



Rapport d'étude – version finale

Analyse critique des indicateurs de diagnostic de la physico-chimie des eaux douces de surface du Grand Sud

Auteurs : N. Guillemot, Y. Dominique
Editeur : OEIL

Mai 2024



Intervenants

La présente étude a été réalisée conjointement par les sociétés DEXEN et Bio eKo Consultants, ayant respectivement contribué par leur compétence en traitements/analyses statistiques de données environnementales (DEXEN) et leur expertise des milieux dulçaquicoles néo-calédoniens (Bio eKo Consultants).

Auteurs principaux



Nicolas GUILLEMOT

DEXEN | 85 avenue du Général De Gaulle - Immeuble Carcopino 3000, 98 800 Nouméa | Nouvelle-Calédonie
Email : nicolas.guillemot@dexen-nc.com



Yannick DOMINIQUE

Bio eKo Consultants | 7 bis rue Suffren - Immeuble Le Kariba, 98 800 Nouméa | Nouvelle-Calédonie
Email : ydominique@bioeko.nc

Responsabilité

Le présent document a été établi sur la base des informations fournies aux prestataires. Ceux-ci ne pourront être tenus responsables si les informations qui leur ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Le commanditaire de l'étude utilisera les éléments présentés dans le présent document intégralement ou, à défaut, de manière objective. Toute modification ou utilisation partielle (extraits, résumés) sera faite sous la seule et entière responsabilité du commanditaire.

Les avis et recommandations formulés par DEXEN et Bio eKo Consultants dans le cadre des prestations qui leur sont confiées ont une vocation consultative et d'aide à la décision, leur responsabilité ne peut en aucun cas se substituer à celle des décideurs en matière de réglementation environnementale.

Citation du document

Guillemot N, Dominique Y (2024) Analyse critique des indicateurs de diagnostic de la physico-chimie des eaux douces de surface du Grand Sud. Rapport OEIL, 95 pages.

Crédits des illustrations de couverture : Bio eKo Consultants (haut), OEIL (bas).

Résumé exécutif

Titre de l'étude	Analyse critique des indicateurs de diagnostic de la physico-chimie des eaux douces de surface du Grand Sud		
Auteurs	Nicolas Guillemot (DEXEN), Yannick Dominique (Bio eKo Consultants)		
Collaborateurs	OEIL, Prony Ressources		
Editeurs	OEIL		
Année d'édition du rapport	2024	Année des données	2008-2020

Contexte	<p>Dans le cadre de ses missions, l'OEIL centralise les données de suivi acquises entre autres au niveau des cours d'eau de l'hydro-éco-région du plateau ultramafique du Grand Sud (HER D) et notamment du périmètre d'influence du complexe industriel et minier de Vale NC. Ces données contribuent entre autres à produire une synthèse annuelle des résultats des suivis environnementaux opérés dans le Grand Sud, ainsi qu'un diagnostic sous la forme d'un score de perturbation qui s'appuie sur l'information agrégée et synthétisée à partir de l'ensemble des variables environnementales suivies dans cette zone : le Bilan Grand Sud (BGS).</p> <p>L'objectif de la présente étude est de réaliser un examen critique de la pertinence des indicateurs employés dans le cadre du BGS, pour les données relatives à la physicochimie des eaux douces de surface, et d'émettre des recommandations pour améliorer leur utilisation dans le cadre de ce diagnostic annuel.</p>
Objectifs	<p>La présente étude n'a pas vocation à rediscuter de l'objectif global du BGS acté par les administrateurs de l'OEIL. En vue d'une critique de l'approche déployée pour la mise en œuvre des diagnostics des zones sous influence potentielle des activités de PRNC, deux éléments techniques fondamentaux interviennent : la pertinence du référentiel utilisé et la pertinence des modalités de calcul des scores utilisées pour produire les diagnostics du BGS. La pertinence du référentiel a précisément été traitée dans le cadre d'une précédente étude sur les gammes de référence (Guillemot & Dominique 2020), et l'objectif est donc ici d'évaluer la pertinence des modalités de calcul des scores utilisées et des jeux de données disponibles pour alimenter le diagnostic pour les paramètres d'intérêt.</p> <p>Cet objectif global s'est décliné à travers deux phases de travail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Phase 1 : constitution, traitement, et description des jeux de données pour l'ensemble des paramètres disponibles dans l'historique de données détenu par l'OEIL, amenant à sélectionner 17 paramètres sur la base de leur pertinence en matière de détection d'impact, de leur pertinence thématique, et des caractéristiques de leurs jeux de données (sur 44 paramètres candidats), sur lesquels l'analyse critique a ensuite été fondée ; - Phase 2 : analyse critique, reposant sur un benchmark des méthodologies utilisées pour définir des valeurs guides utilisées en dehors de la Nouvelle-Calédonie, sur une simulation de la méthode la plus adaptée au contexte local sur la base du jeu des données disponibles pour le Grand Sud, ainsi que sur la structure des jeux de données diagnostiqués.
Méthodologie	<p>La démarche validée et mise en œuvre pour l'analyse critique des indicateurs utilisés dans le BGS (caractéristiques des jeux de données et modalités de calcul des scores) pour la physico-chimie des eaux douces de surface a consisté à :</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser un benchmark des exigences et valeurs guides utilisées en Europe et régionalement (AUS/NZ) et évaluer l'adéquation ou non de ces approches avec le contexte géochimique naturel calédonien, afin de : <ul style="list-style-type: none"> o Disposer de critères d'évaluation des jeux de données de référence et des jeux de données à diagnostiquer en matière de volume, de réplification, ou de structuration générale ; o Suggérer des modalités de calcul des scores alternatives à celles utilisées dans le BGS (tout en restant cohérent avec le contexte naturel du Grand Sud) ; - Confronter ces deux types de critères aux données réelles utilisées dans le cadre du BGS pour les 17 paramètres sélectionnés précédemment, afin de disposer : <ul style="list-style-type: none"> o D'information sur l'adéquation et la validité des jeux de données disponibles et d'identifier ainsi les lacunes éventuelles ; o D'une comparaison de résultats et de performances des diagnostics entre les critères du BGS et le critère alternatif issu du benchmark, permettant d'alimenter la réflexion critique sur la pertinence des diagnostics actuels du BGS. 				
<p>Résultats et conclusions</p>	<p>Au sein du jeu de données de référence, 15 des 17 paramètres ont présenté une évaluation valide pour les quatre critères issus du benchmark. Le carbone organique total et les hydrocarbures totaux ont présenté néanmoins des jeux de données partiellement insuffisants au regard de ces critères, notamment en raison d'un trop faible volume de données de référence disponibles.</p> <p>S'agissant de l'analyse comparée des diagnostics, les résultats ont pointé vers un positionnement des diagnostics du BGS :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conservateur : les diagnostics rendus apparaissent globalement moins tolérants que ce qui aurait été diagnostiqué par l'approche alternative issue du benchmark (ce caractère conservateur restant cependant très modéré sur la majorité des paramètres considérés) ; - Améliorable en matière de volume de données de suivi (et donc d'effort d'échantillonnage) sur certaines stations : un nombre non-négligeable de diagnostics auraient été considérés comme non-valides à mener dans le cadre de l'approche alternative, de manière concentrée sur certaines stations précises davantage que sur certains paramètres. <p>Plusieurs recommandations ont été émises suite à ces résultats et dans une optique d'amélioration à terme des diagnostics menés dans le cadre du BGS pour la physico-chimie des eaux douces de surface.</p>				
<p>Limites de l'étude</p>	<p>La présente étude fournit un cadre de réflexion étayé par des explorations de données, un benchmark, et des simulations de diagnostics permettant de réaliser un examen critique de l'approche utilisée pour calculer les indicateurs du BGS. Elle devra cependant être reprise par l'OEIL afin d'intégrer le cas échéant d'autres angles de réflexion (réglementaires, budgétaires, partenariaux), et nécessitera une concertation entre les différents acteurs impliqués dans les suivis du Grand Sud alimentant le BGS avant de pouvoir aboutir à d'éventuelles évolutions des modalités de diagnostic.</p>				
<p>Evolutions</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Version :</td> <td style="width: 30%;">finale</td> <td style="width: 20%;">Date de la version :</td> <td style="width: 20%;">17-05-2024</td> </tr> </table>	Version :	finale	Date de la version :	17-05-2024
Version :	finale	Date de la version :	17-05-2024		

Table des matières

Chapitre I - Introduction	7
I.1. Contexte et objectif de l'étude.....	7
I.2. Historique de travail : étude « gammes de référence » et Bilan Grand Sud.....	7
I.3. Approche générale de l'étude et positionnement vis-à-vis de projets connexes.....	8
I.4. Structure du document	10
Chapitre II - Démarche détaillée pour l'analyse critique des indicateurs	11
II.1. Traitement et description des jeux de données et sélection de 17 paramètres	11
II.2. Examen critique des indicateurs et jeux de données à partir des 17 paramètres sélectionnés.....	12
Chapitre III - Constitution des jeux de données et traitements pour uniformisation	13
III.1. Sélection des jeux de données à intégrer.....	13
III.2. Descriptif des filtres et standardisations effectuées sur les données initiales	15
III.3. Jeu de données unifié et standardisé.....	16
III.4. Données contextuelles et stratification	17
Chapitre IV - Exploration des données et sélection de 17 paramètres d'intérêt	20
IV.1. Potentialités analytiques.....	20
IV.2. Pertinence thématique et sélection.....	24
IV.3. Visualisation des données pour les 17 paramètres sélectionnés et exploration d'une co-représentation avec les données pluviométriques.....	28
Chapitre V - Benchmark des valeurs guides pour la qualité physico-chimique des eaux douces de surface	33
V.1. Méthode.....	33
V.1.1. Champs du benchmark.....	33
V.1.2. Collecte des données	33
V.2. Résultats.....	33
V.2.1. Des valeurs guides pour quels objectifs ?	33
V.2.2. Les valeurs écotoxicologiques de référence : NQE, VGE et QS_{eco}	35
V.2.3. Quelles approches pour dériver les normes de qualité spécifique pour la protection de l'environnement aquatique.....	36
V.2.4. Quelles modalités de calculs pour qualifier l'état chimique des masses d'eau.....	42

Chapitre VI - Examen critique de la pertinence des indicateurs de diagnostic de la physico-chimie des eaux douces de surface dans le cadre du BGS44

VI.1. Validité de la représentativité et du volume du jeu de données de référence au regard des éléments issus du benchmark 44

VI.2. Performance comparée des indicateurs (BGS et alternatifs issus du benchmark) et validité du jeu de données à diagnostiquer 50

VI.3. Présentation synthétique des résultats : fiches par paramètre..... 57

Chapitre VII - Recommandations pour l'amélioration des suivis et diagnostics de la qualité physico-chimique des eaux douces de surface dans le Grand Sud.....59

Chapitre VIII - Références62

Chapitre IX - Annexes64

IX.1. Annexe 1 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon le type de jeu de données, la position dans le bassin versant, et l'influence de PRNC 64

IX.2. Annexe 2 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon l'année suivie 65

IX.3. Annexe 3 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon le bassin versant 66

IX.4. Annexe 4 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon la saison hydrologique 67

IX.5. Annexe 5 - Liste des stations de suivi représentées dans le jeu de données traité et informations contextuelles correspondantes 68

IX.6. Annexe 6 - Graphiques descriptifs présentant la structure des nuages de points pour chaque paramètre au cours de l'année 2020 diagnostiquée (un point = une valeur mesurée)..... 70

IX.7. Annexe 7 - Fiches résumant les éléments descriptifs et critiques pour les 17 paramètres sélectionnés..... 79

Chapitre I - Introduction

I.1. Contexte et objectif de l'étude

Dans le cadre de ses missions, l'OEIL centralise les données de suivi acquises entre autres au niveau des cours d'eau de l'hydro-éco-région¹ du plateau ultramafique du Grand Sud (HER D - environ une quinzaine de cours d'eau) et notamment du périmètre d'influence du complexe industriel et minier de Vale NC. Ces données contribuent notamment à produire, depuis 2013, une synthèse annuelle des résultats des suivis environnementaux opérés dans le Grand Sud, qui s'appuient sur l'information agrégée et synthétisée à partir de l'ensemble des variables environnementales suivies dans cette zone : le Bilan Grand Sud (BGS).

Cependant, la pertinence analytique des différents indicateurs considérés dans le BGS n'a pas fait l'objet d'une évaluation approfondie, notamment d'agissant de la physico-chimie des eaux douces. Bien que supposées, les lacunes analytiques de certains indicateurs restaient à caractériser par le biais d'un examen critique dédié, afin de pouvoir engager le cas échéant une révision des indicateurs utilisés en routine et ainsi améliorer la qualité du BGS réalisé annuellement par l'OEIL.

Dans ce contexte, l'objectif de la présente étude est de réaliser un examen critique de la pertinence analytique des indicateurs employés dans le cadre du BGS, pour les données relatives à la physicochimie des eaux douces (eaux de surface), et d'émettre des recommandations pour améliorer leur utilisation dans le cadre de ce diagnostic annuel. Elle a également permis de produire de premières visualisations exploratoires mettant en parallèle les données pluviométriques existantes dans la zone d'activité de PRNC avec les séries temporelles de données pour un sélection de paramètres d'intérêt.

On notera que cette étude s'intéresse uniquement aux aspects environnementaux de la surveillance des eaux de surface, et non aux aspects sanitaires.

I.2. Historique de travail : étude « gammes de référence » et Bilan Grand Sud

Outre les réflexions scientifiques et techniques internes menées par l'OEIL en routine ainsi que dans le cadre de son Conseil Scientifique, deux éléments antérieurs sont en lien direct avec le périmètre de la présente étude : le Bilan Grand Sud (BGS) et l'étude relative à la définition de gammes de références pour 24 paramètres physico-chimiques des cours d'eau ultramafiques de l'HER D.

S'agissant du BGS, son objectif, acté par les administrateurs de l'OEIL, est de diagnostiquer et de communiquer sur une perturbation physico-chimique et/ou biologique par rapport à un état de référence. Pour répondre à cet objectif, une méthode a été définie en lien avec les différents acteurs de l'environnement impliqués dans les suivis réalisés sur la zone d'étude (gestionnaires, industriels, scientifique), constitués en un comité technique du projet (CoTech) qui est consulté à chaque proposition d'évolution de la méthode ou lors de la validation des résultats annuels. La version initiale de la méthode de diagnostic datant de 2013 est inspirée de méthodes d'évaluation européennes (Directive Cadre sur l'Eau). Dans une logique d'amélioration continue, des révisions importantes ont été apportées à la méthode en 2016, 2018 et 2019. La révision de 2019 a fait suite à des ateliers du CoTech sur les différents milieux naturels (dont les eaux douces) et à la consultation du Conseil Scientifique. Parmi ces différentes modalités de diagnostic, l'objet de la présente étude est de critiquer la pertinence des métriques utilisées

¹Région qui regroupe des milieux aquatiques homogènes d'un point de vue de certaines caractéristiques naturelles (relief, géologie, climat, géochimie des eaux, débit, etc.) qui ont une influence sur la répartition géographique des organismes biologiques.

spécifiquement pour les paramètres physico-chimiques de eaux douces de surface (cf. plus précisément ci-après en *1.3. Approche générale de l'étude*).

Concernant l'étude relative aux gammes de référence, son objectif était d'explorer la possibilité de construire des gammes de référence pour un panel de paramètres physico-chimiques suivis en routine dans les eaux superficielles lotiques (creeks et rivières). Pour y répondre, deux phases de travail ont été menées successivement :

- La première phase a consisté à compiler les séries de données existantes issues de différents jeux de données de référence relatifs aux suivis réalisés historiquement dans la zone d'étude, à explorer leur structuration, et à étudier les potentialités analytiques pour la mise en place de futures gammes de référence fondées sur l'évolution des paramètres physico-chimiques (sans idée préconçue sur la forme que pourraient prendre ces gammes). Cette phase a permis d'étudier la faisabilité de différentes gammes, de sélectionner les paramètres pour lesquels elles apparaîtraient pertinentes, de cadrer l'approche analytique à adopter pour la définition de gammes de référence, et le cas échéant d'identifier les lacunes existantes susceptibles d'être un obstacle à leur définition dans l'état actuel des données. Cette première phase de travail a fait l'objet d'un rapport dédié (Guillemot & Dominique 2018).
- La seconde phase s'est appuyée directement sur les constats provenant de l'exploration des jeux de données et sur les différents éléments de réflexion issus de la phase 1. Elle a consisté à ouvrir la réflexion aux acteurs susceptibles d'utiliser les futures gammes de référence physico-chimiques, et à produire ces gammes dans la limite du cadre défini suite à la phase 1. Elle a consisté schématiquement à :
 - Finaliser l'intégration des certains éléments clés dans la définition de gammes (ex. : faisabilité de certaines stratifications des données, prise en compte des limites de quantification, etc.) ;
 - Confronter les alternatives méthodologiques envisagées avec les attentes et contraintes des principaux utilisateurs de ces futures gammes, et plus généralement recueillir leur avis critiques sur la démarche et les résultats attendus ;
 - Définir le ou les modes de calcul à privilégier pour établir les gammes de référence et mettre en place un protocole standardisé pour ce calcul ;
 - Une fois l'ensemble du protocole de définition des gammes validé collégialement, procéder à leur calcul au cas par cas des paramètres d'intérêt, encadrer les modalités de leur utilisation en routine, et les représenter sous un format synthétique (fiches).

Cette seconde phase a fait l'objet d'un rapport dédié et clôturant l'étude dans son ensemble (Guillemot & Dominique 2020).

Il convient de noter que les gammes de valeurs de référence vers lesquelles il a été choisi de s'orienter correspondent à des outils fondés sur l'évolution historique des paramètres, et non pas à des seuils de qualité environnementale ou des indicateurs d'état de santé absolu. Ces gammes de référence ont comme vocation pour l'OEIL de disposer, comme leur nom l'indique, d'un référentiel légitime et tirant le meilleur parti possible des données disponibles afin de pouvoir être utilisées en routine dans le cadre du BGS.

1.3. Approche générale de l'étude et positionnement vis-à-vis de projets connexes

La présente étude n'a pas vocation à rediscuter de l'objectif global du BGS acté par les administrateurs de l'OEIL, qui est de tenter de déterminer dans quel état se trouvent les milieux terrestres/eaux

douces/marins en comparaison à leurs situations de référence. S'agissant de sa méthodologie, deux éléments doivent être considérés en vue d'une critique de l'approche déployée pour la mise en œuvre des diagnostics des zones sous influence potentiel des activités de PRNC : la pertinence du référentiel considéré, et la pertinence des jeux de données disponibles et des modalités de calcul des scores utilisées. La pertinence du référentiel a précisément été traitée dans le cadre de l'étude sur les gammes de référence (cf. ci-dessus), et c'est donc bien la pertinence des modalités de calcul des scores utilisées et des jeux de données disponibles pour alimenter le diagnostic pour les paramètres d'intérêt que l'on cherche à évaluer dans le cadre de la présente étude.

Tel que définies dans les méthodes actuellement en vigueur pour la conduite annuelle du BGS, la qualification d'une station lors d'un diagnostic annuel est réalisé par attribution d'un score. Pour déterminer ce score pour une station et une année donnée, le pourcentage de valeurs annuelles dépassant le percentile 75 de la gamme de référence est calculé puis comparé à un « seuil de dépassement », pouvant varier de 30 à 40% en fonction du paramètre considéré². En dessous du seuil de dépassement, un score « Non perturbé » est attribué, au-dessus du seuil ou à niveau équivalent, un score « Fortement perturbé » est attribué à la station.

Pour les 24 paramètres pour lesquels des gammes de référence ont été calculées dans le cadre de l'étude décrites ci-dessus, le percentile 75 provient de ces gammes. Pour les 20 autres paramètres étudiés dans le BGS, en l'absence de gammes de référence approfondies, un « référentiel spatial » est utilisé (i.e. percentiles 75 calculés à partir de l'ensemble des données collectées sur les stations de référence (hors influence), du début des suivis jusqu'à l'année du diagnostic).

Afin de mener l'examen critique des modalités de calcul des scores (pourcentage de dépassements des percentiles 75 par paramètre), deux approches de travail sont nécessaires : une approche « analytique » axée sur une description critique des caractéristiques des jeux de données disponibles et une approche « thématique » axée sur une expertise de la physico-chimie des eaux de surface du Grand Sud. La première approche a vocation à éclairer la seconde dans le rendu d'un avis critique sur les méthodes actuelles du BGS et la formulation de recommandations d'amélioration.

Au-delà de l'expertise des prestataires intervenant dans la réalisation de la présente étude, il a été souhaité par l'OEIL que des membres de son Conseil Scientifique, experts de la thématique, soient activement impliqués dans les réflexions afin de s'assurer de la légitimité des résultats obtenus et de faciliter la validation des éventuelles améliorations à apporter à la construction des diagnostics annuels de l'OEIL.

A ce titre, sur la base d'éléments préparés par les prestataires en collaboration avec l'OEIL, deux groupes de travail ont été organisés en début et en fin d'étude, afin de converger vers une démarche critique et des résultats consensuels répondant à l'objectif de l'étude. Ces groupes de travail ont rassemblé les intervenants suivants :

- Groupe de travail n°1 (26/10/2022) :
 - o Trois membres du conseil scientifique de l'OEIL ;
 - o Un représentant de Prony Ressources Nouvelle-Calédonie ;
 - o Trois agents de l'OEIL ;
 - o DEXEN ;

² Ces seuils de dépassements avaient initialement été fixés de manière arbitraire par le CoTech du BGS à 25% en s'appuyant sur une approche de diagnostic comparable menée dans une étude du BRGM, avant d'être affinés par l'OEIL en interne via la réalisation de tests de diagnostic de zone de référence.

- Bio Eko Consultants.
- Groupe de travail n°2 (05/12/2023 et 12/12/2023) :
 - Deux membres du conseil scientifique de l'OEIL ;
 - Un représentant de Prony Ressources Nouvelle-Calédonie ;
 - Trois agents de l'OEIL ;
 - DEXEN ;
 - Bio Eko Consultants.

S'agissant du positionnement général de la présente étude, il convient de noter le programme CNRT QUAVAR (QUALité des eaux douces ultramaïques et Valeurs de Rejet, initié début 2020), auxquels la présente étude n'a pas vocation à se substituer, ni dans son dimensionnement ni dans sa démarche méthodologique, mais propose davantage une réflexion complémentaire.

En effet, le projet QUAVAR finalisé en novembre 2023, s'est penché sur la définition de valeurs seuils pour quelques éléments traces métalliques (ETM). Devant le manque actuel de données que ce soit sur le fond géochimique naturel³ des différents cours d'eau calédoniens ou sur la toxicité de certains ETM sur la flore et faune aquatique locale, une série de recommandations ont été faites par ce projet. Celles-ci viendront compléter celles issues de la présente étude. Ces recommandations portent sur :

- la nécessité de compléter les mesures des concentrations en ETM et autres éléments constitutifs du fond géochimique des cours d'eau calédoniens, notamment ceux non ou peu influencés par les activités anthropiques. Une profondeur de données de 3 à 5 ans à une fréquence mensuelle sur 2 à 3 cours d'eau par HER s'avèrera nécessaire pour l'utilisation d'une approche statistique permettant d'obtenir des valeurs généralisables à une HER donnée
- la nécessité de développer les connaissances relatives aux organismes locaux et à leurs conditions d'élevage en laboratoire ou du moins dans un premier temps à leur maintien en laboratoire afin de pouvoir réaliser une série de tests écotoxicologiques

La présence de parties prenantes dans le projet QUAVAR à la fois dans la réalisation de la présente étude et dans les groupes de travail a permis d'assurer une bonne articulation entre les deux projets.

I.4. Structure du document

Conformément à son objectif et à l'approche de travail souhaitée pour y répondre, le présent rapport a vocation à :

- Décrire la démarche détaillée mise en œuvre pour critiquer la pertinence des indicateurs du BGS pour la physico-chimie des eaux douces de surface du Grand Sud ;
- Détailler les étapes de travail sur les jeux de données, les choix opérés sur les données, leurs traitements, et les résultats synthétiques obtenus à partir de leur examen ;
- Présenter les éléments de benchmark nécessaires à la critique de la pertinence des indicateurs actuels ;
- Décliner les réflexions critiques et recommandations qui ont découlé des séquences de travail ci-dessus ;
- Fournir en annexe des fiches synthétiques rappelant, pour chacun des paramètres traités, les éléments clés de leur examen critique.

³ Est défini comme la concentration naturelle en éléments issus de la dissolution des roches, de l'érosion et des retombées de poussières naturelles et anthropiques intégrant une faible part de l'influence anthropique.

Chapitre II - Démarche détaillée pour l'analyse critique des indicateurs

Le séquençage des travaux déployés dans le cadre de cette étude s'est articulé autour de deux phases principales :

- La constitution, le traitement, et la description des jeux de données disponibles pour l'ensemble des paramètres disponible dans l'historique des données détenues par l'OEIL, amenant à sélectionner 17 paramètres d'intérêt prioritaire et sur lesquels l'analyse critique est ensuite fondée ;
- L'analyse critique en elle-même, reposant sur un benchmark des méthodologies pour définir des valeurs guides utilisées en dehors de la Nouvelle-Calédonie et sur une confrontation des jeux de données disponibles aux critères issus de ce benchmark, ainsi que sur la formulation de recommandations à l'issue de ce travail.

II.1. Traitement et description des jeux de données et sélection de 17 paramètres

Cette phase de travail visait à disposer d'une vision descriptive intégrée de l'ensemble du jeu de données disponible (comprenant 44 paramètres physico-chimiques)⁴, et à aboutir à la sélection de 17 paramètres prioritaires qui seront utilisés en phase suivante pour mener l'examen critique des critères de score du BGS. Elle a également permis d'affiner, en concertation avec l'OEIL et le groupe de travail, la démarche d'analyse critique mise en œuvre en phase suivante.

Plus spécifiquement, cette phase a donc consisté à :

- Récupérer l'ensemble des jeux de données brutes, les formater et structurer les matrices de données ;
- Réaliser plusieurs prétraitements initiaux et filtres, sur la base de critères validés lors du premier groupe de travail, pour l'ensemble des 44 paramètres disponibles ;
- Réaliser des analyses exploratoires et descriptives sur les jeux de données (tenant compte du niveau variable de standardisation des méthodes et des plans d'échantillonnage au sein des jeux de données disponibles), visant à appuyer la sélection des paramètres sur lesquels poursuivre sur l'examen critique en phase suivante ;
- Arbitrer la sélection, de manière concertée avec l'OEIL et le groupe de travail, des 17 paramètres à traiter de manière approfondie en phase 2 sur la base des caractéristiques des données, de leur priorité dans les diagnostics annuels, et de leur pertinence thématique *a priori* ;
- A la lumière de ces éléments, affiner et valider l'approche à mettre en œuvre pour réaliser l'examen critique des critères de score utilisés dans le BGS (cf. détails ci-dessous).

Par ailleurs et afin de tirer profit de ce travail de traitement des jeux de données disponibles dans leur globalité, il a été souhaité par l'OEIL que soit explorée la possibilité de mettre en parallèle les données pluviométriques existantes dans la zone d'activité de PRNC avec les séries temporelles de données pour les 17 paramètres d'intérêt et diagnostiqués dans le cadre du BGS. Cet élément de travail a donc fait l'objet d'une analyse exploratoire dédiée et présentée dans ce rapport.

⁴ Les jeux de données traités ont majoritairement intégré les données produites par PRNC dans le cadre de ses suivis réglementaires, ainsi que des données produites par l'OEIL dans le cadre d'études ponctuelles (cf. chapitre III).

II.2. Examen critique des indicateurs et jeux de données à partir des 17 paramètres sélectionnés

La démarche validée et mise en œuvre pour l'analyse critique des indicateurs utilisés dans le BGS (caractéristiques des jeux de données et critères de score) pour la physico-chimie des eaux douces de surface et la formulation de recommandations a consisté à :

- Réaliser un benchmark des exigences et valeurs guides utilisées en Europe et régionalement (AUS/NZ) et évaluant l'adéquation ou non de ces approches avec le contexte géochimique naturel calédonien, avec comme objectif de :
 - o Disposer de critères d'évaluation des jeux de données de référence et des jeux de données à diagnostiquer en matière de volume, de réplication, ou de structuration générale (concept dénommé par la suite « profondeur des jeux de données ») ;
 - o Suggérer un critère de score alternatif à celui utilisé dans le BGS (tout en restant cohérent avec le contexte naturel du Grand Sud) ; en particulier, étant donné que le choix du percentile 75 dans le BGS a principalement reposé sur une étude réalisée par le BRGM dans les eaux souterraines (Lions et al. 2016), il se pourrait que ce percentile soit moins adapté pour les eaux de surface ;
- Confronter ces deux types de critères (profondeur des jeux de données et score alternatif) aux données réelles utilisées dans le cadre du BGS pour les 17 paramètres sélectionnés précédemment, afin de disposer :
 - o D'information sur l'adéquation et la validité des jeux de données disponibles en termes de profondeur et d'identifier ainsi les lacunes éventuelles ;
 - o D'une comparaison de résultats et de performances des diagnostics entre les modalités de calcul des scores du BGS et des modalités alternatives de calcul des scores issues du benchmark, permettant d'alimenter la réflexion critique sur la pertinence des diagnostics actuels du BGS

Cette approche présente plusieurs avantages soulignés lors des groupes de travail et permettant de légitimer les réflexions et recommandations menées dans le cadre de la présente étude :

- Elle permet d'aborder l'examen critique par le biais d'un rétro-diagnostic comparatif, et d'apporter un éclairage légitime sur les caractéristiques des jeux de données, puisque reposant sur des éléments de benchmark factuels ;
- Elle permet de traiter simultanément la critique des plans d'échantillonnage au sens large (profondeur des jeux de données) et des modalités de calcul des scores utilisées ;
- L'appui sur un benchmark, c'est-à-dire sur des valeurs pragmatiques et éprouvées dans d'autres territoires est susceptible d'apporter une robustesse et une légitimité accrue s'il s'agit de justifier des évolutions de l'approche diagnostic du BGS auprès des parties prenantes des diagnostics environnementaux du Grand Sud.

Il convient de noter que l'utilisation d'analyses de puissance et/ou de sensibilité statistique avait été évoquée en début d'étude mais a été estimée non-adaptée au profil des données disponibles lors de la réunion du groupe de travail n°1, qui a validé de leur préférer l'approche définie ci-dessus. Les seuils statistiques issus d'analyses de sensibilité sont plus fréquemment utilisés pour l'étude de paramètres biologiques et présentent l'intérêt, lorsque les jeux de données se prêtent à leur utilisation, de pouvoir connaître le niveau de « fiabilité statistique » associée à un seuil. Comme déjà démontré dans le cadre de la précédente étude portant sur les gammes de référence, la structuration et les volumes des jeux de données, ainsi que la très grande variabilité observée dans le cadre des suivis de la physico-chimie des eaux douces de surface dans le Grand Sud ne rendaient pas adéquate la mise en œuvre de ce type de méthode.

Chapitre III - Constitution des jeux de données et traitements pour uniformisation

III.1. Sélection des jeux de données à intégrer

L'ensemble des données utilisées dans cette étude ont été extraites et téléchargées à partir du portail de l'OEIL « Galaxia »⁵, qui rassemble les données des suivis réglementaires opérés par Prony Ressources Nouvelle-Calédonie (PRNC) et bancarise également les données sur les cours d'eau suivis par l'OEIL.

Conformément aux objectifs de l'étude, les critères de constitution du jeu de données initial ont été :

- Eaux douces superficielles ;
- Données physico-chimiques ;
- Les 41 paramètres analysés dans le cadre des diagnostics des eaux de surface du Bilan Grand Sud (BGS), prenant pour référence le BGS 2020 (dernier en date au moment du démarrage de la présente étude) ;
- Trois paramètres supplémentaires que l'OEIL a souhaité intégrer, bien que ne faisant pas l'objet d'un diagnostic dédié dans le BGS (suite à une décision du Cotec) : température, turbidité, matières en suspension (MES) ;
- Toutes les séries temporelles disponibles pour les paramètres concernés.

Le Tableau 1 présente la liste des paramètres considérés, qui se ventilent ainsi selon les principales catégories et types de paramètres :

- Chimiques :
 - o Métaux et metalloïdes dissous : 16 paramètres ;
 - o Autres : 5 paramètres ;
- Physico-chimiques :
 - o Éléments majeurs : 5 paramètres ;
 - o Matière organique : 3 paramètres ;
 - o Profil aquatique : 10 paramètres ;
 - o Sels nutritifs : 4 paramètres ;
 - o Autres : 1 paramètres.

⁵ Lien vers le portail Galaxia : <https://geoportail.oeil.nc/galaxia/>

Tableau 1 : Liste des 44 paramètres considérés pour la présente étude.

Catégorie du paramètre	Type de paramètre	Nom du paramètre	Symbole	Unité		
Chimique	Métaux et métalloïdes dissous	Aluminium	Al	mg/l		
		Arsenic	As	mg/l		
		Cadmium	Cd	mg/l		
		Chrome	Cr	mg/l		
		Chrome hexavalent	Cr(VI)	mg/l		
		Cobalt	Co	mg/l		
		Cuivre	Cu	mg/l		
		Etain	Sn	mg/l		
		Fer	Fe	mg/l		
		Manganèse	Mn	mg/l		
		Mercure	Hg	mg/l		
		Nickel	Ni	mg/l		
		Plomb	Pb	mg/l		
		Silice	SiO ₂	mg/l		
		Silicium	Si	mg/l		
		Zinc	Zn	mg/l		
	Autres (chimique)	Brome	Br	mg/l		
		Fluorures	F	mg/l		
		Hydrocarbures totaux	Ht	mg/Kg		
		Soufre	S	mg/l		
	Eléments majeurs	Sulfates	SO ₄	mg/l		
		Calcium	Ca	mg/l		
		Chlorures	Cl	mg/l		
		Magnésium	Mg	mg/l		
		Potassium	K	mg/l		
		Sodium	Na	mg/l		
		Matière organique		Azote total	Nt	mg/l
				Carbone organique total	COT	mg/l
				Phosphore	P	mg/l
		Physico-chimique	Profil aquatique	Conductivité	Cond.	µS/cm
				Demande biochimique en oxygène sous 5 j.	DBO ₅	mg/l
				Demande chimique en oxygène	DCO	mg/l
				Oxygène dissous	OD	mg/l
				pH	pH	mg/l
				Potentiel d'oxydo-réduction	ORP	mg/l
				Température	T°	°C
Titre alcalimétrique	TA			°f		
Titre alcalimétrique complet	TAC			°f		
Turbidité	Turb.			NTU		
Autres (physico-chimiques)	Matière en suspension			MES	mg/l	
Sels nutritifs		Ammoniac	NH ₃	mg/l		
		Nitrates	NO ₃	mg/l		
		Nitrites	NO ₂	mg/l		
		Phosphates	PO ₄	mg/l		

III.2. Descriptif des filtres et standardisations effectuées sur les données initiales

Les contenus de ces jeux de données bruts extraits de Galaxia comportaient des complétudes de renseignement, des unités, ou encore des formats variables, qui ont nécessité un important travail d'uniformisation, de vérification et de compilation afin d'homogénéiser la qualité des informations et leur structuration. Plusieurs opérations de contrôle de cohérence et de filtrage des données ont notamment été réalisées afin de sélectionner les données utiles à la présente étude et de produire un jeu de données unifié et standardisé.

Ces filtres et contrôles de cohérence, validés lors du groupe de travail n°1, ont consisté à :

- Rechercher et écarter les stations correspondant à des situations particulières qu'il n'apparaissait pas pertinent de conserver dans le périmètre de la présente étude, notamment :
 - o Les bassins de décantation et les zones adjacentes ;
 - o Les plans d'eau artificiels ou naturels présentant un régime sensiblement différent de la majorité des cours d'eau considérés dans l'étude (milieux lentiques *versus* lotiques) ;
 - o Les zones de source ou résurgences, ainsi que les dolines ;
 - o Certaines stations isolées identifiées dans la catégorie « eaux superficielles » mais correspondant à des mesures sur piézomètre ;
- Homogénéiser les unités à l'échelle de l'ensemble de la base de données, pour chaque paramètre ;
- Rechercher et écarter les doublons ;
- Ecarter les bassins versants présentant un nombre négligeable de mesures sur l'historique de suivi et n'étant donc pas judicieux à considérer dans une macroanalyse, notamment :
 - o Fausse Yaté : 11 mesures sur l'ensemble du jeu de données ;
 - o Mamié : 3 mesures ;
 - o Nato : 1 mesure ;
 - o Rivière des Pirogues : 4 mesures ;
 - o Pourina : 1 mesure ;
 - o Rivière Blanche : 4 mesures ;
 - o Rivière Bleue : 1 mesure.
- Ecarter les données antérieures à 2008, en cohérence avec le même choix réalisé dans le cadre de l'étude relative aux gammes de référence, en raison d'un volume très faible de mesures avant cette date et d'une absence de représentativité des données disponibles ;
- Homogénéiser le renseignement des limites de quantification (LQ) associées à chaque paramètre, station, et mesure dans les données (l'assemblage de jeux de données incluant plusieurs suivis, plusieurs intervenants, et de longues séries temporelles engendre inévitablement des variations de méthodes d'analyses par les laboratoires sollicités, et donc des niveaux et des modalités de renseignement de LQ très disparates dans les données brutes).

Plus spécifiquement s'agissant de l'uniformisation des LQ, la simple suppression des mesures correspondant aux LQ les plus élevées ou les moins représentées dans les données présente un risque de perte significative de données voire, pour certains paramètres, à la disparition de plusieurs cours d'eau dans le jeu de données (remettant en cause de sa représentativité). Afin de procéder à une uniformisation des LQ tout en conservant l'ensemble des données exploitables, le protocole suivant a été appliqué aux données, en cohérence avec les prétraitements réalisés et validés lors de l'étude sur les gammes de référence. Pour chaque paramètre et mesure :

- Lorsque la LQ est explicite et représentée par une valeur numérique : l'application d'une valeur correspondant à la moitié de cette LQ a été opérée (ce sont donc ces valeurs corrigées qui seront

visualisées sur les graphiques représentant les données) ; l'attribution d'une valeur équivalente à LQ/2 dans les matrices de données physico-chimiques destinées à être analysées est en effet classiquement pratiquée afin d'éviter un biais de surestimation des niveaux inférieurs à la LQ ;

- Lorsque la LQ était renseignée sous la forme d'une gamme de valeur indicative (ex. 0,1 à 1 mg/l) : la LQ est alors classifiée comme étant « Inconnue » ; le rapport de la phase 1 de l'étude sur les gammes de référence analyse en détail la nécessité d'une telle classification qui avait été alors discutée et validée avec l'OEIL et son comité scientifique (Guillemot & Dominique 2018).

De manière connexe à la gestion des LQ, on pourra également noter que, pour une très large majorité des données, des arrondis sont pratiqués par les laboratoires pour tenir compte des incertitudes de mesures (par exemple une concentration mesurée comprise entre 0,005 et 0,014 mg/l sera arrondi à 0,01 mg/l), aboutissant à une pseudo-discrétisation des données et à une visualisation graphique sous forme de « paliers » dans le cas de certains paramètres, sans conséquence toutefois sur les analyses exploratoires qui en sont faites ci-après (ou sur la qualité des gammes de référence qui avaient été précédemment calculées).

Enfin, à l'issue de cette phase de structuration, l'ensemble des jeux de données ont été reformatés en une base de données unifiées dont les champs types sont les suivants (les champs marqués d'une étoile sont les champs qui devaient obligatoirement être renseignés pour permettre une prise en compte de la ligne de donnée dans le cadre de ce projet) :

- Source (propriétaire des données : PRNC, OEIL)
- Producteur (entité / prestataire ayant réalisé la mesure, ex. : Bio Eko Consultants, EMR, etc.)
- Station *
- Cours d'eau *
- Coordonnées X et Y
- Paramètre *
- Année *
- Mois *
- Jour *
- Signe *
- Unité *
- Valeur *
- LQ *
- ID méthode

III.3. Jeu de données unifié et standardisé

La base de données finale obtenue à l'issue de l'ensemble des formatages et traitements appliqués aux données initiales pour en unifier la structure contient 181 318 lignes de données correspondant à autant de mesures physico-chimiques en eaux superficielles. Cette base de données a été livrée à l'OEIL conjointement au présent rapport.

Le Tableau 2 présente les principales caractéristiques des deux jeux de données (PRNC et OEIL) et celles du jeu de données fusionné après traitements.

En termes de volume, la très grande majorité des données physico-chimiques générées sur les eaux douces de l'HER D provient des suivis réalisés par PRNC (anciennement Vale NC). Les jeux de données provenant des suivis de l'OEIL, bien qu'apparaissant minoritaires en volume, fournissent toutefois des

informations précieuses sur des bassins versants n'étant pas directement concernés par la surveillance de PRNC, et notamment sur une large gamme de zones appartenant à la même HER et localisées hors de l'influence du complexe industriel et minier.

Tableau 2 : Principales caractéristiques des jeux de données PRNC et OEIL considérés dans la présente étude, ainsi que du jeu de données total résultant de leur intégration.

	VNC/PRNC	OEIL	TOTAL
Période de données disponible	13 années : 2008-2020	7 années : 2010-2016	13 années : 2008-2020
Nombre de stations	71	20	80
Nombre de bassins versants	13	9	13
Nombre de paramètres	44	40	44
Nombre total de mesures	180 173	1 145	181 318
<i>dont sous influence</i>	<i>173 118</i>	<i>408</i>	<i>173 526</i>
<i>dont en référence</i>	<i>7 055</i>	<i>737</i>	<i>7 792</i>
Liste des bassins versants	Carénage	Carénage	Carénage
	Creek Baie Nord	Creek Baie Nord	Creek Baie Nord
	Entonnoir		Entonnoir
	Kadji		Kadji
	Kaori	Kaori	Kaori
	Kuebini	Kuebini	Kuebini
	Kwe_est	Kwe_est	Kwe_est
	Kwe_nord		Kwe_nord
	Kwe_ouest	Kwe_ouest	Kwe_ouest
	Kwe_principale	Kwe_principale	Kwe_principale
	Trou_bleu	Trou_bleu	Trou_bleu
	Truu		Truu
	Wadjana	Wadjana	Wadjana

III.4. Données contextuelles et stratification

Afin de compléter les données propres aux valeurs physico-chimiques mesurées et compilées dans la base de données mentionnée précédemment, et afin de stratifier les descriptions de données selon des critères structurant pour la présente étude, un certain nombre de données et informations contextuelles ont été construites et ajoutées à la base de données.

On notera que la désignation du bassin versant propre à chaque station (et donc rattaché à chaque mesure) était déjà présente dans les données initiales retraitées. Bien que fournissant un élément de contexte important, le groupe de travail n°1 a entériné deux éléments relatifs à sa prise en compte pour la présente étude :

- Il n'est pas apparu nécessaire de réaliser des analyses distinctives par bassin versant, le groupe de travail ayant souligné que :
 - o Les cours d'eau inclus dans le jeu de données pouvaient être considérés comme présentant un fonctionnement similaire dans le Grand Sud ;
 - o Les bassins versants topographiques et hydrologiques pouvant être différents dans le Grand Sud (en raison des écoulements souterrains ; exemple de la connexion entre la Kwé Est et le bassin versant de la Truu), une telle distinction apparaîtrait simpliste et peu informative.

- Il a été décidé d'écartier du jeu de données le bassin versant endoréique « Entonnoir » qui présente un fonctionnement particulier et qui est de plus très peu échantillonné.

Par ailleurs, les informations contextuelles suivantes ont été intégrées dans la base de données, sur la base d'une distinction à l'échelle de la station :

- Influence - Classification en zone de référence ou en zone sous influence potentielle du complexe industriel et minier de PRNC, sur la base d'une classification s'appuyant sur les bassins versants :
 - o Référence : Carénage, Kaori, Kuebini, Trou Bleu, Wadjana ;
 - o Sous influence : Creek Baie Nord (CBN), Kadji, Kwé Est, Kwé Nord, Kwé Ouest, Kwé principale, Truu.

Nota bene relatif à la notion de zone de référence - Les paysages de l'HER D ont été fortement modifiés par l'action de l'homme depuis les années 1800 (notamment par le biais de l'exploitation forestière et minière). Ceci engendre inévitablement une difficulté à disposer de masses d'eau totalement exemptes d'influence anthropique ancienne ou récente et susceptible de constituer une zone de référence idéale.

Il s'agit d'une situation fréquemment rencontrée dans le cadre de suivis environnementaux, nécessitant de définir des critères à la fois satisfaisants pour la considération d'une zone de référence pertinente, et à la fois réaliste compte-tenu du contexte des milieux naturels de la zone étudiée.

Les discussions menées lors de l'étude relative aux gammes de référence et reprises lors du groupe de travail n°1 de la présente étude avaient permis de converger vers une définition de la zone de référence à considérer, qui a été formulée ainsi : « l'ensemble des points de mesures qui ne sont pas sous l'influence directe du complexe de Vale NC ou d'une autre activité anthropique récente / en cours ».

Cette définition présente l'intérêt d'être formalisable facilement et de maximiser le volume de données utilisable pour le calcul des gammes (le volume de données de référence était notamment l'un des facteurs potentiellement limitant à la définition de gammes pertinentes lors de la précédente étude). Elle est également cohérente avec la dichotomie utilisée en routine dans le cadre du BGS. A ce titre, la distinction « sous influence » / « référence » ne constitue pas uniquement une information de contexte au même titre que les éléments suivants mais également un facteur analytique indispensable puisque faisant partie intégrante de l'approche diagnostic mise en œuvre dans le cadre du BGS (fondées sur des comparaisons entre ces deux zones).

- Saison hydrologique - Dans le cadre de l'étude relative aux gammes de référence et afin de contextualiser le calcul de celles-ci, trois grands régimes pluviométriques, correspondant à trois saisons, avaient été considérés. Celles-ci avaient été définies et validées ainsi :
 - o Mi-décembre à mi-avril : saison humide ;
 - o Mi-avril à mi-septembre : saison de transition ;
 - o Mi-septembre à mi-décembre : saison sèche.

Dans le cadre de cette étude, il avait été conclu que ce descripteur n'avait pas vocation à intervenir dans la structuration des analyses et diagnostics, mais il était apparu utile pour visualiser la représentativité de la gamme calculée vis-à-vis de ces grandes saisons.

- Positionnement amont / aval - L'HER D n'a pas fait l'objet de découpage en HER de niveau 2, c'est à dire en sous-régions où les cours d'eau pourraient avoir naturellement un comportement

géochimique différent au sein d'une même HER de niveau 1. Cette variabilité intra-HER2 demeure toutefois inférieure à la variabilité inter-HER1. En effet, les déterminants primaires (considérés lors d'un découpage en HER de niveau 1) que sont le relief, la géologie et le climat influencent fortement l'ensemble des paramètres à l'origine de la variabilité du climat physico-chimique des cours d'eau. Pour les territoires ultramarins, la stratification sous-régionale des cours d'eau est fortement influencée par la distance à la source du fait de reliefs souvent importants sur de courtes distances entre l'amont et l'aval du bassin-versant. De ce fait la régionalisation en niveau 2 sur ces territoires (Antilles, Réunion), a été faite selon une dichotomie amont-aval au sein de chaque HER de niveau 1.

Dans le cadre de l'étude sur les gammes de référence, un travail de recouplement fondé sur la connaissance des suivis opérés et des zones échantillonnées d'une part, et sur la projection cartographique des stations d'autre part avait permis de renseigner cette dichotomie pour la totalité des données disponibles.

Les résultats obtenus avaient suggéré une faible structuration des caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau selon la dichotomie amont/aval en l'état des données disponibles, laissant supposer que les caractéristiques des jeux de données disponibles (et donc des plans d'échantillonnages actuels) ne permettent pas de mener des travaux analytiques avancés sur ce type de dichotomie de manière rigoureuse.

Dans une optique de description générale et de compréhension des jeux de données mobilisés, ces deux derniers éléments de contexte (saison hydrologique et positionnement amont / aval) ont malgré tout été repris dans la présente étude. Ils ne constituent certes pas des critères d'analyse pour des diagnostics annuels, spatialement intégrateurs, et fondés sur une comparaison à des valeurs historiques de référence, mais la connaissance de la structure et de la représentativité des jeux de données utilisés pour ces diagnostics fournit à l'utilisateur les moyens d'une interprétation critique des résultats obtenus. L'aspect intégré de l'approche du BGS autorise de raisonner sur un large panel de situations sans nécessairement invalider son utilité, mais en contrepartie il semble important de disposer d'une bonne compréhension de la représentativité des jeux de données mobilisées.

Afin de visualiser la structuration détaillée du jeu de données constitué et sur la base des différents éléments traités précédemment, les répartitions des volumes de données sont fournies en annexes selon :

- Le type de jeu de données (PRNC ou OEIL) : Annexe 1 ;
- Les données contextuelles spatiales intégrées (position dans le bassin versant et influence PRNC) : Annexe 1 ;
- L'année de suivi (2008 à 2020) : Annexe 2 ;
- Le bassin versant : Annexe 3 ;
- La saison hydrologique : Annexe 4.

Comme explicité précédemment, parmi ces différentes informations, seul le facteur « référence » / sous-influence » présente un rôle analytique dans le cadre du BGS et de sa présente évaluation critique, tandis que les autres éléments contextuels sont fournis à titre informatif et afin d'enrichir la vision contextuelle des jeux de données exploités dans cette étude.

L'Annexe 5 présente par ailleurs la liste de l'ensemble des stations représentées dans la base de données à l'issue de cette phase de prétraitement, ainsi que les informations concernant leur bassin versant d'appartenance, leur position sur ce cours d'eau, et leur statut en regard de l'influence de Vale NC.

Chapitre IV - Exploration des données et sélection de 17 paramètres d'intérêt

Comme évoqué en introduction, l'objectif de cette séquence est de disposer d'une vision descriptive générale du jeu de données disponible et composé de 44 paramètres, afin de sélectionner une quinzaine de paramètres d'intérêt sur lesquels fonder ensuite l'examen critique des critères de diagnostic du BGS.

Cette sélection a reposé sur deux critères :

- Un critère dit « analytique » : il s'agit de sélectionner des paramètres dont les données présentent une bonne potentialité (volume suffisant et structure intéressante) pour examiner leur positionnement vis-à-vis des critères de diagnostic ;
- Un critère dit « thématique » : il s'agit de sélectionner des paramètres pertinents *a priori* du fait des perturbations qu'ils ciblent et/ou prioritaires pour l'OEIL et PRNC en termes de diagnostic.

La combinaison de ces deux critères s'est avérée nécessaire, en considérant cependant le critère thématique comme dominant et le critère analytique comme support.

IV.1. Potentialités analytiques

Afin d'examiner les potentialités analytiques des données existantes pour l'ensemble des 44 paramètres physico-chimiques considérés, plusieurs descripteurs ont été choisis et validés lors du groupe de travail n°1. Pour chaque paramètre, il a été examiné :

- Le volume des données disponibles : total et en zone sous influence des activités industrielles et minière de PRNC (cette zone étant le point focal de la présente étude puisque contenant les stations diagnostiquées annuellement dans le cadre du BGS) ;
- Le taux de détection (i.e. le pourcentage de mesures supérieures à la LQ sur l'historique disponible), et son positionnement vis-à-vis d'un seuil arbitrairement fixé à 50 % de détection en concertation avec l'OEIL et en cohérence avec les précédentes études ;
- La représentativité spatio-temporelle des données, à travers le nombre d'années et le nombre de bassins versants représentés dans le jeu de données disponible ;
- Leurs profils graphiques généraux, de manière illustrative et pour visualisation de la structuration générale de la série temporelle (en parallèle des critères précédents, chiffrés et plus formels).

Le Tableau 3 présente l'ensemble des valeurs prises pour les critères ci-dessus (à l'exception des visualisations graphiques) pour chacun des 44 paramètres.

Tableau 3 : Critères de sélection relatifs aux potentialités analytiques générales pour les 44 paramètres physico-chimiques considérés. Les cellules surlignées en jaune indiquent les critères ayant conduit à qualifier de « faible » le potentiel analytique d'un paramètre.

Paramètre	Nb total mesures	Nb mesures sous influence	% mesures < LQ	+ de 50% de mesures < LQ	Nb années (max 13)	Nb de BV (max 13)	Potentiel analytique indicatif	Sélection statistique
Aluminium	4432	4211	80%	Oui	13	12	Faible	
Ammoniac	740	705	94%	Oui	11	9	Faible	
Arsenic	3639	3462	88%	Oui	13	12	Faible	
Azote total	264	251	50%		12	10	Faible	
Brome	1134	1060	92%	Oui	5	9	Faible	
Cadmium	4467	4246	82%	Oui	13	13	Faible	
Calcium	4539	4304	41%		13	13	Bon	Oui
Carbone org. total	486	460	49%		13	10	Faible	
Chlorures	3632	3390	0%		13	13	Bon	Oui
Chrome	4484	4256	61%	Oui	13	13	Moyen	Oui
Chrome hexavalent	3034	2815	50%		13	12	Moyen	Oui
Cobalt	4469	4248	81%	Oui	13	12	Faible	
Conductivité	7950	7599	0%		13	13	Bon	Oui
Cuivre	4467	4247	82%	Oui	13	12	Faible	
Demande biochim. en ox.	277	242	61%	Oui	8	10	Faible	
Demande chim. en ox.	2073	1999	88%	Oui	13	13	Faible	
Etain	4176	3974	76%	Oui	13	12	Faible	
Fer	4443	4218	78%	Oui	13	13	Faible	
Fluorures	1239	1146	98%	Oui	8	11	Faible	
Hydrocarbures totaux	1765	1729	98%	Oui	13	9	Faible	
Magnésium	4566	4320	0%		13	13	Bon	Oui
Manganèse	4635	4402	65%	Oui	13	13	Moyen	Oui
Matière en suspension	13858	13636	22%		13	12	Bon	Oui
Mercuré	23	11	100%	Oui	2	6	Faible	
Nickel	4490	4263	25%		13	13	Bon	Oui
Nitrates	3567	3327	14%		13	13	Bon	Oui
Nitrites	1351	1252	97%	Oui	9	12	Faible	
Oxygène dissous	3192	3092	0%		10	13	Bon	Oui
pH	7194	6884	0%		13	13	Bon	Oui
Phosphates	3621	3387	78%	Oui	13	13	Faible	
Phosphore	4458	4248	81%	Oui	13	10	Faible	
Plomb	4453	4236	80%	Oui	13	12	Faible	
Potassium	4554	4331	15%		13	12	Bon	Oui
Potentiel d'oxydo-red.	1619	1619	0%		12	3	Moyen	Oui
Silice	216	207	0%		8	9	Faible	
Silicium	4542	4311	18%		13	13	Bon	Oui
Sodium	4564	4317	2%		13	13	Bon	Oui
Soufre	4499	4289	9%		13	10	Bon	Oui
Sulfates	4325	4077	1%		13	13	Bon	Oui
Température	5317	5054	0%		13	13	Bon	Oui
Titre alcalimétrique	2823	2630	81%	Oui	12	9	Faible	
Titre alcalimétrique complet	2822	2628	4%		12	9	Bon	Oui
Turbidité	24904	24615	0%		13	13	Bon	Oui
Zinc	4015	3828	83%	Oui	13	12	Faible	

L'examen de ces différents critères a permis de classer le potentiel analytique de chaque paramètre selon trois catégories : faible, moyen, bon.

Cette classification a été réalisée selon l'approche qualitative suivante, qui repose sur des seuils arbitraires établis suite à l'examen de la suite complète des paramètres et a été validée lors du groupe de travail n°1. Un paramètre est considéré comme présentant un potentiel analytique :

- « Faible » lorsque :
 - o Il comporte un nombre de mesures en zone sous influence inférieur à 1 000 mesures sur le périmètre spatio-temporel disponible de 13 ans et 13 bassins versants (i.e. moins de 6 mesures par an par bassin versant en moyenne) ; OU
 - o Il présente un % de détection inférieur à 50 % (i.e. plus de la moitié des mesures disponibles pour ce paramètre sont inférieure ou égale à la LQ) ; OU
 - o Il ne présente aucune donnée pour plus de la moitié des années de l'historique disponible (13 années au total) ou pour plus de la moitié des bassins versants surveillés (13 bassins versants au total) ;
- « Bon » s'il ne remplit aucun des critères susceptibles de le classer comme « faible » ;
- « Moyen » s'il ne remplissait pas de critère pouvant le classer comme « faible » mais présentait une vigilance à dire d'expert en termes de potentialité analytique, notamment en cas de très forte proximité aux seuils / critères ci-dessus et/ou si le profil graphique ou la structuration des données selon les années et bassins versants apparaissait particulièrement déséquilibré(e) au regard des autres paramètres.

Il apparaît que 17 des 44 paramètres sont considérés comme présentant un potentiel analytique satisfaisant au regard du volume, de la structuration, et de la représentativité des jeux de données disponibles.

Parmi les 27 autres paramètres, respectivement 4 et 23 paramètres sont considérées comme présentant un potentiel analytique moyen et faible.

Cette potentialité définie sur des bases purement descriptives sera ci-dessous confrontée à la pertinence thématique et diagnostique de chaque paramètre.

Enfin, parallèlement à cette classification, il avait été envisagé d'explorer l'existence d'éventuelles corrélations entre les paramètres qui pourraient constituer un critère de sélection pour la présente étude voire pour le BGS (si deux paramètres se comportent de manière très corrélée, il pourrait être envisagé que le travail diagnostique effectué sur l'un puisse être transposé d'office à l'autre).

Cette exploration a été menée de la manière suivante :

- Construction de jeux de données constitués des points de mesures (couple station/date) pour lesquels l'ensemble des paramètres ont été échantillonnés pour une catégorie donnée de paramètre (cf. Tableau 1) :
 - o Métaux ;
 - o Eléments majeurs ;
 - o Profil aquatique ;
 - o Sels nutritifs ;
 - o Matière organique ;
 - o Autres paramètres chimiques ;

- Analyse en composante principale et analyse des corrélations entre tous les paramètres pour chaque catégorie de paramètres.

L'exploration des corrélations s'est heurtée à la rareté des points de mesures regroupant simultanément un grand nombre de paramètres. La plupart des paramètres sont en effet échantillonnés par groupes restreints de paramètres, variables (en nombre et en type de paramètres) selon les objectifs de surveillances propres à chaque prélèvement, sans nécessairement avoir vocation à être co-analysés avec d'autres paramètres connexes, rendant rares les situations d'échantillonnage concomitant sur une large spectre de paramètres (Tableau 4).

Tableau 4 : Proportion de mesures pour laquelle il existe une concomitance d'échantillonnage permettant de mener des analyses de corrélation entre paramètres, selon les différentes catégories de paramètres.

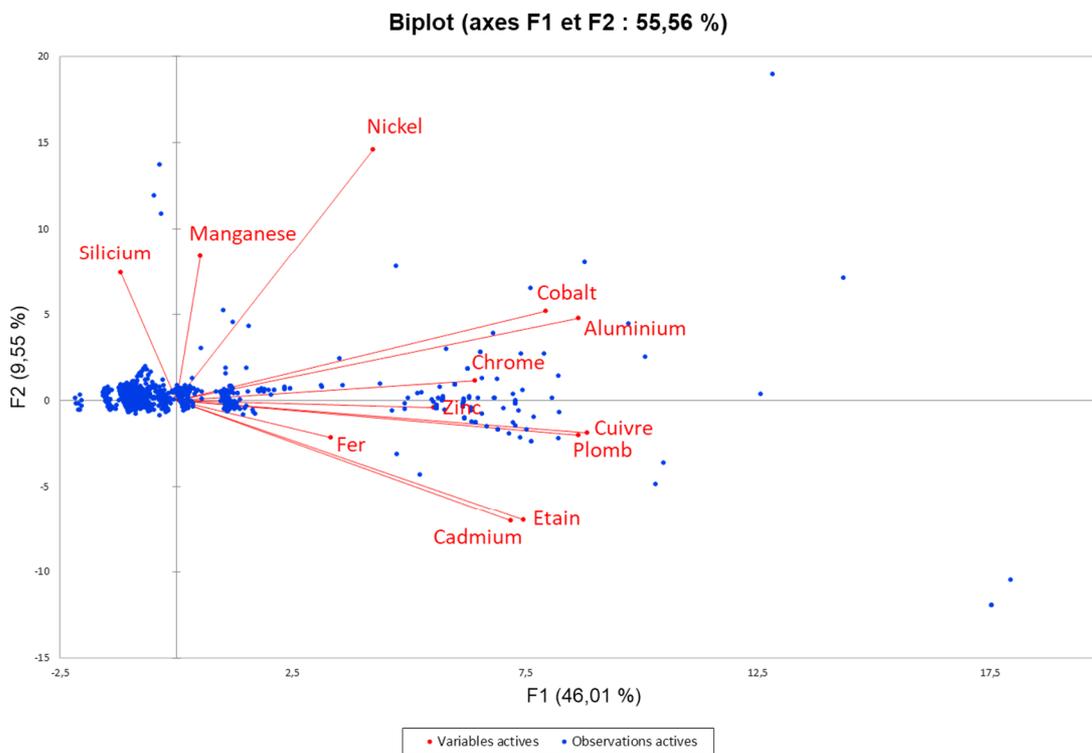
Catégorie de paramètre	Nb total mesures	Nb de mesures conjointes	% mesures conjointes	Commentaire
Métaux	48759	3338	6,9%	Ayant nécessité d'écarter quatre paramètres (Silicium, Mercure, ChromeVI, Arsenic), sinon le volume disponible s'affaiblit très fortement pour devenir négligeable
Éléments majeurs	21875	3193	14,6%	-
Profil aquatique	58171	651	0,1%	Ayant nécessité d'écarter deux paramètres (Potentiel d'Oxydo-Réduction, DBO), sinon le volume disponible s'affaiblit très fortement pour devenir négligeable
Sels nutritifs	9279	1305	14,1%	Ayant nécessité d'écarter un paramètre (Ammoniac), sinon le volume disponible s'affaiblit très fortement pour devenir négligeable
Matière organique	5208	200	3,8%	-
Autres paramètres chimiques	12962	842	6,5%	-

Cette configuration rend non-représentatif le jeu de données utilisable pour mener des analyses de corrélations réellement informatives, d'autant considérant que les situations de concomitance d'échantillonnage sont fortuites et non planifiées, et donc de répartition déséquilibrée entre les stations, bassins versants, zones, ou saisons, rendant leur interprétation vaine.

La discussion menée à ce sujet lors du groupe de travail n°1 a démontré qu'il s'agissait d'un problème récurrent lors de macroanalyses regroupant plusieurs suivis ou études sur la physico-chimie des eaux douces, n'ayant pas été spécifiquement configurés pour la conduite d'analyses conjointes d'un grand nombre de paramètres (mais souvent davantage pour la surveillance individuelle d'une suite de paramètre pouvant être très variable selon les suivis).

Il a donc été conclu que les jeux de données disponibles ne permettaient pas en l'état d'utiliser un critère de corrélation entre paramètres en vue de simplifier l'approche de la présente étude ou plus généralement les approches des diagnostics réalisés dans le cadre du BGS.

Les résultats des analyses de corrélations réalisées pour les métaux (qui représentent la catégorie sur laquelle il pouvait être attendu le plus de résultats en matière de corrélation et pouvant être considérée comme présentant un volume de données passable au regard du jeu de données total) sont donnés en Figure 1 à titre indicatif du travail réalisé dans le cadre de cette exploration, mais ne sont donc pas interprétés ou repris ultérieurement dans ce rapport.



Variabes	Aluminium	Cadmium	Chrome	Cobalt	Cuivre	Etain	Fer	Manganese	Nickel	Plomb	Silicium	Zinc
Aluminium	1											
Cadmium	0,573	1										
Chrome	0,554	0,392	1									
Cobalt	0,834	0,494	0,487	1								
Cuivre	0,823	0,642	0,633	0,762	1							
Etain	0,590	0,861	0,418	0,531	0,686	1						
Fer	0,285	0,214	0,195	0,228	0,289	0,213	1					
Manganese	0,068	0,017	0,027	0,056	0,024	0,016	0,012	1				
Nickel	0,554	0,185	0,239	0,491	0,271	0,192	0,093	0,064	1			
Plomb	0,793	0,615	0,606	0,717	0,935	0,670	0,284	0,025	0,275	1		
Silicium	-0,101	-0,066	-0,002	-0,089	-0,134	-0,088	-0,046	0,003	0,018	-0,144	1	
Zinc	0,513	0,381	0,343	0,385	0,475	0,370	0,159	0,020	0,184	0,491	-0,031	1

Figure 1 : Premier plan factoriel de l'analyse en composante principale réalisée sur les points présentant des mesures concomitantes pour 12 des 16 métaux présents dans le jeu de données, et matrice de corrélation correspondante.

IV.2. Pertinence thématique et sélection

En parallèle des potentialités analytiques traitées précédemment, l'intérêt thématique de chaque paramètre a été évalué, d'une part à dire d'expert en phase préparatoire au groupe de travail n°1 puis d'autre part en séance du groupe de travail afin de déterminer les paramètres qui, dans le cadre de la présente étude, apparaissaient les plus pertinents.

Cette pertinence a reposé notamment sur leur priorité exprimée par l'OEIL et/ou PRNC en matière de surveillance et de diagnostic, sur leur comportement connu ou suspecté en termes de fonctionnement géochimique et/ou de pouvoir indicateur de la qualité des milieux étudiés, ou encore sur la spécificité des perturbations qu'ils ciblent.

A ce titre, les 19 paramètres ayant été identifiés comme présentant une pertinence thématique suffisante pour être sélectionnés sont :

- Les métaux signant le lessivage et l'érosion des sols liés à l'activité minière ou industrielle (stockage des résidus issus de l'usine métallurgique au niveau de KO2) : Chrome, ChromeVI, Cobalt, Manganèse, Nickel, Fer ;
- Les métaux susceptibles de signer les activités industrielles : : Cobalt, Mercure, Plomb (bien que l'on ne retrouve a priori pas ce deux derniers dans la zone d'étude).
- Les éléments majeurs signant le temps de séjour des eaux dans le sous-sol (voire les rejets du bassin KO2 sur la Kwé) : Sulfates, Calcium, Magnésium, ou susceptibles d'être reliés aux procédés industriels : Chlore (utilisation d'acide chlorhydrique) ;
- Les paramètres permettant de suivre des résidus de polluants : hydrocarbures totaux, Nitrates (susceptibles de suivre les résidus d'explosifs⁶) ;
- Les paramètres relatifs à la matière organique, aux sels nutritifs, ou aux profils physico-chimiques clés : Carbone Organique Total, Nitrates, conductivité, Matières En Suspension, turbidité, pH.

Le Tableau 5 présente cette sélection sur base thématique, rappelle la sélection sur base analytique, et indique la sélection combinée qui a été réalisée et validée lors du groupe de travail n°1.

La liste des paramètres d'intérêt sur lesquels fonder l'examen critique des critères de diagnostic du BGS comprend les 17 paramètres suivants :

- Calcium ;
- Carbone organique total ;
- Chlorures ;
- Chrome ;
- Chrome VI ;
- Cobalt ;
- Conductivité ;
- Fer ;
- Hydrocarbures totaux ;
- Magnésium ;
- Manganèse ;
- Matière en suspension ;
- Nickel ;
- Nitrates ;
- pH ;
- Sulfates ;
- Turbidité.

⁶ Les explosifs contiennent du nitrate d'ammonium et leur utilisation pour fissurer les roches laissent des traces de nitrate dans l'environnement.

Plusieurs remarques peuvent être formulées concernant la pertinence thématique de certains paramètres discutée lors des réunions :

- Concernant la redondance et/ou de la complémentarité des paramètres de turbidité et de Matières En Suspension :
 - o Bien que supposée, une corrélation entre ces deux paramètres n'a pas pu être démontrée à partir des données de PRNC (y compris dans la présente étude, cf. ci-dessous), ne permettant donc pas de ne conserver que l'un des deux paramètres et d'utiliser comme proxy de l'autre ;
 - o Il est mentionné que la présence de Matières En Suspension en dehors d'une période de crue peut être révélatrice d'un incident sur mine ;
 - o Il a été décidé de conserver les deux paramètres, bien que la turbidité apparaisse potentiellement un peu moins intéressante/discriminante lorsqu'elle fait l'objet de mesures ponctuelles ;
Nota bene - Il existe des acquisitions en continu de ce paramètre mais uniquement sur deux stations de mesure (KAL et KOL). En l'absence de mesures en continu en zone de référence, seules les données ponctuelles de turbidité avaient été analysées dans le cadre de l'étude des gammes de référence et par conséquent dans le cadre de la présente étude.
- Plusieurs paramètres présentant un potentiel analytique satisfaisant n'ont pas été retenus en raison d'une pertinence thématique jugée moindre :
 - o L'oxygène dissous : ce paramètre est utile à la compréhension du fonctionnement écologique d'un cours d'eau toutefois il est souligné que pour constater une perturbation il serait préférable de réaliser des mesures de nuit, ce qui n'est pas le cas au sein du jeu de données disponible pour la présente étude ;
 - o Silicium : ce paramètre, susceptible d'être relié aux eaux souterraines, a été estimé redondant avec le magnésium ;
 - o Potentiel d'oxydo-réduction : ce paramètre covarie avec les concentrations en oxygène et indique la capacité du milieu à oxyder les particules notamment de matière organique ; sa relative stabilité n'amène que peu d'informations complémentaires en regard des informations amenées par les concentrations en ETM et ions majeurs ;
 - o Sodium : ce paramètre apporte des informations redondantes avec le Calcium et le Magnésium (en lien avec les stockages de résidus), ainsi que des informations redondantes avec les chlorures et le potassium lorsque les embruns marins sont à l'origine de leurs concentrations (analyse de la direction des vents dominants à prendre en compte) ;
 - o Potassium : idem Sodium ;
 - o Soufre : ce paramètre apporte des informations redondantes avec les Sulfates ;
 - o Température : ce paramètre oscille avec la saisonnalité des températures de l'air ambiant et n'apporte que peu d'informations sur la qualité des eaux dans le contexte du Grand Sud où aucune perturbation des températures des eaux n'est attendue sauf au niveau des rejets de la centrale de Prony Energy (cas particulier) ;
 - o Titre alcalimétrique complet⁷ : ce paramètre apporte des informations redondantes avec le Calcium et autres ions majeurs ;
- Quatre paramètres ne présentant pas un bon potentiel analytique ont été retenus en raison de leur intérêt thématique fort :

⁷ Le Titre alcalimétrique complet ou dureté de l'eau est un indicateur de la teneur en carbonates et hydrogénocarbonates de l'eau et donc indirectement de la teneur en calcium et autres ions majeurs.

- Carbone Organique Total : se justifiant notamment pour le suivi de l'influence des stations d'épuration lors de la construction et de la mise en route de l'usine, puis plus récemment pour accompagner le suivi des concentrations en ETM afin de mieux appréhender leur comportement⁸ ;
- Cobalt : se justifiant par l'importance de cet élément trace métallique dans les procédés industriels de l'usine du Sud ;
- Fer : se justifiant en tant que paramètre majeur dans les sols péridotiques du Grand Sud ;
- Hydrocarbures totaux : se justifiant par l'utilisation de nombreux hydrocarbures sur le site industriel et minier.

Tableau 5 : Présélections relatives aux potentialités analytiques générales et à la pertinence thématique, et sélection résultante des paramètres d'intérêt sur lesquels sera fondé l'examen critique des critères de diagnostic du BGS.

Paramètre	Sélection statistique	Sélection thématique	Sélection combinée
Aluminium			
Ammoniac			
Arsenic			
Azote total			
Brome			
Cadmium			
Calcium	Oui	Oui	Oui
Carbone org. total		Oui	Oui
Chlorures	Oui	Oui	Oui
Chrome	Oui	Oui	Oui
Chrome hexavalent	Oui	Oui	Oui
Cobalt		Oui	Oui
Conductivité	Oui	Oui	Oui
Cuivre			
Demande biochim. en ox.			
Demande chim. en ox.			
Etain			
Fer		Oui	Oui
Fluorures			
Hydrocarbures totaux		Oui	Oui
Magnésium	Oui	Oui	Oui
Manganèse	Oui	Oui	Oui
Matière en suspension	Oui	Oui	Oui
Mercure		Oui	
Nickel	Oui	Oui	Oui
Nitrates	Oui	Oui	Oui
Nitrites			
Oxygène dissous	Oui		
pH	Oui	Oui	Oui
Phosphates			
Phosphore			
Plomb		Oui	
Potassium	Oui		

⁸ La matière organique est le principal complexant des ETM dans les milieux aquatiques. La complexation des ETM à la matière organique explique en grande partie leur degré de biodisponibilité pour les êtres vivants et la distribution des ETM dans le milieu aquatique.

Potentiel d'oxydo-red.	Oui		
Silice			
Silicium	Oui		
Sodium	Oui		
Soufre	Oui		
Sulfates	Oui	Oui	Oui
Température	Oui		
Titre alcalimétrique			
Titre alcalimétrique complet	Oui		
Turbidité	Oui	Oui	Oui
Zinc			

IV.3. Visualisation des données pour les 17 paramètres sélectionnés et exploration d'une co-représentation avec les données pluviométriques

Des représentations graphiques ont été produites pour les 17 paramètres sélectionnés, avec pour objectifs de :

- Fournir une visualisation graphique des données disponibles en complément des tableaux descriptifs et des critères de sélection déclinés précédemment ;
- Alimenter, lorsque nécessaire, les réflexions relatives à l'examen critique des critères de diagnostics réalisées ci-après, en fournissant des représentations des profils temporels et de la structuration des données propres à chaque paramètre ;
- Contribuer à fournir des informations intégrées sur les données disponibles au sein des fiches synthétiques éditées pour chacun des 17 paramètres (cf. VI.3.).

Au-delà de leur utilisation dans le présent rapport, l'ensemble des graphiques produits a été livré à l'OEIL sous des formats de fichiers numériques individuels afin de faciliter leur éventuelle réutilisation ultérieure ou pour alimenter de futures réflexions relatives au BGS.

Trois grands types de représentations graphiques ont été élaborés :

- Des graphiques de type *boxplots* (Figure 2) permettant de visualiser en détail la variabilité inter-annuelle et intra-annuelle des données pour un paramètre donné, soit :
 - o pour chacune des deux zones d'influence (référence, sous influence), soit 34 graphiques (17 paramètres et 2 zones) ;
 - o par station (1 581 graphiques, livrés sous format numérique uniquement).

Pour l'ensemble des *boxplots* produits dans cette étude, leur structure est identique et comprend :

- o Une *box* (rectangle vert ou rouge selon la zone) : elle s'étend du premier quartile (25%) au troisième quartile (75%) de l'année à laquelle il correspond, et la ligne horizontale qu'elle contient correspond à la médiane (percentile 50) ;
 - o Un rond rouge correspondant à la moyenne annuelle ;
 - o Des traits verticaux partant de la *box* : ils s'étendent jusqu'à la plus grande (haut) et la plus petite (bas) valeur mesurée, sauf lorsque des valeurs excentriques sont présentes ;
 - o Les valeurs excentriques (i.e. valeurs situées à plus de 3 fois la distance interquartile) : lorsqu'elles existent, elles sont représentées par des ronds de la même couleur que la *box* (atténuée).
- Des graphiques descriptifs (Figure 2) présentant la structure des nuages de points pour un paramètre donné au cours de l'année 2020 (un point correspondant à une valeur mesurée), qui

sont donnés à titre informatif et d'archivage en Annexe 6 (soit 34 graphiques : 17 paramètres, 2 zones) ;

- Des représentations graphiques conjointes (Figure 3) des données acquises pour un paramètre donné (soit 34 graphiques : 17 paramètres, 2 zones), et des données de pluviométrie disponibles (sur 2017 à la station pluviométrique de GORO-RESIDUS et sur 2020 à la station pluviométrique de GORO-USINE).

Bien que le point focal des diagnostics du BGS, et donc de leur examen critique, soit la zone sous influence⁹ (figurés rouges), il a été décidé de faire apparaître systématiquement sur les graphiques la structure des données de référence (figurés verts) sur la même série temporelle, pour information et mise en perspective des profils observés.

Concernant plus spécifiquement les visualisations croisées avec la pluviométrie (Figure 3), celles-ci avaient pour objectifs de :

- Compléter les éléments descriptifs ci-dessus (Figure 2) en fournissant une mise en contexte des profils temporels observés pour ces paramètres ;
- Observer, visuellement et à dire d'expert, si des schémas de réponse ou de corrélation pouvaient être discernés pour certains paramètres dont les teneurs dans les eaux douces de surface sont supposées être influencés par la pluviométrie (ex. : turbidité, matières en suspension, métaux). La mise en lumière de ces schémas permettrait de mieux appréhender le fonctionnement géochimique de ces cours d'eau.
- Contribuer à fournir des informations intégrées et contextuelles sur les données disponibles au sein des fiches synthétiques éditées pour chacun des 17 paramètres (cf. ci-après).

A cette fin, un jeu de données complémentaire et rassemblant des données pluviométriques journalières rendues disponibles par l'OEIL dans la zone de activités industrielles et minières de PRNC a été constitué, puis fusionné avec le jeu de données principal sur la base des dates (de prélèvements et de mesures). Ce jeu de données regroupait les données de précipitations acquises sur deux stations :

- La station GORO_RESIDUS, données disponibles de 2016 à 2017 ;
- La station GORO_USINE, données disponibles de 2018 à 2020.

Etant donné les situations de micro-climat connues dans la zone du Grand Sud et afin d'affiner au mieux la correspondance entre mesures physico-chimiques et pluviométriques, une sous-sélection a été opérée sur le jeu de données en ne conservant que les bassins versants pouvant être considérés comme proches des points de mesures pluviométriques disponibles (sélection réalisée à dire d'expert et validée lors du groupe de travail n°2) :

- Station GORO_RESIDUS :
 - o Bassins versants de référence : Kuebini, Wadjana ;
 - o Bassin versant sous influence : Kwé ;
- Station GORO_USINE :
 - o Bassins versants de référence : Kaori, Trou Bleu ;
 - o Bassins versant sous influence : Kadjo, CBN, Truu.

⁹Les données de référence sont mobilisées dans ce diagnostic sous la forme de gammes de référence précalculées et non sous la forme de données brutes.

Sur la base de ce jeu de données, une suite de graphiques a été produite pour l'ensemble des 17 paramètres dans les deux situations suivantes :

- En 2017 sur la station GORO_RESIDUS, car il s'agit de la seule année de données complètes sur cette station pluviométrique ;
- En 2020 sur la station GORO-USINE, car il s'agit de l'année dont le diagnostic est examiné dans la présente étude et comportant, avec l'année 2019, le plus grand volume de données pluviométriques sur la série 2018-2020 disponible sur cette station.

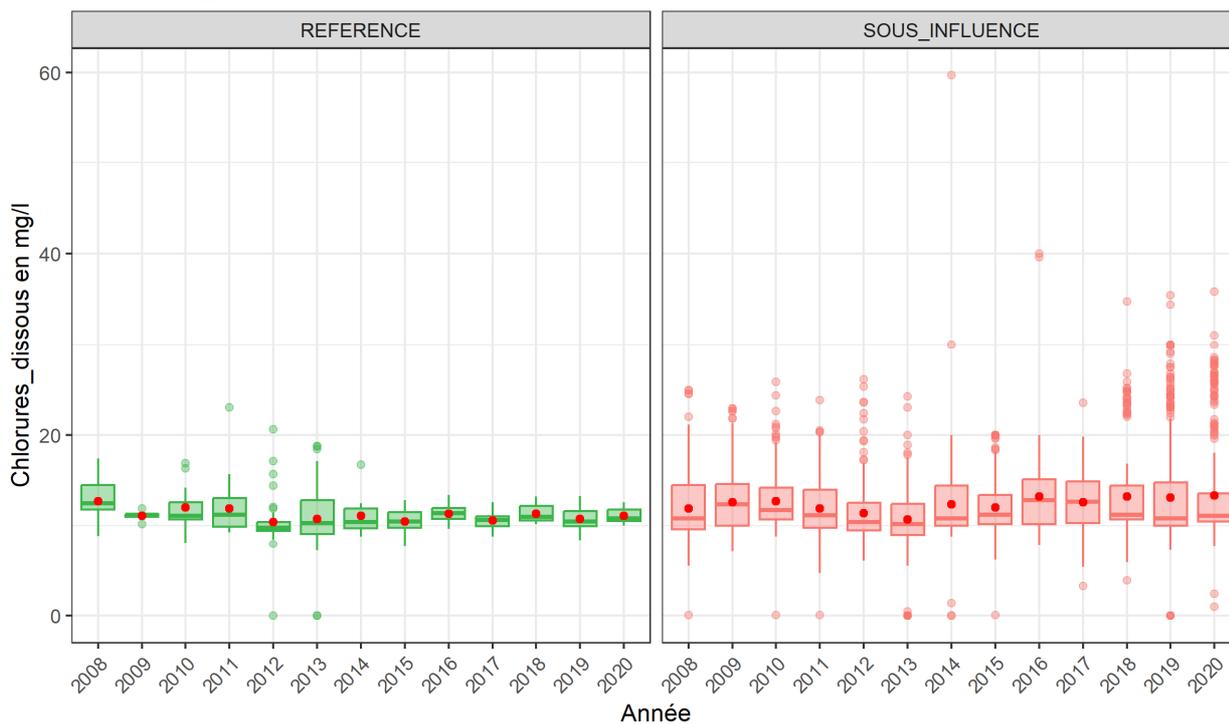
L'examen des rendus graphiques exploratoires qui ont été obtenus, tant avec l'OEIL que lors de groupes de travail, n'a pas permis de faire ressortir de schémas évidents de corrélation entre la pluviométrie et les profils graphiques des principaux paramètres.

Ceci n'enlève pas le caractère informatif et contextuel de ces représentations graphiques, dont les rendus 2020 seront intégrés aux fiches synthétiques (cf. ci-après), et dont l'ensemble des fichiers graphiques a été fourni à l'OEIL au format numérique.

Cette absence de schémas clairs sur la base des données disponibles suite à l'exploration d'une co-représentation des différents paramètres avec la pluviométrie n'est pas apparue surprenante lors des discussions en groupes de travail. En effet :

1. Les processus en jeu sont excessivement complexes et le design des mesures (tant physico-chimiques que pluviométriques) n'a pas été conçu pour mener ce type d'investigation. Il a été souligné à ce titre que l'influence des eaux souterraines devrait par exemple être un paramètre explicatif important à prendre en considération si la relation entre pluviométrie et paramètres suivis devait être approfondie ultérieurement et au-delà de cette première approche graphique.
2. Les chroniques de données à disposition pour la pluviométrie n'étaient que parcellaires et l'intégration de chroniques plus fournies et représentatives restent à tester.

Chlorures_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Chlorures_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020

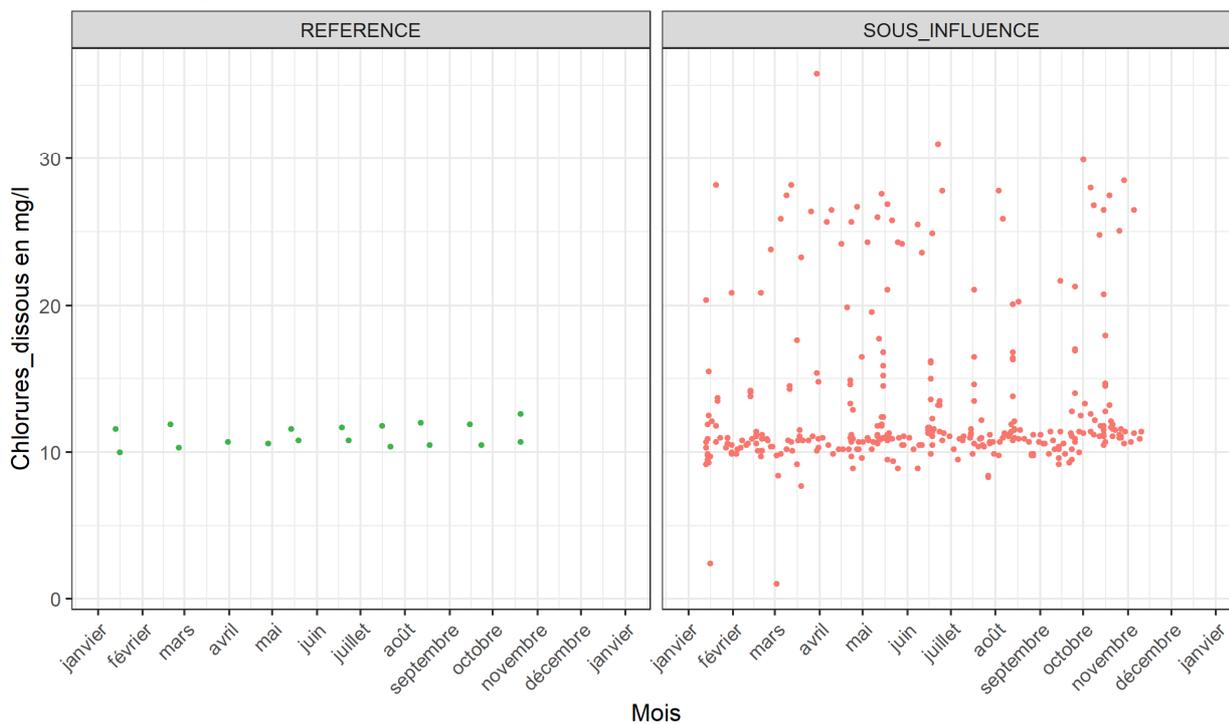


Figure 2 : Types de profils graphiques produits pour chacun des 17 paramètres sélectionnés : exemple des chlorures (haut : variations inter-annuelles ; bas : variations intra-annuelles pour l'année 2020).

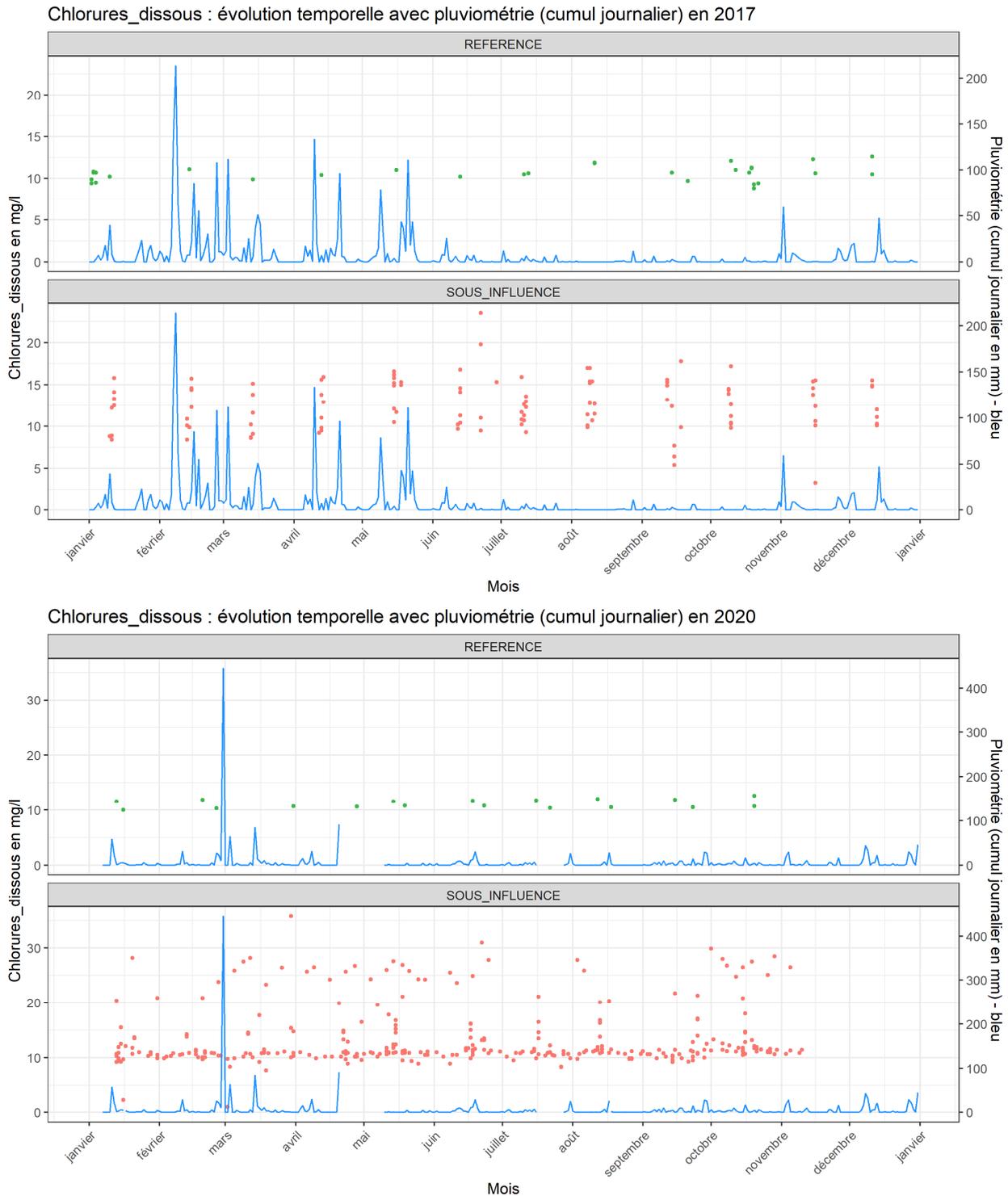


Figure 3 : Types de profils graphiques produits afin d’explorer une co-représentation des données de suivi avec les données de pluviométrie disponibles pour chacun des 17 paramètres sélectionnés : exemple des chlorures (haut : données 2017 de la station pluviométrique GORO-RESIDUS et données physicochimiques des stations Kuebini, Wadjana (référence) et Kwé (sous influence) ; bas : données 2020 de la station pluviométrique GORO-USINE et données physicochimiques des stations Kaori, Trou Bleu (référence) et Kadji, CBN, Truu (sous influence)).

Chapitre V - Benchmark des valeurs guides pour la qualité physico-chimique des eaux douces de surface

Note bene - Ce benchmark a été fourni en cours d'étude en tant que documentation préparatoire au groupe de travail n°2.

V.1. Méthode

V.1.1. Champs du benchmark

Les périmètres de l'analyse menée pour ce benchmark incluent les aspects suivants :

- Périmètre géographique : National (France), Régional (Australie, Nouvelle-Zélande), international (USA) ;
- Périmètre temporel : les approches récentes (postérieures à 2000) ont été considérées ;
- Périmètres thématiques :
 - le suivi de la qualité chimique des eaux de surface avec pour objectif la protection de l'environnement ;
 - le suivi de la qualité chimique des eaux de surface avec pour objectif la protection de la santé humaine (eau de boisson et baignade). La santé humaine étant étroitement liée à la santé de l'environnement les approches méthodologiques visant la protection de ces deux thèmes sont également étroitement liées.

V.1.2. Collecte d'informations

La stratégie de collecte d'informations a été basée sur :

- La recherche des différents documents guides nationaux (France, Australie, Nouvelle-Zélande, USA) pour le suivi de la qualité chimique des eaux ou la recherche des différentes valeurs guides retenues par les différents territoires pour qualifier l'état chimique¹⁰ ;
- La caractérisation des différentes méthodes/approches utilisées pour établir ces documents ou valeurs guides.

Lors de ce travail, nous avons surtout cherché à identifier les approches méthodologiques utilisées pour définir les différentes valeurs et à matérialiser les avantages et inconvénients de chacune de ces méthodes.

V.2. Résultats

V.2.1. Des valeurs guides pour quels objectifs ?

¹⁰ C'est l'un des éléments qui permet de définir l'état de santé d'une masse d'eau. Il est déterminé en fonction du respect ou non de valeurs seuils de concentration pour un certain nombre de substances chimiques.

Les différentes approches utilisées pour définir des valeurs guides sont étroitement dépendantes des objectifs de gestion visés. Ces objectifs peuvent être regroupés selon les thèmes suivants :

- Les écosystèmes aquatiques ;
- Les usages agricoles (élevage et irrigation) ;
- L'eau de boisson (AEP- Alimentation en Eau Potable) ;
- Les usages récréatifs (baignade, loisirs) ;
- Les valeurs culturelles et spirituelles de l'eau.

En fonction de ces thèmes, une liste de paramètres différents sont à surveiller et pour chacun d'entre eux des valeurs guides sont fixées. Ces valeurs deviennent des normes opposables aux tiers si elles sont reprises par la réglementation des territoires.

Ce découpage par objectif se retrouve dans l'ensemble des réglementations nationales analysées (Australie, Nouvelle-Zélande, France, USA). Quel que soit le pays, les approches permettant de définir les valeurs guides à respecter pour les différents paramètres évoluent en fonction des thèmes et du type de paramètres. Pour la protection de la santé humaine (eau de boisson, baignade), ces valeurs guides sont définies à partir de valeur toxicologique de référence (VTR) issues de bio-essais en laboratoire. Ces mêmes bio-essais, mais sur des modèles biologiques différents, peuvent être utilisés pour définir des valeurs de toxicité sur les différents compartiments de l'environnement et participer à la définition de valeurs guides pour la protection des milieux aquatiques et de l'ensemble des thèmes. Une norme de qualité est ainsi définie pour chacun de ces thèmes : en Europe on parle de norme de qualité spécifique (QS)¹¹, qui une fois agrégées entre elles permettent de définir une NQE.

Depuis l'avènement de la DCE¹² en Europe, la qualité chimique des masses d'eau est définie à partir des concentrations de certaines substances chimiques (substances prioritaires). Pour chacune de ces substances sont définies des normes de qualités spécifiques (QS) pour la protection des différents thèmes. L'ensemble des QS sont agglomérées en une valeur unique : la norme de qualité environnementale (NQE). Cette NQE est définie en retenant la valeur la plus contraignante parmi les QS relatives aux différents objectifs de protection.

¹¹ QS ou Quality Standard ou norme de qualité spécifique en français est définie pour chacun des objectifs de protection (protection des organismes vivant dans l'eau ou les sédiments, protection de la santé humaine, ...) Ces normes sont basées sur un jeu de données générées par des essais d'écotoxicité menés sur des organismes aquatiques représentatifs. Ces valeurs de référence sont :

- $QS_{w,eco}$: valeur de référence spécifique applicable dans l'eau visant la protection des organismes pélagiques d'eau douce, hors prédateurs ;
- $QS_{dw,hh}$: valeur de référence spécifique visant la protection de la santé humaine au regard de la consommation d'eau de boisson ;
- $QS_{sediment}$: valeur de référence spécifique applicable dans les sédiments visant la protection des organismes benthiques d'eau douce contre une écotoxicité directe ;
- $QS_{biota,sec\ poi,w}$: valeur de référence spécifique applicable dans le biote visant la protection des prédateurs supérieurs (mammifères, oiseaux) contre un empoisonnement secondaire ;
- $QS_{biota, hh\ food}$: valeur de référence spécifique applicable dans l'eau (eau de surface), visant la protection de la santé humaine contre un risque d'exposition chronique via la consommation de produits de la pêche.

¹² Directive Cadre sur l'Eau : il s'agit d'une directive européenne en date d'octobre 2000 qui vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation avec une politique communautaire globale dans le domaine de l'eau. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grands bassins hydrographiques au plan européen, avec une perspective de développement durable.

V.2.2. Valeurs écotoxicologiques de référence (EQS) : NQE

Les valeurs écotoxicologiques de référence (EQS ou NQE) sont des valeurs seuils définies pour chacune des substances considérées par le législateur comme potentiellement toxiques pour l'Homme et l'environnement. Ces EQS protègent aussi bien les écosystèmes aquatiques que la santé humaine (eau de boisson ou ingestion de produits dérivés de ces écosystèmes). En fonction du comportement de la substance au sein des milieux aquatiques, les risques qu'elle représente pour les différents organismes récepteurs vont varier. De l'analyse de ces risques découle le choix des standards de qualité (QS) à considérer dans le calcul de l'EQS. Ces standards sont des valeurs seuils définies sur la base de compilation des différentes données toxicologiques disponibles (EC₅₀, EC₁₀, NOEC₅₀, NOEC₁₀) auxquelles différents facteurs d'extrapolation (ou facteur de sécurité) sont appliqués selon des règles bien précises. Chaque QS permet de définir une valeur seuil permettant de protéger l'organisme récepteur contre les potentiels effets néfastes de la substance et ce en fonction des différentes voies d'exposition possibles.

Une fois ces différents standards de qualité (QS) définis, le plus contraignant est retenu comme valeur écotoxicologique de référence (EQS) pour la substance considérée.

Nota bene - Toutes les valeurs de QS n'étant pas exprimées dans la même unité, ces dernières sont systématiquement converties en concentrations équivalentes dans l'eau (µg/L généralement). Pour ce faire, des règles de calcul ont été préétablies et font appel à la notion de facteur de bioconcentration (entre le milieu et les organismes), ainsi qu'à la notion de facteur de bioamplification au sein des réseaux trophiques (entre organisme proie et prédateur).

L'ensemble des détails relatifs à ces calculs et modalités de conversion sont décrits dans *Technical Guidance for deriving Environmental Quality Standards (2011)*.

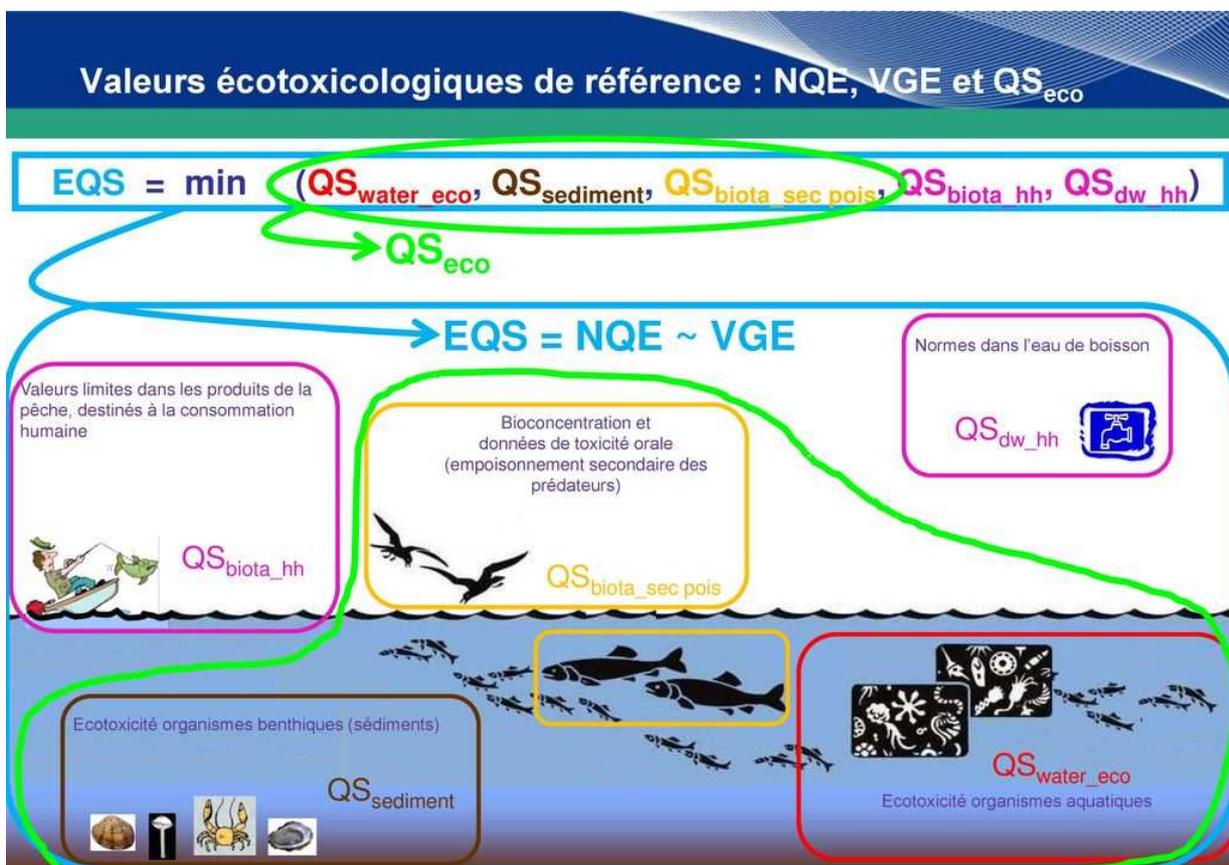


Figure 4 : Illustration du concept d'EQS et de ses modalités de calculs (source : INERIS, 2011)

Selon la définition 35 de l'article 2 de la DCE, une NQE¹³ (EQS en anglais) représente la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluant dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement. En Europe, la DCE distingue deux types de NQE :

- celles retenues pour évaluer l'état chimique, qui concerne une liste de substance prioritaire définie par chacun des états membre. La NQE de chacune des substances est définie au niveau européen et est publiée au sein des textes réglementaires de la DCE
- celles retenues pour les polluants spécifiques de l'état écologique¹⁴ dont la liste est établie au niveau national sur la base d'une liste indicative publiée par la DCE au niveau européen. Pour ces substances, l'INERIS propose des valeurs guides environnementales (VGE) qui ne deviennent des NQE, c'est-à-dire des valeurs seuils à portée réglementaire que si le ministère en charge de l'écologie les reprend et les publie dans un arrêté à portée nationale.

V.2.3. Approches envisageables pour dériver les normes de qualité spécifique (QS) pour la protection de l'environnement aquatique

La protection de l'environnement aquatique étant « le thème » qui nous intéresse dans le cadre de ce travail, nous ciblerons la suite de ce benchmark sur les approches utilisées pour dériver des valeurs guides permettant d'atteindre cet objectif.

L'analyse des différents documents guides révèle l'existence de deux grands types d'approches :

- Celles basées sur l'observation d'effets écologiques générés par la ou les substances étudiées. Ces approches regroupent :
 - Les valeurs guides issues de travaux d'écotoxicologie en laboratoire. Ces approches sont celles utilisées généralement pour les substances chimiques telles que les pesticides, les organochlorés, les perturbateurs endocriniens ou les métaux lourds ;
 - Les valeurs guides issues de travaux menés *in situ* visant à identifier les interactions entre les concentrations d'une ou plusieurs substances chimiques et certains aspects écologiques du milieu ;
- Celles basées sur l'analyse des valeurs du paramètre dans le milieu naturel en l'absence de perturbation (gamme de référence). En l'absence de données sur les effets écologiques d'une substance, ces approches permettent de définir des valeurs seuils basées sur le comportement des paramètres physico-chimiques étudiés au sein d'une masse d'eau non altérée par des usages anthropiques.

Les *documents guides* australiens précisent que, dans la pratique, il est nécessaire de considérer ces deux types d'approches afin de prendre en considération l'ensemble des résultats obtenus pour définir une valeur guide¹⁵.

¹³ Les Normes de Qualité Environnementales sont selon la définition 35 de l'article 2 de la DCE : la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement.

¹⁴ Il résulte de l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés à cette masse d'eau. Il est déterminé à l'aide d'éléments de qualité : biologique (espèces végétales et animales), hydromorphologiques et physico-chimiques

¹⁵ Concentration indicative d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou les biotes à ne pas dépasser afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Valeur déterminée selon la même

V.2.3.a. Les approches basées sur l'observation d'effets biologiques et écologiques

Ces approches regroupent tout un panel de procédures qui permettent de définir des valeurs guides en se basant sur les effets biologiques (mortalités, formes tératogènes chez l'embryon ou adultes, ...) et écologiques (chute de la reproduction) des substances étudiées. Elles s'articulent autour des approches utilisant :

- Des valeurs guides locales, obtenues à partir de données relatives aux effets biologiques observés sur le terrain ou en laboratoire à partir d'organismes de la zone d'étude et dans les conditions abiotiques de la zone d'étude ;
- Des valeurs guides par défaut, obtenues en utilisant l'ensemble des données relatives aux effets biologiques obtenues en laboratoire exclusivement et en les agglomérant pour en déduire une valeur guide par défaut qui servira de référence pour la protection des milieux aquatiques contre les effets toxiques d'une substance donnée ;

Quelle que soit l'approche utilisée, la démarche permettant d'obtenir une valeur guide en se basant sur les effets biologiques et écologiques des substances étudiées repose sur la succession d'étapes clés suivantes :

- Identifier les compartiments à risques ;
- Collecter les données existantes et évaluer leur qualité ;
- Extrapoler des concentrations seuils (QS) à partir des données collectées et retenues pour chacun des compartiments à risque ;
- Proposer une concentration seuil et identifier les hypothèses clés et incertitudes associées ;
- Définir la norme (ex : NQE) ;
- Appliquer la norme (concevoir un système d'évaluation de la conformité et prévoir les besoins en termes de surveillance).

La disponibilité de données relatives aux effets biologique et/ou écologique du paramètre étudié au droit du périmètre géographique de travail est bien souvent l'étape limitante de ce type d'approche et oriente le choix vers l'utilisation d'une valeur guide par défaut ou l'utilisation d'approche non basée sur les effets biologiques et écologiques (cf. ci-après).

i. Valeurs guides par défaut (ou NQE par défaut)

Ce type de valeurs fournit un point de départ générique pour évaluer la qualité de l'eau au sein d'une zone géographique où les données relatives aux effets biologiques et/ou écologiques d'une substance sont inexistantes. En l'absence de mieux, il pourra être utilisé des valeurs guides obtenues dans d'autres régions.

La définition de ce type de valeur guide est dépendante du nombre de données (relatives aux effets biologiques obtenus en laboratoire) disponibles, du type de données (valeurs de toxicité aiguë, chronique, EC10, LC50, etc.), de la qualité de ces données (les conditions de leur obtention), ainsi que pour certaines

méthodologie que la NQE, mais sans portée réglementaire, en général recommandée par une autorité et utilisée avec un jugement professionnel. Elle constitue un objectif cible de qualité.

substances potentiellement toxiques des paramètres (notamment les métaux et métalloïdes) du milieu ambiant qui peuvent influencer leur toxicité

La littérature et les documents guides de différents pays fournissent une liste de valeurs guide par défaut pour différentes substances. Ces différentes valeurs sont définies à partir des diverses approches écotoxicologiques décrites dans ce document. Elles sont développées pour un contexte géochimique donné très différent du contexte calédonien, ne peuvent être transposées en l'état au contexte calédonien caractérisé par de très fortes valeurs naturelles en certains ETM. Les processus de construction de ces valeurs par défaut sont très bien documentés, notamment dans Warne et al. (2018) qui ont synthétisé l'ensemble des éléments nécessaires à la dérivation d'une norme de qualité et à la qualification de celle-ci (degré de fiabilité).

Ils fournissent également un ensemble de recommandations vis-à-vis de l'utilisation de ces valeurs. La première de ces recommandations est de ne pas utiliser simplement la valeur donnée, mais de s'assurer en parallèle de disposer de plusieurs signes de l'évidence d'un effet de la substance sur le milieu étudié (que ce soit des effets observés sur la biodiversité (altération des communautés : indicateur biologique, richesse, etc.) ou sur les organismes (biomarqueurs ou niveau d'accumulation) (Cormier et al. 2008, Van Dam et al. 2014 ; Moore et al. 2017). Ces autres preuves sont d'autant plus importantes si la valeur guide utilisée par défaut possède un degré de fiabilité modérée à faible (exemple des métaux : ANZECC/ARMACANZ 2000a et b).

Enfin, il est important de souligner que ces différents guides précisent que les valeurs par défaut possédant un degré de fiabilité faible à très faible ne doivent être utilisées que de manière temporaire, le temps d'acquérir des données sur la toxicité de la substance et de compléter les procédures pour renforcer le degré de fiabilité des valeurs guides, voire de définir une valeur guide locale spécifique à la zone étudiées (valeur la plus robuste).

ii. Les valeurs guides locales

Les approches permettant de dériver des valeurs site-spécifiques (valeurs guides locales) sont celles qui permettent d'obtenir les valeurs les plus robustes. L'obtention de ces valeurs s'appuie sur le même processus de construction que celui utilisé à plus large échelle pour obtenir des valeurs guides par défaut. La différence principale réside dans l'origine géographique des données utilisées pour quantifier les effets de la substance sur la biologie et/ou l'écologie : elles sont toutes issues de l'écorégion étudiée et peuvent être issues d'observations de terrain.

Ces données sont issues soit :

- De travaux de toxicologie en laboratoire utilisant les espèces locales et prenant en compte les conditions abiotiques locales (pH, redox, DOC, etc.) ;
- De travaux *in situ* de monitoring au sein de l'écosystème même permettant de caractériser le lien de cause à effet entre une substance donnée et les effets observés sur les organismes, communautés ou écosystèmes locaux. Ces travaux peuvent être :
 - Des observations et mesures *in situ* faites dans le milieu aquatique le long d'un gradient de pression pour une substance donnée ;
 - Des expérimentations en mésocosmes (systèmes artificiels reproduisant les conditions de l'écosystème étudié) ;

- Des expérimentations en « caging¹⁶ » notamment pour caractériser les effets à l'échelle des organismes (bioaccumulation et biomarqueurs).

Les données issues des expérimentations menées *in situ* présentent plusieurs avantages par rapport aux données obtenues en laboratoire. Ces avantages découlent principalement du fait qu'en laboratoire les valeurs obtenues ne tiennent pas compte de la complexité des écosystèmes et des interactions en place qui peuvent amener à sous-estimer ou surestimer l'effet toxique d'une substance. Par contre, ce type d'expérimentation est souvent plus onéreuse et consommatrice de ressources humaines que les approches en laboratoire. L'Europe et les Etats-Unis disposent de plateformes spécialisées dédiées au développement d'études en mésocosmes, point qui facilitent grandement l'acquisition de ce type de données.

iii. Extrapolation

Que ce soit pour les valeurs guides par défaut ou les valeurs guides locales, leur utilisation pour définir une valeur seuil nécessite systématiquement une étape d'extrapolation (comme déjà indiqué précédemment dans la présentation de la démarche d'obtention d'une valeur guide en V.2.3.a) permettant de tenir compte des incertitudes liées aux variations inter ou intra spécifiques, mais également aux différences existantes entre un « milieu » simulé en laboratoire et un milieu naturel.

Deux approches sont principalement utilisées pour extrapoler des valeurs seuils ou standards de qualité (QS) :

- L'approche probabiliste basée sur un modèle de sensibilité des espèces. Elle consiste à utiliser les valeurs de toxicité définies pour les différentes espèces de l'écosystème considéré (habituellement des NOEC¹⁷) pour établir un modèle prédictif permettant de définir les concentrations en deçà desquelles plus de 99 ou 95% des espèces sont protégées.
- L'approche déterministe qui se base sur l'utilisation de facteurs logarithmique appliqués à la plus faible valeur crédible de toxicité (NOEC par exemple). Ces facteurs fluctuent de 1 à 10 000 en fonction de règles bien définies (cf. tableau 5). Elle est généralement employée lorsque le nombre de valeurs de toxicité est trop faible pour l'utilisation d'une approche probabiliste, ou en complément de celle-ci pour tenir compte des dernières incertitudes demeurant après l'étape de modélisation ;

¹⁶ Caging : action qui consiste à exposer des organismes aux conditions physico-chimiques du milieu naturel en les enfermant dans des cages immergées directement dans le cours d'eau, plan d'eau ou milieu marin.

¹⁷No Observed Effect concentration : valeur d'écotoxicité issue d'essais d'écotoxicité en laboratoire. Ces valeurs sont les concentrations maximales testées d'une substance ou d'un groupe de substances pour lesquelles aucun effet statistiquement significatif n'est observé sur les organismes tests..

Tableau 6 : Facteur d'extrapolation à appliquer aux valeurs toxicologiques pour dériver des valeurs seuils de qualité (QS) (source : Guidance N°27 for deriving EQS).

Available data	Assessment factor
At least one short-term L(E)C50 from each of three trophic levels (fish, invertebrates (preferred <i>Daphnia</i>) and algae) (i.e. base set)	1000 ^{a)}
One long-term EC10 or NOEC (either fish or <i>Daphnia</i>)	100 ^{b)}
Two long-term results (e.g. EC10 or NOECs) from species representing two trophic levels (fish and/or <i>Daphnia</i> and/or algae)	50 ^{c)}
Long-term results (e.g. EC10 or NOECs) from at least three species (normally fish, <i>Daphnia</i> and algae) representing three trophic levels	10 ^{d)}
Species sensitivity distribution (SSD) method	5-1 (to be fully justified case by case) ^{e)}
Field data or model ecosystems	Reviewed on a case by case basis ^{f)}

V.2.3.b. Les approches basées sur l'évolution naturelle du paramètre ou substance dans le milieu naturel

Ce type d'approche ne se base plus sur l'observation d'un effet biologique et/ou écologique, mais pose l'hypothèse que si les valeurs d'un paramètre évoluent au-delà de la gamme naturelle de variation de celui-ci, alors un effet biologique et/ou écologique survient. En l'absence de données toxicologiques adaptées, ce type d'approche fournit une première valeur guide permettant d'orienter les choix de gestion. Soulignons que cette approche qui entre dans la panoplie des approches site-spécifiques est préférée à l'utilisation de valeurs guides par défaut par de nombreux gestionnaires (Australie, Nouvelle-Zélande, USA).

L'obtention de ces valeurs passent par un processus de construction similaire, quel que ce soit le pays qui les utilise. Les étapes clés de ce processus sont synthétisées ci-après :

- L'identification de l'hydroécocorégion (niveau 2) à laquelle appartient le ou les cours d'eau de référence suivis ;
- La collecte des données de monitoring relatives au paramètre étudié (pour les paramètres naturellement présents dans le milieu naturel) ;
- La mise en place d'une approche statistique basée sur l'utilisation du percentile pour définir une valeur guide.

L'étape limitante de cette approche est bien souvent la profondeur du jeu de données à disposition sur un cours d'eau de référence dans l'hydroécocorégion d'intérêt. En effet n'importe quel paramètre du milieu naturel connaît des variations. Ce degré de variation est à l'origine d'erreur dans la définition des valeurs statistiques descriptives de ce paramètre. Ce degré d'erreur peut être réduit en augmentant le nombre de mesures. De fait, lorsque l'on cherche à définir un percentile 20 ou 80, il est préconisé par les différents documents guide en la matière de disposer de jeu de données contenant à minima 14 à 18 valeurs. Du fait de la saisonnalité qui peut être marquée, il est préconisé que ce jeu de données couvre l'ensemble des saisons afin de tenir compte d'un éventuel effet saison (1 an si on parle de variations intra-annuelles ou 2 ans voire plus si on parle de variations interannuelles). Si un effet saison existe, il est préconisé de stratifier les mesures par saison et de définir des valeurs guides pour chacune d'entre-elles, tout en visant 14 à 18 valeurs par jeu de données à analyser pour minimiser le degré d'erreur (Queensland guideline, Tasmania Guideline). Globalement, il ressort la nécessité de disposer idéalement de 2 ans de mesures

mensuelles au droit de 1 à 2 sites de référence (soit un jeu de données contenant a minima entre 24 et 48 mesures).

L'autre point clé de cette approche est la définition du niveau de percentile à utiliser. Ce choix n'est pas fait au hasard et repose sur des critères de sélection qui varient en fonction des pays.

L'Australie et la Nouvelle-Zélande, mais également les USA reconnaissent que les valeurs guides peuvent varier en fonction du niveau de protection souhaité pour l'écosystème aquatique. Ce niveau de protection dépend de l'état écologique de celui-ci (à savoir que plus l'état écologique du cours d'eau est préservé, plus le niveau de protection souhaité est ambitieux et inversement). Le tableau suivant, illustre ce système de classement pour les eaux australiennes et néo-zélandaises (Tableau 7).

Sur la base du découpage des masses d'eau en fonction du niveau de protection souhaité, les valeurs guides sont définies à l'aide de différents percentiles. A noter que les changements sont également recherchés sur l'ensemble de la gamme de distribution des valeurs (Tableau 8).

Tableau 7 : Les différents niveaux de protection et objectifs de gestion pour les masses d'eau australiennes et néo-zélandaises de surface, d'après Environmental Policy and Planning Division, State of Queensland (2022).

Niveau de protection	Description	Intention de gestion
Les masses d'eau de forte valeur écologique	Masses d'eau pour lesquelles l'intégrité biologique n'est pas altérée et présente une forte valeur	Maintien ou restauration des conditions naturelles
Les masses d'eau faiblement perturbées	Masses d'eau ayant l'intégrité d'une masse d'eau de forte valeur écologique, mais légèrement altérée	Améliorer progressivement l'état pour atteindre une forte valeur écologique
Les masses d'eau modérément altérées	Masses d'eau où l'intégrité biologique est défavorablement affectée par une activité humaine à un degré mineur mais mesurable	Maintenir ou restaurer les objectifs de qualité fixés pour ces masses d'eau
Les masses d'eau fortement perturbées	Masses d'eau qui sont significativement altérées par des activités humaines et/ou de faible valeur écologique	Améliorer progressivement l'état pour atteindre les objectifs de qualités retenus pour celles-ci

Tableau 8 : Les valeurs guides (percentiles) des différents niveaux de protection, d'après Environmental Policy and Planning Division, State of Queensland (2022).

Niveau de protection	Site de référence	Valeurs guides
Les masses d'eau de forte valeur écologique	La masse d'eau elle-même ou des masses d'eau similaires si peu de données sur celle-ci	Les 20 ^{ème} , 50 ^{ème} et 80 ^{ème} percentiles
Les masses d'eau faiblement perturbées	Masses d'eau faiblement perturbées	Les 20 ^{ème} , 40 ^{ème} et 70 ^{ème} percentiles
	Masses d'eau similaires de forte valeur écologique	Les 20 ^{ème} , 50 ^{ème} et 80 ^{ème} percentiles
Les masses d'eau modérément altérées	Masses d'eau similaires non impactées	Le 80 ^{ème} percentile
	Meilleures références possibles en l'absence de référence non impactée	Le 40 ^{ème} percentile
Les masses d'eau fortement perturbées		Non applicable, approche spécifique à développer en fonction des objectifs de gestion, tout en intégrant une analyse coût-bénéfices

V.2.4. Modalités de calculs pour qualifier l'état chimique des masses d'eau

Une fois les valeurs guides établies, celles-ci doivent être accompagnées des modalités de calcul qui permettent de définir la qualité physico-chimique des masses d'eau qui seront suivies (bonne ou mauvaise qualité). L'analyse des différents documents, guides nationaux, fait ressortir plusieurs approches de calcul pour classer les séries de mesures effectuées lors des suivis au regard d'une valeur guide :

- Certains utilisent la valeur médiane ou moyenne de la série (en préconisant de partitionner les valeurs en fonction de la saisonnalité) ;
- Certains utilisent la valeur max. ou les percentiles (pour comparer les valeurs hautes de la masse d'eau suivie à la valeur guide retenue).

La règle du percentile 90 est celle qui est appliquée en France depuis plusieurs décennies. Elle était déjà utilisée pour classer les séries temporelles de mesures dans les différentes grilles du SEQeau avant l'avènement de la DCE au début des années 2000. Cette règle a été reprise par la DCE, puisque la qualification des mesures réalisées sur les paramètres physico-chimiques qui soutiennent la biologie, se fait toujours en utilisant le percentile 90. Pour l'évaluation de certaines substances non prioritaires (non listées sur la liste des paramètres à évaluer dans le cadre de la DCE pour classer l'état chimique), tels que les composés azotés susceptibles de provoquer une eutrophisation des cours d'eau, l'arrêté du 05/03/2015 métropolitain préconise également l'emploi du percentile 90. Si seulement 10 mesures ou moins sont disponibles sur la période de suivi, alors cet arrêté préconise l'utilisation de la valeur max.

L'utilisation du percentile repose sur l'hypothèse que les méthodes utilisant la valeur médiane ou moyenne sont moins pertinentes car les organismes biologiques sont affectés par une concentration élevée, même si son occurrence est faible (MTES, 2019).

L'utilisation des valeurs max. a été reprise également par la DCE pour le calcul de l'état chimique. En effet celui-ci est défini à la fois par les valeurs max. mesurées qui sont comparées à la NQE_CMA¹⁸, mais également par une valeur moyenne comparée à la NQE_MA¹⁹. Cette dernière valeur guide n'est utilisée que si et seulement si la NQE_CMA n'est pas dépassée sur la période (dans le cas contraire l'état est directement déclassé en mauvais) et si le nombre de mesures est supérieur à 4.

Dans les systèmes australiens et néo-zélandais plusieurs approches de calcul sont mises en place. Celles-ci dépendent des objectifs de gestion définies en amont pour les masses d'eau suivies (Tableau 9).

Globalement l'intérêt de cette approche est de pouvoir ajuster les valeurs seuils à respecter en fonction d'objectifs de gestion définis sur la base des réalités environnementales et socio-économiques de la zone.

Tableau 9 : Approches de calcul selon les systèmes australiens et néo-zélandais, dépendant des objectifs de gestion définis en amont pour les masses d'eau suivies.

Niveau de protection	Objectif de gestion	Règles de calcul
Les masses d'eau de forte valeur écologique (ou cours d'eau à Haute Qualité Environnementale (HEV))	Maintenir les conditions permettant le classement en haute qualité environnementale	La philosophie sous-jacente pour ces cours d'eau repose sur le concept d'absence de modification. On cherche donc à montrer qu'aucune modification significative n'est survenue dans la distribution naturelle des valeurs. On considère qu'il n'y a pas de changement si on ne détecte aucune différence entre les 20, 50 et 80ème percentiles du jeu de données du site testé et les 20, 50 et 80ème percentiles du jeu de données de référence
Les masses d'eau faiblement perturbées (SD)	Améliorer progressivement la qualité pour atteindre les objectifs de qualité permettant d'atteindre un niveau de haute qualité environnementale	Utiliser les percentiles 20, 50 et 80 pour les comparer à la distribution des valeurs de référence retenues pour ce type de masse d'eau. On considère qu'il n'y a pas de changement si on ne détecte aucune différence entre les 20, 50 et 80ème percentiles du jeu de données du site testé et les 20, 50 et 80ème percentiles du jeu de données de référence.
Les masses d'eau modérément altérées (MD)	Maintenir ou améliorer l'état afin d'atteindre les objectifs de qualité fixés pour la masse d'eau	Si des cours d'eau de référence non impactés sont disponibles pour établir les valeurs seuil à respecter, le percentile 80 de la référence est retenu comme valeur seuil. La valeur médiane annuelle (idéalement 5 valeurs ou plus) est retenue pour comparaison à la valeur seuil (percentile 80 des valeurs de référence)
Les masses d'eau fortement perturbées (HD)	Progressivement tendre vers les objectifs de qualité fixés pour des masses d'eau modérément altérées. Les valeurs seuils à imposer sont à définir en fonction de cet objectif qui peut n'être atteint qu'après de nombreuses années	Approche au cas par cas en fonction du degré d'altération constaté. La démarche suivante peut être retenue : <ul style="list-style-type: none"> • Identifier le ou les polluants majeurs • Pour les indicateurs autres que ceux relatifs aux polluants majeurs, appliquer la même démarche que pour les cours d'eau modérément altérés • Pour les polluants majeurs fixer une approche avec un échéancier réaliste et si possible intégrant une approche coûts/bénéfices pour juger de la pertinence de l'action

¹⁸ NQE_CMA : Norme de Qualité Environnementale_Concentration Maximale Admissible

¹⁹ NQE_MA : Norme de Qualité Environnementale_Moyenne Annuelle

Chapitre VI - Examen critique de la pertinence des indicateurs de diagnostic de la physico-chimie des eaux douces de surface utilisés dans le cadre du BGS

Comme explicité au Chapitre II - , l'approche adoptée pour l'examen critique de la pertinence des indicateurs de la physico-chimie des eaux douces de surface du BGS dans le cadre de la présente étude s'appuie sur le benchmark présenté au Chapitre V - , et notamment sur les exigences qu'il mentionne en matière de données de suivi, ainsi que sur une comparaison des diagnostics issus des indicateurs utilisés dans le BGS et d'un indicateur alternatif issu de ce benchmark.

Selon les grands types d'éléments fournis dans le benchmark, deux grands types de critères s'avèrent intéressants afin de critiquer les indicateurs actuels :

- Des critères de validité des jeux de données, au sens des volumes de données disponibles et de leur structuration spatio-temporelle ; ceux-ci peuvent être appliqués :
 - o aux jeux de données de référence : il s'agit alors d'examiner la validité générale du référentiel utilisé, de manière non spécifique à l'année de diagnostic ; ce critère est traité spécifiquement en VI.1. ;
 - o aux jeux de données à diagnostiquer (i.e. les données sous influence de PRNC dans le cadre du BGS) : il s'agit alors d'examiner la validité des données à l'échelle de l'unité temporelle diagnostiquée (i.e. l'année 2020 pour le BGS considéré dans la présente étude) ; ce critère est traité en VI.2 conjointement à l'examen de la performance comparée des indicateurs ;
- La comparaison des résultats obtenus en appliquant aux données 2020 les modalités de calcul des scores utilisées dans le cadre du BGS et des modalités alternatives de calcul des scores issues du benchmark ; cette approche dite de « performance comparée » est traitée en VI.2 conjointement à la validité des jeux de données sous influence.

VI.1. Validité de la représentativité et du volume du jeu de données de référence au regard des éléments issus du benchmark

Comme souligné dans le benchmark, la question de la profondeur du jeu de données à disposition sur un ou des cours d'eau de référence dans l'hydro-éco-région d'intérêt est un point important pour la robustesse et la légitimité d'un diagnostic de suivi.

Les préconisations ressortant du benchmark mentionnent notamment l'exigence de disposer a minima de 14 à 18 valeurs annuellement, couvrant :

- Une période d'au moins 1 an, idéalement 2 ans ;
- A minima deux sites de référence ;
- L'ensemble des saisons.

Afin de mettre en œuvre un critère strict et réellement critique vis-à-vis des chiffres fournis par le benchmark, il a été choisi de prendre systématiquement les minima les plus exigeants des gammes mentionnées : 18 valeurs annuelles, 2 ans d'historique, 2 sites de référence.

L'HER Grand Sud étant relativement homogène sa partition en HER de niveau 2 isolerait vraisemblablement que les zones amonts des cours d'eau qui draine la plaine des Lacs et le reste du plateau. Les stations de suivi du site minier et métallurgique de PRNC, ne concerne pas cette zone. Une

analyse globale des données ne devrait donc pas pâtir d'une influence géographique liée à un découpage en un niveau plus fin d'HER.

Afin de traiter la dichotomie par saison, et en l'absence d'information plus précises dans les sources consultées pour le benchmark, il a été validé en groupe de travail de reprendre les saisons hydrologiques qui avaient été définies et validées lors de l'étude sur les gammes de référence. Dans cette étude, il est rappelé que l'influence structurante des grands types de régimes pluviométriques annuels sur le comportement de la qualité des eaux douces de surface permet en effet de considérer que, si une représentativité doit être recherchée sur les différentes saisons, cette dichotomie apparaît légitime pour évaluer ce critère de représentativité. Comme développé dans le rapport correspondant, les trois saisons hydrologiques sont définies ainsi :

- Saison humide : mi-décembre à mi-avril ;
- Saison de transition : mi-avril à mi-septembre ;
- Saison sèche : mi-septembre à mi-décembre.

En définitive, les critères formalisés à partir du benchmark réalisé et validés pour l'examen critique des caractéristiques de jeux de données de référence utilisés dans le cadre du BGS sont les suivants, pour chaque paramètre :

- Recul temporel : nombre d'années pour lesquelles des données de référence sont disponibles :
 - o S'il est supérieur ou égal à 2 ans : le jeu de données est considéré valide ;
 - o S'il est inférieur à 2 ans : le jeu de données est considéré invalide.
- Volume annuel de données : nombre de mesures réalisées pour le paramètre considéré :
 - o S'il est supérieur ou égal à 18 mesures par an sur deux ou plus de deux années de données, mais inférieur à 18 mesures par an sur certaines des autres années de données prises en compte : le jeu de données est considéré valide ;
 - o S'il est supérieur ou égal à 18 mesures par an sur une seule des années de données prise en compte : l'évaluation du jeu de données est réservée (i.e. matérialisant le fait que ce critère temporel n'est pas invalide mais en limite de validité).
 - o S'il est inférieur à 18 mesures par an sur l'ensemble des années de données prise en compte : le jeu de données est considéré invalide.
- Représentativité spatiale : nombre de bassins versants représentés dans les données de référence :
 - o S'il est supérieur ou égal à 2 bassins versants : le jeu de données est considéré valide ;
 - o S'il est inférieur à 2 bassins versants : le jeu de données est considéré invalide.
- Représentativité saisonnière : nombre de mesures par saison hydrologique :
 - o Si l'ensemble des saisons présentent un nombre moyen de mesures par an supérieur ou égal à 3 : le jeu de données est considéré valide.
 - o S'il existe une ou plusieurs saisons présentant un nombre moyen de mesures par an inférieur à 3 : l'évaluation du jeu de données est réservée ;
 - o S'il existe une saison non-représentée dans le jeu de données (i.e. aucune mesure) : le jeu de données est considéré invalide ;

Nota bene - En l'absence d'informations plus précises dans les sources consultées pour le benchmark concernant un éventuel volume minimal de données par saison (il est simplement mentionné que toutes les saisons doivent être représentées dans le référentiel), il a été considéré qu'un jeu de données valide correspond à un volume de données minimal de 3 mesures par saison et par an, ce qui correspond par convention au nombre minimal de répliquats statistiquement valide.

Enfin, il convient de rappeler que c'est le jeu de données de référence utilisé comme référentiel pour le BGS à travers les gammes de référence calculées lors d'une précédente étude qui a été ici soumis aux critères ci-dessus. En l'occurrence, ce jeu de données comprenait des périodes variables selon les paramètres (s'arrêtant au plus tard en 2018 puisque l'étude correspondante a été menée en 2019-2020), comme synthétisé dans le Tableau 10.

Les Tableau 10, Tableau 11, et Tableau 12 présentent le volume et la structuration du jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS au regard des différents critères retenus. Le Tableau 13 synthétise les évaluations pour chaque paramètre au regard de ces critères.

Il convient de noter que :

- S'agissant du critère relatif au recul temporel, il n'est pas précisé dans les sources consultées pour le benchmark si l'exigence de deux années représentées dans les données implique que celles-ci doivent être consécutives et/ou si une limite d'ancienneté des données est à considérer. Si toutefois cela était le cas, seul le carbone organique total pourrait évoluer vers une évaluation réservée, et l'impact sur les présentes réflexions serait donc négligeable ;
- Concernant le critère de représentativité spatiale, il n'est pas précisé dans les sources consultées pour le benchmark si l'exigence de deux bassins versants représentés dans les données est à associer à un volume minimal de données par bassin versant. Si toutefois cela était le cas, ce serait sans effet sur l'évaluation réalisée étant donné le volume significatif de données disponibles sur les deux principaux bassins versants de référence (Wadjana et Trou bleu). Le problème se poserait uniquement pour les hydrocarbures totaux, en raison d'un très faible nombre de mesures sur Wadjana pour ce paramètre (deux mesures réalisées ponctuellement en 2017), ce qui inciterait à considérer une évaluation réservée.

Tableau 10 : Synthèse du nombre annuel de mesures par paramètre dans le jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS, permettant son évaluation vis-à-vis des critères de recul temporel et de volume de données.

Paramètre	Volume annuel des données																				Nombre d'années ≥ 18 mesures	Recul temporel								
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		2013	2014	2015	2016	2017	2018	Evaluation	Nombre d'années	Evaluation
Calcium																8	5	15	27	32	21	11	23	11	29	12	5	Valide	11	Valide
Chlorures	3	4	3	2	2	2		9	4	10	1		1	2	2	5	3	30	38	51	37	25	38	11	30	12	7	Valide	24	Valide
Chrome															2	4	3	13	35	44	37	25	31	12	29	12	6	Valide	12	Valide
Chrome VI										7					2	4	3	13	31	48	32	23	31	12	18	12	6	Valide	13	Valide
Cobalt															8	3	22	23	34	25	13	24	12	18	12	6	Valide	11	Valide	
Conductivité	3	4	3	3	5	2	9	22	12	37	1	2	2	2	2	7	7	63	81	61	48	36	69	16	54	12	9	Valide	26	Valide
COT															8	6										12	0	Invalide	3	Valide
Fer											1			2	3	8	3	26	37	45	37	25	31	12	36	12	7	Valide	14	Valide
HCT															4	1								1	4	6	0	Invalide	5	Valide
Magnésium				2	2	2		9			1			2	3	5	3	22	40	51	37	25	38	12	30	12	7	Valide	18	Valide
Manganèse			3	2	2		2	9		7	1		1	2	3	10	6	29	42	45	33	23	31	12	36	12	7	Valide	21	Valide
MES	3	4	3	2	2	2	2			9				2	3	5	3	30	35	41	23	13	24	12	17	12	5	Valide	21	Valide
Nickel	3	4	3	2	2	2		9		8				1	3	8	3	23	33	42	25	13	24	12	36	12	6	Valide	21	Valide
Nitrates	2	4	3	2	2	2	2	9	4	8	1		1	2	3	8	3	30	39	51	37	25	38	11	30	12	7	Valide	25	Valide
pH			3	3	5	2	13	11	6	20	1	2	1	2	2	7	7	63	60	59	35	30	46	16	44	12	8	Valide	24	Valide
Sulfates	3	4	3	2	2	2		9	4	10	1		1	2	2	5	3	30	40	51	37	25	38	12	30	12	7	Valide	24	Valide
Turbidité	3	4							4	10	1			2	2	7	3	20	54	45	27	15	37	15	38	12	6	Valide	18	Valide

Tableau 11 : Synthèse du nombre de mesures par paramètre et par bassin versant dans le jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS, permettant son évaluation vis-à-vis du critère de représentativité spatiale.

Paramètre	Représentativité spatiale																					Nombre de BV	Evaluation						
	Affluent rivière bleue	Carénage	Creek Pernod	Fausse Yaté	Kadjadrite	Kaori	Kavekoi	Kouakoue	Ku	Kuebini	Lembi	Mamie	na	Nato	Pirogue	Port Boise	Pourina	Rigue	Riviere blanche	Riviere bleue de Prony	Riviere bleue PPRB			StGabriel	Tara	Thy	Trap	Trou Bleu	Wadjana
Calcium		3				8			7																	127	90	5	Valide
Chlorures	3	9	1	4	2	16	2		29			30				3				13		2	4			107	100	15	Valide
Chrome		4				14			20																	110	99	5	Valide
Chrome VI				1	1	4	1		17													1	2			116	93	9	Valide
Cobalt						8			1			9														102	74	5	Valide
Conductivité	3	20	1	15	3	27	3	2	1	37	4	1	78	1	1	3	2	1	6	23	6	3	7	3	1	176	135	27	Valide
COT		4				4			4																	14		4	Valide
Fer	2	6				15			24			22			2											110	97	8	Valide
HCT																										34	2	2	Réservée
Magnésium	2	7		2	2	15	2		26			18			3				6		2	4				108	99	14	Valide
Manganèse	4	6	1	2	2	11	2		25			30			3				8		2	4				116	95	15	Valide
MES	1	2	1	4	2	10	2		9			16			3				15		2	4				99	77	15	Valide
Nickel	1	8	1	2	2	15	2		17			18			2				13		2	4				105	76	15	Valide
Nitrates	3	8	1	4	2	15	2		30			30			3				15		2	4				110	100	15	Valide
pH	2	16	1	10	3	22	3	2	1	28	4	1	47		1	3	2	1	6	16	8	3	7	3	1	152	107	26	Valide
Sulfates	3	9	1	4	2	16	2		30			30			3				13		2	4				108	101	15	Valide
Turbidité	2	13		7	2	18	2		19			13		1	3	2	1	1	5	2	2	4			1	128	73	20	Valide

Tableau 12 : Synthèse du nombre de mesures par paramètre et par saison hydrologique dans le jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS, permettant son évaluation vis-à-vis du critère de représentativité saisonnière.

Paramètre	Représentativité saisonnière			Evaluation
	Saison humide	Saison sèche	Saison de transition	
Calcium	7	6	8	Valide
Chlorures	4	5	5	Valide
Chrome	6	7	8	Valide
Chrome VI	6	5	7	Valide
Cobalt	5	5	7	Valide
Conductivité	6	8	8	Valide
COT	3	3	3	Valide
Fer	6	7	7	Valide
HCT	2	2	3	Réservée
Magnésium	4	6	6	Valide
Manganèse	4	5	5	Valide
MES	3	4	4	Valide
Nickel	3	5	5	Valide
Nitrates	4	5	5	Valide
pH	6	7	6	Valide
Sulfates	4	5	5	Valide
Turbidité	5	7	5	Valide

Tableau 13 : Synthèse des évaluations obtenues pour les quatre critères considérés par paramètre dans le jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS, permettant son évaluation globale.

Paramètre	Récapitulatif des évaluations sur 4 critères				Evaluation globale
	Volume annuel des données	Recul temporel	Représentativité spatiale	Représentativité saisonnière	
Calcium	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Chlorures	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Chrome	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Chrome VI	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Cobalt	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Conductivité	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
COT	Invalide	Valide	Valide	Valide	Invalide
Fer	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
HCT	Invalide	Valide	Réservée	Réservée	Invalide
Magnésium	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Manganèse	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
MES	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Nickel	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Nitrates	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
pH	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Sulfates	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide
Turbidité	Valide	Valide	Valide	Valide	Valide

En définitive, 15 des 17 paramètres présentent une évaluation valide pour les quatre critères issus du benchmark, pointant donc vers une validité des jeux des données de référence pour la grande majorité des paramètres considérés. Le carbone organique total et les hydrocarbures totaux présentent néanmoins des jeux de données partiellement insuffisant au regard de ces critères, notamment en raison d'un trop faible volume de données de référence disponibles.

Afin de mettre en perspective ces éléments d'examen critique des données de référence, il convient de rappeler que le jeu de données de référence utilisé pour le BGS présente une hétérogénéité intrinsèque

significative et portant sur plusieurs facteurs (limites de quantification, modalités de prélèvement et d'analyses, variations des efforts et des plans d'échantillonnage selon les années). Cette hétérogénéité est vraisemblablement moins marquée dans les suivis mentionnés au sein du benchmark et se fondant sur des directives réglementaires éprouvées et standardisées, amenant à considérer les résultats précédents comme des contributeurs à une réflexion d'amélioration des suivis du Grand Sud que comme une validation stricte.

VI.2. Performance comparée des indicateurs (BGS et alternatifs issus du benchmark) et validité du jeu de données à diagnostiquer

Comme rappelé en début de rapport (I.3), l'OEIL utilise à l'heure actuelle dans son BGS, pour chaque station diagnostiquée, une méthode de qualification formulée ainsi : « pour l'attribution d'un score à la station, la métrique de suivi est comparée à un pourcentage de dépassement du percentile 75 de la gamme de référence, appelé « seuil de dépassement ». En fonction du paramètre considéré, ce seuil de dépassement peut varier de 30 à 40%²⁰. En dessous du seuil de dépassement, un score « Non perturbé » est attribué. Au-dessus du seuil ou à niveau équivalent, un score « Fortement perturbé » est attribué à la station.

Parmi les 17 paramètres considérés ici, le seuil de dépassement à 40 % concerne 5 paramètres (COT, chlorures, conductivité, pH, turbidité), le seuil de dépassement à 30 % s'appliquant pour les 12 autres paramètres.

Afin de comparer les résultats obtenus *via* cette approche historique de l'OEIL, aux vues des éléments précédemment développés dans le benchmark, et tel que validé lors du groupe de travail n°2, il a été choisi de privilégier une approche basée sur l'utilisation de gammes de variations naturelles des paramètres plutôt qu'une approche basée sur des seuils de toxicité qui, en l'absence de données locales, auraient conduits à des résultats plus hasardeux du fait de l'utilisation de nombreux facteurs d'extrapolation pour obtenir des valeurs guides par défaut. L'approche des gammes de variations naturelles décrite dans les documents guides nationaux de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande a donc été retenue.

Les modalités de calcul et d'utilisation des indicateurs de diagnostic utilisés par ces deux pays de la région repose sur une classification préalable des cours d'eau (ou bassins versants dans le cas du BGS) selon plusieurs catégories conditionnant le choix des percentiles à considérer pour le diagnostic. Afin de pouvoir appliquer cette approche alternative de diagnostic sur les données utilisées dans le BGS et en comparer les résultats avec l'approche historique de l'OEIL, les cours d'eau suivis dans le Grand Sud ont été classés selon les catégories considérées par l'approche anglo-saxonne.

²⁰ Extrait du bilan Grand Sud 2019-2020 (page 327) : « Afin de déterminer les seuils de dépassement du percentile 75 de chaque paramètre, la démarche a été de s'assurer que les stations de référence ne dépassent pas elles-mêmes ces seuils, étant donné qu'une station de référence (donc hors d'influence) est censée par définition obtenir un score « Non perturbé ».

Pour les années où plus de 10 données ont été mesurées, les stations de référence 3-C (Trou bleu- position aval) et WJ-01 (Wadjana -position amont) ont été comparées à leurs percentiles 75 de référence respectifs (selon une stratification amont/aval) afin de déterminer les pourcentages de dépassement obtenus (% de valeurs > Per75). Des scores ont alors été attribués à ces stations en testant différents seuils de dépassement du percentile 75 de référence (25%, 30%, 35% et 40%).

Il a été décidé de retenir comme seuil de dépassement du paramètre, le seuil de dépassement pour lequel le pourcentage d'année où les stations de référence ont obtenu un score « Fortement perturbé » est inférieur à 10%. Pour les paramètres dont les seuils n'ont pu être déterminés en raison d'un nombre insuffisant de données mesurées en station de référence, un seuil de 40% a été retenu par principe de précaution. »

Le Tableau 14 présente le détail de cette classification, qui a été réalisée à dire d'expert et validée ensuite lors du groupe de travail n°2. Dans le cadre de futures réflexions sur les suivis du Grand Sud et les diagnostics associés, cette classification pourra le cas échéant être rediscutée ultérieurement par un comité élargi de gestionnaires et d'experts, l'objectif étant ici de créer un cadre de réflexion légitime pour analyser la performance comparée du BGS avec une approche alternative.

L'utilisation fine de cette classification pour moduler les percentiles utilisés pour un diagnostic se heurte cependant à la construction et à la maturité des plans d'échantillonnage dans les pays appliquant cette approche, ainsi qu'à leur niveau élevé de standardisation. Les approches déployées pour les masses d'eau à forte valeur écologique (comparaison d'une série de percentiles de référence avec la série de percentiles équivalente en zone sous influence) impose une conception d'échantillonnage stricte de type Control-Impact station par station : chaque mesure sur une station sous influence est associée à une mesure dans une station de référence qui lui est propre (la structure du plan d'échantillonnage offre un cours d'eau voire une station de référence pour chaque cours d'eau ou station à diagnostiquer, et les deux sont échantillonnées simultanément à chaque campagne, sous un format *paired series*).

Les plans d'échantillonnage disponibles dans le Grand Sud ne sont pas conçus pour permettre cette approche (les percentiles de référence proviennent de gammes de référence générales à l'échelle de l'HER D et les mesures de référence ne disposent pas d'une fréquence et d'une représentativité spatiale équivalente aux mesures en zones sous influence). En raison de cette inadéquation entre définition des indicateurs et plans d'échantillonnage, il a été choisi d'appliquer la règle de calcul des masses d'eaux modérément perturbées (telles que la Truu) à l'ensemble des types de masses d'eau dans le cadre des comparaisons diagnostiques réalisées dans la présente étude. Ceci permet de maintenir le diagnostic alternatif qui sera utilisé en provenance du benchmark dans un cadre formel et d'appliquer strictement sa règle de calcul, tout en assurant une bonne cohérence de ce diagnostic avec la structuration des plans d'échantillonnage (et donc des données) auquel cette règle de calcul va être appliquée. Conceptuellement, cela signifie que le niveau accru de complexité accrue qui est déployé pour le diagnostic des masses d'eau à forte valeur écologique dans les dispositifs anglo-saxons ne peut être transposé, et que l'on utilise donc la règle de base applicable à l'ensemble des masses d'eau (maintenant la légitimité et la rigueur de l'approche).

Par ailleurs, les méthodes analysées lors du benchmark fournissent également une préconisation relative au volume minimal de données dont doit disposer un paramètre pour conduire un diagnostic valide, en le fixant à 5 mesures à l'échelle du diagnostic (en l'occurrence donc : 5 mesures/station/an). De même pour les critères appliqués précédemment aux jeux de données de référence (VI.I), ce critère relatif au volume minimal de données sera appliqué au jeu de données à diagnostiquer afin de fournir une évaluation de validité ou d'invalidité pour chaque paramètre.

En définitive, les critères et simulations de diagnostics appliqués au jeu de données réel utilisé dans le cadre du BGS (i.e. année 2020) se déclinent ainsi, pour chaque station et chaque paramètre sujet à diagnostic :

- Exigence de validité du volume minimal de données du jeu de données : ≥ 5 mesures ;
- Règle de calcul du diagnostic 2020 selon l'approche du BGS : 30 % ou 40 % de dépassement (selon les paramètres) du percentile 75 de référence ;
- Règle de calcul du diagnostic 2020 selon l'approche alternative issue du benchmark : absence de dépassement du percentile 80 de référence par la médiane de la station diagnostiquée ;

- Classification, pour chaque unité diagnostiquée (paramètre x station en 2020), de la comparaison des deux diagnostics (approche du BGS *versus* approche issue du benchmark) en quatre catégories :
 - o Diagnostic identique ;
 - o Amélioration du score *via* l'approche alternative ;
 - o Dégradation du score *via* l'approche alternative ;
 - o Annulation du diagnostic *via* l'approche alternative (provoquée par un volume insuffisant du jeu de données disponible, c'est-à-dire < 5 mesures) ; lorsque c'est le cas, il est précisé la nature du diagnostic initial issu du BGS qui a été invalidé par l'approche alternative.
- *Note bene* - Trois des 17 paramètres considérés dans la présente étude n'avaient pas fait l'objet d'un calcul de gamme de référence lors de la précédente étude : calcium, COT, HCT. Leurs percentiles 75 et 80 de référence ont donc été préalablement calculés selon une approche identique à celle menée dans le cadre de l'élaboration des gammes de référence afin de permettre un diagnostic comparé de qualité similaire aux autres paramètres.

Tableau 14 : Classification des bassins versants diagnostiqués dans le cadre du BGS selon les catégories issues de la méthodologie australienne (ANZECC) de suivi de la qualité des eaux, et règle de calcul que cette classification devrait impliquer, en vue de pouvoir appliquer aux données disponibles une approche diagnostic alternative et à comparer avec l'approche du BGS.

Bassin versant	Classe de qualité issue du benchmark	Commentaire	Règle de calcul <i>a priori</i> selon les préconisations de l'approche australienne (ANZECC)
Kwé (ensemble des affluents)	Masse d'eau fortement perturbée	La rivière Kwé est depuis plusieurs décennies déjà impactée par l'ensemble de l'activité anthropique qui s'est développée sur le plateau de Goro. Cette activité antérieure au projet PRNC (initialement Goro Nickel), a laissé des traces sur la rivière qui présentait d'ores et déjà une qualité de l'eau médiocre en 2003 avant tout aménagement de la zone par l'industriel (RESCAN, 2003-2004).	Absence de dépassement du percentile 80 de la référence par la médiane de la station diagnostiquée (règle retenue pour les cours d'eau modérément altéré et en cas de paramètres qui ne sont pas considérés comme des polluants majeurs)
Truu	Masse d'eau modérément perturbée	Cette rivière subie depuis plusieurs décennies l'impact de l'aménagement routier qui la traverse en amont, ainsi que les rejets des habitations présentes le long de la parties aval.	Absence de dépassement du Percentile 80 de la référence par la médiane de la station diagnostiquée
Kuebini	Masse d'eau à forte valeur écologique	-	Absence de dépassement des percentiles 20, 50, 80 de référence par les percentiles 20, 50, 80 de la station diagnostiquée
Creek Baie Nord	Masse d'eau à forte valeur écologique	Bien que ce bassin soit sous l'influence de l'usine de PRNC, qu'il ait subi plusieurs pollutions aiguës mais temporaires, il représente aujourd'hui un des plus gros réservoirs de biodiversité piscicole de la zone	Absence de dépassement des percentiles 20, 50, 80 de référence par les percentiles 20, 50, 80 de la station diagnostiquée
Kadji	Masse d'eau à forte valeur écologique	-	Absence de dépassement des percentiles 20, 50, 80 de référence par les percentiles 20, 50, 80 de la station diagnostiquée

Carénage	Masse d'eau à forte valeur écologique	-	Absence de dépassement des percentiles 20, 50, 80 de référence par les percentiles 20, 50, 80 de la station diagnostiquée
----------	---------------------------------------	---	---

Le Tableau 15 présente la synthèse de l'ensemble des comparaisons diagnostiques menées pour chacune des stations diagnostiquées et à l'échelle de chaque bassin versant correspondant, et la répartition selon les différents cas de figure.

Le Tableau 16 présente une synthèse équivalente compilée par paramètre.

La matrice complète des diagnostics comparés et les informations détaillées correspondantes a été fournie en format numérique à l'OEIL (ses dimensions ne permettant pas d'être représentées dans un rapport).

Des résultats synthétiques à l'échelle des stations et des bassins versants (tous paramètres confondus), il ressort les éléments clés suivants (Tableau 15) :

- 61 % des 343 diagnostics comparés fournissent une évaluation identique du niveau de perturbation d'un paramètre sur une station, variant de 45 à 75 % selon les bassins versants considérés ;
- 24 % des 343 diagnostics qui sont réalisés dans le BGS seraient « annulés » dans l'approche alternative en raison de l'invalidité du jeu de données disponible (volume insuffisant), en notant que :
 - o Sur un total de 24 stations :
 - quatre stations sont intégralement invalides sur l'ensemble des diagnostics (6 BNOR1, CS 01, KN 02 et 3 D) et une station (6 Q) est invalide pour 75 % des diagnostics ;
 - 17 stations sont intégralement ou quasi-intégralement valides (entre 0 et 6 % de diagnostics invalides) ;
 - o Lorsqu'un diagnostic apparait invalidé par l'approche alternative issue de la méthodologie de l'ANZECC, les diagnostics initiaux fournis par le BGS apparaissent équilibrés (respectivement 51 et 49 % étaient évalués « perturbé » et « non-perturbé ») ;
- 14 % des 343 diagnostics alternatifs fournissent un diagnostic « amélioré » vis-à-vis du BGS, avec une répartition assez ubiquiste sur l'ensemble des bassins versants et stations (seules 6 des 24 stations ne présentent aucun diagnostic alternatif « amélioré ») ;
- Aucun des 343 diagnostics rendus pas le BGS n'a été dégradé par les diagnostics issus de l'approche alternative (c'est-à-dire qu'aucun n'a manqué un état perturbé que le diagnostic alternatif aurait évalué) ;

Des résultats synthétiques à l'échelle des paramètres (toutes stations confondues), il ressort les éléments clés suivants (Tableau 16) :

- La plupart des paramètres présentent des ratios de diagnostics identiques proches et encadrant la moyenne générale de 61 % (55 à 78 %)
- Deux paramètres présentent des pourcentages intermédiaires : Calcium (29 %), Nickel (33 %)
- Deux autres paramètres ne présentent jamais de diagnostic identique entre les deux approches : COT et HCT ;

- Seul le COT présente systématiquement une annulation du diagnostic au regard des critères de l'approche alternative (l'ensemble des autres paramètres fluctuants entre 17 et 32 % d'annulation) et correspond donc au seul paramètre présentant manifestement un volume de données déficitaire sur l'ensemble des stations où il est suivi.
- Trois paramètres présentent un taux élevé d'amélioration du diagnostic via l'approche alternative issue de la méthodologie de l'ANZECC : HCT (86 %), Calcium (48 %), Nickel (43 %) ;

De manière générale, ces résultats pointent donc vers un positionnement des diagnostics du BGS :

- Conservateur : les diagnostics rendus par le BGS apparaissent globalement moins tolérants que ceux qui aurait été rendus par l'approche alternative issue de la méthodologie de l'ANZECC (ce caractère conservateur restant cependant très modéré sur la majorité des paramètres considérés, puisque l'approche alternatif n'améliore le score attribué que dans 14 % des cas) ;
- Améliorables en matière de volume de données de suivi (et donc d'effort d'échantillonnage). En effet, un nombre non-négligeable de diagnostics ont été considérés comme « annulés » dans le cadre de l'approche alternative sur certaines stations en particulier (6 BNOR1, CS 01, KN 02,3 D, 6 Q) davantage que sur certains paramètres (comme l'atteste le % d'annulation très stable entre paramètre mais très variable entre stations).

Tableau 15 : Synthèse des comparaisons entre le diagnostic du BGS et le diagnostic alternatif issu du benchmark, par station et par bassin versant (tous paramètres confondus).

Bassin versant et station	Nb total de "paramètre x station" diagnostiqué	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						Diagnostic BGS initial si annulé		
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique	% Non-perturbé	% Perturbé
CBN	88	13	15%		28	32%	47	53%	32%	68%
6-BNOR1	15		0%		15	100%		0%	27%	73%
6-Q	16		0%		12	75%	4	25%	42%	58%
6-R	16	4	25%			0%	12	75%		
6-S	16	4	25%			0%	12	75%		
6-T	17	3	18%		1	6%	13	76%	0%	100%
6-U	8	2	25%			0%	6	75%		
Kwe_est	50	7	14%		15	30%	28	56%	67%	33%
CS-01	15		0%		15	100%		0%	67%	33%
CS-02	15	4	27%			0%	11	73%		
KE-05	16	2	13%			0%	14	88%		
KE-06	4	1	25%			0%	3	75%		
Kwe_nord	33	3	9%		15	45%	15	45%	67%	33%
4-M	16	3	19%			0%	13	81%		
KN-02	15		0%		15	100%		0%	67%	33%
KN-14	2		0%			0%	2	100%		
Kwe_ouest	109	9	8%		25	23%	75	69%	48%	52%
3-A	14	2	14%		4	29%	8	57%	75%	25%
3-B	16	1	6%		5	31%	10	63%	60%	40%
3-D	15		0%		15	100%		0%	40%	60%
3-E	17	2	12%		1	6%	14	82%	0%	100%
4-N	16	1	6%			0%	15	94%		
KO-01	15	1	7%			0%	14	93%		
KOL	16	2	13%			0%	14	88%		
Kwe_principale	32	8	25%			0%	24	75%		
1-A	16	4	25%			0%	12	75%		
1-E	16	4	25%			0%	12	75%		
Truu	31	9	29%		1	3%	21	68%	0%	100%
TR-01	15	4	27%			0%	11	73%		
TR-02	16	5	31%		1	6%	10	63%	0%	100%
Tous	343	49	14%		84	24%	210	61%	49%	51%

Tableau 16 : Synthèse des comparaisons entre le diagnostic du BGS et le diagnostic alternatif issu du benchmark, par paramètre (toutes stations confondues).

Paramètre	Nb total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark							
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique	
Calcium	21	10	48%		5	24%	6	29%	
COT	5				5	100%			
Chlorures	22	1	5%		7	32%	14	64%	
Chrome	21	2	10%		5	24%	14	67%	
Chrome VI	18	4	22%		4	22%	10	56%	
Cobalt	21				5	24%	16	76%	
Conductivité	23	1	4%		4	17%	18	78%	
Fer	21	1	5%		5	24%	15	71%	
HCT	14	12	86%		2	14%			
Magnésium	21	1	5%		5	24%	15	71%	
Manganèse	21				5	24%	16	76%	
MES	24				6	25%	18	75%	
Nickel	21	9	43%		5	24%	7	33%	
Nitrates	22	3	14%		7	32%	12	55%	
pH	23	3	13%		4	17%	16	70%	
Sulfates	22				5	23%	17	77%	
Turbidité	23	2	9%		5	22%	16	70%	
Tous	343	49	14%		84	24%	210	61%	

VI.3. Présentation synthétique des résultats : fiches par paramètre

Afin de permettre un retour facilité aux informations et résultats produits dans le cadre de la présente étude pour chacun des paramètres, des fiches synthétiques ont été produites et sont fournies en Annexe 7.

Ces fiches sont constituées de plusieurs éléments descriptifs et analytiques répétés de manière identique pour l'ensemble des 17 paramètres (Figure 5) :

- Le volume des données disponibles pour le diagnostic du BGS 2020 : nombre total de mesures, de stations, et de bassins versants concernés ;
- La validité du jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS, au regard des critères d'évaluation issus du benchmark (cf. VI.1) ;
- Le ratio correspondant au nombre de diagnostics identiques entre l'approche BGS et l'approche alternative issue du benchmark pour l'année 2020 ;
- Le type de comportement temporel indicatif pour le paramètre concerné (cf. ci-dessous) ;
- Le tableau récapitulatif, pour le paramètre concerné, l'analyse comparative des résultats des deux approches diagnostiques menées, spécifiant notamment les proportions dans lesquelles le diagnostic issu du benchmark améliore, dégrade, annule, ou confirme le diagnostic du BGS (cf. VI.2) ;
- Une visualisation graphique détaillée sous format boxplot (cf. IV.3) du profil temporel et de la variabilité intra-annuelle du paramètre sur l'historique traité dans le BGS, distinguant les données sous influence sujette au diagnostic, et les données de référence qui sont collectées dans le cadre des suivis pris en compte ;
- Une visualisation graphique combinant les mesures pluviométriques de 2020 sur la station GORO_USINE et les mesures réalisées en 2020 pour le paramètre concerné sur les bassins versants considérés comme dépendant du régime pluviométrique mesuré par cette station (référence : Kaori, Trou Bleu ; sous influence : Kadji, CBN, Truu ; cf. IV.3) ;
- Lorsque pertinent : des recommandations et/ou commentaires relatifs au paramètre concerné.

S'agissant plus précisément de l'indication relative au type de comportement temporel des différents paramètres, le BGS fournit actuellement pour chaque paramètre et sur chaque station un complément d'information matérialisé par des pictogrammes en flèches et défini ainsi : « Une tendance d'évolution temporelle des paramètres au niveau de chaque station est également appréciée sur la période 2016-2020 (5 ans), en interprétant visuellement si les médianes en station suivent une tendance à l'augmentation, à la diminution ou à la stabilité. ». Cette information est considérée comme un élément de contexte indicatif ne pouvant déclasser le diagnostic rendu par le BGS.

A ce titre, l'OEIL a souhaité que soit discuté et stipulé dans le présent rapport quels sont, à dire d'expert, les paramètres pour lesquels une indication de tendance de ce type n'est pas jugée pertinente et ceux pour lesquels il apparaît en revanche cohérent de la poursuivre.

Comme évoqué lors du groupe de travail n°2, la majorité des paramètres physico-chimiques dans les eaux douces de surface (et notamment les métaux) présentent des comportements typiques par flash, qui rendent nécessaire de travailler sur les *outliers* et des occurrences de valeurs hautes (ou sur des seuils de dépassement comme c'est le cas dans les approches diagnostics déclinées ci-dessus).. Les

paramètres pour lesquels il a été considéré qu'une indication de tendance pouvait en plus fournir une mise en contexte utile du diagnostic sont : chrome, chrome VI, cobalt, conductivité, magnésium, manganèse, matières en suspension, nickel, nitrates, pH, sulfates, et turbidité, soit 12 des 17 paramètres considérés dans la présente étude. Pour ces paramètres l'activité minière et métallurgique peut potentiellement entraîner des évolutions lentes sur le long terme. Une analyse des tendances peut dès lors permettre la mise en lumière de ces lentes évolutions.

La propension de chaque paramètre à rendre pertinente une indication de tendance est précisée au sein des fiches synthétiques.

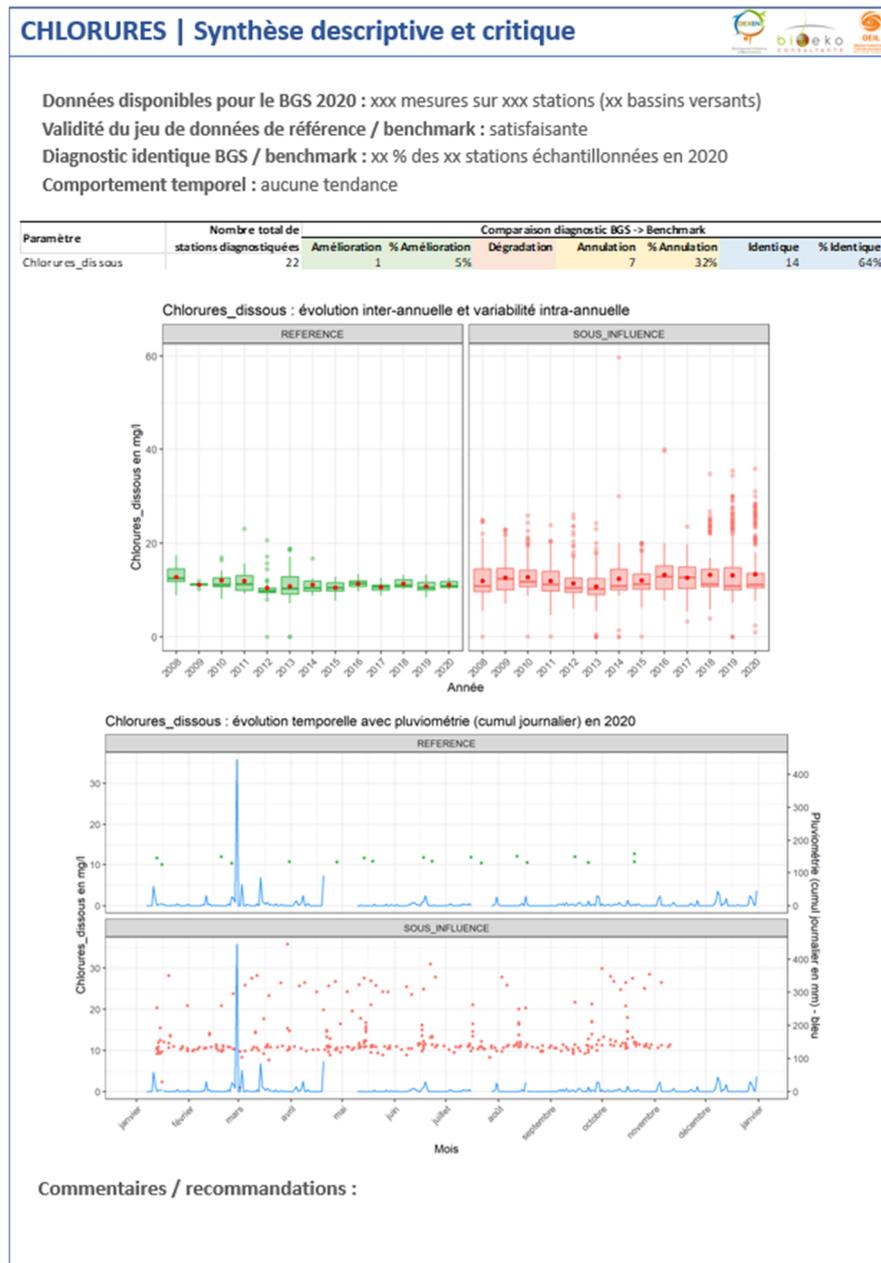


Figure 5 : Exemple de fiche synthétique par paramètre, permettant un retour facilité aux informations et résultats produits dans le cadre de la présente étude.

Chapitre VII - Recommandations pour l'amélioration des suivis et diagnostics de la qualité physico-chimique des eaux douces de surface dans le Grand Sud

Les réflexions menées et les résultats présentés précédemment permettent de formuler plusieurs recommandations et d'envisager plusieurs perspectives de travail susceptibles de compléter la présente étude, dans une optique d'amélioration des plans d'échantillonnages, des méthodes d'analyses, ou encore des démarches de diagnostic de la physico-chimie des eaux douces de surface du Grand Sud :

- Acquérir des jeux de données suffisamment robustes pour définir le fond géochimique des cours d'eau ultramaïques (gamme de variations naturelles), afin d'être en mesure de détecter des variations liées à des altérations anthropiques sur les réseaux de mesures qui y sont associés. Pour ce faire, il serait opportun :
 - D'effectuer des prélèvements et mesures mensuellement pendant deux ans sur à minima deux voire cinq cours d'eau au sein de chaque HER ultramaïque de niveau 1 (HER D et E), ainsi que l'HER B géologiquement hétérogène ;
 - D'utiliser pour ces mesures des méthodes aux limites de quantifications compatibles avec les faibles valeurs attendues pour certains paramètres (nutriments, ...);
 - De bancariser de manière standardisée et propre ces données au sein de bases publiques et accessibles.
- Améliorer les plans d'échantillonnage afin de rendre plus robustes les diagnostics fondés sur des comparaisons entre zones de référence et zones sous influence, et permettre le déploiement d'approches analytiques plus approfondies (par exemple telles que celle mentionnée dans le benchmark pour les cours d'eau à Haute Qualité Environnementale ; Tableau 9), notamment :
 - Que tout nouveau jeu de données de référence utilisé dans le cadre du BGS et/ou pour le calcul de nouvelles gammes de référence respecte les critères de validité retrouvés régionalement et utilisés dans la présente étude pour l'évaluation comparative (volume annuel de données, recul temporel, représentativité spatiale, représentativité saisonnière ; Tableau 13) ;
 - Que les jeux de données sous influence qui sont soumis à diagnostic respectent, pour chaque paramètre, le critère de volume de données et de fréquence d'au minimum 5 prélèvements par station et par an sur l'ensemble des réseaux de suivi en les répartissant sur les différentes saisons hydrologiques ;
 - Que les jeux de données soient homogènes dans le temps et dans l'espace en termes de paramètres
 - Que les LQ pour chacun des paramètres soient prédéfinies en fonction du contexte géochimique local et systématiquement respectées lors du choix des méthodes analytiques
 - Afin de pouvoir tendre vers la mise en place d'approches analytiques plus précises de type *Control-Impact* (cf. VI.2.) : faire évoluer progressivement les plans d'échantillonnage en vue de disposer d'une réelle simultanéité de mesures entre les stations de référence et les stations sous influence (tant en fréquence, en volume, et

en calendrier), ainsi que d'un réel couplage (chaque station sous influence dispose d'une ou plusieurs stations de référence, pouvant être similaires pour plusieurs stations sous influence)

- Adapter selon le type de paramètre l'utilisation d'informations ou la représentation de résultats fondées sur les tendances temporelles, certains paramètres ayant des comportements d'évolution pour lesquels examiner une tendance est non-pertinent (ex. : paramètres dont les signaux diagnostics seront des flashes ou des dépassements ponctuels de seuils, sans que le profil temporel général ne soit nécessairement altéré).
- Explorer la notion d'adaptation des objectifs de suivi et de diagnostic au niveau de protection et/ou d'altération des masses d'eau, comme cela est réalisé en Australie et en Nouvelle-Zélande et détaillé dans le benchmark (Tableau 7). Les modalités de classification (puis la classification en elle-même) des masses d'eau nécessiteront un travail d'expertise et de concertation dédié mais pourrait fournir une voie d'optimisation intéressante des suivis et des diagnostics.
- Définir et acter la méthodologie de comparaison des mesures effectuées aux valeurs de référence : la méthode utilisée ici à des fins de comparaison critique n'est qu'un exemple et doit servir de base à des discussions entre gestionnaires pour définir la stratégie à adopter pour l'élaboration d'un référentiel de seuil destinés à la qualification de la qualité de l'eau en Nouvelle-Calédonie, ainsi que la méthodologie à mettre en œuvre pour utiliser ces seuils de manière pertinente.
- Poursuivre en parallèle la définition de valeurs écotoxicologiques des différents paramètres clés (essentiellement les ETM présents naturellement dans les sols et sous-sols calédoniens (Ni, Cr, Co, Fe, Mn)) sur la flore et faune aquatique calédonienne, afin de compléter l'approche des gammes de référence qui demeure un premier palier dans l'obtention de valeurs seuils environnementales.

Chapitre VIII - Conclusion générale

La présente étude avait pour objectif de fournir un regard critique sur la pertinence des indicateurs employés pour qualifier l'état physico-chimique des eaux douces de surface dans le cadre du BGS (percentile-75 avec fréquences seuils de dépassement de 30 ou 40% selon les paramètres), et d'émettre des recommandations pour améliorer leur utilisation.

L'enjeu n'était pas de critiquer le concept général des diagnostics menés dans le cadre du BGS mais bien les caractéristiques des données utilisées ainsi que les métriques calculées pour conduire ces diagnostics.

A travers une approche pragmatique et fondée à la fois sur l'exploration critique des données disponibles et un benchmark des approches pratiquées dans d'autres territoires, il a été démontré que seuls 2 des 17 paramètres évalués présentaient des insuffisances de nature à invalider leur diagnostic (tant sur les jeux de données de référence que sur les jeux de données à diagnostiquer). A l'inverse, la grande majorité des paramètres ont présenté des jeux de données valides selon les critères construits à partir du benchmark sur la base de la méthodologie de l'ANZECC, et l'examen des diagnostics comparés a démontré des résultats rassurants quant à l'approche diagnostic actuelle du BGS. Également, l'approche actuelle du BGS a, lorsque le diagnostic diffère de l'approche issue de la méthodologie de l'ANZECC, eu tendance à rendre un diagnostic plus strict et donc conservateur.

Bien que cette étude indique que l'approche de diagnostic mise en œuvre actuellement dans le cadre du BGS pour la physico-chimie des eaux douces de surface soit légitime et utile, des améliorations apparaîtraient judicieuses afin de renforcer sa robustesse et la qualité des diagnostics rendus. A ce titre, une série de recommandations a été formulée afin de fournir des pistes concrètes de réflexions pour la mise en œuvre de ces améliorations.

Chapitre IX - Références

- ANZECC/ARMCANZ (2000a) National Water Quality Management Strategy, Paper No. 4, Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality, volume 1, The guidelines (chapters 1–7), *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra, Australia*. URL: <http://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000>
- ANZECC/ARMCANZ (2000b) National Water Quality Management Strategy, Paper No. 4, Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality, volume 2, Aquatic ecosystems – rationale and background information (chapter 8), *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra, Australia*. URL: <http://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000>
- Buck S, Denton G, Dodds W, Fisher J, Flemer D, Hart D, Parker A, Porter S, Rector S, Steinman A, Stevenson J, Stoner J, Tillman D, Wang S, Watson V, Welch E (2000) Nutrient Criteria Technical Guidance Manual - Rivers and Streams. *EPA-822-B-00-002*
- Cormier SM, Paul JF, Spehar RL, Shaw-Allen P, Berry WJ, Suter GW (2008) Using field data and weight of evidence to develop water quality criteria. *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 4, 490–504.
- Desoutter L, Bertaud A (2022) Bilan technique 2019-2020 : Synthèse annuelle des résultats des suivis environnementaux du Grand Sud (années 2019 et 2020). Rapport OEIL, 365p. : <https://oeil.nc/cdrn/index.php/resource/bibliographie/view/30552>
- Environmental Policy and Planning Division, Department of Environment and Science (2022) Guideline Environmental Protection (Water and Wetland Biodiversity) - Policy 2019, Deciding aquatic ecosystem indicators and local water quality guideline values. *Queensland Government*.
- Guillemot N, Dominique Y (2018) Seuils indicateurs pour la surveillance des paramètres physico-chimiques dans les eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 1 : Evaluation des jeux de données, analyse des potentialités des données historiques de suivi, faisabilité et cadrage d'une démarche pour la mise en place de seuils opérationnels. Rapport OEIL, 52 pages.
- Guillemot N, Dominique Y (2020) Seuils indicateurs pour la surveillance des paramètres physico-chimiques dans les eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 2 : Finalisation de l'approche analytique et implication des futurs utilisateurs, calcul et présentation des gammes de référence, recommandations. Rapport OEIL, 59 pages.
- Lions J, Mauffret A, Devau N (2016) Evaluation des concentrations de référence des fonds hydrogéochimiques des eaux souterraines par lithologie des aquifères. Rapport BRGM/RP-65594-FR, 110p.
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES) (2019) Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau).
- Moore DRJ, Greer CD, Manning G, Woodling K, Beckett KJ, Brain A, Marshall G (2017) A weight-of-evidence approach to deriving a level of concern for atrazine that is protective of aquatic plant communities. *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 13, 686–701.

Technical Guidance for deriving Environmental Quality Standards (2011)
(https://www.researchgate.net/publication/271700747_Guidance_Document_No_27_Technical_Guidance_For_Deriving_Environmental_Quality_Standards#fullTextFileContent)

Van Dam R, Harford A, Warne MS (2012) Time to get off the fence: The need for definitive international guidance for statistical analysis of ecotoxicity data. *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 8, 242–245.

Chapitre X - Annexes

X.1. Annexe 1 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon le type de jeu de données, la position dans le bassin versant, et l'influence de PRNC

Paramètre	Nombre total de mesures	Jeu de données			Position BV			Influence	
		VNC_PRNC	OEIL		Amont	Aval	Inconnu	Référence	Sous influence
Aluminium	4 432	4 408	24	3 438	915	79	221	4 211	
Ammoniac	740	719	21	427	313		35	705	
Arsenic	3 639	3 625	14	2 835	760	44	177	3 462	
Azote total	264	250	14	167	97		13	251	
Brome	1 134	1 134		684	440	10	74	1 060	
Cadmium	4 467	4 453	14	3 472	918	77	221	4 246	
Calcium	4 539	4 504	35	3 504	955	80	235	4 304	
Carbone org. total	486	472	14	308	178		26	460	
Chlorures	3 632	3 588	44	2 395	1 159	78	242	3 390	
Chrome	4 484	4 457	27	3 478	928	78	228	4 256	
Chrome hexavalent	3 034	3 019	15	2 144	815	75	219	2 815	
Cobalt	4 469	4 455	14	3 468	924	77	221	4 248	
Conductivité	7 950	7 878	72	4 999	2 846	105	351	7 599	
Cuivre	4 467	4 453	14	3 472	918	77	220	4 247	
Demande biochim. en ox.	277	241	36	135	142		35	242	
Demande chim. en ox.	2 073	2 037	36	1 167	901	5	74	1 999	
Etain	4 176	4 162	14	3 244	863	69	202	3 974	
Fer	4 443	4 411	32	3 451	916	76	225	4 218	
Fluorures	1 239	1 218	21	735	494	10	93	1 146	
Hydrocarbures totaux	1 765	1 757	8	1 022	743		36	1 729	
Magnésium	4 566	4 521	45	3 515	972	79	246	4 320	
Manganèse	4 635	4 612	23	3 562	994	79	233	4 402	
Matière en suspension	13 858	13 831	27	11 849	1 930	79	222	13 636	
Mercure	23	17	6		23		12	11	
Nickel	4 490	4 461	29	3 479	933	78	227	4 263	
Nitrates	3 567	3 524	43	2 334	1 158	75	240	3 327	
Nitrites	1 351	1 331	20	803	538	10	99	1 252	
Oxygène dissous	3 192	3 144	48	2 108	1 083	1	100	3 092	
pH	7 194	7 125	69	4 483	2 621	90	310	6 884	
Phosphates	3 621	3 581	40	2 411	1 135	75	234	3 387	
Phosphore	4 458	4 458		3 476	905	77	210	4 248	
Plomb	4 453	4 439	14	3 463	912	78	217	4 236	
Potassium	4 554	4 529	25	3 503	972	79	223	4 331	
Potentiel d'oxydo-red.	1 619	1 619		900	719			1 619	
Silice	216	209	7	205	11		9	207	
Silicium	4 542	4 515	27	3 504	959	79	231	4 311	
Sodium	4 564	4 520	44	3 512	974	78	247	4 317	
Soufre	4 499	4 499		3 497	924	78	210	4 289	
Sulfates	4 325	4 278	47	3 063	1 185	77	248	4 077	
Température	5 317	5 245	72	3 252	2 019	46	263	5 054	
Titre alcalimétrique	2 823	2 818	5	1 972	796	55	193	2 630	
Titre alcalimétrique complet	2 822	2 818	4	1 968	800	54	194	2 628	
Turbidité	24 904	24 837	67	20 385	4 431	88	289	24 615	
Zinc	4 015	4 001	14	3 119	832	64	187	3 828	
Total	181 318	180 173	1 145	134 908	44 051	2 359	7 792	173 526	

X.2. Annexe 2 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon l'année suivie

Paramètre	Année												
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Aluminium	289	216	244	276	312	319	197	320	402	403	223	672	559
Ammoniac	2		1	15	11	5		50	21	13	119	267	236
Arsenic	61	103	63	129	309	318	198	322	281	401	223	672	559
Azote total	62	7		13	5	55	34	43	9	10	5	11	10
Brome									62	146	193	380	353
Cadmium	290	253	244	270	309	318	198	323	404	404	223	672	559
Calcium	293	301	245	276	312	319	198	322	404	415	223	672	559
Carbone org. total	144	97	14	20	17	61	38	50	9	19	2	6	9
Chlorures	331	319	255	287	334	320	209	307	145	156	193	423	353
Chrome	291	256	244	274	310	320	198	323	404	410	223	672	559
Chrome hexavalent	298	202	242	269	265	240	147	230	112	121	167	401	340
Cobalt	290	253	244	270	309	318	198	324	405	404	223	672	559
Conductivité	660	551	668	564	463	530	493	738	552	548	316	1 053	814
Cuivre	290	253	244	270	309	318	198	324	403	404	223	672	559
Demande biochim. en ox.	110	88	3	8	15	7				6			40
Demande chim. en ox.	126	186	131	132	127	112	92	106	107	127	168	357	302
Etain	290	241	244	270	108	225	193	323	403	426	223	671	559
Fer	291	251	205	276	312	320	197	324	403	410	223	672	559
Fluorures				6	10	5			140	152	193	380	353
Hydrocarbures totaux	79	126	67	97	108	85	83	100	104	103	163	351	299
Magnésium	292	316	244	277	312	320	198	331	405	416	223	673	559
Manganèse	335	368	244	270	310	319	199	322	404	410	223	672	559
Matière en suspension	4 562	1 700	1 516	1 127	1 275	761	511	578	252	351	269	517	439
Mercuré				6									17
Nickel	292	260	244	274	312	320	198	325	403	410	223	670	559
Nitrates	337	317	255	288	334	315	198	297	145	156	193	379	353
Nitrites	118			6	12	5			140	144	193	380	353
Oxygène dissous				48	151	141	81	121	354	360	258	940	738
pH	647	459	667	516	441	449	318	424	536	537	345	1 046	809
Phosphates	345	251	253	290	339	349	206	307	152	160	193	423	353
Phosphore	291	253	244	270	299	314	197	323	403	410	223	672	559
Plomb	290	242	244	270	309	316	198	323	403	404	223	672	559
Potassium	341	279	244	276	312	320	198	323	403	404	222	673	559
Potentiel d'oxydo-red.		3	11	10	48	42	30	42	13	5	151	680	584
Silice		4	12	10	48	42	35	50	15				
Silicium	292	316	242	278	307	318	194	323	403	415	223	672	559
Sodium	292	319	244	276	312	320	196	332	406	413	223	672	559
Soufre	289	312	244	262	299	312	195	324	405	403	223	672	559
Sulfates	346	321	255	290	344	350	211	352	422	427	199	438	370
Température	159	58	65	197	439	449	323	424	533	522	305	1 035	808
Titre alcalimétrique		144	258	275	300	220	187	272	125	127	171	406	338
Titre alcalimétrique complet		157	253	274	300	220	187	272	125	124	168	405	337
Turbidité	4 505	1 775	1 554	1 417	3 784	2 613	1 376	2 200	1 261	1 399	893	1 173	954
Zinc	290	252	246	270	109	74	193	321	403	404	222	672	559
Total	18 220	11 809	10 897	11 199	14 641	13 084	8 500	13 115	12 881	13 479	9 092	24 218	20 183

X.3. Annexe 3 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon le bassin versant

Paramètre	Bassin versant												
	Carenage	CBN	Entonnoir	Kadji	Kaori	Kuebini	Kwe_est	Kwe_nord	Kwe_ouest	Kwe_principale	Trou_bleu	Truu	Wadjana
Aluminium		608	78	4	4	4	409	409	2 050	462	125	191	88
Ammoniac		57				2		1	415	227	27	5	2
Arsenic		473	44	4	3	1	219	263	1 880	422	100	157	73
Azote total		72		4	3	1	3	5	149	18	8		1
Brome		211	10				62	49	402	263	42	63	32
Cadmium	1	615	77	4	3	1	409	416	2 065	471	125	189	91
Calcium	3	648	79	7	8	7	411	418	2 080	475	127	186	90
Carbone org. total	4	180		5	4	4	2	13	232	28	14		
Chlorures	7	854	77	8	10	10	400	413	973	477	125	188	90
Chrome	2	614	78	4	6	5	411	414	2 074	472	125	189	90
Chrome hexavalent		509	75	3	3	1	405	417	758	466	128	182	87
Cobalt		613	77	4	3	1	409	415	2 064	477	125	189	92
Conductivité	10	2 128	105	22	16	9	618	569	2 378	1 512	194	267	122
Cuivre		612	77	4	3	1	406	415	2 071	473	125	189	91
Demande biochim. en ox.	2	94		6	6	8		12	79	51	17		2
Demande chim. en ox.	4	755	5	4	8	7	81	147	549	444	45	14	10
Etain		572	69	4	3	1	369	372	1 975	446	116	167	82
Fer	2	611	76	4	6	6	397	414	2 066	468	122	182	89
Fluorures		239	10		4	2	69	54	426	284	53	64	34
Hydrocarbures totaux		630		2			48	124	497	422	34	6	2
Magnésium	7	651	78	7	10	10	409	420	2 088	478	128	189	91
Manganèse	2	694	79	5	6	4	407	425	2 117	485	131	190	90
Matière en suspension		1 690	78	4	4	3	4 927	3 918	1 809	1 026	123	184	92
Mercure		2			1	1				9	9		1
Nickel	2	621	78	4	5	6	410	416	2 071	474	124	189	90
Nitrates	7	857	75	7	10	10	394	407	930	469	124	188	89
Nitrites		280	10	4	4	2	69	63	468	295	58	63	35
Oxygène dissous	10	646	1	2	13	9	26	3	1 524	830	37	60	31
pH	10	1 946	90	23	14	10	510	470	2 193	1 423	175	229	101
Phosphates	7	847	75	4	10	8	402	414	984	472	121	189	88
Phosphore		613	77	5			411	415	2 071	466	121	190	89
Plomb		609	78	4	3	1	404	416	2 065	470	123	190	90
Potassium		682	78	6	4	4	406	419	2 072	477	125	191	90
Potentiel d'oxydo-red.		3							900	716			
Silice	3	4			2	2		1	199	2		1	2
Silicium	2	651	78	7	5	6	406	417	2 090	474	127	188	91
Sodium	7	654	77	7	10	10	410	419	2 082	479	128	189	92
Soufre		641	78	7			405	418	2 083	467	121	190	89
Sulfates	7	893	76	7	10	12	399	422	1 612	478	127	190	92
Température	9	1 081	46	18	14	12	265	273	1 921	1 280	154	170	74
Titre alcalimétrique		522	55				283	304	847	436	104	183	89
Titre alcalimétrique complet		525	54				289	304	839	435	106	182	88
Turbidité	7	1 773	88	15	13	10	6 605	6 367	6 176	3 377	166	214	93
Zinc		547	64	4	3	1	347	346	1 930	433	107	157	76
Total	115	28 527	2 350	233	238	192	23 312	22 397	66 254	24 309	4 316	6 144	2 931

X.4. Annexe 4 - Structure du jeu de données de suivi utilisé dans le BGS selon la saison hydrologique

Paramètre	Saison hydrologique		
	Humide	Seche	Transition
Aluminium	1 406	961	2 065
Ammoniac	226	117	397
Arsenic	1 111	859	1 669
Azote total	55	62	147
Brome	379	211	544
Cadmium	1 408	976	2 083
Calcium	1 431	991	2 117
Carbone org. total	130	100	256
Chlorures	1 189	800	1 643
Chrome	1 411	988	2 085
Chrome hexavalent	1 003	670	1 361
Cobalt	1 409	977	2 083
Conductivité	2 582	1 786	3 582
Cuivre	1 409	975	2 083
Demande biochim. en ox.	55	63	159
Demande chim. en ox.	644	441	988
Etain	1 402	872	1 902
Fer	1 386	973	2 084
Fluorures	422	223	594
Hydrocarbures totaux	560	396	809
Magnésium	1 443	1 001	2 122
Manganèse	1 467	999	2 169
Matière en suspension	7 062	2 071	4 725
Mercuré	4	9	10
Nickel	1 414	987	2 089
Nitrates	1 185	781	1 601
Nitrites	443	263	645
Oxygène dissous	1 034	631	1 527
pH	2 259	1 596	3 339
Phosphates	1 182	806	1 633
Phosphore	1 411	969	2 078
Plomb	1 411	973	2 069
Potassium	1 433	996	2 125
Potentiel d'oxydo-red.	446	295	878
Silice	68	55	93
Silicium	1 430	991	2 121
Sodium	1 440	998	2 126
Soufre	1 420	971	2 108
Sulfates	1 380	962	1 983
Température	1 678	1 202	2 437
Titre alcalimétrique	926	647	1 250
Titre alcalimétrique complet	923	645	1 254
Turbidité	12 343	3 970	8 591
Zinc	1 310	872	1 833
Total	64 730	37 131	79 457

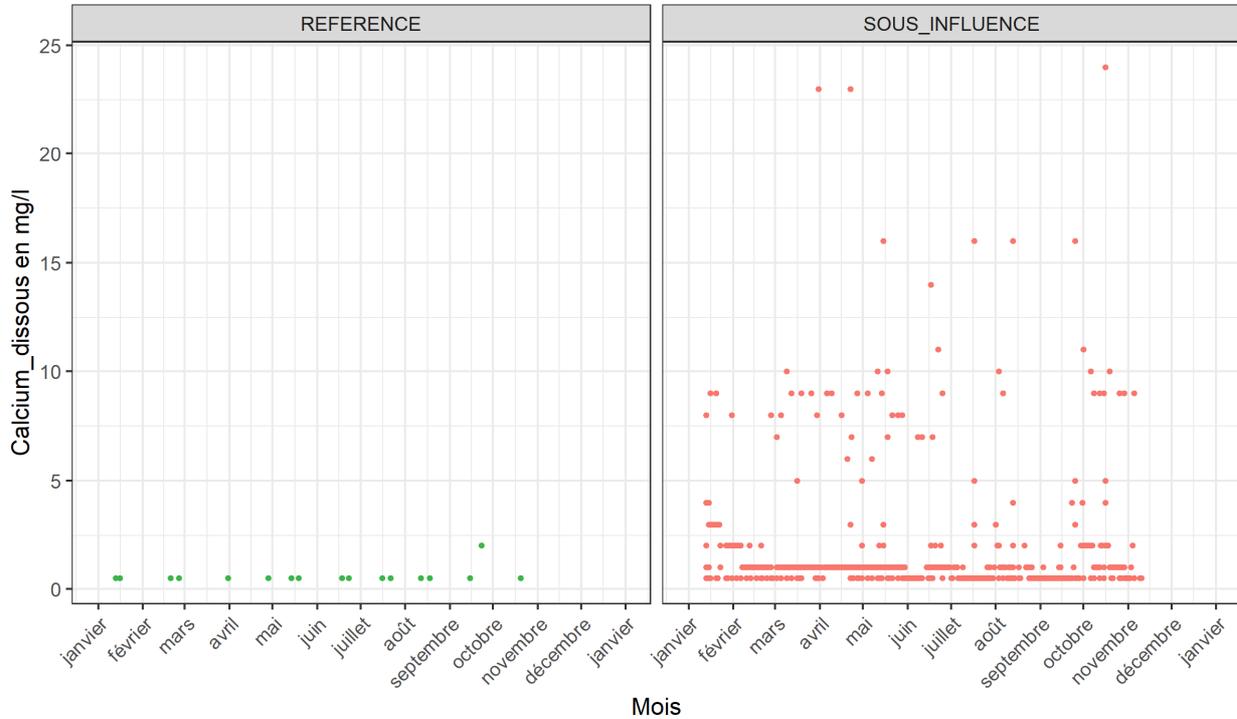
X.5. Annexe 5 - Liste des stations de suivi représentées dans le jeu de données traité et informations contextuelles correspondantes

ID station	Bassin versant	Position sur le bassin versant	Niveau d'influence	Détail influence
6-aff	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-1	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-2	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-3	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-4	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-5	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-6	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-Q	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	USINE
6-R	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-S	CBN	Amont	SOUS_INFLUENCE	USINE
6-BNOR1	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	USINE
6-BNOR2	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-10	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-11	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-12	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6DEB13	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6DEB14	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-7	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-8	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-deb-9	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-T	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	USINE
6-T_BLANC	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
6-U	CBN	Aval	SOUS_INFLUENCE	USINE
5-E	Kadji	Aval	SOUS_INFLUENCE	BASEVIE
CS-01	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	MINE
CS-02	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	MINE
KE-01	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KE-02	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KE-03	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KE-04	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KE-05	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	MINE
KE-06	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN2	Kwe_est	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
4-M	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	UMP-CIM
KN_16	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-01	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-02	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-08	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-09	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-10	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-11	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-12	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-14	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KN-15	Kwe_nord	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
3-A	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	ASR
3-B	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	ASR
3-D	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	ASR
3-E	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	ASR
4-deb-3	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
4-N	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	UMP-CIM

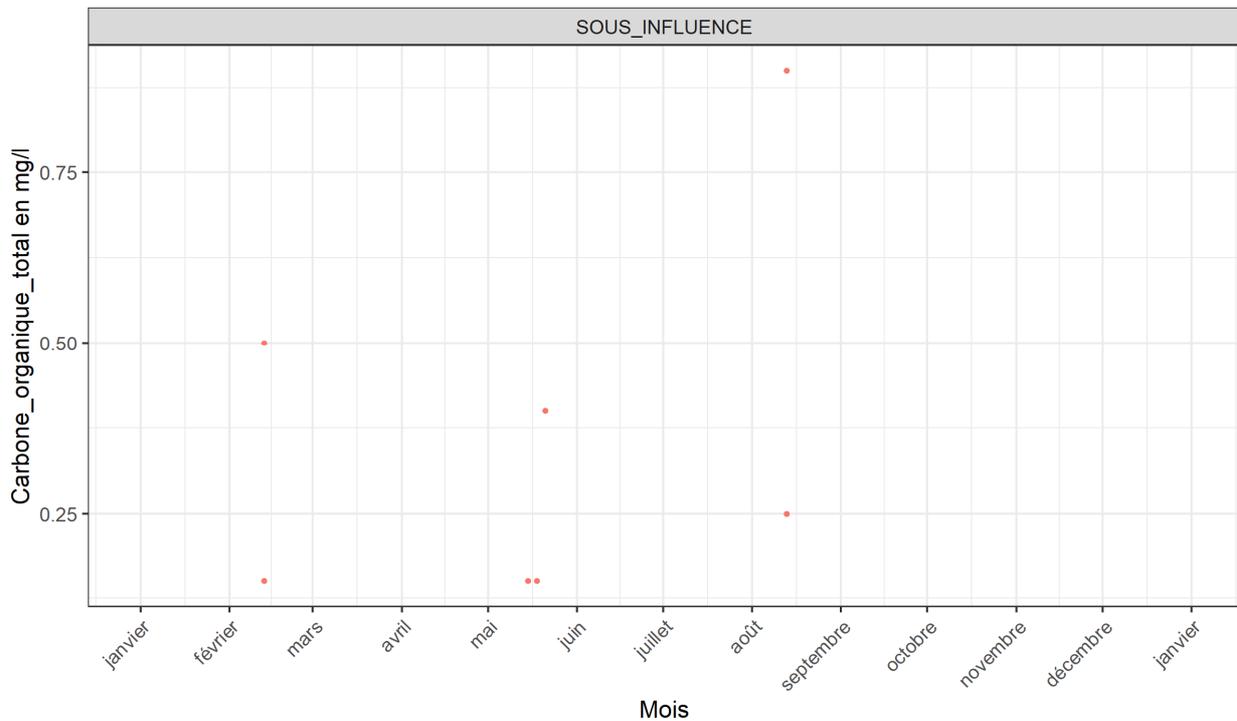
KO-01	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KO-02	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KO-06	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KO4-20-I	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
KO5-10-I	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	UMP-CIM
KO5-20-I	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	UMP-CIM
KO5-50-I	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	UMP-CIM
KOL	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	ASR
Kwe_Ouest	Kwe_ouest	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
1-A	Kwe_principale	Aval	SOUS_INFLUENCE	ASR_UPM-CIM
1-E	Kwe_principale	Aval	SOUS_INFLUENCE	ASR_UPM-CIM
TR-02	Truu	Amont	SOUS_INFLUENCE	MINE
TR-03	Truu	Amont	SOUS_INFLUENCE	OUI
TR-01	Truu	Aval	SOUS_INFLUENCE	MINE
TR-04	Truu	Aval	SOUS_INFLUENCE	MINE
TR-05	Truu	Aval	SOUS_INFLUENCE	OUI
Carénage_Amont	Carenage	Amont	REFERENCE	REFERENCE
Carénage_Aval	Carenage	Aval	REFERENCE	REFERENCE
carenage_intermediaire	Carenage	na	REFERENCE	REFERENCE
Fausse_Yaté_Amont	Fausse_Yate	Amont	REFERENCE	REFERENCE
Fausse_Yaté_Aval	Fausse_Yate	Aval	REFERENCE	REFERENCE
Fausse_Yaté_Intermédiaire	Fausse_Yate	Aval	REFERENCE	REFERENCE
FausseYateTD1	Fausse_Yate	Aval	REFERENCE	REFERENCE
KadjadriteC1	Kadjadrite	Amont	REFERENCE	REFERENCE
Kaori_Amont	Kaori	Amont	REFERENCE	REFERENCE
KAOR200	Kaori	Aval	REFERENCE	REFERENCE
Kaori_Aval	Kaori	Aval	REFERENCE	REFERENCE
KAO1	Kaori	na	REFERENCE	REFERENCE
KAO2	Kaori	na	REFERENCE	REFERENCE
kaoris_intermediaire	Kaori	na	REFERENCE	REFERENCE
KavekoiC1	Kavekoi	Amont	REFERENCE	REFERENCE
Kueb_Amont	Kuebini	Aval	REFERENCE	REFERENCE
Kueb_Aval	Kuebini	Aval	REFERENCE	REFERENCE
KUEB300	Kuebini	Aval	REFERENCE	REFERENCE
ProjetKuebiniC1	Kuebini	Aval	REFERENCE	REFERENCE
KUEB300_BLANC	Kuebini	na	REFERENCE	REFERENCE
kwe_binyi	Kuebini	na	REFERENCE	REFERENCE
StGabrielC1	StGabriel	Aval	REFERENCE	REFERENCE
SourceTara	Tara	Aval	REFERENCE	REFERENCE
TaraC1	Tara	Aval	REFERENCE	REFERENCE
3-C	Trou_bleu	Aval	REFERENCE	REFERENCE
trou_bleu	Trou_bleu	na	REFERENCE	REFERENCE
WJ-01	Wadjana	Amont	REFERENCE	REFERENCE
WAJA300	Wadjana	Aval	REFERENCE	REFERENCE
WAD1	Wadjana	na	REFERENCE	REFERENCE
WAD2	Wadjana	na	REFERENCE	REFERENCE
wadja_radier	Wadjana	na	REFERENCE	REFERENCE
wadja_tribu	Wadjana	na	REFERENCE	REFERENCE

X.6. Annexe 6 - Graphiques descriptifs présentant la structure des nuages de points pour chaque paramètre au cours de l'année 2020 diagnostiquée (un point = une valeur mesurée)

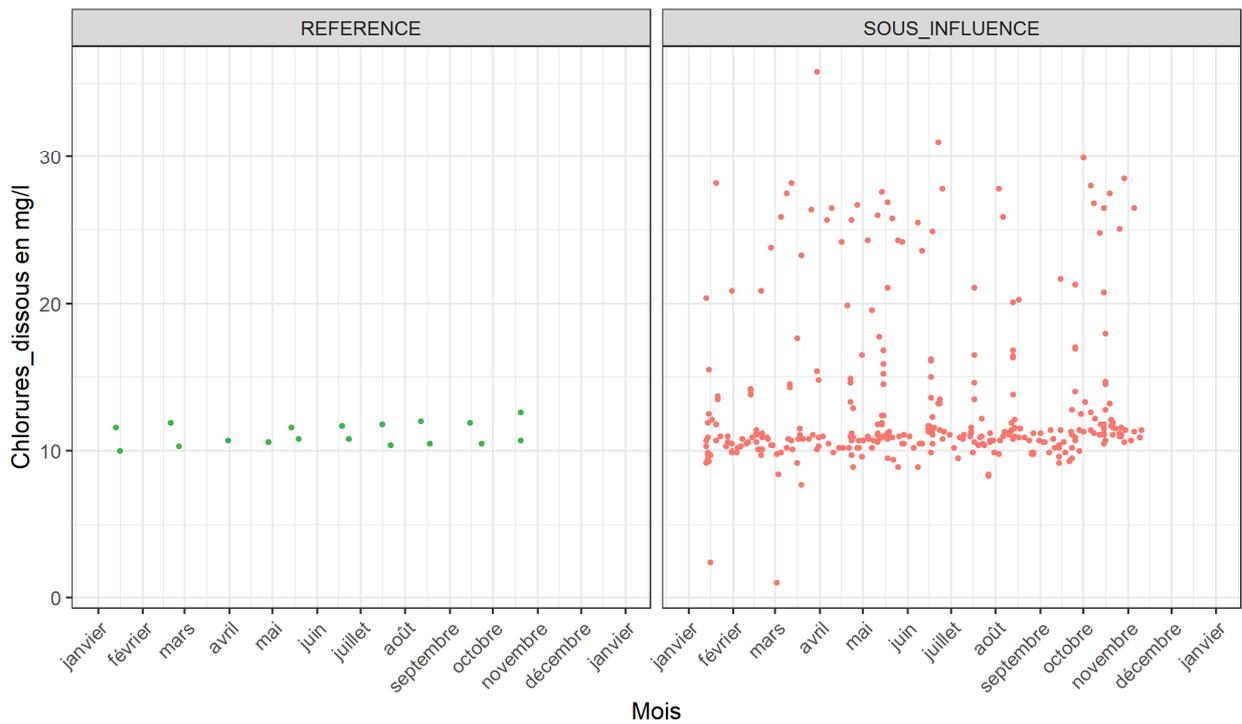
Calcium_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



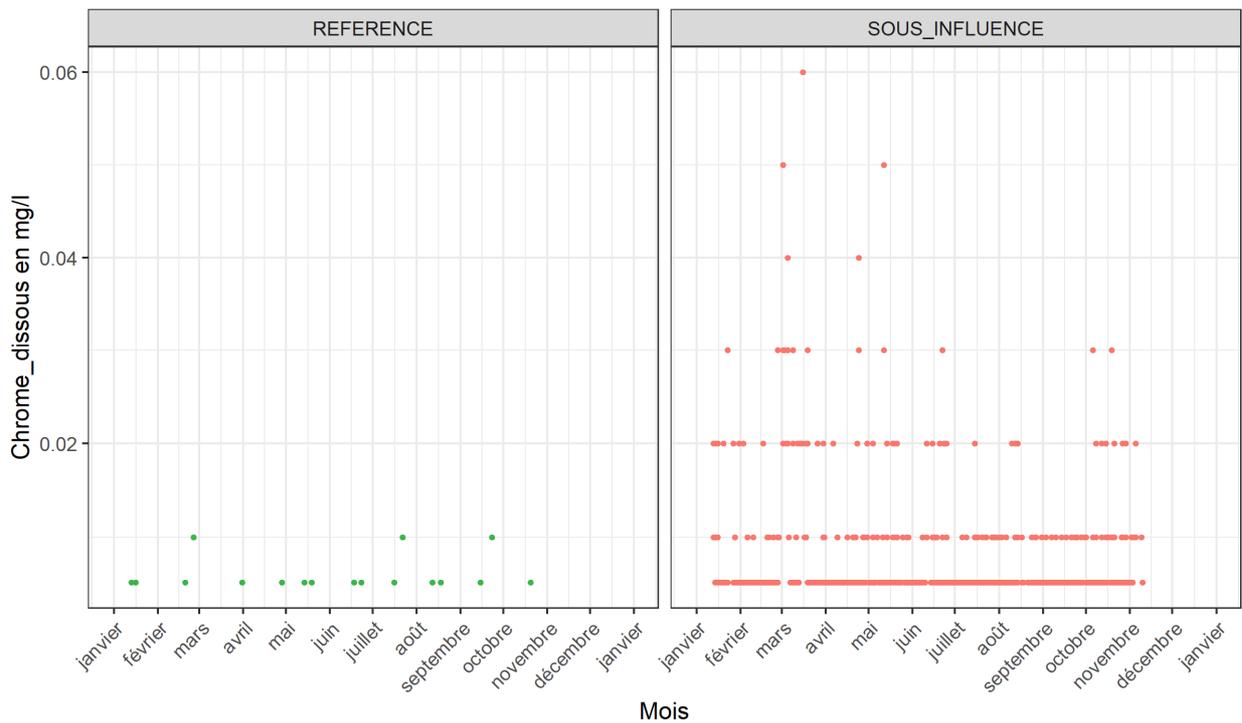
Carbone_organique_total : évolution temporelle (structure des données) en 2020



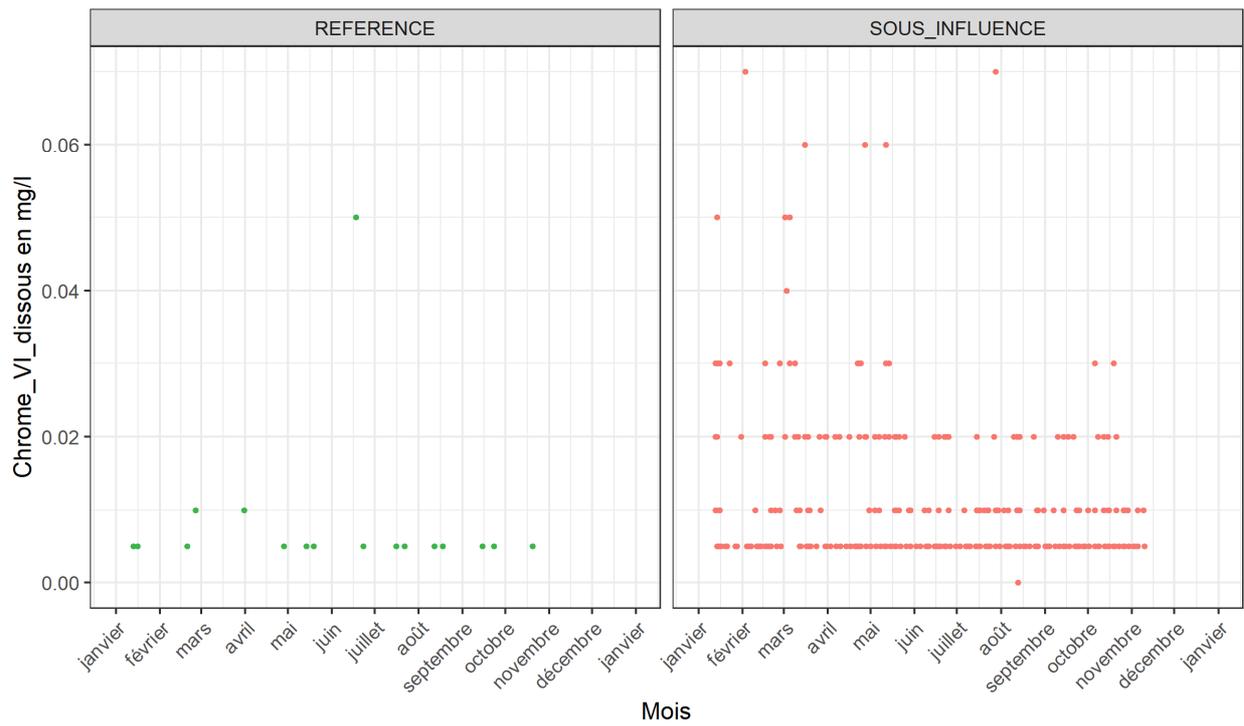
Chlorures_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



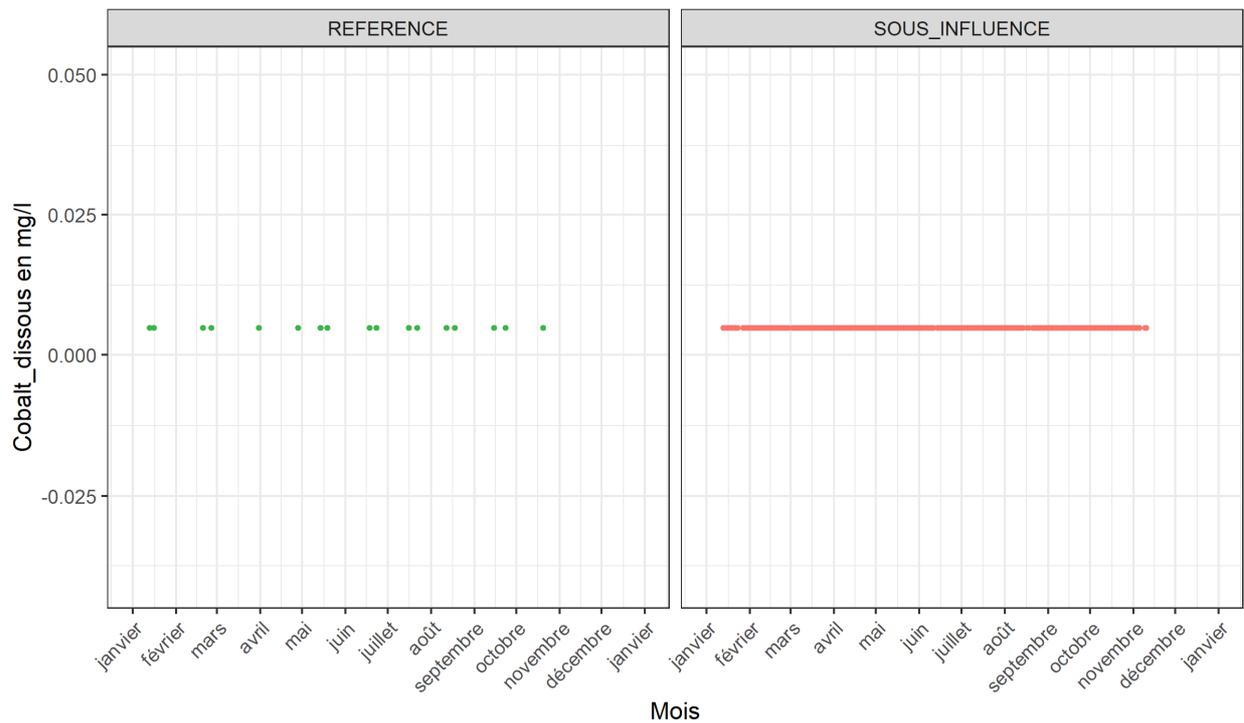
Chrome_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



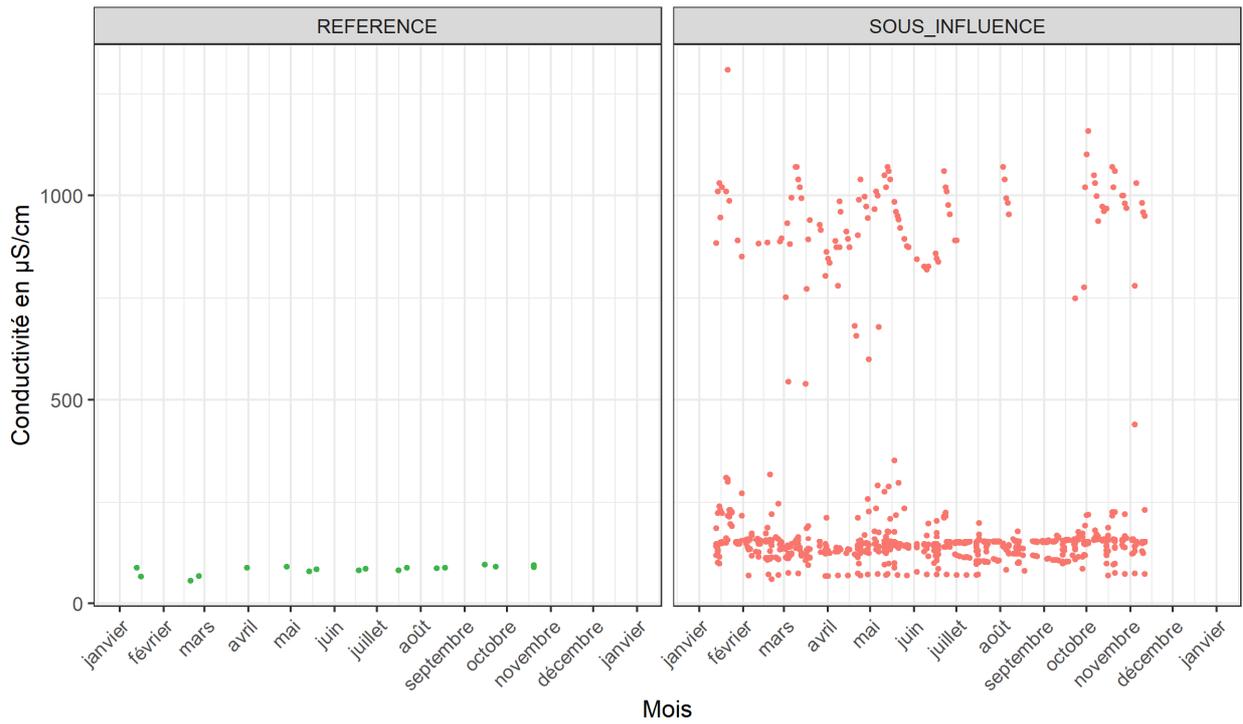
Chrome_VI_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



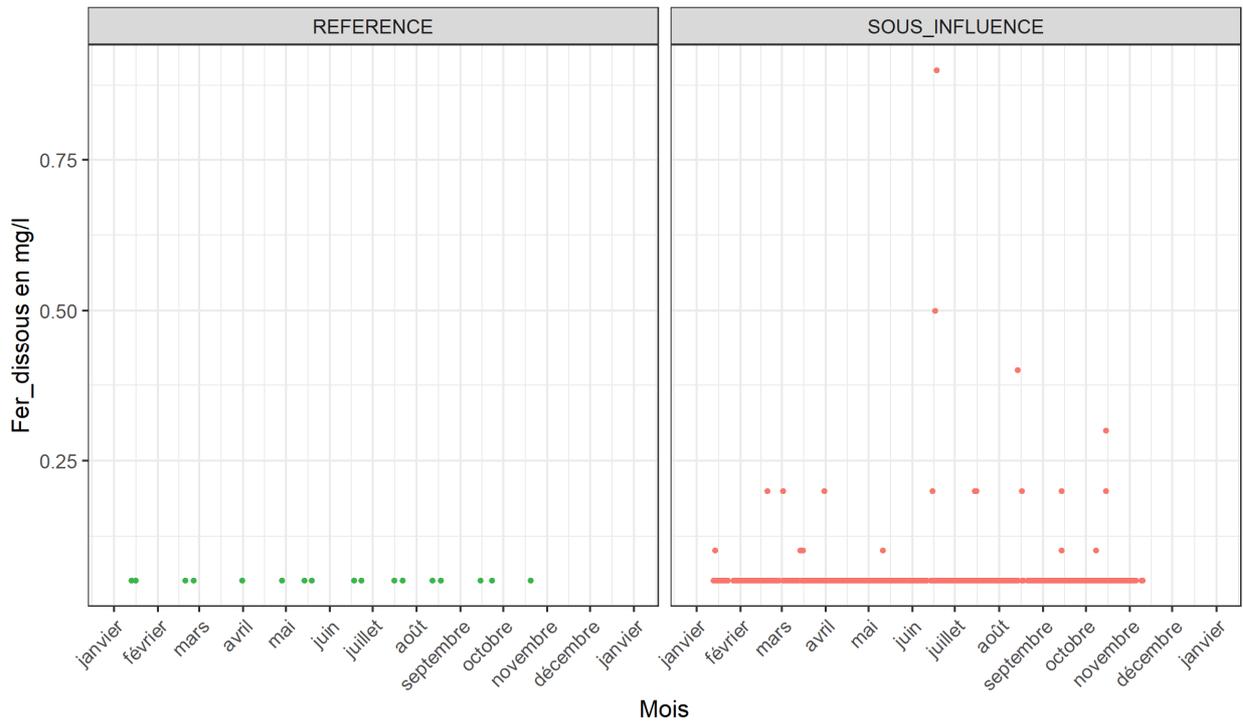
Cobalt_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



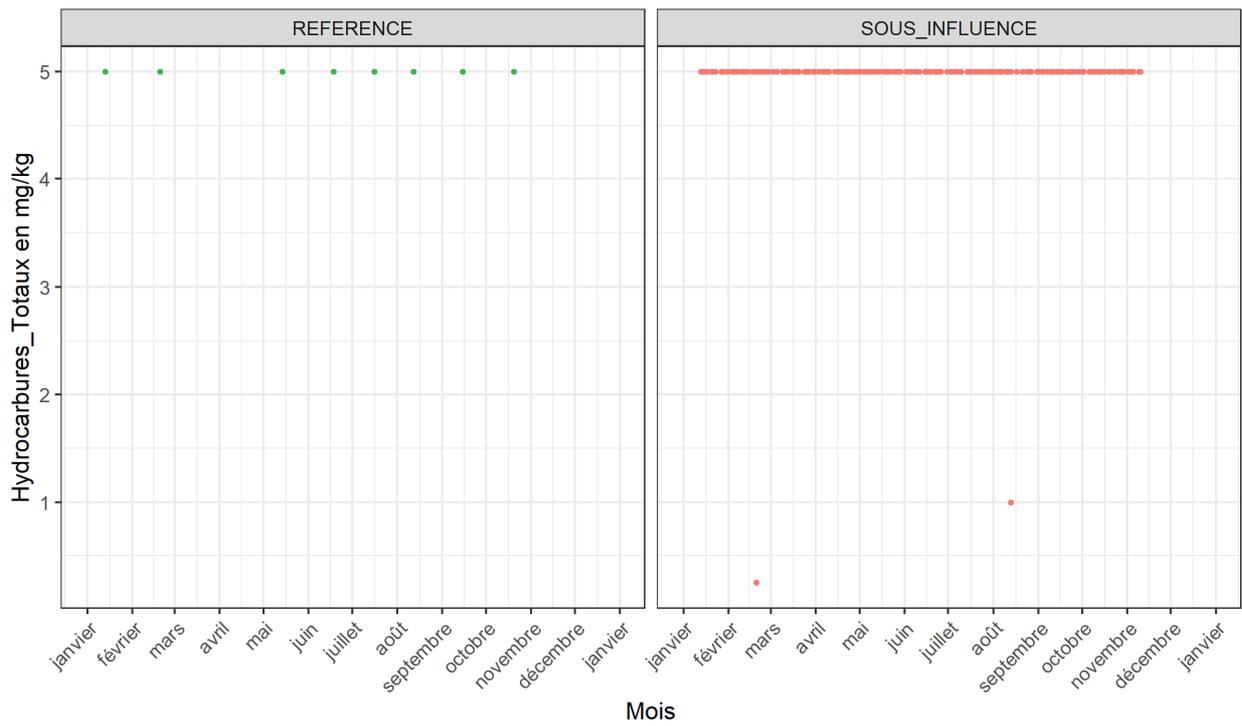
Conductivité : évolution temporelle (structure des données) en 2020



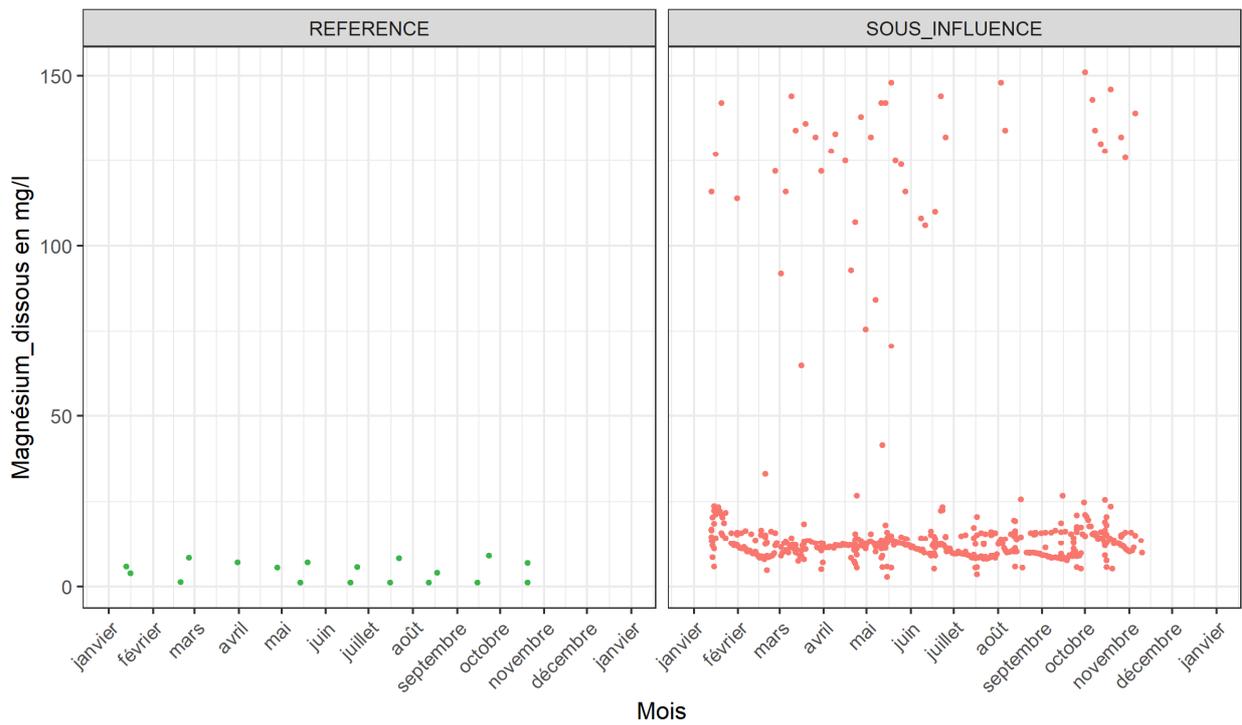
Fer_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



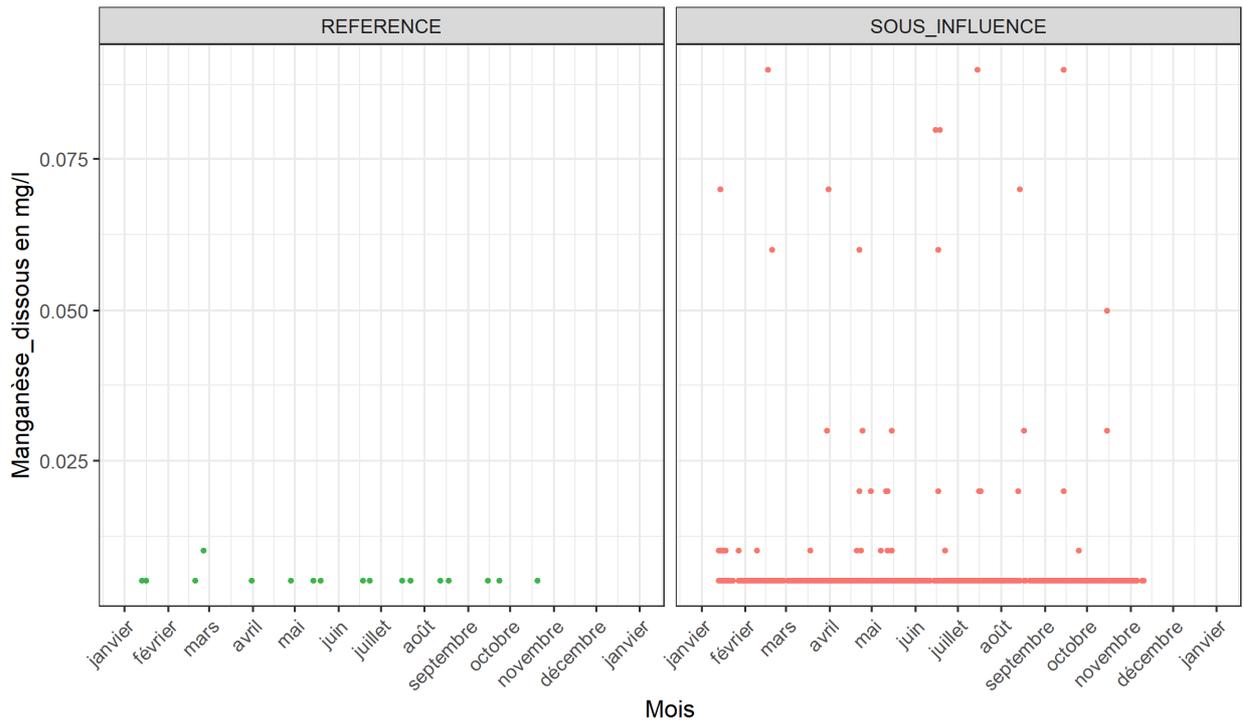
Hydrocarbures_Totaux : évolution temporelle (structure des données) en 2020



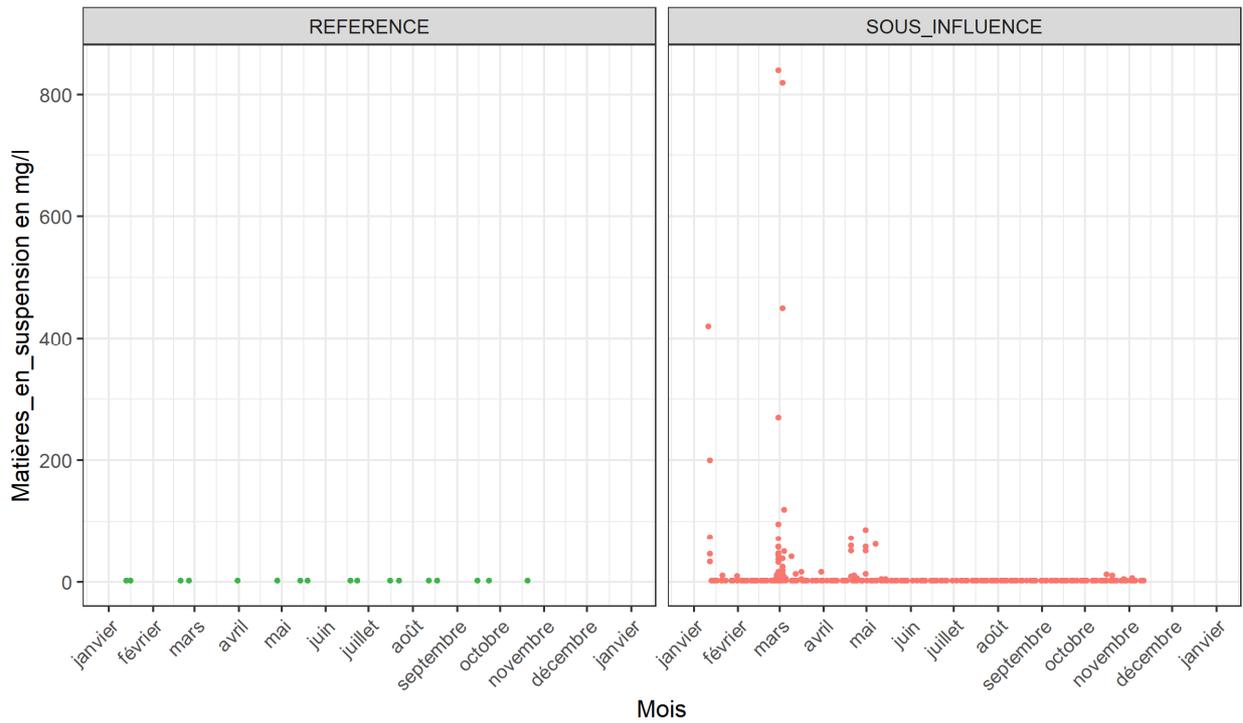
Magnésium_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



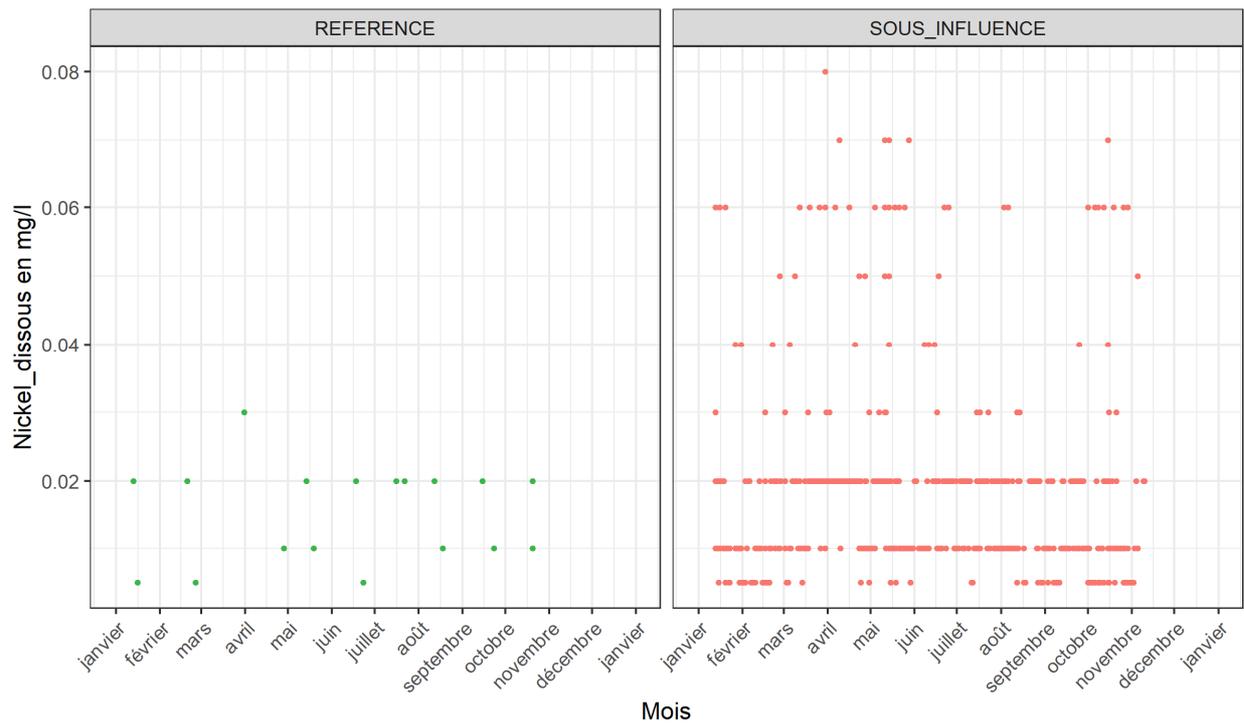
Manganèse_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



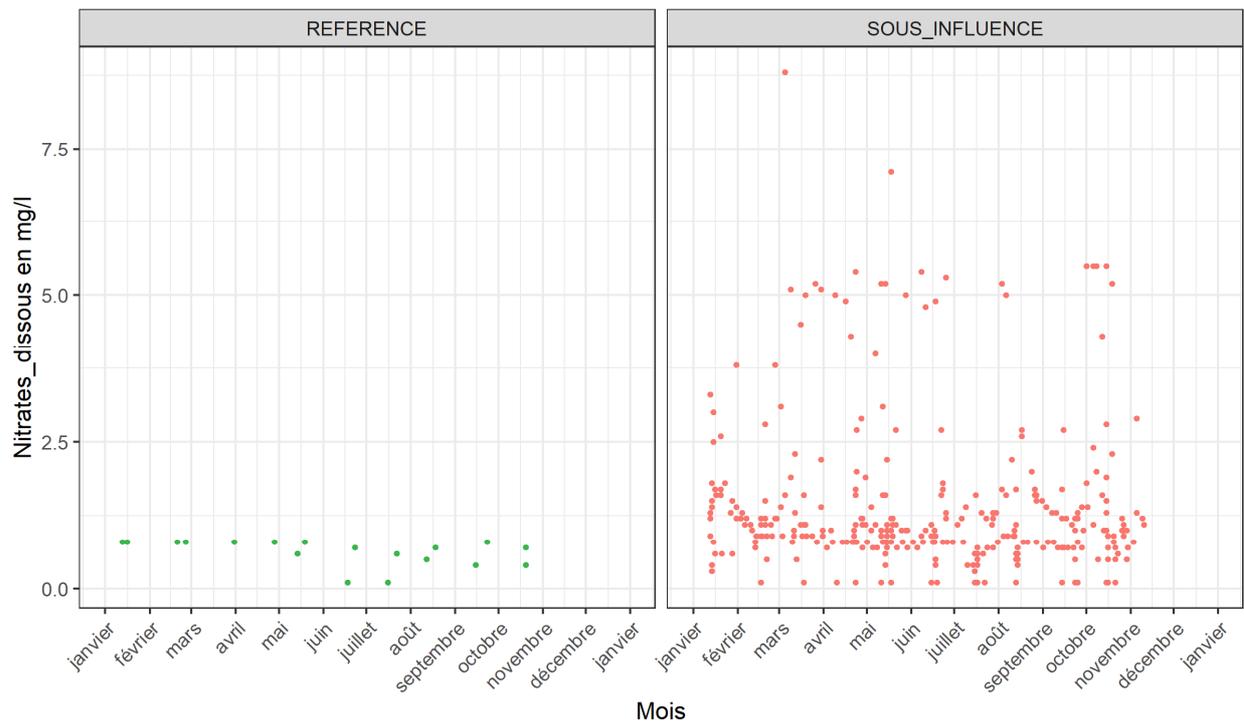
Matières_en_suspension : évolution temporelle (structure des données) en 2020



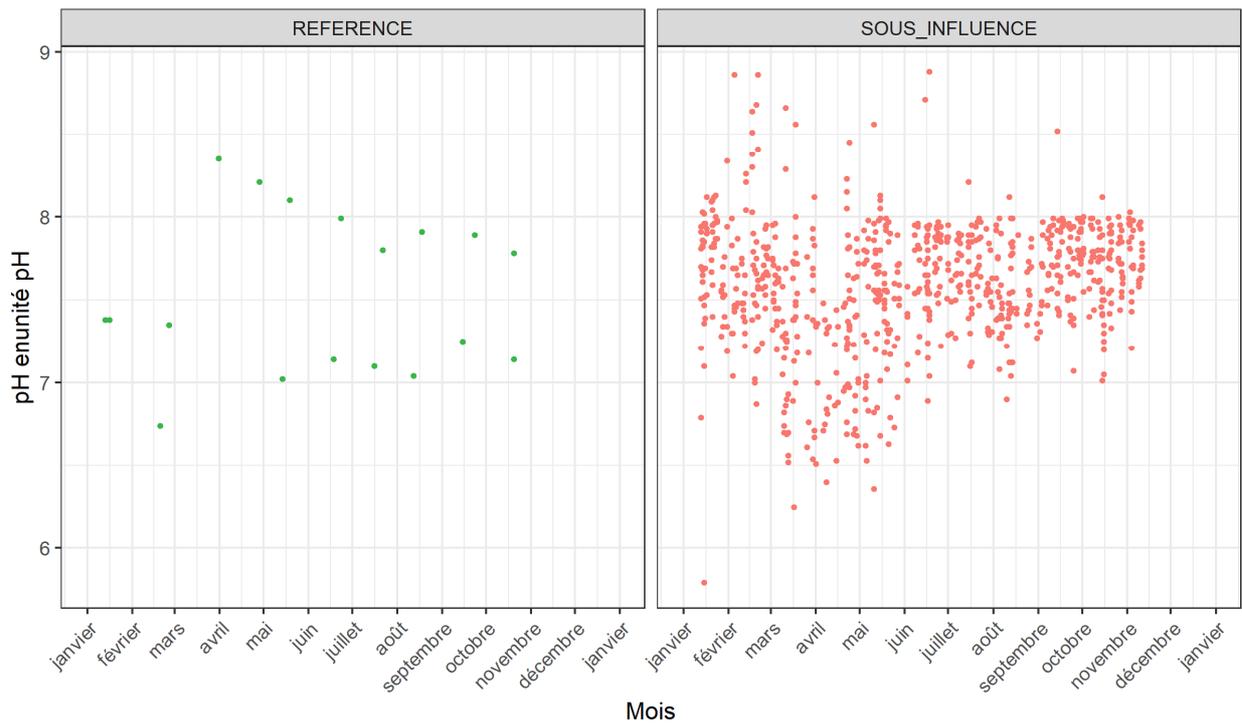
Nickel_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



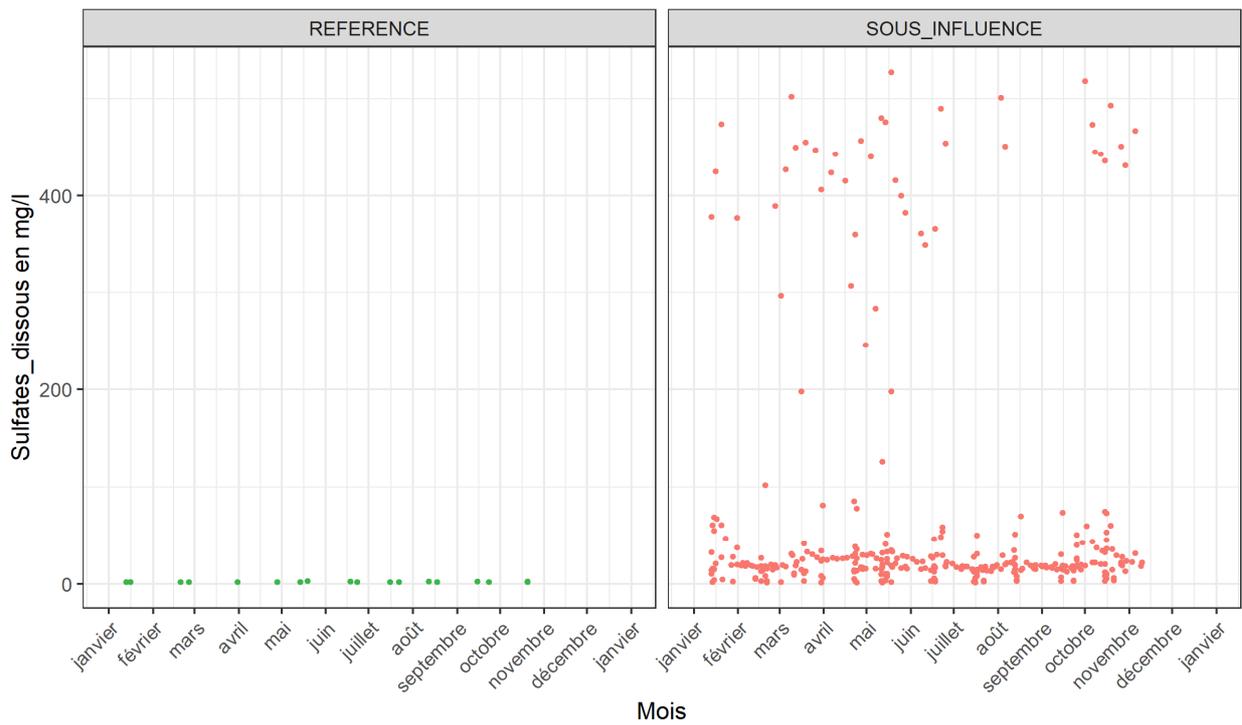
Nitrates_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



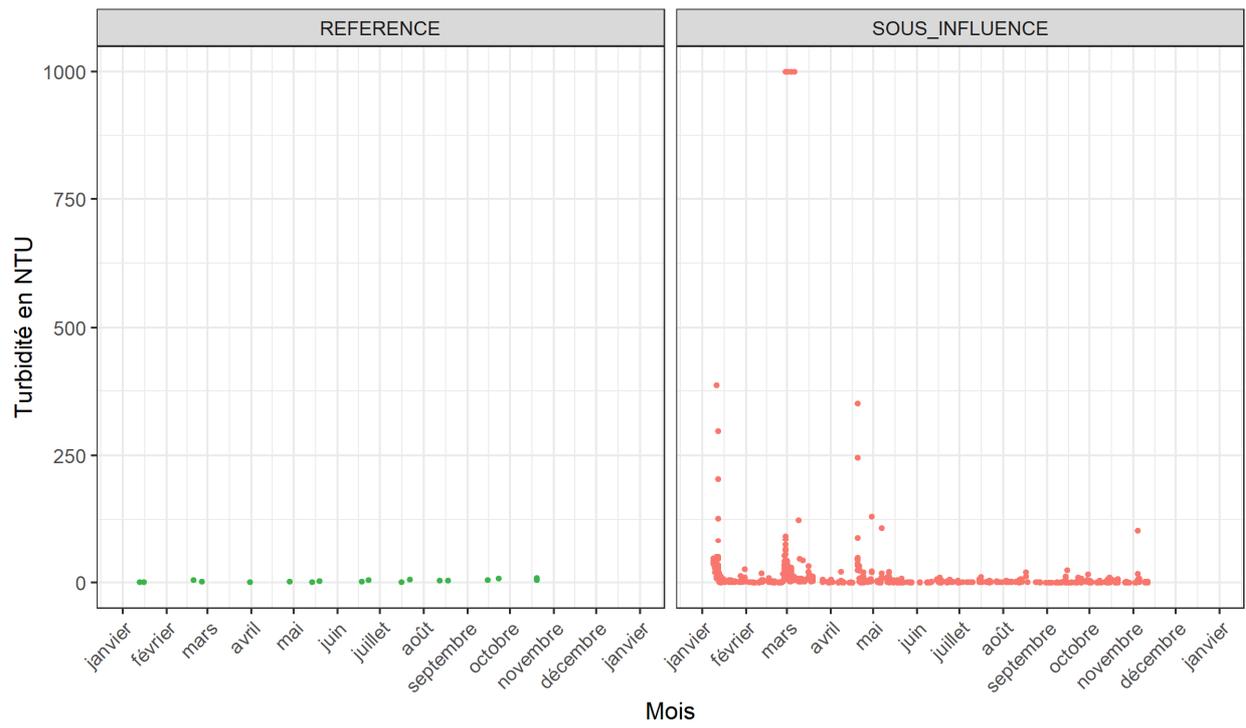
pH : évolution temporelle (structure des données) en 2020



Sulfates_dissous : évolution temporelle (structure des données) en 2020



Turbidité : évolution temporelle (structure des données) en 2020



X.7. Annexe 7 - Fiches résumant les éléments descriptifs et critiques pour les 17 paramètres sélectionnés

CALCIUM | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

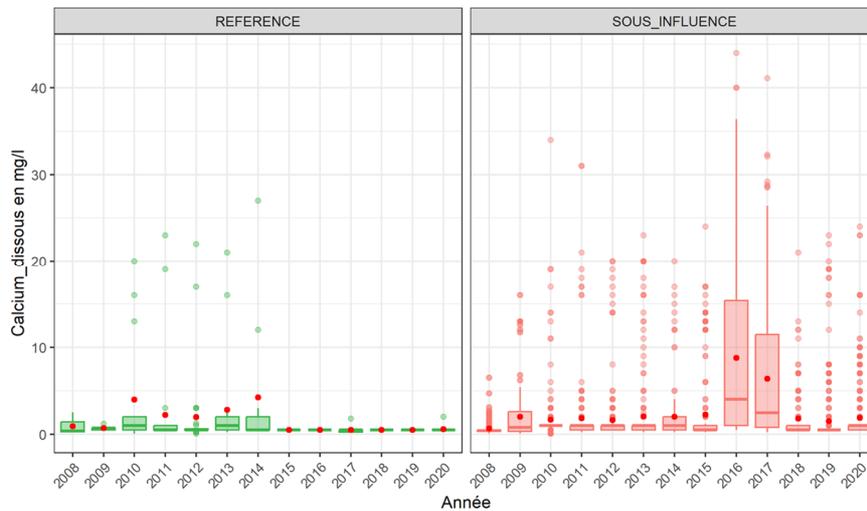
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 29 % des 21 stations échantillonnées en 2020

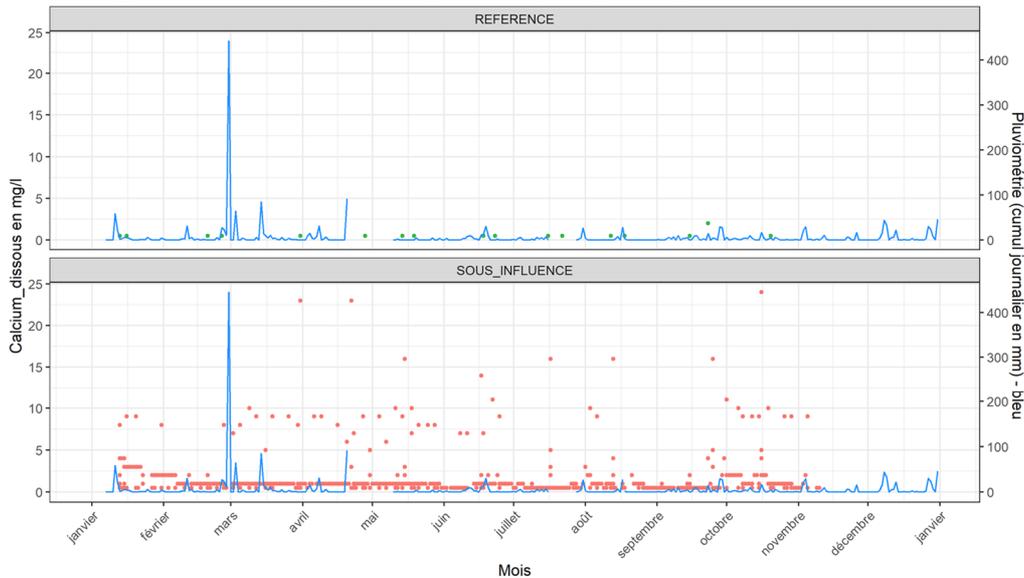
Comportement temporel : indication de tendance non-pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Calcium	21	10	48%		5	24%	6	29%

Calcium_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Calcium_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

CARB. ORG. TOTAL | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 9 mesures sur 5 stations (2 bassins versants)

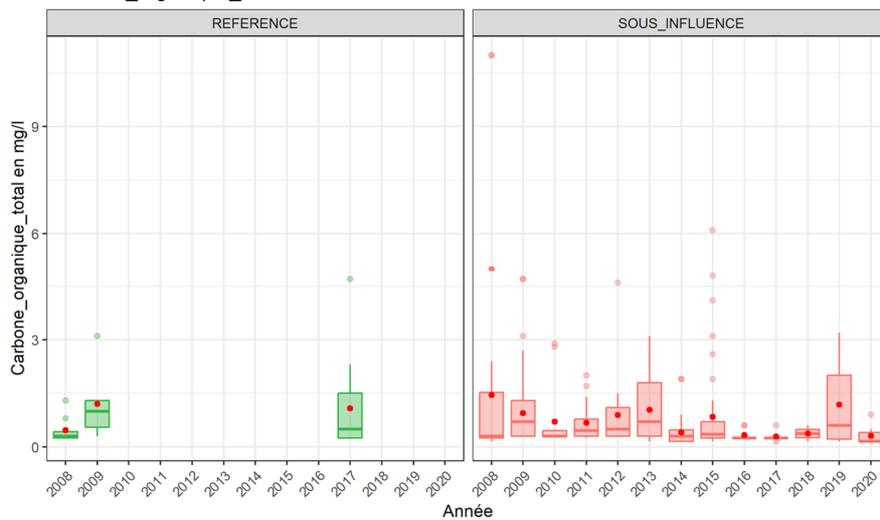
Validité du jeu de données de référence / benchmark : invalide (volume de données)

Diagnostic identique BGS / benchmark : 0 % des 5 stations échantillonnées en 2020

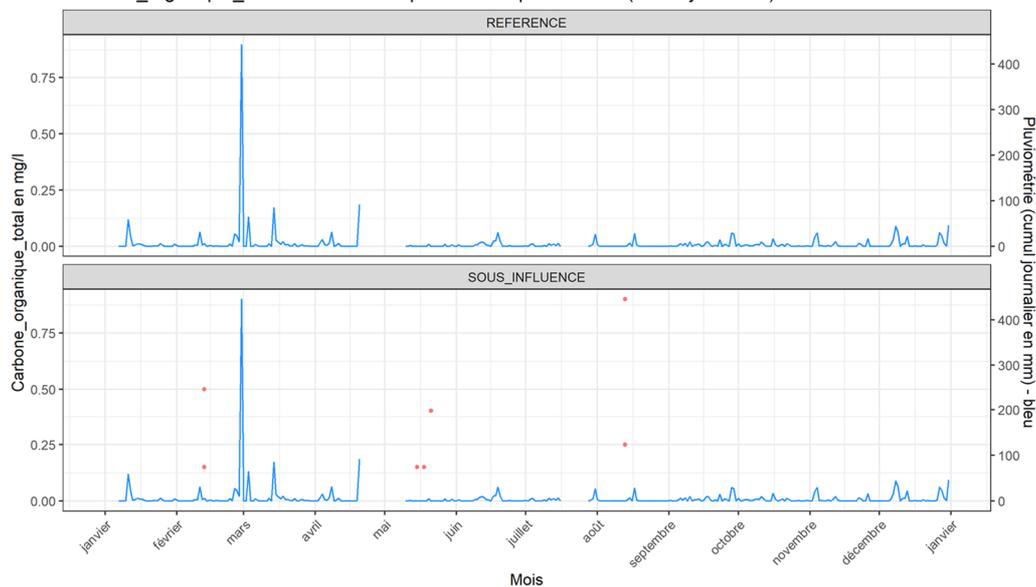
Comportement temporel : trop peu de valeurs pour conclure

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
COT	5				5	100%		

Carbone_organique_total : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Carbone_organique_total : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Augmenter le nombre de valeurs pour caractériser le comportement de la matière organique dans les cours d'eau du Grand Sud. Ce paramètre peut fortement influencer le comportement des ETM dans l'eau.

CHLORURES | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 330 mesures sur 22 stations (5 bassins versants)

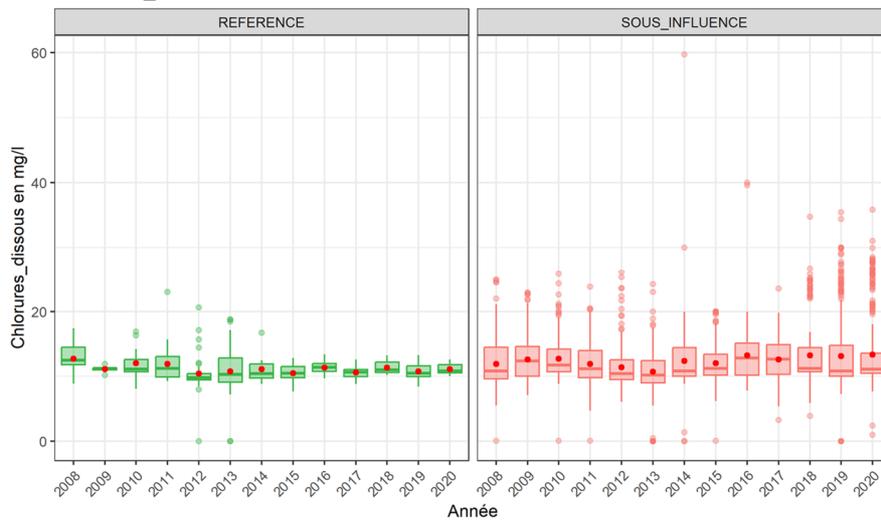
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 64 % des 22 stations échantillonnées en 2020

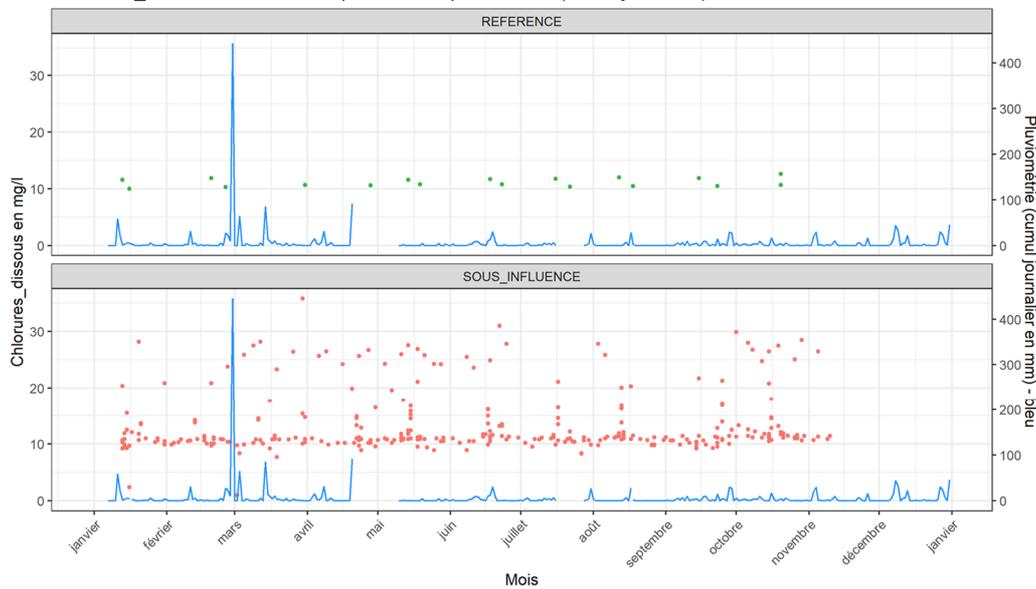
Comportement temporel : indication de tendance non pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Chlorures	22	1	5%		7	32%	14	64%

Chlorures_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Chlorures_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

CHROME | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

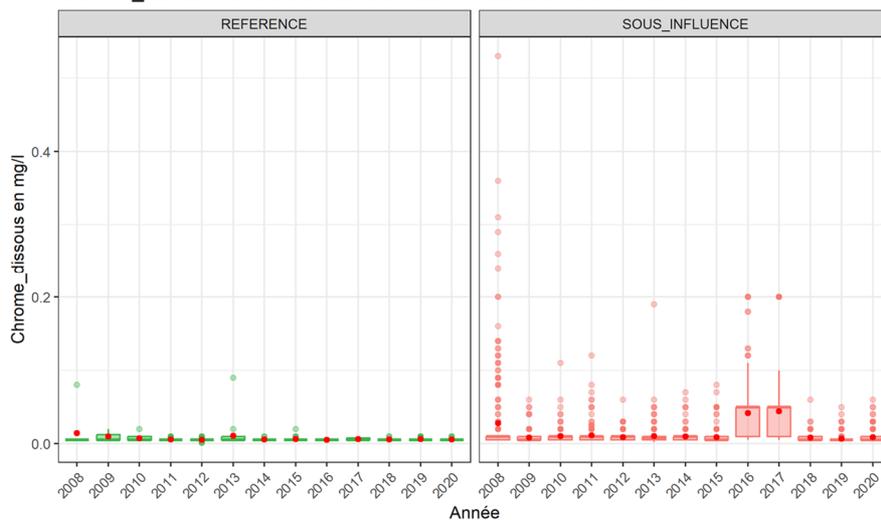
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 67 % des 21 stations échantillonnées en 2020

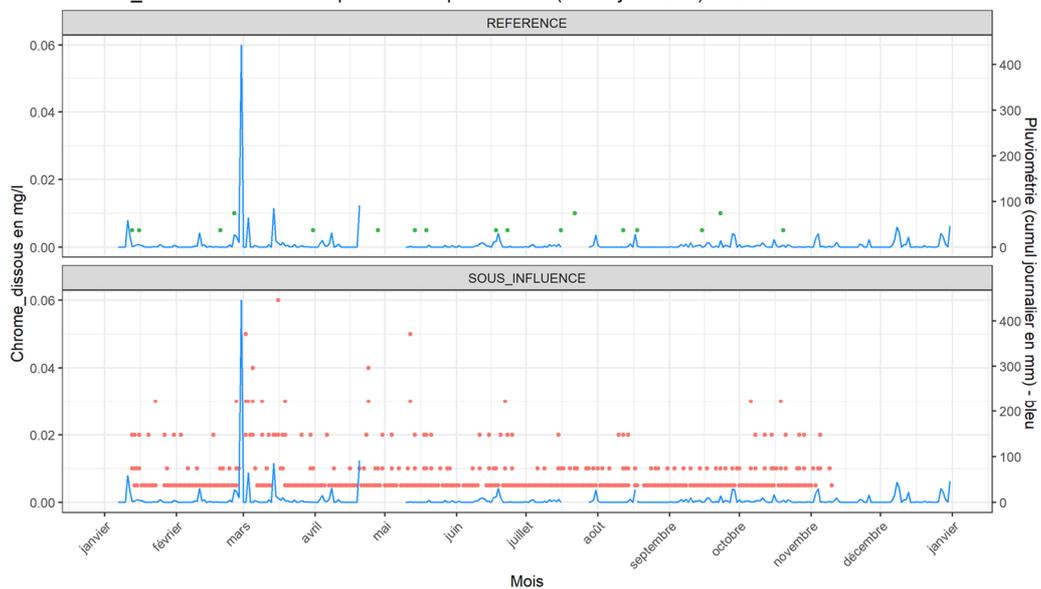
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Chrome	21	2	10%		5	24%	14	67%

Chrome_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Chrome_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : La limite de quantification devrait toujours être inférieure à 0,001 mg/L afin de détecter les valeurs proches du bruit de fond naturel de la zone.

CHROME VI | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 317 mesures sur 18 stations (5 bassins versants)

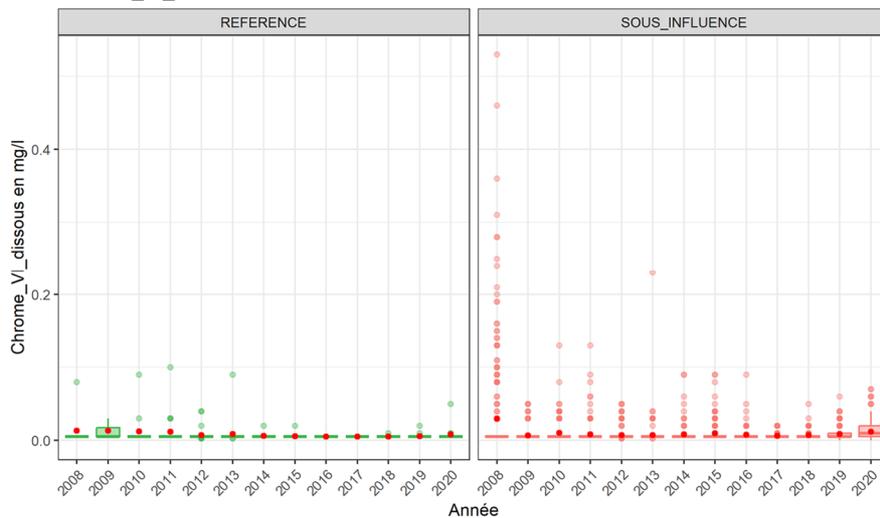
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 56 % des 18 stations échantillonnées en 2020

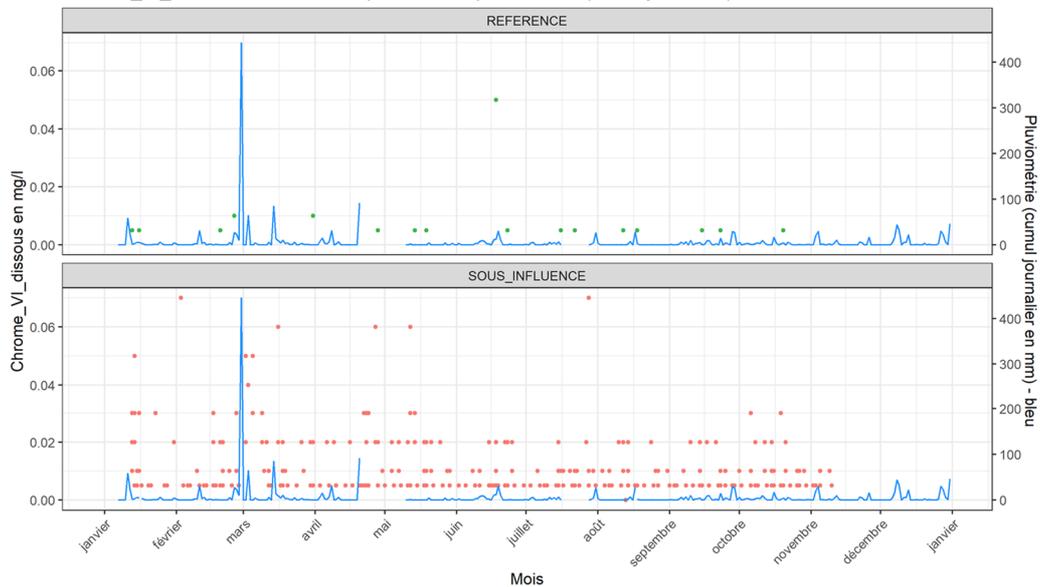
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Chrome VI	18	4	22%		4	22%	10	56%

Chrome_VI_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Chrome_VI_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : La limite de quantification devrait toujours être inférieure à 0,001 mg/L afin de détecter les valeurs proches du bruit de fond naturel de la zone.

COBALT | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

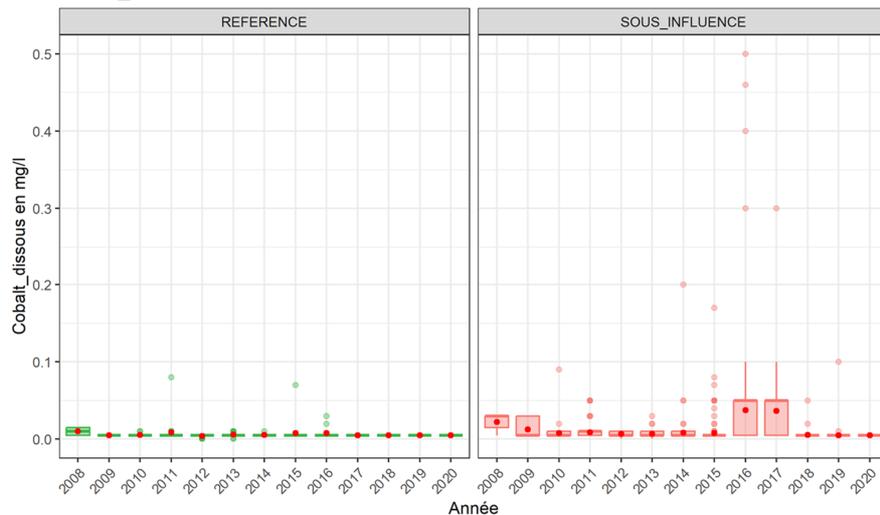
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 76 % des 21 stations échantillonnées en 2020

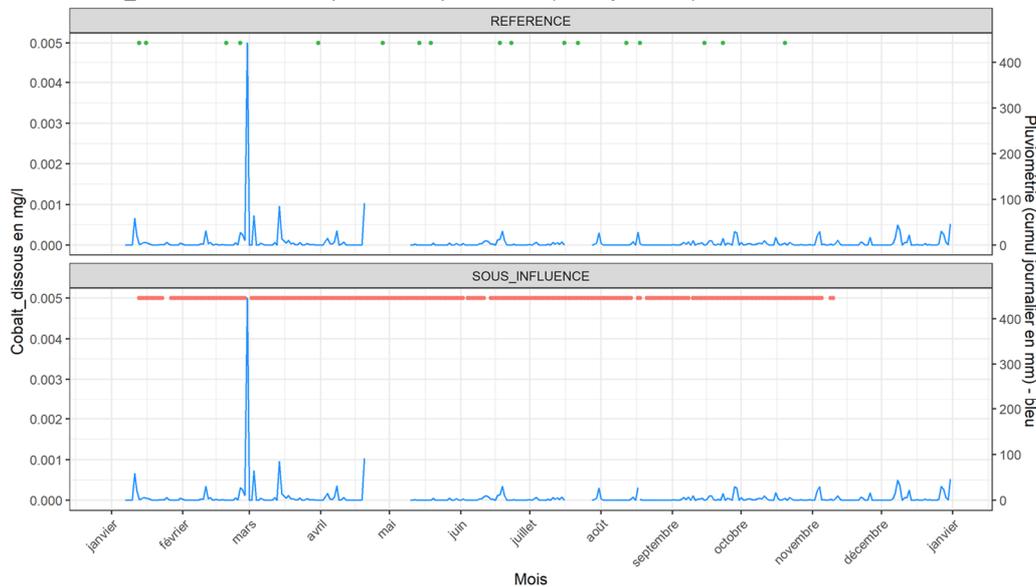
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Cobalt	21				5	24%	16	76%

Cobalt_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Cobalt_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Maintenir une limite de quantification à 0,001 mg/l pour espérer voir des modifications précocement. Le fond géochimique naturel étant < 0,01 mg/L (source : QUAVAR).

CONDUCTIVITE | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 790 mesures sur 23 stations (5 bassins versants)

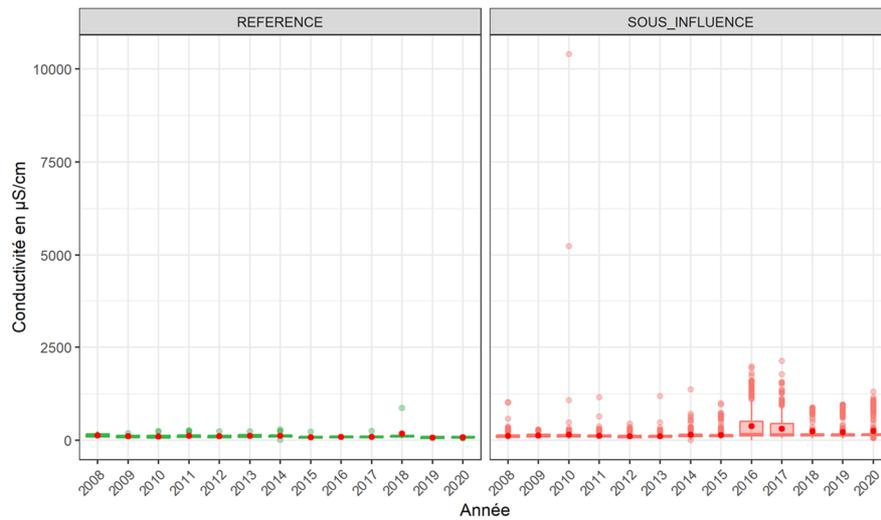
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 78 % des 23 stations échantillonnées en 2020

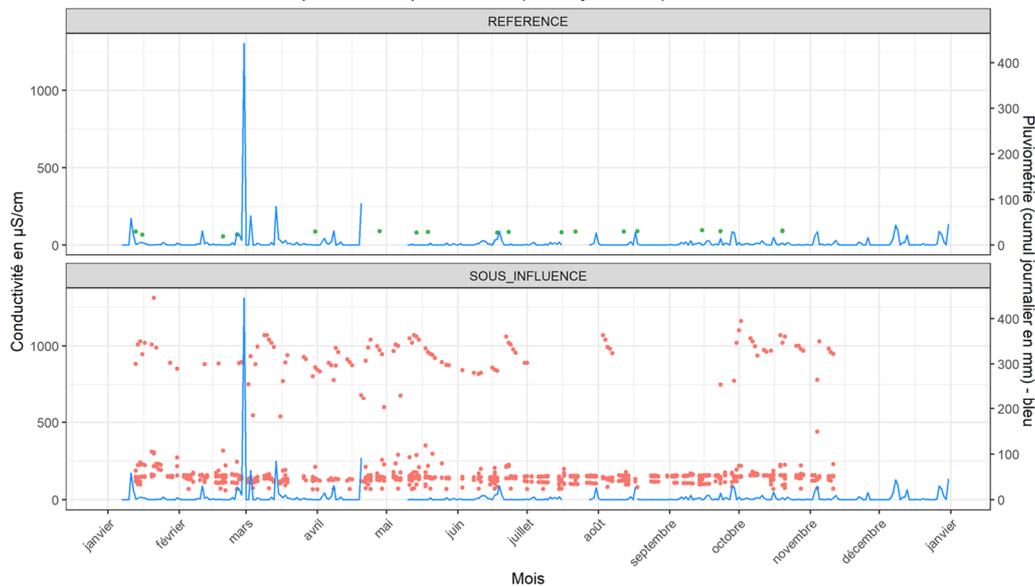
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Conductivité	23	1	4%		4	17%	18	78%

Conductivité : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Conductivité : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

FER | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

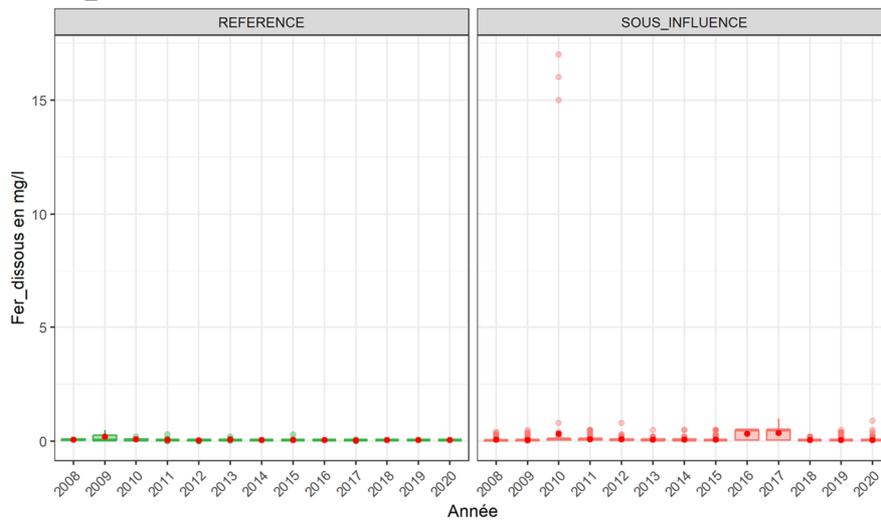
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 71 % des 21 stations échantillonnées en 2020

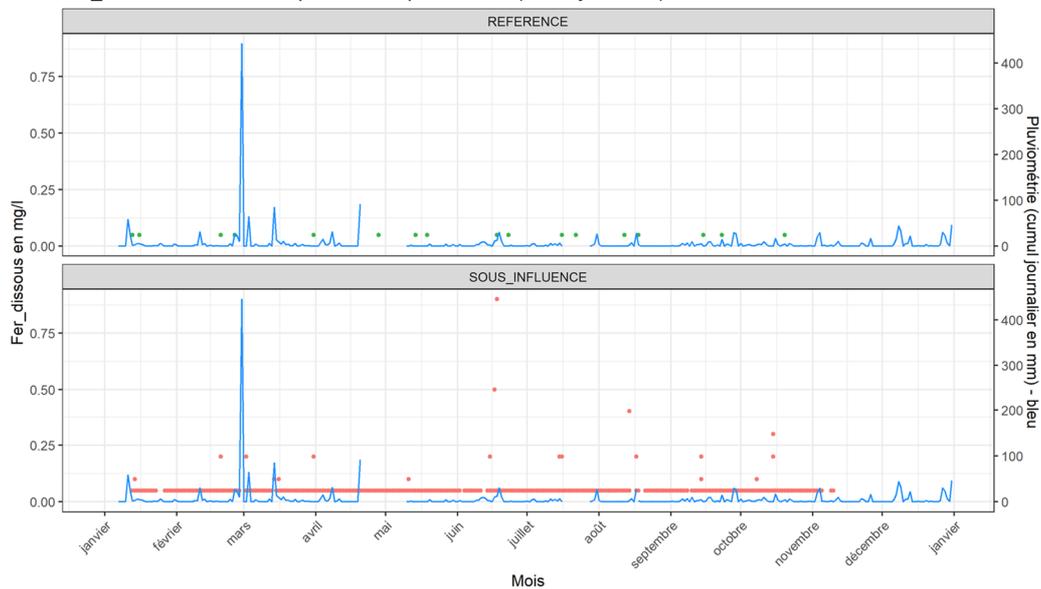
Comportement temporel : indication de tendance non-pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Fer	21	1	5%		5	24%	15	71%

Fer_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Fer_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Maintenir une limite de quantification inférieure à 0,01 mg/L pour espérer voir précocement des modifications du fond géochimique.

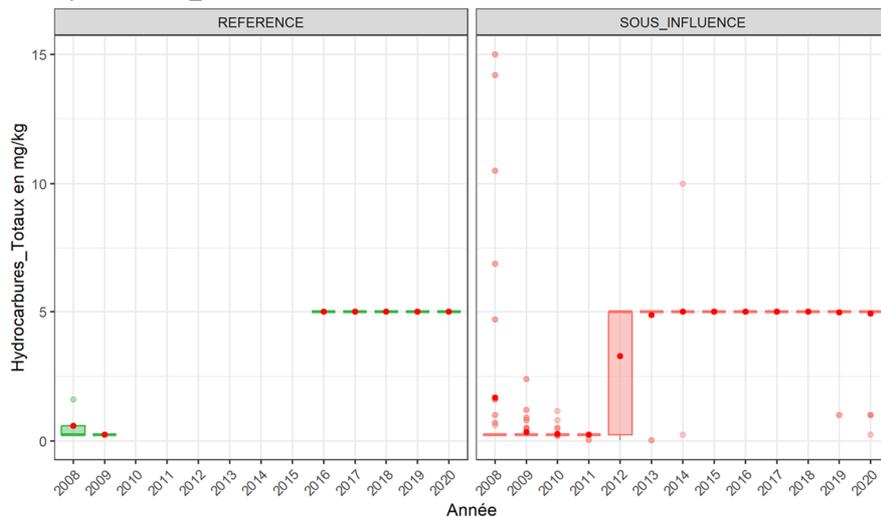
HYDROCARBURES TOT. | Synthèse descriptive et critique



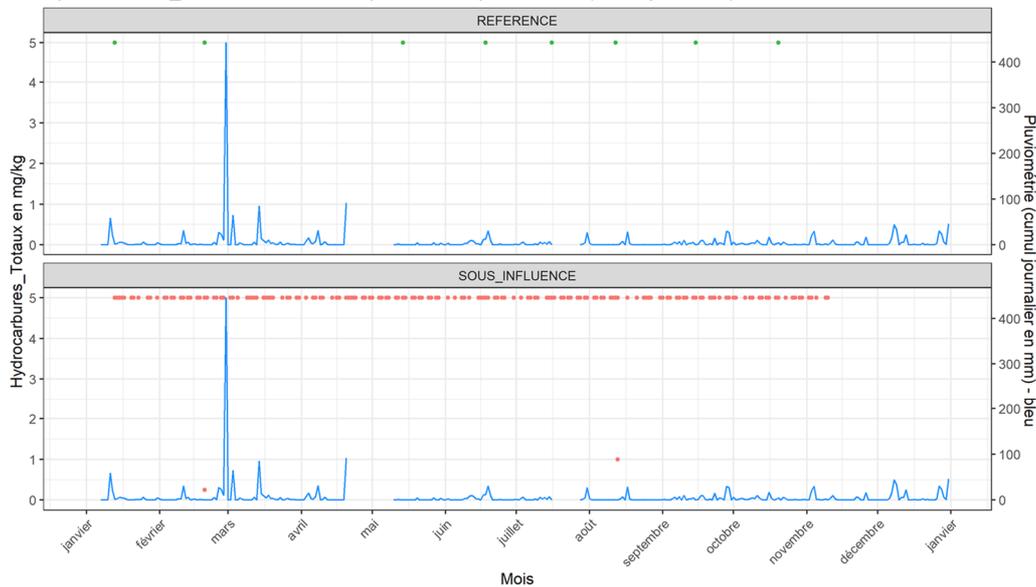
Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 291 mesures sur 14 stations (5 bassins versants)
 Validité du jeu de données de référence / benchmark : invalide (volume de données et représentativité)
 Diagnostic identique BGS / benchmark : 0 % des 14 stations échantillonnées en 2020
 Comportement temporel : indication de tendance non-pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
HCT	14	12	86%		2	14%		

Hydrocarbures_Totaux : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Hydrocarbures_Totaux : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Imposer aux laboratoires réalisant l'analyse une limite de quantification de 0,5 mg/l pour l'indice Hydrocarbures (C10-C40) afin d'être en mesure de détecter assez tôt l'apparition de ces derniers.

MAGNESIUM | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

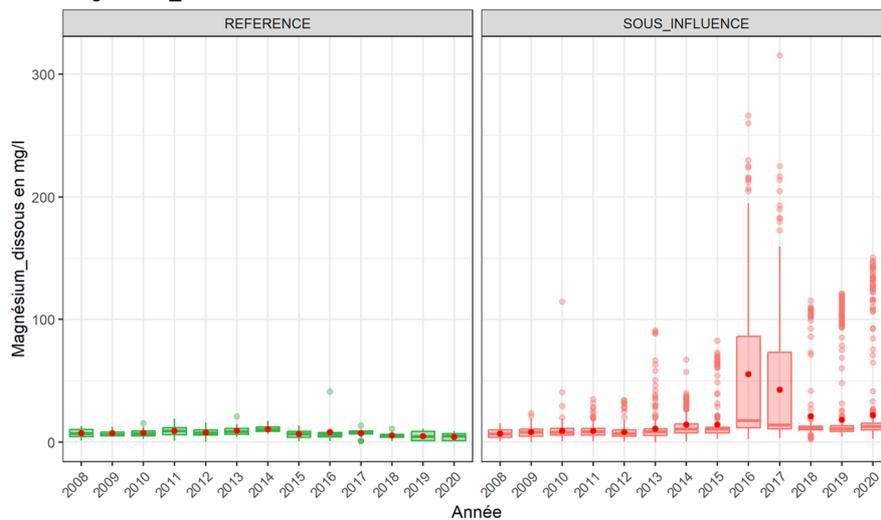
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 71 % des 21 stations échantillonnées en 2020

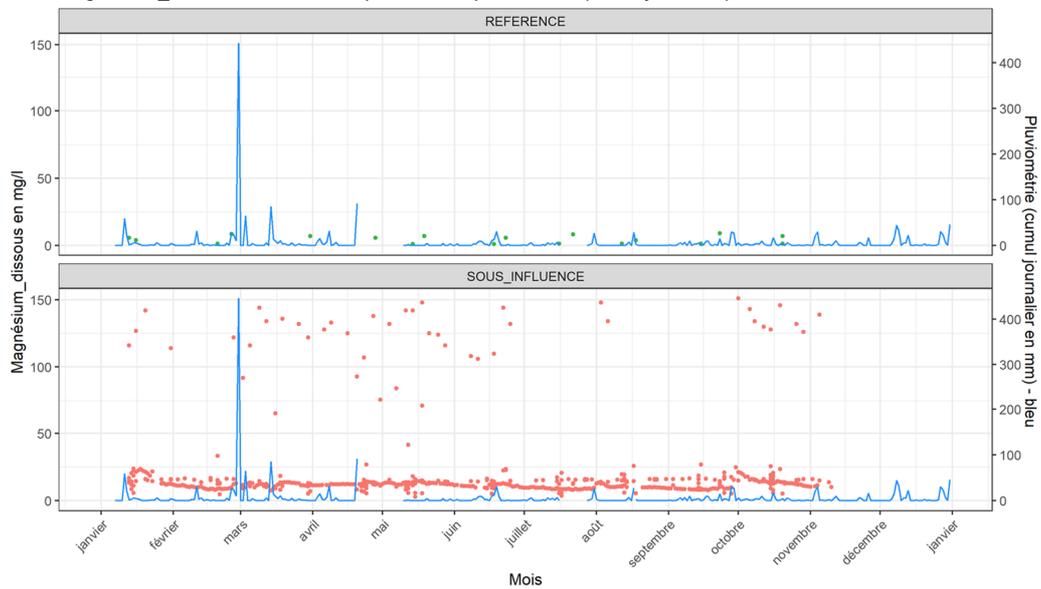
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Magnésium	21	1	5%		5	24%	15	71%

Magnésium_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Magnésium_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

MANGANESE | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

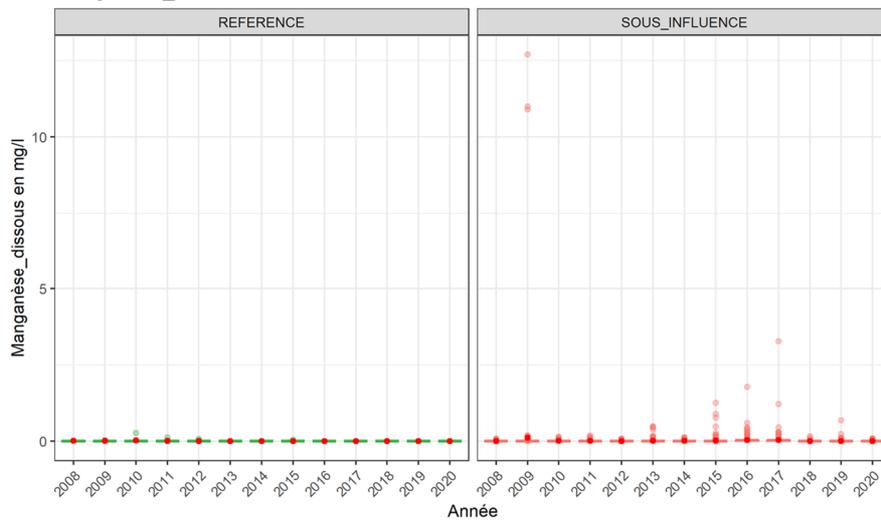
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 76 % des 21 stations échantillonnées en 2020

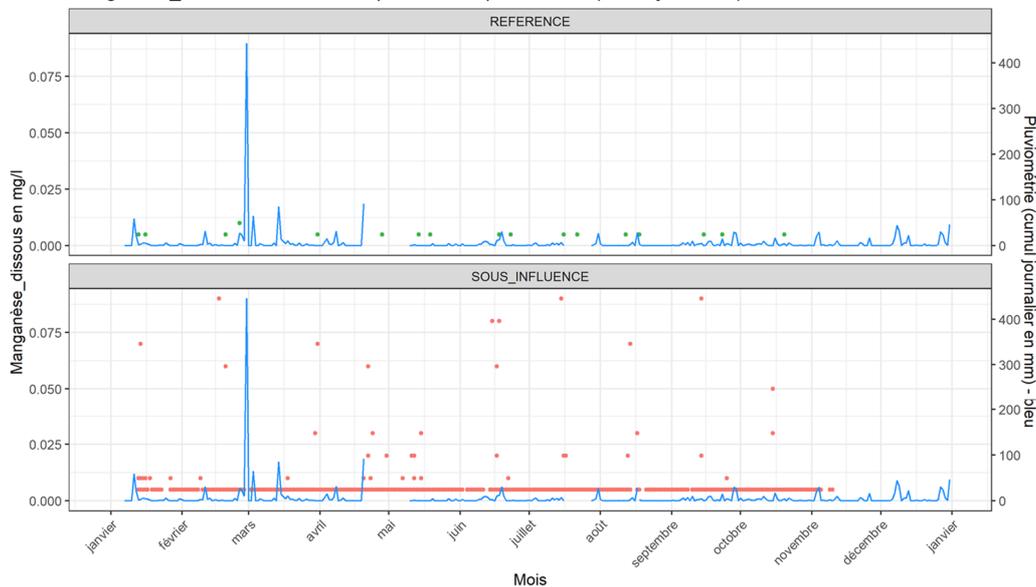
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Manganèse	21				5	24%	16	76%

Manganèse_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Manganèse_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Maintenir une limite de quantification < 0,01 mg/L pour espérer détecter précocement des variations par rapport au fond géochimique.

MATIERES EN SUSP. | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 416 mesures sur 24 stations (5 bassins versants)

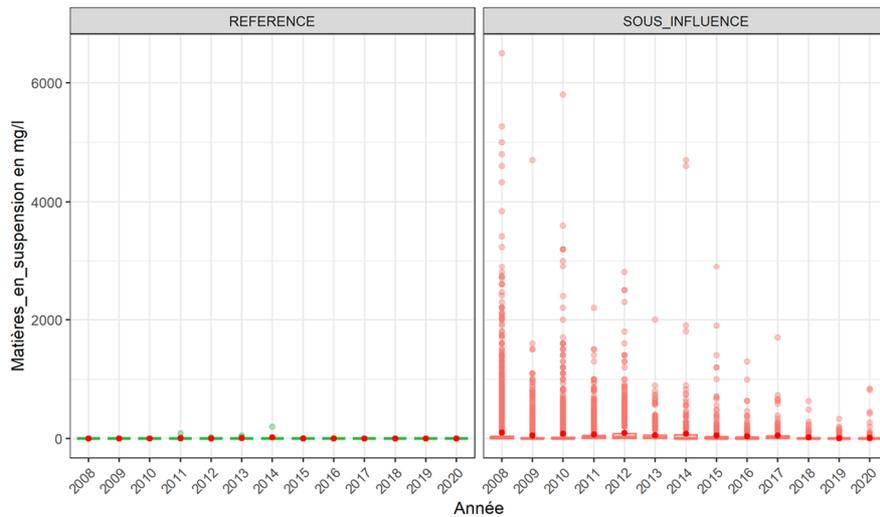
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 75 % des 24 stations échantillonnées en 2020

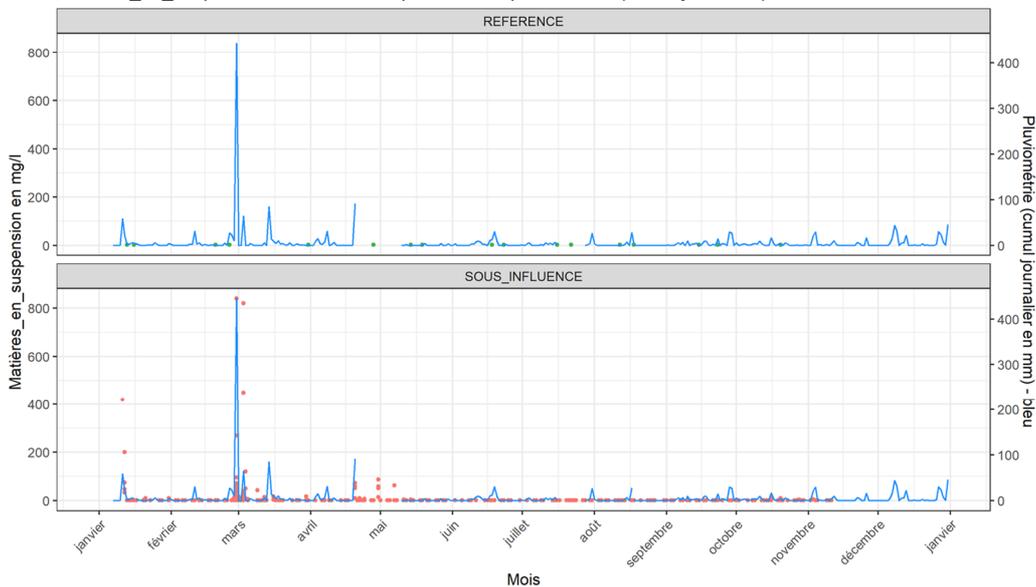
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
MES	24				6	25%	18	75%

Matières_en_suspension : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Matières_en_suspension : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

NICKEL | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 536 mesures sur 21 stations (5 bassins versants)

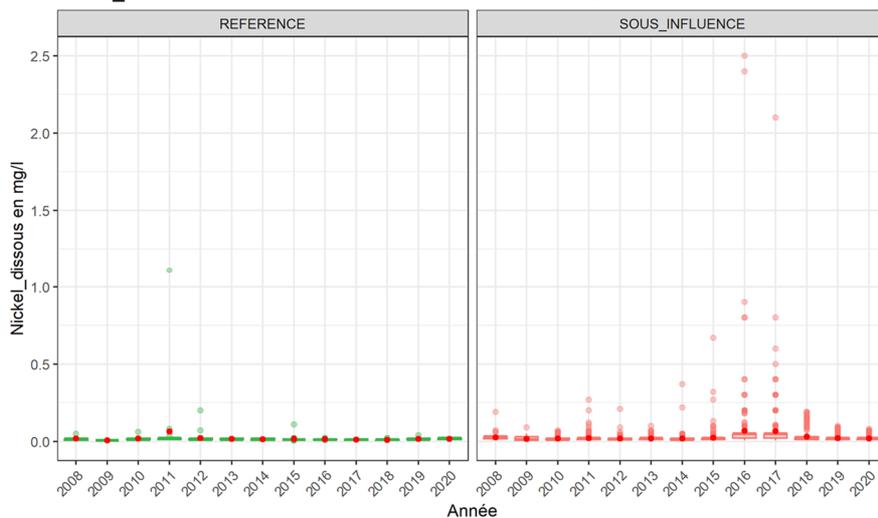
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 33 % des 21 stations échantillonnées en 2020

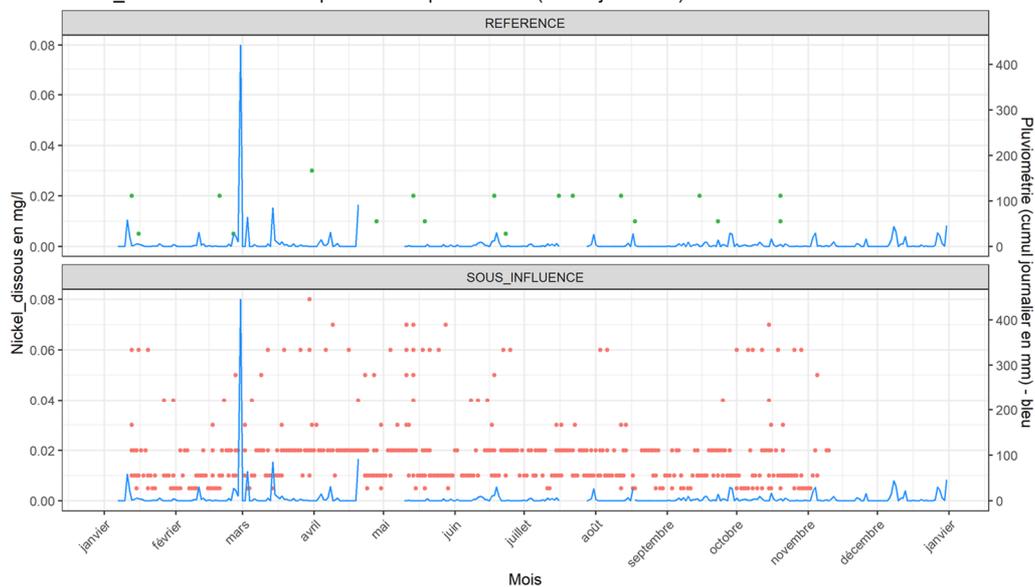
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Nickel	21	9	43%		5	24%	7	33%

Nickel_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Nickel_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Maintenir une limite de quantification < 0,01 mg/l pour espérer détecter précocement une variation en regard du fond géochimique.

NITRATES | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 330 mesures sur 22 stations (5 bassins versants)

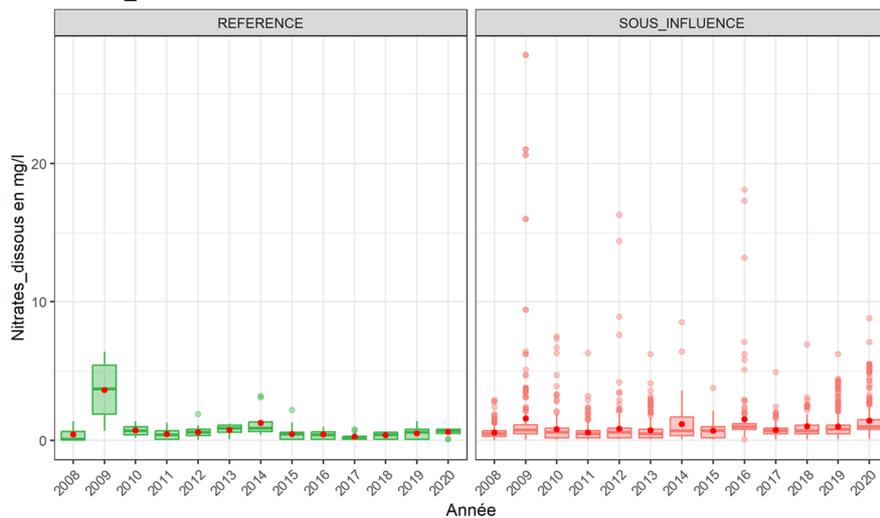
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 55 % des 22 stations échantillonnées en 2020

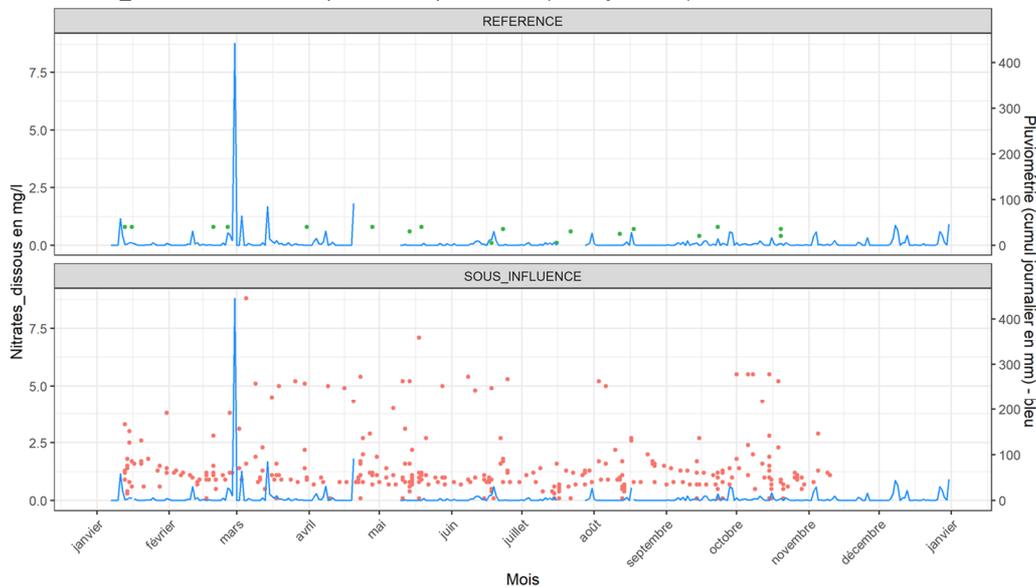
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Nitrates	22	3	14%		7	32%	12	55%

Nitrates_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Nitrates_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

pH | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 786 mesures sur 23 stations (5 bassins versants)

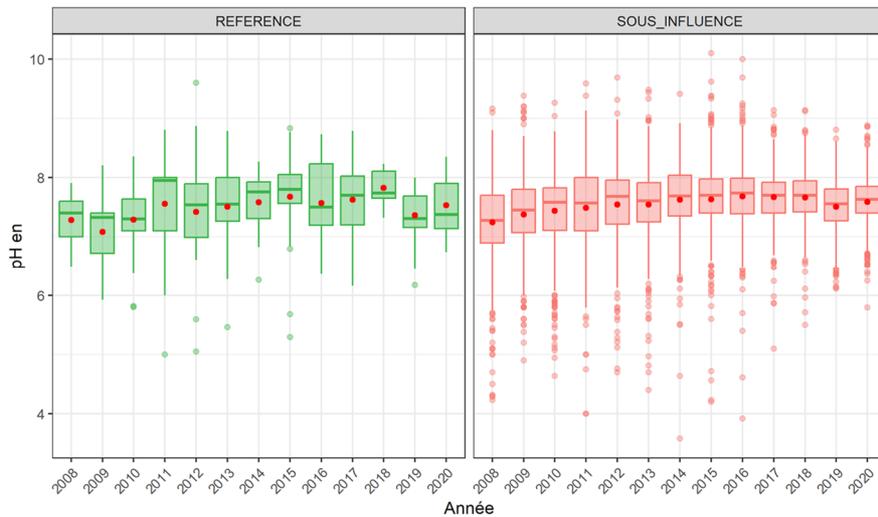
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 70 % des 23 stations échantillonnées en 2020

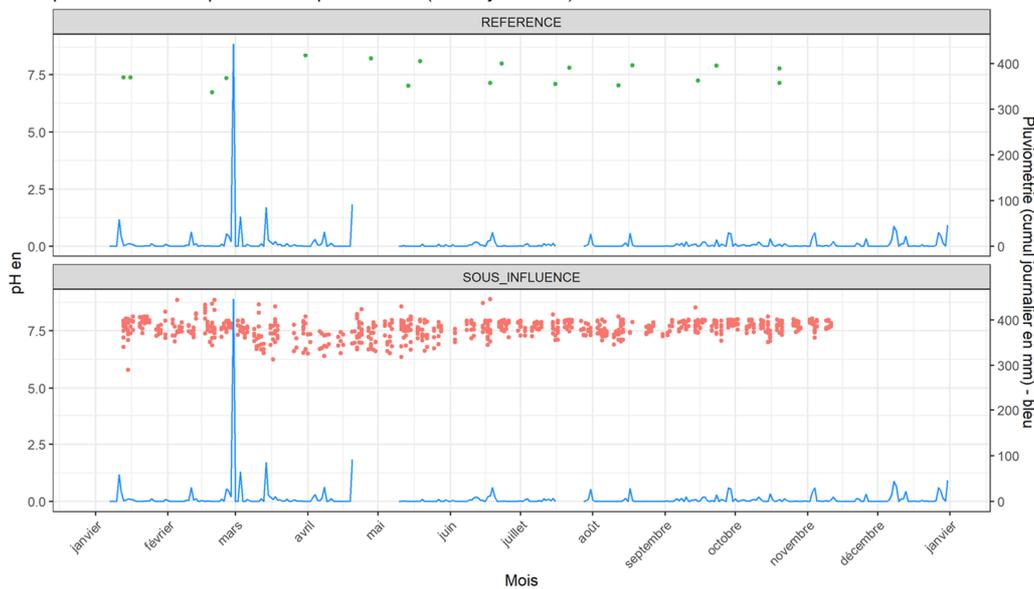
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
pH	23	3	13%		4	17%	16	70%

pH : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



pH : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

SULFATES | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 347 mesures sur 22 stations (5 bassins versants)

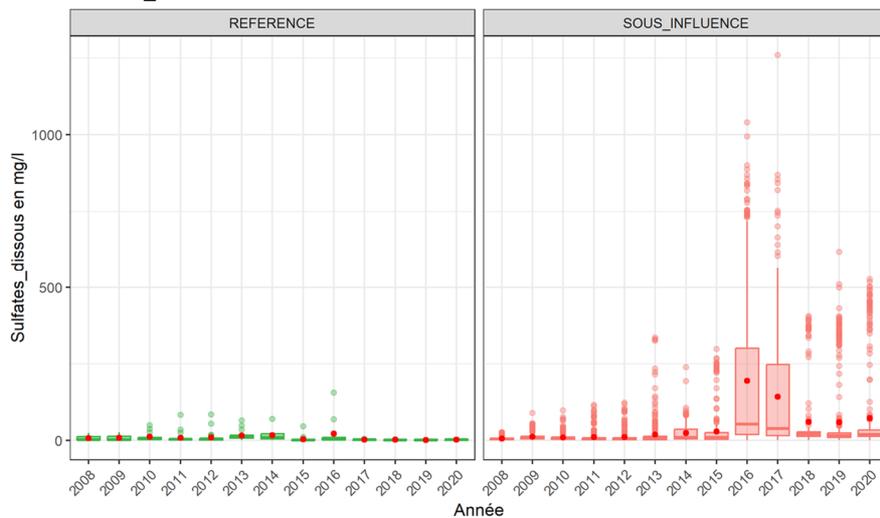
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 77 % des 22 stations échantillonnées en 2020

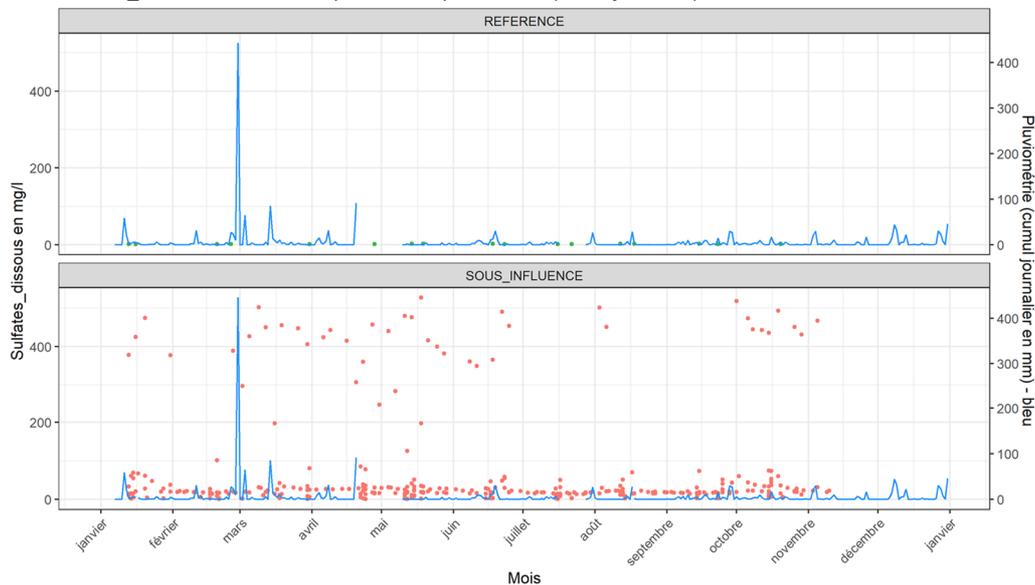
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Sulfates	22				5	23%	17	77%

Sulfates_dissous : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Sulfates_dissous : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant

TURBIDITE | Synthèse descriptive et critique



Données disponibles dans le cadre du BGS 2020 : 931 mesures sur 23 stations (5 bassins versants)

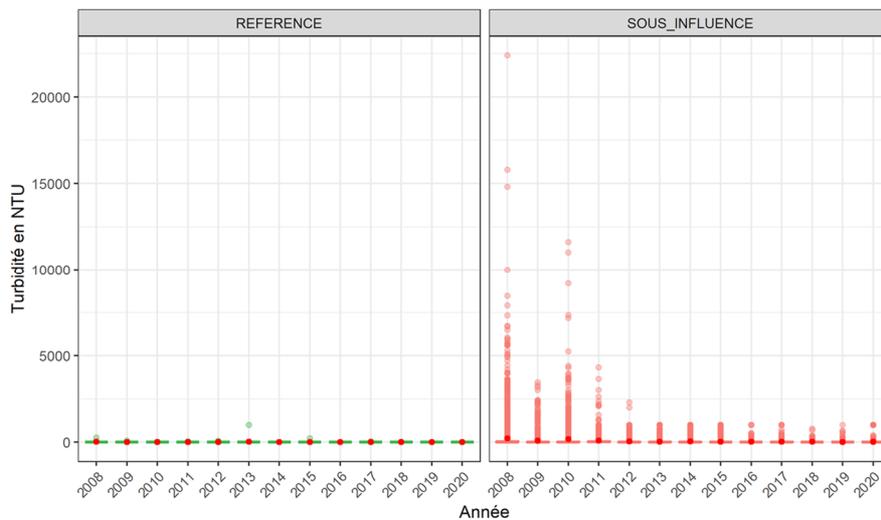
Validité du jeu de données de référence / benchmark : pleinement valide

Diagnostic identique BGS / benchmark : 70 % des 23 stations échantillonnées en 2020

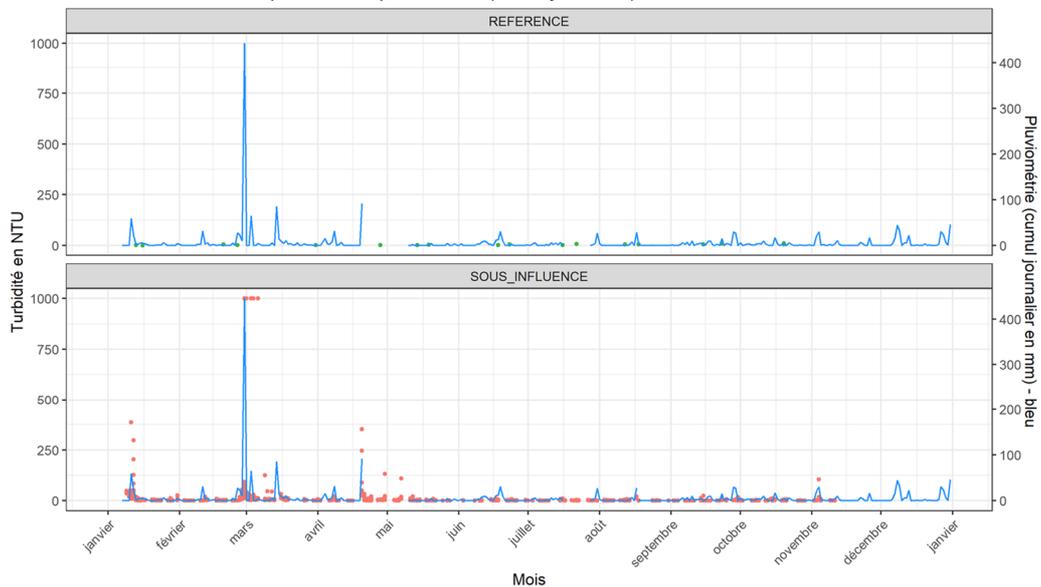
Comportement temporel : indication de tendance potentiellement pertinente dans le BGS

Paramètre	Nombre total de stations diagnostiquées	Comparaison diagnostic BGS -> Benchmark						
		Amélioration	% Amélioration	Dégradation	Annulation	% Annulation	Identique	% Identique
Turbidité	23	2	9%		5	22%	16	70%

Turbidité : évolution inter-annuelle et variabilité intra-annuelle



Turbidité : évolution temporelle avec pluviométrie (cumul journalier) en 2020



Commentaires / recommandations : Néant