



État des eaux fribourgeoises

—
Résultats de la surveillance des
cours d'eau, des lacs et des
eaux souterraines 2011-2016



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'environnement SEn
Amt für Umwelt AfU

Impressum

Edition

Service de l'environnement – Janvier 2021

Responsable de projet

Catherine Folly

Collaborations

Raphael Kropf, Elise Folly, Eric Mennel et Rachel Brulhart

Photo de couverture

La Sionge © Service de l'environnement

Remerciements

Le Laboratoire du Service de l'environnement pour l'échantillonnage et les analyses.

Sébastien Lauper du Service des forêts et de la nature (SFN) pour les informations sur les poissons et les écrevisses et pour avoir fourni les données de température.

Traduction

La langue originale est l'allemand.

Traduction: Etienne Rosset: <http://www.rosset-translation.ch/>

Cette publication n'existe que sous forme électronique. Elle est également disponible en allemand.

Renseignements

Service de l'environnement SEn

Section protection des eaux

Impasse de la Colline 4, 1762 Givisiez

T +26 305 37 60, F +26 305 10 02

sen@fr.ch, www.fr.ch/sen

Sommaire

1	Introduction	4	4	Lacs	31
2	Méthodes	5	4.1	Lac de Morat	32
3	Cours d'eau	6	4.1.1	Phosphore	32
3.1	Ecomorphologie et aspect général	6	4.1.2	Oxygène	32
3.2	Qualité biologique	9	4.1.3	Pesticides	34
3.2.1	IBCH	9	4.1.4	Faune piscicole	34
3.2.2	Diatomées	11	4.2	Autres lacs	35
3.2.3	Faune piscicole	12	4.2.1	Lac de Schiffenen	35
3.2.4	Ecrevisses à pattes blanches	13	4.2.2	Lac de la Gruyère	36
3.3	Qualité physico-chimique	13	4.2.3	Petits lacs	37
3.3.1	Température	13	4.2.4	Pesticides	38
3.3.2	Nutriments	18	5	Eaux souterraines	39
3.3.3	Pesticides	23	5.1	Nitrate	39
3.3.4	Métaux lourds	25	5.2	Pesticides	41
3.4	Comparaison avec la Suisse	26	6	Bibliographie	43
3.5	Comparaison des 6 années d'analyses	28			

1 Introduction

La surveillance régulière de l'état des eaux superficielles et souterraines est l'une des tâches centrales de l'Etat. Les données et les connaissances accumulées permettent de contribuer à une meilleure compréhension des processus naturels et des influences humaines. Un bon programme de suivi est essentiel pour déterminer les déficits de qualité des eaux par rapport aux exigences légale et définir les mesures nécessaires pour y remédier.

La qualité des cours d'eau dans le canton de Fribourg est régulièrement analysée depuis 1982. Les premières observations ont porté sur les invertébrés aquatiques. Les analyses chimiques ont été ajoutées à la fin des années 1990. Depuis l'introduction du système modulaire gradué (SMG) en 1998, qui consiste à un ensemble de méthodes de surveillance des eaux (morphologie – biologie – chimie), le canton de Fribourg améliore son principe d'observation. A partir de 2011, le programme de surveillance cantonal prévoit des prélèvements dans 2 à 4 bassins versants chaque année, ce qui permet de couvrir l'ensemble du canton en 6 ans. Grâce à un échantillonnage chimique et biologique, les résultats récoltés peuvent être combinés et ainsi offrir une interprétation précise. Depuis 2017, la faune piscicole est également incluse dans l'évaluation intégrée. Pour cette analyse de qualité, ce sont les données des campagnes de surveillance publiées qui ont été principalement utilisées et disponibles au lien suivant : <https://www.fr.ch/energie-agriculture-et-environnement/eau/documentation-qualite-des-cours-deau>. Les températures de l'eau et le chapitre sur les écrevisses ont été fournis par le Service des forêts et de la nature (SFN).

La surveillance des lacs est également effectuée depuis 1982. Au début, le phosphore et l'oxygène étaient au centre des préoccupations. Au fil des ans, des paramètres et des méthodes supplémentaires ont été ajoutés. Outre le lac de Morat qui fait l'objet d'une surveillance mensuelle et dont les résultats détaillés des enquêtes sont publiés en permanence sur le site <https://www.die3seen.ch/?lang=fr>, les grands lacs artificiels, le lac de Schiffenen et le lac de la Gruyère, sont également analysés annuellement. L'échantillonnage des petits lacs se fait, tous les 5 ans. Les données sur la qualité de l'eau des lacs proviennent des campagnes de mesures du canton.

La qualité chimique des eaux souterraines du canton de Fribourg est analysée depuis le début des années 1990. Selon les objectifs du programme de mesure, les enquêtes sont effectuées une fois par mois ou deux fois par an. Le chapitre 5 sur les eaux souterraines a été repris du plan sectoriel sur les eaux souterraines, qui a été élaboré en 2015.

L'objectif de cette publication est de présenter les résultats actuels des observations sur les eaux superficielles et souterraines dans un rapport détaillé. L'accent est particulièrement mis sur les résultats et leur classification en catégories de qualité à l'aide des méthodes habituelles, principalement le SMG.

Les données figurant dans ce rapport ont été utilisées pour élaborer le plan sectoriel de la gestion des eaux qui a été mis en consultation en janvier 2021.

2 Méthodes

Ecomorphologie

L'écomorphologie des cours d'eau est évaluée et classifiée à l'aide de divers critères. Il s'agit de déterminer dans quelle mesure l'état des différents tronçons correspond à leur état naturel. La méthodologie précise d'une analyse écomorphologique est décrite par Hütte et Niederhauser [1]. Dans le canton de Fribourg, des relevés sont effectués depuis l'an 2000. Ils ont été complétés lors d'une campagne de mesures exhaustive entre 2012 et 2014.

Aspect général

Le module d'évaluation « aspect général » permet de vérifier les exigences de l'annexe 2, chapitre 1.11, de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux). La procédure détaillée est décrite par Bindermann et Göggel [2]. Les informations sur l'aspect général sont collectées à l'aide de protocoles et de formulaires associés à l'échantillon de macrozoobenthos.

IBCH (indice biologique suisse)

Pour une analyse de l'IBCH, ce sont les invertébrés aquatiques (macrozoobenthos) qui sont étudiés. La composition des taxons et leur diversité permettent de faire des déclarations sur la qualité de l'eau mais aussi sur l'état de leurs habitats [3]. Deux échantillons par station sont prélevés chaque année au printemps et à l'automne.

DI-CH (diatomées indice suisse)

Dans cette méthode, ce sont les diatomées qui sont examinées. Ici aussi, la qualité de l'eau peut être déterminée sur la base de la composition des espèces [4]. Les échantillons sont prélevés en même temps que ceux du macrozoobenthos au printemps et en automne.

Physico-chimie : nutriments

L'évaluation de la qualité physico-chimique est réalisée avec le module « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau : Analyses physico-chimiques, nutriments » [5]. 12 échantillons ponctuels sont prélevés chaque mois. La classification se réfère au 90^e percentile des 12 valeurs. Les substances analysées sont : azote (nitrate (NO₃), nitrite (NO₂), ammonium (NH₄)), phosphore (phosphore total (P_{tot}), phosphate (PO₄)) et carbone (carbone organique dissous (DOC)).

Pesticides

En plus des paramètres décrit ci-dessus, 16 pesticides ont été analysés entre 2011 et 2016. L'évaluation est réalisée à l'aide d'une méthode développée par le Service de l'environnement (SEn) [6]. Les valeurs mesurées sont résumées et classifiées en 5 classes analogues aux nutriments.

Température

La température de l'eau est mesurée toutes les 10 minutes à l'aide d'enregistreurs de données qui se trouvent directement dans l'eau. En plus de la surveillance régulière (biologie et chimie), deux à trois stations sur le cours d'eau concerné fournissent des informations sur l'évolution de la température dans le sens du débit.

3 Cours d'eau

3.1 Ecomorphologie et aspect général

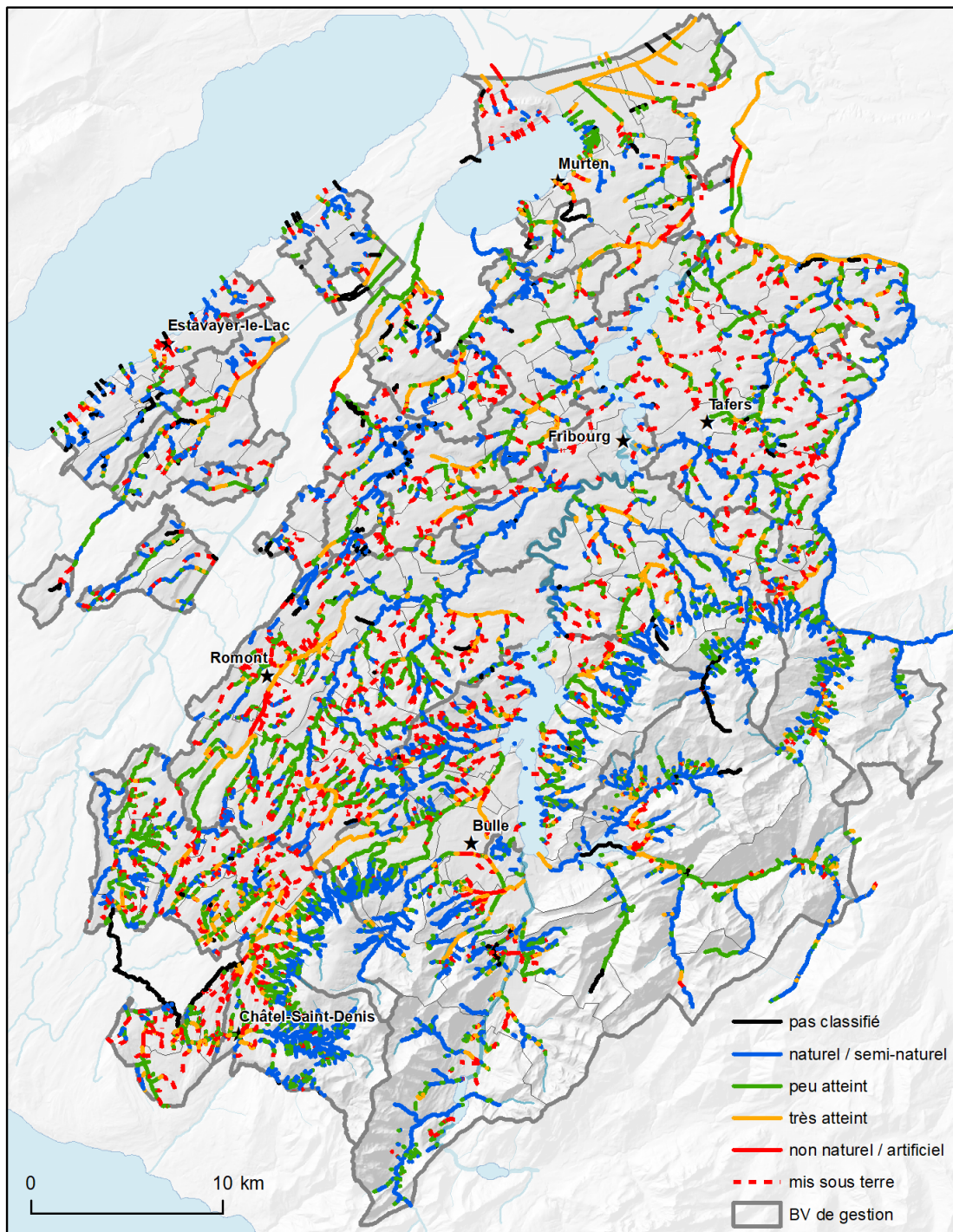


Figure 1: Evaluation de l'état écomorphologique des cours d'eau fribourgeois.

La Figure 1 montre le réseau des cours d'eau étudiés et l'évaluation respective de l'écomorphologie des différents tronçons. Au total, environ 2300 km de cours d'eau ont été examinés. La Figure 2 montre la classification des cours d'eau. Environ un tiers des tronçons examinés sont très atteints, artificiels ou sous terre [2].

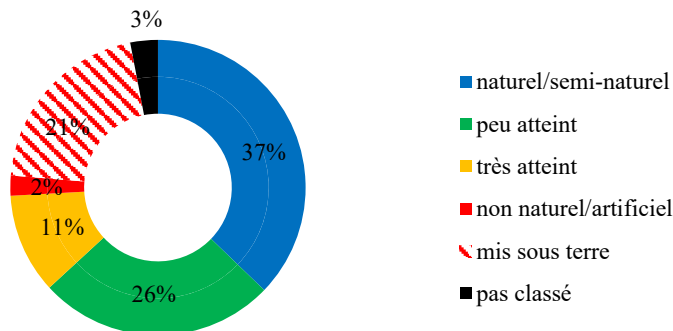


Figure 2: Evaluation de l'écomorphologie dans le canton de Fribourg.

Le module d'appréciation « aspect général » permet de vérifier les exigences du chapitre 1.11 de l'annexe 2 de l'OEaux. Les paramètres suivants sont pris en considération pour l'appréciation de l'aspect général : turbidité, boues, organismes hétérotrophes, déchets de l'évacuation des eaux, colmatage, taches de sulfure de fer, odeur, mousse et coloration. La végétation est traitée dans des modules séparés qui ne sont pas appliqués dans le canton de Fribourg. Le procédé détaillé est décrit par Binderheim et Göggel [3]. Les paramètres relevés donnent des indications sur l'état du cours d'eau et sur les facteurs détériorant sa qualité tels que les polluants, le manque de dynamique ou le déficit d'oxygène au fond du cours d'eau. Sur l'ensemble des 175 stations examinées, des taches de sulfure de fer ont été trouvées à 50 reprises sur des galets. Cela signifie une alimentation en oxygène insuffisante à ces endroits. Un colmatage des substrats a été constaté de manière relativement récurrente (à plus de 30 reprises).

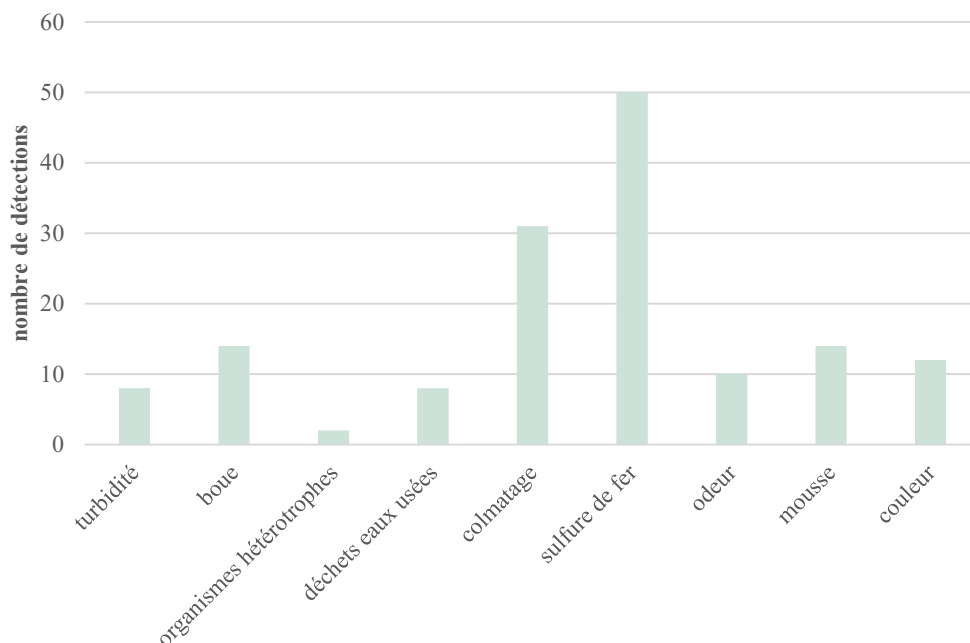


Figure 3: Paramètres relevés dans le cadre de l'évaluation de l'aspect général et leur fréquence.

La distribution géographique est présentée à la Figure 4. Les points rouges (exigences légales non respectées) concernent en particulier les cours d'eau de l'Arbogne, du Chandon, de la Sonnaz, de la Basse-Sarine et leurs

affluents principaux. Les différences de qualité entre les cours d'eau et leurs affluents ressortent de manière évidente dans la représentation de la Figure 5.

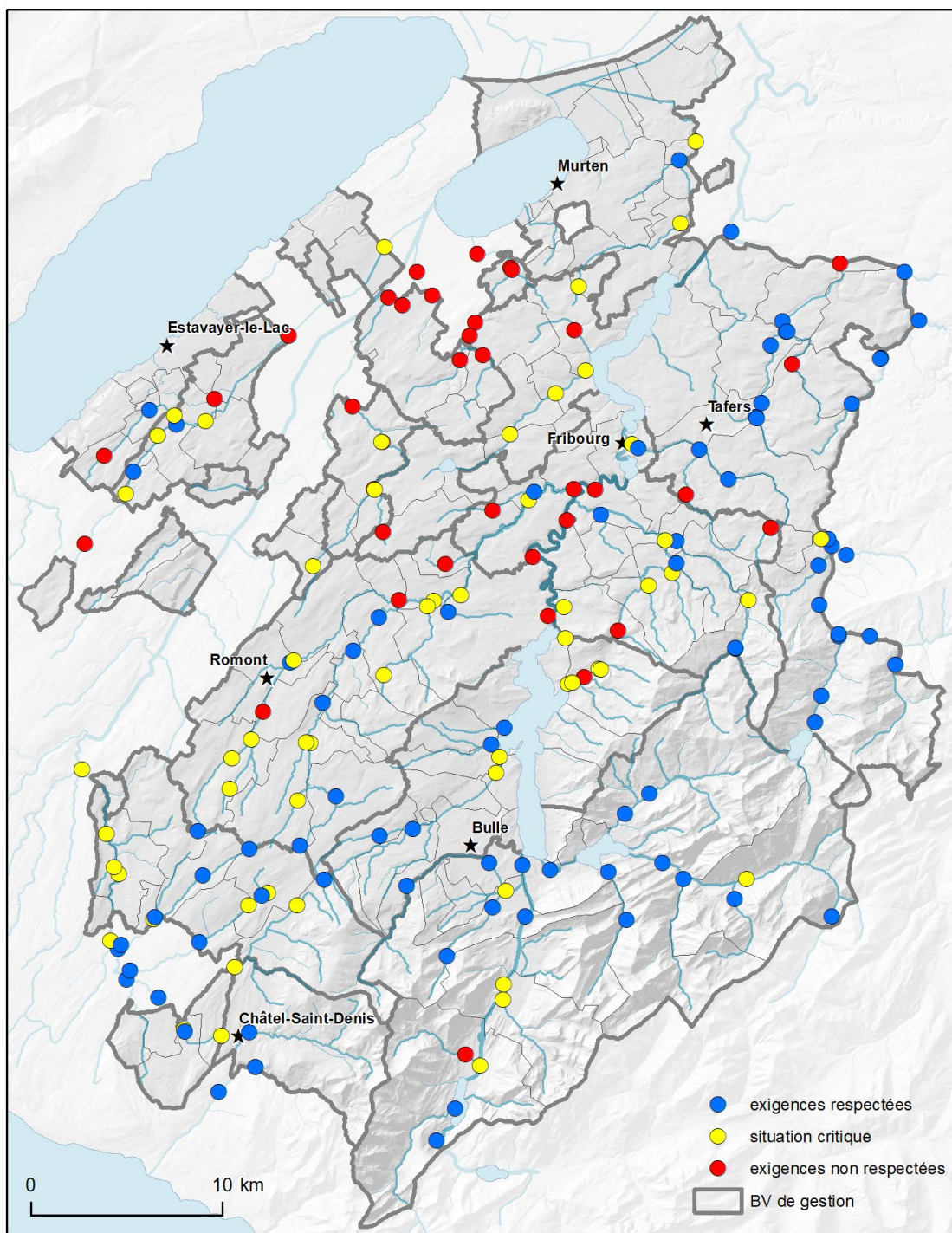


Figure 4: Evaluation de l'aspect général des cours d'eau fribourgeois.

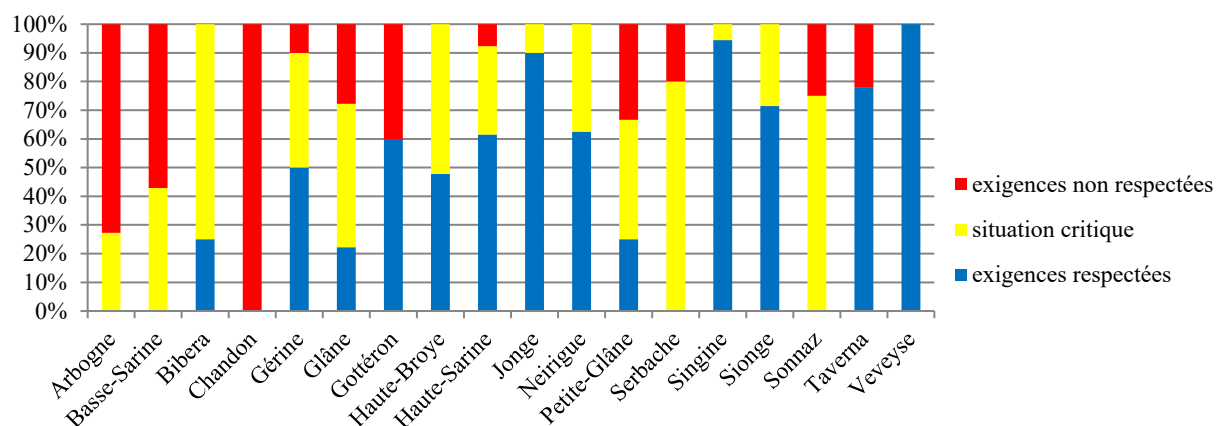


Figure 5: Distribution des classes de qualité de l'aspect général des stations dans les divers cours d'eau avec les affluents principaux.

3.2 Qualité biologique

La qualité biologique des cours d'eau est déterminée de deux manières dans le canton de Fribourg. La méthode de l'IBCH consiste à examiner les invertébrés aquatiques. L'autre méthode utilisée (DI-CH) consiste à examiner les diatomées. La présence d'écrevisses dans les cours d'eau du canton de Fribourg a été relevée systématiquement en 2016.

3.2.1 IBCH

Les résultats actuels (2011 – 2016) des relevés IBCH sont présentés à la Figure 6. Des déficits de qualité sont notables en particulier dans la partie nord-ouest du canton.

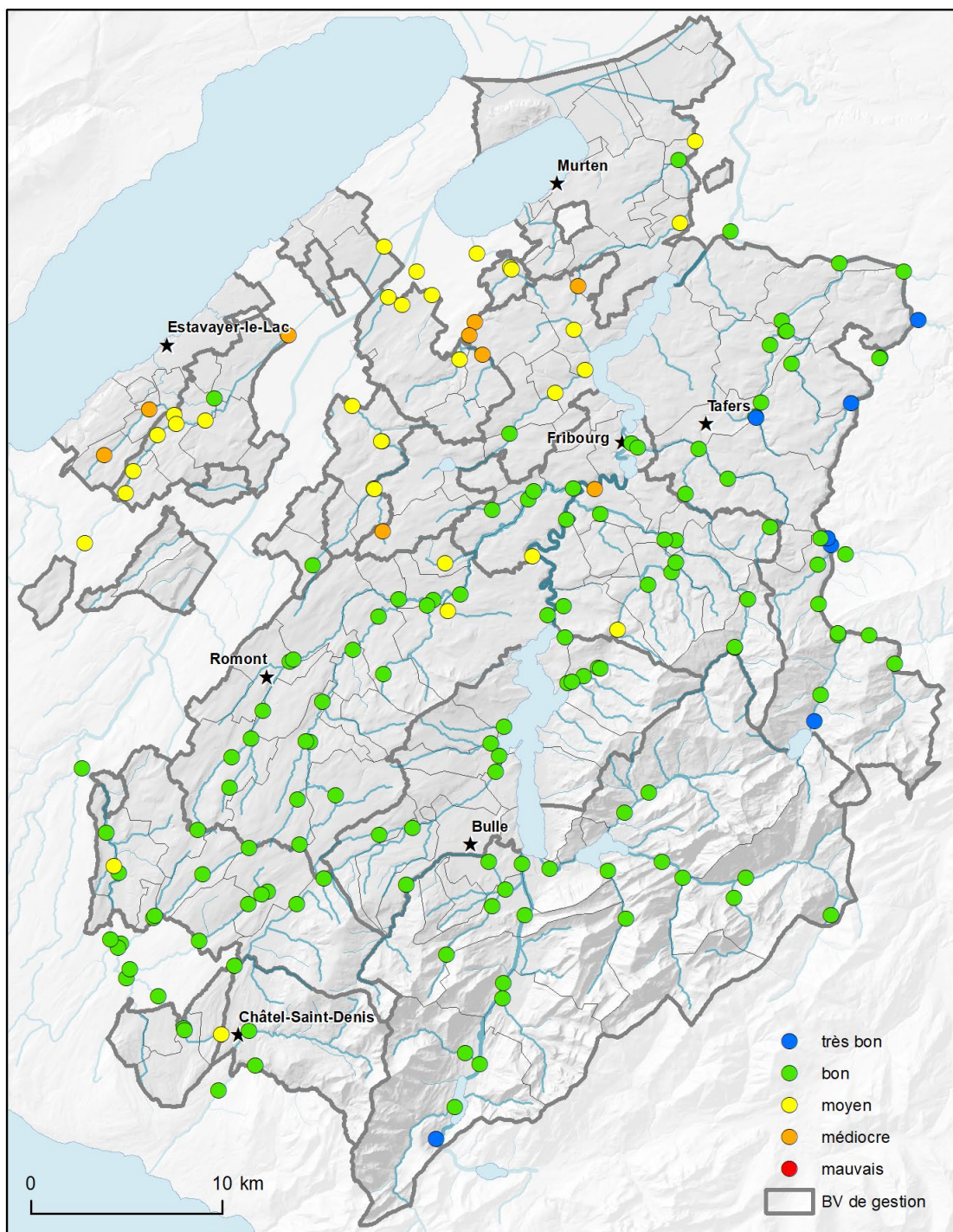


Figure 6: Qualité biologique dans le canton, relevée selon l'IBCH.

La qualité biologique des cours d'eau fribourgeois s'est améliorée depuis les années 1980. La Figure 7 (à gauche) met en évidence l'amélioration de la qualité moyenne. La partie droite de la figure illustre la nette augmentation de la proportion de stations affichant une bonne ou très bonne qualité. Ces deux classes représentent dorénavant plus de 70% des stations de mesure.

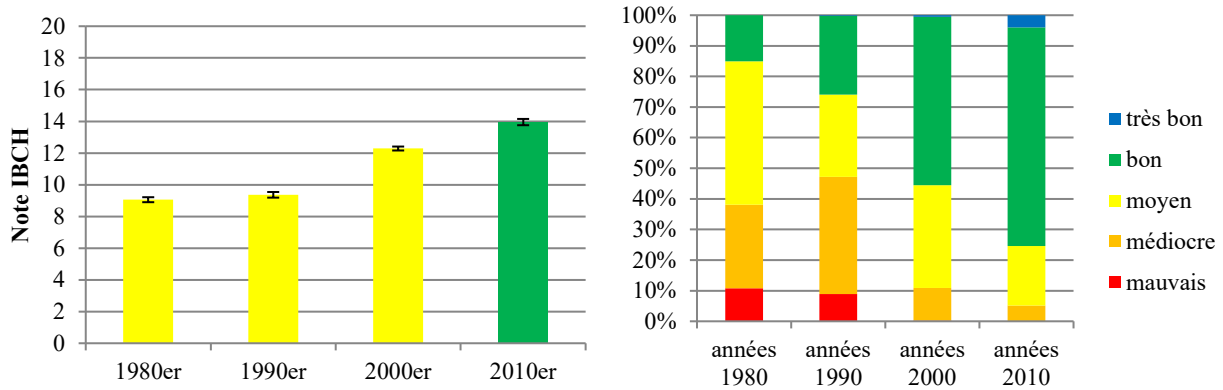


Figure 7: Evolution de l'IBCH entre les années 1980 et 2010. A gauche : La valeur moyenne de l'IBCH a augmenté de manière significative ces 30 dernières années (les barres d'erreur indiquent l'écart-type).

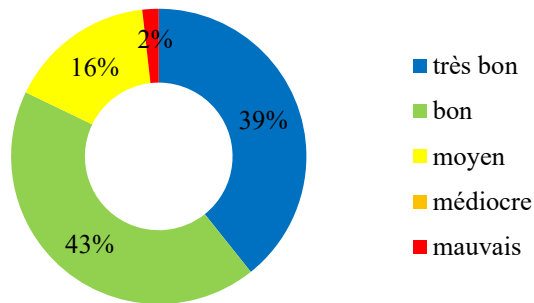


Figure 8: Composition de la qualité des diatomées de toutes les stations du canton.

3.2.2 Diatomées

Entre 2011 et 2016, les diatomées ont été examinées simultanément au macrozoobenthos dans 56 stations dans le canton de Fribourg. L'évaluation s'est faite à l'aide de l'indice DI-CH (indice diatomées suisse) [4]. Plus des trois quarts des stations présentent une qualité bonne à très bonne (Figure 8).

La distribution géographique des résultats est présentée à la Figure 9. Les résultats insuffisants (qualité moyenne à mauvaise) se concentrent dans les bassins versants de la Petite Glâne, du Chandon, de l'Arbogne, de la Bibera, de la Glâne et de la Haute-Broye.

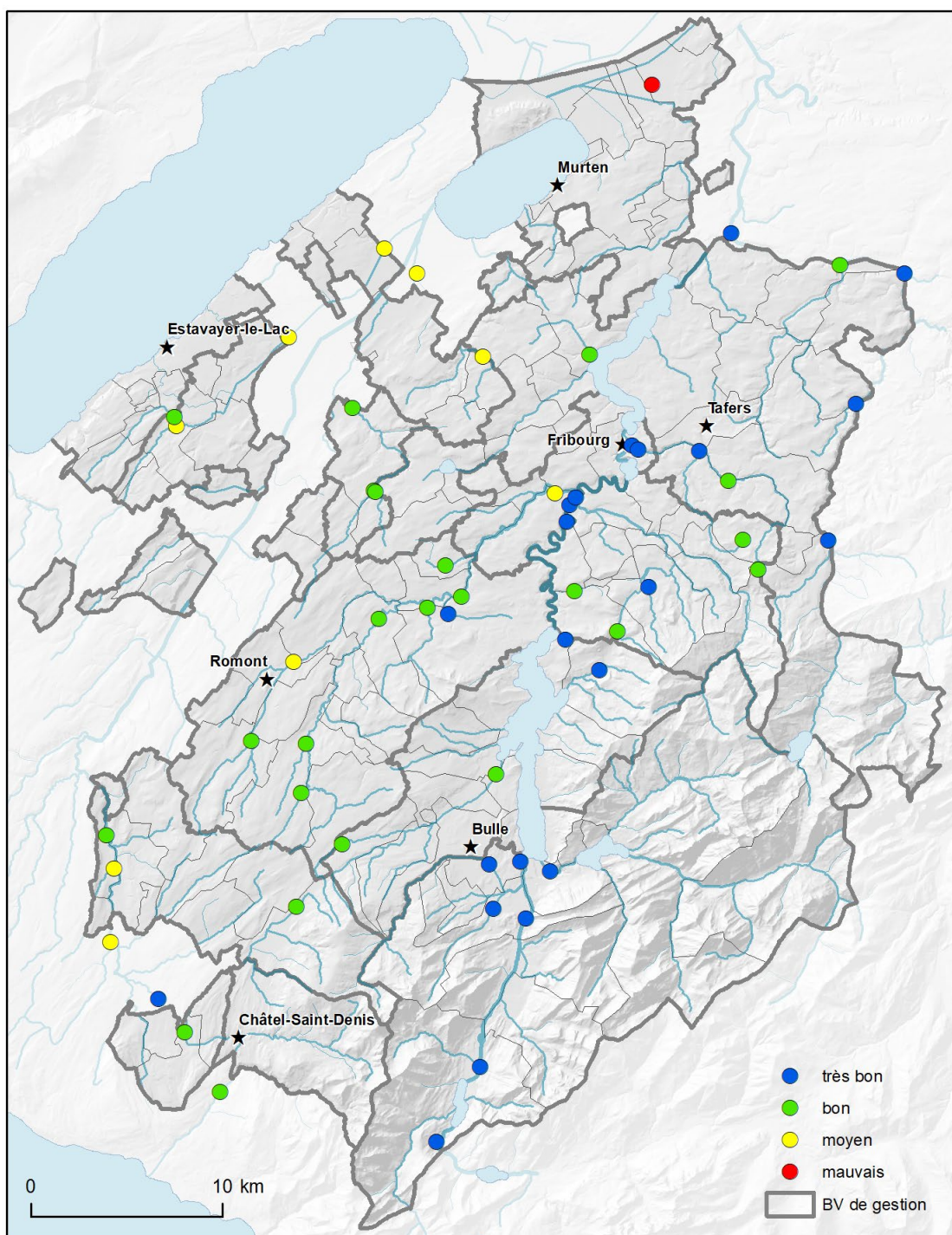


Figure 9: Qualité biologique, mesurée à l'aide de l'indice diatomées DI-CH.

3.2.3 Faune piscicole

Faute de données complètes et couvrant l'ensemble du territoire, aucune conclusion précise ne peut être formulée sur la population piscicole dans le canton de Fribourg. Des statistiques de capture et de lâchés sont relevées, mais elles ne concernent que les espèces attractives pour la pêche. Tous les groupes d'âge n'y sont pas non plus relevés. Des pêches de sauvetage ont également été effectuées lors de travaux dans l'eau et les animaux capturés examinés. Mais ces

données ne couvrent pas l'ensemble du territoire. Depuis 2017, un monitoring de la population piscicole est effectué en même temps que le suivi du macrozoobenthos.

3.2.4 Ecrevisses à pattes blanches

Des données sporadiques de présence d'écrevisses à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*) dans le canton existent depuis 1976, mais les premiers relevés réguliers datent de 1985. Dans le cadre d'une enquête systématique menée en 2017, plus de 200 sites ont été visités à la recherche d'écrevisses à pattes blanches. Sur les 113 points d'observation connus historiquement pour avoir abrité des écrevisses, 44 abritaient des écrevisses en 2017, soit 39%. Les populations d'écrevisses à Fribourg semblent être très fluctuantes.

A titre d'exemple, deux cours d'eau peuvent être cités : la Sionge et la Taverna. La Sionge est connue historiquement pour avoir abrité la plus importante population d'écrevisses à pattes blanches du canton, à tel point qu'elle était considérée comme bonne population source pour des réintroductions [5]. Malheureusement cette population s'est effondrée dès 2005, pour atteindre des niveaux si bas qu'on la croyait éteinte, ceci, malgré plusieurs campagnes de prospection. En 2017, le garde-faune local a prospecté l'entier de la Sionge et a identifié une dizaine d'individus isolés à Vuadens.

Une importante population a été relevée dans la Taverna, entre St. Antoni et Schmitten en 2001. Les années suivantes, la population a suivi la même tendance que celle de la Sionge. Le garde-faune local a régulièrement observé l'état de cette population, qui selon lui, a accru ses effectifs à partir de 2015. Une prospection en longeant le cours d'eau a été entreprise en 2016 par le SFN pour confirmer cette observation et a permis d'attester la présence d'effectifs importants sur certains tronçons de cette rivière. Pour d'autres cours d'eau comme le Sodbach ou la Nesslera, les écrevisses n'ont plus été observées depuis 2001 et ne le sont toujours pas en 2017.

Les populations d'écrevisses ont subi un effondrement et des extinctions locales entre 2001 et 2010. Suite à cette baisse, les populations sont actuellement stables, voire en augmentation dans certaines stations connues. Depuis 2010, 5 nouvelles populations ont été découvertes.

3.3 Qualité physico-chimique

La qualité physico-chimique des cours d'eau est évaluée à l'aide de quatre indications, la température (chapitre 3.3.1) les nutriments (chapitre 3.3.2), les pesticides (chapitre 3.3.3) et les métaux lourds (chapitre 3.3.4)

3.3.1 Température

La plupart des organismes aquatiques sont à sang froid et sont donc très sensibles à la température de l'eau. Leur métabolisme, leur respiration et leur tolérance envers les parasites en sont directement dépendants. Le régime de température d'un cours d'eau détermine la présence des espèces et la formation de populations. La température moyenne d'un cours d'eau augmente de manière naturelle de sa source à son embouchure. Au cours de l'année, la température de l'eau suit celle de l'air environnant avec toutefois un décalage dans le temps. Des changements de température de petite envergure sont également possibles sous l'influence d'affluents, de la nappe phréatique ou d'infiltrations. Pour les petits cours d'eau, le défrichage des rives et la diminution de l'ombrage qui s'en suit ont une forte influence sur la température de l'eau [6].

En 2015, un réseau de mesure a été mis en place dans le canton de Fribourg pour la surveillance permanente de la température de l'eau. Elle est enregistrée toutes les 10 minutes à l'aide d'enregistreurs de données. En plus des stations de mesure fixes servant de référence, des mesures sont effectuées lors du monitoring régulier (biologie et chimie) à deux ou trois emplacements sur le cours d'eau concerné. Ceci, afin de permettre une évaluation du profil de température le long de l'écoulement. Les résultats de telles mesures sont présentés dans ce chapitre. Une période de mesure de trois ans est trop courte pour permettre une interprétation des stations de mesure fixes. Les stations analysées sont présentées à la Figure 10.

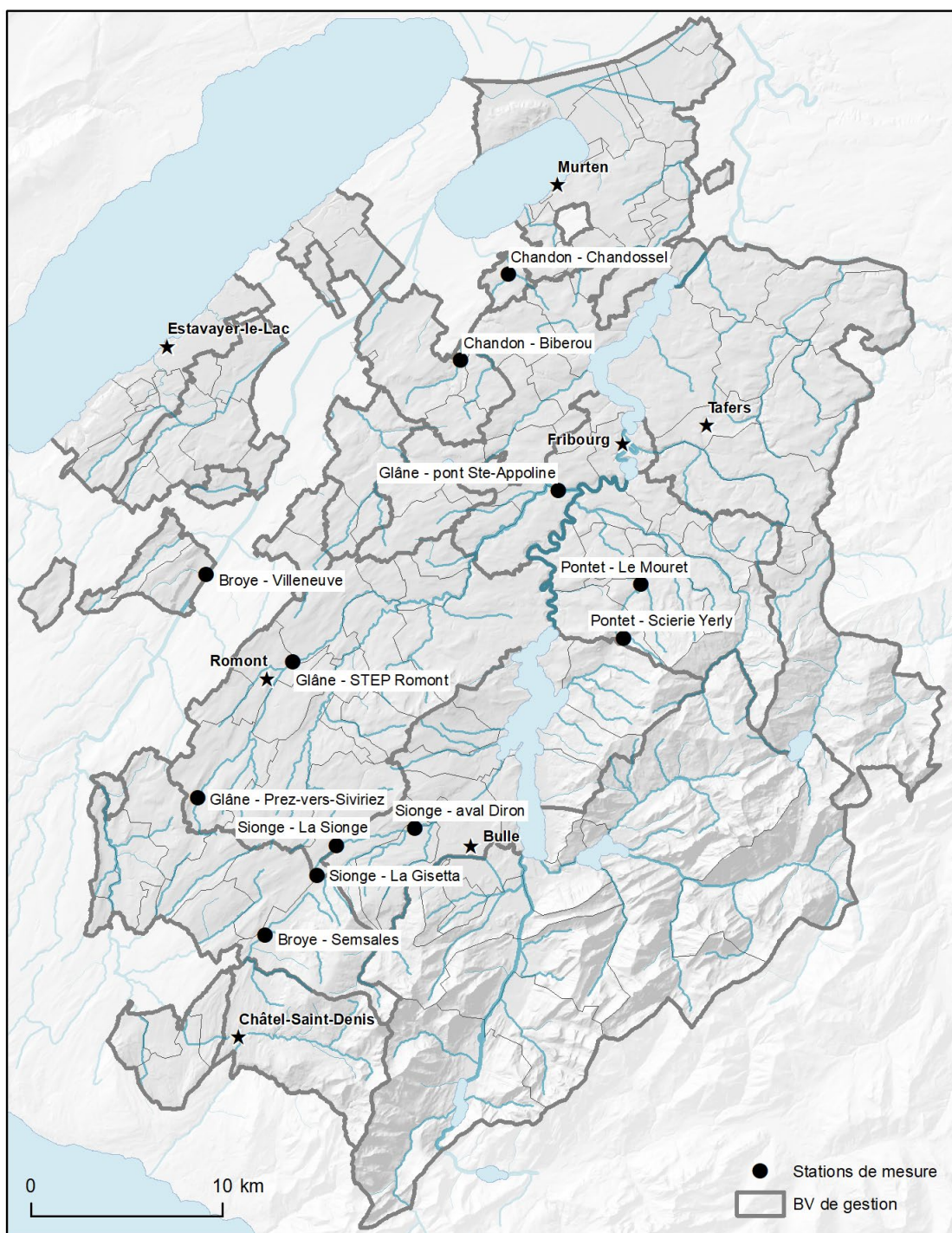


Figure 10: Stations de mesure de la température dont les résultats sont présentés dans ce chapitre.

Les diagrammes (Figure 11 et suivantes) indiquent la durée durant laquelle l'eau présente une certaine température au cours d'une année de mesure. Afin de faciliter la lecture, cette durée est indiquée en jours. Cela ne signifie pas pour autant que ces jours se soient suivis ni que la température soit restée constante toute la journée. Le jour représente simplement une unité de temps. Les interruptions entre les mesures résultent de la maintenance ou de la lecture des enregistreurs. Ces opérations sont effectuées en février ou en mars, lorsque la température est inférieure à 10 °C. Ainsi, afin de ne pas biaiser la présentation des résultats, seules les températures supérieures à 10 °C sont considérées. Tous les diagrammes montrent la même période. De cette manière, les cours d'eau peuvent être comparés les uns aux autres.

Broye 2016

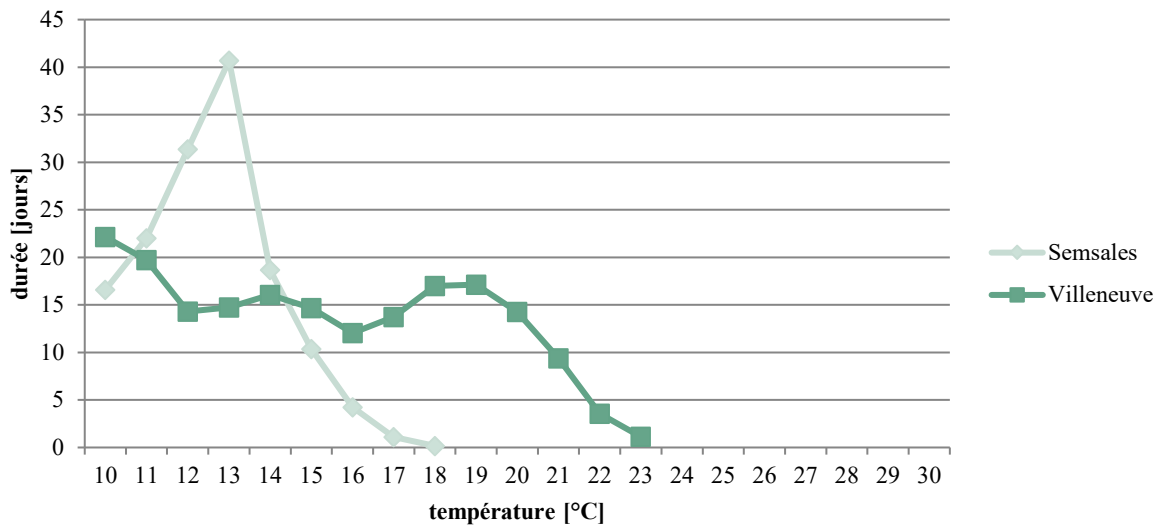


Figure 11: Diagramme des températures de la Broye; indique le nombre de jours durant lesquels l'eau a présenté une certaine température au cours d'une année de mesure.

Une différence évidente des régimes de température apparaît entre la station en amont et celle située environ 37 km plus en aval. Si les températures demeurent en-dessous de 18 °C à Semsales, elles grimpent à 23 °C à Villeneuve. Avec de telles variations de températures, il faut s'attendre à de grandes différences dans la composition des espèces de la faune piscicole.

Chandon 2017

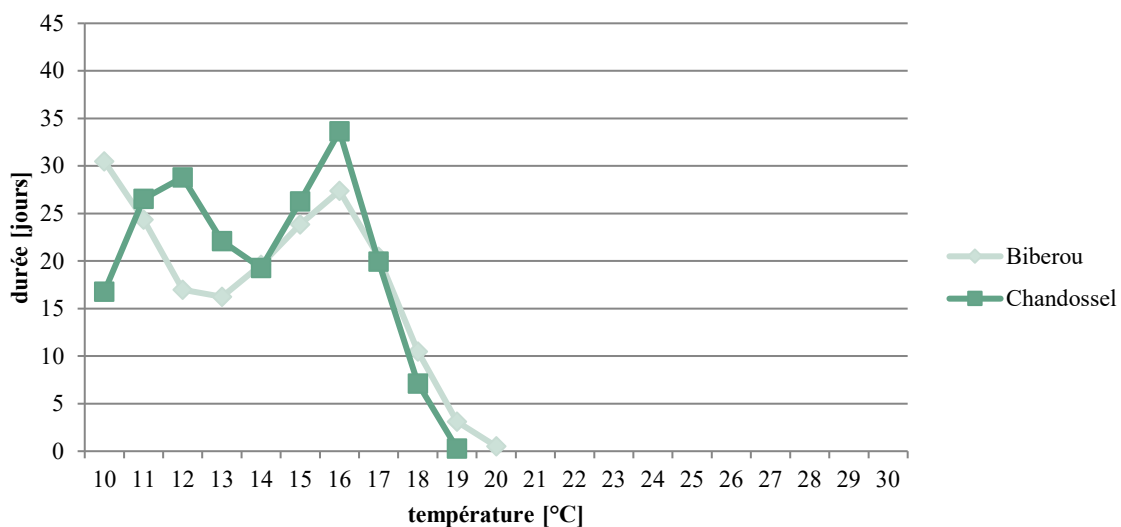


Figure 12: Diagramme des températures du Chandon; indique le nombre de jours durant lesquels l'eau a présenté une certaine température au cours d'une année de mesure.

Les deux diagrammes de températures se distinguent à peine l'un de l'autre. La station en amont présente des températures plus élevées que celle en aval. Il est possible que le Chandon soit refroidi par un affluent ou par un apport de la nappe phréatique.

Glâne 2016

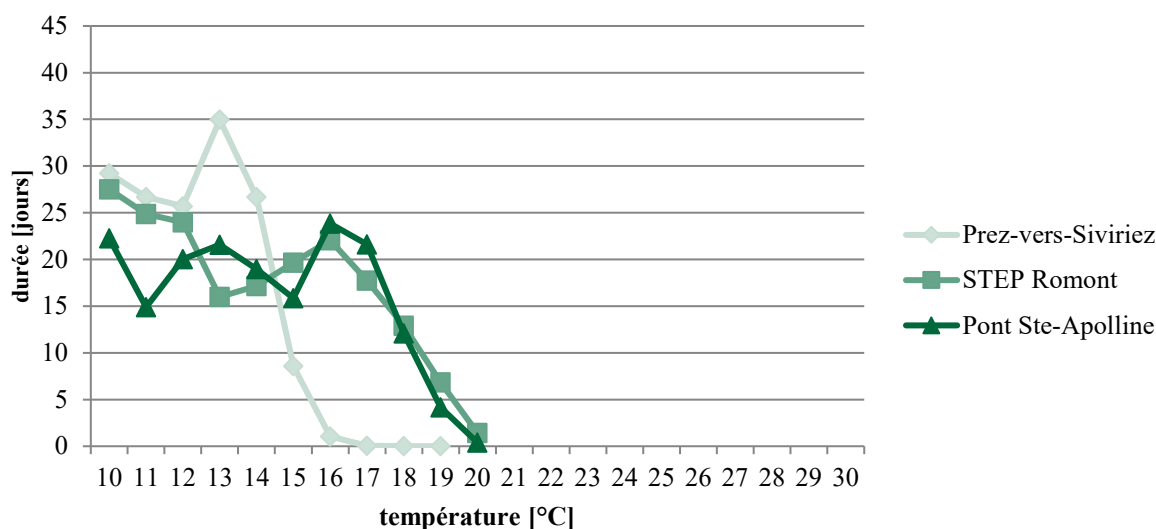


Figure 13: Diagramme des températures de la Glâne; indique le nombre de jours durant lesquels l'eau a présenté une certaine température au cours d'une année de mesure.

La Glâne dispose d'un profil de température très similaire au niveau de la STEP de Romont et au pont de Ste-Apolline. La station en aval atteint cependant les températures les plus basses (pas visible sur le diagramme). Il est possible que la Glâne soit refroidie par la Neirigue, qui se jette dans la première en aval de Romont. La plus grande différence de régime de température entre la station en amont (Prez-vers-Siviriez) et les stations en aval (STEP Romont et Pont Ste-Apolline) peut être expliquée par l'absence de végétation riveraine sur de longues distances. Les données ne sont cependant pas suffisantes pour permettre une appréciation définitive.

Pontet 2016

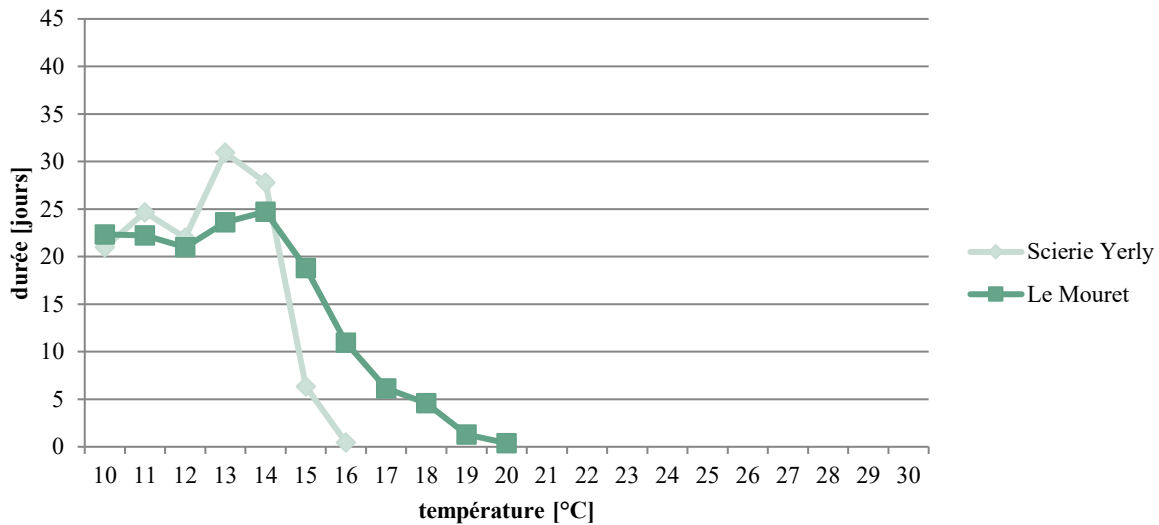


Figure 14: Diagramme des températures du Pontet; indique le nombre de jours durant lesquels l'eau a présenté une certaine température au cours d'une année de mesure.

Les deux courbes exposent principalement des différences dans les zones de températures plus élevées (14 °C). L'eau de la station en amont se réchauffe un peu moins et demeure relativement fraîche, ne dépassant pas les 16 °C. La température de l'eau de la station en aval est montée jusqu'à 20 °C en 2016. Ce fort réchauffement est probablement dû au manque d'ombrage causé par l'absence de végétation riveraine. Une appréciation définitive n'est cependant pas possible à cause du manque de données.

Sionge 2017

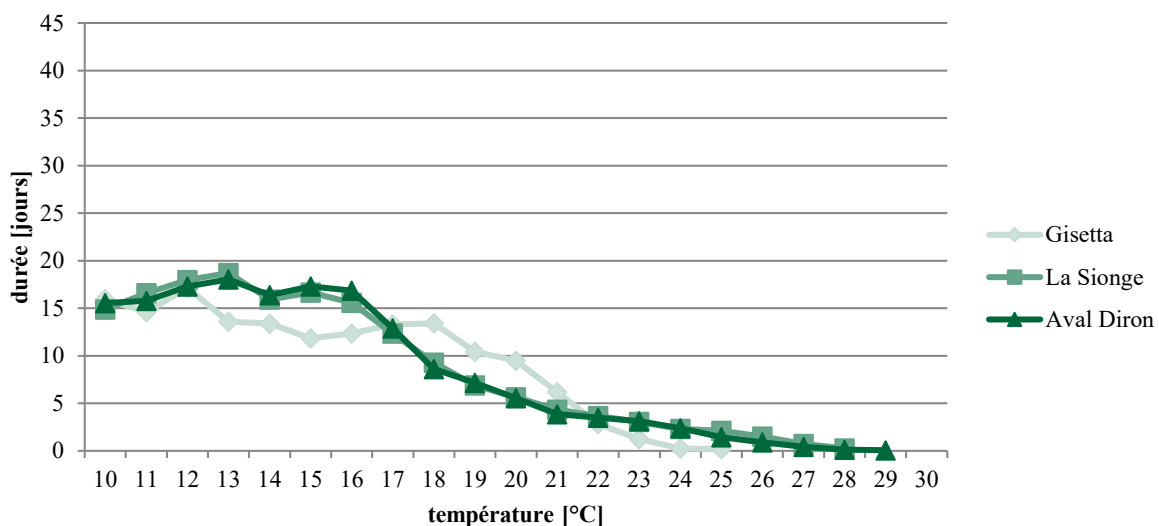


Figure 15: Diagramme des températures de la Sionge; indique le nombre de jours durant lesquels l'eau a présenté une certaine température au cours d'une année de mesure.

La Sionge atteint des températures relativement élevées. Des différences sont notables entre la station en amont (Gisetta) et les deux stations plus en aval (La Sionge et Aval Diron), même si la station de Gisetta se réchauffe également de manière très prononcée, c'est-à-dire jusqu'à 25 °C. Les courbes des deux stations en aval présentent un profil presque identique et atteignent des températures de 28 °C et 29 °C respectivement. En comparaison avec les autres cours d'eau présentés dans ce chapitre, les courbes demeurent relativement plates. Cela signifie que l'eau n'atteint ces pics de température que pour une durée limitée. Durant la majorité de l'année, la température des trois stations ne dépasse pas les 10 °C (pas visible sur le diagramme). Afin de déterminer la raison pour laquelle la Sionge atteint des températures si élevées, il serait nécessaire d'une part, d'effectuer des analyses plus poussées des données et d'autre part, de les mettre en relation avec la morphologie du ruisseau et la végétation de ses rives.

3.3.2 Nutriments

L'évaluation de la qualité physico-chimique a été effectuée en application du module « Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau: Analyses physico-chimiques, nutriments » [7]. L'évaluation globale de la qualité physico-chimique s'est faite selon le principe du pire scénario [8]. Les comparaisons avec les décennies précédentes ont été calculées sur la base des valeurs moyennes et vérifiées statistiquement à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA). Seuls les changements significatifs sont commentés dans ce texte.

La Figure 16 montre les stations de mesure dans le canton et les résultats de la synthèse des paramètres physico-chimiques. Le paramètre le moins bien noté détermine l'évaluation globale.

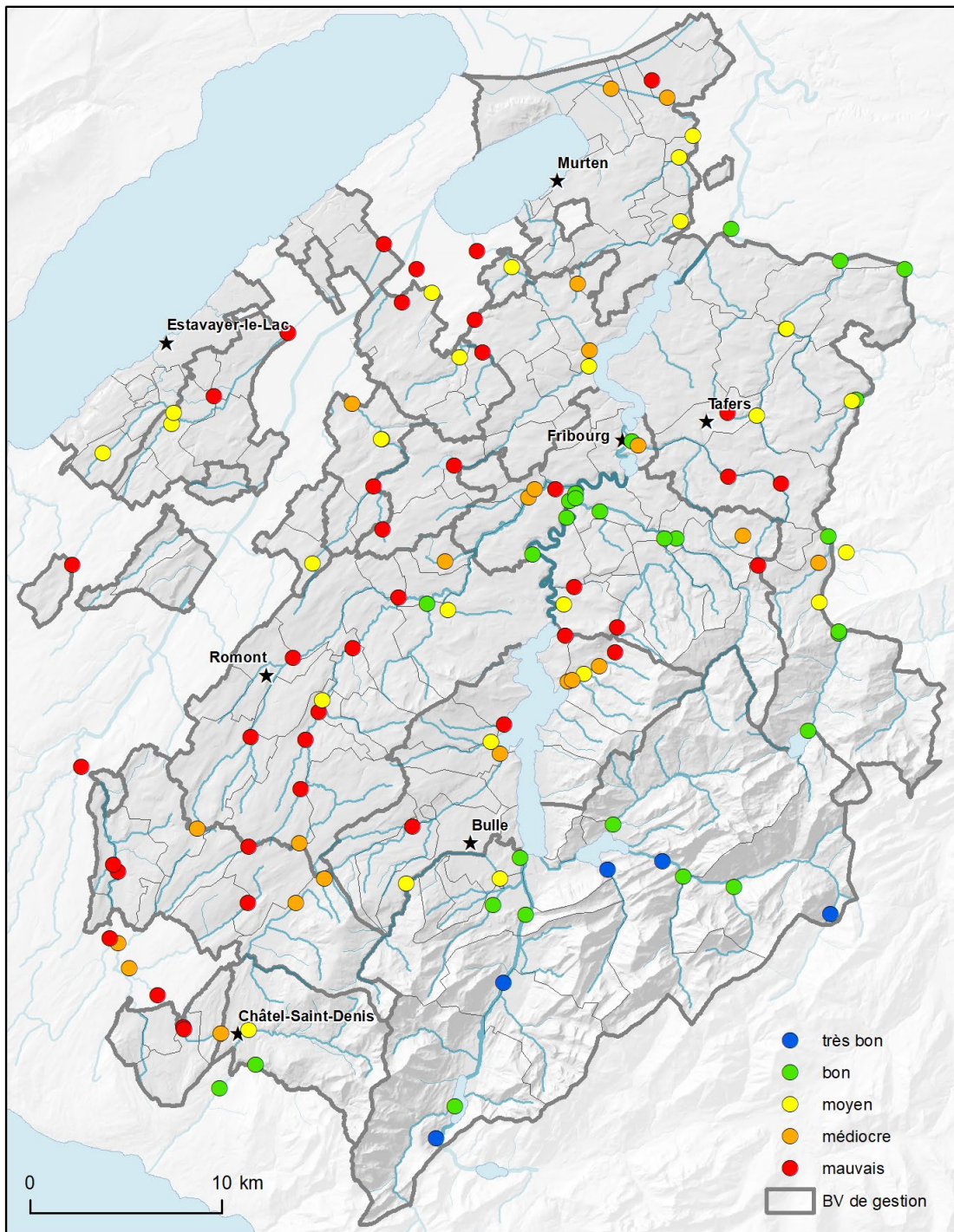


Figure 16: Evaluation globale de la qualité chimique.

La composition de la qualité des stations de mesure est présentée à la Figure 17. Près des trois quarts des stations (74%) n'atteignent pas une qualité suffisante. Dans le sud-est du canton uniquement, une qualité bonne, voire très bonne est majoritairement atteinte.

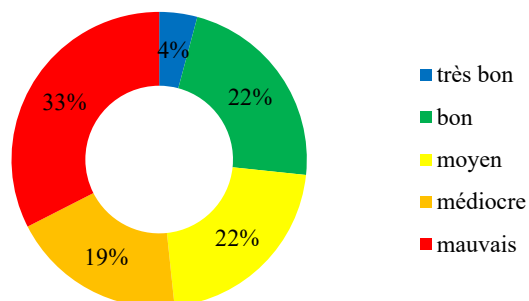


Figure 17: Composition de l'évaluation globale de la qualité chimique dans l'ensemble du canton.

La Figure 18 donne un aperçu des résultats de la campagne de mesures physico-chimiques par paramètre. Les classifications sont présentées dans un diagramme circulaire.

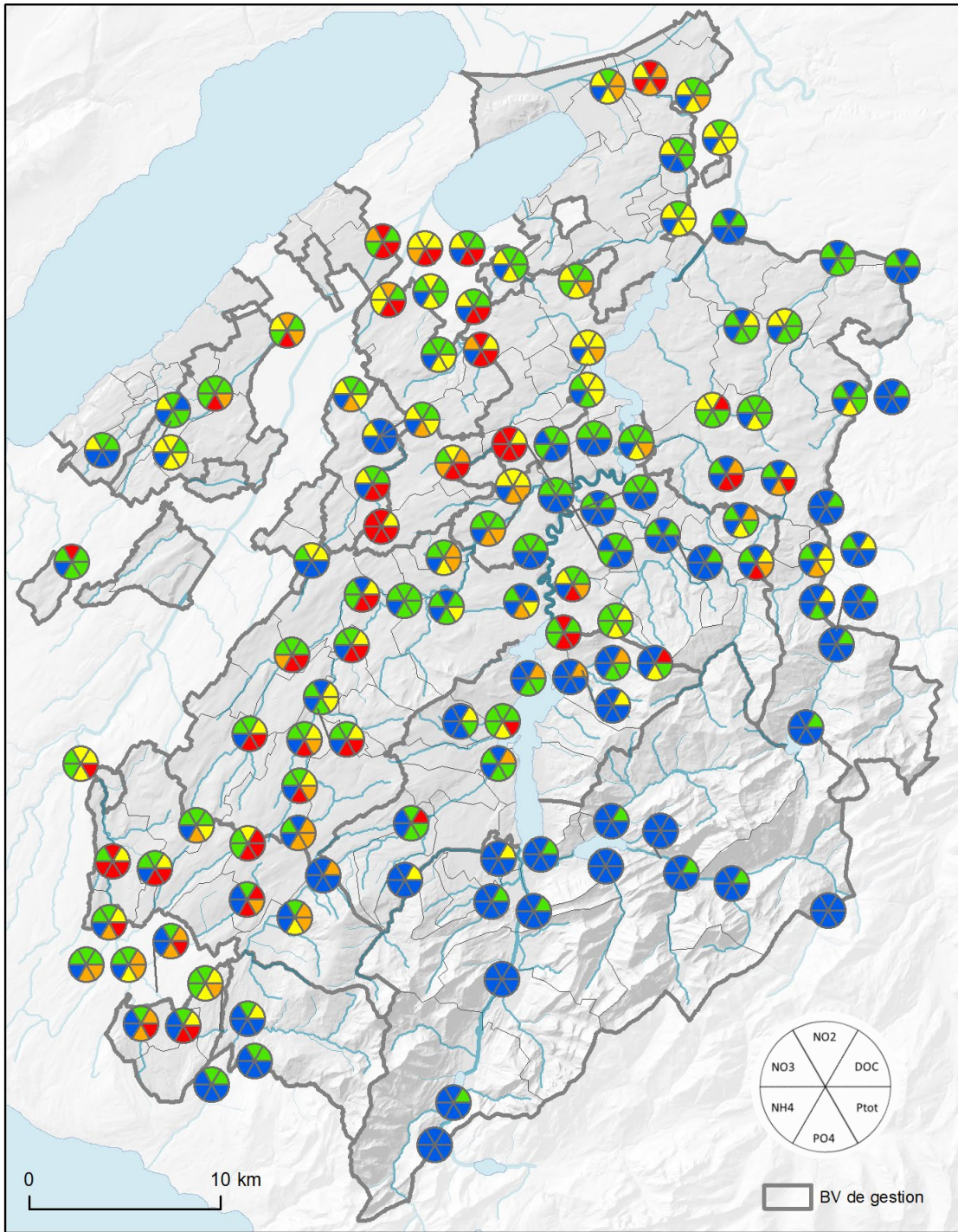


Figure 18: Stations de mesure avec indication détaillée de la qualité physico-chimique.

La Figure 19 montre l'évolution des paramètres entre deux périodes de mesure :

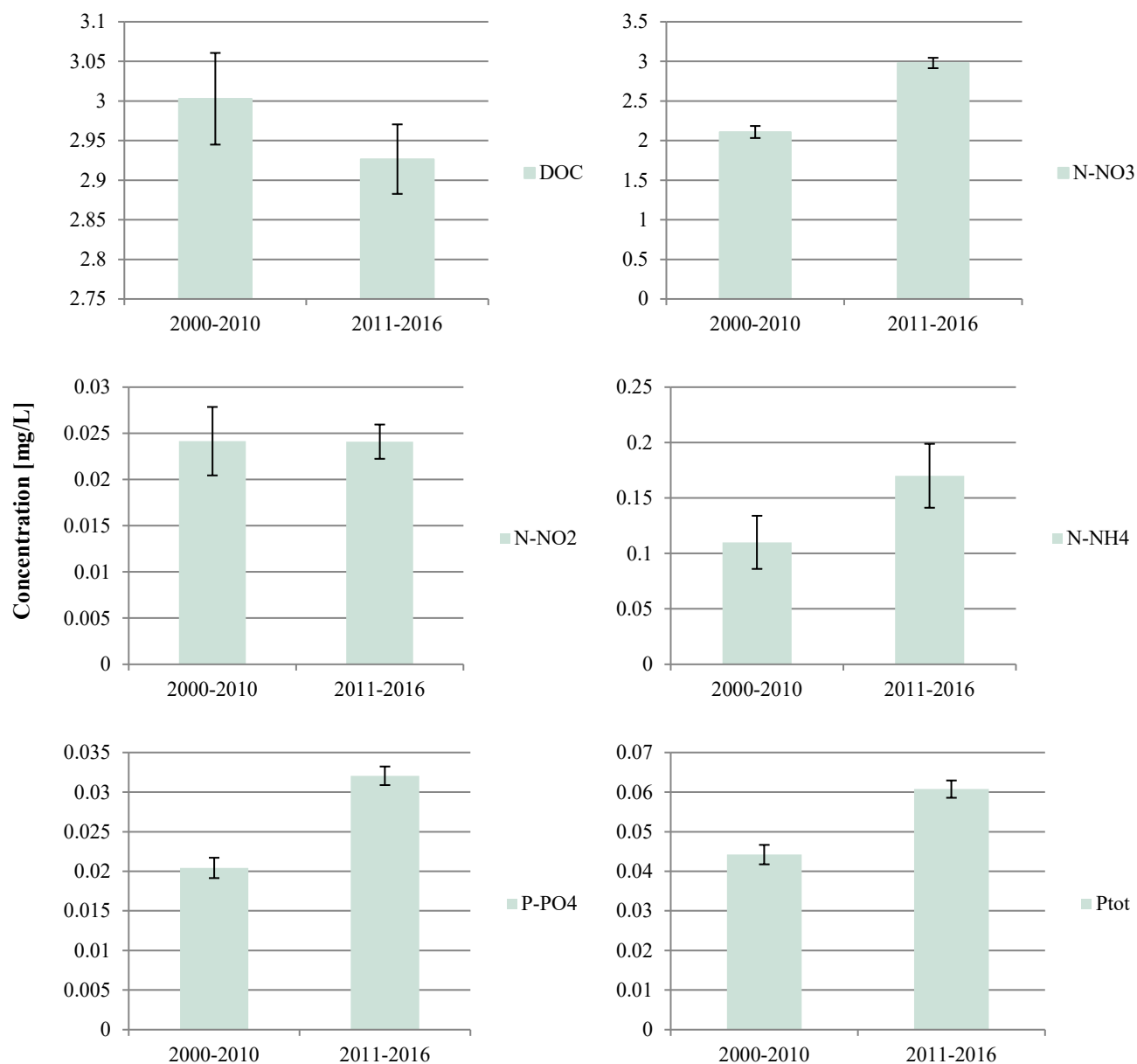


Figure 19: Les barres d'erreur indiquent l'écart-type. L'analyse de variance (ANOVA) démontre les niveaux de signification suivants : DOC (n.s.), N-NO₃ (***), N-NO₂ (n.s.), N-NH₄ (n.s.), P-PO₄ (***), P_{tot} (***) .

La première mesure est basée sur 938 relevés effectués entre 2000 et 2010, la deuxième sur 1448 relevés effectués entre 2011 et 2016. Les concentrations moyennes de N-NO₃, P-PO₄ et P_{tot} ont augmenté entre les mesures de 2000-2010 et de 2011-2016. Pour les autres paramètres (N-NO₂, N-NH₄ et DOC), aucune différence significative n'a été observée. Une détérioration de l'état physico-chimique général a donc eu lieu.

3.3.3 Pesticides

La Figure 20 montre l'évaluation des pesticides dans l'ensemble du canton. Deux tiers des 118 stations ayant fait l'objet de prélèvements présentent une qualité suffisante (bonne ou très bonne qualité).

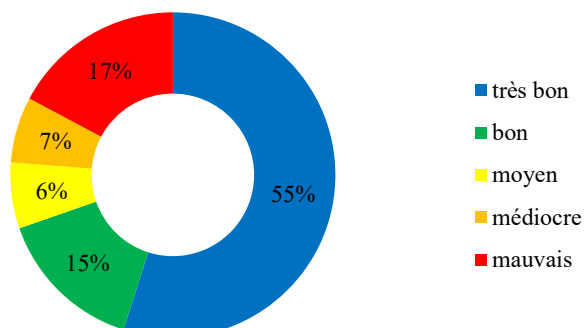


Figure 20: Distribution de l'évaluation des pesticides dans l'ensemble du canton.

Si l'on considère les bassins versants séparément, une grande variabilité de la qualité apparaît (Figure 21). Alors que les stations de mesure de certains bassins versants (Haute-Sarine, Jogne, Neirigue, Singine et Veveyse) présentent exclusivement une très bonne qualité, les stations présentant une qualité insuffisante (mauvaise, médiocre et moyenne) sont majoritaires dans les bassins versants hydrauliques de l'Arbogne, de la Bibera, du Chandon, de la Petite Glâne et de la Sonnaz.

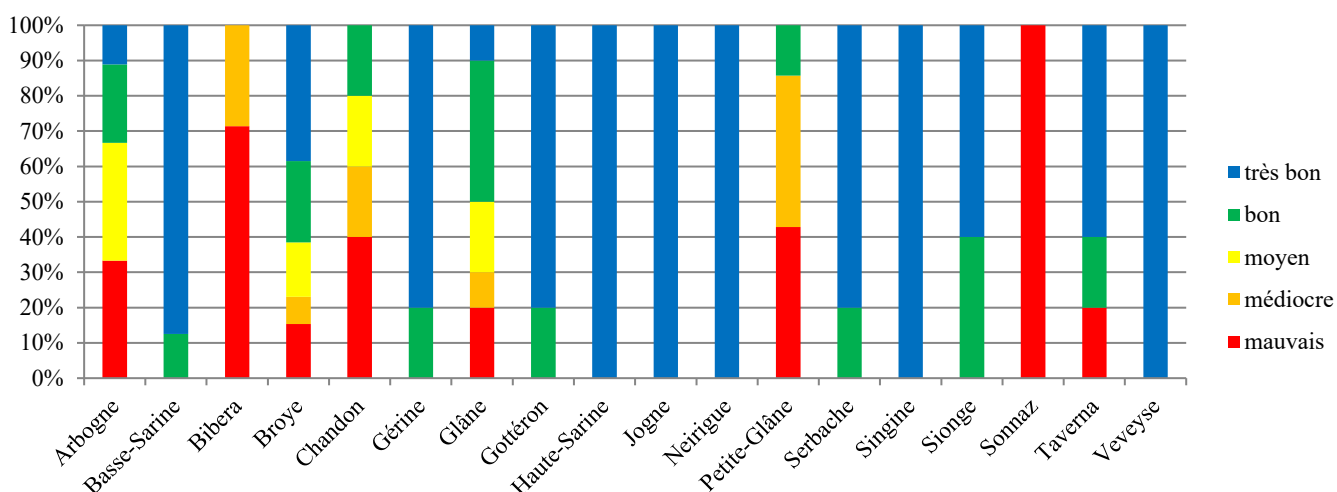


Figure 21: Evaluation des pesticides par cours d'eau et leurs affluents principaux.

La Figure 22 montre la distribution géographique des points de mesure avec évaluation des pesticides. Une distribution géographique évidente est reconnaissable. Alors que les bassins versants du sud-est présentent majoritairement une bonne à très bonne qualité, les cours d'eau des bassins versants du nord-ouest sont marqués par une qualité insuffisante.

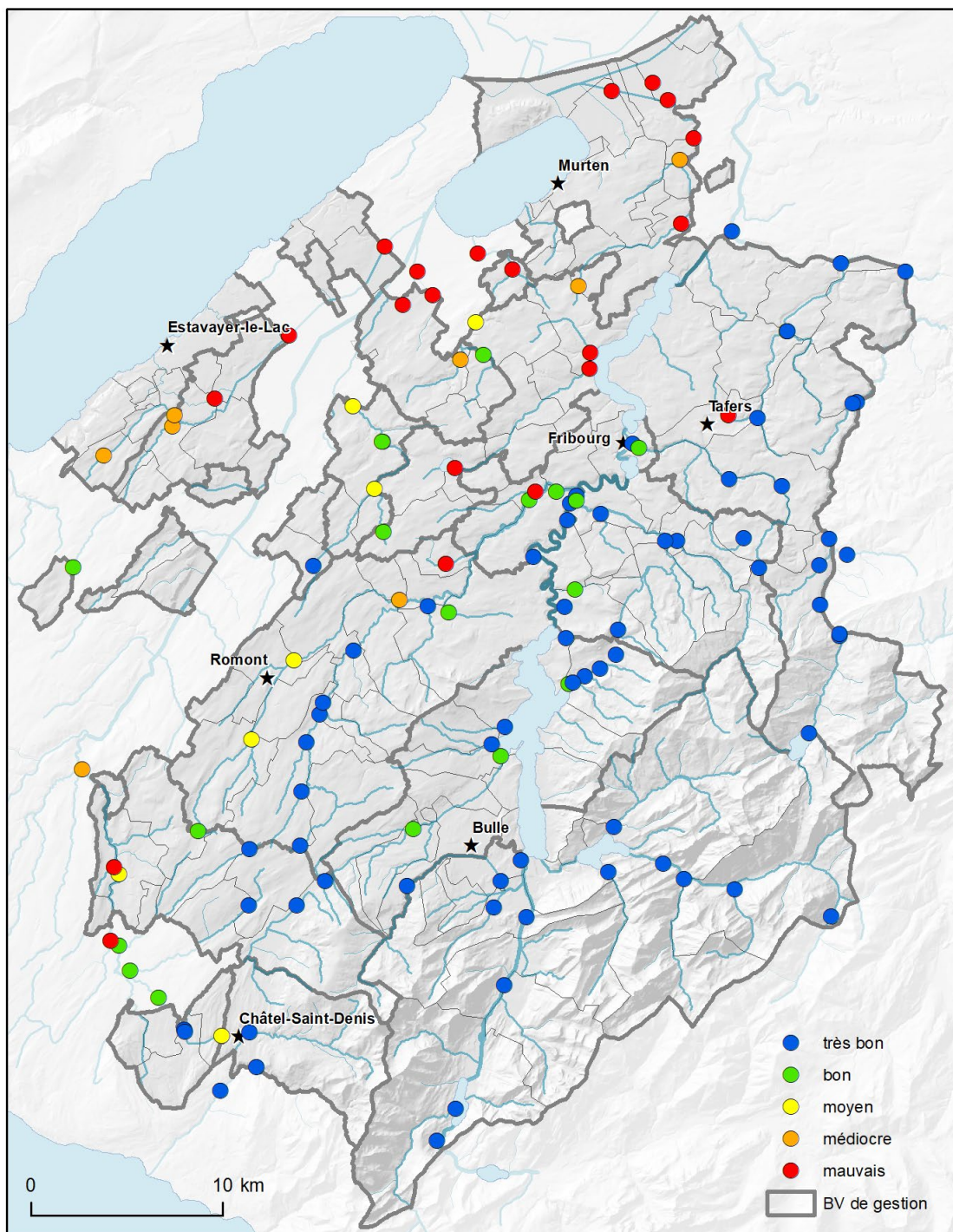


Figure 22: Stations de mesure avec évaluation des pesticides.

3.3.4 Métaux lourds

Les métaux lourds sont analysés sur l'ensemble du territoire depuis 2013. Les bassins versants de l'Arbogne, du Chandon, de la Petite Glâne, de la Glâne et de la Neirigue qui ont été analysés avant 2013 sont donc absents des résultats suivants. L'évaluation a été faite à l'aide du tableau suivant (Tableau 1). Elle est basée sur le percentile 90 de 12 prélèvements.

Tableau 1: Evaluation des résultats pour les métaux lourds, développée par le SEn Fribourg.

Evaluation	Plomb (dissous) [µg/L Pb]	Cadmium (dissous) [µg/L Cd]	Chrome (III et VI) [µg/L Cr]	Cuivre (dissous) [µg/L Cu]	Nickel (dissous) [µg/L Ni]	Mercure (dissous) [µg/L Hg]	Zinc (dissous) [µg/L Zn]
Très bon	<0.5	<0.025	<1.0	<1.0	<2.5	<0.005	<2.5
Bon	0.5 à <1.0	0.025 à <0.05	1.0 à <2.0	1.0 à <2.0	2.5 à <5.0	0.005 à <0.010	2.5 à <5.0
Moyen	1.0 à <1.5	0.05 à <0.075	2.0 à <3.0	2.0 à <3.0	5.0 à <7.5	0.010 à <0.015	5.0 à <7.5
Médiocre	1.5 à <2.0	0.075 à <0.10	3.0 à <4.0	3.0 à <4.0	7.5 à 10.0	0.015 à <0.020	7.5 à <10.0
Mauvais	>2.0	>0.10	>4.0	>4.0	>10.0	>0.020	>10.0
Valeur limite OEaux	1	0.05	2	2	5	0.01	5

Les principaux métaux lourds détectés dans le canton de Fribourg sont le zinc et le cuivre. Du chrome a également été trouvé à certaines stations (Figure 23). En raison d'imprécisions de mesure, aucun résultat fiable n'a pu être obtenu concernant le mercure. Il est difficile d'attribuer l'origine de ces substances à des sources de manière claire, car beaucoup de matériaux contiennent ces métaux à l'état transformé. Leur présence peut également être en lien avec l'évacuation des eaux de routes présentant un trafic important ou d'origine naturel.

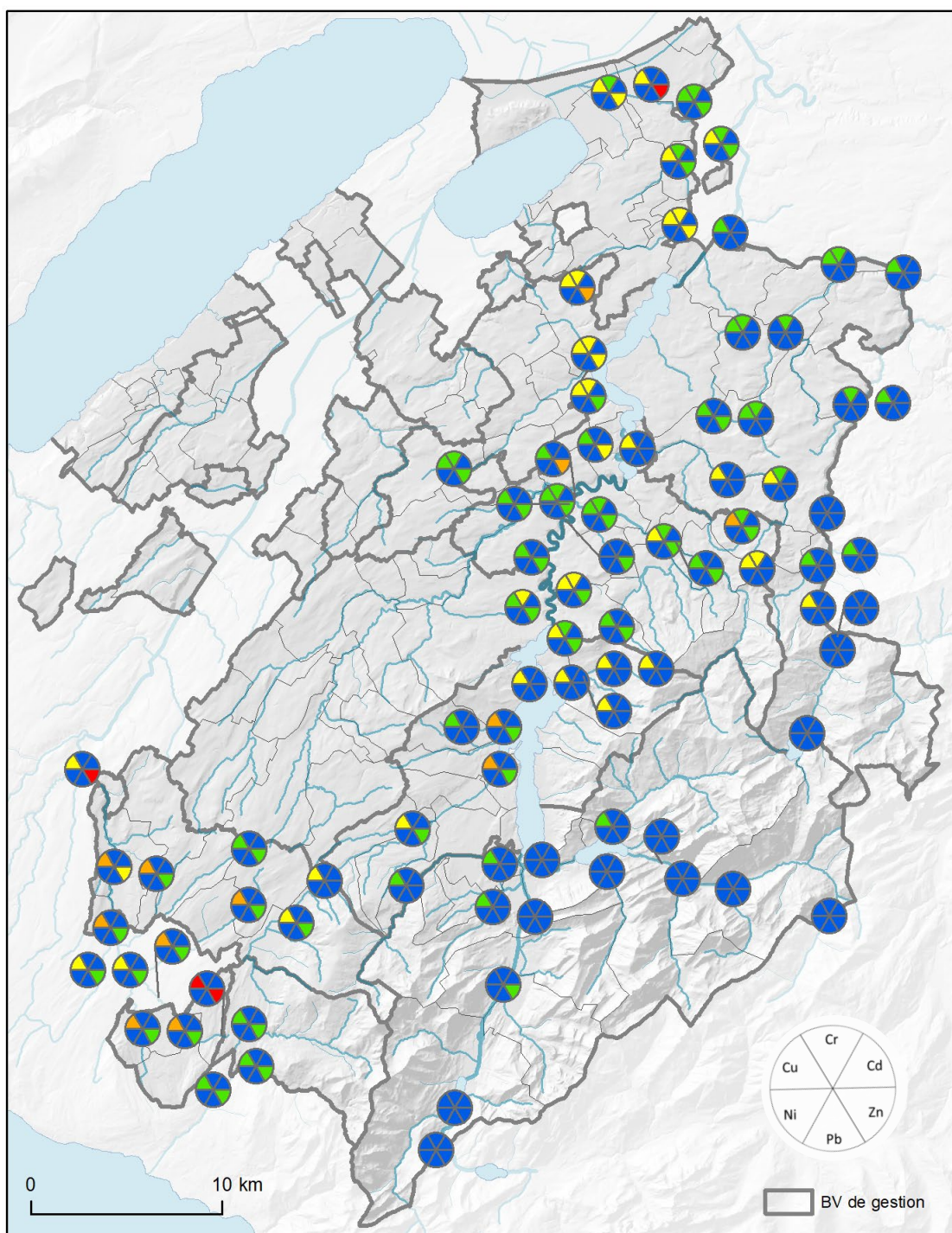


Figure 23: Points de mesure avec les résultats des analyses de métaux lourds.

3.4 Comparaison avec la Suisse

Les résultats des analyses cantonales ont été comparés avec ceux du réseau d'observation suisse (NAWA). Le Tableau 2 montre la proportion de stations de mesure atteignant une classe suffisante (évaluation de la qualité bonne ou très bonne) pour les paramètres respectifs.

Pour deux paramètres (N-NH₄ et P-tot), une proportion nettement plus petite de stations de mesure atteint les valeurs cible. Le programme NAWA analyse principalement des cours d'eau d'une grande largeur, cours d'eau qui ne sont pas

présents dans le canton de Fribourg. Ceci peut être une raison pour expliquer les grandes différences de qualité. En effet, les grands cours d'eau sont moins sensibles aux influences extérieures comme les apports diffus [9] et présentent en général une meilleure qualité chimique.

Tableau 2: Résultats de l'analyse NAWA, repris de [3].

	Proportion de valeurs cibles atteintes (%)					
	DOC	N-NH₄	N-NO₃	N-NO₂	P-PO₄	Ptot
NAWA 2011-2014	87.25	95	90.25	89.5	70.5	54.5
Canton de Fribourg 2011-2016	54	93	76	82	47	51

Dans le cadre des analyses NAWA, 88 stations de mesure ont été examinées en Suisse entre 2011 et 2014 avec l'IBCH. 62% des analyses ont obtenu une évaluation bonne ou très bonne. Des 174 stations de mesure analysées dans le canton de Fribourg, 75% atteignent une évaluation suffisante (bonne ou très bonne qualité). Ici aussi, la différence d'importance des tronçons de cours d'eau prélevés est significative. L'IBCH a été développé pour les petits et moyens cours d'eau et y atteint également les meilleures valeurs.

Tableau 3: Proportion de valeurs cibles atteintes lors des analyses de la faune benthique en Suisse et dans le canton de Fribourg.

Suisse	88 stations de mesure	62% bon ou très bon
Canton de Fribourg	174 stations de mesure	75% bon ou très bon

3.5 Comparaison des 6 années d'analyses

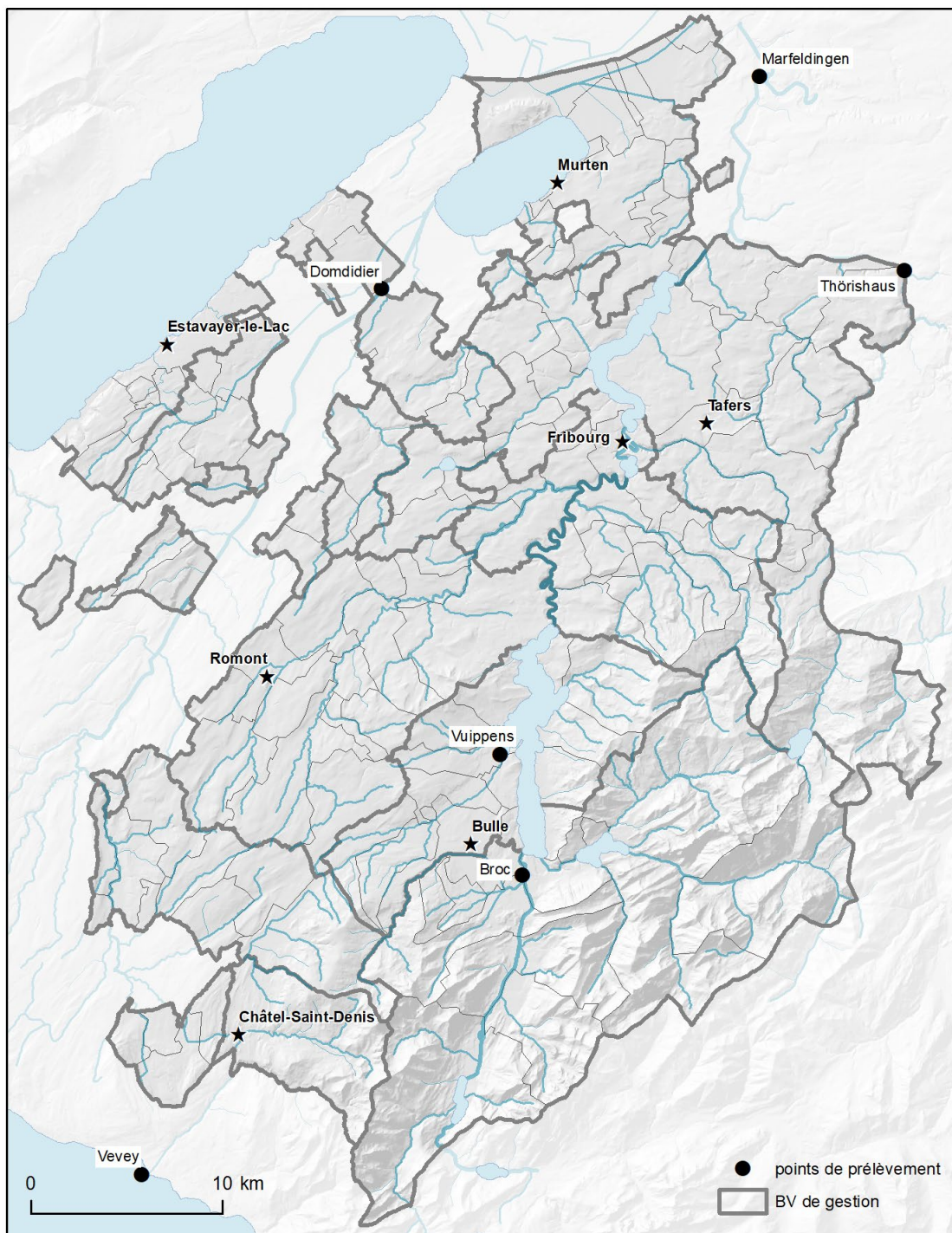


Figure 24: Stations NAWA dans le canton de Fribourg et à proximité immédiate.

Les données des stations de l'Observation nationale concernant la qualité des eaux de surface (NAWA) dans le canton de Fribourg et à proximité immédiate peuvent être comparées par année pour la période de mesure allant de 2011 à 2016. Ces observations garantissent la continuité et la comparabilité entre les différentes années d'enquête. La Figure 24 montre les 6 stations NAWA. Les résultats sont présentés au Tableau 4. Aucune évolution ne peut être observée au cours des 6 années. La valeur P_{tot} de l'année 2015, beaucoup plus élevée que pour les autres années, est par contre

frappante. Afin de comprendre ce phénomène, il faut prendre en compte le lien direct de cette valeur avec les conditions météorologiques et l'érosion des sols, phénomènes ayant une importante incidence sur le P_{tot}. Il semble donc plausible que les valeurs de P_{tot} de l'année 2015 aient été surestimées dans la campagne de monitoring du canton, pour les cours d'eau de la Haute-Sarine, Serbache, Sionge, Jogne et leurs affluents principaux.

Tableau 4 : Résultats des stations NAWA mesurées annuellement dans le canton de Fribourg et à proximité immédiate. Les chiffres indiquent le percentile 90 de 12 prélèvements, classés selon le SMG.

Broye Domdidier

	DOC	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P tot
2011	5.2	0.245	5.05	0.487	0.023	0.332
2012	5.3	0.239	3.97	0.646	0.053	0.097
2013	3.4	0.101	3.97	0.383	0.032	0.139
2014	3.2	0.135	3.90	0.350	0.017	0.053
2015	4.7	0.143	3.93	0.333	0.044	0.395
2016	5.3	0.076	4.19	0.274	0.050	0.288

Sarine Broc

	DOC	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P tot
2011	1.9	0.012	1.11	0.052	0.005	0.020
2012	3.5	0.016	1.15	0.027	0.008	0.027
2013	2.1	0.019	1.00	0.065	0.005	0.025
2014	2.6	0.019	1.06	0.032	0.006	0.030
2015	3.1	0.008	0.88	0.042	0.005	0.210
2016	2.7	0.008	0.96	0.040	0.004	0.028

Sarine Marfeldingen

	DOC	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P tot
2011	2.7	0.035	2.08	0.161	0.016	0.044
2012	2.6	0.029	1.63	0.191	0.026	0.043
2013	2.4	0.030	2.27	0.125	0.018	0.036
2014	2.2	0.029	2.09	0.161	0.018	0.038
2015	2.7	0.038	1.93	0.134	0.016	0.208
2016	2.5	0.035	2.10	0.109	0.020	0.049

Singine Thörishaus

	DOC	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P tot
2011	2.5	0.004	1.83	0.028	0.009	0.019
2012	3.3	0.006	2.12	0.020	0.017	0.034
2013	2.5	0.005	2.18	0.017	0.013	0.025
2014	2.3	0.005	2.03	0.016	0.012	0.017
2015	4.2	0.002	1.76	0.026	0.013	0.295
2016	2.6	0.004	2.02	0.012	0.009	0.023

Sionge Vuippens

	DOC	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P tot
2011	3.9	0.017	2.49	0.043	0.016	0.029
2012	4.0	0.017	2.57	0.110	0.037	0.102
2013	3.4	0.021	2.39	0.030	0.024	0.043
2014	4.4	0.025	2.22	0.032	0.032	0.065
2015	4.3	0.011	2.20	0.113	0.069	0.120
2016	4.5	0.008	2.03	0.056	0.025	0.046

Veveyse Vevey

	DOC	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	P-PO ₄	P tot
2011	6.9	0.007	0.87	0.054	0.011	1.775
2012	5.0	0.005	1.28	0.027	0.006	0.095
2013	2.9	0.005	0.87	0.021	0.005	0.032
2014	2.6	0.007	0.77	0.047	0.009	0.038
2015	4.0	0.006	0.74	0.087	0.015	0.510
2016	3.5	0.000	0.70	0.019	0.007	0.100

4 Lacs

La carte suivante (Figure 25) montre les emplacements des relevés dans les lacs :

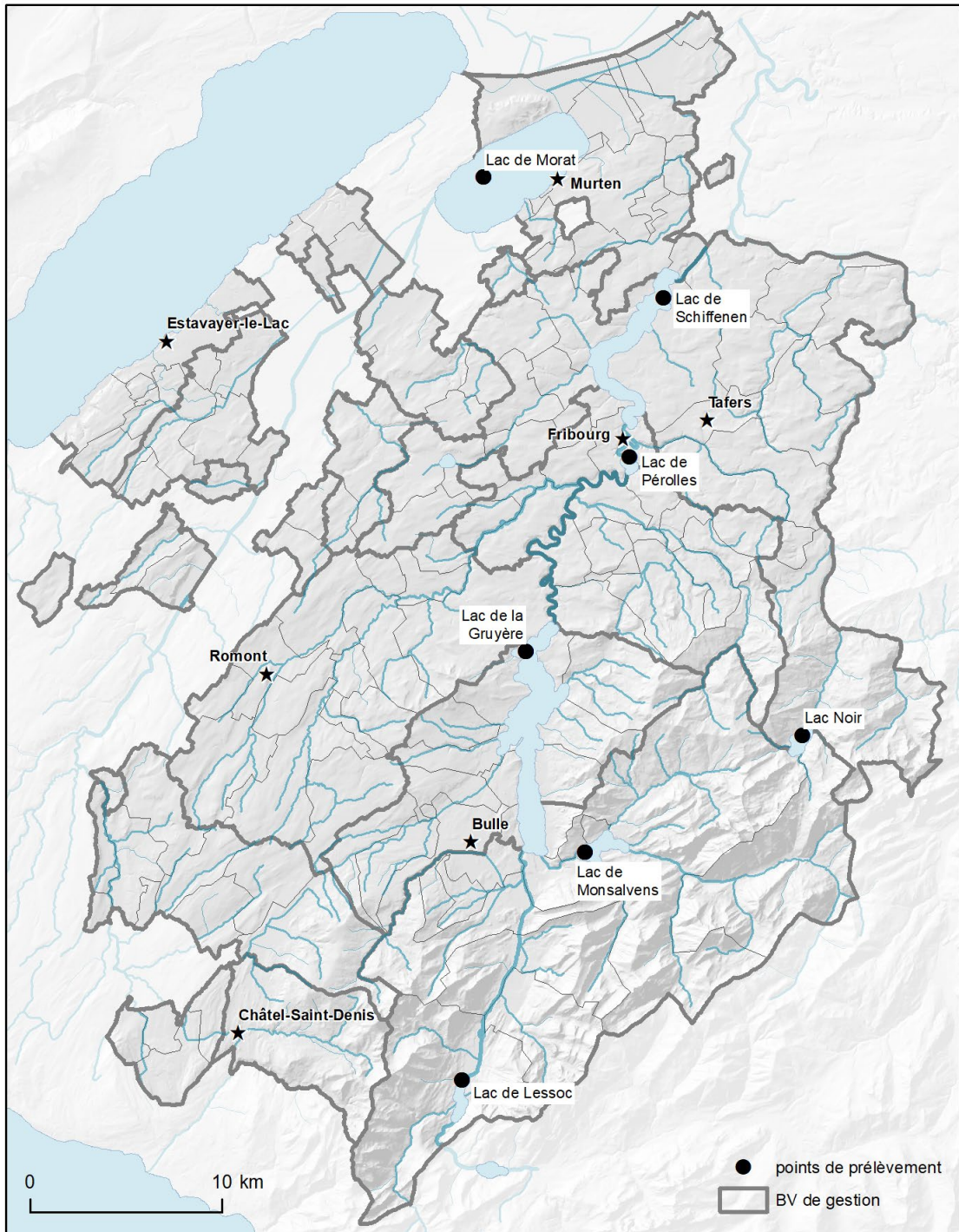


Figure 25 : Stations de mesures dans les lacs.

4.1 Lac de Morat

4.1.1 Phosphore

Des prélèvements sont effectués dans le lac de Morat 4 fois par année, tous les 5 à 10 mètres en profondeur à son emplacement le plus profond. Les graphiques ci-dessous (Figure 26) montrent la concentration annuelle moyenne de P_{tot} dans le lac. Depuis le début des années 1980, une nette diminution de la concentration de P_{tot} peut être observée. Ces 10 dernières années (Figure 25, à droite), elle s'est maintenue à un niveau relativement bas.

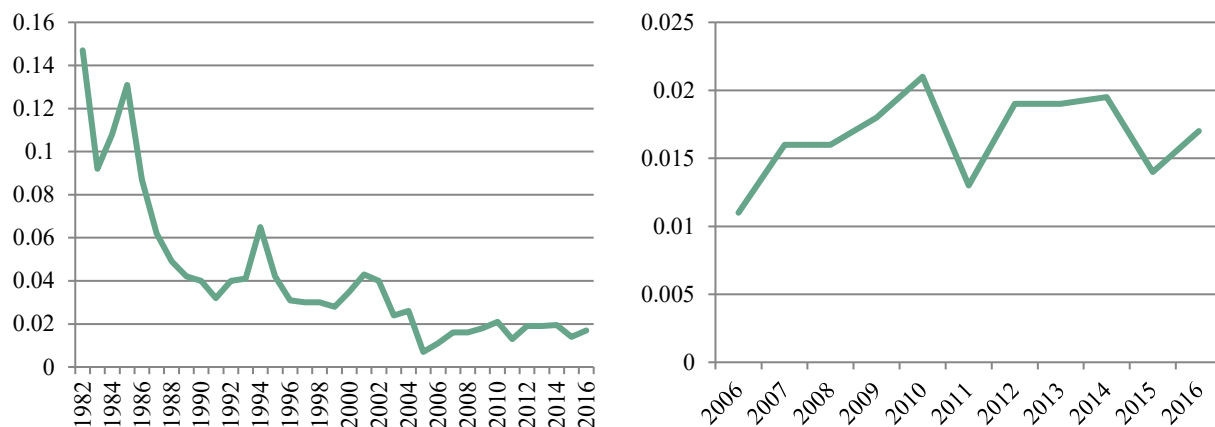


Figure 26: Evolution de la concentration moyenne de phosphore total dans le lac de Morat depuis 1982 (à gauche) et depuis 2006 (à droite).

4.1.2 Oxygène

La Figure 26 montre les conditions d'oxygène dans le lac de Morat entre 2008 et 2017. Les mesures ont été faites à chaque mètre à l'aide d'une sonde. La profondeur du lac est représentée sur l'axe X et le cours du temps sur l'axe Y. Au début de l'année, le lac présente une saturation en oxygène de près de 100% à toutes les profondeurs. Ceci indique un brassage complet du lac et une alimentation conséquente en oxygène même dans les profondeurs. Avec la stratification du lac qui débute en général en avril/mai, commence également la consommation de l'oxygène dans l'hypolimnion (couche d'eau inférieure). La valeur limite légale pour la teneur en oxygène de l'eau, définie dans l'OEaux, est de 4 mg/L. Les zones claires du graphique indiquent les zones d'eau anoxiques. L'eau manque d'oxygène pendant plusieurs mois à partir d'une profondeur de 10-15 mètres.

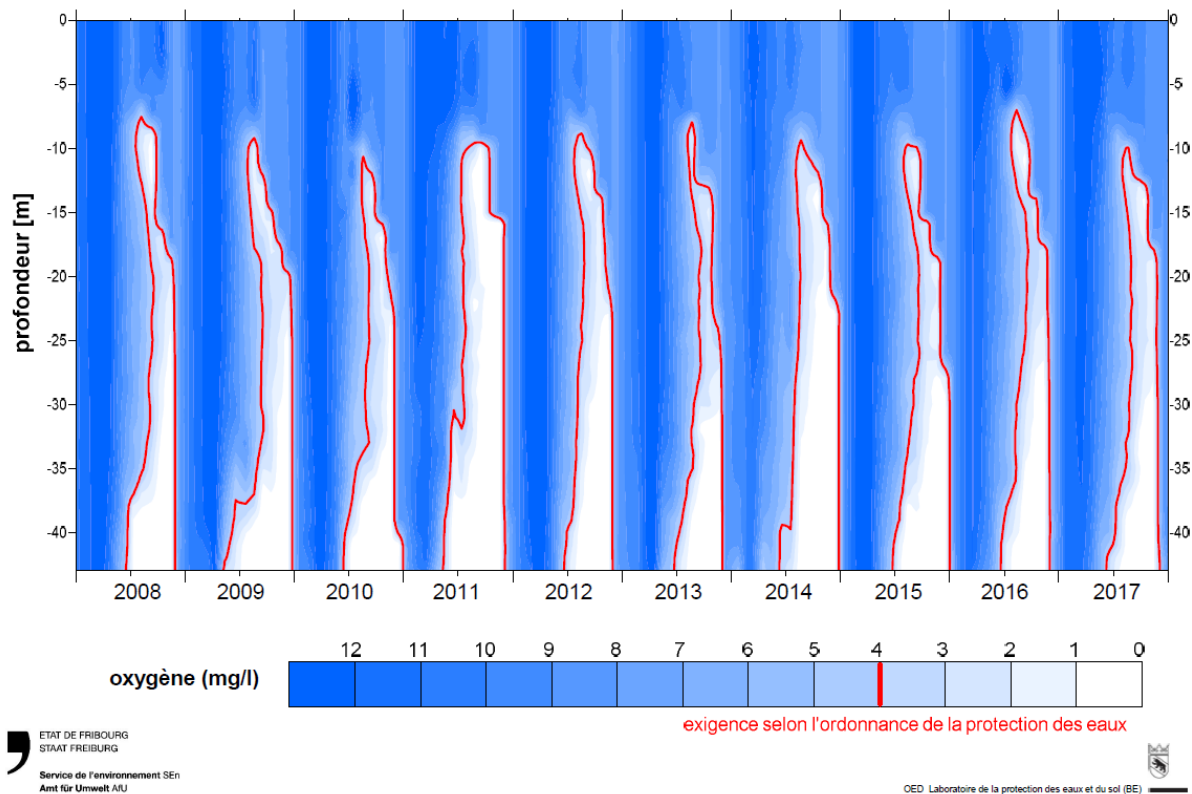


Figure 27: Profil en profondeur de la concentration d'oxygène au cours de l'année (2008-2017). Publiée sur le site internet www.die3seen.ch.

Le graphique suivant (Figure 28) montre la concentration d'oxygène mesurée à 40 m de profondeur. Ici aussi, il apparaît clairement qu'un brassage complet du lac a lieu chaque année. La concentration d'oxygène varie autour de 12 mg/l en hiver, ce qui correspond à une saturation de 100%, et 0 mg/l en été durant la phase de stratification. Avant 1999, les concentrations sont plus élevées au fond du lac que celles mesurées après 1999. Ceci s'explique par les méthodes de laboratoire plus anciennes qui manquaient de précision surtout pour les profondeurs plus importantes. Il semble justifié d'admettre que les valeurs d'oxygène en profondeur n'aient pas changé ces 35 dernières années [11].

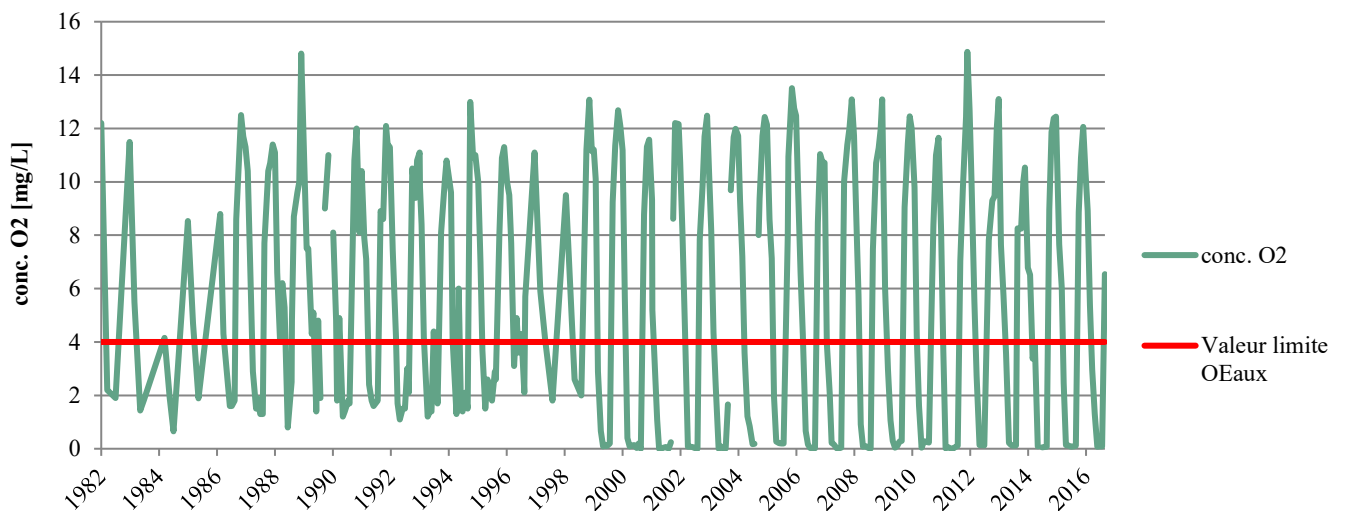


Figure 28: Evolution de la concentration d'oxygène au fond du lac de Morat entre 1982 et 2016.

4.1.3 Pesticides

Depuis 2006, l'eau du lac de Morat est analysée plusieurs fois par année dans le but d'y déceler la présence éventuelle de pesticides (Tableau 5). Les cases bleues indiquent que la substance correspondante n'a été décelée dans aucun prélèvement. Les cases jaunes indiquent une concentration de moins de 100 ng/l et les cases rouges une concentration dépassant les 100 ng/l, limite exigée par l'OEaux. Comme déjà observé au chapitre 3.5, l'année 2015 présente des valeurs particulières ici également. Cette année-là, toutes les substances analysées ont été décelées. Il paraît évident que dans ce cas également, l'érosion des sols a joué un rôle prépondérant dans l'obtention de ces valeurs. Il n'est pas déterminé si un phénomène semblable est responsable pour les valeurs mesurées en 2006 et en 2007.

Tableau 5: Résultats des analyses de pesticides dans le lac de Morat entre 2006 et 2016.

	Atrazine-desisopropyle	2,6-Dichlorobenzamide	Metamitron	Atrazine-desethylle	Simazine	Cyazine	Atrazine	Isoproturon	Diuron	Propazine	Terbutylazine	Linuron	Terbutryne	Metolachlore	Chlortuol	Metazachlore
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2006	bleu	-	bleu	rouge	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	-	bleu	-	-
2007	bleu	bleu	rouge	bleu	bleu	rouge	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	-	bleu	-	-	-
2008	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	-	-
2009	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	-	-
2010	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	-	-
2011	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu
2012	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu
2013	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu
2014	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu
2015	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu
2016	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu	bleu

4.1.4 Faune piscicole

En 2010, la faune piscicole du lac de Morat a été examinée sur mandat de l'Eawag dans le cadre du projet lac (<http://www.eawag.ch/de/abteilung/fishec/projekte/projet-lac/>; en allemand). Une récolte représentative a été effectuée et comparée avec des collections et des rapports historiques. La diversité d'origine (état 1840) du lac de Morat comprenait 29 espèces. Aujourd'hui, seules 18 espèces indigènes y sont encore présentes. S'y ajoutent 4 espèces introduites. 36% des espèces de poissons indigènes ont disparu ces 170 dernières années. Les raisons de ce recul sont multiples : avec la correction des eaux du Jura, la surface du lac a été réduite de 15%, les bords du lac ont été construits et les habitats côtiers riches en structures ont disparus de près d'un tiers. Le manque d'oxygène dans les couches profondes durant l'été a aussi un impact important sur la population de poissons. Ainsi, les poissons capturés l'ont été majoritairement dans les 20 premiers mètres du lac [12].

4.2 Autres lacs

4.2.1 Lac de Schiffenen

Phosphore total à la surface du lac

Si l'on considère les données disponibles depuis le début des années 80, une nette réduction du phosphore total dans le lac de Schiffenen apparaît (Figure 29). Si l'on considère uniquement les dix dernières années, une légère augmentation de la concentration de phosphore à la surface du lac peut être observée.

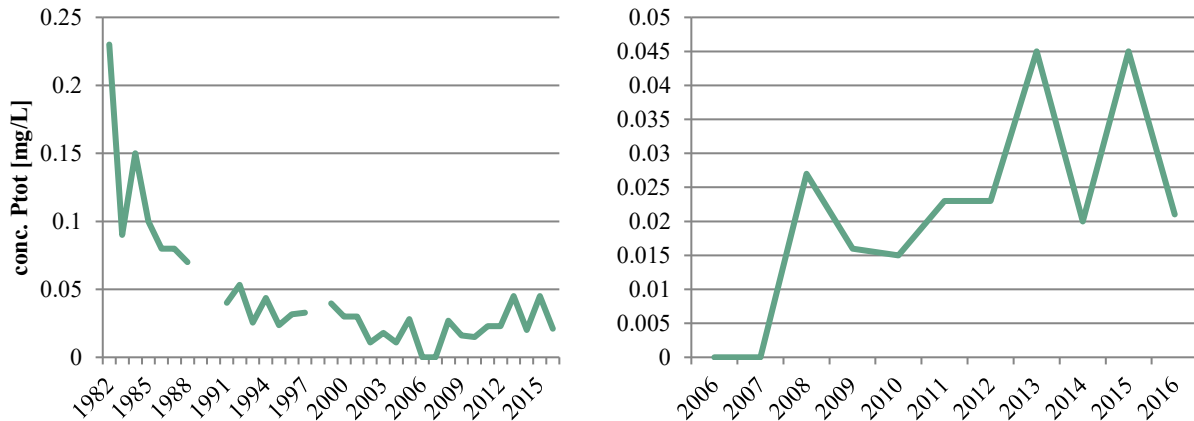


Figure 29: Evolution de la concentration de phosphore total dans le lac de Schiffenen, mesurée à la surface du lac depuis 1982 (à gauche) et depuis 2006 (à droite).

Oxygène au fond (25m)

Comme le montre la Figure 30, aucune tendance n'est observable durant les 34 dernières années. Hormis trois exceptions, la concentration d'oxygène s'est toujours maintenue au-dessus de la valeur limite légale. Les mesures ont été faites en juin. Il n'est pas exclu qu'à la fin de l'été, pendant la stratification complète et l'épuisement permanent de l'oxygène en profondeur, la concentration était nettement inférieure.

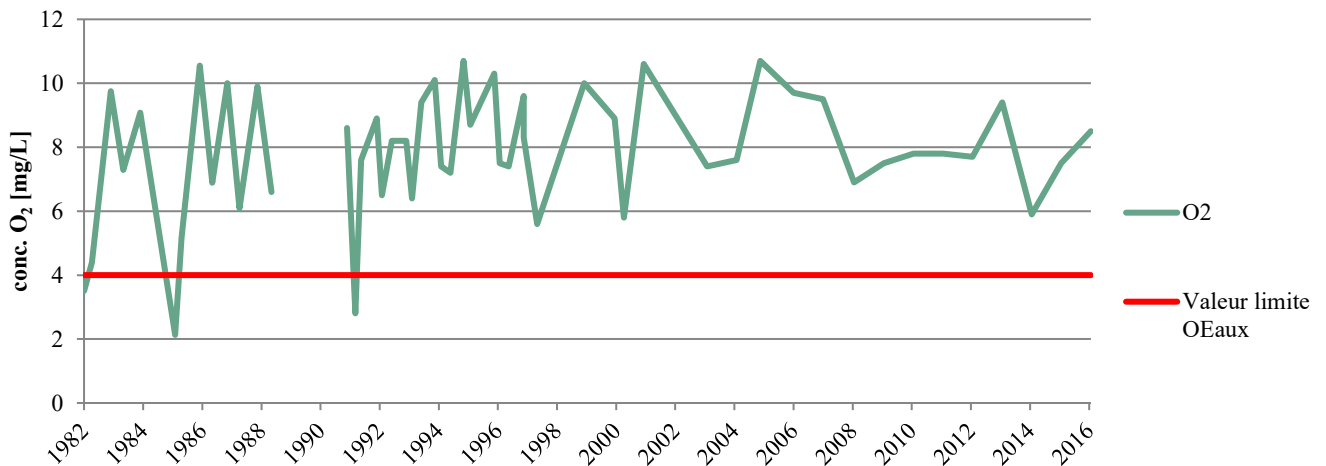


Figure 30: Evolution de la concentration d'oxygène au fond du lac de Schiffenen.

4.2.2 Lac de la Gruyère

Phosphore total à la surface du lac

Comme pour le lac de Schiffenen, les valeurs de phosphore total dans le lac de la Gruyère ont reculé depuis les années 80 (Figure 31). La concentration de phosphore présentait une valeur de 0.097 mg/l au début des mesures en 1983, affichant ainsi un taux nettement plus bas que celui du lac de Schiffenen à l'époque (0.230 mg/l). Tout comme dans le lac de Schiffenen, une nouvelle augmentation des valeurs est observée ces dix dernières années. Il faut cependant noter que la valeur de 2015 est probablement due aux conditions météorologiques (voir chapitre 3.5).

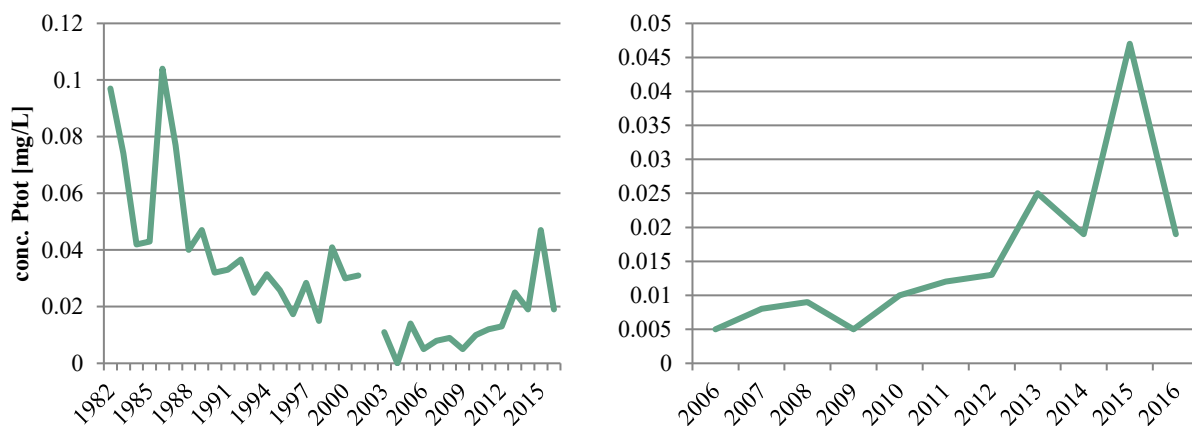


Figure 31: Evolution de la concentration de phosphore total dans le lac de la Gruyère, mesurée à la surface du lac depuis 1982 (à gauche) et depuis 2006 (à droite).

Oxygène au fond (50m)

Comme le montre la Figure 32, aucune tendance n'est visible au cours des 34 dernières années. La concentration d'oxygène s'est maintenue majoritairement au-dessus de la valeur limite légale. Les mesures ont été faites en juin. Il n'est pas exclu qu'à la fin de l'été, pendant la stratification complète et l'épuisement permanent de l'oxygène en profondeur, la concentration était nettement inférieure.

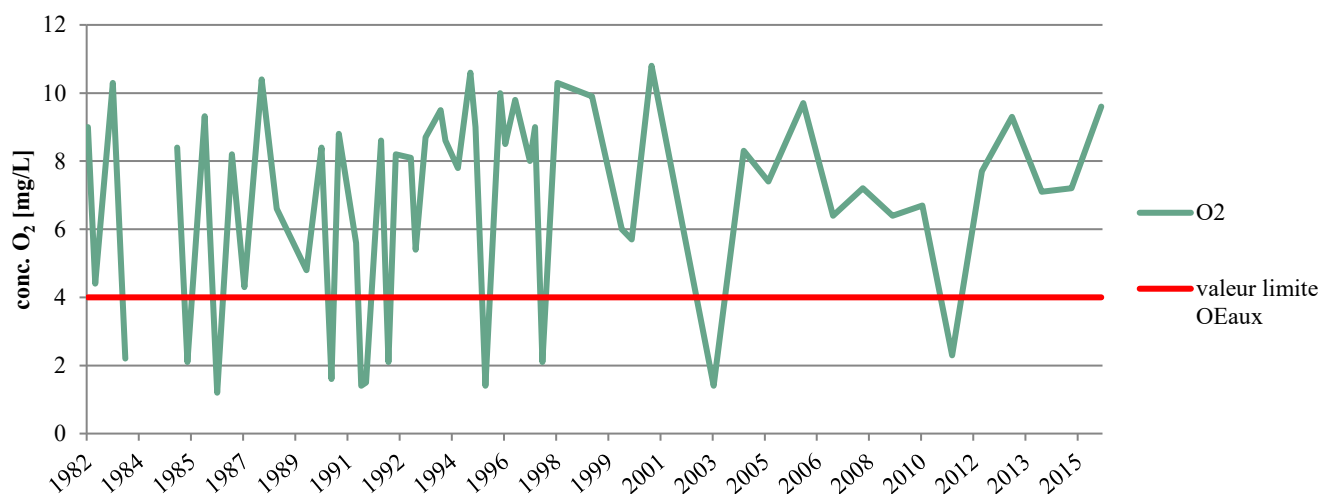


Figure 32: Evolution de la concentration d'oxygène au fond du lac de la Gruyère.

4.2.3 Petits lacs

Sont compris dans les petits lacs le lac de Lessoc, le lac de Montsalvens, le lac de Pérolles et le Lac Noir. Ces lacs ont été examinés en 1997, en 2008/2009 et en 2013. La Figure 33 montre la concentration de phosphore total à la surface.

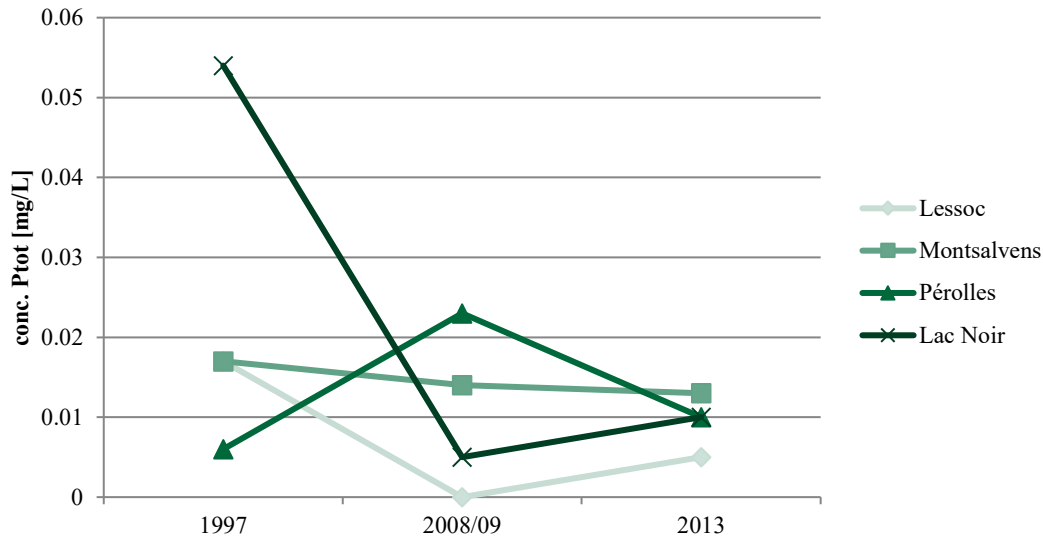


Figure 33: Concentration de P_{tot} à la surface des petits lacs.

Le schéma suivant (Figure 34) montre la concentration d'oxygène au fond du lac. Hormis au Lac Noir en 2013, toutes les mesures sont supérieures à la valeur critique de 4 mg/l.

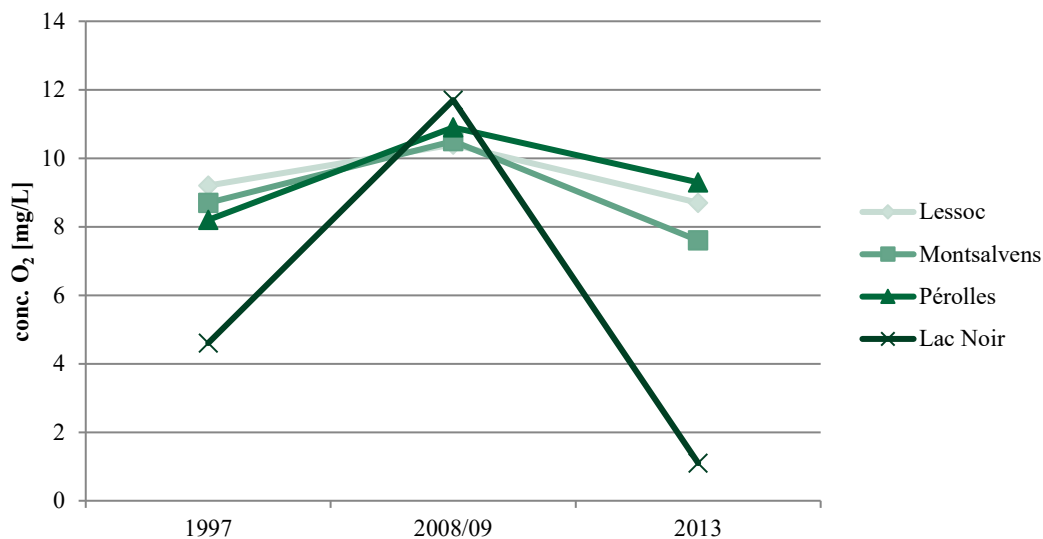


Figure 34: Concentration d'oxygène mesurée au fond des petits lacs.

Une tendance générale au cours des années ne peut être observée ni pour le phosphore total ni pour l'oxygène, le nombre de données n'étant pas suffisant.

4.2.4 Pesticides

Une sélection de 16 pesticides a été mesurée en même temps que les paramètres physico-chimiques classiques. Le tableau suivant montre les résultats de ces analyses. Une case bleue indique l'absence du pesticide en question, une case jaune une présence observée en petites concentrations (moins de 100 ng/l) et une case rouge, un dépassement de la valeur limite légale de 100 ng/l. Un tel dépassement a été observé dans le lac de Schiffenen en 2011 et en 2016 pour un herbicide (Tetbuthylazine). Les prélèvements d'eau à toutes les profondeurs ont été considérés.

Tableau 6: Evolution de la concentration de pesticides dans les petits lacs.

	Schiffenen	Gruyère	Pérolles	Lac Noir	Montsalvens	Lessoc
2008	-	-				
2009			-	-	-	-
2010			-	-	-	-
2011	Tba		-	-	-	-
2012			-	-	-	-
2013						
2014			-	-	-	-
2015			-	-	-	-
2016	Tba		-	-	-	-

5 Eaux souterraines

Ce chapitre est repris du plan sectoriel eaux souterraines [15].

5.1 Nitrate

Sur la base des données de 94 points de prélèvement du SEN et de 273 points de prélèvement du Service de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (SAAV), une carte de la concentration de nitrate a été constituée pour la période allant de 2013 à 2014 (Figure 36).

Cette carte démontre que les concentrations de nitrate les plus élevées dépassant les valeurs des exigences pour les eaux souterraines de l'OEaux (25 mg/l NO₃) ainsi que celles de l'ordonnance du DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (OPBD) (40 mg/l NO₃), sont présentes uniquement dans les parties nord et nord-est du canton. Ces régions de la plaine et du plateau sont caractérisées par l'agriculture, ce qui confirme le lien étroit entre l'utilisation du sol et la qualité des eaux souterraines.

La statistique des concentrations de nitrate établie pour 307 nappes phréatiques distribuées sur l'ensemble du canton (Figure 124) démontre que :

- > pour 203 points de prélèvement (66%), les exigences en matière de qualité des eaux souterraines sont remplies, les concentrations se situent au-dessous de la valeur cible selon l'OEaux ;
- > pour 71 points de prélèvement (23%), les concentrations se situent entre les valeurs exigées par l'OEaux et la limite de tolérance pour l'eau potable selon l'OPBD ;
- > pour 32 points de prélèvement (11%), les concentrations dépassent la limite de tolérance pour l'eau potable selon l'OPBD.

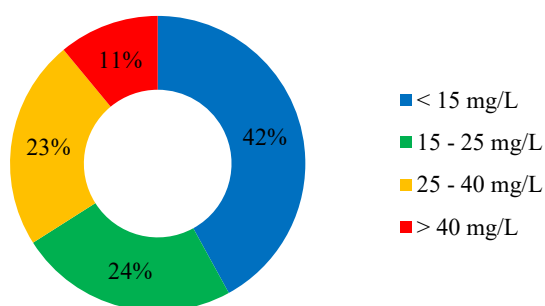


Figure 35: Statistique des concentrations de nitrate dans les eaux souterraines du canton (période 2013-2014).

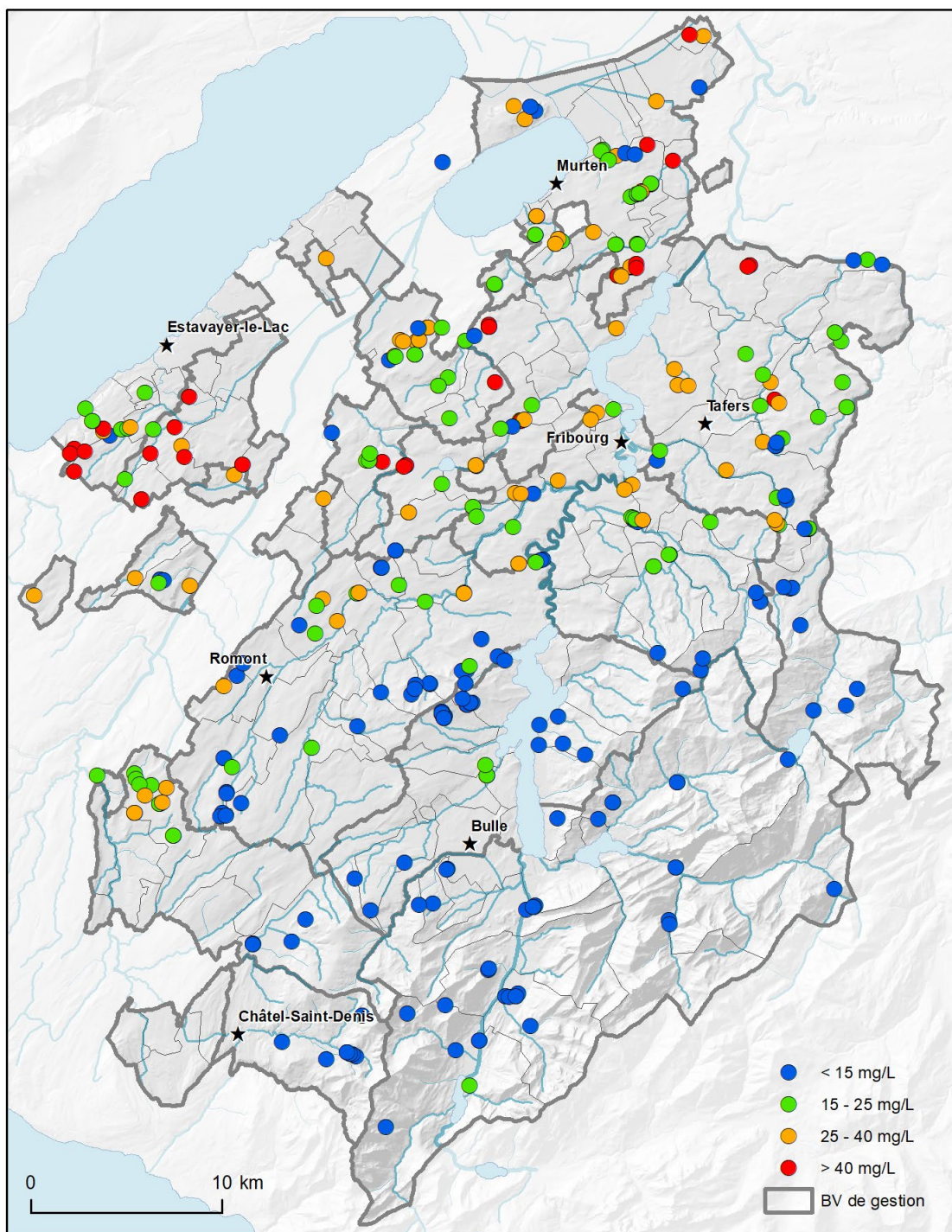


Figure 36: Concentration maximale de nitrate dans les eaux souterraines durant la période 2013-2014.

5.2 Pesticides

Une carte des concentrations de pesticides les plus élevées (somme des concentrations) dans les eaux souterraines a été élaborée sur la base des valeurs mesurées entre 2010 et 2016 aux 60 stations de contrôle des réseaux de mesure «Esout Qual» et «NAQUA» (Figure 37).

Comme pour les concentrations de nitrate (Figure 35), les valeurs les plus élevées ont été mesurées dans les parties nord-est et nord-ouest du canton.

Le tableau suivant se dessine pour la période 2010-2014 :

- > Pour 29 points de mesure (48%), au moins un pesticide a été mesuré à au moins une reprise à une concentration inférieure à la limite de tolérance pour l'eau potable de 100 ng/l selon l'OPBD ;
- > Pour 11 points de mesure (18%), au moins un pesticide a été mesuré à au moins une reprise à une concentration supérieure à la limite de tolérance pour l'eau potable de 100 ng/l selon l'OPBD ;
- > Pour 4 points de mesure (7%), la somme des concentrations de tous les pesticides a dépassé au moins à une reprise la limite de tolérance pour l'eau potable de 500 ng/l selon l'OPBD.

Parmi les 75 produits analysés à certains points de mesure, au moins 20 substances ont été détectées au moins une fois. La limite de tolérance de 100 ng/l selon l'OPBD a été dépassée au moins une fois pour 9 substances.

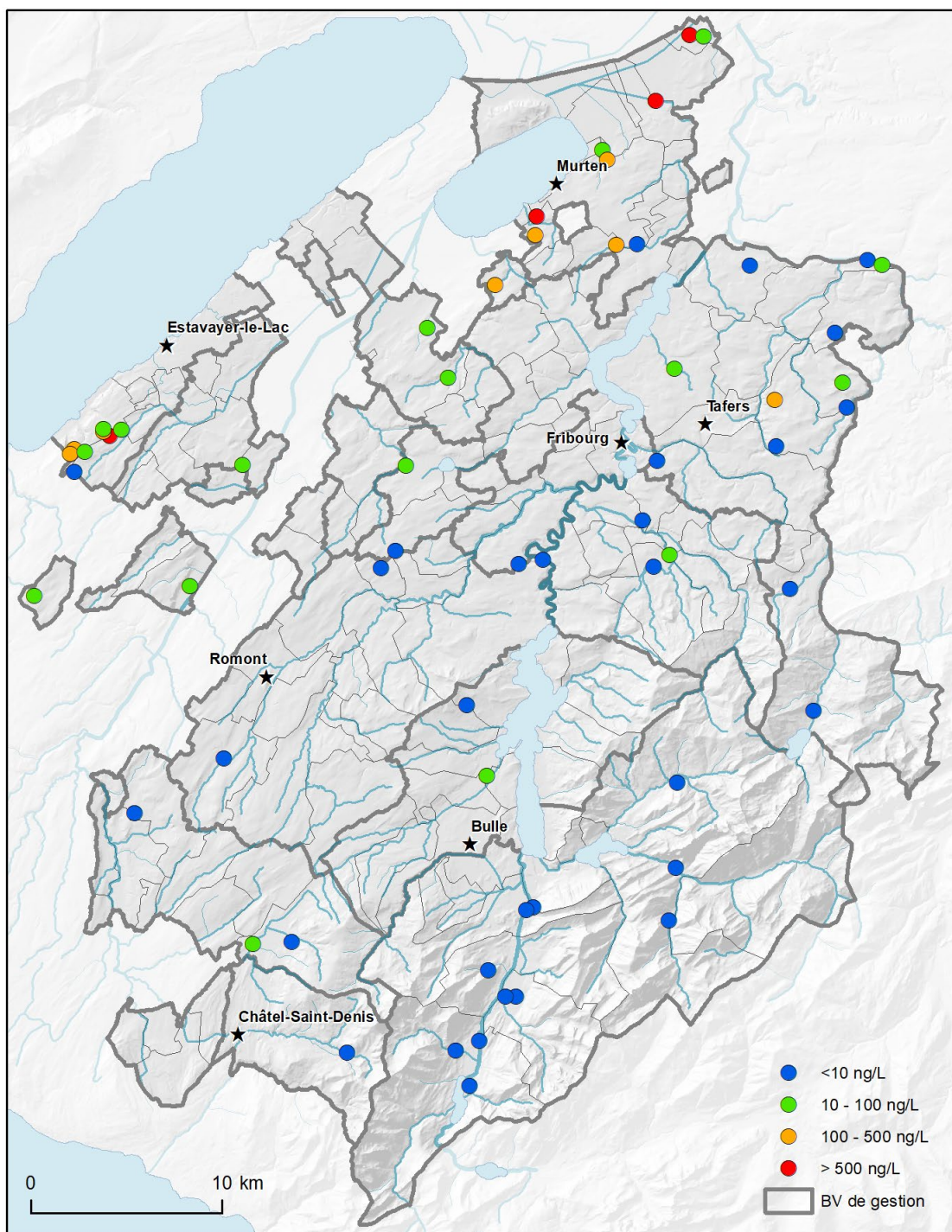


Figure 37: Concentrations les plus élevées de pesticides dans les eaux souterraines (période 2010-2014).

6 Bibliographie

- [1] M. Hütte et P. Niederhauser, «Méthodes d'analyse et appréciation des cours d'eau en Suisse: Ecomorphologie niveau R (région),» OFEFP, Berne, 1998.
- [2] E. Binderheim et W. Göggel, «Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Aspect général,» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2007.
- [3] P. Stucki, «Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Macrozoobenthos – niveau R (région),» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2010.
- [4] J. Hürlimann et P. Niederhauser, «Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Diatomées Niveau R (région),» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2007.
- [5] P. Liechti, «Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments,» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2010.
- [6] AfU Freiburg, «Traitement des données pesticides - règle de calcul,» Givisiez, 2013.
- [7] Service des ponts et chaussées et Service de l'environnement, «La renaturation des cours d'eau du canton de Fribourg,» Givisiez, 2016.
- [8] M. Breitenstein et A. Kirchhofer, «Gestion des écrevisses dans le canton de Fribourg. Rapport sur mandat du Service de la pêche du canton de Fribourg.,» Service des forêts et de la Nature, Givisiez, 2001.
- [9] L. Moosmann, M. Schmid et A. Wüest, «Einfluss der Beschattung auf das Temperaturregime der Orbe,» EAWAG, Kastanienbaum, 2005.
- [10] P. Baumann et S. Langhans, «Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Synthèse des évaluations au niveau R (région),» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2010.
- [11] C. Braun, R. Gälli, C. Leu, N. Munz, Y. Schindler Wildhaber, I. Strahm et I. Wittmer, «Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern aus diffusen Einträgen. Situationsanalyse,» Bundesamt für Umwelt, Bern, 2015.
- [12] M. Kunz, Y. Schindler Wildhaber, A. Dietzel et I. Wittmer, «État des cours d'eau suisses. Résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011–2014,» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2016.
- [13] B. Müller et M. Schmid, «Oxygen and Phosphorus Budgets of Murtensee,» Eawag, Kastanienbaum, 2009.
- [14] G. Périat, «Etude du peuplement pisciaire du Lac de Morat,» Eawag, Kastanienbaum, 2012.
- [15] AfU Freiburg, «Sachplan Grundwasser. Planung des Grundwasserschutzes und Änderung des Richtplans,» AfU Freiburg, Givisiez, 2015.

[16] M. Kunz, Y. Schindler Wildhaber, A. Dietzel et I. Wittmer, «État des cours d'eau suisses. Résultats de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface (NAWA) 2011–2014,» Office fédéral de l'environnement, Berne, 2016.