



Rapport de phase 1

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

Auteurs : N. Guillemot, Y. Dominique

Editeur : OEIL



OEIL

Observatoire de
l'environnement
Nouvelle-Calédonie

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 (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.

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

Résumé exécutif

Titre de l'étude	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		
Auteurs	Nicolas Guillemot, Yannick Dominique		
Collaborateurs	OEIL		
Editeurs	OEIL		
Année d'édition du rapport	2019	Année des données	1993-2017

Contexte	<p>Dans le cadre de ses missions, l'OEIL centralise les données de suivi acquises entre autres au niveau des cours d'eaux de l'hydro-éco-région 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. Afin de valoriser au mieux ces données historiques de suivi et d'améliorer la détection de signaux d'impact sur les milieux naturels de cette zone, l'OEIL a souhaité explorer la possibilité de construire des seuils d'alerte pour un large spectre de paramètres physico-chimiques suivis en routine dans les eaux superficielles. Les travaux envisagés pour répondre à ces attentes ont été planifiés en deux phases, le présent rapport correspond à l'achèvement de la phase 1.</p>
Objectifs	<p>La phase 1 du projet consistait à compiler les données existantes issues de différents jeux de données 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 futurs seuils d'alerte sur l'évolution des paramètres physico-chimiques (sans idée préconçue sur la(les) forme(s) que pourraient prendre ces seuils). Cette phase devait permettre d'étudier la faisabilité de différents seuils, de lister les paramètres pour lesquels ils apparaîtraient pertinents et/ou possible, de cadrer les types d'approche pour la définition de seuils d'alerte opérationnels selon les paramètres, et le cas échéant d'identifier les lacunes existantes susceptibles d'être un obstacle à la définition de seuils dans l'état actuel des données.</p>
Méthodologie	<p>La démarche a consisté à mener une approche exploratoire de l'ensemble des données brutes disponibles afin d'évaluer les potentialités de mises en place de seuils d'alerte physico-chimiques. Cette approche a nécessité de nombreux tests en termes de traitements des données et consécutivement de nombreux échanges entre l'OEIL et les prestataires, afin d'aboutir à des diagnostics de faisabilité et des recommandations quant à la définition de futurs seuils. A ce titre, les travaux ont principalement correspondu à des compilations, manipulations, analyses, et discussions d'experts concernant les jeux de données volumineux qui étaient disponibles et leurs caractéristiques.</p> <p>En concertation avec l'OEIL en début de projet, il a été convenu que l'étude des potentialités des jeux de données pour l'établissement de valeurs seuils porterait sur les paramètres considérés comme étant présents naturellement dans les milieux. Il a par ailleurs été convenu que seule la fraction dissoute serait étudiée pour les paramètres où d'autres types de mesures sont possibles.</p>

	<p>Ce rapport, qui fait office de rendu intermédiaire à l'échelle du projet, constitue donc essentiellement un relevé technique détaillé des opérations/choix réalisés sur les données et de leurs justifications, ainsi que des conclusions qui en sont ressorties et serviront de base à la poursuite du projet en phase 2. Il ne reprend pas le détail, sauf en cas de nécessité pour justifier les choix adoptés, de l'ensemble des traitements progressifs et multiples qui ont été appliqués aux données au fur et à mesure de leur exploration.</p>		
<p>Résultats et conclusions</p>	<p>Les principaux éléments et résultats successivement présentés dans le rapport comprennent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une description de l'origine et les caractéristiques détaillées des jeux de données compilés, la présentation des critères de sélection des jeux de données qui ont été établis et appliqués de manière normalisée, ainsi qu'un bilan des modalités de restructuration/formatage et des prétraitements appliqués aux données afin d'en harmoniser la structure lors de la constitution de la base de données totale traitée dans le projet ; - Une synthèse (type benchmark) portant sur la qualification du fond géochimique et les valeurs guides ou seuils éventuellement existants en Nouvelle-Calédonie pour les paramètres physico-chimiques d'intérêt et leur adéquation vis-à-vis des objectifs du projet ; - Un résumé des analyses descriptives appliquées à l'ensemble des données et un bilan de l'évaluation des potentialités de seuils pour chacun des paramètres considérés ; <p>Sur la base du nombre de mesures disponibles, du profil du paramètre en zone de référence, de l'adéquation des données pour des analyses statistiques, et du comportement du paramètre en zone impacté, une potentialité de mise en place de seuils a été évaluée.</p> <p>Il est apparu que 28 des 39 paramètres peuvent être considérés comme susceptibles de faire l'objet d'une réflexion plus approfondie pour la mise en place de seuils d'alerte. Cette potentialité, définie sur des bases purement descriptives, devra bien entendu être confrontée au comportement connu ou suspecté de ce paramètre en termes de fonctionnement géochimique et/ou de pouvoir indicateur de la qualité des milieux étudiés.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfin, un relevé des conclusions et perspectives est fourni en vue d'aborder en phase 2 la définition concertée de seuils opérationnels pour les différents paramètres, et un exemple d'application (Magnésium) illustrant la définition de seuils d'alerte d'évolution à travers deux méthodes distinctes (percentiles et analyse de sensibilité) est présenté à titre indicatif (les protocoles affinés seront validés collégialement en phase 2). 		
<p>Limites de l'étude</p>	<p>Deux principales limites peuvent être mentionnées à l'issue de cette phase 1 et sont liées aux caractéristiques des plans de suivi et des méthodes utilisées pour l'échantillonnage physico-chimique dans les eaux douces superficielles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un très fort déséquilibre dans les volumes de données entre zones « impactées » et zones de référence (avec un déficit important de données pour ces dernières) ; - une définition souvent trop approximative des limites de quantifications associées aux mesures physico-chimiques, rendant délicat le traitement et l'interprétation des profils des paramètres présentant un nombre important de valeurs inférieures à la LQ, et obligeant à écarter de grands volumes de données lors d'une méta-analyse. 		
<p>Evolutions</p>	<p>Version :</p>	<p>Finale</p>	<p>Date de la version : 22-01-2019</p>

Table des matières

Chapitre I - Introduction	6
I.1. Contexte et objectifs généraux du projet.....	6
I.2. Contenu de la phase 1 et structure du document.....	7
Chapitre II - Constitution de la base de données principale	8
II.1. Jeux de données disponibles	8
II.2. Sélection des paramètres d'intérêt	9
II.3. Données contextuelles et stratification	10
Chapitre III - Bilan des filtres et prétraitements appliqués aux données	12
III.1. Descriptif des principaux filtres et manipulations effectués.....	12
III.2. Prise en compte et traitement des LQ.....	17
Chapitre IV - Résumé des valeurs guides ou limites existantes pour les paramètres physico-chimiques d'intérêt	20
IV.1. Qualification du fond géochimique : Méthode.....	20
IV.2. Les valeurs seuils	21
IV.3. Valeurs seuils utilisées en Nouvelle-Calédonie	21
Chapitre V - Analyses graphiques descriptives et évaluation des potentialités analytiques des paramètres dans une optique d'élaboration de seuils.....	22
Chapitre VI - Perspectives pour l'obtention de seuils opérationnels	24
VI.1. Perspectives analytiques et recommandations préliminaires	24
VI.2. Exemple de définition de seuil dans le cadre d'une approche statistique	25
VI.2.1. Démarche générale	25
VI.2.2. Exemple de calcul de seuils pour le paramètre Magnésium.....	27
Chapitre VII - Annexes	30
VII.1. Annexe 1 - Liste finale des stations sélectionnées à l'issue des traitements et filtres appliqués.	30
VII.2. Annexe 2 - Profils graphiques des données en zone de référence (bleu) et en zone sous influence de Vale NC (rouge) pour chacun des paramètres d'intérêt	33

Chapitre I - Introduction

I.1. Contexte et objectifs généraux du projet

Dans le cadre de ses missions, l'OEIL centralise les données de suivi acquises entre autres au niveau des cours d'eaux de l'hydro-éco-région du plateau ultramaïrique 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. Afin de valoriser au mieux ces données historiques de suivi et d'améliorer la détection de signaux d'impact sur les milieux naturels de cette zone, l'OEIL a souhaité explorer la possibilité de construire des seuils d'alerte pour un large spectre de paramètres physico-chimiques suivis en routine dans les eaux superficielles.

Les travaux envisagés pour répondre à ces attentes ont été planifiés en deux phases.

- ❖ La **première phase** consistait à compiler les séries de données existantes issues de différents jeux de données 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 futurs seuils d'alerte sur l'évolution des paramètres physico-chimiques (sans idée préconçue sur la(les) forme(s) que pourraient prendre ces seuils). Cette phase devait permettre d'étudier la faisabilité de différents seuils, de lister les paramètres pour lesquels ils apparaîtraient pertinents, de cadrer les types d'approche pour la définition de seuils d'alerte opérationnels selon les paramètres, et le cas échéant d'identifier les lacunes existantes susceptibles d'être un obstacle à la définition de seuils dans l'état actuel des données. Le présent document marque l'achèvement de cette première phase.

- ❖ La **seconde phase** s'appuiera 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 consistera à ouvrir le projet aux acteurs susceptibles d'utiliser ces futurs seuils d'alerte physico-chimiques (DAVAR, DASS, PS-DENV, Vale NC, etc.) et à produire des seuils d'alerte pertinents dans la limite du cadre défini en phase 1. Il s'agira schématiquement de :
 - finaliser/améliorer l'intégration des certains éléments clés dans la définition de seuils (ex. données pluviométriques, meilleure définition des limites de quantification, etc.) ;
 - confronter les alternatives méthodologiques envisagées avec les attentes et contraintes des principaux utilisateurs de ces futurs seuils ;
 - pour chaque paramètre, définir les types de seuils à privilégier si plusieurs possibilités analytiques ont été identifiées, et mettre en place un protocole standardisé de définition des seuils ;
 - une fois l'ensemble du protocole de mise en place des seuils validé collégialement, procéder à la définition des différents seuils au cas par cas des paramètres d'intérêt, et détailler les modalités de leur utilisation en routine.

Il convient de noter que les seuils ou gammes de valeurs de référence vers lesquels il est prévu de tendre correspondent à des outils de type seuils d'évolution ou seuils de perturbation physico-chimique (ex. dans le cas des éléments présents naturellement dans le milieu : seuils bornant un état « normal » en regard de ses niveaux historiques connus), et non pas à des seuils de qualité environnementale ou des indicateurs d'état de santé absolu. L'obtention de ces derniers doit en effet s'apprécier au regard de la réponse du milieu et relève de programmes de R&D en écotoxicologie et toxicologie (comme par exemple le programme CNRT « QUAVAR » : QUALité des eaux douces ultramaïriques et Valeurs de rejet,

devant être initié en 2019), auxquels la présente étude n'a pas vocation à se substituer, ni dans son dimensionnement ni dans sa démarche méthodologique.

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

1.2. Contenu de la phase 1 et structure du document

Conformément à ses objectifs, la phase 1 a consisté à mener une approche exploratoire de l'ensemble des données disponibles afin d'évaluer les potentialités de mises en place de seuils d'alerte physico-chimiques. A ce titre, les travaux ont principalement correspondu à des compilations, manipulations, analyses, et discussions d'experts concernant les jeux de données et leurs caractéristiques. Ces travaux ont nécessité de nombreux allers-retours et tests sur les traitements des données, afin d'aboutir à des diagnostics de faisabilité et des recommandations quant à la définition de futurs seuils. En conséquence, ce rapport, qui fait office de rendu intermédiaire à l'échelle du projet, constitue un relevé technique détaillé des opérations/choix réalisés sur les données et de leurs justifications, ainsi que des conclusions qui en sont ressorties et serviront de base à la poursuite du projet en phase 2. Il ne reprend pas le détail, sauf cas de nécessité pour justifier les choix adoptés, de l'ensemble des traitements progressifs et multiples qui ont été appliqués aux données au fur et à mesure de leur exploration.

Les principaux éléments successivement abordés sont donc les suivants :

- origine et caractéristiques des jeux de données compilés pour la constitution de la base de données totale traitée dans ce projet ;
- bilan des modalités de restructuration/formatage et des prétraitements appliqués aux données afin d'en harmoniser la structure ;
- résumé des valeurs guides ou seuils éventuellement existants en Nouvelle-Calédonie ou en métropole concernant les paramètres physico-chimiques d'intérêt et leur adéquation vis-à-vis des objectifs du projet ;
- résumé des analyses descriptives appliquées à l'ensemble des données et bilan de l'évaluation des potentialités de seuils pour chacun des paramètres considérés ;
- relevé des conclusions et perspectives en vue d'aborder en phase 2 la définition concertée de seuils opérationnels pour les différents paramètres ;
- exemple d'application illustrant la définition de seuils d'alerte d'évolution, à titre indicatif (les protocoles affinés seront validés collégialement en phase 2).

Chapitre II - Constitution de la base de données principale

II.1. Jeux de données disponibles

Afin d'intégrer au mieux l'ensemble des données disponibles historiquement, les critères de sélection des jeux de données considérés comme pertinents pour ce projet sont restés relativement larges : eaux douces superficielles, données physico-chimiques, aucune limite temporelle, aucune limite dans le type de source des données (i.e. tout opérateur effectuant un suivi de la qualité des milieux dulçaquicoles, qu'il soit public ou privé).

Les jeux de données ayant été intégrés dans le projet et ayant fait l'objet des traitements décrits par la suite en vue de constituer une base de données unifiée sont les suivants :

- données issues de la base de données GALAXIA de l'CEIL, qui rassemble les données des suivis réglementaires opérés par Vale NC et bancarise également les données sur les cours d'eau de référence suivis par l'OEIL ;
- données issues de suivis volontaires réalisés par Vale NC pour acquérir des connaissances sur les caractéristiques physico-chimiques dans son périmètre d'influence ;
- données DAVAR concernant le périmètre de protection des eaux sur l'HER D ;
- données OEIL collectées par le consortium ASCONIT/IRSTEA/BIOEKO dans le cadre du projet d'élaboration d'un indice de qualité écologique des cours d'eau basé sur l'étude des diatomées benthiques, et plus généralement par différents prestataires dans le but de caractériser ou suivre des cours d'eau de référence (seules les données collectées dans l'HER D ont été considérées) ;
- données de contexte physico-chimique collectées *in situ* dans le cadre des campagnes d'inventaires des peuplements de poissons d'eaux douces mandatées par l'OEIL.

Le Tableau 1 présente les principales caractéristiques de chacun de ces jeux de données dans leur format initial (avant traitements décrits dans ce rapport), qui représentent un total de 176 771 mesures physico-chimiques en eaux superficielles. Ces jeux de données comportaient des formats, des niveaux de contrôle, et des structures très variables, ayant nécessité un important travail de consolidation, de vérification et de compilation afin d'homogénéiser la qualité des informations et leur structuration. La Figure 1 illustre la répartition géographique des stations de mesures disponibles dans les données.

En termes de volume, la très grande majorité des données physico-chimiques générées sur les eaux douces de l'HER D provient des suivis liés au complexe industriel et minier de Vale NC. Les autres jeux de données, bien qu'apparaissant minoritaires en volume (environ 2% des mesures), fournissent toutefois des informations précieuses sur des bassins versants n'étant pas directement concernés par la surveillance de Vale NC, et notamment sur une large gamme de zones appartenant à la même HER et localisées hors de l'influence du complexe industriel et minier (autres que les cours d'eau Trou bleu et Wadjana qui sont régulièrement échantillonnés lors des suivis de Vale NC).

Nota bene - Ces jeux de données correspondent à des objectifs de suivi différents, et donc à des plans d'échantillonnage, des méthodes, et des dimensionnements très variables. Pour cette première phase et considérant la liste restreinte de paramètres et les différents filtres appliqués lors des traitements (cf. ci-dessous), il a été estimé que l'influence des méthodes d'analyses ne devrait pas altérer fortement la comparabilité générale des différents jeux de données et l'évaluation de la faisabilité de seuils pour un paramètre donné. Dans le cadre de la phase 2, une vérification fine des filtres à appliquer aux données qui constitueront la base de calcul de seuils définitifs sera toutefois opérée paramètre par paramètre afin d'optimiser leurs potentialités pour la définition de seuils pertinents (en accord avec un protocole et des critères qui auront été validés collégalement au préalable).

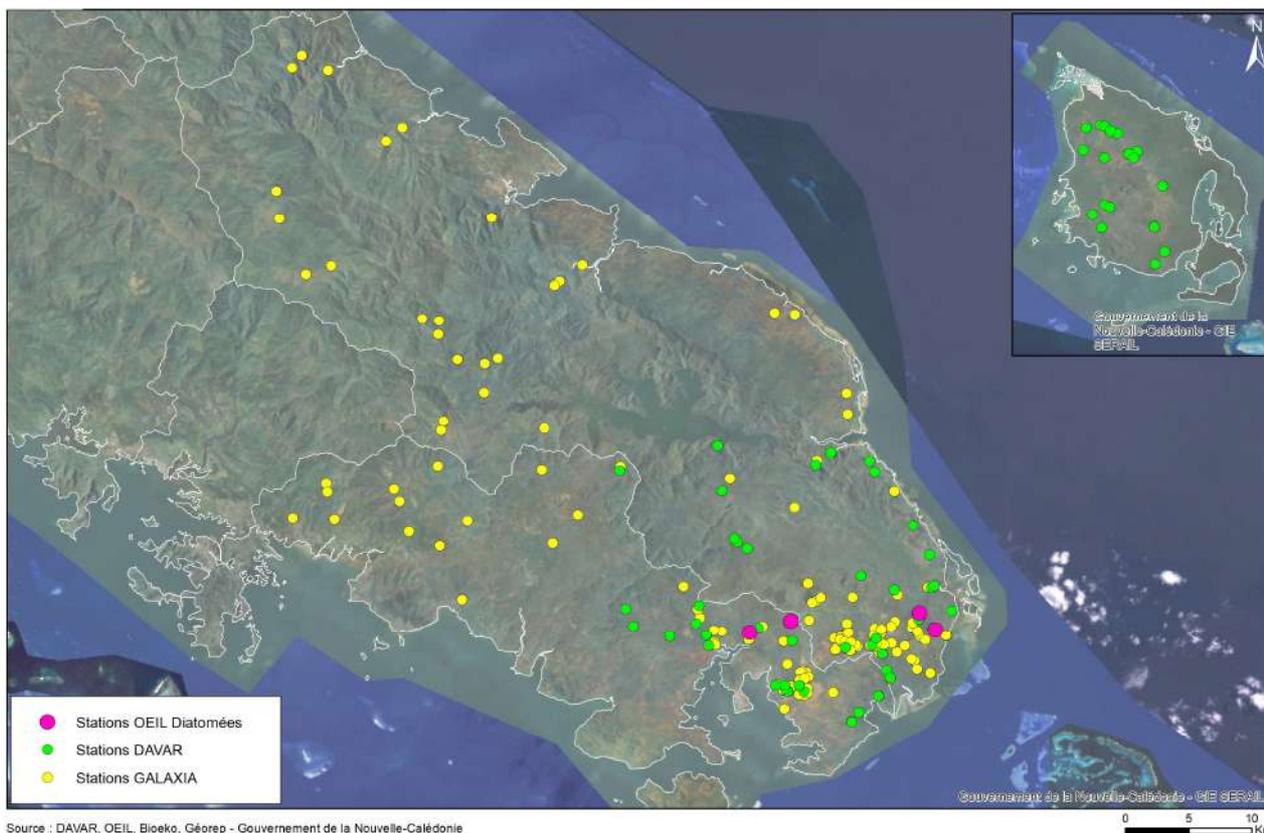


Figure 1 : Représentation cartographique des stations de mesures physico-chimiques disponibles dans les principaux jeux de données étudiés

Tableau 1 : Principales caractéristiques des jeux de données considérés

	DAVAR	GALAXIA	CEIL (Diatomées)	CEIL (Poissons)	VNC (volontaire)
Contextuelles/dédiées*	Dédiées	Dédiées	Contextuelles	Contextuelles	Dédiées
Période	19 années : 1993-2012 (sauf 2009)	21 années : 1996-2017 (sauf 1998)	3 années : 2012-2014	2 années : 2015 & 2017	5 années : 2011-2015
Nombre de stations	69	202	4	14	19
Nombre de paramètres	222	213	34	7	24
Nombre total de mesures	5 406	166 550	250	127	4 438

* Contextuelles = les données physico-chimiques ont été collectées en tant que données de contexte d'un suivi ayant d'autres objectifs (ex. suivi biologique) ; Dédiées = les données physico-chimiques représentaient l'objectif principal du suivi

II.2. Sélection des paramètres d'intérêt

En concertation avec l'CEIL en début de projet, il a été convenu que l'étude des potentialités des jeux de données pour l'établissement de valeurs seuils porterait sur les paramètres considérés comme étant présents naturellement dans les milieux. Les paramètres d'origine anthropique indiscutable ont donc été écartés (pesticides, fongicides et herbicides, hydrocarbures, agents de surface, bactéries fécales (coliformes, streptocoques, entérocoques)). Ces paramètres, correspondant à une grande diversité de composés chimiques, représentent 128 des 213 paramètres du jeu de données GALAXIA (~ 60 %), et 163 des 222 paramètres du jeu de données DAVAR (~ 73 %). Le Tableau 2 présente la liste définitive des paramètres d'origine naturelle qui ont été considérés pour la suite du projet.

Tableau 2 : Liste des paramètres d'origine naturelle considérés dans ce projet

Paramètre	Unité	Paramètre	Unité
Aluminium	mg/l	Matières en suspension	mg/l
Arsenic	mg/l	Mercure	mg/l
Azote total	mg/l	Nickel	mg/l
Cadmium	mg/l	Nitrates	mg/l
Calcium	mg/l	Nitrites	mg/l
Carbonates	mg/l	Oxygène	mg/l
Carbone organique total	mg/l	pH	unité pH
Chlore résiduel libre	mg/l	Phosphates	mg/l
Chlore résiduel total	mg/l	Plomb	mg/l
Chlorophylle a	mg/l	Potassium	mg/l
Chlorures	mg/l	Sélénium	mg/l
Chrome	mg/l	Silice	mg/l
Chrome VI	mg/l	Silicium	mg/l
Cobalt	mg/l	Sodium	mg/l
Conductivité	µS/cm	Soufre	mg/l
Cuivre	mg/l	Sulfates	mg/l
Fer	mg/l	Taux de saturation en oxygène	%
Fluorures	mg/l	Turbidité	NTU
Magnésium	mg/l	Zinc	mg/l
Manganèse	mg/l		

On notera que quelques paramètres d'origine naturelle n'ont pas été retenus du fait de leur quasi-absence dans les sols et sous-sols de la zone (valeurs indétectables dans la quasi-totalité des analyses) et de l'absence de source de pollution pouvant entraîner leur apparition en concentrations importantes : Antimoine, Argent, Baryum, Bore, Brome, Vanadium.

Il a par ailleurs été convenu que seule la fraction dissoute serait étudiée pour les paramètres où d'autres types de mesures sont possibles. C'est en effet cette fraction qui est le plus souvent mesurée par les opérateurs miniers (sources de l'essentiel du volume des données disponibles). Lorsque l'information concernant la fraction mesurée est apparue indéterminée ou insuffisante dans les données brutes disponibles, les données correspondantes ont été écartées. Ce cas de figure a correspondu à 1 610 mesures, soit 1 à 2 % du nombre total de mesures pour les paramètres concernés.

II.3. Données contextuelles et stratification

Afin d'aborder le traitement des données (puis *in fine* la recherche de seuils d'alerte) selon les grands facteurs structurant la physico-chimie et l'écologie des cours d'eau de l'HER D, il est apparu nécessaire de renseigner autant que possible l'identité du cours d'eau où a été réalisée chaque mesure et la position de la mesure sur ce cours d'eau. Afin de définir des seuils, il est également important d'être en mesure d'identifier des cours d'eau de référence, c'est à dire des cours d'eau ne subissant pas d'impact et où les valeurs mesurées pour chacun des paramètres reflètent leur concentration naturelle. L'HER D présente un environnement général qui a été impacté par les feux liés aux activités minières et forestières passées, aucun bassin versant ne peut donc être qualifié de vierge. Il a donc été pris le parti de considérer l'ensemble des bassins versants qui ne sont pas sous l'influence d'une activité minière en

cours ou sous l'influence d'une autre activité anthropique impactante (carrière, décharge,...), comme étant des bassins de référence.

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-HER1 demeure toutefois inférieure à la variabilité inter-HER1. En effet, les déterminants primaires 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. Ces déterminants sont les variables qui permettent de définir les HER de niveau 1. Au sein d'une même HER-1, la variabilité sera donc moins importante qu'entre deux HER-1. Au niveau sous-régional, la variabilité est davantage liée à des variations paysagères qui structurent l'hydrologie et donc la morphologie, ainsi que la végétation rivulaire. 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. Nous testerons donc cette dichotomie dans le cadre de l'HER D où il peut effectivement être observé des différences de relief entre la partie amont des bassins versants (plateau du grand Sud) et la partie aval plus pentue correspondant aux bordures du plateau tombant vers le lagon.

Pour la majorité des données, aucune de ces trois informations (identité du cours d'eau, zone référence/influence, amont/aval) n'était présente dans les données brutes disponibles, où l'identifiant de référence est généralement la station (souvent codée et non explicite concernant la zone ou le cours d'eau concerné). Un travail de recoupement fondé sur la connaissance des suivis opérés et des zones échantillonnées d'une part, et sur la projection cartographique des stations d'autre part (des coordonnées étaient disponibles dans la majorité des cas), a permis de renseigner ces champs pour la totalité des données s'agissant du cours d'eau et statut d'impact, et la quasi-totalité concernant la position amont/aval.

Si la recherche d'ensembles géographiques ou fonctionnels cohérents et permettant d'améliorer la recherche et la construction de seuils pertinents pourra être poursuivie et affinée en phase 2 (cf. plus loin), cette première stratification des données est apparue suffisante à ce stade pour une approche exploratoire et l'examen des grandes caractéristiques des données physico-chimiques à traiter.

Chapitre III - Bilan des filtres et prétraitements appliqués aux données

III.1. Descriptif des principaux filtres et manipulations effectués

Parmi l'ensemble des données brutes correspondant aux 39 paramètres d'intérêt et aux 5 grands jeux de données disponibles, plusieurs opérations de contrôle ont été réalisées afin de s'assurer de la cohérence et de la pertinence des informations vis-à-vis du cadre du projet. Parmi les principales, on peut citer :

- La recherche de stations correspondant à des conditions particulières qu'il n'apparaissait pas pertinent de conserver dans une optique d'élaboration de seuils, 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 ;
 - o Les zones de source ou résurgences, ainsi que le dolines ;
 - o Certaines stations isolées identifiées dans la catégorie « eaux superficielles » mais correspondant à des mesures sur piézomètre ;
- La recherche de doublons ;
- Pour chaque paramètre, la conversion des valeurs issues des différents suivis afin d'homogénéiser les unités à l'échelle de l'ensemble de la base de données.

L'annexe 1 présente la liste définitive 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 cours d'eau d'appartenance, leur position sur ce cours d'eau, et leur statut en regard de l'influence de Vale NC.

Plus généralement, l'ensemble des jeux de données ont été reformatés en une base de données unifiées dont les champs type sont les suivants (les champs marqués d'une étoile sont les champs qui devaient obligatoirement être connus et renseignés pour permettre une prise en compte de la ligne de donnée dans le cadre de ce projet) :

- ID Jeu de données *
- Source
- Producteur
- ID Station *
- ID Cours d'eau *
- Position amont/aval
- Zone (référence/sous influence) *
- Coordonnées X et Y
- ID Paramètre *
- Date
- Année *
- Saison
- Valeur initiale avant conversion *
- Signe
- Unité avant conversion *
- Valeur convertie *
- Unité convertie *
- Valeur finale (intégrant l'harmonisation des LQ, cf. partie suivante) *
- LQ initiale
- LQ harmonisée

- ID méthode
- Certains champs spécifiques à certains jeux de données ont également été conservés
 - Jeu de données concernant les suivis réglementaires de Vale NC (contenus dans Galaxia) :
 - Fiabilité
 - Importance
 - Documentation
 - Commentaire
 - Jeu de données relatif aux diatomées :
 - Localité
 - Site
 - Jeu de données DAVAR :
 - Code échantillon
 - Famille de paramètres
 - Jeu de données relatif aux suivis ichthyologiques de l'ŒIL :
 - Conditions hydrologiques
 - Jeu de données des suivis volontaires de Vale NC :
 - Secteur de la mine
 - Hydrostratigraphie

La base de données finale obtenue à l'issue de l'ensemble des formatages et traitements appliqués aux données pour en unifier la structure contient 108 639 lignes de données. Cette base de données a été livrée à l'ŒIL conjointement au présent rapport.

Le Tableau 3, Tableau 4, Tableau 5 présentent respectivement les principales caractéristiques des jeux de données intégrés à l'issue des traitements mentionnés, puis la déclinaison du nombre de mesures disponibles selon les paramètres, les jeux de données, les zones (amont/aval, référence/sous influence), et les années.

A titre indicatif et tout paramètre confondu, on peut constater que :

- 94% des mesures correspondent à la zone sous influence de Vale NC ;
- 82,5% des mesures correspondent à des zones amont (3% n'ayant pu être définies) ;
- 98% des mesures ont été collectées à partir de 2008 ;
- La répartition du nombre de mesures selon leur jeu de données d'origine est la suivante :
 - DAVAR : 1,5 %
 - GALAXIA (incluant les données réglementaires de Vale NC ainsi que des données collectées par l'ŒIL sur des cours d'eau de référence) : 96,9 %
 - Vale NC volontaire : 1,3 %
 - ŒIL (données contextuelles du projet diatomées et des suivis ichthyologiques) : < 1 %

Tableau 3 : Caractéristiques des jeux de données intégrés au projet avant (i.e. informations identiques au Tableau 1) et après application des filtres et prétraitements

		DAVAR		GALAXIA		CEIL (Diatomées)		CEIL (Poisson)		VNC (volontaire)	
Contextuelles/dédiées		Dédiées		Dédiées		Contextuelles		Contextuelles		Dédiées	
Jeu de données intégral	Période	19 années : 1993-2012 (sauf 2009)		21 années : 1996-2017 (sauf 1998)		3 années : 2012-2014		2 années : 2015 & 2017		5 années : 2011-2015	
	Nombre de stations	69		202		4		14		19	
	Nombre de paramètres	222		213		34		7		24	
Jeu de données sélectionné	Période	19 années : 1993-2012 (sauf 2009)		21 années : 1996-2017 (sauf 1998)		3 années : 2012-2014		2 années : 2015 & 2017		5 années : 2011-2015	
	Nombre de stations	68		199		4		14		19	
	Nombre de BV	21		32		2		4		6	
Nombre de paramètres		35		36		17		4		17	
		Liste paramètres	Liste BV	Liste paramètres	Liste BV	Liste paramètres	Liste BV	Liste paramètres	Liste BV	Liste paramètres	Liste BV
		Aluminium	Affluent_riviere_bleue	Aluminium	Baie_Nord	Aluminium	Kaori	Conductivite	Carenage	Aluminium	Entonnoir
		Arsenic	Baie_Nord	Arsenic	Carenage	Azote_Total	Wadjana	Oxygene	Fausse_Yate	Chlorures	Kadji
		Azote_Total	Carenage	Azote_Total	Entonnoir	Chlorures		pH	Kaori	Chrome	Kuebini
		Cadmium	Creek_Pernod	Cadmium	Fausse_Yate	Chrome		Turbidite	Kuebini	Chrome_VI	Trou_Bleu
		Calcium	Fausse_Yate	Carbonates	Kadji	Cobalt				Conductivite	Tru
		Carbonates	Kadjadrite	COT	Kaori	Conductivite				Fer	Wadjana
		COT	Kadji	Chlorophylle_a	Koi	Fer				Fluorures	
		Chlore_res_libre	Kaori	Chlorures	Kouakoue	Magnesium				Magnesium	
		Chlore_res_total	Kavekoi	Chrome	Ku	MES				Manganese	
		Chlorures	Koi	Chrome_VI	Kuebini	Nickel				Nitrates	
		Chrome_VI	Kuebini	Cobalt	Kwe	Nitrates				Nitrites	
		Cobalt	Kwe	Conductivite	Kwe_Est	Nitrites				pH	
		Conductivite	Kwe_Est	Cuivre	Kwe_Nord	pH				Phosphates	
		Cuivre	Kwe_Ouest	Fer	Kwe_Ouest	Potassium				Potassium	
		Fer	Port_Boise	Fluorures	Lembi	Silicium				Silice	
		Fluorures	Riviere_bleue_de_Prony	Magnesium	Mamie	Sodium				Sodium	
		Magnesium	Riviere_des_Lacs	Manganese	Nato	Sulfates				Sulfates	
		Manganese	StGabriel	Mercur	Pirogue						
		Mercur	Tara	MES	Plaine_des_Lacs						
		MES	Trou_Bleu	Nickel	Plum						
		Nickel	Wadjana	Nitrates	Port_Boise						
		Nitrates		Nitrites	Pourina						
		Nitrites		Oxygene	Rigue						
		Oxygene		pH	Riviere_blanche						
		pH		Phosphates	Riviere_bleue_de_Prony						
		Phosphates		Plomb	Riviere_bleue_PPRB						
		Plomb		Potassium	Riviere_des_Lacs						
		Potassium		Selenium	Thy						
		Selenium		Silice	Trap						
		Silice		Silicium	Trou_Bleu						
		Sodium		Sodium	Tru						
		Sulfates		Soufre	Wadjana						
		Taux_sat_O2		Sulfates							
		Turbidite		Taux_sat_O2							
		Zinc		Turbidite							
				Zinc							

Tableau 4 : Nombre total de mesures disponibles pour chaque paramètre, et déclinaison selon le type de jeu de donnée d'origine, la position sur le cours d'eau, et la zone

Paramètre	Nombre total de mesures	Jeu de données					Amont/Aval			Zone	
		DAVAR	GALAXIA	CEIL (DIATOMEES)	CEIL (POISSONS)	VNC (VOLONTAIRE)	Amont	Aval	Inconnu	Référence	Sous influence
Aluminium	3016	46	2873	10		87	2387	464	165	218	2798
Arsenic	2154	38	2116				1787	334	33	144	2010
Azote_Total	260	15	235	10			182	68	10	35	225
Cadmium	2937	74	2863				2399	471	67	178	2759
Calcium	74	74					29	45		26	48
Carbonates	49	27	22				13	36		34	15
Carbone_organique_total	447	28	419				308	139		34	413
Chlore_residuel_libre	2	2					2			2	
Chlore_residuel_total	2	2					2			2	
Chlorophylle_a	45		45				6	39		33	12
Chlorures	2575	66	2412	10		87	1807	606	162	262	2313
Chrome	2975		2877	10		88	2376	434	165	217	2758
Chrome_VI	2125	27	2010			88	1601	372	152	217	1908
Cobalt	2938	1	2927	10			2418	443	77	167	2771
Conductivite	5785	92	5587	10	15	81	4195	1400	190	474	5311
Cuivre	2998	71	2927				2445	486	67	179	2819
Fer	3009	7	2904	10		88	2400	446	163	223	2786
Fluorures	373	28	258			87	164	122	87	103	270
Magnesium	3075	74	2904	10		87	2416	494	165	259	2816
Manganese	3182	91	3001			90	2497	528	157	248	2934
Mercure	156	34	122				96	60		41	115
MES	12569	78	12481	10			11617	874	78	212	12357
Nickel	3040	98	2932	10			2456	507	77	218	2822
Nitrates	2612	60	2455	10		87	1807	644	161	280	2332
Nitrites	468	15	356	10		87	224	147	97	107	361
Oxygene	1293	51	1227		15		1094	195	4	103	1190
pH	5030	51	4891	10	10	68	3629	1240	161	391	4639
Phosphates	2587	26	2474			87	1822	613	152	239	2348
Plomb	2999	74	2925				2443	489	67	182	2817
Potassium	3107	36	2974	10		87	2449	493	165	245	2862
Selenium	70	34	36				32	38		35	35
Silice	362	63	212			87	234	41	87	58	304
Silicium	2890		2880	10			2384	428	78	170	2720
Sodium	3033	34	2902	10		87	2405	463	165	259	2774
Soufre	2837		2837				2363	407	67	144	2693
Sulfates	3264	106	3061	10		87	2439	662	163	278	2986
Taux_saturation_O2	137	56	81				49	87	1	83	54
Turbidite	21668	47	21606		15		20598	992	78	275	21393
Zinc	2496	78	2418				2035	408	53	151	2345

Tableau 5 : Déclinaison du nombre de mesures disponibles pour chaque paramètre selon l'année de mesure

Paramètre	Année																										
	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		
Aluminium									40		1			6	23	238	197	244	285	337	345	221	337	403	339		
Arsenic										14		1	2	6	23	63	72	65	137	316	318	197	323	281	336		
Azote_Total															13	62	7		16	18	55	36	44	9			
Cadmium									40	14				5	23	239	197	245	278	316	318	197	323	403	339		
Calcium				4	4	4			40		1			2	1	2		1	8	7							
Carbonates				4		4					1			1	1			1	14	18	5						
Carbone_organique_total										13					21	130	62	14	26	23	61	38	50	9			
Chlore_residuel_libre											1				1												
Chlore_residuel_total											1				1												
Chlorophylle_a																			7	13	6		7		12		
Chlorures	3	4	5	4	4	4				16	2	1	2	2	9	265	202	256	297	352	341	233	320	144	109		
Chrome														4	22	238	197	244	283	334	346	222	337	404	344		
Chrome_VI									6	14				4	22	245	155	242	279	291	262	170	244	112	79		
Cobalt														4	22	291	207	244	270	314	322	199	323	403	339		
Conductivite	3	4	5	7	10	4	12	8	8	52	1	2	13	14	36	585	401	668	585	488	548	518	768	551	494		
Cuivre									40	9	1		1	6	23	293	207	244	278	316	318	197	323	403	339		
Fer											1			6	23	291	207	205	286	337	346	222	337	403	345		
Fluorures				3						5	1		1	1	1	1		23	37	27	22	14	140	97			
Magnesium				4	4	4			40		1			6	24	241	202	245	294	343	346	221	344	405	351		
Manganese			5	4	4		2		40	13	1		1	6	23	290	278	244	287	336	341	221	338	404	344		
Mercure										14				1	9	64	38	1	8	17	4						
MES	3	4	5	4	4	4	2		12	16	1	1	1	6	22	4487	1640	1517	1135	1281	766	512	588	252	306		
Nickel	3	4	5	4	4	4			40	14				5	23	283	207	245	282	323	324	199	323	403	345		
Nitrates	3	4	5	4	4	4	2			8	2	1	2	2	23	282	212	256	305	365	341	222	311	145	109		
Nitrites				4			2			5	1			1	22	75			15	37	31	24	14	140	97		
Oxygene	1	1	5		2		2			22							2	55	158	141	82	128	354	340			
pH			5	6	10	4	16	4	4	28	1	2	12	16	36	585	372	668	536	466	454	343	450	536	476		
Phosphates				1		4	2				1				8	265	196	256	306	366	371	228	322	152	109		
Plomb									40	14				5	23	293	207	245	278	316	316	197	323	403	339		
Potassium				4	4	4				2	1			6	24	329	206	245	293	343	346	221	337	403	339		
Selenium										14				1	23	2		1	8	17	4						
Silice						4			40	15	1			1	1		4	11	19	69	64	57	57	15	4		
Silicium														4	15	239	215	244	277	311	318	196	323	403	345		
Sodium				4	4	4					1			6	24	241	202	245	293	343	346	219	344	406	351		
Soufre														4	14	239	202	244	262	299	312	194	323	405	339		
Sulfates	3	4	5	4	4	4			40	16	2	1	2	2	9	265	202	256	307	375	376	235	365	422	365		
Taux_saturation_O2	3	4	5		2		2			22							2	13	19	4		7	27	27			
Turbidite	3	4								17	1			2	9	4453	1667	1558	1422	3789	2604	1377	2178	1261	1323		
Zinc									40	15	1		1	6	23	239	199	247	278	116	74	192	323	403	339		

III.2. Prise en compte et traitement des LQ

L'assemblage de jeux de données issus de suivis différents (et donc de méthodes d'analyses en laboratoire variables) soulève inévitablement le problème de la gestion des LQ, dont les niveaux et les modalités de renseignement sont apparus très disparates dans les données brutes. Dans une optique de mise en place de seuils et d'uniformisation des jeux de données disponibles, il est apparu indispensable de chercher à harmoniser les LQ propres à chaque paramètre. En effet, la simple suppression des mesures correspondant aux LQ les plus élevées ou les moins représentées dans les données présente un risque d'aboutir, pour de nombreux paramètres, à la disparition de plusieurs cours d'eau dans le jeu de données (dont des cours d'eau de référence déjà peu nombreux) et donc à la remise en cause de sa représentativité en regard des milieux dulçaquicoles de l'HER.

Afin de procéder à une uniformisation des LQ, le protocole suivant avait initialement été défini et testé sur un jeu de données restreint. Pour un paramètre donné :

- Détermination de la LQ la plus pénalisante (i.e. la plus élevée) et pour laquelle la suppression des données associées correspondrait à une perte de données trop précieuse à l'échelle de la base de données pour pouvoir être réalisée. La détermination de cette LQ la plus pénalisante doit bien être menée sur l'ensemble des deux zones (référence et sous influence) afin de s'assurer d'une homogénéité des valeurs entre les données destinées à calculer de futurs seuils et les données destinées à y être confrontées.
- Application d'une valeur correspondant à la moitié de cette LQ maximale¹ à l'ensemble des mesures qui lui sont inférieures.

Pour une large part des données brutes disponibles, cette approche s'est toutefois heurtée à une définition des LQ sous la forme d'une gamme de valeur (ex. 0,1 à 1 mg/l). Le Tableau 6 présente la décomposition du nombre de mesures par paramètre selon l'information disponible pour caractériser la LQ au sein des données brutes. On constate que la LQ associée à la grande majorité des données est renseignée sous forme de gamme (ces gammes présentant dans de nombreux cas une amplitude très importante : 0,01 à 1 mg/l, et 0,02 à 5 mg/l). Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour convertir cette information de gamme en une valeur numérique permettant d'appliquer le protocole ci-dessus :

- Considérer la valeur basse de la gamme : ce choix présente l'inconvénient de générer de nombreux effets de « plateau » dans la répartition des valeurs supérieures à cette limite (causés par l'ensemble des mesures pour lesquelles la LQ réelle était supérieure à la tranche basse de la gamme), et de surévaluer largement le % de détection de l'élément dans le milieu (de nombreuses valeurs considérées comme > à la LQ de référence sont en fait elles-mêmes des LQ).
- Considérer la valeur haute de la gamme : étant donné les gammes présentes ici, cela correspondrait à une approximation beaucoup trop grossière pour être informative (niveler à 1 mg/l voire 5 mg/l l'ensemble des valeurs qui y sont inférieures lisserait artificiellement de nombreuses données).
- Utiliser le renseignement du champs « signe » afin de mettre à jour le champs LQ (dans certains lots de données, l'existence d'un signe « < » indique que la valeur fournie est une LQ et que la mesure réalisée lui était inférieure). Cette opération a été systématiquement réalisée toutefois

¹ L'attribution d'une valeur équivalente à LQ/2 dans les matrices de données physico-chimiques destinées à être analysées est classiquement pratiquée afin d'éviter une surévaluation des niveaux inférieurs à la LQ.

la proportion de données concernée était faible (et il s'est avéré que les LQ déduites de cette manière ne pouvaient être extrapolées aux autres mesures).

Dans l'état actuel des données et des informations disponibles, il est donc apparu incontournable de devoir renseigner le champs LQ comme étant « Inconnue » dès lors que ce dernier ne correspondait pas à une valeur numérique dans les données brutes.

Tableau 6 : Déclinaison du nombre de mesures pour chaque paramètre selon la limite de quantification telle qu'indiquée dans les données brutes disponibles

Paramètre	Unité	Nombre total de mesures	LQ indiquée dans les données brutes initiales													
			0,001	0,01	0,05	0,1	0,125	0,2	0,5	1	3	5	0,01 - 1	0,02 - 5	0,1 - 0,2	Inconnue
Aluminium	mg/l	3016	10										2120	729		157
Arsenic	mg/l	2154											1644	456		54
Azote_Total	mg/l	260							32							228
Cadmium	mg/l	2937											2343	506		88
Calcium	mg/l	74														74
Carbonates	mg/l	49														49
Carbone_organique_total	mg/l	447		216												231
Chlore_residuel_libre	mg/l	2														2
Chlore_residuel_total	mg/l	2														2
Chlorophylle_a	mg/l	45				6										39
Chlorures	mg/l	2575		29		10	7			12					2335	182
Chrome	mg/l	2975	10						5				2345	506		109
Chrome_VI	mg/l	2125		1996												129
Cobalt	mg/l	2938	10										2405	508		15
Conductivite	µS/cm	5785									24					5761
Cuivre	mg/l	2998											2409	504		85
Fer	mg/l	3009	10								6		2145	727		121
Fluorures	mg/l	373													237	136
Magnesium	mg/l	3075	10			7			12				2352	507		187
Manganese	mg/l	3182							5				2473	507		197
Mercur	mg/l	156			108											48
MES	mg/l	12569							10		306					12253
Nickel	mg/l	3040	10						6				2397	506		121
Nitrates	mg/l	2612			7				12						2339	254
Nitrites	mg/l	468													294	174
Oxygene	mg/l	1293														1293
pH	Unité pH	5030														5030
Phosphates	mg/l	2587						12	76						2342	157
Plomb	mg/l	2999											2405	506		88
Potassium	mg/l	3107	10										2443	506		148
Selenium	mg/l	70														70
Silice	mg/l	362								208						154
Silicium	mg/l	2890	10						6				2347	508		19
Sodium	mg/l	3033		10		7			12				2352	506		146
Soufre	mg/l	2837											2330	507		
Sulfates	mg/l	3264				17				12	648		240		2129	218
Taux_saturation_O2	%	137														137
Turbidite	NTU	21668				1287										20381
Zinc	mg/l	2496											1898	506		92

Ce constat a deux implications majeures :

- Il n'est pas possible, à l'échelle de la base de données constituée, de déterminer un % de détection précis et standardisé pour la très grande majorité des paramètres considérés ;
- La sélection d'une approche analytique (pour l'établissement de seuils d'alerte) sur la base des profils de répartition des valeurs ne pourra pas se fonder sur des seuils prédéterminés (ex. : au-

delà de X % de détection, une telle approche pourrait être adoptée), elle devra donc être réalisée à dire d'expert sur la base d'un examen graphique des profils de chaque paramètre.

Il conviendra, en phase 2 et en collaboration avec les producteurs des différents jeux de données, de tenter de rechercher si des précisions peuvent être obtenues sur les LQ associées aux différentes méthodes d'analyses mentionnées dans les données brutes. Si cela n'est pas le cas, il sera nécessaire de déterminer graphiquement les LQ les plus judicieuses à considérer pour optimiser le niveau d'information rendu par les données pour chaque paramètre, et de réitérer la démarche d'harmonisation des LQ sur la base de ces valeurs définies graphiquement.

Chapitre IV - Résumé des valeurs guides ou limites existantes pour les paramètres physico-chimiques d'intérêt

IV.1. Qualification du fond géochimique : Méthode

Le fond géochimique est la concentration naturelle d'un élément, d'une molécule ou d'un ion dans un milieu particulier (eaux, sols, sédiments, roches, etc.). Le qualificatif « naturel » signifie « d'origine principalement géologique », sans apport anthropique. La méthode qui est généralement retenue pour établir ce fond est la médiane de la population analysée, sous réserve que cette dernière présente une distribution normale ou log-normale, ce qui est souvent le cas, quel que soit le milieu analysé (Salpeteur & Angel 2010). Cette méthode présente l'avantage de minimiser l'impact des fortes teneurs qui influence d'avantage le calcul de la moyenne. Il peut par ailleurs être procédé à une transformation logarithmique des valeurs pour minimiser le poids des valeurs extrêmes. Pour être complète, cette valeur doit s'accompagner de la valeur de l'écart-type qui permet de définir une gamme de variation autour de la valeur médiane.

D'autres méthodes existent pour caractériser le fond géochimique de certains éléments. Pour les métaux traces (ETM) par exemple, plusieurs méthodes de dérivation du fond géochimique existent :

- Sur la base de mesures réalisées sur des cours d'eau considérés comme pristinnes, c'est à dire sans ou avec très peu d'influence anthropique : une caractérisation du fond géochimique en métaux traces est alors réalisée en retenant le percentile 90 ou le percentile 50² calculés sur l'ensemble du jeu de données. En amont de ce calcul une catégorisation des données est effectuée sur la base d'autres paramètres (ions majeurs) afin de regrouper les cours d'eau en fonction de la géologie du bassin versant drainé.
- Sur la base de modèles d'érosion : cette méthode se fonde sur l'hypothèse qu'il existe une relation stable entre le phénomène d'érosion et la concentration en ETM dans les eaux douces. Cette méthode nécessite de connaître la charge solide naturellement transportée par les cours d'eau, non seulement sa concentration, mais également son origine, ainsi que le fond géochimique naturel en ETM dans les sols du bassin versant.
- Sur la base des concentrations en ETM dans les sédiments datant de l'époque pré-anthropique du bassin versant. Cette méthode peut être utilisée dans le cas où il n'existe pas de zone « pristinne » ou de données relatives aux concentrations en ETM dans ces zones. Il s'agit de mettre en relation les mesures en ETM total mesurées dans les cours d'eau et celles mesurées dans les sédiments anciens en utilisant le coefficient de partage entre la phase solide et dissoute. Cette méthode présente des limites essentiellement liées à l'utilisation d'un coefficient de partage qui peut fortement fluctuer le long du gradient fluvial du fait de la variation du climat physico-chimiques, mais également de la saison.
- Sur la base de mesures de suivi réalisées sur un large spectre de cours d'eau qu'ils soient pristinnes ou sous l'influence d'activités anthropiques. Le fond géochimique est alors dérivé en prenant le percentile 5 ou 10 de l'ensemble du jeu de données relatifs à une zone à la lithologie

² Le percentile 90 ou le percentile 50 sont préconisés en fonction de la nature du jeu de données. Si celui-ci couvre une zone lithologique homogène avec un faible taux de minéralisation, les données vont être homogènes et le percentile 50 peut être utilisé. Si les données couvrent une zone à la lithologie hétérogène et présentant un fort taux de minéralisation, le percentile 90 est préconisé.

homogène. Comme pour la méthode basée sur les cours d'eau pristes, cette classification des eaux peut être menée sur la base des ions majeurs si les données sont disponibles.

Plusieurs méthodes existent donc pour dériver le fond géochimique des cours d'eau. La méthode basée sur les données mesurées sur les cours d'eau pristes apparaît la plus robuste. En Europe, il n'est pas toujours possible de la mettre en œuvre du fait de l'anthropisation importante et ancienne de l'ensemble des bassins versants. En Nouvelle-Calédonie, cette méthode peut s'appliquer si le jeu de données disponible sur ces cours d'eau s'avère suffisant.

IV.2. Les valeurs seuils

Les valeurs seuils édictées par les différentes réglementations en matière de protection de la ressource en eau et de la vie aquatique, sont des valeurs différentes du fond géochimique. Ces valeurs ne sont pas dérivées à partir de celui-ci, mais à partir de tests toxicologiques ou écotoxicologiques.

La définition de valeurs seuils ou norme de qualité environnementale (NQE), ne se fait pas à partir des mesures géochimiques, mais à partir de valeurs écotoxicologiques ou toxicologiques en fonction des usages. Ces valeurs sont établies en prenant en compte les objectifs de protection suivant :

- organismes vivant dans l'eau ;
- organismes vivant dans le sédiment ;
- prédateurs supérieurs ;
- santé humaine (vis à vis de la consommation des produits de la pêche ou de l'eau de boisson).

Une norme de qualité est définie pour chacun de ces objectifs de protection. La NQE est ensuite déterminée à partir de ces normes de qualité spécifiques afin de protéger le compartiment le plus sensible. La norme spécifique la plus faible sera donc retenue comme NQE.

IV.3. Valeurs seuils utilisées en Nouvelle-Calédonie

Par défaut, il est aujourd'hui utilisé les valeurs seuils fixées par l'arrêté de janvier 2007 pour évaluer la qualité des eaux de surface sur site minier en Nouvelle-Calédonie. Cet arrêté métropolitain expose les limites et références de qualité pour les eaux brutes destinées à la consommation humaine. Ces valeurs seuils ne concernent qu'un des objectifs cités dans le paragraphe précédent à savoir la protection de la santé humaine. Aujourd'hui aucune norme spécifique pour la protection des organismes vivant dans l'eau ou dans le sédiment, ni même relative aux prédateurs supérieurs, n'existe en Nouvelle-Calédonie. Un appel à projet a été lancé dernièrement par le CNRT « Nickel et son Environnement » pour caractériser ces normes sur la base de données toxicologiques et écotoxicologiques.

La présente étude ne vise pas à définir ces valeurs seuils, elle a pour objectif de définir un fond géochimique de référence pour les eaux de surface du grand Sud (HER D) et ainsi fournir des seuils d'alerte dont le dépassement signalera le besoin de s'interroger sur la potentielle altération du milieu aquatique. Ce dépassement ne signifiera aucunement qu'une altération de ce milieu et de la vie qu'il abrite est survenue.

Chapitre V - Analyses graphiques descriptives et évaluation des potentialités analytiques des paramètres dans une optique d'élaboration de seuils

Afin d'examiner les potentialités des données existantes pour la mise en place de seuils d'alerte sur les paramètres physico-chimiques présélectionnés, la démarche suivante a été progressivement mise en place au cours de l'étude et validée en concertation avec l'OEIL :

- **Filtre sur le type de zone** afin de ne conserver que les stations de référence : quelle que soit la méthode analytique choisie, les futurs calculs de seuils seront en effet nécessairement fondés sur les niveaux observés dans les cours d'eau de référence.
- **Représentation graphique de la répartition des valeurs prises par chaque paramètre en zone de référence et en zone sous influence**, afin d'examiner leur profil de détection dans ces deux situations. L'annexe 2 présente ces représentations graphiques pour chacun des 39 paramètres considérés. Le diagnostic des potentialités analytiques sur la base de ces éléments fait apparaître trois situations, synthétisées dans le Tableau 7 :
 - o Le paramètre présente un **nombre de mesures trop faible pour autoriser la mise en place d'approches analytiques** pour le calcul de seuils.
 - o Le paramètre présente un nombre de mesure significatif et un profil indiquant que **la plupart des valeurs mesurées sont supérieures aux LQ** des méthodes utilisées, permettant donc d'aborder des analyses de tendance et de caractériser la variabilité naturelle du paramètre. Parmi les 12 paramètres concernés, 6 ont été considérés comme présentant des potentialités analytiques intermédiaires en raison de profils hybrides, les 6 autres ont été considérés comme particulièrement propices à la mise en place d'approches statistiques pour la définition de seuils d'alerte.
→ « oui » ou « limite » dans la colonne « Profil analysable statistiquement » du Tableau 7
 - o Le paramètre présente un nombre de mesure significatif mais un très **grand nombre de valeurs correspondant à des LQ** en zone de référence (se traduisant graphiquement par des « plateaux » homogènes, pouvant être de niveaux différents étant donné la diversité des LQ dans les données mais présentant des profils lisses pour la plupart des valeurs), et apparaît donc complexe à analyser statistiquement
→ « non » dans la colonne « Profil analysable statistiquement » du Tableau 7, auquel cas deux cas de figures sont possibles :
 - L'examen du profil de ce même paramètre en zone sous influence fait apparaître un % sensiblement voire beaucoup plus important de détection, indiquant un signal clair de modification du profil de ce paramètre et la possibilité de déterminer de futurs seuils sur la base des LQ actuelles en zone de référence. C'est le cas de 12 paramètres.
→ « oui » dans la colonne « Dépassements des LQ en impact » du Tableau 7
 - L'examen du profil de ce même paramètre en zone d'impact fait également apparaître un % de détection nul ou extrêmement faible. La possibilité de définir un seuil d'alerte apparaît alors incertaine étant donné que, dans l'état actuel des mesures connues, ce paramètre est quasi-systématiquement non détecté dans

les milieux, qu'ils soient impactés ou non. C'est le cas de quatre paramètres seulement (Cadmium, Cuivre, Plomb, et Zinc).

→ « non » dans la colonne « Dépassements des LQ en impact » du Tableau 7

Il apparaît que 28 des 39 paramètres sont considérés comme susceptibles de faire l'objet d'une réflexion plus approfondie pour la mise en place de seuils d'alerte. Cette potentialité définie sur des bases purement descriptives devra bien entendu être confrontée au comportement connu ou suspecté de ce paramètre en termes de fonctionnement géochimique et/ou de pouvoir indicateur de la qualité des milieux étudiés.

Tableau 7 : Nombre total de mesures et bilan du diagnostic concernant les potentialités de mise en place de seuils pour chaque paramètre

Paramètre	Nombre total de mesures	Profil analysable statistiquement	Dépassements des LQ en zone impactée	Potentialité de mise en place de seuils
Aluminium		limite		oui
Arsenic	144	non	oui	oui
Azote_Total	35			non
Cadmium	178	non	non	incertaine
Calcium	26			non
Carbonates	34			non
Carbone_organique_total	34			non
Chlore_residuel_libre	2			non
Chlore_residuel_total	2			non
Chlorophylle_a	33			non
Chlorures	262	oui		oui
Chrome	217	non	oui	oui
Chrome_VI	217	non	oui	oui
Cobalt	167	non	oui	oui
Conductivite	474	oui		oui
Cuivre	179	non	non	incertaine
Fer	223	non	oui	oui
Fluorures	103	non	oui	oui
Magnesium	259	oui		oui
Manganese	248	non	oui	oui
Mercuré	41			non
MES	212	non	oui	oui
Nickel	218	limite		oui
Nitrates	280	limite		oui
Nitrites	107	non	oui	oui
Oxygene	143	limite		oui
pH	391	oui		oui
Phosphates	239	non	oui	oui
Plomb	182	non	non	incertaine
Potassium	245	limite		oui
Selenium	35			non
Silice	58			non
Silicium	170	oui		oui
Sodium	259	non	oui	oui
Soufre	144	non	oui	oui
Sulfates	278	oui		oui
Taux_saturation_O2	43			non
Turbidite	275	limite		oui
Zinc	151	non	non	incertaine

Chapitre VI - Perspectives pour l'obtention de seuils opérationnels

VI.1. Perspectives analytiques et recommandations préliminaires

La première phase du projet a permis de réaliser un travail conséquent de compilation et d'uniformisation de l'ensemble des données historiques pour 39 paramètres physico-chimiques des eaux superficielles de l'HER D. A ce titre et par anticipation de la seconde phase qui visera à finaliser la démarche et à mettre en place une série de seuils opérationnels, un certain nombre de points d'ajustements ont été discutés avec l'OEIL et devront être envisagés :

- La récupération, l'intégration à la base de données, et la prise en compte de données de pluviométrie (la seule prise en compte de la saison apparaissant peu judicieuse car peu représentative des variations potentielles des régimes de pluie à l'échelle des mesures). La mise en place de filtres permettant d'écarter les événements pluvieux anormaux ou sources de forte variabilité pourrait permettre de stabiliser certains paramètres et donc la qualité des seuils qui seront tirés des données filtrées.
- L'amélioration de la prise en compte de LQ dans les données en revenant aux données brutes et en sollicitant les principaux producteurs de données (cf. remarques précédentes sur ce point).
- Plus généralement, la validation collégiale d'un protocole standardisé de traitement des données (avec les acteurs des suivis dulçaquicoles concernés par la mise en place de seuils), à appliquer à l'ensemble des paramètres au préalable des calculs de seuils, afin de normaliser l'approche adoptée et de faciliter sa reproductibilité. Ce protocole s'appuiera largement sur les travaux préparatoires réalisés ici mais devra également être l'occasion d'affiner les approches au cas par cas des paramètres en définissant les critères à prendre en compte pour sélectionner les données. Après une première phase ayant permis de dégrossir les problématiques, la finalisation et la validation d'un tel protocole ne peut s'envisager que dans une approche concertée entre acteurs et experts. Parmi les futurs points à ajuster le cas échéant pour ce protocole on peut noter, sans s'y restreindre :
 - o d'approfondir la pertinence d'une stratification amont/aval : la très large majorité des stations se situent en zones amont et des tests statistiques préliminaires sur une sélection de paramètres ont montré une significativité très variable de la différence des profils entre amont et aval (différences significatives : chlorure, sulfates, silice, sodium, soufre ; différences non-significatives : conductivité, pH, turbidité, nitrates, phosphates, calcium, fer, magnésium, potassium, zinc) ; ces analyses devront être généralisées et ré-appliquées aux jeux de données définitifs pour déterminer si une stratification des futurs seuils peut être utile ;
 - o d'envisager une stratification complémentaire des stations sur la base des paramètres de fond qui sont quasi-systématiquement collectés sur tous les suivis, notamment la conductivité et le pH ;
 - o d'affiner la définition des zones de références en les modulant par famille de paramètre ;
 - o outre la pluviométrie, d'envisager la prise en compte de critères de stratification complémentaires (ex. pourcentage de couverture végétale d'un bassin versant) ;
 - o de s'accorder sur la gestion de l'hétérogénéité des LQ entre les jeux de données.

Par ailleurs, sur la base des principales limitations constatées pour une méta-analyse des données lors de cette première phase du projet, quelques recommandations préliminaires peuvent être formulées à ce stade concernant la conduite des suivis physico-chimiques en eaux douces (Tableau 8).

Tableau 8 : Limitations constatées dans les jeux de données et recommandations préliminaires pour la conduite des suivis.

Limitations ou points de blocages constatés pour une méta-analyse de données lors de la phase 1 du projet	Recommandations intermédiaires pour la conduite des suivis physico-chimiques en eaux douces
Forte hétérogénéité des LQ entre différentes mesures d'un même paramètre	Homogénéiser les méthodes d'analyses entre laboratoire afin de faciliter l'harmonisation des LQ
Absence de renseignement des LQ pour de nombreuses mesures	Demander aux laboratoires de saisir impérativement les LQ en utilisant la fiche type de la DAVAR
LQ majoritairement indiquées sous forme de gamme large (ex. 0,01 - 5 mg/l)	Homogénéiser les méthodes d'analyses entre laboratoire afin de faciliter l'harmonisation des LQ
Absence de renseignement du cours d'eau et/ou de la position générale de la mesure sur le cours d'eau (oblige à une déduction par projection géographique)	Demander aux laboratoires/collecteurs de saisir les informations relatives à la localisation géographique (cf. fiche prélèvement DAVAR)
A l'échelle d'une zone d'étude ou cours d'eau : nombre de mesures trop faible pour pouvoir les considérer comme représentatives et/ou ne permettant pas la mise en œuvre d'analyses statistiques	Optimiser le nombre de paramètres demandé car certains paramètres ne donnent que peu de résultats fiables ; pour les paramètres dont l'analyse n'est pas possible dans de bonnes conditions mieux vaut prescrire l'analyse d'un proxy

La seconde phase du projet permettra d'approfondir ces recommandations afin d'accompagner l'élaboration de gammes de référence par des perspectives d'amélioration des plans de suivis et de la qualité des données physico-chimiques produites en routine.

VI.2. Exemple de définition de seuil dans le cadre d'une approche statistique

VI.2.1. Démarche générale

Il s'agit ici d'illustrer, à travers l'exemple du Magnésium³, le type de démarche qui pourra être envisagée lors de la phase 2 dans le cas des paramètres permettant une approche statistique pour le calcul de seuils d'évolution. Les modalités détaillées de déploiement des méthodes (niveaux d'incertitude, pas de temps des diagnostics, etc.) restent ici à vocation illustrative et ne constituent pas des choix définitifs pour le paramètre pris en exemple. Le détail des futurs choix visant à calculer des seuils opérationnels et définitifs résultera en effet d'une concertation avec les futurs utilisateurs des seuils et opérateurs des suivis, et nécessiteront au préalable les traitements complémentaires identifiés précédemment (prévus en début de phase 2).

Pour rappel et comme mentionné en introduction, ce projet n'a pas vocation à se substituer à des travaux de recherche sur les indicateurs de qualité des rivières, en conséquence le type de seuils envisagé ici correspond à des seuils d'alerte d'évolution anormale ou de perturbation et non à des seuils d'état environnemental absolu. Dans cette approche et quel que soit la méthode statistique adoptée, la définition des seuils est donc menée sur la base d'un jeu de données de référence (période et cours d'eau considérés comme hors d'influence d'une activité anthropique impactante, notamment minière)

³ Ce paramètre a été choisi comme exemple car il présente un profil typique des paramètres *a priori* bien adaptés à la mise en œuvre d'une démarche statistique (faible nombre de valeurs inférieures à la LQ, grand nombre de mesures, homogénéité des efforts d'échantillonnages entre années, stabilité en référence *versus* augmentations fréquentes sous impact, etc.).

et représentatifs des variations historiques du paramètre dans l'HER). A des fins de diagnostic d'évolution ou d'impact, ces seuils seront par la suite confrontés aux mesures obtenues en zone sous influence afin de déterminer si celles-ci correspondent à une situation anormale en regard de la variabilité habituellement observée dans les zones hors d'influence.

Pour répondre à cette approche, deux types de méthodes peuvent être considérés. Le choix de l'une ou l'autre de ces approches et les modalités de leur mise en œuvre devront faire partie des réflexions et être réalisés au cas par cas de chaque paramètre, en fonction des caractéristiques de ses données :

Les percentiles. Cette méthode est régulièrement utilisée pour l'évaluation de la qualité de l'eau au sens large (cf. Chapitre IV, ou régionalement : Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000⁴), toutefois elle présente un certain nombre de limitations : subjectivité des choix des percentiles à considérer pour définir les seuils, forte sensibilité à la variabilité spatio-temporelle du paramètre suivi (la pertinence de l'utilisation des percentiles diminue fortement avec l'augmentation de la variabilité), et absence de quantification du niveau d'incertitude associé au futur diagnostic d'évolution. Dans la mise en œuvre de cette méthode, on peut classiquement définir 2 à 3 niveaux de diagnostic visant à déterminer si la médiane d'un paramètre mesuré en zone impactée correspond à une situation anormale pour ce paramètre :

- Médiane supérieure au percentile-90 du jeu de données de référence : situation considérée comme anormale/perturbée ;
- Médiane comprise entre le percentile-50 (i.e. la médiane) et le percentile-90 du jeu de données de référence : situation considérée comme étant à surveiller ;
- Médiane inférieure à la médiane du jeu de données de référence : situation considérée comme normale/non-perturbée.

Alternativement, l'utilisation de seuils fondés sur les percentiles peut également considérer des fréquences de dépassement de ces seuils plutôt que le simple dépassement de la médiane. Le choix des fréquences limites présente toutefois les mêmes limitations que le choix des percentiles seuils (notamment : subjectivité des choix et absence de connaissance du niveau d'incertitude associé aux diagnostics rendus). Ces méthodes peuvent toutefois constituer des substituts intéressants dans les cas où des démarches statistiques plus abouties sont inenvisageables.

L'analyse de sensibilité (telle que décrite dans Guillemot & Ducrocq 2011 et Van Wynsberge et al. 2017⁵). Bien que réagissant également à la variabilité des paramètres, cette méthode présente entre autres l'intérêt d'être plus stable et de fournir des gammes réalistes et utiles pour les paramètres à forte variabilité où la méthode des percentiles devient peut judicieuse. Elle permet de plus de fixer, et donc de connaître, le niveau de « fiabilité statistique » associée à chaque seuil. Afin d'examiner une dichotomie comparable avec l'approche par percentiles, on peut envisager ici 3 niveaux de diagnostic visant à déterminer si la moyenne d'un paramètre mesuré en zone sous influence correspond à une situation significativement différente (et donc possiblement perturbée) vis-à-vis de la variabilité observée en zone de référence :

⁴ Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (2000) Volume 2 – Aquatic Ecosystems – Rationale and Background information (Chapter 8)

⁵ Guillemot N, Ducrocq M (2011) Developing a database and relevant management indicators for monitoring commercial fisheries. SPC Fish. Newslett. 134, 34–40.

Van Wynsberge S, Gilbert A, Guillemot N, Payri C, Andréfouët S (2013) Alert thresholds for monitoring environmental variables: a new approach applied to seagrass beds diversity in New Caledonia. Marine Pollution Bulletin, 77(1), 300–307.

- Moyenne supérieure au seuil d'alerte d'évolution anormale à 95 % de certitude (i.e. probabilité élevée qu'il s'agisse d'une situation significativement différente de ce qui a été observé historiquement en référence) : situation considérée comme anormale/perturbée ;
- Moyenne comprise entre les seuils d'alerte d'évolution anormale à 70 % et 95 % de certitude (i.e. probabilité non-négligeable qu'il s'agisse d'une situation significativement différente de ce qui a été observé historiquement en référence) : situation considérée comme étant à surveiller ;
- Moyenne inférieure au seuil d'alerte d'évolution anormale à 70 % de certitude (i.e. probabilité faible qu'il s'agisse d'une situation significativement différente de ce qui a été observé historiquement en référence) : situation considérée comme normale/non-perturbée.

Comme mentionné précédemment, le choix des percentiles 50 et 90 ainsi que des niveaux de fiabilité à 70% et 95% restent ici arbitraires (calqués sur les choix conventionnels) et devront être approfondis et confirmés en phase 2 pour l'ensemble des paramètres.

VI.2.2. Exemple de calcul de seuils pour le paramètre Magnésium

Chacune des deux méthodes décrites précédemment a été appliquée afin de calculer des exemples de seuils pour le Magnésium. Suite à l'examen des caractéristiques des données pour ce paramètre en zone de référence, la période de référence prise en compte pour cet exemple a été définie à 2011-2017 en raison d'un volume de données trop faible avant 2011.

A ce titre, il convient de rappeler ici que le choix et la validation concertée du jeu de données de référence propre à chaque paramètre sera une étape clé pour maximiser la qualité et la pertinence de seuils. Au-delà des cours d'eau de référence, la période considérée comme référence devra également être ajustée au cas par cas des paramètres, tant concernant le volume de données disponible que la prise en compte d'éventuels événements particuliers susceptibles de remettre en cause la valeur de référence des données.

Enfin, dans le cas de cet exemple et afin d'en faciliter l'appréhension, le pas de temps arbitrairement choisi pour examiner les évolutions du Magnésium et se pencher sur le fonctionnement des seuils est un pas de temps annuel. Ce dernier devra également être discuté et validé pour chaque paramètre.

Le calcul des percentiles et l'analyse de sensibilité ont été effectués *via* les logiciels XLStat® et GPOWER®. Ces calculs ont fourni les seuils indicatifs suivants :

- Percentiles :
 - Percentile-90 : 10,5 mg/l ;
 - Percentile-50 (médiane) : 6,8 mg/l ;
- Seuils de sensibilité :
 - Seuil à 95% de fiabilité : 8,7 mg/l ;
 - Seuil à 70% de fiabilité : 7,5 mg/l.

Afin d'évaluer la pertinence des seuils obtenus, il convient dans un premier temps d'examiner si leurs niveaux sont cohérents avec le profil, l'amplitude et la variabilité intrinsèque des données de référence. Dans le cas des seuils issus d'une analyse de sensibilité par exemple, on peut distinguer trois types de seuils en termes d'utilité opérationnelle :

- Seuils pertinents : les valeur-seuils obtenues sont en adéquation avec l'évolution historique des moyennes (i.e. l'amplitude qu'ils délimitent est d'un ordre de grandeur cohérent avec l'amplitude des variations historiques), ils sont donc tolérants à la variabilité interannuelle historique du paramètre et fournissent des niveaux d'alerte réalistes et proportionnés.

- Seuils peu pertinents : les valeurs seuils obtenues délimitent une amplitude qui est clairement inférieure à l'amplitude des variations observées historiquement, ils sont donc trop peu tolérants et des franchissements peuvent survenir régulièrement sans qu'ils ne reflètent une véritable tendance anormale. Pour ce cas de figure, les seuils peuvent être utilisés à titre informatif mais les conclusions quant à la détection d'une anomalie d'évolution pour une année donnée sont à prendre avec précautions.
- Seuils inutilisables : les valeurs de seuil obtenues délimitent une amplitude qui est beaucoup plus importante que l'amplitude observée historiquement, et sont très éloignées des niveaux moyens, ce qui en fait des seuils trop tolérants pour être utilisés de façon pertinente. Ceci peut être dû à une extrême variabilité intra-annuelle des données pour ce paramètre. Dans ces cas de figure, un franchissement des seuils n'interviendrait que pour des niveaux bien trop hauts pour avoir un intérêt en termes d'alerte.

La Figure 2 présente les seuils obtenus *via* l'analyse de sensibilité et projetés sur les données de référence qui ont été utilisées pour les définir. En l'occurrence, la gamme de seuil obtenue, bien qu'assez resserrée autour des valeurs moyennes, apparaît cohérente et susceptible de fournir des seuils pertinents. L'évaluation de la pertinence des seuils obtenus devra être menée méthode par méthode et paramètre par paramètre afin de valider les gammes qui seront finalement retenues.

Plus généralement, le traitement de chaque paramètre devra nécessiter de discuter des éventuelles limites d'utilisation propres aux seuils obtenus, et de définir les règles de diagnostic qui devront y être associées pour leur utilisation en routine.

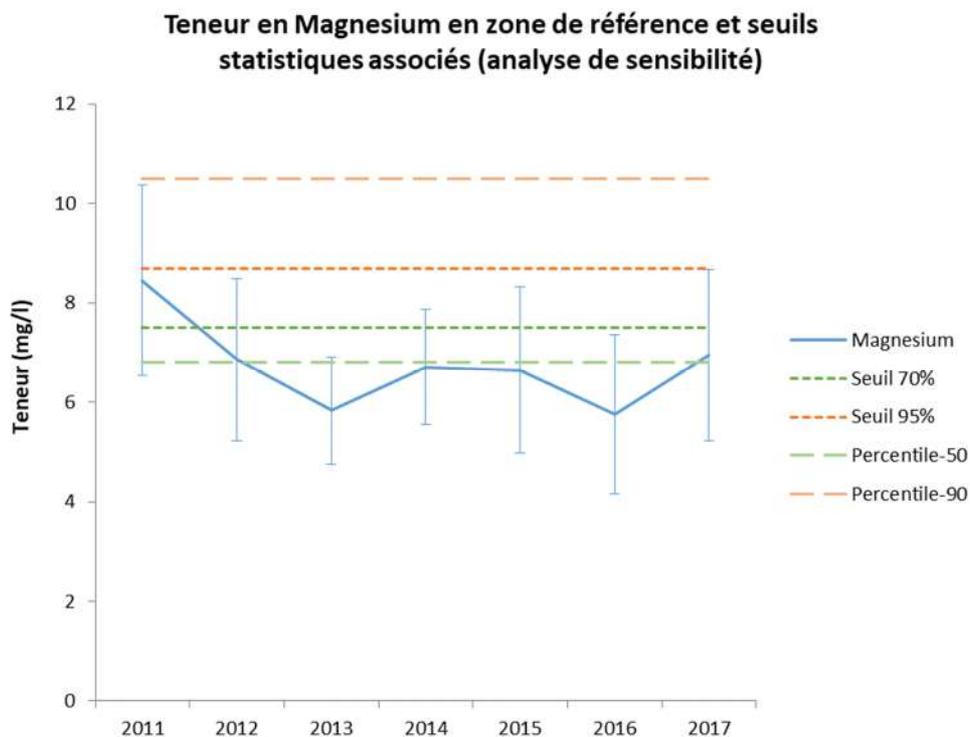


Figure 2 : Représentation graphique illustrant des seuils d'alerte d'évolution pour le paramètre Magnésium (modalités de calcul des seuils non-définitives), obtenus via une analyse de sensibilité sur les évolutions interannuelles en zones de référence. Les barres d'erreur représentent les écart-types des moyennes annuelles.

La Figure 3 présente, pour chacune des deux méthodes, la superposition des seuils obtenus pour le Magnésium et des mesures disponibles pour la même période en zone sous influence. On constate que, dans cet exemple qui reste illustratif de par sa mise en œuvre, les mesures récentes sont très largement en dehors des niveaux et profils de référence, et donneraient lieu à des dépassements significatifs dans une optique de diagnostic.

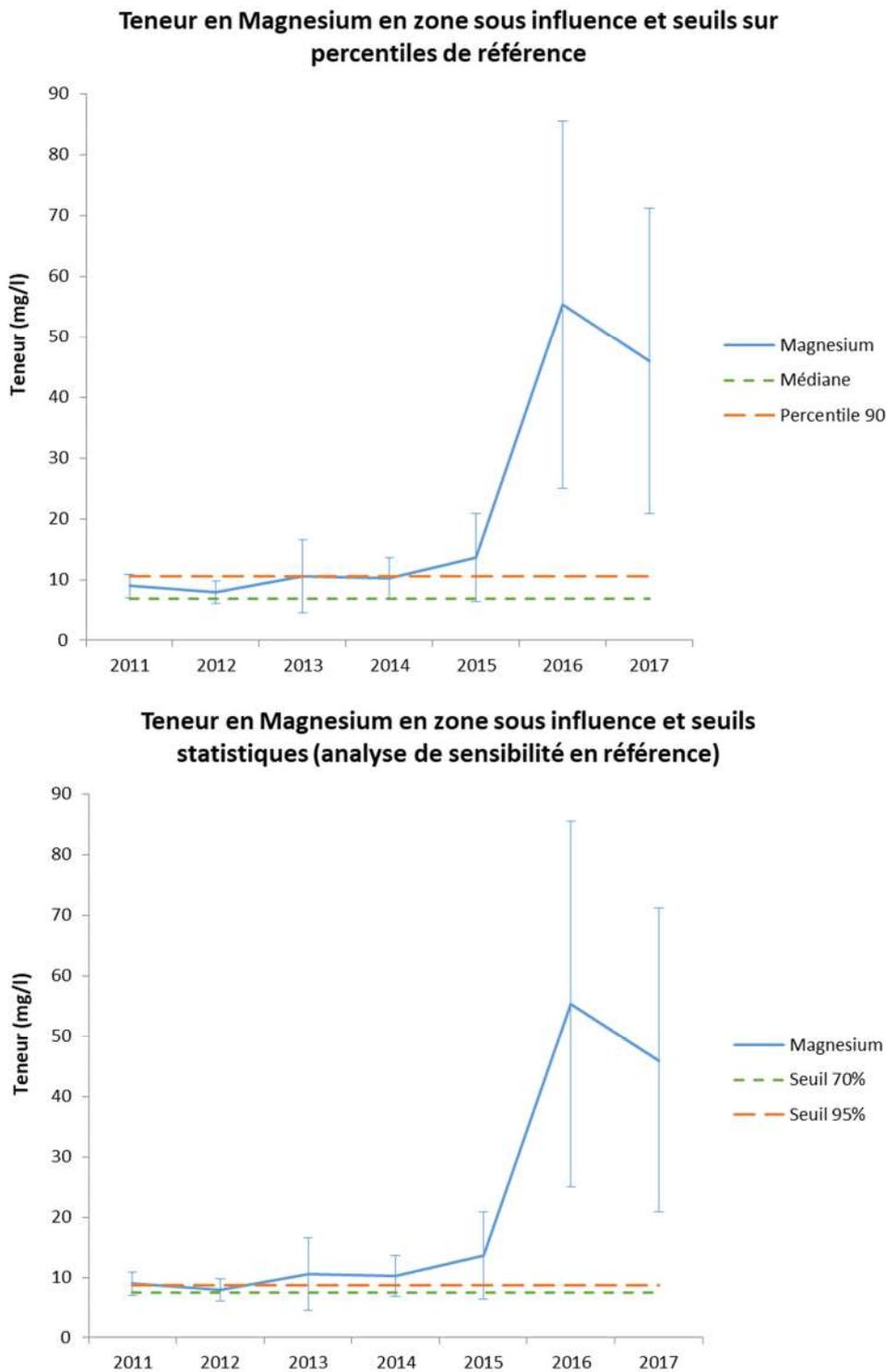


Figure 3 : Représentation graphique illustrant des seuils d'alerte d'évolution pour le paramètre Magnésium (modalités de calcul des seuils non-définitives), obtenus respectivement avec la méthode des percentiles (haut) et de l'analyse de sensibilité (bas), et projetés sur les évolutions interannuelles mesurées en zones sous influence (moyennes annuelles sur l'ensemble des stations considérées comme étant sous influence). Les barres d'erreur représentent les écart-types des moyennes annuelles.

Chapitre VII - Annexes

VII.1. Annexe 1 - Liste finale des stations sélectionnées à l'issue des traitements et filtres appliqués

ID station	Bassin versant	Amont/Aval	Niveau d'influence
Boissud	Affluent_riviere_bleue	Amont	Référence
6-aff	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-BNOR1	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-BNOR2	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-deb-1	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-deb-10	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-deb-11	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-deb-12	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6DEB13	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6DEB14	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-deb-2	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-deb-3	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-deb-4	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-deb-5	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-deb-6	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-deb-7	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-deb-8	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-deb-9	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-Q	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-R	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-S	Baie_Nord	Amont	Sous influence
6-T	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-T_BLANC	Baie_Nord	Aval	Sous influence
6-U	Baie_Nord	Aval	Sous influence
BNOR010	Baie_Nord	Amont	Sous influence
BNOR025	Baie_Nord	Amont	Sous influence
BNOR050	Baie_Nord	Amont	Sous influence
BNOR060	Baie_Nord	Aval	Sous influence
BNOR070	Baie_Nord	Aval	Sous influence
BNOR100	Baie_Nord	Aval	Sous influence
BNOR200	Baie_Nord	Aval	Sous influence
care080	Carenage	Amont	Référence
CARE100	Carenage	Aval	Référence
care200	Carenage	Aval	Référence
Carenage_Amont	Carenage	Amont	Référence
Carenage_Amont_(Bio_eKo)	Carenage	Amont	Référence
Carenage_Aval	Carenage	Aval	Référence
Carenage_Aval_(Bio_eKo)	Carenage	Aval	Référence
carenage_intermediaire	Carenage	na	Référence
PERN100	Creek_Pernod	Aval	Référence
EN-01	Entonnoir	na	Sous influence
EN-02	Entonnoir	na	Sous influence
entonnoir	Entonnoir	na	Sous influence
entonnoir	Entonnoir	na	Sous influence
Fausse_Yate_ament	Fausse_Yate	Amont	Référence
Fausse_Yate_aval	Fausse_Yate	Aval	Référence
Fausse_Yate_intermediaire	Fausse_Yate	Aval	Référence
FausseYateTD1	Fausse_Yate	Aval	Référence
fya100	Fausse_Yate	Aval	Référence
fya200	Fausse_Yate	Aval	Référence
fyat100	Fausse_Yate	Aval	Référence

fyat200	Fausse_Yate	Aval	Référence
KadjadriteC1	Kadjadrite	Amont	Référence
5-E	Kadji	Amont	Sous influence
KADJ100	Kadji	Amont	Sous influence
kadji	Kadji	Amont	Sous influence
kadji_1	Kadji	na	Sous influence
kadji_2	Kadji	na	Sous influence
KAO1	Kaori	na	Référence
KAO2	Kaori	na	Référence
KAOR_200	Kaori	Aval	Référence
KAOR100	Kaori	Amont	Référence
KAOR200	Kaori	Aval	Référence
Kaori_amont	Kaori	Amont	Référence
Kaori_aval	Kaori	Aval	Référence
Kaori_Aval_(Bio_eKo)	Kaori	Aval	Référence
kaoris_amont	Kaori	Amont	Référence
kaoris_aval	Kaori	Aval	Référence
kaoris_intermediaire	Kaori	na	Référence
KavekoiC1	Kavekoi	Amont	Référence
KOIN100	Koi	Aval	Sous influence
KWAK100	Kouakoue	Aval	Référence
KWAK200	Kouakoue	Aval	Référence
ku	Ku	Aval	Référence
KUEB_300	Kuebini	Aval	Référence
Kueb_Amont	Kuebini	Aval	Référence
Kueb_Aval	Kuebini	Aval	Référence
kueb100	Kuebini	Amont	Référence
KUEB250	Kuebini	Aval	Référence
KUEB300	Kuebini	Aval	Référence
KUEB300_BLANC	Kuebini	na	Référence
kuebini_amont	Kuebini	Amont	Référence
kuebini_aval	Kuebini	Aval	Référence
kwe_binyi	Kuebini	na	Référence
ProjetKuebiniC1	Kuebini	Aval	Référence
1-A	Kwe	Amont	Sous influence
1-E	Kwe	Aval	Sous influence
3-A	Kwe	Amont	Sous influence
KOUE300	Kwe	Aval	Sous influence
KOUE350	Kwe	Aval	Sous influence
CS-01	Kwe_Est	Amont	Sous influence
CS-02	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KE-01	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KE-02	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KE-03	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KE-04	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KE-05	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KE-06	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KN2	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KOUE050	Kwe_Est	Amont	Sous influence
KOUE100	Kwe_Est	Amont	Sous influence
4-M	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
4-N	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN_16	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-01	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-02	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-08	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-09	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-10	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-11	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-12	Kwe_Nord	Amont	Sous influence

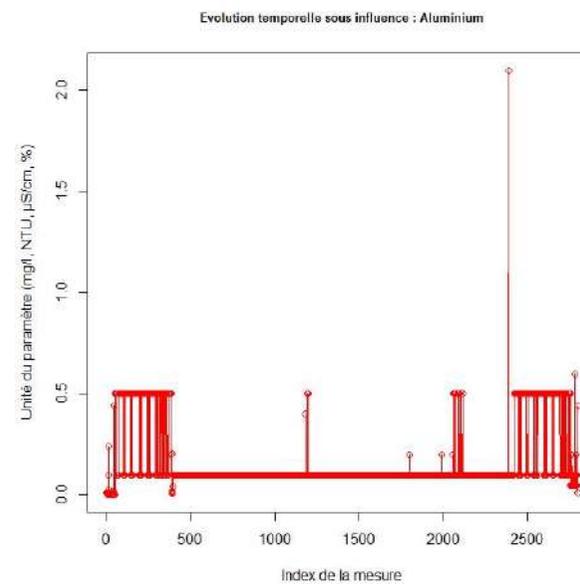
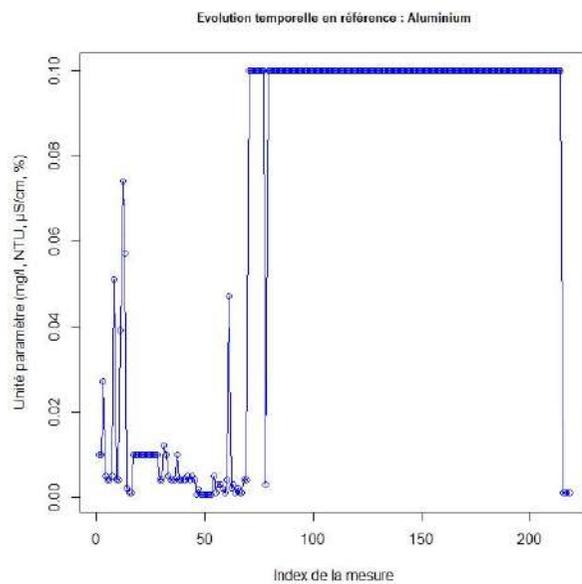
KN-14	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-15	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
KN-16	Kwe_Nord	Amont	Sous influence
3-B	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
3-D	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
3-E	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
4-deb-3	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO-01	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO-02	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO-06	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO4-20-I	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO5-10-I	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO5-20-I	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KO5-50-I	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KOL	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
Koue	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
koue100	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
KOUE200	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
koue250	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
Kwe_Ouest	Kwe_Ouest	Amont	Sous influence
LEMB100	Lembi	Amont	Référence
LEMB200	Lembi	Aval	Sous influence
mami200	Mamie	Aval	Référence
Mamie_1	Mamie	Aval	Sous influence
NATO100	Nato	Aval	Référence
piro100	Pirogue	Aval	Référence
PIRO200	Pirogue	Aval	Référence
Pirogues_amont	Pirogue	Amont	Référence
stepmilitaireamont	Plum	Aval	Sous influence
stepmilitaireaval	Plum	Aval	Sous influence
PBOI100	Port_Boise	Aval	Sous influence
PortBoiseC1	Port_Boise	Amont	Référence
POU100	Pourina	Aval	Référence
POU300	Pourina	Aval	Référence
RIGU300	Rigue	Aval	Référence
AFF_BLANC100	Riviere_blanche	Amont	Référence
AFF_BLANC200	Riviere_blanche	Amont	Référence
AFF_BLYATE075	Riviere_blanche	Amont	Référence
mai100	Riviere_blanche	Amont	Référence
Ouenarou_riv	Riviere_blanche	Aval	Référence
pont5	Riviere_blanche	Amont	Référence
BLEU050	Riviere_bleue_de_Prony	Amont	Référence
BLEU075	Riviere_bleue_de_Prony	Amont	Référence
BLEU100	Riviere_bleue_de_Prony	Amont	Référence
BLEU200	Riviere_bleue_de_Prony	Aval	Référence
BLYA_AMONT	Riviere_bleue_PPRB	Amont	Référence
BLYA_AVAL	Riviere_bleue_PPRB	Amont	Référence
BLYA075	Riviere_bleue_PPRB	Amont	Référence
blyate050	Riviere_bleue_PPRB	Amont	Référence
BLYATE100	Riviere_bleue_PPRB	Amont	Référence
Rivierebleue2	Riviere_bleue_PPRB	Amont	Référence
StGabrielC1	StGabriel	Aval	Référence
SourceTara	Tara	Aval	Référence
TaraC1	Tara	Aval	Référence
Thy_1	Thy	Amont	Référence
thy2	Thy	Amont	Référence
thy3	Thy	Aval	Référence
TRAP300	Trap	Aval	Référence
3-C	Trou_Bleu	Aval	Référence
TBLE200	Trou_Bleu	Aval	Référence

TBLEU200	Trou_Bleu	Aval	Référence
trou_bleu	Trou_Bleu	na	Référence
TR-01	Tru	Aval	Sous influence
TR-02	Tru	Amont	Sous influence
TR-03	Tru	Amont	Sous influence
TR-04	Tru	Aval	Sous influence
TR-05	Tru	Aval	Sous influence
truu_radier	Tru	na	Sous influence
cascadeGoro	Wadjana	Aval	Référence
WAD1	Wadjana	na	Référence
WAD2	Wadjana	na	Référence
wadja_radier	Wadjana	na	Référence
wadja_tribu	Wadjana	na	Référence
waja100	Wadjana	Amont	Référence
waja200	Wadjana	Amont	Référence
WAJA300	Wadjana	Aval	Référence
WJ-01	Wadjana	Amont	Référence

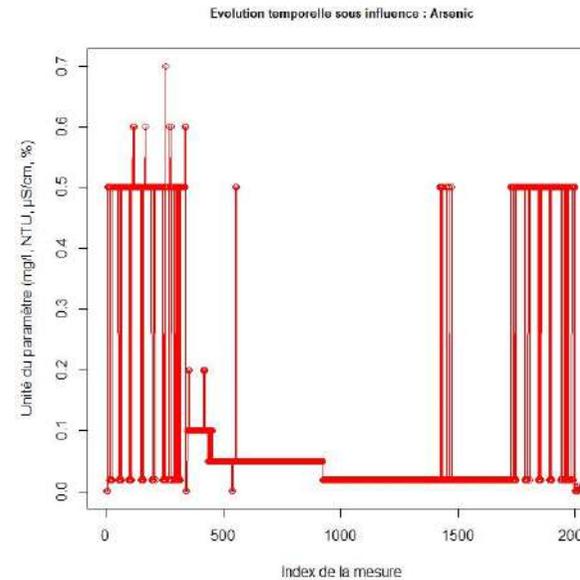
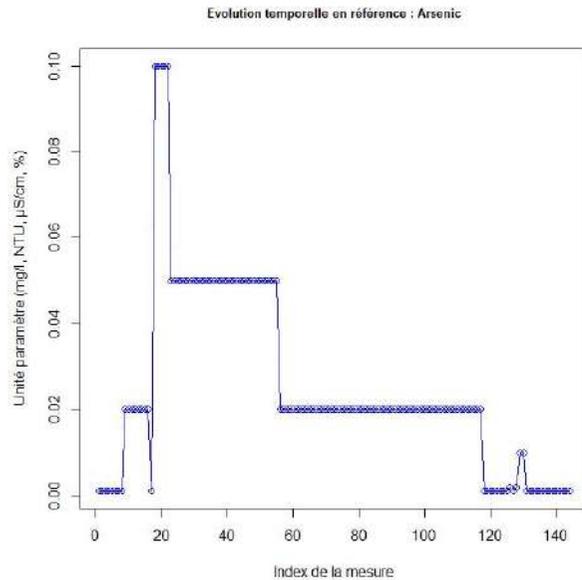
VII.2. Annexe 2 - Profils graphiques des données en zone de référence (bleu) et en zone sous influence de Vale NC (rouge) pour chacun des paramètres d'intérêt

Seuils indicateurs pour les paramètres physico-chimiques des eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 1 (Faisabilité & cadrage)

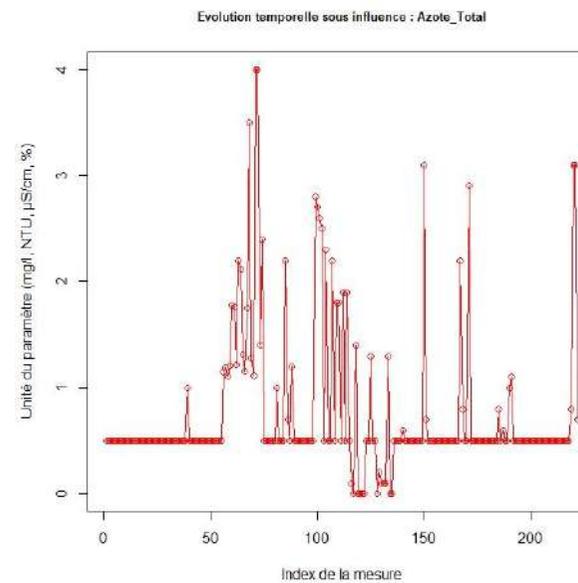
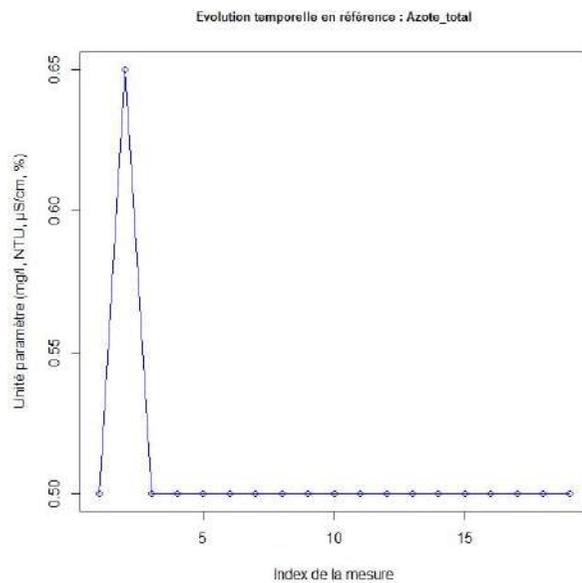
Aluminium (mg/l)



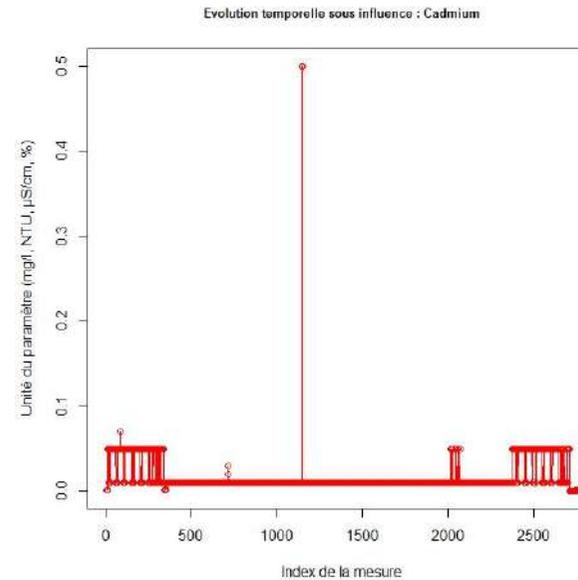
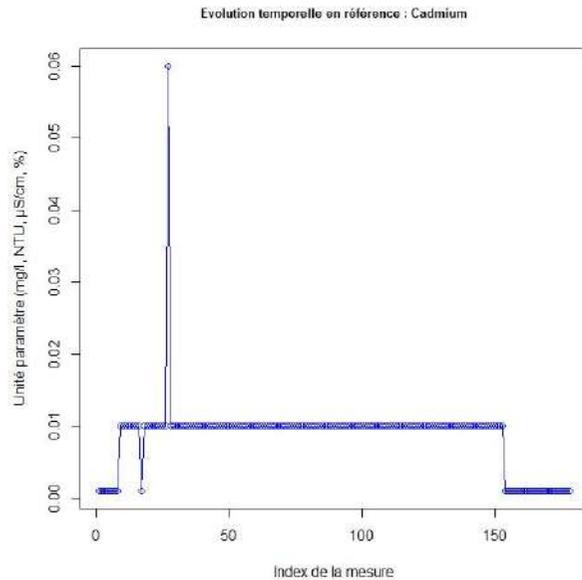
Arsenic (mg/l)



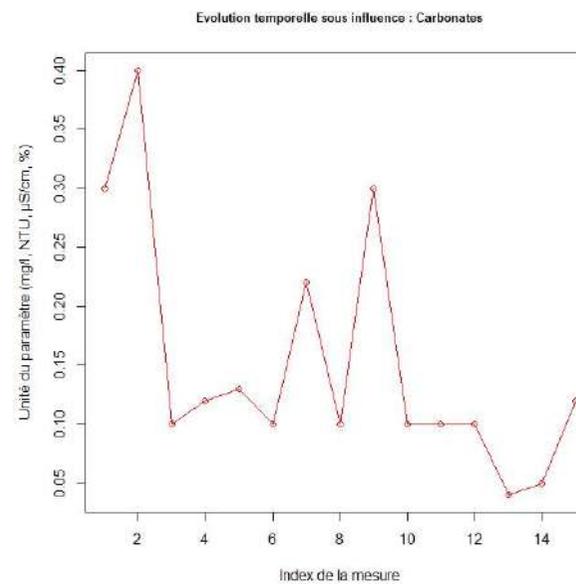
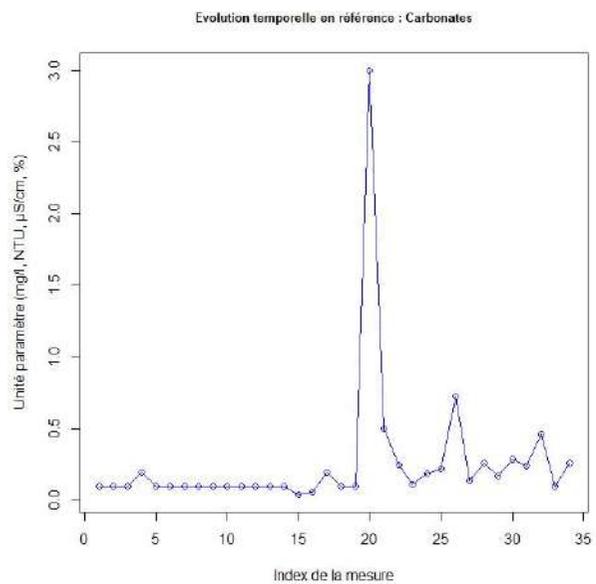
Azote total (mg/l)



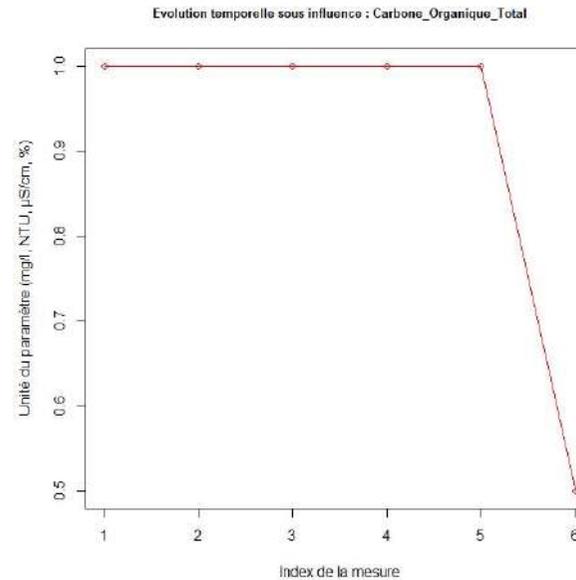
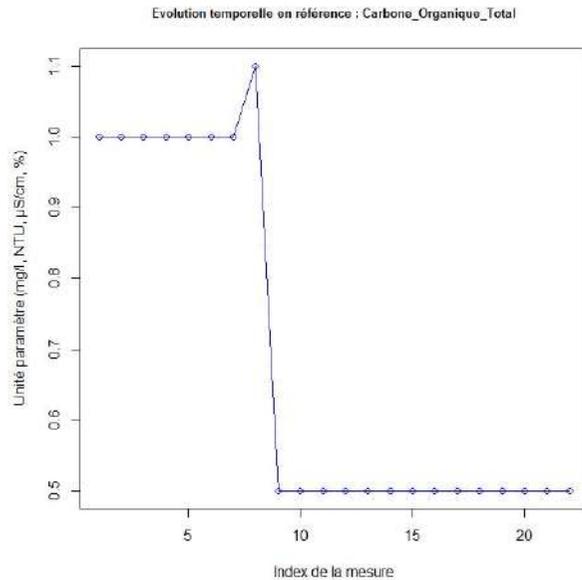
Cadmium (mg/l)



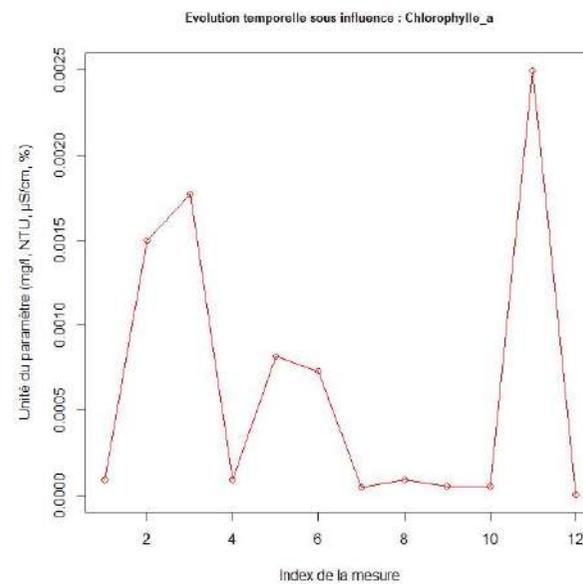
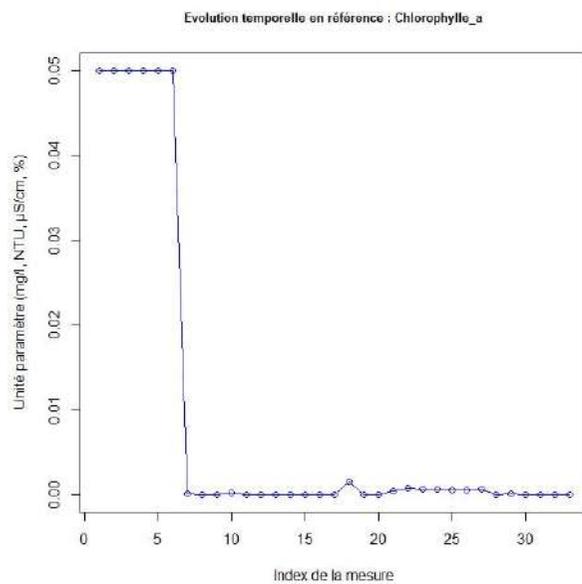
Carbonates (mg/l)



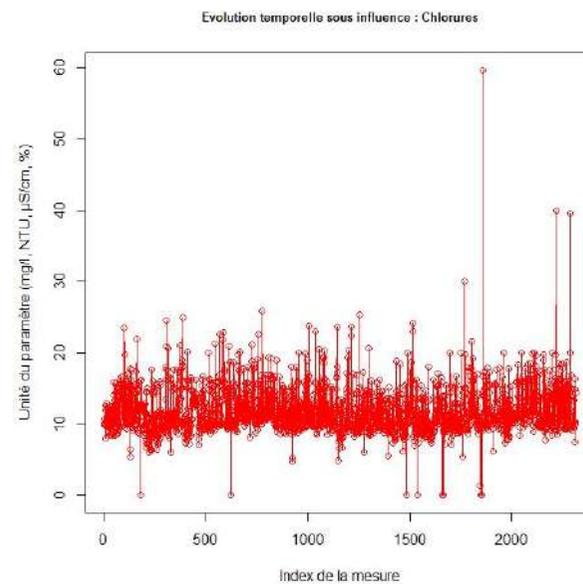
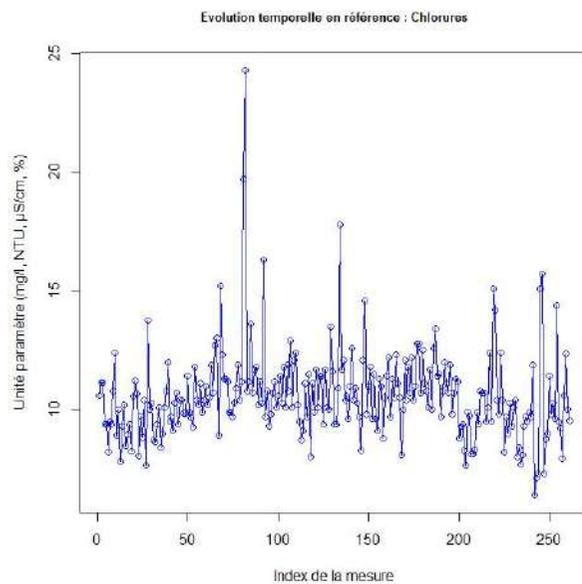
Carbone organique total (mg/l)



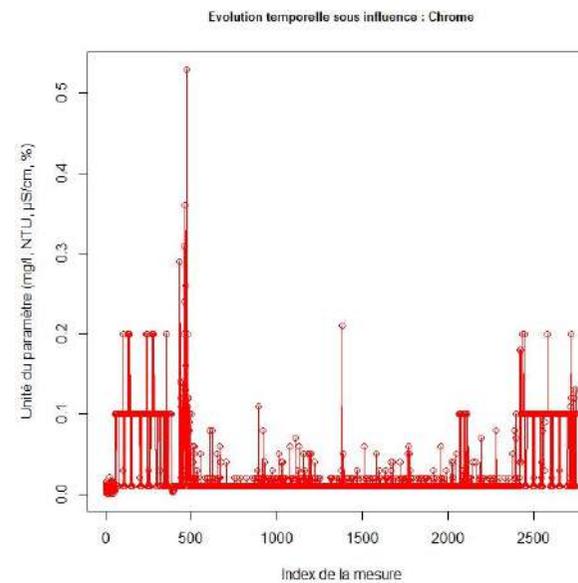
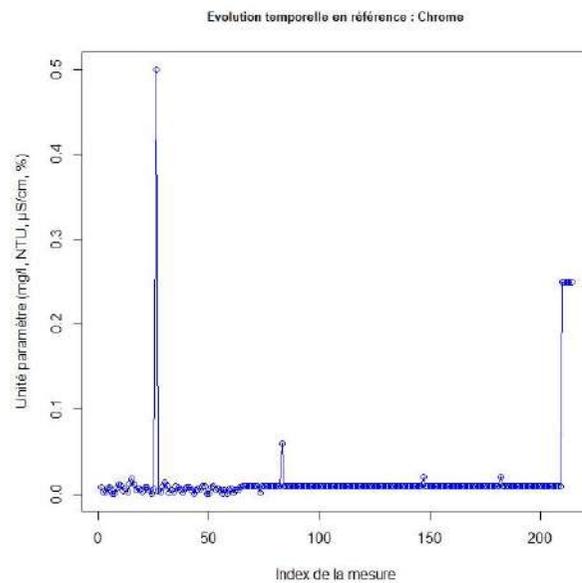
Chlorophylle a (mg/l)



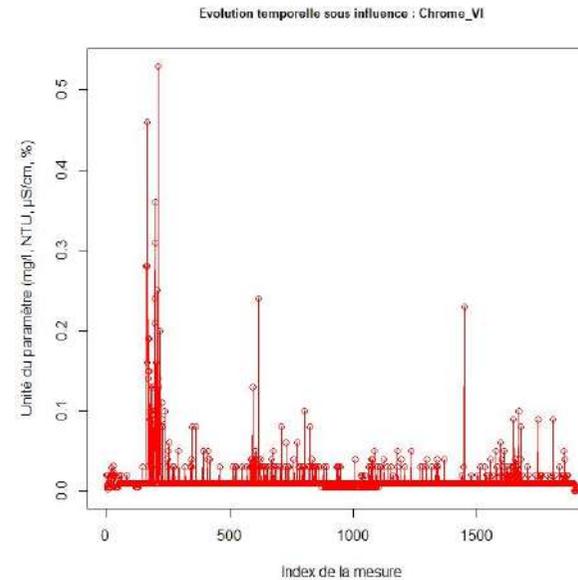
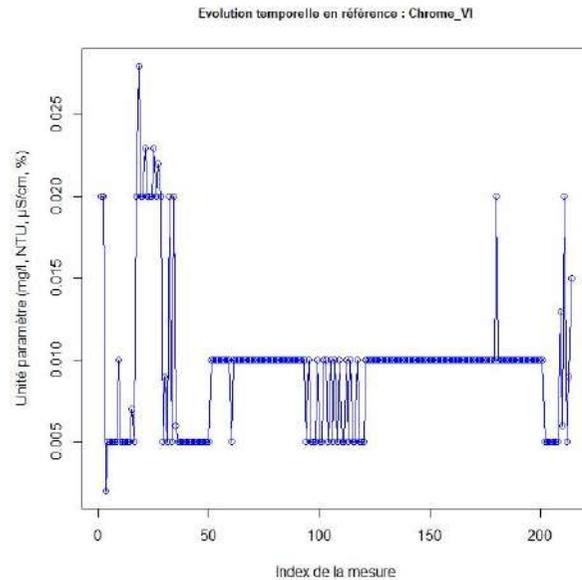
Chlorures (mg/l)



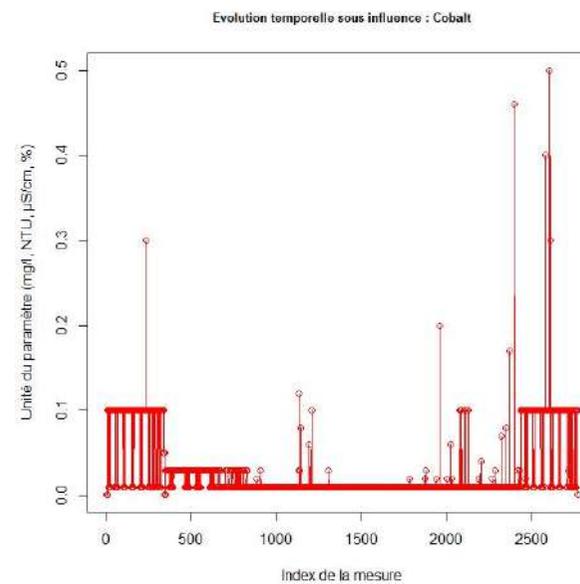
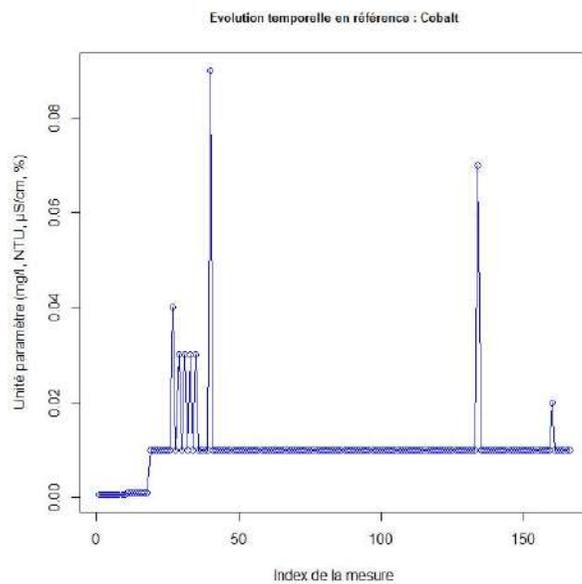
Chrome (mg/l)



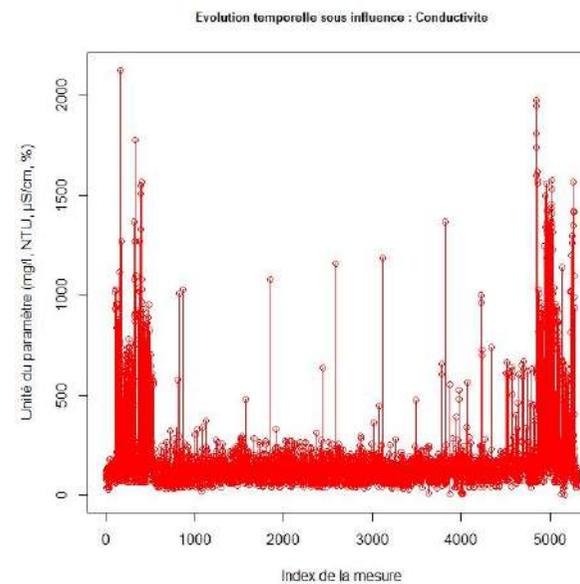
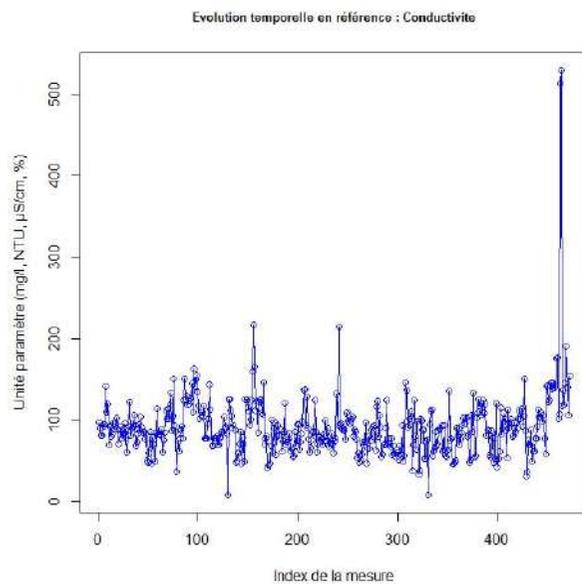
Chrome VI (mg/l)



Cobalt (mg/l)

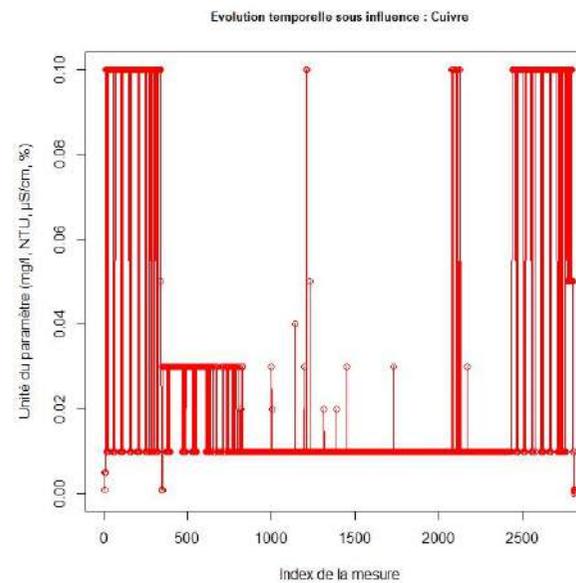
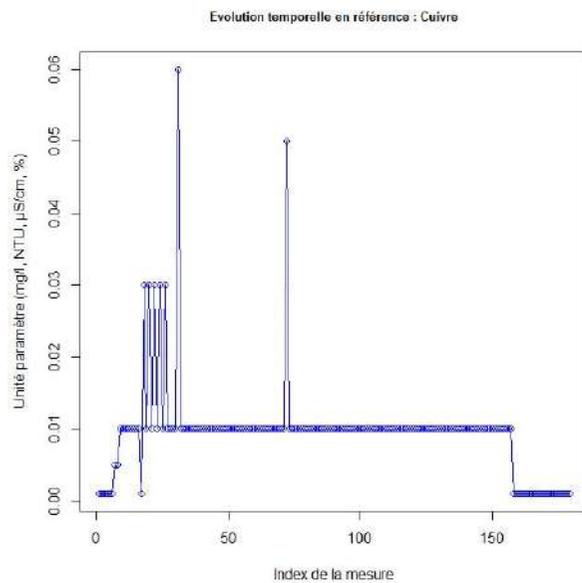


Conductivité (µS/cm)

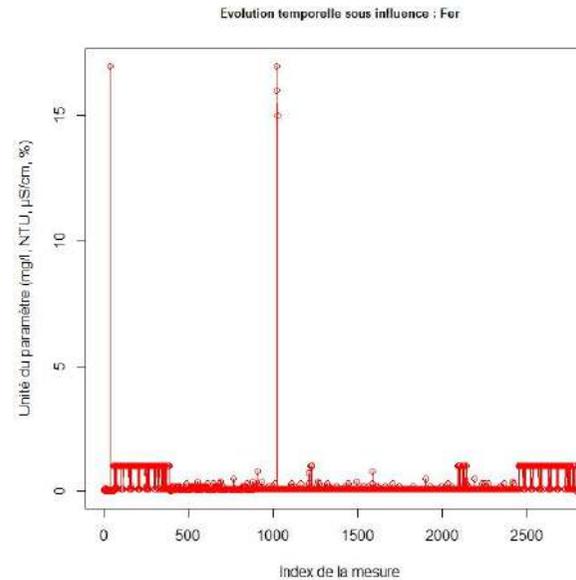
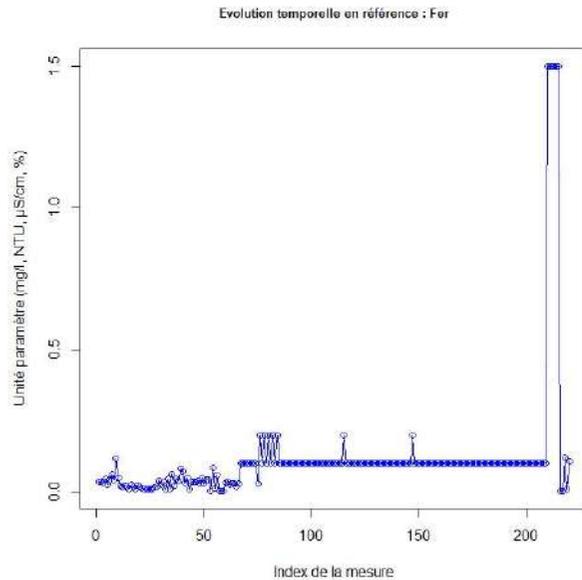


Seuils indicateurs pour les paramètres physico-chimiques des eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 1 (faisabilité & cadrage)

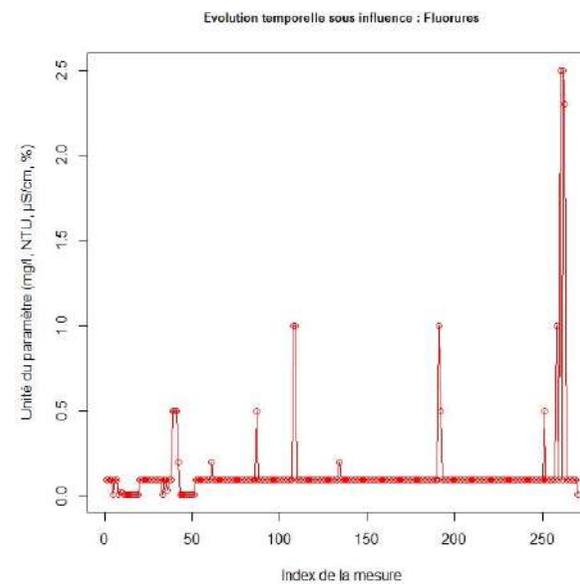
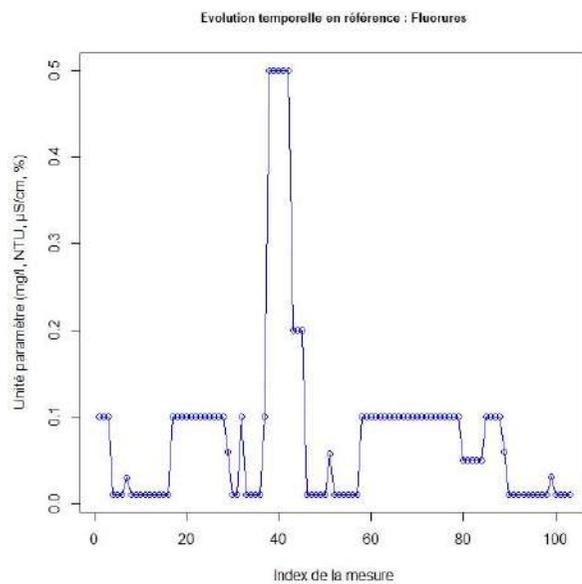
Cuivre (mg/l)



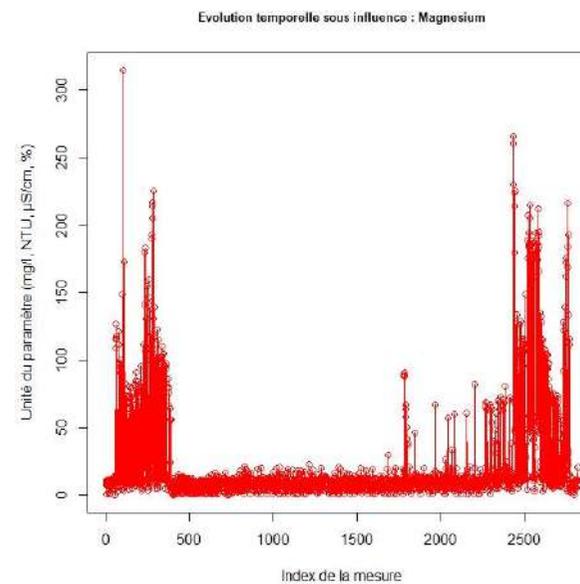
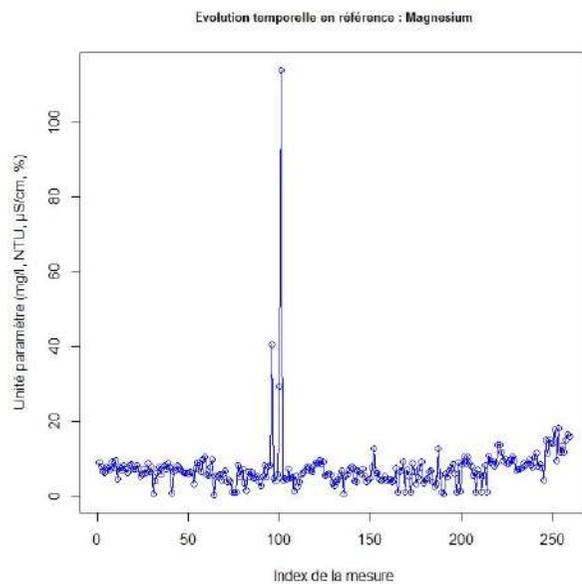
Fer (mg/l)



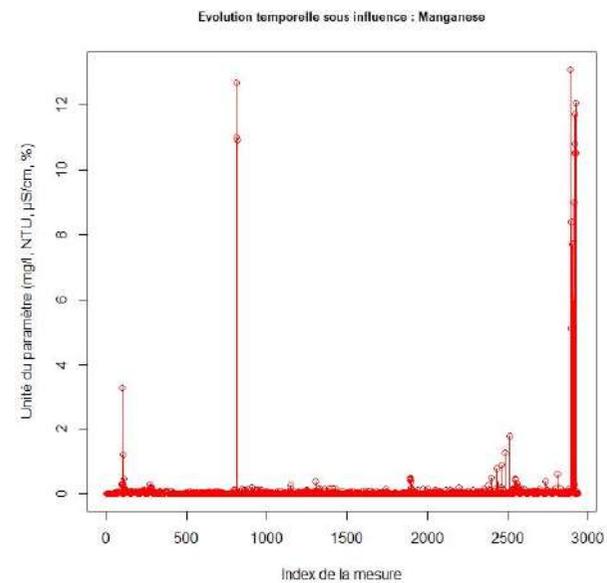
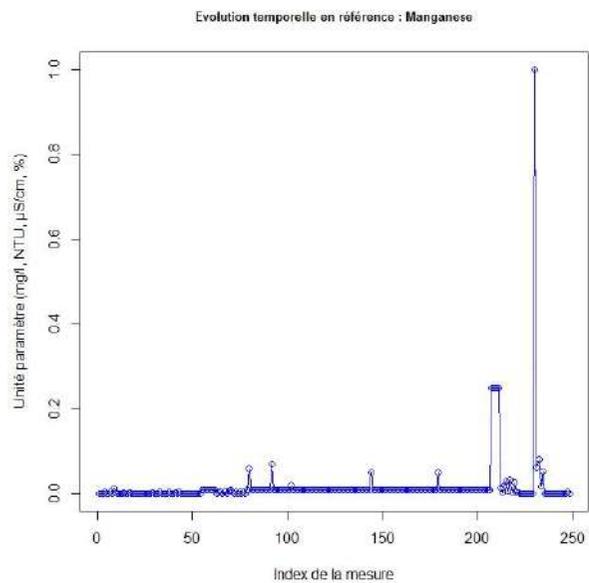
Fluorures (mg/l)



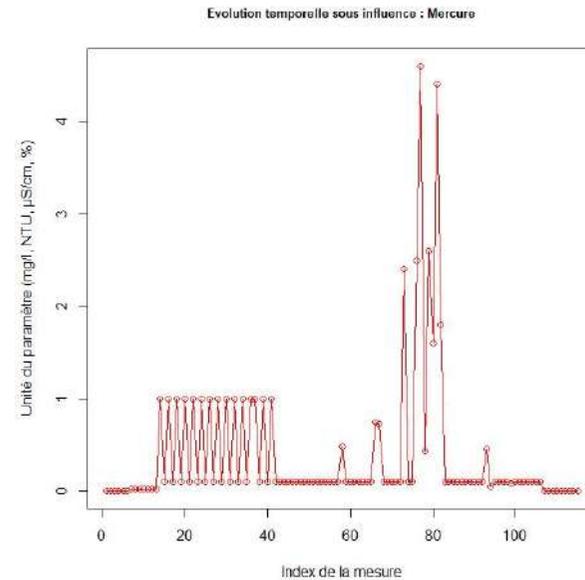
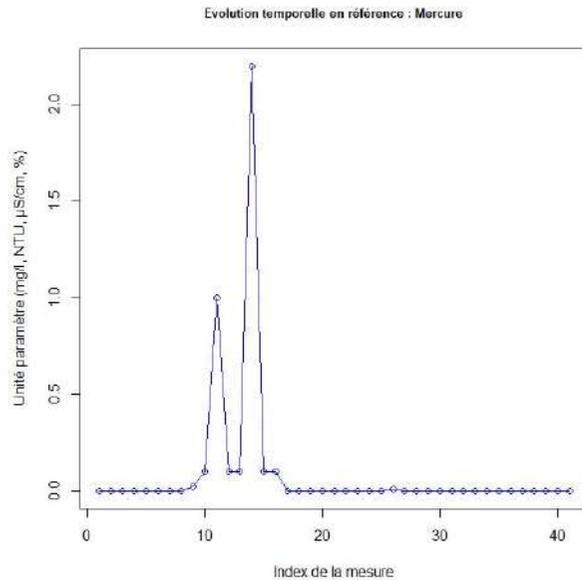
Magnesium (mg/l)



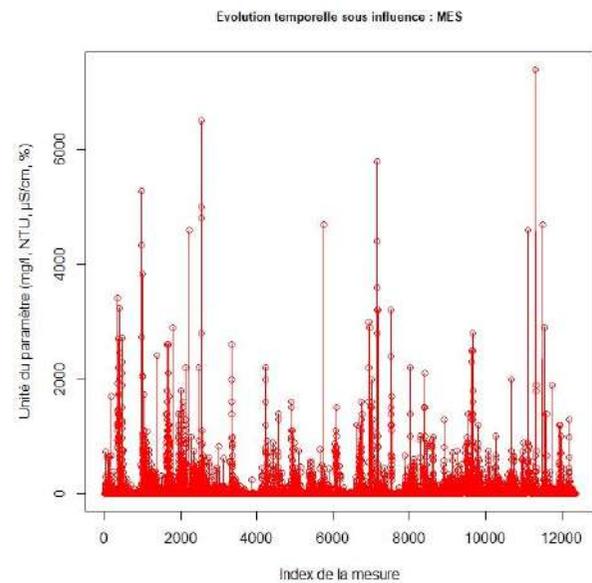
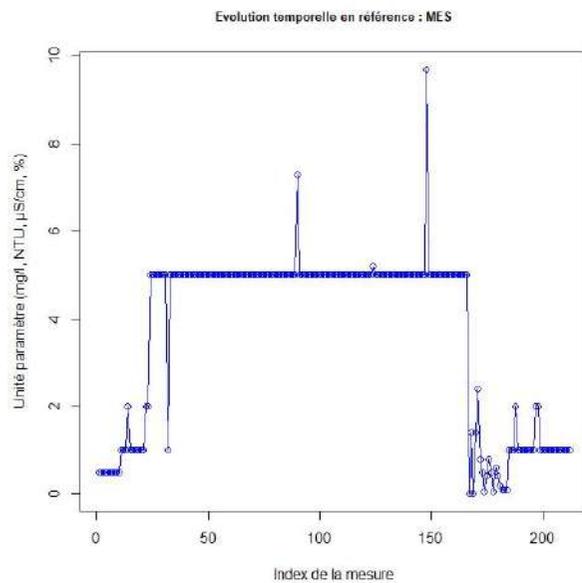
Manganese (mg/l)



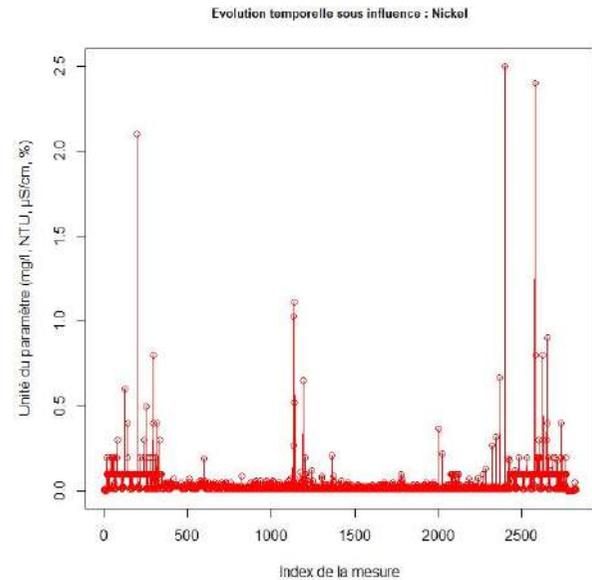
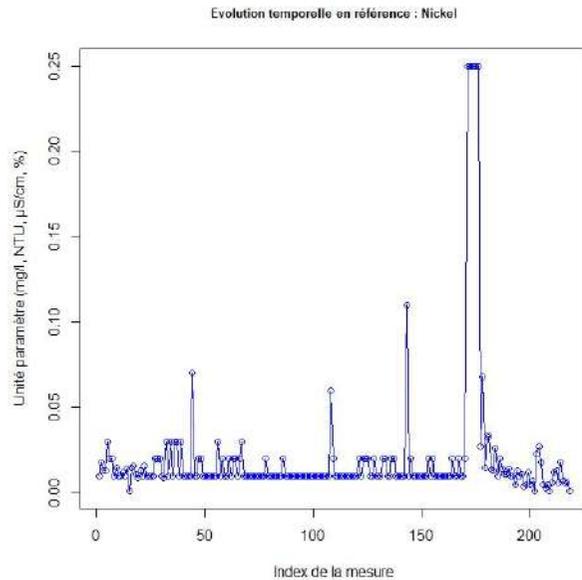
Mercuré (mg/l)



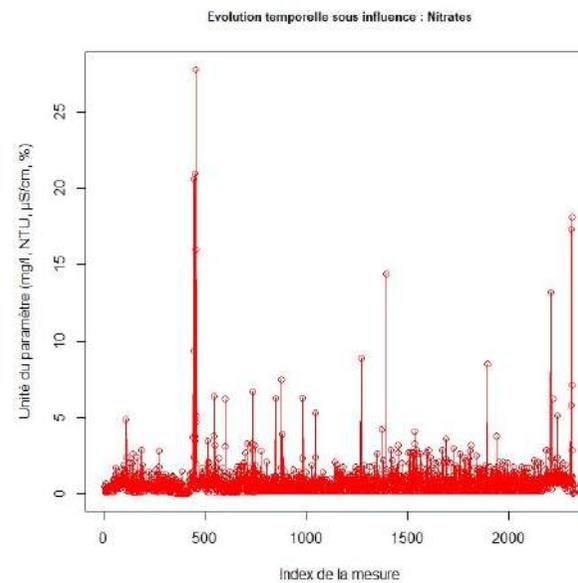
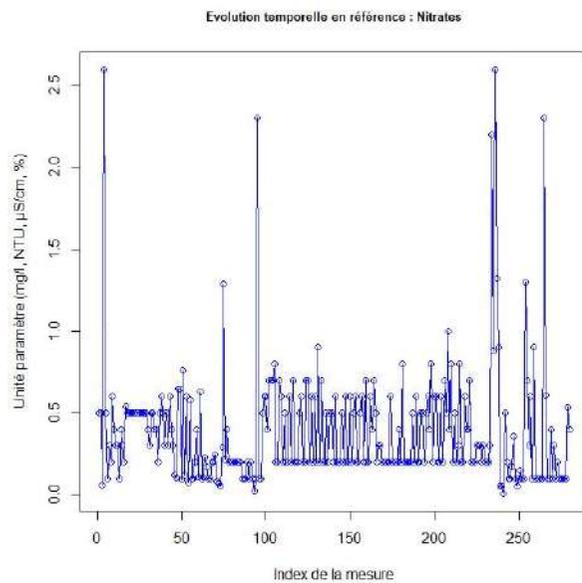
Matières en suspension (mg/l)



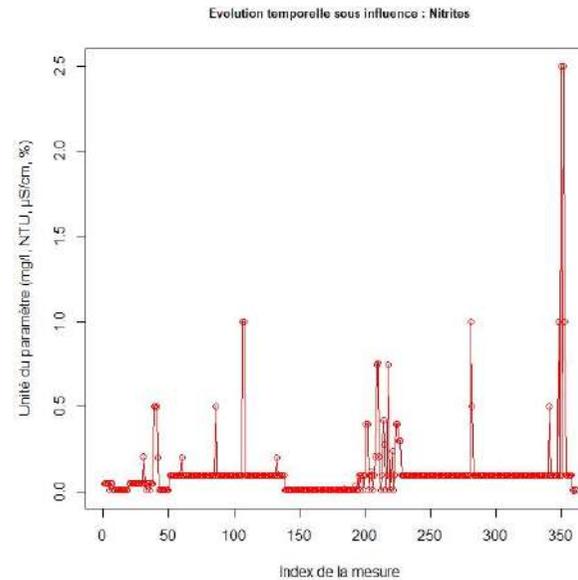
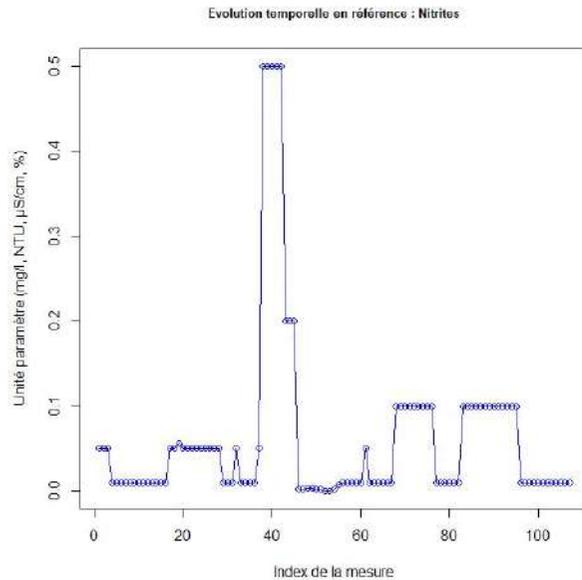
Nickel (mg/l)



Nitrates (mg/l)

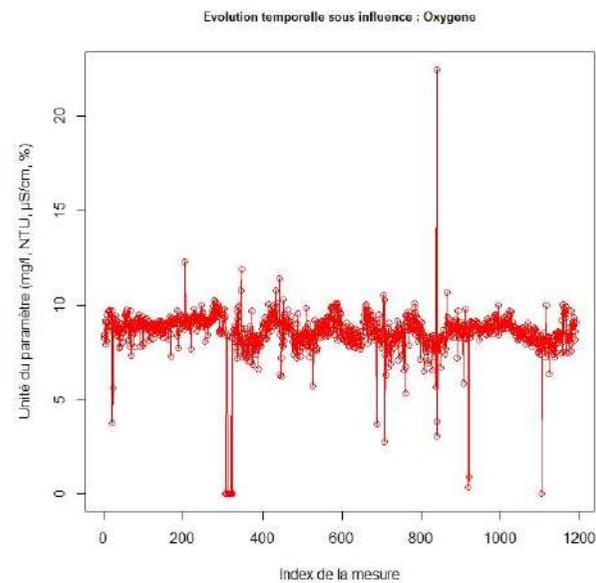
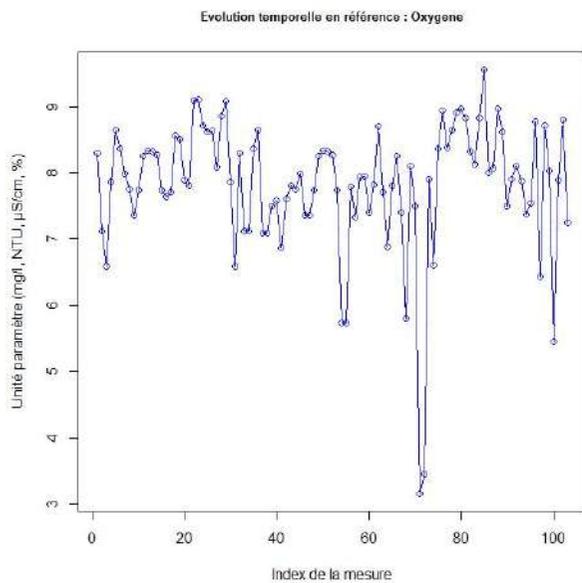


Nitrites (mg/l)

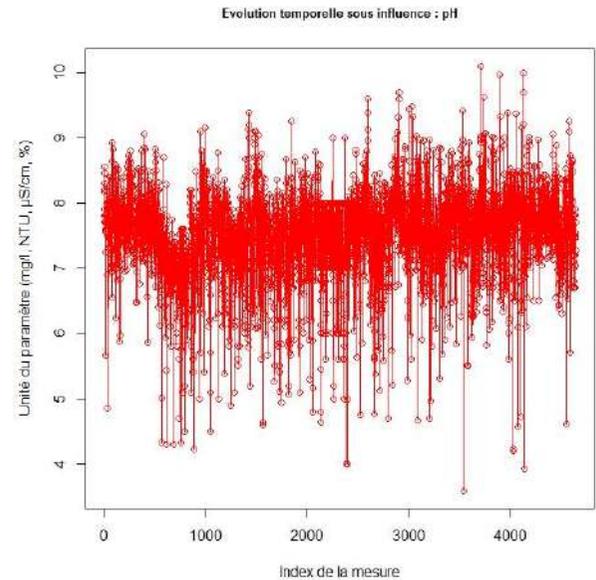
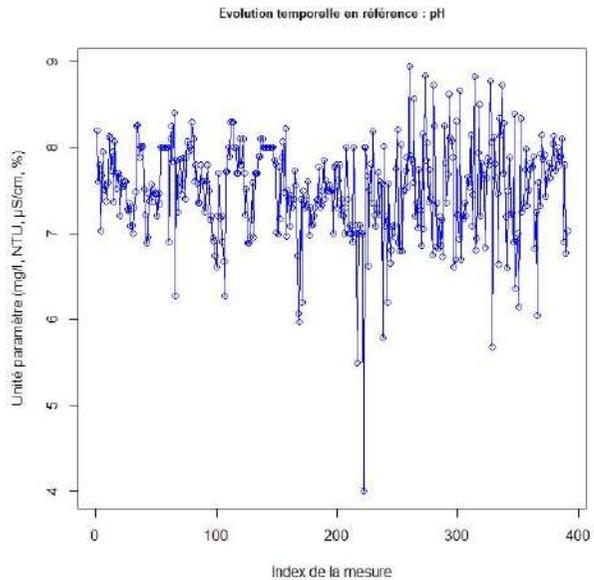


Seuils indicateurs pour les paramètres physico-chimiques des eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 1 (faisabilité & cadrage)

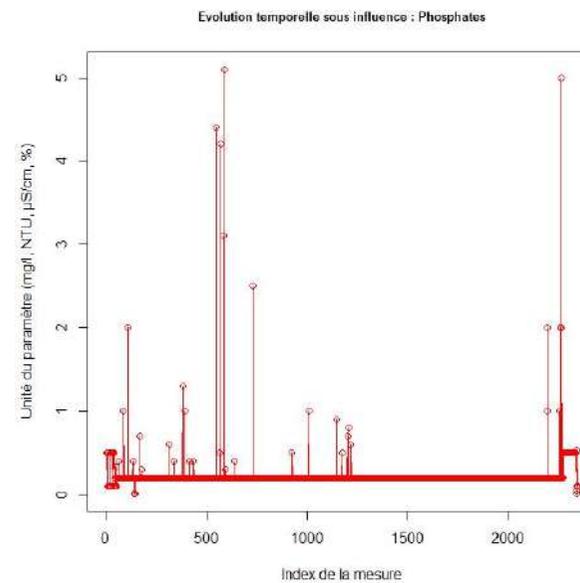
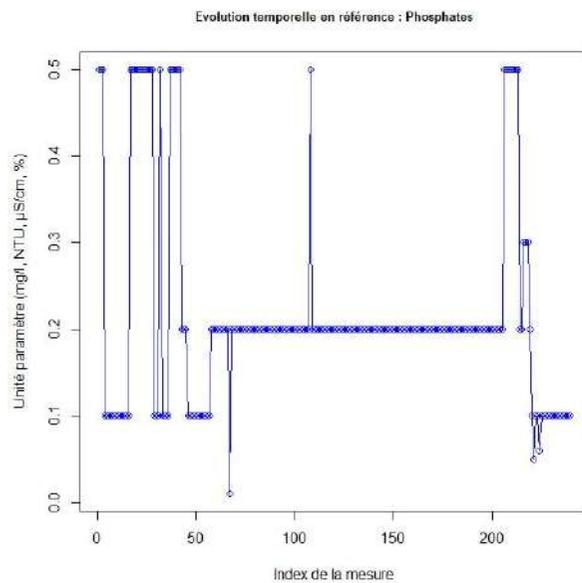
Oxygène (mg/l)



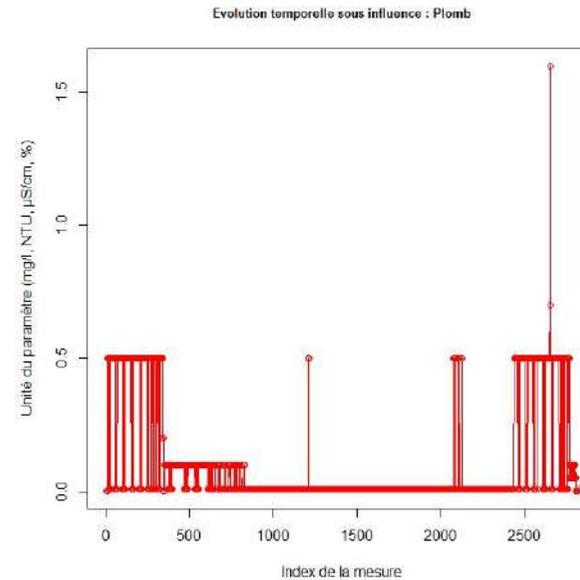
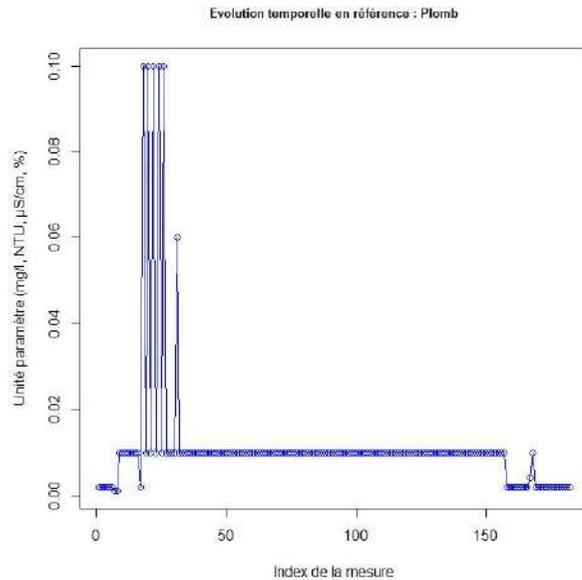
pH (unité pH)



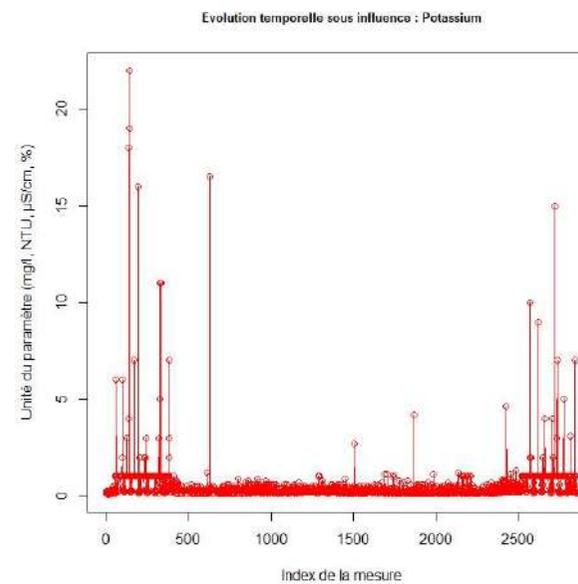
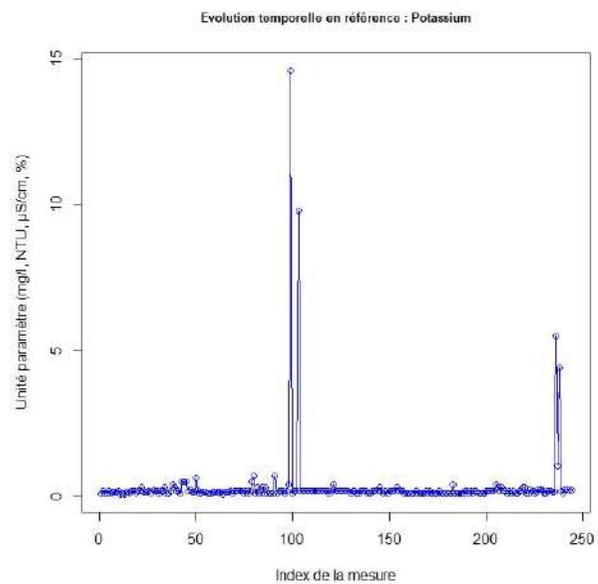
Phosphates (mg/l)



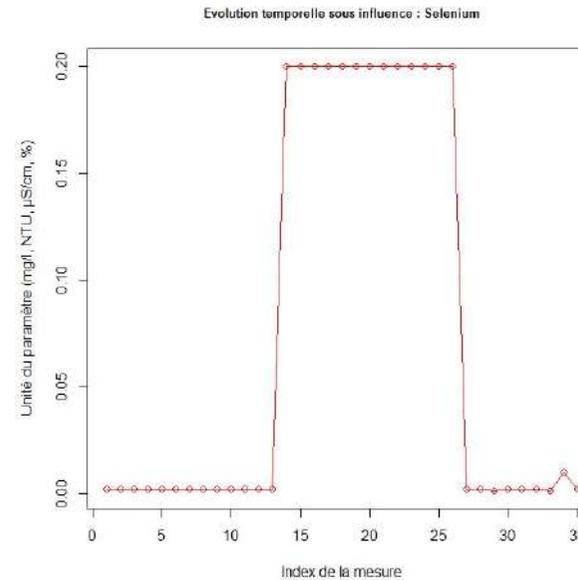
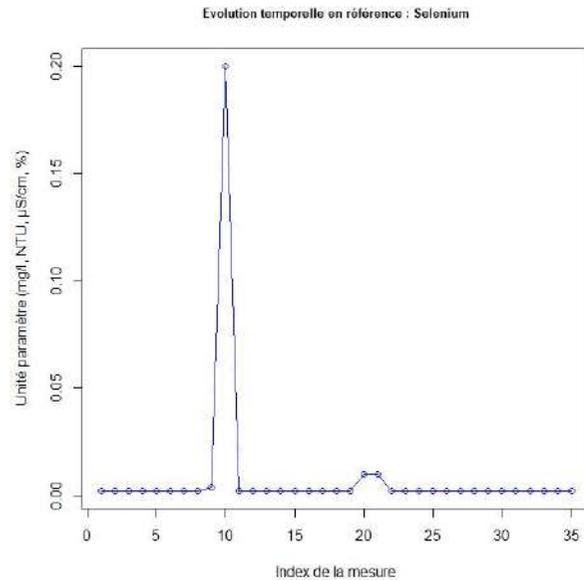
Plomb (mg/l)



Potassium (mg/l)

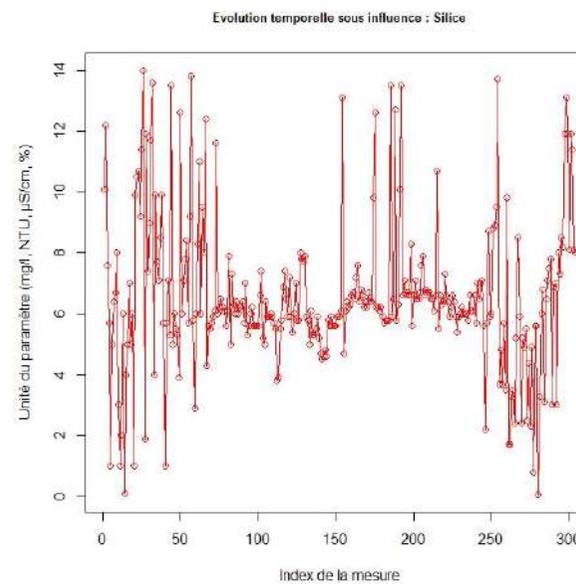
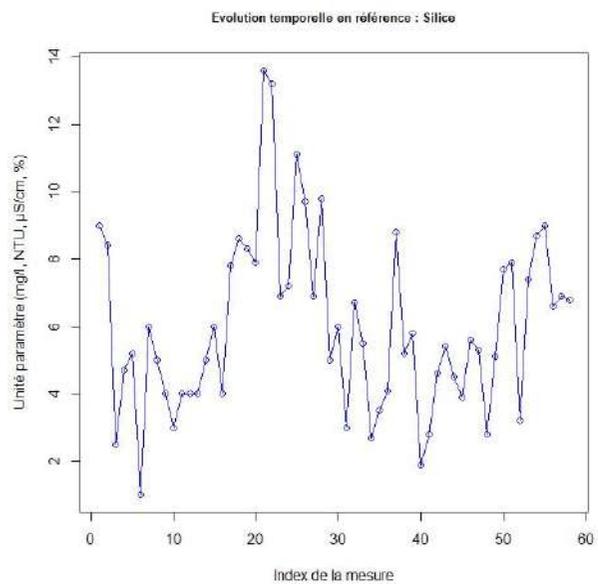


Selenium (mg/l)

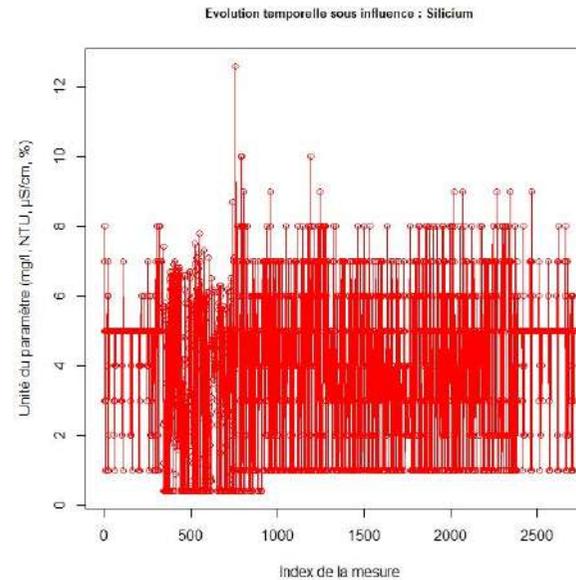
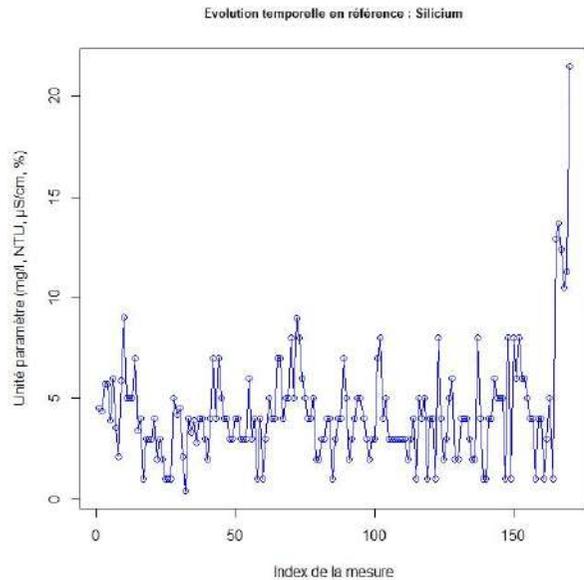


Seuils indicateurs pour les paramètres physico-chimiques des eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 1 (faisabilité & cadrage)

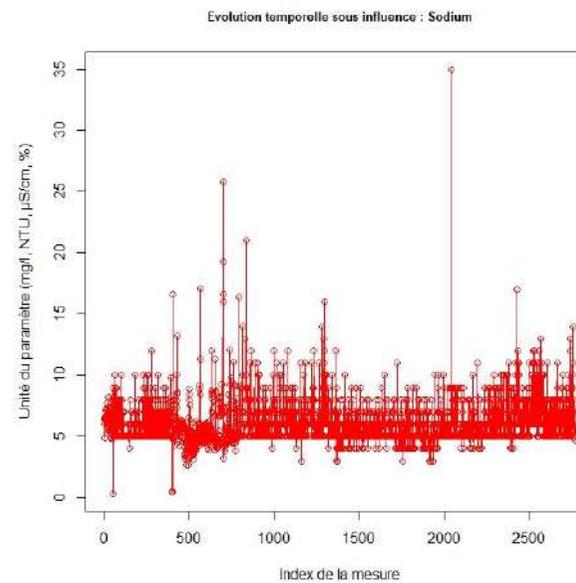
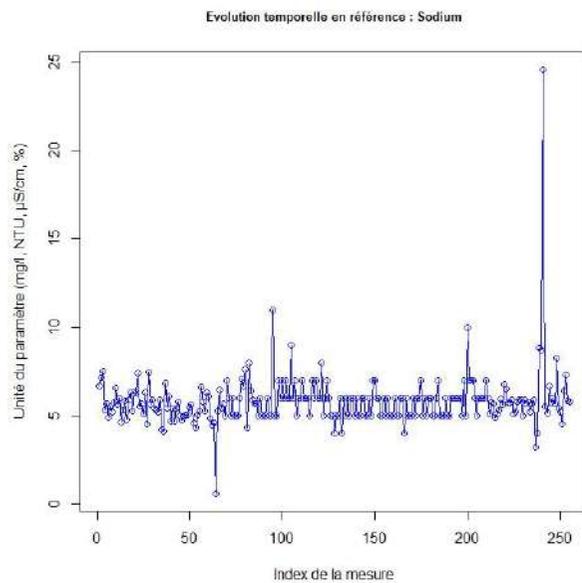
Silice (mg/l)



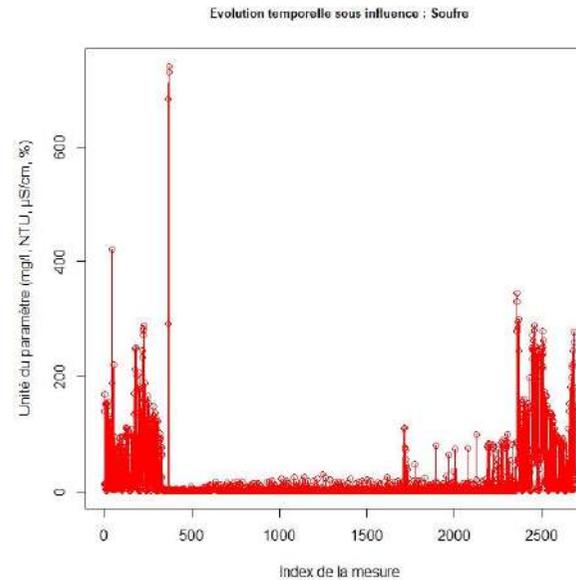
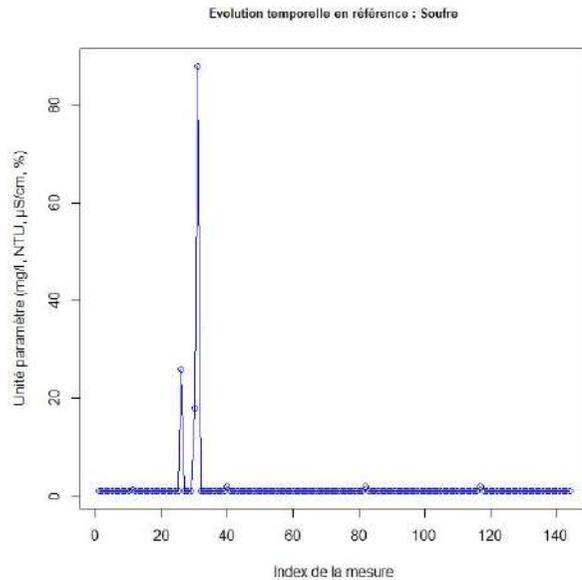
Silicium (mg/l)



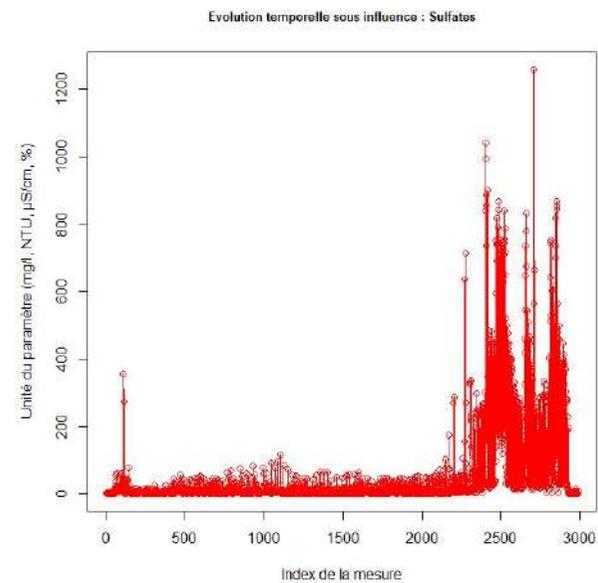
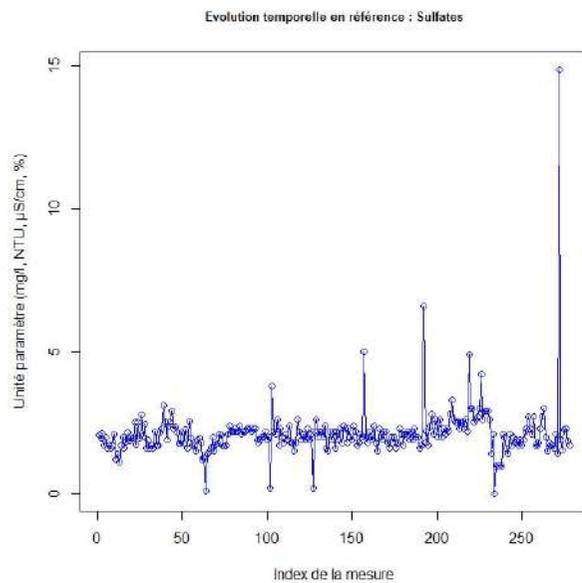
Sodium (mg/l)



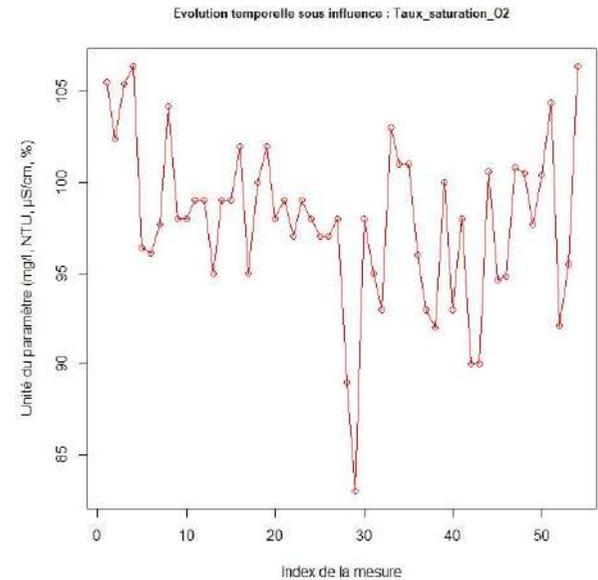
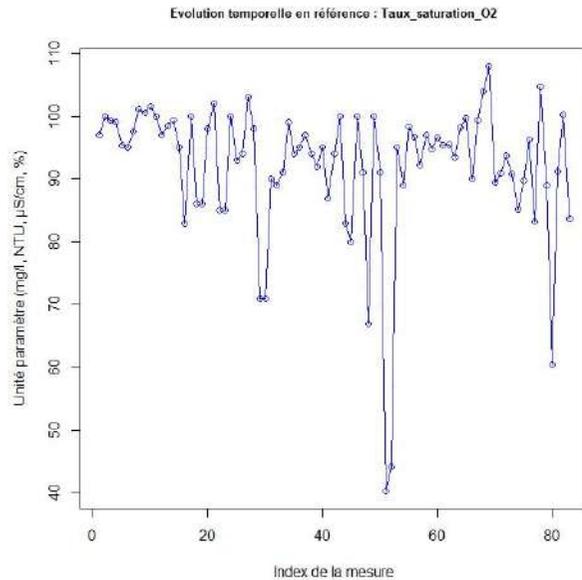
Soufre (mg/l)



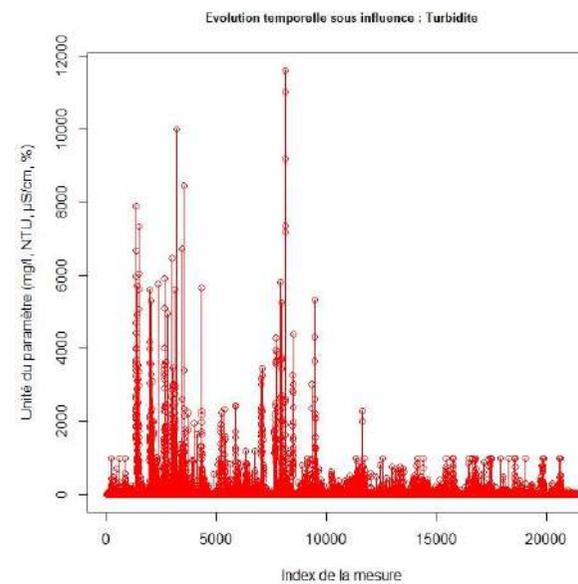
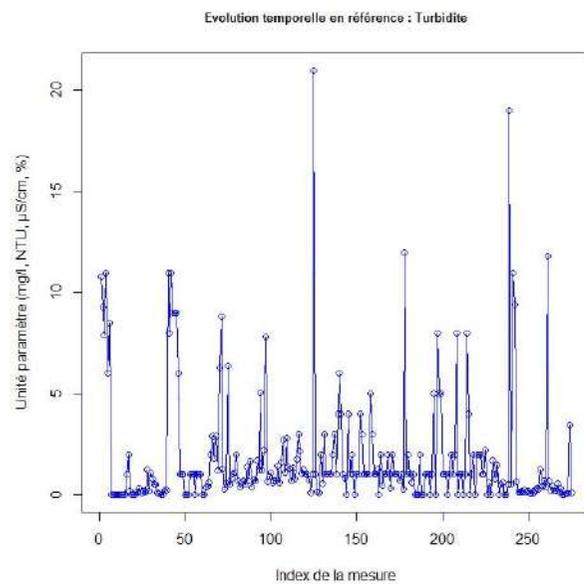
Sulfates (mg/l)



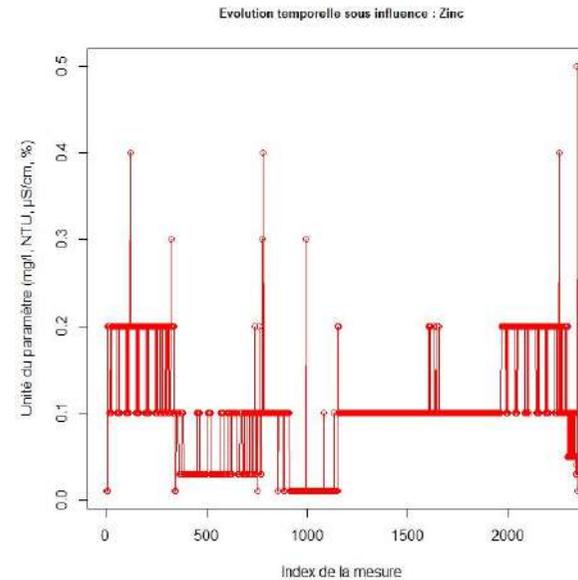
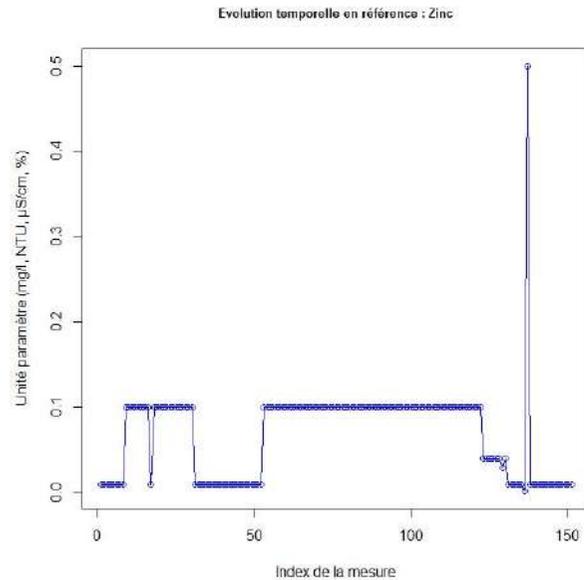
Taux de saturation en oxygène (%)



Turbidité (NTU)



Zinc (mg/l)



Seuils indicateurs pour les paramètres physico-chimiques des eaux douces superficielles du Grand Sud - Phase 1 (faisabilité & cadrage)