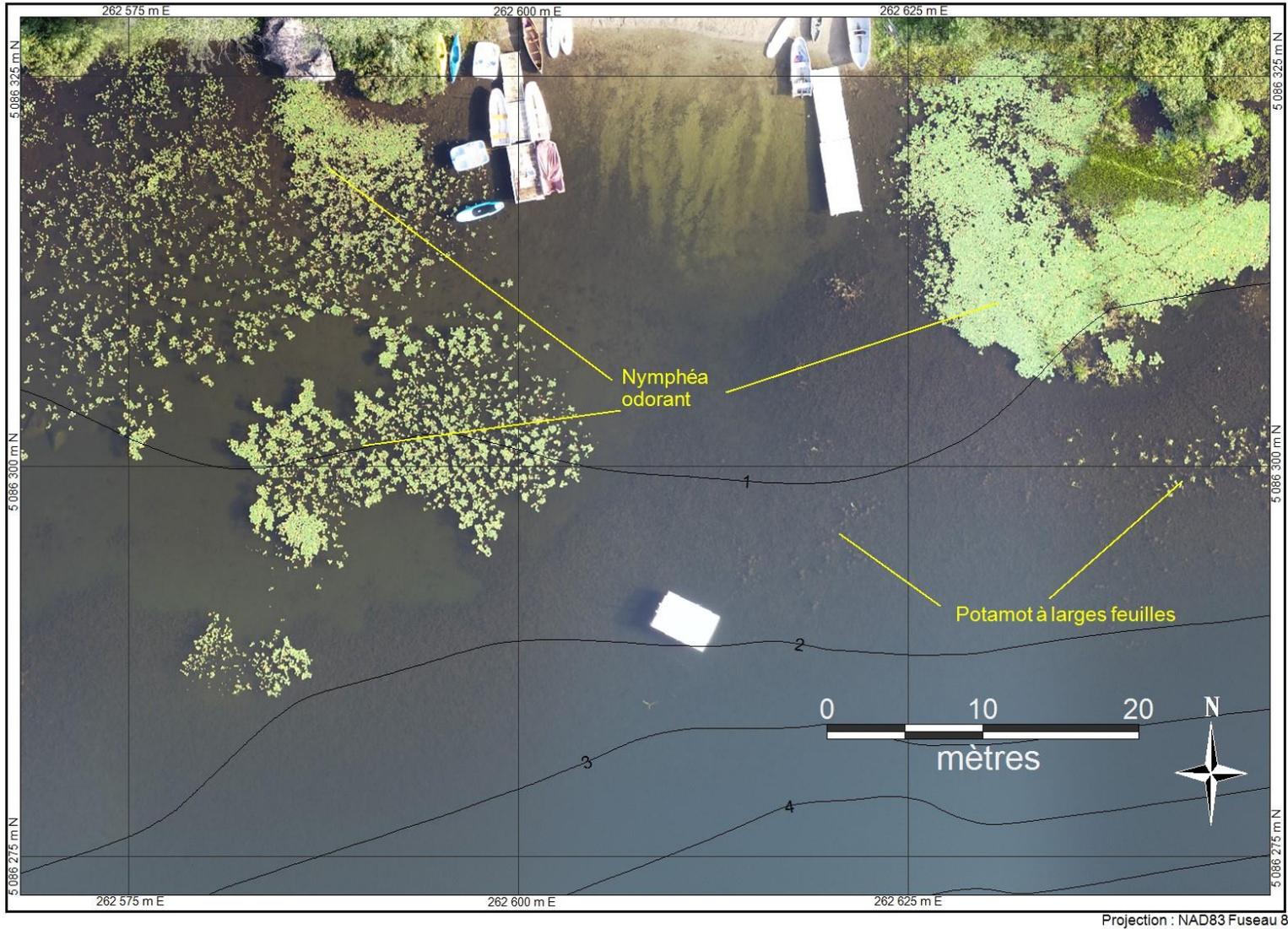


FIGURE 109. Ortho-mosaïque du secteur « c » du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Les lignes noires sont les isobathes approximatives issues des levés effectués en septembre 2000.

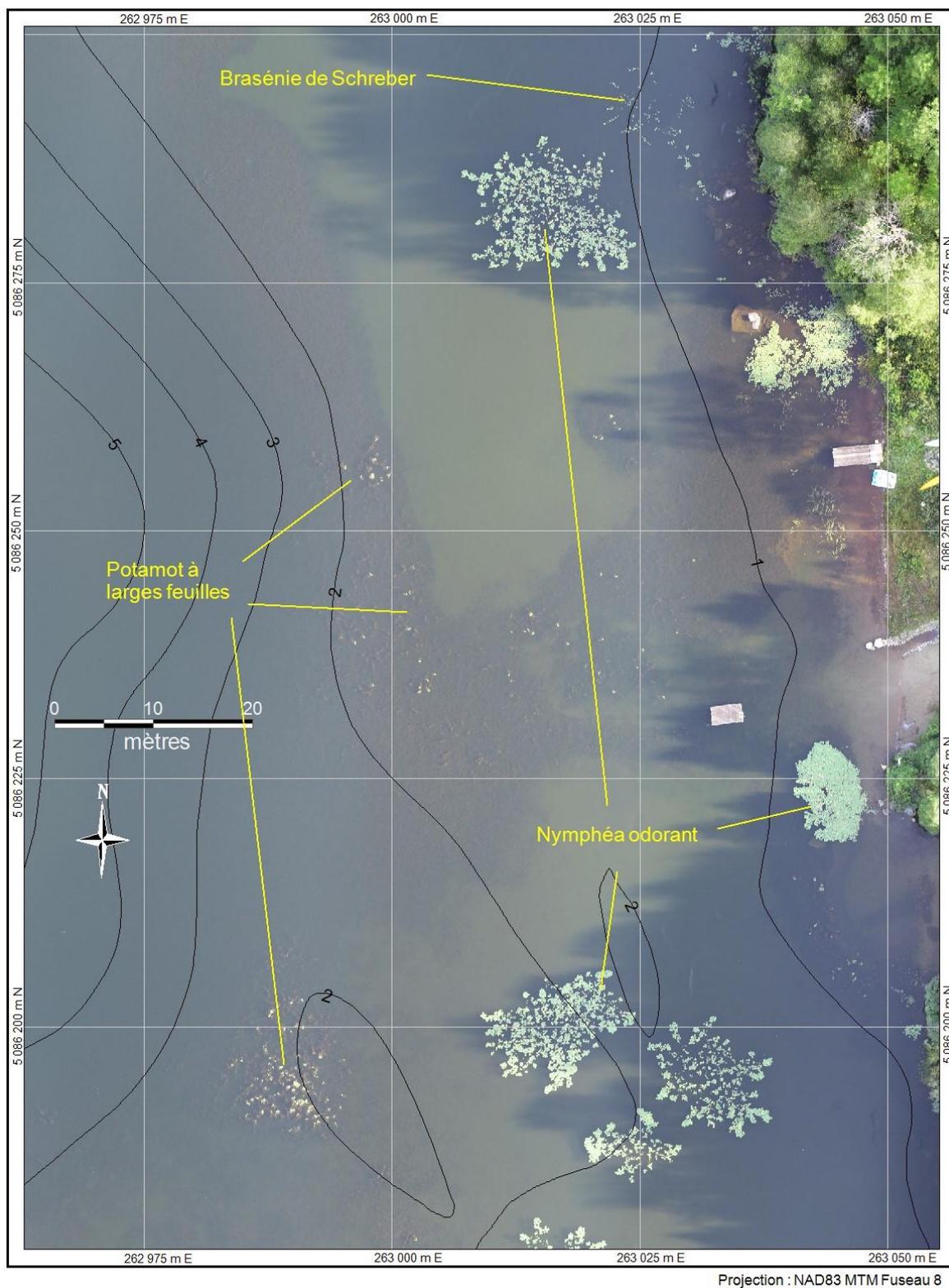


FIGURE 110. Ortho-mosaïque du secteur « d » peu profond du lac Fournelle, acquis le 20 août 2018 (voir figure 106). Cette portion du lac est recouverte de Nymphéa odorant et de Brasénie de Schreber. Au bas de l'image, on peut apercevoir une résurgence d'eau souterraine très claire provenant de la colline voisine.

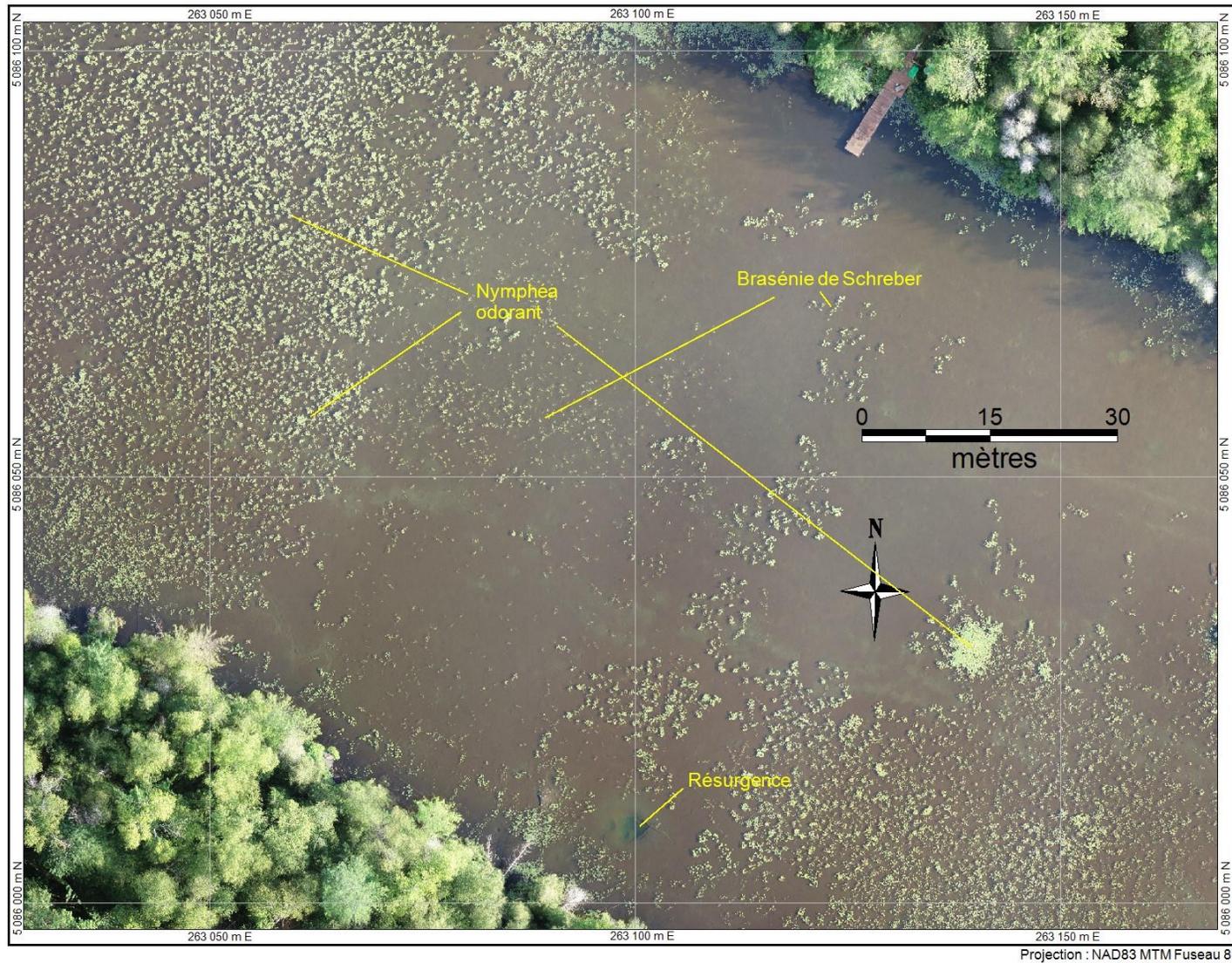


FIGURE 111. Ortho-mosaïque du secteur « e » peu profond du lac Fournelle, acquise le 20 août 2018 (voir figure 106) où dominent le Nymphéa odorant et la Brasénie de Schreber. Les plages pâles sont des zones exondées à cette date.

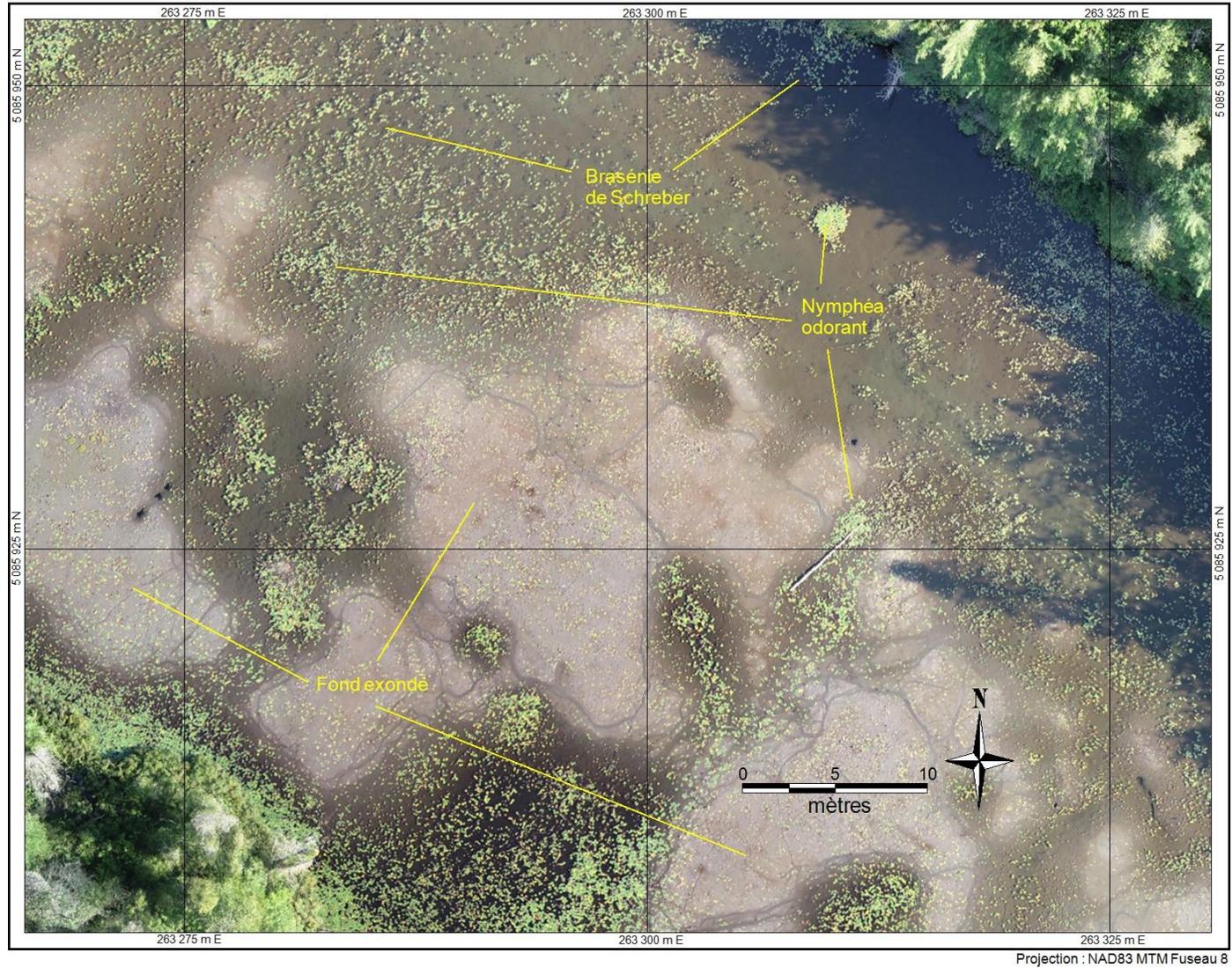


FIGURE 112. Cartographie de la hauteur des plantes aquatiques (macrophytes) submergées au lac du Pin Rouge acquise le 31 juillet 2018. Les isobathes (courbes blanches) sont issues de la carte bathymétrique produite en mai 2001. Sur cette image, les hauteurs supérieures à 50 centimètres indiquent la présence d’herbiers de Potamot à larges feuilles.

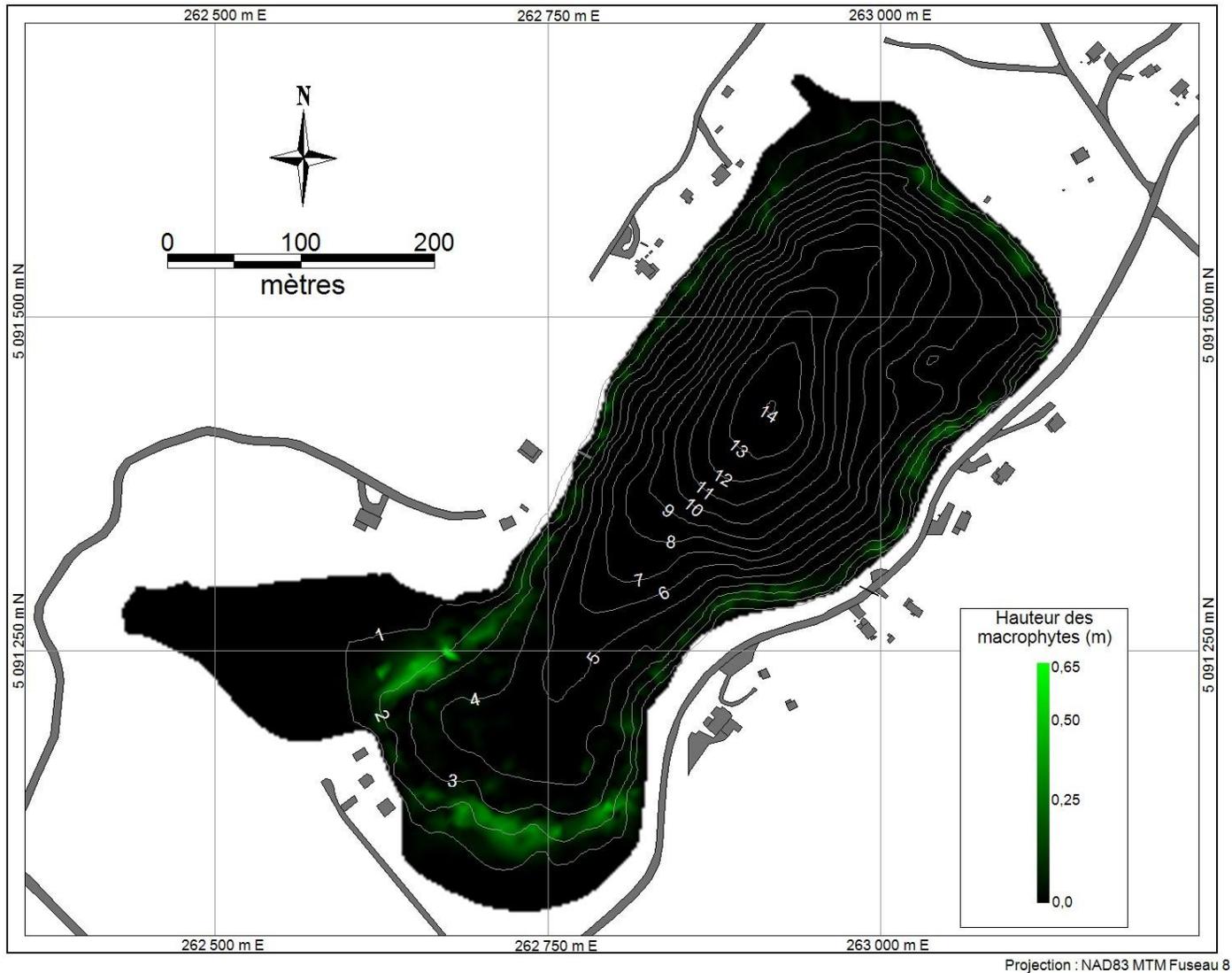


FIGURE 113. Ortho-mosaïque du lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018. Les lignes noires sont les isobathes (mètres) issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes.



FIGURE 114. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Les lignes noires sont les isobathes issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Noter que certains secteurs périphériques des deux grands herbiers de Nymphéa odorant sont beaucoup plus denses que les portions centrales.

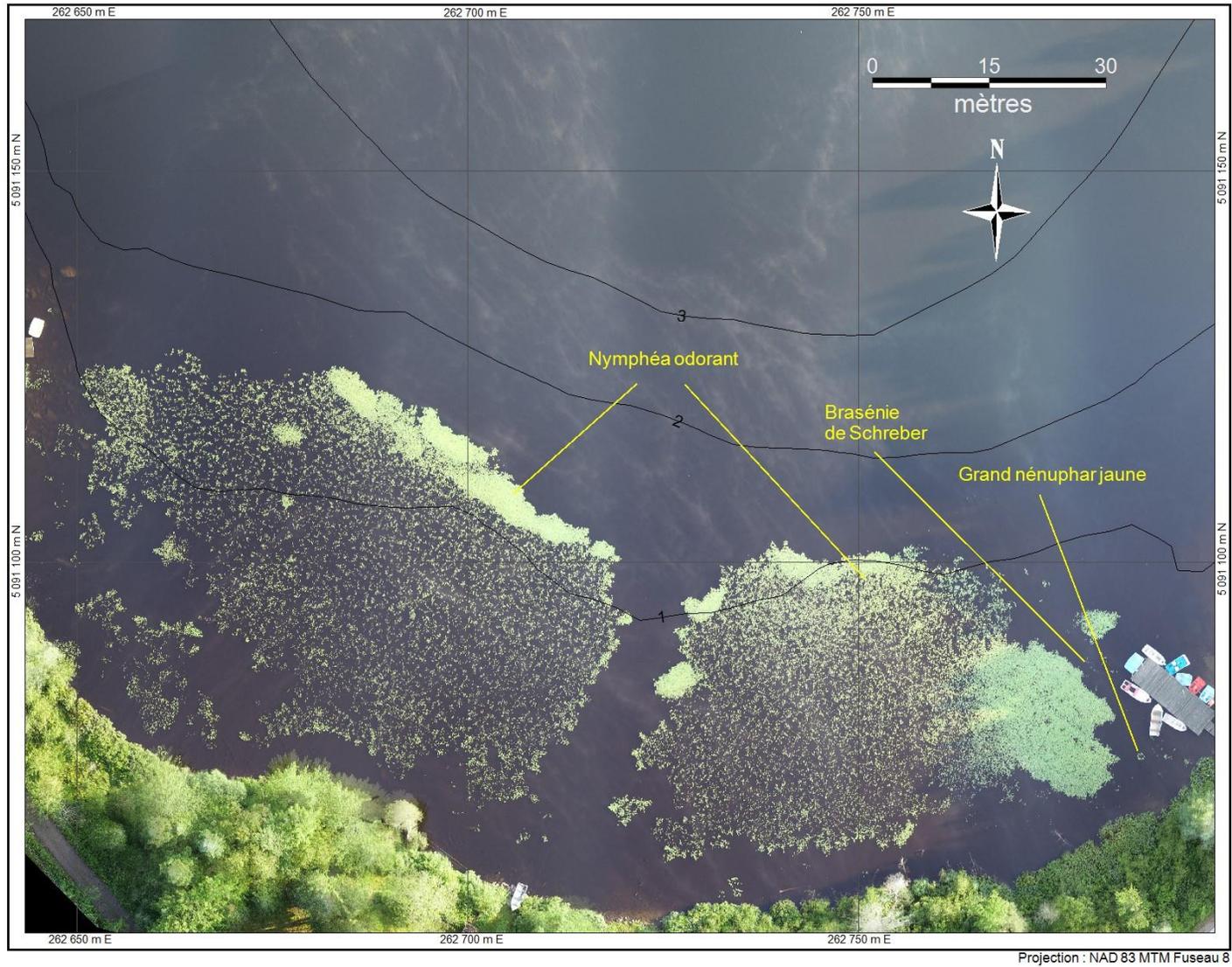


FIGURE 115. Ortho-mosaïque du secteur « b » peu profond du lac du Pin Rouge, acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Les lignes noires sont les isobathes issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Noter que certains secteurs rapprochés des habitations présentent des densités de plantes beaucoup plus élevées que celles représentatives de l'ensemble de la baie. Les taches pâles dénotent des endroits où le fond affleurerait la surface de l'eau.

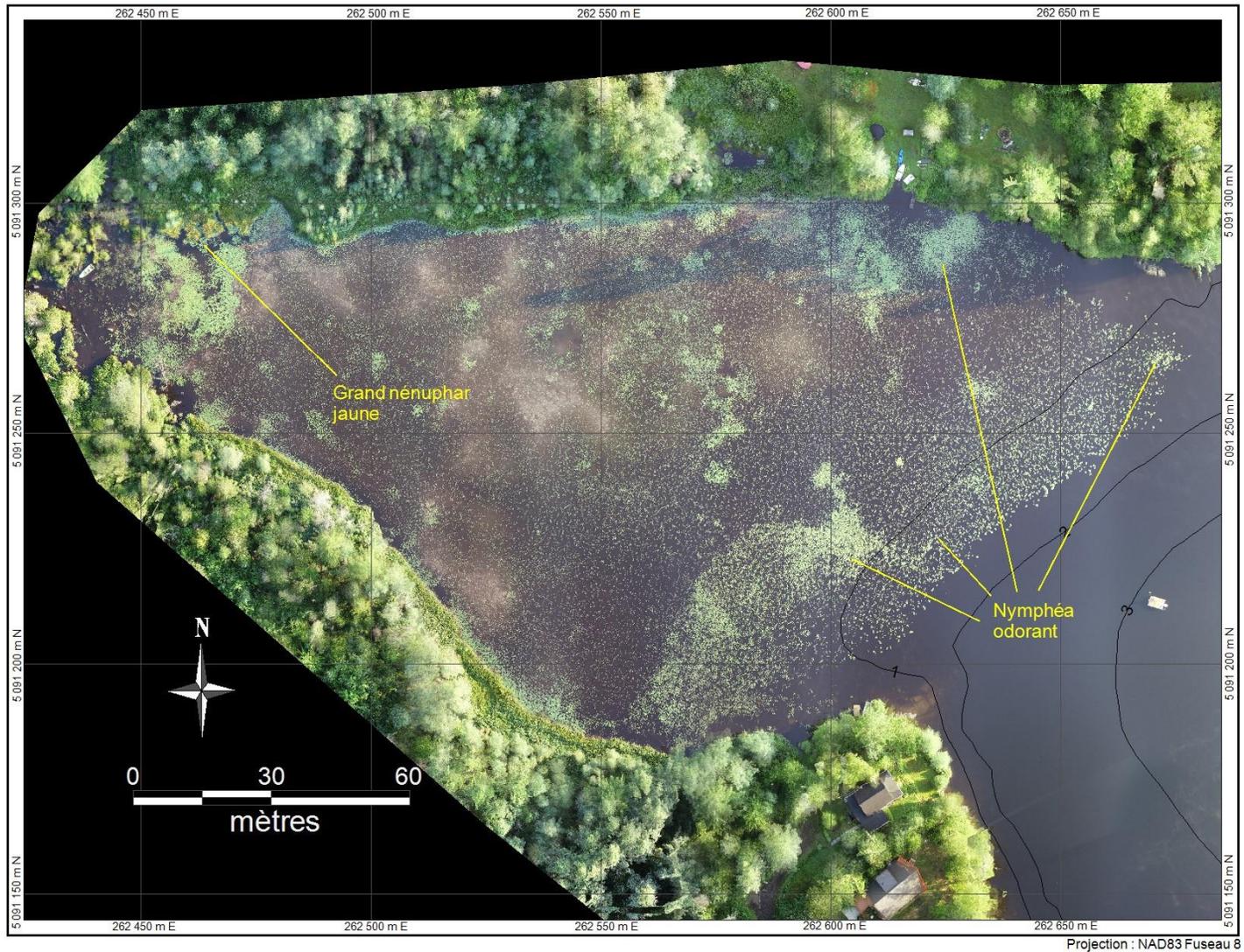
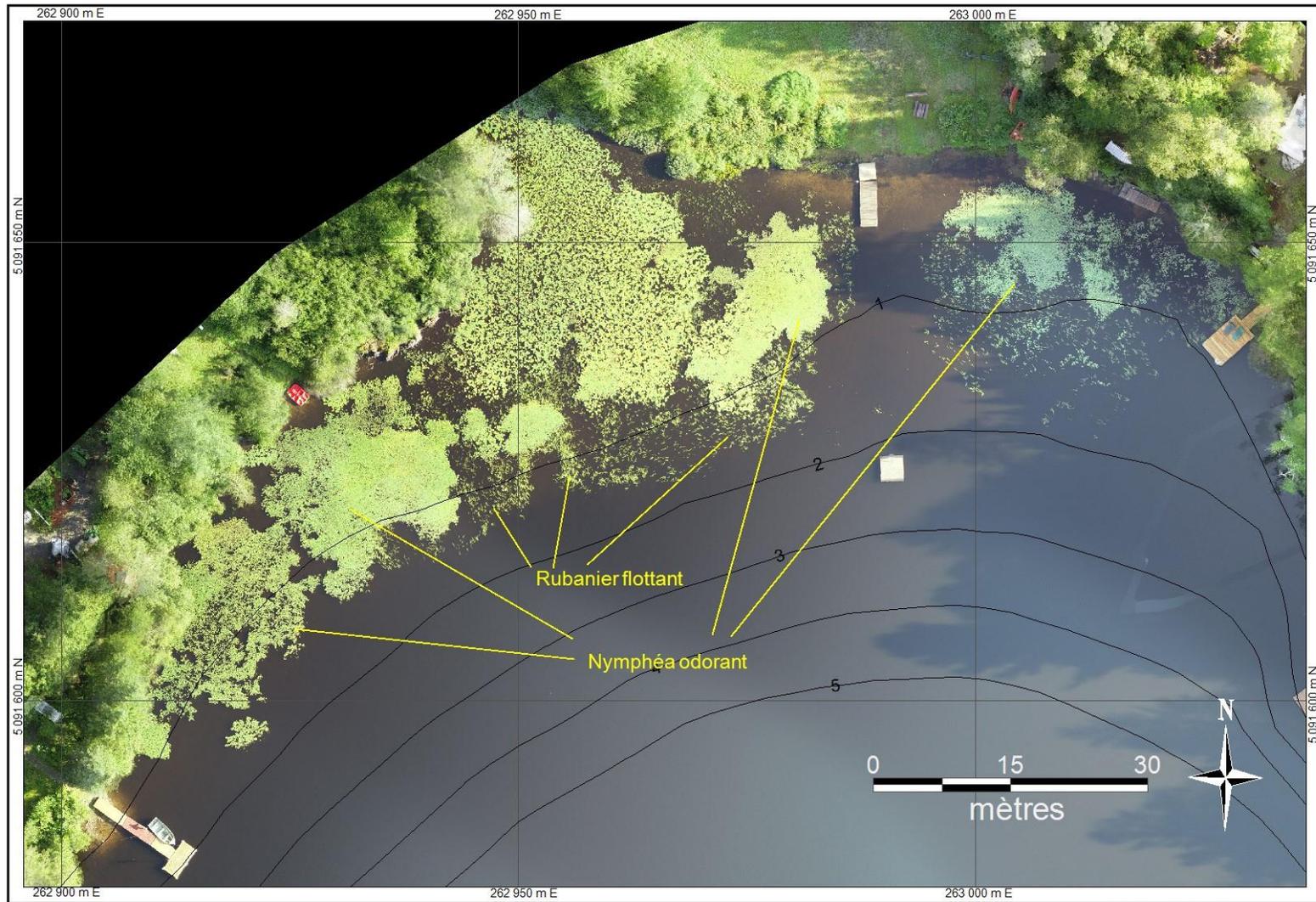


FIGURE 116. Ortho-mosaïque du secteur « c » au lac du Pin Rouge, acquies le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Les lignes noires sont les isobathes issues des levés effectués le 31 juillet 2018. Les herbiers vigoureux de cette image sont très rapprochés des habitations.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 117. Ortho-mosaïque du secteur « d » du lac du Pin Rouge (agrandissement de la figure 114), acquis le 30 juillet 2018 (voir figure 113) où domine le Nymphéa odorant. Comme les autres herbiers à feuilles flottantes, cet herbier est entouré principalement de Potamot de Robbins (invisible sur l'image) croissant à une profondeur de 1,0 à 1,5 mètre.

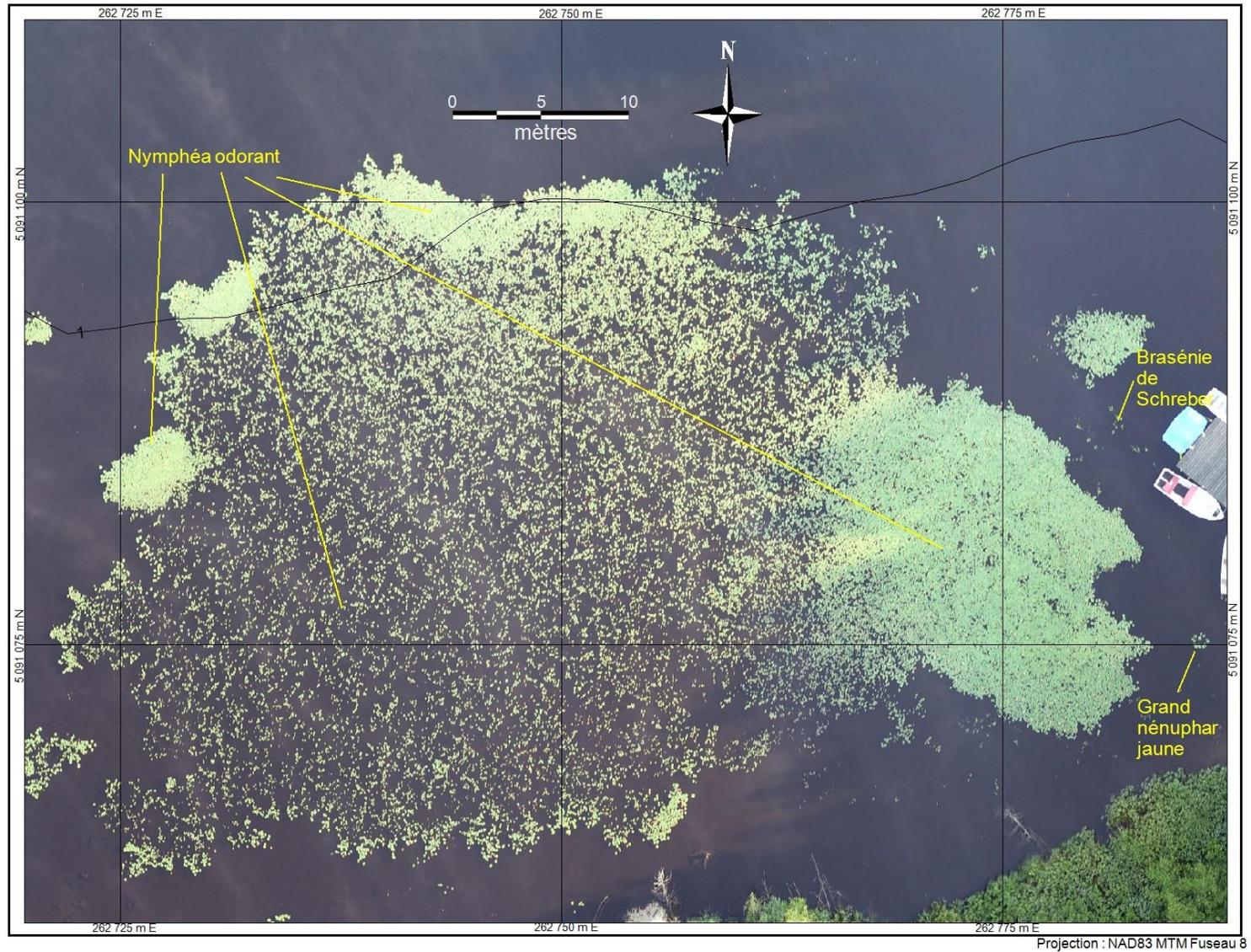


FIGURE 118. Ortho-mosaïque du lac Maillé, acquies le 20 juillet 2018. Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes. Noter la réflectance verte élevée du plan d'eau produite par les algues microscopiques et autres particules en suspension. Les rectangles jaunes indiquent les positions des agrandissements illustrés aux figures suivantes.

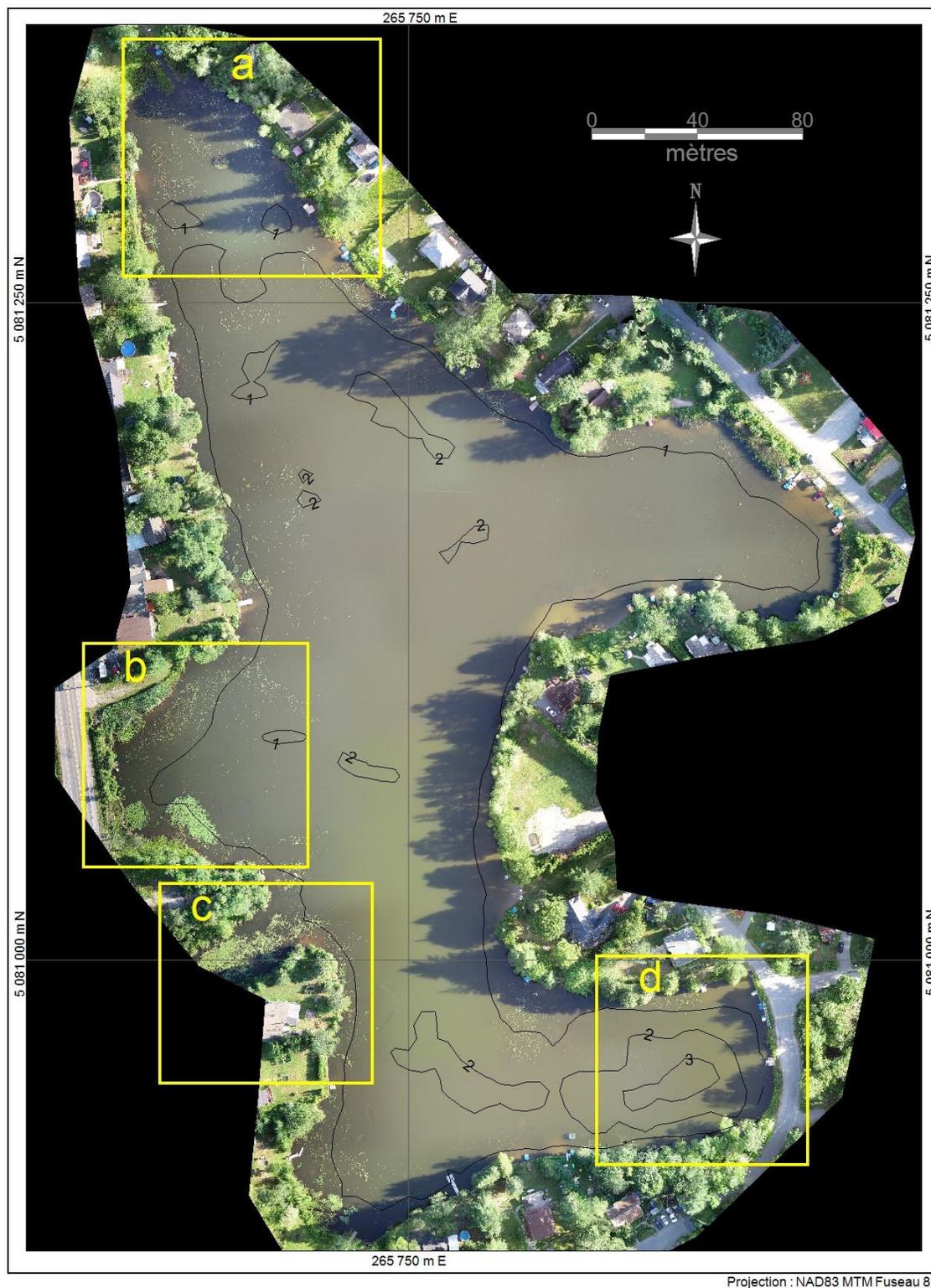


FIGURE 119. Ortho-mosaïque du secteur « a » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118). Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. La composition de la végétation émergente de la structure artificielle ronde apparaissant près du centre de l'image est inconnue.

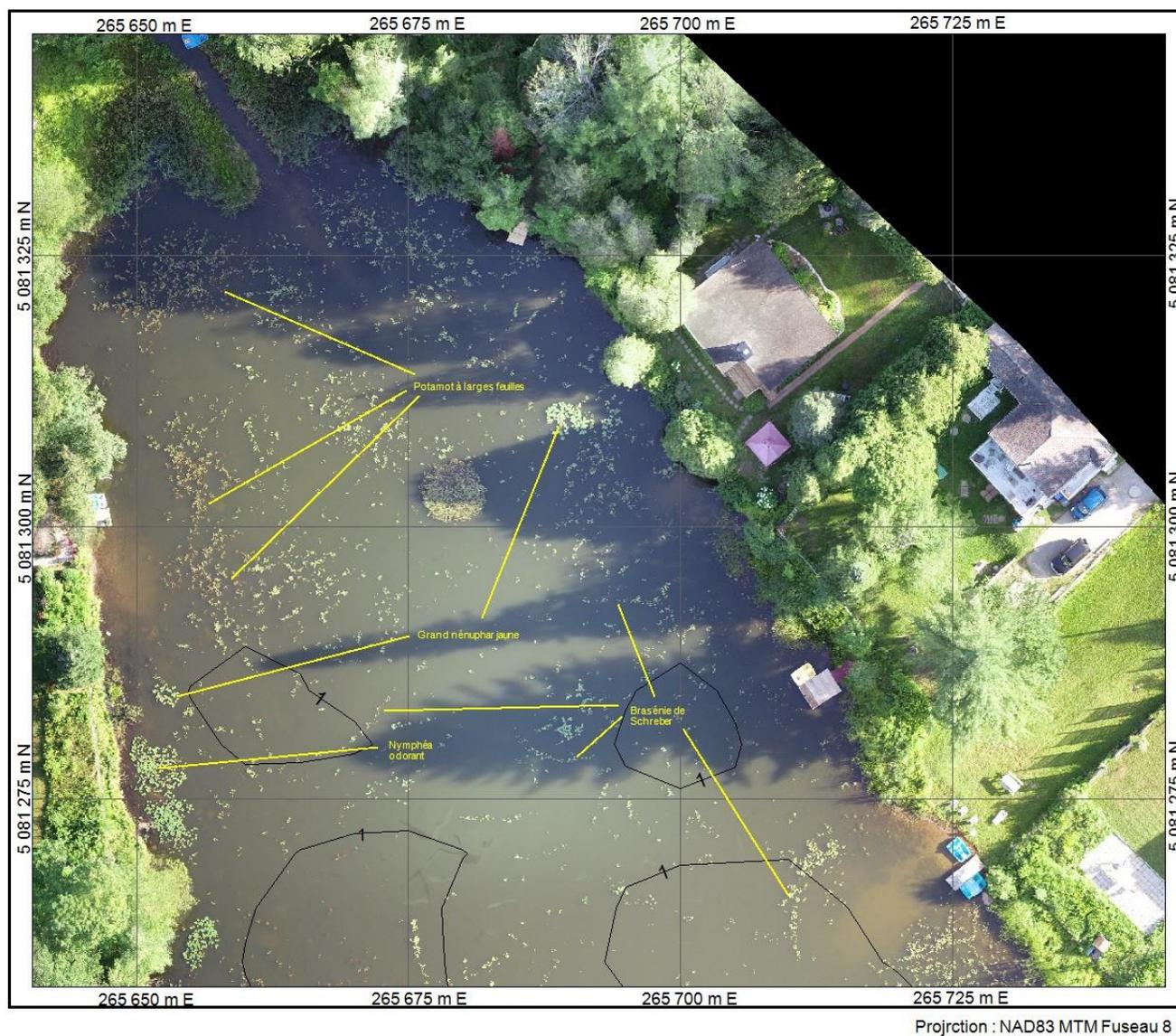


FIGURE 120. Ortho-mosaïque du secteur « b » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118). Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010.

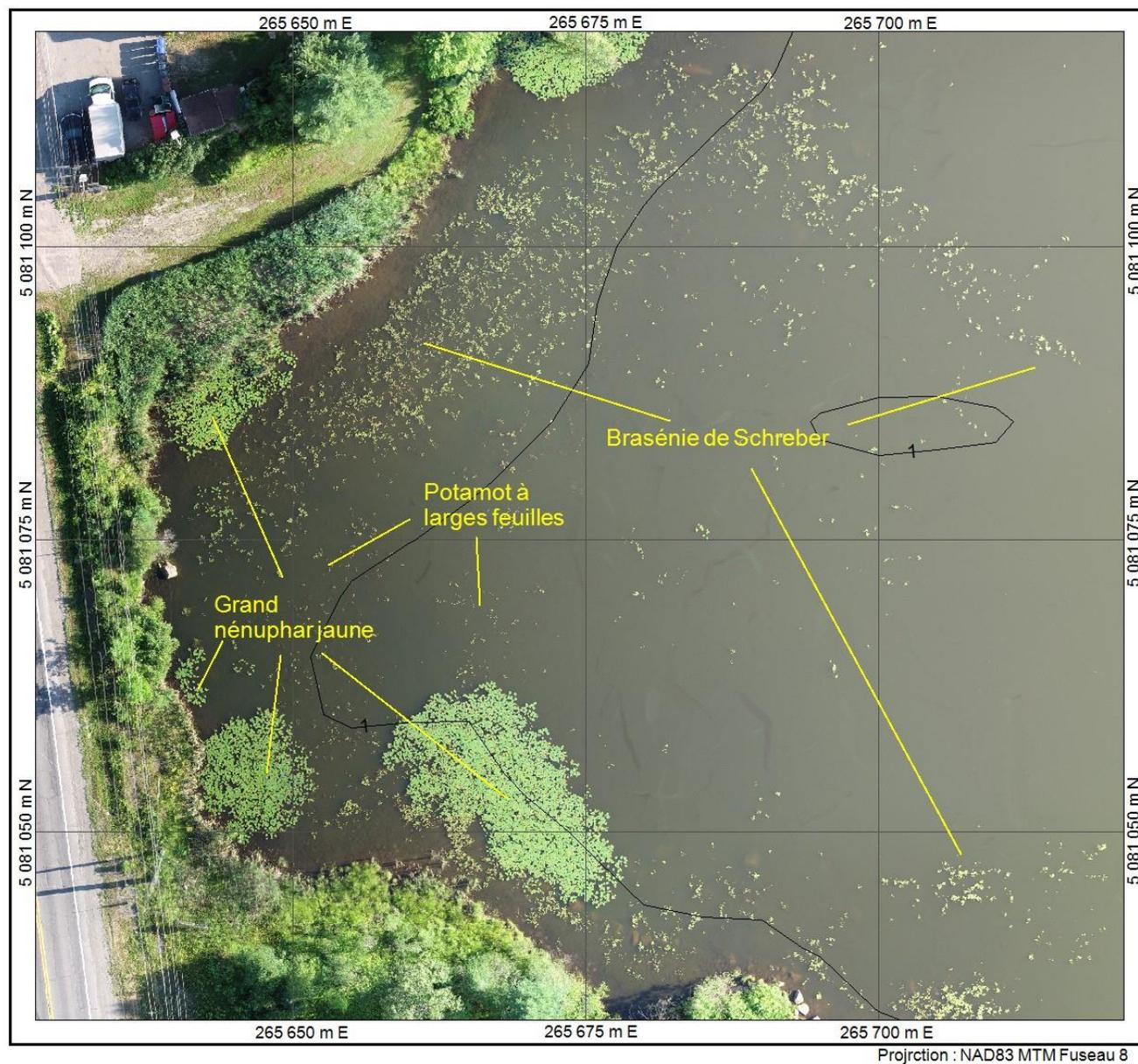
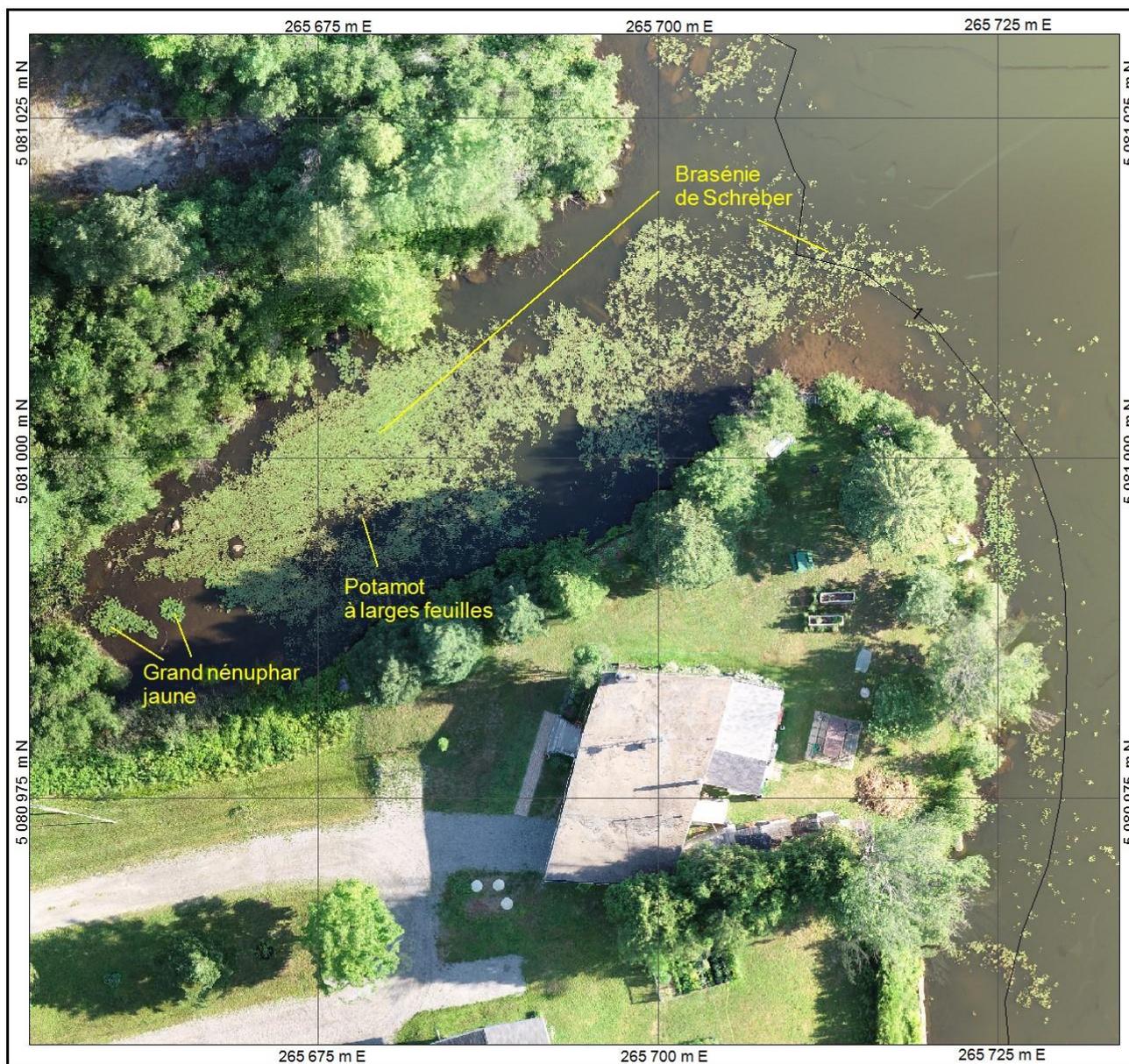


FIGURE 121. Ortho-mosaïque du secteur « c » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118). Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. La petite baie de cette image est presque entièrement recouverte de Brasénie de Schreber.



Projection : NAD83 MTM Fuseau 8

FIGURE 122. Ortho-mosaïque du secteur « d » du lac Maillé, acquis le 20 juillet 2018 (voir figure 118) où se trouve l'exutoire. Les lignes noires superposées sont les isobathes (mètres) mesurées en juillet 2010. Dans la majeure partie de ce secteur, la profondeur est trop grande pour permettre, en 2018, la croissance des plantes aquatiques à feuilles flottantes ou submergées.

