



**Convention pour la caractérisation complémentaire des masses d'eau
 dont le bon état dépend de l'interaction des eaux de surface et des eaux
 souterraines - ESU-ESO 2**

**Convention entre la Région wallonne et l'Université de Liège,
 Département ArGENCo, Secteur Geo³**

**Délivrable D02 : Description des résultats relatifs aux campagnes d'échantillonnage
 à l'échelle des bassins versants**

Coordinateur du projet :

Dr. ir. Serge Brouyère

Partenaires scientifiques :

ULg-HGE : Caroline Thomas, Dr. ir. Philippe Orban, Victoria Collignon

Rédaction : Victoria Collignon, Caroline Thomas, Philippe Orban, Serge Brouyère

Table des matières

Table des matières	2
I. Introduction et présentation des objectifs du délivrable	10
II. Rappel relatif aux bassins étudiés dans le cadre de la convention ESU-ESO	11
III. Protocoles expérimentaux relatifs aux investigations menées sur les bassins étudiés ..	12
1. Description des réseaux de monitoring continu	14
1.1. Stations météorologiques considérées pour la convention	14
1.2. Mesures des niveaux et débits en rivières (<i>ESU</i>) ainsi que des profondeurs d'eau de la nappe (<i>ESO</i>)	15
1.3. Sondes CTD placées dans le cadre de la convention	17
2. Procédures d'échantillonnages <i>in-situ</i>	17
2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques	17
IV. Description des données acquises pour les bassins étudiés dans le cadre de la convention ..	18
1. Bassin de la Braunlauf	18
1. Description du réseau de monitoring mis en place dans le bassin de la Braunlauf	19
2. Résultats du monitoring en continu dans le bassin de la Braunlauf	20
2.1. Données météorologiques utilisées dans le cas du bassin de la Braunlauf	20
2.2. Réseau de surveillance du débit dans le bassin de la Braunlauf	21
2.3. Profondeurs d'eau (<i>ESO</i>) et niveaux d'eau en rivière (<i>ESU</i>) dans le bassin de la Braunlauf	22
2.4. Courbe de tarage du point Neubrück situé dans le bassin de la Braunlauf	23
2.5. Évolutions des conductivités électriques en fonction des variations de profondeur d'eau dans la nappe (<i>ESO</i>) et des niveaux d'eau en rivière (<i>ESU</i>) dans le bassin de la Braunlauf	24
3. Résultats du monitoring sur base mensuelle dans le bassin de la Braunlauf	27

3.1. Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Braunlauf	27
3.2. Examen spécifique de deux campagnes mensuelles <i>ESU</i> dans le bassin de la Braunlauf	32
4. Campagne régionale d'échantillonnage dans le bassin de la Braunlauf.....	37
4.1. Statistiques générales de campagne régionale pour le bassin de la Braunlauf	37
4.2. Cartographie spatiale de la conductivité électrique, du pH et des ions majeurs pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Braunlauf.....	39
4.3. Représentation graphique (diagrammes de Piper et Stiff) pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Braunlauf	45
2. Bassin de la Thyle	47
1. Description du réseau de monitoring mis en place dans le bassin de la Thyle	48
2. Résultats du monitoring en continu dans le bassin de la Thyle.....	50
2.1. Données météorologiques utilisées dans le cas du bassin de la Thyle	50
2.2. Réseau de surveillance du débit dans le bassin de la Thyle	51
2.3. Profondeurs d'eau (<i>ESO</i>) et niveaux d'eau en rivière (<i>ESU</i>) dans le bassin de la Thyle	
52	
2.4. Courbe de tarage du point <i>Gentissart</i> situé dans le bassin de la Thyle.....	54
2.5. Évolutions des conductivités électriques en fonction des variations de profondeur d'eau dans la nappe (<i>ESO</i>) et des niveaux d'eau en rivière (<i>ESU</i>) dans le bassin de la Thyle	
54	
3. Résultats du monitoring sur base mensuelle dans le bassin de la Thyle	57
3.1. Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Thyle	57
3.2. Examen spécifique de deux campagnes mensuelles <i>ESU</i> dans le bassin de la Thyle	
62	
4. Campagne régionale d'échantillonnage dans le bassin de la Thyle.....	67
4.1. Statistiques générales de campagne régionale pour le bassin de la Braunlauf	67

4.2. Cartographie spatiale de la conductivité électrique, du pH et des ions majeurs pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Thyle.....	69
4.3. Représentation graphique (diagrammes de Piper et Stiff) pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Thyle	75
3. Massif de la Croix-Scaille.....	77
1. Description du réseau de monitoring mis en place dans le massif de la Croix-Scaille .	78
2. Campagne régionale d'échantillonnage dans le massif de la Croix-Scaille	79
2.1. Statistiques générales de campagne régionale pour le massif de la Croix-Scaille	79
2.2. Cartographie spatiale de la conductivité électrique, du pH et des ions majeurs pour la campagne régionale réalisée dans le massif de la Croix-Scaille.....	81
2.3. Représentation graphique (diagrammes de Piper et Stiff) pour la campagne régionale réalisée du massif de la Croix-Scaille	85
V. Références.....	87
VI. Annexe.....	88
1. Ouvrages d'AQUALIM.....	88
2. Ouvrages de PIEZ'EAU	90
3. Procédures spécifiques au prélèvement et paramètres analysés	94
4. Présentation des outils standards d'analyses des résultats	98
Diagrammes de Piper	98
Diagramme de Stiff.....	99

Figure 1 : Localisation à l'échelle de la Belgique des trois bassins étudiés dans le cadre de la convention.....	12
Figure 2 : Réseau de monitoring final pour le bassin de la Braunlauf	19
Figure 3 : Mise en parallèle de la pluviométrie, l'évapotranspiration réelle calculée à la station météorologique du bassin de la Braunlauf et de l'évolution temporelle du débit mesuré à la station limnimétrique.....	21

Figure 4 : Évolution temporelle du débit mesuré à la station limnimétrique située à l'exutoire du bassin de la Braunlauf (Aqualim, 2021)	22
Figure 5 : Chroniques des profondeurs d'eau souterraine (ESO) et niveaux d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Braunlauf.	23
Figure 6 : Courbe de tarage relative au point Neubrück dans le bassin de la Braunlauf.....	24
Figure 7 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde pressiométrique placée dans le puits Crombach, dans le bassin de la Braunlauf	25
Figure 8 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde pressiométrique placée dans le puits Hasert, dans le bassin de la Braunlauf	25
Figure 9 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à la station limnimétrique, dans le bassin de la Braunlauf.....	26
Figure 10 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à Neubrück, dans le bassin de la Braunlauf	27
Figure 11 : Stations d'échantillonnage en eau de surface dans le bassin de la Braunlauf	28
Figure 12: Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Braunlauf	31
Figure 13 : Diagrammes de Piper des campagnes réalisées pour le bassin de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021.	33
Figure 14 : Diagrammes de Stiff pour les campagnes mensuelles de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021	34
Figure 15 : Représentations cartographiques des conductivités électriques mesurées in situ lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées sur base des percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.	35
Figure 16 : Représentations cartographiques des concentrations en nitrate mesurées lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées selon les percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.....	36
Figure 17 : Boxplot des concentrations en ions majeurs des ESO et ESU de la campagne régionale pour le bassin de la Braunlauf.....	38

Figure 18 : Localisation des points échantillonnés lors de la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	39
Figure 19 : Représentation cartographique de la conductivité électrique mesurée in situ pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf.....	40
Figure 20 : Représentation cartographique du pH mesuré in situ pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	41
Figure 21 : Représentation cartographique de la concentration en nitrate pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	42
Figure 22 : Représentation cartographique de la concentration en sulfate pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	43
Figure 23 : Représentation cartographique de la concentration en chlorure pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	43
Figure 24 : Représentation cartographique de la concentration en sodium pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	44
Figure 25 : Représentation cartographique de la concentration en calcium pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	44
Figure 26 : Diagrammes de Piper relatif à la campagne régionale réalisée en septembre 2021 dans le bassin de la Braunlauf.....	45
Figure 27 : Diagrammes de Stiff de la campagne régionale réalisée en septembre 2021 dans le bassin de la Braunlauf ; (a) les eaux de surface ; (b) les eaux souterraines	46
Figure 28 : Réseau de monitoring final pour le bassin de la Thyle	49
Figure 29 : Mise en parallèle de la pluviométrie, l'évapotranspiration réelle calculée à la station météorologique du bassin de la Thyle et de l'évolution temporelle du débit mesuré à la station limnimétrique Suzeryl	51
Figure 30 : Évolution du débit mesuré à la station limnimétrique située à l'exutoire du bassin de la Thyle (Aqualim, 2021).....	52
Figure 31 : Chroniques des profondeurs d'eau souterraine (ESO) et niveau d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Thyle.	53
Figure 32 : Courbe de tarage relative au point Gentissart dans le bassin de la Thyle.....	54
Figure 33 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde CTD placée dans le piézomètre HT4BXL, dans le bassin de la Thyle ..	55

Figure 34 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde CTD placée dans le piézomètre HT4GV, dans le bassin de la Thyle ...	56
Figure 35 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à Gentissart, dans le bassin de la Thyle	56
Figure 36 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à Suzeryl, dans le bassin de la Thyle	57
Figure 37 : Stations d'échantillonnage en eau de surface dans le bassin de la Thyle	58
Figure 38: Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Thyle	61
Figure 39 : Diagramme de Piper des campagnes réalisées pour le bassin de la Thyle en considérant le nitrate (a) juillet 2020 ; (b) en février 2021.....	63
Figure 40 : Diagramme de Piper des campagnes réalisées pour le bassin de la Thyle sans considérer le nitrate (a) juillet 2020 ; (b) en février 2021.....	63
Figure 41 : Diagrammes de Stiff pour les campagnes mensuelles de la Thyle ; (a) juillet 2020 ; (b) février 2021.....	64
Figure 42 : Représentations cartographiques des conductivités électriques mesurées in situ lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Thyle (a) en juillet 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées selon les percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.....	65
Figure 43 : Représentations cartographiques des concentrations en nitrate mesurées lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Thyle (a) en juillet 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées selon les percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.....	66
Figure 44 : Boxplot des concentrations en ions majeurs des ESO et ESU de la campagne régionale pour le bassin de la Thyle.....	68
Figure 45 : Disposition spatiale des ouvrages de la campagne régionale de la Thyle	69
Figure 46 : Représentation cartographique de la conductivité électrique mesurée in situ pour la campagne régionale du bassin de la Thyle.....	70
Figure 47 : Représentation cartographique du pH mesuré in situ pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	71
Figure 48 : Représentation cartographique de la concentration en nitrate pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	72

Figure 49 : Représentation cartographique de la concentration en sulfate pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	73
Figure 50 : Représentation cartographique de la concentration en chlorure pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	74
Figure 51 : Représentation cartographique de la concentration en sodium pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	74
Figure 52 : Représentation cartographique de la concentration en calcium pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	75
Figure 53 : Diagrammes de Piper de la campagne régionale réalisée en juin 2021 dans le bassin de la Thyle en considérant le nitrate.....	76
Figure 54 : Diagrammes de Stiff pour la campagne régionale réalisée en juin 2021 dans le bassin de la Thyle ; (a) eau souterraine ; (b) eau de surface	77
Figure 55 : Réseau de monitoring final pour le massif de la Croix-Scaille	79
Figure 56 : Boxplot des concentrations en ions majeurs des ESO et ESU de la campagne régionale pour le massif de la Croix-Scaille.....	80
Figure 57 : Représentation cartographique de la conductivité électrique mesurée in situ pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	82
Figure 58 : Représentation cartographique du pH mesuré in situ pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	82
Figure 59 : Représentation cartographique de la concentration en nitrate pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	83
Figure 60 : Représentation cartographique de la concentration en sulfate pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	83
Figure 61 : Représentation cartographique de la concentration en chlorure pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	84
Figure 62 : Représentation cartographique de la concentration en sodium pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	84
Figure 63 : Représentation cartographique de la concentration en calcium pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	85
Figure 64 :Diagrammes de Piper de la campagne régionale réalisée en juillet 2021 dans le massif de la Croix-Scaille	86

Figure 65 : Diagrammes de Stiff pour la campagne régionale réalisée en juillet 2021 dans le massif de la Croix-Scaille	86
Figure 66 : Liste des méthodes d'essais et références normatives de la SWDE dans le cadre de l'analyse des substances médicamenteuses	95
Figure 67 : Liste des méthodes d'essais et références normatives de la SWDE dans le cadre de l'analyse des substances médicamenteuses (suite).....	96
Figure 68: Diagramme de Piper théorique (Piper, 1944)	99

Tableau 1 : Synthèse des échantillonnages réalisés pour les différentes campagnes effectuées dans le cadre de la convention	14
Tableau 2 : Inventaire des stations météorologiques considérées dans le cadre de la convention (Agromet, 2021)	14
Tableau 3 : Inventaire des stations limnimétriques considérées dans le cadre de la convention (Aqualim, 2021)	15
Tableau 4 : Inventaire des ouvrages Piez'Eau considérés dans le cadre de la convention (Piez'Eau, 2021).....	16
Tableau 5 : Résultats de l'analyse statistique générale pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf	38
Tableau 6 : Résultats de l'analyse statistique générale pour la campagne régionale du bassin de la Thyle	68
Tableau 7 : Résultats de l'analyse statistique générale pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille	80
Tableau 9: Procédure d'échantillonnage et matériel utilisé pour l'Université de Liège	97

I. Introduction et présentation des objectifs du délivrable

La convention ESU-ESO 2 fait suite à la première du même nom, ESU-ESO 1 (2013-2017), dont le but était de comprendre et de quantifier les échanges d'eau et de solutés entre les nappes d'eau souterraine (*ESO*) et les eaux de surface (*ESU*) dans des bassins de type calcaires du Carbonifère. L'objectif de la deuxième convention est de tirer profit des enseignements de la première afin de cibler les éléments nécessaires à la caractérisation des interactions *ESU-ESO* dans de nouveaux contextes géologiques, en particulier des bassins plus ruisselants. Le travail se focalisera essentiellement sur la mise en place d'un réseau de suivi permettant :

- Sur le plan quantitatif, de réaliser des bilans en eau à l'échelle du bassin-versant et du cours d'eau avec pour buts de quantifier les échanges « nappe rivière » et d'appliquer (et adapter si nécessaire) les indicateurs ainsi que la typologie des bassins développés lors de la première convention.
- Sur le plan qualitatif, de contribuer à l'identification des différentes sources de nitrate (agricole, urbaine, ...) et de caractériser la dynamique du nitrate dans le système « nappe rivière ».

Le délivrable D01 a permis de lister les bassins-versants envisageables pour mener les travaux de la convention, de justifier la sélection finalement opérée (bassins de la Thyle, de la Braunlauf et massif de la Croix-Scaille) et, pour ces derniers, de fournir les premiers inventaires de données et de points de mesures existants. Sur cette base, une première proposition de réseau de monitoring et de suivi a été proposée. Le délivrable D02 présente pour chaque bassin la proposition finale du réseau de monitoring ainsi que ses résultats des suivis quantitatifs et qualitatifs.

Dans un premier temps, les bassins étudiés font l'objet d'une brève description. Ensuite, les différentes méthodes de monitoring (station météorologique, sondes CTD, ...) et outils d'analyses standards (diagrammes de Piper, de Stiff, ...) sont présentés. Afin d'éviter des répétitions par la suite, les procédures de mesures et prélèvements de terrain ainsi que les méthodes d'analyses des données hydrochimiques sont décrites avant la présentation des résultats obtenus pour la convention.

Dans un second temps, les campagnes d'échantillonnage sont définies par bassin et les résultats des campagnes de monitoring mensuels et régionaux sont finalement présentés.

II. Rappel relatif aux bassins étudiés dans le cadre de la convention ESU-ESU 2

Les critères qui ont servi de base à la détermination des bassins étudiés dans le cadre de la convention sont les suivants :

- A. Le bassin présente une problématique « *ESO-ESU* », d'un point de vue quantitatif et/ou qualitatif ;
- B. Le bassin doit préféablement déjà avoir fait l'objet d'études de caractérisation hydrogéologique avancées dans le but de disposer de connaissances consolidées au démarrage de cette deuxième convention ;
- C. Le bassin présente un contraste au niveau des conditions hydrologiques / hydrogéologiques notamment en ce qui concerne la composante de ruissellement par rapport à la convention précédente, *ESO-ESU 1*.

Les trois bassins étudiés dans le cadre de cette seconde convention sont (Figure 1) :

- Le bassin de la **Braunlauf** pour lequel une comparaison est possible entre les parties amont et aval ;
- Le bassin de la **Thyle** (sous-bassin de la Dyle) dans le but de considérer un contexte géologique différent et de prendre en compte un bassin particulièrement impacté par du nitrate d'origine industrielle et agricole ;
- Le massif de la **Croix – Scaille**, choisi comme bassin témoin, principalement dans le but de caractériser le nitrate d'origine naturelle (en particulier sa signature isotopique), dans un bassin sans pression anthropique significative. Concernant ce bassin, le travail effectué est plus limité, portant principalement sur le prélèvement et l'analyse d'échantillons d'eau et non pas sur l'étude quantitative des interactions « nappes-rivières ».

Les bassins de la Thyle et de la Braunlauf sont caractérisés par des contextes géologiques contrastés (sables du Bruxellien vs. Massif ardennais) et disposent d'un nombre de données et de points d'accès à la nappe suffisant afin de mener à bien l'étude. De plus, les sources de pollution en nitrate de ces deux bassins sont potentiellement d'origines différentes ce qui permettra éventuellement de mettre en évidence les différentes signatures chimiques et isotopiques des sources de pollution azotée.

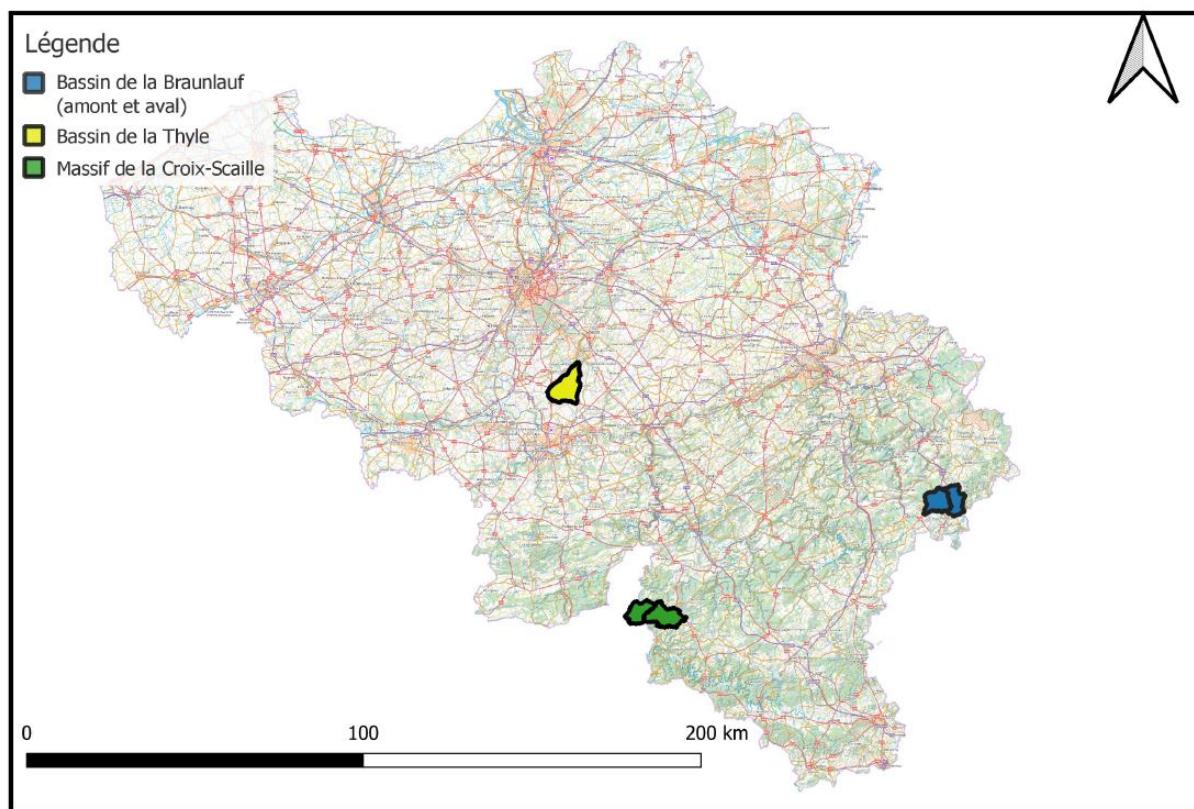


Figure 1 : Localisation à l'échelle de la Belgique des trois bassins étudiés dans le cadre de la convention

Une brève description générale de la situation géographique, des contextes hydrologiques et hydrogéologiques ainsi que de l'occupation du sol sera rappelée pour chaque bassin avant l'analyse des campagnes d'échantillonnage. Pour plus d'information sur ces bassins, le lecteur est invité à consulter le délivrable D01.

III. Protocoles expérimentaux relatifs aux investigations menées sur les bassins étudiés

Les trois bassins étudiés dans le cadre de la convention font l'objet des investigations suivantes :

A. Sur base continue au cours du temps :

- Des niveaux d'eau mesurés par les sondes CTD disposées dans certains ouvrages souterrains (*ESO*) et en rivière (*ESU*) ;
- Des conductivités électriques mesurées dans certains ouvrages souterrains (*ESO*) et en rivière (*ESU*) par les sondes CTD ;
- Des mesures de débit par jaugeage effectuées en rivière (*ESU*).

Ces mesures sont complétées d'une part par l'acquisition de données de précipitations via les stations météorologiques du réseau *Pameseb* et d'autre part par des mesures de niveaux d'eau et de débit en rivière effectuées par le SPW.

B. Sur base mensuelle :

- L'échantillonnage mensuel des eaux de surface (*ESU*) avec analyse chimique (ions majeurs et paramètres physico-chimiques *in situ*)

C. Sur base ponctuelle :

- Une campagne régionale d'échantillonnage *ESO-ESU* par bassin en vue de réaliser des analyses chimiques (ions majeurs, isotopes, substances médicamenteuses, paramètres *in situ* ...) concernant tant les eaux souterraines que les eaux de surface.

Les campagnes de suivi mensuel ont principalement permis d'analyser l'évolution des concentrations en éléments majeurs des eaux de surface. Les campagnes régionales ont porté sur les ions majeurs mais également sur les isotopes stables du bore et du nitrate ainsi que sur les analyses des substances médicamenteuses tant pour les eaux de surface que pour les eaux souterraines¹.

D'une campagne mensuelle à l'autre, certains points d'échantillonnage d'eaux de surface ont varié et ont été remplacés par d'autres pour diverses raisons², d'autres n'ont simplement pas été échantillonnés lors de certaines campagnes car secs ou inaccessibles. Le Tableau 1 synthétise par bassin le nombre maximum de points d'échantillonnage *ESU-ESO*.

¹ Les résultats concernant les isotopes de bore et de nitrate ne sont pas présentés dans ce délivrable car les échantillons n'ont pas encore tous été analysés à l'heure de la rédaction. Ils seront intégrés dans le rapport final (délivrable D03).

² Exemple : pour la Braunlauf, l'échantillonnage à l'aval de la station d'épuration a été remplacé par l'échantillonnage directement au niveau du rejet de la station d'épuration.

Bassin	Monitoring mensuel		Monitoring ponctuel		
	Campagne mensuelle ESU		Campagne régionale ESU-ESO		
	Date de début et de fin de suivi	Nombre maximum de sites échantillonnés	Date	ESO	ESU
Braunlauf	Du 03-03-20 au 15-09-21	12	Du 13-09-21 au 15-09-21	13	8
Thyle	Du 05-03-20 au 18-08-21	13	Du 28-06-21 au 30-06-21	10	11
Croix-Scaille	-	-	Du 01-07-21 au 02-07-21	7	9

Tableau 1 : Synthèse des échantillonnages réalisés pour les différentes campagnes effectuées dans le cadre de la convention

1. Description des réseaux de monitoring continu

1.1. Stations météorologiques considérées pour la convention

Dans le cadre de la convention, les données météorologiques journalières enregistrées par le réseau *Pameseb* et éditées par le *CRAW-W* depuis 2015 ont été obtenues (Tableau 2). Ces données sont directement téléchargeables sur la plateforme [Agromet](#). Les informations relatives aux paramètres³ et procédures de mesures sont consultables en ligne. Les stations fournissent des mesures journalières de température et de pluviométrie et calculent également l'évapotranspiration potentielle journalière (ET0) selon l'équation de référence de la FAO de *Penmann-Monteith*⁴.

Nom	Bassin	Installation	Altitude	X Lambert 72	Y Lambert 72
Emmels	Braunlauf	24 août 2005	539	272231	111863
Baisy-Thy	Thyle	28 septembre 2005	126	158412	141456

Tableau 2 : Inventaire des stations météorologiques considérées dans le cadre de la convention (Agromet, 2021)

³ La température de l'air, l'humidité relative, la température humide de l'air, la température sous feuillage, la température à 20 cm dans le sol, la vitesse du vent à 2 m, le rayonnement solaire global, la direction de provenance du vent, les précipitations, l'évapotranspiration de référence et la durée d'humectation du feuillage.

⁴ L'ET0 est l'équivalent de l'ETP calculée avec Penmann-Monteith pour un couvert de type gazon bien alimenté en eau (Allen *et al.*, 1998)

1.2. Mesures des niveaux et débits en rivières (*ESU*) ainsi que des profondeurs d'eau de la nappe (*ESO*)

Les stations Aqualim du SPW permettent l'enregistrement continu⁵ des niveaux d'eau en rivière. Couplées à des mesures de jaugeages, les mesures de niveaux permettent d'établir des courbes de tarage permettant de mettre en relation les valeurs de débit avec celles du niveau d'eau (*ESU*). Ces données sont disponibles via le [portail Aqualim du SPW](#). Les mesures piézométriques disponibles pour les ouvrages suivis par *Piez'Eau* sont consultables et téléchargeables en ligne sur le site [du réseau piézométrique belge](#). Ces ouvrages sont gérés par le réseau de surveillance de l'état quantitatif des masses d'eau souterraine du SPW. La majorité des ouvrages sont équipés d'un système automatisé de télétransmission des mesures de profondeurs d'eau.

1.2.1. *Stations limnimétriques Aqualim considérées pour la convention*

L'inventaire des stations limnimétriques considérées pour la convention est repris au Tableau 3. Pour plus d'information, le lecteur est invité à se référer aux fiches signalétiques des stations (en annexe 1) ou directement consultables sur le site internet d'*Aqualim* où les données sont libres d'accès et de téléchargement. Dans le cadre de la convention, les données journalières seront considérées.

Nom	Code	Bassin	Débit maximum jaugé [m^3/s]	Mise en service	Altitude [m]	Fiabilité des mesures	X Lambert 72	Y Lambert 72
Lommersweiler	L6090	Braunlauf	11.85	03-09-1991	383.14	Données validées	163837	146840
Suzeryl	L5460	Thyle	4.52	01-04-1973	65.532	Données validées	163837	146834

Tableau 3 : Inventaire des stations limnimétriques considérées dans le cadre de la convention (Aqualim, 2021)

1.2.2. *Chroniques piézométriques récupérées du site Piez'Eau (SPW)*

L'inventaire des ouvrages considérés dans le cadre de la convention est repris au Tableau 4. Pour plus d'information, les notices des ouvrages sont répertoriées en annexe 2. Dans le cadre de la convention, les données piézométriques journalières seront utilisées. L'ouvrage *PT2* est

⁵ Données journalières ou horaires avec un pas de temps d'acquisition des données de 1h

un puits traditionnel assez peu profond (11,34 m). L'ouvrage *PSV2* est un piézomètre profond (98 m) pour lequel la profondeur des crépines n'est pas connue.

À l'exception du site *PSV2*, qui est équipé d'une sonde de mesure automatique avec télétransmission des données depuis juin 2015, les mesures piézométriques sont principalement réalisées manuellement au rythme de 4 à 5 mesures par an.

Nom	Bassin	Codes	Aquifère	Crépines	Altitude [m]	X Lambert 72	Y Lambert 72
PCR6	Braunlauf	-	-	-	-	270650	107434
PSV.2		PZ6840 ⁶	R101 (Grès et schiste de la Moselle)	-	479.77	275297	108517
PT2		PZ5180 Données manuelles	R101 (Grès et schiste de la Moselle)	-	504.03	268558	103772
Bois d'Hez	Thyle	PZ4213 ⁷	E160 (Socle du Brabant)	-	148.18	160041	142381
Rigenée		PZ1099 Données manuelles	E51 (Sables bruxelliens)	À partir de 22,8 m	156.81	161849	139515

Tableau 4 : Inventaire des ouvrages Piez'Eau considérés dans le cadre de la convention (Piez'Eau, 2021)

Remarque : Le site PCR6 n'est plus suivi depuis octobre 2018 par le SPW, la profondeur d'eau a cependant été mesurée lors des relevés mensuels sur terrain.

⁶ Données télémétriques validées jusqu'au 23-02-2021. Ensuite, données télémétriques non-validées

⁷ Données télémétriques validées jusqu'au 18-03-2021. Ensuite, données télémétriques non-validées

1.3. Sondes CTD placées dans le cadre de la convention

Les sondes CTD (*Conductivity Temperature Depth*) permettent de mesurer⁸ la conductivité électrique, la température ainsi que les hauteurs de colonne d'eau. Dans le cadre de la convention, elles ont été installées dans des ouvrages souterrains (piézomètres/puits) déjà existants ou directement en rivière. La conductivité électrique dépend de plusieurs facteurs : la géologie du bassin-versant et la composition des roches, les variations de débit et de niveaux en rivière, les apports d'eau souterraine, les apports d'eau contaminée d'origine anthropique (déglâçage des routes, ...)

2. Procédures d'échantillonnages *in-situ*

Les eaux de surface ont été prélevées par prise directe tandis que les eaux souterraines ont été prélevées soit au robinet (pour les puits équipés) soit à l'aide d'une pompe après avoir effectué une purge équivalente à 3 à 5 fois le volume de la colonne d'eau dans l'ouvrage et le massif filtrant. En l'absence de données relatives au volume d'eau au sein du puits et du massif filtrant mais également car la mise en œuvre d'une purge étant longue, les ouvrages souterrains ont été pompés jusqu'à stabilisation des paramètres (la conductivité électrique, le potentiel d'oxydo-réduction, le pH et la concentration d'oxygène dissous) mesurés *in situ* à l'aide de sondes multiparamétriques.

Les procédures spécifiques au prélèvement et aux paramètres analysés sont renseignées en annexe 3.

2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques

Après étalonnage des sondes selon des solutions standards, les différents paramètres physico-chimiques ont pu être mesurés *in situ*. Ces paramètres sont les suivants :

- La conductivité électrique [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- Le potentiel d'oxydo-réduction (Eh) [mV]
- Le pH
- La concentration en oxygène dissous [mg/L]
- La température de l'eau [$^{\circ}\text{C}$]

⁸ avec un pas de temps d'acquisition de 15 minutes pour la Braunlauf et la Thyle ; d'une heure pour la Croix-Scaille

Les paramètres sont mesurés sur le terrain car les mesures effectuées en laboratoire sont potentiellement altérées selon les conditions de conservation des échantillons.

IV. Description des données acquises pour les bassins étudiés dans le cadre de la convention

Les données de suivi sur base continue, mensuelle et ponctuelle sont exploitées indépendamment pour chaque bassin. Elles sont décrites tant d'un point de vue quantitatif (hydrogramme ; évolution des niveaux en rivière et des profondeurs d'eau des ouvrages souterrains ; ...) que qualitatif (diagramme de Piper ; diagramme de Stiff ...).

1. Bassin de la Braunlauf

Le bassin de la Braunlauf se situe à l'Est de la province de Liège, proche de la frontière allemande. La Braunlauf se divise en deux masses d'eau de surface : la Braunlauf amont (*ML03R*) et la Braunlauf aval (*ML04R*) respectivement caractérisés par des superficies de 43,2 et 35,46 km². La Braunlauf fait partie du sous-bassin de la Moselle où elle constitue un affluent de l'Our. Le bassin de la Braunlauf est situé au droit de la masse d'eau souterraine *BERWR101* principalement constituée de grès et de schistes du massif ardennais. À l'exception des alluvions, l'ensemble des roches de la région datent du Dévonien inférieur. Il s'agit principalement de schistes, de phyllades et de quartzophyllades avec des passages de grès, de quartzites et de poudingue. Les couches géologiques du massif ardennais sont fortement plissées et faillées. Pour plus d'informations quant à la description du bassin de la Braunlauf, le lecteur est invité à se référer au délivrable D01.

La Braunlauf comprend les communes de Saint Vith et Burg-Reuland. De manière générale, l'occupation du sol est majoritairement agricole même si certaines différences sont observées entre les sous-bassins. Le bassin amont est plutôt caractérisé par des prairies et villages isolés tandis que le bassin aval est principalement occupé par des forêts et des surfaces urbanisées (ville de Saint-Vith et autoroute E42).

La majorité des villages sont en mode d'assainissement autonome des eaux usées. Il y a toutefois deux stations d'épuration : une qui dessert la ville de Saint-Vith et l'autre le village de Braunlauf. Une troisième station est également en cours de construction à Rodt depuis 2020.

1. Description du réseau de monitoring mis en place dans le bassin de la Braunlauf

Sur base de l'inventaire réalisé dans le cadre du délivrable D01 et de la visite de terrain (12 novembre 2019), le réseau de monitoring final établi est présenté à la Figure 2 et comprend :

- La station météorologique de *Pameseb* à proximité du bassin.
- Une station de jaugeage déjà existante à l'aval du bassin. Une seconde a été installée en rivière dans la partie amont du bassin (*Neubrück*).
- Pour le suivi piézométrique, aux données du réseau *Piez'Eau* s'ajoutent deux points de mesure, *les puits d'Hasert* et de *Crombach*.
- Quatre sondes CTD ont été installées : deux en rivière à la *Station Limni* et à *Neubrück*, une dans le *puits Hasert* et la dernière dans un second puits à *Crombach*.
- 9 points d'échantillonnage des eaux de surface sur la Braunlauf et ses affluents.
- 12 sites d'échantillonnage des eaux souterraines (uniquement pour la campagne régionale).

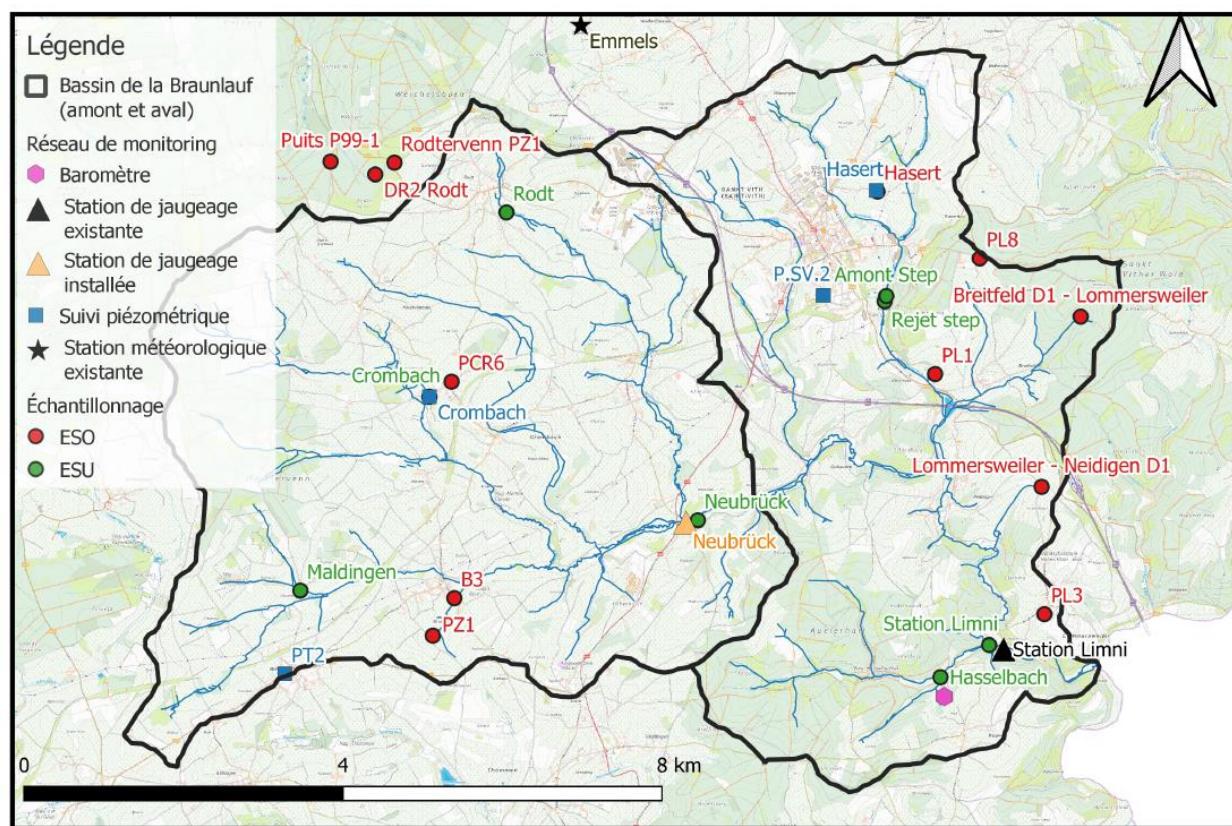


Figure 2 : Réseau de monitoring final pour le bassin de la Braunlauf

Remarque : Une première sonde a été placée dans un puits traditionnel destiné à alimenter les chasses d'eau d'une habitation à *Crombach*. Ce point a remplacé le *PCR6* qui s'est avéré être un puits fortement utilisé (remplissage de plusieurs citerne par jour).

2. Résultats du monitoring en continu dans le bassin de la Braunlauf

Les résultats des réseaux de monitoring en continu sont présentés d'un point de vue quantitatif :

- Les profondeurs d'eau (*ESO*) et les niveaux d'eau en rivières (*ESU*) mesurés soit par les sondes installées dans le cadre de la convention soit par les réseaux *Piez'Eau* et *Aqualim*.
- Les mesures de jaugeage en rivière qui ont permis la création d'une courbe de tarage pour le site *Neubrück*.
- Les évolutions de la conductivité électrique mesurée par les sondes CTD ; dans le cadre du délivrable D03, elles serviront d'indicateur de composantes relatives au débit de base et au ruissellement dans le but de séparer les hydrogrammes.

Ces mesures de monitoring en continu sont complétées par l'acquisition des données de précipitations mesurées par des stations météorologiques (en particulier celles du réseau *Pameseb*).

2.1. Données météorologiques utilisées dans le cas du bassin de la Braunlauf

La station *Emmels*, appartenant au réseau *Pameseb*, est située à 1,5 km au nord du bassin. Elle a été installée le 24 août 2005 et se situe à 539 m d'altitude.

La Figure 3 présente l'évolution de la pluviométrie (Figure 3a) en parallèle avec celle de l'évapotranspiration réelle (Figure 3b) et du débit mesuré à la station limnimétrique (Figure 3c). La comparaison de ces 3 graphiques permet de mettre en évidence différents phénomènes :

- Lorsque l'évapotranspiration journalière réelle est particulièrement faible et que les précipitations journalières sont importantes, une hausse du débit en rivière est observée à la suite du ruissellement des eaux (ex : d'octobre 2020 à avril 2021) ;

- Des précipitations particulièrement fortes et ponctuelles (ex : juillet 2021) peuvent provoquer une nette hausse du débit en raison notamment de la sursaturation des sols. Ce, même si l'évapotranspiration de référence est élevée.

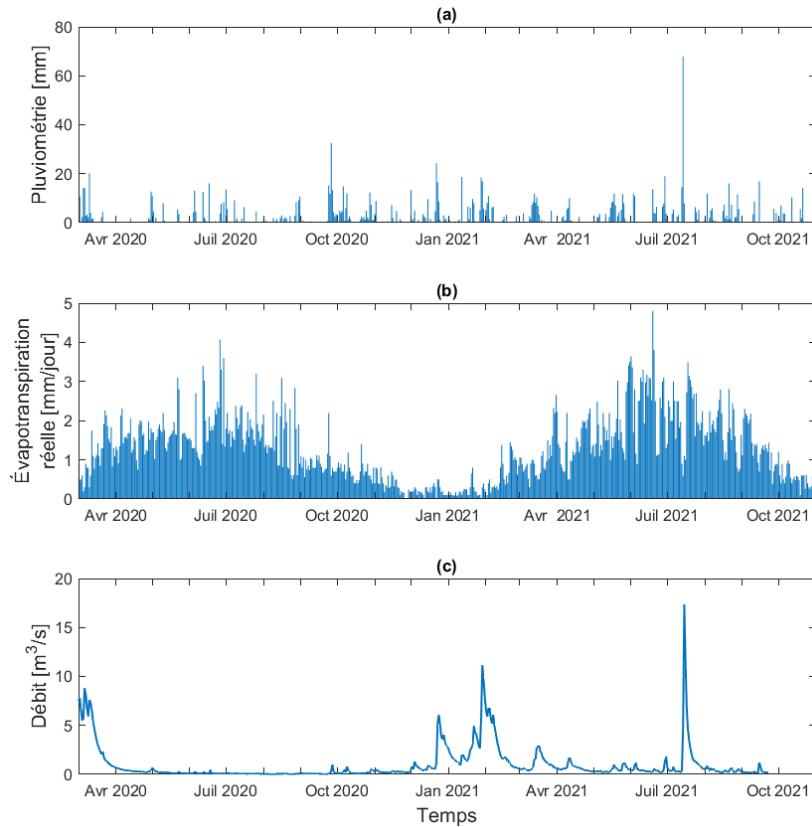


Figure 3 : Mise en parallèle de la pluviométrie, l'évapotranspiration réelle calculée à la station météorologique du bassin de la Braunlauf et de l'évolution temporelle du débit mesuré à la station limnimétrique

2.2. Réseau de surveillance du débit dans le bassin de la Braunlauf

Une station limnimétrique « *Braunlauf L6090 – Lommersweiler* » appartenant à la DG03-DRCE-DCENN est en place dans le bassin depuis 1991. Cette dernière est située à environ 1,5 km en amont de la confluence avec l'Our. Le débit de la Braunlauf mesuré en cette station depuis le 1^{er} mars 2020 est présenté à la Figure 4. Passé le débit maximum jaugé, égal à $11.85 \text{ m}^3/\text{s}$, les estimations de débits se doivent d'être considérées avec précaution.

Cette Figure rend possible la distinction entre la période des basses (étiage) et hautes eaux. Un pic anormal de débit est observé entre le 10 juillet et le 20 juillet 2021. Ce pic est lié aux précipitations intenses ayant provoqué les crues et inondations en juillet 2021.

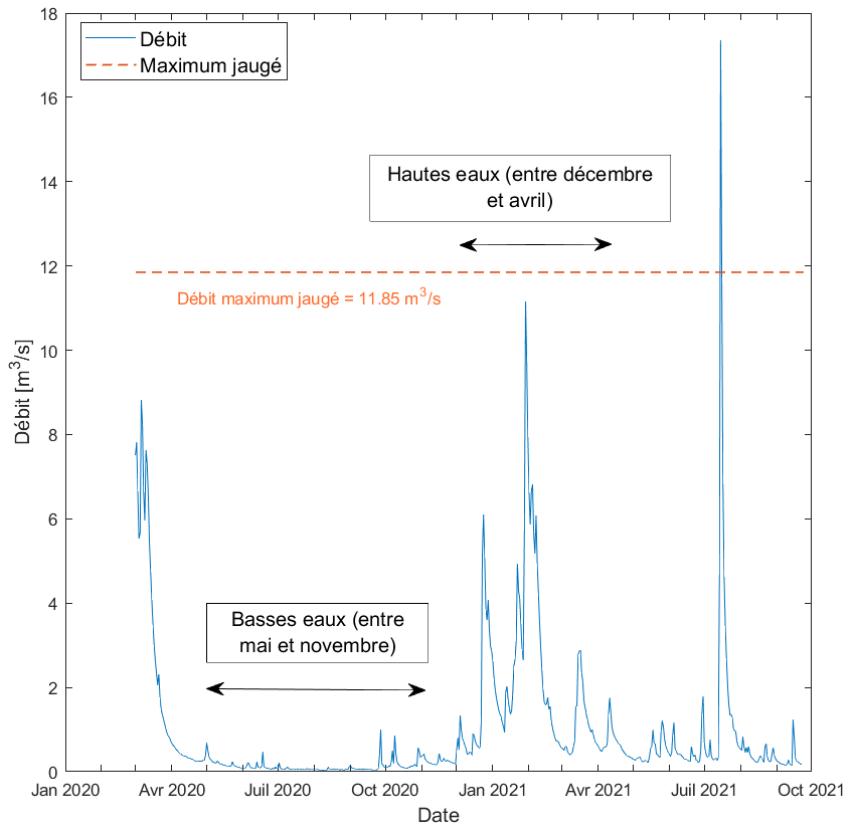


Figure 4 : Évolution temporelle du débit mesuré à la station limnimétrique située à l'exutoire du bassin de la Braunlauf (Aqualim, 2021)

2.3. Profondeurs d'eau (ESO) et niveaux d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Braunlauf

La Figure 5 met en parallèle les précipitations (Figure 5a) avec d'une part les profondeurs de l'eau souterraine mesurées dans différents ouvrages (Figure 5b) et les variations de niveau d'eau dans les rivières d'autre part (Figure 5c).

Les fluctuations de profondeur d'eau des quatre ouvrages ESO sont synchrones et présentent un cycle saisonnier (hautes eaux / basses eaux), avec les conditions de hautes-eaux atteintes en sortie d'hiver (à l'exception des conditions exceptionnelles rencontrées à la mi-juillet 2021). L'amplitude des variations est de l'ordre de 5 à 8 m. La profondeur des crépines de l'ouvrage PSV2 n'est pas connue, sa cote piézométrique peut donc être la résultante de plusieurs niveaux aquifères.

L'évolution des niveaux mesurés en rivière montre, comme attendu, une augmentation en hiver et assez synchrone avec l'évolution des eaux souterraines.

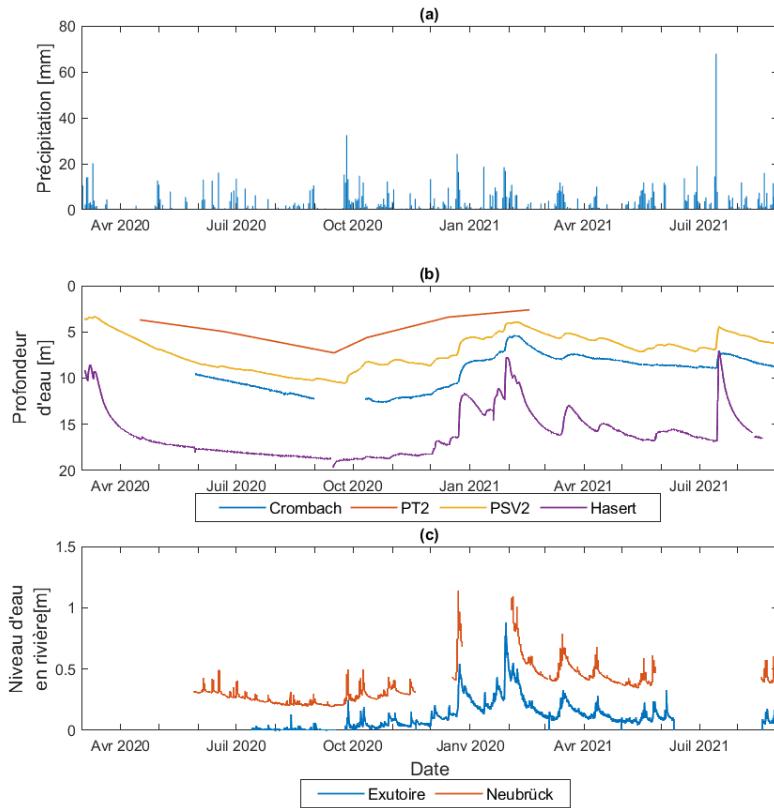


Figure 5 : Chroniques des profondeurs d'eau souterraine (ESO) et niveaux d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Braunlauf.

Remarque : les variations piézométriques sont indiquées en profondeur d'eau parce que tous les points de mesures n'avaient pas encore pu être nivélés au moment de la rédaction du D02.

2.4. Courbe de tarage du point Neubrück situé dans le bassin de la Braunlauf

La courbe de tarage présentée à la Figure 6 a été réalisée sur base des mesures de jaugeage et de niveaux d'eau en rivière à Neubrück. Une interpolation quadratique entre les points permet de déterminer une valeur de débit en fonction de la hauteur d'eau mesurée.

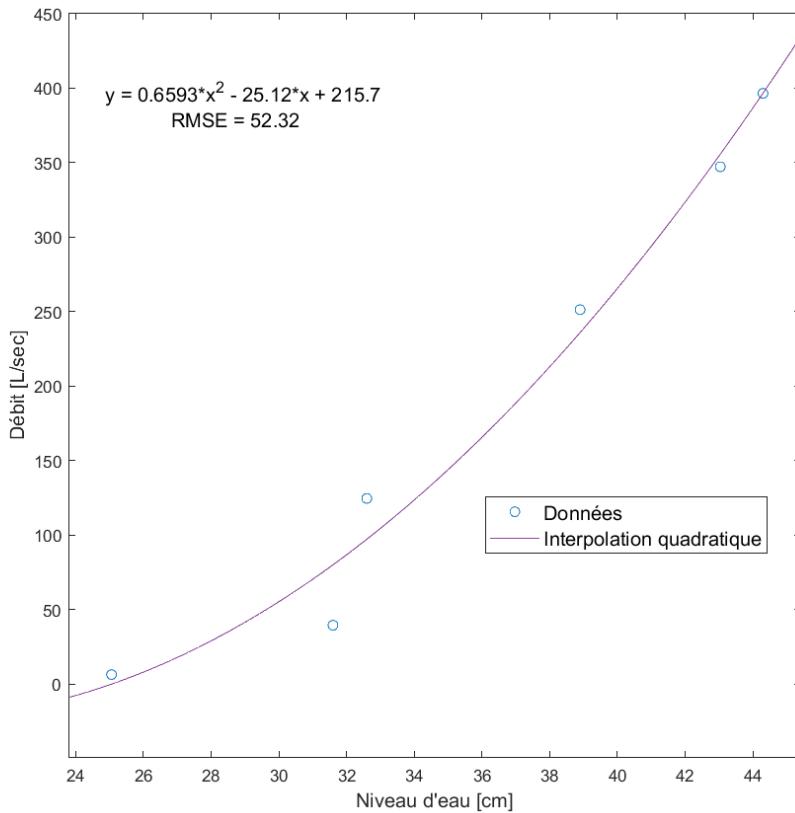


Figure 6 : Courbe de tarage relative au point Neubrück dans le bassin de la Braunlauf

2.5. Évolutions des conductivités électriques en fonction des variations de profondeur d'eau dans la nappe (ESO) et des niveaux d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Braunlauf

Les sondes CTD placées sur les eaux de surface et dans certains points d'accès à la nappe permettent d'observer l'évolution de la conductivité électrique au cours du temps aux points de mesure concernés. Les courbes ont toutefois été filtrées pour éliminer les anomalies enregistrées au cours des mesures, par exemple si les capteurs s'étaient retrouvés hors de l'eau (ex : octobre 2020 sur la Figure 7).

La conductivité électrique mesurée dans le puits à *Crombach* est plutôt faible et varie autour des 180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Figure 7). Une hausse rapide de la conductivité est également observée en janvier 2021. Cette hausse pourrait être liée à une contamination ponctuelle du puits ou à une dérive du capteur, et semble s'être progressivement dissipée.

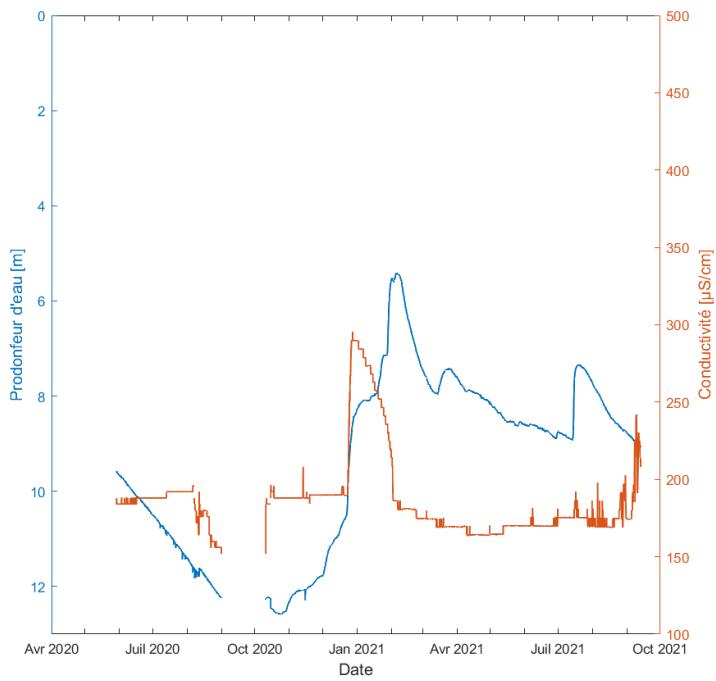


Figure 7 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde pressiométrique placée dans le puits Crombach, dans le bassin de la Braunlauf

La Figure 8 présente l'évolution de la CE mesurée dans le puits Hasert appartenant à la commune de Saint-Vith. La conductivité électrique y est relativement stable, autour de $220 \mu\text{s/cm}$. En juin 2020, la conductivité électrique présente une augmentation rapide qui pourrait être due à une contamination ponctuelle.

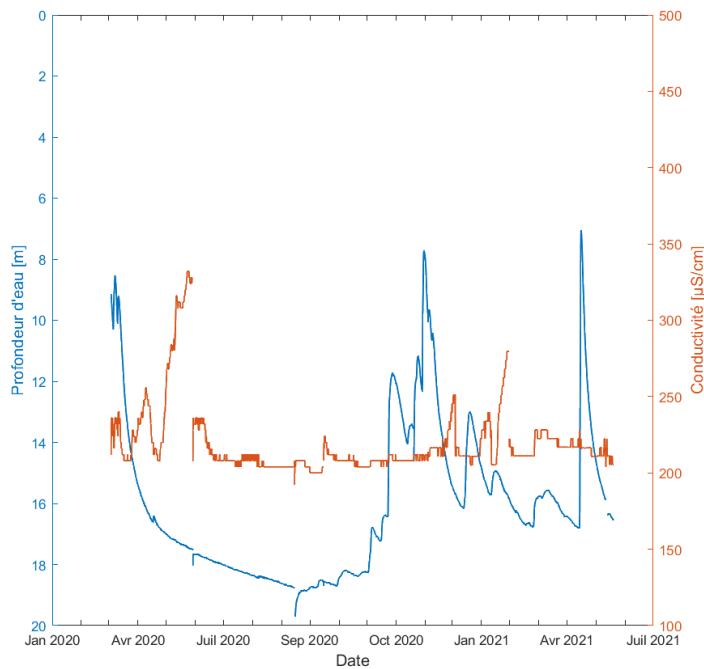


Figure 8 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde pressiométrique placée dans le puits Hasert, dans le bassin de la Braunlauf

La Figure 9 présente l'évolution de la CE mesurée par la sonde installée à la *Station Limni*. La sonde présente de nombreux artefacts qui rendent difficile l'établissement d'un lien entre niveau d'eau et conductivité électrique. La conductivité électrique semble tout de même être en anti-corrélation avec le niveau d'eau mesuré à la station. Ainsi, la conductivité électrique a tendance à diminuer quand le niveau d'eau de la rivière augmente et inversement. La conductivité électrique augmente rapidement lors des hausses de niveau d'eau notamment en début décembre 2020, mi-mars 2021 et début avril 2021. Ces hausses soudaines sont probablement liées à des rejets ponctuels d'origine anthropique (épandages sur les champs au débit du printemps, salage des routes, ...).

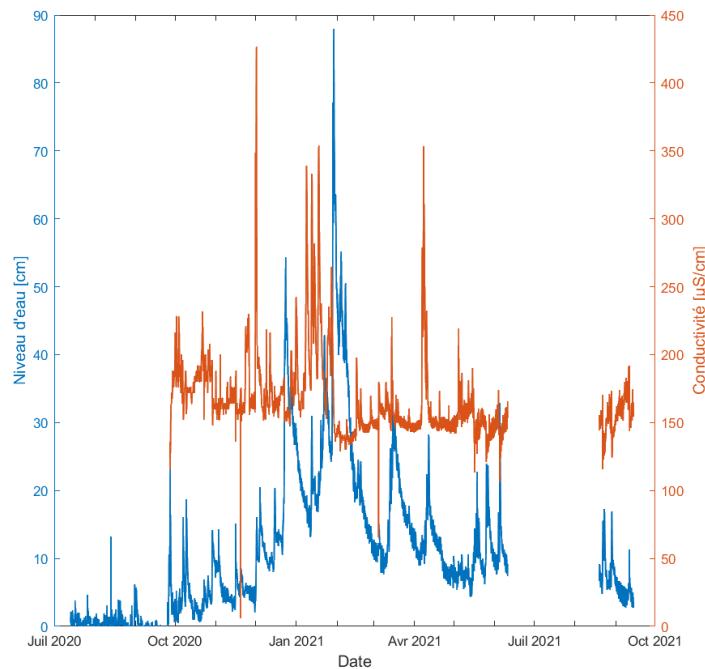


Figure 9 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à la station limnimétrique, dans le bassin de la Braunlauf

La Figure 10 présente l'évolution de la CE mesurée par la sonde placée dans la Braunlauf à *Neubrück*. Elle montre des valeurs de conductivité électrique qui varient autour de 150 µS/cm. Les résultats obtenus montrant de nombreuses perturbations, il est difficile de corrélérer l'évolution de la conductivité électrique avec celle des niveaux d'eau. Toutefois, la conductivité semble présenter une anti-corrélation avec le niveau d'eau. En effet, elle augmente quand le niveau diminue et inversement. Le pic d'avril 2021 est probablement dû à une contamination ponctuelle liée à un rejet ou à des épandages d'engrais de ferme sur les champs au printemps.

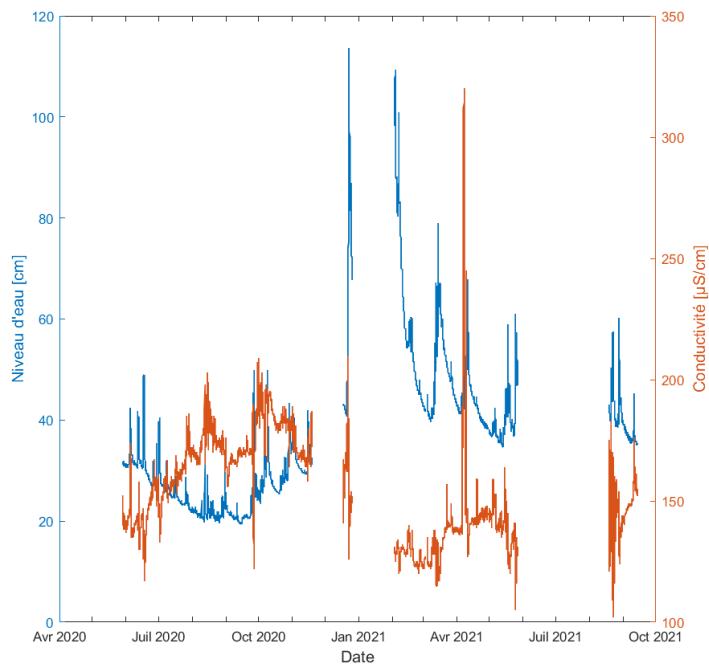


Figure 10 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à Neubrück, dans le bassin de la Braunlauf

3. Résultats du monitoring sur base mensuelle dans le bassin de la Braunlauf

Les résultats des réseaux de monitorings sur base mensuelle sont présentés d'un point de vue qualitatif à l'aide de graphiques illustrant l'évolution temporelle de certains paramètres chimiques, ainsi qu'à l'aide des diagrammes de Piper et de Stiff.

NB : Tous les échantillonnages présentés dans cette section sont relatifs aux eaux de surface.

3.1. Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Braunlauf

Les stations qui ont fait l'objet d'un échantillonnage sont présentées à la Figure 11. Les évolutions temporelles de la conductivité électrique et des concentrations des principaux ions majeurs sont présentées par bassin à la Figure 12 (page 32).

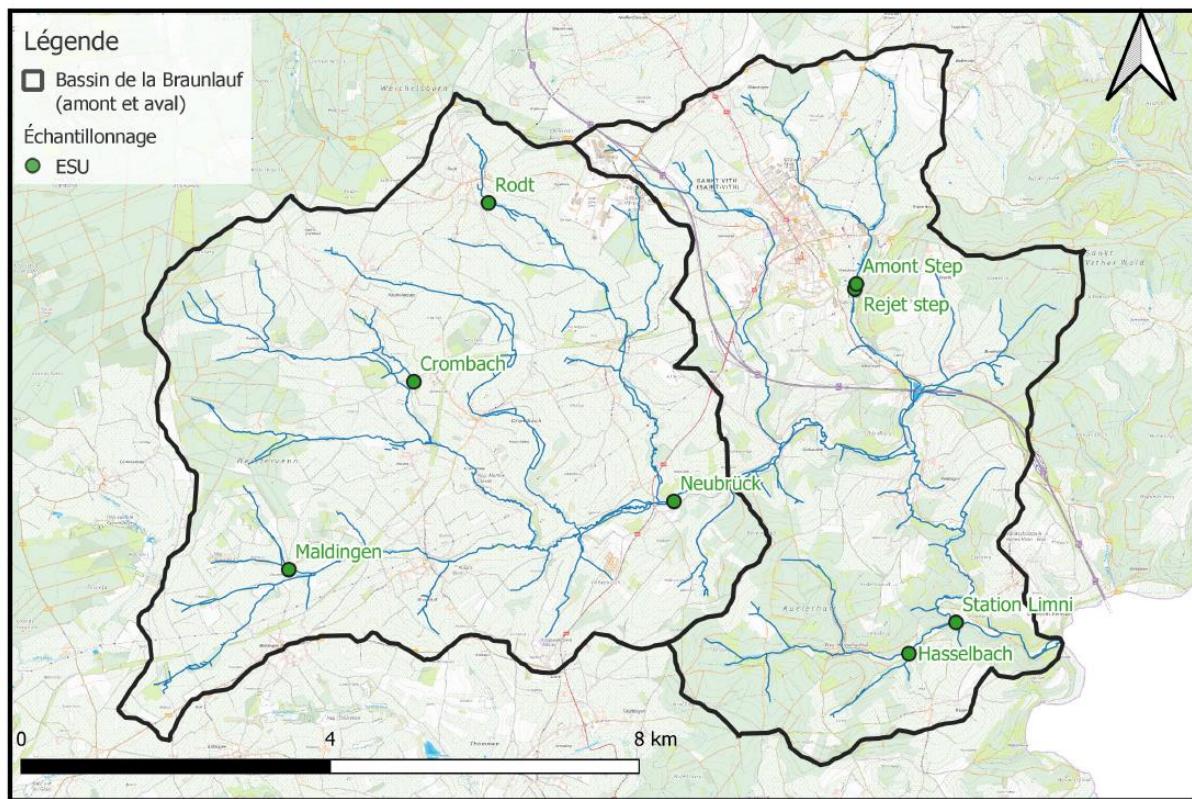


Figure 11 : Stations d'échantillonnage en eau de surface dans le bassin de la Braunlauf

Conductivité électrique :

Dans la partie amont du bassin, la conductivité électrique est variable d'une station de mesure à une autre. La station *Rodt* présente les plus grandes valeurs de conductivité électrique. La conductivité électrique semble anti-corrélée avec le débit mesuré à la station de jaugeage du bassin amont.

Dans le bassin aval, les conductivités électriques sont également variables d'une station à une autre, du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le bassin amont. À l'exception d'un pic mesuré lors du mois d'août 2020 pour les points « *Amont STEP* » et « *Aval STEP* », la conductivité électrique montre une évolution relativement stable au cours du temps pour les différents points d'échantillonnage. Ces pics sont la signature des eaux usées avant et après assainissement. Ils reflètent la prépondérance des rejets en période de basses eaux, quand le taux de dilution par les eaux de ruissellement dans le cours d'eau est moins important. Le pic de conductivité électrique est observé en liaison avec des concentrations plus élevées en nitrate, chlorure, bicarbonate, sodium et potassium (dans une moindre mesure).

Les variations de la conductivité électrique s'expliquent d'une part par les rejets d'eau usée ou l'utilisation d'engrais, d'autre part par les variations de débit en rivière (CE moins élevée quand le ruissellement est plus important dans le bassin). Elle est donc particulièrement élevée dans le cas d'un rejet important en période de basse eau.

Concentration en nitrate :

Les concentrations en nitrate sont relativement élevées et varient fortement au cours du temps tant dans la partie amont qu'aval du bassin. Dans le bassin amont, les concentrations en nitrate sont variables d'une station à une autre. Les concentrations en nitrate semblent anti-corrélées avec la conductivité électrique. Ceci indique vraisemblablement que le nitrate est apporté au cours d'eau par les eaux souterraines. En été, le cours d'eau est à l'étiage, uniquement alimenté par l'eau souterraine plus chargée en nitrate. En hiver, le ruissellement plus important entraîne une augmentation du débit du cours d'eau mais également une dilution du nitrate apporté par l'eau souterraine. Dans la partie aval du bassin, les concentrations en nitrate sont à nouveau variables d'une station à une autre. Comme pour la conductivité électrique, un pic est observé pour les points « *Amont STEP* » et « *Aval STEP* » en août 2020. Le traitement effectué à la station d'épuration est de type secondaire (SPGE, 2022a). Ce traitement consiste à dégrader la matière organique via des microorganismes (SPGE, 2022b).

Concentration en sulfate et chlorure :

Le sulfate et le chlorure sont potentiellement indicateurs d'une pollution d'origine anthropique. Contrairement aux pics de concentration en chlorure, les pics des concentrations en sulfate ne sont pas liés avec ceux de la conductivité électrique.

Dans la partie amont du bassin, les concentrations en sulfate sont plutôt basses à l'exception d'une augmentation significative à *Maldingen* au cours de l'hiver 2020-2021. Cette contamination ponctuelle pourrait être due à une utilisation intensive et ponctuelle d'engrais (Danel, 2017). Les concentrations en chlorure sont stables.

Dans la partie aval du bassin, les concentrations en sulfate sont stables mis à part une hausse importante des concentrations en sulfate observée en amont et aval de la station d'épuration

ainsi qu'à la *Station Limni* (plus modérément). Les concentrations en chlorure sont également relativement constantes à l'exception de valeurs plus élevées mesurées à *Rodt*.

Concentrations en calcium et magnésium :

Les concentrations en calcium et magnésium présentent les mêmes tendances. Il n'existe pas de différence particulière entre les bassins amont et aval.

Dans la partie amont du bassin le point *Rodt* présente une hausse de concentration en potassium durant le mois d'août 2020.

Dans la partie aval du bassin, des concentrations légèrement plus élevées sont observées au niveau de la station d'épuration dans le courant du mois d'octobre 2020.

Concentrations en bicarbonate, sodium et potassium :

Dans le bassin amont, des concentrations plus élevées observées pour le point *Rodt* au cours du mois d'août.

Dans la partie aval du bassin, les concentrations en bicarbonate, sodium et potassium présentent les mêmes tendances : des concentrations particulièrement importantes au niveau de la station d'épuration de Saint-Vith.

Concentrations en phosphate et ammonium :

Les analyses du phosphate et de l'ammonium ne sont pas représentées parce qu'elles étaient en général en dessous de la limite de détection. On observe toutefois une nette augmentation de ces deux ions au niveau de la station d'échantillonnage *Rodt* en été 2020, reflétant probablement un rejet ponctuel d'eau usée.

Observation générale :

Les stations d'échantillonnage en *amont et aval de la station d'épuration*, à *Rodt* et à *Maldingen* présentent ponctuellement des mesures qui diffèrent de celles observées pour autres points d'échantillonnage. Ces stations pourraient être impactées par des rejets ponctuels (utilisation intensive d'engrais, rejets d'eau usée, ...).

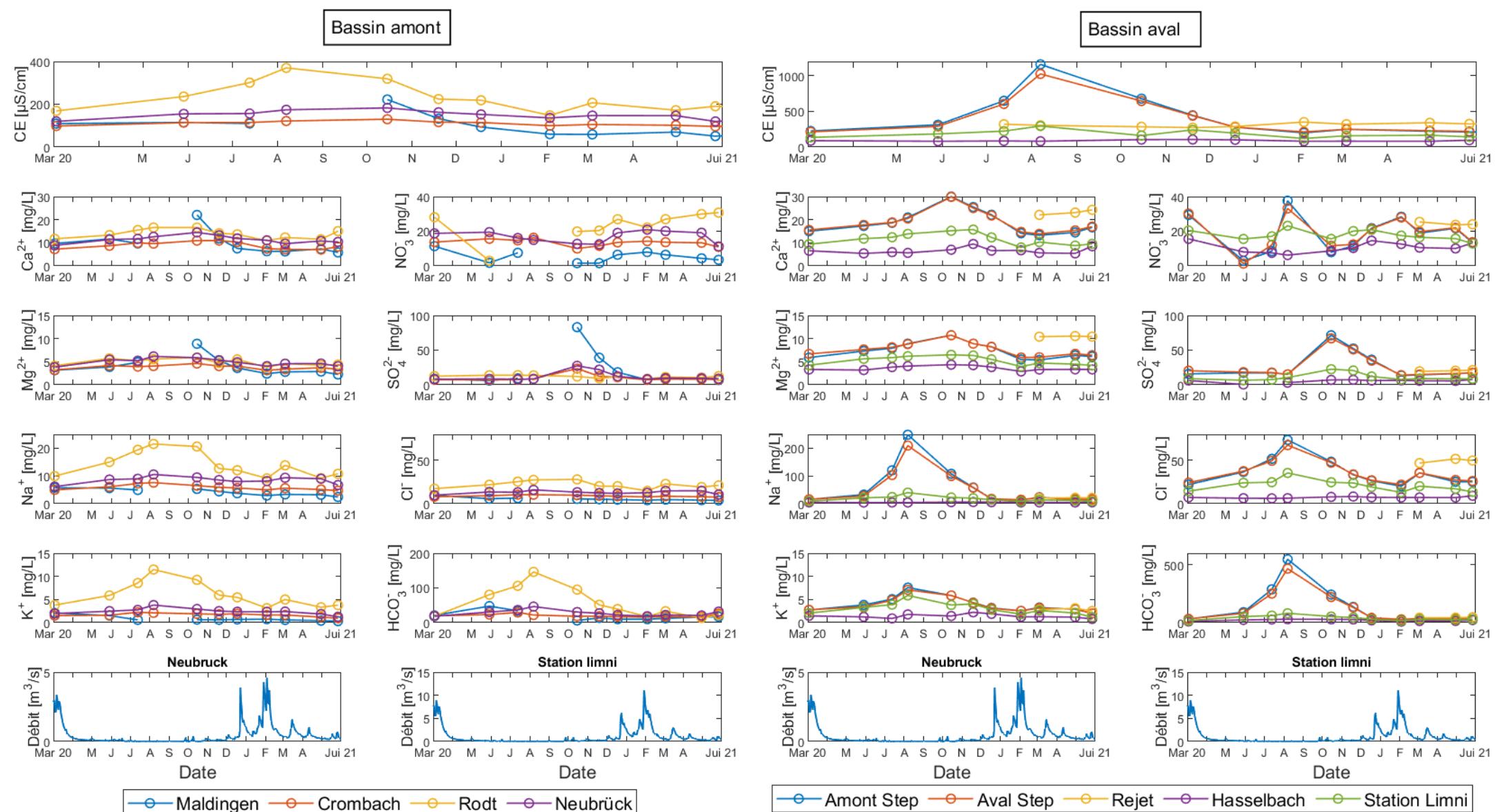


Figure 12: Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Braunlauf

3.2. Examen spécifique de deux campagnes mensuelles *ESU* dans le bassin de la Braunlauf

En vue de déterminer dans quelle mesure les conditions hydrologiques (hautes-eaux vs. basses-eaux) sont susceptibles d'exercer une influence sur la chimie des eaux, il a été décidé de mener une analyse un peu plus poussée de deux campagnes d'échantillonnages à l'aide des diagrammes de Piper et Stiff. Les campagnes réalisées en août 2020 et février 2021 ont été sélectionnées, correspondant respectivement à des périodes de basses et hautes eaux.

Les points échantillonnés correspondent aux stations suivantes : *Maldingen, Crombach, Rodt, Neubrück, Amont STEP, Aval STEP, Hasselbach* et *Station Limni*. En février 2021, le cours d'eau était sec à *Maldingen* et aucun échantillon n'a donc pu être prélevé.

3.2.1. Diagramme de Piper pour les deux campagnes mensuelles sélectionnées

La Figure 13 présente le diagramme de Piper pour les échantillons prélevés en août 2020 (période de basse-eau) et en février 2021 (période de haute-eau). Il indique que les faciès hydrochimiques des eaux de surface sont variables.

Trois pôles semblent se distinguer sur la Figure 13a :

- Le premier est constitué des points *Crombach, Neubrück* et *Hasselbach* et correspond à un faciès d'eau souterraine plutôt magnésienne.
- Le second comprend les points en amont et aval de la station d'épuration. Ces points sont témoins d'importants rejets d'eau usée.
- Le dernier pôle comprend les points *Rodt* ainsi que la *Station Limni*. *Rodt* présente une signature typique d'une source de pollution de type « eau usée », vu les concentrations élevées en phosphate et NH_4^+ . Cette pollution est vraisemblablement ponctuelle vu qu'elle se dissipe rapidement au fur et à mesure de l'écoulement en rivière. Quant au point *Station Limni*, son faciès hydrochimique peut être perçu comme un mélange entre les deux premiers pôles décrits précédemment.

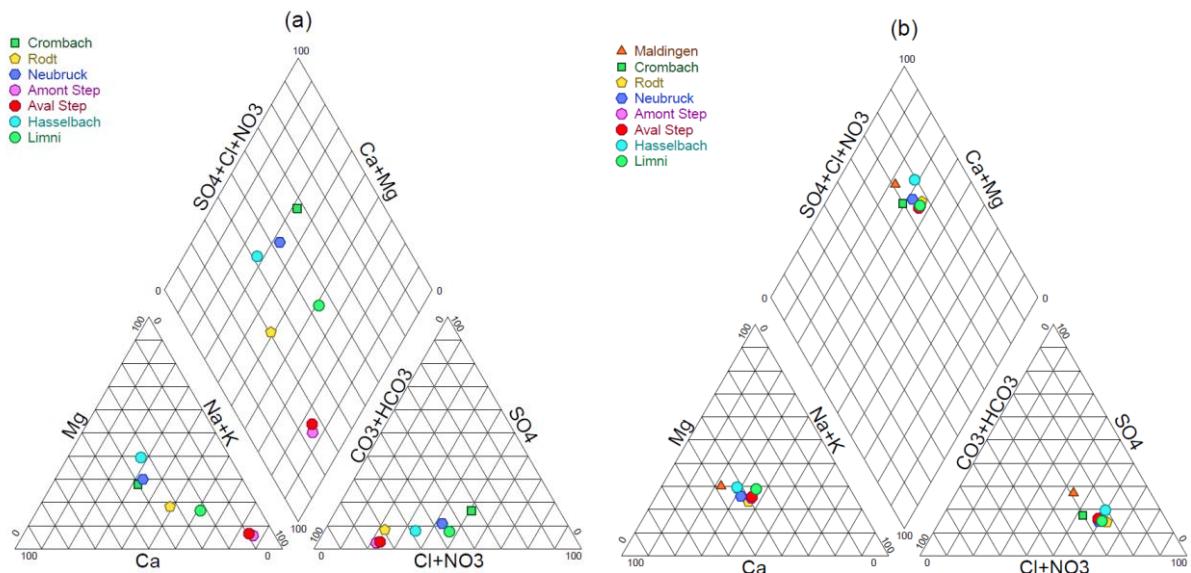


Figure 13 : Diagrammes de Piper des campagnes réalisées pour le bassin de la Braunauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021.

En février 2021, en période de hautes eaux, les faciès des eaux de surface sont nettement moins hétérogènes. La hausse du débit entraîne un phénomène de dilution qui lisse complètement les faciès hydrochimiques, masquant plus les pollutions anthropiques telles que celles visibles en période de basses-eaux.

Ainsi, il est observé que le faciès hydrochimique du point *Crombach* n'est pas impacté par la différence de débit. Cela est certainement dû au fait que ce point se situe en amont du cours d'eau principal et est donc moins impacté par les effets anthropiques. *A contrario*, les faciès hydrochimiques mesurés à *l'amont de la station d'épuration* ainsi qu'au niveau du *rejet* de cette station sont fortement impactés par la hausse du débit. Il est observé que lors de la période de haute eau le faciès est à tendance bicarbonaté sodique/potassique.

3.2.2. Diagramme de Stiff pour les deux campagnes mensuelles sélectionnées

Dans cette section sont repris les diagrammes de Stiff des campagnes mensuelles d'août 2020 et février 2021.

La Figure 14 indique que les échantillons prélevés en février (hautes eaux) sont moins minéralisés en raison des précipitations tandis que les échantillons prélevés en août 2020 sont plus fortement minéralisés, avec un fort enrichissement en bicarbonate, chlorure et sodium. Comme attendu, ce sont les ouvrages relatifs à la *station d'épuration* qui présentent les taux

de minéralisation les plus élevés avec d'importantes teneurs en sodium et potassium (ions marqueurs de pollution).

En période de hautes eaux, les polygones de Stiff tendent bien vers une même forme ce qui conforte l'hypothèse de l'influence de la dilution sur le caractère hydrochimique de l'eau.

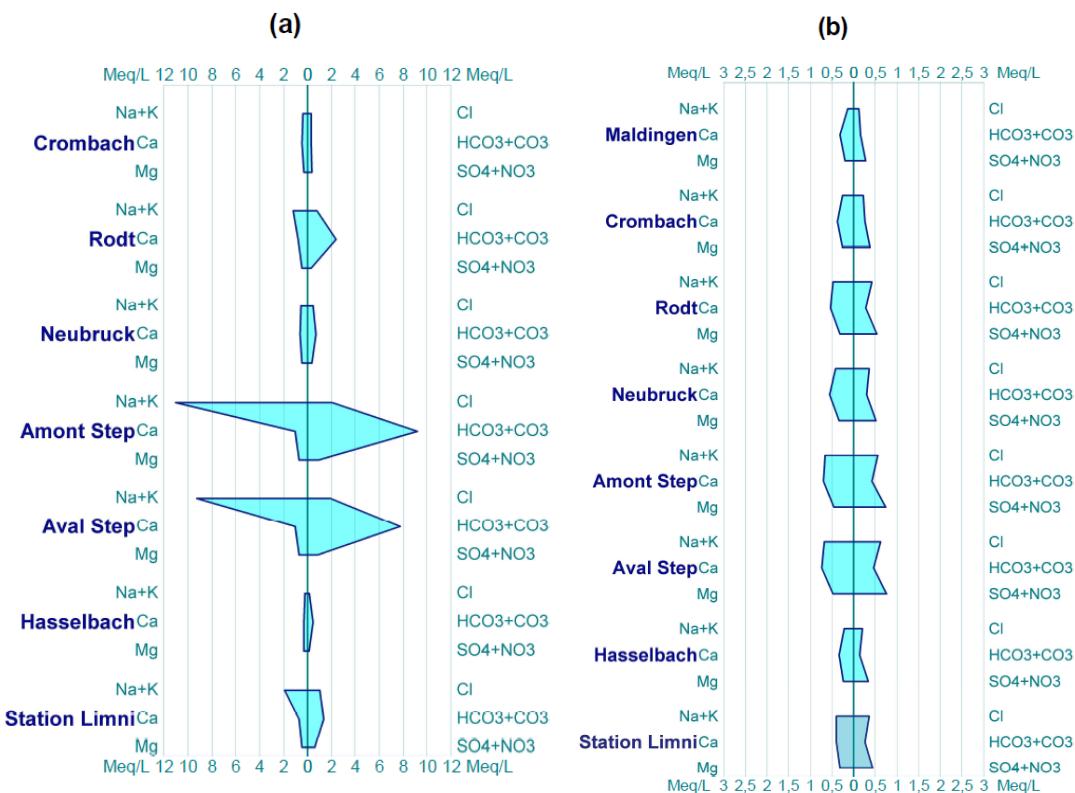


Figure 14 : Diagrammes de Stiff pour les campagnes mensuelles de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021

3.2.3. Distribution spatiale des concentrations en nitrate et des conductivités électriques pour les deux campagnes mensuelles choisies au sein du bassin de la Braunlauf

Les conductivités électriques (Figure 15) ainsi que les concentrations en nitrate (Figure 16) du mois d'août 2020 sont plus élevées que celles mesurées en février 2021. Ceci reflète à nouveau la dilution par les eaux de ruissellement plus importante en hiver.

Les concentrations en nitrate les plus élevées sont observées dans le bassin aval, aux alentours de Saint-Vith fortement urbanisée. Le Sud-Est du bassin, principalement occupé par des espaces verts, présente quant à lui des conductivités électriques et concentrations en nitrate nettement plus faibles. L'urbanisation semble donc exercer une influence significative sur la qualité de l'eau.

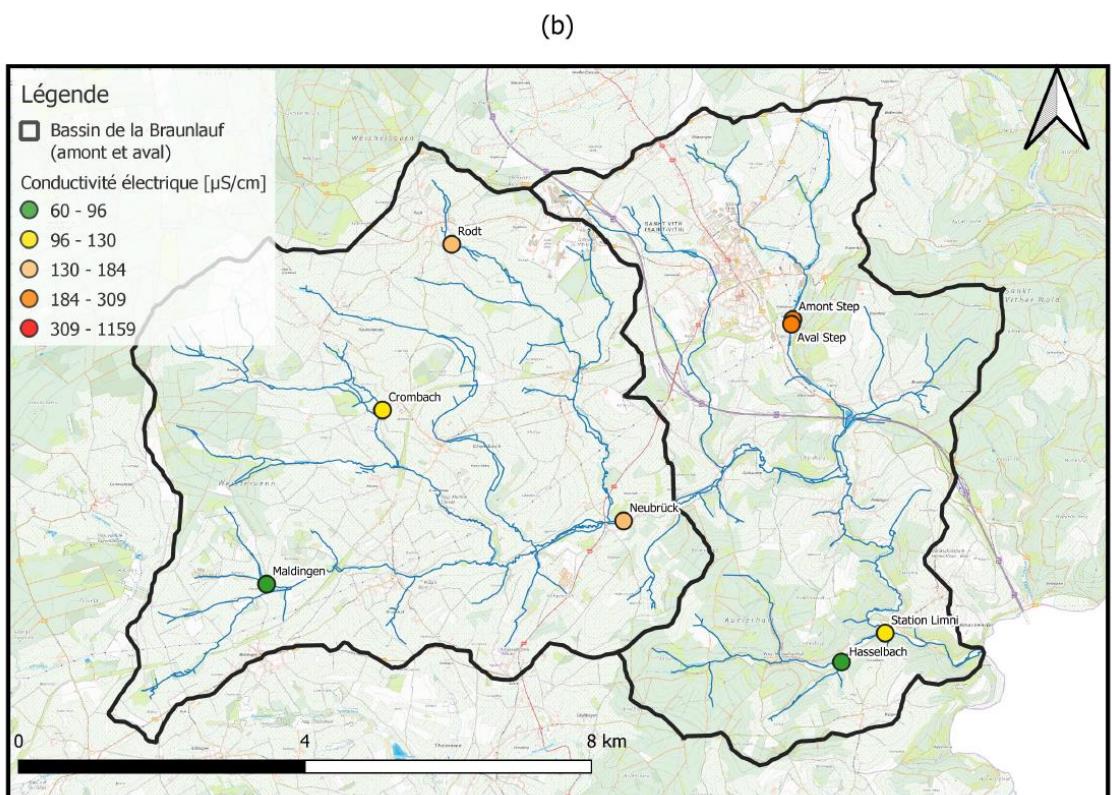
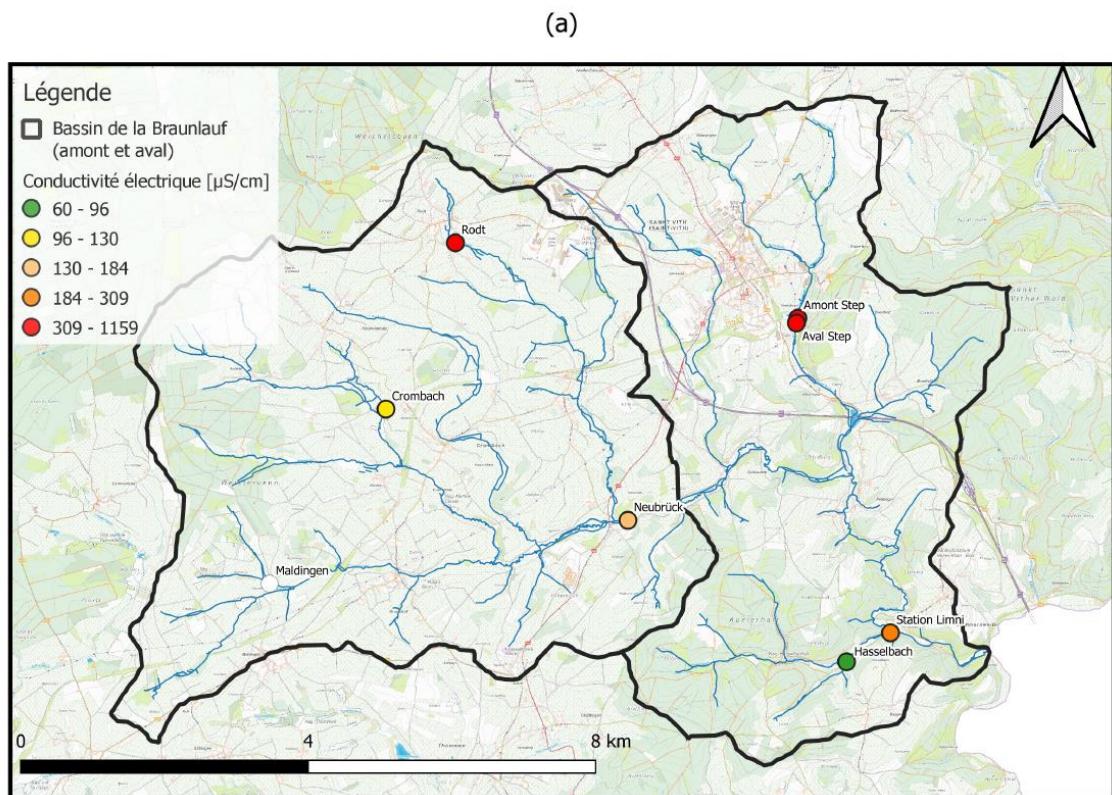


Figure 15 : Représentations cartographiques des conductivités électriques mesurées *in situ* lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées sur base des percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.

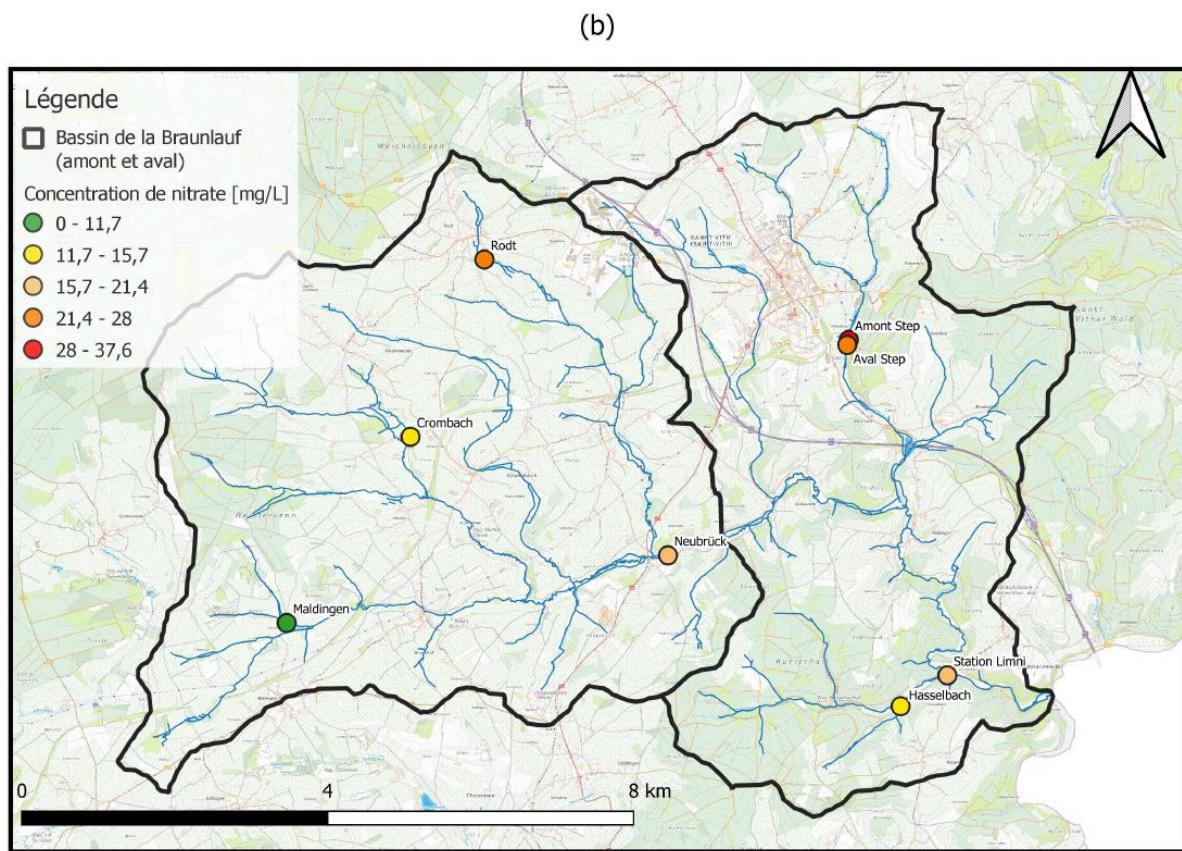
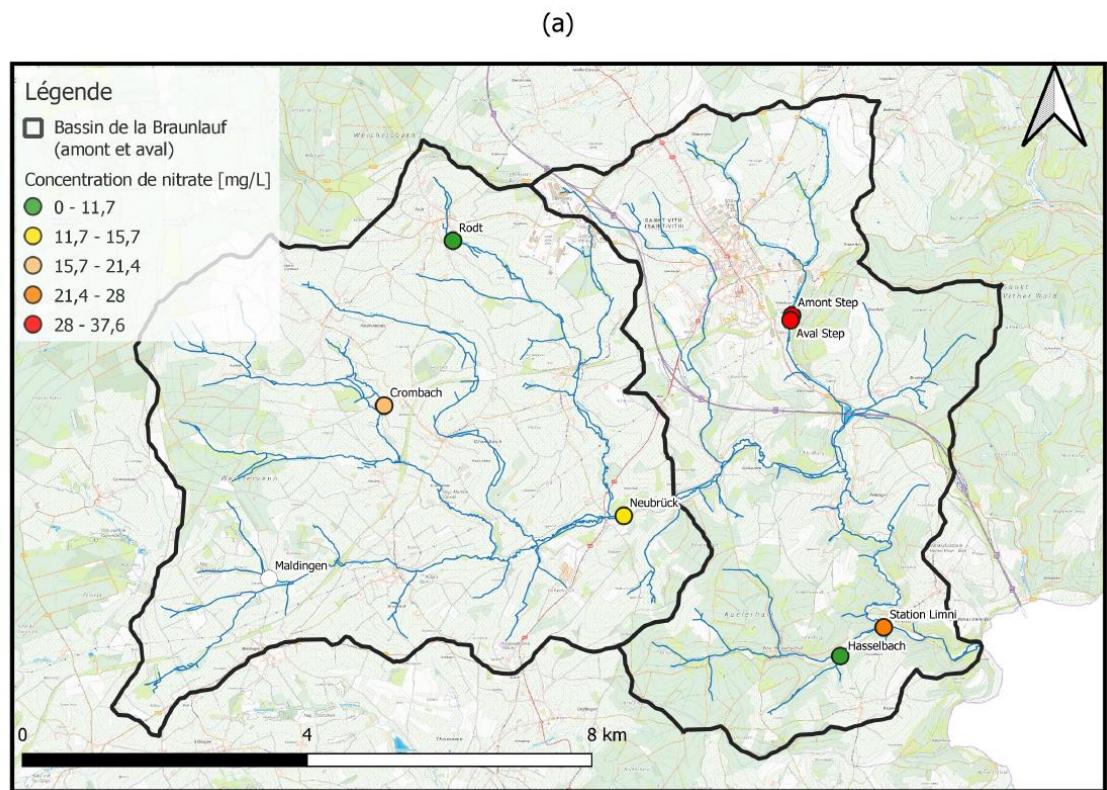


Figure 16 : Représentations cartographiques des concentrations en nitrate mesurées lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Braunlauf ; (a) en août 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées selon les percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.

4. Campagne régionale d'échantillonnage dans le bassin de la Braunlauf

Les résultats de la campagne régionale de septembre 2021 pour la Braunlauf concernent des ouvrages souterrains (*ESO*) que des points d'échantillonnage sur les eaux de surface (*ESU*). Ces résultats seront présentés sous la forme d'une analyse statistique générale, d'une représentation cartographique des principaux paramètres ainsi que sous la forme d'analyse graphique (diagrammes de Piper et de Stiff).

4.1. Statistiques générales de campagne régionale pour le bassin de la Braunlauf

Le Tableau 5 présente des statistiques générales pour les ions majeurs, la conductivité électrique et le pH mesurés dans le cadre de la campagne régionale (nombre de données, minimum et maximum, percentiles P_{10} , P_{25} , P_{75} et P_{90} , médiane et moyenne).

La Figure 17 représente sous forme de boîtes à moustache⁹ les concentrations en ions majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) pour la campagne régionale. Sur chaque graphe, la marque centrale indique la médiane tandis que les bords inférieurs et supérieurs indiquent respectivement les percentiles P_{25} et P_{75} . Les limites inférieures et supérieures des moustaches sont déterminées par l'intervalle défini à l'Eq 1 (McGill et al., 1978). Au-delà des moustaches, les points représentés par des petites croix rouges correspondent à des valeurs aberrantes (outliers).

$$[P_{25} - 1,5x(P_{75} - P_{25}); P_{75} + 1,5x(P_{75} - P_{25})] \quad (Eq\ 1)$$

Les eaux souterraines présentent des conductivités électriques plus élevées que les eaux de surface. Cela s'explique par le fait que les éléments chimiques présents dans les eaux de surface sont affectés par un degré plus élevé de dilution à la suite de leur mélange avec les eaux de ruissellement elles-mêmes peu minéralisées. Les valeurs assez faibles de pH s'expliquent par le contexte géologique (roches siliceuses).

⁹ « *box plots* »

		CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH -	Ca^{2+}	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
		[mg/L]									
ESO	Nb	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
	min	42,40	4,75	2,07	2,63	0,29	1,74	5,81	0,03	0,58	6,22
	P10	70,06	5,24	2,86	4,61	0,43	2,65	6,18	0,43	3,25	8,88
	P25	107,73	5,57	8,53	5,04	0,60	4,45	8,71	5,39	5,06	9,83
	P50	178,05	6,32	11,35	7,91	0,86	6,79	16,91	17,51	9,83	24,58
	Moy	256,58	6,30	13,77	20,34	3,65	7,49	43,27	16,28	10,58	35,76
	P75	274,25	6,80	17,30	16,65	3,13	8,27	36,92	28,47	16,35	53,98
	P90	486,80	7,72	26,86	44,87	13,54	11,58	81,47	31,69	19,62	83,03
	MAX	950,00	8,31	33,16	113,44	15,42	20,23	260,98	33,83	20,45	85,38
ESU	Nb	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	min	78,70	6,49	8,57	3,47	0,55	3,76	6,18	3,87	4,86	20,77
	P10	85,70	6,50	8,84	4,29	0,63	3,87	7,61	7,66	5,39	23,31
	P25	100,63	6,73	9,53	4,86	0,75	4,14	8,82	12,48	7,17	25,29
	P50	156,75	7,29	11,84	8,23	1,84	5,73	16,34	18,49	9,47	28,67
	Moy	173,96	7,12	12,83	11,92	1,75	6,04	19,87	16,74	10,37	36,87
	P75	210,15	7,47	13,35	14,71	2,47	6,90	24,03	20,12	11,89	39,62
	P90	304,80	7,55	18,06	24,22	2,99	8,21	36,67	24,21	16,35	58,61
	MAX	330,00	7,56	23,36	32,43	3,10	11,16	50,26	28,49	20,26	81,54

Tableau 5 : Résultats de l'analyse statistique générale pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

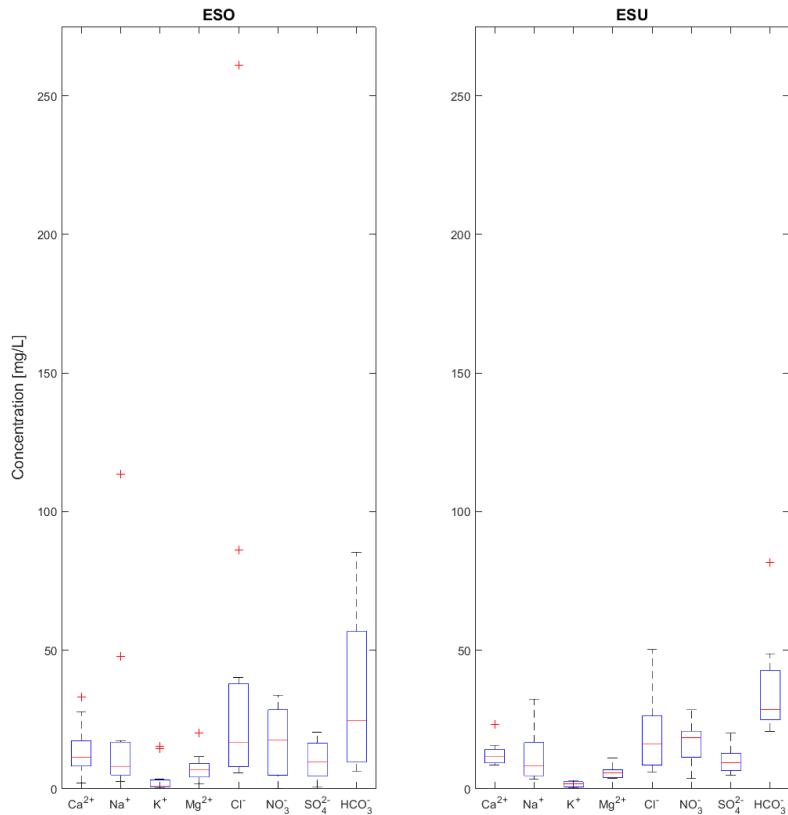


Figure 17 : Boxplot des concentrations en ions majeurs des ESO et ESU de la campagne régionale pour le bassin de la Braunlauf

Les « outliers » identifiés sont : les ouvrages *PL8* (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ et Cl^-), *PCR6* (K^+) et *Lommersweiler - Neidigen D1* (Na^+ , Cl^- et Mg^{2+}) ; les points d'échantillonnage *Rejet* (Ca^{2+}) et *Step amont* (HCO_3^-). Ces points feront l'objet d'analyses plus approfondies lors du prochain délivrable.

4.2. Cartographie spatiale de la conductivité électrique, du pH et des ions majeurs pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Braunlauf

La Figure 18 présente la localisation des points d'échantillonnage tant pour les eaux de surface que souterraines.

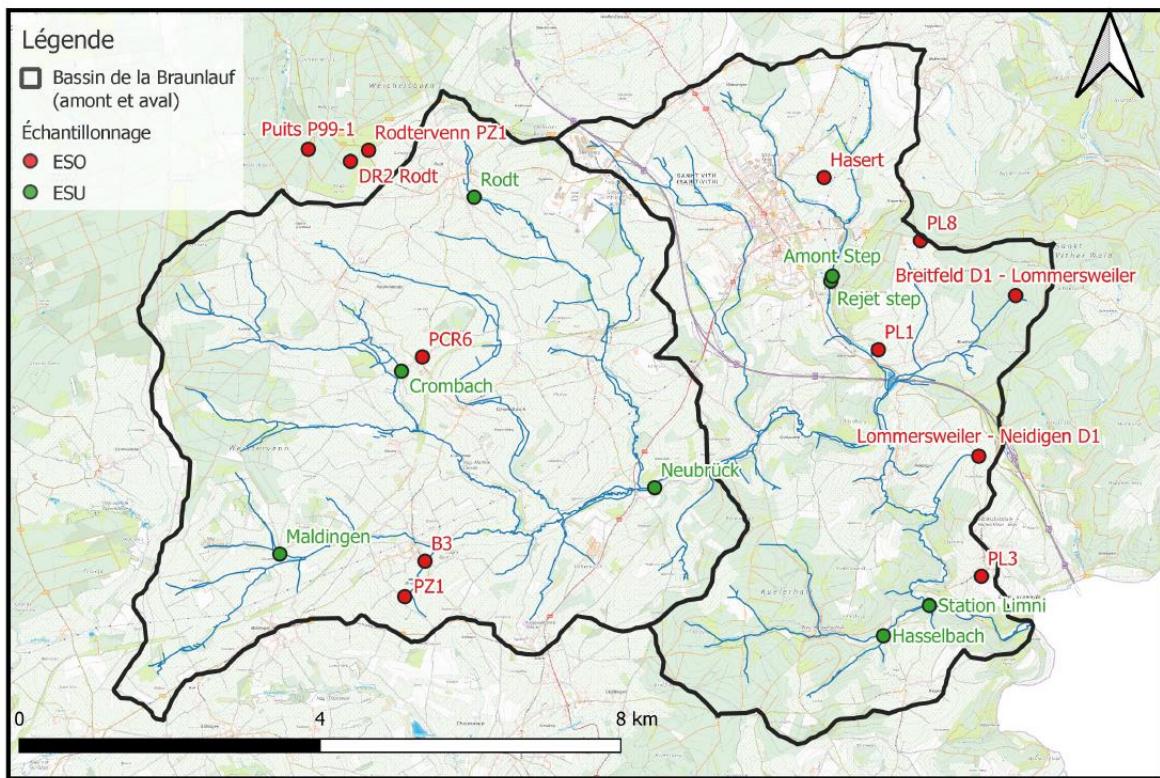


Figure 18 : Localisation des points échantillonnés lors de la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

Les Figure 19, Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23, Figure 24 et Figure 25 présentent la cartographie de la conductivité électrique, du pH ainsi que des concentrations en nitrate, sulfate, chlorure, sodium et calcium. Les classes sont réalisées selon les percentiles P_{20} , P_{40} , P_{60} , P_{80} et P_{100} calculés en considérant l'ensemble des échantillonnages de la campagne régionale (ESO-ESU). Les eaux souterraines et les eaux de surface se distinguent par une symbolique différente.

Les conductivités électriques sont plus élevées à l'Est du bassin qu'à l'Ouest certainement en raison de l'urbanisation du bassin (Figure 19). Pour les eaux de surface, les conductivités sont plus faibles en amont et dans les affluents. Elles augmentent considérablement au niveau de la station d'épuration. Pour les eaux souterraines, les conductivités électriques sont plus faibles dans les zones à couverture forestière (ex : *Puits P99-1* et *Breitfeld D1 – Lommersweiler*).

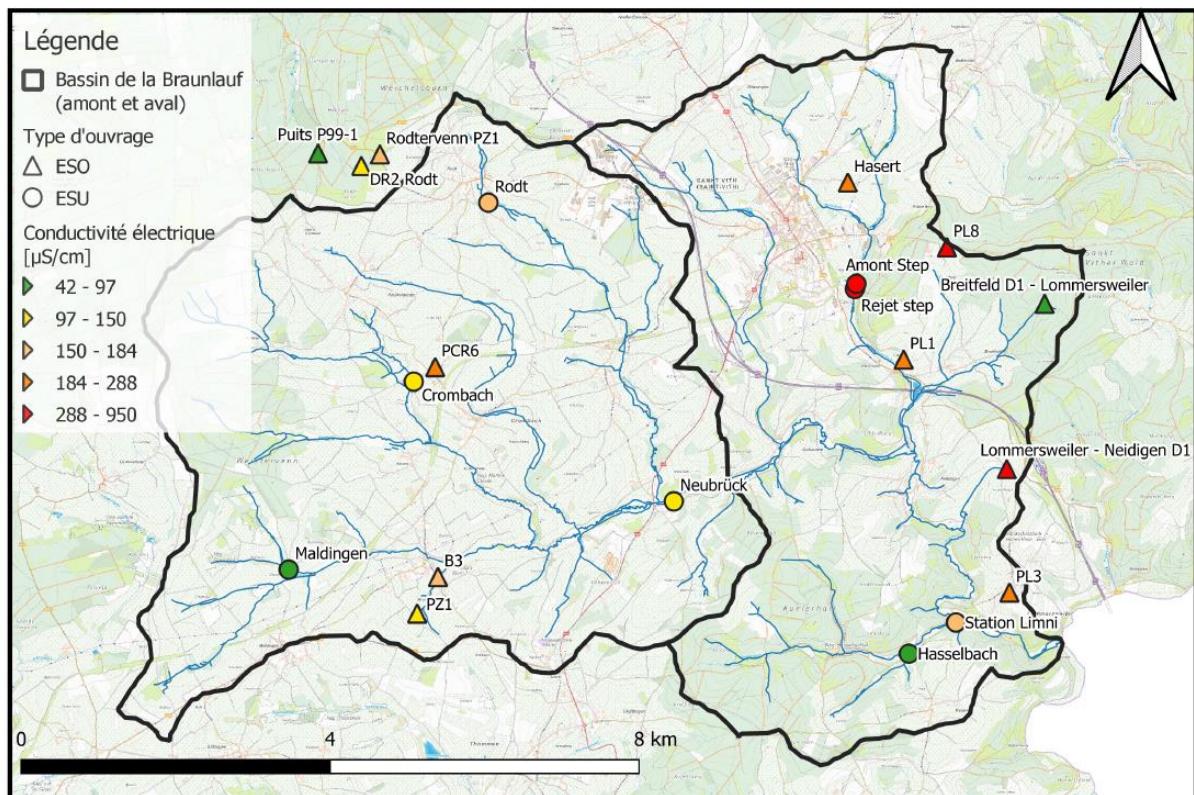


Figure 19 : Représentation cartographique de la conductivité électrique mesurée in situ pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

Les valeurs faibles de pH peuvent s'expliquer par la géologie de bassin constituée de roches siliceuses. Seuls deux stations d'échantillonnage présentent un pH à tendance basique : *Hasselbach* pour les eaux de surface et *Breitfeld D1 – Lommersweiler* pour les eaux souterraines (Figure 20).

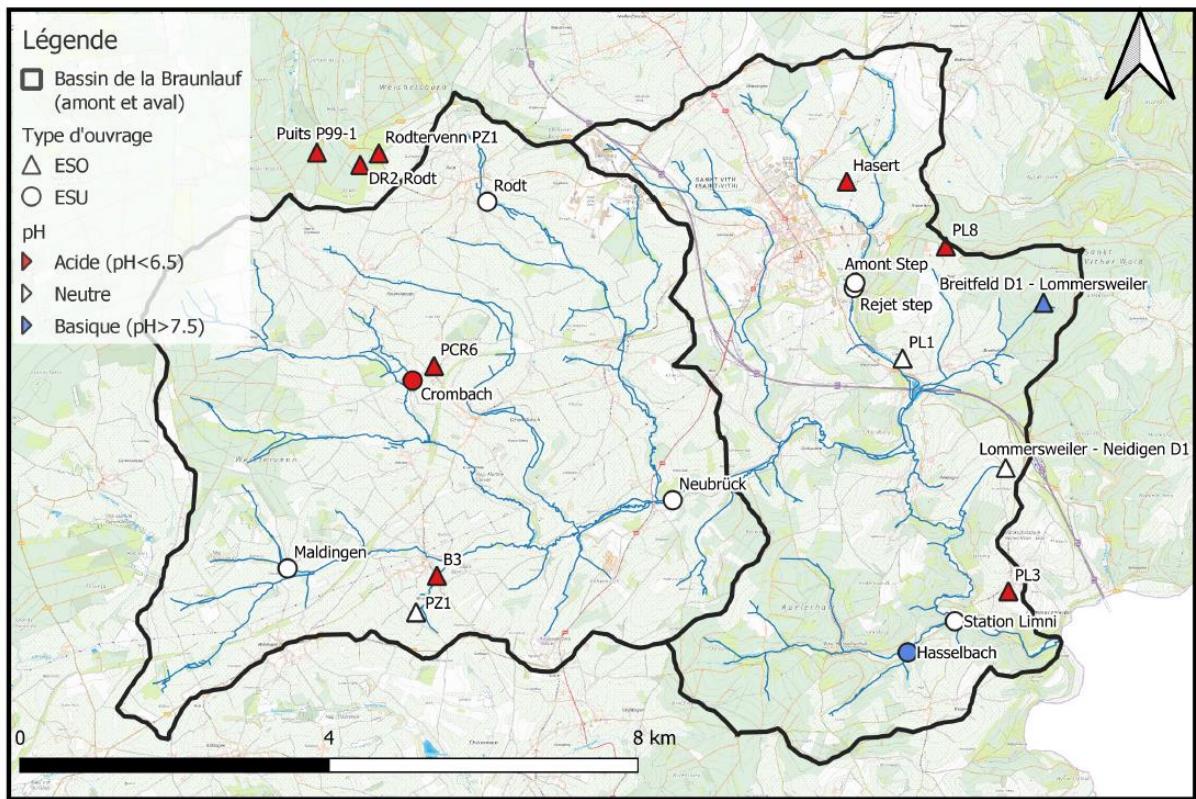


Figure 20 : Représentation cartographique du pH mesuré *in situ* pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

Les concentrations en nitrate sont relativement élevées, surtout au Nord-Ouest du bassin (Figure 21). Les concentrations élevées observées au Nord-Ouest semblent être anti-corrélées avec la conductivité électrique. Aucune concentration en nitrate ne dépasse la norme de potabilité du code de l'eau (50 mg/L). Pour les eaux de surface, des concentrations particulièrement élevées en nitrate sont observées à *Rodt*.

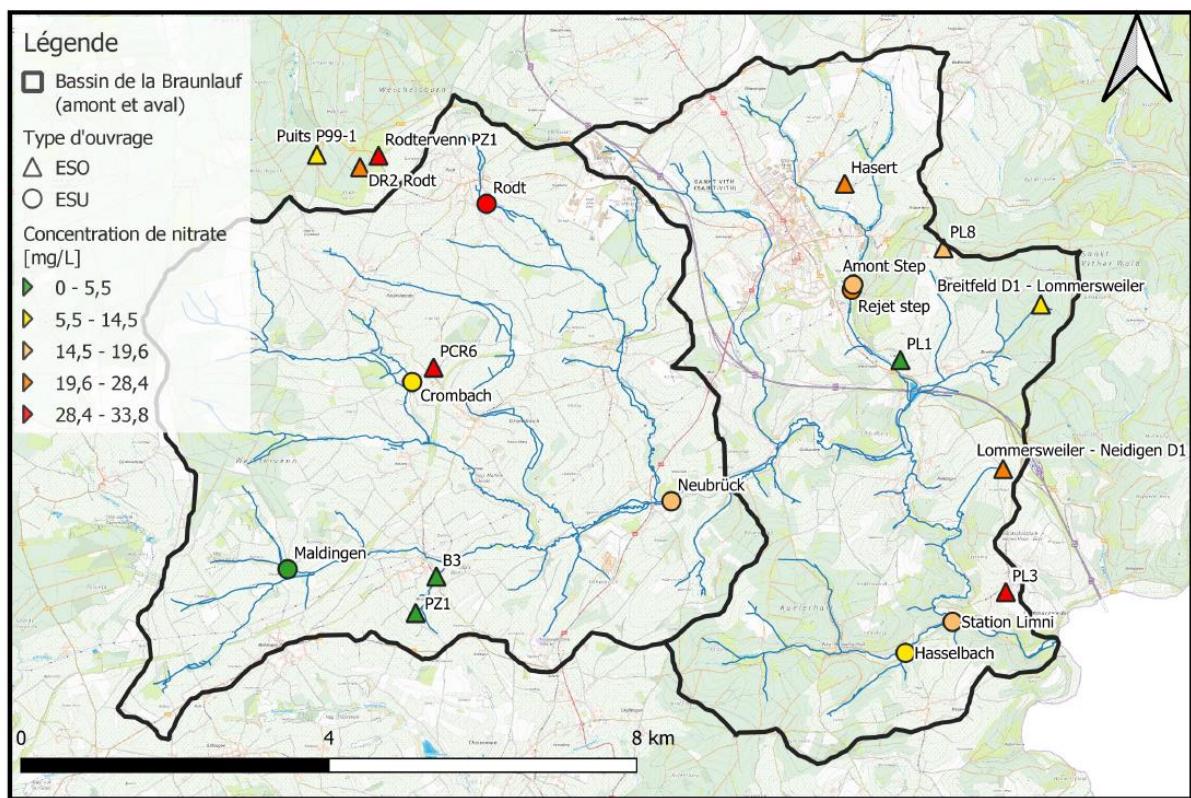


Figure 21 : Représentation cartographique de la concentration en nitrate pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

Les concentrations les plus élevées en sulfate (Figure 22), chlorure (Figure 23), en sodium (Figure 24) et calcium (Figure 25) sont observées à l'Est du bassin, dans les zones plus industrialisées.

Les concentrations en sulfate sont faibles en amont des affluents ainsi que dans les ouvrages souterrains situés au Nord du Bassin (*Puits P99-1, DR2 Rodt, Rodtvenn PZ1*). Les concentrations en chlorure sont faibles en amont des affluents ainsi que dans certains ouvrages souterrains (*Puits P99-1, PZ1 et PL1*). Les concentrations en sodium sont faibles en amont des affluents ainsi que dans certains ouvrages souterrains (*Puits P99-1 et Breitfeld D1 – Lommersweiler*). Les concentrations en calcium sont faibles en amont des affluents ainsi que dans les ouvrages souterrains situés au Nord du Bassin (*Puits P99-1, DR2 Rodt*) mais également à *Breitfeld D1 – Lommersweiler*.

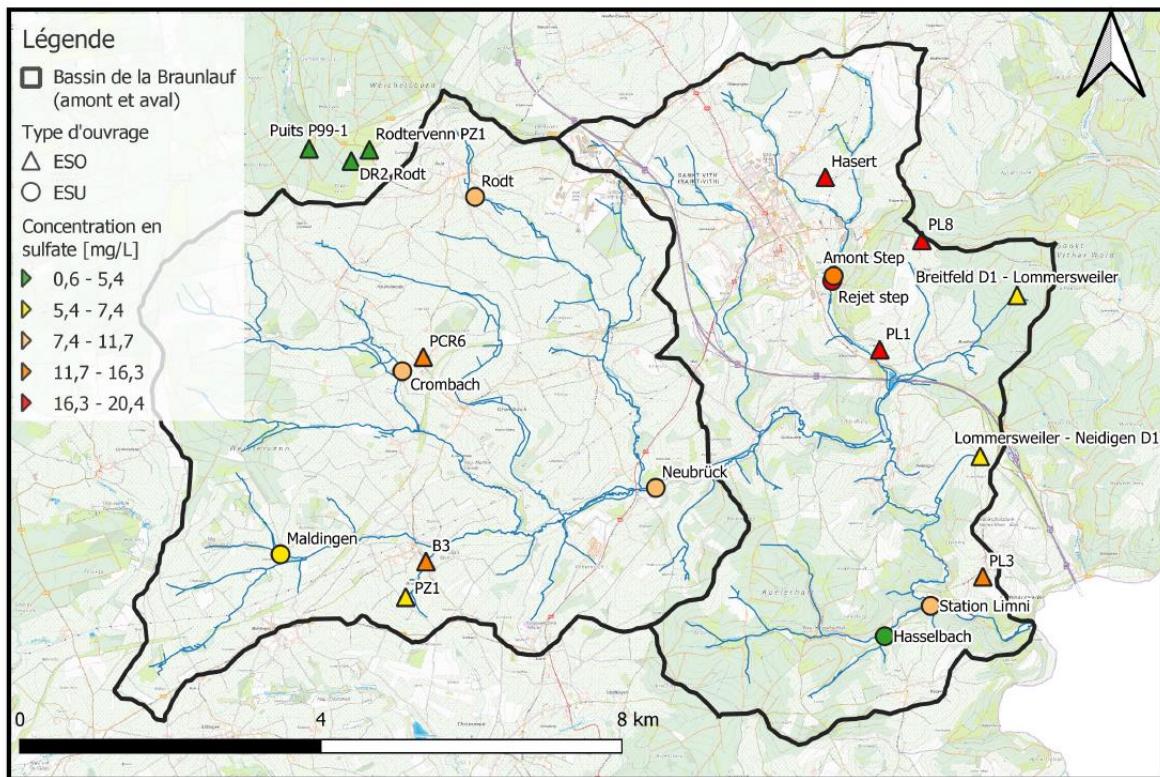


Figure 22 : Représentation cartographique de la concentration en sulfate pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

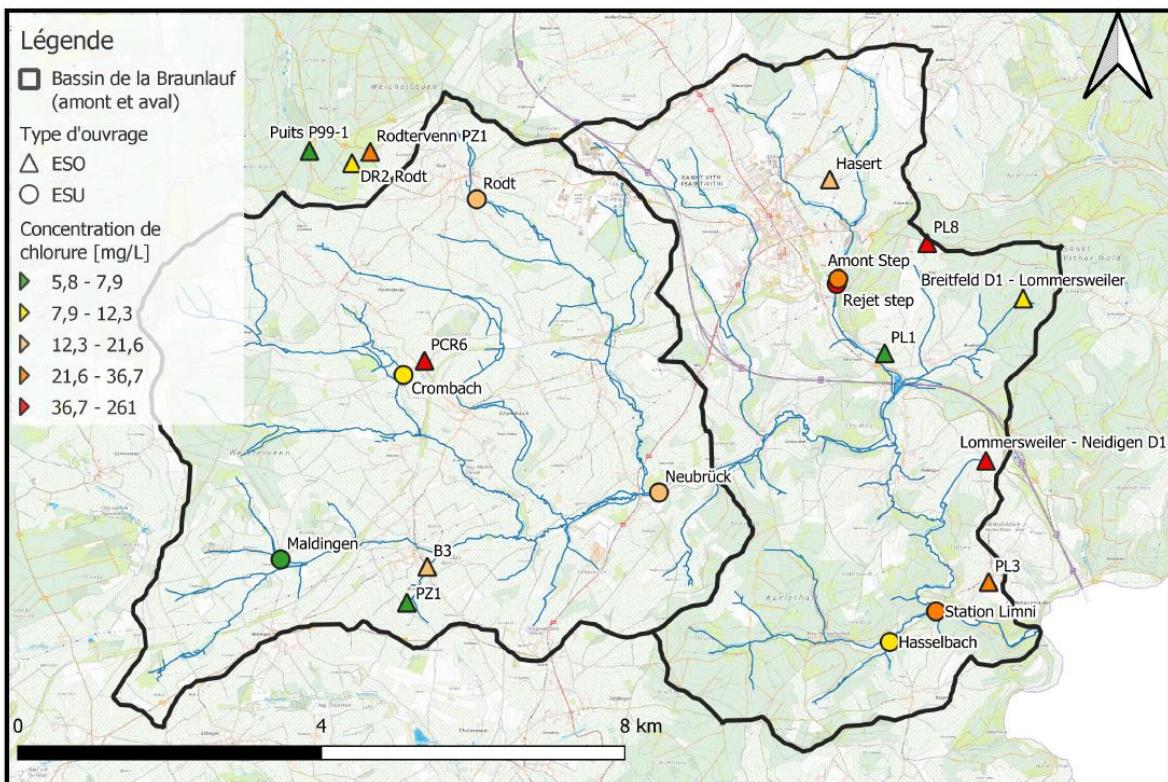


Figure 23 : Représentation cartographique de la concentration en chlorure pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

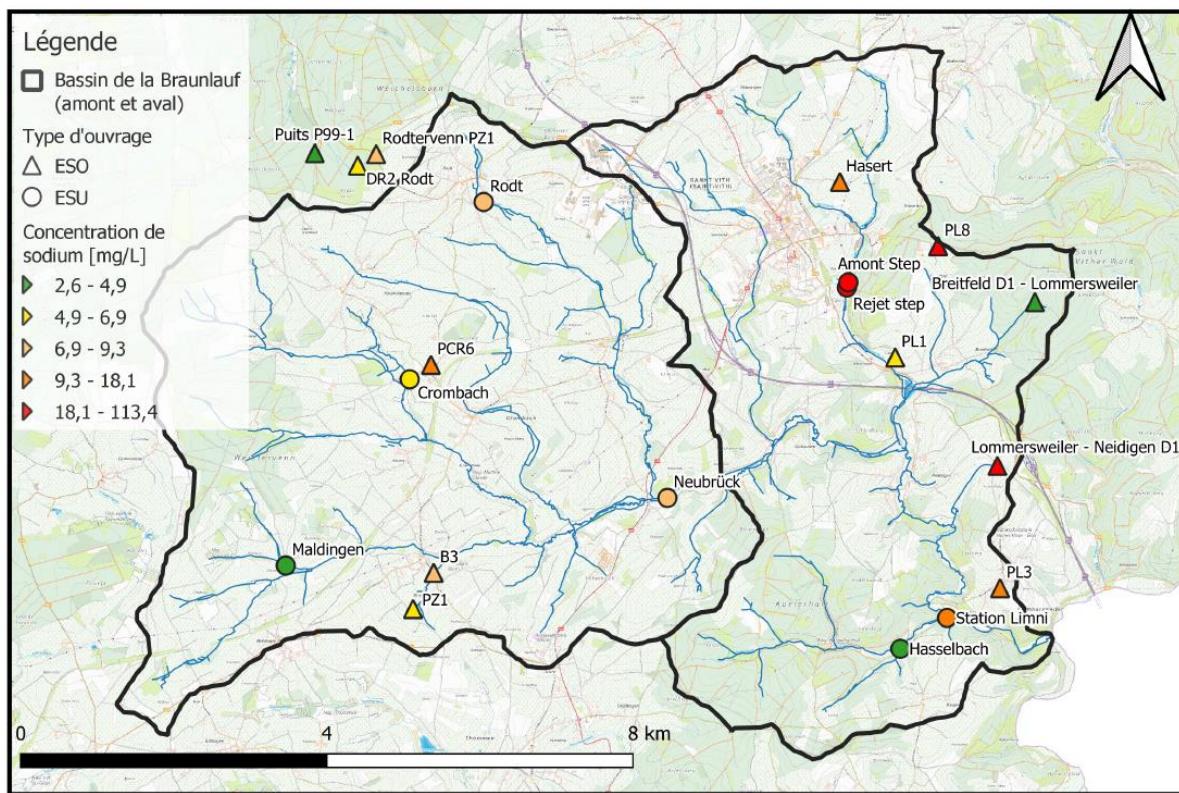


Figure 24 : Représentation cartographique de la concentration en sodium pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

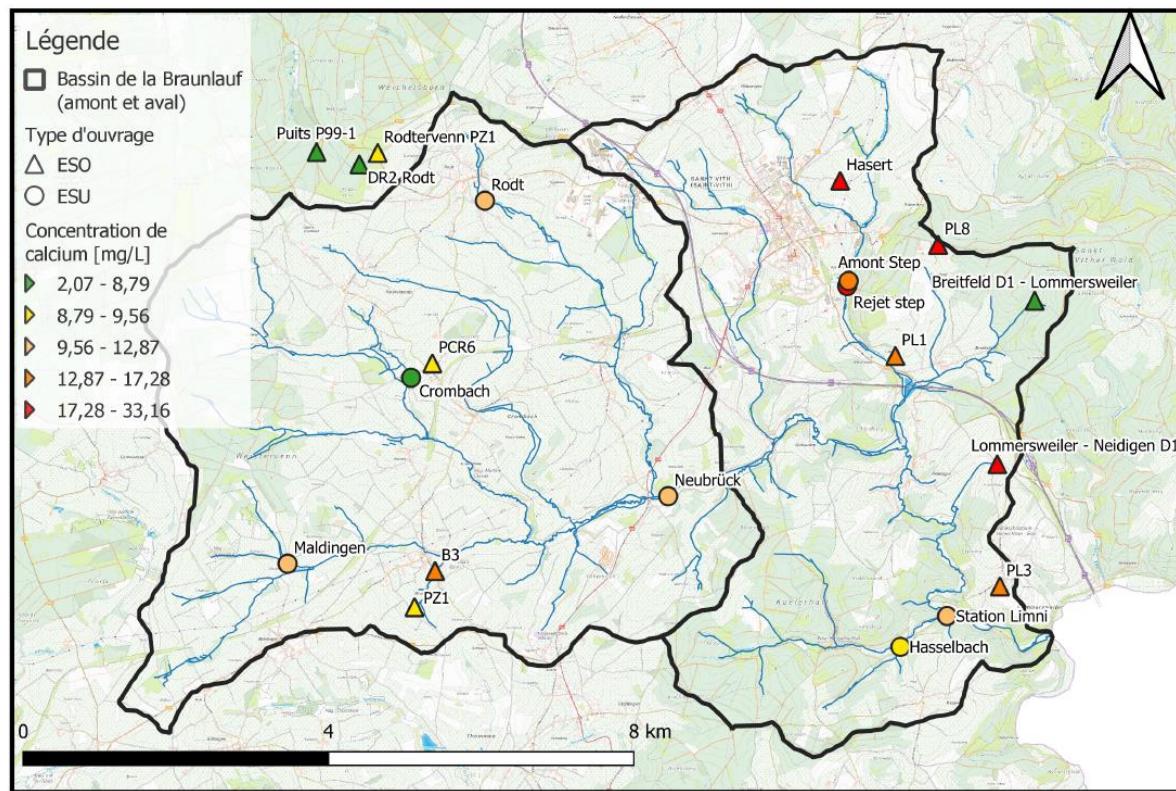


Figure 25 : Représentation cartographique de la concentration en calcium pour la campagne régionale du bassin de la Braunlauf

4.3. Représentation graphique (diagrammes de Piper et Stiff) pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Braunlauf

La Figure 26 illustre le diagramme de Piper pour l'ensemble des données *ESO-ESU* de la campagne régionale réalisée en septembre 2021 pour la Braunlauf. La plupart des échantillonnages présentent un faciès chloruré ou bicarbonaté, sans dominance nette au niveau des cations. Les eaux souterraines présentent les plus grandes proportions de concentrations en chlorure. Cela est cohérent pour ce type de contexte géologique. Aucun cation dominant ne semble se dégager du diagramme ternaire.

Les points d'échantillonnage les moins impactés par le chlorure sont les suivants : *PZ1*, *B3* et *Maldingen* au Sud-Ouest du bassin ; *Hasselbach* au Sud-Est ; *PL1* au Sud de Saint-Vith.

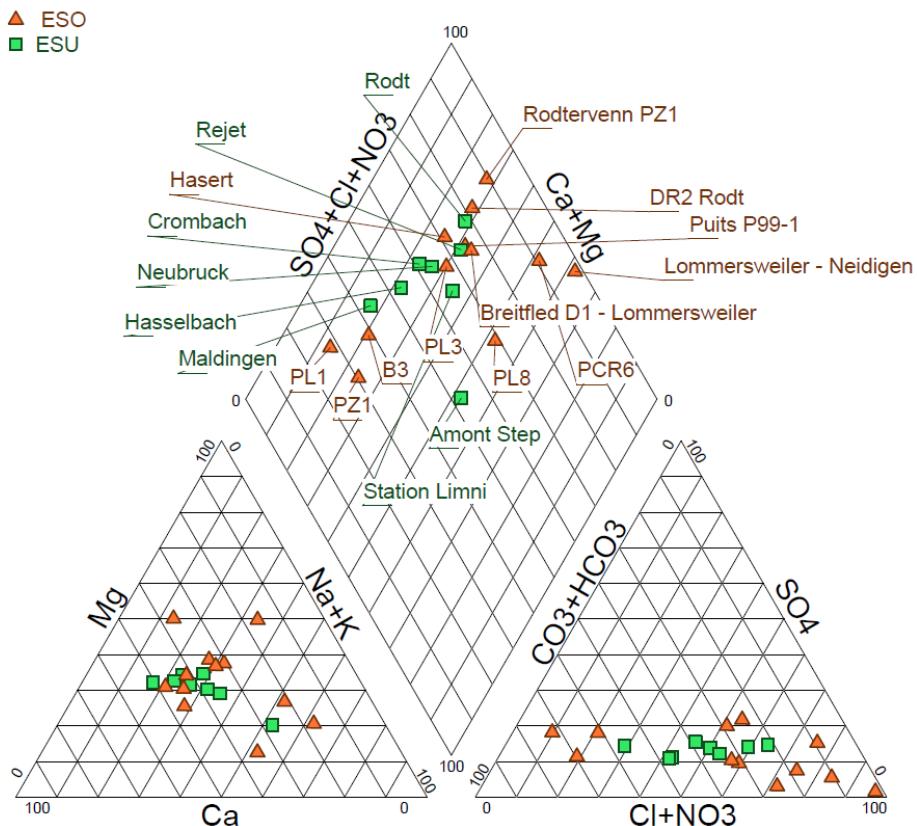


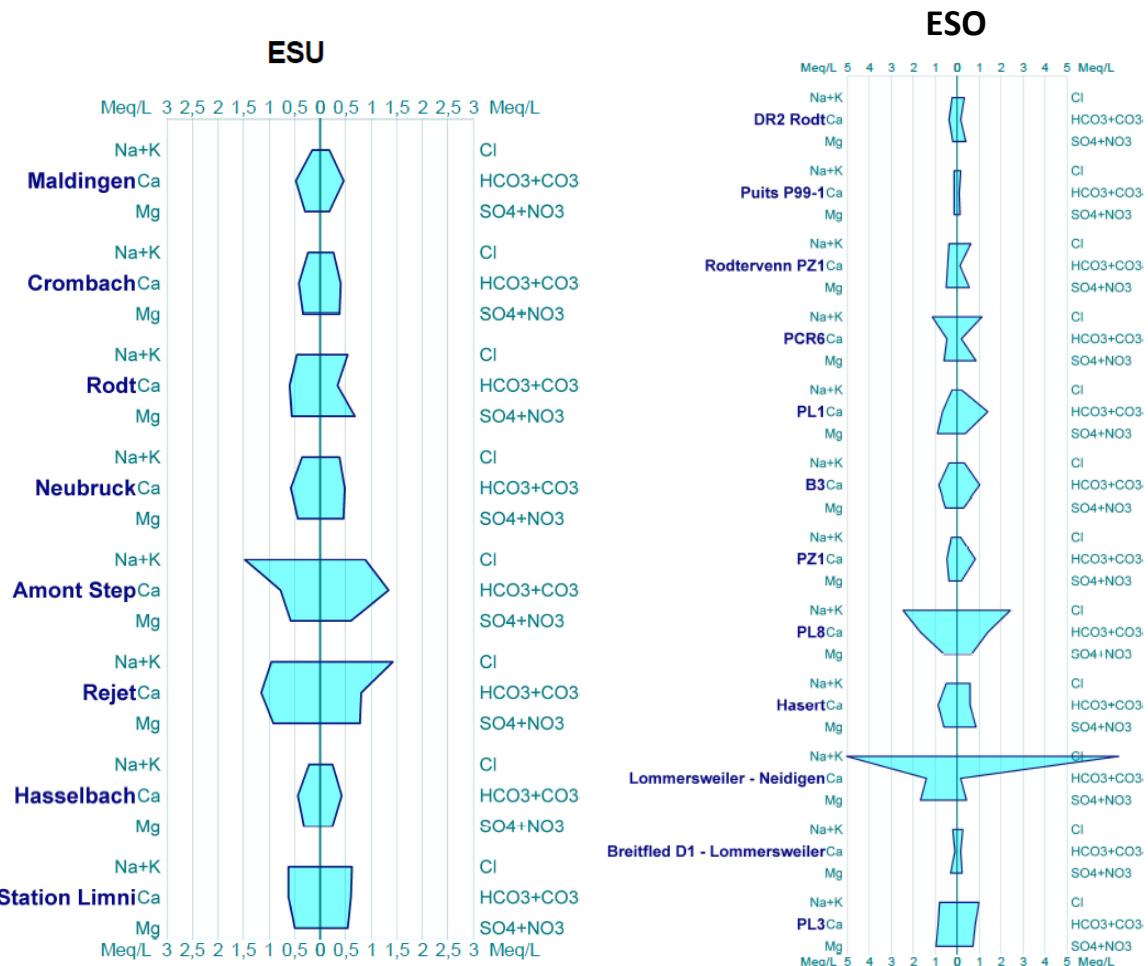
Figure 26 : Diagrammes de Piper relatifs à la campagne régionale réalisée en septembre 2021 dans le bassin de la Braunlauf

Pour représenter au mieux les faciès de minéralisation, les données *ESO* et *ESU* sont présentées séparément sur les diagrammes de Stiff (Figure 27).

Globalement, les eaux de surface sont peu minéralisées à l'exception des ouvrages *Amont STEP* et *Rejet*. Ces derniers présentent des concentrations élevées particulièrement pour en

sodium et potassium, magnésium, chlorure et bicarbonate. Cela pourrait s'expliquer par un apport en chlorure et bicarbonate d'origine anthropique lié au rejet d'eaux usées par la station d'épuration. En aval de la station, les concentrations en sodium et potassium, magnésium et bicarbonate diminuent dans le sens de l'écoulement probablement par dilution avec l'eau apportée par les affluents du cours d'eau.

Les polygones de Stiff sont assez hétérogènes et présentent, pour certains ouvrages, des formes particulières avec des concentrations élevées en chlorure ; sodium + potassium pour les ouvrages *PL8* et *Lommersweiler - Neidigen D1*.



Remarques :

- 1) L'ouvrage *Lommersweiler – Neidigen D1* présente des conductivités électriques anormalement élevées. Pour vérifier la fiabilité de cette valeur, plusieurs sondes ont été utilisées. Ces dernières présentent toutes les mêmes résultats. L'ouvrage concerné est un drain situé dans une ancienne chambre de visite, qui n'est plus exploité depuis un certain temps. L'eau issue de ce drain proviendrait d'un réservoir en amont. Il est possible que la conductivité électrique élevée mesurée à cet ouvrage soit liée à l'état de la chambre, du drain ou du réservoir. Cet ouvrage sera donc exclu des interprétations de l'étude car il n'est pas considéré comme étant représentatif de l'eau souterraine.
- 2) L'ouvrage *PL3* présente un diagramme de Stiff sous la forme d'un losange ce qui pourrait refléter une contamination anthropique (pics de magnésium, calcium, chlorure, ...). Cet ouvrage est une fontaine de village.

2. Bassin de la Thyle

Le bassin de la Thyle se situe au Nord de la Wallonie, dans la province du Brabant wallon, et est réparti sur plusieurs communes (Villers la Ville, Court Saint Etienne et Genappe). Il fait partie de la masse d'eau de surface suivante : la Dyle amont (DG01R).

L'occupation du sol est majoritairement agricole. Des surfaces boisées occupant les versants ainsi que des zones artificialisées sont tout de même également présentes. Au Sud-Est du bassin se trouve le site *Seveso 5N+*, une société produisant des métaux raffinés et des sels (bismuth, nitrate, ...).

L'assainissement des eaux est principalement collectif, reposant sur quatre stations d'épuration.

La Thyle est située dans le sous bassin de l'Escaut (69 km^2) et se jette dans la Dyle. Le bassin étudié dans la convention se limite à sa confluence avec l'Orne. Trois systèmes aquifères sont rencontrés au sein du bassin :

- L'aquifère des sables du Bruxellien composé des sables de l'Éocène localement indurés en grès à ciment soit carbonaté soit siliceux ;

- La masse d'eau souterraine du Socle du Brabant composée d'une part de la nappe superficielle dans le manteau d'altération de grès, schistes et siltites ; et d'autre part, d'une nappe profonde logée dans les fissures et fractures des niveaux de grès et de quartzites ;
- L'aquitard à niveaux aquifères du Givétien constitué principalement de conglomérats, de grès, de siltites et de calcaires.

Pour plus d'informations quant à la description du bassin de la Thyle, le lecteur est invité à se référer au délivrable D01.

1. Description du réseau de monitoring mis en place dans le bassin de la Thyle

Sur base de l'inventaire réalisé dans le cadre du délivrable D01 et de la visite de terrain (5 décembre 2019), le réseau de monitoring final proposé est présenté à la Figure 28 et comprend :

- Une station de météorologique *Pameseb* située dans l'Ouest du bassin.
- Une station limnimétrique existante située à l'aval du bassin (*Suzeryl*). Une seconde a été installée sur le *ry de Gentissart*, avant la confluence avec la Thyle.
- Pour le suivi piézométrique, des chroniques du réseau *Piez'Eau* (piézomètres *Bois d'Hez* et *Rigenée*), auxquelles s'ajoutent deux sondes placées dans le cadre de la convention dans les piézomètres *PZ HT4BXL* et *PZ HT4GV*. Ces piézomètres sont situés hors zone d'influence directe d'un captage, l'un à côté de l'autre, l'un est crépiné dans les sables et l'autre dans le Givetien. Ils ne font plus partie du réseau de suivi de l'inBW mais la visite du terrain montre qu'ils sont encore existants.

Le piézomètre *Bois d'Hez* a une profondeur de 37,2 m. La position des crépines n'est pas connue mais il est référencé comme étant dans le Socle. Ce site est équipé d'une sonde automatique avec télétransmission des données.

Le piézomètre *Rigenée* a une profondeur de 28,47 m. Il est crépiné à partir de 22,8 m. Les mesures sont manuelles et réalisées à une fréquence mensuelle. L'aquifère sollicité par ce piézomètre est renseigné comme étant les sables sur le site *Piez'Eau* mais il est renseigné comme étant dans le Socle dans la carte hydrogéologique de Wallonie.

- Quatre sondes CTD ont été installées : une dans chaque piézomètre *PZHT4BXL* et *PZ HT4GV*, une troisième sur la Thyle à *Gentissart* et une dernière également sur la Thyle, au niveau de la *station limnimétrique*.
- 16 stations d'échantillonnage des eaux de surface de la Thyle et ses affluents.
- 10 sites d'échantillonnage d'eau souterraine (pour la campagne régionale).

Un point d'échantillonnage des eaux de surface se situe directement à l'aval du site de l'entreprise *5N+*. Cette entreprise de chimie inorganique détient 60 % des parts de marché de la production de bismuth et de métaux spéciaux. Ses produits sont notamment utilisés à des fins pharmaceutiques, électroniques et industrielles (Villers-la-Ville, 2022). Depuis 2010, le site est classé « Seveso »¹⁰.

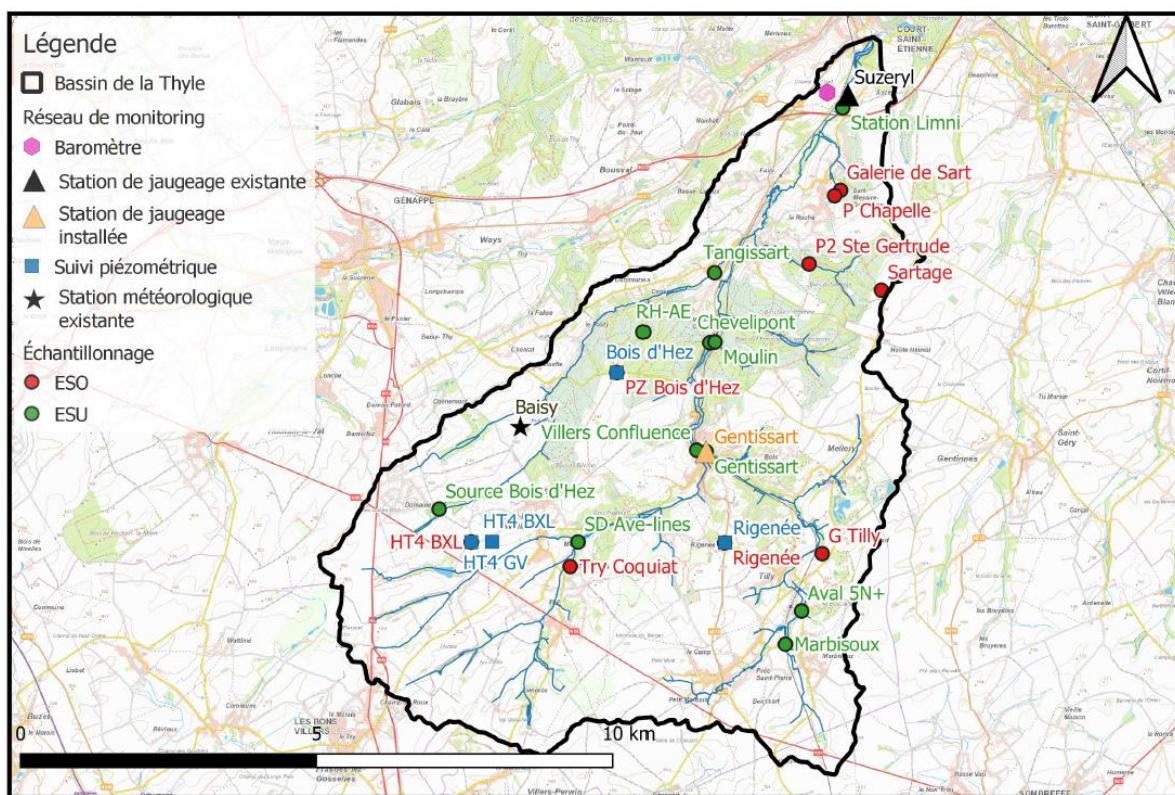


Figure 28 : Réseau de monitoring final pour le bassin de la Thyle

¹⁰ Site industriel présentant des risques d'incidents majeurs où est maintenu un haut taux de prévention.

2. Résultats du monitoring en continu dans le bassin de la Thyle

Les résultats du monitoring en continu sont présentés d'un point de vue quantitatif :

- Les profondeurs d'eau de la nappe (*ESO*) et les niveaux d'eau en rivières (*ESU*) mesurés soit par les sondes installées dans le cadre de la convention, soit par les réseaux *Piez'Eau* et *Aqualim*.
- Les mesures de jaugeage en rivière qui ont permis la création d'une courbe de tarage pour le site *Gentissart*.
- Les évolutions de la conductivité électrique mesurée par les sondes CTD (dans le cadre du délivrable D03, elles serviront d'indicateur de composantes relatives au débit de base et au ruissellement dans le but de séparer les hydrogrammes).

Ces mesures de monitoring en continu sont complétées par l'acquisition des données de précipitations mesurées par la station météorologique du réseau *Pameseb*.

2.1. Données météorologiques utilisées dans le cas du bassin de la Thyle

La station météorologique *Baisy*, appartenant au réseau *Pameseb*, se situe dans la partie ouest du bassin. Elle a été installée le 28 septembre 2005 et se situe à 126 mètres d'altitude.

La Figure 29 présente l'évolution de la pluviométrie (Figure 29a) en parallèle avec celle de l'évapotranspiration réelle (Figure 29b) et du débit mesuré à la station limnimétrique *Suzeryl* (Figure 29c). La comparaison de ces 3 graphiques permet de mettre en évidence différents phénomènes :

- Lorsque l'évapotranspiration réelle est particulièrement faible et que les précipitations journalières sont importantes, une hausse du débit est observée sur les eaux de surface à la suite du ruissellement des eaux (ex : d'octobre 2020 à février 2021).
- Des précipitations particulièrement fortes (ex : juillet 2021) peuvent provoquer une nette hausse du débit en période estivale en raison notamment de la sursaturation des sols.

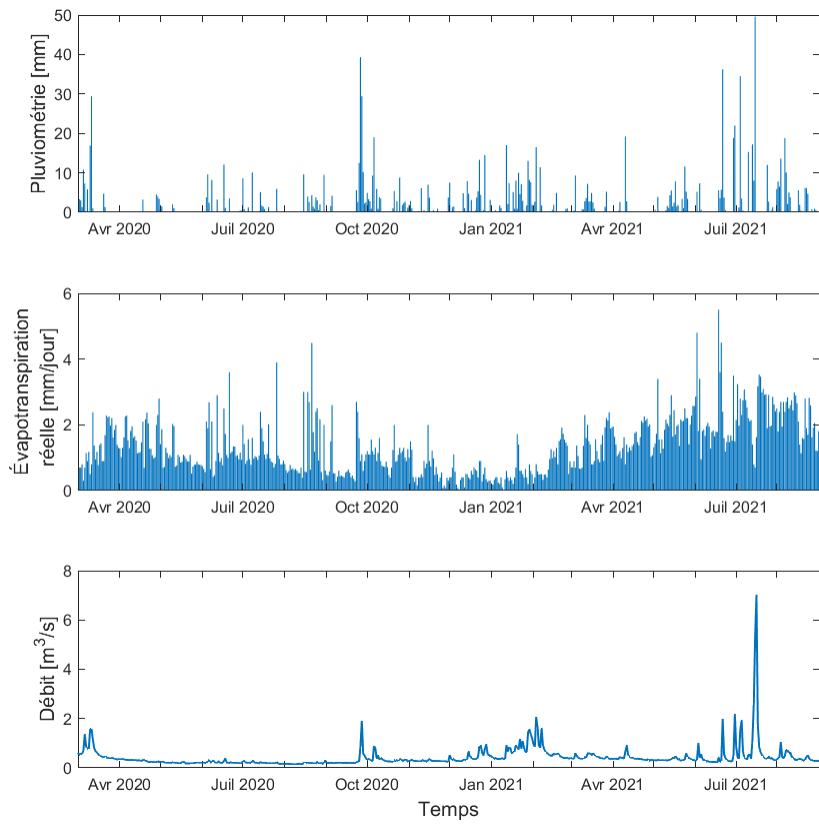


Figure 29 : Mise en parallèle de la pluviométrie, l'évapotranspiration réelle calculée à la station météorologique du bassin de la Thyle et de l'évolution temporelle du débit mesuré à la station limnimétrique Suzeryl

2.2. Réseau de surveillance du débit dans le bassin de la Thyle

La station limnimétrique « *Suzeryl* » appartenant à la DG03-DRCE-DCENN est en place depuis le 1^{er} avril 1973. Cette dernière n'est pas placée exactement à l'exutoire du bassin mais se situe à environ 1 km en amont de la confluence avec l'Orne à 65,53 m d'altitude. Le débit de la Thyle mesuré en cette station depuis le 5 mars 2020 est présenté à la Figure 30. Passé le débit maximum jaugé, égal à $4.52 \text{ m}^3/\text{s}$, les estimations de débits se doivent d'être considérées avec précaution.

Cette Figure rend possible la distinction entre les périodes des basses et hautes eaux. Un pic anormal de débit est observé entre le 10 juillet et le 20 juillet. Ce pic est notamment lié aux précipitations intensives ayant provoqué les crues et inondations en juillet 2021.

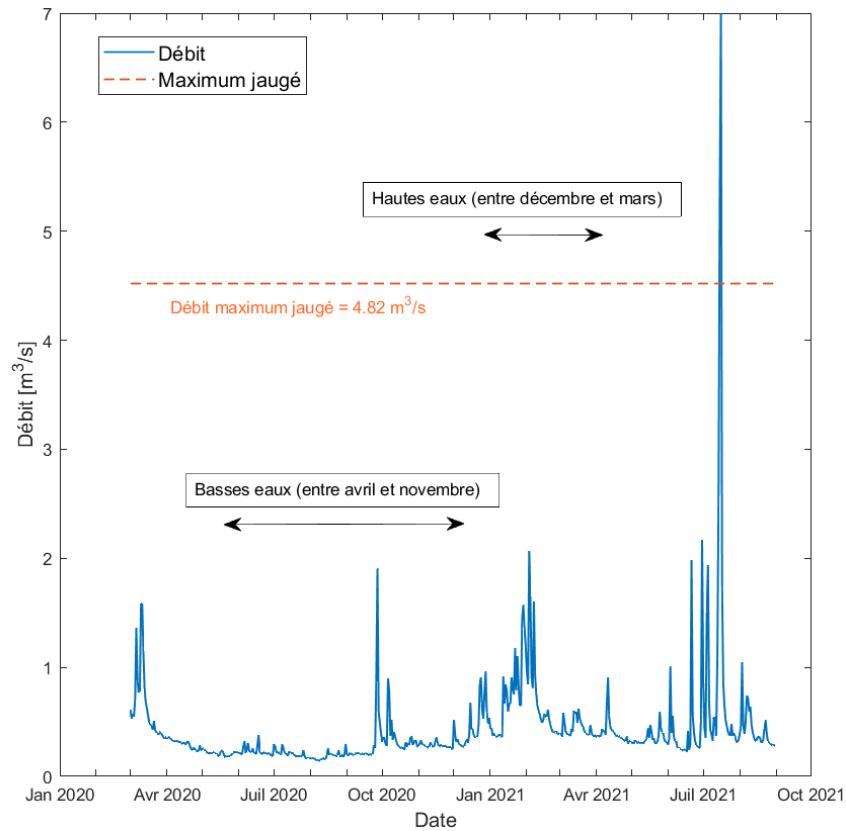


Figure 30 : Évolution du débit mesuré à la station limnimétrique située à l'exutoire du bassin de la Thyle (Aqualim, 2021)

2.3. Profondeurs d'eau (ESO) et niveaux d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Thyle

La Figure 31 met en parallèle les précipitations (Figure 31a.) avec d'une part les profondeurs d'eau souterraine mesurées dans différents ouvrages (Figure 31b.), d'autre part les variations de niveau d'eau dans les rivières (Figure 31c.).

La variation saisonnière des profondeurs d'eau est de l'ordre de 50 cm, soit nettement moins marquée que celle observée pour le bassin de la Braunlauf. Dans le but de mieux distinguer les profondeurs d'eau des ouvrages *Bois d'Hez*, *Rigenée*, *HT4BXL* et *HT4GV*, ceux-ci sont représentés séparément à la Figure 31.

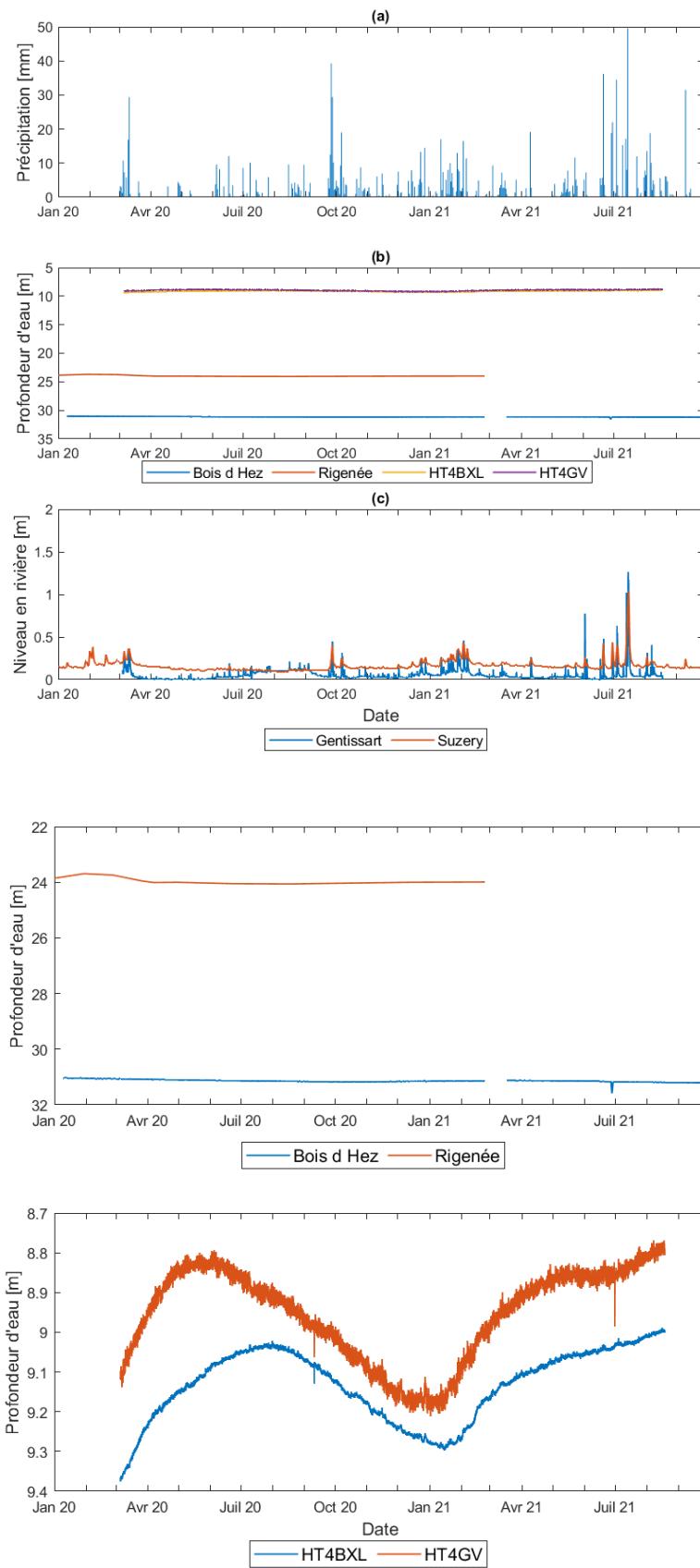


Figure 31 : Chroniques des profondeurs d'eau souterraine (ESO) et niveau d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Thyle.

2.4. Courbe de tarage du point *Gentissart* situé dans le bassin de la Thyle

La courbe de tarage présentée à la Figure 32 a été réalisée sur base des mesures de jaugeage et de niveaux d'eau en rivière à *Gentissart*. Une interpolation quadratique entre les points permet de déterminer une valeur de débit en fonction de la hauteur d'eau mesurée.

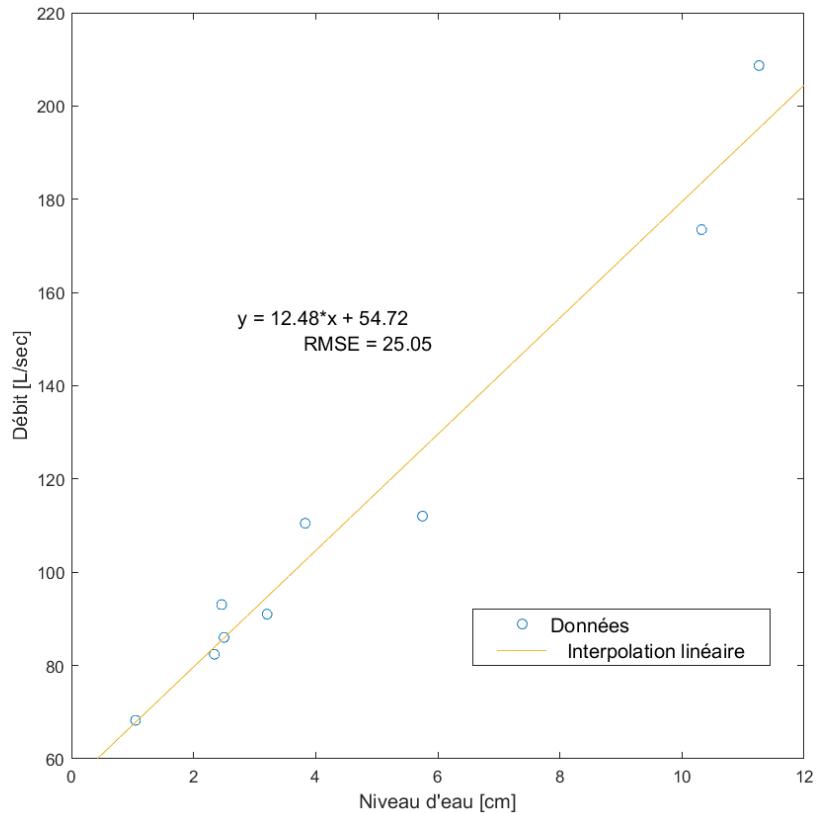


Figure 32 : Courbe de tarage relative au point *Gentissart* dans le bassin de la Thyle

2.5. Évolutions des conductivités électriques en fonction des variations de profondeur d'eau dans la nappe (ESO) et des niveaux d'eau en rivière (ESU) dans le bassin de la Thyle

Les sondes CTD placées sur les eaux de surface et dans certains points d'accès à la nappe permettent d'observer l'évolution de la conductivité électrique au cours du temps. Les courbes ont toutefois été filtrées pour éliminer les anomalies enregistrées au cours des mesures.

La sonde placée dans le piézomètre *HT4BXL* présente des variations piézométriques *a priori* saisonnières de l'ordre de 20 cm. Comme observé sur la Figure 33, la sonde mesurant la conductivité électrique présente un léger bruit probablement dû à un encrassement de la sonde ou à un dépôt de fer à la suite de l'oxydation du boulon maintenant la sonde en place.

Il est dès lors difficile d'établir une relation éventuelle entre l'évolution de la conductivité électrique et celle de la profondeur d'eau dans le forage.

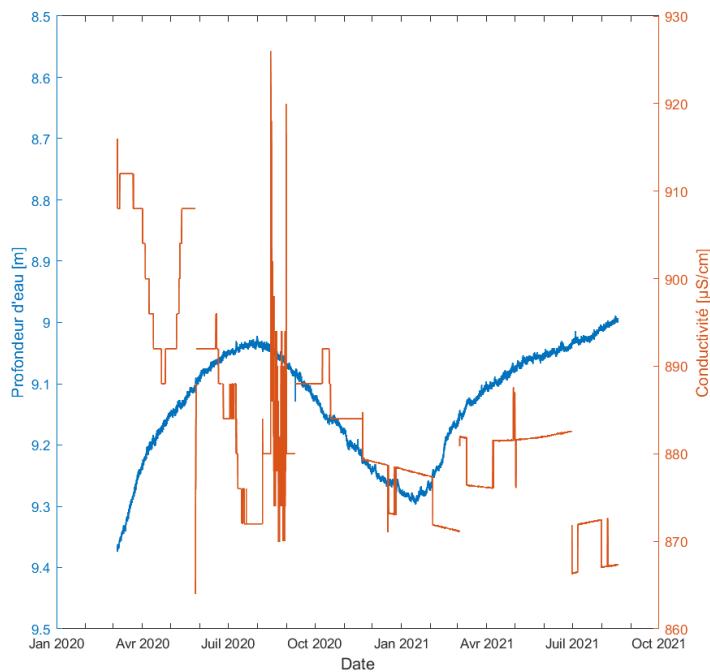


Figure 33 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde CTD placée dans le piézomètre HT4BXL, dans le bassin de la Thyle

La sonde placée dans le piézomètre HT4GV présente les mêmes résultats concernant les variations des profondeurs d'eau (Figure 34). Toutefois, la courbe d'évolution de la conductivité électrique est beaucoup plus lisse que la précédente et présente une importante augmentation à partir d'avril 2021. Cette augmentation est soit due à un dysfonctionnement de la sonde soit à l'arrêt des pompages par l'InBW combiné à une contamination du puits.

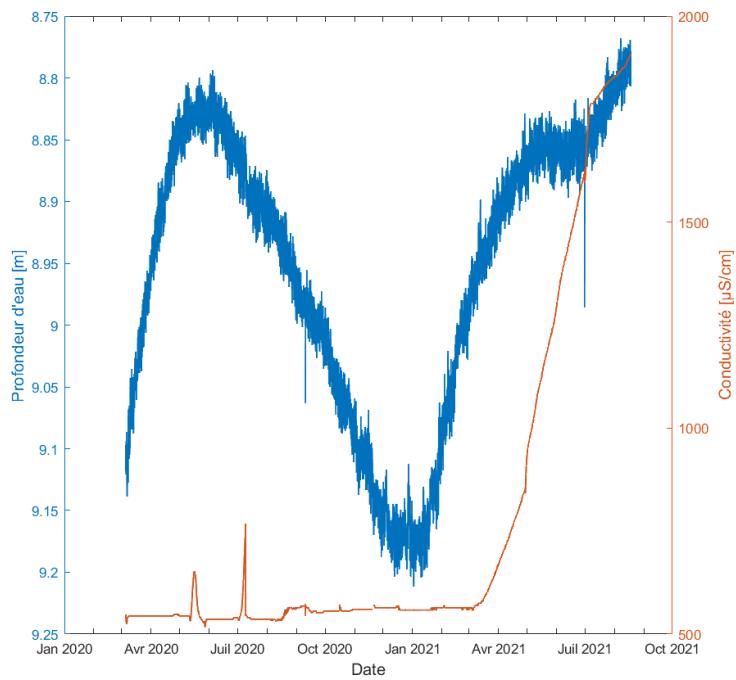


Figure 34 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et de la profondeur d'eau mesurées par la sonde CTD placée dans le piézomètre HT4GV, dans le bassin de la Thyle

La Figure 35 présente l'évolution de la conductivité électrique mesurée par la sonde installée à *Gentissart*. La sonde présente de nombreux artefacts qui rendent difficile l'établissement d'une relation éventuelle avec le niveau d'eau de la rivière.

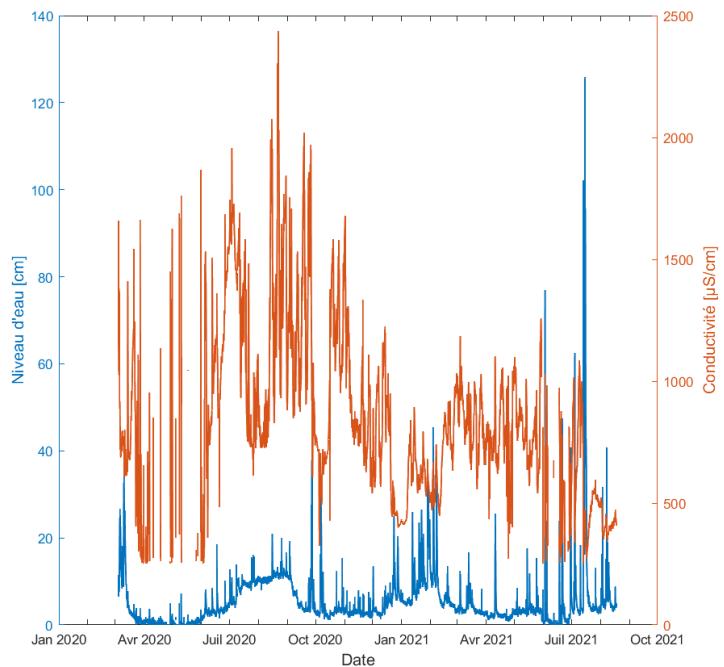


Figure 35 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à *Gentissart*, dans le bassin de la Thyle

La Figure 36 présente l'évolution de la conductivité électrique mesurée par la sonde installée à *Suzeryl*. La sonde présente de nombreux artefacts qui rendent difficile l'établissement d'une relation éventuelle avec le niveau d'eau dans la rivière. Toutefois l'évolution temporelle de la conductivité électrique est semblable à celle observée à *Gentissart*.

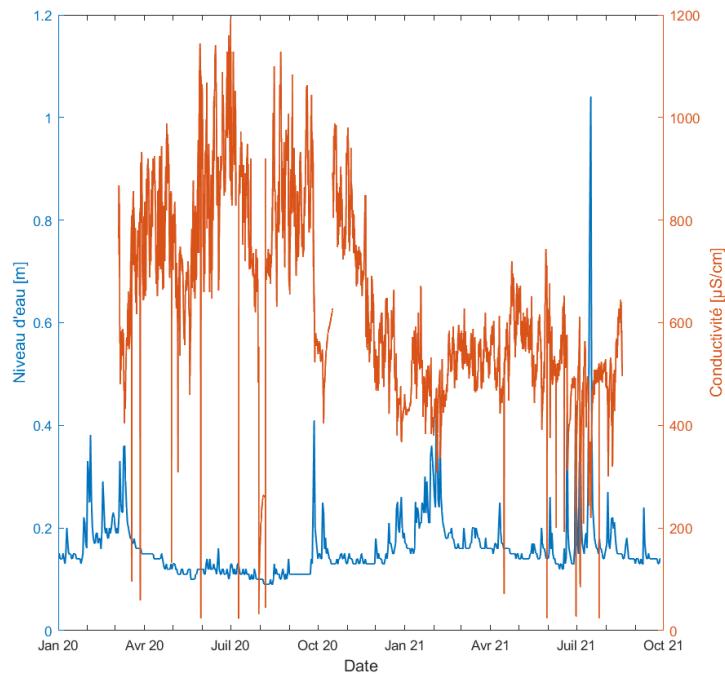


Figure 36 : Évolutions temporelles de la conductivité électrique et des niveaux d'eau mesurés en rivière à *Suzeryl*, dans le bassin de la Thyle

3. Résultats du monitoring sur base mensuelle dans le bassin de la Thyle

Les résultats du monitoring sur base mensuelle sont présentés d'un point de vue qualitatif à l'aide de graphiques illustrant l'évolution temporelle de certains paramètres chimiques et des diagrammes de Piper et de Stiff.

NB : Tous les échantillonnages présentés dans cette section sont relatifs aux eaux de surface.

3.1. Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Thyle

Les stations qui ont fait l'objet d'un échantillonnage sont présentées à la Figure 37. Les évolutions temporelles de la conductivité électrique et des concentrations des principaux ions majeurs sont présentées à la Figure 38 (page 62).

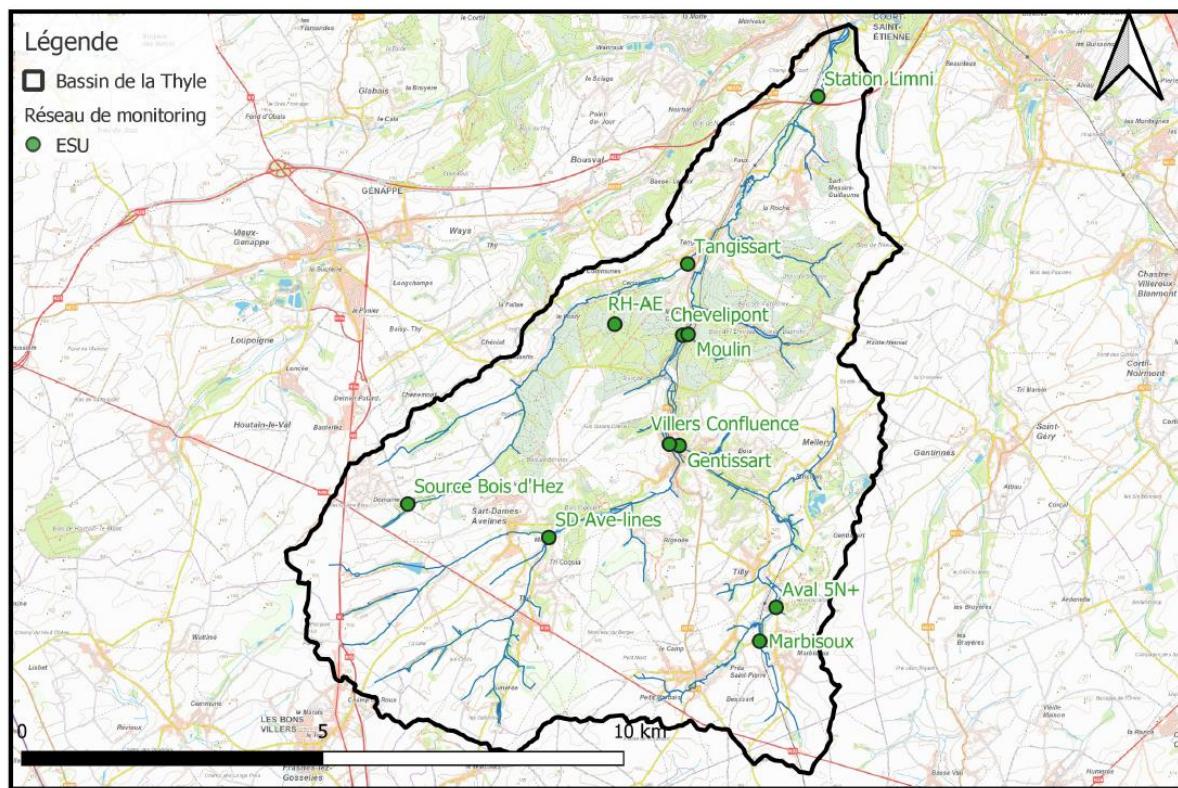


Figure 37 : Stations d'échantillonnage en eau de surface dans le bassin de la Thyle

Conductivité électrique :

Les conductivités électriques observées dans le bassin sont globalement élevées mais varient d'une station à une autre. L'évolution des conductivités est relativement stable dans le bassin.

Les stations non impactées par l'entreprise 5N+ présentent des conductivités électriques moins élevées que les stations impactées par l'entreprise. Parmi les stations non impactées *Source Bois d'Hez* présente des valeurs significativement plus élevées que les autres. La station *RH-AE* présente la plus faible conductivité électrique mesurée.

Parmi les stations impactées par l'entreprise 5N+, *Confluence Ry Gentissart* mais surtout *Aval 5N+* présentent des conductivités électriques particulièrement élevées (jusqu'à 4 442 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour *Aval 5N+*). Les rejets de l'entreprise 5N+ expliquent de telles valeurs de conductivité électrique en rivière. La station *Moulin* présente les conductivités électriques les plus faibles. Cela est probablement lié l'apport d'un affluent non impacté par l'entreprise 5N+. Contrairement aux stations non impactées, les stations impactées présentent des pics de conductivité électrique.

Concentration en nitrate :

Les concentrations en nitrate sont élevées dans le bassin. Elles sont de l'ordre de 30 mg/L pour les points d'échantillonnage non impactés par l'entreprise 5N+ tandis qu'elles sont beaucoup plus élevées dans les points impactés par les rejets de l'entreprise (dépassant parfois 2 000 mg/L). Dans les stations non impactées par l'entreprise 5N+, les concentrations de nitrate varient, de manière assez erratique d'une station à l'autre. Il est probable que la diminution des concentrations mesurées soit liée à une augmentation du débit mesuré en rivière. Les concentrations en nitrate mesurées dans les stations impactées par l'entreprise 5N+ sont particulièrement élevées. C'est principalement le cas pour la station *Aval 5N+* mais également dans une moindre mesure pour les stations *Ry Gentissart* et *Confluence*. La station *Moulin* présente les concentrations les plus faibles.

Concentrations en chlorure et sodium :

Les concentrations en chlorure présentent les mêmes ordres de grandeur et tendances pour les stations impactées ou non impactées par l'entreprise. Les concentrations en sodium ont l'air constantes dans le temps mais les ordres de grandeur diffèrent entre les points impactés et non impactés par l'entreprise 5N+. Le rejet de 5N+ semble donc également constituer un apport très significatif de sodium. Pour les stations non impactées par l'entreprise 5N+ les concentrations en chlorure et sodium sont globalement constantes. La station *Source Bois d'Hez* présente tout de même des concentrations plus élevées que les autres. Cela pourrait témoigner d'une contamination locale. La station *Aval 5N+* présente des pics de concentrations en chlorure et sodium.

Concentration en sulfate et calcium :

Les concentrations en sulfate présentent une tendance à la baisse dans le bassin. Les concentrations en calcium sont relativement stables. Parmi les stations non impactées par l'entreprise 5N+, *Source Bois d'Hez* présente les concentrations en sulfate et calcium les plus élevées tandis que *Tangissart* présente les plus faibles.

Concentration en bicarbonate et magnésium :

Les concentrations en bicarbonate et magnésium sont relativement stables au cours du temps. Elles varient également d'une station à une autre.

Concentration en potassium :

Les concentrations en potassium sont faibles dans le bassin mais varient d'une station à une autre. Parmi les points non impactés par l'entreprise 5N+ les stations SD Avelines, Marbisoux et *Source Bois D'Hez* présentent de légers pics de concentration en potassium. *Tangissart, RE-3, Ry Pirot, RH-AE et RH-Hez* présentent les concentrations en potassium les plus faibles. Pour les stations impactées par l'entreprise 5N+, *Moulin* est la seule qui ne présente aucun pic de concentration.

Observation générale :

Parmi les points non impactés par l'entreprise 5N+, c'est *Source Bois D'Hez* qui présente les concentrations et conductivité électrique les plus élevées. Cela pourrait refléter une contamination ponctuelle. *Aval 5N+, Ry Gentissart et Confluence* sont les stations les plus impactées par l'entreprise 5N+. Ce n'est pas le cas de *Moulin*

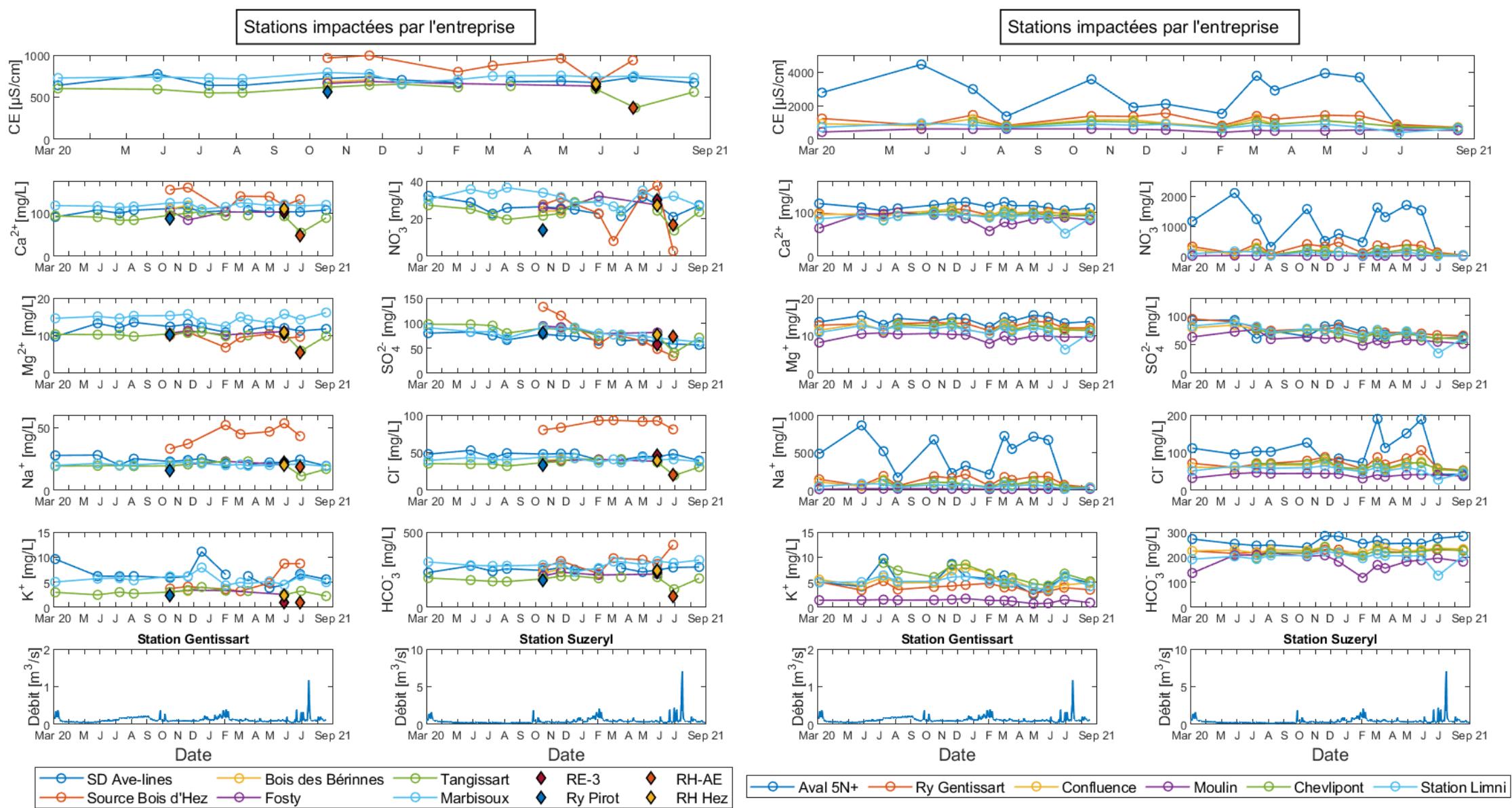


Figure 38: Évolution temporelle des paramètres chimiques mesurés en rivière dans le bassin de la Thyle

3.2. Examen spécifique de deux campagnes mensuelles *ESU* dans le bassin de la Thyle

En vue de définir dans quelle mesure les conditions hydrologiques (hautes-eaux versus basses-eaux) sont susceptibles d'exercer une influence sur le chimisme des eaux, il a été décidé de mener une analyse un peu plus poussée de deux campagnes d'échantillonnages à l'aide des diagrammes de Piper et Stiff. Les campagnes mensuelles de juillet 2020 et de février 2021 ont été définies sur base de la Figure 30 représentant l'évolution des débits mesurés à la station limnimétrique de la Thyle.

Les points échantillonnés correspondent aux stations suivantes : *SD Ave-Lines, Source du bois d'Hez, Rue Fosty, Tangissart, Marbisoux, Aval 5N+, Ry de Gentissart, Confluence, Moulin, Chevelipont, Station limnimétrique*. Les points *Chevelipont, Fosty* et *Source du Bois d'Hez* n'ont pas été échantillonnés en juillet 2020.

3.2.1. Diagramme de Piper pour les deux campagnes mensuelles sélectionnées dans la Thyle

Les Figure 39 et Figure 40 présentent les diagrammes de Piper des campagnes mensuelles réalisées en juillet 2020 et février 2021 avec et sans considération des concentrations en nitrate.

En juillet 2020, en amont de l'entreprise 5N+, le faciès hydrochimique des eaux de surface est de type bicarbonaté calcique. Directement à l'aval de l'entreprise 5N+, le faciès est nettement plus chloruré sodique potassique à la suite de l'enrichissement en nitrate de l'eau de surface. Ensuite, dans le sens de l'écoulement, les faciès tendent à redevenir de type bicarbonaté calcique. Le point d'échantillonnage de la *station limnimétrique* présente un léger retour vers un faciès chloruré. Cela est peut-être dû à un nouvel apport de nitrate dans les eaux de surface à cet endroit.

En février 2021, en hautes eaux, les points se regroupent et tendent de manière plus globale vers un faciès bicarbonaté calcique. Le point d'échantillonnage à l'aval de l'entreprise 5N+ présente des rapports de concentration en nitrate et chlorure plus faibles que lors de la campagne de juillet 2020. Cela est certainement lié à un effet de dilution du rejet en période de hautes eaux sur les eaux de surface.

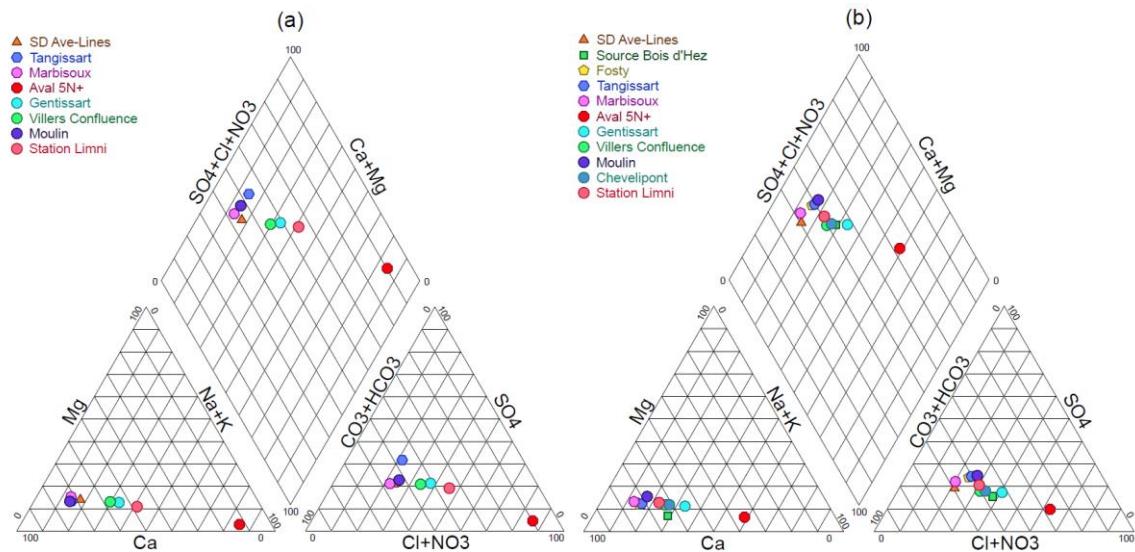


Figure 39 : Diagramme de Piper des campagnes réalisées pour le bassin de la Thyle en considérant le nitrate (a) juillet 2020 ; (b) en février 2021

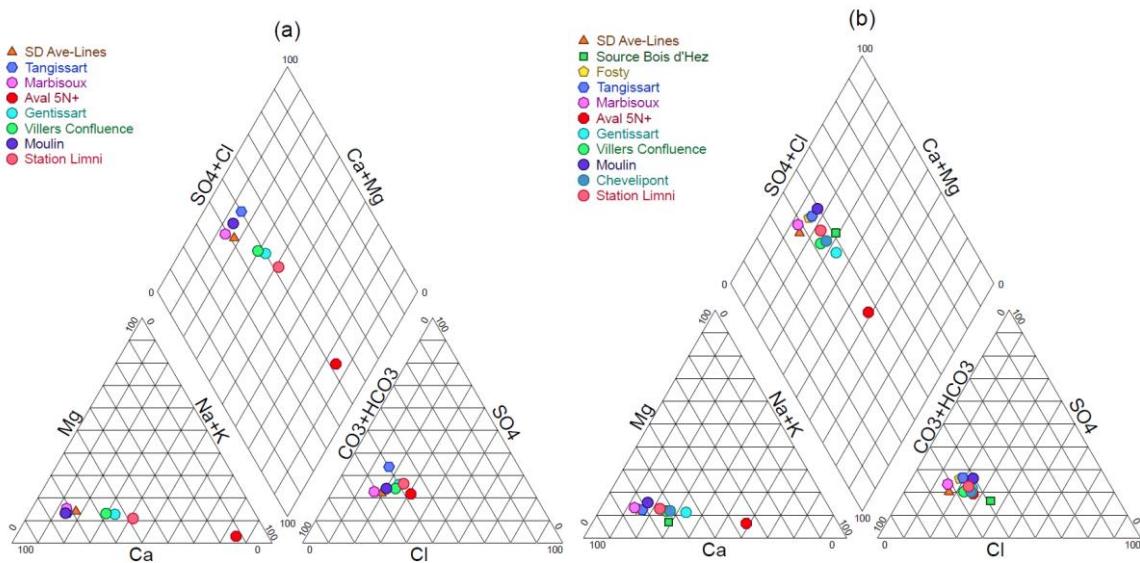


Figure 40 : Diagramme de Piper des campagnes réalisées pour le bassin de la Thyle sans considérer le nitrate (a) juillet 2020 ; (b) en février 2021

3.2.2. Diagrammes de Stiff pour les deux campagnes mensuelles sélectionnées dans la Thyle

La Figure 41 présente les diagrammes de Stiff des campagnes mensuelles étudiées. Les diagrammes de Stiff sont moins étirés lors de la campagne de février 2021 en raison notamment des phénomènes de dilution.

De manière générale, le point d'échantillonnage *Aval 5N+* présente la plus grande minéralisation.

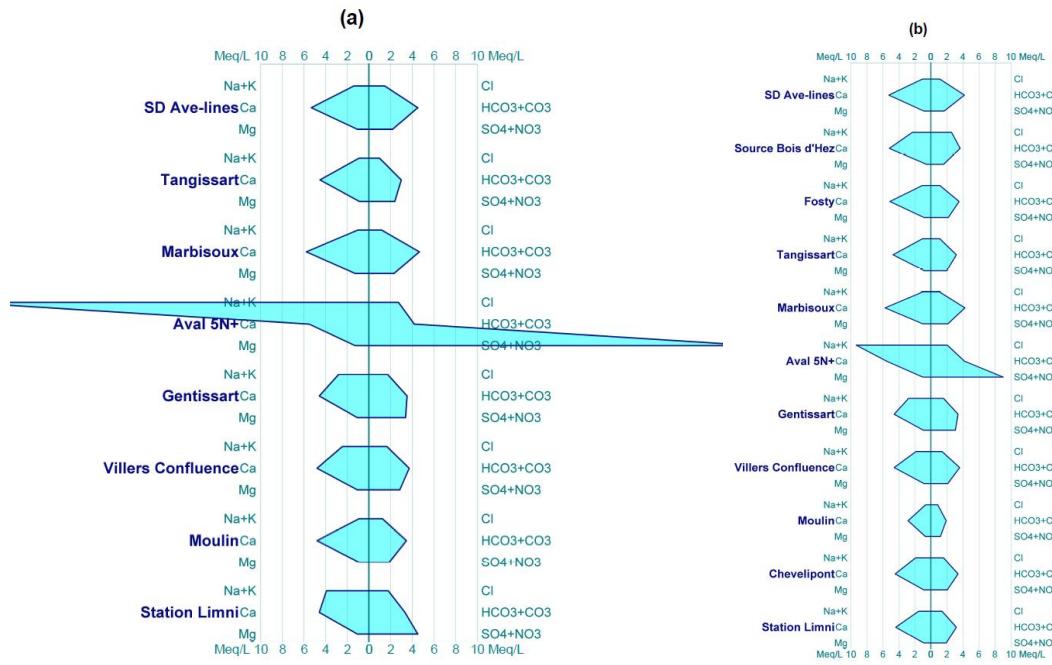


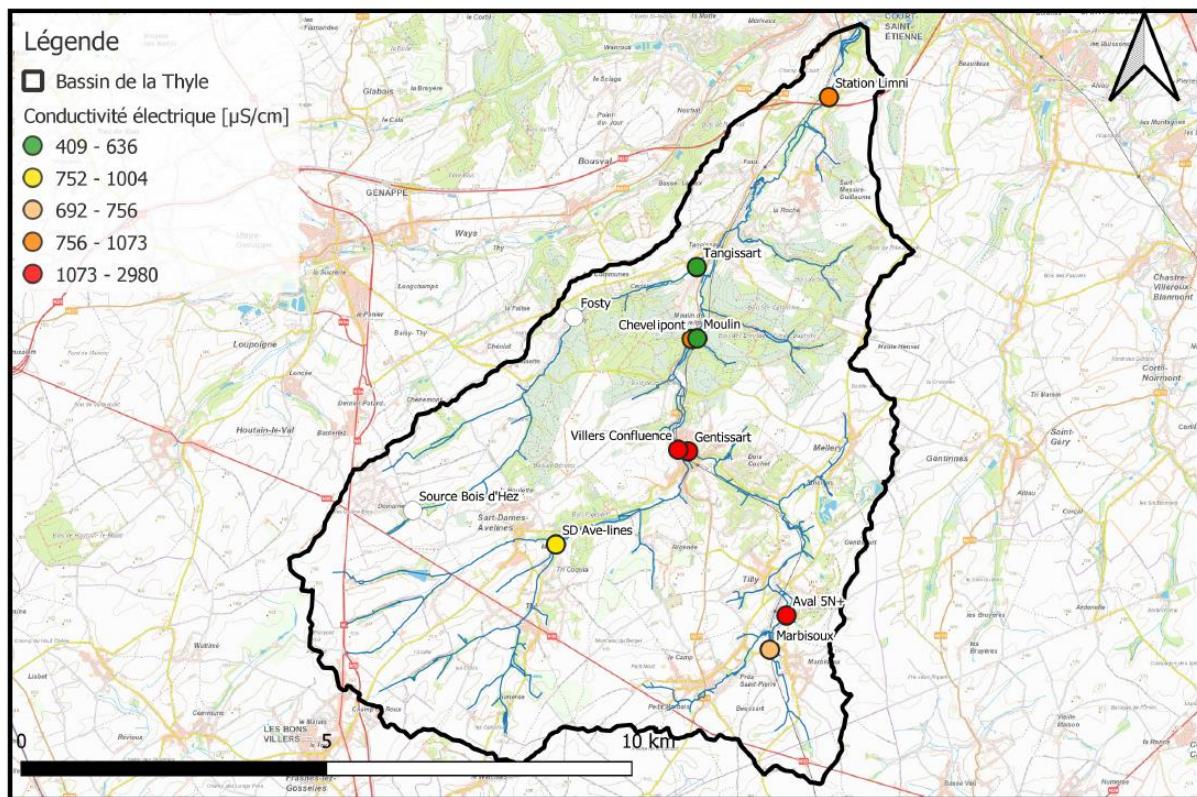
Figure 41 : Diagrammes de Stiff pour les campagnes mensuelles de la Thyle ; (a) juillet 2020 ; (b) février 2021

3.2.3. Cartographie spatiale des concentrations en nitrate et des conductivités électriques pour les deux campagnes mensuelles choisies parmi celles spécifiques au bassin de la Thyle

La conductivité électrique ainsi que les concentrations en nitrate ont été mesurées à plusieurs endroits dans les eaux de surface. Les Figure 42 et Figure 43 présentent les cartographies des conductivités électriques et des concentrations en nitrate pour les différentes campagnes mensuelles basses-eaux (juillet 2020) et hautes-eaux (février 2021).

Les conductivités électriques sont relativement élevées particulièrement en aval du site 5N+. Après la confluence du *ry de Gentissart* avec la Thyle, la conductivité électrique est toujours importante mais diminue dans le sens de l'écoulement ; vraisemblablement par phénomène de dilution par les eaux de ruissellement moins minéralisées, par apport de certains affluents non impactés par l'entreprise ou par apport d'eau souterraine issue du socle schisto-gréseux du massif du Brabant. La conductivité électrique mesurée dans les affluents de la Thyle est inférieure à celle mesurée en aval de l'entreprise ; vraisemblablement car l'eau de surface des affluents n'est pas affectée par les rejets de l'entreprise 5N+. Les conductivités électriques mesurées lors de la campagne de juillet 2020 sont supérieures à celles de la campagne février 2021. Cela s'explique notamment par des phénomènes de dilution liés à la période des

(a)



(b)

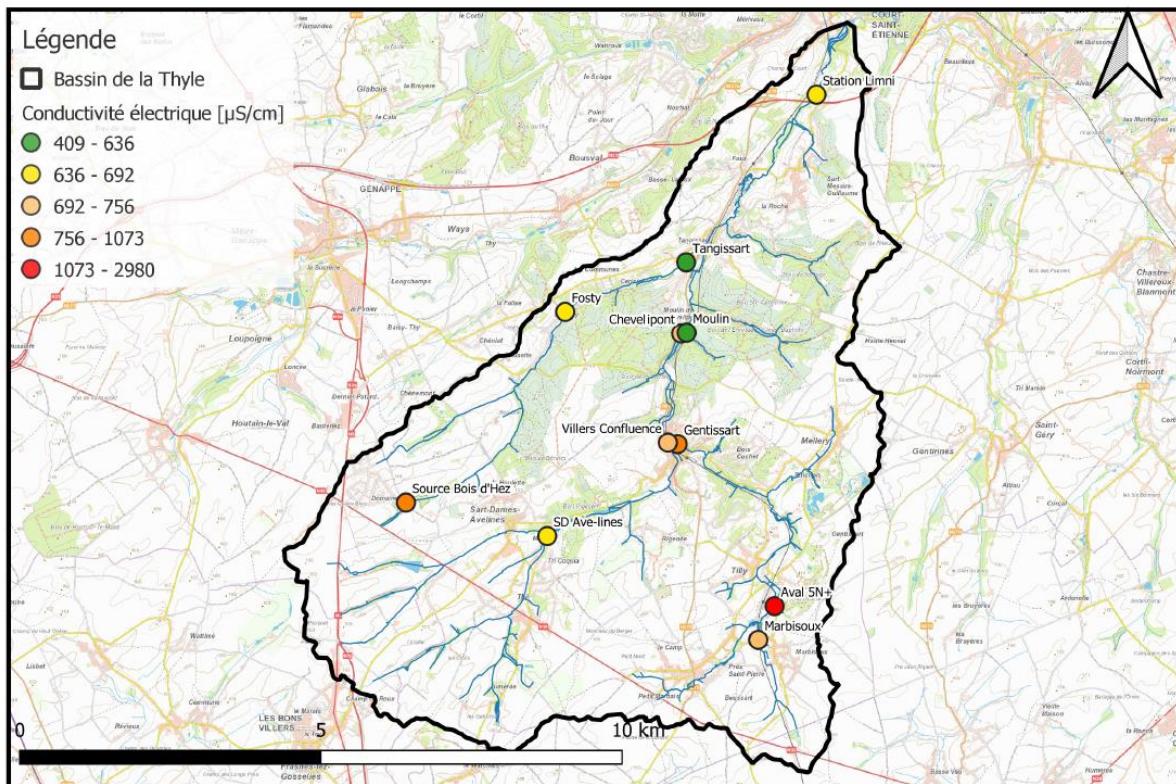
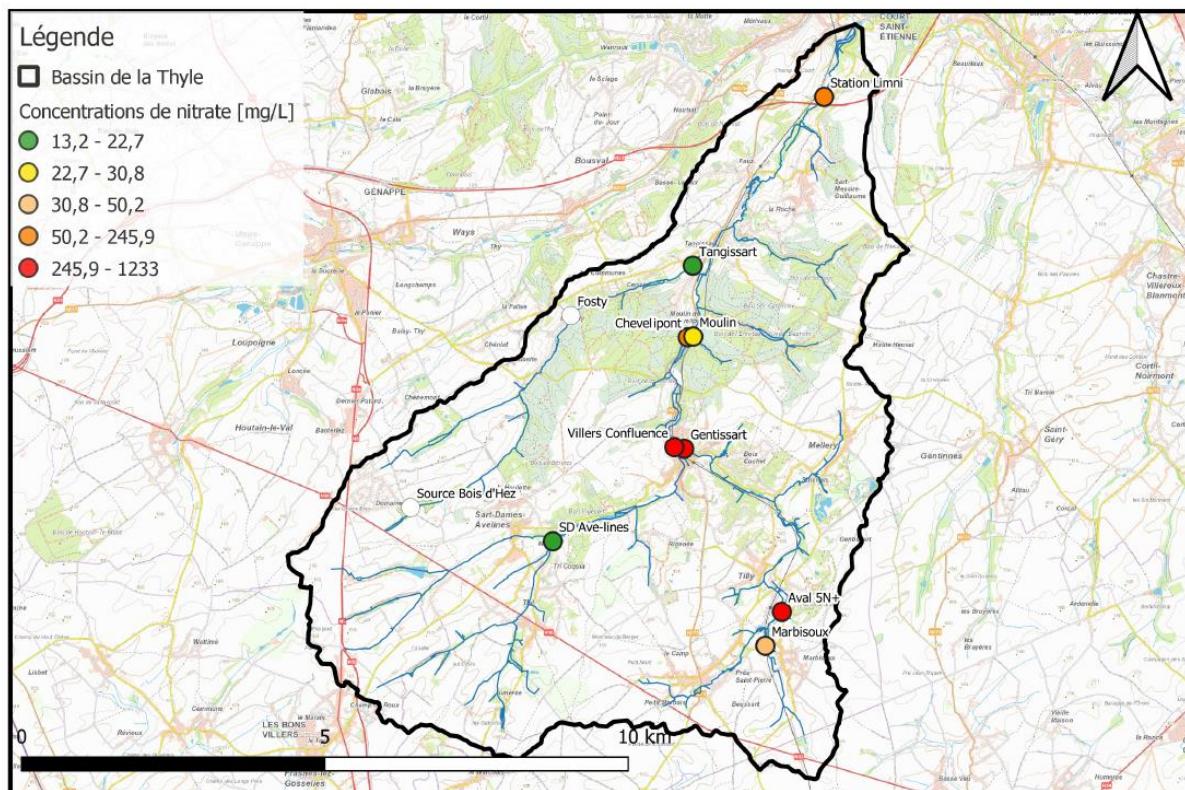


Figure 42 : Représentations cartographiques des conductivités électriques mesurées *in situ* lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Thyle (a) en juillet 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées selon les percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.

(a)



(b)

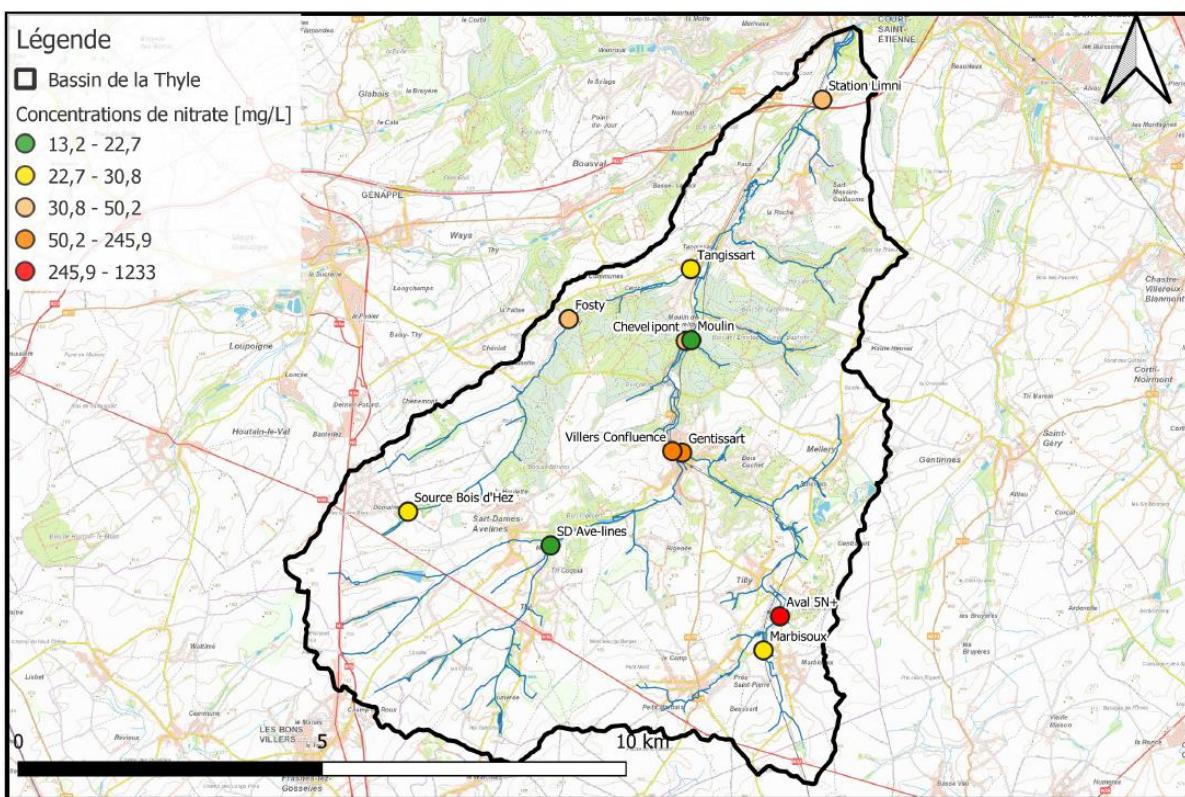


Figure 43 : Représentations cartographiques des concentrations en nitrate mesurées lors des campagnes mensuelles réalisées dans le bassin de la Thyle (a) en juillet 2020 ; (b) en février 2021. Classes réalisées selon les percentiles calculés en groupant les données des deux campagnes.

hautes eaux. Au niveau de la station limnimétrique, soit 10,5 km à l'aval du rejet de 5N+, la conductivité électrique mesurée est de l'ordre de 650 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Cette valeur est semblable aux conductivités électriques mesurées dans les affluents de la Thyle, dans des zones vraisemblablement non impactées par les activités de 5N+.

Concernant les concentrations de nitrate, le rejet de l'entreprise 5N+ impacte très significativement les eaux de surface situées à son aval. En amont de l'entreprise les concentrations mesurées sont de l'ordre de 30 mg/L tandis que directement à l'aval du site les concentrations sont beaucoup plus importantes et égales à 1 200 mg/L et 470 mg/L respectivement en basses et hautes eaux. Les concentrations mesurées dans les affluents non impactés par les rejets de l'entreprise sont de l'ordre de 30 mg/L.

4. Campagne régionale d'échantillonnage dans le bassin de la Thyle

Les résultats de la campagne régionale de juin 2021 pour la Thyle concernent tant des ouvrages souterrains (ESO) que des points d'échantillonnage en rivière (ESU). Ces résultats seront présentés sous la forme d'une analyse statistique générale, d'une représentation cartographique des principaux paramètres ainsi que sous la forme d'analyse graphique (diagrammes de Piper et de Stiff).

4.1. Statistiques générales de campagne régionale pour le bassin de la Braunlauf

Le Tableau 6 présente des statistiques générales pour les ions majeurs, la conductivité électrique et le pH mesurés dans le cadre de la campagne régionale (nombre de données, minimum et maximum, percentiles P_{10} , P_{25} , P_{75} et P_{90} , médiane et moyenne).

La Figure 44 représente sous forme de boîtes à moustache les concentrations en ions majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) pour la campagne régionale.

Les eaux de surface présentent des conductivités électriques plus élevées que les eaux souterraines. Globalement, les eaux souterraines sont plus acides que les eaux de surface. Les eaux de surface présentent également des concentrations moyennes et médianes plus élevées en sodium, chlorure et nitrate que les eaux souterraines. Ceci reflète le fait que les eaux de surface sont plus sensibles aux rejets et activités humaines que les eaux souterraines.

		CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH -	Ca^{2+}	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
		[mg/L]									
ESO	Nb	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
	min	454,00	5,63	23,88	5,86	0,49	2,07	13,91	0,03	3,74	103,75
	P10	494,80	5,97	62,58	11,61	0,82	5,03	14,88	0,03	39,76	114,43
	P25	543,00	6,16	82,47	15,08	1,16	7,96	27,12	1,00	62,93	151,15
	P50	606,00	6,62	102,17	17,94	1,80	10,84	38,78	23,96	80,93	216,59
	Moy	623,33	6,53	96,84	20,64	1,94	9,45	39,03	26,39	77,88	198,25
	P75	673,00	6,92	104,08	19,58	2,00	12,36	46,29	44,65	110,62	252,32
	P90	794,00	7,18	135,36	28,15	2,78	12,66	59,07	52,05	115,74	269,66
	MAX	838,00	7,18	157,06	58,91	5,52	13,42	84,92	78,65	128,27	273,64
ESU	Nb	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	min	370,00	7,17	47,54	11,38	0,89	5,61	19,72	2,84	34,48	74,37
	P10	373,60	7,20	50,85	18,04	1,46	5,89	20,28	10,20	34,59	115,85
	P25	439,50	7,34	63,12	19,36	3,43	7,16	31,52	14,38	44,12	143,81
	P50	708,00	7,53	94,24	21,19	6,13	10,48	41,96	20,26	59,18	230,94
	Moy	643,10	7,55	88,60	29,89	5,02	9,96	43,87	31,62	55,02	222,76
	P75	748,50	7,78	103,55	38,47	6,55	11,92	55,13	29,25	64,65	272,19
	P90	888,50	7,82	118,60	48,99	6,91	13,42	60,99	58,61	67,61	306,49
	MAX	938,00	8,04	132,18	72,83	8,71	14,27	80,88	127,69	73,96	415,03

Tableau 6 : Résultats de l'analyse statistique générale pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

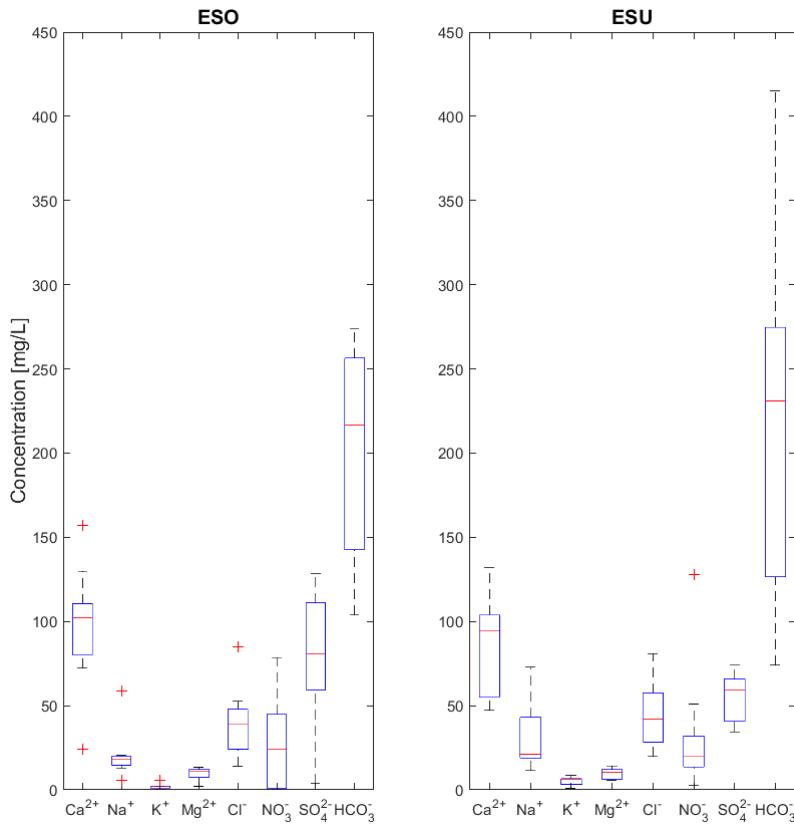


Figure 44 : Boxplot des concentrations en ions majeurs des ESO et ESU de la campagne régionale pour le bassin de la Thyle

Les « outliers » identifiés sont les suivants : les ouvrages *HT4 BXL* (Ca^{2+}), *Rigenée* (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ et Cl^-) et *HT4GV* (Na^+); le point d'échantillonnage *Gentissart* (NO_3^-). Ces points feront l'objet d'analyses plus approfondies lors du prochain délivrable.

4.2. Cartographie spatiale de la conductivité électrique, du pH et des ions majeurs pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Thyle

La Figure 45 présente la répartition spatiale des points d'échantillonnage tant dans les eaux de surface que les eaux souterraines.

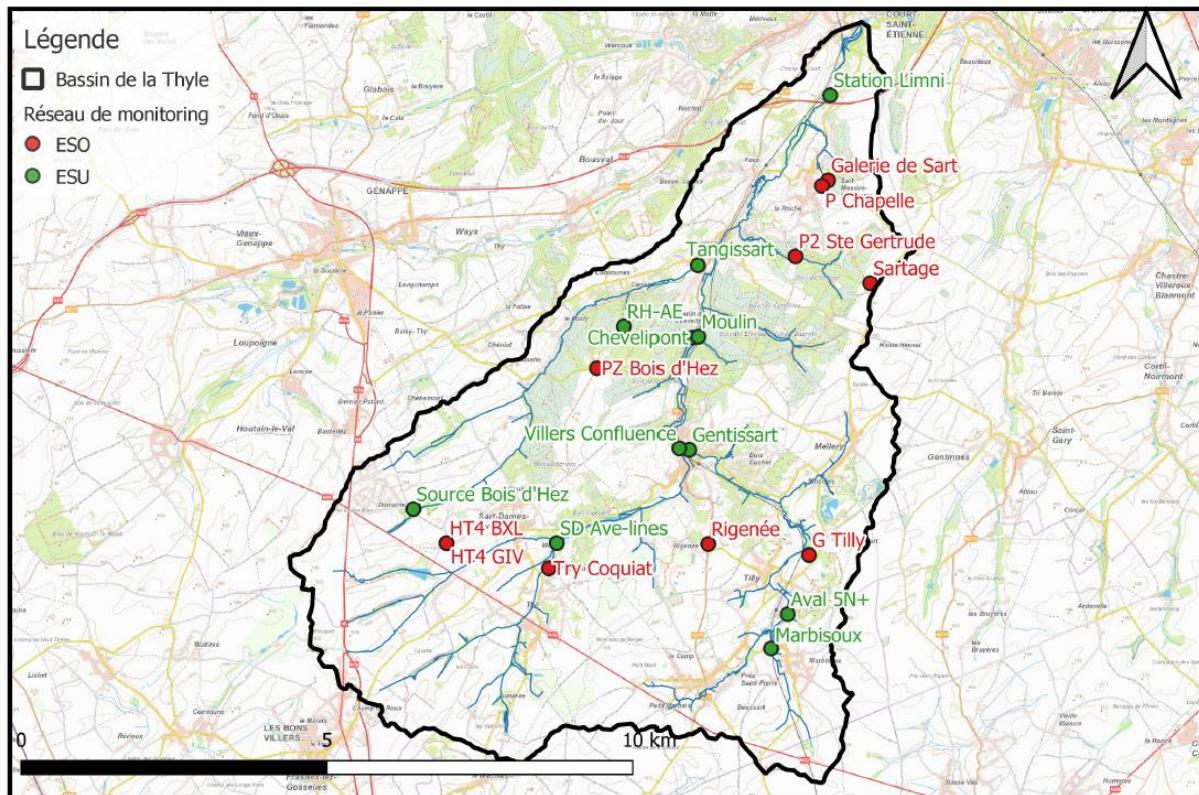


Figure 45 : Disposition spatiale des ouvrages de la campagne régionale de la Thyle

Les Figure 46, Figure 47, Figure 48, Figure 49, Figure 50, Figure 51 et Figure 52 présentent la cartographie de la conductivité électrique, du pH ainsi que des concentrations en nitrate, sulfate, chlorure, sodium et calcium. Les classes sont réalisées selon les percentiles P_{20} , P_{40} , P_{60} , P_{80} et P_{100} calculées en considérant l'ensemble des échantillonnages de la campagne régionale (ESO-ESU). Les eaux souterraines et les eaux de surface se distinguent par le symbole.

Les conductivités électriques sont globalement plus élevées au Sud du bassin qu'au Nord. Les conductivités électriques relatives aux eaux de surface diminuent dans le sens de l'écoulement (Figure 46). Cette diminution est probablement liée aux phénomènes de dilution exercés par les eaux de ruissellement et des affluents non impactés par l'entreprise sur les eaux de surface impactées par les rejets de l'entreprise ou par l'apport d'eau issue du socle schisto-gréseux du massif du Brabant.

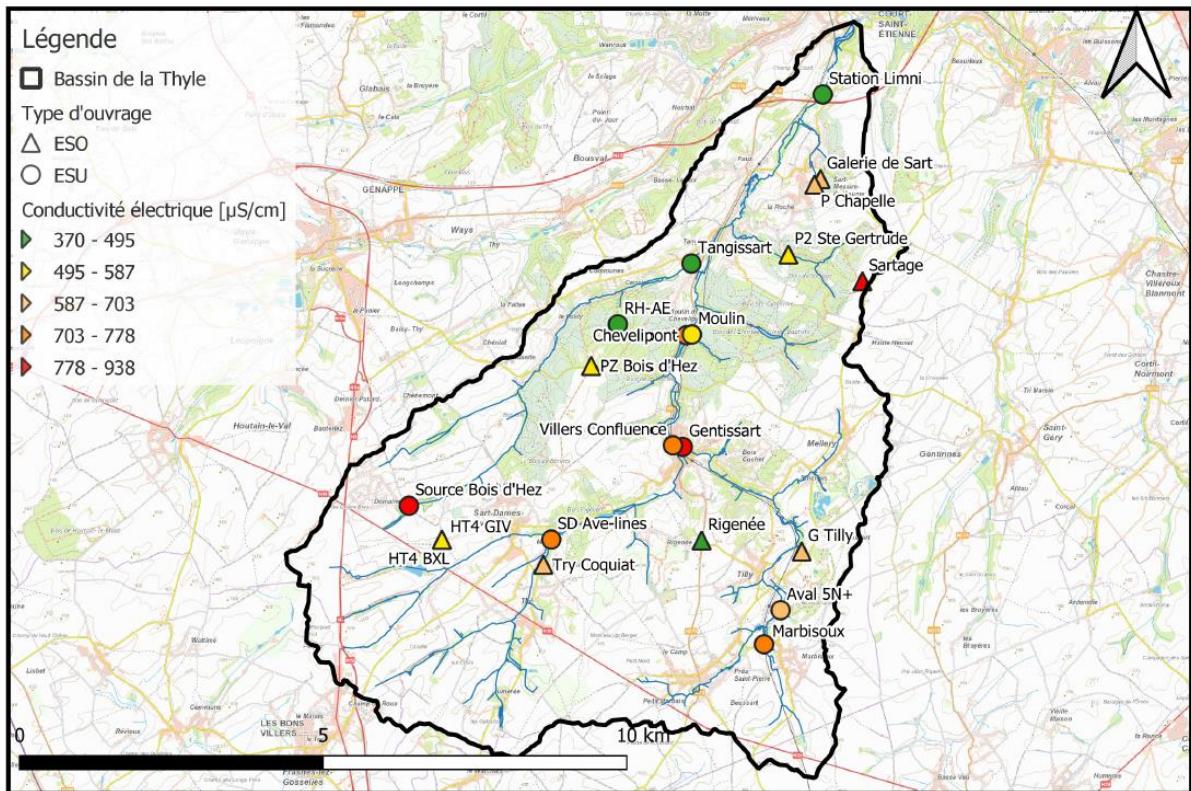


Figure 46 : Représentation cartographique de la conductivité électrique mesurée in situ pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

Les pH des eaux de surface et des eaux souterraines sont globalement neutres ce qui est cohérent au vu du contexte géologique (Figure 47).

Les seuls pH à tendance acide sont observés dans les ouvrages souterrains (*P Chapelle*, *P2 Ste Gertrude*, *Pz Bois D'Hez*, *Rigenée* et *Try Coquiat*).

La seule station à pH plutôt basique se situe à l'Ouest du bassin (*Source Bois D'Hez*).

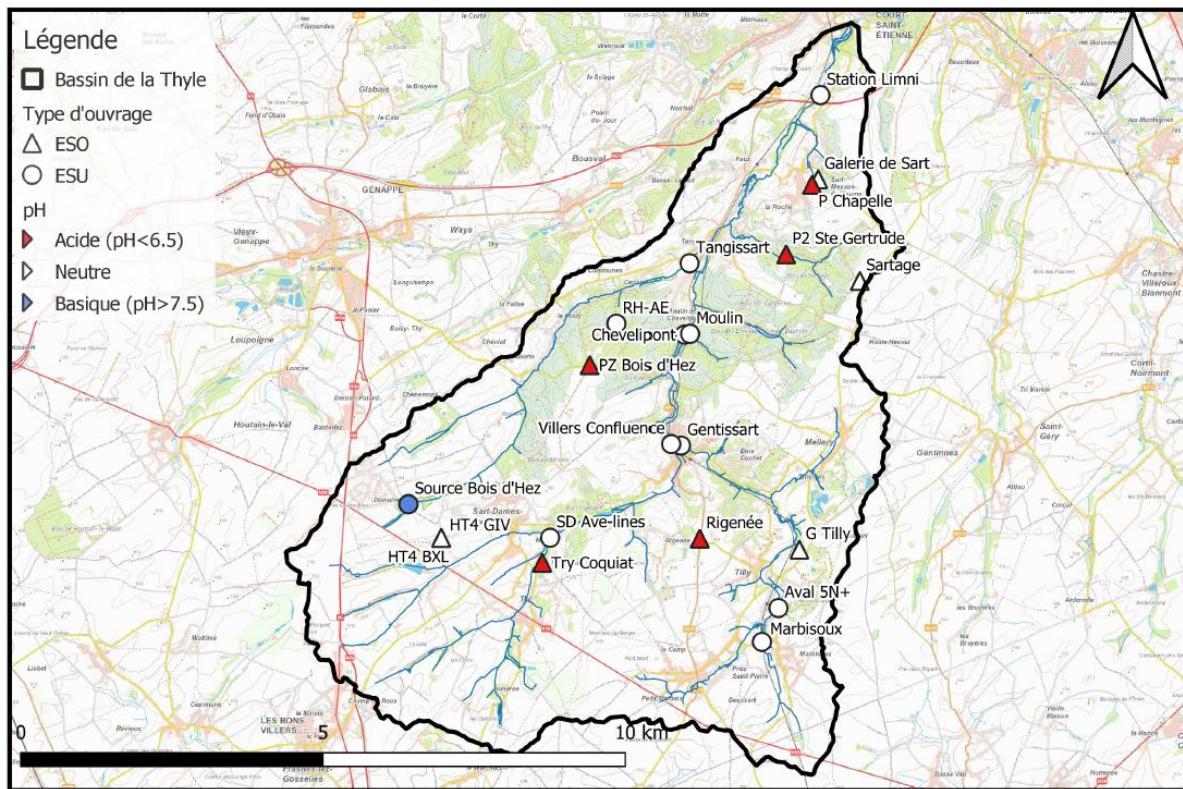


Figure 47 : Représentation cartographique du pH mesuré *in situ* pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

Tant les eaux de surface que souterraines apparaissent comme étant contaminées par le nitrate (Figure 48).

Des concentrations particulièrement élevées sont observées aux alentours de Villers-la-Ville. Sans données relatives aux isotopes, il est difficile de définir l'origine de la contamination en nitrate dans cette zone. Toutefois, il est attendu que ce soit principalement l'entreprise 5N+ qui soit responsable, par ses rejets, de telles concentrations en nitrates.

Il apparaît que les concentrations en nitrate pour les eaux de surface impactées par les rejets de l'entreprise diminuent dans le sens de l'écoulement. Cela est certainement dû à l'apport d'eau de ruissellement et des affluents non impactés par l'entreprise.

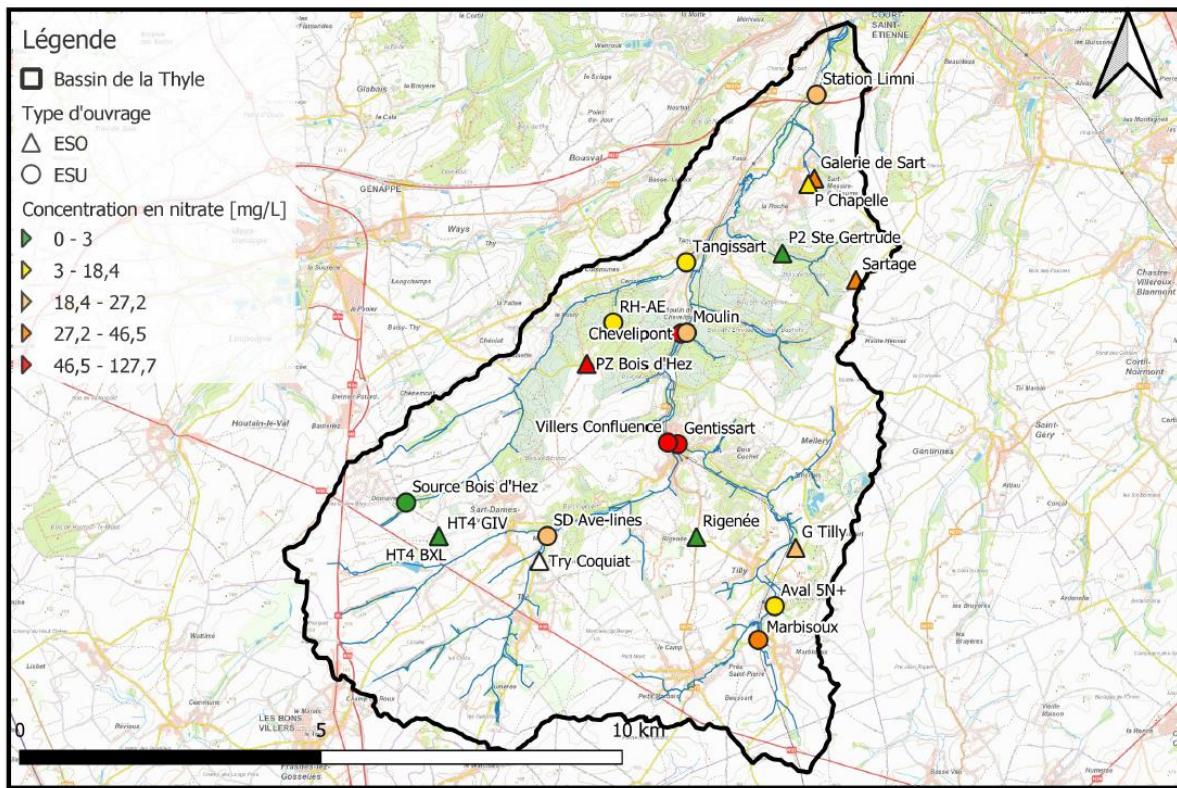


Figure 48 : Représentation cartographique de la concentration en nitrate pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

Des concentrations en sulfate particulièrement élevées sont observées au Nord-Est du bassin dans les ouvrages souterrains *Galerie de Sart*, *P2 Ste Gertrude*, *P Chapelle* et *Sartage* (Figure 49). Au vu de la proximité spatiale de ces points, une contamination ponctuelle est possible.

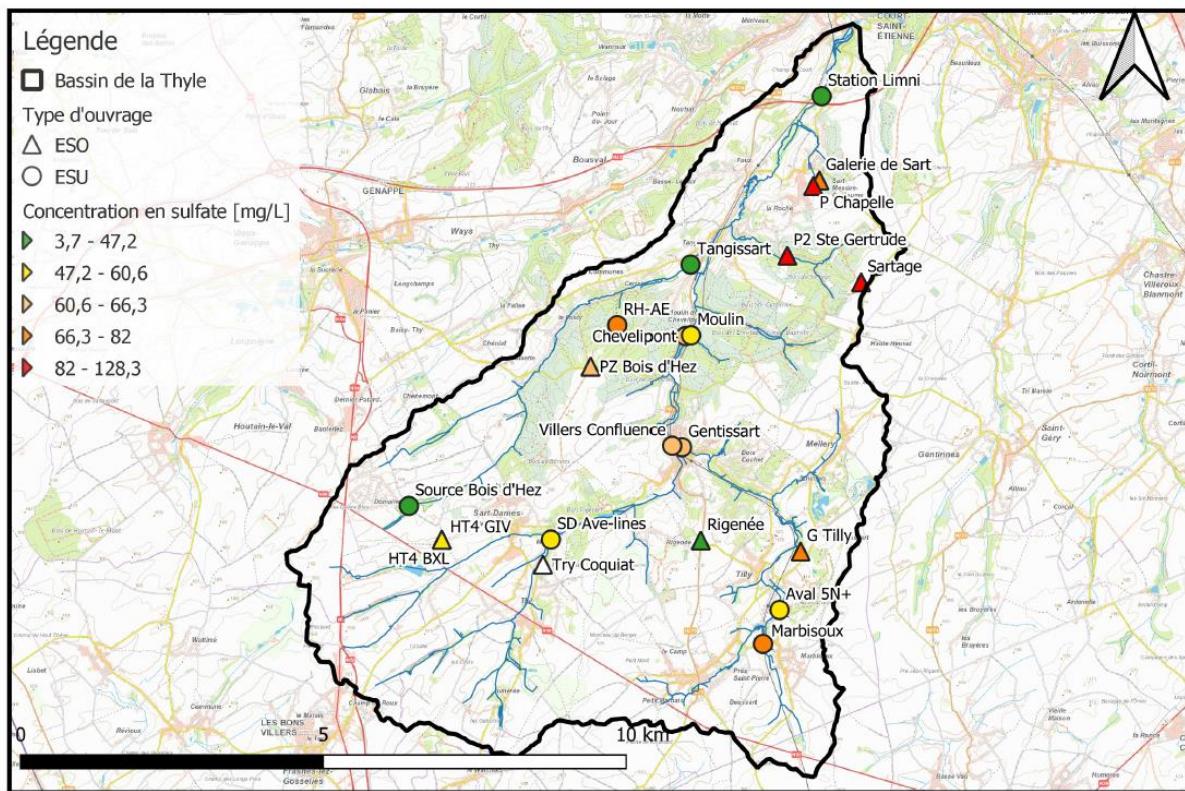


Figure 49 : Représentation cartographique de la concentration en sulfate pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

Des concentrations élevées en chlorure, sodium et calcium sont observées au Sud du bassin. Les concentrations des eaux de surface en amont du bassin sont plus élevées mais diminuent dans le sens d'écoulement (Figure 50, Figure 51 Figure 51Figure 52).

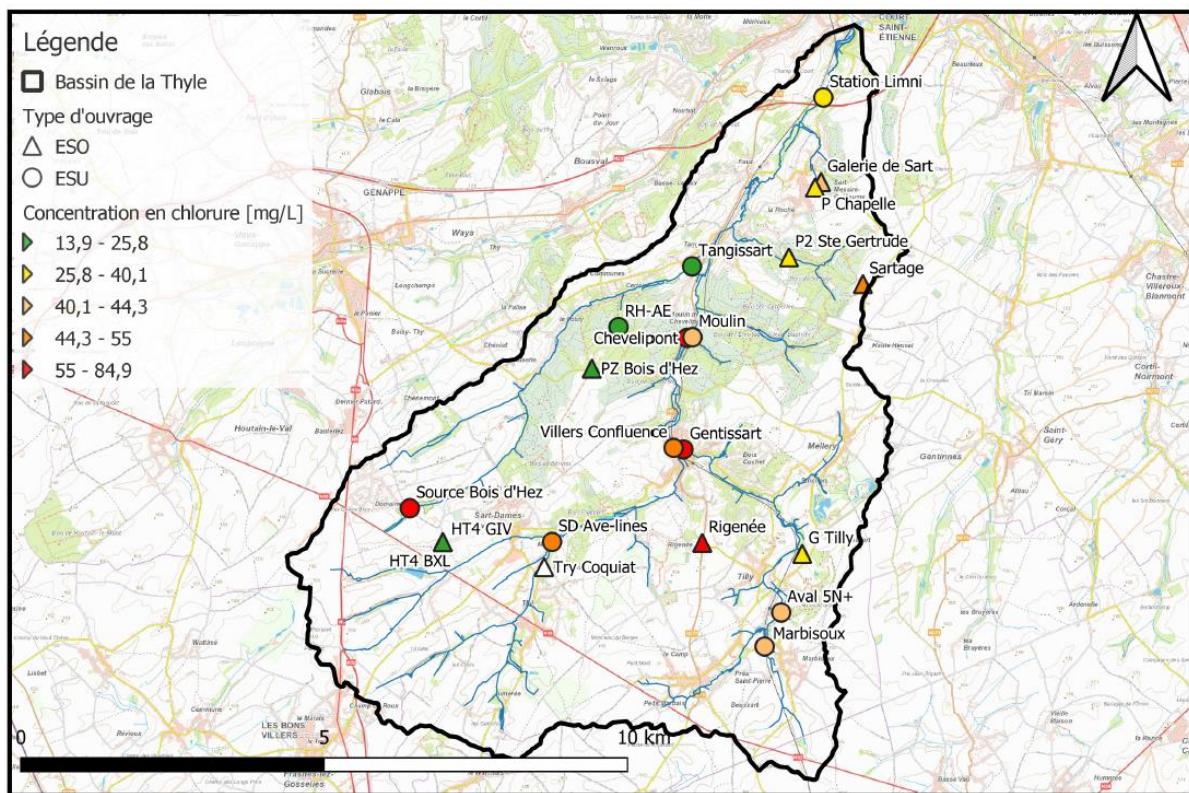


Figure 50 : Représentation cartographique de la concentration en chlorure pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

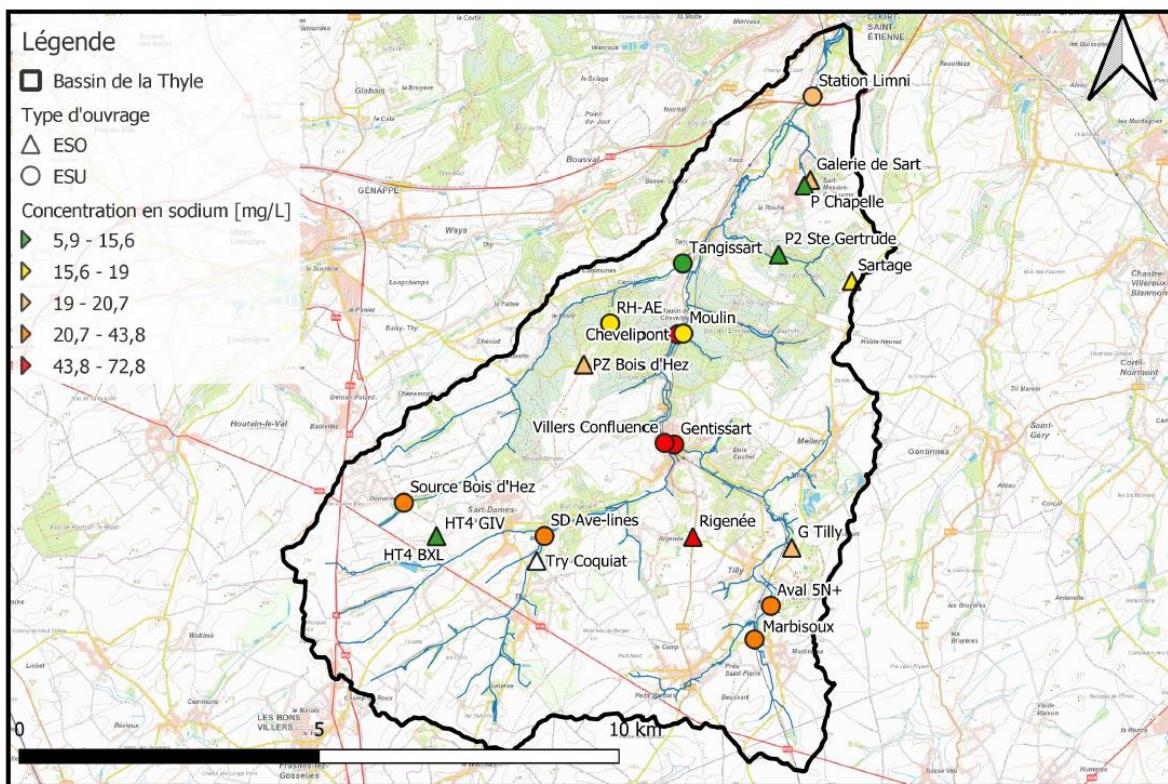


Figure 51 : Représentation cartographique de la concentration en sodium pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

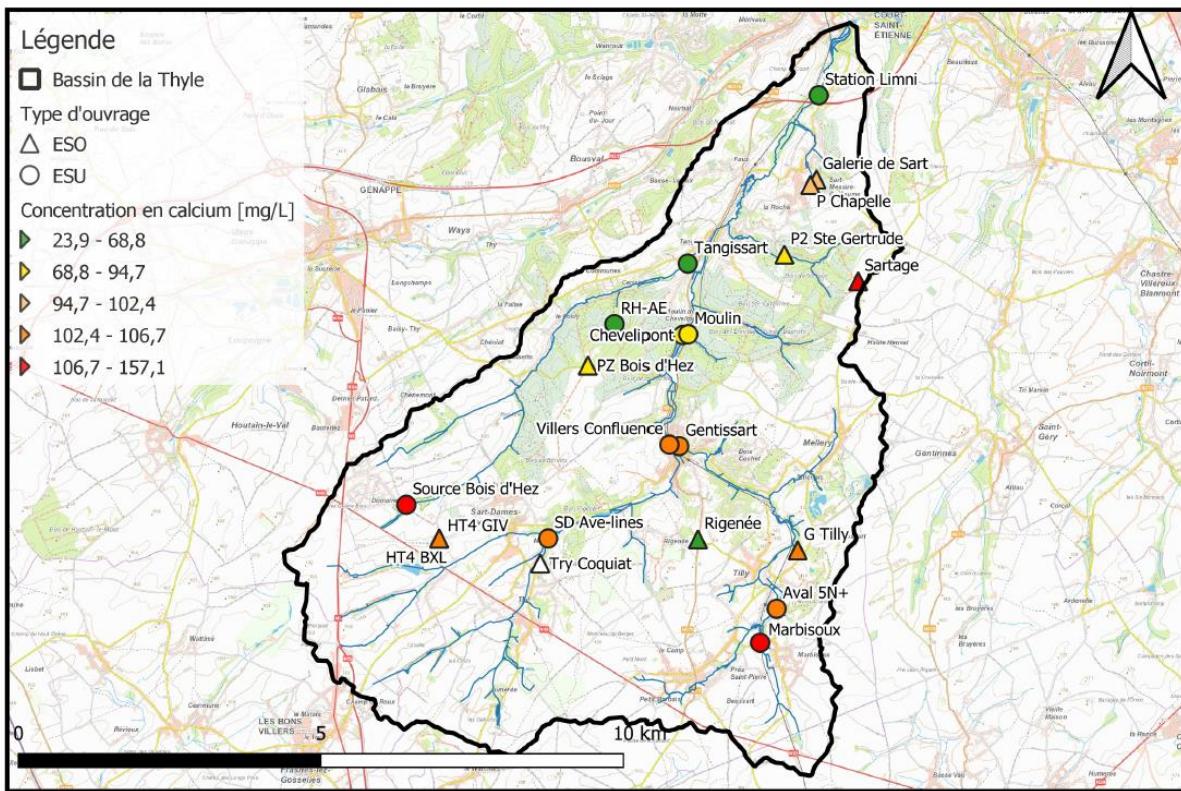


Figure 52 : Représentation cartographique de la concentration en calcium pour la campagne régionale du bassin de la Thyle

4.3. Représentation graphique (diagrammes de Piper et Stiff) pour la campagne régionale réalisée dans le bassin de la Thyle

La Figure 53 illustre le diagramme de Piper pour l'ensemble des données ESO-ESU de la campagne régionale réalisée en juin 2021 pour le bassin de la Thyle. La majorité des eaux de surface et souterraine présente des faciès hydrochimiques bicarbonatés et calciques ce qui correspond aux faciès hydrochimiques définis par le Service Public de Wallonie (2022) pour ce type de contexte géologique. Cependant, l'ouvrage des eaux souterraines *Rigenée* s'écarte de la tendance globale et est caractérisé par un faciès plus riche en sodium et potassium. Cet ouvrage souterrain se situe en bord de route, près d'une décharge. Cela pourrait expliquer le faciès chloruré sodique.

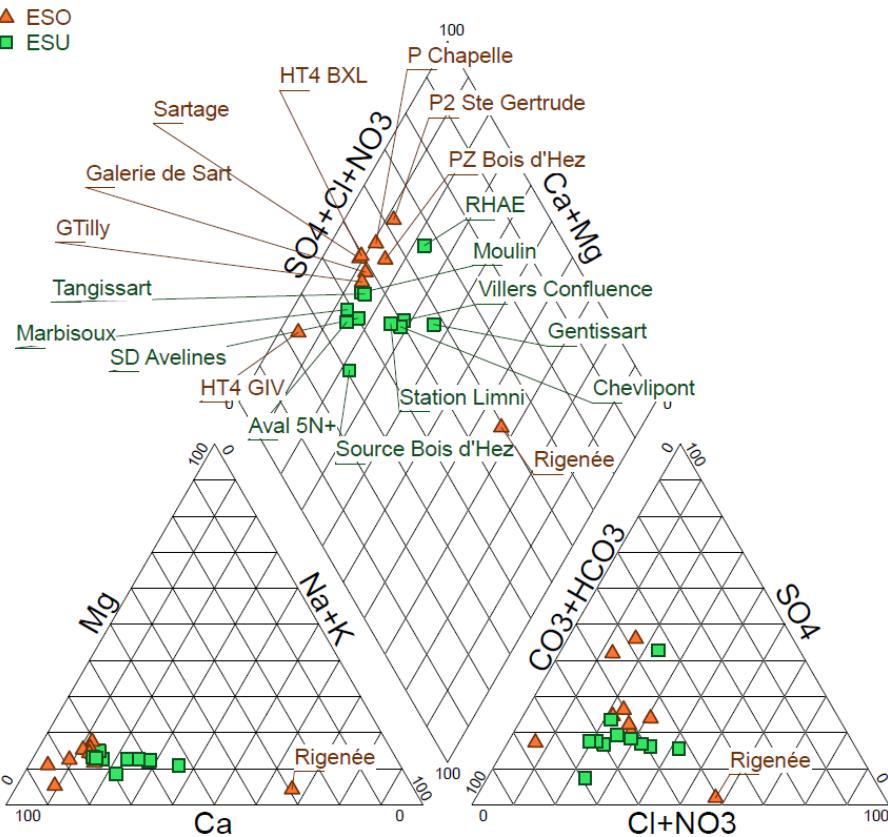


Figure 53 : Diagrammes de Piper de la campagne régionale réalisée en juin 2021 dans le bassin de la Thyle en considérant le nitrate

La Figure 54 illustre que tant les eaux de surface que les eaux souterraines sont fortement minéralisées. Les points d'échantillonnage *RH-AE*, *Limni* et *Tangissart* semblent moins minéralisés que les autres. Étant donné que ces trois points ne sont pas particulièrement proches l'un de l'autre, il est difficile d'expliquer la raison de cette différence de minéralisation.

Il aurait été attendu que le point d'échantillonnage d'eau de surface *Aval 5N+* ressorte plus que les autres points en raison des rejets observés de l'entreprise. Ce n'est pas le cas sur la Figure 54 probablement en raison de la pluviométrie du mois de juin 2021.

Les pôles $Na^+ + K^+$, Cl^- et $SO_4^{2-} + NO_3^-$ ressortent de manière inhabituelle dans les eaux souterraines.

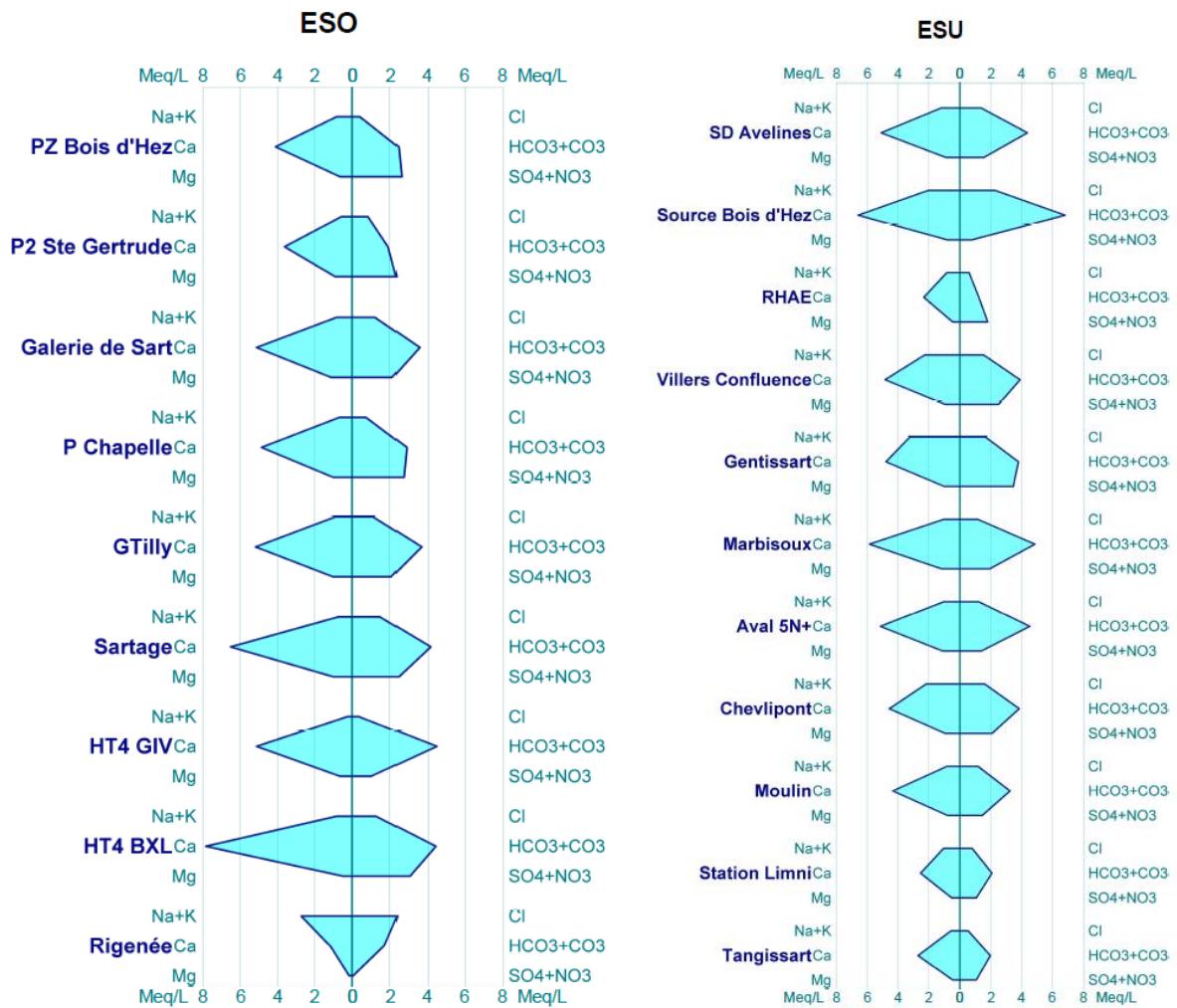


Figure 54 : Diagrammes de Stiff pour la campagne régionale réalisée en juin 2021 dans le bassin de la Thyle ; (a) eau souterraine ; (b) eau de surface

3. Massif de la Croix-Scaille

Le massif de la Croix-Scaille se situe dans le Sud de la province de Namur. Il s'étale sur la partie amont du bassin de la Houille (Masse d'eau de surface MM13R) et le bassin du Ruisseau Saint-Jean (Masse d'eau de surface SC40R). L'extension du massif n'est pas précisément définie mais sa superficie est de l'ordre de 35 km².

À l'exception d'une zone de terres arables et de quelques routes, l'occupation du sol dans le bassin est presque exclusivement forestière, surtout dans le bassin du Ruisseau Saint-Jean. Le bassin amont de la Houille compte quelques villages entourés de terres agricoles.

L'assainissement est principalement collectif même si de nombreuses stations d'épuration ne sont pas encore mises en place.

Le massif de la Croix-Scaille fait partie de la masse d'eau souterraine des grès et schistes du massif ardennais (BERWM103). Tant la géologie que l'hydrogéologie sont similaires à celles du bassin de la Braunlauf. Deux types de nappe sont observés : la nappe du manteau d'altération ; la nappe profonde contenue dans les fissures des niveaux gréseux et quartzitiques et dans les zones de fractures.

Le bassin comprend trois unités hydrogéologiques différentes : l'aquiclude à niveaux aquifère du Socle cambro-silurien (phyllades peu perméables, quartzites et conglomérats plus perméables), l'aquifère de Fépin (grès et conglomérats) et l'aquiclude à niveaux aquifère du Dévonien inférieur (schistes et phyllades avec niveaux gréseux ou quartzitiques). Pour plus d'informations quant à la description du bassin de la Croix-Scaille, le lecteur est invité à se référer au délivrable D01.

[1. Description du réseau de monitoring mis en place dans le massif de la Croix-Scaille](#)

Les investigations liées au site de la Croix-Scaille sont plus limitées que pour les autres bassins. L'objectif principal est de caractériser la signature isotopique du nitrate naturel, à savoir celui qu'on retrouverait dans un bassin sans pression anthropique. Quelques investigations complémentaires ont toutefois été menées en liaison avec le mémoire de master de Jalal Ouali durant l'année académique 2020-2021 (Ouali, 2021.).

Le réseau de monitoring est présenté à la Figure 55 et comprend :

- 9 stations d'échantillonnage des eaux de surface
- 7 sites d'échantillonnage des eaux souterraines

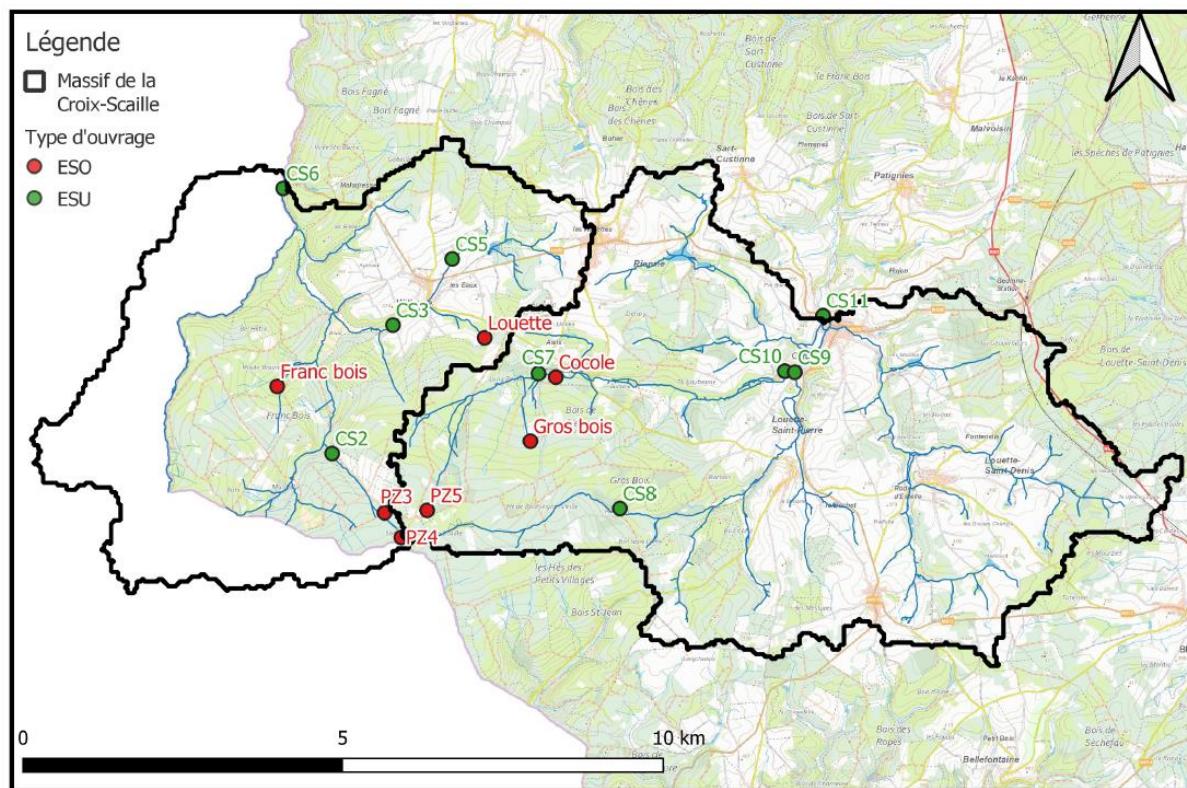


Figure 55 : Réseau de monitoring final pour le massif de la Croix-Scaille

2. Campagne régionale d'échantillonnage dans le massif de la Croix-Scaille

Les résultats de la campagne régionale de juillet 2021 pour le massif de la Croix-Scaille concernent tant des ouvrages souterrains (*ESO*) que des points d'échantillonnage en rivière (*ESU*). Ces résultats seront présentés sous la forme d'une analyse statistique générale, d'une représentation cartographique des principaux paramètres ainsi que sous la forme d'analyse graphique (diagrammes de Piper et de Stiff).

2.1. Statistiques générales de campagne régionale pour le massif de la Croix-Scaille

Le Tableau 7 présente des statistiques générales pour les ions majeurs, la conductivité électrique et le pH mesurés dans le cadre de la campagne régionale (nombre de données, minimum et maximum, percentiles P_{10} , P_{25} , P_{75} et P_{90} , médiane et moyenne).

La Figure 56 représente sous forme de boîtes à moustache les concentrations en ions majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) pour la campagne régionale.

		CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	pH -	Ca^{2+}	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
		[mg/L]									
ESO	Nb	7	7	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	min	27,40	4,23	1,00	1,62	0,09	0,62	3,24	0,03	1,44	1,99
	P10	29,86	4,27	1,00	1,76	0,10	0,76	3,41	0,12	1,51	2,45
	P25	32,80	4,31	1,25	1,93	0,11	0,88	3,54	0,65	1,77	2,77
	P50	39,40	4,41	1,54	2,19	0,13	0,90	3,60	1,69	2,93	2,90
	Moy	46,51	4,74	1,90	2,66	0,16	1,09	4,86	1,90	5,88	3,85
	P75	49,25	4,86	1,63	3,53	0,18	1,13	6,46	2,86	4,66	4,53
	P90	67,46	5,41	3,03	3,78	0,26	1,54	7,04	3,68	12,53	6,09
	MAX	94,70	6,19	5,02	3,92	0,32	2,12	7,17	4,55	23,94	7,48
ESU	Nb	9	9	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
	min	25,60	4,61	1,00	1,55	0,07	0,60	2,44	0,03	3,46	1,55
	P10	29,36	4,85	1,72	1,69	0,14	0,81	2,61	0,10	3,84	1,97
	P25	38,70	6,43	1,91	2,23	0,19	0,99	3,47	0,68	4,17	3,06
	P50	45,00	6,65	5,04	2,77	0,20	1,11	4,13	0,95	4,77	9,78
	Moy	60,06	6,29	5,76	3,22	0,45	1,45	4,82	1,44	4,91	15,92
	P75	67,40	6,77	6,78	3,47	0,54	1,46	5,30	1,95	5,35	19,50
	P90	112,40	6,94	11,99	5,64	0,98	2,71	8,26	3,06	6,09	41,20
	MAX	130,00	6,97	13,74	6,15	1,44	2,96	8,96	3,98	6,98	45,09

Tableau 7 : Résultats de l'analyse statistique générale pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille

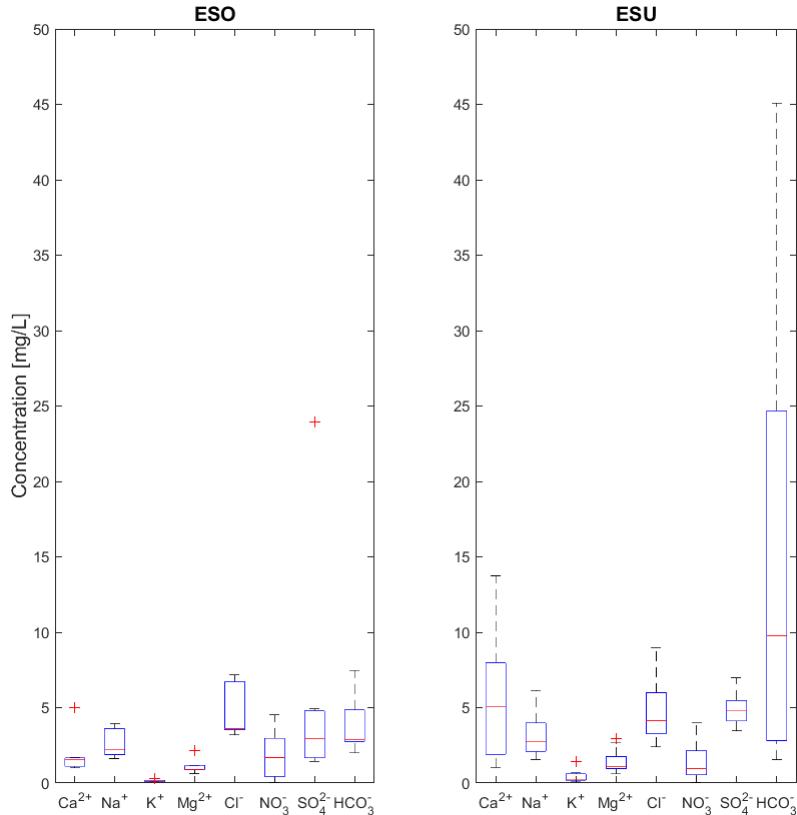


Figure 56 : Boxplot des concentrations en ions majeurs des ESO et ESU de la campagne régionale pour le massif de la Croix-Scaille

La conductivité électrique mesurée dans le massif de la Croix-Scaille est globalement très faible. Elle est cependant plus élevée pour les eaux de surface que pour les eaux souterraines. Les valeurs de pH sont neutres pour les eaux de surface mais faibles pour les eaux souterraines. Cette observation est cohérente au vu des données du Service Public de Wallonie (2022) pour ce type de contexte géologique. Ces faibles valeurs de pH mesurées pour les eaux souterraines pourraient être dues à la faible minéralisation de l'eau qui biaise le fonctionnement de la sonde multiparamétrique. Globalement la minéralisation des eaux est faible. Les eaux de surface présentent tout de même des concentrations légèrement plus élevées que les eaux souterraines.

Les « *outliers* » identifiés sont les suivants : l'ouvrage *Cocole* (Ca^{2+}), PZ3 (K^+) et PZ5 (Mg^{2+} et SO_4^{2-}) ainsi que les points d'échantillonnage CS3 (K^+) et CS5 (Mg^{2+}).

2.2. Cartographie spatiale de la conductivité électrique, du pH et des ions majeurs pour la campagne régionale réalisée dans le massif de la Croix-Scaille

Les Figure 57, Figure 58, Figure 59, Figure 60, Figure 61, Figure 62 et Figure 63 présentent la cartographie de la conductivité électrique, du pH ainsi que des concentrations en nitrate, sulfate, chlorure, sodium et calcium. Les classes sont réalisées selon les percentiles P_{20} , P_{40} , P_{60} , P_{80} et P_{100} calculées en considérant l'ensemble des échantillonnages de la campagne régionale (ESO-ESU). Les eaux souterraines et les eaux de surface se distinguent par le symbole.

Les conductivités électriques sont faibles même si deux points sur les eaux de surface montrent des valeurs légèrement plus élevées (CS5 et CS3). Les valeurs de pH sont faibles ce qui reflète du caractère acide des eaux du massif.

Comme attendu, vu le couvert forestier dominant, les concentrations en nitrate sont faibles dans le massif. Elles sont même étonnamment faibles par rapport aux valeurs qui sont généralement rapportées dans la littérature pour ce type d'occupation du sol. Ceci pourrait refléter l'occurrence de phénomènes de dénitrification.

À l'exception du l'ouvrage souterrain PZ5, les concentrations en sulfate mesurées dans le massif sont plutôt faibles.

Les concentrations en chlorure, sodium et calcium sont faibles dans le massif.

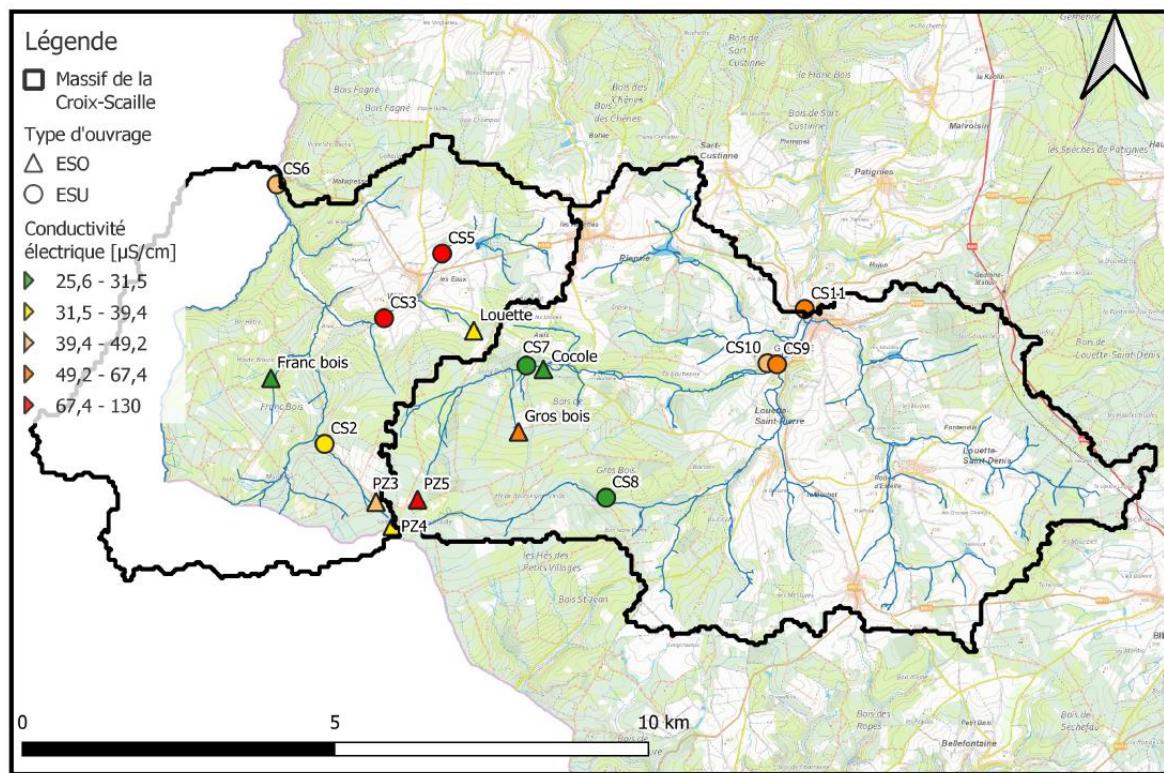


Figure 57 : Représentation cartographique de la conductivité électrique mesurée in situ pour la campagne régionale du massif de la Croix-Saille

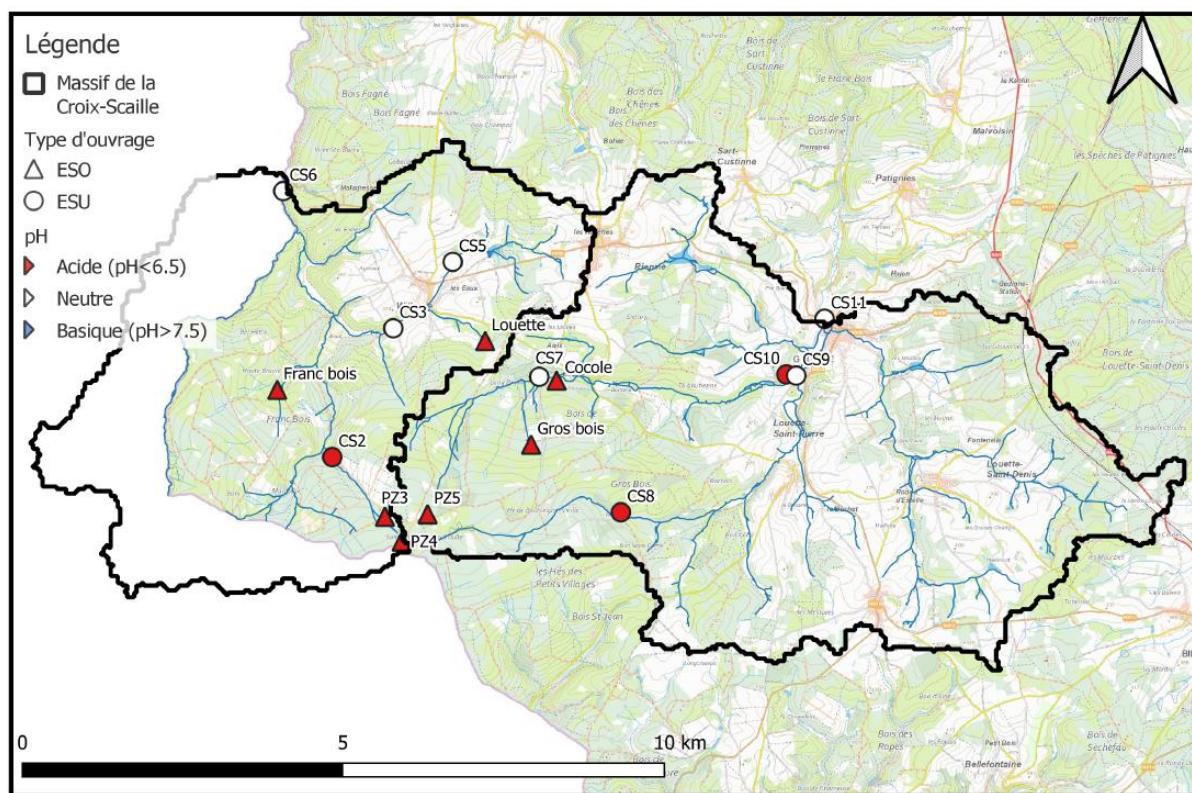


Figure 58 : Représentation cartographique du pH mesuré in situ pour la campagne régionale du massif de la Croix-Saille

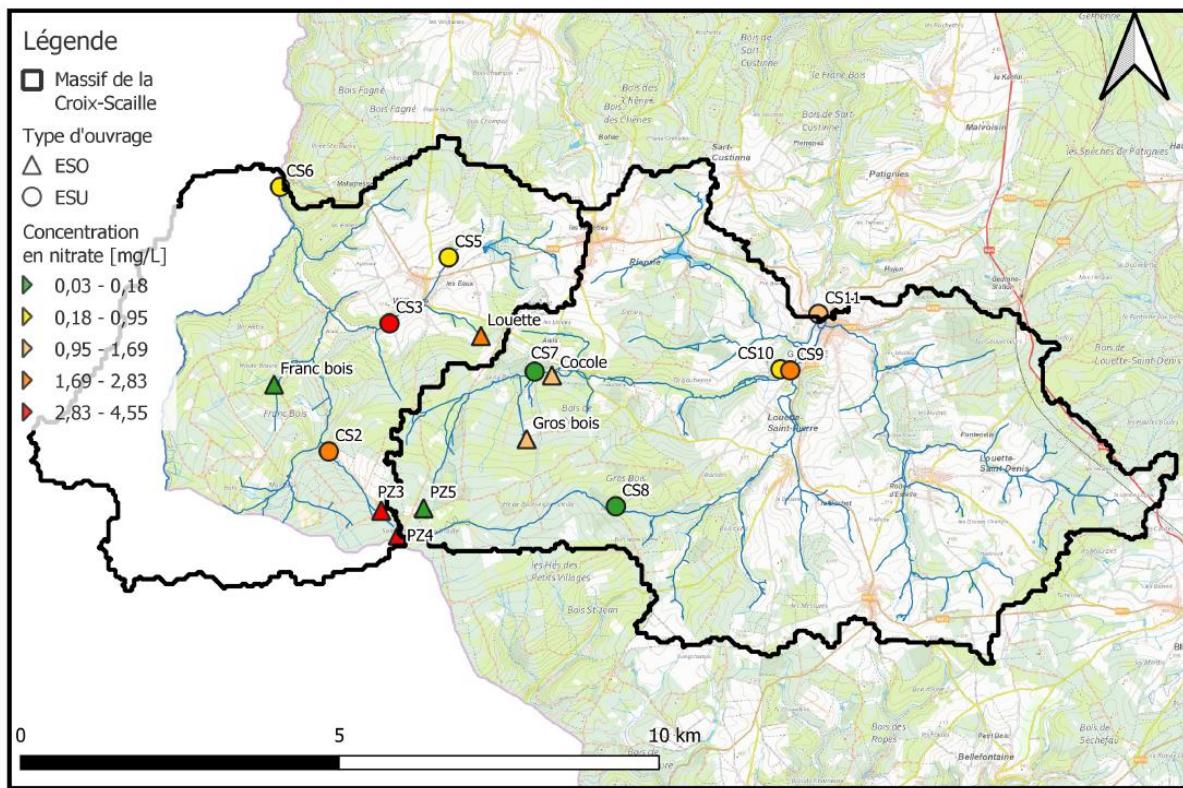


Figure 59 : Représentation cartographique de la concentration en nitrate pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille

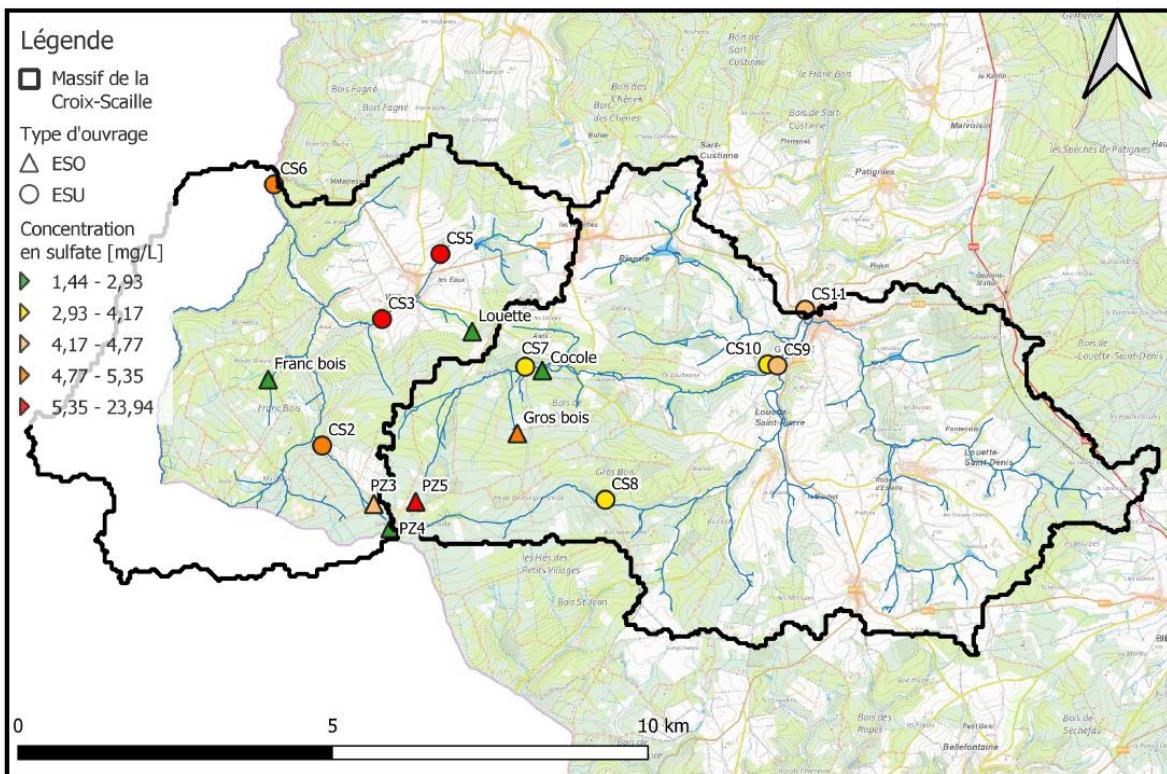


Figure 60 : Représentation cartographique de la concentration en sulfate pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille

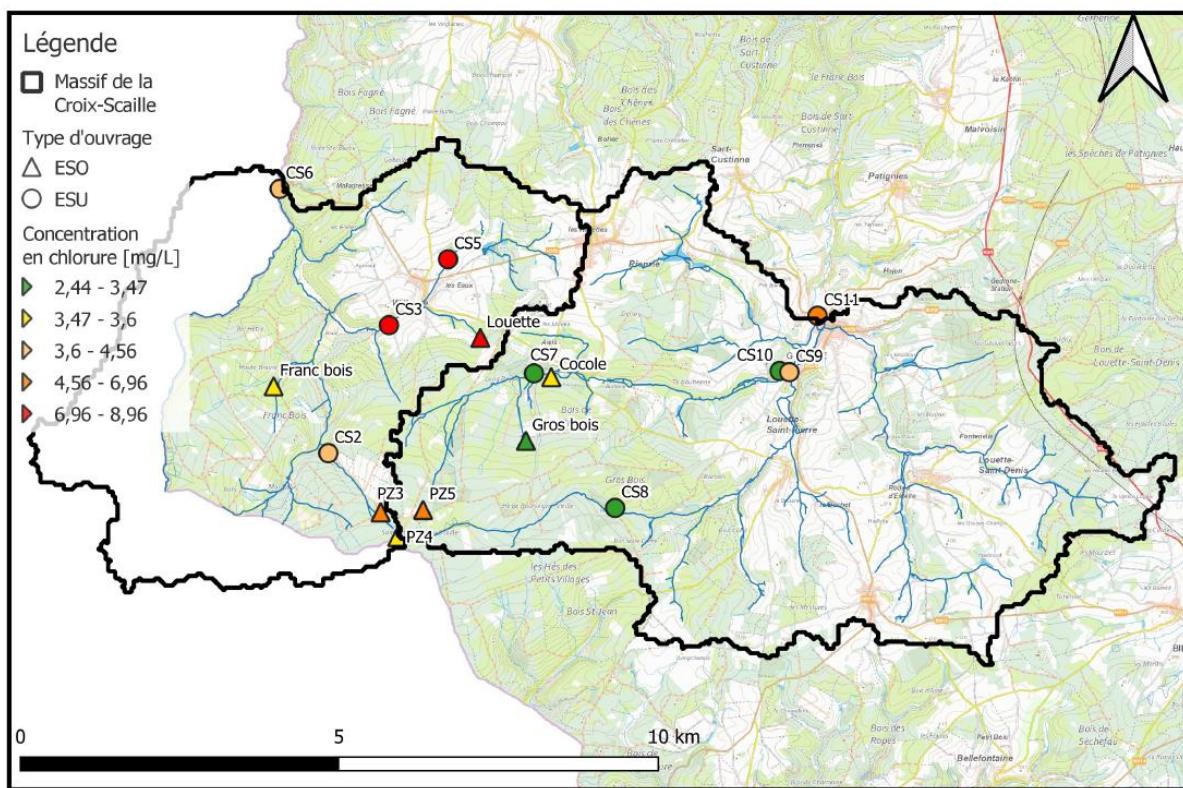


Figure 61 : Représentation cartographique de la concentration en chlorure pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille

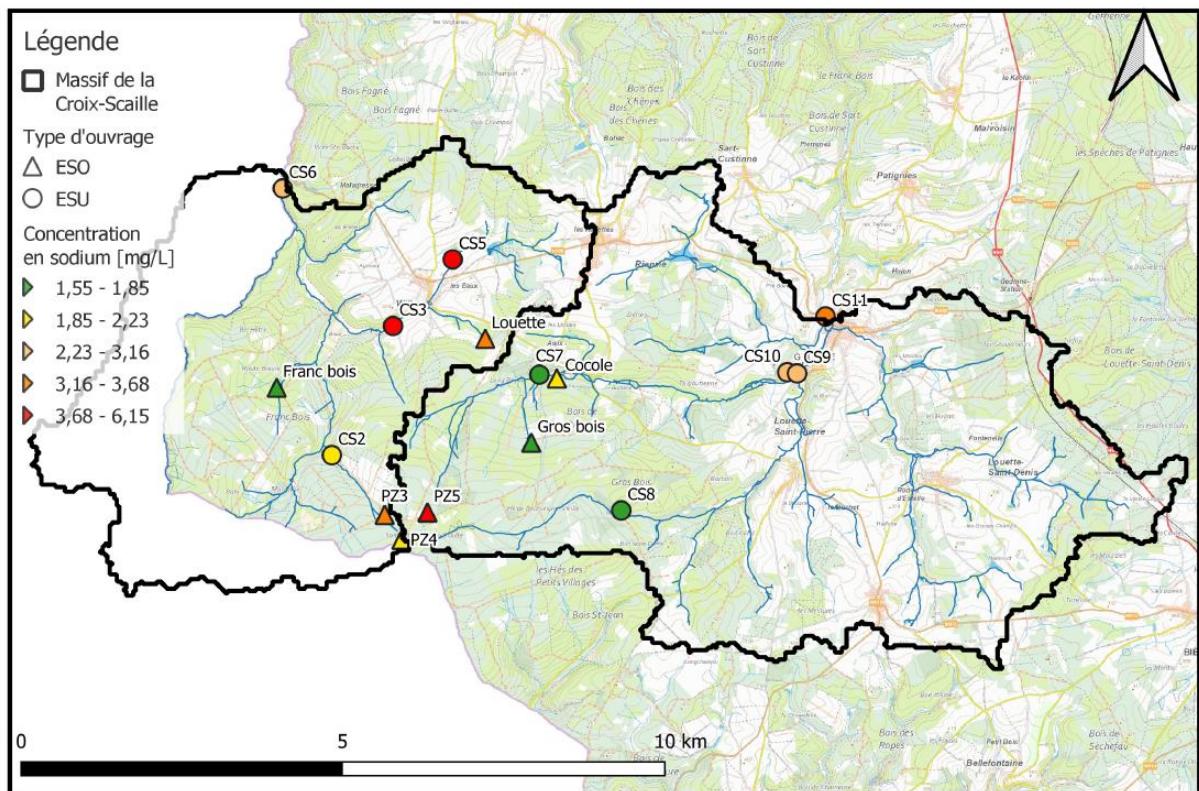


Figure 62 : Représentation cartographique de la concentration en sodium pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille

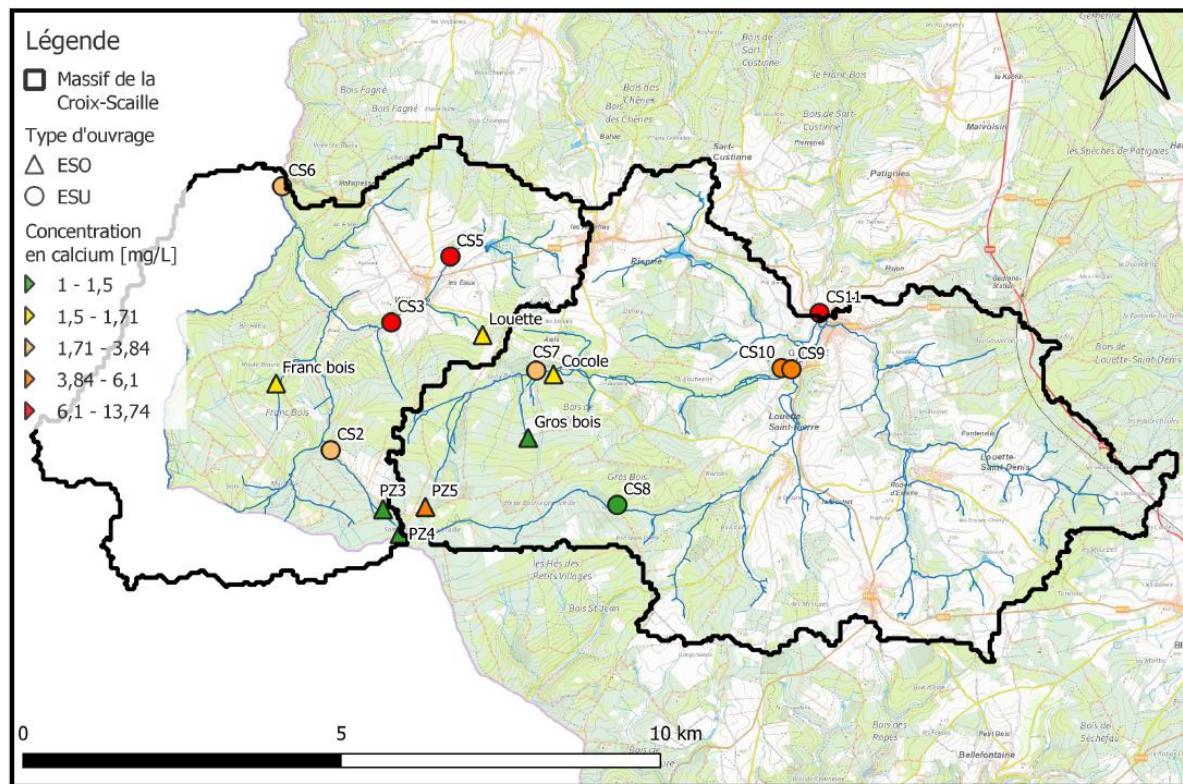


Figure 63 : Représentation cartographique de la concentration en calcium pour la campagne régionale du massif de la Croix-Scaille

2.3. Représentation graphique (diagrammes de Piper et Stiff) pour la campagne régionale réalisée du massif de la Croix-Scaille

La Figure 64 présente les données de la campagne Croix-Scaille dans le diagramme de Piper. Les faciès hydrochimiques des eaux sont plutôt à tendance chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux souterraines et bicarbonaté calcique et magnésien pour les eaux de surface.

Un ouvrage souterrain présente des proportions de concentrations plus élevées en sulfate : PZ5. Ce point se situe en zone forestière. Des analyses plus poussées pourraient permettre d'expliquer la raison de ces concentrations en sulfate.

La Figure 65 présente les résultats sous forme de diagrammes de Stiff. Ils indiquent que tant les eaux de surface que les eaux souterraines sont peu minéralisées. Certains échantillons d'eaux de surface présentent toutefois une minéralisation légèrement plus élevée que les eaux souterraines. L'échantillon d'eau souterraine PZ5 présente des concentrations en sulfate et nitrate plus élevées par rapport aux autres points d'échantillonnage.

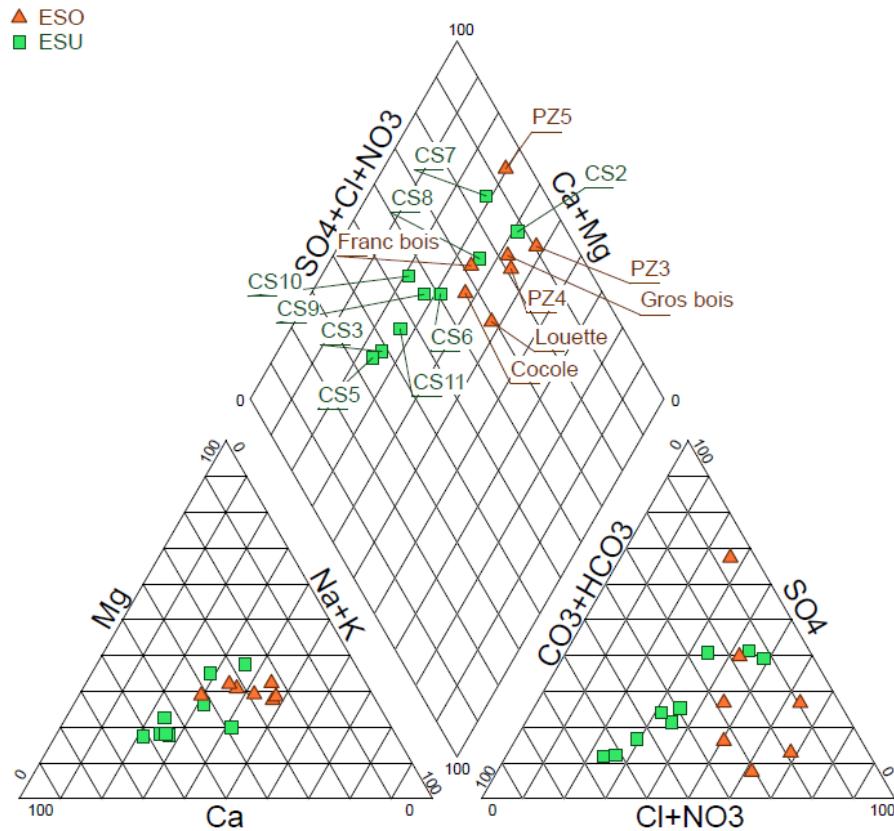


Figure 64 : Diagrammes de Piper de la campagne régionale réalisée en juillet 2021 dans le massif de la Croix-Scaille

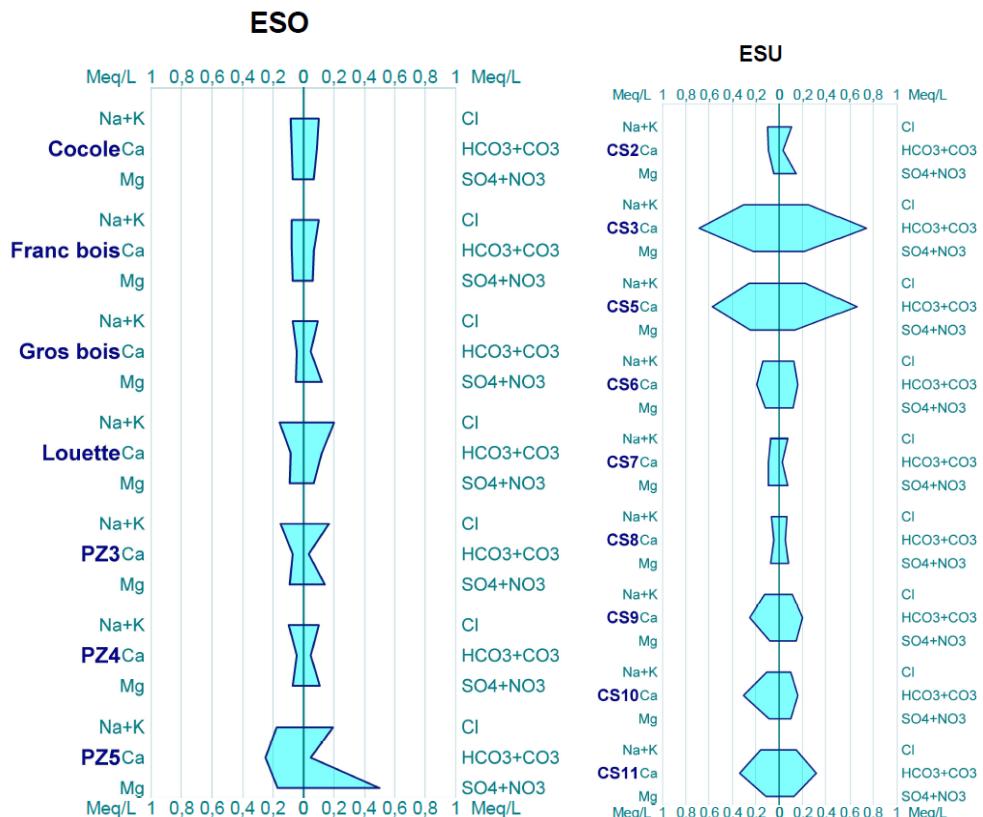


Figure 65 : Diagrammes de Stiff pour la campagne régionale réalisée en juillet 2021 dans le massif de la Croix-Scaille

V. Références

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., 1998. Évapotranspiration des cultures. Directives pour le calcul des besoins en eau des cultures. FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. ISBN 92-5-104219-5

Danel, V., 2017. « Eau potable destinée à la consommation humaine : liste des paramètres retenus comme critères de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine ».

Université Grenoble Alpes, France. URL : [Liste des paramètres \(sfmu.org\)](https://sfmu.org/)

Ouali, J., 2021. « Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique du bassin de la Hulle et de la Houille ». Travail de fin d'étude réalisé en collaboration avec les universités de Bruxelles (ULB) et de Liège (ULiège).

Piper A., 1944. « A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water ». Analyses, Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 25, pages 914-923.

Service Public de Wallonie Agriculture, Ressources naturelles et Environnement & Direction des Eaux souterraines - Département Environnement et Eau, Projet Piez'Eau.
<http://piezo.environnement.wallonie.be/login.do?time=1635173592366>

Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle Agriculture, Ressources naturelles et Environnement, Projet Aqualim.
<http://aqualim.environnement.wallonie.be/login.do?time=1635173614267>

Service Public de Wallonie, Direction des Eaux Souterraines (DEE), 2022. Etat des nappes et des masses d'eau souterraine de Wallonie. **ISNN 2795-6091 (N)**.

SPGE, 2022a. Liste des stations d'épuration. Liste des stations d'épuration | Société Publique de la Gestion de l'Eau (spge.be)

SPGE, 2022b. Principes de fonctionnement d'une station d'épuration.

Villers-la-Ville, 2022. « 5N plus, que font-ils ? ». Consulté le 1^{er} avril 2022. <https://www.villers-la-ville.be/administration/securite/planification-durgence/5nplusetalertes>

Wallonie recherche CRA-W, Projet Agromet. <https://agromet.be/fr/pages/home/>

VI. Annexe

1. Ouvrages d'AQUALIM

SPW
Service public
de Wallonie

Direction générale opérationnelle Agriculture,
Ressources naturelles et Environnement,
Département du Développement, de la Ruralité, des Cours d'Eau et du Bien-être
animal,
Direction des Cours d'eau non navigables

Réseau de surveillance hydrométrique: Aqualim
Station : L6090 (Lommersweiler)
Cours d'eau : Braunlauf

DGO 3

Localisation de la station

Localité : Lommersweiler CP : 4783
Cours d'eau : Braunlauf
Bassin versant : Our
Superficie bassin : 64 km²
Adresse : Rue Maspelt
Province : Liège
Numéro de carte IGN : 56/7
Coordonnées Lambert (X,Y) : (277.350,104.134)
Gestionnaire de la station : Station appartenant à la
DG03-DRCE-DCENN

Période de fonctionnement :
Mise en service : 03/09/1991
Fin de service :

Stabilité de la station par rapport aux jaugeages :
Stable

Altitude du repère :
* 383,144 m du 03/09/1991 au -

Crues de référence :

Année	Date	Hauteur (m)	Débit (m ³ /s)
2018	01/06/2018	1,77	32,195
2011	09/01/2011	1,31	20,357

Statistiques établies entre 1991 et 2021 :

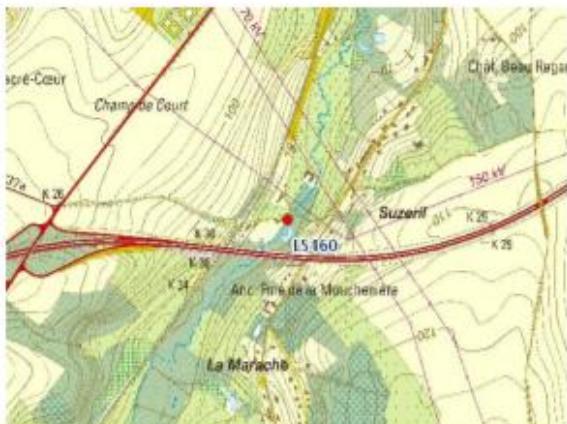
Débits caractéristiques	Valeur (m ³ /s)
Minimum des débits horaires	0,01
Maximum des débits horaires	32,195
Moyenne des moyennes annuelles (module)	1,177
Moyenne des médianes (P50) annuelles	0,606
Moyenne des percentiles 5 (P5) annuels	3,96
Moyennes des percentiles 95 (P95) annuels	0,131

Généré le 16/11/2021



Réseau de surveillance hydrométrique: Aqualim

Station : L5460 (Suzeryl)
Cours d'eau : Thyle



Localisation de la station

Localité : Suzeryl CP : 1490
Cours d'eau : Thyle
Bassin versant : Dyle et affluents
Superficie bassin : 68 km²
Adresse : Rue de Suzeryl
Province : Brabant wallon
Numéro de carte IGN : 40/5
Coordonnées Lambert (X,Y) : (163.837,146.834)
Gestionnaire de la station : Station appartenant à la DG03-DRCE-DCENN

Période de fonctionnement :
Mise en service : 01/04/1973
Fin de service :

Stabilité de la station par rapport aux jaugeages :
Instable

Altitude du repère :
* 65,532 m du 01/04/1973 au -



Crues de référence :

Année	Date	Hauteur (m)	Débit (m ³ /s)
2010	14/11/2010	1,38	9,864
2008	04/08/2008	1,22	8,184

Statistiques établies entre 1973 et 2021 :

Débits caractéristiques	Valeur (m ³ /s)
Minimum des débits horaires	0,022
Maximum des débits horaires	14,159
Moyenne des moyennes annuelles (module)	0,502
Moyenne des médianes (P50) annuelles	0,433
Moyenne des percentiles 5 (P5) annuels	0,865
Moyennes des percentiles 95 (P95) annuels	0,298

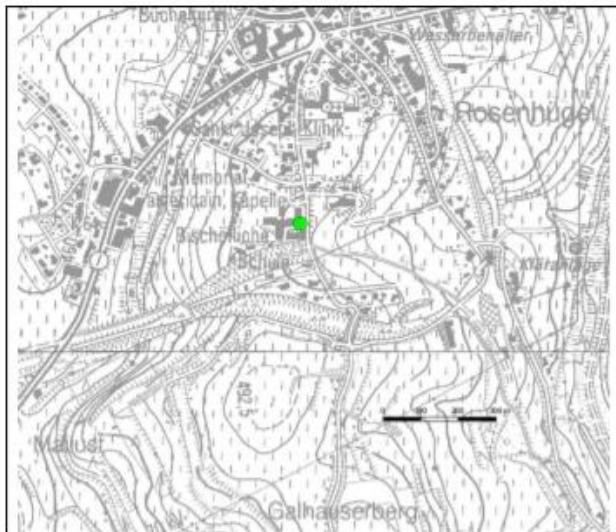
Généré le 16/11/2021

2. Ouvrages de PIEZ'EAU

Direction générale de l'Agriculture et des Ressources naturelles et de l'Environnement
Département de l'Environnement et de l'Eau – Direction des Eaux souterraines

Réseau de surveillance piézométrique

Station : PZ6840 – Ouvrage : 56/3/7/015
Masse d'eau : R101 - GRÈS ET SCHISTES DE LA MOSELLE

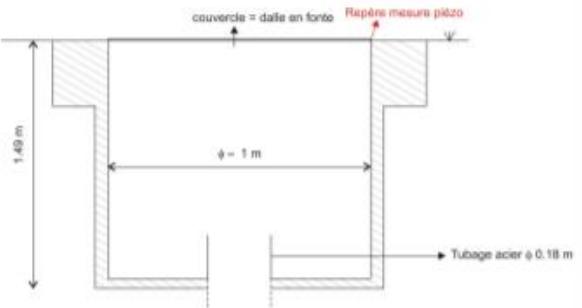


Dénomination usuelle

P.SV.2

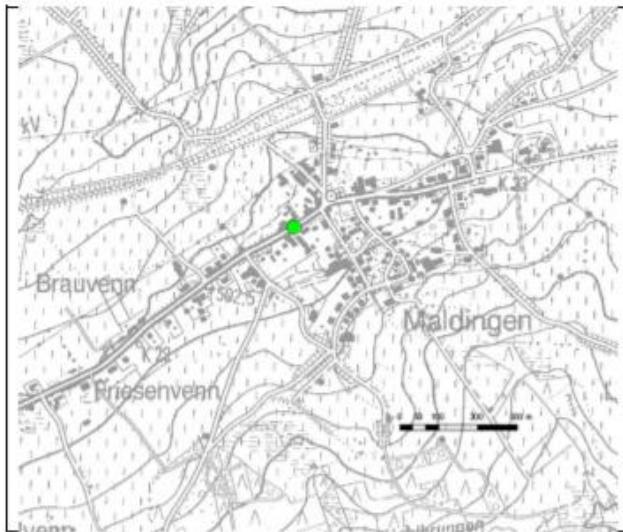
Localisation

X (m) : 275297
Y (m) : 108517
Altitude (m) : 479.77
Localité : SANKT VITH
Commune : SAINT-VITH

<p><u>Caractéristiques de l'ouvrage</u></p> <p>Type de puits : PUILS FORE Profondeur (m) : 98 Repère de niveau : Altitude du repère (m) : 479.77 Début crête (m) : Fin crête (m) :</p>	 
--	---

Réseau de surveillance piézométrique

Station : PZ5180 – Ouvrage : 56/6/4/003
Masse d'eau : R101 - GRÈS ET SCHISTES DE LA MOSELLE



Dénomination usuelle

P.T.2

Localisation

X (m) : 268558
Y (m) : 103772
Altitude (m) : 504.03
Localité : THOMMEN
Commune : BURG-REULAND

Caractéristiques de l'ouvrage

Type de puits : PUIS TRADITIONNEL
Profondeur (m) : 11.34
Repère de niveau :
Altitude du repère (m) : 504.03
Début crépine (m) :
Fin crépine (m) :

Repère mesure piézo



Réseau de surveillance piézométrique

Station : PZ4213 – Ouvrage : 39/8/6/278

Masse d'eau : E160 - SOCLE DU BRABANT



Dénomination usuelle

BOIS D'HE

Localisation

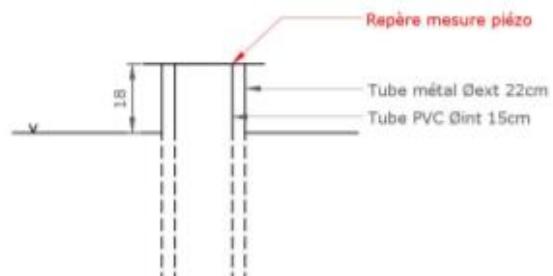
X (m) : 160041
Y (m) : 142381
Altitude (m) : 147.73
Localité : BAISY-THY
Commune : GENAPPE



Caractéristiques de l'ouvrage

Type de puits : PUISTS FORE
Profondeur (m) : 37.2
Repère de niveau :

Altitude du repère (m) : 148.18
Début crêpine (m) :
Fin crêpine (m) :



Réseau de surveillance piézométrique

Station : PZ1099 – Ouvrage : 39/8/9/036

Masse d'eau : E51 - SABLES BRUXELLIENS

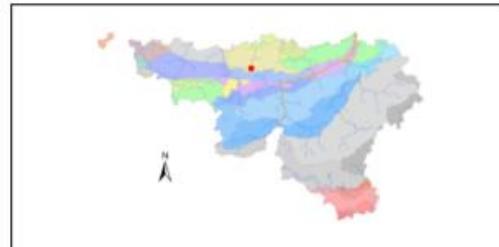


Dénomination usuelle

RIGENEE. DIAMETRE DE 20 CM.

Localisation

X (m) : 161849
Y (m) : 139515
Altitude (m) : 156.81
Localité : VILLERS-LA-VILLE
Commune : VILLERS-LA-VILLE



Caractéristiques de l'ouvrage

Type de puits : PUIS FORE
Profondeur (m) : 28.47
Repère de niveau :
Altitude du repère (m) : 156.81
Début crêpine (m) : 22.8
Fin crêpine (m) : 28.47



3. Procédures spécifiques au prélèvement et paramètres analysés

Les échantillons collectés ont été analysés par quatre laboratoires différents selon la nature des analyses à réaliser.

- Le Laboratoire d'Analyse en Phase Aqueuse de l'Unité d'Hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement (ULiège – Département ArGENCo) pour la détermination des ions majeurs et de certains ions mineurs et paramètres physico-chimiques ;
- La SWDE à Fleurus pour les substances médicamenteuses ;
- L'Université de Gand pour les isotopes de nitrate ;
- Le VITO (en sous-traitance de l'Université de Gand) pour l'isotope de bore.

Le Laboratoire d'Analyse en Phase Aqueuse de l'Unité d'Hydrogéologie et de Géologie de l'Environnement (ULiège – Département ArGENCo) a analysé les paramètres suivants :

- Les ions majeurs et mineurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , $\text{Fe}^{+3(soluble)}$, $\text{Fer}_{(total)}$, $\text{Mn}^{2+(soluble)}$, $\text{Mn}_{(total)}$, NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , H_2PO_4^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .
- Les concentrations en CO_2 (*libre*) en SiO_2
- Le pH, le pH de saturation (pHs), l'indice de Langelier, la conductivité/résistivité électrique, les duretés et enfin l'alcalinité de l'eau.

Pour ces analyses, le laboratoire utilise les méthodes suivantes : le titrage potentiométrique (*Titrando 905*) pour les aspects relatifs à la physico-chimie¹¹ ; l'analyseur de concentration de carbone organique total (*COT Elementard : cube*) pour les données relatives au carbone¹² ; l'absorption atomique (*analytic jena : AA400*) pour les ions métalliques dissous¹³ et le SiO_2 ; et la chromatographie ionique (*metrohm professionnel 805 AnCat*) pour le restant des formes ioniques¹⁴

Pour les substances médicamenteuses, la SWDE a utilisé les méthodes présentées aux Figure 66 et Figure 67. Pour les analyses isotopiques, les isotopes de référence utilisés pour le nitrate, l'oxygène et le bore sont respectivement « l'air », « le VSMOW » (l'eau océanique moyenne normalisée de Vienne) et « NIST 951 » (acide borique comme isotope de référence).

¹¹ conductivité électrique, résistivité, température, pH, dureté, titres alcalimétriques, concentrations en ions Ca^{2+} , OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- et CO_2 libre

¹² NPOC (carbone organique non purgeable), TC (le carbone total) et le TN

¹³ Fer et manganèse

¹⁴ K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , Sr^{2+} , Br^- , Cl^- , F^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} et SO_4^{2-}

Listes des méthodes d'essais et références normatives

Prélèvement	Instruction pour l'échantillonnage ponctuel de l'eau destinée à la consommation humaine pour analyses physico-chimiques (paramètres généraux, inorganiques et organiques) et bactériologiques	Dérivée de ISO 5667-1, ISO 5667-3, ISO 5667-5, et ISO 19458
Prélèvement	Instruction pour l'échantillonnage ponctuel pour analyses physico-chimiques (paramètres généraux, inorganiques et organiques) et bactériologiques	Dérivée de ISO 5667-1, ISO 5667-3, ISO 5667-4, ISO 5667-6 et ISO 19458
Prélèvement	Instruction pour l'échantillonnage ponctuel des eaux de piscine pour analyses physico-chimiques (paramètres généraux, inorganiques et organiques) et bactériologiques et des légionnelles	Dérivée de ISO 5667-1, ISO 5667-3 et ISO 19458
Prélèvement	Instruction pour l'échantillonnage des métaux de l'eau destinée à la consommation humaine	Arrêté Ministériel relatif à l'échantillonnage de métaux et aux mesures concernant les raccordements en plomb dans l'eau de distribution, du 29 septembre 2011, ISO 5667-1, ISO 5667-3 et ISO 5667-5.
Odeur, Couleur, Saveur	/	Méthode qualitative
Conductivité (µS)	Méthode de mesure sur place de la conductivité	Méthode propre
Turbidité (NTU)	Méthode de mesure sur place de la turbidité	Méthode propre
Chlore libre et total	Méthode de mesure sur place du chlore libre et chlore total	Méthode propre
pH	Méthode de mesure sur place du pH	Méthode propre
Température	Méthode de mesure sur place de la température	Standard methods 2550
Option Oxygène Dissous (O2)	Méthode de mesure sur place de l'oxygène dissous (FDO) par luminescence	Méthode propre
Germes totaux à 22°C	Dénombrement des microorganismes revivifiables - comptage des colonies par ensemenagement dans un milieu de culture nutritif gélosé	EN ISO 6222 (analyse en simple)
Germes totaux à 36°C	Dénombrement des microorganismes revivifiables - comptage des colonies par ensemenagement dans un milieu de culture nutritif gélosé	EN ISO 6222 (analyse en simple)
Bactéries coliformes et <i>Escherichia coli</i> (par filtration sur membrane)	Dénombrement des <i>E. coli</i> et des bactéries coliformes sur milieu chromogène	ISO 9308-1
Bactéries coliformes et <i>Escherichia coli</i> (par NPP)	Recherche et dénombrement des bactéries coliformes et d' <i>Escherichia coli</i> par méthode miniaturisée (NPP)	ISO 9308-2
Entérocoques intestinaux (par filtration sur membrane)	Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux (méthode par filtration sur membrane)	ISO 7899-2
Entérocoques intestinaux par méthode miniaturisée (NPP)	Recherche et dénombrement des entérocoques fécaux. Méthode miniaturisée du nombre le plus probable (NPP)	Méthode Enterolert-DW / Quant-Tray (IDEXX Laboratories) (NF validation IDX 33/03-10/13)
Clostridium perfringens	Dénombrement de <i>Clostridium perfringens</i> (méthode par filtration sur membrane)	ISO 14189
Staphylocoques pathogènes (à coagulase positifs)	Dénombrement de staphylocoques pathogènes (à coagulase positifs) - Méthode par filtration sur membrane	NF T90-412
Pseudomonas aeruginosa	Recherche et dénombrement de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> sur milieu chromogène (méthode par filtration sur membrane)	Méthode RAPID'P.aeruginosa Agar (BIO-RAD) (NF validation BRD 07/21-04/12)

Figure 66 : Liste des méthodes d'essais et références normatives de la SWDE dans le cadre de l'analyse des substances médicamenteuses

Listes des méthodes d'essais et références normatives (suite)

Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Sodium (Na), Potassium (K), Bore (B), Aluminium (Al), Vanadium (V), Chrome (Cr), Fer (Fe), Cobalt (Co), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Arsenic (As), Sélénium (Se), Strontium (Sr), Uranium (U), Baryum (Ba), Antimoine (Sb), Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Mercure (Hg), Phosphore total (P total), Etain (Sn), Molybdène (Mo)	Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu, Al, Zn, Ba, B, Cd, Pb, Ni, Se, As, Sb, Co, V, Cr, Mo, Sn, P total, Hg, U et Sr par ICP-MS	ISO 17294-2
Silicium (Si)	Si par ICP-MS	Méthode propre
Uranium pondéral	Détermination pondéral de l'Uranium et calcul de la radioactivité (Bq/l)	Arrêté de l'AFCN portant les modalités d'exécution du contrôle des substances radioactives dans les eaux destinées à la consommation humaine, du 24 novembre 2016, ISO 17294-2
Chlorures (Cl), Nitrates (NO3), Sulfates (SO4)	Cl, NO3 et SO4 par chromatographie ionique	ISO 10304-1 ISO 10304-4
Fluorures (F), Nitrites (NO2), Bromures (Br), Ortho-phosphates (oPO4), Chlorates (ClO3), Chlorites (ClO2), Bromates (BrO3)	F, NO2, Br, oPO4, ClO3, ClO2 et BrO3 par chromatographie ionique	Méthode propre
Nitrites (NO2) par FIA	Dosage des nitrites par FIA	Méthode propre
Nitrites (NO2) par FIA	Dosage des nitrites par FIA	Méthode propre
Ammoniaque (NH4) par FIA	Dosage de l'ammonium par FIA	Méthode propre
TAC (Alcalinité) par FIA	Dosage de l'alcalinité par FIA	Méthode propre
Cyanure (CN) totaux	Dosage des cyanures libres et totaux par FIA (flux continu) selon méthode à l'acide barbiturique	Méthode propre
Matières organiques permanganate (KMnO4)	Détermination de l'indice de permanganate	Méthode propre
Carbone organique dissous (TOC)	Dosage du carbone organique non purgeable	ISO 8245
Demande chimique en oxygène (DCO, COD)	Détermination de la demande chimique en oxygène	ISO 15705
Matières en suspension	Détermination des matières en suspension	ISO 11923
Urée	Détermination de l'urée	Méthode propre
Azote Kjeldahl	Dosage de l'Azote Kjeldahl Digestion acide sulfurique/ oxyde mercurique et analyse FIA (flux continu) de ammonium au bleu d'indophénol	Méthode propre
Couleur vraie	Examen et détermination de la couleur vraie	ISO 7887 (Méthode C)
Solvants Volatils	MEO-LAB 12 : « Détermination des trihalométhanes et solvants organiques volatils par espace de tête et spectrométrie de masse».	Dérivée de Rodier, 9 ed, méthode 10.17
Pesticides et PAH	MEO-LAB 11 : « Détermination des pesticides polaires par extraction en ligne et HPLC-MS/MS (fraction dissoute) ».	Méthode interne
	MEO-LAB 03 : « Détermination des PAH, des pesticides chlorés et de certains phosphorés par GC-MS/MS ».	Dérivée de Std. Methods, 22nd ed, 6410
	MEO-LAB 14 : « Détermination de pesticides azotés et phosphorés par HPLC MS/MS en ESI+».	Méthode interne
Métabolites	MEO-LAB 10 : « Détermination des métabolites du Chorothalonil, Choridazon et de certains Chloroacétamides en injection directe par HPLC-MS/MS »	Méthode interne
PCB	MEO-LAB 13 : « Détermination par GC/MS des sept PCB de Ballschmiter (28, 52, 101, 118, 153, 138 et 180) »	Dérivée de Std. Methods, 22nd ed, 6410

Figure 67 : Liste des méthodes d'essais et références normatives de la SWDE dans le cadre de l'analyse des substances médicamenteuses (suite)

Les procédures spécifiques d'échantillonnage et de conditionnement des échantillons sont renseignées au Tableau 8.

Type d'analyse	Flaconnage + PE/verre	Particularité(s)
Eléments majeurs	180 mL	Rincé trois fois Sans bulles d'air
Métaux totaux	120 mL	Rincé trois fois Ajout d'HCl
Métaux dissous	120 mL	Filtre 0.45 μ Ajout d'HCl
Isotope du bore	60 mL	Rincé trois fois Sans bulles d'air
Isotope de nitrate	60 mL	Filtre 0.2 μ Conservé au réfrigérateur
Résidus médicamenteux	Deux fois 500mL	-
Nitrate/nitrite/NH_4^+/TAC	40 mL	-
Azote	250 mL	1 mL de H_2SO_4 concentré
Teneur en oxygène	250 mL	1 mL de H_2SO_4 concentré
TOC	100 mL	1 mL de HCl_{2N} concentré

Tableau 8: Procédure d'échantillonnage et matériel utilisé pour l'Université de Liège

4. Présentation des outils standards d'analyses des résultats

Dans un premier temps, une analyse quantitative en lien avec l'interprétation des résultats de divers, sondes et station limnimétriques sera développée. En particulier, l'analyse de l'évolution des conductivités électriques en fonction du niveau d'eau au cours du temps sera analysée. Les courbes de jaugeages seront également calculées sur base des mesures de jaugeages réalisées sur le terrain.

Les données hydrochimiques seront dans un premier temps représentées en termes d'évolution temporelles pour les ouvrages faisant partie du suivi mensuel. En fonction des bassins et de la situation des ouvrages, certains paramètres seront plus intéressants à analyser que d'autres. Les deux paramètres clés pour lesquels l'évolution sera étudiée au cours du temps sont : la conductivité électrique [$\mu\text{S}/\text{cm}$] ainsi que les concentrations en nitrate [mg/L]. Les évolutions seront représentées sous la forme de graphes linéaires et mises en lien avec les débits mesurés aux stations limnimétriques des bassins.

En fonction de l'allure de ces graphes, deux campagnes mensuelles jugées particulièrement intéressantes¹⁵ seront choisies.

Finalement, tant pour ces deux campagnes mensuelles que pour la campagne régionale, les diagrammes de Piper, de Stiff ainsi que des cartes de conductivités et teneurs en nitrate seront développés.

Diagrammes de Piper

Les diagrammes de Piper (Figure 68) permettent une représentation graphique de la chimie des échantillons dans le but de finalement déterminer leur faciès hydrochimique (Piper, 1944). Les principaux cations ($Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^+, K^+$) et anions ($SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-, HCO_3^-$) y sont représentés sous la forme de deux diagrammes ternaires où les entités chimiques dominantes sont mises en évidence. Une fois projetés dans un losange, les points déterminent par leur position le faciès hydrochimique de l'eau souterraine des aquifères.

¹⁵ Selon les critères hautes eaux/basses eaux ou selon les rejets d'entreprise par exemple

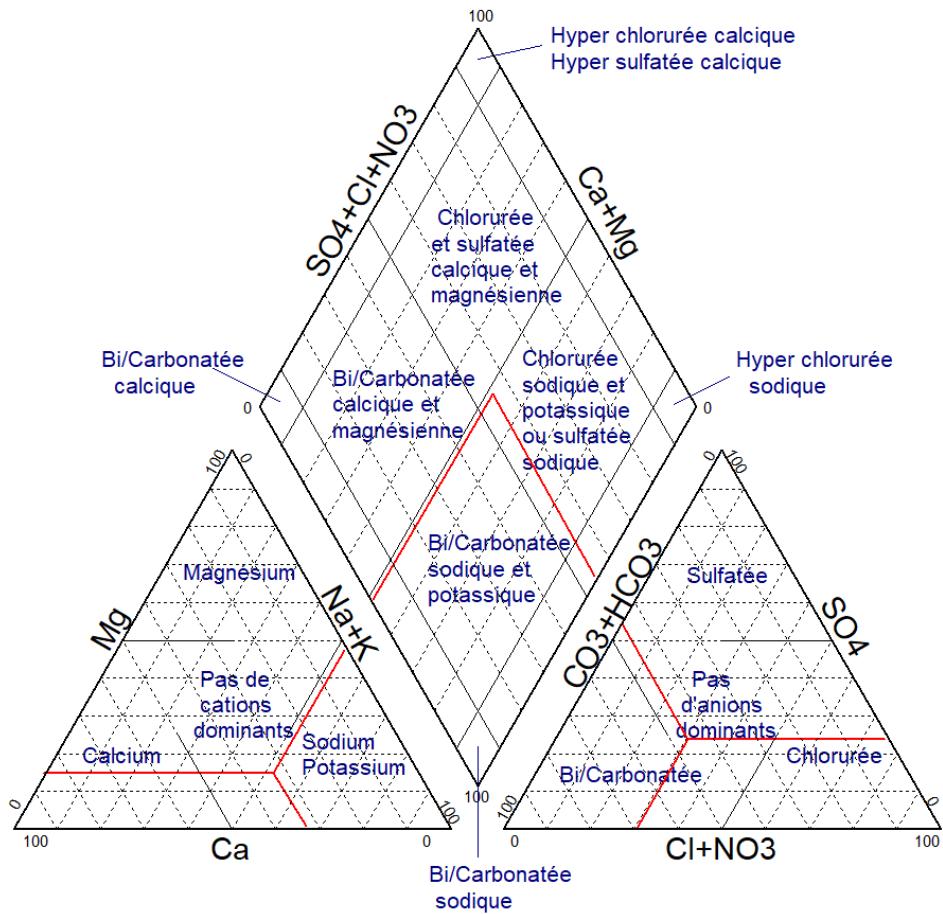


Figure 68: Diagramme de Piper théorique (Piper, 1944)

Diagramme de Stiff

Les diagrammes de Stiff sont des graphiques permettant de caractériser de manière individuelle la chimie d'un échantillon d'eau selon la concentration en certains éléments majeurs (Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et NO_3^-). La position des sommets du polygone par rapport à l'axe central, représentant une valeur nulle, est proportionnelle à la concentration de l'élément correspondant.