

## Mémoire

**Auteur :** Lerfel, Déborah

**Promoteur(s) :** Deliege, Jean-Francois

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

**Année académique :** 2020-2021

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/11758>

---

### Avertissement à l'attention des usagers :

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

Faculté des Sciences

Département de Sciences et Gestion de l'Environnement

## Travail de Fin d'Etudes

Analyse des bases de données Micropolluants du SIERM sur le sur le bassin versant Rhin-Meuse, en vue de leur exploitation dans un modèle d'écosystème rivière et de transport à grande échelle

Mémoire rédigé par **LERFEL Déborah** en vue de l'obtention du diplôme de Master de Sciences et Gestion de l'Environnement, à finalité Gestion Intégrée des Ressources en Eau

## **Organisme d'accueil**

Laboratoire PeGIRE, Aquapôle

Département de Biologie, Ecologie, Evolution (BEE)

Faculté des Sciences

Unité de recherche FOCUS (Freshwater and Oceanic science Unit of reSearch)

## **Comité de lecture**

- Mme Aline Grard (encadrante)
- M. Stéphane Petitgenet

## **Remerciements**

- À M. Jean-François Delière pour son encadrement, son soutien et sa volonté de valoriser au maximum mon travail
- À Mme Aline Grard pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils et sa bienveillance
- À M. Stéphane Petitgenet et Mme Céline Conan de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse pour le partage de leur précieuse connaissance du bassin et leurs conseils avisés
- À Mme Julie Rémy pour sa gentillesse et sa réactivité
- Aux membres du jury pour le temps dédié à l'évaluation de mon travail

**Copyright** : Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l'Université de Liège.

\*L'autorité académique est représentée par les promoteurs membres du personnel enseignant de l'ULiège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : LERFEL Déborah [deb.lerf@gmail.com](mailto:deb.lerf@gmail.com)

# Table des matières

Résumé / Abstract.....	8
<b>Introduction</b> .....	9
<b>Chapitre 1 : Contextualisation</b> .....	10
1.1. La problématique de la pollution de l'eau .....	10
1.2. Législation de la pollution de l'eau.....	11
1.3. Le bassin Rhin – Meuse.....	14
1.3.1. Géographie et hydrologique .....	14
1.3.1.1. Occupation des sols.....	15
1.3.2. Climat.....	16
1.4. Contexte géologique.....	17
1.5. Le modèle Pégase.....	18
1.6. Objectif du TFE.....	19
<b>Chapitre 2 : Méthodologie</b> .....	20
<b>Chapitre 3 : Données</b> .....	23
3.1. Acquisition des données.....	23
3.2. Sélection des données.....	25
3.2.1. Sélection des polluants .....	25
3.2.2. Substances retenues.....	28
3.2.3. Présentation des substances et de leurs effets.....	29
3.3. Choix des supports.....	32
3.4. Choix du sous-bassin.....	33
3.4.1. Approche statistique.....	33
3.4.2. Approche par un SIG.....	49
<b>Chapitre 4 : Simulation</b> .....	52
<b>Chapitre 5 : Résultats et discussion</b> .....	57
5.1. Simulation de base.....	57
5.2. Simulation avec et sans RUTP.....	62
5.3. Simulation avec et sans rejets industriels.....	68
5.4. Simulation avec et sans rejets urbains.....	74
5.5. Simulation avec et sans rejets agricoles.....	79
5.6. Simulation de base sur des cours d'eau peu influencés .....	85
5.7. Interprétation.....	91
<b>Conclusion</b> .....	94
<b>Bibliographie</b> .....	96

# Liste des figures et tables

<b>Figure 1</b> : Schéma des principaux compartiments de la colonne d'eau qui seront étudiés ici....	11
<b>Figure 2</b> : Evolution de la législation européenne concernant la pollution des eaux.....	13
<b>Figure 3</b> : Carte du bassin Rhin-Meuse.....	14
<b>Figure 4</b> : Occupation des sols de la région Grand-Est en 2012.....	15
<b>Figure 5</b> : Diagramme ombrothermique de la ville de Nancy (1999-2019).....	16
<b>Figure 6</b> : Carte géologique du bassin Rhin – Meuse.....	17
<b>Figure 7</b> : Schéma des processus de la colonne d'eau modélisés par Pégase.....	18
<b>Figure 8</b> : Répartition des voies d'apport de cuivre dans le bassin Rhin-Meuse.....	29
<b>Figure 9</b> : Répartition moyenne des voies d'apport de zinc, de chrome et de plomb dans le bassin Rhin – Meuse.....	30
<b>Figure 10</b> : Répartition moyenne des voies d'apport de nickel, de mercure et d'arsenic dans le bassin Rhin – Meuse.....	31
<b>Figure 11</b> : Répartitions des mesures en fonction des supports de pollution pour le chrome dans le bassin Rhin-Meuse (Données sur la période 2011-2021).....	32
<b>Figure 12</b> : Boîtes de concentration du Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc dans le bassin Rhin-Meuse.....	34
<b>Figure 13</b> : Boîtes de concentration du Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc dans le bassin de la Chiers.....	37
<b>Figure 14</b> : Boîtes de concentration du Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc dans le bassin de la Meurthe.....	39
<b>Figure 15</b> : Boîtes de concentration du Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc dans le bassin de la Meuse.....	41
<b>Figure 16</b> : Boîtes de concentration du Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc dans le bassin de la Moselle.....	44
<b>Figure 17</b> : Boîtes de concentration du Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc dans le bassin de la Sarre.....	46
<b>Figure 18</b> : Quantité de mesures en fonction des sous-bassins pour les cinq polluants étudiés.....	48
<b>Figure 19</b> : Aperçu cartographique de la répartition des rejets urbains sur le bassin Rhin-Meuse .....	49
<b>Figure 20</b> : Aperçu cartographique de la répartition des RUTP dans le bassin Rhin-Meuse.....	50
<b>Figure 21</b> : Réseau hydrographique du bassin Rhin-Meuse superposé à la carte d'occupation des sols.....	51
<b>Figure 22</b> : Profil longitudinal de la Moselle pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 1.....	58
<b>Figure 23</b> : Profil longitudinal de la Seille pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 1.....	60

<b>Figure 24</b> : Profil longitudinal de la Moselle pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 2.....	63
<b>Figure 25</b> : Profil longitudinal de l'Orne pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 2.....	65
<b>Figure 26</b> : Cours d'eau influencés par des rejets industriels, ainsi que la Seille modélisée en tant que cours d'eau neutre.....	68
<b>Figure 27</b> : Profil longitudinal de la Meurthe pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 3.....	69
<b>Figure 28</b> : Profil longitudinal de la Seille pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 3.....	71
<b>Figure 29</b> : Profil longitudinal de la Chiers pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 4.....	74
<b>Figure 30</b> : Profil longitudinal de la Mortagne pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 4.....	77
<b>Figure 31</b> : Cours d'eau influencés par des rejets agricoles.....	80
<b>Figure 32</b> : Profil longitudinal de l'Othain pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 5.....	80
<b>Figure 33</b> : Profil longitudinal de la Vologne pour les paramètres sélectionnés dans la simulation 5.....	83
<b>Figure 34</b> : - Profil temporel du Vair à la station de Belmont-sur-Vair pour le Cuivre, le Nickel et le Zinc.....	86
<b>Figure 35</b> : Profil temporel de la Plaine à la station Celles-sur-Plaine, pour le Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc.....	87
<b>Figure 36</b> : Profil temporel de la Seille à la station de Mulcey, pour le Cuivre, Nickel, Plomb et Zinc.....	89

# Liste des tables

<b>Table 1 :</b> Tableau récapitulatif de la méthodologie appliquée pour ce Travail de Fin d'Etudes.....	22
<b>Table 2 :</b> Tableau récapitulatif non-exhaustif des mesures disponibles et normes applicables dans les différentes bases de données concernant le bassin Rhin-Meuse.....	27
<b>Table 3 :</b> Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin Rhin-Meuse.....	33
<b>Table 4 :</b> Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Chiers.....	36
<b>Table 5 :</b> Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Meurthe.....	38
<b>Table 6 :</b> Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Meuse.....	40
<b>Table 7 :</b> Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Moselle.....	43
<b>Table 8 :</b> Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Sarre.....	45
<b>Table 9 :</b> Tableau récapitulatif des voies d'apport de micropolluants connues et de leur prise en compte.....	52
<b>Table 10 :</b> Tableau récapitulatif des paramètres d'épuration des rejets.....	53
<b>Table 11 :</b> Rejets en métaux lourds associés aux équivalents habitants et bovins.....	54
<b>Table 12 :</b> Tableau récapitulatif des paramètres de rejets en entrée des simulations effectuées.....	55

# Liste des sigles et acronymes

DCE : Directive - Cadre sur l'Eau

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

MES : Matières en Suspension

PGDH : Plan de Gestion des Districts Hydrographiques

RUTP : Ruissellement Urbain par Temps de Pluie

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SIERM : Système d'Information sur l'Eau Rhin-Meuse

SPGE : Société Publique de Gestion des Eaux

STEP : Station d'Epuration



# Résumé

Les eaux du bassin Rhin-Meuse sont sujettes à une pollution par les micropolluants, selon différentes voies d'apport. Ce travail a pour vocation d'analyser l'importance et la prise en compte de ces pressions dans la modélisation Pégase. Pour ce faire, cinq micropolluants ont été sélectionnés comme paramètres (le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc) sur base des données dont nous disposons et à l'aide d'outils statistiques. Des simulations ont ensuite été réalisées dans différents bassins versants en fonction de l'occupation des sols et des données disponibles. En comparant les résultats de simulation aux données, nous avons pu remarquer certains écarts, en particulier concernant le zinc. Ces écarts peuvent être imputés, entre autres, au fait que toutes les voies d'apport de micropolluants ne sont pas modélisées par Pégase, et notamment le fond géochimique. De plus, la fonction d'apport des sols de cette simulation est nulle pour les éléments sélectionnés.

Mots-clés : micropolluants, bassin Rhin-Meuse, mesures in situ, simulations, statistiques

# Abstract

The waters of the Rhin-Meuse watershed are threatened by micropollutants, that come from different sources. This study wishes to analyze the weight of these different sources, and how they are taken into account in Pégase simulations. In order to do so, five micropollutants were selected as parameters for the study, according to the available datasets. They are : chrome, copper, nickel, lead and zinc. Simulations were then made in different river basins depending on land use and available data. While comparing the data and simulation results, we observed some differences in the figures, especially concerning zinc. Those differences can be (partly) explained by the fact that not all sources of micropollutants are taken into account in the Pégase model, and among others, the geochemical interactions. Moreover, the function that takes into account soil input is null for the selected parameters in this simulation.

Keywords : micropollutants, Rhin-Meuse watershed, measurements, simulations, statistics

---

\*\*\*

## Introduction

\*\*\*

---

Dans le cadre de ma dernière année de master en Sciences et Gestion de l'Environnement, à finalité Gestion Intégrée des Ressources en Eau, j'ai eu la chance d'être accueillie au sein de l'unité PeGIRE pour réaliser mon Travail de Fin d'Etudes. Cette unité fait partie de l'Aquapôle, un centre d'expertise pluridisciplinaire en Sciences de l'Eau situé dans le campus du Sart-Tilman à Liège. Cette unité coordonne la mise en place de projets de coopération internationale dans le domaine de l'eau. Elle se consacre également au développement d'outils de planification et de gestion de l'eau tels que le modèle Pégase.

Mon travail a porté sur l'étude des données de pollution par des micropolluants dans les eaux du bassin Rhin-Meuse. Ce travail s'inscrit dans une démarche d'analyse des pressions en micropolluants sur ce territoire et de leur représentation dans Pégase. Il a vocation à constituer un travail préliminaire à la validation du module Micropolluants du modèle. Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, et est le fruit de plusieurs échanges, aussi bien concernant les données qui ont servi de base à ce travail, que de discussions enrichissantes pour mon parcours de recherche.

Ce mémoire reprend l'ensemble du travail effectué lors de mon stage de trois mois à l'Aquapôle. Mes recherches, ma démarche, la progression et l'évolution de mon travail y sont explicités. Les résultats obtenus y sont présentés, analysés et discutés.

---

# CHAPITRE 1

\*\*\*

## Contextualisation

---

### *1.1. La pollution des eaux et les processus impliqués*

On définit un polluant comme une substance externe à un milieu, qui peut être de plusieurs natures (biologique, physique ou chimique) et qui, au-delà d'un certain seuil ou dans certaines conditions, développe des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème. Les polluants peuvent être classés selon différents critères, dont l'importance de la dose causant des dommages. On distingue alors les macropolluants, qui sont toxiques lorsqu'ils sont présents à des concentrations élevées dans l'environnement, des micropolluants, qui ont des effets néfastes à partir de concentrations infimes (de l'ordre du  $\mu\text{g/L}$ ), et ce à cause de leur toxicité élevée, de leur persistance et de la bioaccumulation. [1]

Dans la suite de ce document, nous allons nous intéresser à la pollution des eaux de surface par les métaux lourds, et il est important de noter que dans ces dernières, certains micropolluants peuvent exister sous plusieurs états (en fonction de leur solubilité, densité, etc.), et donc être présents dans différents compartiments de la colonne d'eau, qui constituent différents supports de pollution. Les principaux sont l'eau brute, l'eau interstitielle, les Matières En Suspension (MES) et les sédiments (cf. figure 1). Parmi eux, on distingue deux phases : la phase aqueuse (qui regroupe l'eau filtrée et centrifugée et dans laquelle on retrouve les polluants dissous), et la phase particulaire qui regroupe les MES, les sédiments et l'eau interstitielle. En fonction des conditions, les polluants peuvent changer d'état (à savoir se dissoudre ou précipiter, en fonction de la température notamment) ou de compartiment. En guise d'exemple de changement de compartiment, des sédiments peuvent être remis en suspension par des perturbations physiques, et ainsi se retrouver parmi les Matières En Suspension.

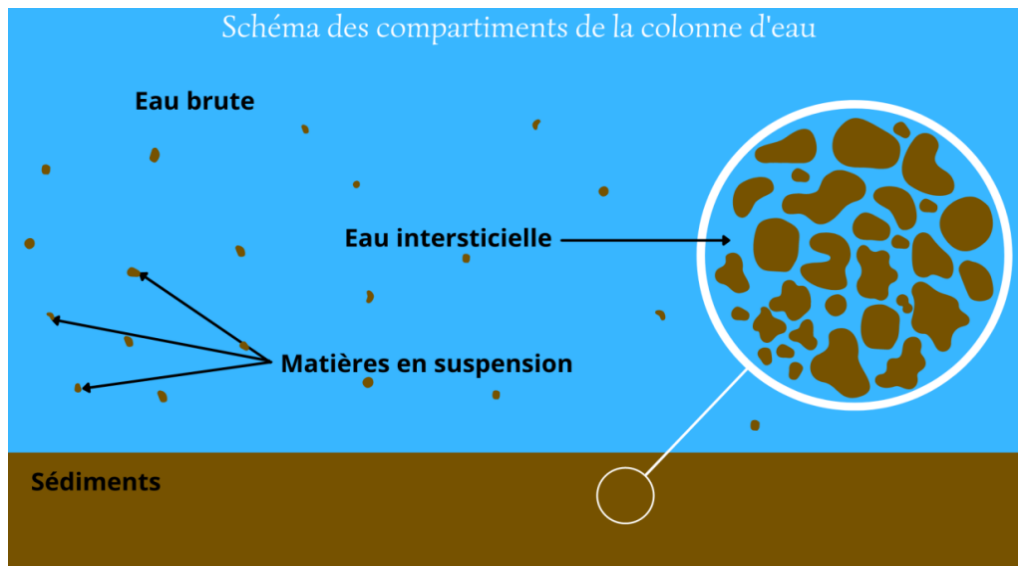


Figure 1 – Schéma des principaux compartiments de la colonne d’eau qui seront étudiés ici

La pollution des eaux peut avoir plusieurs origines : une origine géologique, car certains éléments présents dans les sols peuvent contaminer les eaux, mais également une origine anthropique, due notamment aux rejets urbains ou industriels d’eaux usées. La pollution de l’eau due aux activités anthropiques a beaucoup évolué ces dernières décennies pour devenir un facteur de pollution des eaux prépondérant. Pour limiter l’impact de ces pollutions sur la qualité des eaux, elles sont désormais réglementées.

## 1.2. *Législation de la pollution des eaux*

Les pollutions des eaux sont encadrées par différentes législations à différentes échelles, qui établissent des seuils de concentrations de polluants à ne pas dépasser, pour préserver l’intégrité des écosystèmes.

A l’échelle européenne, la Directive-cadre sur l’eau est entrée en vigueur en 2000. Elle fixe des objectifs de qualité de l’eau aux Etats européens. La directive-cadre a pour ambition de protéger toutes les formes d’eau, de réduire la pollution et de restaurer les écosystèmes à l’intérieur de ces masses d’eau. Enfin, elle veut garantir une utilisation durable de l’eau par les particuliers et les entreprises.

Pour atteindre ces objectifs, l’Union Européenne est divisée en différents districts hydrographiques selon les limites des principaux bassins versants d’Europe. Par exemple, la

France est divisée en neuf districts hydrographiques, qui sont regroupés en six bassins hydrographiques, chacun gérés par une des Agences de l'Eau dédiée. La directive définit également les différents états possibles des masses d'eau, allant de bon à mauvais selon des seuils de concentration de polluant. Il revient alors aux autorités nationales d'établir des Plans de Gestion des Districts Hydrographiques (PGDH) pour que toutes les masses d'eau atteignent le bon état.

Cependant, les objectifs de la directive peuvent être assouplis ou reportés, si un Etat en fait la demande justifiée. Cette directive instaure donc des cycles d'une durée de 6 ans, au cours desquels se succèdent Etat des lieux des bassins, rapportage des programmes de surveillance, la mise en place de Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux, et des mesures qui évaluent l'état des masses d'eau.

Par la suite, deux directives filles ont été adoptées, en précisant les objectifs fixés par la directive-cadre, les négociations de cette dernière n'ayant pu aboutir à des dispositions suffisamment précises. Des valeurs seuils de concentration de nombreux polluants sont stipulées dans la directive fille 2008/105/CE. [3]

La figure 2 ci-dessous représente une mind map illustrant l'évolution de la législation européenne concernant les pollutions aquatiques.

A l'échelle nationale, la pollution est également régie par de nombreuses lois, et celles qui nous intéressent pour notre étude sont :

- La loi n° 2004-338 du 21 avril 2004 portant transposition de la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau ;
- L'arrêté du 27 juillet 2018 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface. Cet article indique des normes d'émissions dans les eaux de surface et cela complète le panel de normes établi par l'union européenne. [4]

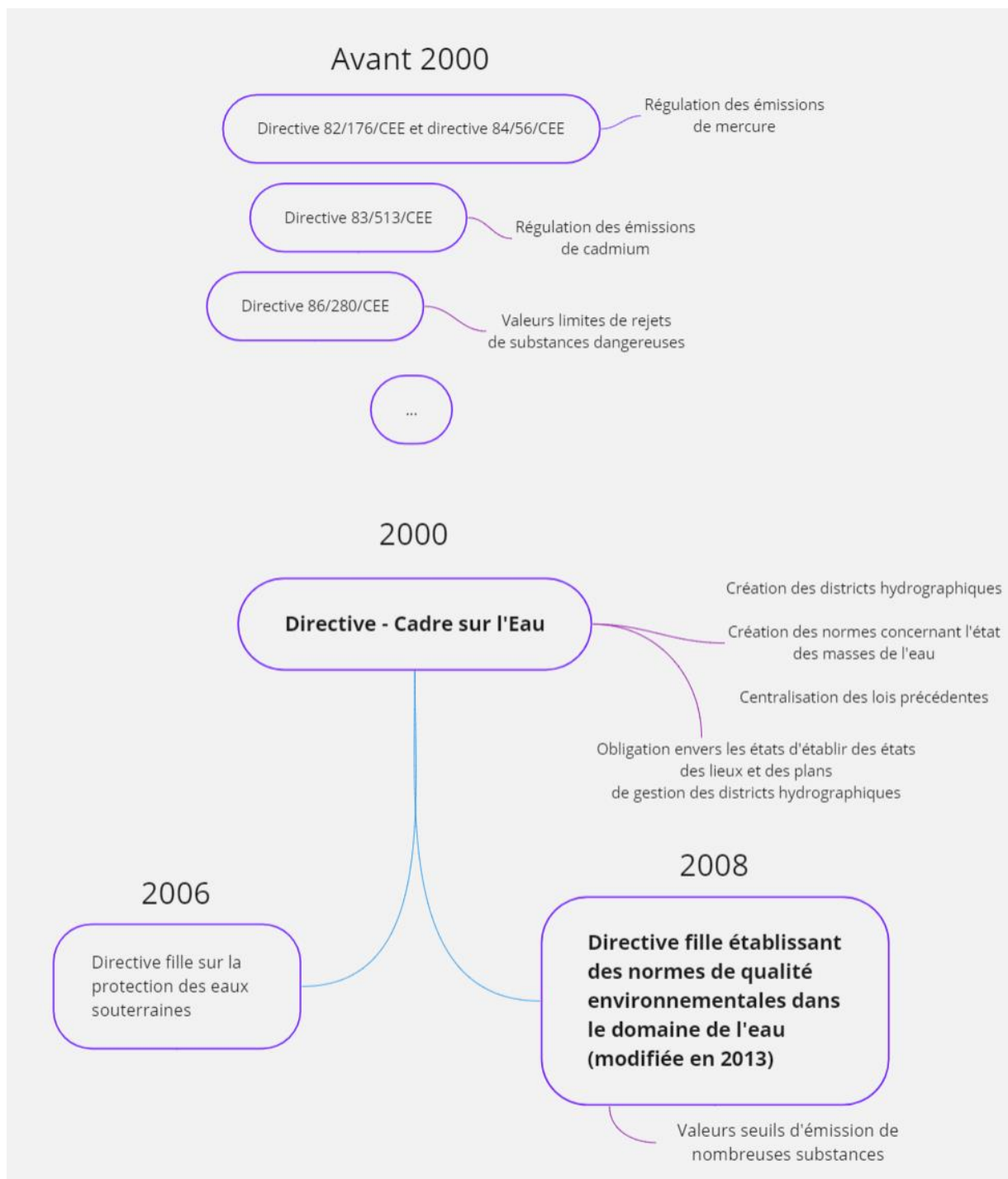


Figure 2 – Evolution de la législation européenne concernant la pollution des eaux

### 1.3. Le bassin Rhin-Meuse

#### 1.3.1. Contexte géographique et hydrologique

Voici en figure 4 un aperçu du bassin Rhin-Meuse et de ses principaux cours d'eau.



Figure 3 - Carte du bassin Rhin-Meuse [5]

Le bassin Rhin-Meuse est situé à l'est de la France, et est frontalier avec la Belgique, le Luxembourg, l'Allemagne et la Suisse. Il s'étend sur une superficie de 31400 km<sup>2</sup> et abrite une population de 4.3 millions d'habitants. Les grandes agglomérations regroupant ces derniers se trouvent le long des principaux cours d'eau du bassin.

Le bassin est divisé en trois principaux ensembles :

- La Meuse ainsi que ses affluents (la Chiers notamment), le long de laquelle on trouve Verdun et Charleville-Mézières ;
- La Moselle et ses affluents (la Meurthe et la Sarre notamment), le long de laquelle se situent Nancy et Metz ;

- Le Rhin et ses affluents, dont l'Ill, le long duquel se situent, entre autres grandes agglomérations, Colmar et Strasbourg. [6]

Les étiages des cours d'eau du bassin ont lieu entre mai et octobre, excepté pour le Rhin, qui, étant sous l'influence des glaciers alpins, présente des étiages d'hiver, de novembre à janvier.

#### 1.3.1.1. Occupation des sols

##### OCCUPATION DES SOLS EN 2012

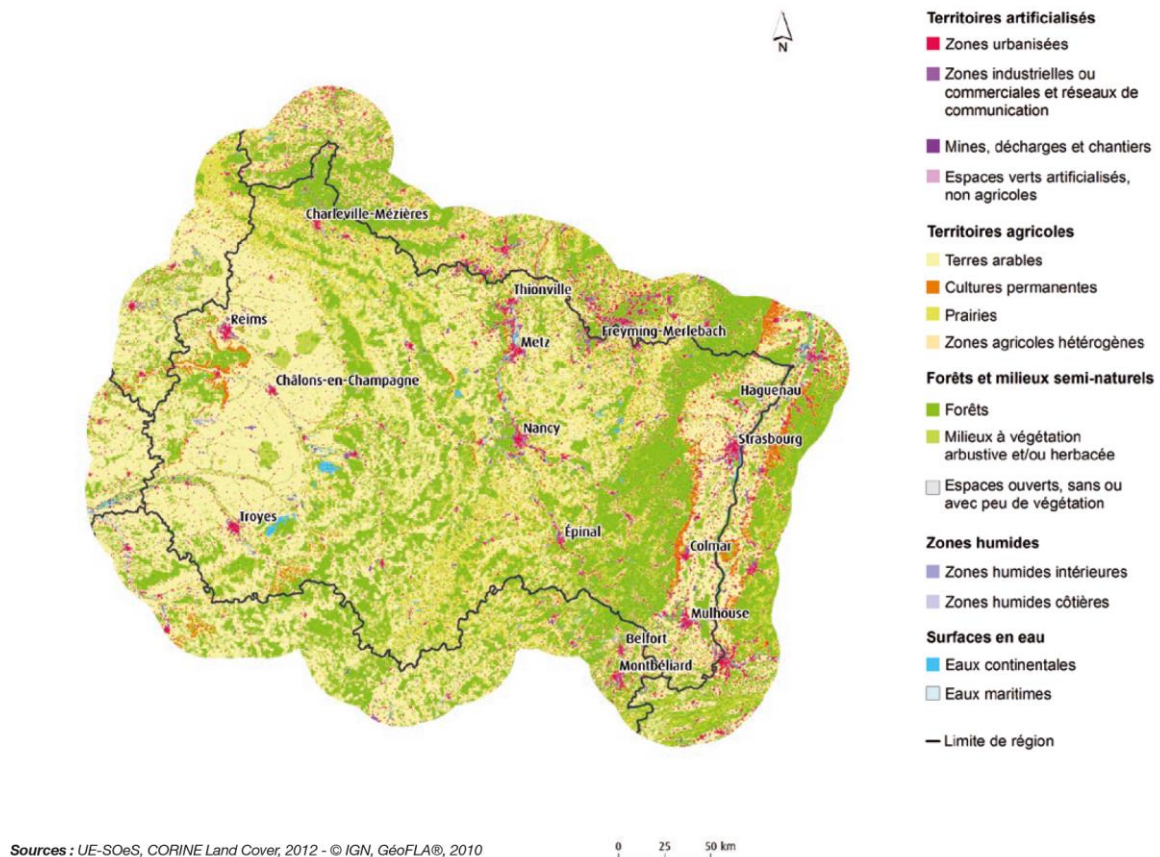


Figure 4 – Occupation des sols de la région Grand-Est en 2012 [28]

Nous pouvons observer sur la figure – une carte de l'occupation des sols de la région Grand-Est (une région plus étendue que le bassin Rhin-Meuse) datant de 2012. Nous pouvons remarquer que l'occupation des sols de la région est très variée. Nous trouvons sur ce territoire 5,7% de territoires artificialisés (principalement dans les grandes agglomérations du bassin, comme Strasbourg, Metz ou Nancy), 59,5% de territoires agricoles, 34% de forêts et milieux semi-naturels, 0,1% de zones humides et 0,7% de surfaces en eau. Depuis 2012, l'occupation du territoire a relativement peu évolué, mais les agglomérations urbaines se sont légèrement étendues. [28]



### 1.3.2. Climat



Figure 5 – Diagramme ombrothermique de la ville de Nancy (1999-2019) [7]

Le bassin Rhin-Meuse est sous l'influence de deux climats : le climat océanique tempéré, et le climat continental. Ces influences impliquent des précipitations régulières en toutes saisons, et une grande amplitude thermique, entre des étés chauds et des hivers rigoureux, comme on peut le voir dans la figure 4 présentant le diagramme ombrothermique de la ville de Nancy. Cependant, le climat n'est pas parfaitement homogène dans le bassin et il existe quelques climats plus particuliers, notamment dans les massifs vosgien et ardennais, où il fait plus froid et où la pluviométrie est supérieure. [8][9]

### 1.3.3. Contexte géologique

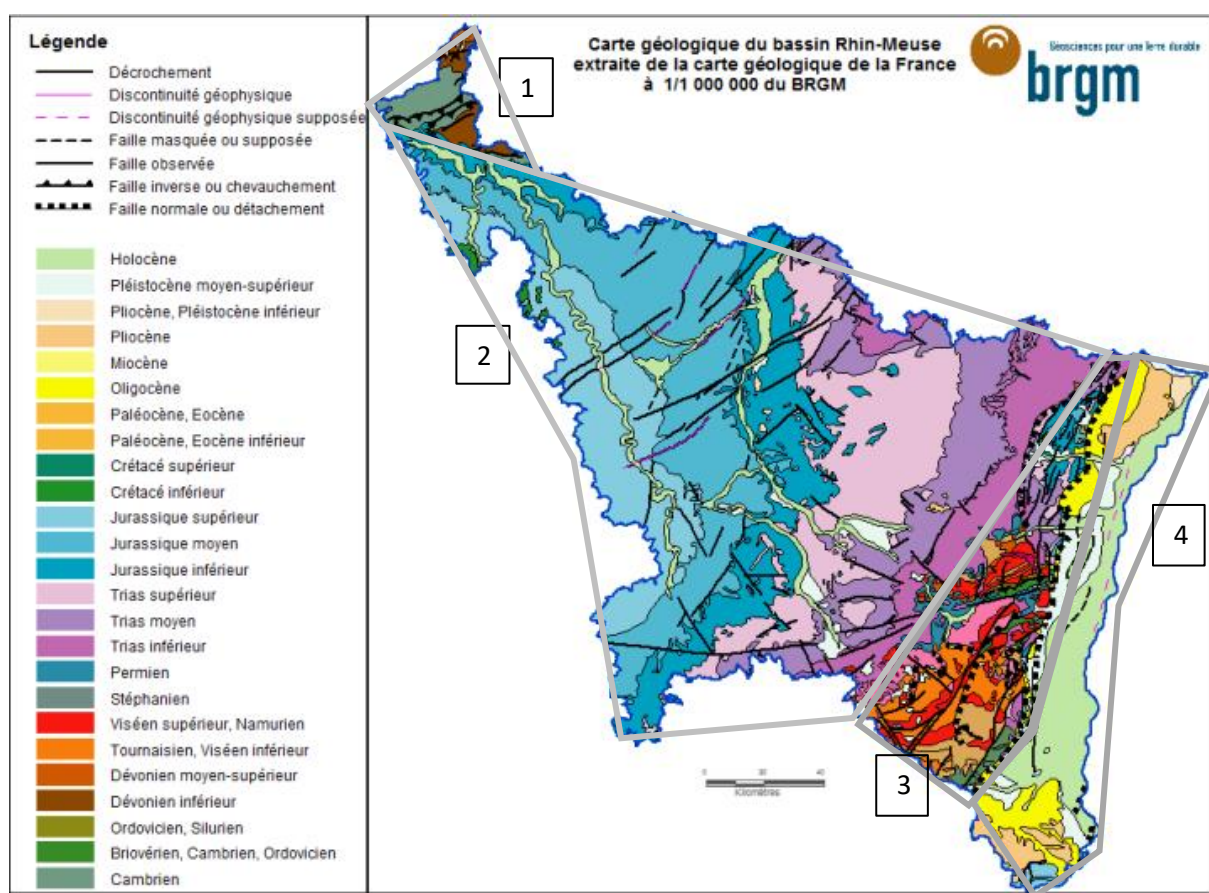


Figure 6 – Carte géologique du bassin Rhin – Meuse [10]

Sur la figure 5, on peut voir que le bassin Rhin-Meuse est divisé en plusieurs unités géologiques. Au Nord du bassin (1), on trouve le massif ardennais, où on observe des chevauchements et des affleurements de terrain très anciens, datant de l'ère primaire. La plus grande partie du bassin (2), constituée de terrains sédimentaires du Jurassique et du Trias, fait partie du bassin de Paris. Ces couches de sédiments sont composées de calcaires (roches riches en calcium) et de sables et grès variés.

A l'est, nous observons une partie très accidentée (3), qui constitue le massif des Hautes-Vosges, où nous pouvons trouver beaucoup de failles géologiques. Dans cette zone, les sédiments cohabitent avec des terrains magmatiques du socle terrestre. On trouve de nombreux éléments dans ces sols, comme des grès, des schistes, et du granite. Chimiquement, on peut retrouver de l'aluminium, du fer, du magnésium, entre autres éléments.

Enfin, dans la partie la plus à l'est (4), nous trouvons des terrains sédimentaires tertiaires (donc plus récents que les autres), de composition minéralogique variée, allant du gypse au calcaire en passant par les argiles. Chimiquement, on peut alors trouver de nombreux composés,

comme le fer, le magnésium ou le zinc par exemple. [10]

Par ailleurs, de manière générale, de nombreux métaux lourds sont présents dans les sols, naturellement ou en conséquence de pollution. Même si la concentration des polluants dans les sols reste en général faible de nos jours, ils peuvent se retrouver dans les eaux par érosion ou lessivage. Leur concentration est donc surveillée et fait également l'objet de modélisation pour la maîtriser au mieux. [11][12]

#### 1.4. Le modèle Pégase

Le modèle Pégase est un modèle qui est utilisé pour calculer la qualité des eaux de surface.

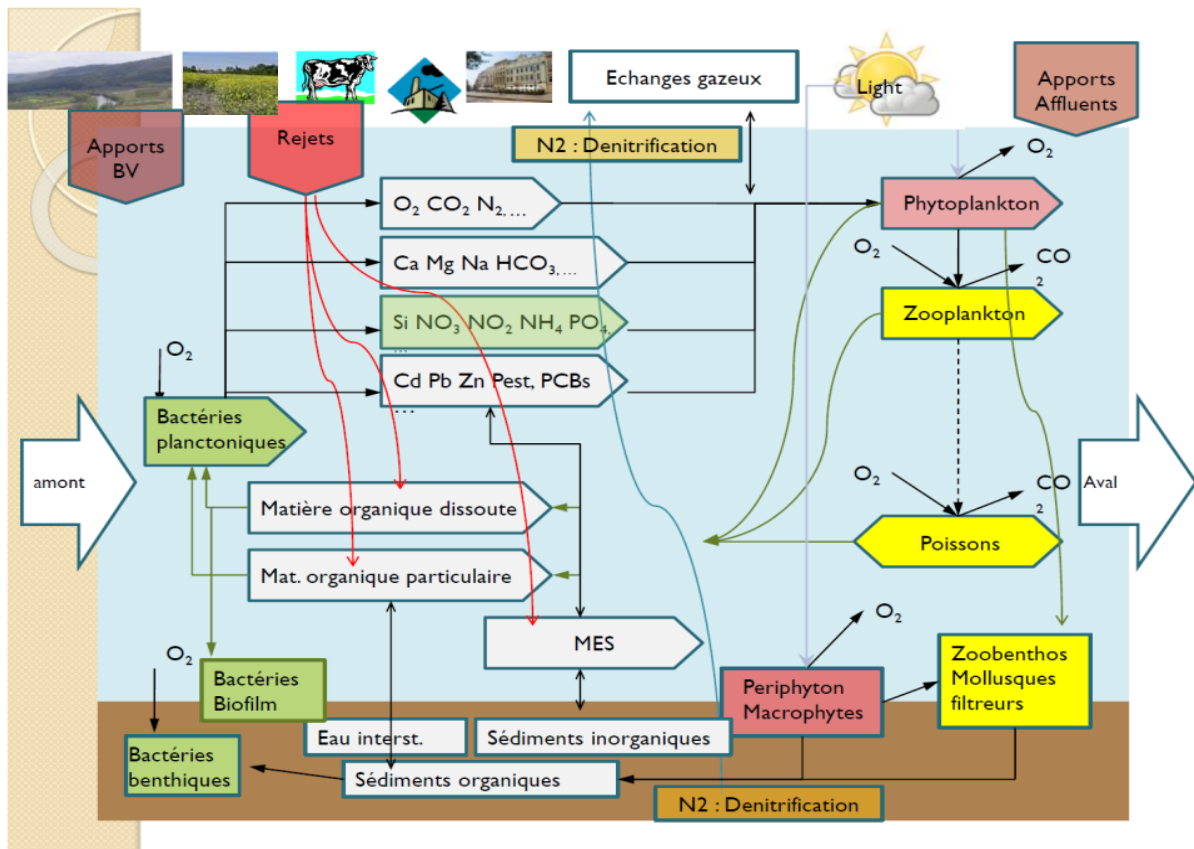


Figure 7 – Schéma des processus de la colonne d'eau modélisés par Pégase [13]

Les eaux traitées par le modèle comprennent toutes les eaux continentales, excepté les eaux souterraines, les eaux de transition (à proximité des embouchures de rivière, partiellement salines) et les eaux côtières. Elles sont sujettes à des pollutions de différentes origines, qui peuvent être issues de rejets industriels, de rejets urbains ou encore de stations d'épuration (eaux non traitées en cas de pluie intense qui dépasse la capacité des stations). [14][15][16]

Le modèle Pégase exploite des données de rejets polluants et estime l'état des masses d'eau selon les critères de la Directive-cadre en simulant les processus physiques, chimiques et biologiques qui ont lieu dans la colonne d'eau. Il est possible de réaliser des simulations qui produisent des résultats très variés (aperçus de la pollution spatiaux et temporels, confrontation aux données) grâce à Pégase, pour réaliser des scénarios et adapter au mieux les actions à mettre en place sur le terrain. Ainsi, Pégase est un réel outil de gestion des ressources en eau, qui est utilisé par cinq des six Agences de l'Eau françaises, et qui a déjà été appliqué dans de nombreux bassins versants. [16][17]

### *1.5. Objectif du TFE*

L'objectif de ce TFE a beaucoup évolué au cours de ces trois mois de stage passés à l'Aquapôle. L'objectif original était d'analyser les données de micropolluants du bassin Rhin-Meuse dans une démarche de validation du module Micropolluants de Pégase. En effet, ce dernier a été calibré sur base de valeurs présentes dans la littérature, et n'a jamais fait l'objet d'une validation poussée sur un bassin versant bien instrumenté. Cependant, devant l'ampleur de la tâche et la durée relativement courte de ce stage, l'objectif a dû être réévalué. Le cadre de travail étant déjà plus familier, certains sujets étaient devenus particulièrement intéressants à approfondir. Ainsi, après quelques échanges avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, le nouvel objectif de ce TFE est le suivant. Nous allons ici analyser les pressions en micropolluants et leur représentation dans le but de déterminer comment améliorer la représentation des données de micropolluants en entrée du modèle Pégase pour obtenir les résultats les plus fidèles à la réalité. Pour ce faire nous allons tout d'abord sélectionner les données pertinentes pour cette analyse, puis réaliser différentes simulations en faisant varier les paramètres d'entrée afin d'analyser leur impact sur les résultats des simulations. Nous pourrons ainsi in fine formuler des recommandations concernant l'optimisation de la paramétrisation du modèle. [19]

Au cours de la lecture de ce manuscrit, il est probable que l'évolution du sujet se ressente, car un travail préliminaire a tout de même été réalisé dans ce sens, et certaines parties de ce dernier sont présentées ici, car cela reste intéressant et complémentaire vis-à-vis de notre nouvel objectif.

---

## CHAPITRE 2

\*\*\*

### Méthodologie

---

Ce chapitre a pour vocation d'explicitier la méthodologie qui a été suivie pendant ce travail. Au cours des trois mois dédiés à ce stage, l'objectif ayant évolué, et la méthodologie a naturellement subi le même sort.

L'objectif était à l'origine de valider le module Micropolluants du modèle Pégase, ce qui était ambitieux, d'une part au vu de la durée du stage effectué, d'autre part à cause du manque de données permettant de réaliser des traitements statistiques (régressions linéaires, diagrammes de fréquences par classe, etc.) pour la validation.

Désormais, la question de recherche qui se pose est : « Comment optimiser la prise en compte des données d'entrée du modèle pour obtenir les meilleurs résultats ? » En d'autres termes, nous cherchons à valider la cohérence entre usage et modélisation de Pégase dans le bassin Rhin-Meuse, et allons essayer de dégager des pistes d'amélioration de la modélisation. Nous allons alors suivre méthodologie stricte pour éviter au maximum les biais analytiques.

Pour évaluer correctement le modèle et son utilisation, il faut garder à l'esprit quelques concepts.

- Tout d'abord, un modèle est constitué de couches, allant du modèle conceptuel au modèle numérique en passant par le modèle logique. Ces couches sont liées et dépendantes les unes des autres mais peuvent être validées séparément, au fur et à mesure lors de la conception du modèle. Nous allons ici nous attarder sur la partie simulations du modèle, et analyser une partie d'un des modules de Pégase. En effet le modèle existe depuis des années, et a déjà été validé (notamment pour les micropolluants) et a bénéficié des retours de ses nombreux utilisateurs pour s'améliorer de manière itérative.

- De plus, la validité n'est pas un concept binaire, mais on parle plutôt d'un degré de validité d'un modèle. Cette évaluation dépend de plusieurs facteurs et est un travail d'équipe. En effet, les gestionnaires, analystes, et usagers du modèle n'ont pas le même point de vue et leur expérience de la modélisation est complémentaire pour la validation. Au cours de ce stage, nous avons pu collecter plusieurs points de vue par rapport au modèle et c'est pourquoi la collaboration avec l'agence Rhin-Meuse a été très enrichissante. [29]
- L'efficacité d'une simulation dépend des paramètres d'entrée, car un modèle correctement calibré et validé ne produira pas de bons résultats fidèles à la réalité s'il manque des données en entrée ou si l'incertitude de celles-ci est trop importante.
- De même, pour évaluer et valider un modèle, il faut connaître son objectif, ici simuler au mieux la qualité des eaux de surface, et il faut définir un certain nombre de critères pour évaluer son efficacité. Nous allons ici évaluer la faculté du modèle à calculer des valeurs de pollution qui sont proches des mesures dans le milieu. Pour ce faire, nous allons travailler sur une année pour laquelle nous pouvons produire des valeurs calculées, et pour laquelle nous disposons de valeurs réelles mesurées. Si les résultats simulés et mesurés sont suffisamment proches, alors on parle de validation de la chaîne complexe « apports/rejets – calibration de paramètres – calculs – mesures in situ », et on pourra avoir confiance dans le modèle pour anticiper les événements de pollution futurs.

Nous allons donc identifier les principales pressions en micropolluants dans le bassin Rhin – Meuse. Pour ce faire, nous allons nous intéresser aux rejets polluants recensés, à l'occupation des sols, et nous allons croiser ces informations avec les mesures de pollution in situ et les résultats de simulation.

Afin d'obtenir un échantillon significatif pour nos comparaisons, nous allons lancer des simulations sur les paramètres pour lesquels nous disposons du plus grand nombre de données. Nous allons donc, dans un premier temps, parcourir les bases de données pour identifier des substances pertinentes par rapport à notre travail d'analyse. A partir de cette sélection, les sous-bassins versants pertinents seront également identifiés.

Par la suite, nous réaliserons différentes simulations en faisant varier les paramètres d'entrée du modèle pour observer l'évolution des résultats face à cela. Nous confronterons les

résultats aux données, pour conclure sur les configurations de simulations qui produisent les résultats les plus proches de la réalité. Cela nous permettra d'établir des recommandations concernant la méthodologie de simulation.

Voici ci-dessous un tableau récapitulatif de la méthodologie suivie dans ce travail.

<b>Etape</b>	<b>Objectif</b>	<b>Matériel</b>	<b>Méthode</b>
<b>1</b>	Sélection des substances pertinentes à l'analyse	Bases de données du SIERM, de Pégase et autres sources	Confrontation des données
<b>2</b>	Sélection du/des sous-bassin(s) intéressants pour notre recherche	QGIS  R	Approche géographique  Approche statistique
<b>3</b>	Modélisation de la qualité de l'eau (selon les substances choisies) en faisant varier les paramètres	Pégase	Simulations
<b>4</b>	<b>Interprétation des résultats et recommandations</b>	Mesures et résultats des simulations	Confrontation des données et des résultats de la modélisation

Table 1 – Tableau récapitulatif de la méthodologie appliquée pour ce TFE

---

## CHAPITRE 3

\*\*\*

### Données

---

#### *3.1. Acquisition des données*

Dans un premier temps, nous cherchons des données pertinentes pour notre travail. Nous voulons avoir des données robustes et en quantité suffisante, et pour cela nous avons utilisé plusieurs bases de données, qui ont chacune leurs particularités :

➤ **Données de mesures in situ :**

- **Le SIERM**

Le SIERM est une plateforme en ligne mise en place par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et qui regroupe une quantité très importante de mesures qui ont été prises dans les rivières du bassin Rhin-Meuse ainsi qu'un système de SIG pour effectuer des recherches ciblées parmi ces données.

Les mesures sont réalisées au niveau de stations de qualité de cours d'eau, à différents intervalles, et elles portent sur des paramètres caractérisant l'état écologique, chimique et physique de l'eau. Ainsi, il y a de nombreuses mesures sur un grand nombre de substances polluantes (micropolluants, macropolluants, résidus médicamenteux, etc.) et sur différents supports (eau brute, MES, etc.), ce qui est très intéressant.

La période de prise des mesures s'étend de 2011 à 2021, et varie en fonction des stations. [20]

- **Le fichier de pressions sur les masses d'eau du bassin Rhin-Meuse -Etat des lieux 2019**

Ce fichier regroupe les masses d'eau du bassin Rhin-Meuse et indique les pressions auxquelles elles sont face, que ce soit des mesures chimiques, biologiques ou physiques. Ce fichier indique également leur intensité et leur impact sur les masses d'eau concernées. [23]



➤ **Données de rejet :**

- **L'inventaire des émissions, pertes et rejets sur le bassin Rhin-Meuse**

Cet inventaire a été réalisé par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et approuvé par le Comité de Bassin Rhin-Meuse en 2019 dans le cadre des obligations induites par la directive 2008/105/CE. Il porte sur cinquante-trois substances caractérisant l'état chimique de l'eau et trente-et-un polluants caractérisant l'état écologique de l'eau.

Les données utilisées pour les estimations sont issues de campagnes de mesures réalisées les années précédentes, ou de mesures d'autoévaluation dans certaines industries et certaines stations d'épurations.

La particularité de cet inventaire est qu'il identifie la source des pollutions : neuf voies d'apport sont considérées (nous détaillerons par la suite les voies d'apports qui vont nous intéresser dans le cadre de notre étude). [22]

- **Les fichiers de rejets en entrée du modèle Pégase**

Les simulations Pégase effectuées pour ce TFE ont toutes été faites sur l'année 2016. Les fichiers de rejets datent donc également de cette année.

- **Le fichier de « Rejets urbains »**

Ce fichier contient des informations géographiques (coordonnées, etc.) et administratives (nom, code rivière associé, etc.) sur les communes du bassin versant. Il reprend également le nombre d'équivalents-habitants de la commune, ce qui traduit l'ampleur des rejets, ainsi que le taux de raccordement aux stations d'épuration. [30]

- **Le fichier de « Rejets industriels polluants »**

Ce fichier reprend les codes identifiant des industries du bassin versant, ainsi que le débit de leurs rejets, certains paramètres comme leur demande biochimique en oxygène et leurs rejets en certains éléments dont le cuivre, le zinc, le plomb, l'arsenic, le nickel, le chrome et le mercure. Ces rejets sont exprimés en mg/m<sup>3</sup> et le débit en L/s. Les MES sont quant à elles représentées en g/m<sup>3</sup>. [31]

- **Le fichier « Rejets instantanés »**

Ce fichier contient des données journalières (et horaires dans sa mise à jour) de volume de polluants déversé au niveau des stations d'épuration (surverses). Ces valeurs sont calculées en fonction de la pluviométrie journalière, des surfaces imperméabilisées et de la capacité hydraulique théorique des systèmes d'assainissement, le tout ramené à la surface de la commune concernée. Ces données concernent uniquement les substances suivantes : le cuivre, le zinc, le plomb, le nickel et le chrome. Notons tout de même qu'il s'agit de charges théoriques et que l'incertitude sur ces données est assez élevée. [22]

Ainsi, nous avons des données qui sont issues de mesures et méthodologies différentes. Pour réaliser une analyse pertinente sur des données robustes nous allons alors confronter et/ou combiner les données de ces différentes sources.

### *3.2. Sélection des données*

#### *3.2.1. Sélection des polluants*

Nous allons tout d'abord analyser les données dans le but d'identifier quelques substances qui seront utilisées pour la validation du module, et à partir de ces substances, nous chercherons les sous-bassins qui seront les plus pertinents.

Pour identifier les substances qui serviront à la validation, plusieurs critères sont possibles. Ces critères ne sont pas nécessairement excluants les uns les autres, et leur combinaison rend la sélection des données plus robuste et/ou intéressante.

- Il est possible de sélectionner les substances qui ont été émises en plus grande quantité. Concernant cette sélection, un classement des dix plus gros flux (en kg/an) émis sur le bassin a été établi dans le cadre de l'inventaire des émissions.

Les substances concernées sont :

- le **zinc** ;
- le **cuivre** ;
- le **chrome** ;
- le **plomb** ;
- le **nickel** ;

- l'arsenic ;
  - le DEHP (Bis(2-ethylhexyl) phtalate) ;
  - le glyphosate ;
  - l'AMPA ;
  - l'Isoproturon. [21]
- Il est également possible de sélectionner les flux d'émission les plus toxiques (des analyses sur la présence de ces substances dans le bassin versant seraient intéressantes au-delà de la démarche de validation).  
En ce qui concerne ce critère, il est proposé dans l'inventaire des émissions du bassin Rhin-Meuse un classement des dix substances les plus toxiques émises sur le bassin, au vu du ratio entre le flux émis et les NQE, en fonction des voies d'apport connues et des données disponibles. Ce sont :
    - le cyperméthrine ;
    - le benzo (a) pyrène ;
    - le **cuivre** ;
    - le pendiméthaline ;
    - le métazachlore ;
    - le diflufenicanil ;
    - le **zinc** ;
    - le fluoranthène ;
    - le **plomb** ;
    - le mercure. [21]
  - Une autre option est de sélectionner les substances dont les rejets sont limités par la loi, par des seuils de concentration à ne pas dépasser.

Enfin, il est possible de croiser les différentes bases de données présentées précédemment et de retenir les substances qui sont présentes dans plusieurs bases de données. Cela nous permet de comparer certaines mesures, mais également d'avoir des données plus complètes, car nous pourrions assembler des informations issues de différentes sources, comme le support des polluants, ainsi que leur source.

	Données mesurées in situ			Données de rejets		Législation	
	Base de données du SIERM			Fichier de rejets de Pégase (industriels/instantanés)	Inventaire des rejets dans le Bassin Rhin-Meuse	Arrêté sur l'évaluation de l'état écologique et chimique de l'eau  Concentrations maximum admissibles (CMA) en µg/L	Directive 2008/105/CE établissant des normes de qualité environnementales dans le domaine de l'eau (UE)  NQE annuelle moyenne en µg/L
Éléments / composés	Eau brute	Éléments dissous	Sédiments				
Chrome	X	X	X	X/X	X	3.4	-
Cuivre	X	X	X	X/X	X	1	-
Nickel	X	X	X	X/X	X	-	34
Plomb	X	X	X	X/X	X	-	14
Zinc	X	X	X	X/X	X	7.8	-
Mercure	X	X	X	X/-	X	-	0.07
Cadmium	X	X	X		X	-	1.5
Arsenic		X	X	X/-	X	0.83	-
Manganèse	X	X	X			-	-
HAP	X					-	0.27
Autres substances*	X	X	X		X	X	X

Table 2 - Tableau récapitulatif non-exhaustif des mesures disponibles et normes applicables dans les différentes bases de données concernant le bassin Rhin-Meuse [3][4][20][21][22][23]

Remarques par rapport au tableau ci-dessus :

- Extrait de la directive 2008/105/CE: «Dans le cas du cadmium, du plomb, du mercure et du nickel, les NQE pour l'eau se rapportent à la concentration de matières dissoutes, c'est-à-dire à la phase dissoute d'un échantillon d'eau obtenu par filtration à travers

un filtre de 0,45µm ou par tout autre traitement préliminaire équivalent ou, moyennant indication, à la concentration biodisponible.»

- Dans le cas du cadmium, les concentrations maximales admissibles dépendent de la classe de dureté de l'eau. Dans le tableau ci-dessus est noté la concentration admissible la plus élevée, qui correspond à la classe 5 de dureté de l'eau (l'eau la plus dure avec une concentration de  $\text{CaCO}_3 \geq 200 \text{ mg/l}$ ).
  - Par ailleurs, il est intéressant de noter que la législation française complète la législation européenne en ajoutant des valeurs-seuils là où la directive 2008/105/CE n'en a pas mises.
  - Enfin, des données sur les métaux sont disponibles dans tous les compartiments dans la base de données du SIERM, mais certaines données ne sont pas disponibles en fonction des périodes de mesure (ex : les mesures sur les sédiments sont faites une fois par an à l'étiage, la mise en service de certaines stations est limitée dans le temps, etc.)
- \*La liste complète des substances prises en compte dans les différentes bases de données se trouve dans l'annexe I.

### 3.2.2. Substances retenues

Pour choisir les substances à étudier, nous avons combiné plusieurs des critères présentés ci-dessus. Les substances retenues sont :

- Le cuivre
- Le zinc
- Le plomb
- Le nickel
- Le chrome

Ces substances (surlignées en rouge dans le tableau ci-dessus) sont toutes présentes dans plusieurs bases de données, elles font l'objet de législations. Par ailleurs, elles font partie des dix plus gros flux rejetés sur le bassin Rhin-Meuse, et trois de ces cinq substances font partie des substances les plus toxiques rejetées dans le bassin (selon les voies d'apport connues et les données disponibles).

L'étude de ces substances s'annonce alors très intéressante sur plusieurs aspects.

### 3.2.3. Présentation des substances et de leurs effets

Nous allons ici présenter avec un peu plus de détails les substances choisies. Ces cinq substances sont des métaux et ils sont en général issus d'apports ponctuels urbains et industriels, d'apports diffus agricoles, ou de contaminations historiques. Une partie peut néanmoins être d'origine naturelle. Dans le bassin Rhin-Meuse, elles sont présentes en excès sur plus de 40% des points de surveillance.

- Le cuivre existe sous différentes formes (oxydes, sulfate, ion  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ...). En général, les MES des cours d'eau sont chargées en cuivre, et les ions les plus communs du cuivre sont stables en formant des liaisons avec d'autres substances.

Le cuivre est principalement émis par le secteur industriel, comme on peut le voir dans la figure 6. En particulier le secteur de production d'électricité est très émetteur de cuivre, et dans le bassin Rhin-Meuse, une seule centrale nucléaire est responsable de 83% des émissions industrielles de cuivre. Une autre source de cuivre moins importante qui semble intéressante, même si non prédominante est l'agriculture. En effet, du cuivre est rejeté dans le sol, et indirectement dans les eaux lors des épandages, et également lors de l'utilisation de bouillie bordelaise (cuivre + chaux), qui est un fongicide très répandu et réputé, à tort, comme inoffensif, car il pollue les eaux par ruissellement et infiltration. [24]

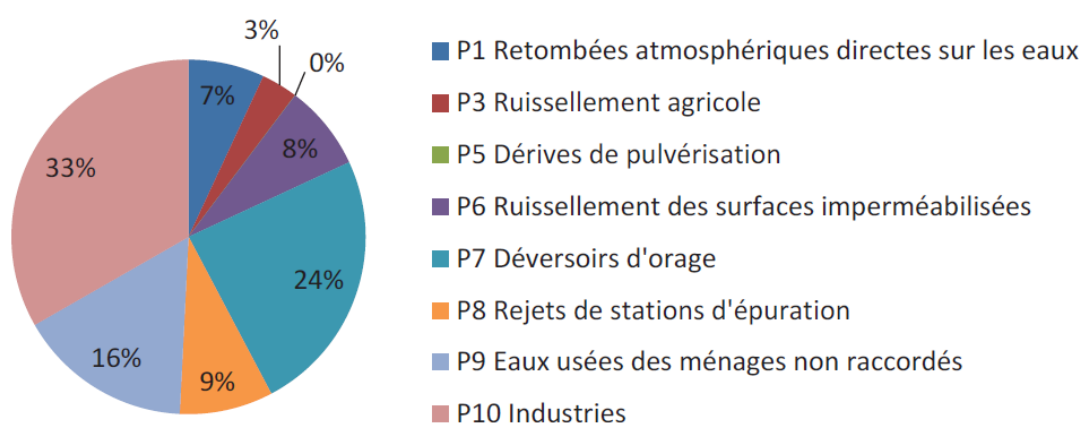


Figure 8 – Répartition des voies d'apport de cuivre dans le bassin Rhin-Meuse [21]

- Le zinc est un métal qui, comme le cuivre, est principalement émis par le secteur industriel, et qui est d'ailleurs également impliqué dans les centrales nucléaires. Il est également émis par la corrosion des toitures et des gouttières, et il est aussi lessivé par ruissellement sur les chaussées. [25]
- Le chrome est un métal de transition qui se retrouve sous différentes formes et différents ions plus ou moins stables. Il est fortement émis par le ruissellement, et également par les industries de production d'électricité et de sidérurgie. Les engrais phosphatés, et certains fongicides rejettent également du chrome dans les sols, et indirectement les eaux.
- Le plomb fait partie des métaux lourds. Il est rejeté par les activités anthropiques, par le secteur industriel de la production d'énergie et de la métallurgie, ainsi que par ruissellement (lessivage des chaussées et corrosion des toitures)

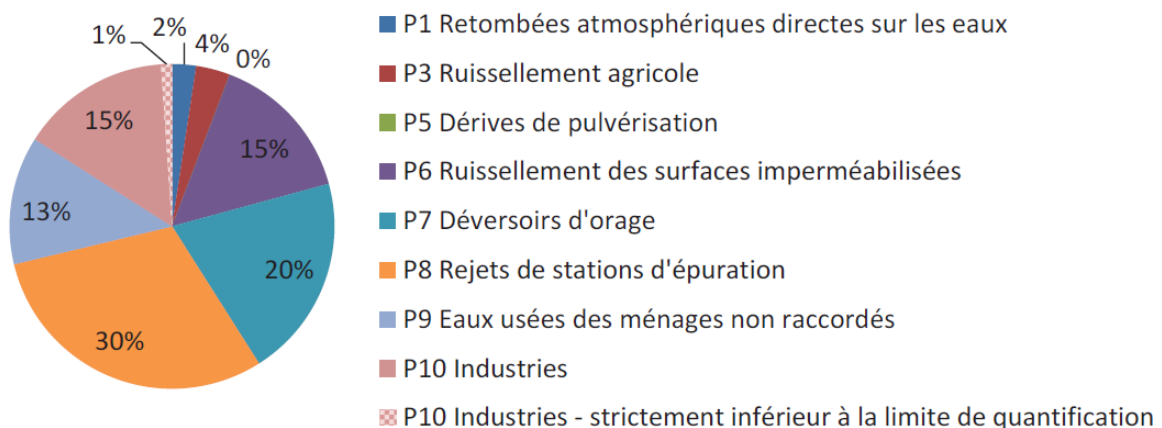


Figure 9 – Répartition moyenne des voies d'apport de zinc, de chrome et de plomb dans le bassin Rhin – Meuse [21]

Nous voyons dans la figure 7 que les rejets de stations d'épuration constituent la plus grande part des rejets de zinc, chrome et plomb. Cependant, les chiffres doivent être nuancés concernant la dernière substance car elle est peu quantifiée en sortie de STEP et les stations ont bien un taux d'abattement de 75%.

- Le nickel est un métal de transition. Comme l'indique la figure 8, il est principalement rejeté par les stations d'épuration, car celles-ci ont un taux d'abattement relativement faible en ce qui concerne le nickel, le mercure et l'arsenic. De nombreux types

d'industries (production d'électricité, sidérurgie, traitement des déchets...) sont également générateurs de rejets de nickel.

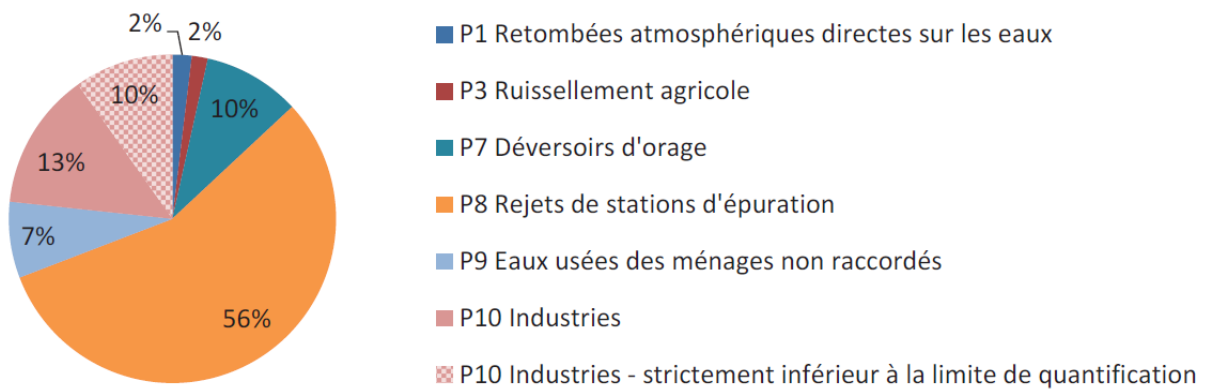


Figure 10 - Répartition moyenne des voies d'apport de nickel, de mercure et d'arsenic dans le bassin Rhin – Meuse [21]

Nous voyons ici à travers les rejets moyens des métaux, que certaines sources de métaux sont très importantes, en particulier le secteur industriel et les rejets de station d'épuration. Tout d'abord, nous avons remarqué l'absence de prise en compte. Ce dernier facteur s'est révélé majoritaire pour plusieurs substances, ce qui traduit un faible abattement de certains micropolluants dans les stations d'épuration. Cela est problématique car en cas d'épisode intense de pollution, comme un rejet industriel accidentel, il peut rester une concentration élevée, supérieure aux normes environnementales en sortie de station. Une concentration élevée de micropolluants se retrouve également dans les boues d'épuration qui peuvent être utilisées en agriculture pour les épandages, et ainsi polluer les sols.

Enfin, les charges polluantes présentées dans cet inventaire sont des charges théoriques et il y a une incertitude élevée concernant les données. Par ailleurs ces données n'illustrent qu'une partie de la pollution. Par exemple, nous avons pu constater que dans cet inventaire, les apports des sols ne sont pas pris en compte. Or, on sait que les eaux peuvent se charger en polluants provenant des sols. L'une des raisons pour lesquelles cette voie d'apport n'est pas considérée peut-être le manque de données, et la difficulté d'isoler cette voie d'apport des autres à partir de mesures in situ. [26][27]



### 3.3. Choix des supports

Une première approche quantitative consiste à analyser des mesures de concentrations in situ des micropolluants. Nous allons exploiter des données de mesure allant de l'année 2011 à l'année 2021. Pour avoir un aperçu plus complet des données, nous allons d'abord réaliser une analyse statistique simple.

Voici tout d'abord un graphique représentant les proportions des mesures disponibles selon les supports de pollution. Le graphique du chrome est présenté ici, les graphiques du cuivre, nickel, plomb et zinc étant très similaires, ils sont présents dans l'annexe II de ce document.

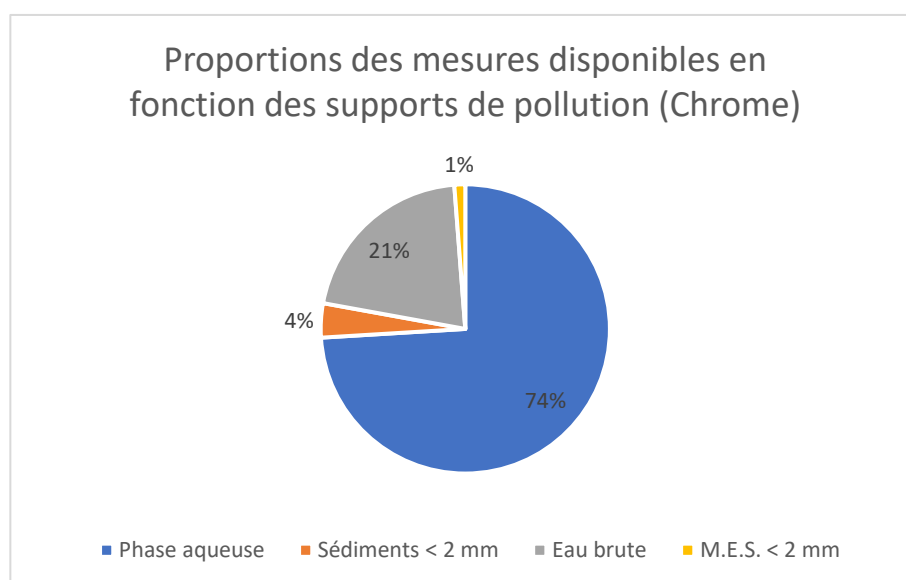


Figure 11 – Répartitions des mesures en fonction des supports de pollution pour le chrome dans le bassin Rhin-Meuse (Données sur la période 2011-2021)

Nous voyons sur la figure 9 que les mesures in situ disponibles pour les métaux sont en très grande majorité des mesures issues de la colonne d'eau et en particulier des mesures de la phase aqueuse (donc l'eau filtrée dans laquelle on trouve les polluants dissous). Nous avons à disposition relativement peu de données sur les sédiments, et cela peut notamment s'expliquer par le fait que les mesures sur ces derniers sont effectuées une fois par an seulement, lors de l'étiage des cours d'eau. Nous voyons également grâce à ce graphique que nous disposons de très peu de mesures concernant les MES. Etant donné que nous allons comparer nos résultats de simulation à des mesures pour en déduire leur validité, nous allons nous concentrer sur les supports pour lesquels nous disposons d'un grand nombre de

mesures. Ainsi, à partir de maintenant, nous allons focaliser nos analyses sur l'eau brute et la phase aqueuse de l'eau.

### 3.4. Choix des sous-bassins

#### 3.4.2. Approche statistique

Dans un premier temps, nous avons réalisé des statistiques de base sur tout le bassin versant pour avoir un aperçu de l'ordre de grandeur des mesures. Dans le tableau ci-dessous figurent les principaux résultats :

Eau brute	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.18 µg/L	0.59 µg/L	0.47 µg/L	0.12 µg/L	1.7 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.925 µg/L	0.7 µg/L	0.25 µg/L	2.99 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.53 µg/L	1.45 µg/L	1.2 µg/L	0.48 µg/L	6.58 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.39 µg/L	1.1 µg/L	0.51 µg/L	5.7 µg/L
<b>Maximum</b>	38.1 µg/L	447 µg/L	277 µg/L	25 µg/L	380 µg/L

Table 3a – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin Rhin-Meuse pour l'eau brute

Phase aqueuse	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.1 µg/L	0.5 µg/L	0.5 µg/L	0.07 µg/L	1 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.75 µg/L	0.9 µg/L	0.1 µg/L	2 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.51 µg/L	1.07 µg/L	1.56 µg/L	0.18 µg/L	4.6 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1 µg/L	1.5 µg/L	0.2 µg/L	3.76 µg/L
<b>Maximum</b>	59 µg/L	309 µg/L	243 µg/L	10 µg/L	560 µg/L

Table 3b – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin Rhin-Meuse pour la phase aqueuse

Remarques sur le tableau 3 ci-dessus :

- Nous pouvons remarquer qu'il n'y a aucun minimum valant 0. Cela est dû à la prise de mesures : en effet, lorsque les valeurs sont en dessous du seuil de détection des

appareils de mesure, la valeur qui apparaît dans les mesures est alors le seuil de détection. Pour la réalisation des statistiques, nous avons décidé de prendre en compte ces valeurs, même si la fiabilité de la valeur est peu élevée car cela nous donnera un meilleur aperçu de la distribution des mesures. Si nous n'avions étudié que les valeurs supérieures au seuil de détection, beaucoup de valeurs faibles n'auraient pas été prises en compte et notre aperçu de la distribution des données aurait été biaisé.

- Ces remarques sont valables pour les tableaux récapitulatifs des statistiques suivants.

Nous avons également représenté la répartition des données de manière plus visuelle dans des boîtes de concentration (pour un maximum de lisibilité, les échelles sont différentes d'un élément à l'autre) :

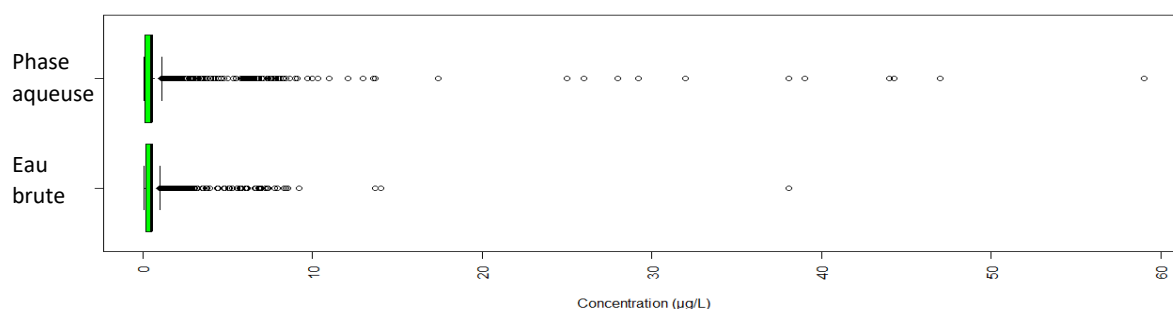


Figure 12.a – Boîtes de concentration du Chrome dans le bassin Rhin-Meuse

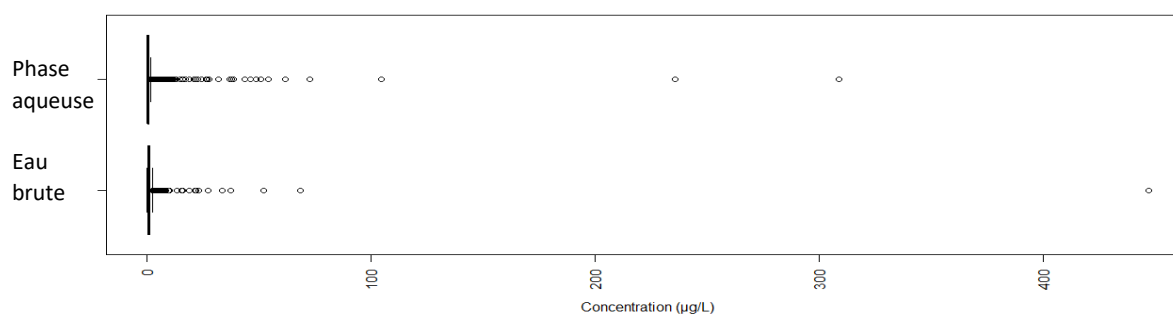


Figure 12.b – Boîtes de concentration du Cuivre dans le bassin Rhin-Meuse

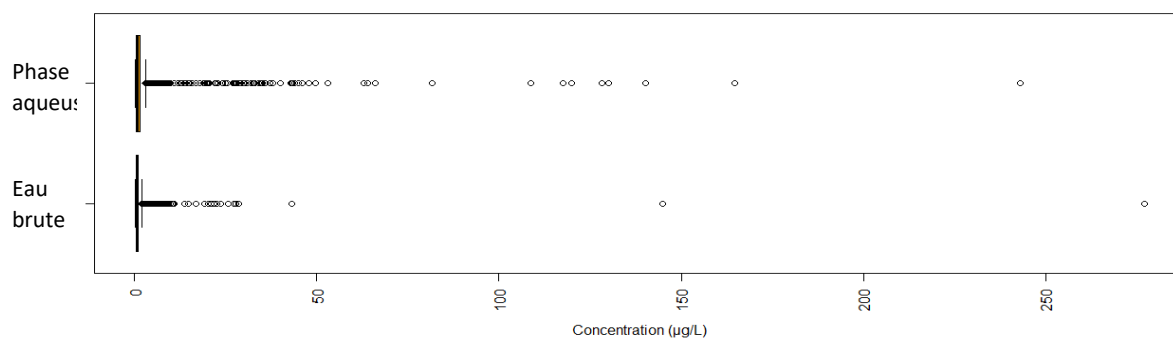


Figure 12.c - Boîtes de concentration du Nickel dans le bassin Rhin-Meuse

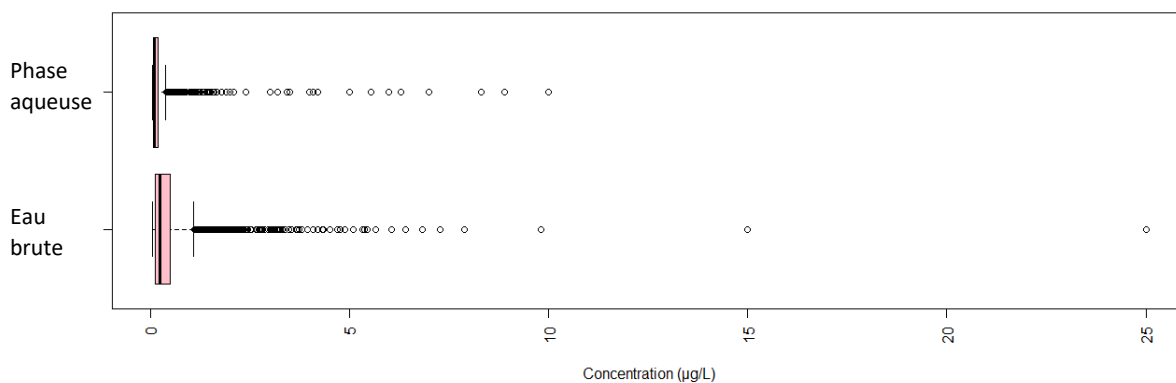


Figure 12.d - Boîtes de concentration du Plomb dans le bassin Rhin-Meuse

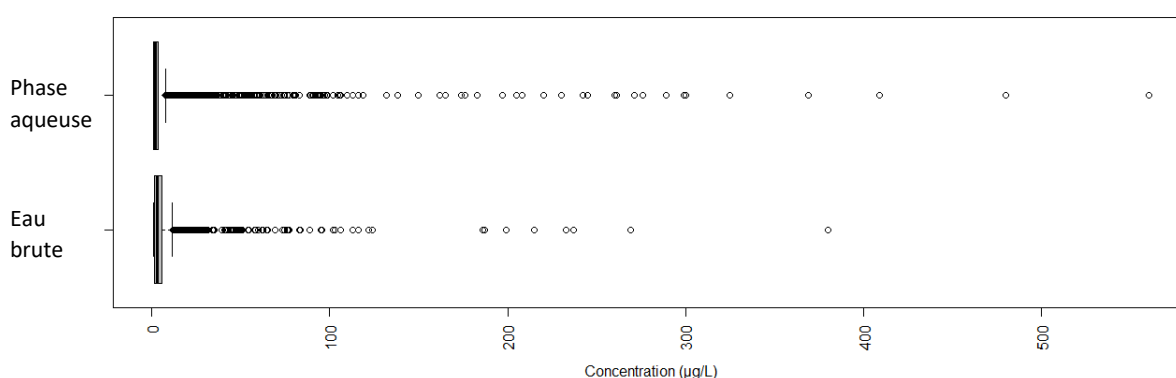


Figure 12.e - Boîtes de concentration du Zinc dans le bassin Rhin-Meuse

Pour un aperçu complémentaire des données, la répartition parmi les valeurs les plus faibles sous forme d'histogrammes de fréquence figure en annexe (pour le bassin Rhin-Meuse, ainsi que tous les sous-bassins présentés).

Nous avons par la suite effectué cette même démarche, sous-bassin par sous-bassin (la division entre les sous-bassins est basée sur celle du SIERM), afin de voir si les ordres de grandeur des mesures sont homogènes dans tout le bassin versant, ou si nous constatons des différences entre les sous-bassins, et le cas échéant cela nous indiquera quel(s) sous-bassin(s) étudier plus en détail.

En effet, nous cherchons des sous-bassins présentant des valeurs de qualité en quantité. Par ailleurs, des hétérogénéités dans les concentrations seraient très intéressantes et nous permettraient de comparer les réponses du modèle dans des sous-bassins très influencés par des pressions en micropolluants, et des sous-bassins moins influencés, avec un apport faible en micropolluants. Voici donc les statistiques bassin par bassin :

- Bassin de la Chiers

Eau brute	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.29 µg/L	0.25 µg/L	0.21 µg/L	0.11 µg/L	1.25 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.635 µg/L	0.5 µg/L	0.22 µg/L	2.8 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.5686 µg/L	0.7881 µg/L	0.6929 µg/L	0.4417 µg/L	4.91 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.0425 µg/L	0.9 µg/L	0.55 µg/L	5.9 µg/L
<b>Maximum</b>	5.78 µg/L	3.96 µg/L	3 µg/L	5.65 µg/L	45.7 µg/L

Table 4a – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Chiers pour l'eau brute

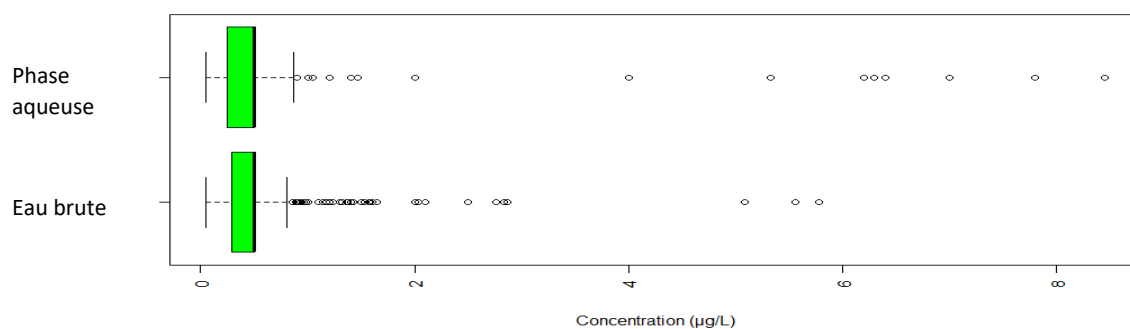
Phase aqueuse	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.245 µg/L	0.24 µg/L	0.5 µg/L	0.05 µg/L	1 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.5 µg/L	0.7 µg/L	0.1 µg/L	1.51 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.54 µg/L	0.559 µg/L	0.9997 µg/L	0.1585 µg/L	2.826 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	0.7 µg/L	1.1 µg/L	0.19 µg/L	3 µg/L
<b>Maximum</b>	8.45 µg/L	7.35 µg/L	9 µg/L	4 µg/L	59.59 µg/L

Table 4b – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Chiers pour la phase aqueuse

Nous pouvons voir que les valeurs de chrome (dont la moyenne) sont plus élevées que la moyenne du bassin Rhin-Meuse, cependant les valeurs maximales du chrome sont beaucoup plus faibles. La répartition des valeurs de chrome dans le bassin de la Chiers est centrée autour de 0.5 µg/L (en effet, au moins 50% des valeurs de chrome sont égales à 0.5 µg/L) et nous pouvons penser qu'il y a aussi un bon nombre de valeurs supérieures, qui influencent la moyenne vers le haut.

En ce qui concerne les autres éléments, les ordres de grandeurs de leurs valeurs sont plus faibles que ce que l'on peut trouver dans le bassin Rhin-Meuse.

Voici les boîtes de concentration :



Figure

13.a – Boîtes de concentration du chrome dans le bassin de la Chiers

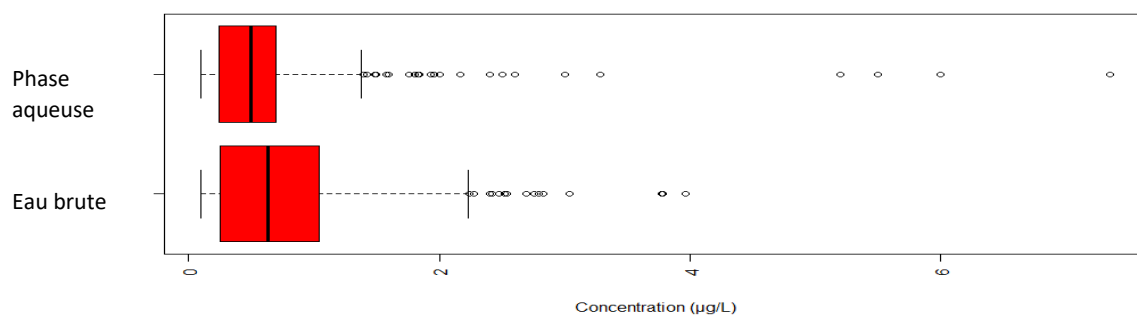


Figure 13.b – Boîtes de concentration du cuivre dans le bassin de la Chiers

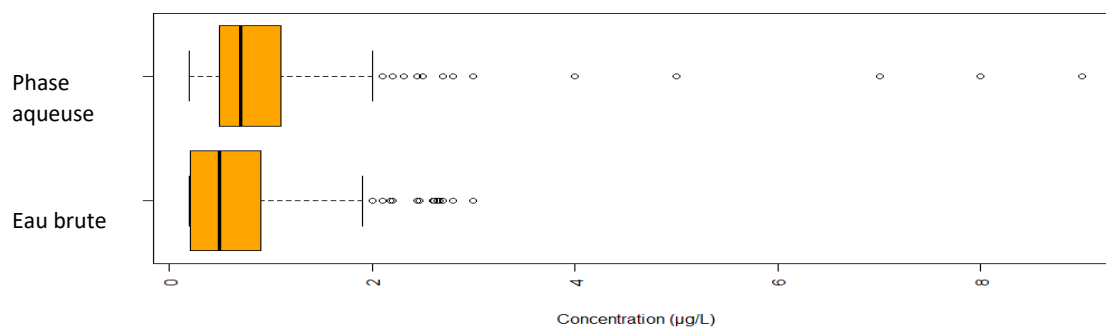


Figure 13.c – Boîtes de concentration du nickel dans le bassin de la Chiers

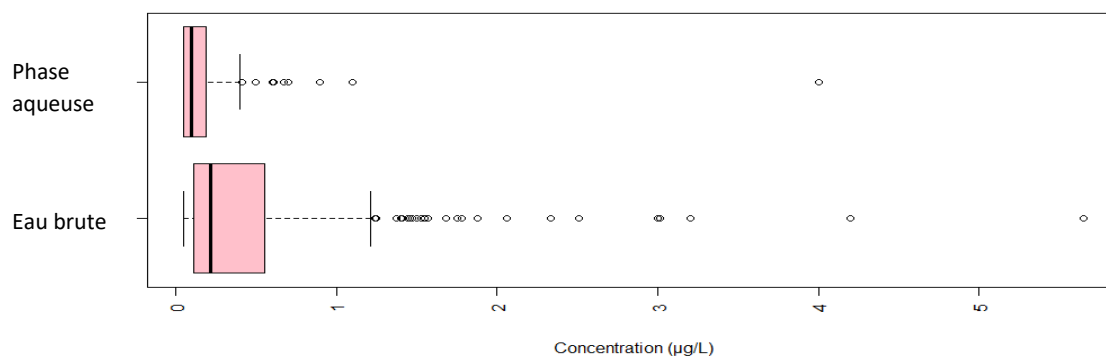


Figure 13.d – Boîtes de concentration du plomb dans le bassin de la Chiers

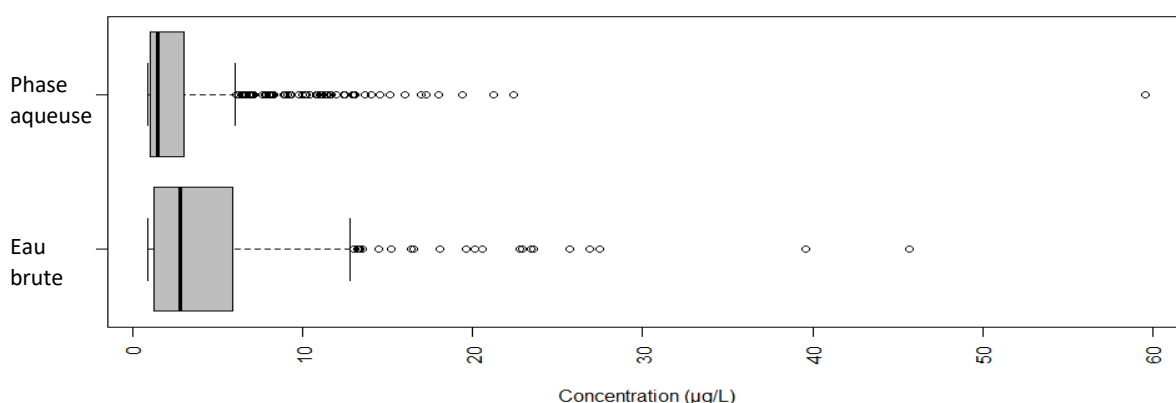


Figure 13.e – Boîtes de concentration du zinc dans le bassin de la Chiers

- Bassin de la Meurthe

Eau brute	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Minimum	0.05 µg/L	0.15 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
Q1	0.21 µg/L	0.62 µg/L	0.3375 µg/L	0.1875 µg/L	1.56 µg/L
Médiane	0.5 µg/L	0.93 µg/L	0.6 µg/L	0.43 µg/L	2.5 µg/L
Moyenne	0.5526 µg/L	1.249 µg/L	1.02 µg/L	0.8135 µg/L	3.758 µg/L
Q3	0.5 µg/L	1.34 µg/L	1.1 µg/L	1.0925 µg/L	4.13 µg/L
Maximum	8.3 µg/L	27.7 µg/L	14 µg/L	25 µg/L	50.8 µg/L

Table 5a – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Meurthe pour l'eau brute

Phase aqueuse	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Minimum	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
Q1	0.18 µg/L	0.55 µg/L	0.5 µg/L	0.1 µg/L	1 µg/L
Médiane	0.5 µg/L	0.8 µg/L	0.72 µg/L	0.14 µg/L	1.83 µg/L
Moyenne	0.4918 µg/L	0.9564 µg/L	1.02 µg/L	0.2615 µg/L	3.049 µg/L
Q3	0.5 µg/L	1.1 µg/L	1.1 µg/L	0.4 µg/L	3 µg/L
Maximum	13 µg/L	12 µg/L	14 µg/L	3.2 µg/L	132 µg/L

Table 5b – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Meurthe pour la phase aqueuse

Dans le bassin de la Meurthe, la distribution des valeurs de plomb se fait autour de valeurs très élevées. Nous trouvons y trouvons la valeur de plomb la plus élevée de tout le bassin Rhin-Meuse (pour l'eau brute). La distribution des valeurs de chrome est similaire à celle du bassin Rhin-Meuse, les valeurs de nickel, plomb et zinc sont quant à elles inférieures à celles du bassin Rhin-Meuse.

Voici les boîtes de concentration :

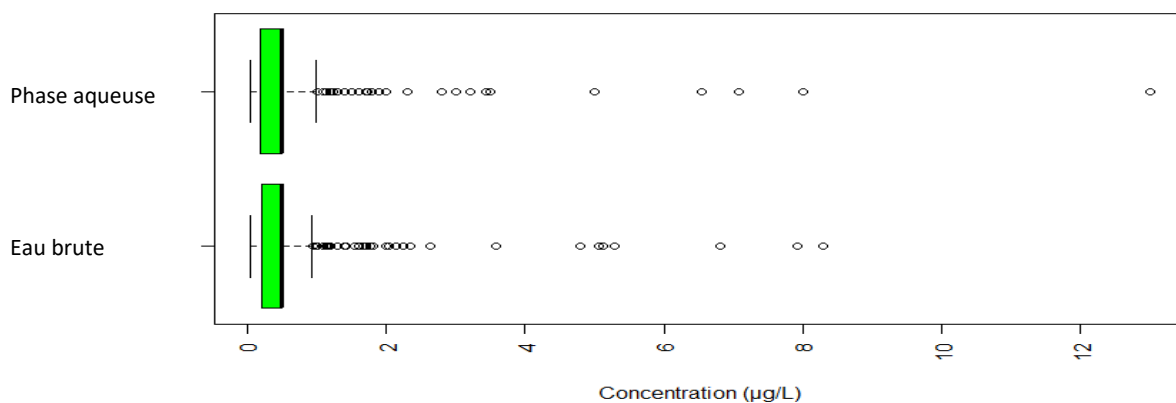


Figure 14.a – Boîtes de concentration du chrome dans le bassin de la Meurthe

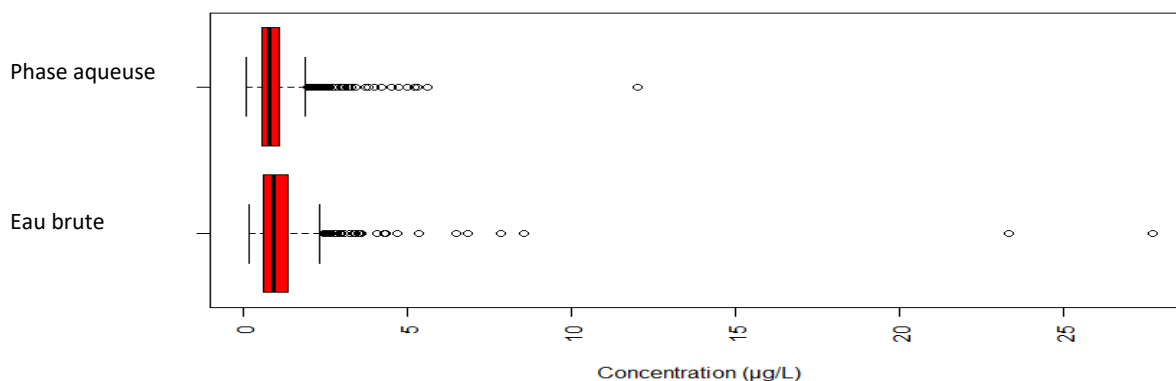


Figure 14.b – Boîtes de concentration du cuivre dans le bassin de la Meurthe

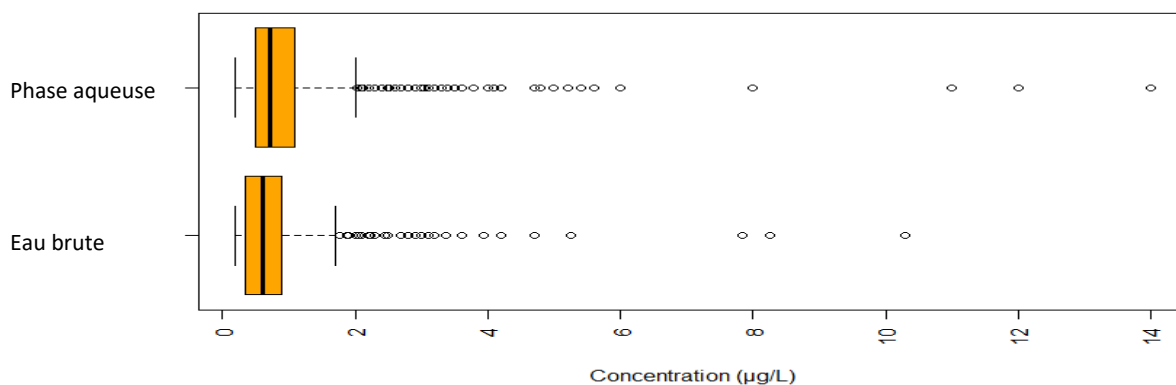


Figure 14.c – Boîtes de concentration du nickel dans le bassin de la Meurthe



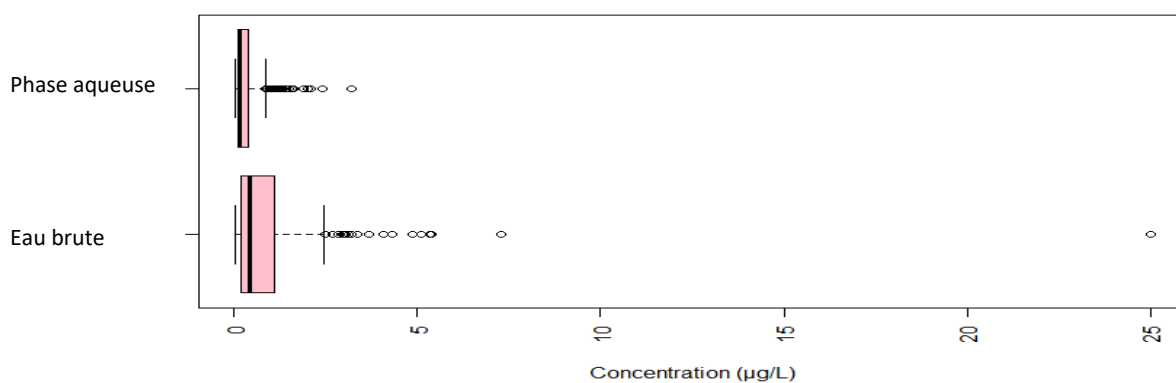


Figure 14.d – Boîtes de concentration du plomb dans le bassin de la Meurthe

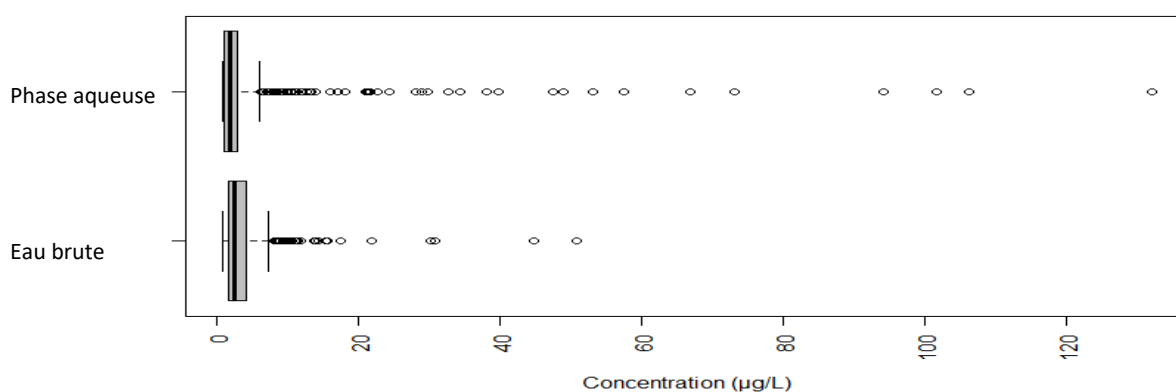


Figure 14.e – Boîtes de concentration du zinc dans le bassin de la Meurthe

- Bassin de la Meuse

Eau brute	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.15 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.12 µg/L	0.51 µg/L	0.5 µg/L	0.11 µg/L	1.6 µg/L
<b>Médiane</b>	0.35 µg/L	0.82 µg/L	0.8 µg/L	0.2 µg/L	2.72 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.4068 µg/L	1.333 µg/L	0.9756 µg/L	0.3754 µg/L	4.349 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.188 µg/L	1.3425 µg/L	0.38 µg/L	4.9 µg/L
<b>Maximum</b>	8.44 µg/L	68.7 µg/L	4.67 µg/L	15 µg/L	186 µg/L

Table 6a – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Meuse pour l'eau brute

Phase aqueuse	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.05 µg/L	0.5 µg/L	0.5 µg/L	0.07 µg/L	1 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.64 µg/L	1 µg/L	0.1 µg/L	2 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.4316 µg/L	1.193 µg/L	1.129 µg/L	0.1563 µg/L	3.044 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	0.94 µg/L	1.462 µg/L	0.13 µg/L	3 µg/L
<b>Maximum</b>	11 µg/L	309 µg/L	9.1 µg/L	8.3 µg/L	110 µg/L

Table 6b – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Meuse pour la phase aqueuse

Dans le bassin de la Meuse, nous observons que la moyenne du Cuivre dans l'eau brute est supérieure à cette même moyenne dans le bassin Rhin-Meuse. Or, les valeurs des quartiles sont plus faibles. Nous pouvons donc en déduire qu'il y a quelques valeurs très élevées dans ce bassin, ce qui se confirme par le fait que nous y trouvions le maximum en cuivre.

Les valeurs de chrome, nickel, plomb et zinc sont plus faibles que celles du bassin Rhin-Meuse.

Voilà ci-dessous les boîtes de concentration pour avoir un aperçu plus visuel de la répartition des valeurs.

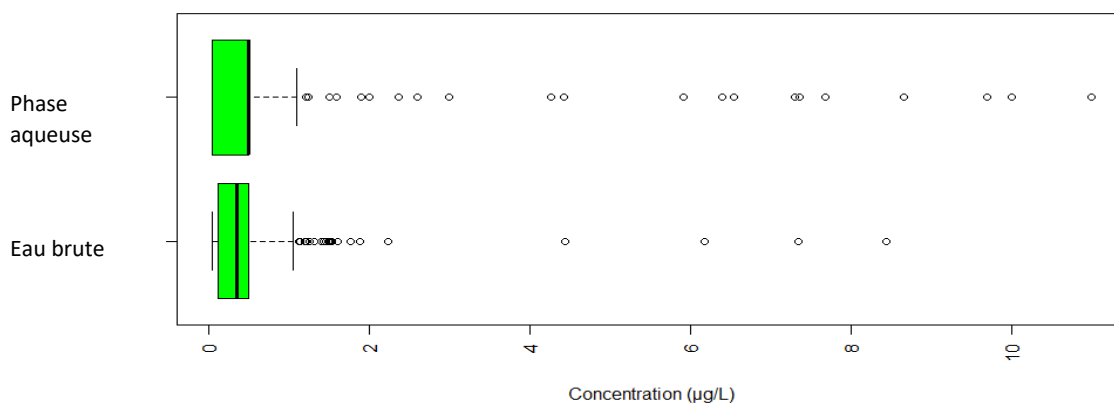


Figure 15.a – Boîtes de concentration du Chrome dans le bassin de la Meuse

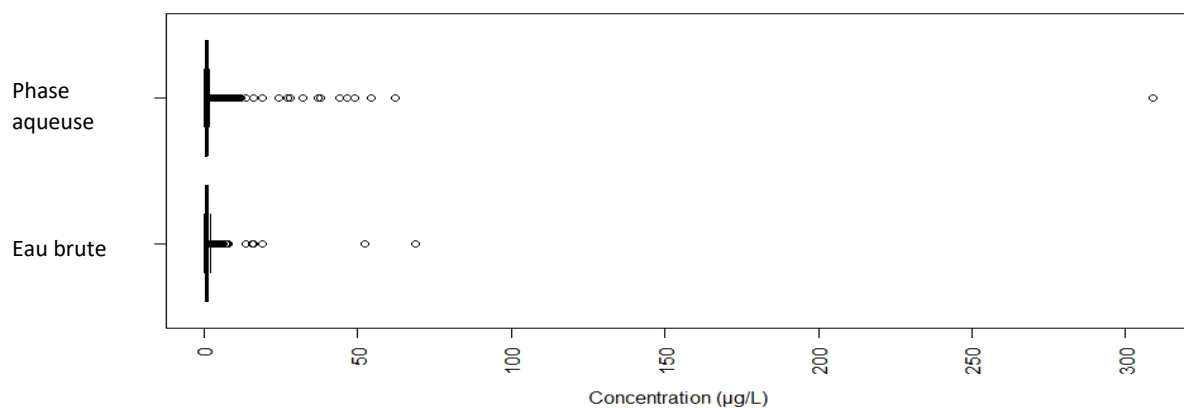


Figure 15.b – Boîtes de concentration du Cuivre dans le bassin de la Meuse

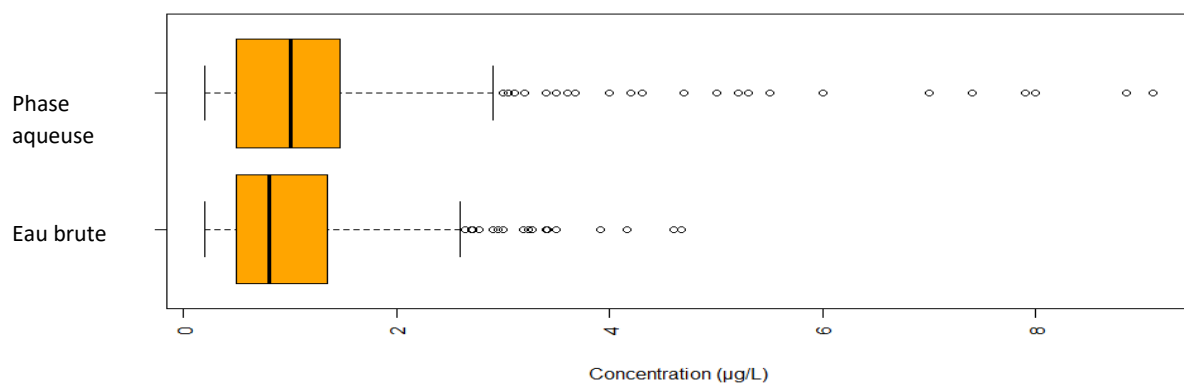


Figure 15.c – Boîtes de concentration du Nickel dans le bassin de la Meuse

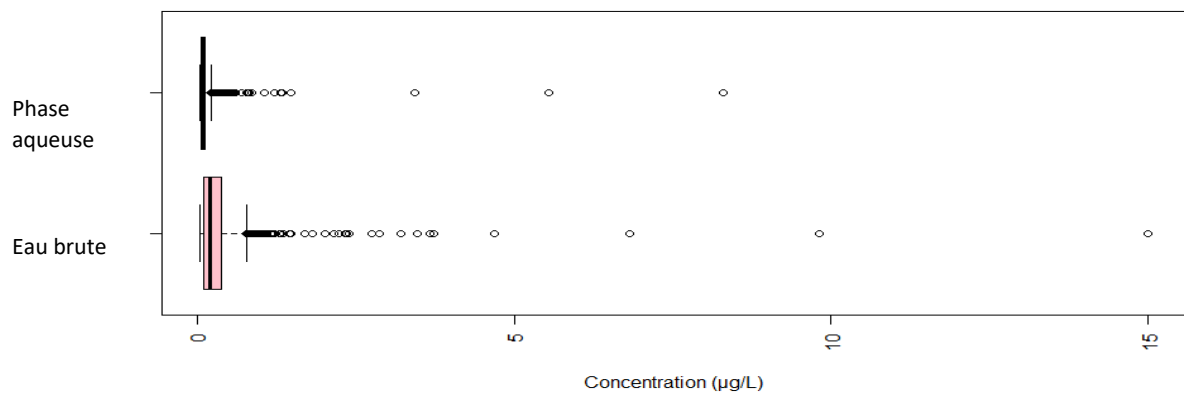


Figure 15.d – Boîtes de concentration du Plomb dans le bassin de la Meuse

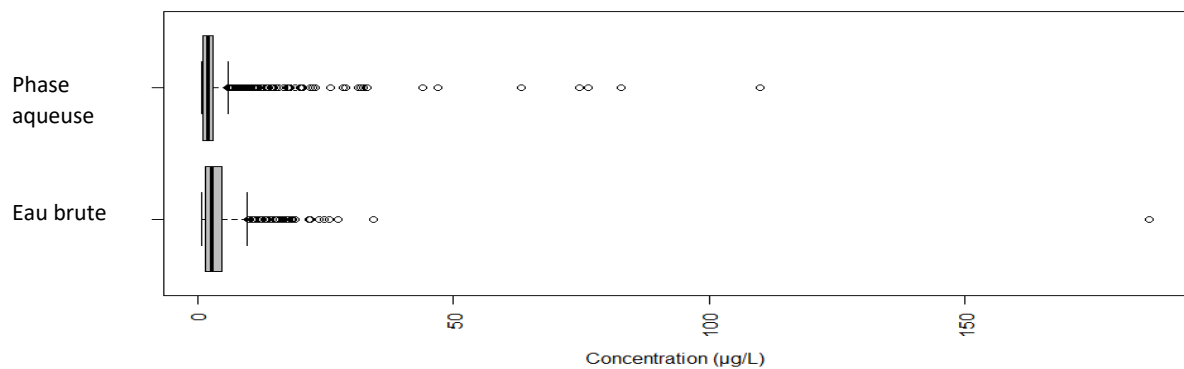


Figure 15.e – Boîtes de concentration du Zinc dans le bassin de la Meuse

- Bassin de la Moselle

Eau brute	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.15 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.2 µg/L	0.67 µg/L	0.41 µg/L	0.12 µg/L	1.74 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.99 µg/L	0.6 µg/L	0.22 µg/L	2.83 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.5894 µg/L	1.331 µg/L	1.263 µg/L	0.3609 µg/L	4.836 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.45 µg/L	0.95 µg/L	0.41 µg/L	5.15 µg/L
<b>Maximum</b>	38.1 µg/L	37.5 µg/L	277 µg/L	7.89 µg/L	237 µg/L

Table 7a – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Moselle pour l'eau brute

Phase aqueuse	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.11 µg/L	0.5 µg/L	0.5 µg/L	0.05 µg/L	1 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.8 µg/L	0.8 µg/L	0.1 µg/L	2 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.5601 µg/L	1.145 µg/L	1.546 µg/L	0.1418 µg/L	3.853 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.1 µg/L	1.4 µg/L	0.14 µg/L	3.587 µg/L
<b>Maximum</b>	59 µg/L	236 µg/L	243 µg/L	4.1 µg/L	299 µg/L

Table 7b – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Moselle pour la phase aqueuse

Dans le bassin de la Moselle, nous trouvons des valeurs de chrome très élevées. Les quartiles sont égaux mais la moyenne est supérieure, aussi bien dans l'eau brute et dans la phase aqueuse. C'est dans ce sous-bassin que nous trouvons les maximums de chrome dans les deux supports analysés. Dans le cas du nickel, les quartiles sont inférieurs, nous trouvons donc un plus grand nombre de valeurs faibles, mais la moyenne est plus grande. Nous trouvons donc quelques valeurs très élevées et les maximums dans l'eau brute et la phase aqueuse. Les valeurs de zinc et y sont moins élevées que dans le bassin Rhin-Meuse, et seul le cuivre dissous a une moyenne plus élevée dans ce sous-bassin.

Voici les boîtes de concentration :

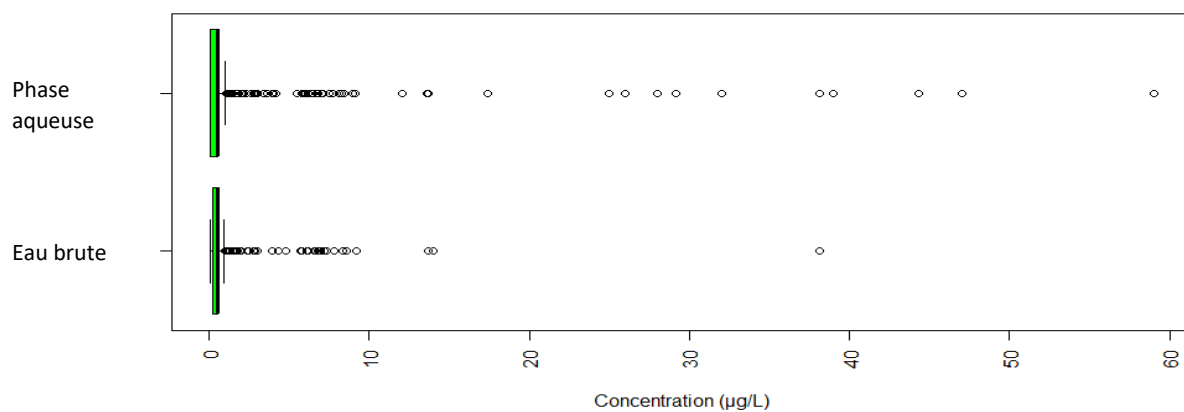


Figure 16.a – Boîtes de concentration du Chrome dans le bassin de la Moselle

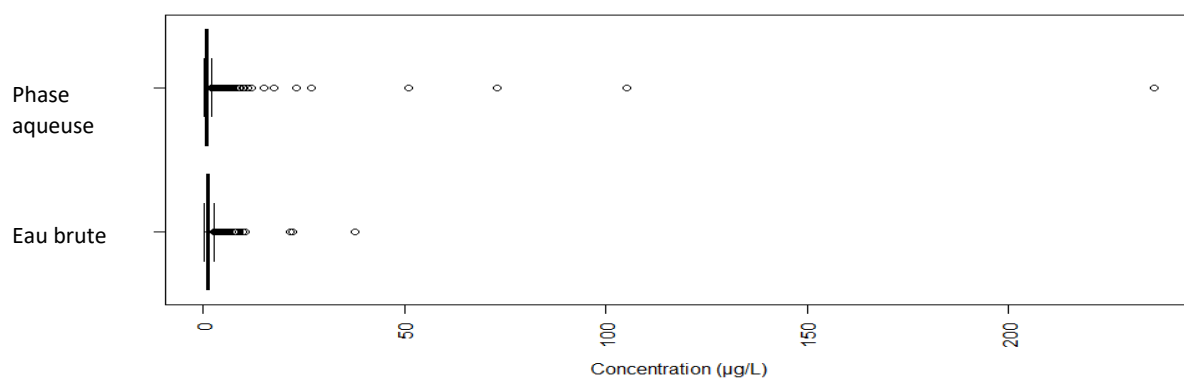


Figure 16.b – Boîtes de concentration du Cuivre dans le bassin de la Moselle

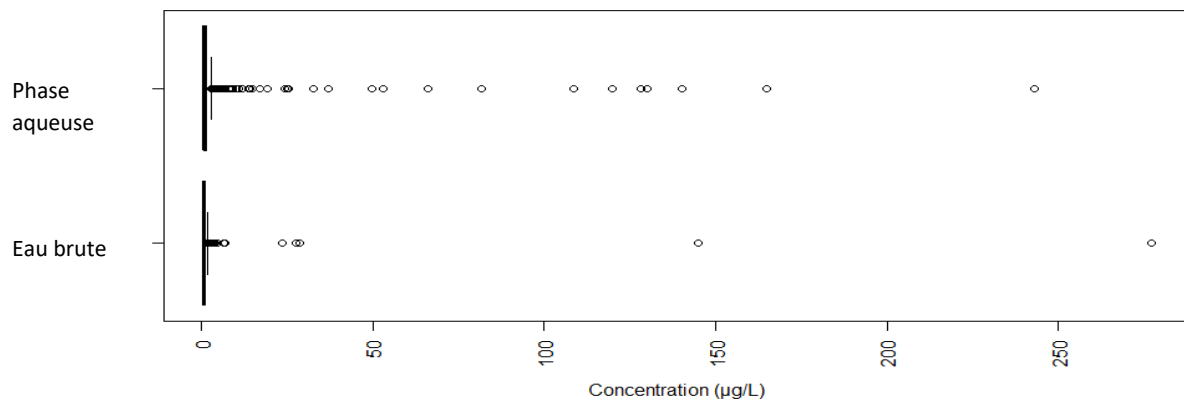


Figure 16.c – Boîtes de concentration du Nickel dans le bassin de la Moselle

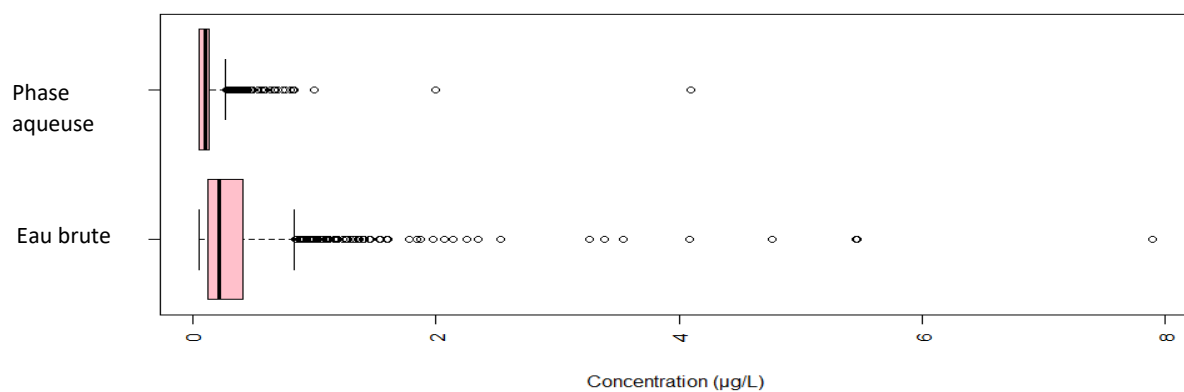


Figure 16.d – Boîtes de concentration du Plomb dans le bassin de la Moselle

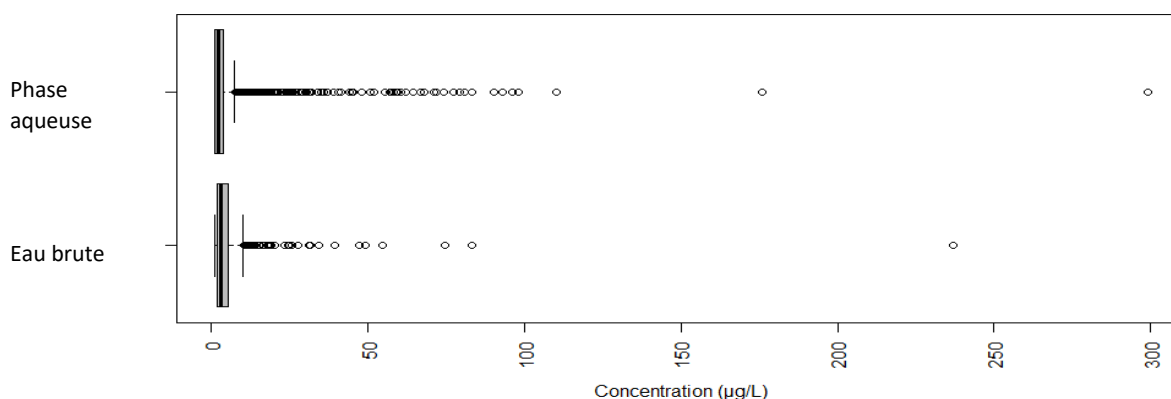


Figure 16.e – Boîtes de concentration du Zinc dans le bassin de la Moselle

- Bassin de la Sarre

Eau brute	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.15 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.16 µg/L	0.78 µg/L	0.68 µg/L	0.15 µg/L	2.8 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.15 µg/L	0.93 µg/L	0.33 µg/L	5.36 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.5411 µg/L	2.478 µg/L	2.128 µg/L	0.6132 µg/L	17.2 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.76 µg/L	1.4 µg/L	0.665 µg/L	11.53 µg/L
<b>Maximum</b>	7 µg/L	447 µg/L	43.1 µg/L	6.4 µg/L	380 µg/L

Table 8a – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Sarre pour l'eau brute

Phase aqueuse	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
<b>Minimum</b>	0.05 µg/L	0.1 µg/L	0.2 µg/L	0.05 µg/L	0.9 µg/L
<b>Q1</b>	0.07 µg/L	0.6 µg/L	0.73 µg/L	0.1 µg/L	1.66 µg/L
<b>Médiane</b>	0.5 µg/L	0.9 µg/L	1 µg/L	0.1 µg/L	3 µg/L
<b>Moyenne</b>	0.5146 µg/L	1.104 µg/L	2.846 µg/L	0.22 µg/L	10.5 µg/L
<b>Q3</b>	0.5 µg/L	1.28 µg/L	2 µg/L	0.22 µg/L	6 µg/L
<b>Maximum</b>	44 µg/L	39 µg/L	117.6 µg/L	10 µg/L	560 µg/L

Table 8b – Récapitulatif des statistiques des paramètres sélectionnés dans le bassin de la Sarre pour la phase aqueuse

Dans le bassin de la Sarre, nous trouvons des valeurs moyennes de Chrome légèrement supérieures aux moyennes du bassin Rhin-Meuse. La valeur maximum du Chrome dans le

bassin de la Sarre, n'est pas la plus élevée du bassin Rhin-Meuse mais elle est néanmoins très élevée. En ce qui concerne le cuivre, dans chaque compartiment la moyenne est plus élevée dans le bassin de la Sarre que dans le bassin Rhin-Meuse, dans le bassin de la Sarre, nous trouvons la concentration maximale en cuivre dans l'eau brute. Les valeurs de nickel sont assez élevées dans les deux supports, en particulier dans la phase aqueuse. Les valeurs de plomb sont plus élevées que dans le bassin Rhin-Meuse et nous trouvons le maximum de plomb dissous dans le bassin de la Sarre. Enfin, nous y trouvons des valeurs de zinc très élevées, les moyennes y sont bien plus grandes que dans le bassin Rhin-Meuse, aussi bien dans l'eau brute que dans la phase aqueuse. Enfin, on trouve dans ces deux supports les maximums de concentration en zinc de tout le bassin.

Voici les boîtes de concentration :

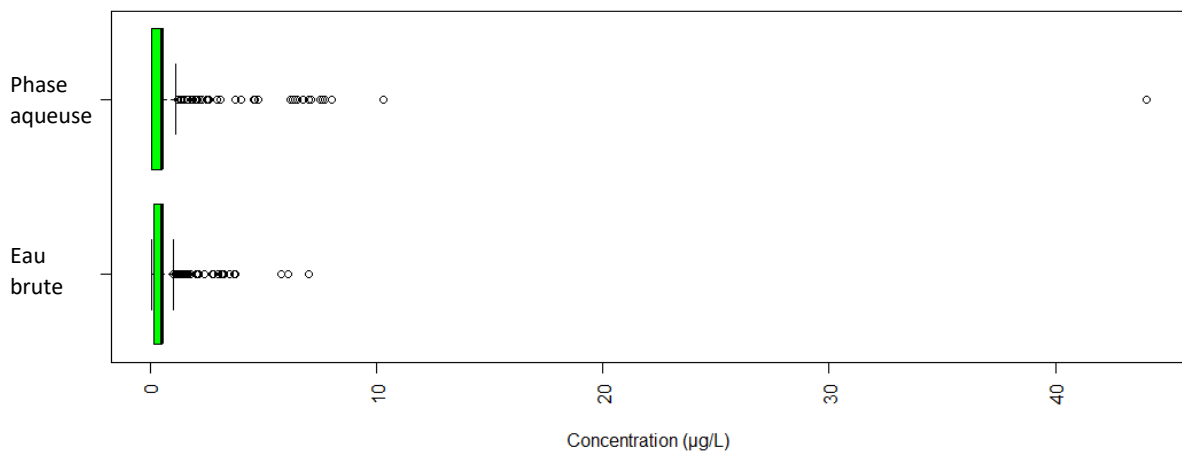


Figure 17.a – Boîtes de concentration du Chrome dans le bassin de la Sarre

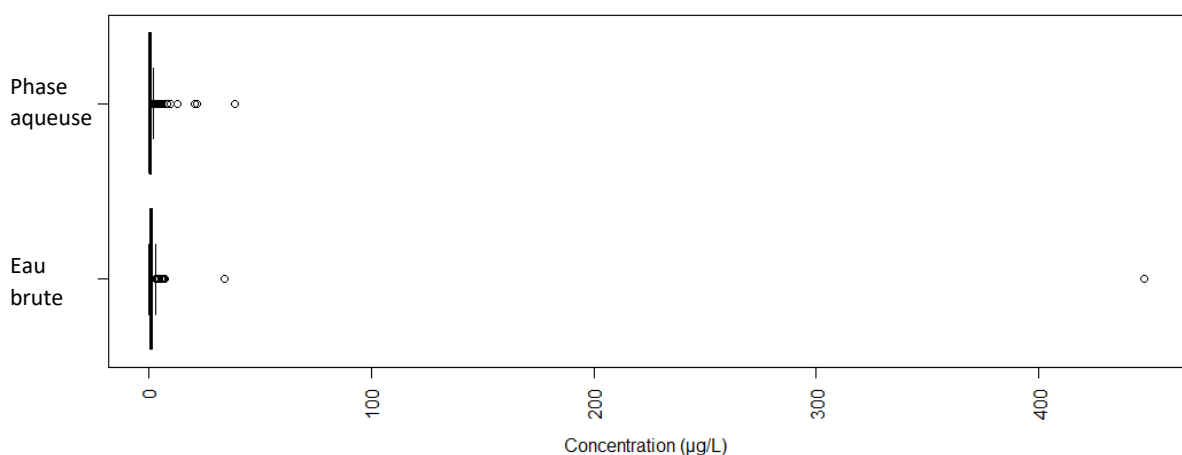


Figure 17.b – Boîtes de concentration du Cuivre dans le bassin de la Sarre

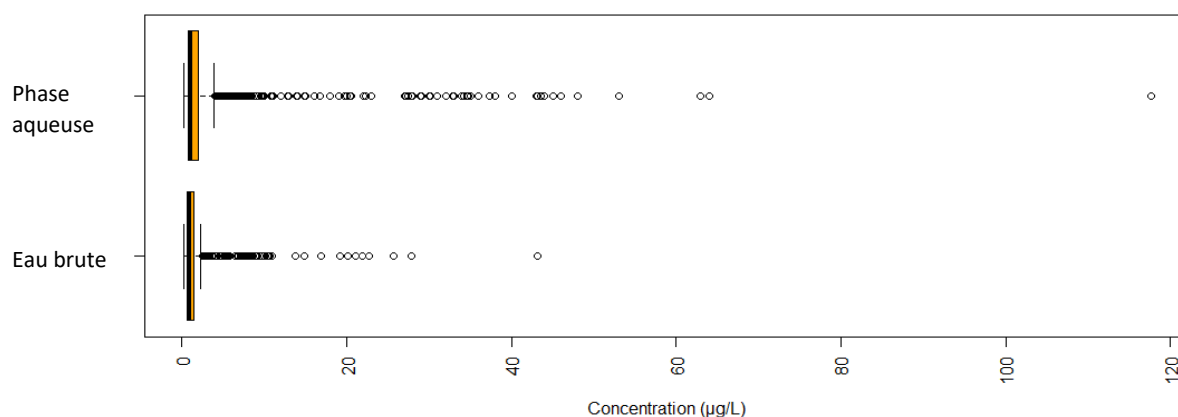


Figure 17.c – Boîtes de concentration du Nickel dans le bassin de la Sarre

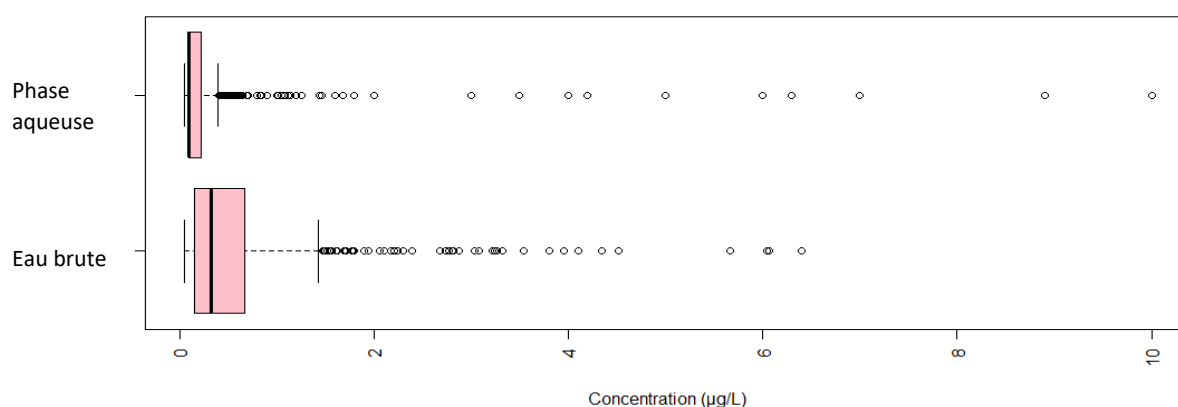


Figure 17.d – Boîtes de concentration du Plomb dans le bassin de la Sarre

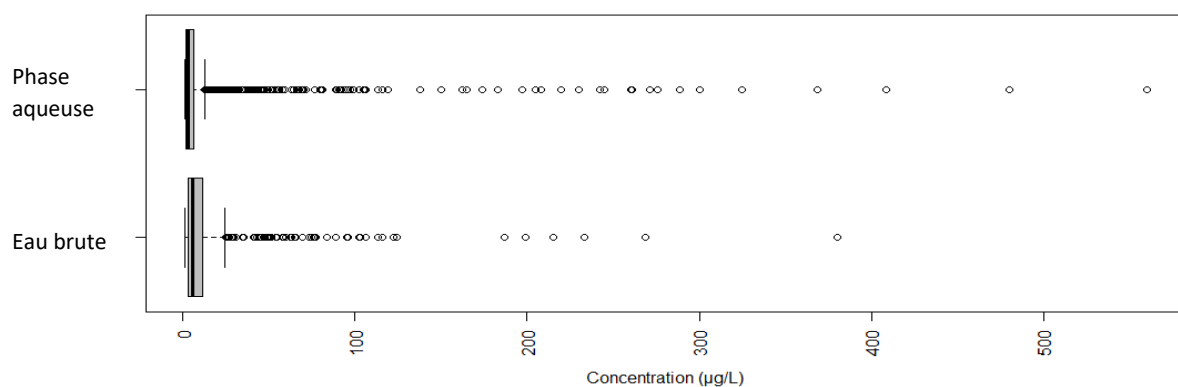


Figure 17.e – Boîtes de concentration du Zinc dans le bassin de la Sarre

Malheureusement, nous n'avons pas réussi à nous procurer les mesures du bassin du Rhin. Nous allons donc nous concentrer sur les autres sous-bassins dont les statistiques sont présentées ci-dessus, car ce sont déjà des données en très grande quantité, pour des contextes très différents donc cela ne nous empêchera pas de mener notre analyse.



Nous avons pu constater grâce à cet aperçu de statistiques que les concentrations en polluants sont plutôt hétérogènes d'un bassin à l'autre. Le bassin de la Chiers semble relativement peu pollué, mis à part quelques concentrations élevées en chrome. Le bassin de la Meurthe semble également épargné par la pollution au chrome, cuivre, nickel et zinc. Nous y trouvons cependant des concentrations en plomb élevées. Le bassin de la Meuse est quant à lui soumis à une pollution au cuivre mais les pollutions au chrome, nickel, plomb et zinc sont plus faibles que celles du bassin Rhin-Meuse entier. Les bassins de la Moselle et de la Sarre semblent présenter des concentrations en polluants plus élevées que les autres sous-bassins. En effet, dans le sous-bassin de la Moselle, nous trouvons les concentrations de cuivre et de nickel les plus élevées. Quant au bassin de la Sarre, Nous y trouvons des maximums de cuivre (eau brute), de plomb (dissous) et des valeurs très élevées de zinc (maximums en eau brute et phase aqueuse).

Enfin, nous nous sommes demandé quelle était la répartition des mesures dont nous disposons entre les différents bassins versants. Voici donc ci-dessous un diagramme représentant les proportions de mesures disponibles dans les différents sous-bassins. Nous y voyons que les mesures sur les paramètres sélectionnés sont très nombreuses, et en particulier dans le bassin de la Moselle. Ce bassin semble donc être très intéressant car il semble bien instrumenté (nous avons ici représenté le nombre total de mesures, mais gardons bien à l'esprit qu'elles sont réparties sur dix ans, et entre de nombreux cours d'eau), et nous y trouvons quelques valeurs de pollution très élevées. Nous allons désormais observer les données en carte, pour confirmer ou infirmer ces tendances statistiques.

Répartition des données sur les paramètres sélectionnés  
dans les différents sous-bassins (2011-2021)

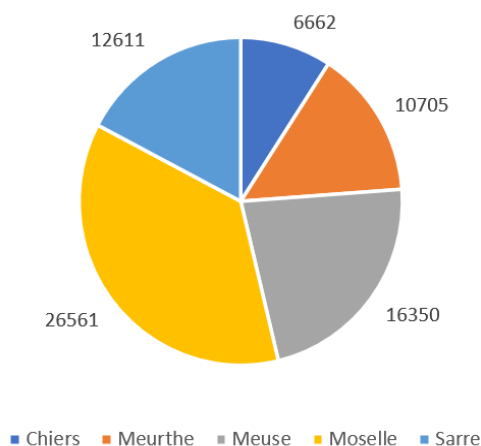


Figure 18 - Quantité de mesures en fonction des sous-bassins pour les cinq polluants étudiés

### 3.4.3. Approche par un Système d'Informations Géographiques

Pour avoir un deuxième aperçu, plus précis du point de vue géographique, nous avons réalisé une étude des pollutions dans le bassin Rhin-Meuse à l'aide du Système d'Informations Géographiques QGIS. Pour ce faire, nous avons représenté les rejets urbains de tout le bassin, ainsi que les rejets urbains par temps de pluie du bassin, c'est-à-dire des valeurs calculées en fonction de la pluviométrie et des rejets estimés, le tout ramené à la surface des communes concernées.

En figure – nous pouvons observer la carte représentant les rejets urbains dans le bassin. La taille des cercles représentant les rejets urbains augmente avec le nombre d'équivalents - habitants. En figure - se trouve la représentation des rejets de surverse par temps de pluie du bassin, c'est-à-dire des valeurs calculées en fonction de la pluviométrie et des rejets estimés, le tout ramené à la surface des communes concernées (la taille des diagrammes dépend également du débit et on remarque que la division est la même pour tous les rejets car le calcul des charges rejetées se base sur des concentrations théoriques fixes où le zinc est majoritaire).

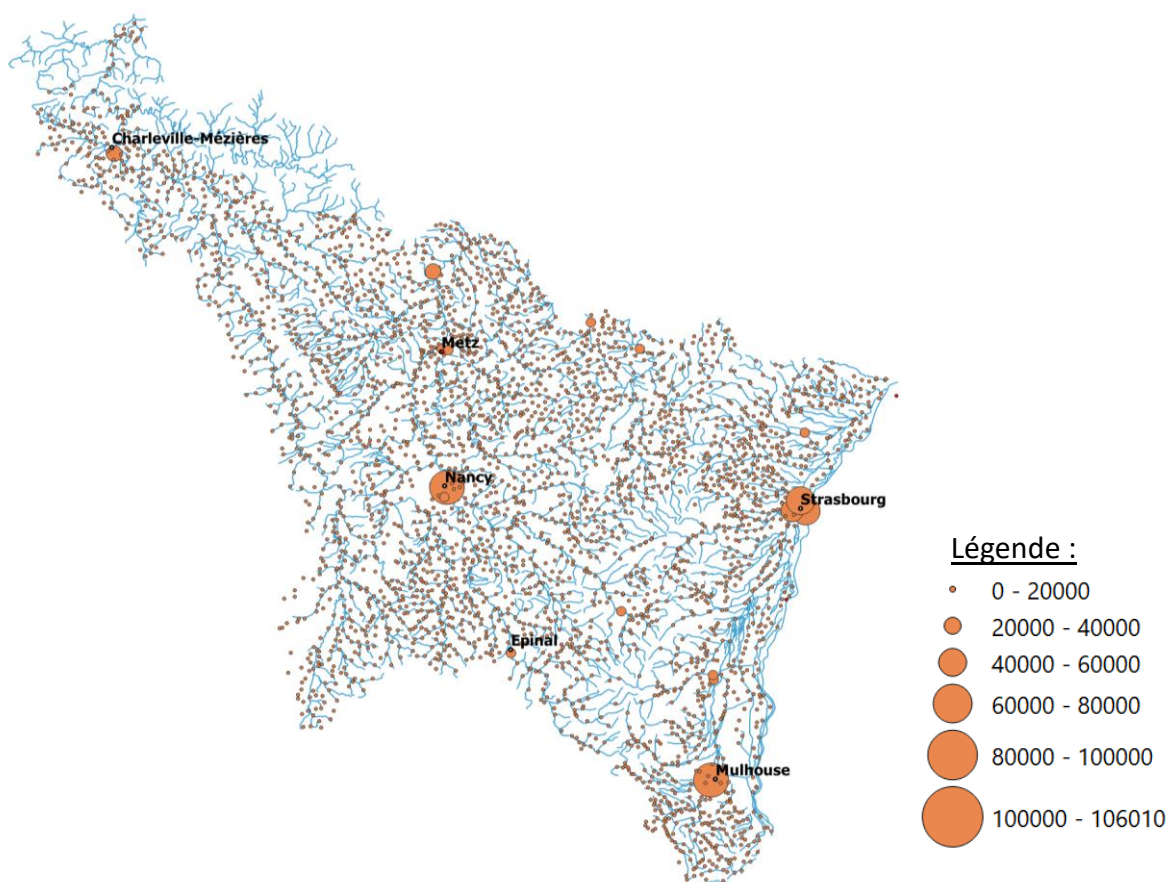


Figure 19 - Aperçu cartographique de la répartition des rejets urbains sur le bassin Rhin-Meuse

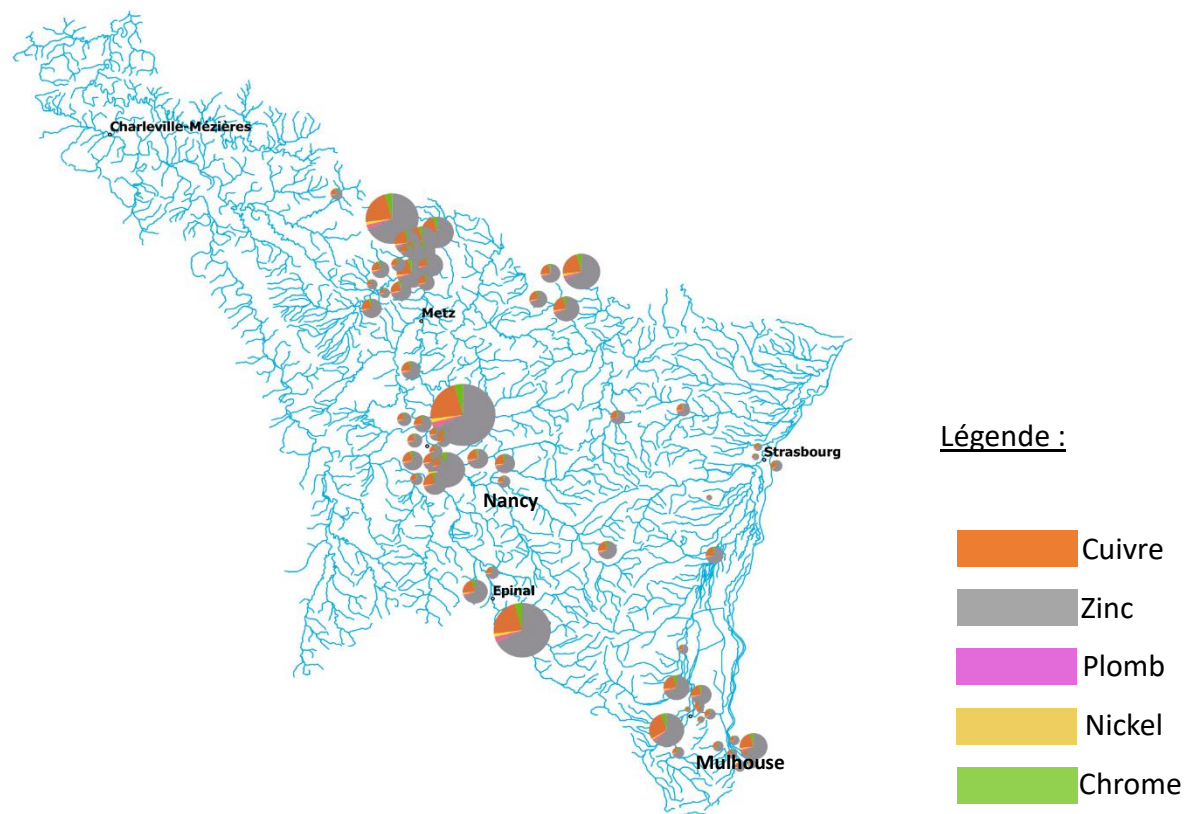


Figure 20 – Aperçu cartographique de la répartition des RUTP dans le bassin Rhin-Meuse

Nous remarquons que les rejets urbains les plus importants sont logiquement regroupés dans les agglomérations principales : Strasbourg, Nancy, Mulhouse, ainsi que Metz et Charleville-Mézières dans une moindre mesure. En ce qui concerne les RUTP, ils sont répartis différemment, les rejets ayant les débits les plus importants sont regroupés autour de Nancy, Mulhouse, Epinal et en aval de Metz. Etant donné que ces rejets sont liés à la pluviométrie, une partie de ces hétérogénéités peut être due à la variété des climats dans le bassin (le climat du plateau lorrain est notamment caractérisé par une pluviométrie importante).

Nous voulions également représenter les rejets industriels et agricoles pour avoir l'aperçu le plus complet des rejets mais nous n'avons malheureusement pas réussi à intégrer les fichiers dans le SIG utilisé. Nous allons donc, pour finir cette partie d'analyse des différents bassins versants, comparer les résultats que nous avons avec l'occupation des sols pour essayer de corréler ces informations. Nous avons donc superposé le réseau hydrographique et la carte d'occupation des sols, ce qui nous permet d'obtenir la figure 21 ci-dessous. Sur celle-ci, nous voyons que :

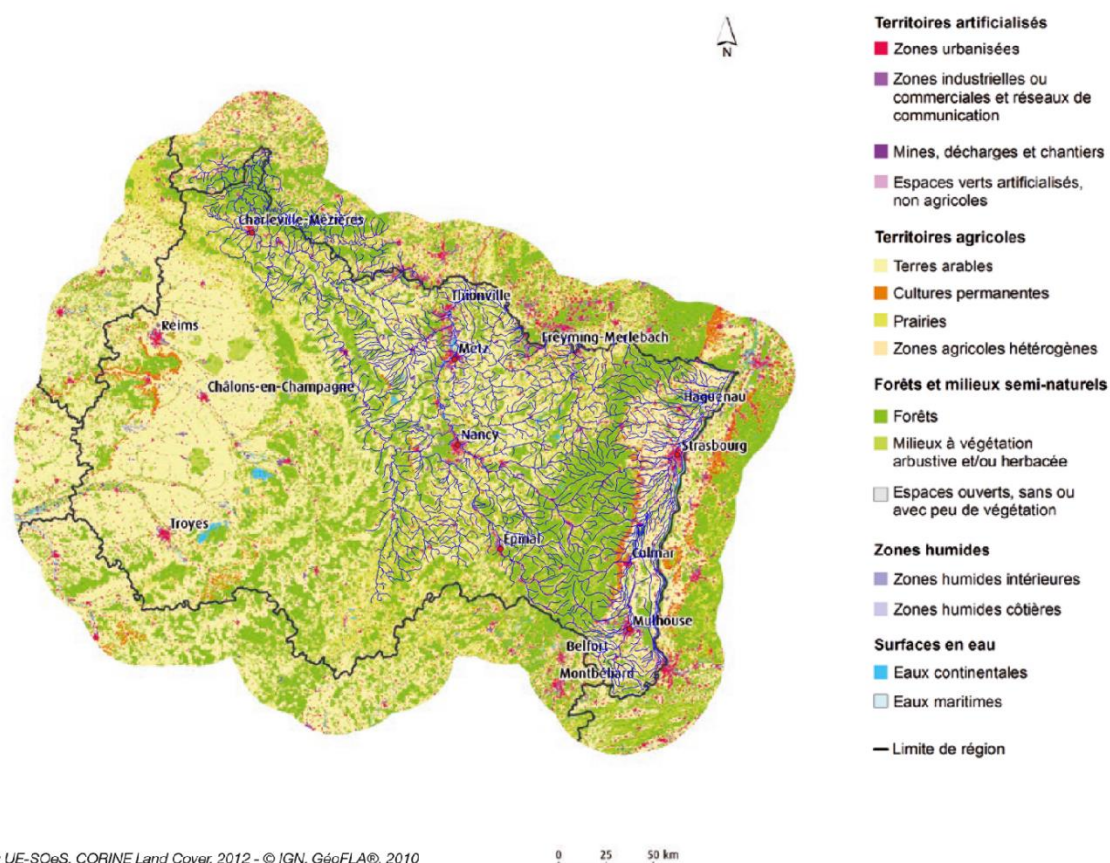


Figure 21 - Réseau hydrographique du bassin Rhin-Meuse superposé à la carte d'occupation des sols

Nous voyons ici que les bassins de la Moselle et du Rhin sont les principaux touchés par les rejets urbains, avec des grandes agglomérations, respectivement Thionville, Nancy, Metz, et Strasbourg, Colmar et Mulhouse. Lorsque l'on regarde la carte d'occupation dans le détail, on remarque que les rejets industriels (difficilement visibles) sont dans les mêmes zones que les rejets urbains. Les espaces dédiés à l'agriculture sont assez répartis dans le bassin et selon la carte ils influencent le bassin du Rhin, de la Moselle et du Rhin. Nous pouvons également observer des espaces forestiers qui sont peut-être relativement épargnés par la pollution : ils sont assez répartis mais une densité de forêt importante se trouve dans les Vosges.

Nous allons désormais utiliser Pégase pour simuler la qualité de l'eau de différents cours d'eau. Notre choix de cours d'eau pour les simulations se fera donc en fonction de l'occupation des sols (nous voulons modéliser des cours d'eau pour lesquels elles sont différentes) et bien entendu en fonction de la quantité de mesures disponibles.

---

## CHAPITRE 4

\*\*\*

### Simulation

---

Dans ce chapitre, nous allons exposer la façon dont les voies d'apports de micropolluants sont prises en compte par Pégase, et en particulier dans le cas de la simulation du bassin Rhin-Meuse. Nous allons également présenter les paramètres utilisés pour les différentes simulations dont les résultats seront présentés et discutés dans les chapitres suivants. Dans la première table de ce chapitre, nous avons regroupé les voies d'apport de micropolluants connues, qui sont recensées par l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques). Nous avons ensuite noté si ces voies d'apport sont modélisables par Pégase, et si elles sont prises en compte dans la modélisation du bassin Rhin-Meuse.

Voies d'apport possibles	Modélisable par Pégase ?	Pris en compte pour le bassin Rhin-Meuse
P1 – Retombées atmosphériques directes sur les eaux de surface	Difficilement	Non
P2 - Erosion	Oui (fonction d'apport des sols pour polluants, apport de sédiments pas pris en compte)	Non
P3 – Ruissellement depuis les terres perméables	Oui (fonction d'apport des sols)	Non
P4 – Les eaux souterraines	Non	Non
P5 – Emissions directes de l'agriculture et dérives de pulvérisation	Oui (élevage pris en compte dans le fichier « Evolutions bovins ») Dérives de pulvérisation non prises en compte	Uniquement élevage
P6 – Le ruissellement depuis les surfaces imperméabilisées	Oui (fonction d'apport des sols)	Oui (fichier Rejets instantanés – RUTP uniquement)

P7 – Déversoirs d'orage et eaux pluviales du système séparatif	Oui (fichier « Rejets instantanés »)	Oui
P8 – Stations de traitement des eaux usées collectives	Oui (fichier des Stations d'épuration)	Oui
P9 – Eaux usées des ménages non raccordés	Oui (fichier « Rejets urbains »)	Oui
P10 – Emissions industrielles	Oui (fichier « Rejets industriels polluants »)	Oui
P11 – Emissions directes de mines abandonnées	Non	Non
P12 – Emissions directes de la navigation intérieure / fluviale	Non	Non
P13 – Fond géochimique	Non (fonction d'apport des sols)	Non

Table 9 – Tableau récapitulatif des voies d'apport de micropolluants connues et de leur prise en compte

Notons que la fonction d'apport des sols de Pégase prend en compte un nombre limité de paramètres. En annexe se trouve la liste complète des éléments pris en compte dans celle-ci. Parmi les paramètres que nous étudions, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc sont modélisés par Pégase. Le Chrome quant à lui n'est pas pris en compte.

Voici ci-dessous un tableau concernant les paramètres d'épuration des rejets :

Nombre total de STEP	Taux de raccordement	Taux de collecte	Taux d'abattement en STEP				
			Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1032	Varie de 0 à 0,95	1	0.47	0.77	0.45	0.66	0.61

Table 10 – Tableau récapitulatif des paramètres d'épuration des rejets

Nous avons recensé dans le tableau ci-dessus les paramètres de rejets qui sont pris en compte pour les simulations. Les taux d'abattement ne changent pas d'une simulation à l'autre et sont déterminés grâce à des études impliquant des campagnes de mesure et la compréhension du



comportement des micropolluants. Nous remarquons que le taux de raccordement varie en fonction des communes (quand il est égal à 0, il s'agit en général d'assainissement autonome), mais le taux de collecte est invariablement égal à 1 dans les fichiers de paramètres, ce qui semble optimiste. Nous voyons enfin le taux d'abattement moyen des paramètres que nous étudions. Ces taux sont assez faibles, en particulier en ce qui concerne le chrome et le nickel, mais cela semble crédible car, comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, les taux d'abattement des métaux lourds sont faibles dans les stations d'épuration.

Nous voyons dans le tableau ci-dessous les valeurs associées aux rejets des équivalents habitants et d'élevage au niveau des métaux lourds. Ces valeurs sont donc des estimations de rejets pour le bassin étudié. Elles ne changent pas d'une simulation à l'autre.

	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Rejets associés à un équivalent habitant	4.4 mg/j	21.2 mg/j	1.58 mg/j	2.76 mg/j	0.052 mg/j
Rejets associés à une unité de gros bétail de prairie	15 mg/j	40 mg/j	20 mg/j	20 mg/j	400 mg/j
Rejets associés à une unité de gros bétail en étable	15 mg/j	247 mg/j	20 mg/j	20 mg/j	400 mg/j

Table 11 – Rejets en métaux lourds associés aux équivalents habitants et bovins

Les rejets de bétail en prairie et en étable font l'objet d'alternances saisonnières (les bovins sont en étable l'hiver) et cela a été pris en compte dans la modélisation. Nous remarquons une différence de rejet entre ces deux périodes au niveau du cuivre.

Dans le bassin nous comptons au total 4393755 équivalents habitants répartis dans différentes communes qui comptent entre 0 et 106010 équivalents habitants.

Voici dans le tableau suivant un récapitulatif des simulations qui ont été effectuées, avec les différents rejets pris en compte ou non dans chaque simulation.

Simulation de base (1)					
Prise en compte des rejets industriels	Prise en compte des rejets urbains	Prise en compte des rejets issus de l'agriculture	Prise en compte des rejets instantanés (RUTP)	Fonction d'apport des sols	Abattement
Oui	Oui	Oui	Oui	Nulle	Théorique
Simulation par temps sec (2)					
Prise en compte des rejets industriels	Prise en compte des rejets urbains	Prise en compte des rejets issus de l'agriculture	Prise en compte des rejets instantanés (RUTP)	Fonction d'apport des sols	Abattement
Oui	Oui	Oui	Non	Nulle	Théorique
Simulation sans rejets agricoles (3)					
Prise en compte des rejets industriels	Prise en compte des rejets urbains	Prise en compte des rejets issus de l'agriculture	Prise en compte des rejets instantanés (RUTP)	Fonction d'apport des sols	Abattement
Oui	Oui	Non	Oui	Nulle	Théorique
Simulation sans rejets urbains (4)					
Prise en compte des rejets industriels	Prise en compte des rejets urbains	Prise en compte des rejets issus de l'agriculture	Prise en compte des rejets instantanés (RUTP)	Fonction d'apport des sols	Abattement
Oui	Non	Oui	Oui	Nulle	Théorique
Simulation sans rejets industriels (5)					
Prise en compte des rejets industriels	Prise en compte des rejets urbains	Prise en compte des rejets issus de l'agriculture	Prise en compte des rejets instantanés (RUTP)	Fonction d'apport des sols	Abattement
Non	Oui	Oui	Oui	Nulle	Théorique

Table12 – Tableau récapitulatif des paramètres de rejets en entrée des simulations effectuées



Toutes les simulations qui seront présentées ensuite ont été réalisées sur l'année 2016 car c'est l'année pour laquelle nous disposons de données hydrométéorologiques.

Nous avons réalisé des simulations sur différents ensembles de cours d'eau choisis selon certains critères. Tout au long des modélisations, nous avons en priorité cherché les cours d'eau pour lesquels nous disposons de mesures afin de pouvoir les comparer à la réalité. Bien que certains cours d'eau présentent de nombreuses stations de mesure le long de leur tracé, nous nous sommes vite rendu compte que nous disposions d'assez peu de mesures pour l'année modélisée, probablement car les stations n'étaient plus, ou pas encore actives en 2016. Nous avons donc cherché manuellement les cours d'eau avec le plus de mesures disponibles.

Nous avons simulé des cours d'eau ayant différentes occupations du sol pour comparer la réponse du modèle dans différents contextes et potentiellement déterminer si certains rejets sont mieux pris en compte que d'autres. Nous avons également réalisé des modélisations dans d'autres cours d'eau moins pollués pour pouvoir comparer les résultats en fonction des différentes occupations des sols.

Enfin, le débit a aussi été un critère pour nous car les fleuves ayant un débit trop important (comme la Moselle par exemple) noient l'information dans certains cas, comme nous allons le voir, et nous avons donc fait attention de modéliser des cours d'eau avec des débits plus faibles également, pour avoir des signaux clairs.

Enfin, notons que Pégase permet de représenter les résultats de simulation avec des statistiques. Nous avons utilisé les maximums car nous avons voulu voir les prédictions de simulation les plus élevées (étant donné que les seuils législatifs présentés plus haut sont les concentrations maximales admissibles) et nous les avons superposés aux mesures brutes pour avoir toutes les mesures disponibles.

---

## CHAPITRE 5

\*\*\*

### Résultats et discussion

---

Dans ce chapitre nous allons présenter et interpréter nos résultats de simulation les plus parlants. Ayant réalisé de nombreuses simulations sur de nombreux cours d'eau, il serait impossible d'exposer ici tous les résultats obtenus, mais nous les avons joints en annexe.

#### *5.1. Simulation de base*

Dans un premier temps, nous allons observer les réactions du modèle avec la simulation de base uniquement, pour différentes occupations des sols. Ainsi, cela nous fournira un premier aperçu des résultats, de la proximité entre mesures et résultat de modélisation pour les paramètres étudiés. Nous avons sélectionné deux cours d'eau, la Moselle et la Seille, l'un de ses affluents, pour lesquels nous disposons de plusieurs mesures. Voici leurs profils longitudinaux :

- Profils longitudinaux de la Moselle :

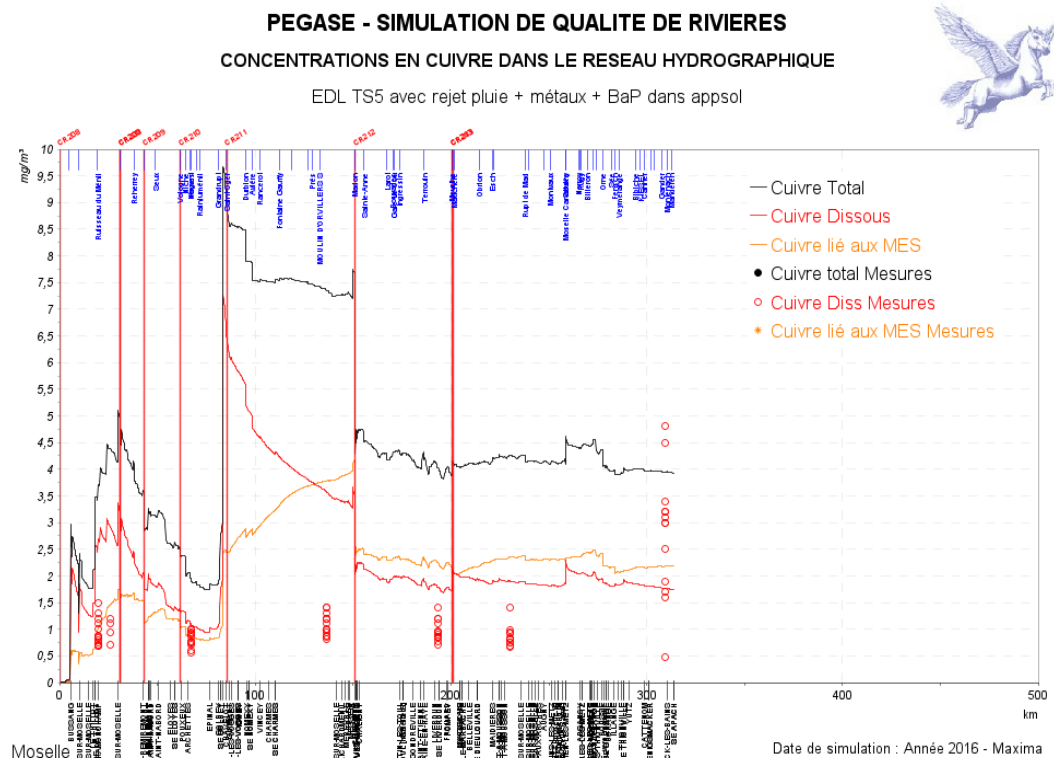


Figure 22.a - Profil longitudinal de la Moselle pour le Cuivre dans la simulation 1

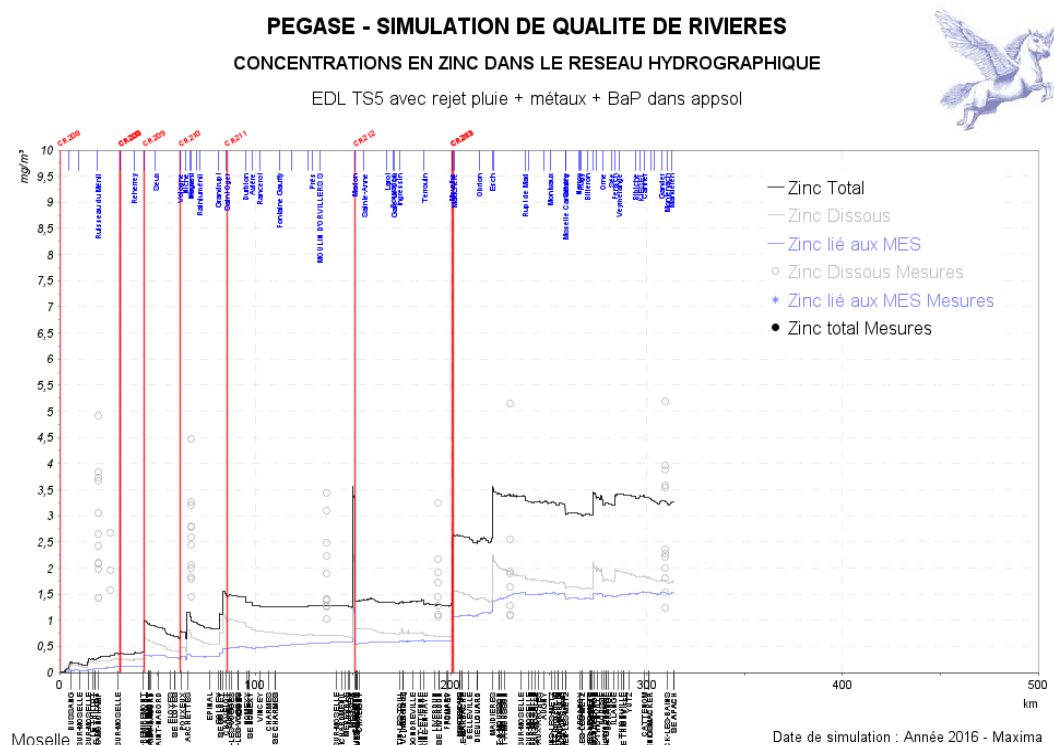


Figure 22.b - Profil longitudinal de la Moselle pour le Zinc dans la simulation 1

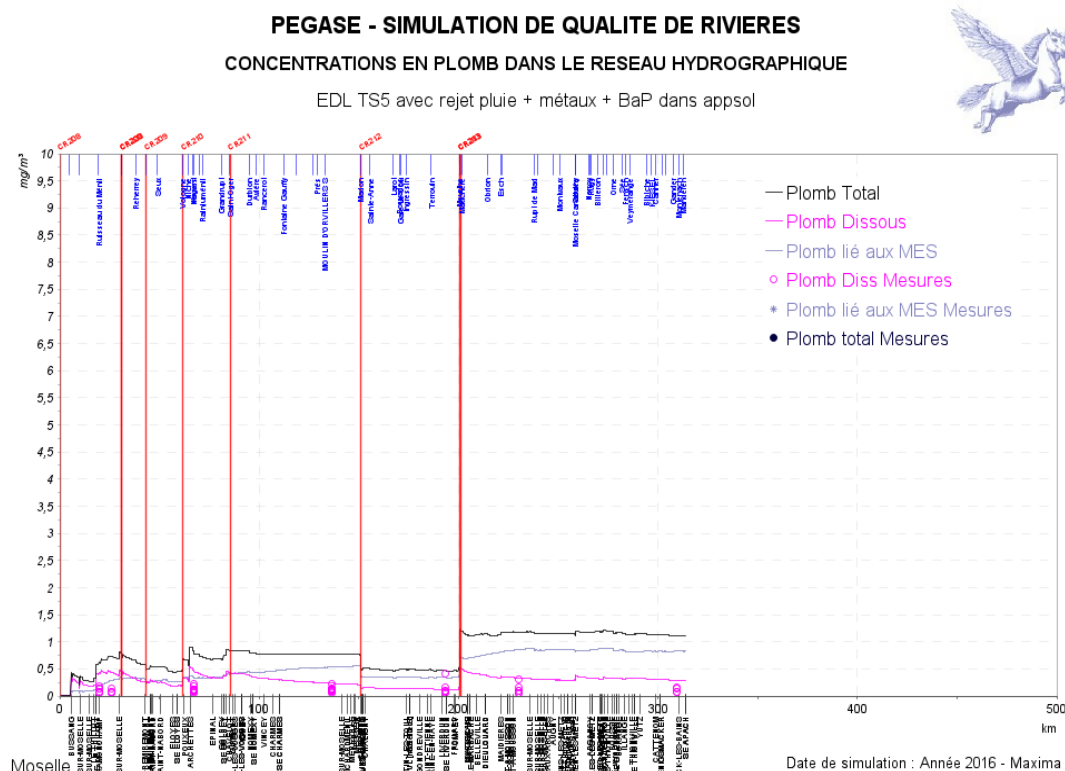


Figure 22.c - Profil longitudinal de la Moselle pour le Plomb dans la simulation 1

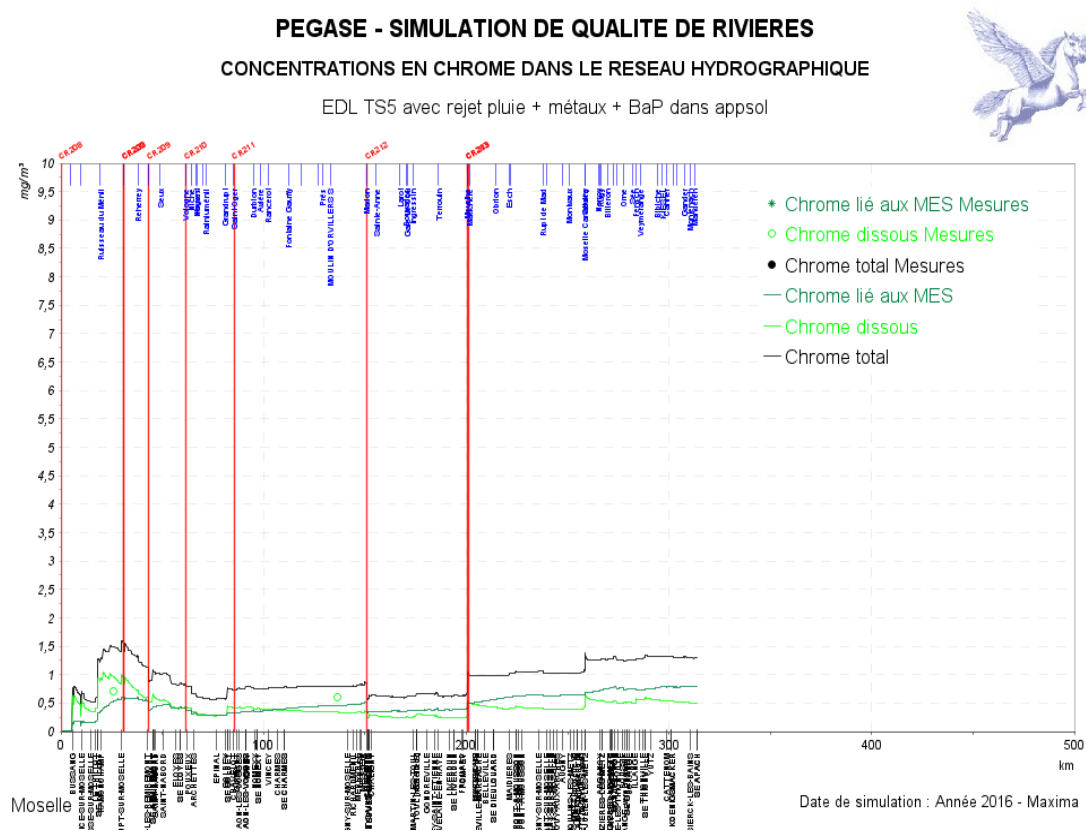


Figure 22.d - Profil longitudinal de la Moselle pour le Chrome dans la simulation 1

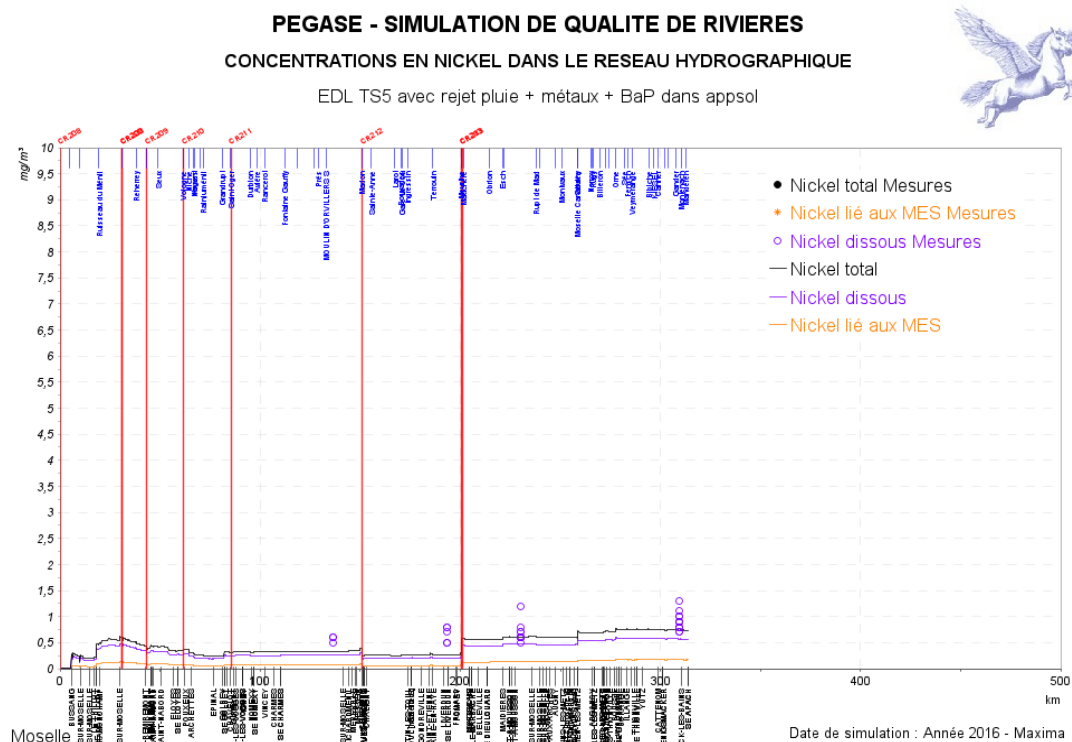


Figure 22.e - Profil longitudinal de la Moselle pour le Nickel dans la simulation 1

- Profils longitudinaux de la Seille :

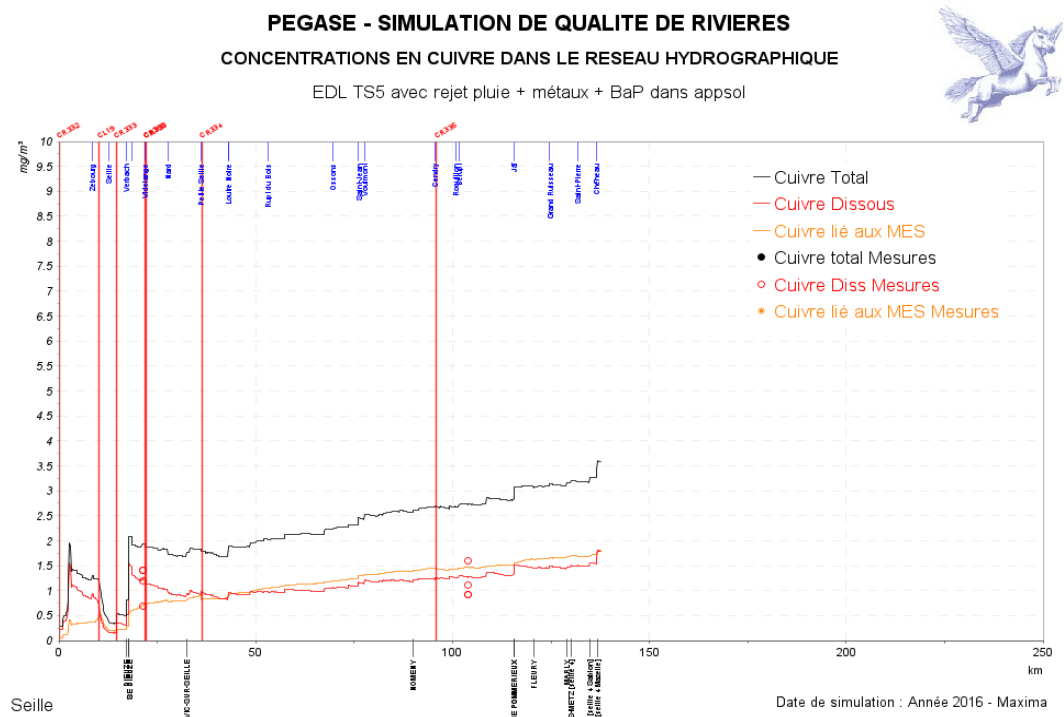


Figure 23.a - Profil longitudinal de la Seille pour le Cuivre dans la simulation 1

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN ZINC DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

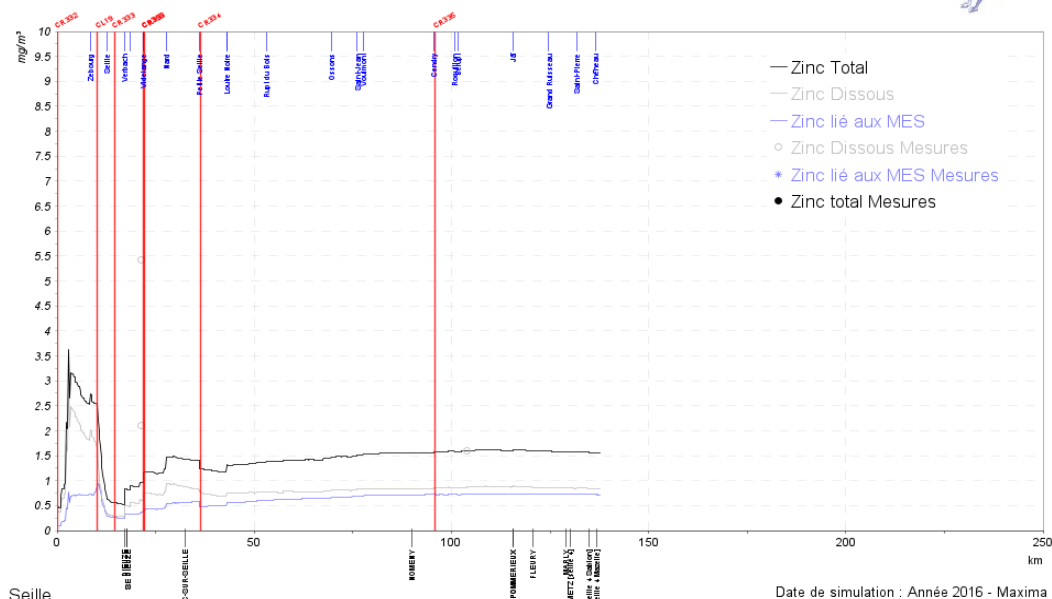


Figure 23.b - Profil longitudinal de la Seine pour le Zinc dans la simulation 1

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

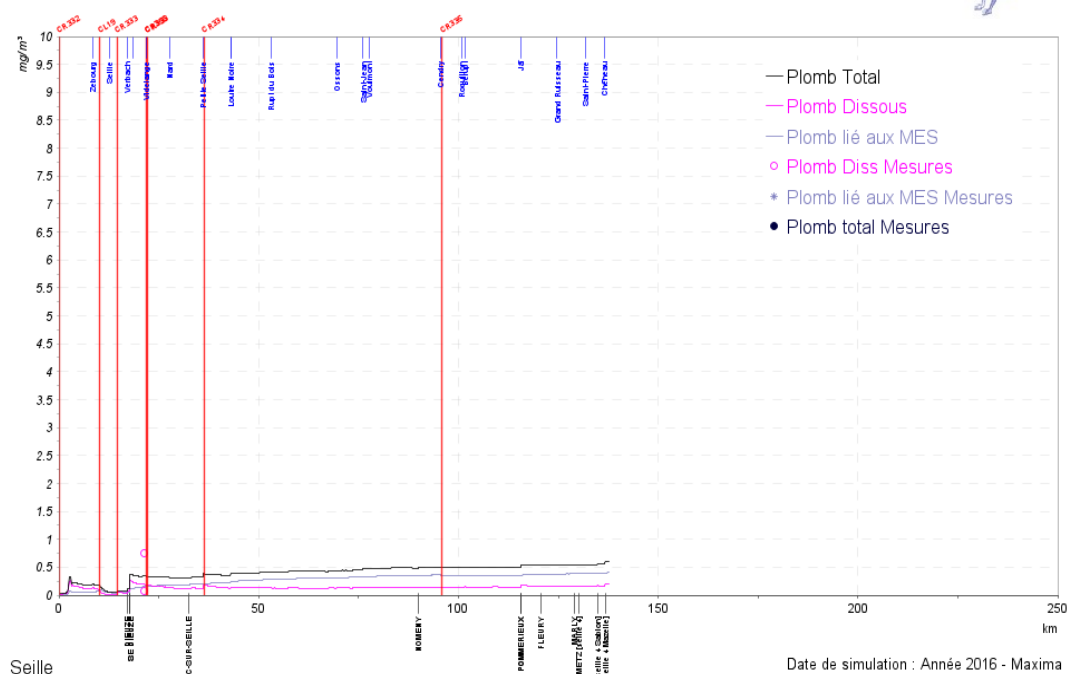


Figure 23.c - Profil longitudinal de la Seine pour le Plomb dans la simulation 1

## PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES

### CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

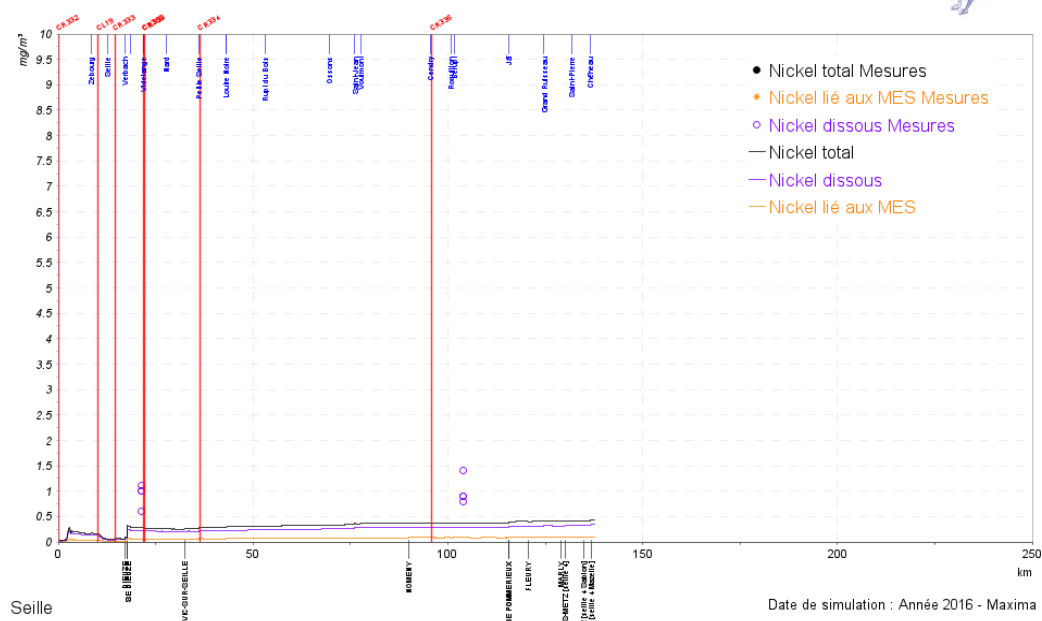


Figure 23.d - Profil longitudinal de la Seille pour le Nickel dans la simulation 1

Nous pouvons observer que certaines mesures sont proches des résultats de simulation, pour le plomb et le chrome notamment. Nous voyons que certaines mesures s'éloignent plus des résultats de simulation, le zinc semble notamment sous-estimé dans la Moselle, et les mesures du cuivre dans la Moselle s'éloignent aussi des résultats de la simulation.

Nous allons désormais présenter les résultats des autres simulations explicitées dans la table résumant les simulations au chapitre précédent. Nous allons donc pouvoir observer comment évoluent les résultats du modèle lorsque que les données présentes en entrée changent et ainsi tenter de comprendre les impacts des rejets dans la modélisation.

## 5.2. Simulation avec et sans RUTP

Nous présentons ici les résultats pour l'Orne et la Moselle, qui ont des débits très différents. Tout au long de cette analyse comparative, la simulation de base sera représentée par des lignes continues, tandis que les autres simulations utilisées pour les comparaisons seront représentées par des lignes pointillées.

- Profils longitudinaux de la Moselle

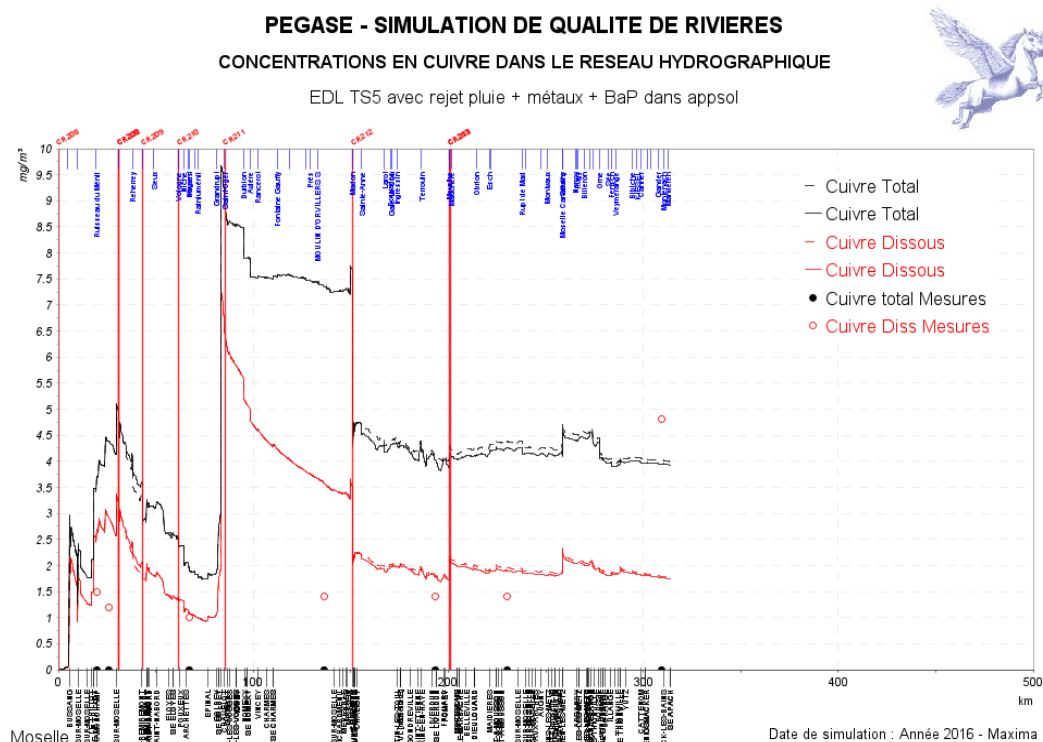


Figure 24.a - Profil longitudinal de la Moselle pour le Cuivre dans la simulation 2

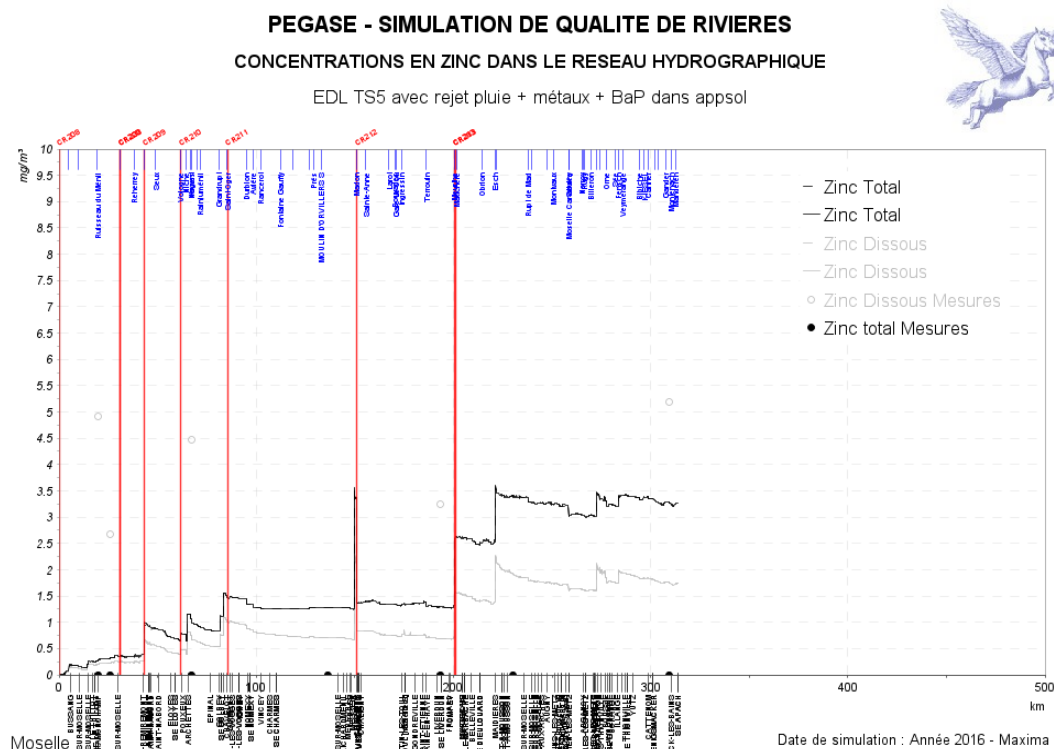


Figure 24.b - Profil longitudinal de la Moselle pour le Zinc dans la simulation 2



# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

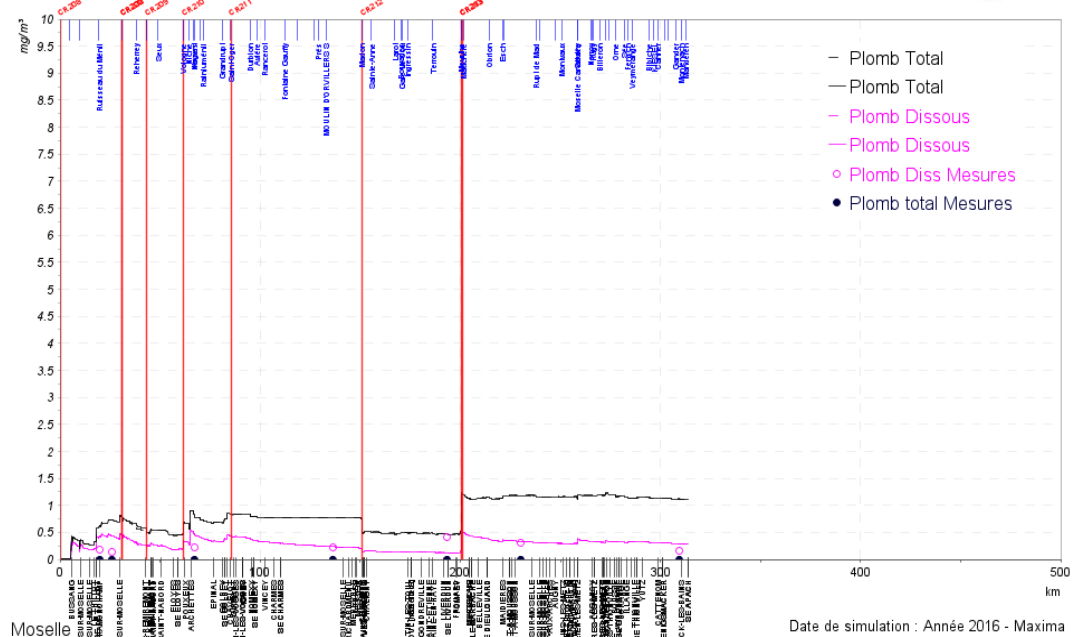


Figure 24.c - Profil longitudinal de la Moselle pour le Plomb dans la simulation 2

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN CHROME DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

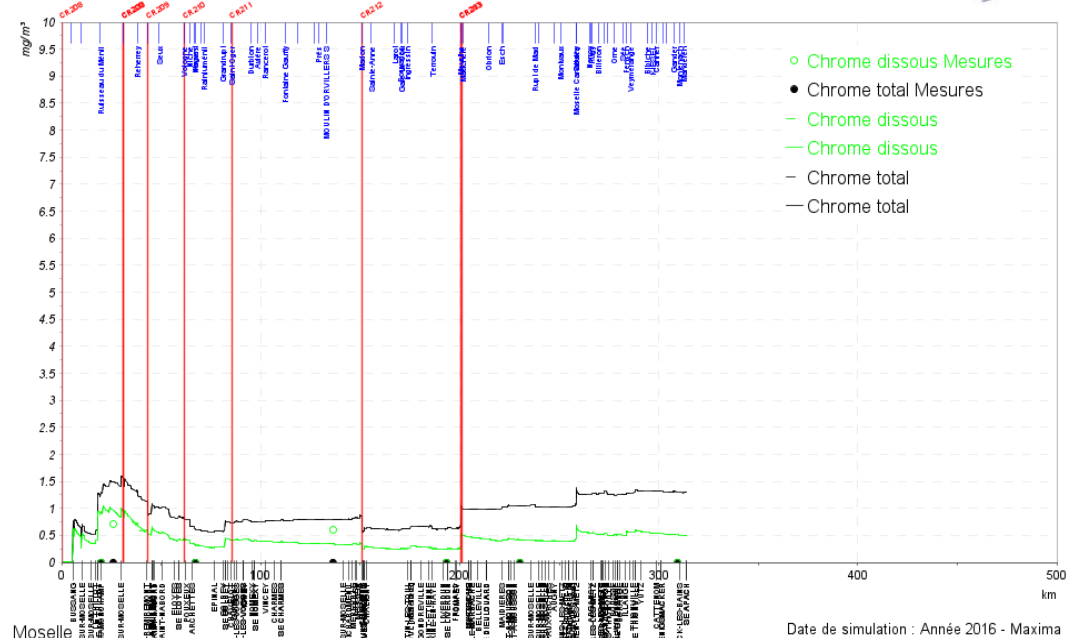


Figure 24.d - Profil longitudinal de la Moselle pour le Chrome dans la simulation 2

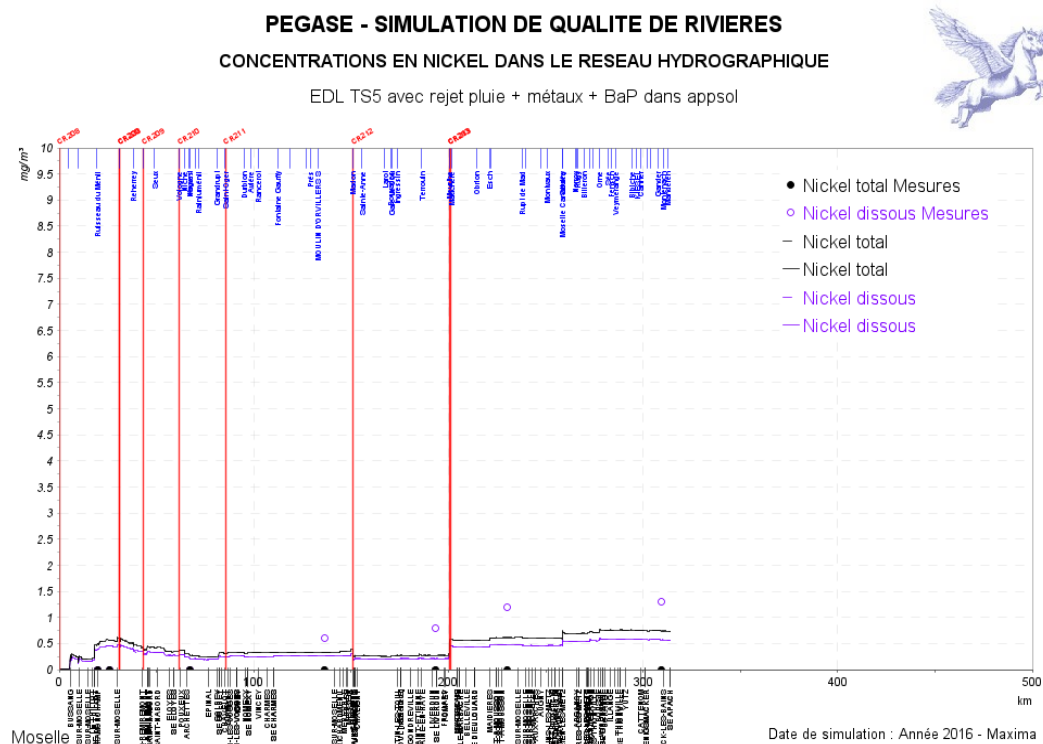


Figure 24.e - Profil longitudinal de la Moselle pour le Nickel dans la simulation 2

- Profils longitudinaux de l'Orne

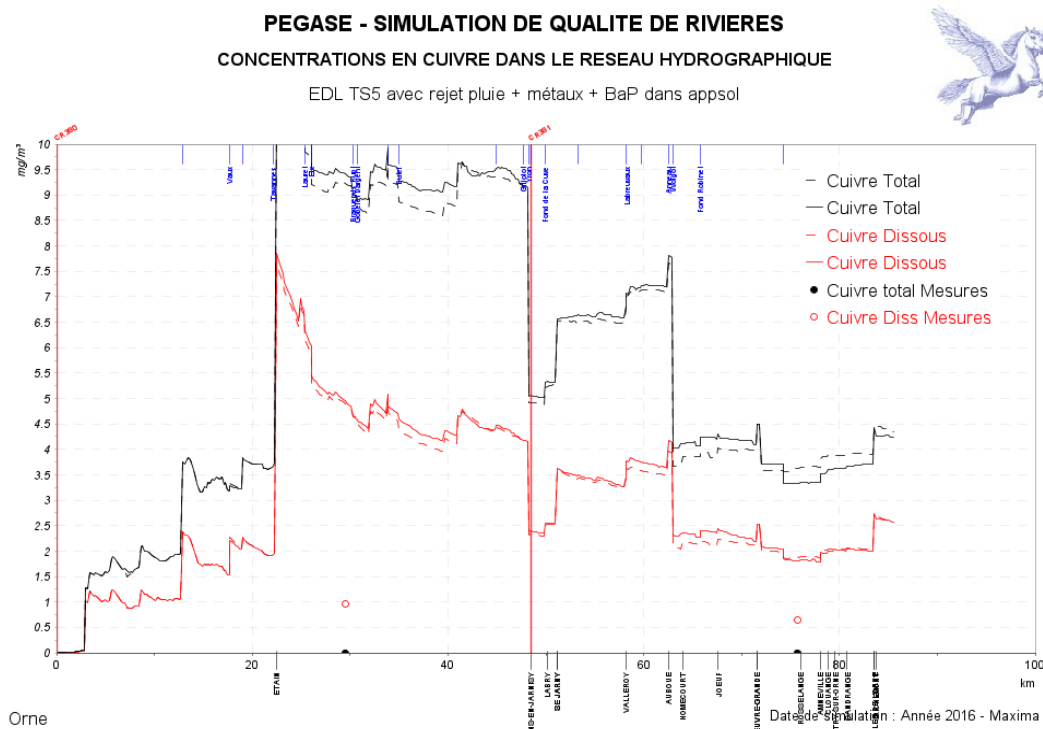


Figure 25.a - Profil longitudinal de l'Orne pour le Cuivre dans la simulation 2

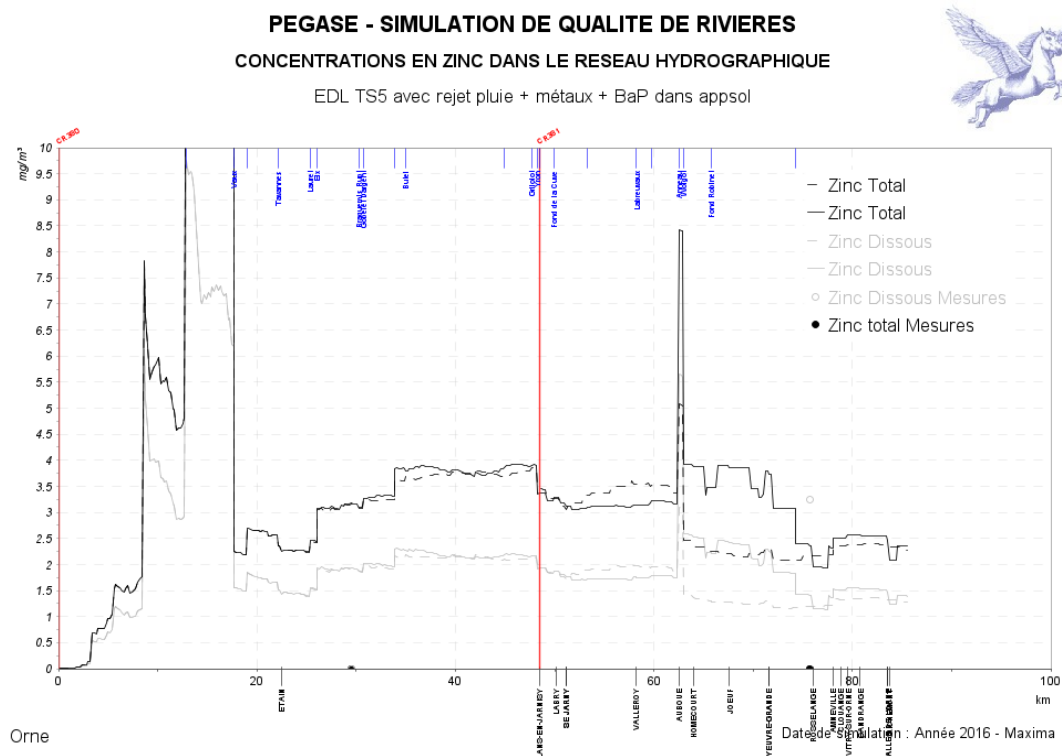


Figure 25.b - Profil longitudinal de l'Orne pour le Zinc dans la simulation 2

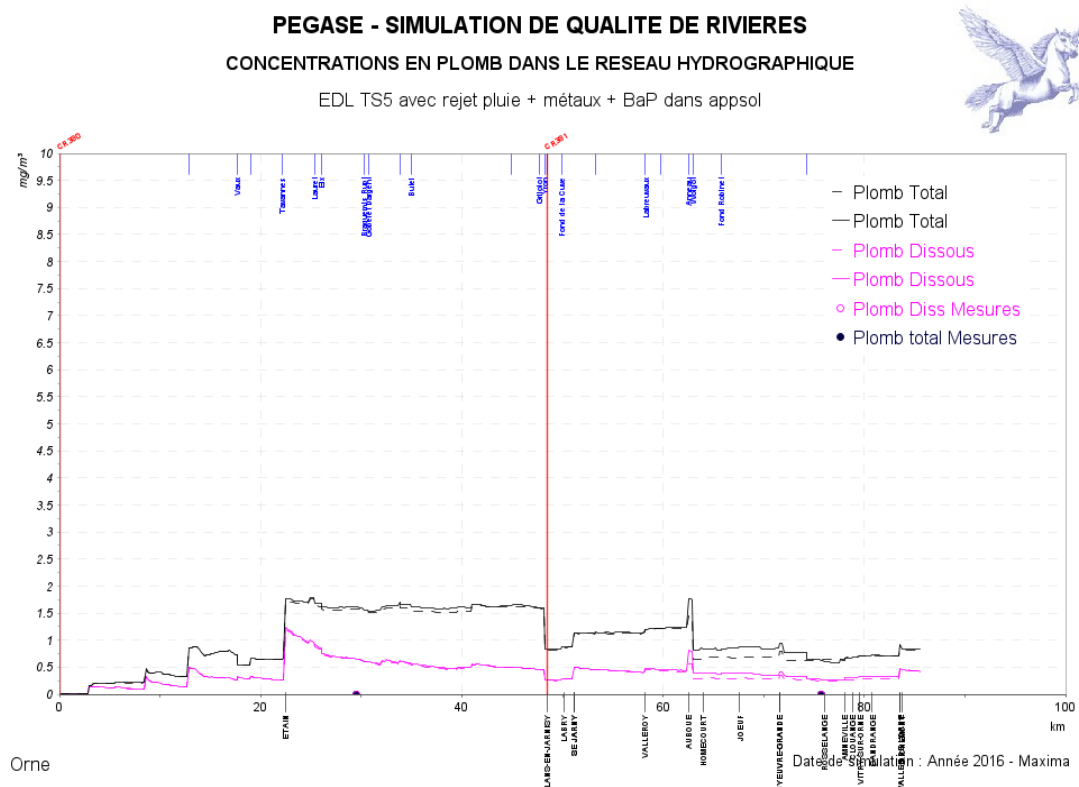


Figure 25.c - Profil longitudinal de l'Orne pour le Plomb dans la simulation 2

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN CHROME DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

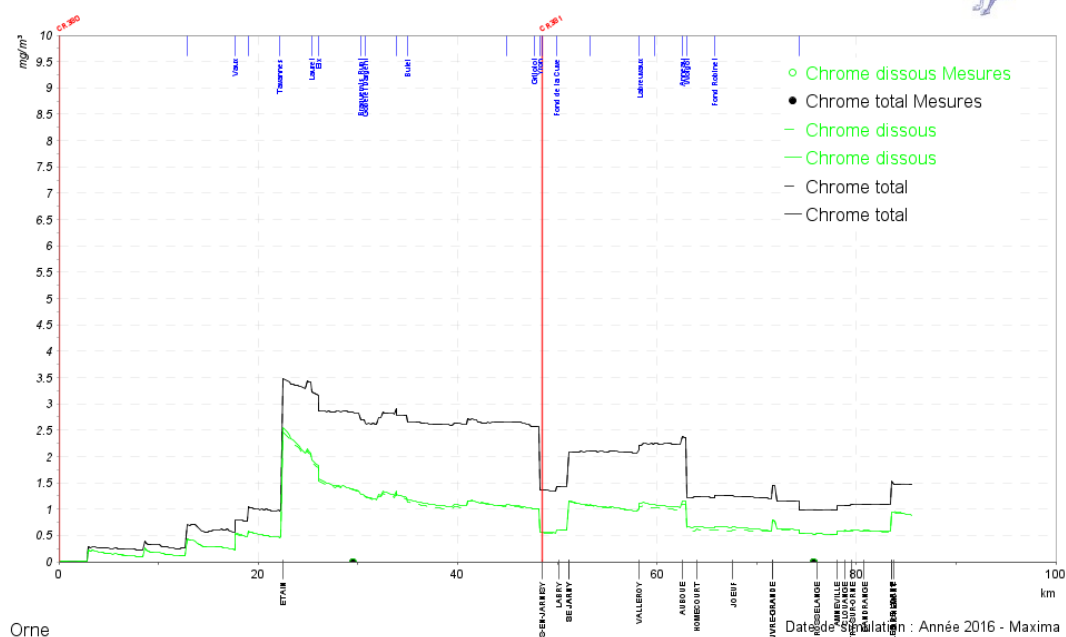


Figure 25.d - Profil longitudinal de l'Orne pour le Chrome dans la simulation 2

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

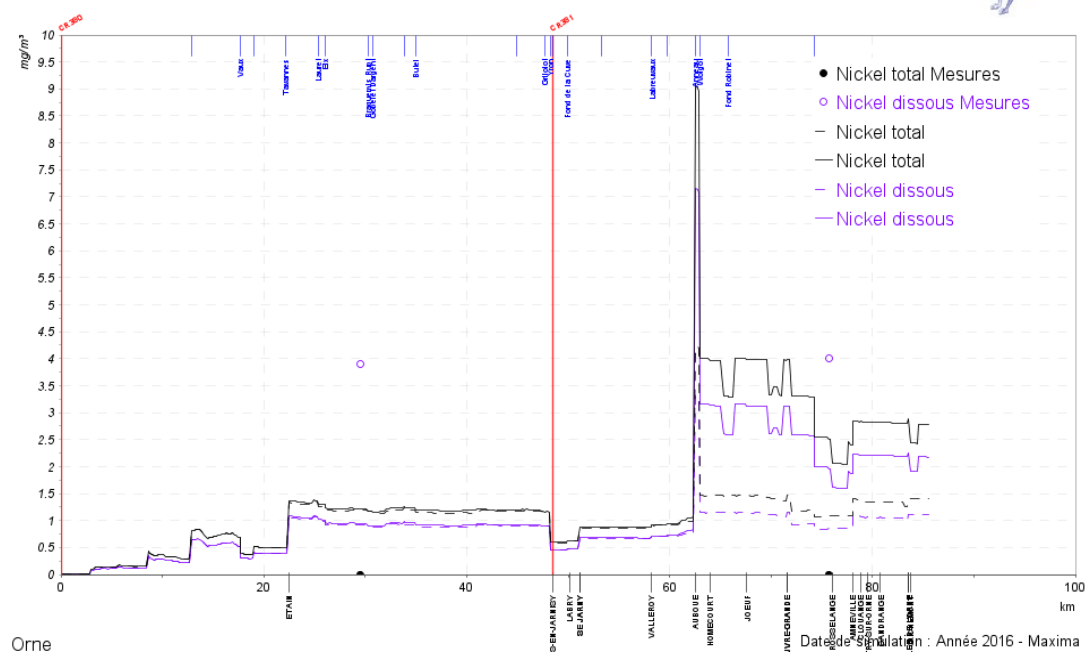


Figure 25.e - Profil longitudinal de l'Orne pour le Nickel dans la simulation 2

Nous avons ici choisi de présenter ces deux cours d'eau car leur débit est très différent et l'influence du RUTP sur les résultats dépend grandement du débit. Les effets des RUTP peuvent être atténués dans les cours d'eau à débit élevé comme la Moselle. En effet, son débit moyen est de 150 m<sup>3</sup>/s, ce qui est très important. La différence entre simulation par temps sec et simulation de base est plus visible dans les cours d'eau de petit débit, comme l'Orne, dont le débit moyen est de 12,4 m<sup>3</sup>/s.

Les rejets urbains par temps de pluie peuvent avoir deux types d'effets sur la qualité de l'eau : soit leur volume est important et leur concentration en polluants est faible ce qui dissout la pollution, soit leur concentration en polluant est élevée et alors la concentration des polluants augmente. Nous avons constaté une légère augmentation de la concentration en pollution du cuivre en aval de la Moselle, et aucune différence. Le long de l'Orne, nous pouvons remarquer des différences plus visibles, en particulier : dilution de la pollution du cuivre, augmentation de la concentration et dilution (aval) en zinc, et dilution de la pollution de nickel.

### 5.3. *Simulation avec et sans Rejets industriels.*

Grâce à la carte d'occupation des sols, nous avons pu identifier différents cours d'eau influencés pas les rejets industriels dont la Moselle, la Meurthe, l'Orne ainsi que la Nied Allemande. Nous avons ici choisi de représenter la Meurthe. Nous allons donc observer la différence entre ces deux simulations.

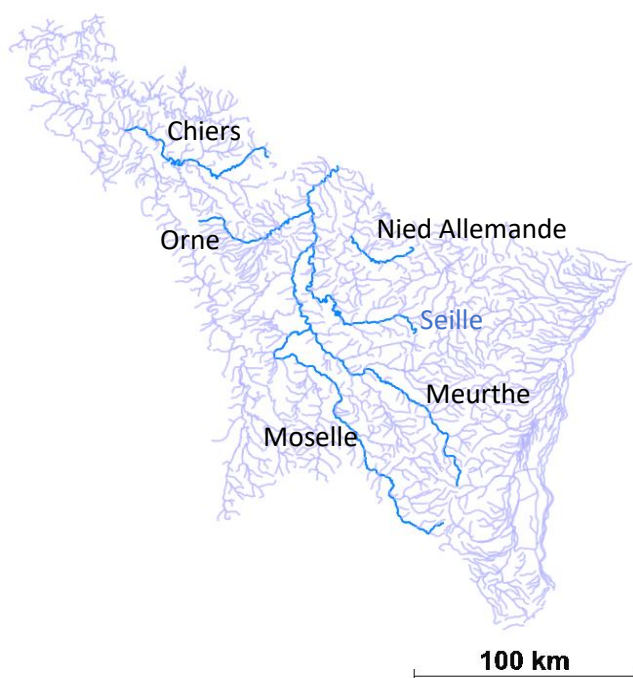


Figure 26 – Cours d'eau influencés par des rejets industriels, ainsi que la Seille modélisée en tant que cours d'eau neutre

Nous avons également identifié la Seille comme étant un cours d'eau assez peu influencé par les apports industriels (à première vue, en se basant sur la carte d'occupation des sols, et selon les recommandations de l'Agence de bassin). Nous allons ainsi observer la différence entre les deux simulations sur ce cours d'eau également, ce qui va nous permettre de voir quelles sont les pressions principales sur ces cours d'eau. Sur la figure 27 ci-dessus, nous voyons les cours d'eau influencés par les rejets industriels, ainsi que la Seille.

- Profils longitudinaux sur la Meurthe

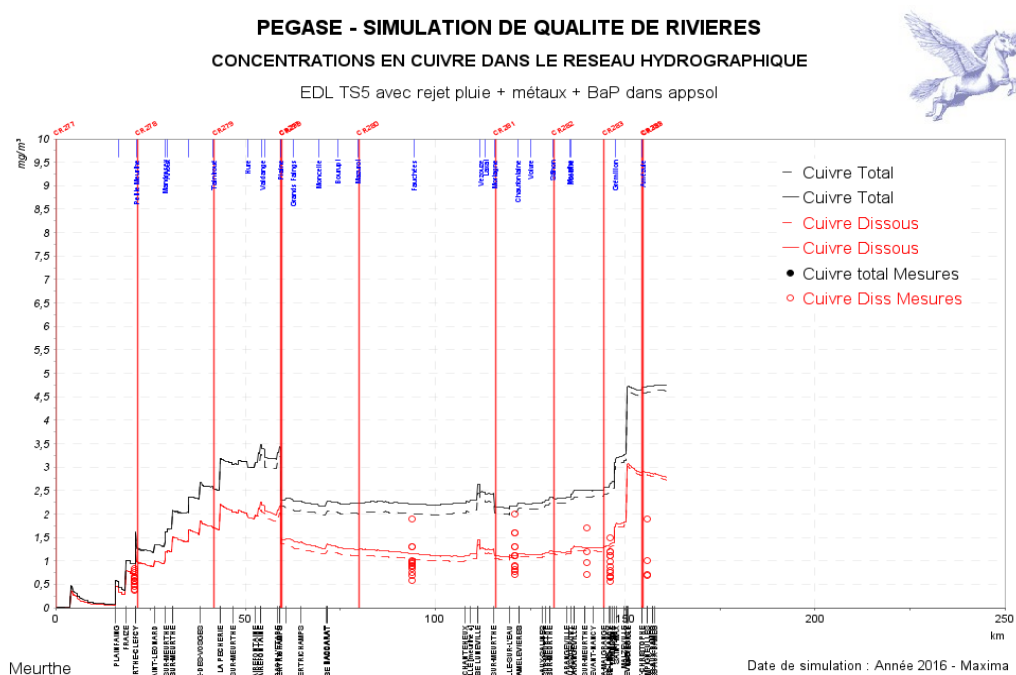


Figure 27.a - Profil longitudinal de la Meurthe pour le Cuivre dans la simulation 3

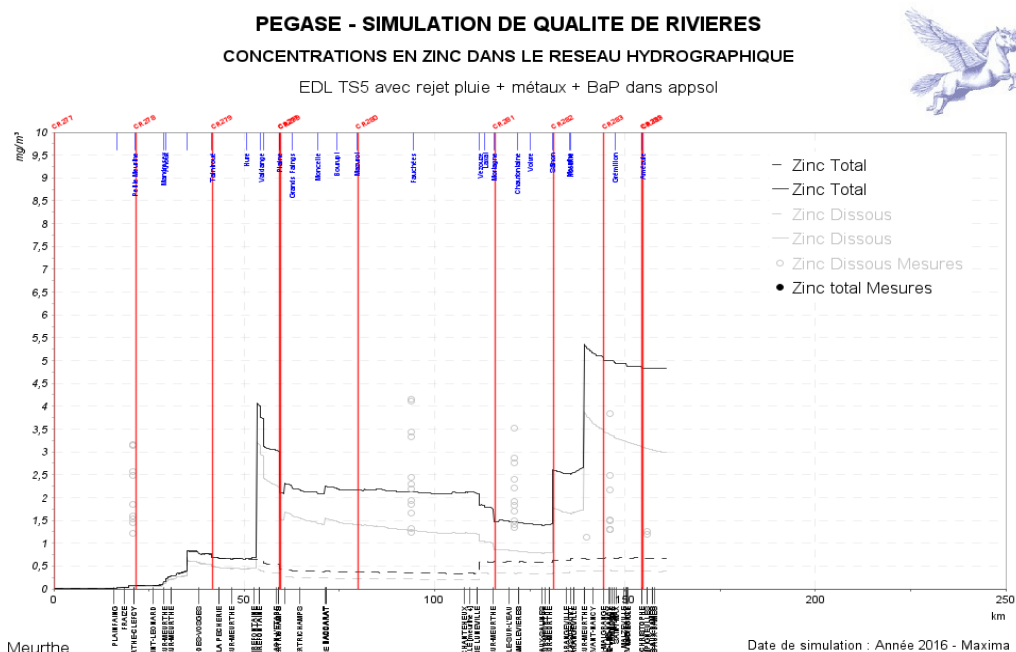


Figure 27.b - Profil longitudinal de la Meurthe pour le Cuivre dans la simulation 3

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

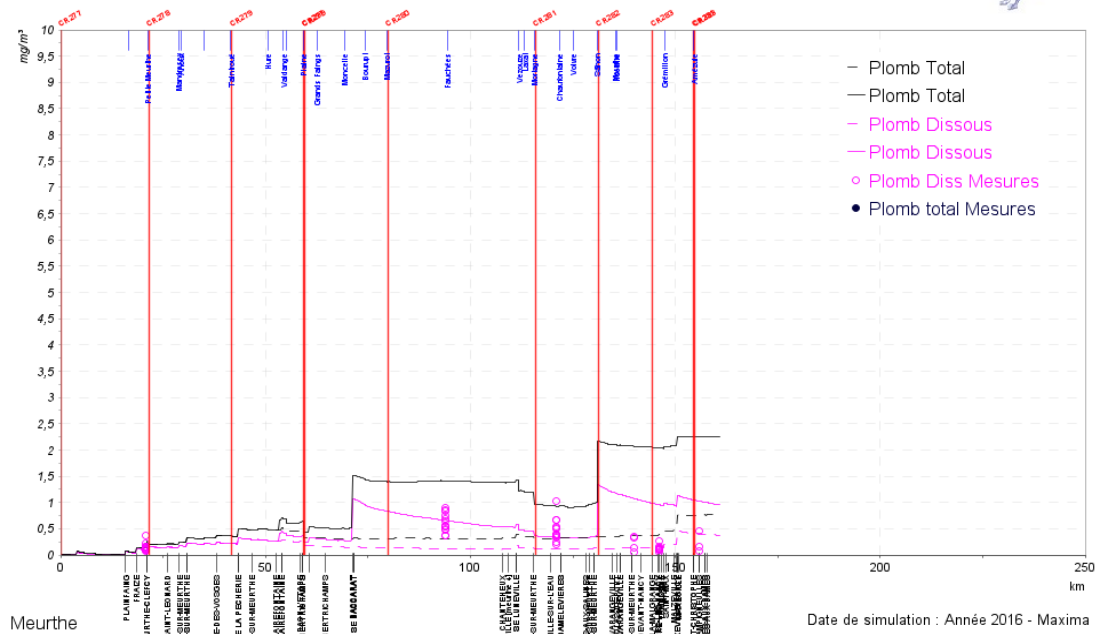


Figure 27.c - Profil longitudinal de la Meurthe pour le Plomb dans la simulation 3

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN CHROME DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

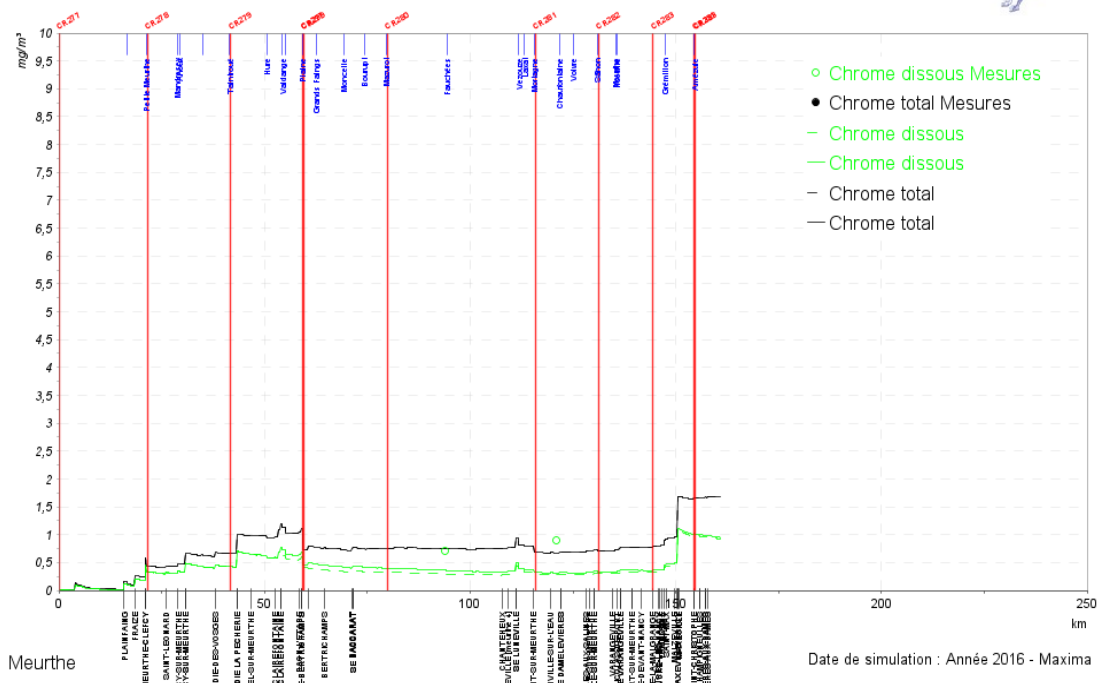


Figure 27.d - Profil longitudinal de la Meurthe pour le Chrome dans la simulation 3

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

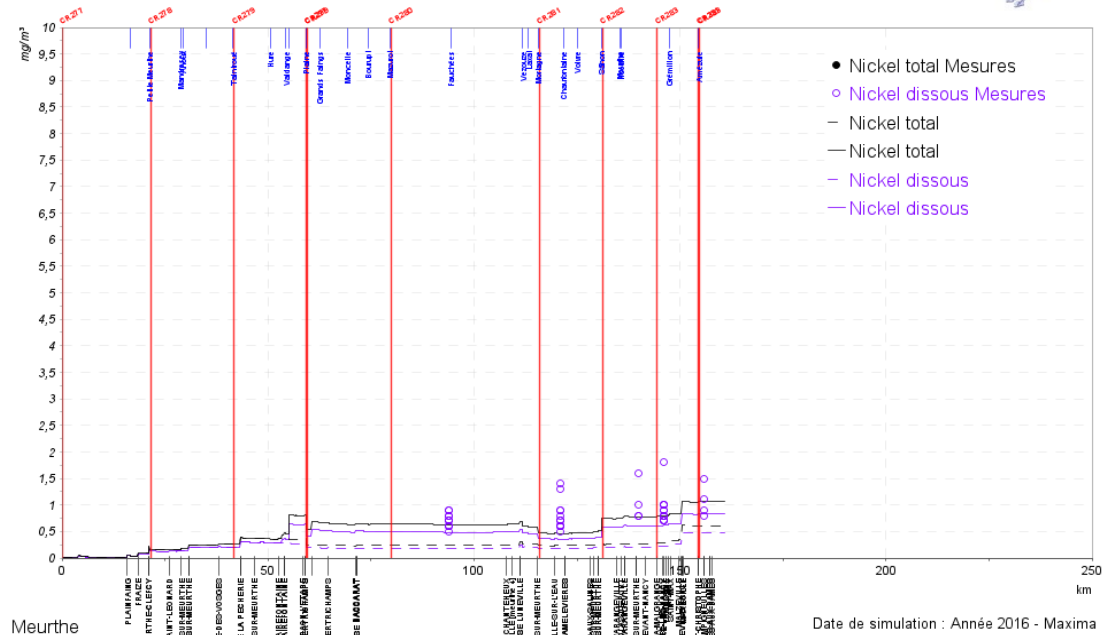


Figure 27.e - Profil longitudinal de la Meurthe pour le Nickel dans la simulation 3

- Profils longitudinaux sur la Seille

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN CUIVRE DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

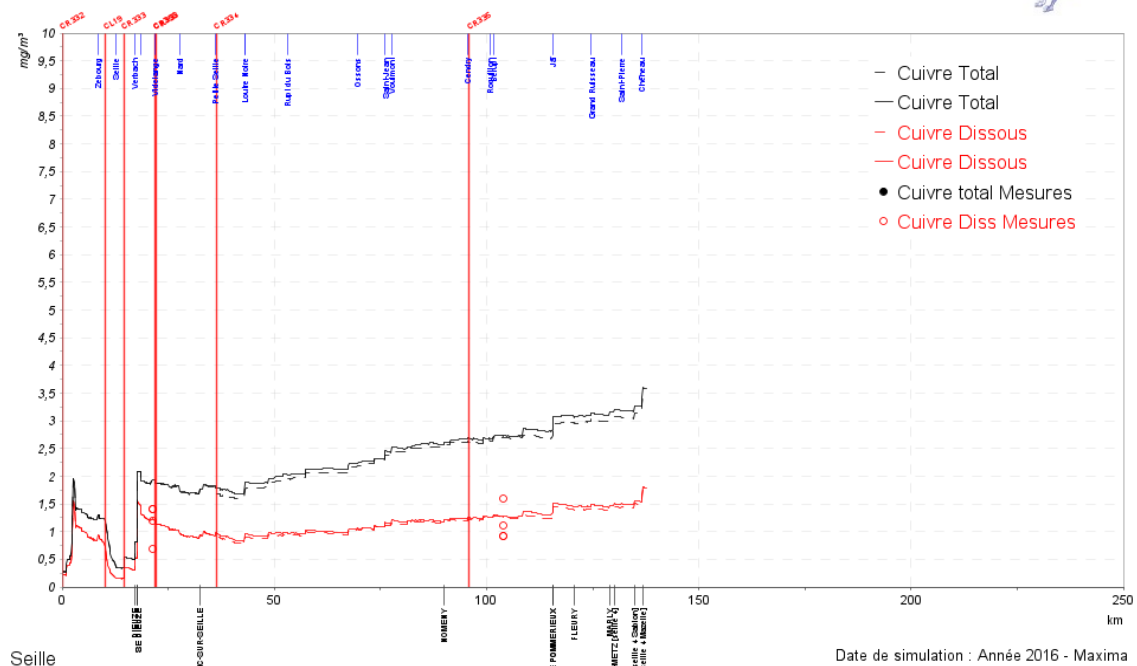


Figure 28.a - Profil longitudinal de la Seille pour le Cuivre dans la simulation 3



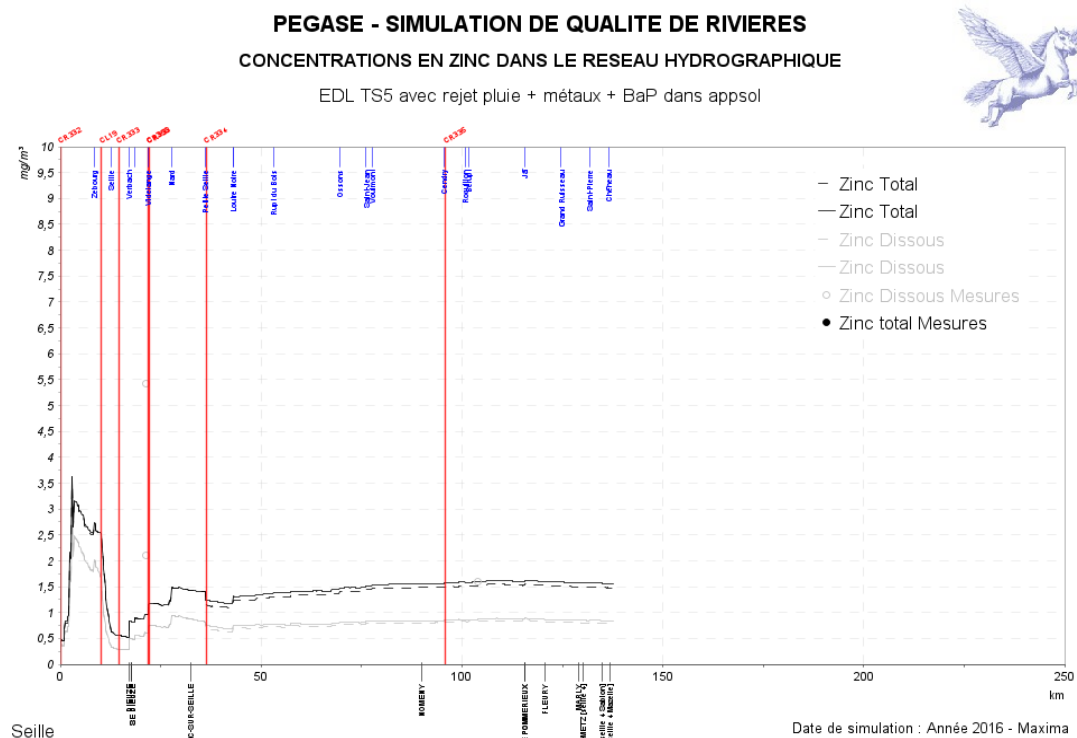


Figure 28.b - Profil longitudinal de la Seille pour le Zinc dans la simulation 3

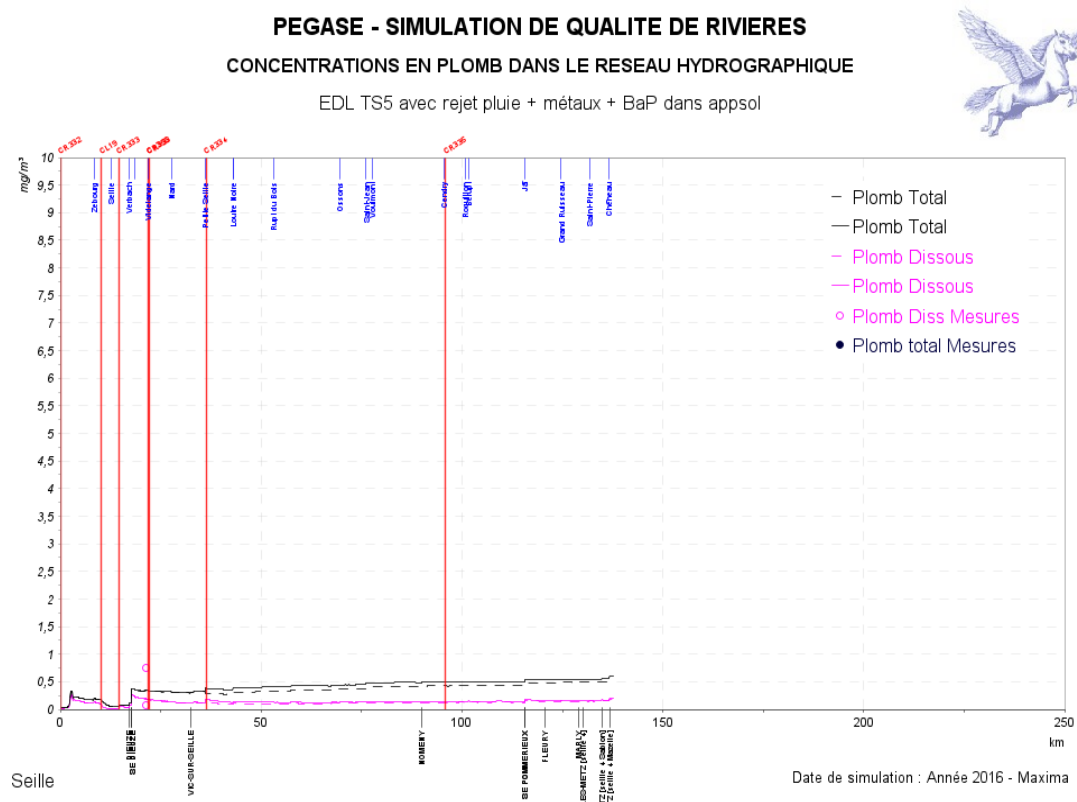


Figure 28.c - Profil longitudinal de la Seille pour le Plomb dans la simulation 3

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN CHROME DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

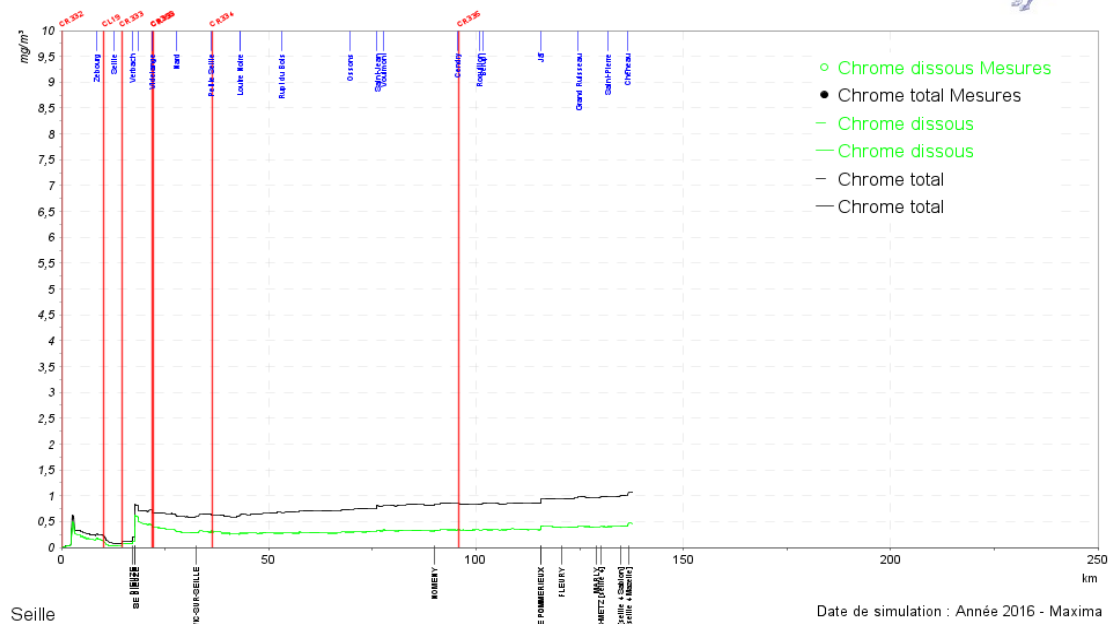


Figure 28.d - Profil longitudinal de la Seille pour le Chrome dans la simulation 3

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

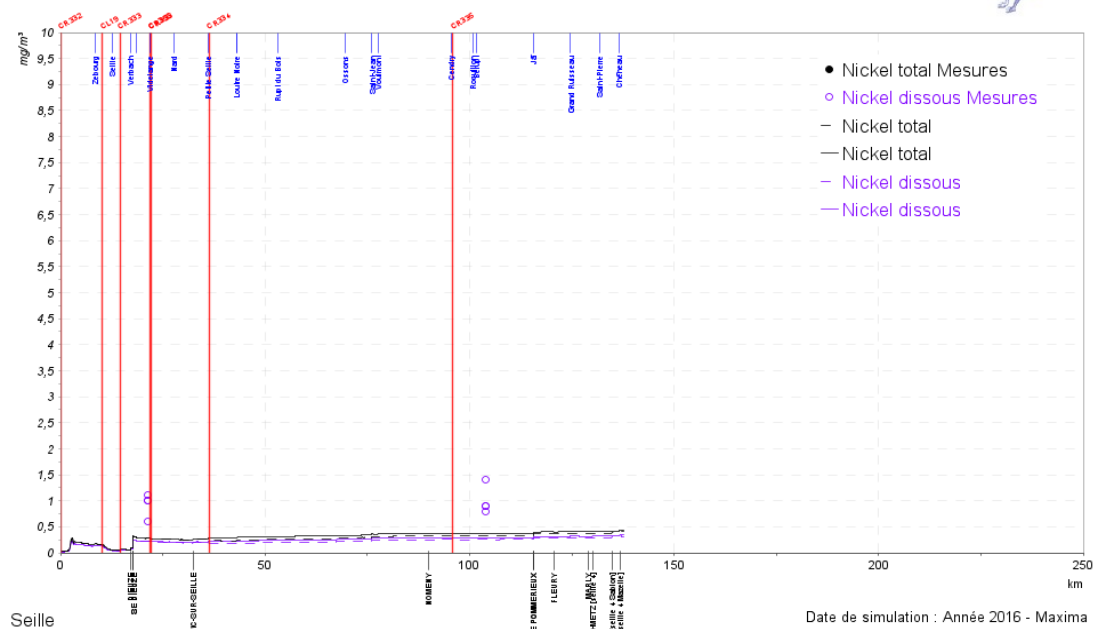


Figure 28.e - Profil longitudinal de la Seille pour le Nickel dans la simulation 3

Nous voyons que le long de la Meurthe, il y a d'importantes différences entre la simulation avec les rejets industriels, et celle sans ces derniers, en particulier pour le zinc, le plomb et le nickel. Nous avons vu dans le chapitre 3 que ces métaux sont en effet principalement rejetés par des industries. Ces différences se remarquent beaucoup moins pour la Seille. Ainsi, nous confirmons que la Seille cours d'eau est peu influencé par les rejets industriels.

#### 5.4. Simulation avec et sans Rejets urbains

Selon la carte de l'occupation des sols, les régions influencées par les rejets industriels et les rejets urbains sont les mêmes. Nous allons ici comparer les résultats de la simulation avec et sans rejets urbains pour une région très urbanisée, et une région peu urbanisée. Les cours d'eau correspondants sont respectivement la Chiers et la Mortagne, un affluent de la Meurthe.

- Profils longitudinaux de la Chiers

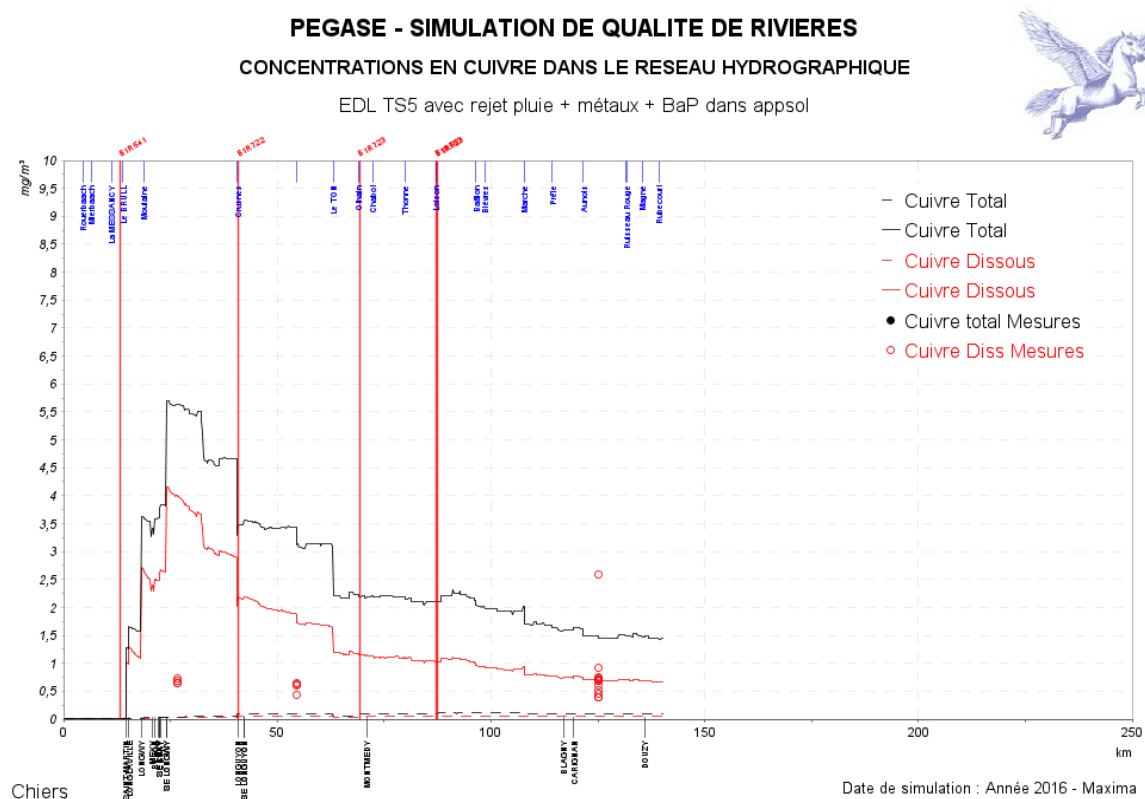


Figure 29.a - Profil longitudinal de la Chiers pour le Cuivre dans la simulation 4

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN ZINC DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

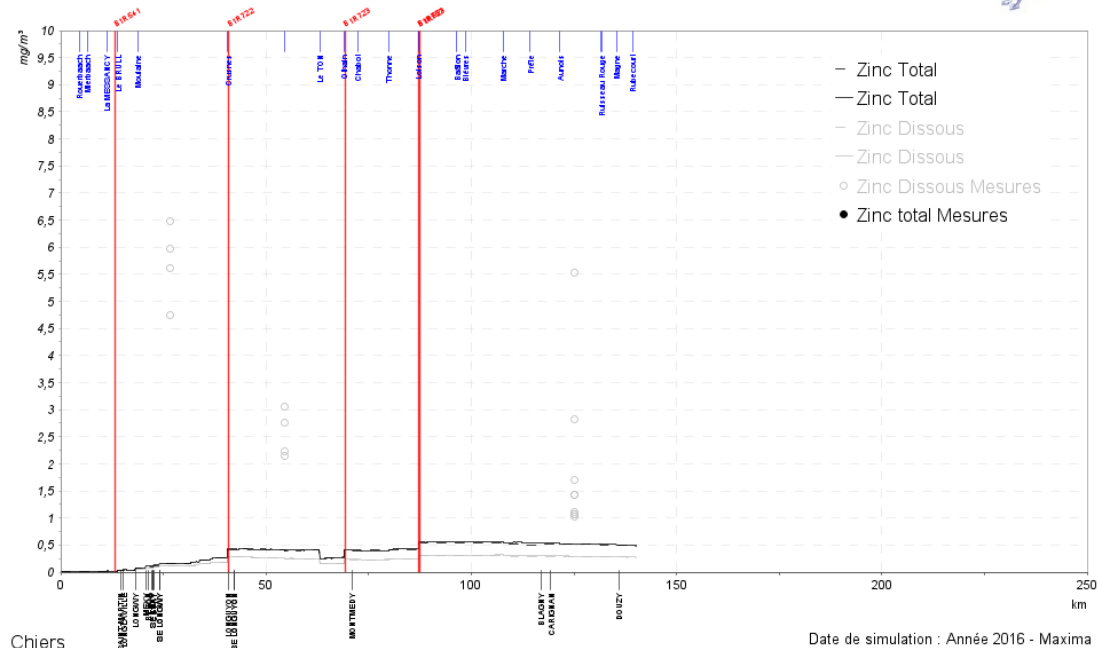


Figure 29.b - Profil longitudinal de la Chiers pour le Zinc dans la simulation 4

# PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

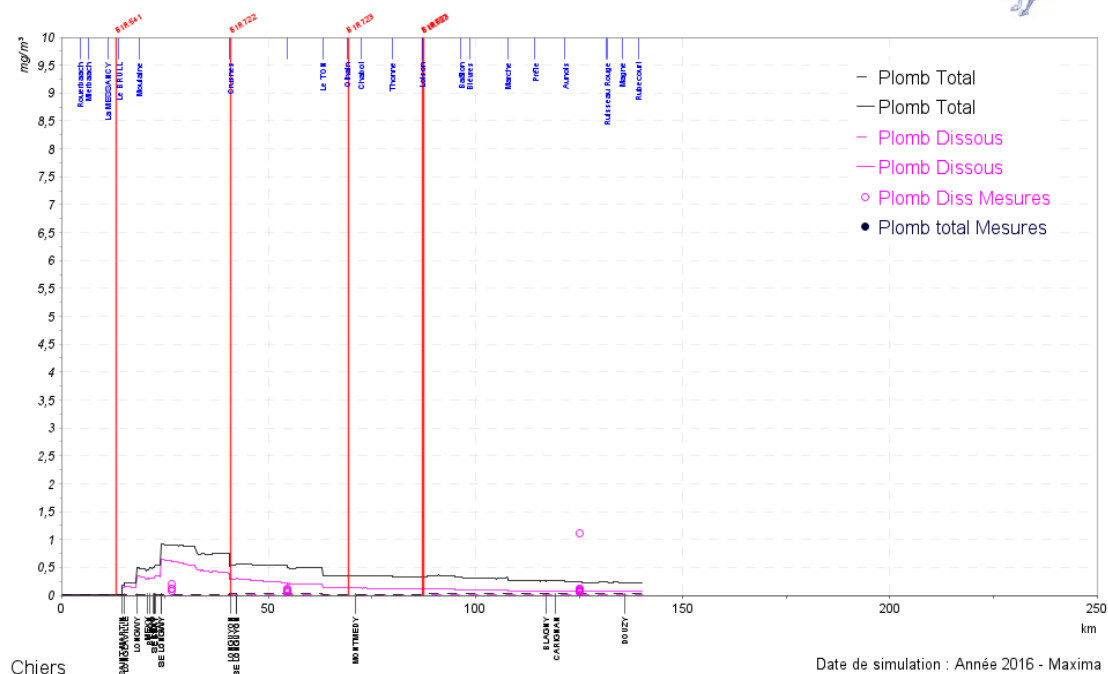


Figure 29.c - Profil longitudinal de la Chiers pour le Plomb dans la simulation 4

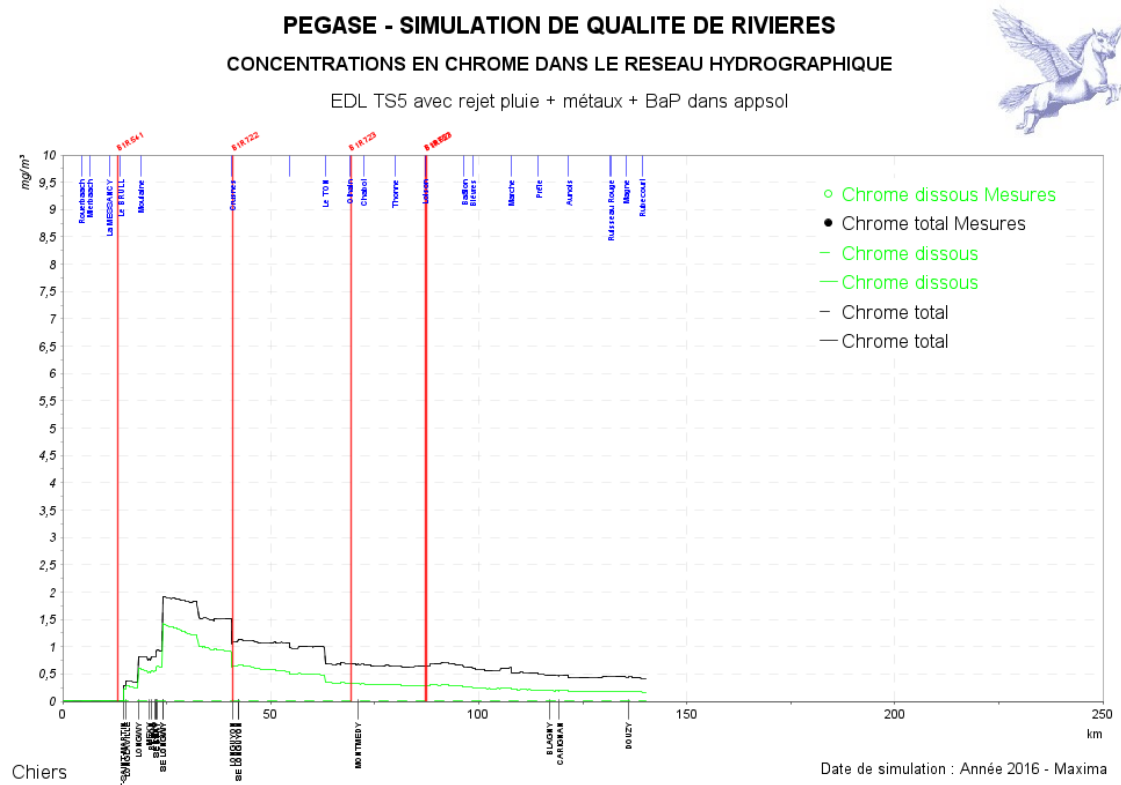


Figure 29.d - Profil longitudinal de la Chiers pour le Chrome dans la simulation 4

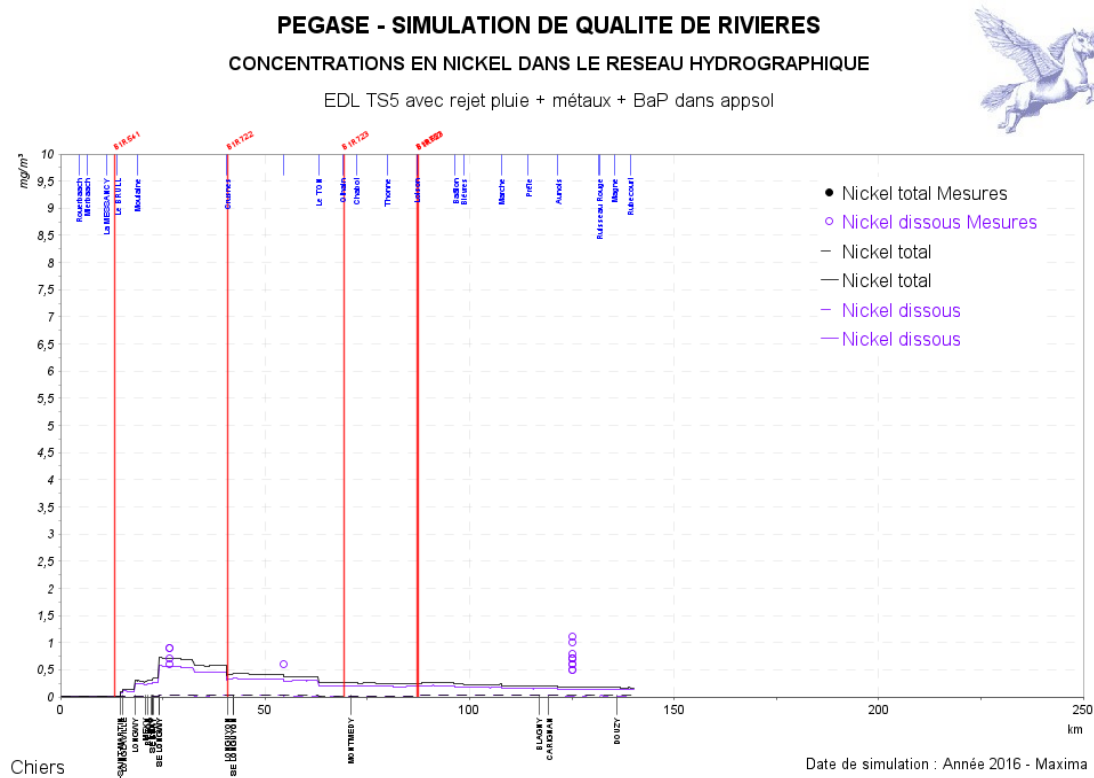


Figure 29.e - Profil longitudinal de la Chiers pour le Nickel dans la simulation 4

- Profils longitudinaux de la Mortagne

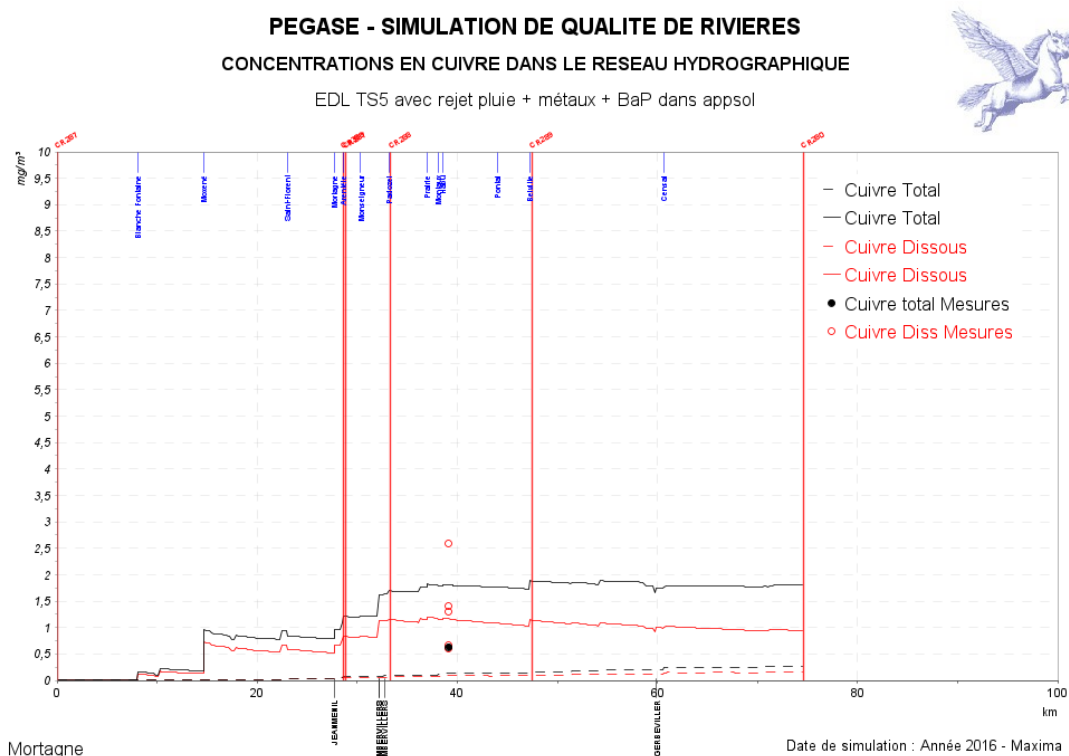


Figure 30.a - Profil longitudinal de la Mortagne pour le Cuivre dans la simulation 4

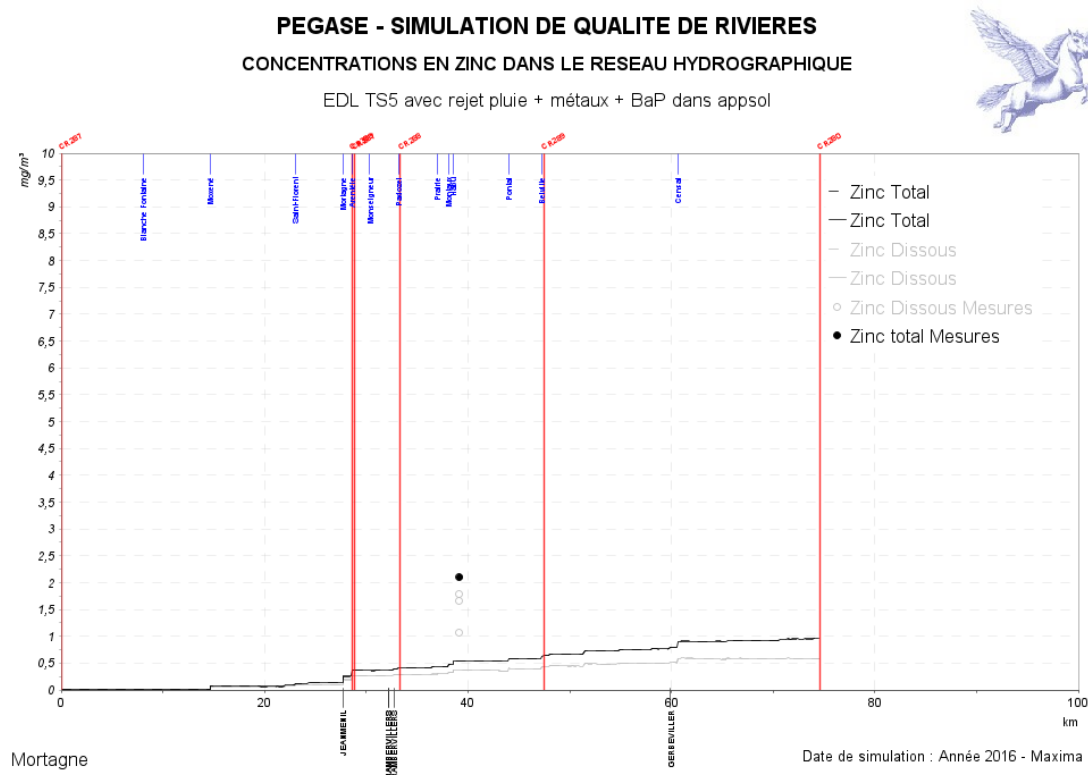


Figure 30.b - Profil longitudinal de la Mortagne pour le Zinc dans la simulation 4

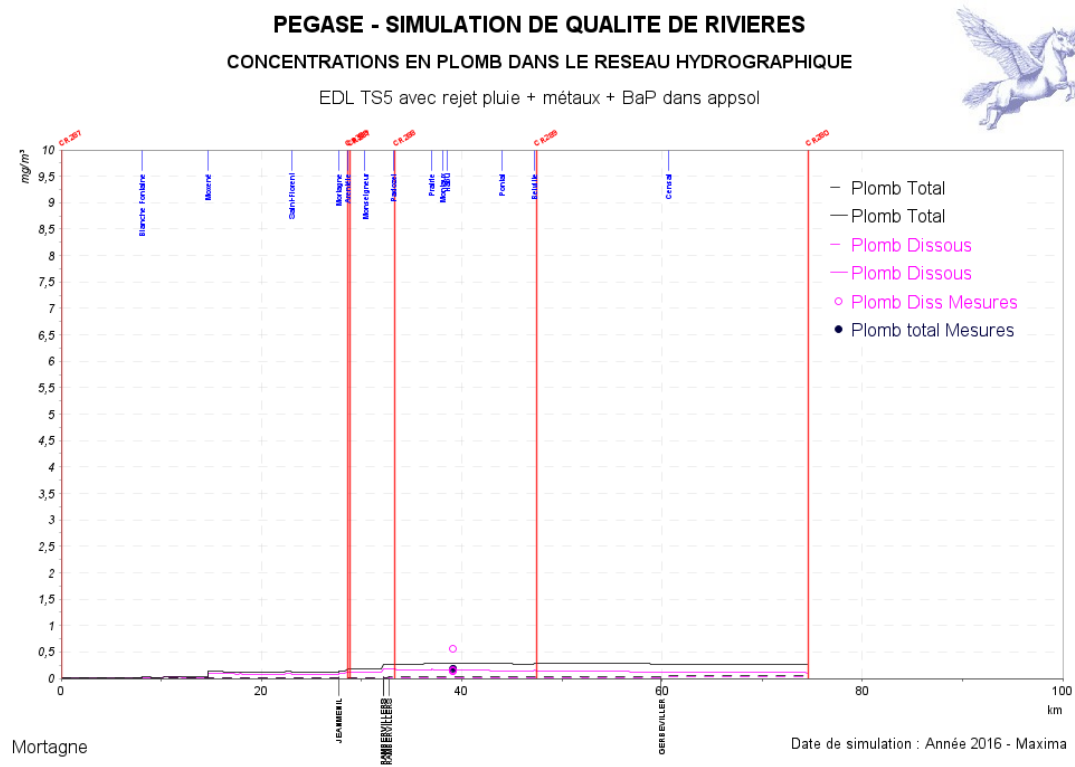


Figure 30.c - Profil longitudinal de la Mortagne pour le Plomb dans la simulation 4

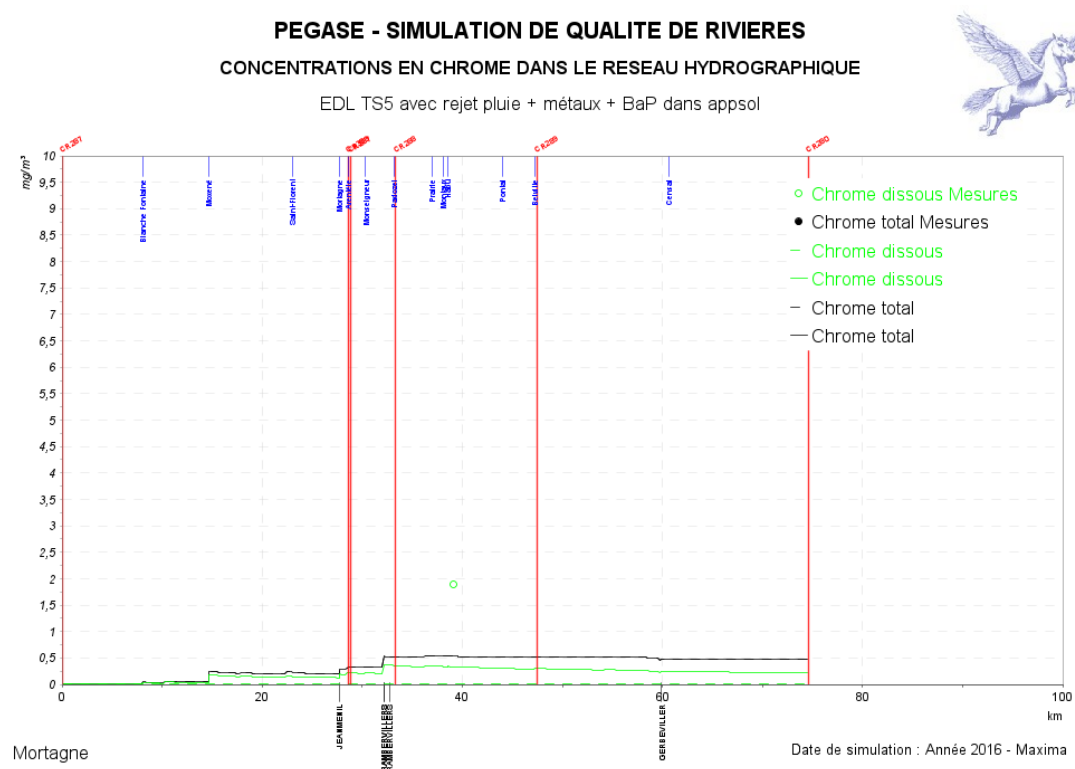


Figure 30.d - Profil longitudinal de la Mortagne pour le Chrome dans la simulation 4

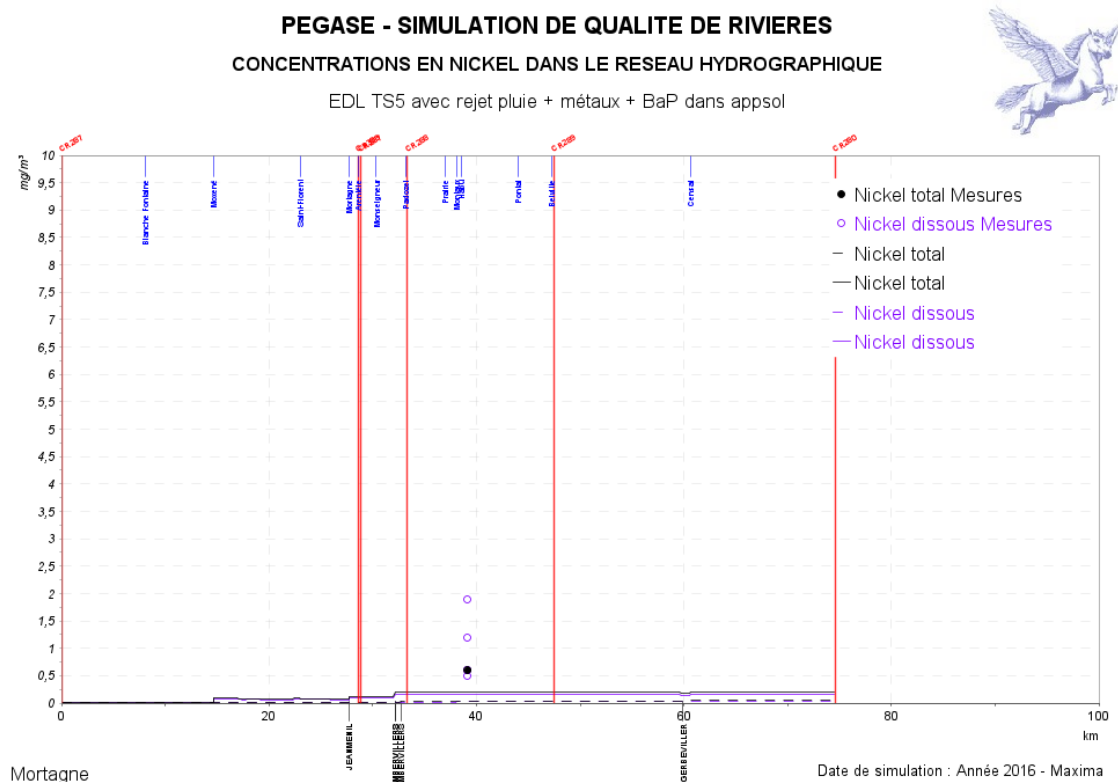


Figure 30.e - Profil longitudinal de la Mortagne pour le Nickel dans la simulation 4

La Mortagne est un cours d'eau qui était selon la carte des occupations des sols, assez peu dense d'un point de vue urbain, à l'inverse de la Chiers. Cependant, il s'avère que sur ces deux cours d'eau, ainsi que sur tous les cours d'eau modélisés (voir annexe), nous constatons une importante différence entre la simulation prenant en compte les rejets urbains et la simulation sans rejets urbains (dans cette dernière, les concentrations sont extrêmement faibles), sur tous les éléments modélisés excepté le zinc, pour lequel on observe une différence minime voire nulle. Ceci peut aisément être corrélé avec les équivalents-habitants définis dans le modèle, où les rejets urbains sont dominés par le cuivre, et dans lesquels on retrouve du chrome, du plomb et du nickel en faible quantité. En revanche, on ne retrouve presque pas de cuivre dans les rejets urbains, d'où l'absence d'écart entre les deux simulations. On en déduit une pression urbaine assez présente dans tout le bassin, avec des intensités variables.

### 5.5. Simulation avec et sans Rejets issus de l'agriculture

Nous avons identifié quelques cours d'eau étant influencés par les rejets agricoles, ils sont localisés en figure 32 ci-après.





Figure 31 - Cours d'eau influencés par des rejets agricoles

Nous avons décidé de représenter l'Othain et de le comparer à la Vologne, un cours d'eau a priori peu influencé selon la carte d'occupation des sols.

- Profils longitudinaux de l'Othain

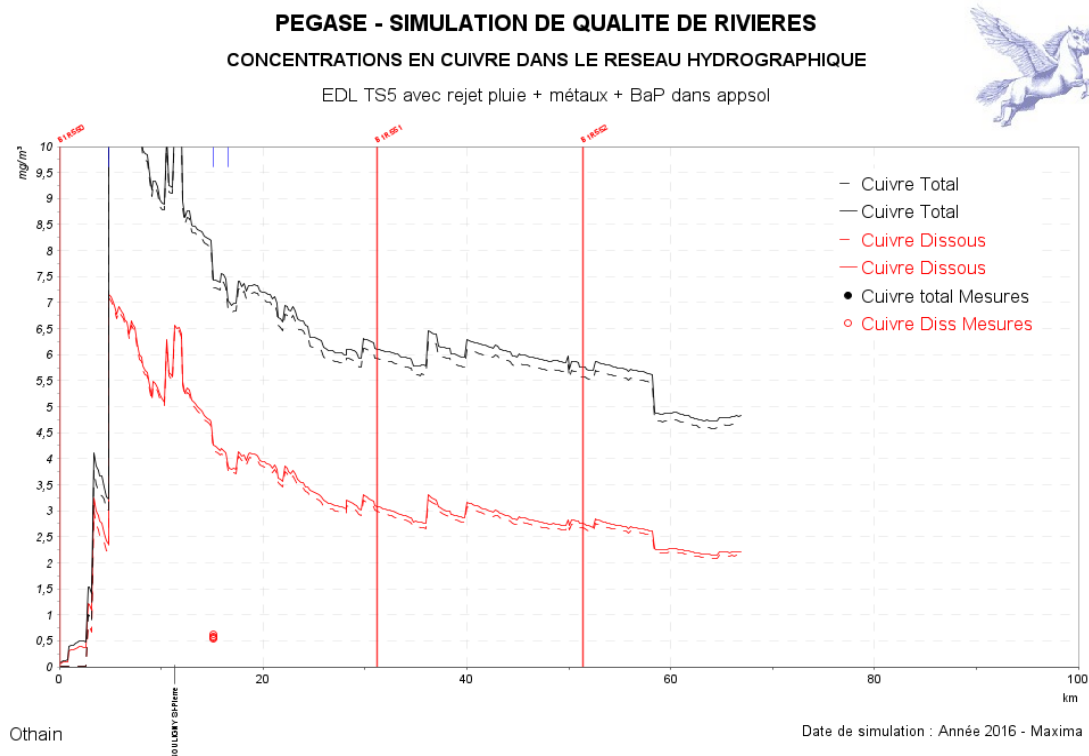


Figure 32.a - Profil longitudinal de l'Othain pour le Cuivre dans la simulation 5

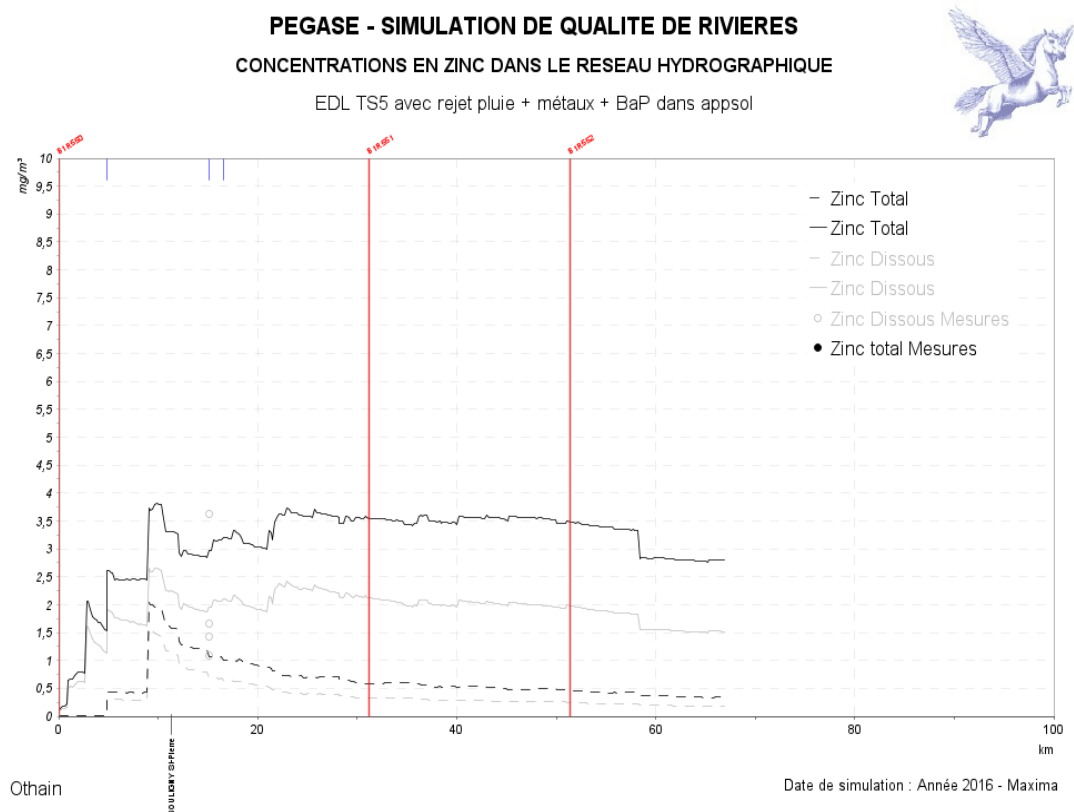


Figure 32.b - Profil longitudinal de l'Othain pour le Zinc dans la simulation 5

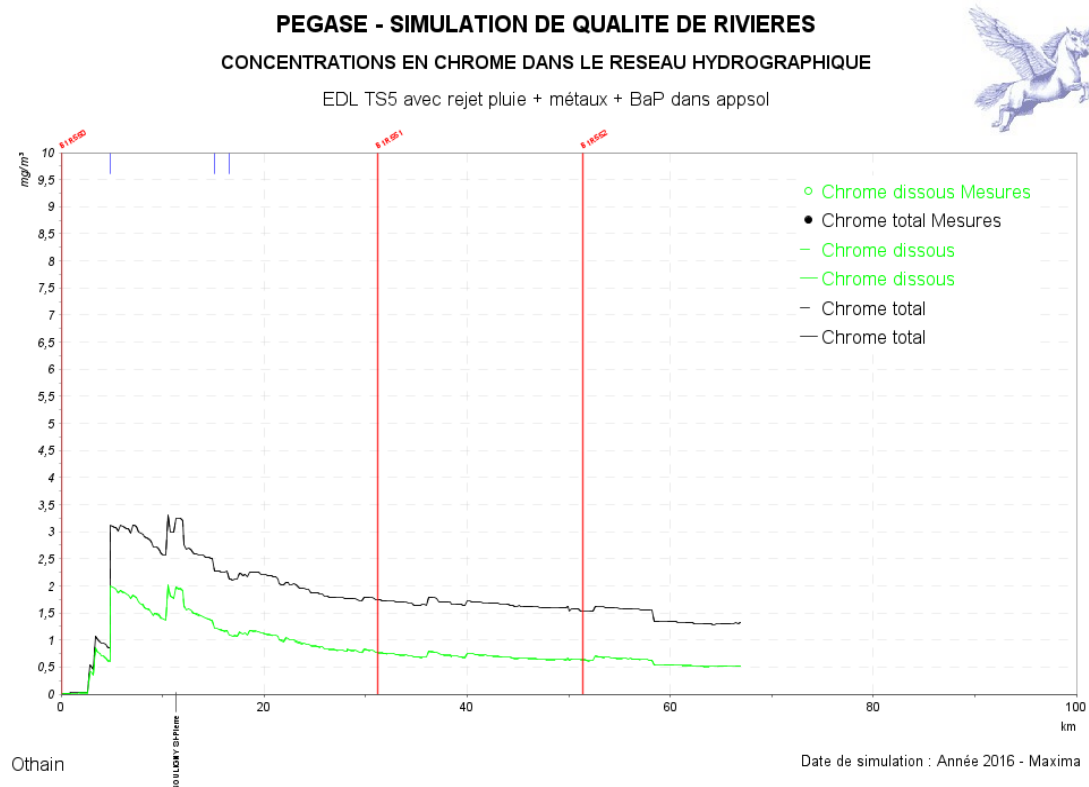


Figure 32.c - Profil longitudinal de l'Othain pour le Chrome dans la simulation 5

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

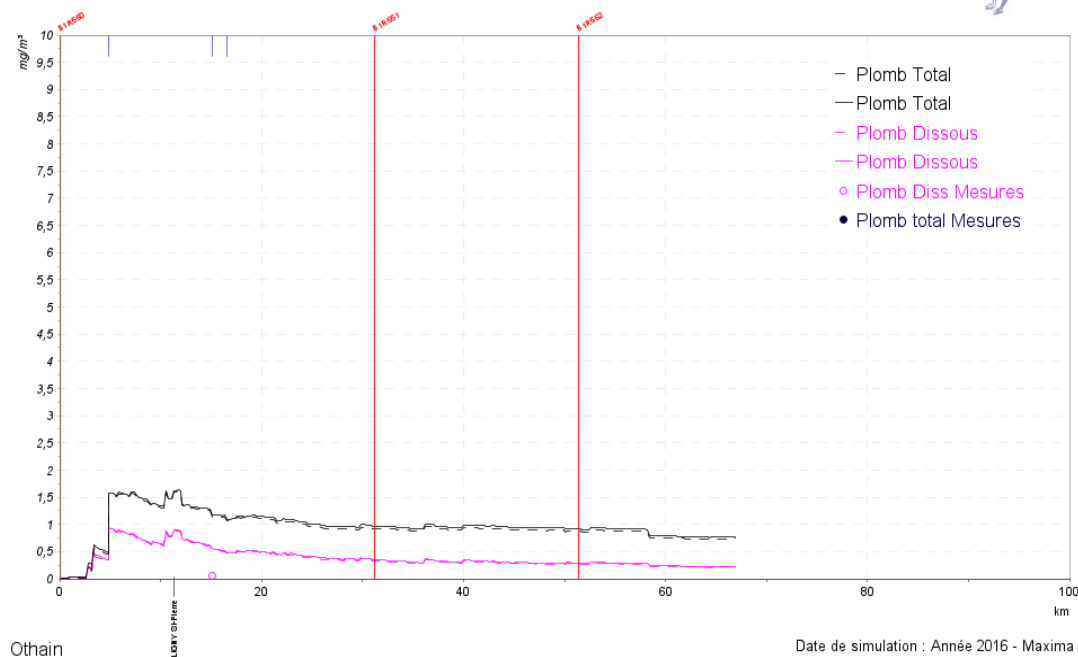


Figure 32.d - Profil longitudinal de l'Othain pour le Plomb dans la simulation 5

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

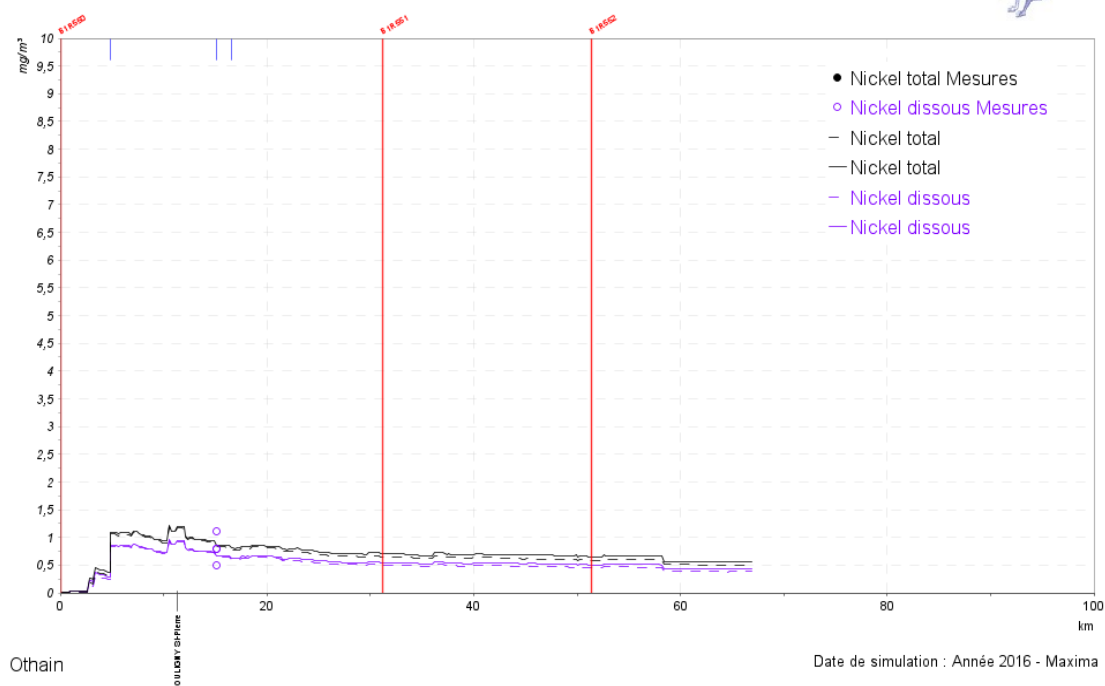


Figure 32.e - Profil longitudinal de l'Othain pour le Nickel dans la simulation 5

Nous remarquons des différences assez peu marquées pour le chrome, le cuivre, le nickel et le plomb mais nous observons une différence très importante au niveau du zinc entre les deux simulations. En effet, dans ces simulations, seul l'élevage est pris en compte, et celui-ci est réputé pour être une source importante de zinc (ce qui est visible dans les valeurs de rejets associés à une unité de bétail), ce qui explique la différence entre les deux simulations.

- Profils longitudinaux de la Vologne

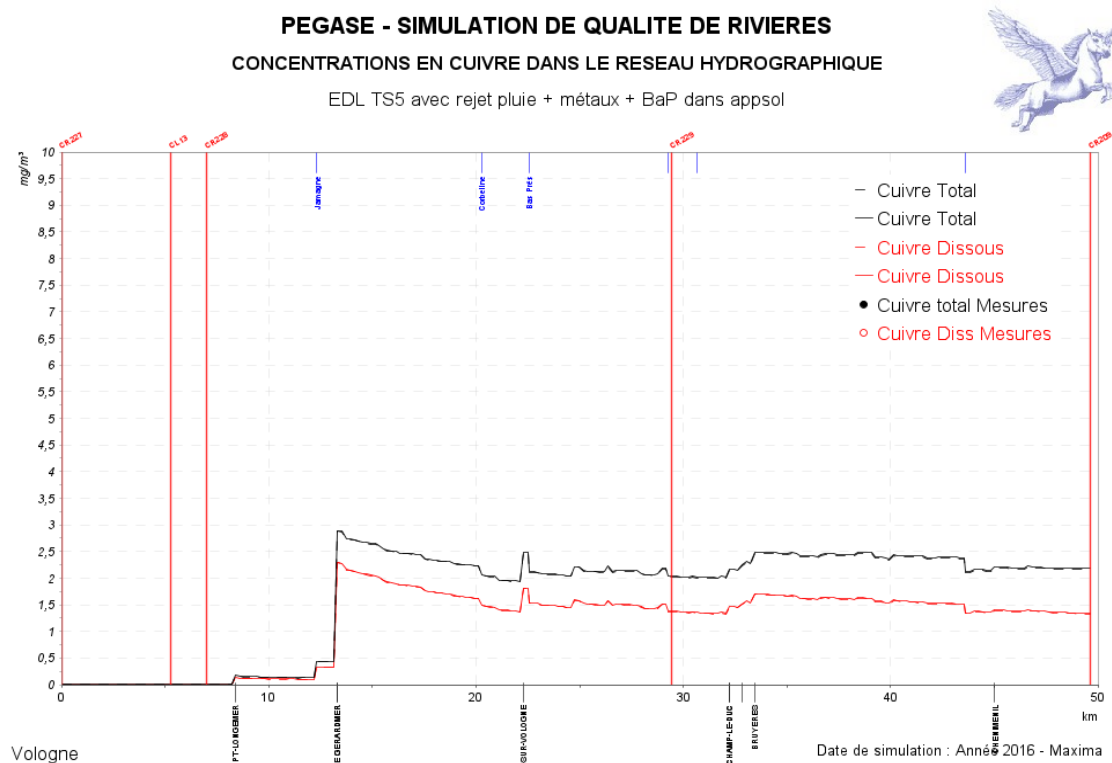


Figure 33.a - Profil longitudinal de la Vologne pour le Cuivre dans la simulation 5

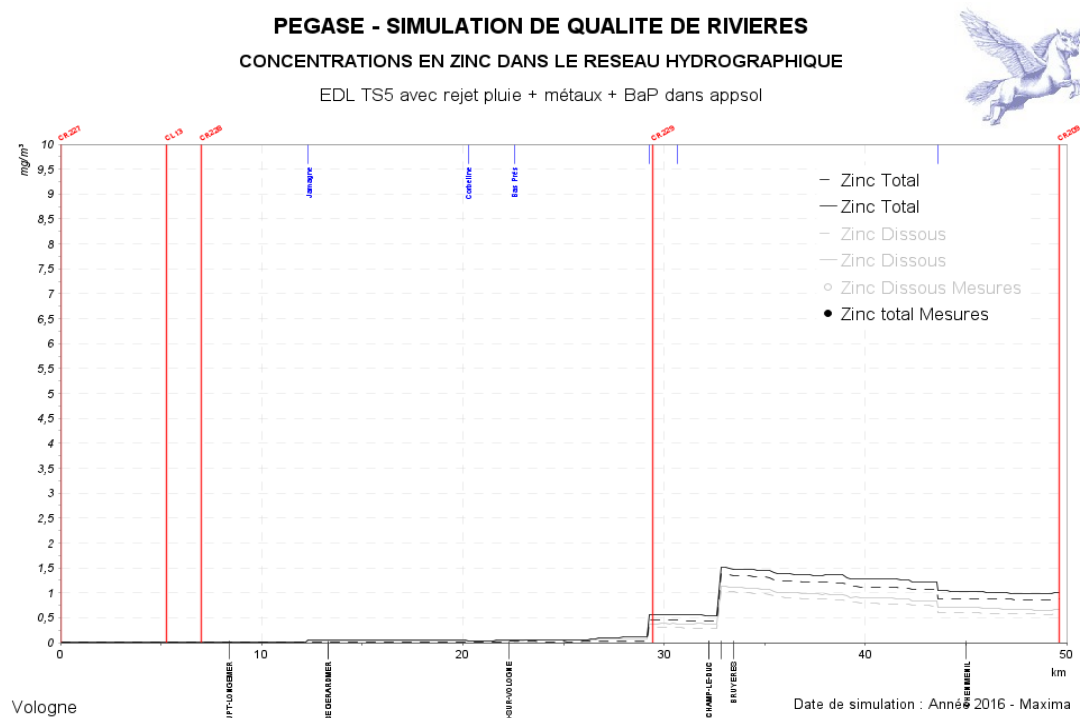


Figure 33.b - Profil longitudinal de la Vologne pour le Zinc dans la simulation 5

# **PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES** **CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

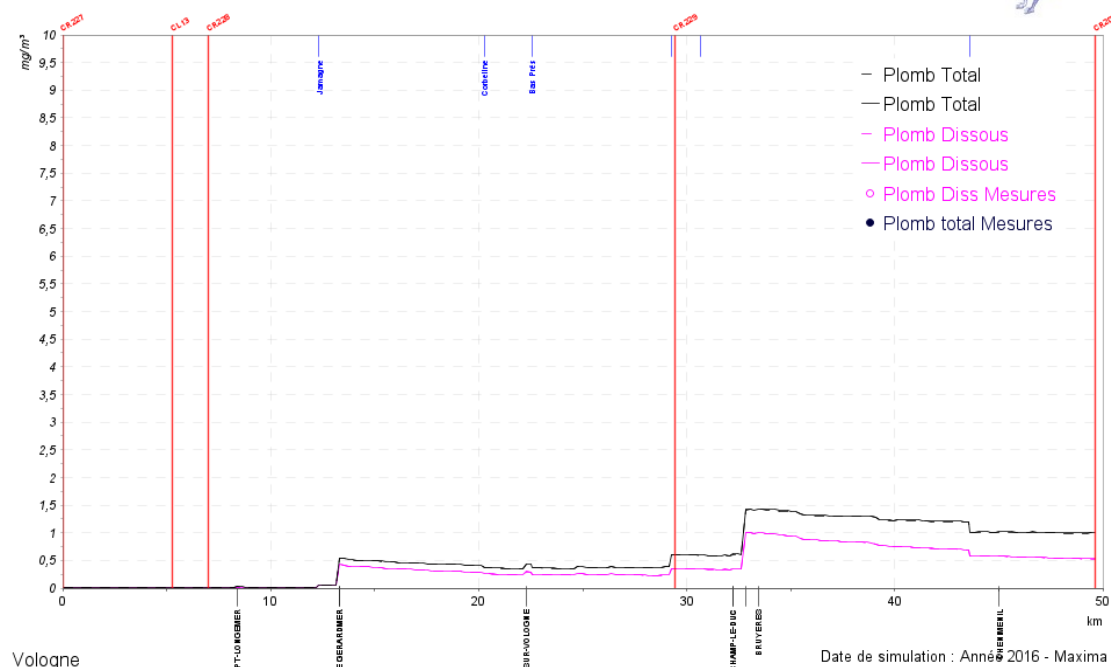


Figure 33.c - Profil longitudinal de la Vologne pour le Plomb dans la simulation 5

# **PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES** **CONCENTRATIONS EN CHROME DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol

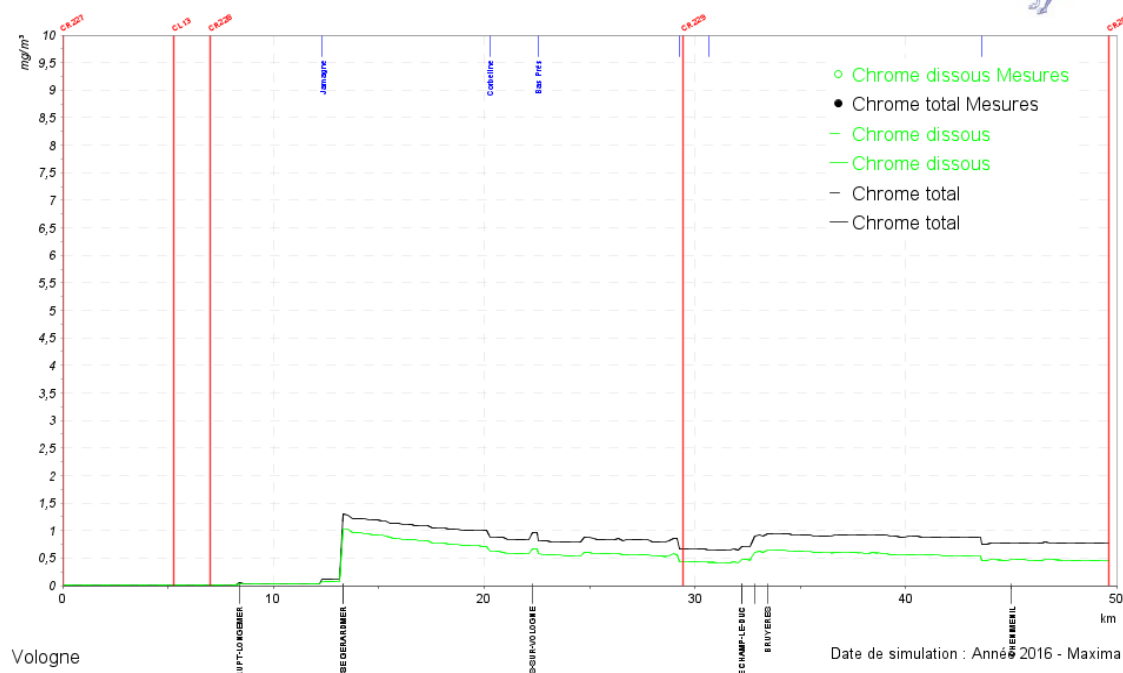


Figure 33.d - Profil longitudinal de la Vologne pour le Chrome dans la simulation 5

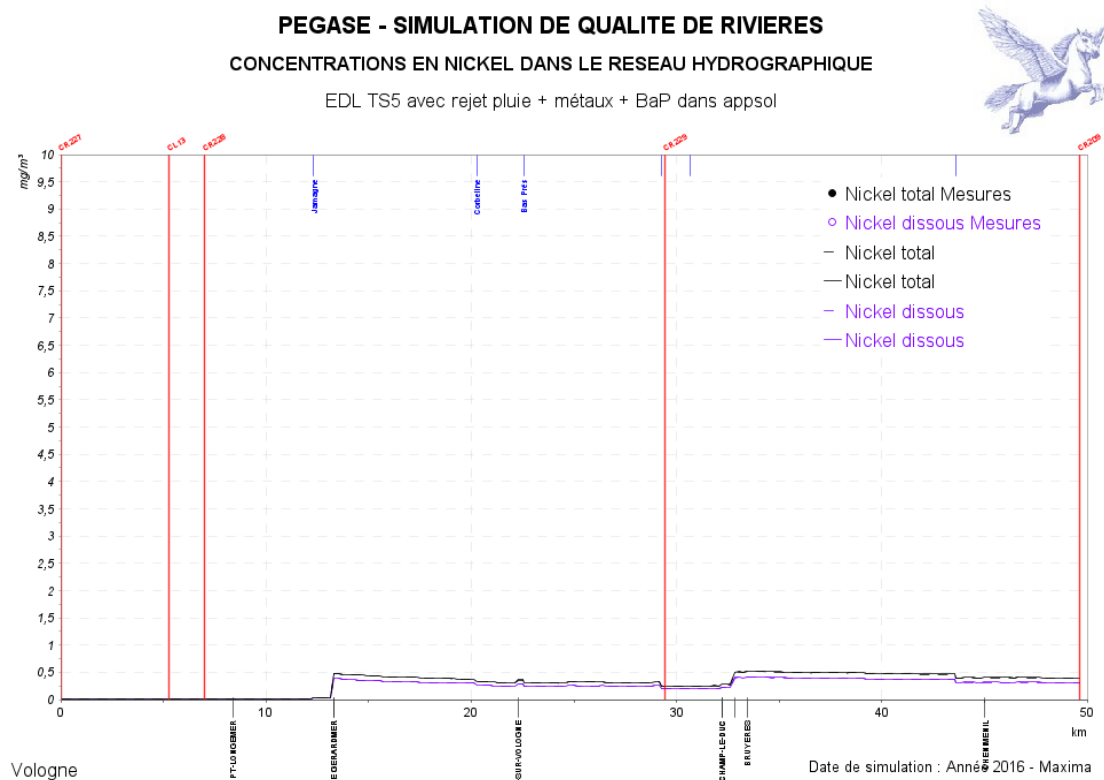


Figure 33.e - Profil longitudinal de la Vologne pour le Nickel dans la simulation 5

Selon la carte d'occupation des sols, la Vologne est un cours d'eau assez peu influencée par l'agriculture. Ceci est confirmé par la faible différence au niveau du zinc et des autres éléments entre les deux simulations.

#### 5.6. Simulation de base sur des cours d'eau peu influencés par les rejets étudiés

Enfin, après avoir identifié et analysé les pressions principales et les cours d'eau les subissant, nous allons analyser les résultats de la simulation pour des cours d'eau peu influencés. En observant la carte de l'occupation des sols, nous avons identifié, entre autres, le Vair, la Plaine et l'amont de la Seille (amont, car l'aval est influencé par des rejets industriels) comme étant des cours d'eau assez peu influencés par les rejets mentionnés précédemment.

L'objectif est ici de comparer les mesures et les résultats de simulation dans des cours d'eau peu influencés, tout en accordant une attention particulière à la succession des mesures pour pouvoir observer le signal de pollution là où les rejets répertoriés par la simulation sont faibles voir absents. Cela nous permettra alors de discerner le « signal de fond » de la pollution, et d'émettre des hypothèses sur son origine et de porter un regard critique sur les données prises en compte dans la simulation Rhin-Meuse.

Pour aller plus dans le détail de cette analyse, nous présentons ici des profils temporels sur une année, fixés à une station donnée. Nous avons choisi les stations actives à la période de simulation, et nous avons donc plusieurs valeurs fiables par an.

- Profils temporels du Vair

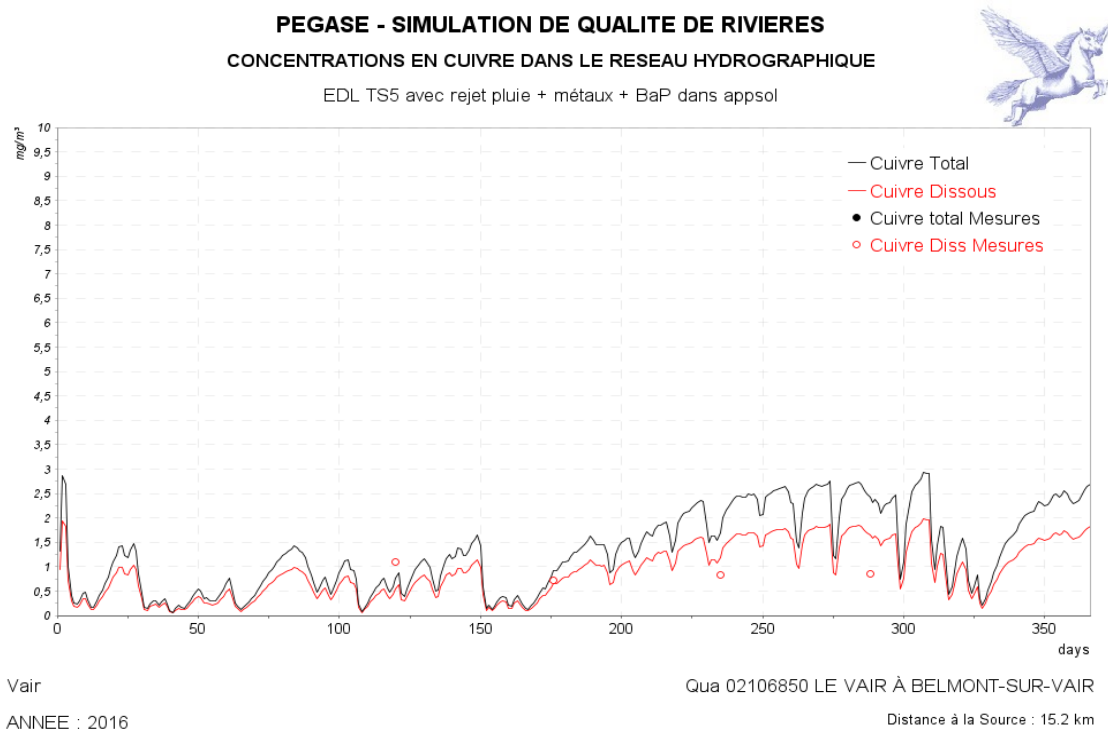


Figure 34.a - Profil temporel du Vair à la station de Belmont-sur-Vair pour le Cuivre dans la simulation

1

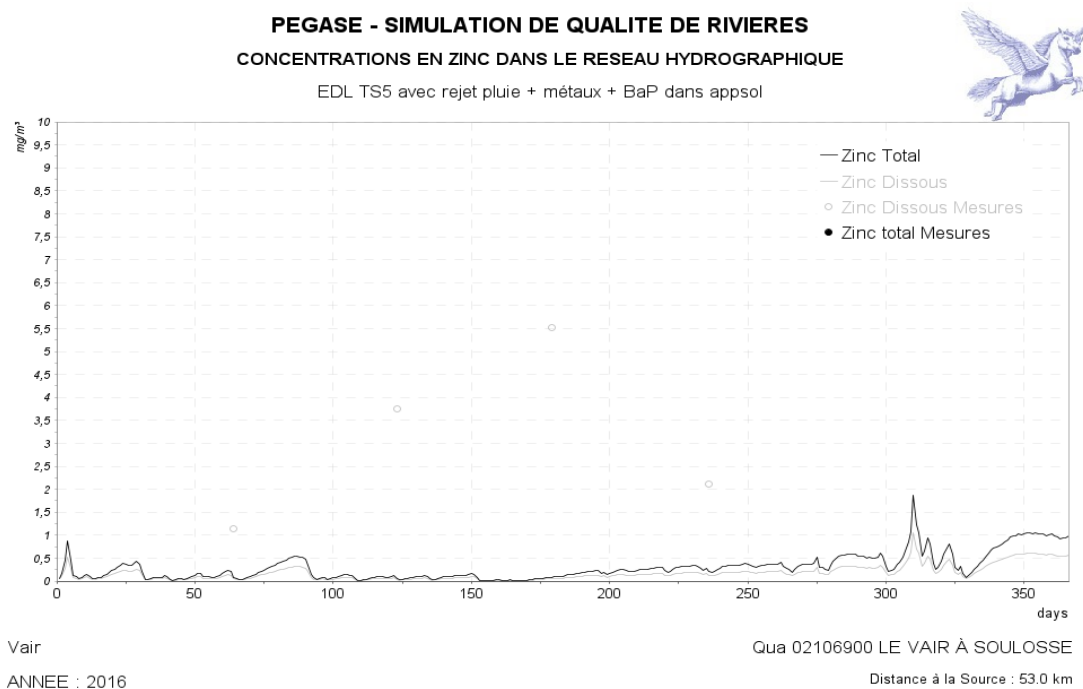
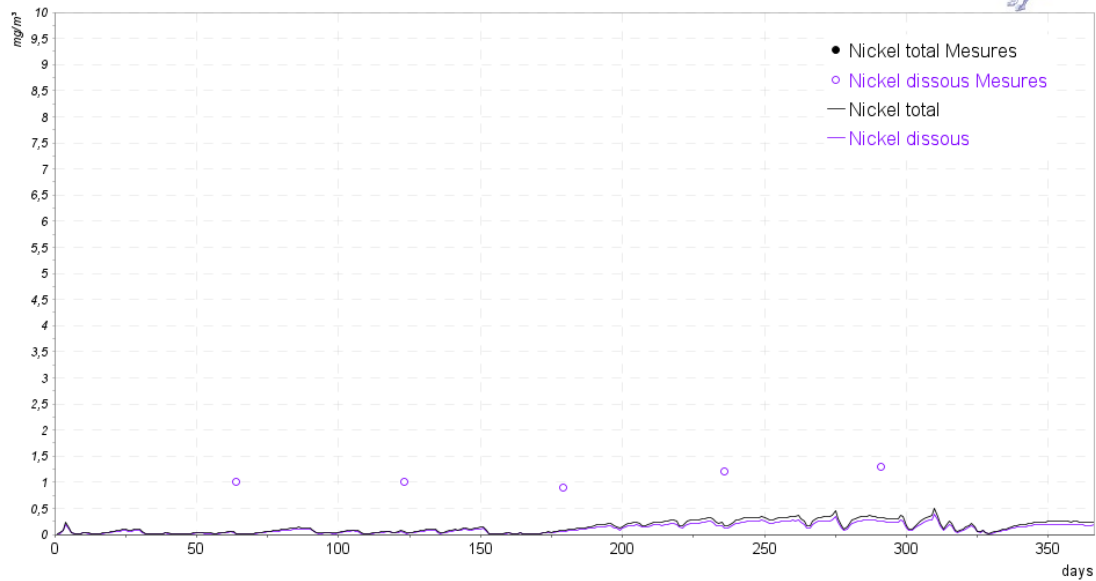


Figure 34.b - Profil temporel du Vair à la station de Belmont-sur-Vair pour le Zinc dans la simulation 1

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Vair

Qua 02106900 LE VAIR À SOULOSSE

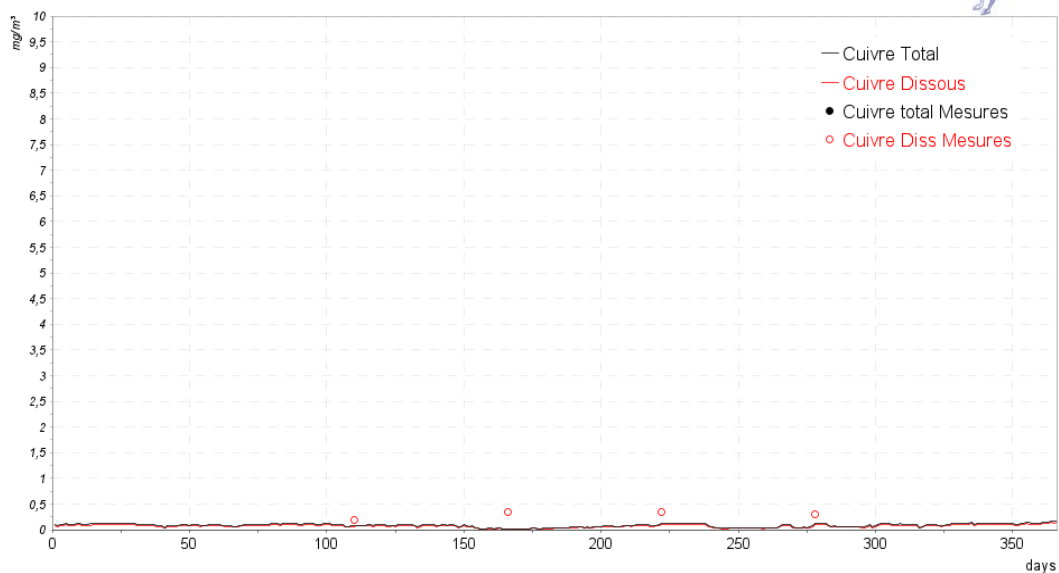
ANNEE : 2016

Distance à la Source : 53.0 km

Figure 34.c - Profil temporel du Vair à la station de Belmont-sur-Vair pour le Zinc dans la simulation 1

- Profils temporels de la Plaine

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN CUIVRE DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**  
 EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Plaine

Qua 02065090 LA PLAINE À RAON-SUR-PLAINE

ANNEE : 2016

Distance à la Source : 5.3 km

Figure 35.a - Profil temporel de la Plaine à la station Raon-sur-Plaine pour le Cuivre dans la simulation 1



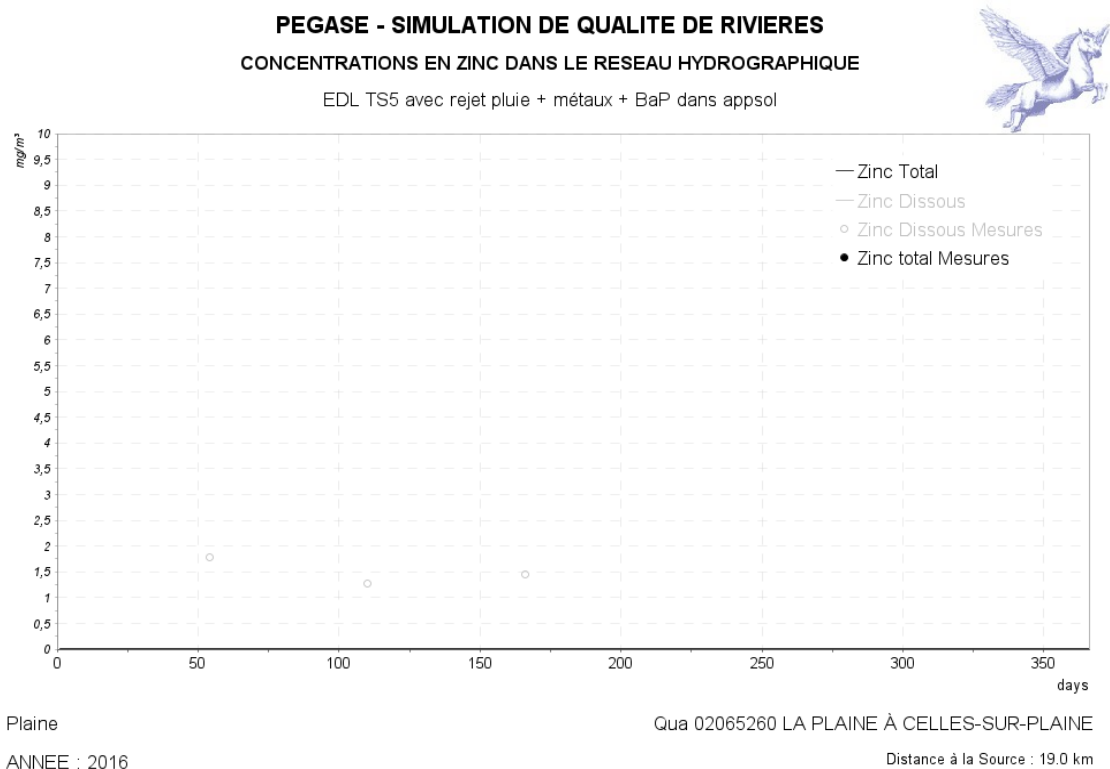


Figure 35.b - Profil temporel de la Plaine à la station Raon-sur-Plaine pour le Zinc dans la simulation 1

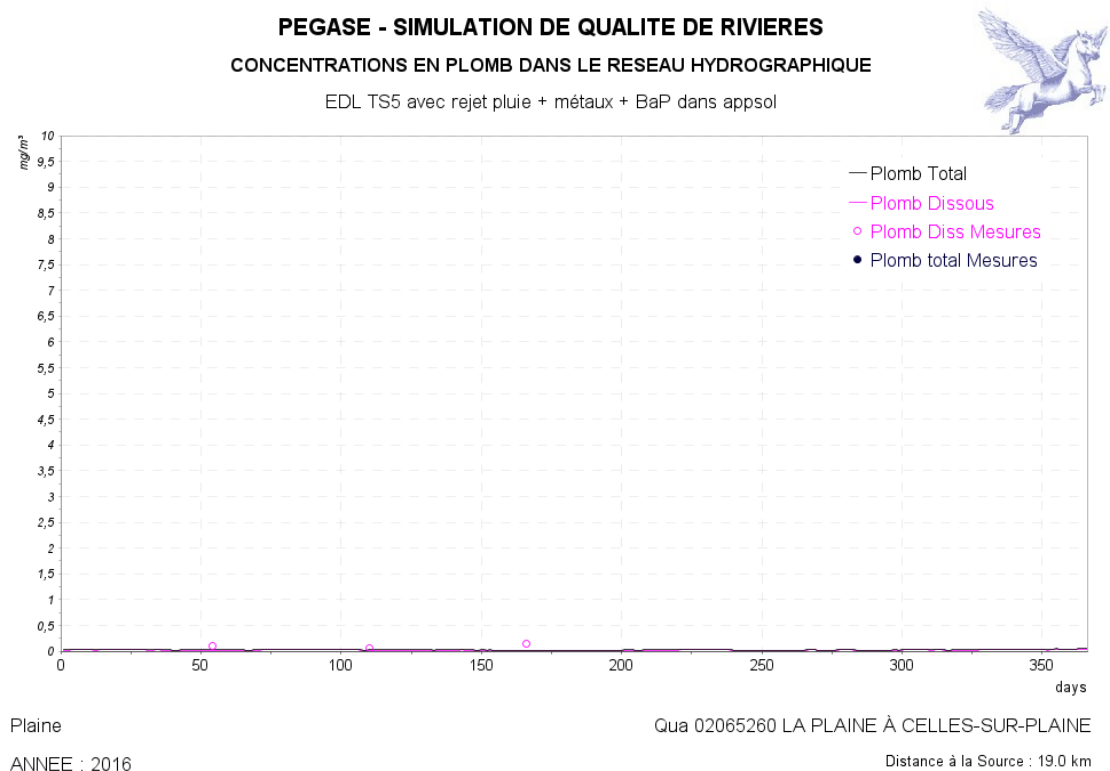
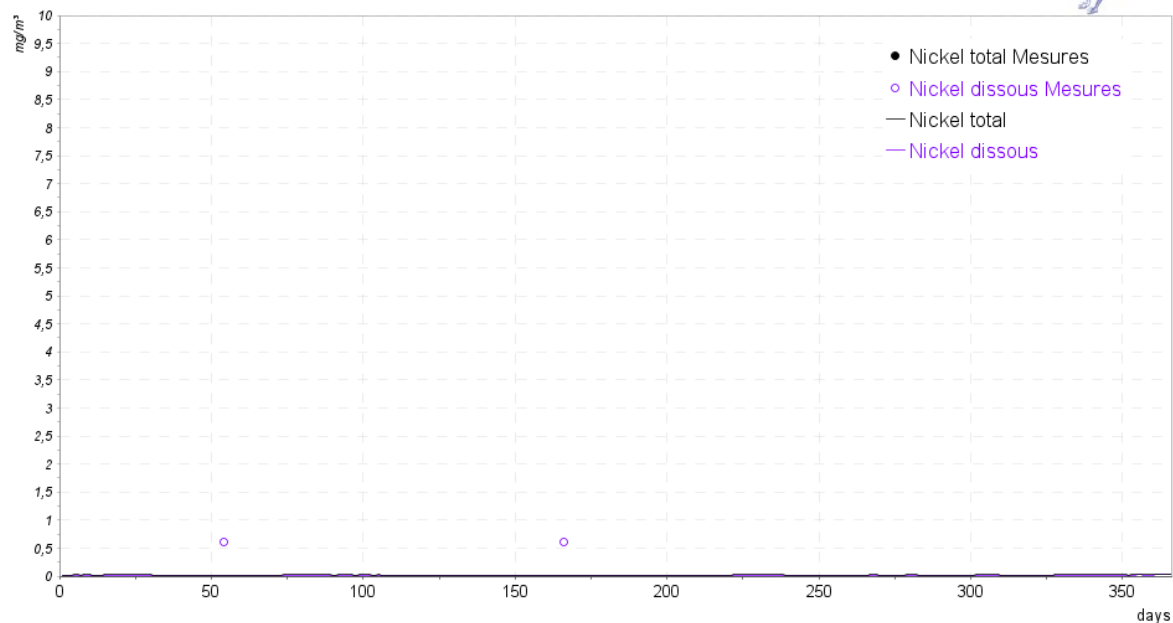


Figure 35.c - Profil temporel de la Plaine à la station Celles-sur-Plaine pour le Plomb dans la simulation 1

# **PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES** **CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Plaine

Qua 02065260 LA PLAINE À CELLES-SUR-PLAINE

ANNEE : 2016

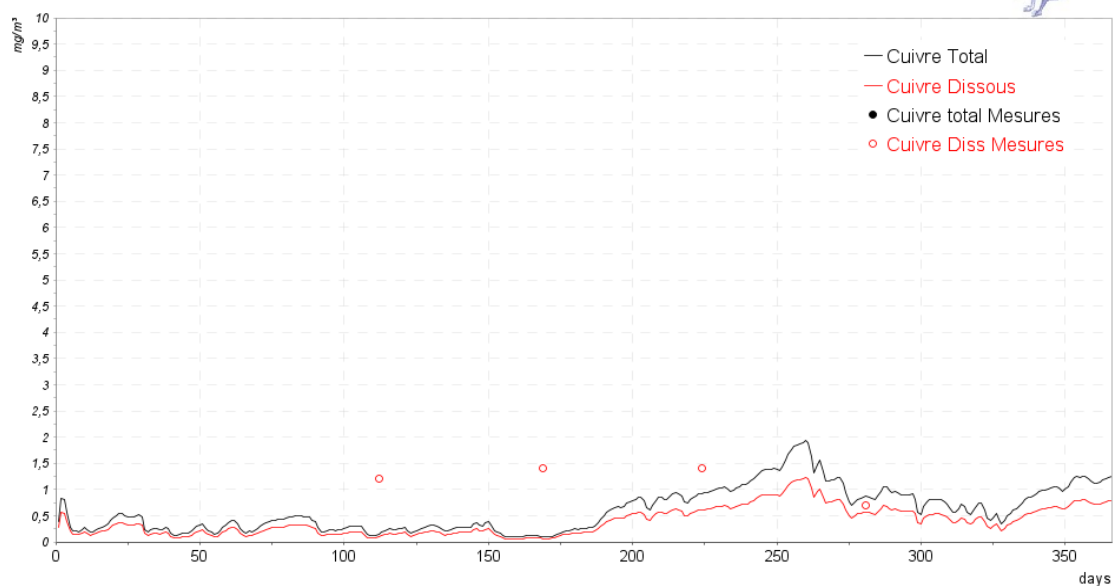
Distance à la Source : 19.0 km

**Figure 35.d - Profil temporel de la Plaine à la station Celles-sur-Plaine pour le Nickel dans la simulation 1**

## • Profils temporels de la Seille (amont)

# **PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES** **CONCENTRATIONS EN CUIVRE DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Seille

Qua 02081000 LA SEILLE À MULCEY

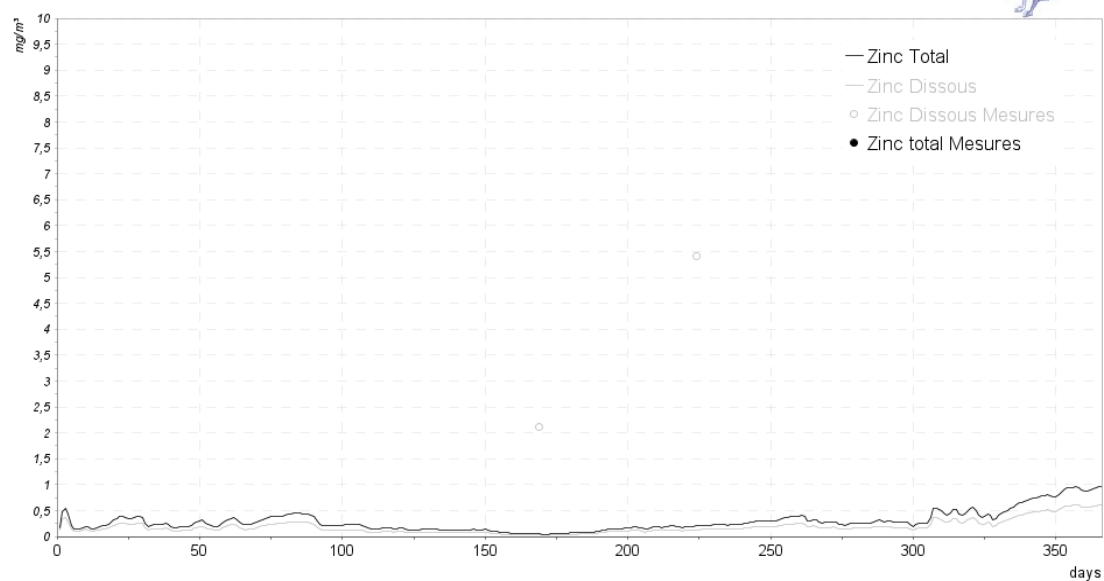
ANNEE : 2016

Distance à la Source : 21.3 km

**Figure 36.a - Profil temporel de la Seille à la station de Mulcey pour le Cuivre dans la simulation 1**

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN ZINC DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Seille

Qua 02081000 LA SEILLE À MULCEY

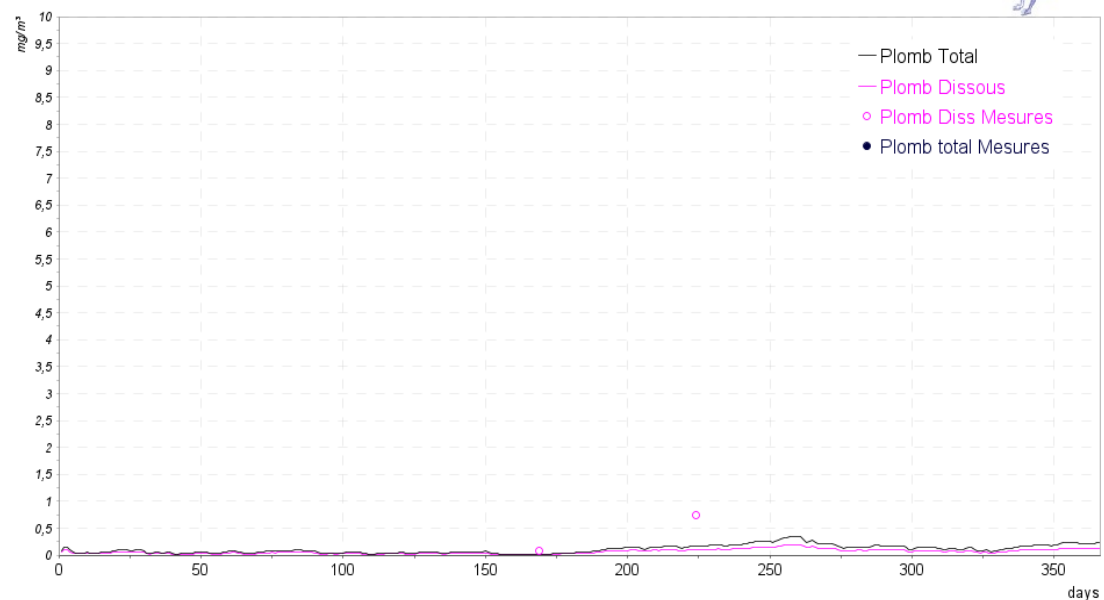
ANNEE : 2016

Distance à la Source : 21.3 km

Figure 36.b - Profil temporel de la Seille à la station de Mulcey pour le Zinc dans la simulation 1

**PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES**  
**CONCENTRATIONS EN PLOMB DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Seille

Qua 02081000 LA SEILLE À MULCEY

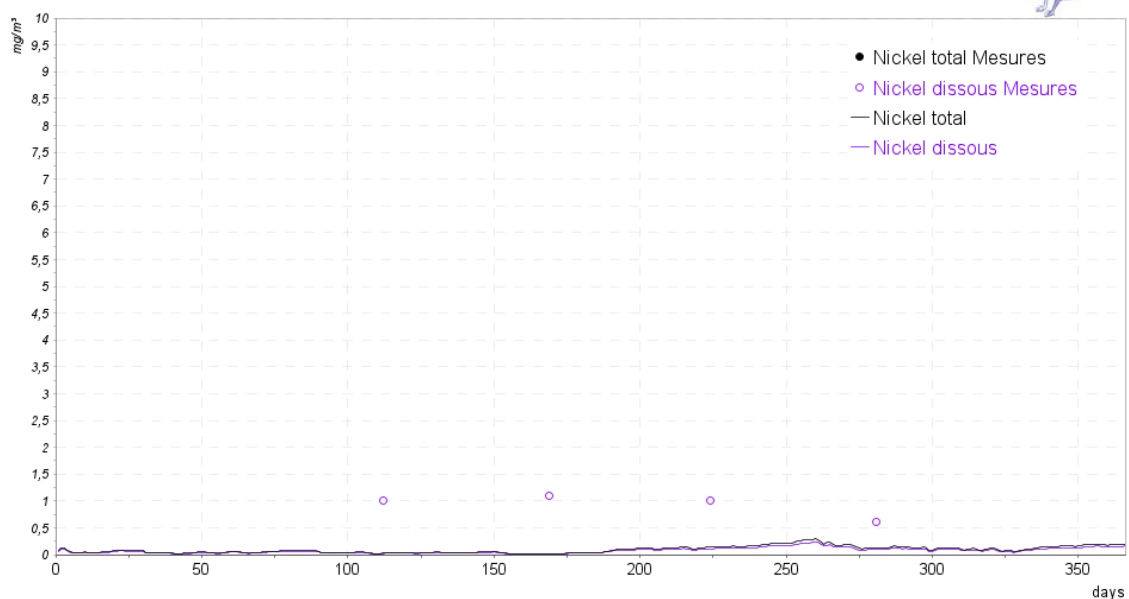
ANNEE : 2016

Distance à la Source : 21.3 km

Figure 36.c - Profil temporel de la Seille à la station de Mulcey pour le Plomb dans la simulation 1

## PEGASE - SIMULATION DE QUALITE DE RIVIERES CONCENTRATIONS EN NICKEL DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

EDL TS5 avec rejet pluie + métaux + BaP dans appsol



Seille

Qua 02081000 LA SEILLE À MULCEY

ANNEE : 2016

Distance à la Source : 21.3 km

Figure 36.d - Profil temporel de la Seille à la station de Mulcey pour le Nickel dans la simulation 1

Malheureusement, nous n'avons de données de chrome sur aucune station. Nous observons ici certaines mesures dont l'ordre de grandeur est le même que celui des simulations, c'est le cas du cuivre, pour lequel on observe peu d'écarts entre mesures in situ et simulations. En ce qui concerne le nickel, les mesures sont bien supérieures à la simulation dans les trois cours d'eau présentés mais l'écart est constant et reste assez faible. En ce qui concerne le plomb, aussi bien valeurs que mesures sont très faibles, et donc nous n'observons pas d'écart notable. En revanche, les prédictions de zinc sont très faibles mais les mesures sont beaucoup plus élevées, allant jusqu'à un facteur 10.

### 5.7. Interprétation

Ainsi, nous avons observé le signal de fond de la pollution dans des cours d'eau peu touchés par les rejets que nous avons présenté précédemment. Nous trouvons dans le milieu des

concentrations de zinc très importantes et également des concentrations de nickel qui sont plus élevées que les prédictions. Le cuivre et le zinc sont assez peu présents et les prédictions de leur concentration sont fidèles à la réalité. Ainsi, même les simulations « maximum » sous-estiment certains rejets.

Pour essayer de comprendre ces écarts, nous pouvons revenir au tableau résumant les rejets pris en compte dans les simulations. Plusieurs explications peuvent être avancées :

- Tout d'abord, nous savons que les apports des sols pour les métaux sont très peu pris en compte dans cette simulation (on ne retrouve que des apports des sols indirects, à travers les apports urbains avec le lessivage, avec le fichier de pollution instantanée qui inclut les RUTP). Cela pourrait expliquer le fait que les mesures soient presque toujours supérieures aux résultats de simulation.
- Plus généralement, certaines voies d'apport ne sont pas modélisées par Pégase, comme les apports du fond géochimique par exemple, or nous savons qu'une quantité importante de zinc est naturellement présente dans le sol. [11]
- Nous avons également remarqué que certains apports modélisés par Pégase ne sont pas pris en compte dans cette simulation (cf. table 9), comme les apports par voies atmosphériques, ou encore l'apport des sols, dont les fonctions pour les métaux étudiés sont nulles. Or ces apports, comme nous venons de le voir, sont potentiellement significatifs.
- Par ailleurs, nous avons vu que la plus grande différence se fait au niveau du zinc. Nous savons que l'agriculture est une source de zinc très importante, donc l'apport agricole pourrait être sous-estimé dans ces cours d'eau.
- Il est également possible que les rejets soient mal pris en compte (certains rejets peuvent ne pas être répertoriés) ou sous-estimés. De fait, une base de données de ce type peut toujours être améliorée.
- Dans le cas des micropolluants, nous pouvons également imaginer une pollution historique et une remise en suspension par les sédiments. Ces apports seraient très complexes à prendre en compte dans la modélisation.

- Enfin, au cours de notre recherche, nous avons remarqué quelques éléments qui pourraient contribuer à un écart entre simulation et réalité. Nous avons notamment remarqué que le taux de collecte est systématiquement de 100% dans les fichiers de rejets urbains, ce qui est très optimiste et peut probablement expliquer partiellement des mesures de pollution supérieures aux prédictions.

Cependant, notons bien que nous venons uniquement d'exposer des hypothèses. En effet, nous manquons d'information pour affirmer que l'une ou l'autre de ces hypothèses est juste, mais il est probable que plusieurs de ces hypothèses expliquent chacune en partie les écarts que nous avons observés. Par ailleurs, nous n'avons pas abordé le sujet de l'incertitude dans ce travail car nous avons trop peu d'informations à ce sujet, mais certains écarts faibles pourraient s'expliquer par l'incertitude portant sur les mesures. Ce travail ne constitue donc pas une validation du bassin Rhin-Meuse. Néanmoins, pour garantir la plus grande précision possible dans la modélisation, il est conseillé de prendre en compte toutes les voies d'apport connues.

Au cours de ce stage, nous avons tenté de réaliser notre analyse avec le moins de biais possibles. Nous avons donc suivi une méthode pour ne pas exprimer de conclusions hâtives. Toutefois, nous avons rencontré quelques difficultés qui font que nous n'avons pas exactement pu accomplir tout ce que nous voulions pour compléter au mieux ce travail. En effet,

- Certains traitements statistiques sur R auraient pu enrichir ce travail mais ils n'ont jamais abouti. Par ailleurs, tous les traitements statistiques de ce mémoire ont été réalisés grâce à R, et cela a nécessité un délai d'apprentissage non négligeable.
- Nos traitements statistiques ne sont pas exhaustifs sur le bassin Rhin-Meuse car nous n'avons pas réussi à nous procurer les mesures du bassin du Rhin.
- Au final, malgré le nombre impressionnant de données brutes dans la base de données du SIERM, nous ne disposons pas d'assez de données pour réaliser des validations statistiques telles que des régressions ou des histogrammes de fréquence par classe, ce qui aurait pu être intéressant.
- Enfin, nous aurions voulu représenter tous les rejets dans notre SIG, mais malheureusement certains formats de fichier étaient incompatibles et nous n'avons donc pas réussi à représenter tous les rejets.

---

\*\*\*

## Conclusion

\*\*\*

---

Tout d'abord, ce travail a été très intéressant et aura également eu la vertu d'apporter des apprentissages personnels, aussi bien en ce qui concerne la programmation sur R, que le travail de recherche, les démarches nécessaires pour la conception et la validation d'un modèle, et la vie en laboratoire. Ce stage aura été une expérience très enrichissante, une première dans le monde de la recherche et un apprentissage de la rigueur et de l'organisation nécessaires pour gérer et faire aboutir des projets.

Au cours de ce travail, nous avons analysé un grand nombre de données pour sélectionner des paramètres pertinents afin de réaliser un travail préliminaire d'analyse des pressions en micropolluants, pour analyser les pressions principales sur les différentes masses d'eau du bassin Rhin-Meuse.

Nous avons vu l'importance de ces dernières sur la qualité de l'eau en fonction de l'occupation des sols. Certains paramètres sont très bien modélisés, mais comme nous avons pu le constater dans les tableaux récapitulatifs des paramètres, certains apports de polluants ne sont pas pris en compte et peuvent être l'une des raisons qui pourraient expliquer les écarts que nous avons observé entre modélisation et mesure.

Toutefois, il faut également mettre en perspective ces résultats. Nous avons dans ce travail effectué un travail préliminaire de validation en analysant la modélisation et les résultats en fonction de certains paramètres que nous avons jugés pertinents. Cette analyse n'est donc pas exhaustive et ne constitue absolument pas une réelle validation du module Micropolluants de Pégase. Par ailleurs, la quantité disponible de données ne nous aurait pas permis de réaliser une validation quantitative avec par exemple des histogrammes de classes ou des régressions linéaires. Nous avons néanmoins pu remarquer que, même en dehors d'une démarche de validation, les mesures in situ apportent beaucoup au modèle. Il est très

intéressant de les confronter à ce dernier pour avoir un aperçu de la proximité entre mesures et simulation, et cela nous permet de savoir dans quelle direction affiner le modèle pour se rapprocher de la réalité.

A l'issue de ce travail qui, nous l'espérons, aura été intéressant et aura ouvert quelques questionnements, il est possible de dégager des perspectives pour aller plus loin dans la démarche. Il est envisageable de réaliser une analyse qui serait plus exhaustive, qui prendra en compte plus de micropolluants, et/ou qui prendrait en compte l'entièreté du bassin versant. Nous pouvons donc imaginer une validation stricte du module micropolluants de Pégase dans le bassin Rhin-Meuse. Pour ce faire, nous pourrions également supposer que plus de données de micropolluants seront disponibles à l'avenir, elles permettront de réduire l'incertitude et d'avoir plus de précision dans des études comme celles-ci.

En ce qui concerne la qualité de l'eau en elle-même, nous pouvons espérer une régulation efficace des rejets, ainsi qu'une amélioration des abattements de micropolluants en station d'épuration, pour permettre à un maximum de masses d'eau d'atteindre le bon état écologique le plus rapidement possible.



# Bibliographie

- [1] JOAQUIM-JUSTO Célia, 2020. *Cours d'écotoxicologie*. Université de Liège.
- [2] Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2000. *Directive 2000/60/CE établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32000L0060> (Consulté le 14/04/21)
- [3] Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2008. *Directive 2008/105/CE établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:348:0084:0097:FR:PDF> (Consulté le 14/04/21)
- [4] Ministre d'Etat, ministre de la transition écologique et solidaire de France, 2018. *Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037347756/> (Consulté le 14/04/21)
- [5] SIGES Rhin-Meuse. Présentation | BRGM [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://sigesrm.brgm.fr/Presentation> (Consulté le 20/04/21)
- [6] Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2014. Connaissance du Bassin Rhin-Meuse / La population [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://www.eau-rhin-meuse.fr/connaissance\\_du\\_bassin\\_rhin\\_meuse](https://www.eau-rhin-meuse.fr/connaissance_du_bassin_rhin_meuse) (Consulté le 02/05/21)
- [7] Climate Data, 2019. Nancy Climat | Climate-data.org [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://fr.climate-data.org/europe/france/lorraine/nancy-364/> (Consulté le 02/05/21)
- [8] Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 2014. Connaissance du Bassin Rhin-Meuse / Le climat [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://www.eau-rhin-meuse.fr/connaissance\\_du\\_bassin\\_rhin\\_meuse](https://www.eau-rhin-meuse.fr/connaissance_du_bassin_rhin_meuse) (Consulté le 02/05/21)
- [9] MétéoFrance, 2020. Le climat en France métropolitaine [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://meteofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine> (Consulté le 08/05/21)
- [10] SIGES Rhin-Meuse. Carte géologique du Bassin Rhin-Meuse | BRGM [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://sigesrm.brgm.fr/Carte-geologique-du-bassin-Rhin-Meuse> (Consulté le 01/05/21)
- [11] Baize D., 2000. Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français, *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°39, février 2000.
- [12] Bril H. et Bollinger JC., 2006. Comprendre les pollutions par les métaux. *L'Actualité Chimique*, Société chimique de France pp.54-62.
- [13] DELIEGE Jean-François, 2020. *Cours d'Outils d'analyse et d'aide à la décision pour une GIRE*. Université de Liège.
- [14] EVERBECQ Etienne. *Modélisation des processus de production et de biodégradation*. Aquapôle, Université de Liège.
- [15] Deliège JF, Everbecq E, Magermans P, Grard A, Bourouag M, Blockx C., 2009. PEGASE, a software dedicated to surface water quality assessment and to European database reporting. In: *Proceedings of the European Conference of the Czech Presidency of the Council of the EU Towards eEnvironment, Opportunities of SEIS and SIZE: Integrating Environmental Knowledge in Europe*. Brno, Czech Republic: Masaryk University; p. 24–32.
- [16] Deliège JF., 2013. Model integration method adapted to multicompartamental hydrological systems. [PhD Thesis]. University of Liège p.266.
- [17] Deliège JF, Grard A, Everbecq E, Weingertner P, Conan C, Salleron JL, Coulon O, De Guibert O., 2011. PEGASE, A model dedicated to Surface Water Quality Assessment that helps

stakeholders implementing the WFD. European Geosciences Union General Assembly 2011. Vienna, Austria.

[18] Grard A, Everbecq E, Magermans P, Bourouag M, Deliège JF., 2014. Transnational modelling of the Meuse District with PegOpera simulation software. *International Journal of River Basin Management*.

[19] Deliege JF, Everbecq E, Magermans P, Grard A, Bourouag T, Blockx C, Smits J., 2010. PEGASE, an integratedriver/basin model dedicated to surface water quality assessment: application to cocaine. *Acta Clinica Belgica* 42-48.

[20] Système d'Informations sur l'Eau du bassin Rhin-Meuse, 2021. *Base de données* [en ligne]. (Consulté le 14/04/21). Disponible à l'adresse : <https://rhin-meuse.eaufrance.fr/accueil> (Consulté le 20/04/21)

[21] Comité du Bassin Rhin-Meuse, 2019. *Inventaire des émissions, pertes et rejets sur le bassin Rhin-Meuse*.

[22] Pégase, 2016. *Fichier de Rejets instantanés* : Data.polist

[23] Comité du Bassin Rhin-Meuse, 2019. *Fichier d'analyse des pressions de l'Etat des lieux 2019* : Data.

[24] Environnement industrie, 2013. *Cuivre* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://environnement-industrie.com/theme/Environnement/uploads/Cuivre43.pdf> (Consulté le 19/04/21)

[25] Lenntech. *Zinc* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.lenntech.fr/francais/data-perio/zn.htm> (Consulté le 19/04/21)

[26] Laperche Dorothée, 2017. Le zinc figure toujours en tête des substances dangereuses retrouvées dans l'eau. *Actu environnement* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/zinc-rsde-ineris-substances-dangereuses-rejets-eau-metaux-pesticides-28186.php4> (Consulté le 19/04/21)

[27] Fabrégat Sophie, 2010. Micropolluants : l'efficacité des stations d'épuration à la loupe. *Actu environnement* [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://www.actu-environnement.com/ae/news/station\\_epuration\\_micropolluants\\_pollution\\_eau\\_9426.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/news/station_epuration_micropolluants_pollution_eau_9426.php4) (Consulté le 19/04/21)

[28] Service de l'Observation et des statistiques, 2016. *Atlas régional de l'occupation des sols en France*. [en ligne] Disponible à l'adresse : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-01/datalab-2-atlas-regional-de-loccupation-des-sols-en-france%20%28cl%29-octobre2016.pdf> (Consulté le 23/04/21)

[29] ULaval, Vérification et validation du modèle. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www2.ift.ulaval.ca/~dupuis/Simulation/Developpement%20et%20utilisation%20dun%20modele%20de%20simulation/Verification%20et%20validation.pdf> (Consulté le 12/04/21)

[30] Pégase, 2016. *Fichier de Rejets urbains* : Data.rejurb

[31] Pégase, 2016. *Fichier de Rejets industriels* : Data.polind

# Résumé

Les eaux du bassin Rhin-Meuse sont sujettes à une pollution par les micropolluants, selon différentes voies d'apport. Ce travail a pour vocation d'analyser l'importance et la prise en compte de ces pressions dans la modélisation Pégase. Pour ce faire, cinq micropolluants ont été sélectionnés comme paramètres (le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc) sur base des données dont nous disposons et à l'aide d'outils statistiques. Des simulations ont ensuite été réalisées dans différents bassins versants en fonction de l'occupation des sols et des données disponibles. En comparant les résultats de simulation aux données, nous avons pu remarquer certains écarts, en particulier concernant le zinc. Ces écarts peuvent être imputés, entre autres, au fait que toutes les voies d'apport de micropolluants ne sont pas modélisées par Pégase, et notamment le fond géochimique. De plus, la fonction d'apport des sols de cette simulation est nulle pour les éléments sélectionnés.

Mots-clés : micropolluants, bassin Rhin-Meuse, mesures in situ, simulations, statistiques

# Abstract

The waters of the Rhin-Meuse watershed are threatened by micropollutants, that come from different sources. This study wishes to analyze the weight of these different sources, and how they are taken into account in Pégase simulations. In order to do so, five micropollutants were selected as parameters for the study, according to the available datasets. They are : chrome, copper, nickel, lead and zinc. Simulations were then made in different river basins depending on land use and available data. While comparing the data and simulation results, we observed some differences in the figures, especially concerning zinc. Those differences can be (partly) explained by the fact that not all sources of micropollutants are taken into account in the Pégase model, and among others, the geochemical interactions. Moreover, the function that takes into account soil input is null for the selected parameters in this simulation.

Keywords : micropollutants, Rhin-Meuse watershed, measurements, simulations,