



Rapport d'étape 1 : Synthèse de la collecte des données

Phase 1 : Etude de délimitation de l'aire d'alimentation de captages et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque - Captage de la Touvre (16)



Rapport n°A119643/version C – Février 2023

Projet suivi par Syndia FERNANDES – 06.71.97.23.63 – syndia.fernandes@anteagroup.com

Fiche signalétique

Rapport d'étape 1 : Synthèse de la collecte des données

Phase 1 : Etude de délimitation de l'aire d'alimentation de captages et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque - Captage de la Touvre (16)

CLIENT	SITE
EPTB Charente	Captage de la Touvre
5 rue Chante-caille Z.I. des Charriers 17100 SAINTES	Bassins versants de la Touvre, La Bonniere, La Tardoire et Le Bandiat, Secteur Angoulême
Mme Adeline MASSONNEAU TEL : 05.46.74.00.02 et 07.79.59.44.77	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Syndia FERNANDES
Interlocuteur commercial	Christophe SUBIAS
	Implantation de Bordeaux
Implantation chargée du suivi du projet	05.57.26.02.80 secretariat.bordeaux-fr@anteagroup.com
Rapport n°	A119643
Version n°	C
Votre commande et date	C22091 / 02.08.2022
Projet n°	PCHP220137

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	FERNANDES Syndia	Ingénieure de projet	Février 2023	
Approbation	SUBIAS Christophe	Directeur de projet EAU - Hydrogéologue	Février 2023	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	16/01/2023	39	5	
B	16/02/2023	93	5	Ajouts d'explications, de graphiques et actualisation des seuils AEP

Sommaire

1	Contexte de l'étude	9
1.1	Démarche de protection de la ressource en eau potable de la Touvre	9
1.2	Limites de l'étude	10
2	Approche méthodologique	12
2.1	Rappels sur la méthodologie du BRGM pour les eaux souterraines	12
2.1.1	Démarche proposée	12
2.1.2	Etude hydrogéologique et définition de la typologie de l'aquifère	13
2.2	Délimitation de l'AAC	15
2.2.1	Notions préliminaires	15
2.2.2	Délimitation en milieu discontinu karstique	16
2.3	Cartographie de la vulnérabilité	16
2.3.1	Notions préliminaires	16
2.3.2	Méthodologie appliquée et hypothèse retenue	18
2.4	Données nécessaires	25
3	Collecte des données	27
3.1	Documents consultés	27
3.2	Sites internet consultés	27
3.3	Synthèse des principales données collectées	28
4	Synthèse des données	30
4.1	Contexte géographique	30
4.2	Captage de la Touvre	31
4.3	Contexte géologique	34
4.4	Contexte pédologique	38
4.5	Contexte hydrologique	40
4.6	Contexte hydrogéologique	42
4.6.1	Contexte hydrogéologique général	42
4.6.2	Délimitation de l'impluvium karstique	45
4.6.3	Piézométrie et relations nappe-rivières	48
4.6.4	Indices karstiques	49
4.6.5	Données de traçages (voir synthèse en Annexe 2)	51
4.6.6	Bilan hydrogéologique	52

4.6.7	Usage sur le périmètre d'étude	55
4.7	Synthèse sur les bassins versants impliqués dans l'aire d'alimentation du captage de la Touvre	56
5	Données analytiques du système de la Touvre	57
5.1	Méthodologie appliquée	57
5.1.1	Sélection des paramètres chimiques	57
5.1.2	Analyse des familles de paramètres filtrés	58
5.1.3	Analyse des paramètres filtrés	58
5.2	Aspects qualitatifs	59
5.2.1	Qualité des eaux captées aux Sources de la Touvre	59
5.2.2	Evolution des paramètres chimiques dans les Eaux superficielles	60
5.2.3	Evolution des paramètres chimiques dans les Eaux souterraines	66
5.2.4	Etat des lieux (2020) en nitrates, atrazine et pesticides totaux	72
5.3	Corrélation des données qualité et quantité	77
5.3.1	Bassin versant du Bandiat	77
5.3.2	Bassin versant de la Bonnieure	78
5.3.3	Bassin versant de la Tardoire	79
5.3.4	Secteur de la Touvre	79
5.4	Synthèse par compartiment	80
6	Conclusion et perspectives	81
6.1	Conclusion et synthèse	81
6.2	Perspectives	82

Liste des figures

Figure 1 : a - Croquis de repérage des sources extrait de la thèse de D. ROUILLET ; b – vue générale de la zone ; c - photos des trois sources principales de la Touvre (source : Rapport d'expertise pour le choix du DOE et DCR, D. Labat et A. Mangin, Juin 2015)	11
Figure 2: Démarche à adopter (Onema - J.F. Vernoux - Février 2014)	13
Figure 3: Représentation schématique d'une aire d'alimentation de captages (Onema - J.F. Vernoux - Février 2014)	15
Figure 4: Conceptualisation du karst dans la méthode PaPRiKa	20
Figure 5: Schéma conceptuel d'un aquifère karstique avec le positionnement des différents critères (d'après COST 620, Zwahlen et al.2004) (source : BRGM RP-57527-FR).....	21
Figure 6: Modalité de transfert d'un polluant sur le versant d'un ruisseau	24
Figure 7: Localisation des sources de la Touvre (Source: Géoportail)	30
Figure 8: Vue aérienne des sources de la Touvre ainsi que de la Station de reprise (Source: Géoportail).....	32
Figure 9: Log géologique synthétique extrait de la Thèse de D. Rouillet	35
Figure 10: Coupes géologiques extraites de la thèse de D. Rouiller	36
Figure 11: Répartition de la géologie sur le territoire étudié.....	38
Figure 12: Données pédologiques récoltées	39
Figure 13: Localisation des rivières principales et leurs bassins versants hydrographiques	41
Figure 14: Schéma synthétique des sources de la Touvre extrait de la thèse de D. ROUILLET	42
Figure 15: Coupe hydrogéologique interprétative Nord-Est Sud-Ouest à travers le bassin de la Touvre (Sources DDAH-Mise de la Charente – Hydro Invest).....	43
Figure 16 : Décomposition du bassin d'alimentation du captage de la Touvre en sous-bassin versants hydrologiques et hydrogéologiques (source ANTEA)	44
Figure 17 : Carte des impluviums karstiques et non karstiques (Etude du DOE, ANTEA, 2019)	47
Figure 18: Synthèse des indices karstiques répertoriés dans les études antérieures (ANTEA)	50
Figure 19: Localisation des stations de mesures de la qualité des eaux superficielles	60
Figure 20: Localisation des tronçons de rivières et les stations de mesures d'eaux superficielles correspondantes	65
Figure 21 : Localisation des qualitomètres sur le territoire étudié, d'après la base de données ADES.....	67
Figure 22: Evolution temporelle de l'Atrazine dans les eaux souterraines au droit du captage de la Touvre (données ARS au Bouillant).....	70
Figure 23: Evolution temporelle des Nitrates dans les eaux souterraines au droit du captage de la Touvre (données ARS au Bouillant).....	70
Figure 24: Evolution temporelle de l'Atrazine dans les eaux souterraines au droit des forages AEP (données ARS).....	71
Figure 25: Evolution temporelle des Nitrates dans les eaux souterraines au droit des forages AEP (données ARS)	71
Figure 26: Concentrations moyennes en nitrates et en atrazine dans les Eaux souterraines pour l'été 2020	74
Figure 27: Concentrations moyennes en atrazine dans les Eaux superficielles pour l'été 2020	75
Figure 28: Concentrations moyennes en nitrates dans les Eaux superficielles pour l'été 2020	76
Figure 29: Exemple de graphique de Corrélation entre pluviométrie à Chalus, le débit du Bandiat et les concentrations en nitrates (ESU = Eaux superficielles).....	78

Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau d'aide à la définition de la typologie de l'aquifère	14
Tableau 2: Classification de la vulnérabilité finale PaPRiKa	21
Tableau 3: Exemple de Tableau de synthèse des données à collecter	26
Tableau 4: Liste des documents consultés.....	27
Tableau 5: Liste des bases de données consultées	27
Tableau 6: Synthèse des données consultées.....	28
Tableau 7: Volumes annuels prélevés au captage de la Touvre (Source : Grand Angoulême).....	32

Tableau 8: Liste des captage AEP dans le secteur d'étude (Source : site Agence de l'Eau Adour Garonne)	55
Tableau 9: Résumé des données disponibles pour les stations de mesures des eaux superficielles	61
Tableau 10: Stations de mesures des eaux superficielles non représentatives des tronçons pour les nitrates...	64
Tableau 11: Synthèse des qualitomètres existants sur le territoire étudié	66

Table des annexes

Annexe I :	Piézométrie existante (ANTEA, 2015 + HydroInvest, 1994)
Annexe II :	Synthèse des traçages
Annexe III :	Graphiques d'évolution temporelle des paramètres chimiques dans les Eaux superficielles
Annexe IV :	Graphiques d'évolution temporelle des paramètres chimiques dans les Eaux souterraines
Annexe V :	Graphiques de corrélations des données qualité et quantité

Liste des abréviations

AAC	:	<i>Aire d'alimentation de captage = BAC</i>
AEP	:	<i>Alimentation en Eau Potable</i>
ARS	:	<i>Agence Régionale de santé</i>
BAC	:	<i>Bassin d'Alimentation de Captage = AAC</i>
BRGM	:	<i>Bureau de Recherches Géologiques et Minières</i>
CLC	:	<i>Corine Land Cover</i>
CR	:	<i>Coefficient de Ruissellement</i>
DOE	:	<i>Débit d'Objectif d'Etiage</i>
ESO	:	<i>Eaux souterraines</i>
ESU	:	<i>Eaux superficielles</i>
IDPR	:	<i>Indice de Développement et de Persistance des Réseaux</i>
IGN	:	<i>Institut National Géographique</i>
MNT	:	<i>Modèle Numérique de Terrain</i>

1 Contexte de l'étude

1.1 Démarche de protection de la ressource en eau potable de la Touvre

Le captage de la Touvre est une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable de Grand Angoulême car il assure en moyenne 87 % de l'approvisionnement en eau potable du territoire et de ses 145 310 habitants (soit 2,17 habitants/abonné) (population 2017).

En 2018, Grand Angoulême a sollicité l'Agence de l'Eau Adour-Garonne pour restructurer l'usine du Pontil qui prélève dans l'une des sources de Touvre (source du Bouillant). Par courrier en date du 26 février 2021, l'Agence de l'eau Adour Garonne a conditionné le versement d'une aide complémentaire à la réalisation d'une étude de délimitation des zones de protection du captage puis la définition d'un plan d'actions afin de préserver cette ressource stratégique. Cette décision fait également suite au classement de ce captage dans la liste des captages sensibles de priorité 4 en mars 2022.

Pour répondre à cette demande, Grand Angoulême a sollicité l'Etablissement Public Territorial de Bassin (EPTB) Charente afin de porter cette démarche, compte tenu de l'étendue du bassin d'alimentation et du caractère stratégique de la ressource. Cette action se traduit par une méthodologie composée des étapes suivantes :

- **Phase 1** : délimitation précise de l'aire d'alimentation du captage et détermination de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère,
- **Phase 2** : diagnostic territorial des pollutions agricoles et non agricoles sur l'aire définie,
- **Phase 3** : élaboration d'un programme d'action permettant de préserver (ou de reconquérir) la qualité de la ressource en eau.

Dans le détail, la méthodologie nationale (article L.211-3 du code de l'environnement) définit plusieurs phases comprenant :

- **Phase 1** : Etude de délimitation de l'Aire d'Alimentation du Captage (AAC) et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque :
 - Etape 1 : étude hydrogéologique du bassin versant souterrain, sur la base des données existantes, permettant de définir et caractériser le type d'aquifère impliqué dans l'alimentation du captage.
 - Etape 2 : définition de la portion de nappe alimentant le captage (PNAC) et identification de la zone en surface susceptible d'influer sur la qualité de l'eau du captage par des méthodes analytiques et de modélisation.
 - Etape 3 : cartographie de la vulnérabilité intrinsèque du captage vis-à-vis des pollutions diffuses, afin d'identifier à l'intérieur de l'AAC les secteurs les plus contributifs à l'alimentation du captage et les plus vulnérables aux pollutions.
- **Phase 2** : Diagnostic des pressions du territoire
- **Phase 3** : Délimitation des Zones Actions Prioritaires au regard de la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque et du diagnostic des pressions

Dans ce contexte, le groupement ANTEA-ENVILYS a été mandaté pour réaliser la présente étude dont les objectifs sont :

- Collecter et actualiser l'ensemble des données disponibles ;
- Déterminer les données complémentaires à acquérir pour déterminer la vulnérabilité du captage ;
- Définir précisément l'aire d'alimentation ;
- Cartographier la vulnérabilité intrinsèque vis-à-vis des pollutions diffuses.

Le présent document d'Etape 1 de la Phase 1 (Etude de délimitation de l'Aire d'Alimentation du Captage (AAC) et cartographie de la vulnérabilité intrinsèque) est établi pour synthétiser les données collectées, définir et caractériser le type d'aquifère impliqué dans l'alimentation du captage afin de préciser la méthode de délimitation de l'AAC, et également caractériser la qualité des eaux souterraines et superficielles sur le territoire étudié.

1.2 Limites de l'étude

Le captage concerné par l'étude correspond au captage des sources de la Touvre, localisé sur la commune de Touvre dans le Grand Angoulême (Figure 1).

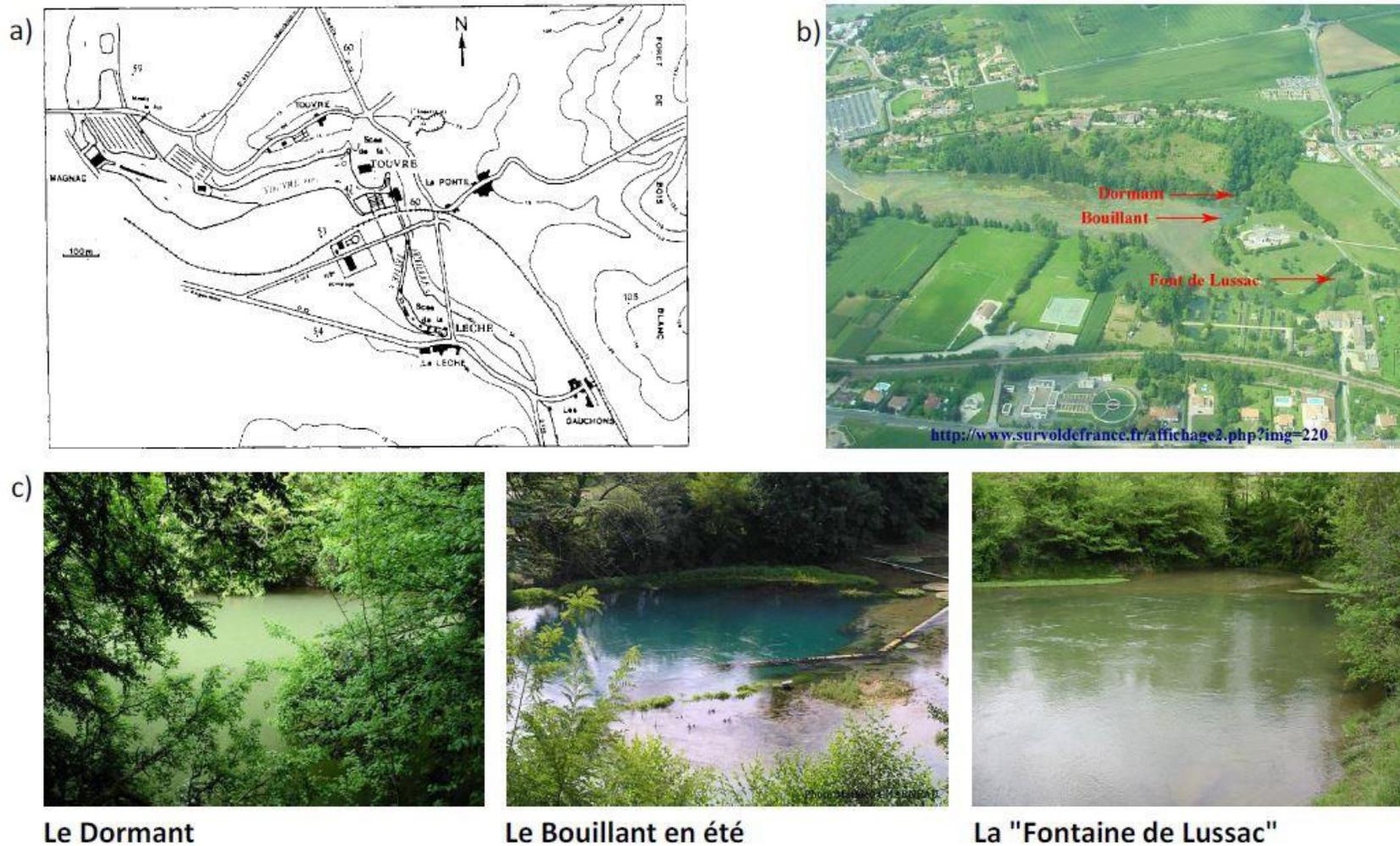


Figure 1 : a - Croquis de repérage des sources extrait de la thèse de D. ROUILLET ; b – vue générale de la zone ; c - photos des trois sources principales de la Touvre (source : Rapport d'expertise pour le choix du DOE et DCR, D. Labat et A. Mangin, Juin 2015)



2 Approche méthodologique

2.1 Rappels sur la méthodologie du BRGM pour les eaux souterraines

La délimitation des aires d'alimentation des captages (AAC) et la caractérisation de leur vulnérabilité ont nécessité la définition d'une méthodologie commune à l'échelle nationale afin d'assurer la cohérence et la hiérarchisation des programmes d'actions qui devront être mis en œuvre.

Pour les captages en eaux souterraines, la délimitation de l'Aire d'Alimentation du Captage et la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque vis-à-vis des pollutions diffuses seront réalisées en suivant la méthodologie développée par le BRGM :

- Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfliger N. (2007). Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses - Guide méthodologique. Rapport BRGM-AESN,72 pp.
- Vernoux J.F., Wuilleumier A., Perrin J. (2014a). Délimitation des aires d'alimentation de captage d'eau souterraine et cartographie de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version révisée du guide méthodologique. Rapport BRGM-ONEMA, 150 pp.
- Dörfliger N., Plagnes V. (2009). Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques - Guide méthodologique de la méthode PaPRIKa - Rapport BRGM/RP-57527 FR.
- Catalogne Cl., Carluier N., le Henaff G., Vernoux J.F. (2014) Guide pour la délimitation de la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque d'Aires d'Alimentation de captages à transferts mixtes- Rapport IRSTEA – ONEMA.

La présente étude s'appuie strictement sur les guides méthodologiques. *En conséquence, dans le présent chapitre, nous ne présentons qu'un résumé des principales orientations de la méthodologie proposée.*

2.1.1 Démarche proposée

L'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant souterrain est déterminante. Elle permet à la fois de définir le type d'aquifère et sert de base à la délimitation de l'AAC et à la caractérisation des paramètres de vulnérabilité. Lors de cette étude, seront acquises les données nécessaires permettant de définir la typologie du système et la méthode à appliquer.

Quatre types d'aquifères peuvent être définis :

- Aquifère continu ;
- Aquifère discontinu fissuré ;
- Aquifère discontinu karstique ;
- Aquifère volcanique.



La méthodologie prévoit 3 étapes :

- Etape 1 : étude hydrogéologique et définition de la typologie de l'aquifère ;
- Etape 2 : délimitation de l'AAC (Aire d'Alimentation des Captages) ;
- Etape 3 : cartographie de la vulnérabilité.

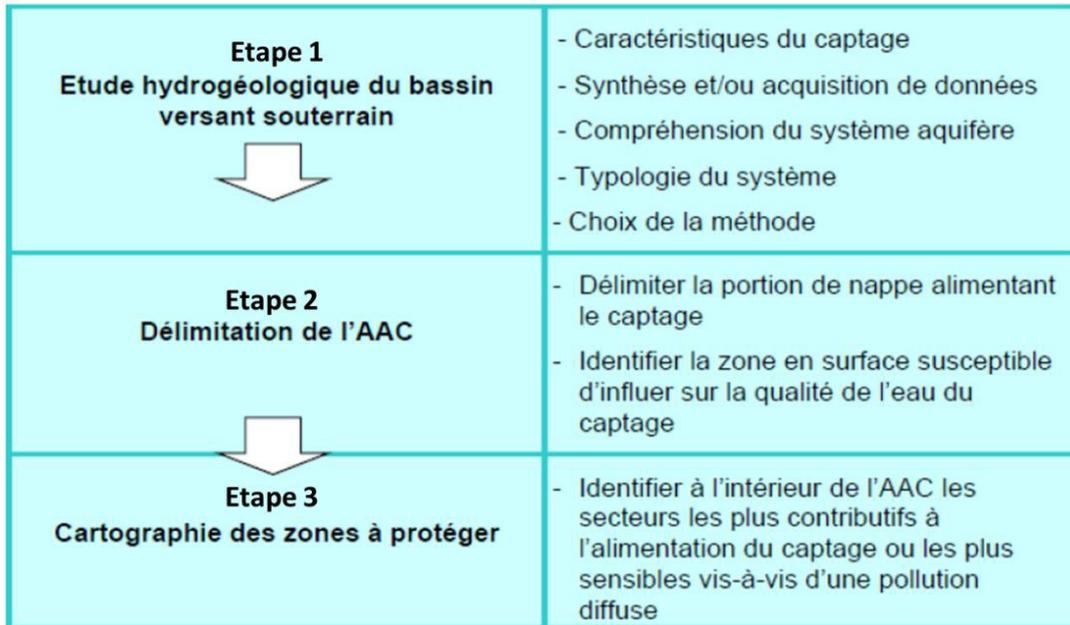


Figure 2: Démarche à adopter (Onema - J.F. Vernoux - Février 2014)

2.1.2 Etude hydrogéologique et définition de la typologie de l'aquifère

L'étude géologique et hydrogéologique servira de base à la délimitation de l'AAC et à la caractérisation de la vulnérabilité. Préalablement, les données acquises pour renseigner l'étude géologique et hydrogéologique doivent permettre de définir la typologie de l'aquifère (« aquifère continu », « aquifère discontinu fissuré », « aquifère discontinu karstique ») puisque la méthode à appliquer dépend de ce classement.

La typologie de l'aquifère peut être définie par différents critères de différentes natures tels que par exemple : lithologie, densité de fracturation en milieu fissuré, débits et variabilité des débits, température et conductivité, fluctuation piézométrique, perméabilités, etc....

Le guide méthodologique a rassemblé les principaux critères dans un tableau d'aide à la caractérisation des aquifères. Pour chaque critère listé, le tableau donne trois niveaux de caractérisation selon la typologie.

Ce modèle de tableau sera repris dans la présente étude, afin d'identifier sur la base des données existantes les critères déterminants, permettant de caractériser la typologie de l'aquifère (voir le **Tableau 1** en page suivante).



Tableau 1: Tableau d'aide à la définition de la typologie de l'aquifère

formation	roches sédimentaires, socle altéré	roches sédimentaires et métamorphiques, socle	roches sédimentaires
lithologie	calcaire, sables, grès, craie, arène granitique	calcaire, grès, craie, granite, schistes, gneiss	calcaire, dolomie, craie, calcaires marneux
structure	milieu poreux homogène ou fissuré homogène	milieu hétérogène : présence de discontinuités délimitant des blocs avec réseaux de fractures	structure karstique ; milieu très hétérogène : réseau de drainage souterrain
géomorphologie	absence de zones d'infiltration préférentielles	présence de zones d'infiltration préférentielle, d'érosion le long de fractures ou d'ouverture importante des systèmes de discontinuité	Présences de zones d'infiltration préférentielles : dolines, gouffres, avens, pertes en rivières, bétouires
taille du bassin versant souterrain	Variable : pouvant atteindre plusieurs dizaines de km ²	généralement de petite taille : quelques km ²	Variable ; pouvant atteindre plusieurs dizaines à centaines de km ²
débit de production	moyen élevé : 30 à 200 m ³ /h	faible : < 5 m ³ /h	peut-être très élevé : 1000 m ³ /h
fluctuations de débit (source)	faibles	fortes	très fortes, réponse impulsionnelle à un épisode pluvieux
température	stable	variations importantes au cours du cycle hydrologique	variations importantes au cours du cycle hydrologique
conductivité	stable	variations importantes au cours du cycle hydrologique	variations importantes au cours du cycle hydrologique
hydrochimie	stable	variations importantes au cours du cycle hydrologique	variations importantes au cours du cycle hydrologique
turbidité	rare	possible après fortes pluies	possible après fortes pluies
surface piézométrique	relativement plane	souvent corrélée à la surface topographique	
variation du niveau piézométrique	fluctuations annuelles faibles à moyennes	fluctuations annuelles faibles	hétérogène en fonction des vides regroupés ; mise en charge rapide, plusieurs dizaines de mètres
infiltration	lente	mixte : rapide au niveau des discontinuités principales et lente ailleurs	mixte : très rapide au niveau des pertes ; et diffuse et lente ailleurs
perméabilité	variable mais généralement < 0.1 m/s	mixte : forte au niveau des fractures, faible ailleurs	
porosité	d'interstices ; comprise entre 5 et 30 %	double porosité : interstices et fractures ; porosité d'interstices très faible : < 5%	double porosité : interstices et drains ; porosité d'interstices très faible : < 5%
vitesse de transit	globalement faible : < 1m/ jour	importante ; de 1 m/j à 1 m/h	très importante : 10-50 m/h à 100 m/h
essai de traçage	dispersion du pic sur une longue période	taux de restitution élevé et pic peu dispersé dans le temps en fonction du degré de connexion hydraulique	taux de restitution élevé et pic peu dispersé dans le temps
temps de séjour de l'eau dans l'aquifère	peut-être important sauf dans les alluvions	mélange d'eaux à temps de résidence court et long	court de manière générale, fonction de l'inertie du système (quelques jours à quelques mois)
	↓	↓	↓
	continu	discontinu fissuré	discontinu karstique



2.2 Délimitation de l'AAC

2.2.1 Notions préliminaires

Le bassin hydrogéologique ou bassin versant souterrain est la partie d'un aquifère, simple ou complexe, dans laquelle les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires. Il est délimité par une ligne de partage des eaux souterraines qui, à l'encontre de celle des bassins de surface, peut être migrante.

A l'intérieur d'un bassin versant souterrain, on peut définir une portion de la nappe d'eau souterraine alimentant le captage ou PNAC ; elle représente l'ensemble des particules d'eau situé en un endroit quelconque de la zone saturée qui termineront leur course dans le captage.

L'aire d'alimentation d'un captage d'eau ou AAC (prise d'eau superficielle ou captage d'eau souterraine) correspond aux surfaces sur lesquelles l'eau qui s'infiltre ou ruisselle participe à l'alimentation de la ressource en eau dans laquelle se fait le prélèvement.

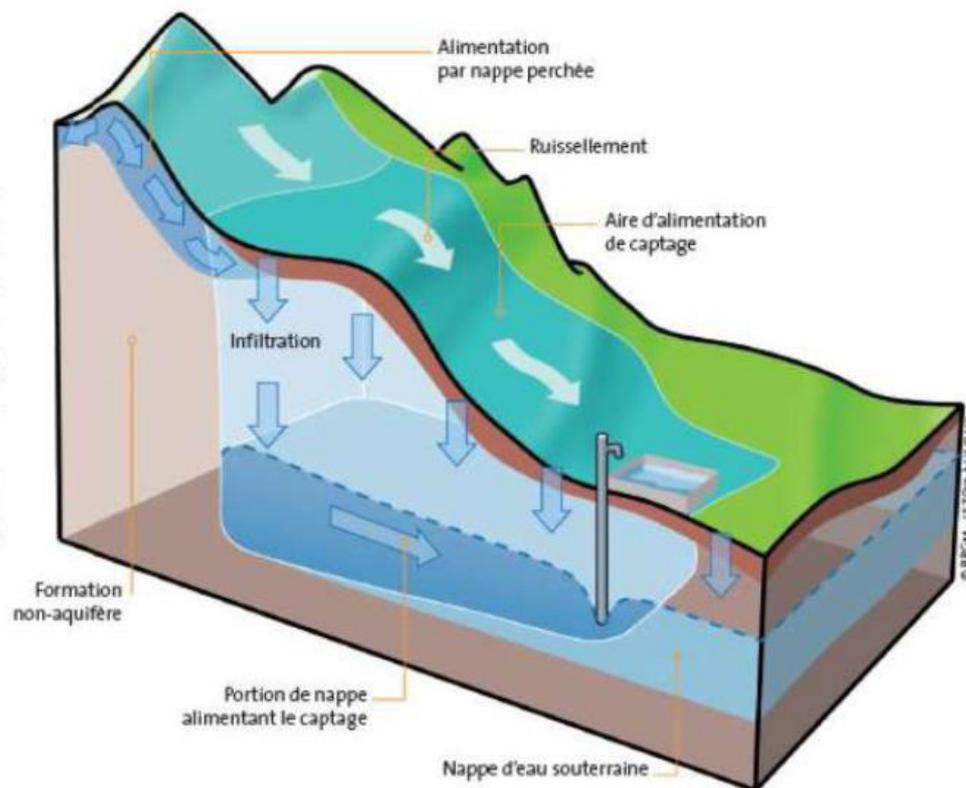


Figure 3: Représentation schématique d'une aire d'alimentation de captages (Onema - J.F. Vernoux - Février 2014)



2.2.2 Délimitation en milieu discontinu karstique

Il a déjà été mis en évidence dans plusieurs études que les sources de la Touvre sont les exutoires d'un système karstique des calcaires du Jurassique moyen et supérieur. Ce système est communément appelé karst de la Rochefoucauld ou système de la Touvre.

De ce fait, la délimitation du bassin d'alimentation du captage (BAC) sera justifiée par :

- le contexte géologique et structural,
- l'inventaire des phénomènes karstiques,
- les traçages,
- le suivi hydrologique de la source sur plusieurs cycles hydrologiques,
- les jaugeages différentiels sur les cours d'eau susceptibles de se perdre,
- une analyse des débits statistiques pour caractériser le type de système,
- une interprétation des données physico-chimiques au cours du temps pour apporter des compléments à la détermination du type de système,
- la topographie pour définir le bassin versant hydrologique.

Un **calcul du bilan hydrologique sera mis en œuvre et permettra** une vérification de la surface du bassin délimité par les méthodes précédentes et/ou fournira des éléments pour mieux cibler sa délimitation.

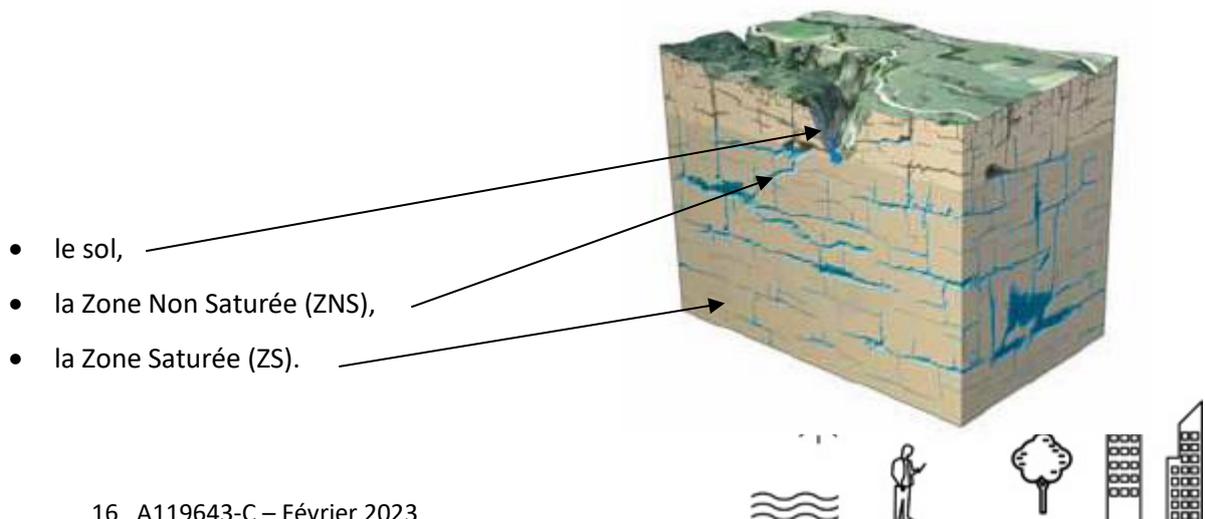
Si des zones où les eaux souterraines sont mises en liaison directe avec les eaux superficielles (gouffres, pertes), les zones topographiques alimentant par ruissellement ces points seront intégrées à l'AAC du captage.

2.3 Cartographie de la vulnérabilité

2.3.1 Notions préliminaires

L'appréciation de la vulnérabilité intrinsèque **d'un système karstique comme celui de la Touvre** repose sur la distinction de trois milieux bien définis, chacun jouant un rôle différent dans la migration d'un polluant (Cf. figure ci-dessous) :

Schéma d'un aquifère *karstique* [BRÜHLMAN et al., 2004]



Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques des transferts dans chacun de ces milieux.

	Interface	Zone non saturée	Nappe
Milieu	Terre végétale sol ou berges	Roche ± humide	Roche saturée
Sens de déplacement	↓ et → (berges)	↓	→
Echelle	0,1 à 1 m	1 à 10 m	10 m à plusieurs km

Sur cette base, il a été fait une distinction entre la vulnérabilité de la ressource et la vulnérabilité de l'exutoire qui peut être naturel (source) ou anthropique (pompage sur un forage), [BRGM, 2009] :

- la **vulnérabilité de la ressource** doit permettre de caractériser la vulnérabilité du transfert potentiel du contaminant au sein de la zone d'infiltration jusqu'à la surface de la zone saturée et quantifier ainsi la plus ou moins grande facilité qu'aura un polluant de pénétrer jusqu'au réservoir aquifère. Il s'agit de caractériser des zones qui influencent la qualité de l'eau d'un aquifère sur toute l'étendue de son bassin d'alimentation, soit de manière permanente (bruit de fond constitué par une pollution diffuse), soit accidentelle (anticipation sur les conséquences). Elle prend donc principalement en compte les caractéristiques du transfert vertical.
- la **vulnérabilité de l'exutoire** (source ou captage) est caractérisée en prenant en considération en plus les caractéristiques du transit et horizontal dans la zone saturée jusqu'à l'exutoire du système. Il s'agit dans ce cas-là d'apprécier la façon dont le polluant s'évacue du réservoir aquifère une fois que celui-ci est atteint. Elle est fonction de l'inertie du système et de l'importance de la réserve en eau de celui-ci.

La méthodologie d'études sur le système de la Touvre se fera donc en prenant en compte ces deux paramètres :

- **Appréciation de la vulnérabilité de la ressource par l'étude des zones d'infiltration préférentielle.** Elle se fera à partir des inventaires des indices karstiques de surface qui conditionne l'infiltration des eaux superficielles dans le sol et l'éventuelle pénétration d'un polluant. Elle se basera sur les données spéléologiques (inventaire, topographie, surveillance de cavités...), karstologiques (travaux de thèse) et les travaux de reconnaissance ou de prise en compte de l'aléa karstique (voies routières, études géotechniques...).
- **Appréciation de la vulnérabilité de l'exutoire** par l'exploitation des traçages hydrogéologiques permettant de caractériser le transfert d'un éventuel polluant dans la zone saturée jusqu'à l'exutoire. Elle se basera sur les traçages existants.



2.3.2 Méthodologie appliquée et hypothèse retenue

La cartographie de la vulnérabilité sera élaborée par une analyse multicritères. La réalisation de cette phase s'appuiera sur la méthodologie développée par le BRGM.

- Vernoux J.F., Wulleumier A., Dorfliger N. (2007b). Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses
- Clotaire CATALOGNE (Irstea) et al. Guide pour la délimitation et la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque d'Aires d'Alimentation de Captages à transferts mixtes.

Les méthodes mises en œuvre pour la détermination de la vulnérabilité sont des méthodes dites « de pondération et d'indexation des paramètres (PCSM) ».

Chaque index (paramètre influant sur la vulnérabilité intrinsèque) est affecté d'une pondération (coefficient multiplicateur). Ce système de pondération permet d'attribuer une importance relative plus importante à un paramètre par rapport aux autres dans l'évaluation générale de la vulnérabilité des eaux souterraines.

L'indice de vulnérabilité peut varier de 1 à 10 pour chacun des paramètres, défini en fonction d'intervalles de valeur. Plus la valeur de l'indice est petite, plus faible est la vulnérabilité à la contamination. Les intervalles de valeur pour chacun des paramètres seront définis après examen de l'éventail de valeurs pour chaque paramètre de chaque aquifère rencontré sur le projet, ceci afin d'éviter une mauvaise répartition des classes de valeur et de vulnérabilité.

Si les informations collectées ou discrétisables sont effectivement cartographiées, les cartes nécessaires à la méthode seront élaborées sous SIG et feront l'objet d'une requête avec application du calcul de l'indice global de vulnérabilité de la méthode concernée. Ces cartes, de même que la carte de vulnérabilité, seront fournies au comité de pilotage et validée lors de la réunion.

Une analyse sur le degré de validité et de fiabilité de la carte produite à partir des données disponibles sera effectuée pour chaque paramètre pris en compte (valeurs, représentation spatiale...).

Chaque critère sera renseigné et spatialisé à une échelle du 1/25 000 et ou compatible avec l'AAC étudié par les ingénieurs et techniciens intervenant sur le terrain. Ce travail sera préparé sous la forme d'une base de données SIG.

Ces cartes de critères seront réalisées à l'aide des données existantes et des données collectées sur le terrain lors des investigations complémentaires.

Compte tenu de la contribution des pertes dans l'alimentation du karst, il est proposé une double approche de la vulnérabilité :



- Tout d'abord, une approche globale sur les bassins versants hydrologiques amont (Bandiat et Tardoire). La méthodologie s'apparente à celle des prises d'eau de surface. Elle a été développée par le CEMAGREF ou l'AEAG dans le cadre des études BAC,
- Ensuite, une approche spécifique sur le périmètre Grand Karst à l'aide de la méthode appropriée (PAPRIKA).

L'approche PAPRIKA est retenue comme méthode de référence par les guides nationaux et permet de disposer d'une méthode de cartographie standardisée, permettant notamment une meilleure prise en compte des transits rapides locaux liés aux axes de drainage, qui constituent une des particularités de l'aquifère karstique. Pour toute référence, on se basera sur le guide suivant :

- Dörfliger N., Plagnes V. (2009) : Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques. Guide méthodologique de la méthode PaPRIKa. BRGM RP-57527-FR.

Dans le cadre de cette mission, l'application de cette méthode paraît indispensable afin d'identifier sur le terrain les seules zones sensibles sur lesquelles vont s'appliquer des prescriptions.

Il sera proposé de n'appliquer la méthode PAPRIKA qu'aux seules zones présentant des risques de pollution diffuse. Par exemple, les zones de forêts domaniales où aucun traitement n'est effectué seront exclues.

L'établissement des cartes PAPRIKA Ressource et PAPRIKA Captage permettra de préciser les résultats des études précédentes et notamment de reprendre les interprétations en y incluant les résultats des traçages et donc de relativiser l'impact sur la ressource à partir de critères hydrogéologiques.

4.1.1.1. L'approche karstique dite PAPRIKA

Parmi les nombreuses approches développées dans le monde entier pour déterminer la vulnérabilité des eaux souterraines, les méthodes de cartographie à index avec pondération des critères apparaissent actuellement comme les plus pertinentes vis-à-vis des réalités de terrain.

Le principe de ces méthodes est basé sur le choix de critères caractérisant la vulnérabilité du milieu, eux-mêmes divisés en une gamme d'index. Un système de pondération est également introduit entre les critères traduisant leur importance relative les uns par rapport aux autres.

La vulnérabilité peut ainsi être appréciée par croisement de critères cartographiques simples (morphologiques, pédologiques, géologiques, structuraux et hydrogéologiques). L'objectif est d'identifier les zones où des pollutions ont potentiellement les temps de transferts les plus courts vers le captage à travers la zone d'infiltration et la zone noyée.



La méthode **PaPRIKa** (acronyme de « **P**rotection des **a**quifères **k**arstiques basée sur la **P**rotection, le **R**éservoir, l'**I**nfiltration et le degré de **K**arstification ») constitue l'évolution de la méthode RISKE. Elle constitue un outil de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères et des systèmes karstiques permettant, soit de caractériser la vulnérabilité de la source ou du captage en vue de délimiter des périmètres de protection, soit de caractériser les bassins d'alimentation des captages dans une démarche de protection prioritaire des captages vis-à-vis des pollutions diffuses.

PaPRIKa résulte de la prise en compte des méthodes EPIK et RISK (1 et 2) ainsi que des nombreux développements qui ont eu lieu au niveau européen au cours de la dernière décennie. Elle a fait l'objet d'un guide BRGM – ONEMA en 2010 et est développée par l'Unité Mixte de Recherche (UMR) SISYPHE de l'université Pierre et Marie Curie PARIS VI.

La méthode **PaPRIKa** est une méthode multicritères (4 principaux et 3 sous-critères) de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère karstique pour laquelle deux critères caractérisent la structure (P et R) et deux autres le fonctionnement (I et Ka). Chacun de ces quatre critères est défini dans le chapitre ci-dessous.

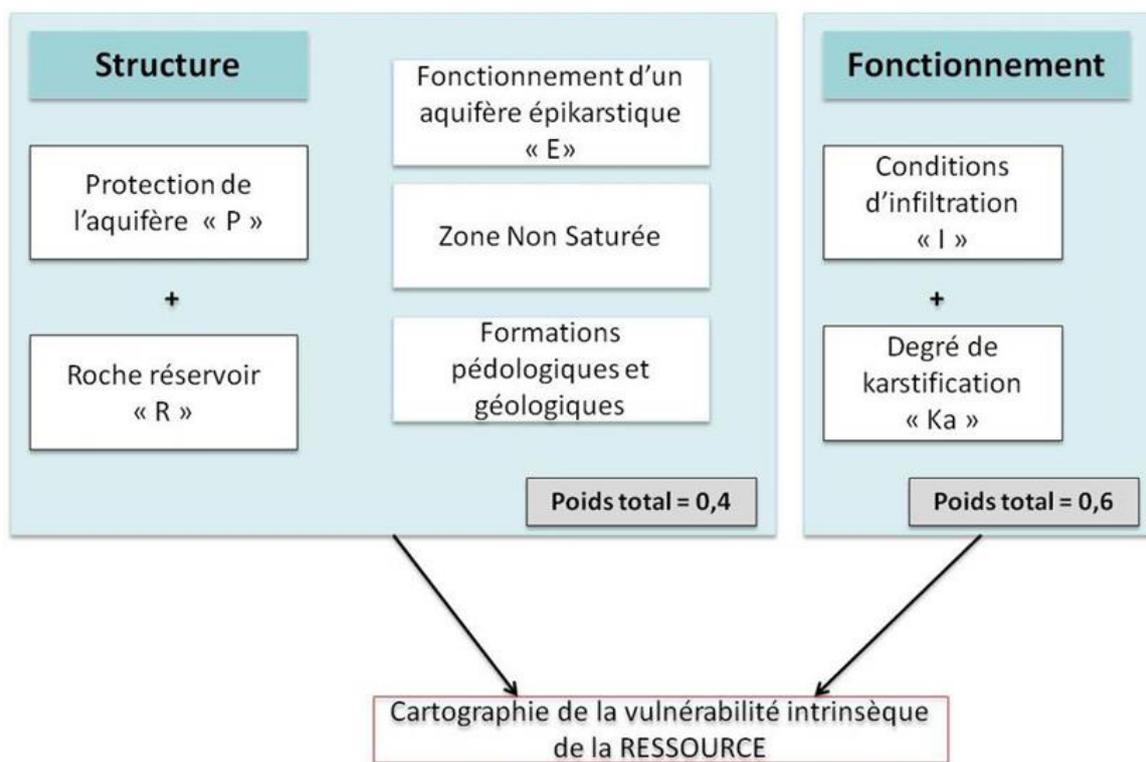


Figure 4: Conceptualisation du karst dans la méthode PaPRIKa

Les cartes sont établies avec cinq classes de vulnérabilité, 0 étant la plus faible et 4 la plus forte. La vulnérabilité du captage (source ou forage) est cartographiée à partir des mêmes critères, P, R, et Ka.



Tableau 2: Classification de la vulnérabilité finale PaPRIKa

Valeurs indice	Classe	Vulnérabilité
3,2 – 4	4	Très élevée
2,4 – 3,19	3	Elevée
1,6 – 2,39	2	Modérée
0,8 – 1,59	1	Faible
0 – 0,79	0	Très faible

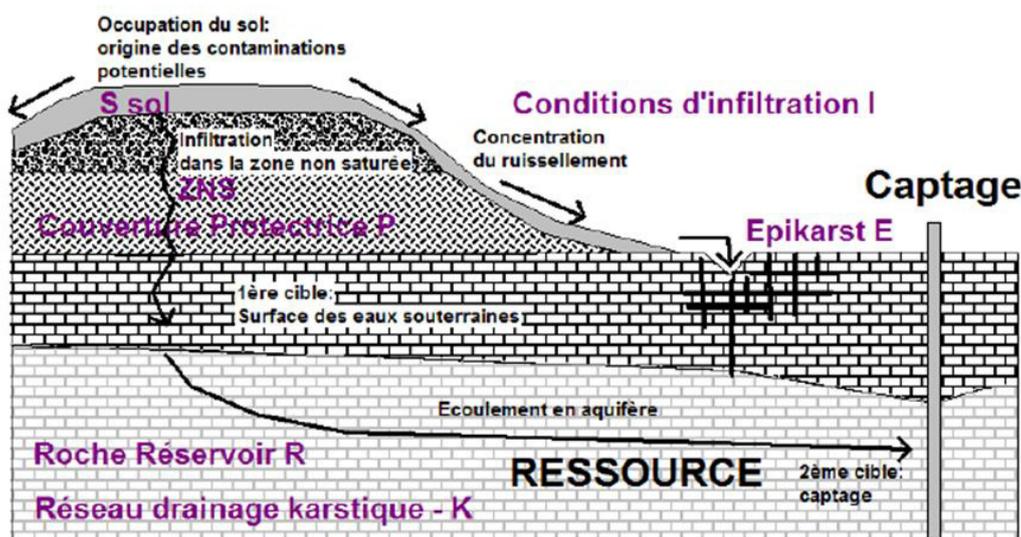


Figure 5: Schéma conceptuel d'un aquifère karstique avec le positionnement des différents critères (d'après COST 620, Zwahlen et al.2004) (source : BRGM RP-57527-FR)

L'acquisition des données pour la Touvre nécessaires à la cartographie de la méthode PaPRIKa se fera:

Sur le terrain pour les sous-critères et critères P, R et I (en croisement avec les données bibliographiques) :

• **Protection P comprenant 3 sous-critères (S, E, ZNS) :**

- **Sol S:** sondages à la tarière en différents points pour évaluer l'épaisseur, la nature et la texture du sol (nous avons prévu 1 semaine de sondages pédologiques avec en moyenne 15 à 20 sondages par jour). Ces sondages pédologiques seront positionnés en fonction des principales unités pédologiques disponibles sur le site **GISSOL** (Groupement d'Intérêt Scientifique Sol) de l'INRA qui gère le système d'information sur les sols de France avec notamment la base de données **DONESOL** (base de données



structurant et regroupant les données des profils pédologiques et des informations spatiales des Unités Cartographiques et Typologiques de Sols de France).

- **Epikarst E** : observation sur le terrain pour évaluer son épaisseur et sa continuité latérale ainsi que de la position des sources perchées ;
- **Réservoir R** : observation de la lithologie et de la fracturation sur les affleurements de la roche réservoir. Si la fracturation ne peut pas être observée sur les affleurements de la zone d'étude, le travail se fera sur des affleurements en dehors de la zone étudiée ;
- **Infiltration I** : inventaire des points d'infiltration préférentielle (pertes, avens, dolines, lapiaz..) ;

☐ Par le traitement des données issues de Base de données ou de séries mesurées :

- **Infiltration I** à l'aide d'un Modèle Numérique de terrain (MNT), au pas de 25m pour le calcul des pentes sur tout le bassin d'alimentation et pour la délimitation des bassins d'alimentation de chaque perte ou aven ;
- **Pour le critère P** :
 - Zone non saturée ZNS : extrapolation de l'épaisseur de la ZNS à partir de l'altitude de la source et de la topographie (MNT),
 - Sol S : Extraction et traitement à partir des bases de données Corine Land Cover, Agreste et des cartes d'occupation des sols disponibles ;
- **Pour le critère Karstification Ka** : le type de fonctionnement sera évalué à partir de l'analyse des chroniques hydrométriques (débit des sources ou niveaux piézométriques) et hydrochimiques disponibles. Les vitesses de restitution de traceurs artificiels seront aussi utilisées
- **Pour la carte PaPRIKa captage** : calcul d'isochrones à 12h, 24, 36h et 48h pour chaque point de captage recensé.

Chaque critère de la méthode sera cartographié à l'aide du logiciel de système d'information géographique.

Nous évaluerons la sensibilité du modèle en nous appuyant sur le modèle bayésien (méthodes statistiques bayésiennes reposant sur le théorème de Bayes) de robustesse. Nous ordonnerons à l'échelle de chaque AAC les paramètres auxquels le modèle est le plus sensible. Globalement, la sensibilité du modèle à chaque variable dépend de la robustesse de l'indice, et de la pondération associée :

	Poids faible	Poids fort
Indice robuste	Peu sensible	Sensible
Indice fragile	Sensible	Très sensible



4.1.1.2. L'approche « Eaux Superficielles »

La méthodologie a été développée dans le guide « Délimitation des aires d'alimentation de captages en eaux de surface et caractérisation de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions agricoles diffuses par les pesticides » élaboré par l'Irstea-en 2011.

Le principe est le suivant : lorsqu'une molécule de polluant est déversée sur le bassin versant des ruisseaux du Bandiat ou de la Tardoire, deux modalités de transfert vont apparaître ;

- la 1ère qui est la facilité avec laquelle il va atteindre le ruisseau. Cette dimension latérale du transfert dépend de plusieurs paramètres (voir figure suivante) dont le ruissellement, les pentes du versant, la distance de la berge à laquelle il est appliqué, l'état du sol, l'existence de drainage agricole, etc...). C'est ce que nous avons appelé la vulnérabilité de la ressource Vr.
- la 2ème qui est la facilité avec laquelle le polluant va être véhiculé dans le lit du ruisseau jusqu'au captage. Cette dimension longitudinale dépend bien entendu de la distance hydraulique entre tous points du réseau hydrographique et le captage ainsi que l'état du lit du ruisseau (présence de barrage, ripisylve élaborée qui va jouer un rôle épuratoire...). Il s'agit de la vulnérabilité du captage Vc.

Un croisement est alors fait entre la vulnérabilité (discréditée sur l'ensemble du bassin versant en zone de 1 faiblement vulnérable à 4 fortement vulnérable).

Classes de vulnérabilité

Classe	Valeurs indice	Vulnérabilité
4	> 10°	Très élevée
3	7 - 10°	Elevée
2	3 - 7°	Modérée
1	1,5 - 3°	Faible



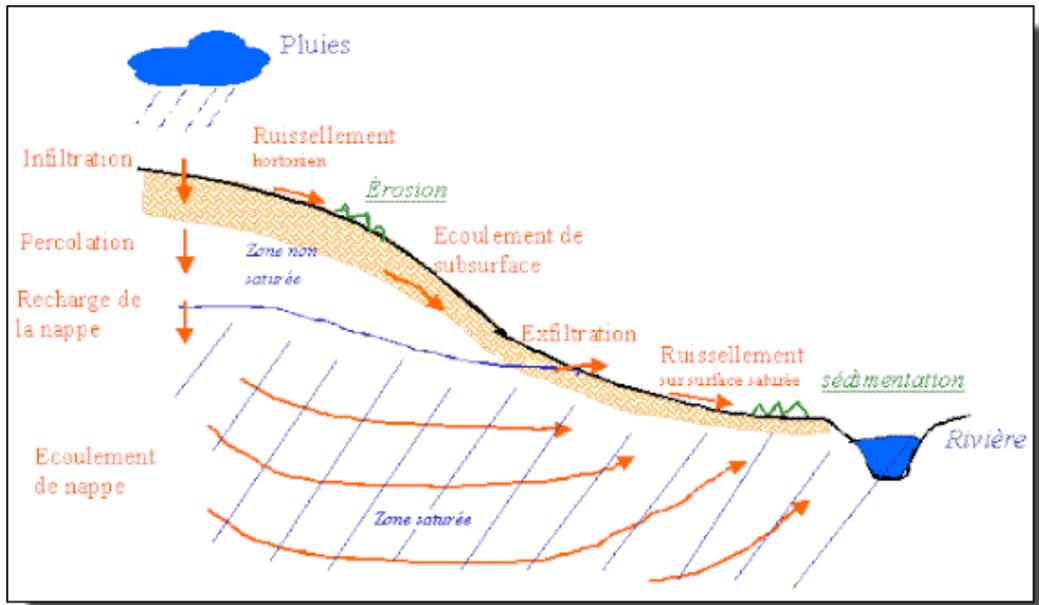


Figure 6: Modalité de transfert d'un polluant sur le versant d'un ruisseau



Ces critères définis dans la définition de la vulnérabilité sont alors assemblés en une moyenne pondérée pour définir :

- VR : la vulnérabilité de la ressource. Elle sera dépendante de 4 critères dont la pente, l'occupation du sol, l'érosivité des sols.... Elle représente l'accessibilité d'une particule polluante au cours d'eau.
- VC : la vulnérabilité du captage (ici le transfert dans le ruisseau vers la perte). Elle sera dépendante des critères de transfert d'une pollution. Ici, la vulnérabilité de la ressource est reprise, combinée à la notion de distance au captage. C'est le temps de transfert (mobilité) de la particule polluante jusqu'au captage.

Le résultat est une carte de hiérarchisation de la vulnérabilité globale, à l'échelle du bassin versant.

2.4 Données nécessaires

Le présent chapitre liste les principales données à acquérir pour :

- Définir la typologie de l'aquifère dont dépend la méthode à mettre en œuvre ;
- Délimiter les bassins d'alimentation des captages ;
- Caractériser leur vulnérabilité.

Ces données concernent :

- Le contexte géologique ;
- Les caractéristiques du captage ;
- Le contexte hydrogéologique ;
- La qualité de l'eau ;
- La vulnérabilité intrinsèque.

Ces données seront synthétisées dans un tableau présenté en page suivante :



Tableau 3: Exemple de Tableau de synthèse des données à collecter

Nature des données disponibles		Sources des données
Contexte du captage	Identité du captage : nom, indice BDSS, gestionnaire, propriétaire Localisation (département, commune, coordonnées Lambert) Situation administrative (PPC, autorisation/déclaration/code environnement, Santé publique) Coupe(s) géologique(s) Coupe(s) technique(s) (type d'ouvrage, profondeur, diamètre, équipement, NS) Diagnostic de l'état des ouvrages (diagraphties, diagnostic caméra, autres...) Courbe caractéristique des ouvrages (essais par paliers) Conditions de pompage (débit moyen journalier, débit moyen annuel, cycles de pompage.) Existence et caractéristiques d'autres ouvrages proches (autre puits abandonné, piézomètres,...)	Collectivité Collectivité, DDT ARS BRGM Visite, fermier... Collectivité, fermier. Collectivité, fermier. Collectivité, fermier.
Données climato	Stations météo ; localisation Contexte climatologique Précipitations moyennes mensuelles, annuelles Evapotranspiration Bilan hydrologique	Météo France Météo France Météo France Météo France Météo France
Données hydrographiques	Caractérisation physique des cours d'eau (distance au captage, position/aquifère, caractérisation de l'état Caractérisation hydrologique des cours d'eau (chroniques de débits, débits moyens, débit d'étiage, débits de Données sur les échanges potentiels nappe-eaux superficielles (relations nappe/rivière, plans d'eau, lacs de Risque d'inondation (fréquences, hauteurs d'immersion.)	IGN, MNT, BD DREAL, DDT BRGM, divers DREAL, DDT
Contexte géologique	Données géologiques générales (stratigraphie, lithologie,...). Coupes géologiques interprétatives Données structurales (photo-interprétation, études structurales) Cartographie des éléments karstiques (dolines, pertes, ...) et épikarst	BRGM BRGM BRGM, divers Visite, BRGM, autre
Aquifère(s) capté	Code masse d'eau. Caractérisation des aquifères (typologie, profondeur, puissance, affleurements, couverture.) Identification des zones d'affleurement de l'aquifère. Nappe libre/captive Caractérisation de la couverture et de la zone non saturée (cartes agropédologiques et données de	AEAG, BRGM Visite, BRGM, divers INRA, visite
Piézométrie	Cartes piézométriques (HE, BE): gradients hydrauliques, direction des écoulements, limites d'alimentation Chroniques de suivis piézométriques Données sur les limites d'alimentation Pour les sources; chroniques de débits	BRGM, divers BRGM, divers BRGM, divers DREAL, BRGM.
Caractéristiques hydrodynamiques	Type de perméabilité, isotropie des formations géologiques Essais de pompages et paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, porosité efficace, coefficient d'emménagement), drainance, diffusité des berges... Données cinétiques en milieu continu (isochrones calculés, traçages salins...) Traçages en milieu fissuré ou karstique Données sur la délimitation de la zone d'appel des forages (ou l'aire d'alimentation pour les sources)	BRGM, divers Collectivité, BRGM, ARS Collectivité, BRGM, ARS Collectivité, BRGM, ARS
Alimentation de l'aquifère	Conditions naturelles de recharges : pluies efficaces, part d'alimentation depuis les cours d'eau, drainance Zones préférentielles naturelles de recharges (affleurements, réseaux en milieux fissurés, pertes en milieux Identification des modifications anthropiques des conditions de recharge (canaux, irrigation, bassins Biseau salé (présence, stabilité,...)	Collectivité, BRGM, ARS Visite, BRGM, spéléo IGN, CA, syndicats BRGM
Qualité de l'eau	Historique des analyses réalisées dans le cadre de l'exploitation (paramètres contrôlés, fréquence des Données sur le suivi qualitatif de l'aquifère (fluctuations saisonnières en relation avec le battement hautes Pour les sources : suivi du débit, de la conductivité et de la température en période de crue Historique de pollutions accidentelles éventuelles (nature de la pollution, origine, ...) Cartes hydrochimiques	Collectivité, ARS AEAG, BRGM ARS ARS AEAG
Vulnérabilité de la ressource	Cartes de vulnérabilité intrinsèques existantes Cartographie de l'occupation des sols Grilles IDPR Pentes ; MNT Cartographie de la RU Bilans hydriques	Divers RGA, Corine Land BRGM BD ALTI IGN INRA



3 Collecte des données

3.1 Documents consultés

Les données consultées sont rassemblées dans le tableau suivant :

Tableau 4: Liste des documents consultés

n°	Année	Auteur	Référence	Sources de la donnée
1	2003	BRGM	Les sources de la Touvre Synthèse des connaissances	ANTEA
2	2013	ANTEA	Etude comparative des scénarios de protection du captage AEP des sources de la Touvre. Rapport de phase 1: "Préparation"	ANTEA
3	2019	ANTEA	Etude de la valeur du débit objectif d'étiage de la Touvre à Foulpougne - Etape 2: Analyse de l'hydrologie	ANTEA
4	2015	David Labat et Alain Mangin	Rapport d'expertise des arguments liés au karst de La Rochefoucauld mobilisés pour le choix des valeurs de DOE et DCR sur la Touvre à Foulpougne	ANTEA
5	2016	HYDRO INVEST	Modèle prédictif et gestion par anticipation Etiage 2016 - Karst de La Rochefoucauld	ANTEA
6	2015	EAUCEA	Modèle de Simulation Hydrologique. Modèle PGE Charente appliqué à la Touvre Période 1970-2010	ANTEA
Carte géologiques, coupes et notices (1/50 000)				
7		BRGM	Carte géologique de la France 1/50 000, feuille 710 MONTBRON	
8		BRGM	Carte géologique de la France 1/50 000, feuille n°709 ANGOULEME	
9		BRGM	Carte géologique de la France 1/50 000, feuille n°711 CHALUS	
10		BRGM	Carte géologique de la France 1/50 000, feuille n°686 LA ROCHEFOUCAULD	
11		BRGM	Carte géologique de la France 1/50 000, feuille n°685 MANSLE	
12		BRGM	Carte géologique de la France 1/50 000, feuille n°687 ROCHEOUART	

3.2 Sites internet consultés

La liste des sites internet consultés dans le cadre de l'étude est fournie dans le tableau suivant :

Thème	Organisme	Contenu	Adresse
Qualité des eaux	ADES	Eau souterraine: données eau brute (qualitomètres)	https://ades.eaufrance.fr/
Géologie et Hydrogéologie	ADES	Données piézométriques	https://ades.eaufrance.fr/
	BRGM	Cartes géologiques et notices correspondantes	https://infoterre.brgm.fr/
Cartographie	IGN	BD Carthage	https://files.opendatarchives.fr/professionnels.ign.fr/
Cartographie	IGN	BD Topo RGE IGN	https://files.opendatarchives.fr/professionnels.ign.fr/
Cartographie	IGN	BD Carto IGNs administrative	https://files.opendatarchives.fr/professionnels.ign.fr/
Cartographie	Eau France	Référentiel hydrogéologique BDLISA	https://bdlisa.eaufrance.fr/
Cartographie	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, SOES	Occupation du sol CORINA LANDCOVER 2018	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/corine-land-cover-occupation-des-sols-en-france/
Cartographie	Google – BD ortho	BD Ortho IGN	https://www.google.cn/maps/vt?lyrs=s@189&g cn&x={x}&y={y}&z={z}
Cartographie	IGN (RGE Alti)	MNT IGN 25m	https://files.opendatarchives.fr/professionnels.ign.fr/
Cartographie	IGN (RGE Alti)	MNT IGN 5m	https://files.opendatarchives.fr/professionnels.ign.fr/
Cartographie	Data.gouv	Registre parcellaire Graphique PAC	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/registre-parcellaire-graphique-rpg-contours-des-parcelles-et-ilots-culturaux-et-leur-groupe-de-cultures-majoritaire/
Hydrologie	Hydroportail	Données stations débits: sur La Touvre	https://hydro.eaufrance.fr/
	Hydroportail	Données stations débits: autres affluents	https://hydro.eaufrance.fr/

Tableau 5: Liste des bases de données consultées



3.3 Synthèse des principales données collectées

La synthèse des données collectées est rassemblée en suivant :

	Nature des données disponibles	Source des données
Contexte géologique	Données géologiques générales (stratigraphie, lithologie,...).	BRGM
	Coupes géologiques interprétatives	BRGM
	Données structurales	BRGM, Hydro-Invest
	Cartographie des éléments karstiques (dolines, pertes, ..) et épikarst	ANTEA
Contexte du captage	Identité du captage : nom, indice BDSS, gestionnaire, propriétaire	ANTEA
	Localisation (département, commune, coordonnées Lambert)	ANTEA
	Situation administrative (PPC, autorisation/déclaration/code environnement, Santé publique)	ANTEA
	Coupe(s) géologique(s)	BRGM
	Coupe(s) technique(s) (type d'ouvrage, profondeur, diamètre, équipement, NS)	ANTEA
	Diagnostic de l'état des ouvrages (diagrapies, diagnostic caméra, autres...)	ANTEA
	Conditions de pompage (débit moyen journalier, débit moyen annuel, cycles de pompage.)	Hydroportail
Données hydrographiques	Existence et caractéristiques d'autres ouvrages proches (autre puits abandonné, piézomètres,...)	ANTEA
	Caractérisation physique des cours d'eau (distance au captage, position/aquifère, caractérisation de l'état des berges.)	IGN, MNT, BD CARTHAGE
	Caractérisation hydrologique des cours d'eau (chroniques de débits, débits moyens, débit d'étiage, débits de pointe.)	Hydroportail
	Données sur les échanges potentiels nappe-eaux superficielles (relations nappe/rivière, plans d'eau, lacs de gravières.)	BRGM, ANTEA
Aquifère(s) capté	Caractérisation des aquifères (typologie, profondeur, puissance, affleurements, couverture.)	BRGM
	Identification des zones d'affleurement de l'aquifère. Nappe libre/captive	BRGM, ANTEA
	Caractérisation de la couverture et de la zone non saturée (cartes agropédologiques et données de perméabilité), nature et épaisseur de la zone non saturée	Sondages pédologiques (à réaliser)
Contexte hydrogéologique	Cartes piézométriques (HE, BE): gradients hydrauliques, direction des écoulements, limites d'alimentation	ANTEA
	Chroniques de suivis piézométriques	ADES
	Données sur les limites d'alimentation	ANTEA
	Pour les sources; chroniques de débits	Hydroportail
	Type de perméabilité, isotropie des formations géologiques	BRGM, divers
	Essais de pompages et paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité, porosité efficace, coefficient d'emménagement), drainage, diffusité des berges...)	BRGM, divers
	Traçages en milieu fissuré ou karstique	ANTEA
	Données sur la délimitation de la zone d'appel des forages (ou l'aire d'alimentation pour les sources)	ANTEA
	Conditions naturelles de recharges : pluies efficaces, part d'alimentation depuis les cours d'eau, drainage pour aquifères multicouches	ANTEA
	Zones préférentielles naturelles de recharges (affleurements, réseaux en milieux fissurés, pertes en milieux karstiques....	Visite, spéléo
	Identification des modifications anthropiques des conditions de recharge (canaux, irrigation, bassins d'infiltration, exutoires de drainages agricoles...)	IGN, ANTEA
Qualité de l'eau	Historique synthétique des analyses réalisées pour les ouvrages en exploitation	ANTEA
	Evolution et fluctuations de la qualité de l'eau, fluctuations hautes eaux/basses eaux, paramètres in situ	Eau souterraine: données eau brute (qualitomètres): Site ADES Eau souterraine: données de pesticides sur l'eau potable: ARS Eau superficielle: station de mesure sur rivières: EPTB
	Pour les sources, suivi du débit, de la conductivité et de la température en période de crue	Eau souterraine: au captage de la Touvre: ARS
	Interprétation (faciès, anomalies, indices d'infiltration ou de pollution)	ANTEA
	Mesure de contrôle de la qualité de l'eau (paramètres contrôlés, fréquence des mesures)	ADES, ARS, EPTB
	Causes probables de pollution (si pollution il y a eu)	ANTEA
	Cartes hydrochimiques (si elles existent)	ANTEA
	Cartes de vulnérabilité intrinsèques existantes	N/A
Vulnérabilité de la ressource	Cartographie de l'occupation des sols	RGA, Corine Land Cover/IFEN,CA
	Grilles IDPR	BRGM
	Pentes ; MNT	BD ALTI IGN
	Bilans hydriques	ANTEA

Tableau 6: Synthèse des données consultées



Aucune donnée de zonages sur l'assainissement collectif / non collectif suggérée dans la collecte de données par l'Agence de l'Eau n'a pu être répertoriée (après de nombreuses demandes auprès des SPANC, Chambre d'Agriculture et autres services publics).



4 Synthèse des données

4.1 Contexte géographique

Les sources de la Touvre (constituées de 3 résurgences principales) sont situées à 7 km à l'est d'Angoulême, dans le département de la Charente (16).

Les coordonnées géographiques (Lambert 93) du captage sont les suivantes :

Indice BSS	7093X0020
X	486 264
Y	6 510 765
Z (mNGF)	+45

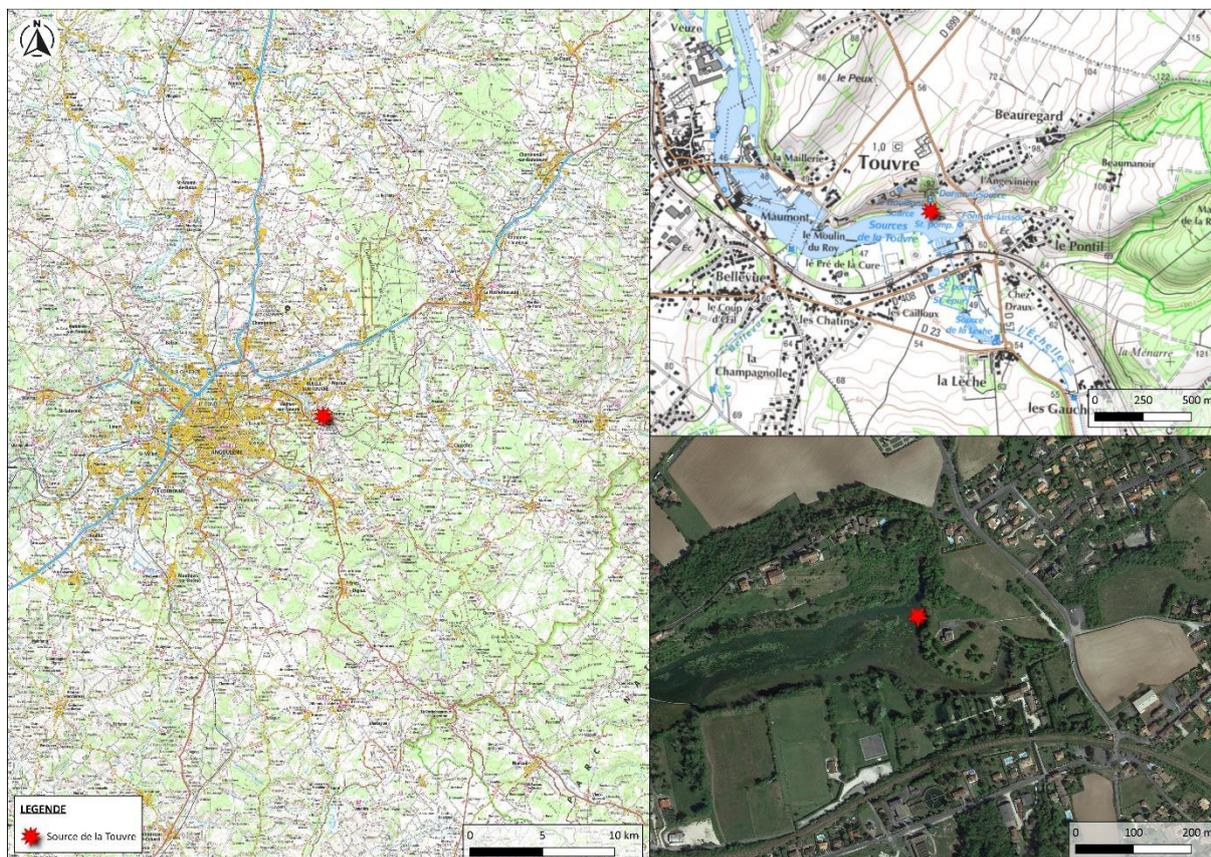


Figure 7: Localisation des sources de la Touvre (Source: Géoportail)



4.2 Captage de la Touvre

Les sources de la Touvre sont constituées par 3 exutoires principaux :

- Le Bouillant (code BSS : 07093X0020, Z=45 m), vaste zone effondrée de 40 m de long sur 30 m de large et profonde de 15 m. L'eau y arrive par un conduit de 2,5 m de diamètre où les vitesses d'écoulement peuvent atteindre 2 m/s.
- Le Dormant (code BSS : 07093X0077, Z=45 m), situé dans le prolongement du Bouillant auquel il se raccorde en profondeur. La vasque de 27 m de profondeur est fermée par des éboulis à travers lesquels l'eau émerge.
- La Font de Lussac (code BSS : 07093X0066, Z=47 m), située sur une diaclase NS ouverte sur 25 m de longueur et qui se raccorde à des puits verticaux.

Le drainage du système karstique s'effectue aussi par les sources de la Lèche (*dont le nom provient d'une appellation purement historique, sans être reliée à un cours d'eau*) situées à environ 600 m en amont (code BSS : 07093X0083, Z=50 m). Ces sources sont composées d'une fontaine bouillonnante de deux mètres de diamètre et de nombreuses venues d'eau diffusant à travers les alluvions.

Le captage de la Touvre est constitué par 2 siphons (composé d'une crépine pour l'un et 3 crépines pour l'autre) placés dans le griffon de la source du Bouillant entre 3 et 5 mètres de profondeur. Une station de reprise est située directement à proximité des sources. La station de pompage et de traitement se situe route du Pontil, de l'autre côté de la voie SNCF, en rive gauche de la Touvre. Elle présente une capacité de pompage de 2 200 m³/h et se compose de deux files:

- File 1500 (file récente) - 4 pompes de 530 m³/h à 10 m de HMT chacune :
- File 1000 (file ancienne) - 3 pompes de 500 m³/h à 7 m de HMT chacune :

Une nouvelle unité de traitement sera mise en fonctionnement en mai 2023 : 2 files de traitement de 1 000 m³/h chacune, avec 3 niveaux de pompage (1300 m³/h à 86 m, 670 m³/h à 112 m de HMT, 160 m³/h à 143 m de HMT).

Les **Figure 1** et **Figure 8** présentent la localisation géographique des 3 sources et de la station de reprise.





Figure 8: Vue aérienne des sources de la Touvre ainsi que de la Station de reprise (Source: Géoportail)

Les volumes prélevés au captage de la Touvre, pour la production d'eau potable, depuis 2001, sont présentés au tableau suivant :

Tableau 7: Volumes annuels prélevés au captage de la Touvre (Source : Grand Angoulême)

Année	Volumes (m ³)
2001*	7 997 894
2002*	7 858 411
2003*	8 040 089
2004*	8 187 412
2005	8 338 430
2006	8 058 634
2007	7 136 772
2008	7 079 693
2009	7 524 235
2010	7 312 068
2011	7 159 946
2012	7 234 322
2013	6 747 753
2014	6 886 964
2015	7 150 589
2016	7 188 407
2017	7 570 397
2018	7 671 407
2019	7 522 207
2020	7 778 340
2021	8 002 840

*volumes produits et non volumes prélevés.



En 2021, le service public d'eau potable de Grand Angoulême a prélevé 8 002 840 m³ au droit des sources de la Touvre, représentant 85,8% du volume global produit par l'exploitant.

Ressource	Volume prélevé en 2020 (m ³)	Volume prélevé en 2021 (m ³)	Variation en %	Indice d'avancement de la protection de la ressource en 2021 (en %)
Braconne				
Forage de Chamarande	750 821	837 589	11,56	80
Forage de Maine Joizeau	243 868	276 602	13,42	80
Périmètre 2019				
Grange à l'Abbé (Nappe alluviale de la Charente)	0	8 846	-	60
Source de la Touvre	7 778 340	8 002 840	2,89	60
Source du Ponty	170 271	201 327	18,24	60
TOTAL	8 943 300	9 327 204	4,29	62



4.3 Contexte géologique

Les sources de la Touvre drainent le massif de calcaires du Jurassique moyen et supérieur (voir **Figure 9**) qui s'étend du Nord-Est au Sud-Est des résurgences sur les marges du Massif Central.

Ces sources émergent à travers la formation imperméable du Kimméridgien supérieur. Le toit de la formation aquifère (calcaires récifaux du Kimméridgien inférieur) serait situé à une vingtaine de mètres de profondeur dans la source de Font de Lussac et à une trentaine de mètres dans le Bouillant. Cette émergence se fait à la faveur de la faille de l'Echelle qui met en contact des calcaires avec les marnes du Kimméridgien supérieur.

Au cours des temps géologiques, cette zone de faille constitue la particularité de cette marge active. En effet, cette région à l'Est d'Angoulême restera, durant tout le Jurassique moyen et la plus grande partie du Jurassique supérieur, des zones correspondant à des récifs, de caractère grossier, détritique, bioclastique voire à caractère argilo-marneux.

Cette permanence d'une sédimentation de haut-fond (la Rochefoucauld, forêts de la Braconnie et de Bois-Blanc) constitue une spécificité locale qui explique le développement du karst et donc l'existence des sources. La sédimentation grossière, franchement carbonatée, qui se développe sur près de 500 mètres d'épaisseur, favorise la dissolution et la création des vides karstiques.

Vers l'Ouest, les eaux souterraines sont bloquées d'une part, à la faveur des failles, par les marnes argileuses du Kimméridgien supérieur et d'autre part par le passage à des faciès argileux au sein même des séries du Bajocien au Kimméridgien inférieur.

La **Figure 9** et la **Figure 10** montrent de façon schématique la géologie du secteur des sources de la Touvre.



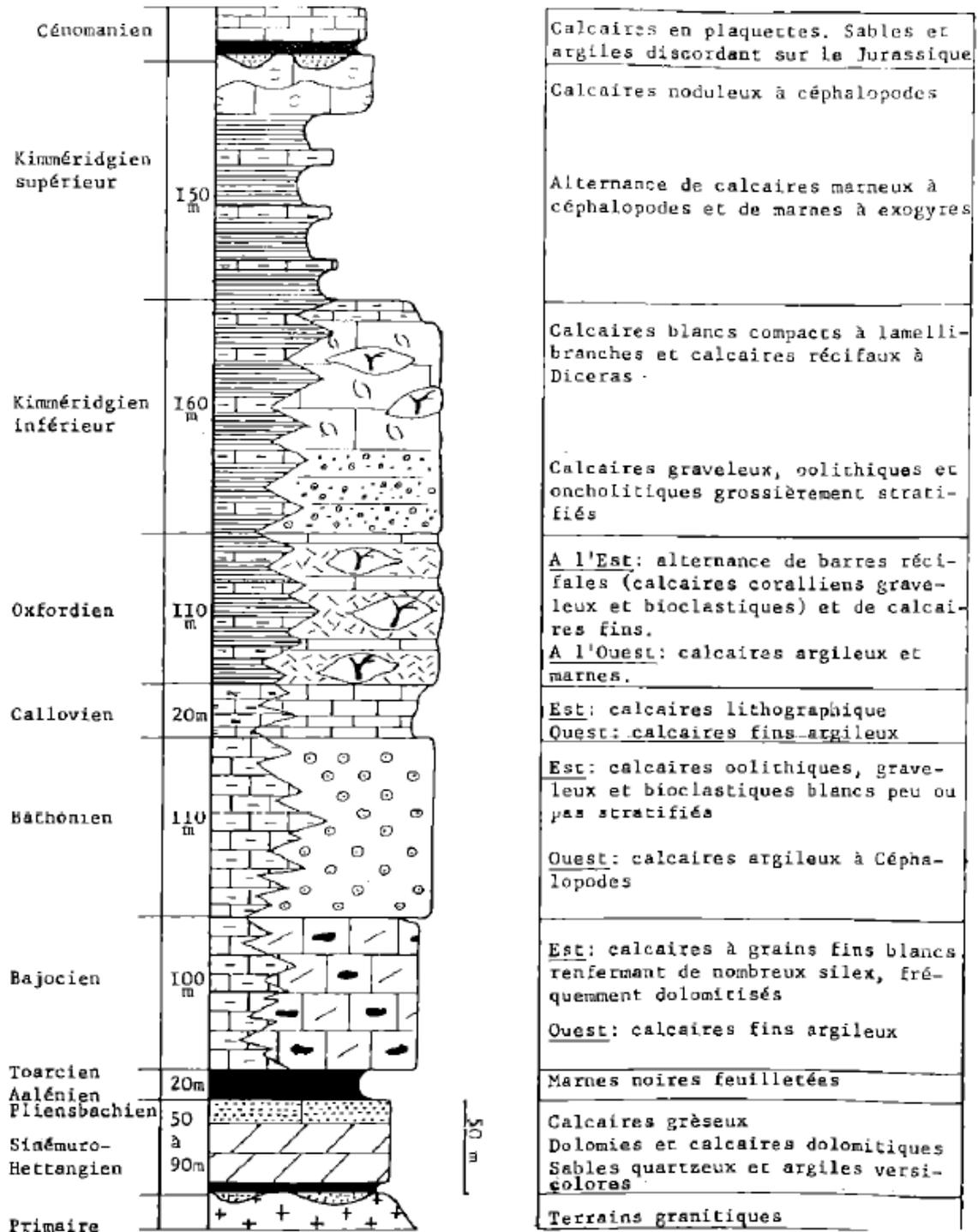
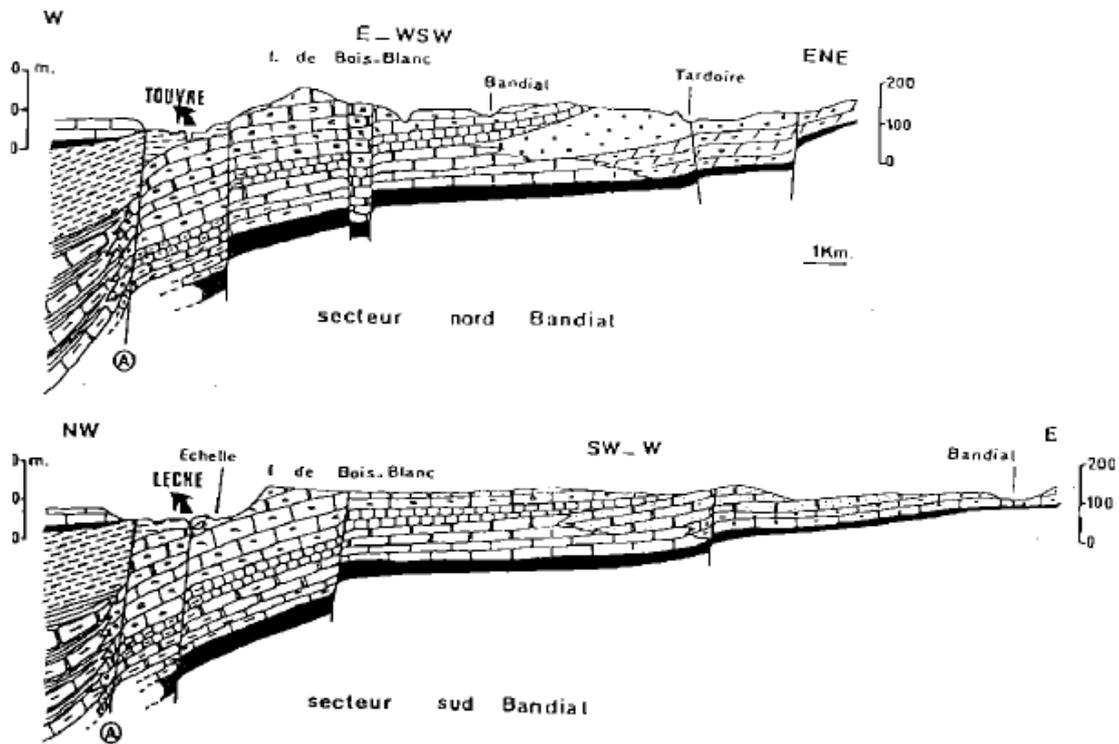


Figure 9: Log géologique synthétique extrait de la Thèse de D. Rouillet





LEGENDE

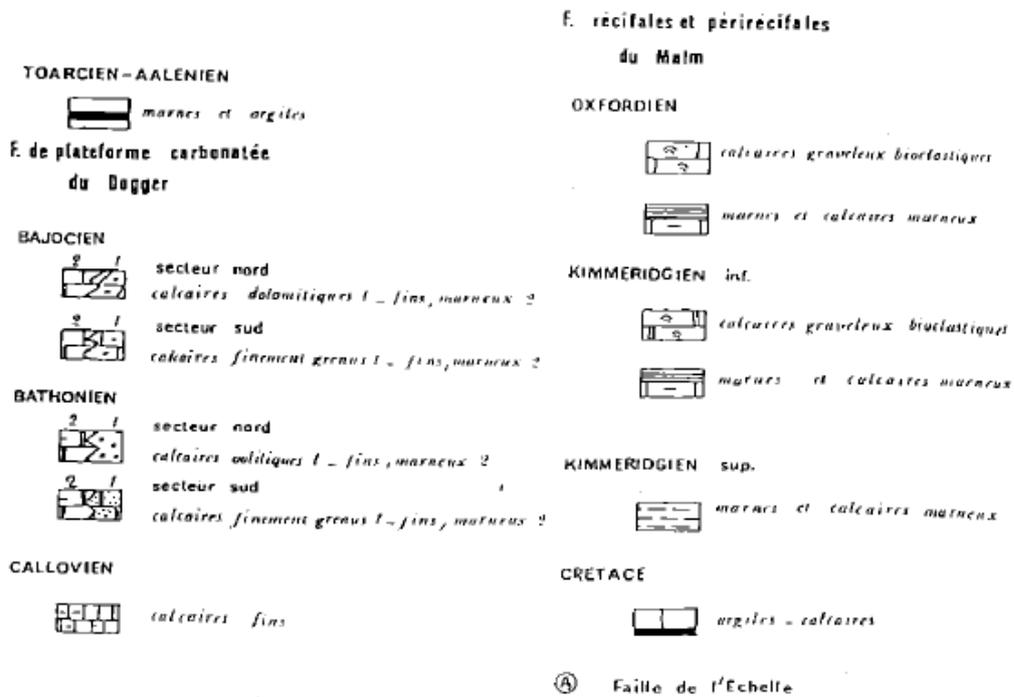
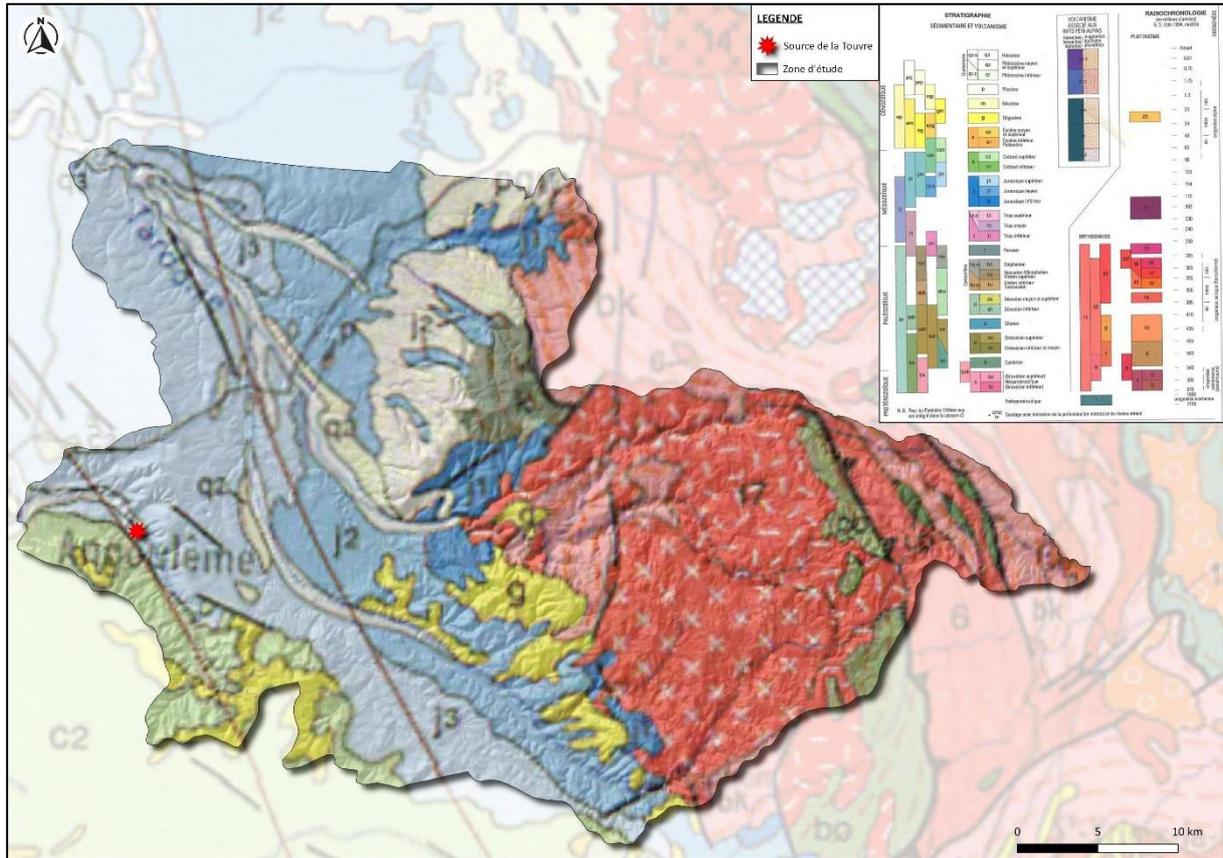


Figure 10: Coupes géologiques extraites de la thèse de D. Rouiller





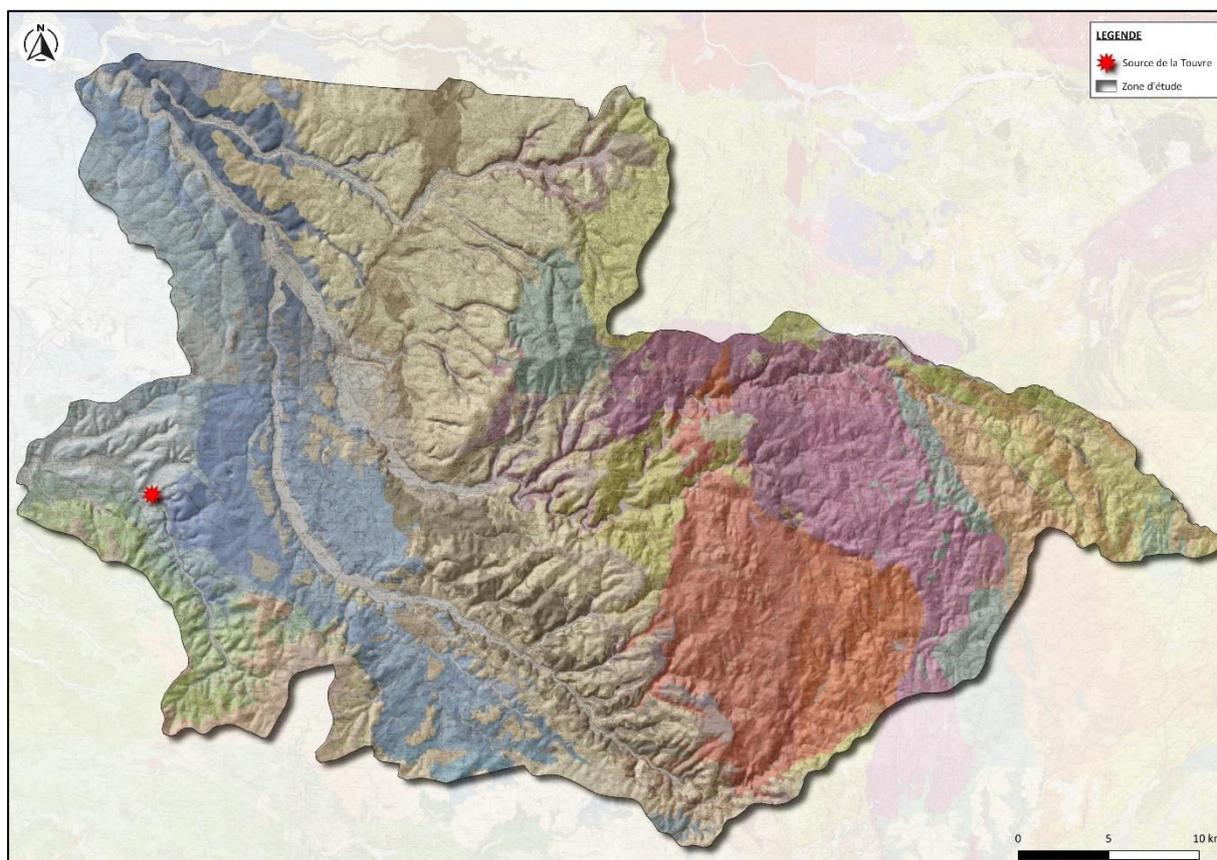


Figure 11: Répartition de la géologie sur le territoire étudié

4.4 Contexte pédologique

Les données pédologiques récoltées sont issues d'un SIG fourni par l'EPTB et renseignent sur les types de sols d'une grande partie du territoire étudié. Les secteurs où les données sont manquantes correspondent aux zones amont des rivières Tardoire et Bandiat (Figure 12).



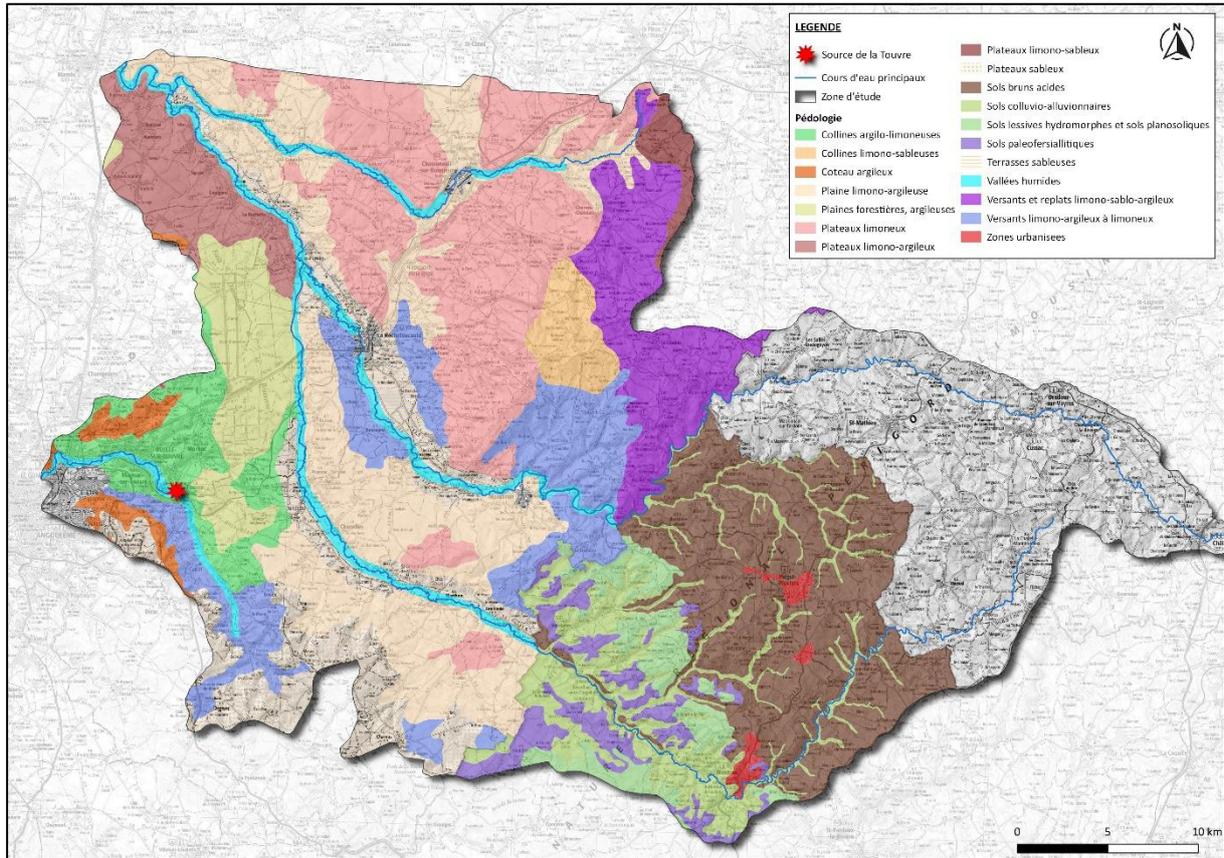


Figure 12: Données pédologiques récoltées



4.5 Contexte hydrologique

Le réseau hydrographique du territoire étudié inclue la rivière de la Touvre dans sa partie amont, ainsi que les rivières des bassins versants en amont des sources de la Touvre :

- Le Bandiat
- La Bonnieure
- La Tardoire
- L'Echelle

Le Bandiat et la Tardoire prennent leur source dans les contreforts du Massif Central (départements Dordogne et haute Vienne) et se perdent en totalité ou en partie (en fonction de la période) lorsqu'elles rentrent en contact avec le massif calcaire karstique. Les pertes débutent à Feuillade sur le Bandiat et à Montbron sur la Tardoire. Les pertes principales ont été identifiées à l'aval de Bunzac pour le Bandiat et à l'aval de Rancogne pour la Tardoire. En hautes eaux, le Bandiat rejoint la Tardoire qui se jette dans la Bonnieure qui, elle, est pérenne.

Selon le processus normal d'un karst, dès que les rivières quittent les terrains imperméables pour aborder les régions de calcaire fissuré, des pertes se produisent. Actuellement, le creusement atteint un tel degré d'évolution que les eaux des deux rivières se perdent en totalité jusqu'à 9 mois par an.

La Bonnieure est située au nord du territoire étudié et est un affluent de la Charente. Elle prend sa source à Roumazières-Loubert au nord-est du territoire étudié et s'écoule en direction de l'ouest pour se jeter dans la Charente à Mansle. Juste avant son confluent avec la Charente, elle reçoit sur sa rive gauche les eaux de la Tardoire.

L'Echelle est un ruisseau affluent de la Touvre et sous-affluent de la Charente, situé au sud du territoire étudié. Il prend sa source près de Dignac et s'écoule en direction du nord-ouest pour se jeter dans la Touvre au niveau de la source Font de Lussac.

Les 4 bassins versants hydrographiques de la Touvre, du Bandiat, de la Bonnieure et de la Tardoire sont présentés à la Figure 13.



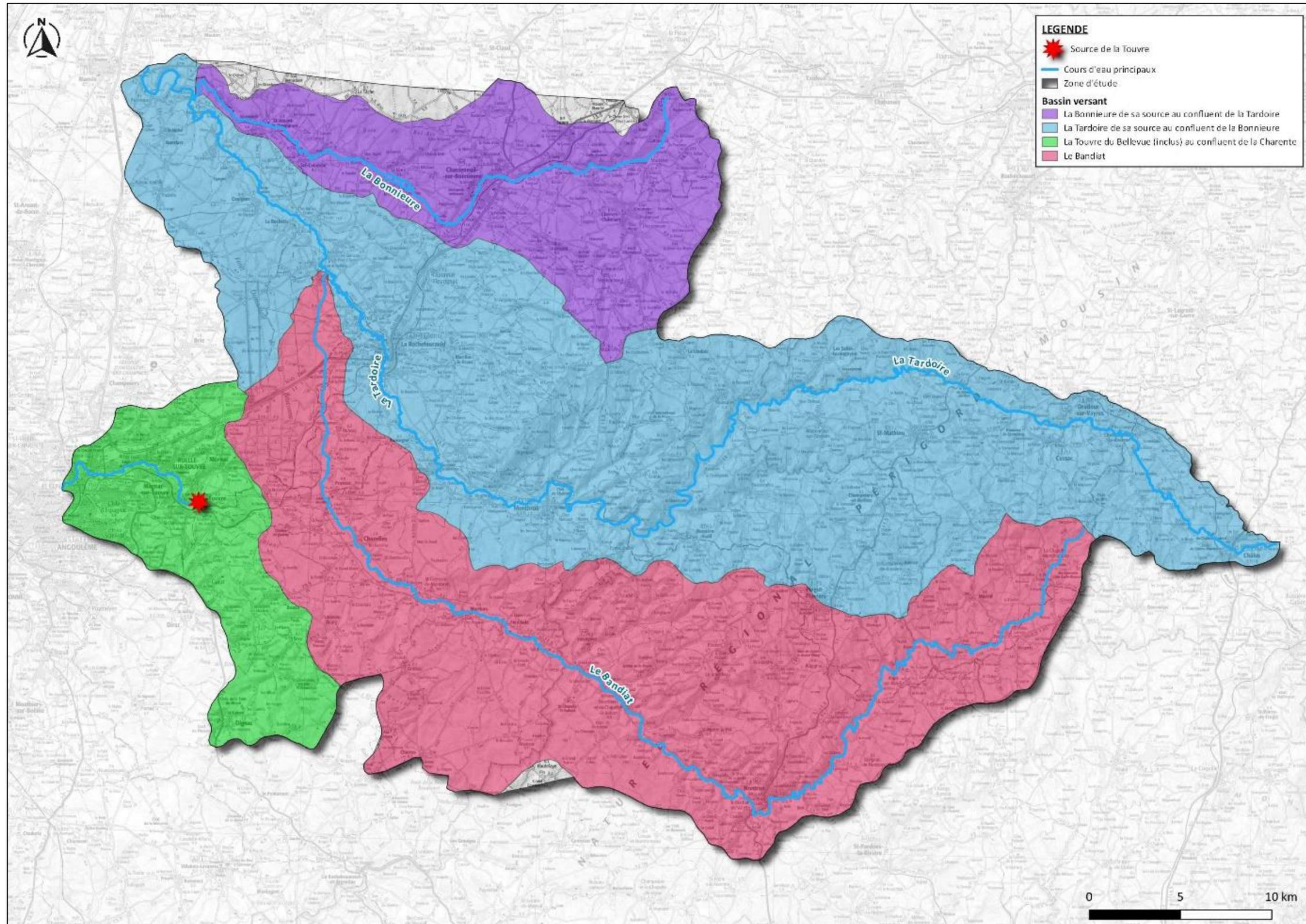


Figure 13: Localisation des rivières principales et leurs bassins versants hydrographiques



4.6 Contexte hydrogéologique

4.6.1 Contexte hydrogéologique général

Du point de vue de l'hydrogéologie régionale, 3 aquifères principaux sont présents dans le secteur d'étude, soit de bas en haut :

- un aquifère "infra-toarcien", plus ou moins productif dont les relations avec l'aquifère supra-toarcien sont assez mal connues (cf. Thèse de D. RAMBAUD, 1979 [14]),
- l'aquifère karstique du Jurassique moyen et supérieur,
- des placages plus ou moins épais de recouvrement tertiaire sablo-argileux qui peuvent renfermer des nappes d'eau et jouer un rôle hydrogéologique non-négligeable.

Les sources de la Touvre sont les exutoires de l'aquifère karstique du Jurassique moyen et supérieur du karst de la Rochefoucauld qui s'étend sur environ 750 km², principalement vers l'est. Ces résurgences émergent à la faveur de la faille de l'Echelle qui met en contact les calcaires récifaux aquifères avec les marnes du Kimmeridgien inférieur (Figure 14).

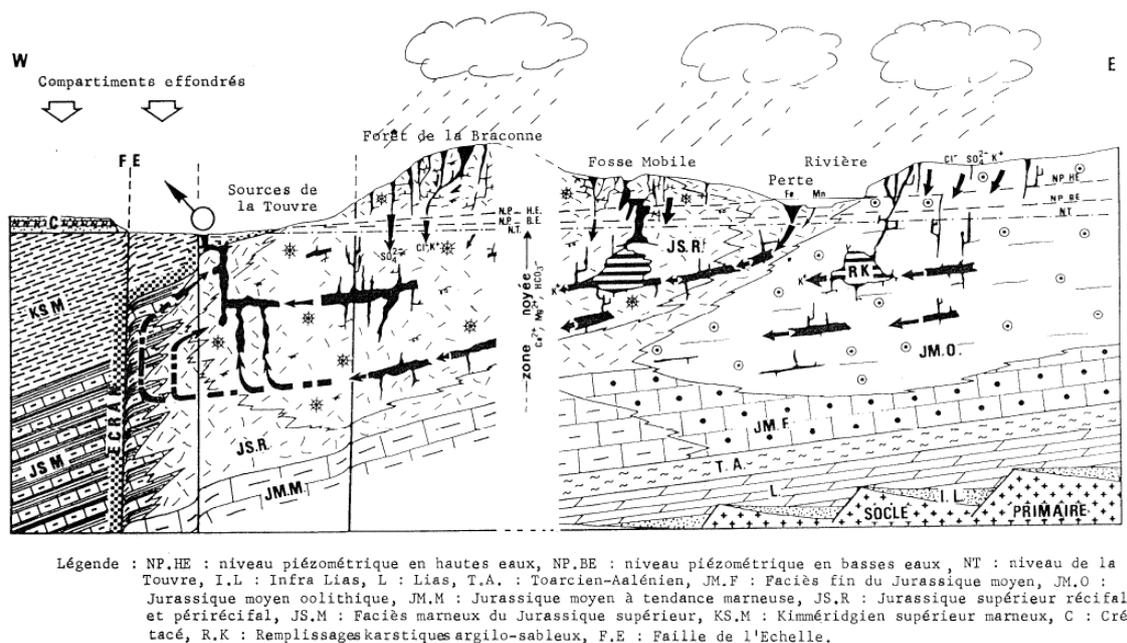


Figure 14: Schéma synthétique des sources de la Touvre extrait de la thèse de D. ROUILLER

Morphologie générale de l'aquifère

Le karst de la Rochefoucauld est un système binaire où on distingue deux domaines :

- Le « grand karst » où affleurent les terrains du Dogger au Kimmeridgien (zone d'alimentation directe de 750 km²) ;
- Les bassins versants amont des cours d'eau qui traversent le karst, essentiellement le Bandiat et la Tardoire, situés sur le socle cristallin. Ils représentent une superficie en amont du karst de 740 à 830 km², ce qui porte à 1 580 km² l'aire d'alimentation des sources de la Touvre.



Les vallées « karstiques » du Bandiat, de la Tardoire et de la Bonnieure sont constituées de deux parties :

- La partie aval (c'est-à-dire creusée dans les calcaires) à morphologie karstique et dont les ruisseaux sont perturbés par plusieurs pertes karstiques qui en assèchent l'écoulement plusieurs mois par an.
- Les vallées non karstiques, creusées dans des roches imperméables dont l'écoulement est pérenne et contrôlé par le ruissellement.

Les sous-bassins versants hydrologiques et hydrogéologiques déterminés par ANTEA dans les études antérieures sont présentés à la Figure 16 :

L'alimentation des sources de la Touvre et de La Lèche se fait principalement d'une part, par infiltration directe sur l'impluvium calcaire et d'autre part, par les pertes des rivières. Le réseau karstique se développe d'une manière générale à l'Est de la Touvre. Il s'étend au Nord jusqu'à la limite de l'Oxfordien (Jurassique supérieur) à proximité de Coulgens, il atteint au Sud le Kimméridgien (Jurassique supérieur) près de Bouëx.

La coupe hydrogéologique schématisée du secteur de la Touvre est présentée à la Figure 15 :

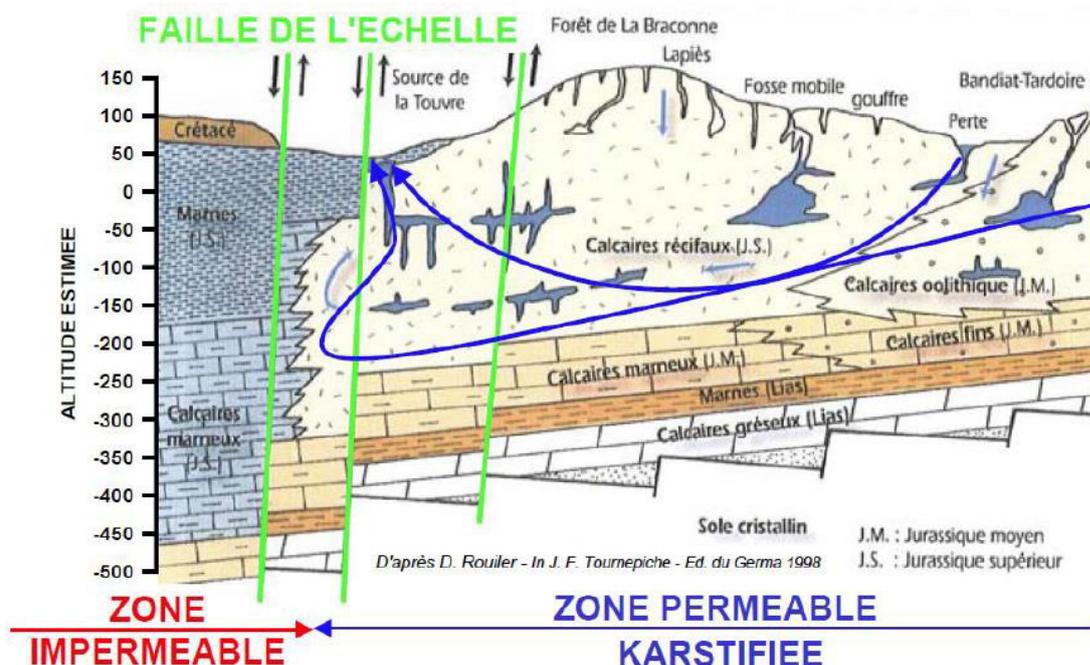


Figure 15: Coupe hydrogéologique interprétative Nord-Est Sud-Ouest à travers le bassin de la Touvre (Sources DDAH-Mise de la Charente – Hydro Invest)



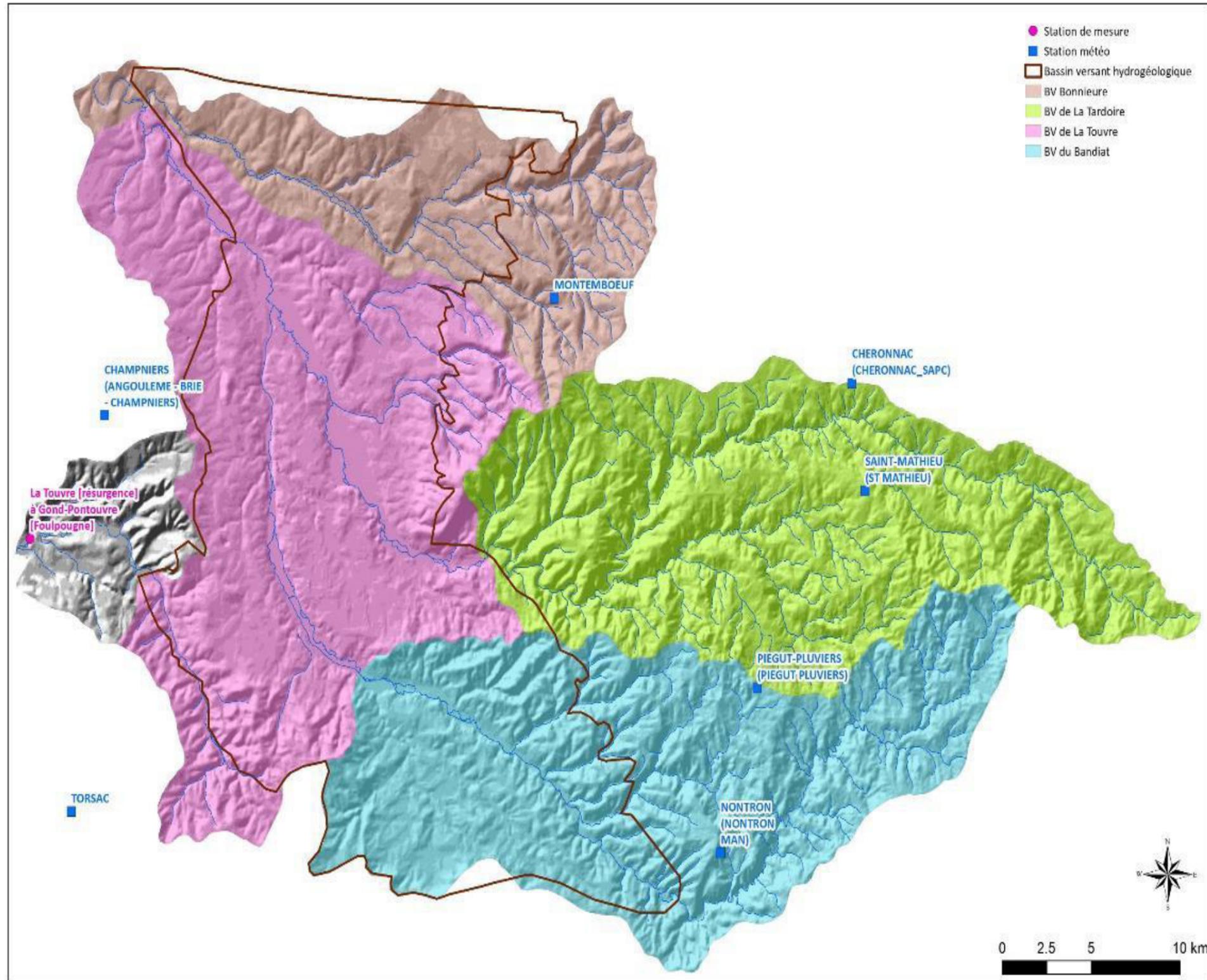


Figure 16 : Décomposition du bassin d'alimentation du captage de la Touvre en sous-bassin versants hydrologiques et hydrogéologiques (source ANTEA)



4.6.2 Délimitation de l'impluvium karstique

La bibliographie permet de fixer les limites de l'impluvium karstique. La Figure 17 présente l'impluvium karstique tel que défini dans les études antérieures (thèses de Rouiller et Larocque, études préalables aux périmètres de protection du captage de la Touvre, définition du Débit d'Objectif d'Etiage).

4.6.2.a.1 Limites verticales

Toutes les formations géologiques d'âge Bajocien à Kimméridgien, du massif à l'Est des sources sont susceptibles de développer des réseaux karstiques. Ainsi, l'aquifère est bien circonscrit géologiquement avec une base correspondant aux marnes imperméables du Toarcien-Aalénien et avec un toit affleurant ou sub-affleurant sous les formations tertiaires et quaternaires (alluvions), voire secondaires (Cénomaniens).

Si le karst est assez bien connu dans sa partie superficielle grâce au travail des spéléologues et coupes géologiques des sondages, il est quasiment inconnu dans ses parties profondes. En dehors des émergences, qui ont été explorées jusqu'à plus de 140 m de profondeur, certains forages témoignent de l'existence de réseaux profonds : -210 m NGF à Brie, -282 m NGF à Chamarande, -183 m NGF à Bouex. Ainsi le développement de zones transmissives voire capacitatives profondes est très vraisemblable.

Un prolongement de l'aquifère a été évoqué vers l'Ouest (au-delà de la faille de l'Echelle) mais n'a jamais été prouvé scientifiquement.

4.6.2.a.2 Limites latérales

Le massif calcaire constituant l'aquifère est assez bien délimité.

La limite orientale (amont) correspond au passage des marnes du Toarcien-Aalénien aux calcaires du Bajocien. Si cette limite est bien cartographiée dans les zones où ces terrains affleurent directement (vallées principalement), le contact n'est pas visible sur les plateaux et doit être extrapolé sous les formations superficielles. Au Sud-Est, le Jurassique est recristallisé et la limite devient relativement incertaine.

La limite occidentale (aval) correspond à la limite des faciès récifaux du Jurassique supérieur. Au-delà, vers l'Ouest, les formations oxfordiennes et kimméridgiennes deviennent plus marneuses et peu aquifères.

Au Sud-Ouest, la limite correspond à la faille de l'Echelle, qui se poursuit sous le recouvrement crétacé jusqu'au département de la Dordogne.

La limite septentrionale est donnée par les cartes piézométriques (voir section 3.3.6) et correspond à une crête piézométrique qui sépare les bassins versants des rivières du Son-Sonnette et de la Bonnière.



La limite méridionale correspond également à une crête piézométrique, coïncidant avec la ligne de séparation des eaux entre le bassin du Bandiat-Charente et celui de la Nizonne-Dordogne.

Ce territoire ainsi délimité correspond à l'extension maximale du bassin d'alimentation karstique des sources.

D'autres sources bibliographiques peuvent être évoquées :

- une alimentation par remontée des eaux de l'Infra-Toarcien, phénomène sur lequel nous ne disposons d'aucune donnée ;
- une alimentation par les nappes contenues dans les formations sablo-argileuses du Tertiaire.

Ces modes d'alimentation n'ont jamais été démontrés scientifiquement et ne seront pas pris en compte dans la modélisation du système karstique.

4.6.2.a.3 Délimitation des impluviums non karstiques

Plusieurs impluviums non karstiques alimentent le système karstique de la Touvre.

Les deux principaux sont ceux du Bandiat et de la Tardoire qui sont deux rivières prenant leur source dans les contreforts du Massif Central et qui se perdent en totalité ou en partie (en fonction de la période) lorsqu'elles rentrent en contact avec le massif calcaire karstique. Les pertes débutent à Feuillade sur le Bandiat et à Montbron sur la Tardoire.

Les pertes principales ont été identifiées à l'aval de Bunzac pour le Bandiat et à l'aval de Rancogne pour la Tardoire. En juin 1968, la Tardoire perdait 0,23 m³/s entre Rancogne (maintenant Val de Tardoire) et la Rochefoucauld, et plus de 2 m³/s au Gouffre de Chez Lacoux (commune de Rivières (16)).

En hautes eaux, le Bandiat rejoint la Tardoire qui se jette dans la Bonnieure qui, elle, est pérenne.

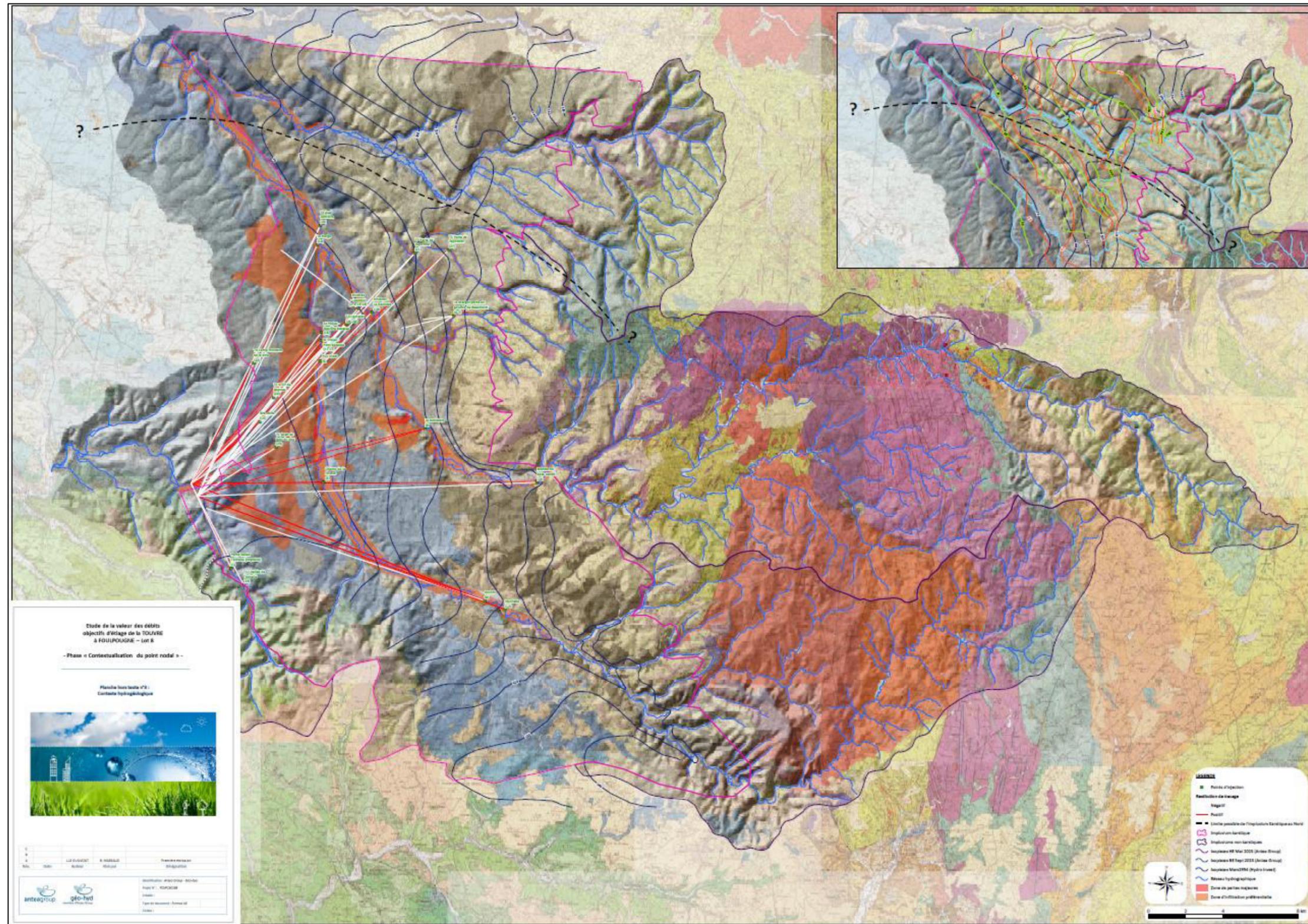
A ces apports principaux de la Tardoire et du Bandiat, il convient d'ajouter les apports plus marginaux par les autres cours d'eau :

- la Bonnieure (apports saisonniers), dont les principales pertes se situent sur les calcaires récifaux de l'Oxfordien ;
- l'Echelle (pertes diffuses entre Planche-Meunier et le village de La Lèche) et les petits cours d'eau au Nord-Est, comme la Belonne, qui se perdent totalement lorsqu'ils atteignent les affleurements des calcaires.

Ces différents impluviums non karstiques sont représentés sur la Figure 17. En termes de superficie ils représentent :

- la Tardoire : 444,75 km².
- le Bandiat : 229,13 km².
- la Bonnieure : 89,84 km².
- l'Echelle (approximatif) : 31,13 km².





4.6.2.a.4 Synthèse

En résumé, le karst de la Rochefoucauld qui alimente les sources de la Touvre est un système binaire. On distingue deux origines de l'eau :

- le « grand karst » où affleurent les terrains du Dogger au Kimméridgien. Les sources de la Touvre et la source de la Lèche sont les exutoires de l'aquifère karstique du Jurassique moyen et supérieur du karst de la Rochefoucauld qui s'étend principalement vers l'est. Ces résurgences émergent à la faveur de la faille de l'Echelle qui met en contact les calcaires récifaux aquifères avec les marnes du Kimméridgien inférieur.

La zone d'alimentation en provenance du Grand Karst correspond dans cette étude au bassin d'alimentation hydrogéologique de la Touvre.

- les bassins versants superficiels notamment le bassin versant du ruisseau de l'Echelle et les bassins versant des ruisseaux du Bandiat et de la Tardoire, situés sur le socle cristallin et dans une moindre mesure de la Bonnieure.

La zone d'alimentation en provenance des bassins versants hydrologiques correspond dans cette étude au bassin d'alimentation hydrologique de la Touvre.

4.6.3 Piézométrie et relations nappe-rivières

De nombreuses campagnes piézométriques du système karstique ont été réalisées (voir Annexe 1). L'analyse de ces campagnes permet de souligner les comportements différents entre hautes et basses eaux.

Au Nord de La Rochefoucauld, l'écoulement général de la nappe est dirigé vers le Sud et le Sud-Ouest avec un gradient hydraulique qui varie de 0,1 à 0,3 %. Dans la partie sud, les gradients sont plus faibles avec un drainage très marqué dans l'axe du Bandiat. En basses eaux, il existe un axe de drainage bien marqué de direction NO-SE au niveau de La Rochefoucauld. En hautes eaux, on constate la présence d'une crête piézométrique entre la Bonnieure et la Tardoire, traduisant vraisemblablement l'apport d'eaux de la nappe superficielle contenue dans les formations sablo-argileuses. A l'étiage, en revanche cette crête n'existe plus. Il y a vraisemblablement durant ces périodes un "décrochage" de la nappe des calcaires par rapport à la nappe superficielle et l'alimentation de la nappe du karst par la Bonnieure.

D'une manière générale, le battement de la nappe est inférieur à une dizaine de mètres dans la région de St-Ciers au Nord et dépasse les 20 m au Sud. En hautes eaux, la Tardoire se trouve au maximum à quelques mètres au-dessus de la nappe et coule jusqu'à la Bonnieure. En basses eaux, elle est nettement perchée par rapport à la nappe au niveau de la Rochefoucauld et se perd complètement aux environs de Coulgens (voire dès le gouffre de la Ramisse à Rivières).



En ce qui concerne le Bandiat, en hautes eaux, il est en relation directe avec la nappe jusqu'à Chazelles et rejoint la Tardoire. En amont de Chazelles, la rivière est perchée et alimente la nappe. En basses eaux, la nappe est à une vingtaine de mètres sous le lit du Bandiat dès Marthon (aval de Feuillade), et la rivière se perd rapidement entièrement.

La Bonnieure draine la nappe en hautes eaux alors qu'en basses eaux elle est perchée au maximum d'une dizaine de mètres par rapport à la nappe.

D'une manière générale, ces rivières sont très nettement perchées par rapport à la nappe à l'étiage (jusqu'à 20 m pour la Tardoire, 30 m pour le Bandiat, 10 m pour la Bonnieure et l'Echelle) ; en hautes eaux, la Tardoire et le Bandiat restent perchés sur leur cours amont mais sont alimentés par la nappe sur leur partie avale.

Les dernières isopièzes dessinées sur la majeure partie du territoire étudié ont été tracées par Hydro Invest en 1994. En 2015, ANTEA a tracé une piézométrie du secteur nord du karst, en hautes eaux et en basses eaux (Annexe I).

4.6.4 Indices karstiques

Un karst, comme celui de La Rochefoucauld, est associé à un certain nombre de figures géomorphologiques exokarstiques (dolines, fosses, vallées ou vallons secs, pertes) ou endokarstiques (cavités). De nombreux réseaux karstiques pénétrables continuent à être découverts par les clubs spéléologiques locaux (Association de Recherche Spéléologique, Comité Départemental de Spéléologie, Association Spéléologique Charentaise).

L'expression morphologique de l'exokarst de La Rochefoucauld est peu visible dans le paysage car assez ténu et modeste. Les formes les plus communément reconnues sont les grandes dépressions, appelées « fosses » dans la région (fosse ronde, fosse mobile...).

La majeure partie du système souterrain du karst de La Rochefoucauld se développe sous le massif forestier de la Braconne et du Bois Blanc (Trou qui Fume, la Fosse Mobile, le Bois du Clos, les grottes du Quéroy...). L'endokarst se développe « horizontalement » à proximité de la surface, entre 10 et 55 m de profondeur. Il est fréquemment comblé par des remplissages argilo-limoneux. Les réseaux labyrinthiques de galeries étroites sont typiques de la région et peuvent atteindre plusieurs kilomètres de développement (aven de Camelot : situé à l'interface entre les bassins du Bandiat et de la Tardoire). Seules trois cavités pénétrables (la Fosse Mobile, la grotte du Bois du Clos et la grotte de La Fuié) donnent accès à la zone noyée.

Lors de l'étude d'ANTEA (2015), 18 zones d'infiltration préférentielle ont été déterminées par croisement des données karstologiques (inventaire des indices karstiques) et géologiques (lithologie des formations) (Figure 18).

Les pertes les plus actives se situent aujourd'hui en aval des cours du Bandiat (Chez Roby, la Bécasse et Gros Roc) et de la Tardoire (Pelle-Buze, Lascoux, Chatelard).



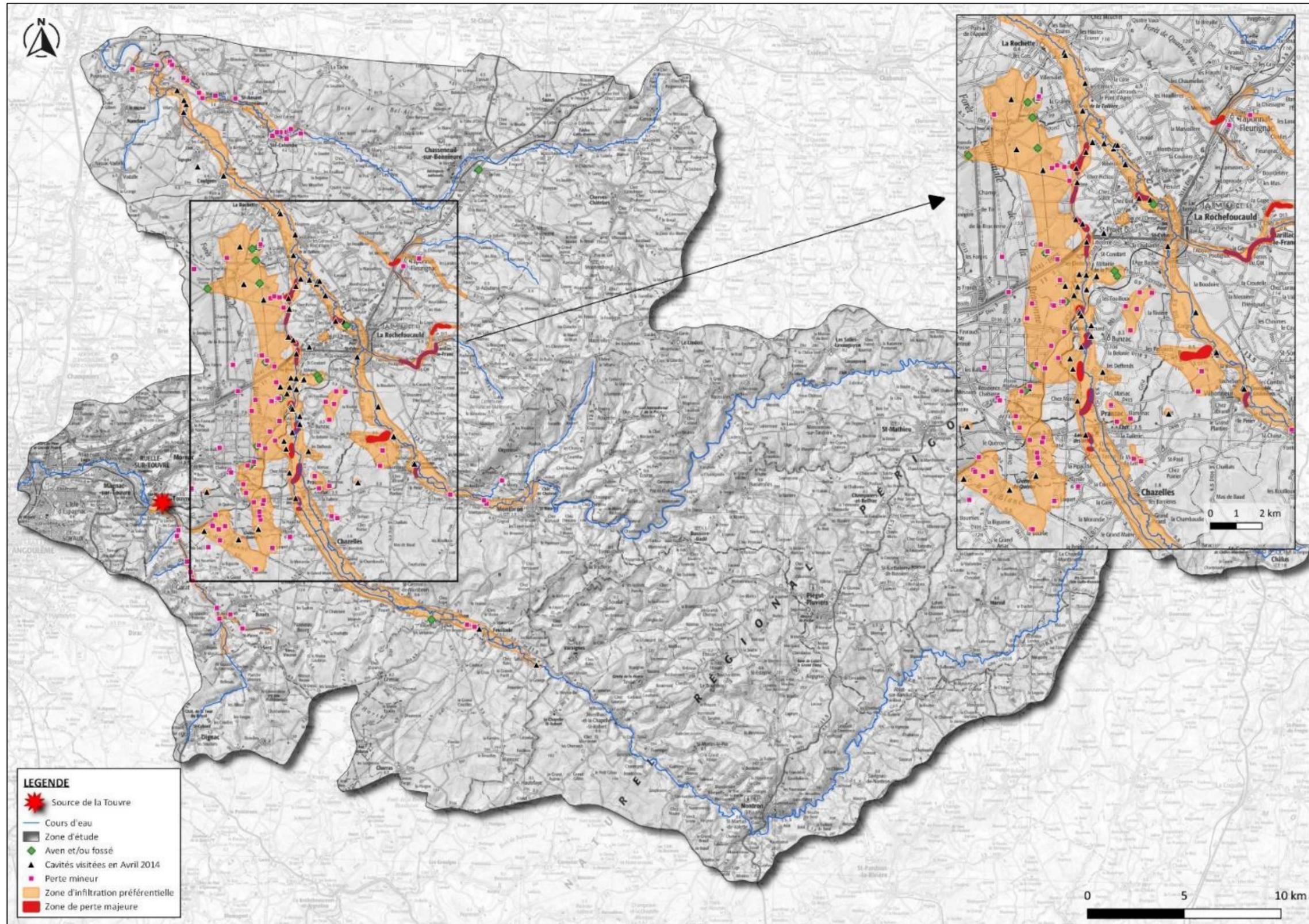


Figure 18: Synthèse des indices karstiques répertoriés dans les études antérieures (ANTEA)



4.6.5 Données de traçages (voir synthèse en Annexe 2)

Les traçages relativement nombreux ont été réalisés pour la plupart dans les années 1970 ainsi que plus récemment en 2015 dans le cadre de la définition des périmètres de protection. Ils ont permis de vérifier les relations entre les sources et les pertes des rivières.

Ils ont également montré que les 3 sources de la Touvre présentant des réactions proches, les directions d'écoulements souterrains sont dirigées d'une part de la Tardoire et du cours aval du Bandiat vers les sources de la Touvre exclusivement, et d'autre part du cours amont du Bandiat.

Les vitesses mesurées varient de 50 à 100 m/h en fonction du lieu et de l'époque d'injection plutôt 50 à 60 m/h en basses eaux et 100 à 120 m/h en hautes eaux (soit un temps de transfert global de 5 à 10 jours).

On notera les éléments suivants :

- aucun traçage n'a démontré la relation des eaux de la Bonnieure au Nord avec les sources de La Touvre ou la source de la Lèche.
- certains traçages réalisés sur les mêmes sites et peuvent présenter des relations positives ou négatives selon qu'ils sont réalisés en hautes ou basses eaux, soit à cause des conditions hydrauliques d'injection (pas d'atteinte du karst noyé par le traceur en basses eaux), soit en raison des caractéristiques locales du système karstique.
- Si les sources de la Touvre et de la Lèche sont considérées comme faisant partie du même système karstique, il ressort tout de même deux sous-ensembles plus ou moins distincts :
 - Le traçage le plus au nord ayant montré une relation positive avec la Lèche est le traçage réalisé en 1981 sur la Tardoire au niveau du gouffre de la Bossière (hautes eaux) ;
 - Les traçages réalisés sur le Bandiat amont (Gouffre de Guillot et pertes de Feuillade) répondent à la fois aux sources de la Touvre et à la source de la Lèche ;
 - les traçages dans la vallée amont de l'Echelle répondent positivement et uniquement aux sources de la Lèche.

Ces résultats montrent qu'il y a une limite fluctuante entre ces deux sous-ensembles karstiques, avec deux systèmes de drainages plus ou moins liés, probablement en fonction des périodes de hautes et basses eaux.

Ceci est faiblement marqué par la présence d'un faible axe de drainage sur la piézométrie réalisée en 1994 (hautes eaux).



4.6.6 Bilan hydrogéologique

Plusieurs auteurs ont proposé des bilans hydrogéologiques du système de la Touvre, sans toutefois aboutir aux mêmes résultats et à des calculs pertinents.

On peut citer :

- CHAMAYOU en 1976 qui évalue que le débit de la Touvre est fourni à hauteur de 60% par les pertes des rivières et à hauteur de 40% pour les eaux météoriques s'infiltrant sur le Karst (soit une infiltration efficace de 900 mm/an).
- BURGEAP a effectué un bilan entre 1973 et 1978 et fait ressortir un déséquilibre entre les entrées/sorties (qu'il attribue à l'incertitude des calculs !);
- ROUILLER dans sa thèse d'Etat, évalue à 70% la part d'alimentation provenant des pertes de la Tardoire et du Bandiat et seulement à 30% de la pluie efficace.
- Sur le cycle hydrologique 2001-2002, HYDROINVEST évalue cette part des eaux superficielles à 65%.
- Selon M. LAROCQUE, la Tardoire (débit moyen amont : 6,17 m³/s) et le Bandiat (débit moyen amont : 3,95 m³/s) participeraient à hauteur de 50 % à l'alimentation de l'aquifère.
- Un autre calcul est proposé par QUELENNEC et al en 1971 à partir de mesures réalisées sur l'année 1969. Sur les 300 Mm³ écoulés dans le Bandiat et la Tardoire en amont des pertes, seuls 70 Mm³ auraient dépassé la station installée provisoirement à Coulgens. Il se serait donc infiltré un volume minimum de 230 Mm³, soit un débit fictif moyen annuel de 7,2 m³/s. Pendant le même temps, le volume écoulé de la Touvre à Ruelle aurait été de l'ordre de 416 Mm³.

Le dernier bilan a été effectué à l'aide du modèle KARSTMOD, modèle utilisé dans le cadre de l'étude sur la définition du Débit d'Objectif d'Etiage à Foulpougne (en aval des sources de la Touvre et de la Lèche). Ce modèle s'est basé sur les données d'entrée existantes (débit à Foulpougne, précipitation et ETP à la station météorologique de Cognac...).

Le modèle a montré que le bilan ne s'équilibrait pas. En effet, le modèle simulait des débits supérieurs aux valeurs mesurées à Foulpougne ce qui veut donc dire concrètement que :

1. Soit qu'on introduit « trop d'eau » dans le modèle via les précipitations, les pertes des ruisseaux ;
2. Soit qu'on ne soustrait pas assez d'eau au modèle via les fuites (ETP, prélèvements...);
3. Soit que les débits mesurés à Foulpougne sont minorés par rapport à la réalité.

L'hypothèse émise est la non prise en compte dans le modèle d'un débit de fuites liées probablement à la méconnaissance de certaines limites du système de la Touvre. Ces pertes avaient été identifiées par ROUILLER dans sa thèse, sur deux périodes (1984-1985 et 1985-1986), à partir de la méthode des débits classés.



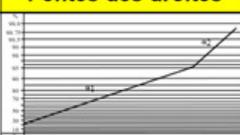
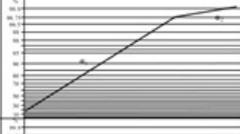
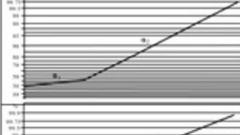
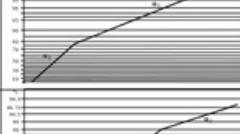
Cette méthode est construite à partir des débits moyens journaliers sur un cycle hydrologique donné. Pour la période considérée, les débits sont séparés en classes dont on calcule les fréquences cumulées (en %).

Si l'écoulement observé à un exutoire pendant une période donnée correspond aux précipitations efficaces sur la même période, la courbe cumulative est une droite. En cas de dysfonctionnement de l'aquifère (existence d'un trop-plein, fuites ou piégeage dans l'aquifère...), les points de la courbe s'écartent de l'alignement pour former une autre droite. L'objectif de l'analyse des débits classés est donc d'étudier le fonctionnement d'un système karstique par la mise en évidence de :

- de trop-pleins
- d'un impluvium fluctuant (fuites ou apports)
- d'une qualité médiocre de la station de jaugeage (fuite d'un seuil par exemple)
- des modalités d'infiltration (rôle de pertes).

Le tableau suivant résume les situations rencontrées sur un autre système karstique.

Analyse des débits classés

Rupture	Pentes des droites	Interprétation
Forts pourcentages		<ul style="list-style-type: none"> • Mise en fonctionnement de trop-plein • Fuites vers un autre système • Stockage momentané • Fuites ou débordement de la station de jaugeage lors des hautes eaux
		<ul style="list-style-type: none"> • Apports en provenance d'un autre système • La station de jaugeage prend en compte lors des crues des écoulements n'appartenant pas au système
Faibles pourcentages		<ul style="list-style-type: none"> • Constitution d'une réserve
		<ul style="list-style-type: none"> • Apports d'une réserve issue d'un cycle antérieur
Double rupture		<ul style="list-style-type: none"> • Piégeage d'une réserve lors de la décrue et restitution au cours du tarissement

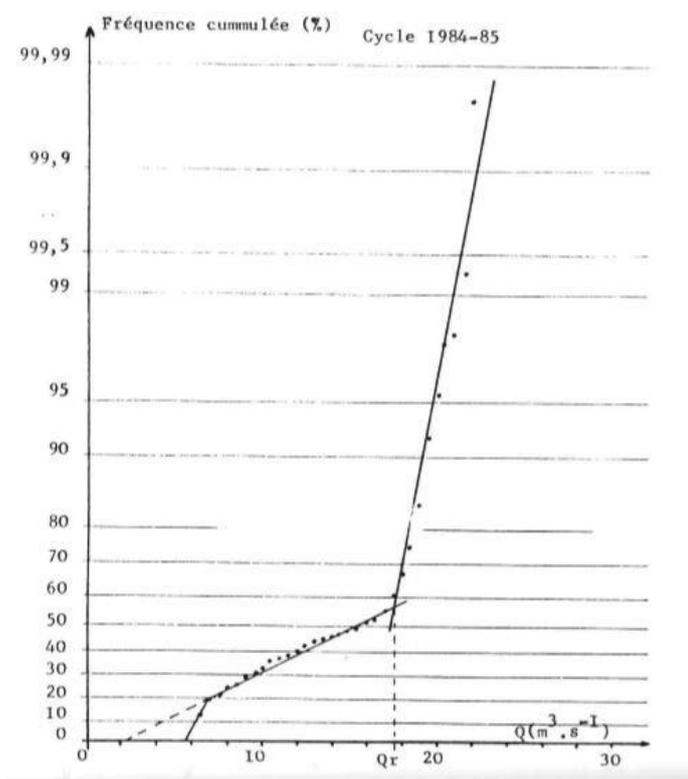
Sur la Touvre, l'analyse effectuée par ROUILLER montre que les fréquences de débits s'alignent selon deux droites, sécantes pour des débits compris entre 7 et 9 m³/s pour la partie basse et entre 14 et 18 m³/s pour la partie haute.

ROUILLER dans sa thèse traduit cela comme « *une anomalie montrant qu'une partie de l'eau qui devrait alimenter les eaux de la Touvre échappe au système aquifère* ».

Aucun autre exutoire du système de la Touvre n'ayant été reconnu jusqu'à maintenant, ce phénomène peut être lié :



- **Au recoupement de la surface topographique par le karst noyé** : ce phénomène a bien été observé par Marie LAROCQUE dans sa thèse. Elle constate en effet qu'en hautes eaux et dans le nord du bassin de la Touvre, le niveau piézométrique est supérieur à la surface topographique. De ce fait, le karst noyé fonctionne en trop-plein et alimente la Bonnière et probablement la Tardoire. En basses eaux, la limite du système serait beaucoup plus au nord. Le bassin versant de la Touvre serait donc plus étendu en basses eaux qu'en hautes eaux.
- **A la saturation « hydraulique » des pertes du Bandiat et de la Tardoire**, qui créeraient un important déficit dans l'alimentation de l'aquifère en crue. Ce phénomène dépendrait étroitement de la dynamique des ruisseaux par rapport à l'état de saturation du karst au moment de la montée des eaux.



Analyse des débits classés sur le système de la Touvre par ROUILLER

A noter que le BRGM évoque également dans sa synthèse le manque de connaissance sur les parties profondes de l'aquifère de la Touvre. Le BRGM évoque la possibilité de développement de zones karstiques capacitives en profondeur (jusqu'à 282 m) ainsi que le prolongement de l'aquifère vers l'ouest, c'est-à-dire dans le Bassin aquitain.

Dans les simulations karstmod, Il est démontré que les réserves nécessaires au soutien des débits d'été de la Touvre sont reconstituées pluri-annuellement (probablement sur les 2 à 3 années précédentes). Ceci rend donc complexe la réalisation d'un bilan pertinent et correct.



4.6.7 Usage sur le périmètre d'étude

Dans le périmètre d'étude, les captages AEP répertoriés sont les suivants :

Tableau 8: Liste des captage AEP dans le secteur d'étude (Source : site Agence de l'Eau Adour Garonne)

Code BSS	Identification du forage	Coordonnées X_L93	Coordonnées Y_L93	Adresse	Profondeur de l'ouvrage (m)
06861X0004/HY	Source de la Font St Aubin	498788,676	6526904,629	Chasseneuil	4,5
07105X0019/F	Forage de petit Breuil	500645	6503000	Marthon	176
06865X0070/F2	Forage F2 la Rochefoucauld	497550,801	6519066,742	La Rochefoucauld	372
06853X0086/F2	Forage SEIGELARD	486829	6531867	Saint Ciers sur Bonnieure	87,8
06853X0041/F34	Forage les ARTEAUX	487166,823	6532100,378	Saint Ciers sur Bonnieure	57

L'ordre de grandeur des prélèvements dans le Grand Karst peut s'établir comme suit :

- 10 M m³/an pour l'AEP en y intégrant les prélèvements aux sources de la Touvre ;
- 0,3 M m³/an pour les prélèvements industriels ;
- près de 9 M m³/an estimé pour l'agriculture.



4.7 Synthèse sur les bassins versants impliqués dans l'aire d'alimentation du captage de la Touvre

De l'analyse et la synthèse de toutes les données bibliographiques existantes sur le territoire de la Touvre, il apparaît nécessaire de clarifier les délimitations suivantes :

- Le point amont de l'aire d'alimentation à définir correspond au point du Bouillant, faisant partie des sources de la Touvre.
- La Touvre n'est pas un BV superficiel, mais un BV hydrogéologique basé sur l'impluvium karstique.
- La rivière de l'Echelle n'est pas à considérer dans l'aire d'alimentation du captage, de par les raisons mentionnées dans les sections précédentes, argumentées par les traçages et les relations nappe-rivière.
- Les bassins versants superficiels (non karstiques) des ruisseaux en amont contribuant à l'alimentation du captage correspondent aux BV hydrologiques de la Bonnieure, de la Tardoire et du Bandiat, avec un fonctionnement indépendant du BV hydrogéologique (grand karst) mais en lien hydraulique avec le karst.

Compte tenu des connaissances à ce jour, **l'aire d'alimentation proposée du captage de la Touvre (point du Bouillant) correspond au territoire délimité par :**

- **le bassin versant hydrogéologique du Grand Karst.**
- les **3 bassins versants superficiels principaux** : la **Bonnieure** (89,84 km²), la **Tardoire** (444,75 km²) et le **Bandiat** (229,13 km²)



5 Données analytiques du système de la Touvre

5.1 Méthodologie appliquée

L'analyse des données analytiques a porté sur les molécules issues des familles de pesticides ainsi que les polluants métalliques, organiques et hydrocarbures. Les données ont été recherchées pour le captage lui-même mais aussi pour l'ensemble du territoire élargi de la Touvre. C'est-à-dire que les 3 BV de la Bonnieure, la Tardoire et le Bandiat ont été étudiés (quand bien même le BV de la Bonnieure a été écarté de la réflexion sur le périmètre de l'AAC), afin de visualiser toutes les données de qualité existantes et ainsi confirmer les arguments synthétisés dans les sections précédentes menant à la définition du périmètre de l'AAC.

Les données de qualité des eaux souterraines ont été extraites de la banque de données ADES, pour un ensemble de 48 ouvrages répertoriés (qualitomètres) avec des plages de données entre 2001 et 2022.

Les données de qualité des eaux superficielles ont été fournies par l'EPTB pour un ensemble de 11 groupes de stations correspondant à des tronçons de rivières sur l'ensemble du territoire (rivières + leurs affluents). Au total, 69 stations de mesure de la qualité des eaux superficielles ont été traitées dans l'analyse statistique.

Afin d'homogénéiser les données, les fractions en eau brute ont d'abord été filtrées, puis les unités ont été uniformisées.

5.1.1 Sélection des paramètres chimiques

Une sélection des paramètres chimiques a été réalisée au travers de 3 analyses statistiques.

Analyse des taux de quantifications et de détections

Le taux de quantification permet de caractériser la proportion d'analyse qui sont dans le domaine de validité.

$$Taux_{quantification} = \frac{\text{Nombre d'analyse dans le domaine de validité}}{\text{Nombre total d'analyse}}$$

Le taux de détection permet de caractériser la proportion d'analyse où la molécule a été détectée (mais pas forcément quantifiée) :

$$Taux_{détection} = \frac{\text{Nombre d'analyse dans le domaine de validité} + \text{Nombre d'analyse inférieure à la limite de quantification}}{\text{Nombre total d'analyse}}$$

Pour les eaux souterraines, 1 054 paramètres chimiques sont présents dans les données. Au total, 195 paramètres sont quantifiés, et 1 011 sont détectés.



Parmi les familles liées à l'activité agricole, ce sont les **triazines et dérivés des triazines** qui sont les plus fréquemment quantifiées. D'autres pesticides sont également quantifiés, mais dans des proportions plus limitées. Quelques polluants sont également présents comme certains métaux et des composés organiques volatils.

Pour les eaux superficielles, 651 paramètres chimiques sont présents dans les données. Au total, 177 paramètres sont quantifiés et 651 sont détectés.

Parmi les familles liées à l'activité agricole, ce sont les **métabolites des triazines et les amides/acétamides** qui sont les plus quantifiés. Les substances pharmaceutiques sont également souvent quantifiées.

Analyse des tendances

Afin de réaliser un filtre sur les paramètres déjà quantifiés, une analyse rapide des tendances a ensuite été réalisée. La tendance a été calculée par régression linéaire simple entre les valeurs et la date. Pour le calcul des tendances, les valeurs inférieures au seuil de quantification et de détection ont été forcées à 0. Ce calcul n'a été réalisé que pour les paramètres ayant un taux de quantification > 0.

Seuls les paramètres des familles de substances sélectionnées ont été utilisés pour cette analyse.

Analyse des dépassements de la limite de qualité

Une analyse des dépassements de la limite de qualité AEP a ensuite été réalisée sur les valeurs dans le domaine de validité pour l'ensemble des familles de substances (pas de filtre sur les familles de paramètres chimiques ciblées). Au total, pour les eaux souterraines, 21 paramètres chimiques présentent une tendance au dépassement du seuil de potabilité, versus 38 pour les eaux superficielles.

Une combinaison de ces deux dernières analyses statistiques a été effectuée pour cibler de façon finale les paramètres à présenter dans l'analyse graphique.

5.1.2 Analyse des familles de paramètres filtrés

La somme des analyses par famille a été faite en considérant les valeurs à l'intérieur du domaine de la validation. Lorsque l'ensemble des données sont <LQ (Limite quantifiée) ou <LD (Limite de détection), le maximum des valeurs a été utilisé.

Deux grandes familles de paramètres ressortent de cette analyse :

- Métabolites des triazines
- Pesticides triazines

5.1.3 Analyse des paramètres filtrés



Des graphiques d'évolution temporelle des concentrations ont ensuite été réalisés pour chaque paramètre filtré.

5.2 Aspects qualitatifs

5.2.1 Qualité des eaux captées aux Sources de la Touvre

Les données du suivi sanitaire de l'ARS au captage de la Touvre mettent en évidence très peu de concentrations en nitrates, atrazine et pesticides totaux, pour la période de données 2001-2021.

Nitrates

La présence de nitrates est relevée dans les données de l'ARS en janvier 2001 seulement, à une concentration de 12,5 mg/L. Les données fournies par l'EPTB pour les eaux superficielles de la Touvre au groupement de stations de mesures « Touvre-R233 » (incluant les Sources de la Touvre) mettent en évidence des concentrations en nitrates au niveau du captage de la Touvre entre 10,1 et 14,9 mg/L entre mars et octobre 2002.

Les valeurs seuils pour les nitrates, selon le SDAGE Adour-Garonne sont les suivantes :

- au delà de 50 mg/l : seuil d'action renforcé ;
- au delà de 40 mg/l : des actions commencent à être mises en place ;
- à partir de 25 mg/l : une vigilance est mise en place.

Pesticides totaux

D'après les données ARS, les seules concentrations relevées au captage de la Touvre en pesticides totaux correspondent à 0,03 µg/L en février 2003 et 0,04 µg/L en octobre 2007.

Atrazine

D'après les données ARS, l'**atrazine** a été détectée entre 0,03 µg/L en février 2003 et 0,1 µg/L en septembre 2017.

D'après les données des stations de mesure de la Touvre à Gond-Pontouvre et au Viville en aval de Champniers (en aval des sources de la Touvre), les concentrations en **atrazine** oscillent entre 0,02 et 0,04 µg/L avec une tendance plutôt à la stabilisation autour de 0,02 µg/L et des pics ponctuels jusqu'à 0,04 µg/L en 2013, 2015 et 2019 en période de moyennes-hautes eaux (fin d'année). Des micropolluants organiques (HAP, THM et solvants chlorés) n'ont pas été détectés dans les eaux captées aux sources de la Touvre.

L'annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-



2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique a été abrogé par l'arrêté du 30 décembre 2022. Au regard de l'annexe II de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique et des données issues du contrôle sanitaire sur la période 2001-2021, les eaux du captage de la Touvre présentent une qualité globale satisfaisante et compatible aux normes eaux brutes.

5.2.2 Evolution des paramètres chimiques dans les Eaux superficielles

Les données qualité des 69 stations de mesures en rivières répartis en 12 tronçons de rivière ont été analysées de façon temporelle pour les paramètres dépassant les tendances expliquées à la section 4.1.

La localisation des stations de mesure des eaux superficielles est présentée à la Figure 19:

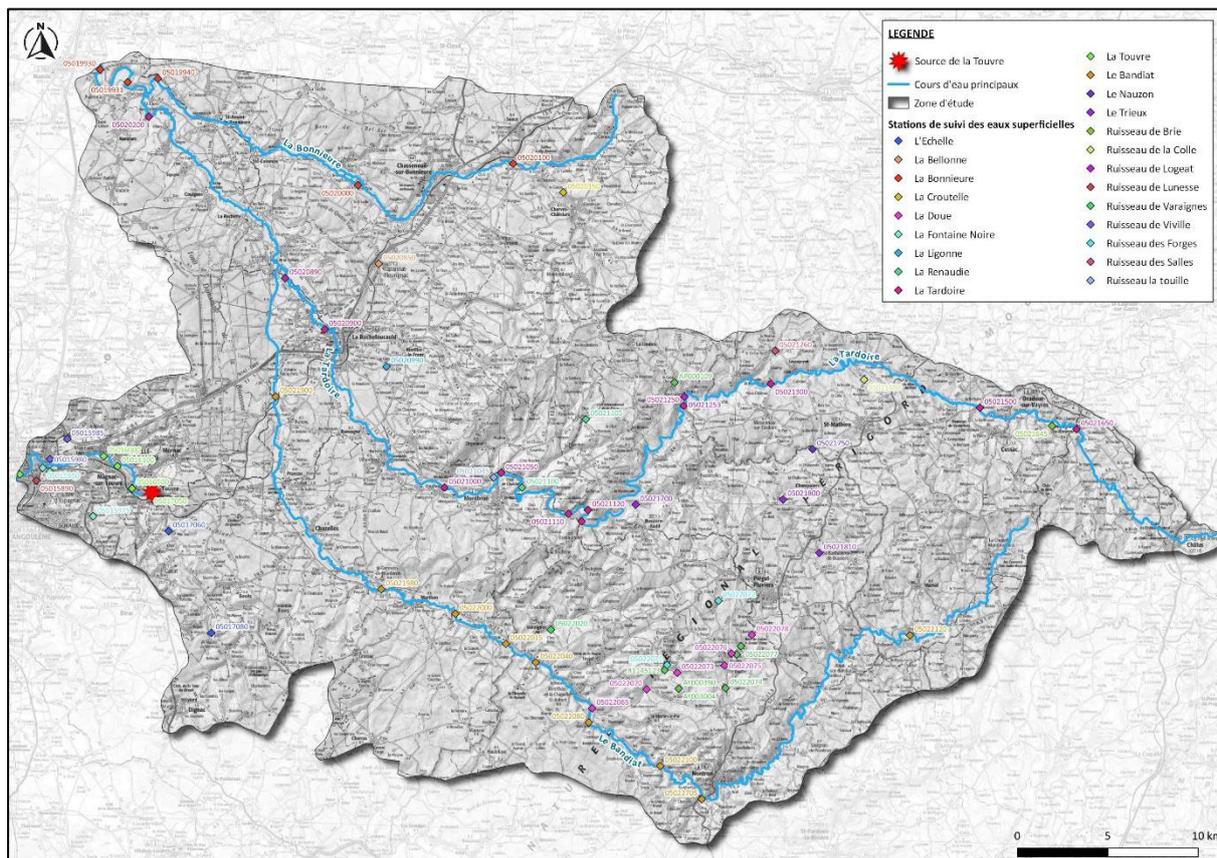


Figure 19: Localisation des stations de mesures de la qualité des eaux superficielles

Le résumé des données disponibles pour les stations de mesures des eaux superficielles est présenté au Tableau 9:

Les graphiques d'évolution temporelle les plus pertinents sont présentés à l'Annexe II.



Tableau 9: Résumé des données disponibles pour les stations de mesures des eaux superficielles

Tronçon de rivière	Station	Nombre de données	Début de la chronique de données	Fin de la chronique de données
Bandiat_R11-0400	5021900	634	19/03/2009	13/11/2018
Bandiat_R11-0400	5022000	3144	16/01/2007	22/11/2021
Bandiat_R11-0400	5022015	450	31/01/2001	05/12/2005
Bandiat_R11-0400	5022040	605	25/01/2016	22/11/2021
Bandiat_R11-0400	5022080	1434	23/03/2009	13/12/2021
Bandiat_R11-0400	5022100	11716	31/01/2001	13/12/2021
Bandiat_R11-0400	5022120	711	21/03/2012	19/11/2020
Bandiat_R11-0400	5022705	579	21/03/2016	21/06/2021
Bonnieure_R1-0250	5019930	33255	31/01/2001	14/12/2021
Bonnieure_R1-0250	5019931	3014	24/01/2017	12/12/2018
Bonnieure_R1-0250	5019940	1380	19/03/2009	14/12/2021
Bonnieure_R1-0250	5020000	11927	31/01/2001	16/12/2021
Bonnieure_R1-0250	5020100	17412	21/01/2009	16/12/2021
Bonnieure_source_a_confluence_Tardoire_R12	5019940	1380	19/03/2009	14/12/2021
Bonnieure_source_a_confluence_Tardoire_R12	5020000	11927	31/01/2001	16/12/2021
Bonnieure_source_a_confluence_Tardoire_R12	5020100	17412	21/01/2009	16/12/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5020200	1018	21/01/2009	14/12/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5021900	634	19/03/2009	13/11/2018
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022000	3144	16/01/2007	22/11/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022015	450	31/01/2001	05/12/2005
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022020	1917	23/06/2011	13/12/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022040	605	25/01/2016	22/11/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022065	605	03/04/2013	22/11/2018
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022070	2138	23/03/2009	13/12/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022071	1111	03/04/2013	16/11/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022072	570	03/04/2013	22/11/2018
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022073	602	03/04/2013	22/11/2018
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022074	570	03/04/2013	22/11/2018
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022075	570	03/04/2013	22/11/2018
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022076	1125	03/04/2013	16/11/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022077	842	03/04/2013	16/11/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022078	828	03/04/2013	16/11/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022080	1434	23/03/2009	13/12/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022100	11716	31/01/2001	13/12/2021
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022120	711	21/03/2012	19/11/2020
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022705	579	21/03/2016	21/06/2021
Tardoire_R1-0400	5020200	1018	21/01/2009	14/12/2021
Tardoire_R1-0400	5020890	350	26/01/2016	23/09/2021
Tardoire_R1-0400	5020900	1437	31/01/2001	13/11/2018
Tardoire_R1-0400	5021000	17553	06/03/2001	13/12/2021
Tardoire_R1-0400	5021050	2968	16/12/2010	13/12/2021
Tardoire_R1-0400	5021110	2968	16/12/2010	13/12/2021
Tardoire_R1-0400	5021120	1285	19/03/2009	13/12/2021
Tardoire_R1-0400	5021250	4364	31/01/2001	13/12/2021
Tardoire_R1-0400	5021300	241	21/03/2001	16/12/2003
Tardoire_R1-0400	5021500	5229	14/02/2001	13/12/2021
Tardoire_R1-0400	5021650	8856	16/01/2007	13/12/2021
Tardoire1	5021645	261	23/03/2017	24/06/2021
Tardoire1	5021650	8856	16/01/2007	13/12/2021
Tardoire2	5021250	4364	31/01/2001	13/12/2021
Tardoire2	5021260	261	23/03/2017	24/06/2021
Tardoire2	5021300	241	21/03/2001	16/12/2003
Tardoire3	5021045	605	28/01/2016	25/11/2021
Tardoire3	5021050	2968	16/12/2010	13/12/2021
Tardoire3	5021100	1831	19/03/2009	13/12/2021
Tardoire3	5021105	2538	16/12/2010	13/12/2021
Tardoire4	5020890	350	26/01/2016	23/09/2021
Tardoire4	5020900	1437	31/01/2001	13/11/2018
Tardoire4	5020990	605	26/01/2016	25/11/2021
Tardoire4	5021000	17553	06/03/2001	13/12/2021
Touvre_R233	5015890	120	20/03/2002	01/10/2002
Touvre_R233	5015900	37286	31/01/2001	13/12/2021
Touvre_R233	5015950	2324	15/02/2001	21/06/2021
Touvre_R233	5015975	444	15/02/2001	05/12/2005
Touvre_R233	5015980	1730	20/03/2002	25/11/2021
Touvre_R233	5016100	1292	20/03/2002	24/06/2021
Touvre_R233	5016500	1163	19/03/2009	24/06/2021
Touvre_R233	5017050	119	20/03/2002	01/10/2002
Trieux	5021700	2362	21/02/2012	13/12/2021



Sur l'ensemble des données, la présence de différents phytosanitaires, métaux et autres composés présentant des dépassements des seuils AEP (lorsque existant) et/ou des tendances à la variabilité est détectée dans l'eau superficielle :

Familles de paramètres	Paramètres détectés
Métaux	Aluminium
	Ammonium
	Cobalt
	Lithium
	Uranium
	Thallium
	Titane
	Vanadium
Phytosanitaires	AMPA
	Atrazine déisopropyl déséthyl
	Atrazine déséthyl
	Carbamazepine
	Glyphosate
	Cyprodinil
	Linuron
	Métaldéhyde
	Métolachlore (ESA et OXA)
	Orthophosphate
	Propyzamide
Autres composés	Nitrates
	Nitrites
	Coliformes
	Azote Kjeldhal
	Benzopyrène
	Metformine
	n-Butyl Phtalate
	Phosphore total
	Turbidité

L'atrazine est détectée dans les eaux superficielles sous la forme de produits de dégradation (Atrazine déisopropyl déséthyl, Atrazine déséthyl). Les dépassements du seuil AEP se retrouvent pour **l'Atrazine déisopropyl déséthyl** sur les tronçons de la Bonnieure et de la Touvre avec des pics jusqu'à 0,8 µg/L en 2017. De manière générale, les concentrations montrent des tendances à la baisse avec un dernier pic en 2021.

L'Atrazine déséthyl est détectée sur les mêmes tronçons de rivières en-dessous du seuil AEP sauf en 2010 et en 2019. Les ordres de grandeur des concentrations sont plus élevés au niveau de la Bonnieure que la Touvre.

Les autres pesticides détectés et montrant des tendances récurrentes entre la Bonnieure et la Touvre avec certains dépassements des seuils AEP existants sont : Cyprodinil, Glyphosate (dépassements AEP entre 2016 et 2018 sur la Touvre et la Bonnieure), Métaldéhyde, Métolachlore.



La concentration en **nitrates** varie entre 2 et 60 mg/L sur l'ensemble du territoire, avec les pics les plus élevés au niveau de la Touvre (tronçon de rivière en aval des sources), ainsi que des dépassements du seuil AEP autour de 2004 et 2013. Sur la Tardoire, on observe des variations de grande ampleur entre 2010 et 2020 (2 – 30 mg/L), mais en-dessous du seuil AEP.

En général, aucune tendance particulière n'est observée, si ce n'est une légère tendance à la hausse sur la Touvre.

La **conductivité** varie sur l'ensemble du territoire entre 2 et plus de 1 000 uS/cm (pics sur la Touvre entre 2005 et 2020 et sur la Tardoire en 2010), avec des valeurs moyennes autour de 200 uS/cm au niveau de la Tardoire, 250 uS/cm au niveau du Bandiat, 400 uS/cm au niveau de la Bonnière et 650uS/cm au niveau de la Touvre.

Remarque :

Les graphes présentés en Annexe regroupent les données de chaque ensemble de station de mesure, par tronçon de rivière.

- ➔ *Pour l'atrazine, seulement quelques-unes de ces stations présentent des données (et donc sont représentatives parmi ce tronçon) : elles correspondent aux 10 stations 5015900, 5019930, 5019931, 5020000, 5020100, 5021000, 5021250, 5021650, 5022000 et 5022100.*
- ➔ *Pour les nitrates, les stations non représentatives des tronçons (c'est-à-dire avec moins de 50 valeurs sur toute la chronique de données) correspondent au nombre de 27 et sont les suivantes (Tableau 10).*

La Figure 20 montre la localisation des tronçons de rivières et les stations de mesures d'eaux superficielles correspondantes.



Tableau 10: Stations de mesures des eaux superficielles non représentatives des tronçons pour les nitrates

Tronçon de rivière	Station
Bandiat_R11-0400	5021900
Bandiat_R11-0400	5022015
Bandiat_R11-0400	5022040
Bandiat_R11-0400	5022120
Bandiat_R11-0400	5022705
Bonnieure_R1--0250	5019931
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5021900
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022015
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022040
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022065
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022072
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022073
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022074
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022075
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022120
Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11	5022705
Tardoire_R1--0400	5020890
Tardoire_R1--0400	5021300
Tardoire1	5021645
Tardoire2	5021260
Tardoire2	5021300
Tardoire3	5021045
Tardoire4	5020890
Tardoire4	5020990
Touvre_R233	5015890
Touvre_R233	5015975
Touvre_R233	5017050



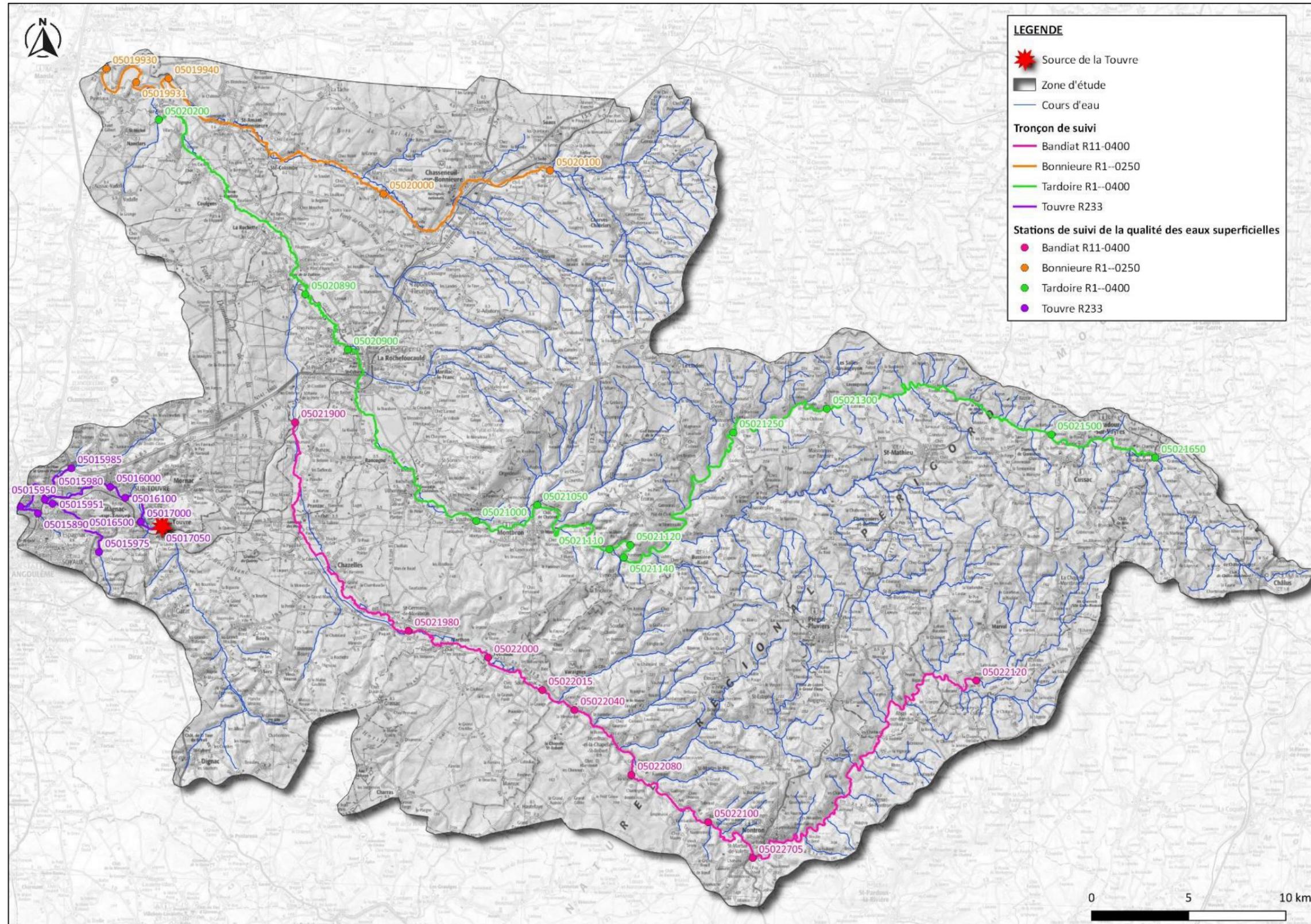


Figure 20: Localisation des tronçons de rivières et les stations de mesures d'eaux superficielles correspondantes



5.2.3 Evolution des paramètres chimiques dans les Eaux souterraines

Sur le territoire visé par l'étude, un total de 48 qualitomètres sont répertoriés sur la banque de données ADES. Le **Tableau 11** résume les codes de ces qualitomètres, les périodes de données de qualité disponibles et la quantité de données répertoriées.

Tableau 11: Synthèse des qualitomètres existants sur le territoire étudié

Ancien code BSS	Nouveau code BSS	Adresse	Hébergement des données	Nombre de données	Date de début de la chronique de données	Date de fin de la chronique de données	Département	Coordonnées x_lamb_93	Coordonnées y_lamb_93
06853X0003/F	BSS001SMHT	VILLARS	BSS_ADES	2 522	14/04/1987	11/04/2017	16	486835	6531844
06853X0041/F34	BSS001SMKH	LES ARTEAUX	BSS_ADES	2 611	24/03/1987	02/12/2020	16	487166	6532100
06861X0004/HY	BSS001SNAL	FONT-SAINT-AUBIN		18 157	16/03/1987	21/03/2022	16	498788	6526904
06862X0006/HY	BSS001SNDL	MOULIN DE BRASSAC OU L'AGE DE BRASSAC	BSS_ADES	3 061	26/03/1987	09/06/2021	16	508476	6529232
06862X0019/F	BSS001SNDZ	LA SALLE		1 933	10/08/2011	09/06/2021	16	505866	6529228
06865X0009/F	BSS001SNL	LES COURRES - CHÂTEAU D'EAU LA ROCHEFOUCAULD		12 530	14/06/2001	21/03/2022	16	497530	6519066
06865X0070/F2	BSS001SNQX	CHATEAU D'EAU LES COURRES N)2	BSS_ADES	2 190	21/07/1992	05/05/2021	16	497516	6519052
06866X0001/F	BSS001SNRC	MALLEYRAND-LE FONT DADIER	BSS_ADES	217	18/07/2011	18/07/2011	16	502951	6517343
07093X0017/HY	BSS001UBZJ	SOURCE D'ENTREROCHES STATION DE POMPAGE	BSS_ADES	798	03/03/1987	05/06/2007	16	483878	6509736
07093X0020/HY	BSS001UBZM	LE BOUILLANT - RESURGENCE	DIRENMPY	18 344	05/01/1987	18/05/2021	16	486264	6510765
07093X0066/HY	BSS001UCBK	LA TOUVRE (FONT DE LUSSAC)		22 928	15/06/2001	10/03/2022	16	486418	6510689
07093X0069/F	BSS001UCBN	CHAMARANDE	BSS_ADES	3 666	16/08/1990	25/03/2021	16	484477	6514688
07098X0037/F	BSS001UDEH	LE MOULIN DE BAILLARGE		1 785	02/10/2008	30/09/2020	16	489363	6504686
07102X0005/F	BSS001UDKU	COMMUNAL	BSS_ADES	2 389	15/01/1993	07/10/2019	16	502200	6511117
07102X0017/F	BSS001UDLF	LE MAS (C320) (LES MINERAIS)	BSS_ADES	629	06/11/1987	30/05/2007	16	502026	6512762
07102X0503/HY	BSS001UDMD	FONT GRIVE		14 197	04/03/1993	23/03/2021	16	504449	6510723
07104X0501/HY	BSS001UDPF	GRONAY	BSS_ADES	304	07/10/1999	25/04/2017	24	516245	6512017
07107X0031/F	BSS001UDTJ	CHANTEGROS OU LA FONDAINE DE CANAL	BSS_ADES	2 367	26/03/1991	02/06/2021	24	510295	6497721
07108X0001/S	BSS001UDUY	PATUREAU	BSS_ADES	1 257	03/11/1992	14/04/2021	24	520758	6504366
07108X0002/F	BSS001UDUZ	PATUREAU		3 955	12/12/2001	05/05/2022	24	520748	6504356
07111X0001/111111	BSS001UDVL	PUY HAUT R	BSS_ADES	4 584	07/03/1996	10/03/2022	87	528402	6511776
07111X0002/111111	BSS001UDVM	PUYSSEGER	BSS_ADES	499	07/03/1996	09/02/2016	87	528789	6512632
07111X0019/HY	BSS001UDWE	L'ARGENT	BSS_ADES	1 256	04/01/1996	07/06/2021	87	527316	6509647
07111X0022/HY	BSS001UDWH	LES DURANDES	BSS_ADES	1 074	04/01/1996	22/01/2019	87	528950	6510333
07111X0023/HY	BSS001UDWJ	COULEREDE	BSS_ADES	941	07/03/1996	06/02/2019	87	528947	6512431
07111X0024/S	BSS001UDWK	COULEREDE	BSS_ADES	1 061	07/03/1996	28/04/2014	87	528947	6512431
07112X0001/111111	BSS001UDXG	LA FAVINIE	BSS_ADES	1 244	12/03/1996	05/04/2016	87	535626	6509378
07112X0002/111111	BSS001UDXH	NEGRELAS HAUT B	BSS_ADES	1 417	04/01/1996	27/03/2019	87	532414	6510025
07112X0003/111111	BSS001UDXJ	NEGRELAT BAS C (NEGERLAT 4)		719	13/10/2008	27/03/2019	87	532548	6510473
07112X0004/111111	BSS001UDXK	VERGNOLAS R	BSS_ADES	1 533	04/01/1996	27/03/2019	87	531864	6509959
07112X0005/111111	BSS001UDXL	PUYMOROUX	BSS_ADES	817	07/03/1996	02/09/2019	87	529328	6511379
07112X0019/F	BSS001UDYA	LARTIGE	BSS_ADES	778	04/01/1996	16/01/2019	87	532305	6508881
07112X0023/HY	BSS001UDYE	LES RIBIERES	BSS_ADES	1 205	12/03/1996	02/06/2020	87	534463	6510037
07112X0025/HY	BSS001UDYG	PUYMOROUX	BSS_ADES	1 608	07/03/1996	26/10/2020	87	529703	6511406
07112X0033/HY	BSS001UDYQ	L'ARTIGE (2)	BSS_ADES	765	04/01/1996	16/01/2019	87	532008	6509159
07112X0049/F2	BSS001UDZH	LES LIADES		4 085	13/10/2008	10/03/2022	87	533213	6512376
07112X0050/F1	BSS001UDZI	LES LIADES		1 268	30/10/1996	02/06/2020	87	533083	6512337
07112X0057/P	BSS001UDZQ	BOUEGES	BSS_ADES	1 199	29/04/2003	21/09/2020	87	533071	6508500
07112X0060/PZ1	BSS001UDZT	LA RIVIERE		74	27/09/2001	01/08/2004	87	536074	6514684
07112X0061/PZ2	BSS001UDZU	LA RIVIERE		74	27/09/2001	01/08/2004	87	536191	6514677
07112X0062/PZ3	BSS001UDZV	LA RIVIERE		74	27/09/2001	01/08/2004	87	536145	6514630
07112X0065/PZ1	BSS001UDZY	SITE DE DÉCHARGE EPI	BSS_ADES	30	01/07/2002	01/08/2004	87	535565	6514015
07112X0066/PZ2	BSS001UDZZ	SITE DE DECHARGE EPI	BSS_ADES	30	01/07/2002	01/08/2004	87	535596	6514109
07112X0067/PZ3	BSS001UEAA	SITE DE DECHARGE EPI	BSS_ADES	30	01/07/2002	01/08/2004	87	535626	6514114
07112X0068/PZ4	BSS001UEAB	SITE DE DECHARGE EPI	BSS_ADES	30	01/07/2002	01/08/2004	87	535655	6514084
07112X0069/PZ5	BSS001UEAC	SITE DE DECHARGE EPI	BSS_ADES	20	01/05/2003	01/08/2004	87	535635	6514064
07113X0038/HY	BSS001UECB	POCHE-VERGNE	BSS_ADES	766	12/03/1996	21/06/2010	87	537197	6508416
07113X0057/HY	BSS001UECW	LA JUDIE	BSS_ADES	1 279	12/03/1996	06/04/2021	87	536671	6508920

La Figure 21 montre la localisation géographique de ces qualitomètres sur le territoire visé par l'étude.

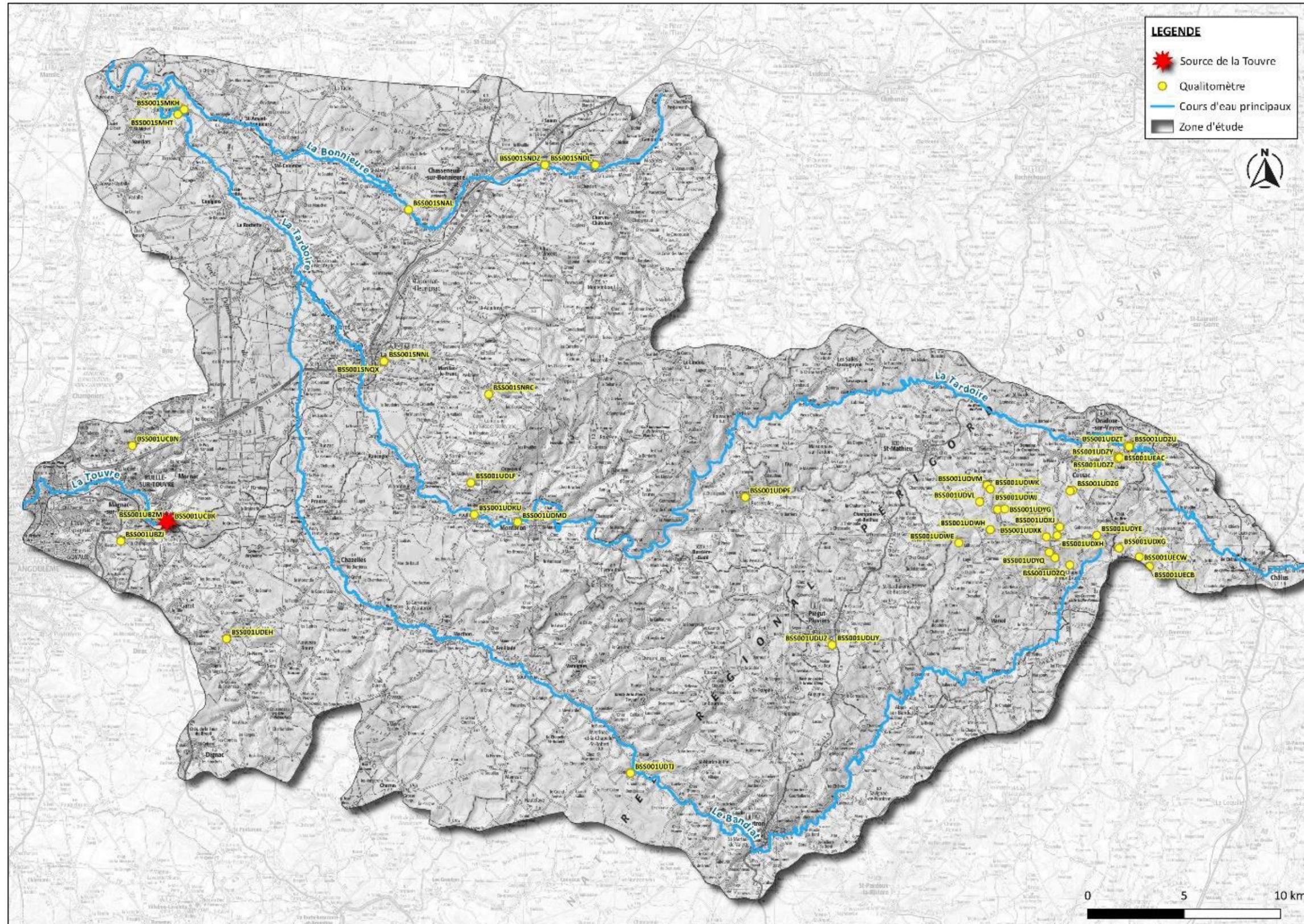


Figure 21 : Localisation des qualitomètres sur le territoire étudié, d'après la base de données ADES



Les graphiques d'évolution temporelle les plus pertinents sont présentés à l'Annexe III.

Sur l'ensemble des données, la présence de différents phytosanitaires, métaux et autres composés présentant des dépassements des seuils AEP (lorsque existant) et/ou des tendances à la variabilité est détectée dans l'eau souterraine :

Familles de paramètres	Paramètres détectés	
Métaux	Aluminium	
	Ammonium	
	Arsenic	
	Bore	
	Cadmium	
	Chrome	
	Cuivre	
	Mercure	
	Plomb	
	Nickel	
Phytosanitaires	Acétochlore	
	Atrazine désisopropyl déséthyl	
	Atrazine déséthyl	
	Atrazine	
	Atrazine désisopropyl	
	Carbamazepine	
	Mecoprop	
	Diuron	
	Simazine	
	Métaldéhyde	
	Métolachlore Total	
	Orthophosphate	
	Terbutylazine déséthyl	
	Somme des pesticides totaux	
Autres composés	Nitrates	
	Nitrites	
	Fluor	
	Bisphenol A	
	Benzotriazole	
	Metformine	
	Di (2-éthylhexyle) Phtalate	
	Phosphore total	
	Tolytriazole	
	Trichloroéthane	

L'atrazine est détectée dans les eaux souterraines sous sa forme active et à travers ses produits de dégradation (Atrazine désisopropyl déséthyl, Atrazine déséthyl, Atrazine désisopropyl).



De manière générale on observe une tendance à la baisse pour les 9 qualimètres desquels ressort l'analyse statistique effectuée sur les données de qualité. Les concentrations les plus élevées sont observées en 2001 dans le qualimètre BSS001SNL (La Rochefoucauld) pour l'atrazine déséthyl : 0,3 µg/L. Les concentrations moyennes observées au droit des 2 ouvrages avec le plus de données détectées/quantifiées se trouvent autour de 0,15 µg/L.

Les autres pesticides détectés et montrant des tendances récurrentes entre le qualimètre BSS001SNL (La Rochefoucauld) et le BSS001UDUZ (à Piégut-Pluviers, entre la Tardoire et le Bandiat) sont : Carbamazepine, Métaldéhyde, Simazine, Somme des pesticides totaux, Terbutylazine déséthyl. Le qualimètre BSS001UDTJ (à Chantegros, près du Bandiat) montre des dépassements en Nickel en 2004 et 2010.

Aucune concentration en **nitrate**s détectée dans les eaux souterraines ne dépasse le seuil AEP (50 mg/L). Ils sont détectés en plus grand nombre dans les qualimètres BSS001SMHT et BSS001SMKH (à la confluence entre la Tardoire et la Bonnieure), puis dans le BSS001SNL puis enfin dans le BSS001UDTJ. Les concentrations varient entre 2 et 40 mg/L (moyenne à 22,2 mg/L) (sur l'ensemble du territoire, avec un pic à environ 48 mg/L au niveau de la Rochefoucauld autour de 2019).

En général, une légère tendance à la hausse est constatée sur les ouvrages du secteur au nord/nord-ouest des sources de la Touvre.

La **conductivité** varie dans les eaux souterraines sur l'ensemble du territoire entre 100 et 500 µS/cm (pic de 750 µS/cm à La Rochefoucauld en 2005).

Les données de l'ARS ont été présentées à part, dans les figures suivantes :

- Les graphes d'évolution des paramètres chimiques détectés dans les eaux souterraines prélevées au droit du captage de la Touvre (Figure 22 et Figure 23).
- Les graphes d'évolution des paramètres chimiques détectés dans les eaux souterraines au droit des forages AEP (Figure 23 et Figure 24).

Ils mettent en évidence qu'aucun dépassement des seuils de potabilité n'est observable.

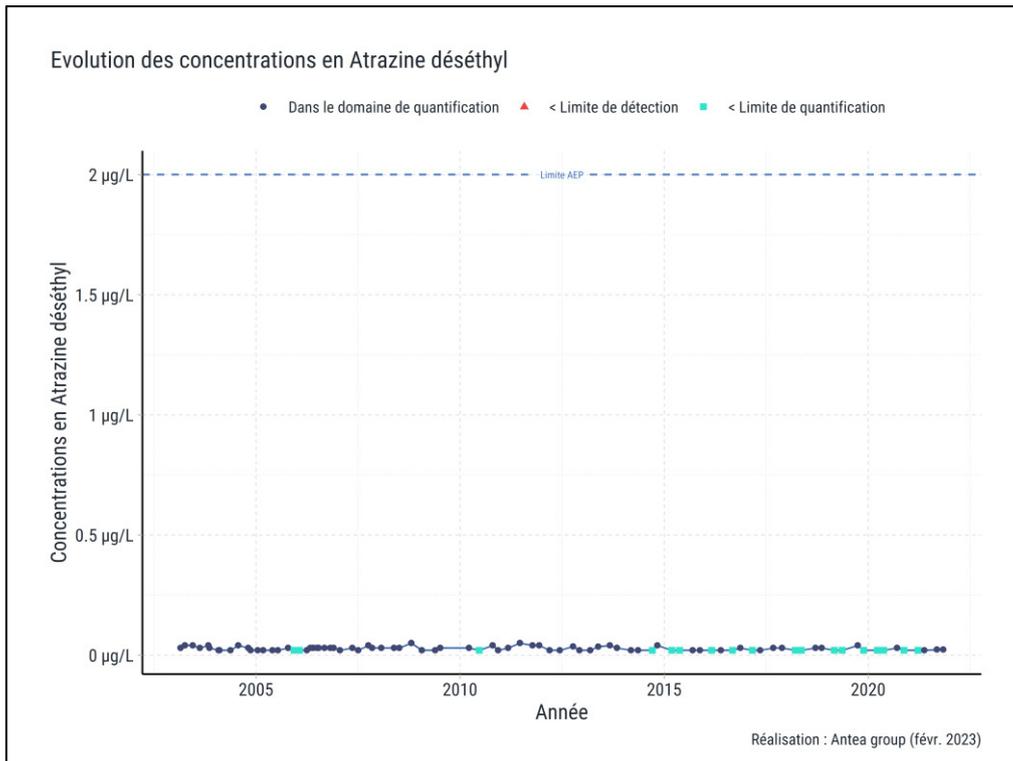


Figure 22: Evolution temporelle de l'Atrazine dans les eaux souterraines au droit du captage de la Touvre (données ARS au Bouillant)

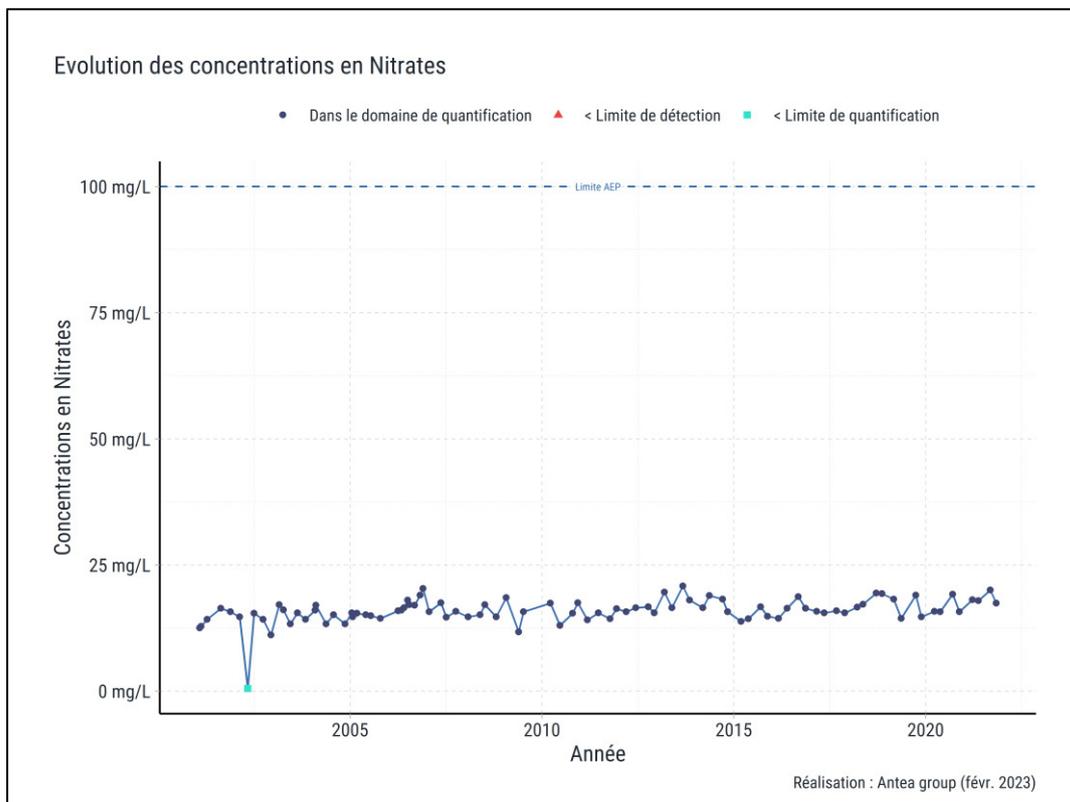


Figure 23: Evolution temporelle des Nitrates dans les eaux souterraines au droit du captage de la Touvre (données ARS au Bouillant)

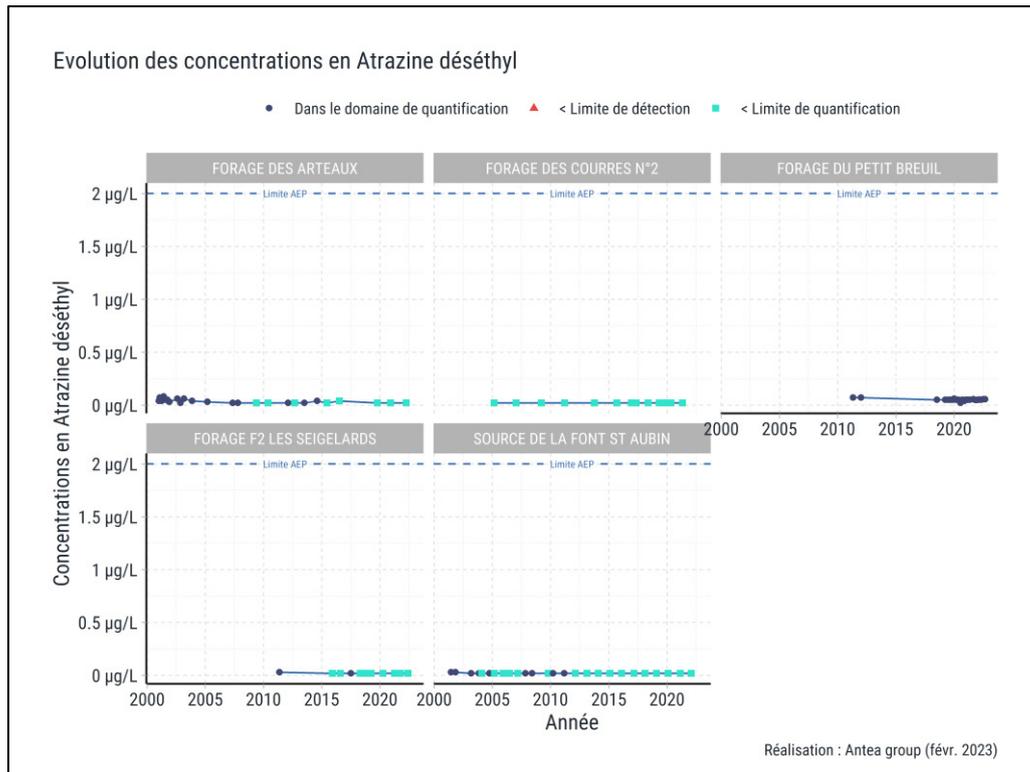


Figure 24: Evolution temporelle de l'Atrazine dans les eaux souterraines au droit des forages AEP (données ARS)

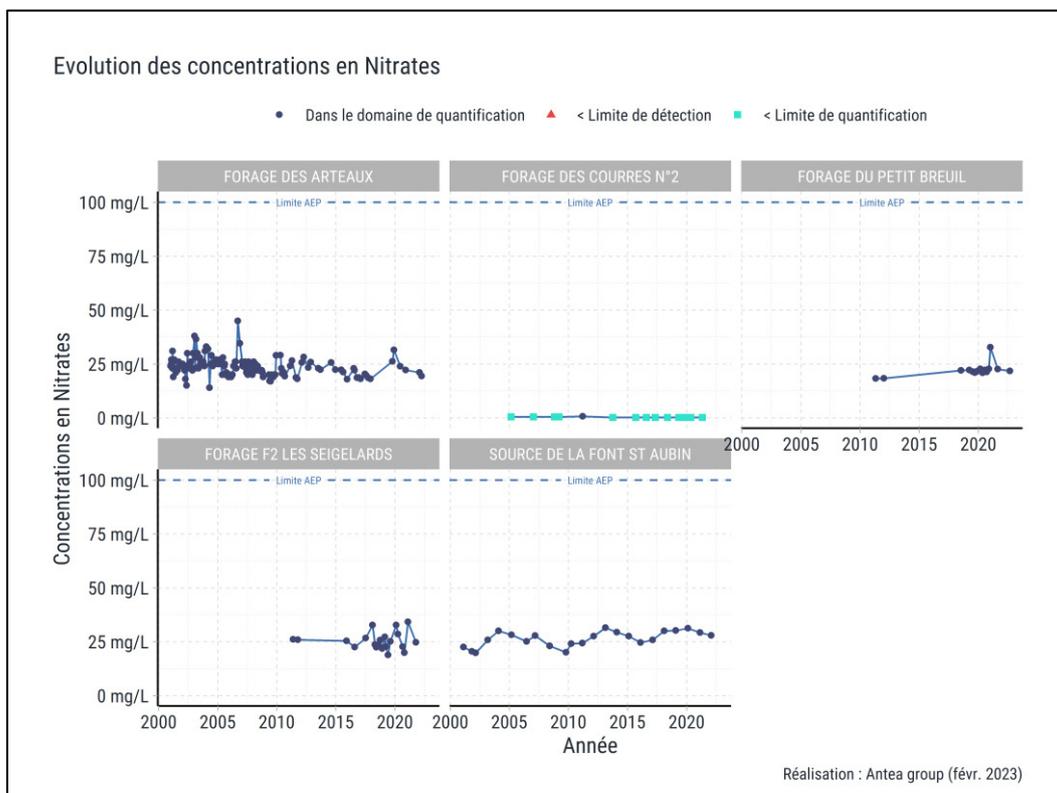


Figure 25: Evolution temporelle des Nitrates dans les eaux souterraines au droit des forages AEP (données ARS)

5.2.4 Etat des lieux (2020) en nitrates, atrazine et pesticides totaux

Dans l'objectif de dresser une cartographie de l'état des lieux des concentrations en nitrates, atrazine et pesticides totaux dans les eaux souterraines et les eaux superficielles, une analyse statistique a été effectuée sur l'ensemble des données de qualité entre les mois de juin et septembre (correspondant à la période élargie d'épandage agricole) afin de mettre en évidence l'année avec le plus de données pour permettre les comparaisons les plus pertinentes entre les différents types d'eaux (souterraines/superficielles). De cette analyse ressort que l'été 2020 correspond à la période la plus récente avec le plus de données exploitables.

Les pesticides totaux n'ont pas été détectés pour cette période. Seules les concentrations en nitrates et en atrazine seront présentées.

Eaux souterraines : des concentrations en nitrates et en atrazine ont été détectées pour la période été 2020 dans 4 qualitomètres répartis sur l'ensemble des bassins versants (à l'exception de celui de la Tardoire).

- **Nitrates** : les concentrations les plus basses sont retrouvées près des sources de la Touvre en amont de celles-ci (9,08 mg/L). Les concentrations les plus élevées sont retrouvées au nord du territoire, près de la confluence Tardoire-Bonnieure (23,9 mg/L). Les concentrations détectées restent toutes en-dessous du seuil de potabilité. Globalement on pourrait relever différentes directions de flux se dirigeant vers les sources de la Touvre (N-S, E-O et SE-NO).
- **Atrazine** : les mêmes observations sont faites pour l'atrazine, à la différence que dans le qualitomètre au nord du territoire, aucune concentration n'est détectée. Les secteurs avec présence d'atrazine semblent donc localisés dans la partie S/SO du territoire au niveau de la vallée du Bandiat.

Eaux superficielles : des concentrations en nitrates et en atrazine ont été détectées pour la période estivale 2020 au droit de plusieurs stations de mesure sur les 4 rivières du territoire et leurs affluents.

- **Nitrates** :
 - les concentrations les plus faibles (inférieures à 5 mg/L) sont retrouvées dans la partie est du territoire, dans la vallée amont du Bandiat et au centre de la vallée de la Tardoire (centre du territoire).
 - les concentrations les plus élevées (supérieures à 15 mg/L) sont retrouvées au nord du territoire, dans la vallée de la Bonnieure, notamment après sa confluence avec la Tardoire, ainsi qu'en aval des sources sur la rivière de la Touvre.
 - aucun dépassement du seuil AEP n'est observé.
 - aucun effet dilution n'est observé dans les concentrations des eaux superficielles.
 - relations avec les concentrations observées dans les eaux souterraines : la seule relation observable entre les concentrations en nitrates dans les eaux

souterraines et les eaux superficielles concernerait le secteur nord (Bonnieure) avec une possible connexion entre les deux types d'eau (infiltration possible). Une observation similaire est faite pour le secteur sud (BV Bandiat sud-est), en posant l'hypothèse d'un flux vertical des eaux superficielles peu chargées en nitrates qui rejoindraient les eaux souterraines et en les chargeant en nitrates.

- Atrazine :
 - globalement les concentrations en atrazine détectées dans les eaux superficielles sont très faibles (inférieures à 0,03 µg/L).
 - les concentrations les plus faibles sont retrouvées sur la Tardoire et la Bonnieure (0,01 µg/L).
 - les concentrations les plus élevées sont retrouvées au nord du territoire, à la confluence Tardoire-Bonnieure (0,036 µg/L).
 - les relations avec les concentrations observées dans les eaux souterraines : les concentrations en atrazine retrouvées dans les eaux souterraines du secteur des sources de la Touvre (en amont) sont similaires à celles retrouvées dans les eaux superficielles (en aval) : 0,02 µg/L.

La répartition géographique des concentrations en nitrates, en atrazine **pour l'été 2020** dans les eaux souterraines puis dans les eaux superficielles est présentée sur les figures suivantes :

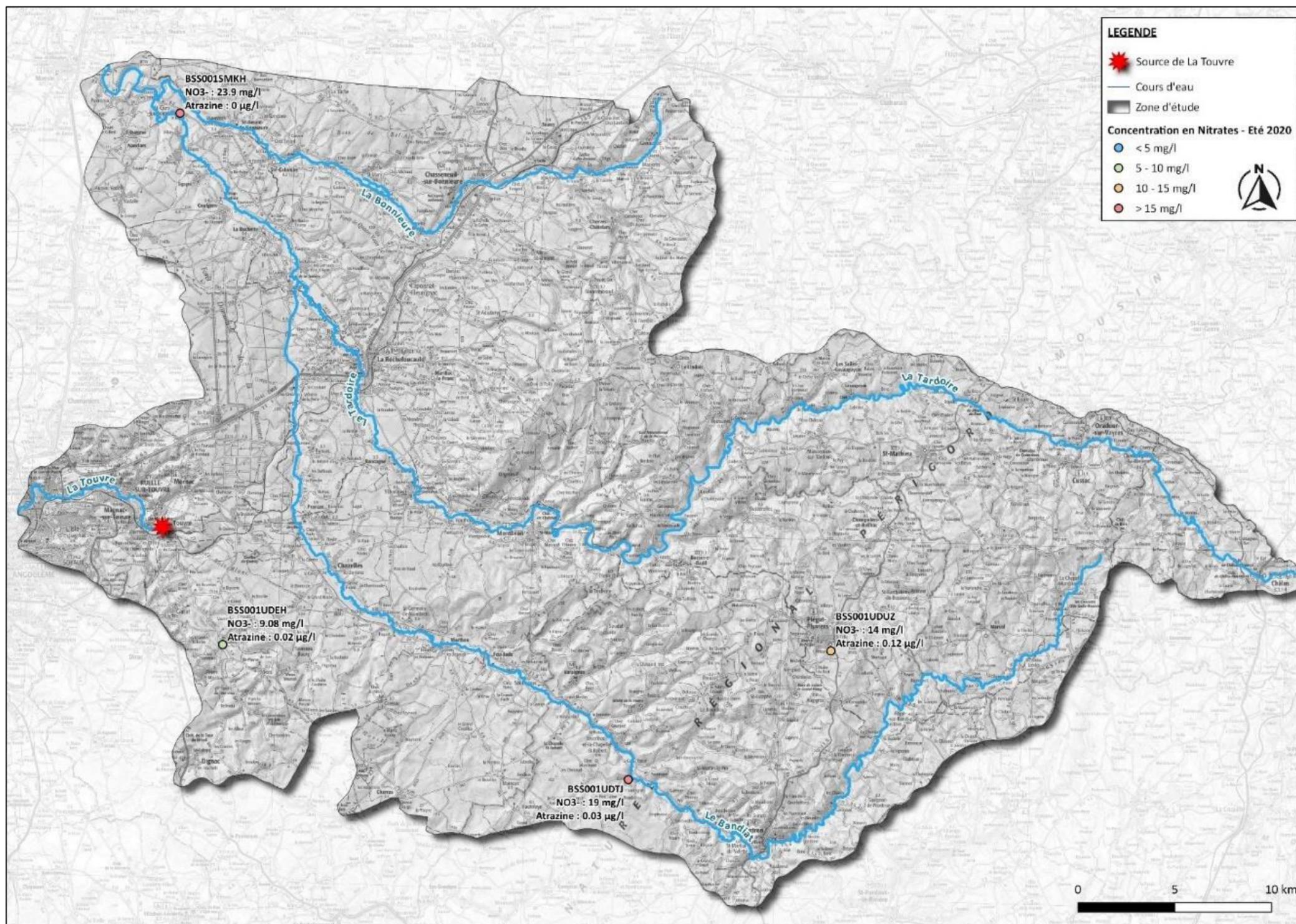


Figure 26: Concentrations moyennes en nitrates et en atrazine dans les Eaux souterraines pour l'été 2020



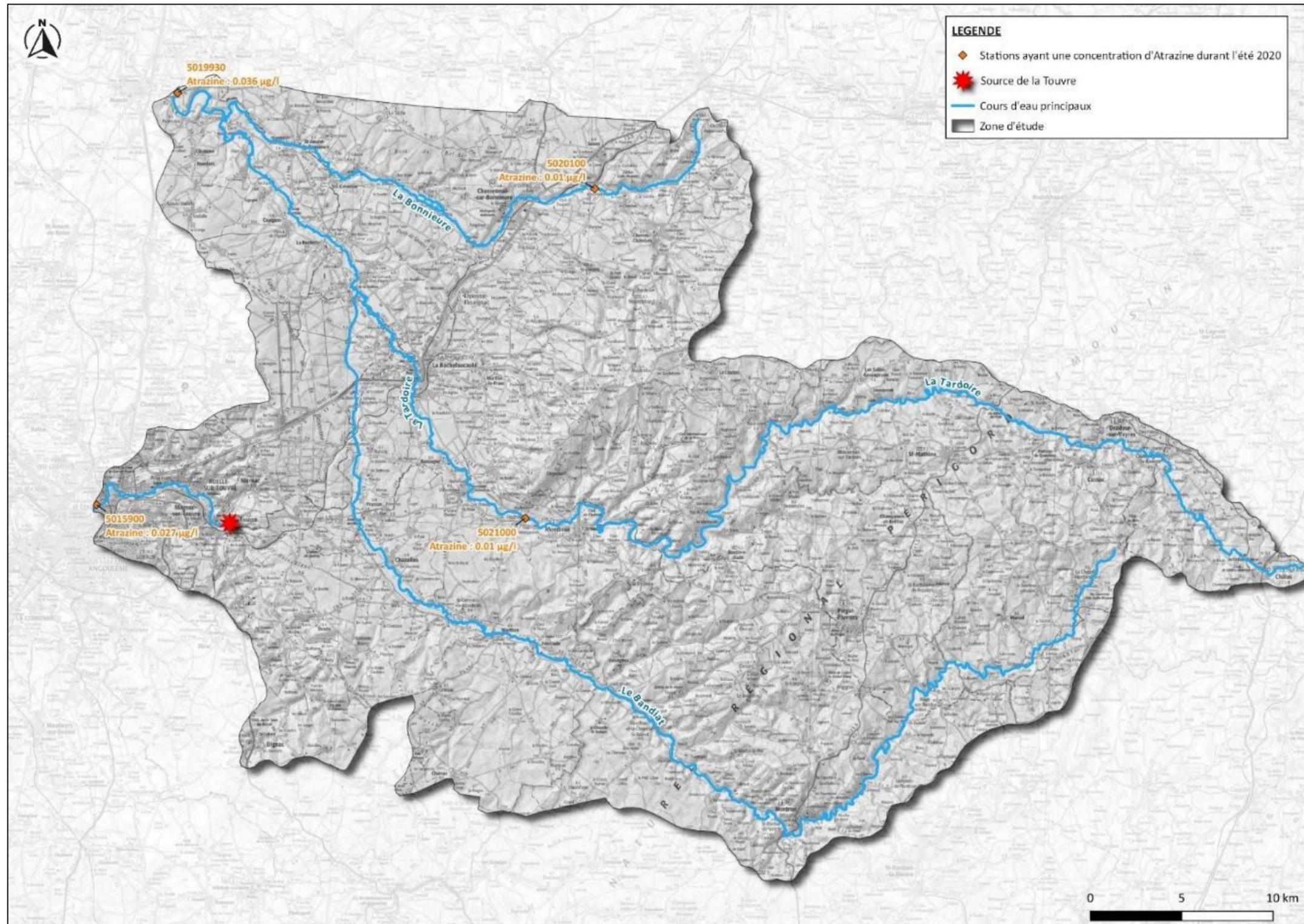


Figure 27: Concentrations moyennes en atrazine dans les Eaux superficielles pour l'été 2020



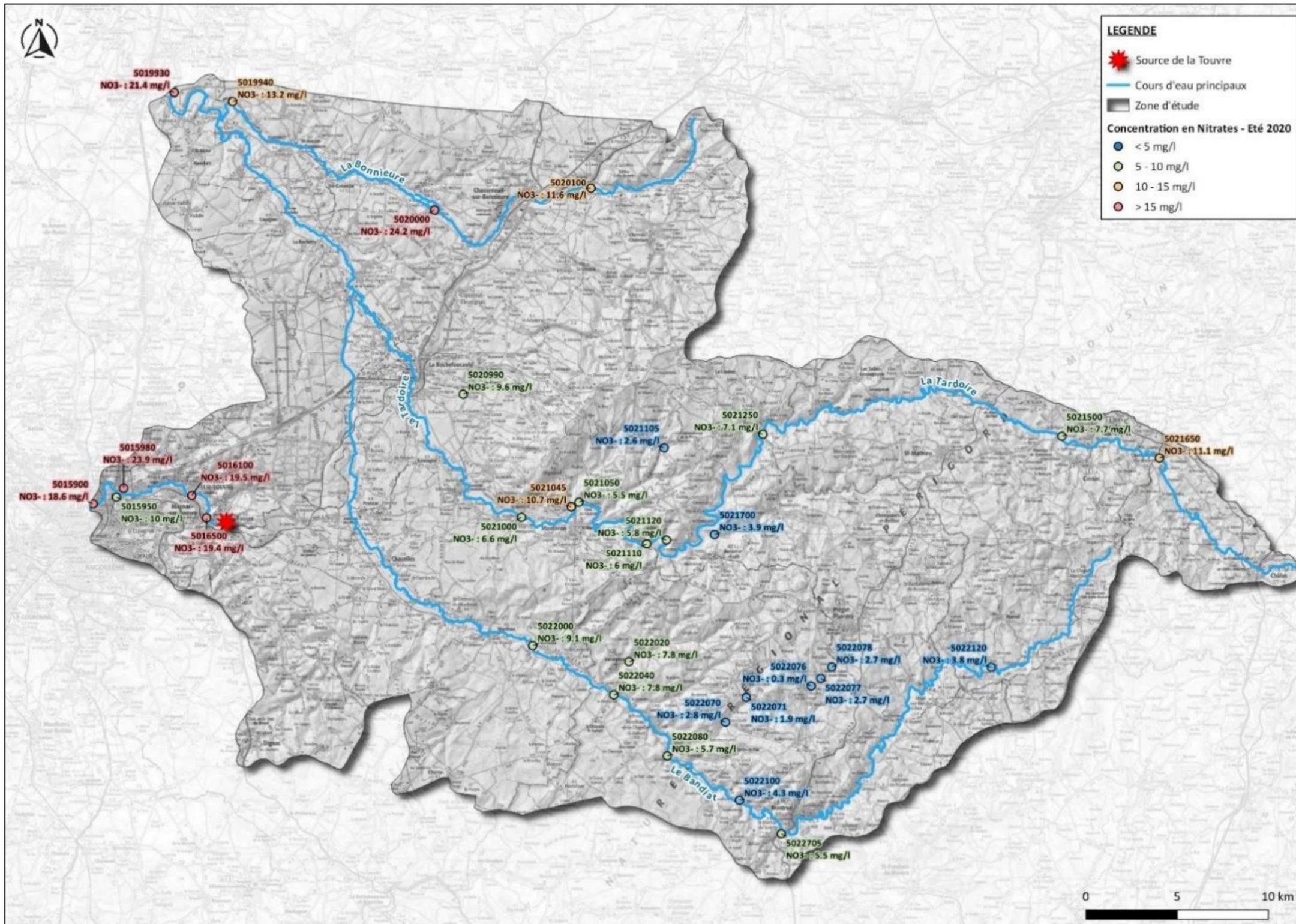


Figure 28: Concentrations moyennes en nitrates dans les Eaux superficielles pour l'été 2020



5.3 Corrélation des données qualité et quantité

Afin d'apprécier les relations possibles entre les différents compartiments du système hydrogéologique du territoire de la Touvre, les données de qualité des eaux captées aux sources de la Touvre et celles des eaux superficielles ont été corrélées avec les données quantité correspondant aux débits des rivières sur le territoire et les précipitations mesurées aux stations météorologiques les plus proches.

Les paramètres analysés dans cette approche correspondent à ceux détectés selon les critères et la méthodologie décrits à la section 4.1.

Les graphiques de corrélation sont présentés à l'Annexe IV et exposent pour chaque bassin versant du territoire l'évolution des teneurs en nitrates et en atrazine déséthyl par tronçon de rivière, avec les données d'eau superficielles correspondantes au tronçon. Les données ont été séparées de cette façon pour permettre une meilleure lecture.

5.3.1 Bassin versant du Bandiat

Globalement sur les 4 graphiques de corrélation concernant le BV du Bandiat (selon les 4 tronçons de cette rivière), les concentrations en nitrates et en atrazine sont plus élevées sur la Touvre que dans les eaux superficielles du Bandiat et de ses affluents.

A titre d'exemple, en analysant à des périodes de pluviométrie différentes le graphique suivant des nitrates, on observe:

- En décembre 2017 : à un débit du Bandiat de 21 m³/s, une pluviométrie quasi nulle : on retrouve des nitrates aux sources de la Touvre à une concentration de 15 mg/L versus 5 mg/L dans les eaux superficielles du Bandiat.
- En décembre 2019 : à un débit du Bandiat de 8 m³/s, une pluviométrie de 25 mm : on retrouve des nitrates aux sources de la Touvre à une concentration de 18 mg/L versus 8 mg/L dans les eaux superficielles du Bandiat.



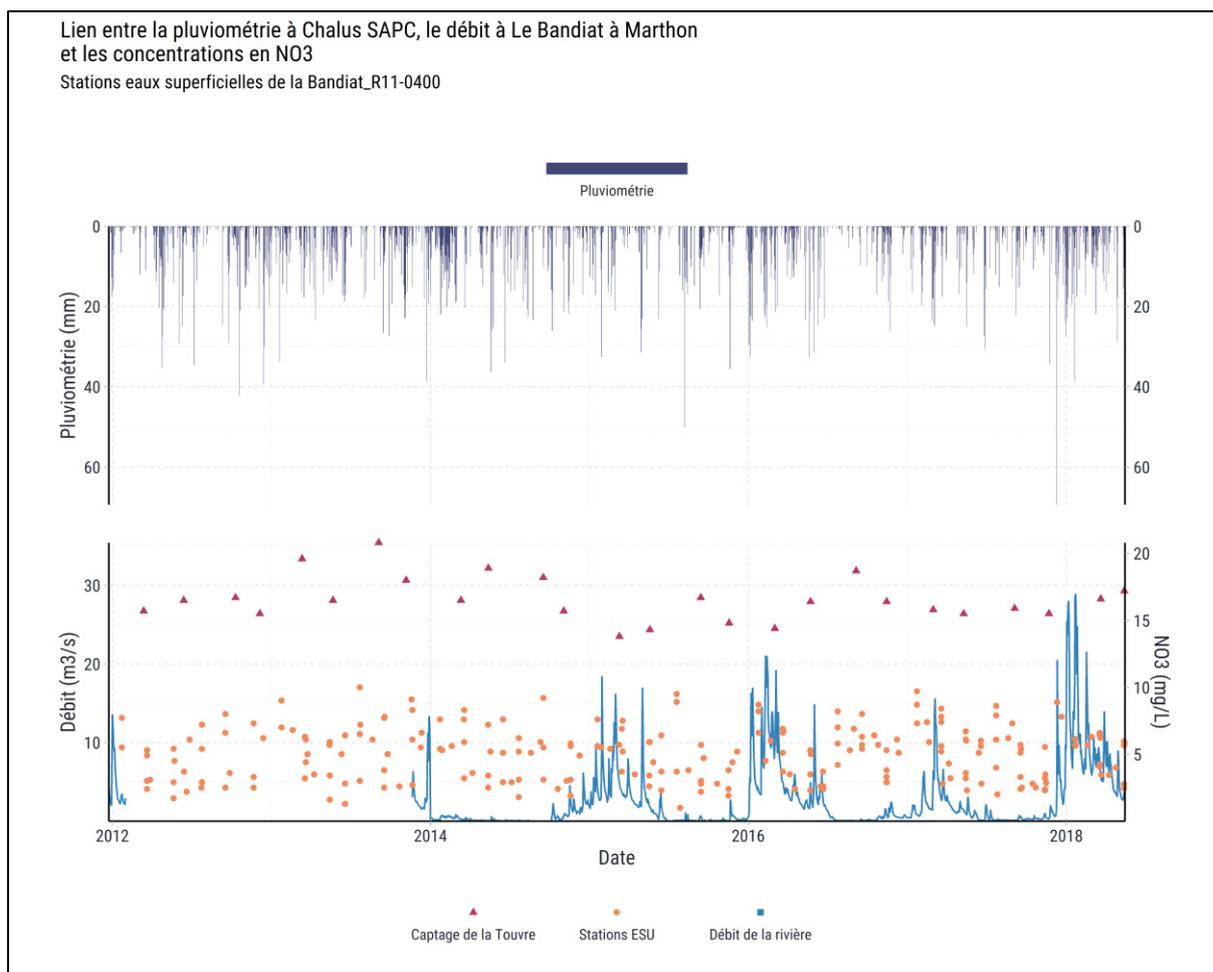


Figure 29: Exemple de graphique de Corrélation entre pluviométrie à Chalus, le débit du Bandiat et les concentrations en nitrates (ESU = Eaux superficielles)

Dans le cas de l'atrazine, on observe un comportement différent entre les concentrations aux sources versus de la rivière :

- Exemple en mars 2015 : à un débit de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, une pluviométrie de 20 mm : on retrouve de l'atrazine aux sources de la Touvre et dans les eaux superficielles à une concentration identique de $0,02 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$.

5.3.2 Bassin versant de la Bonnieure

Sur le BV de la Bonnieure, les relations entre les concentrations aux sources de la Touvre et dans les eaux superficielles sont différentes que dans le BV du Bandiat.

En général on observe des teneurs plus élevées dans les eaux superficielles que dans les eaux captées aux sources.

Dans le cas des nitrates on remarque une tendance à l'augmentation des teneurs aux sources juste après une grosse pluie, correspondant à des débits plus faibles de la Bonnieure.

- En février 2014 : à un débit de 12 m³/s, une pluviométrie de 50 mm : on retrouve des nitrates à 22 mg/L aux sources versus jusqu'à 30 mg/L dans les eaux superficielles. En revanche l'atrazine est détectée à 0,01 µg/L dans les eaux superficielles versus 0,02 µg/L aux sources.
- En février 2016 : à un débit de 12 m³/s, une pluviométrie quasi nulle : on retrouve des nitrates à 20 mg/L aux sources versus 18 mg/L dans les eaux superficielles. En revanche l'atrazine est détectée à 0,01 µg/L dans les eaux superficielles versus 0,02 µg/L aux sources.

Les graphes de corrélations sont présentés en détail à l'Annexe IV.

5.3.3 Bassin versant de la Tardoire

Sur le BV de la Tardoire, on remarque systématiquement des concentrations aux sources supérieures à celles rencontrées dans les eaux superficielles, avec des augmentations des teneurs juste après une grosse pluie et un pic du débit.

En prenant l'exemple du tronçon Tardoire R1—0400 :

- En mars 2016 : à un débit de 23 m³/s de la Tardoire, une pluviométrie de 18 mm : on retrouve de l'atrazine aux sources à 0,02 µg/L versus 0,01 µg/L dans les eaux superficielles. On retrouve des nitrates à 18 mg/L aux sources versus jusqu'à 10 mg/L dans les eaux superficielles.
- En août 2016, à un débit nul (pas de donnée), une pluviométrie nulle : on retrouve la même tendance pour les nitrates et l'atrazine.

5.3.4 Secteur de la Touvre

Pour le secteur de la Touvre, on observe des concentrations en nitrates aux sources relativement constantes (autour de 20 mg/L), sans variation particulière liée aux précipitations, alors que dans les eaux superficielles, on observe un comportement réactif aux fluctuations du débit de la Touvre.

A titre d'exemple :

- En février 2016, sans pluviométrie et à un débit de la Touvre de 20 m³/s : on retrouve des teneurs en nitrates à 20 mg/L aux sources versus à 60 mg/L dans les eaux superficielles. L'atrazine est retrouvée à 0,02 µg/L aux sources versus 0,01 µg/L dans les eaux superficielles.
- En décembre 2019, avec 25 mm de pluie et un débit de 20 m³/s : on retrouve des nitrates à 10 mg/L aux sources versus 50 mg/L dans les eaux superficielles. L'atrazine est retrouvée à 0,02 µg/L aux sources versus 0,013 µg/L dans les eaux superficielles.

5.4 Synthèse par compartiment

BV	Eaux superficielles			Eaux souterraines			Relations eaux souterraines / eaux superficielles	Corrélations débits / qualité eaux superficielles / qualité des eaux captées au Bouillant
	Nitrates	Atrazine	Autres pesticides	Nitrates	Atrazine	Autres pesticides		
Bandiat	- Détections sur la période 2001-2021: - variations entre 2 et 60 mg/L - dépassements de seuils AEP entre 2004 et 2013 - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : concentrations les plus faibles (inférieures à 5 mg/L)	- Détections sur la période 2001-2021: Concentrations en atrazine identiques à celles des sources de la Touvre - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : pas de données		- Détections sur la période 2001-2021: concentrations varient entre 2 et 40 mg/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : 19 mg/L	- Détections sur la période 2001-2021: - tendance à la baisse - concentrations moyennes autour de 0,15 ug/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : 0,03 ug/L	Concentrations détectées en Carbamazépine, Métaldéhyde, Simazine, Somme des pesticides totaux, Terbutylazine déséthyl sur l'ensemble de la période de données.	Hypothèse d'un flux vertical des eaux superficielles peu chargées en nitrates qui rejoindraient les eaux souterraines et en les chargeant en nitrates.	Les concentrations en nitrates et en atrazine sont plus élevées au niveau des sources de la Touvre que dans les eaux superficielles du Bandiat et de ses affluents. Possible phénomène de dilution dans les eaux superficielles observé après des épisodes de pluie. Mais sans corrélation avec les concentrations retrouvées aux sources de la Touvre.
Bonnieure	- Détections sur la période 2001-2021: - valeurs entre 2 et 32 mg/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : concentrations les plus élevées (supérieures à 15 mg/L)	- Détections sur la période 2001-2021: dépassements du seuil AEP en 2017 (0,8 ug/L) - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : - concentrations les plus faibles (0,01 ug/L) - concentrations les plus élevées retrouvées au nord du territoire, à la confluence Tardoire-Bonnieure (0,036 ug/L)	Dépassements des seuils AEP pour: Cyprodinil, Glyphosate, Métaldéhyde, Métolachlore entre 2016 et 2018	- Détections sur la période 2001-2021: concentrations varient entre 2 et 40 mg/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : concentrations les plus élevées sont retrouvées au nord du territoire, près de la confluence Tardoire-Bonnieure (23,9 mg/L), mais en-dessous du seuil AEP	- Détections sur la période 2001-2021: - tendance à la baisse - concentrations moyennes autour de 0,15 ug/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : 0 ug/L		La seule relation observable entre les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines et les eaux superficielles concernerait le secteur nord (Bonnieure) avec une possible connexion entre les deux types d'eau (infiltration possible).	En général on observe des teneurs plus élevées dans les eaux superficielles que dans les eaux captées aux sources. Dans le cas des nitrates on remarque une tendance à l'augmentation des teneurs aux sources juste après une grosse pluie, correspondant à des débits plus faibles de la Bonnieure.
Tardoire	- Détections sur la période 2001-2021: - variations de grande amplitude entre 2010 et 2020 (2 – 30 mg/L) - mais en-dessous du seuil AEP - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : - concentrations les plus faibles (inférieures à 5 mg/L) - pas de dépassements AEP	- Détections sur la période 2001-2021: - valeurs constantes de 2001 à 2016: 0,025 ug/L - valeurs constantes de 2016 à 2021: 0,01 ug/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : - concentrations les plus faibles (0,01 ug/L) - concentrations les plus élevées retrouvées au nord du territoire, à la confluence Tardoire-Bonnieure (0,036 ug/L)		- Détections sur la période 2001-2021: - pic à environ 48 mg/L au niveau de la Rochefoucauld autour de 2019 - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : concentrations les plus élevées sont retrouvées au nord du territoire, près de la confluence Tardoire-Bonnieure (23,9 mg/L), mais en-dessous du seuil AEP	- Détections sur la période 2001-2021: - concentrations les plus élevées observées en 2001 dans le qualimètre BSS001SNNL (La Rochefoucauld) pour l'atrazine déséthyl : 0,3 ug/L - détection dans les qualimètres BSS001SMHT et BSS001SMKH (à la confluence entre la Tardoire et la Bonnieure) mais sans dépassements de seuil AEP - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : concentrations les plus élevées sont retrouvées au nord du territoire, près de la confluence Tardoire-Bonnieure	Concentrations détectées en Carbamazépine, Métaldéhyde, Simazine, Somme des pesticides totaux, Terbutylazine déséthyl sur l'ensemble de la période de données.		Observation de concentrations aux sources de la Touvre supérieures à celles rencontrées dans les eaux superficielles, avec des augmentations des teneurs juste après une grosse pluie et un pic du débit.
Touvre	- Détections sur la période 2001-2021: - données ARS: 12,5 mg/L en 2001 - données EPTB: entre 10,1 et 14,9 mg/L en 2002 - légère tendance à la hausse - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : - concentrations les plus élevées (supérieures à 15 mg/L) en aval des sources - pas de dépassements AEP	- Détections sur la période 2001-2021: - données ARS: 0,03 ug/L en 2003 et 0,1 ug/L en 2017 - données EPTB: entre 0,02 et 0,04 ug/L entre 2013 et 2019 - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : pas de données	Dépassements des seuils AEP pour: Cyprodinil, Glyphosate, Métaldéhyde, Métolachlore entre 2016 et 2018	- Détections sur la période 2001-2021: - concentrations varient entre 2 et 40 mg/L - légère tendance à la hausse est constatée sur les ouvrages du secteur au nord/nord-ouest des sources de la Touvre - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : concentrations les plus basses sont retrouvées près des sources de la Touvre (9,08 mg/L)	- Détections sur la période 2001-2021: - tendance à la baisse - concentrations moyennes autour de 0,15 ug/L - <u>Etat des lieux à l'été 2020</u> : 0,02 ug/L		Les concentrations en atrazine retrouvées dans les eaux souterraines du secteur des sources de la Touvre (en amont) sont similaires à celles retrouvées dans les eaux superficielles (en aval) : 0,02 ug/L.	Concentrations en nitrates aux sources relativement constantes (autour de 20 mg/L), sans variation particulière liée aux précipitations, alors que dans les eaux superficielles, on observe un comportement réactif aux fluctuations du débit de la Touvre.



6 Conclusion et perspectives

6.1 Conclusion et synthèse

Le système karstique des sources de la Touvre est un aquifère relativement complexe, de type binaire et dont l'alimentation provient en grande partie par les pertes des ruisseaux de la Tardoire et du Bandiat (entre 50 et 70% selon les auteurs). Le reste de l'alimentation provient de l'infiltration efficace sur l'impluvium karstique (ou karst de La Rochefoucauld), représenté par les calcaires jurassiques à l'affleurement et affectés d'une intense karstification. Parmi les bassins versants présentés dans le contexte hydrogéologique dans les sections précédentes : il en ressort que les 3 BV superficiels (Bonnieure, Tardoire et Bandiat), correspondant aux impluviums non karstiques, participent à l'alimentation des eaux du captage de la Touvre au Bouillant.

Le système karstique de la Touvre requiert une importance stratégique pour la sécurisation de l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Grand Angoulême (entre 7 et 8 Mm³ avec une évolution qui tend à augmenter depuis 2008). L'une des sources du système (source du Bouillant) est captée pour l'eau potable et représente un peu moins de 90% de la production en eau potable de l'agglomération.

Parmi les autres usages, on peut mentionner l'usage agricole (79% des volumes totaux prélevés sur le bassin versant) avec des volumes oscillants entre 3 et 5 M m³ et plutôt à la hausse sur cette période d'observation. La variabilité est cependant liée à la demande estivale et aux apports pluviométriques.

Les limites du bassin d'alimentation ont été étudiées par le passé à travers la réalisation :

- d'études générales sur la connaissance du système karstique (thèses de ROUILLER et LAROCQUE) ;
- de piézométries de l'aquifère karstique ;
- de traçages hydrogéologiques notamment depuis les pertes mais également sur le karst (cavités, point d'infiltration...).

Plusieurs bilans hydrogéologiques ont été tentés par les différents auteurs des études. Ces bilans se heurtent à plusieurs difficultés :

- la validité des données d'entrée (précipitation efficace, débits d'entrée et de sortie) et leur spatialisation, d'autant plus important compte tenu de l'étendue du bassin présumé d'alimentation,
- la présence probable de fuites non connues et appréhendées dans un travail plus général sur les débits classés par ROUILLER dans sa thèse et retrouvé lors de la modélisation KARSTMOD utilisée pour la simulation des débits des sources.



Compte tenu des connaissances à ce jour, **l'aire d'alimentation proposée du captage de la Touvre (point du Bouillant) correspond au territoire délimité par :**

- **le bassin versant hydrogéologique du Grand Karst.**
- les **3 bassins versants superficiels principaux** : la **Bonnieure** (89,84 km²), la **Tardoire** (444,75 km²) et le **Bandiat** (229,13 km²)

Les limites sont justifiées selon les données géologiques (limites des calcaires karstifiés), hydrogéologiques (crêtes piézométriques) ou topographiques (traçages, bassin versant).

La qualité des eaux captées aux sources de la Touvre d'un point de vue physico-chimique et bactériologique est d'une qualité globale satisfaisante et compatible aux normes eaux brutes avec des teneurs en nitrates stables dans le temps et la présence de pesticides à des concentrations faibles.

Les eaux superficielles sur l'ensemble du territoire semblent plus affectées par la présence de pesticides (atrazine et nitrates) en légère hausse par endroit et avec une réactivité face aux épisodes de précipitations, selon le degré de réponse des rivières aux précipitations : les BV de la Bonnieure et de la Tardoire semblent plus réactifs sur cet aspect, probablement dû à la présence du grand karst sur les tronçons concernés.

6.2 Perspectives

A ce stade, les limites de l'AAC nous semblent assez bien justifiées dans les études antérieures et ne demandent pas d'investigations particulières.

L'idée éventuelle serait de refaire un bilan hydrogéologique (y compris méthode des débits classés) lors des deux dernières années (2021-2022) afin de vérifier si les phénomènes de fuite sont récurrents. Ce bilan permettrait également de valider la participation des ruisseaux (via les pertes) ce qui pourrait permettre d'orienter les actions vers les eaux superficielles plutôt que les eaux souterraines karstiques.

Dans la même orientation, une datation des eaux du système pourrait être effectuée. Les CFC (chlorofluorocarbones) et le SF₆ (hexafluorure de soufre) sont des gaz anthropiques produits depuis les années 60 et qui permettent des analyses quantitatives en termes d'âge de l'eau. Ainsi, toute trace de ces gaz dans une nappe souterraine indique la présence d'une eau de moins de 50 ans. Les échantillons seront analysés en chromatographie en phase gazeuse (GC-ECD) sur les 3 CFC habituellement utilisés en datation (CFC-11, CFC-12 et CFC-113). Les analyses sont ensuite interprétées selon des modèles de mélange (par exemple) entre une masse d'eau récente (0-5 ans) et ancienne (sans CFC ni SF₆).

La réalisation de traçages ou d'une nouvelle piézométrie ne nous paraissent pas nécessaires car elles n'amèneront pas obligatoirement d'éléments nouveaux supplémentaires dans la

définition de l'AAC. Une actualisation de la piézométrie sur le secteur Sud du bassin d'alimentation (celle existante datant de 1994) pourrait s'avérer utile.

Les données qualitatives sont assez complètes même si une campagne synchrone sur les compartiments du système s'avèrerait utile avec analyse sur la zone noyée du karst, dans des piézomètres et en amont des pertes.

Enfin, des sondages pédologiques complémentaires permettront de compléter les données SIG récoltées, notamment dans les secteurs sans données pédologiques : zones amont de la Tardoire et du Bandiat. Une campagne de sondages a été réalisée pour compléter l'information manquante, les conclusions seront présentées dans le rapport d'Etape 2.

Observation sur l'utilisation du rapport

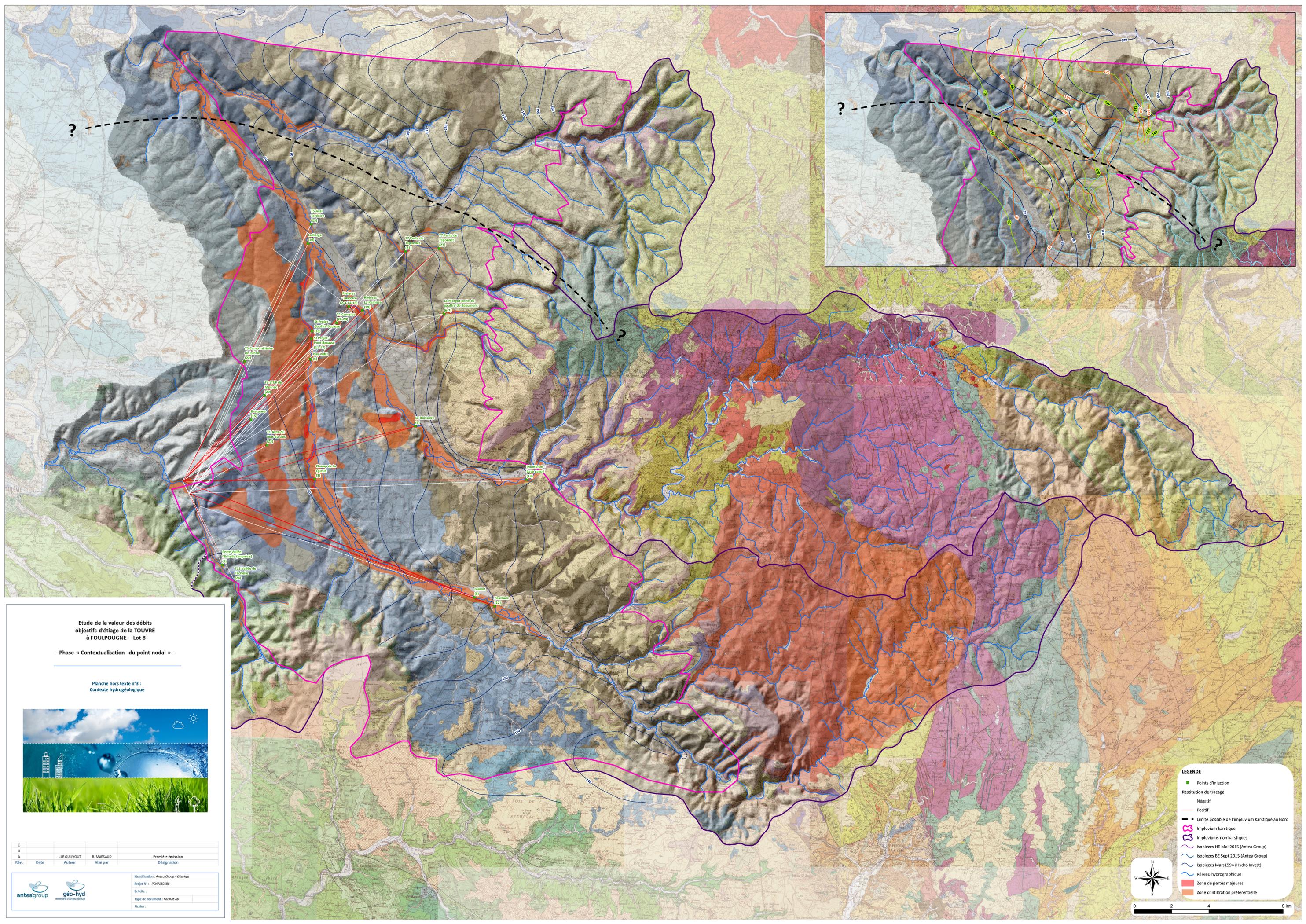
Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.



ANNEXES

- Annexe I : Piézométrie existante (ANTEA, 2015 + HydroInvest, 1994)
- Annexe II : Synthèse des traçages
- Annexe III : Graphiques d'évolution temporelle des paramètres chimiques dans les Eaux superficielles
- Annexe IV : Graphiques d'évolution temporelle des paramètres chimiques dans les Eaux souterraines
- Annexe V : Graphiques de corrélations des données qualité et quantité

Annexe I : **Piézométrie existante (ANTEA, 2015 + HydroInvest,
1994)**



Etude de la valeur des débits
objectifs d'étiage de la TOUVRE
à FOULPOUGNE – Lot 8

- Phase « Contextualisation du point nodal » -

Planche hors texte n°3 :
Contexte hydrogéologique



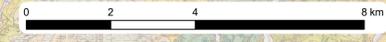
C				
B				
A				
Rév.	Date	LIE GUILVOUT Auteur	B. MARSAUD Visé par	Première émission Désignation




Identification : Anteagroup - Géo-hyd
 Projet N° : PCP160188
 Echelle :
 Type de document : Format A0
 Fichier :

LEGENDE

- Points d'injection
- Restitution de tracage
 - Négatif
 - Positif
- Limite possible de l'impluvium Karstique au Nord
- Impluvium karstique
- Impluvium non karstiques
- Isopiezés HE Mai 2015 (Antea Group)
- Isopiezés BE Sept 2015 (Antea Group)
- Isopiezés Mars 1994 (Hydro Invest)
- Réseau hydrographique
- Zone de pertes majeures
- Zone d'infiltration préférentielle



Annexe II : Synthèse des traçages

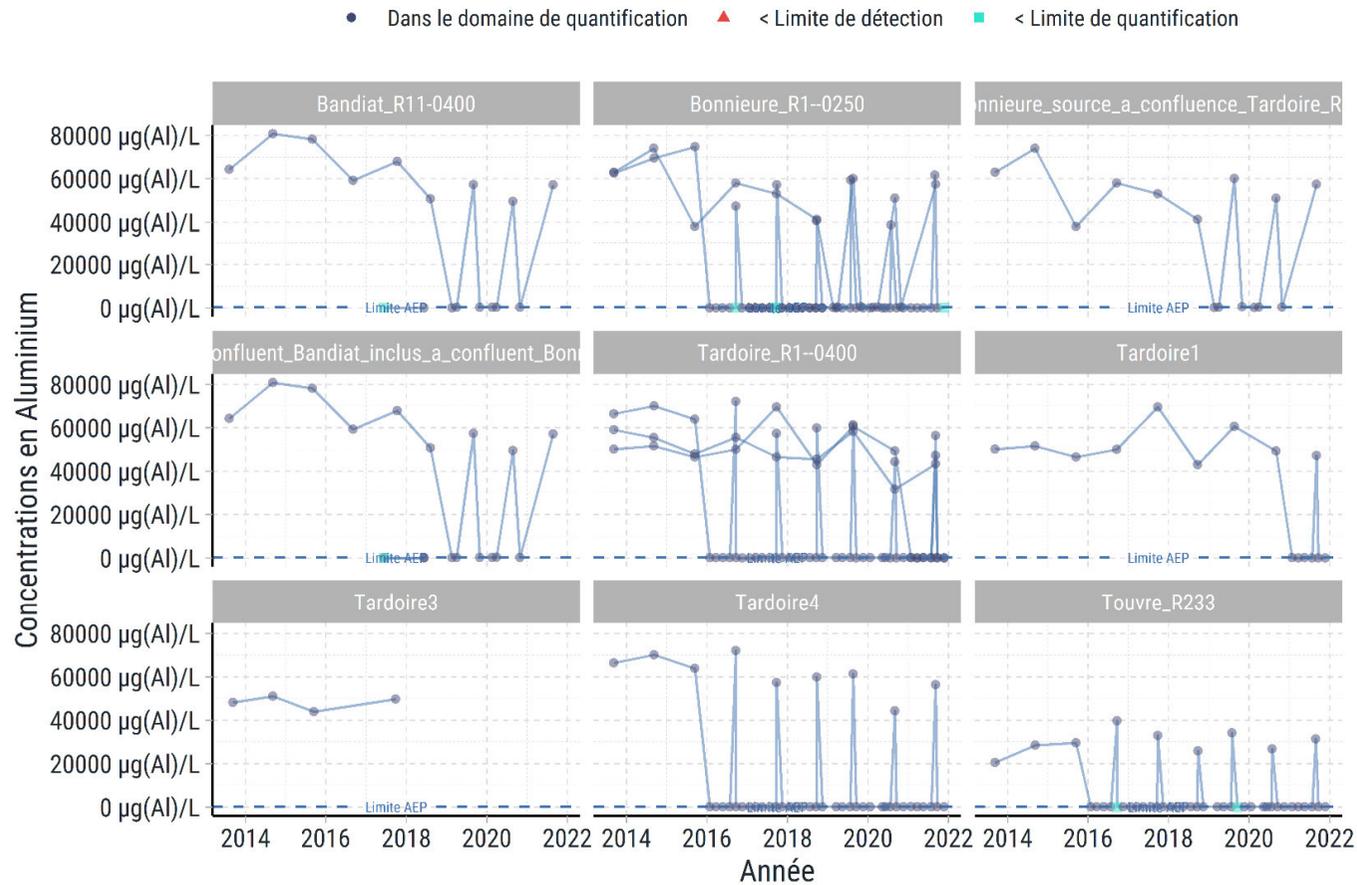
Date	Auteur	Source données	INJECTION				N° injection (figuré sur carte)	RESTITUTION						N° restitution (non figuré sur carte)		
			Lieu d'injection	Type de traceur	Quantité de traceur injectée	Situation hydrologique		Distance apparente	Lieu surveillance	Résultat	Temps d'apparition du traceur	Vitesse maximale	Pourcentage de restitution		Concentration maximale	
Avant 1957	Spéléoclub Charente	In rapport BRGM 74 SGN 343 AQI	Pertes Vallée de l'Echelle (imprécis)	Fluorescéine	?	?	1	?	Touvre (Bouillant)	Négatif						1a
								?	Touvre (Dormant)	Négatif						
								?	Touvre (Font de Lussac)	Négatif						
								?	Lèche (source)	Positif	7 j	?			Visuel	1b
15/09/1970	Université Besançon	In rapport BRGM 74 SGN 343 AQI	La Tardoire (Gouffre Chez Lacoux)	?	15.4 kg	BE	2	13 000 m	Touvre (Bouillant)	Positif	10.8 j	50.4 m/h			Visuel	2a
								13 000 m	Touvre (Dormant)	Positif	10.8 j	50.4 m/h			Visuel	
								13 000 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	10.8 j	50.4 m/h			Visuel	
								?	Lèche (source)	Négatif						2b
								?	La Fosse Mobile	Négatif						2c
								?	Résurgence des Forges (hors SK Touvre)	Négatif						Non représenté
03/11/1970	Université Besançon	In rapport BRGM 74 SGN 343 AQI	Le Bandiat (Gouffre du champ de la Queue)	?	10	BE	3	7 000 m	Touvre (Bouillant)	Positif	5 j	56 m/h			Visuel	3
								7 000 m	Touvre (Dormant)	Positif	5 j	56 m/h			Visuel	
								7 000 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	5 j	56 m/h			Visuel	
16/04/1971	Université Besançon	In rapport BRGM 74 SGN 343 AQI	La Tardoire (Gouffre Chez Lacoux)	?	13	HE	4	13 000 m	Touvre (Bouillant)	Positif	5.1 j	106 m/h			Visuel	4
								13 000 m	Touvre (Dormant)	Positif	5.1 j	106 m/h			Visuel	
								13 000 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	5.1 j	106 m/h			Visuel	
14/05/1971	Université Besançon	In rapport BRGM 74 SGN 343 AQI	Le Bandiat (Perte de Puy Vidal)	?	12	HE	5	9 500 m	Touvre (Bouillant)	Positif	4 j	98 m/h			Visuel	5
									Touvre (Dormant)	Positif	4 j	98 m/h			Visuel	
									Touvre (Font de Lussac)	Positif	4 j	98 m/h			Visuel	
24/10/1978	BRGM / Hydroinvest	Rapport BRGM - Hydroinvest 82 SGN 502 POC	La Margot (perte du gouffre de Beaumont)	Fluorescéine	1.5 kg	BE	6	2 850 m	Forage de la Rochefoucauld - Les Courres (06865X0009/F)	Négatif						6
26/12/1978	BRGM / Hydroinvest	Rapport BRGM - Hydroinvest 82 SGN 502 POC	La Margot (perte du gouffre de Beaumont)	Fluorescéine	20 kg	BE	7	2 850 m	Forage de la Rochefoucauld - Les Courres (06865X0009/F)	Négatif						7a
								1 900 m	Forage de la Rochefoucauld - Delavallade (06865X0012/F)	Négatif						7b
								16 700 m	Touvre (Bouillant et Font de Lussac)	Négatif						7c
15/09/1980	BRGM / Hydroinvest	Rapport BRGM - Hydroinvest 82 SGN 502 POC	Le Bandiat (gouffre de Guillot)	Fluorescéine	30	BE	8	16 500 m	Touvre (Bouillant)	Positif	8.9 j	77 m/h				8a
								16 500 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	9.8 j	70 m/h				8b
								16 500 m	Lèche (source)	Positif	9.2 j	72 m/h				8c
								16 000 m	L'échelle (Route de Ruelle)	Négatif						8c
27/03/1981	BRGM / Hydroinvest	Rapport BRGM - Hydroinvest 82 SGN 502 POC	La Tardoire (gouffre de la Boissière)	Fluorescéine	50	HE	9	12 500 m	Touvre (Bouillant)	Positif	6.1 j	85 m/h				9a
								12 500 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	5.8 j	89 m/h				9b
								12 500 m	Lèche (source)	Positif	6.5 j	80 m/h				9b
29/06/1981	BRGM / Hydroinvest	Rapport BRGM - Hydroinvest 82 SGN 502 POC	La Tardoire (Gouffre de la Berge)	Fluorescéine	30	BE	10	14 400 m	Touvre (Bouillant)	Positif	7.1 j	84 m/h				10a
								14 600 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	7.1 j	84 m/h				10a
								14 900 m	Lèche (source)	Négatif						10b
29/09/2008	Hydroinvest	Rapport D/H08.12 // HI-2008120301 M6461	Bandiat (Saint Projet - Perte pont de la Bécasse) (Bandiat à s	Naphtionate	20 kg	BE	11	10 500 m	Touvre (Bouillant)	Négatif ou < 1%						11a
								10 400 m	Touvre (Font de Lussac)	Négatif ou < 1%						11a
								??	Lèche (source)	Négatif ou < 1%						11b
29/09/2008	Hydroinvest	Rapport D/H08.12 // HI-2008120301 M6461	Bandiat (Feuillade - Perte)	Uranine	10 kg	BE	12	18 100 m	Touvre (Bouillant)	Positif	7.1 j	107 m/h	9.80%	0.6 µg/l		12a
								17 910 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	7.1 j	106 m/h	2.20%	0.6 µg/l		12a
								??	Lèche (source)	Positif	9.2 j	80 m/h	2.70%	3.8 µg/l		12b
30/09/2008	Hydroinvest	Rapport D/H08.12 // HI-2008120301 M6461	Tardoire (Montbron (base canoë))	Jaune Duasyn	8.325 kg	BE	13	18 300 m	Touvre (Bouillant)	Positif	10.9 j	70 m/h	21.60%	2 µg/l		13a
								18 120 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	11.1 j	68 m/h	5.58%	1.9 µg/l		13a
								??	Lèche (source)	Négatif						13b
30/09/2008	Hydroinvest	Rapport D/H08.12 // HI-2008120301 M6461	Tardoire (Chez Lascoux - Gouffre perte) (en perte totale)	Sulforhodamine G	10 kg	BE	14	13 150 m	Touvre (Bouillant)	Positif	7.8 j	71 m/h	67.00%	6.6 µg/l		14a
								13 080 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	7.9 j	69 m/h	13.90%	5.6 µg/l		14a
								??	Lèche (source)	Négatif						14b
24/03/2009	Hydroinvest	In Rapport A84838/B	Z.A de la Braconne (Aven)	Sel iodure K	100 kg	HE	15	5 000 m	Touvre (Bouillant)	Positif	20 j	1.5 m/h		2.6 µg/l		15
15/03/2010	Hydroinvest	Rapport RH10.15/ /HI-6461	Bandiat (Saint Projet - Perte pont de la Bécasse)	Uranine	20 kg	HE	16	10 500 m	Touvre (Bouillant)	Positif	3.4 j	129 m/h	41.50%	4.7 µg/l		16a
								10 400 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	3.5 j	125 m/h	24.50%	5.1 µg/l		16a
								??	Lèche (source)	Négatif						16b
15/03/2010	Hydroinvest	Rapport RH10.15/ /HI-6461	Bandiat (Amont pont de Bécasse - au fil de l'eau)	Jaune Duasyn	16.65 kg	HE	17	10 500 m	Touvre (Bouillant)	Positif	3.7 j	119 m/h	35.00%	4.1 µg/l		17a
								10 400 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	3.6 j	120 m/h	19.60%	4.4 µg/l		17a
								??	Lèche (source)	Négatif						17b
15/03/2010	Hydroinvest	Rapport RH10.15/ /HI-6461	Tardoire (Chez Lascoux - Gouffre perte)	Sulforhodamine G	10 kg	HE	18	13 200 m	Touvre (Bouillant)	Positif	4.4 j	126 m/h	36.10%	2.8 µg/l		18a
								13 100 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	4.4 j	123 m/h	22.00%	3.0 µg/l		18a
								??	Lèche (source)	Négatif						18b
26/03/2010	Hydroinvest	Rapport RH10.15/ /HI-6461	Tardoire (Ramisse - Perte)	Eosine	25 kg	HE	19	13 300 m	Touvre (Bouillant)	Positif	4.2 j	132 m/h	2.20%	0.8 µg/l		19a
								??	Touvre (Font de Lussac)	Positif	4.1 j	133 m/h	1.40%	0.7 µg/l		19a
								??	Lèche (source)	Négatif						19b
28/04/2015	Antea Group	Rapport A88686/A	STEP de Mornac (Bassin d'infiltration)	Sulforhodamine B	35 kg	HE	20	6 350 m	Touvre (Bouillant)	Négatif						20a
								6 350 m	Touvre (Font de Lussac)	Négatif						20a
								?	Lèche (source)	Négatif						20b
28/04/2015	Antea Group	Rapport A88686/A	Bellonne (Perte de Taponnat aval - gouffre)	Acide Amino G	35 kg	HE	21	17 200 m	Touvre (Bouillant)	Négatif						21a
								17 200 m	Touvre (Font de Lussac)	Négatif						21a
								?	Lèche (source)	Négatif						21b
28/04/2015	Antea Group	Rapport A88686/A	Camp Militaire de la Brie (fossé pluvial)	Uranine	15 kg	HE	22	7 250 m	Touvre (Bouillant)	Positif	6.5 j	46 m/h	18.70%	0.88 µg/l		22a
								7 250 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	6.5 j	46 m/h	8.80%	0.94 µg/l		22a
								?	Lèche (source)	Négatif						22b
02/05/2015	Antea Group	Rapport A88686/A	Aven du Bois du Clos (direct dans karst noyé)	Eosine	10 kg	HE	23	4 950 m	Touvre (Bouillant)	Positif	2.5 j	84 m/h	22.50%	1.52 µg/l		23a
								4 950 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	2.5 j	84 m/h	6.63%	0.98 µg/l		23a
								?	Lèche (source)	Négatif						23b
10/09/2015	Antea Group	Rapport A82362/C	Vallée de l'Echelle (Les Grands Moulin - fil de l'eau)	Uranine	5 kg	BE	24	5 700 m	Touvre (Bouillant)	Négatif						24a
								5 700 m	Touvre (Font de Lussac)	Négatif						24a
								5 350 m	Lèche (source)	Positif	5.6 j	40 m/h	< 1%	0.19 µg/l		24b
21/09/2015	Antea Group	Rapport A82362/C	Tardoire aval (Perte de Pont d'Agris)	Eosine	20 kg	BE	25	11 770 m	Touvre (Bouillant)	Négatif						25a
								11 770 m	Touvre (Font de Lussac)	Négatif						25a
								?	Lèche (source)	Négatif						25b
21/09/2015	Antea Group	Rapport A82362/C	Aven Camelot (Diaclase dénoyée)	Sulforhodamine B	30 kg	BE	26	11 900 m	Touvre (Bouillant)	Négatif						26a
								11 900 m	Touvre (Font de Lussac)	Négatif						26a
								?	Lèche (source)	Négatif						26b
21/10/2015	Antea Group	Rapport A82362/C	Bellonne (Perte de Taponnat amont - fil de l'eau)	Uranine	20 kg	BE	27	17 550 m	Touvre (Bouillant)	Positif	19.0 j	38.5 m/h	11.30%	0.53 µg/l		27a
								17 550 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	19.4 j	37.5 m/h	0.10%	0.49 µg/l		27a
								?	Lèche (source)	Négatif						27b
15/03/2016	Antea Group	Rapport A84500/B	Aven Camelot (Diaclase dénoyée)	Uranine	40 kg	HE	28	11 900 m	Touvre (Bouillant)	Positif	0.5 j	991.7 m/h	9.53%	0.59 µg/l		28a
								11 900 m	Touvre (Font de Lussac)	Positif	5.2 j	96 m/h	4.74%	0.56 µg/l		28a
								?	Lèche (source)	Négatif						28b

Annexe III : **Graphiques d'évolution temporelle des paramètres chimiques dans les Eaux superficielles**



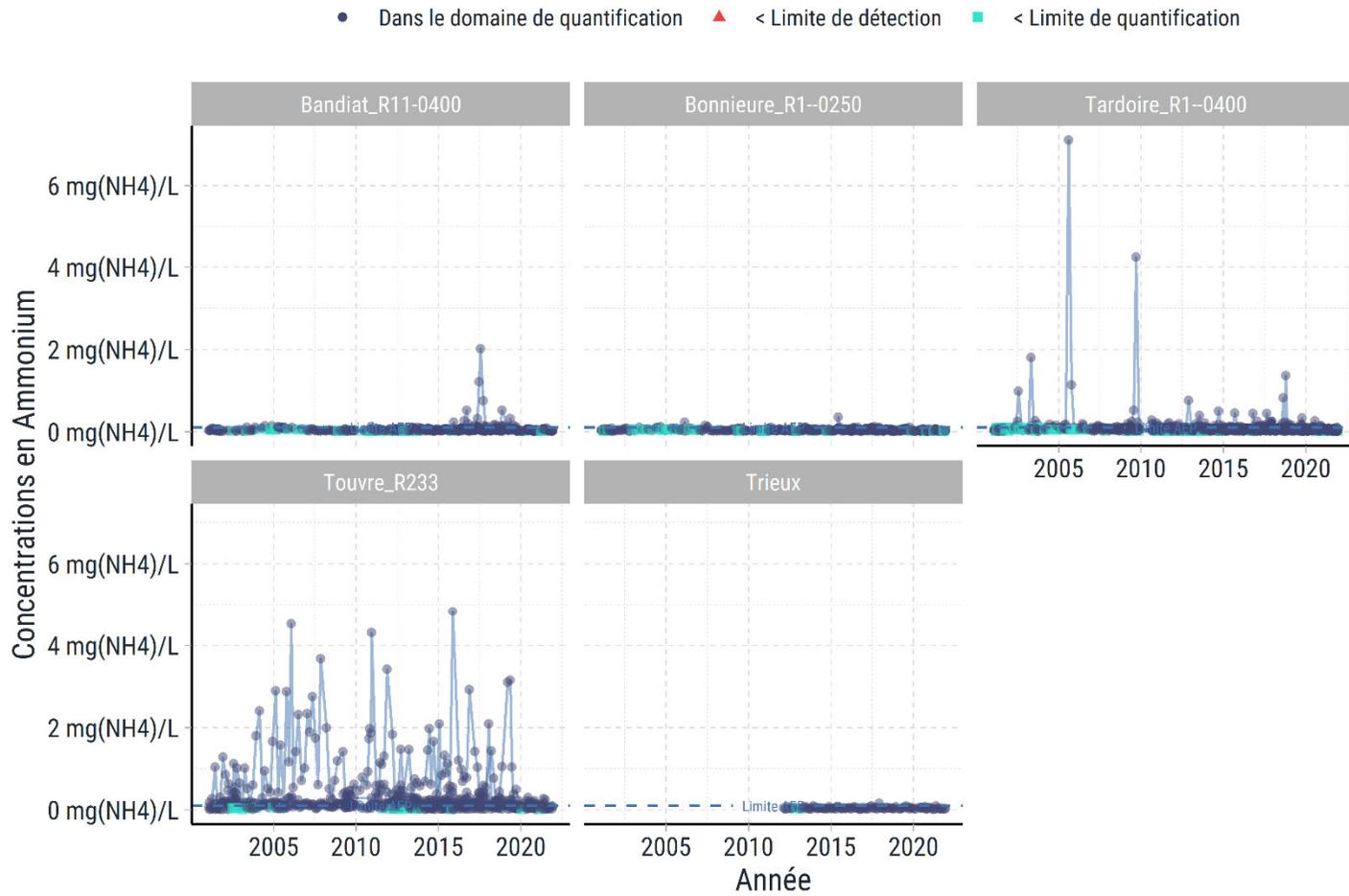
Graphiques d'évolution temporelle - Eaux superficielles – La Touvre

Evolution des concentrations en Aluminium



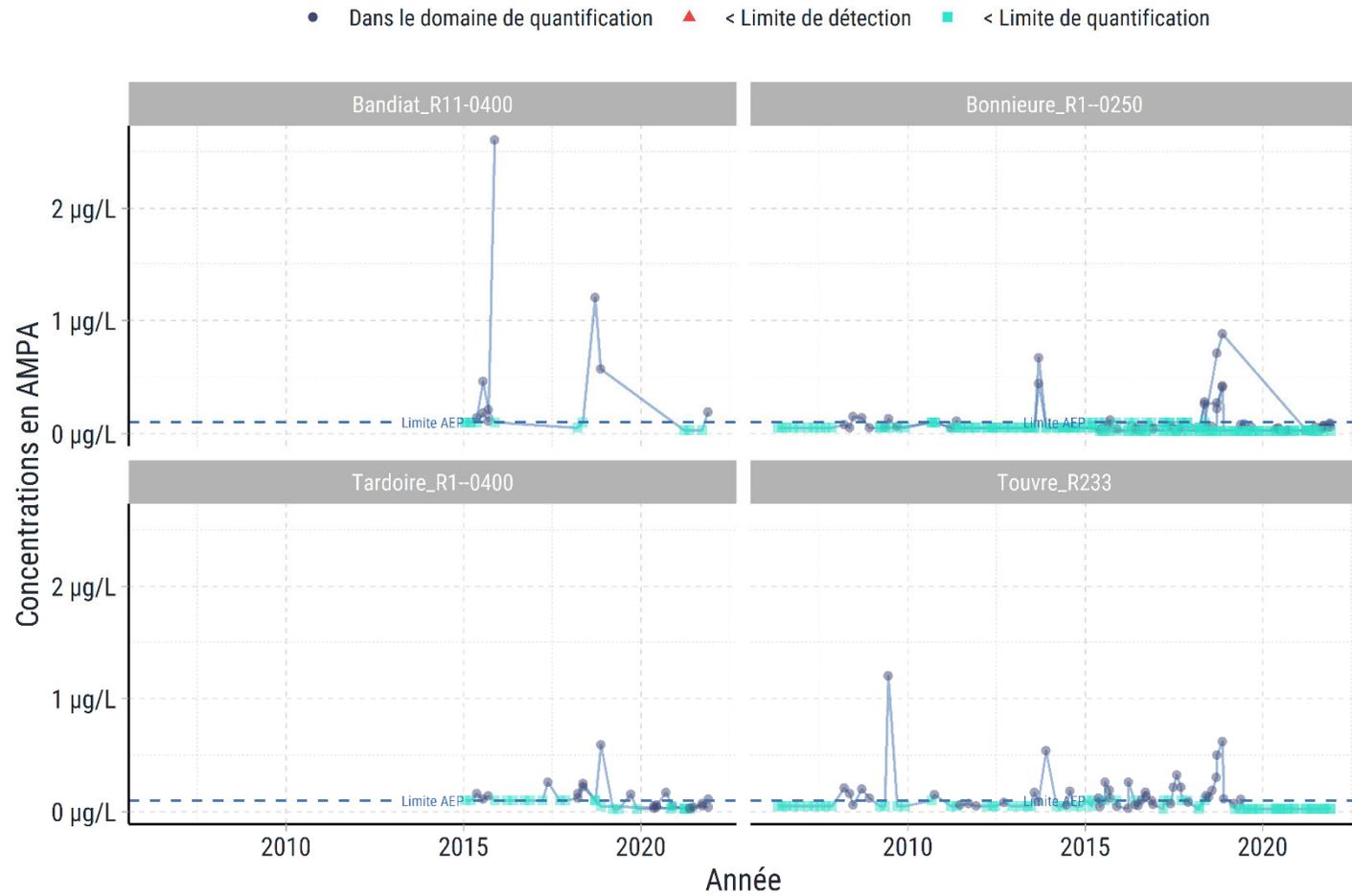
Source :EPTB Charente
Réalisation : Antea group (nov. 2022)

Evolution des concentrations en Ammonium

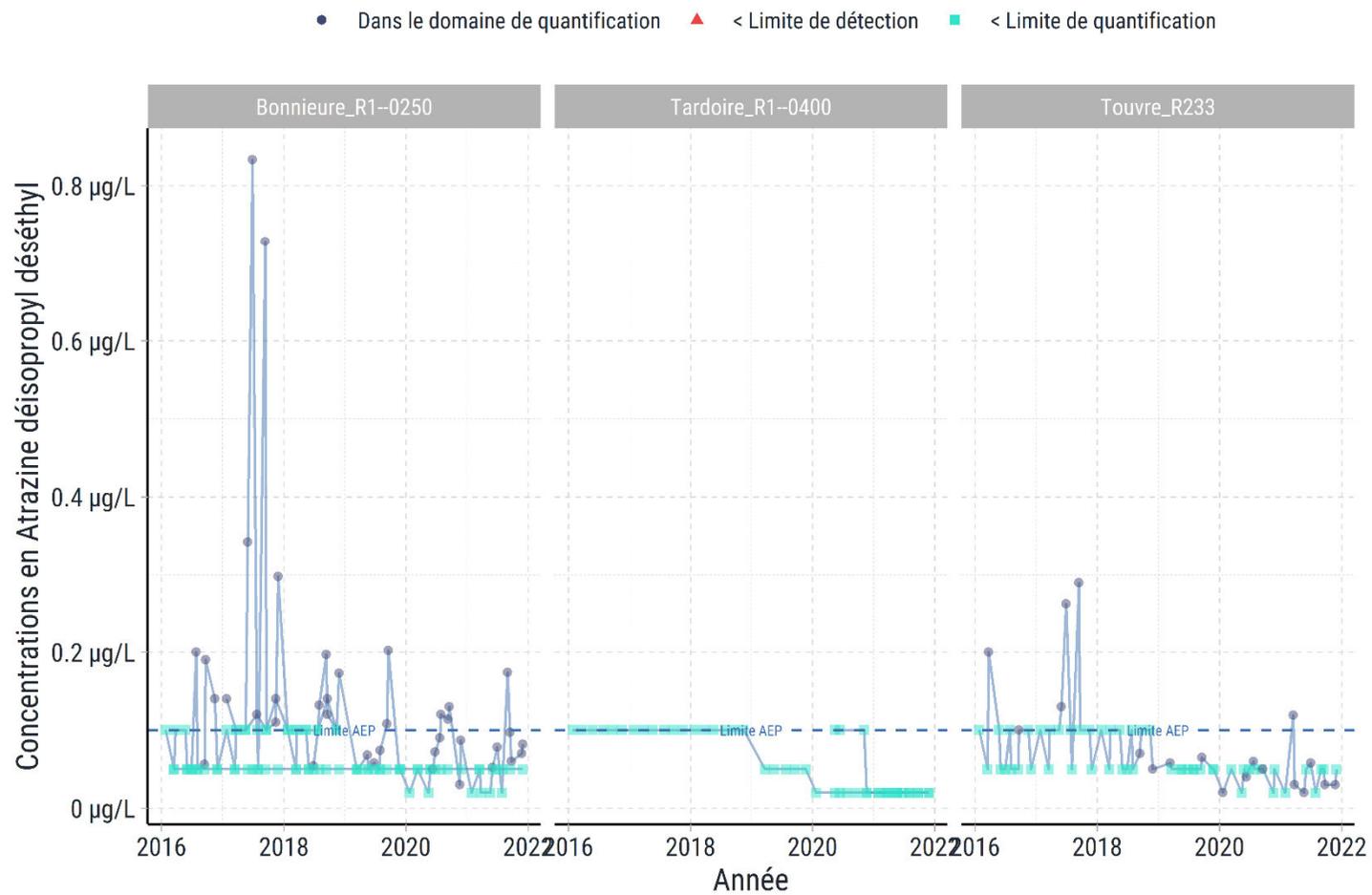


Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en AMPA

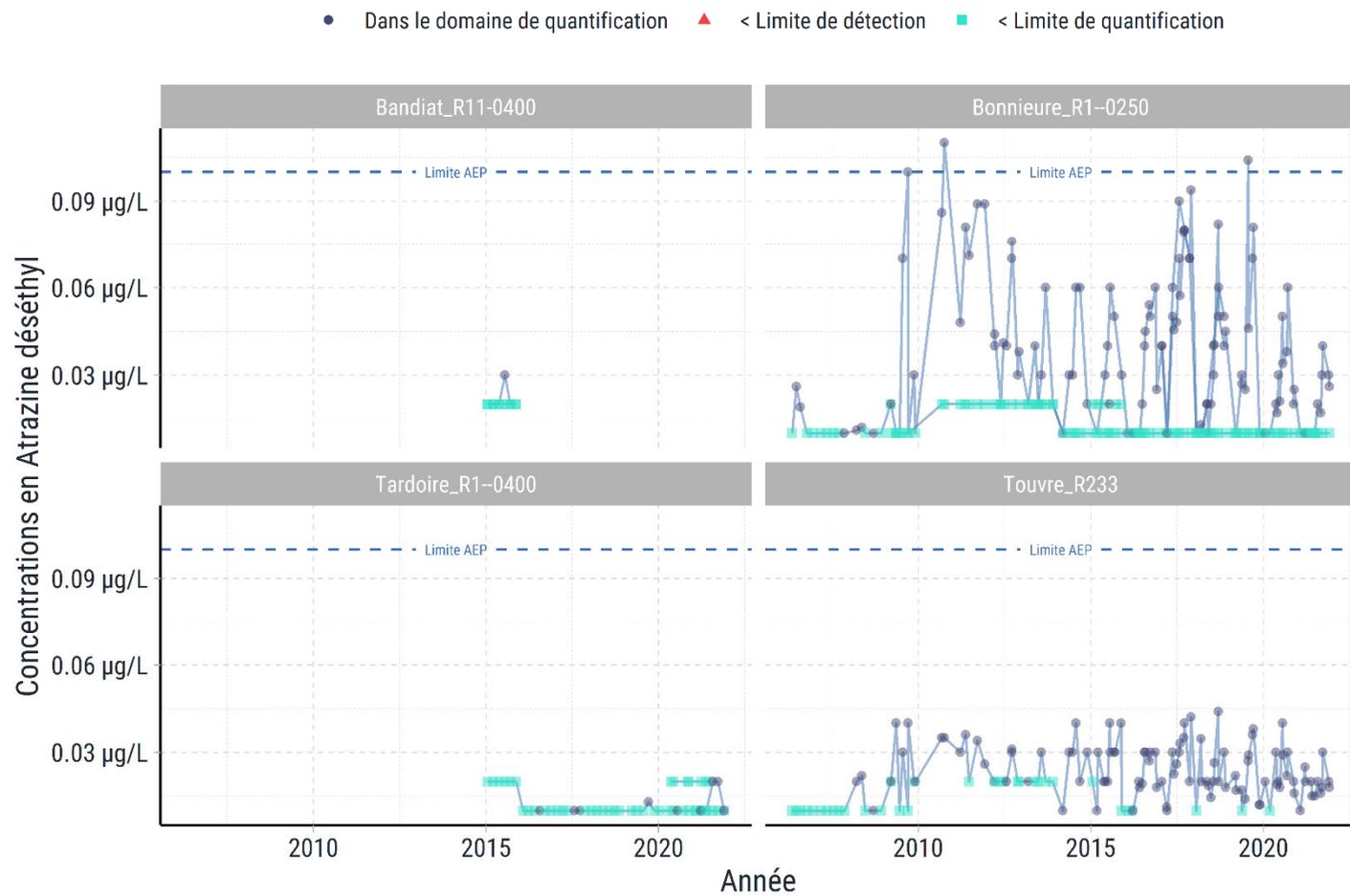


Evolution des concentrations en Atrazine désisopropyl déséthyl



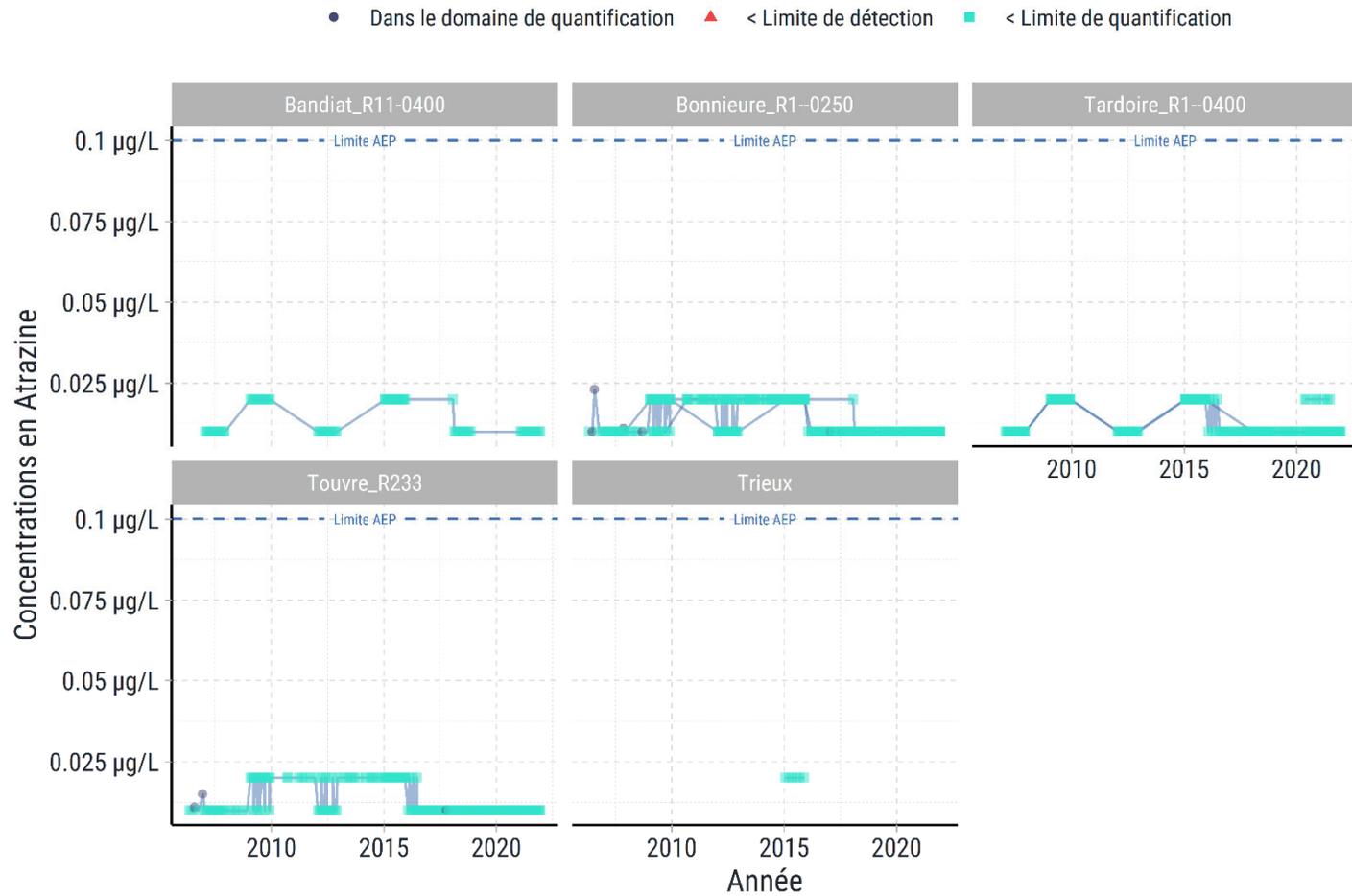
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Atrazine déséthyl



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

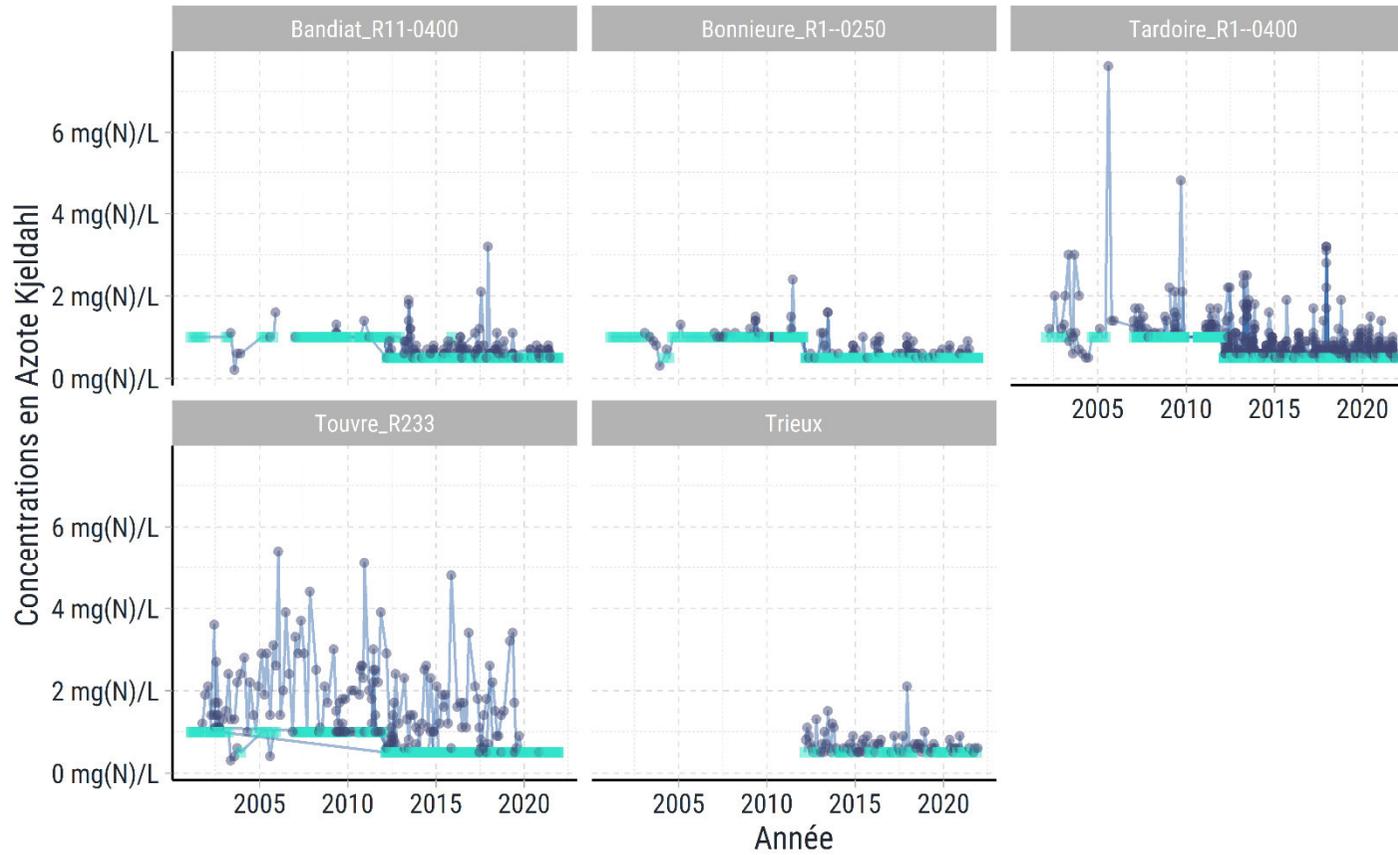
Evolution des concentrations en Atrazine



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

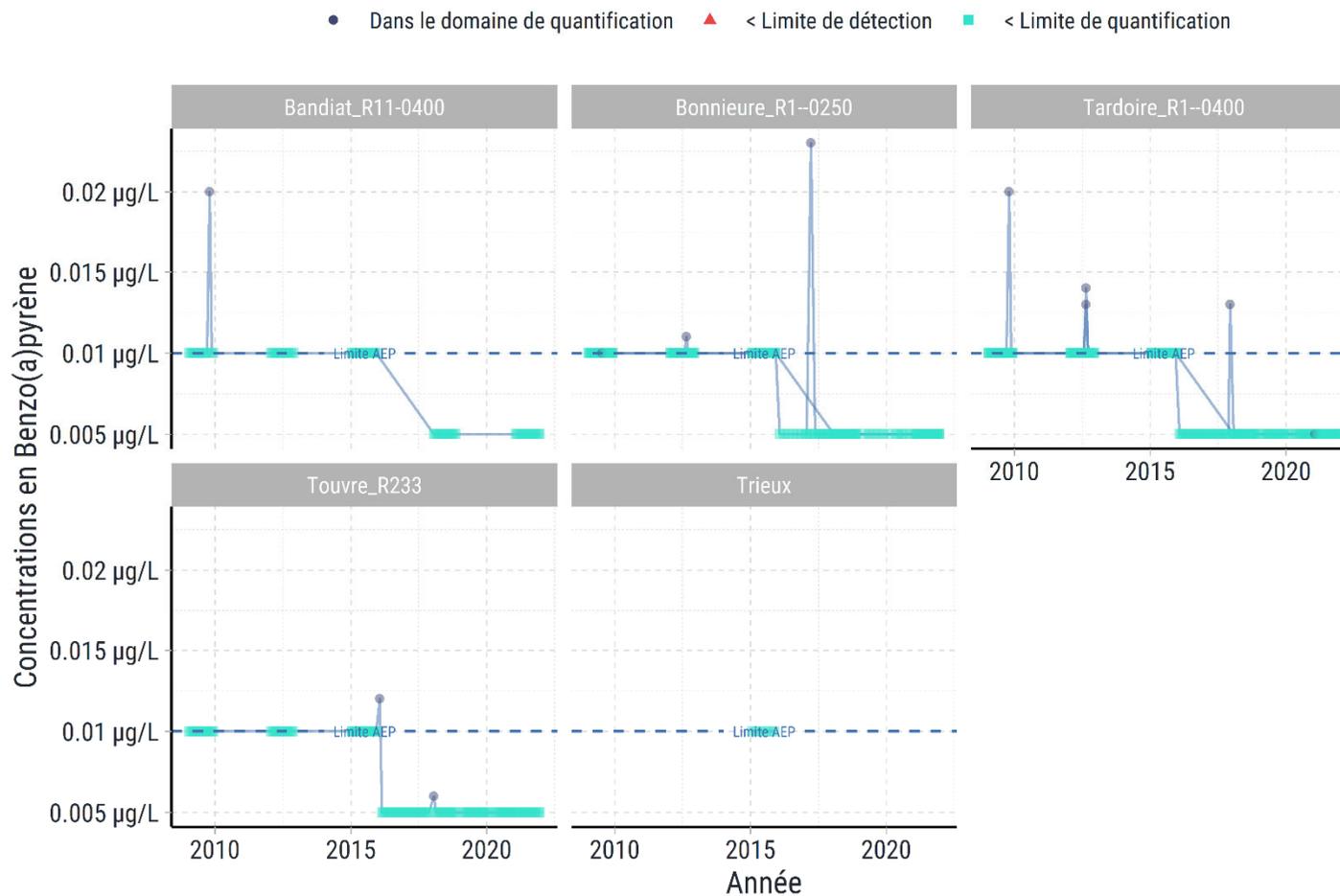
Evolution des concentrations en Azote Kjeldahl

• Dans le domaine de quantification ▲ < Limite de détection ■ < Limite de quantification



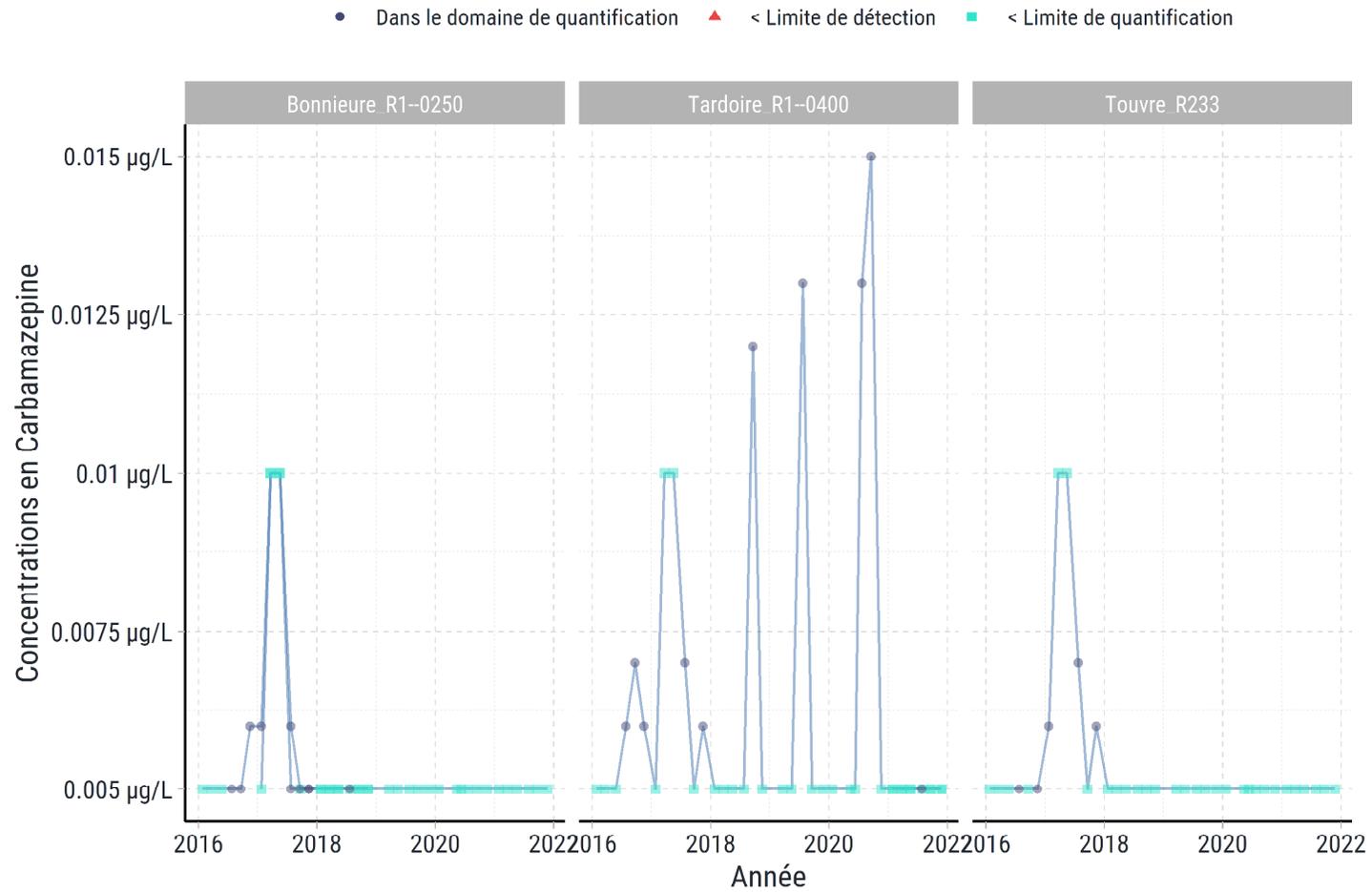
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Benzo(a)pyrène



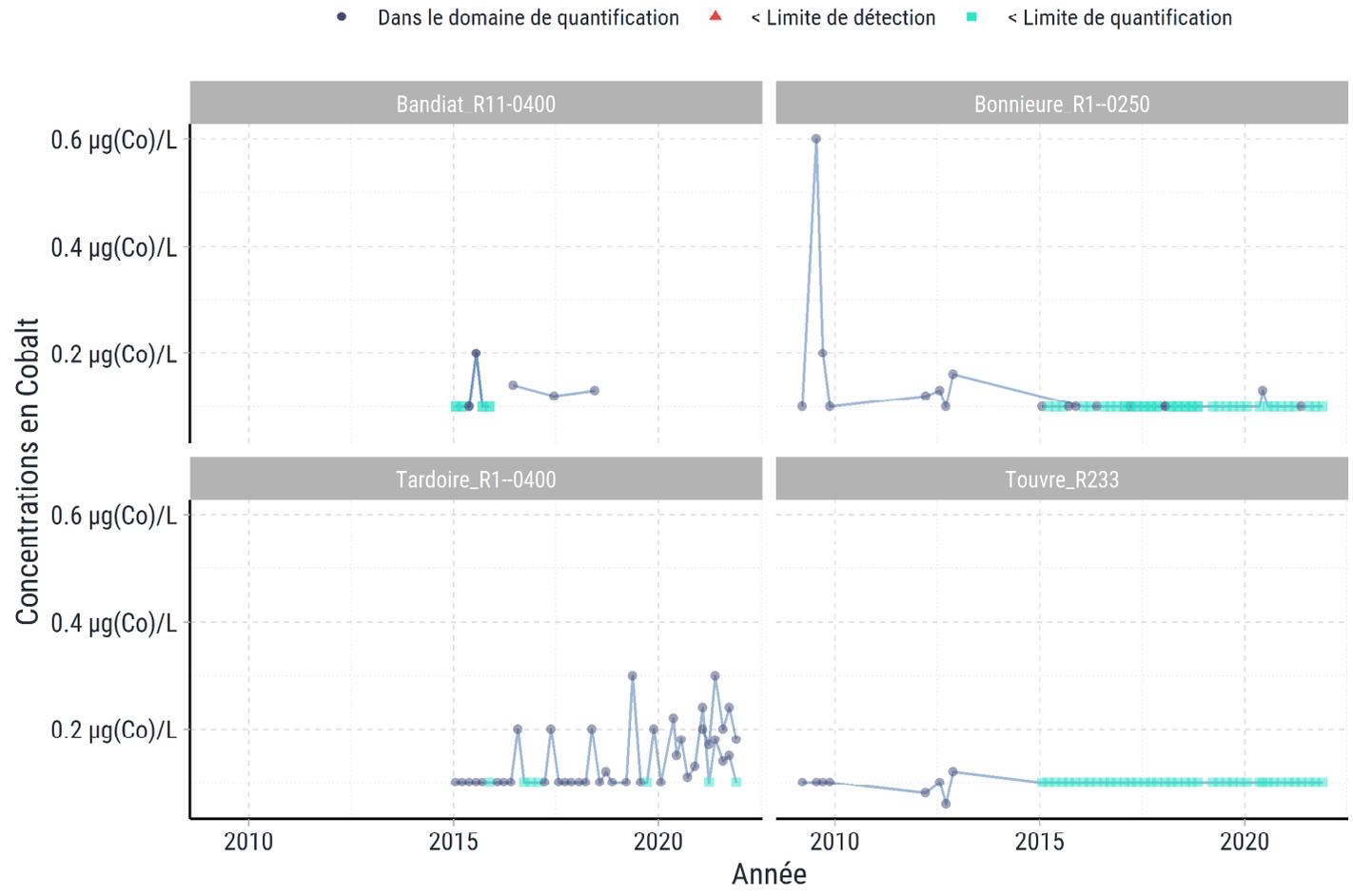
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Carbamazepine



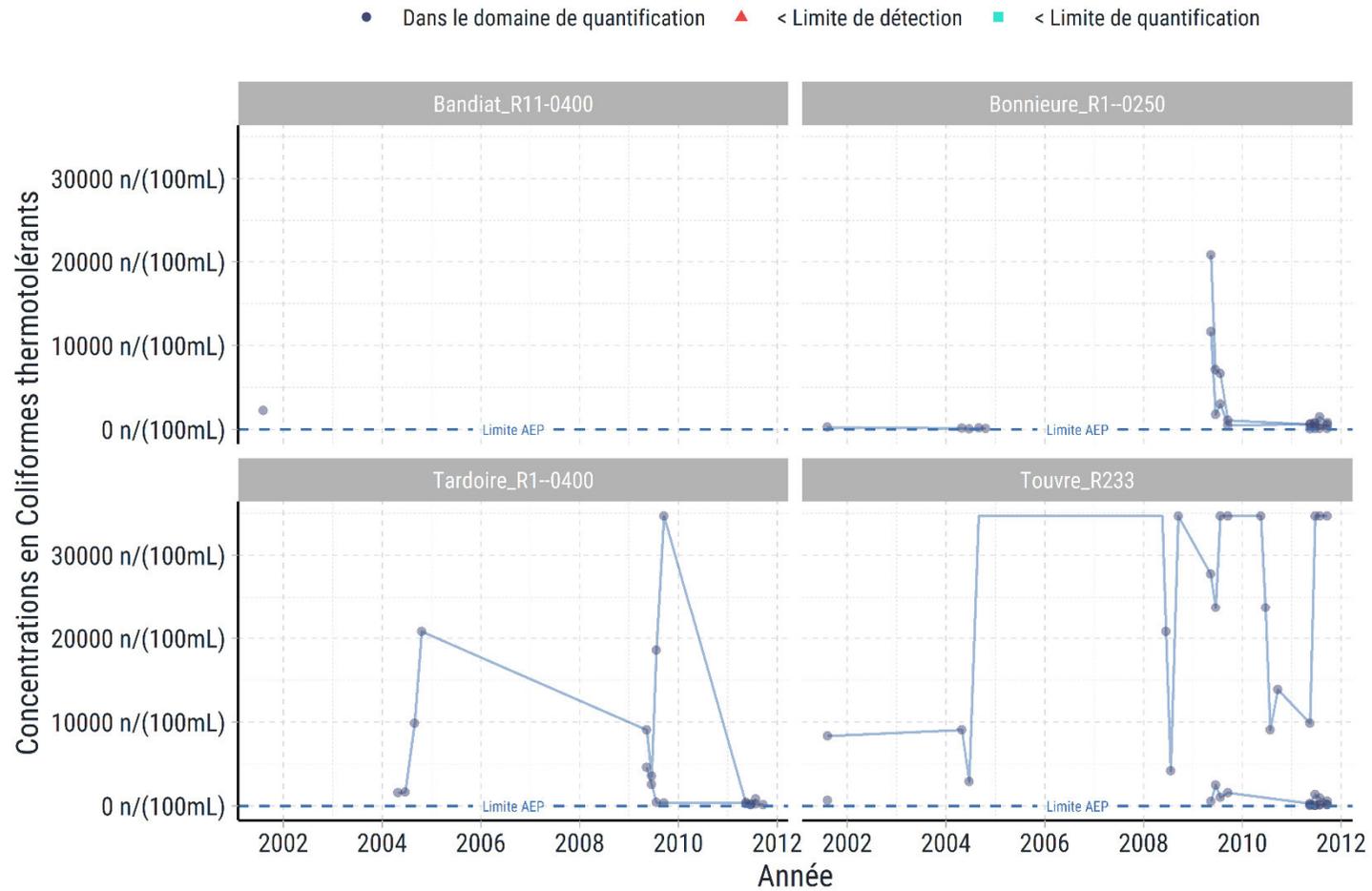
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Cobalt



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

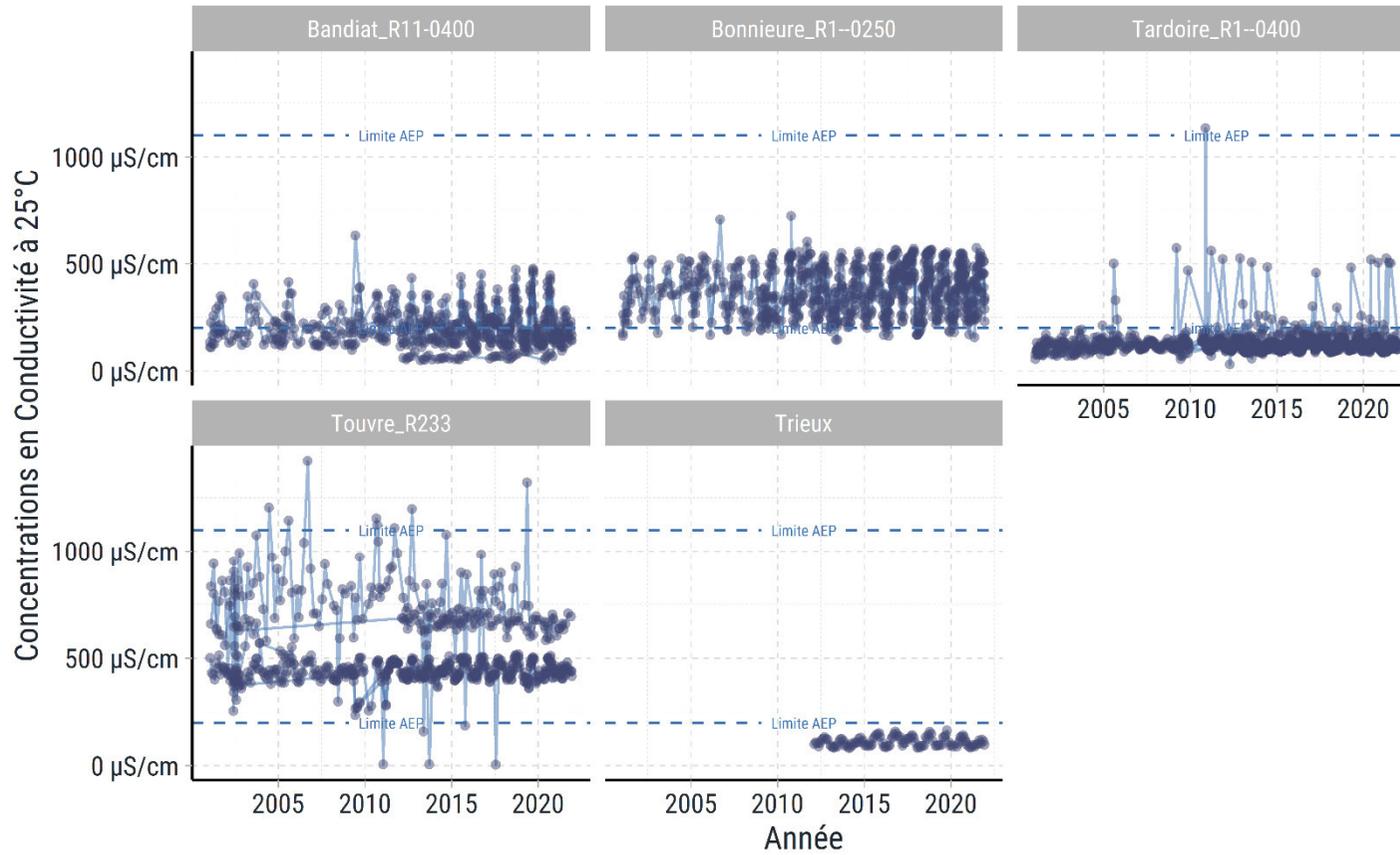
Evolution des concentrations en Coliformes thermotolérants



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

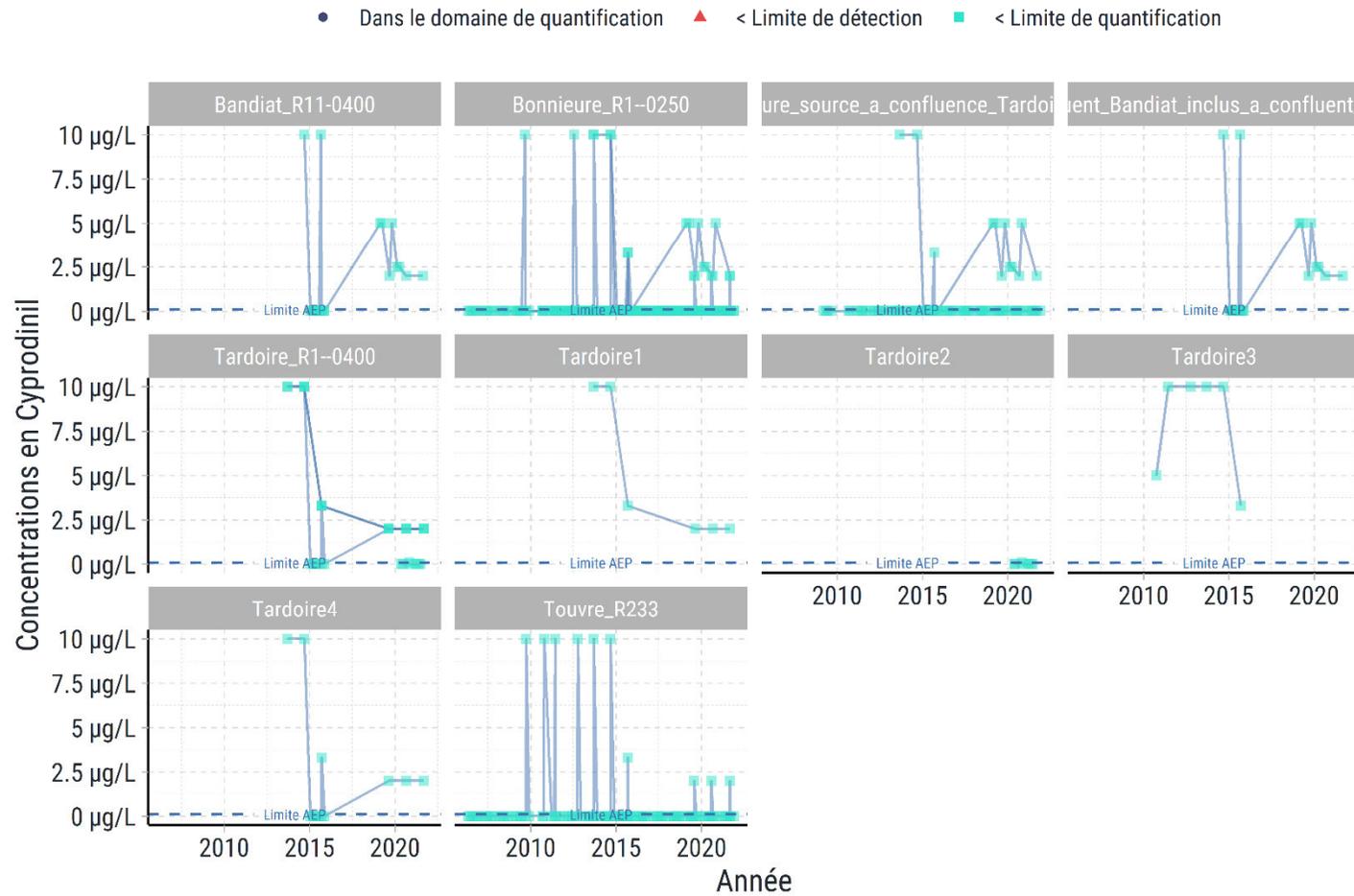
Evolution des concentrations en Conductivité à 25°C

● Dans le domaine de quantification ▲ < Limite de détection ■ < Limite de quantification



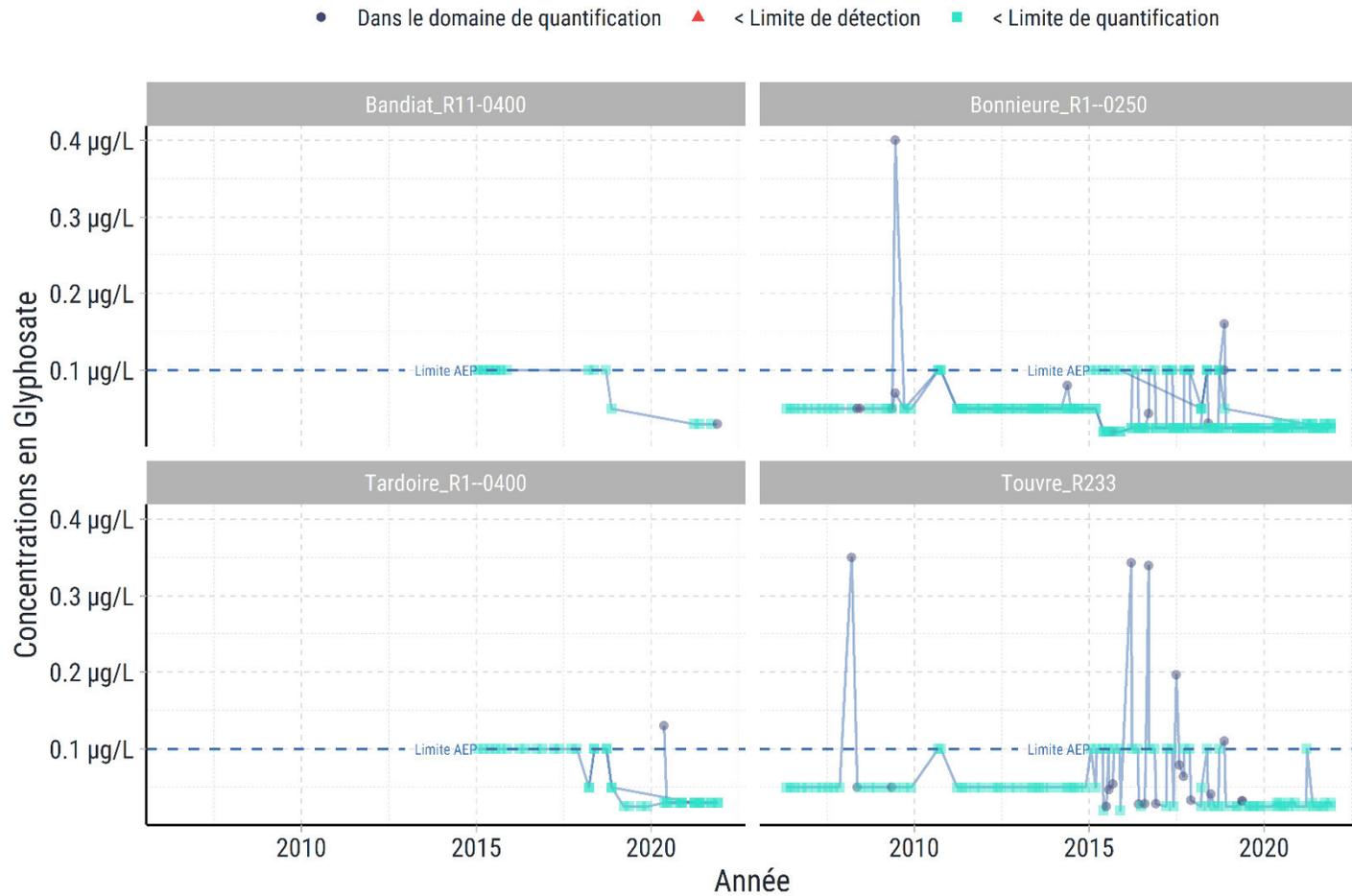
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Cyprodinil



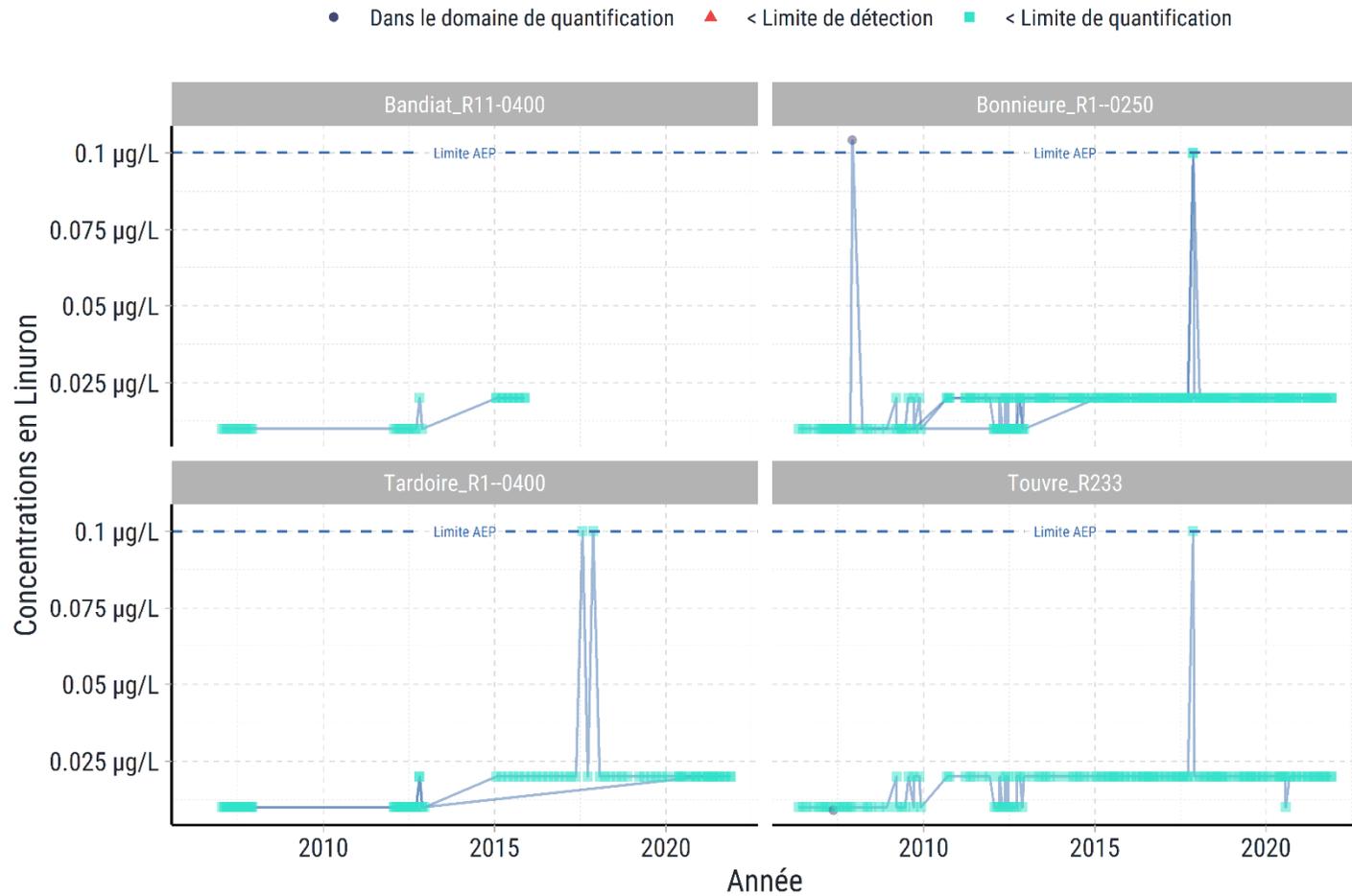
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (nov. 2022)

Evolution des concentrations en Glyphosate



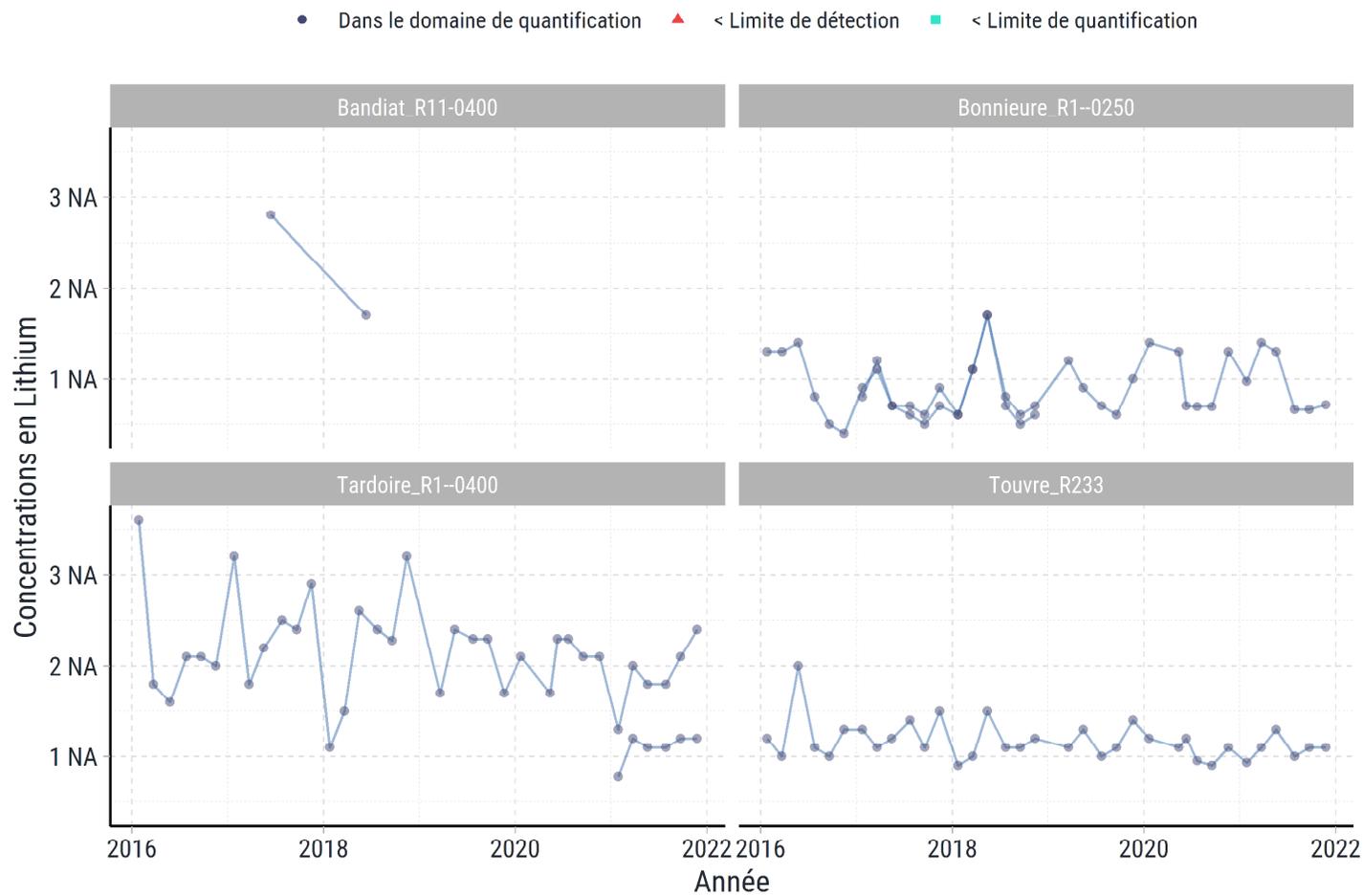
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Linuron



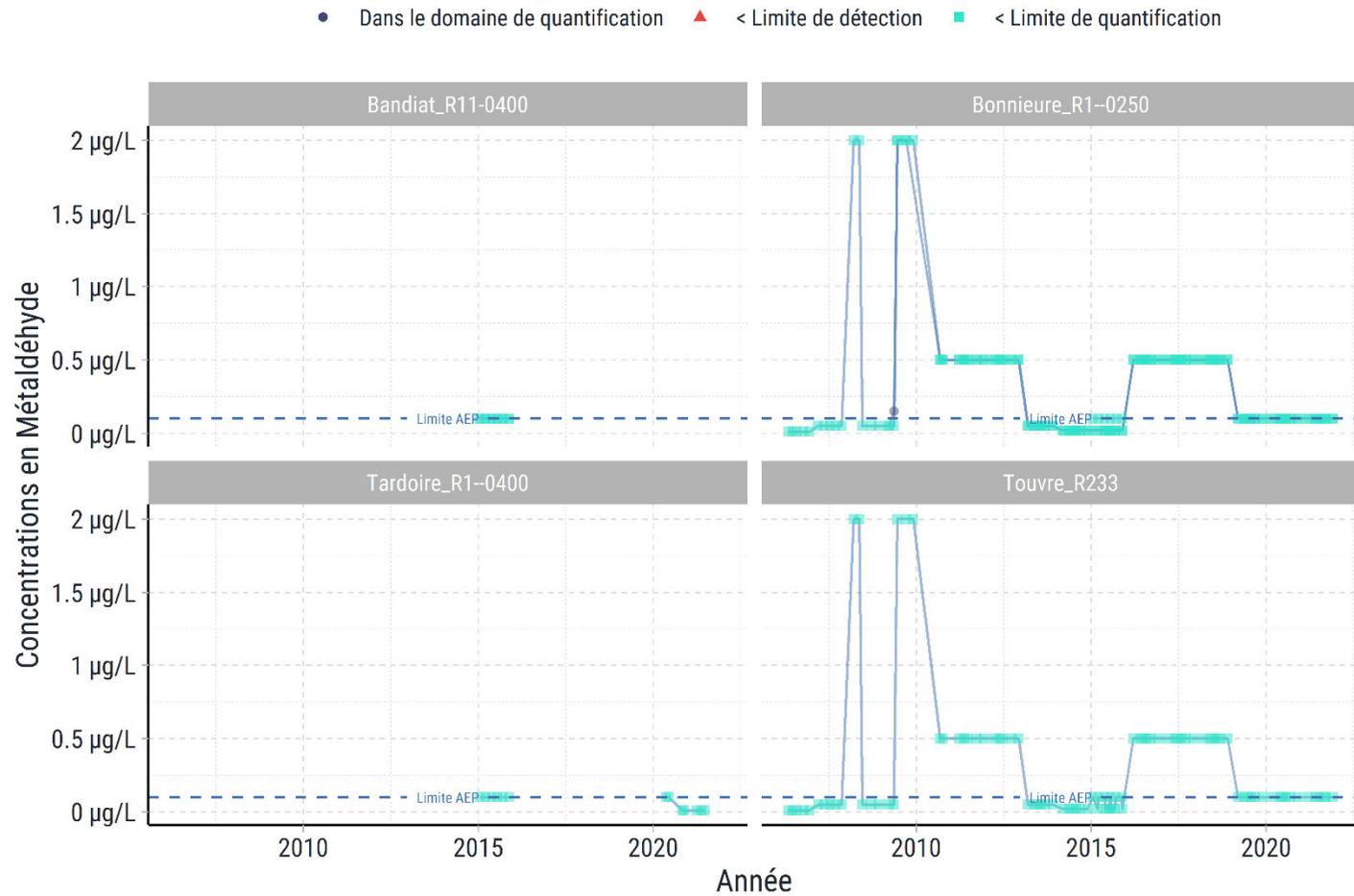
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Lithium



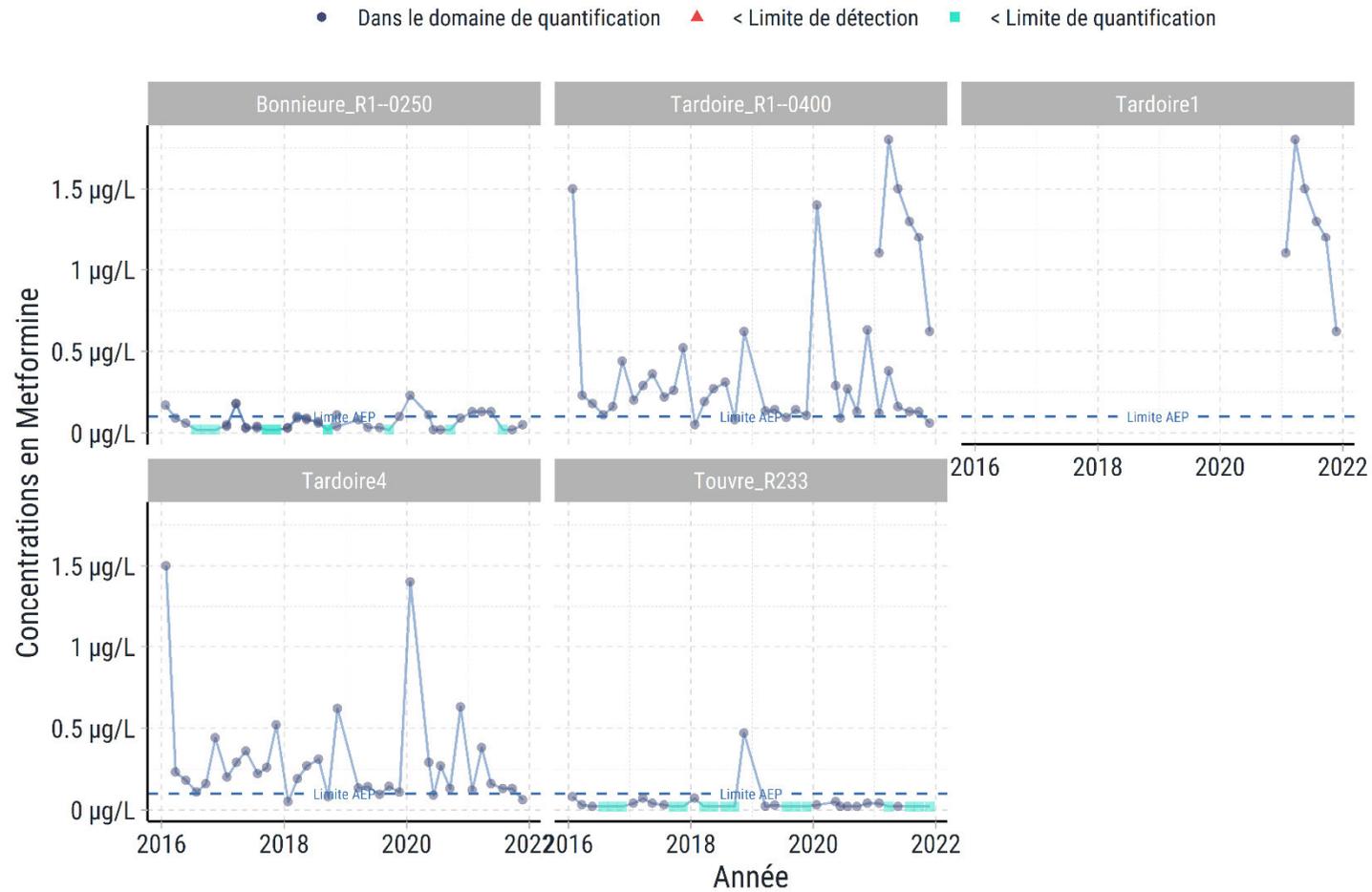
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Métaldéhyde



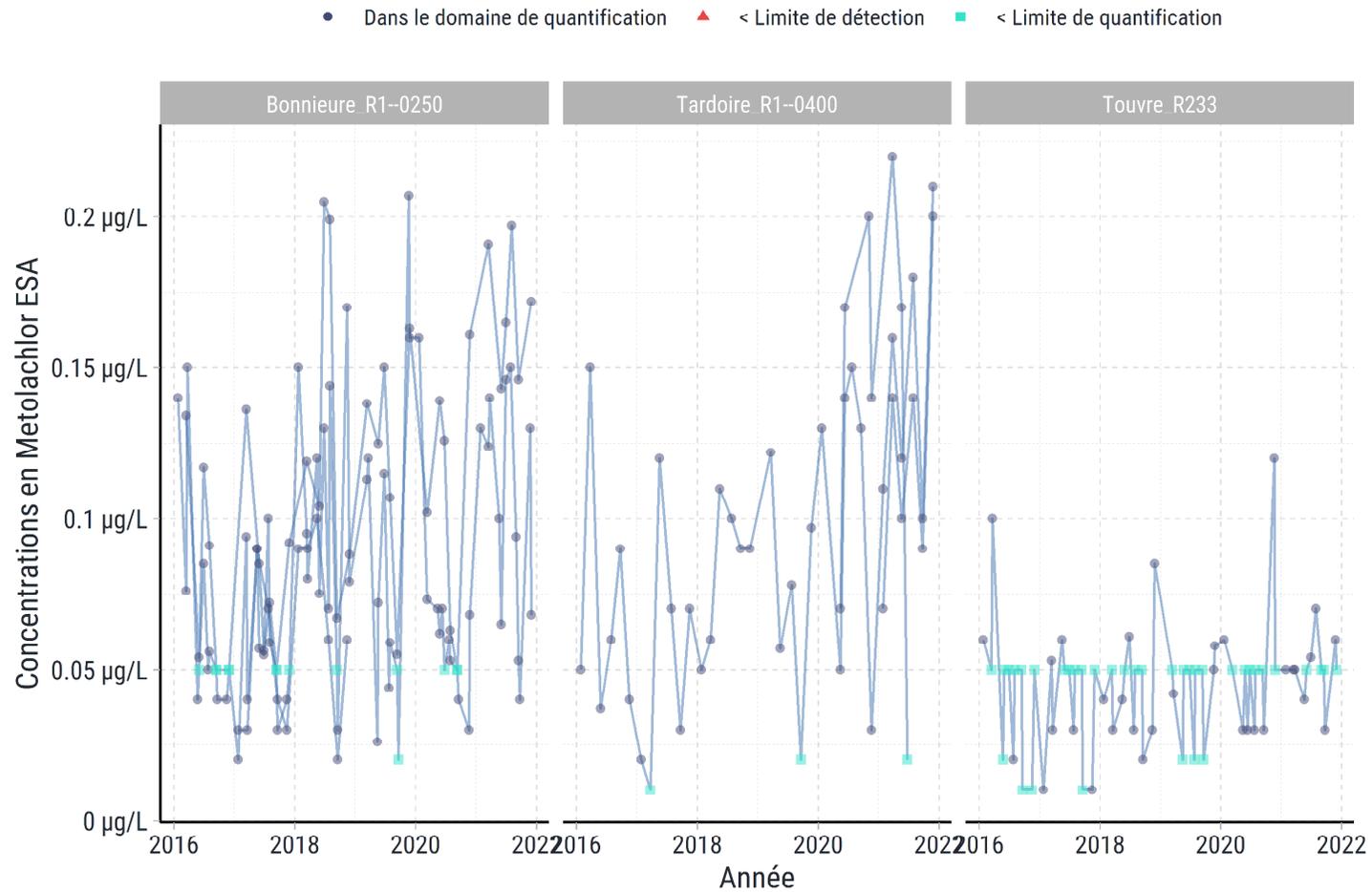
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Metformine



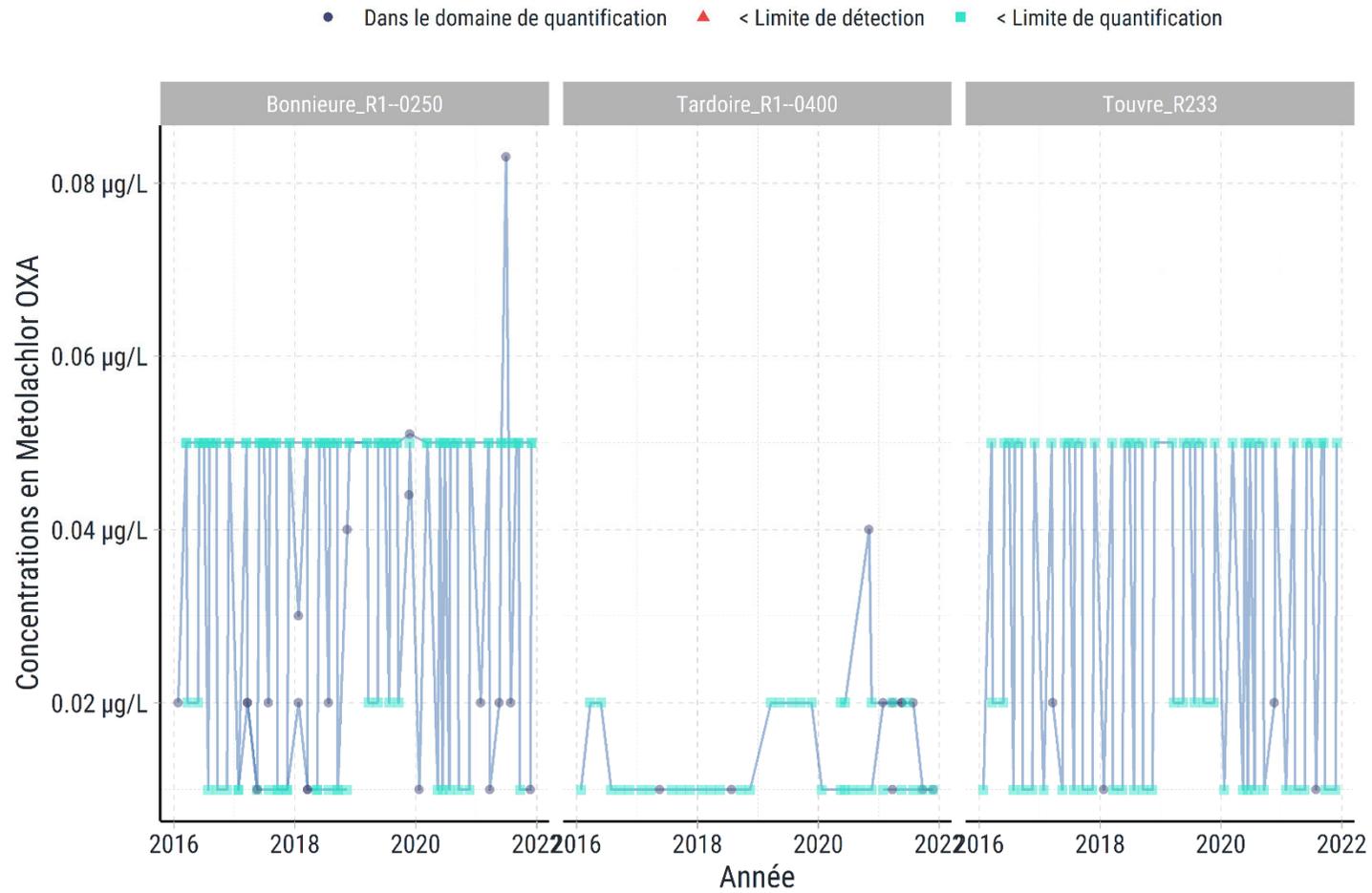
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (nov. 2022)

Evolution des concentrations en Metolachlor ESA



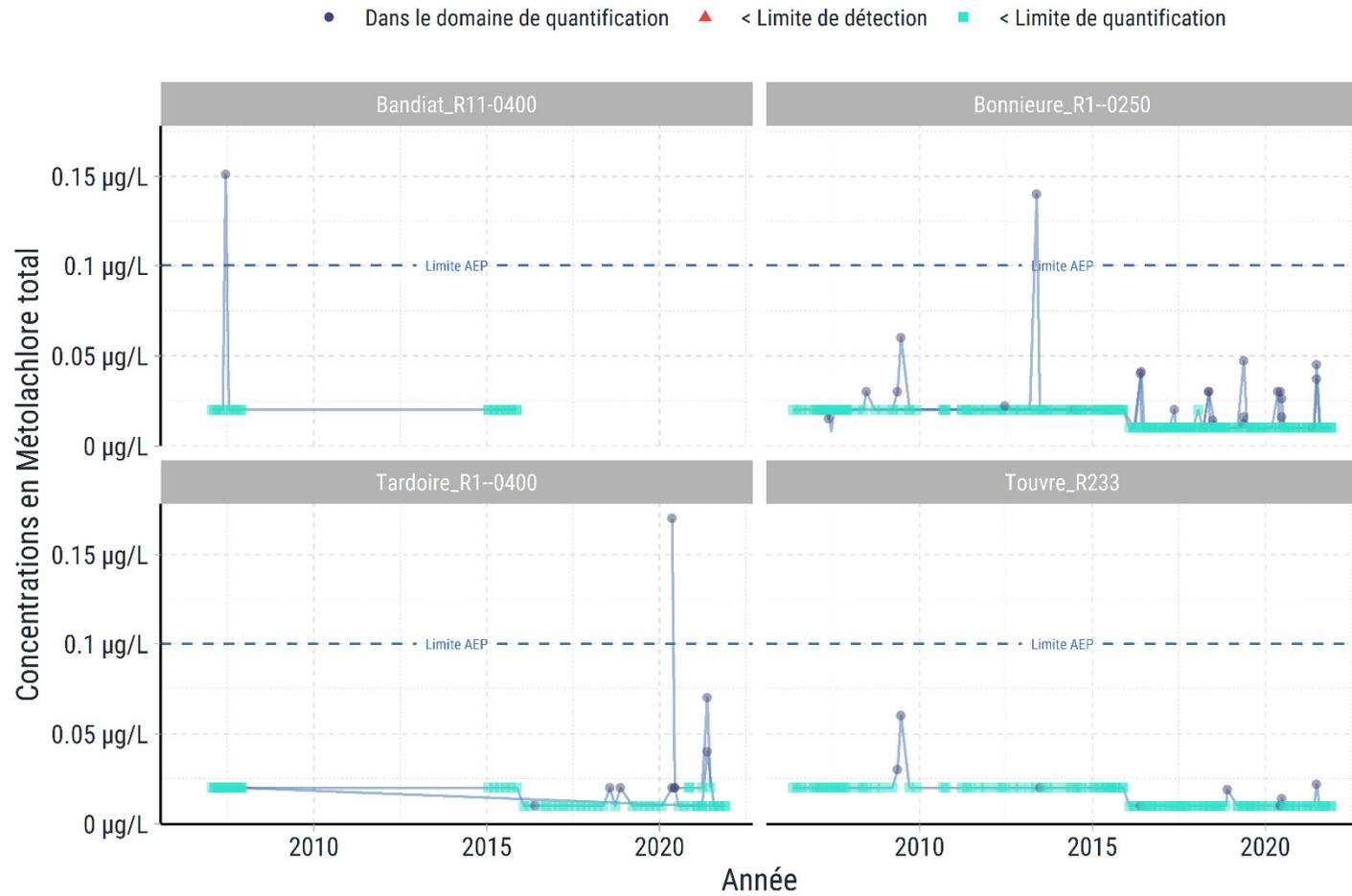
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Metolachlor OXA



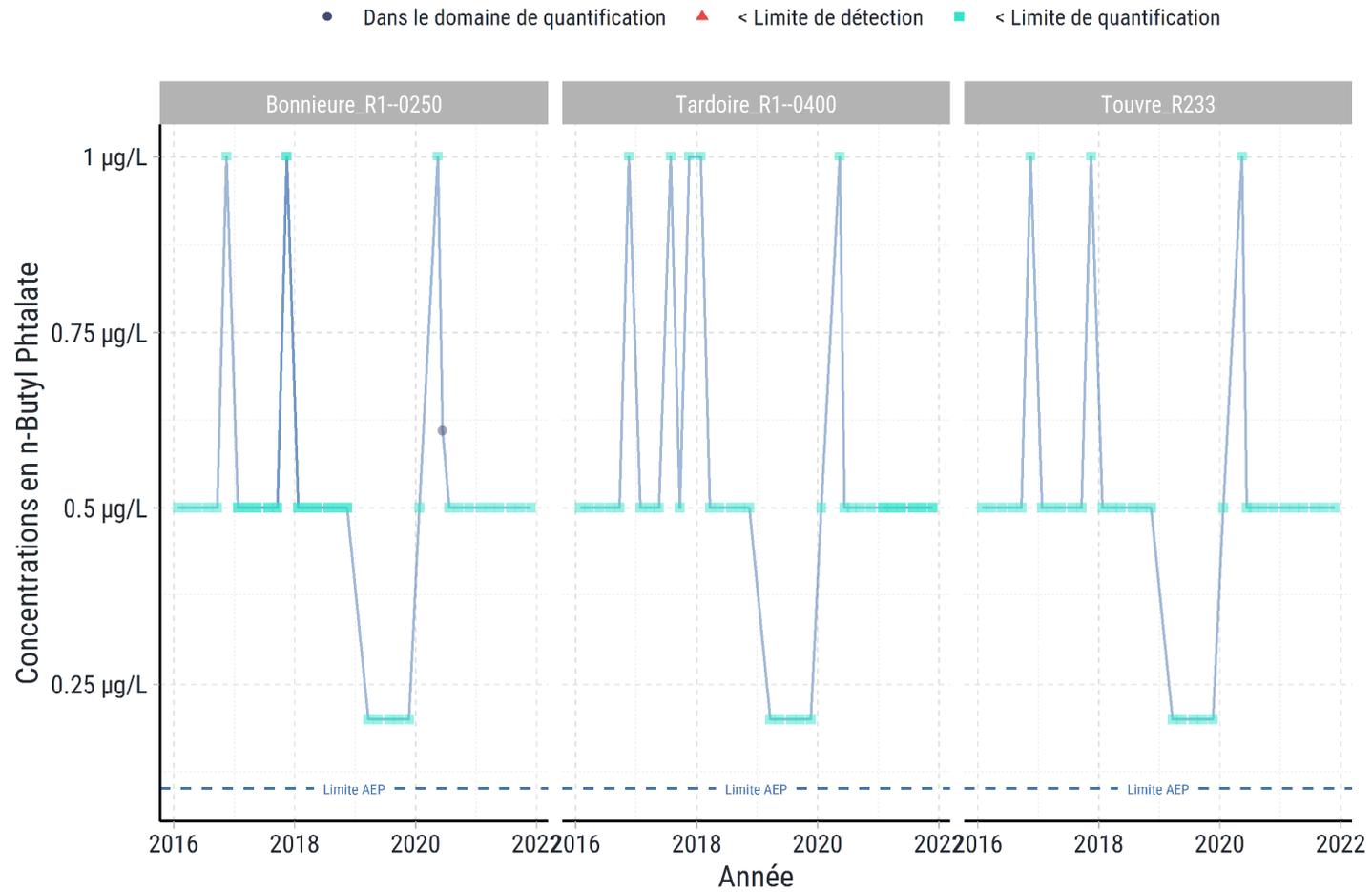
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Métolachlore total



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

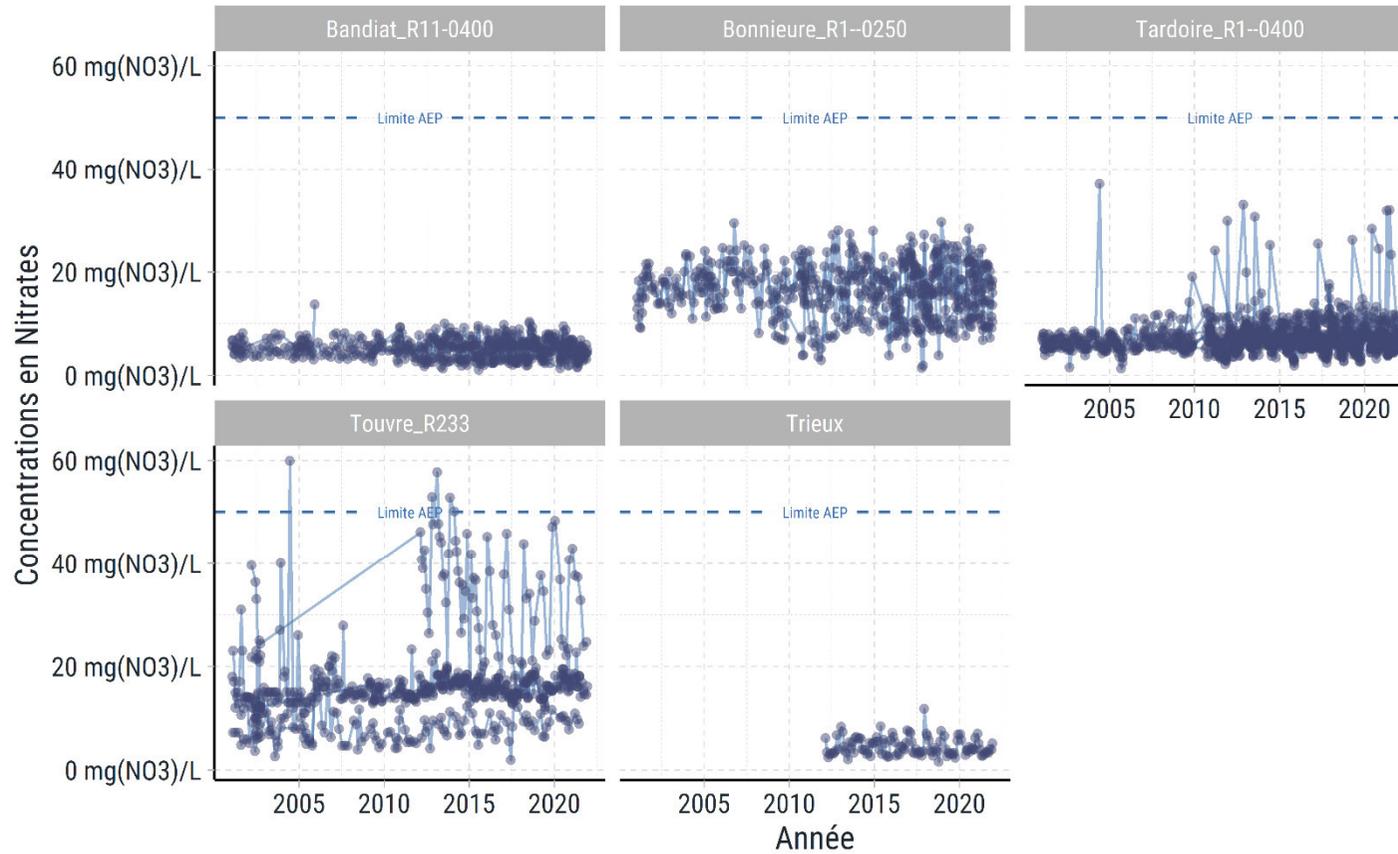
Evolution des concentrations en n-Butyl Phtalate



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Nitrates

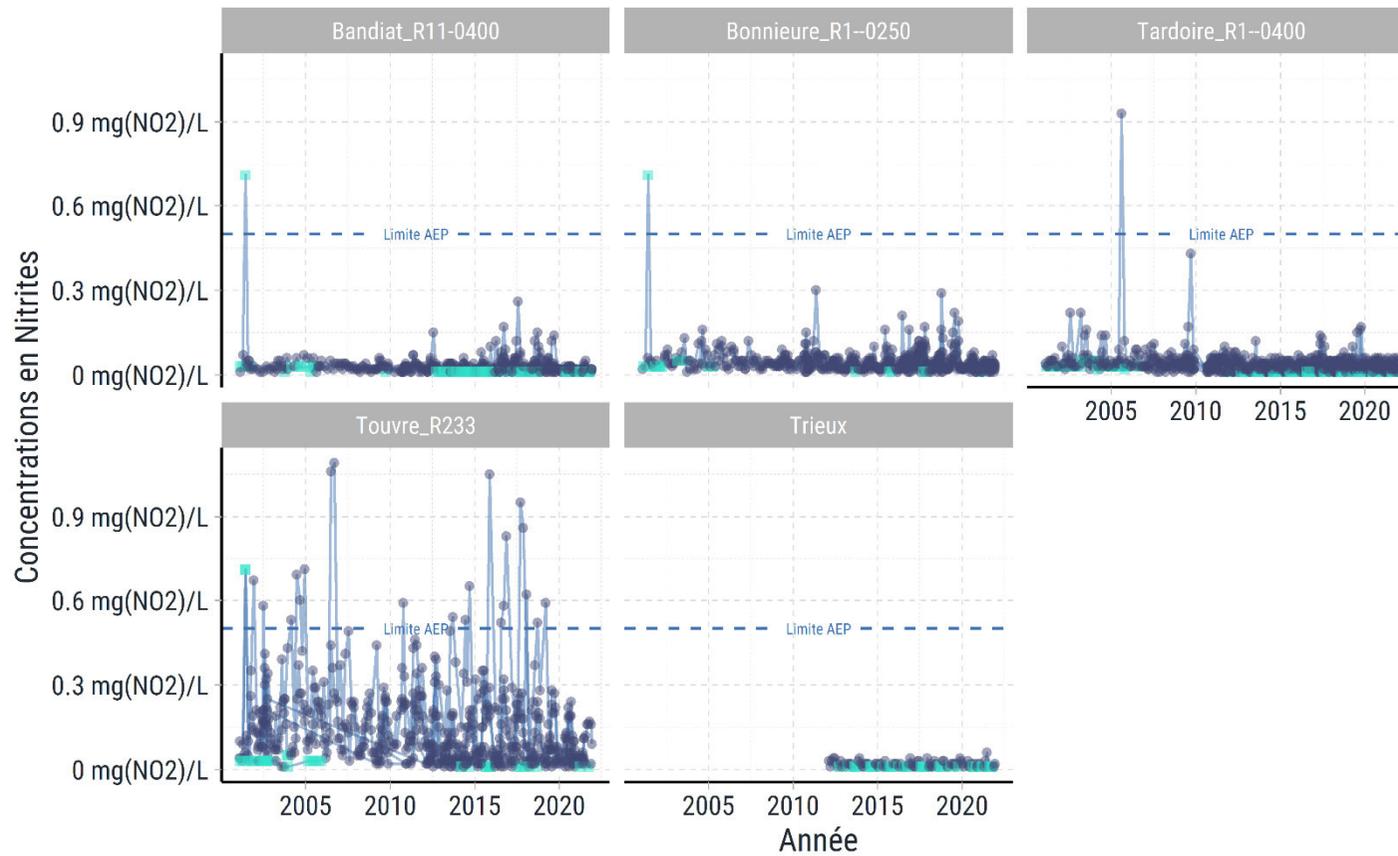
• Dans le domaine de quantification ▲ < Limite de détection ■ < Limite de quantification



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

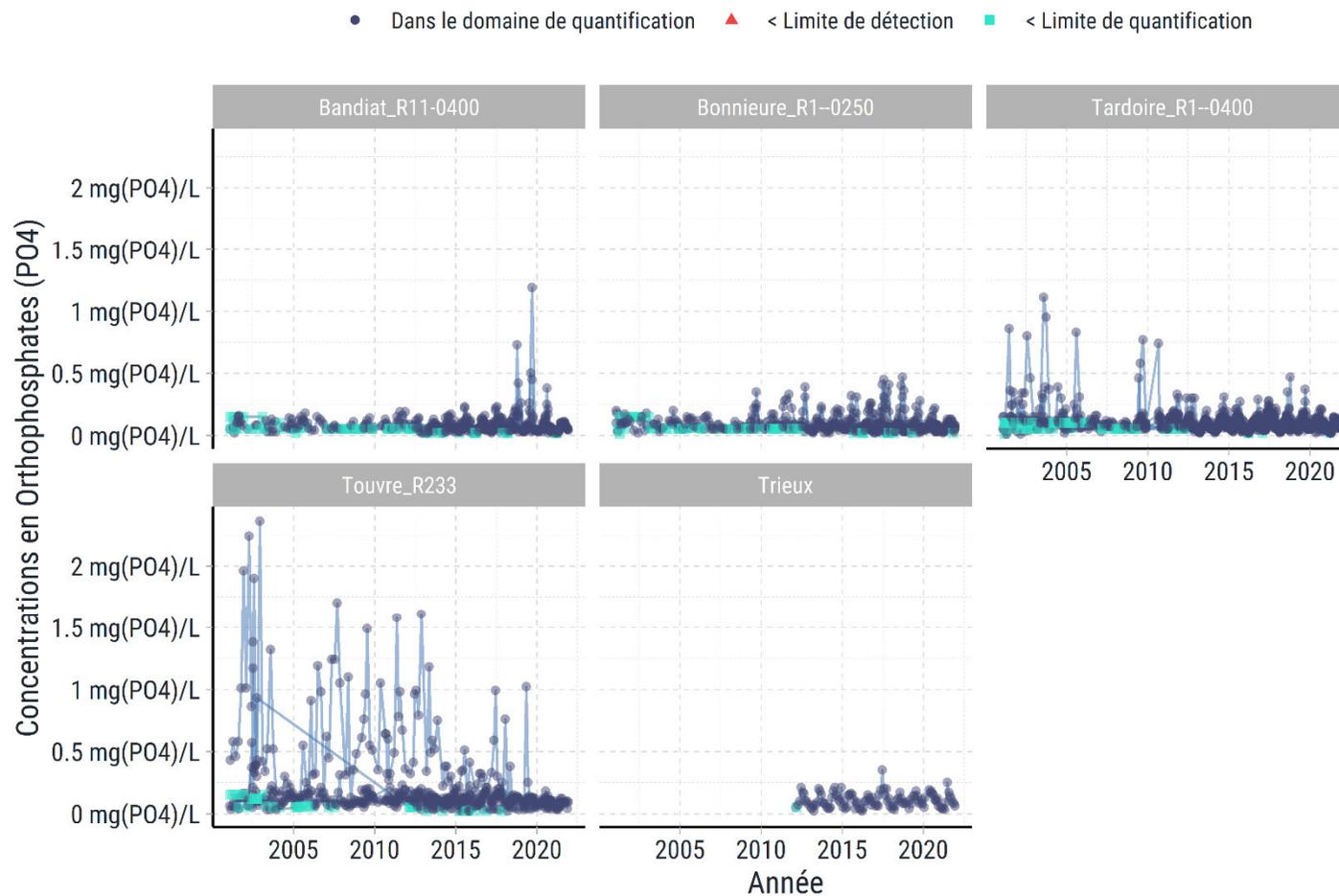
Evolution des concentrations en Nitrites

• Dans le domaine de quantification ▲ < Limite de détection ■ < Limite de quantification



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

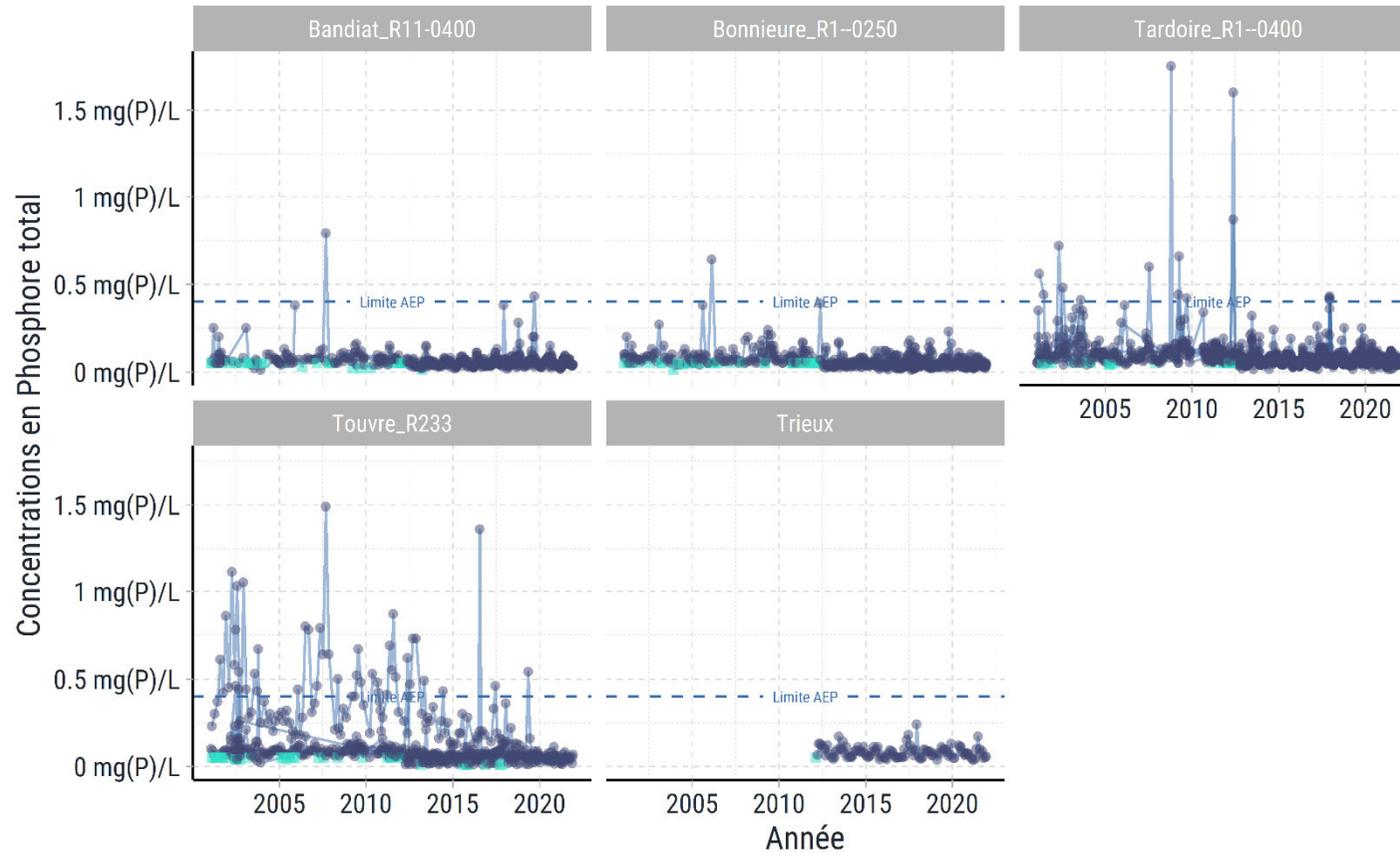
Evolution des concentrations en Orthophosphates (PO4)



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

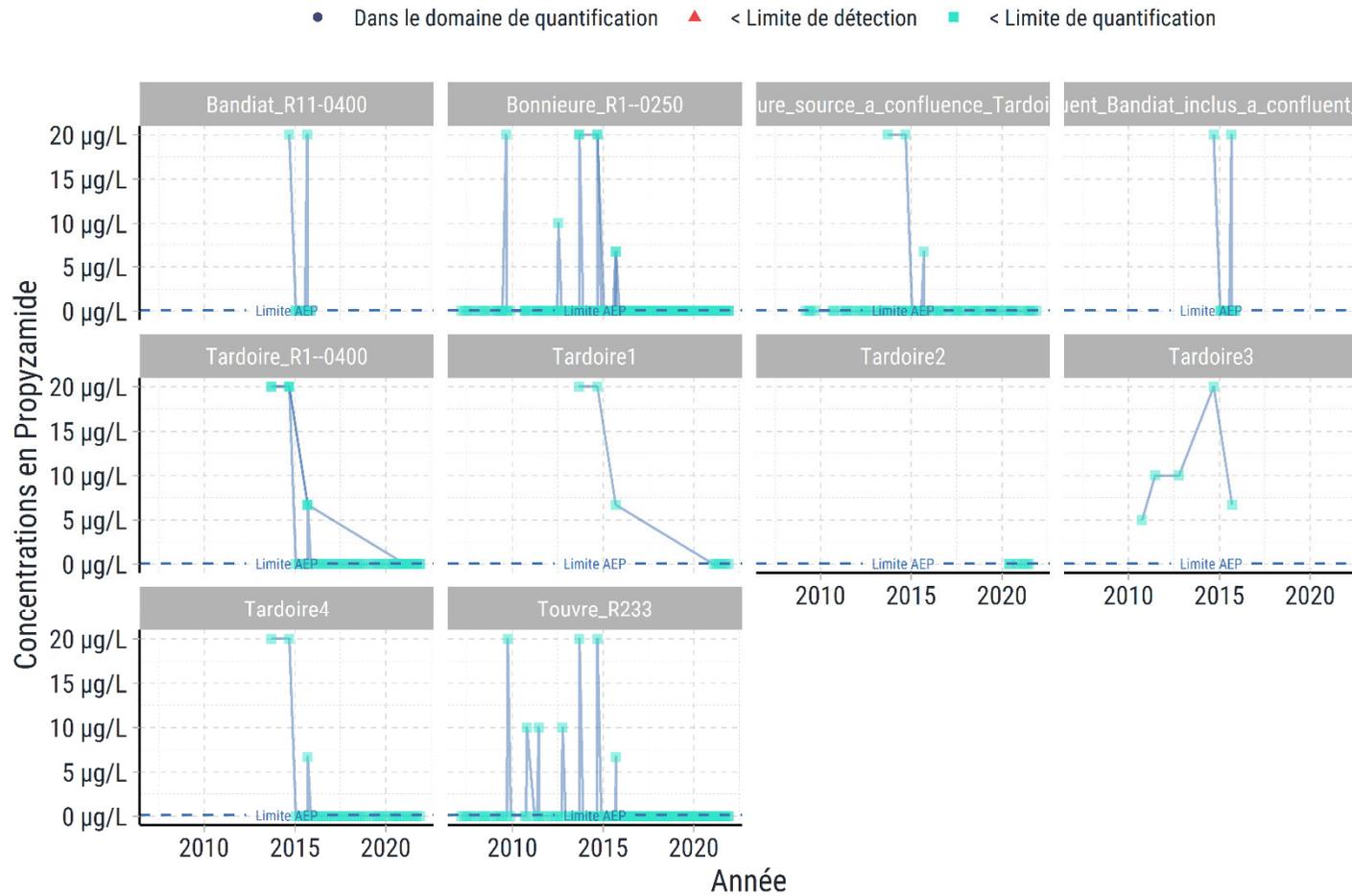
Evolution des concentrations en Phosphore total

● Dans le domaine de quantification ▲ < Limite de détection ■ < Limite de quantification



Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Propyzamide



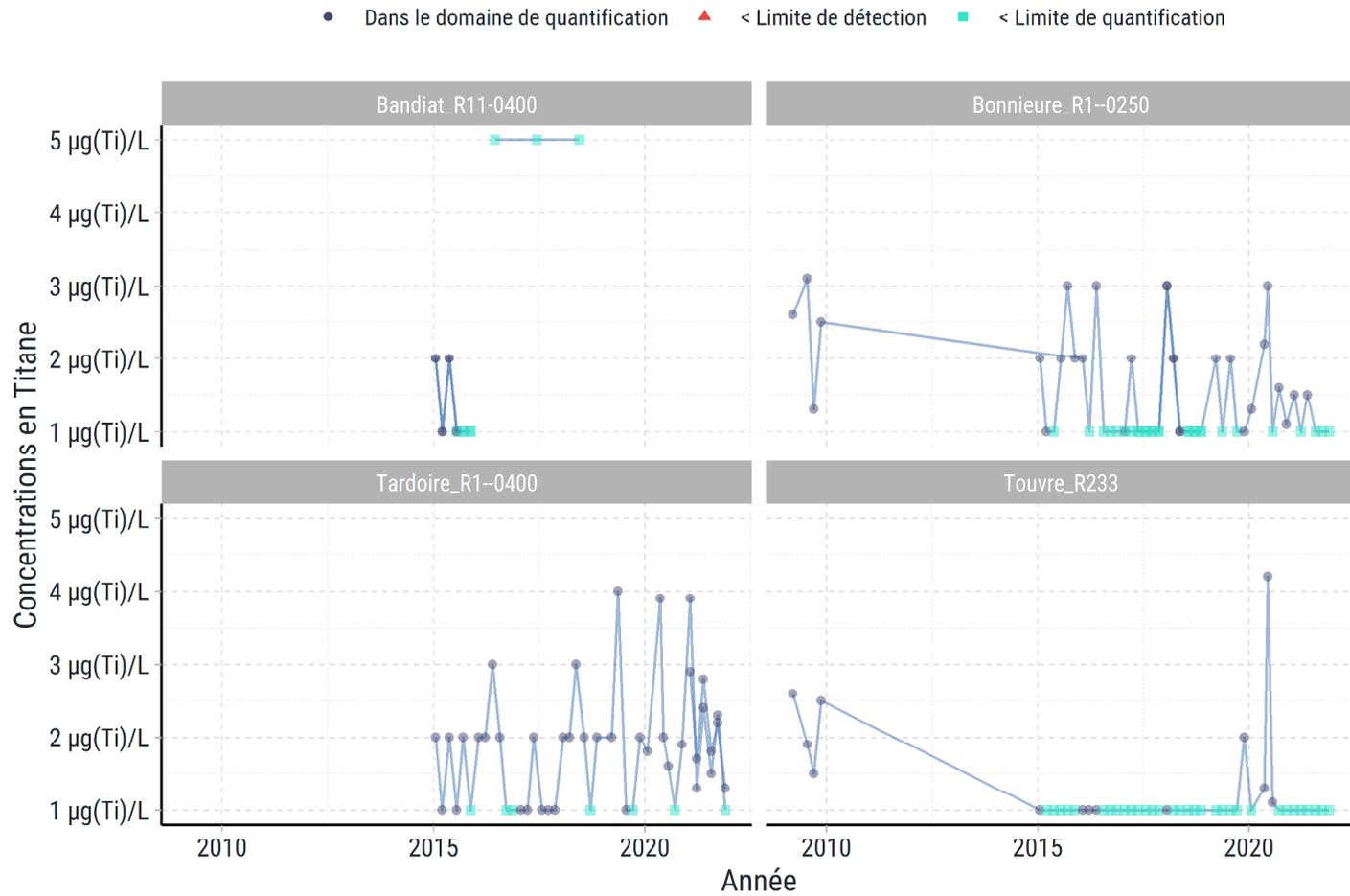
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (nov. 2022)

Evolution des concentrations en Thallium



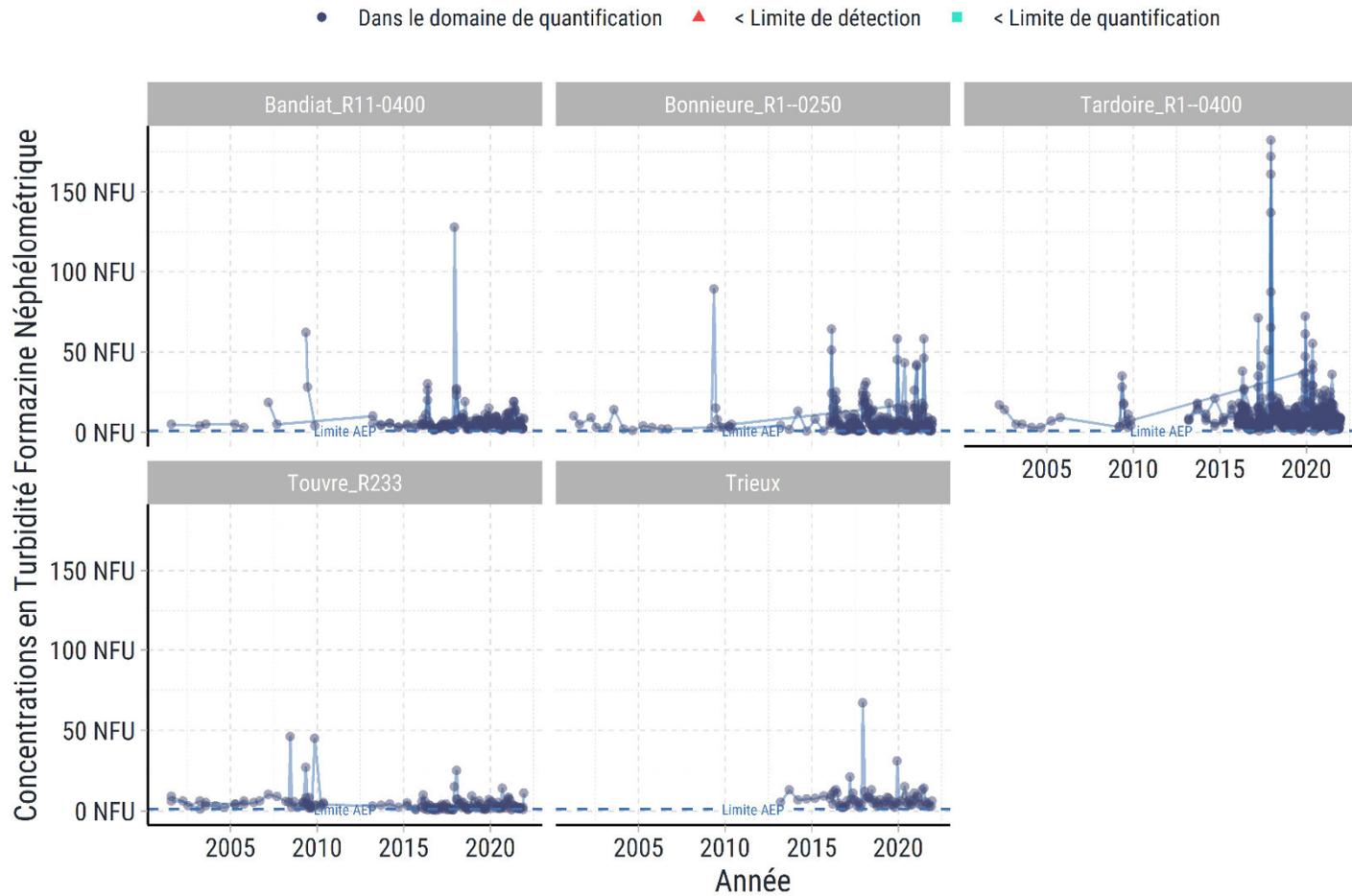
Source :EPTB Charente
Réalisation : Antea group (nov. 2022)

Evolution des concentrations en Titane



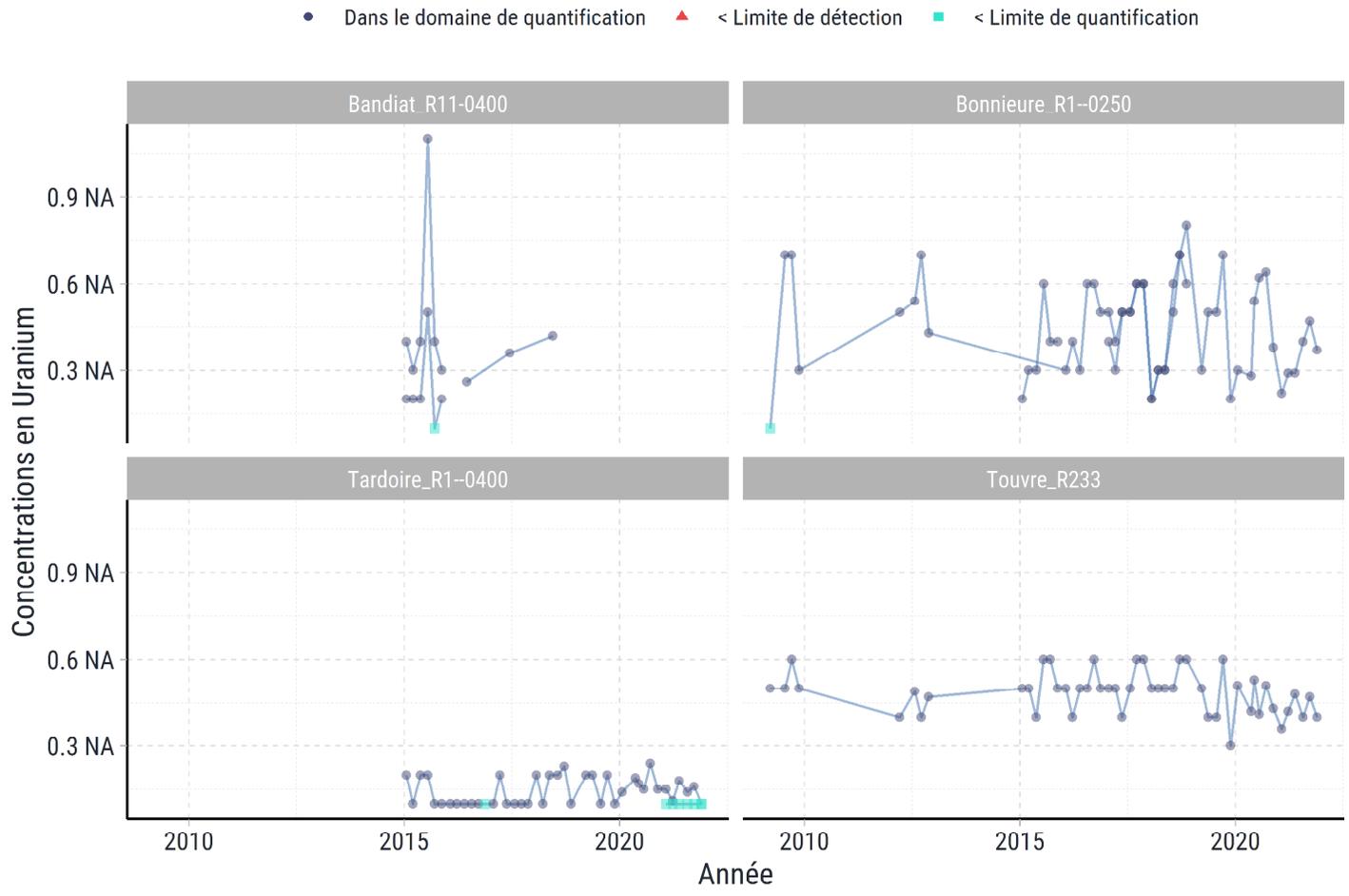
Source : EPTB Charente
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Turbidité Formazine Néphélométrique



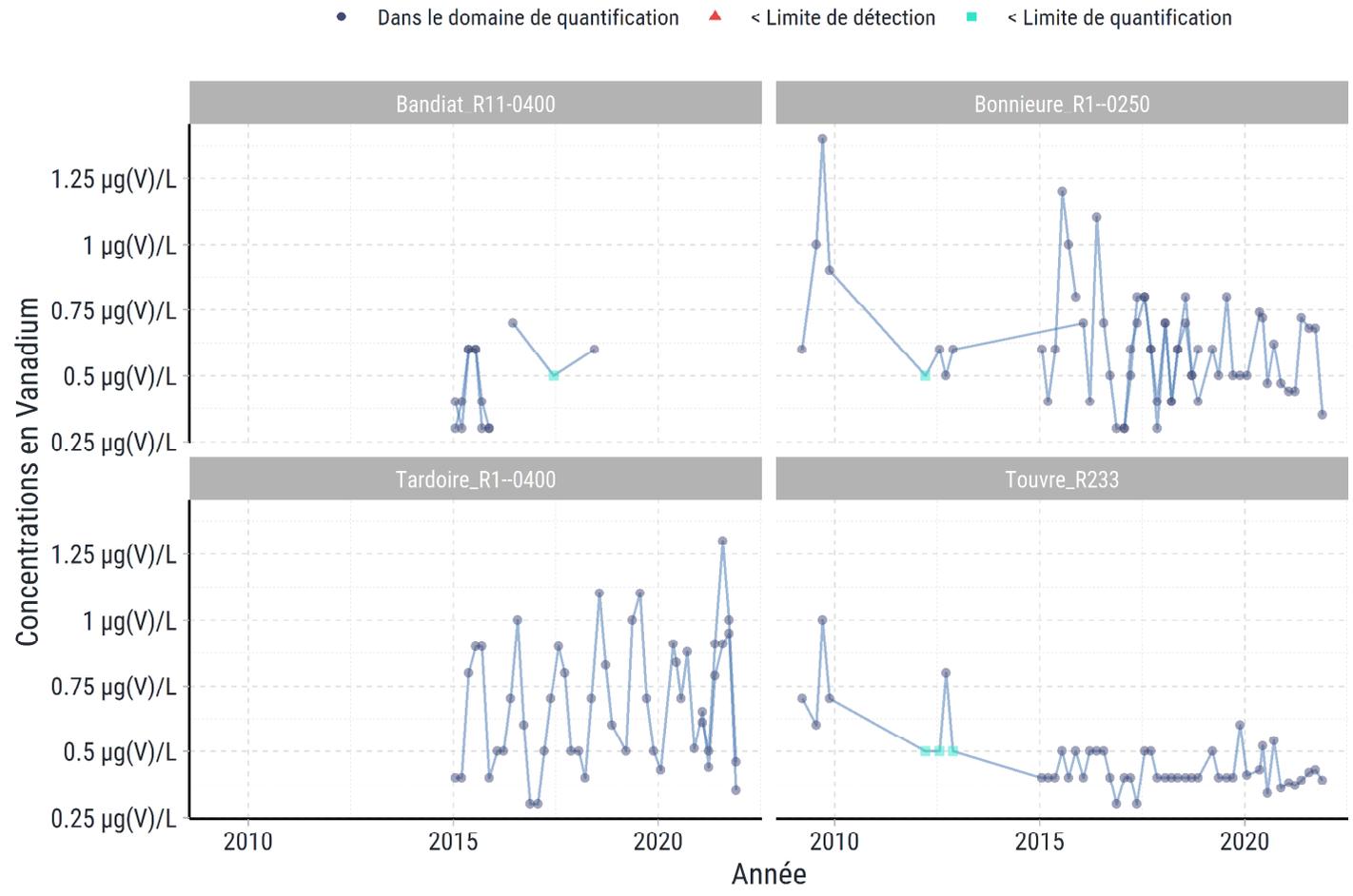
Source : EPTB Charente
 Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Uranium



Source : EPTB Charente
 Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Vanadium



Source : EPTB Charente
 Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Annexe IV : **Graphiques d'évolution temporelle des paramètres chimiques dans les Eaux souterraines**

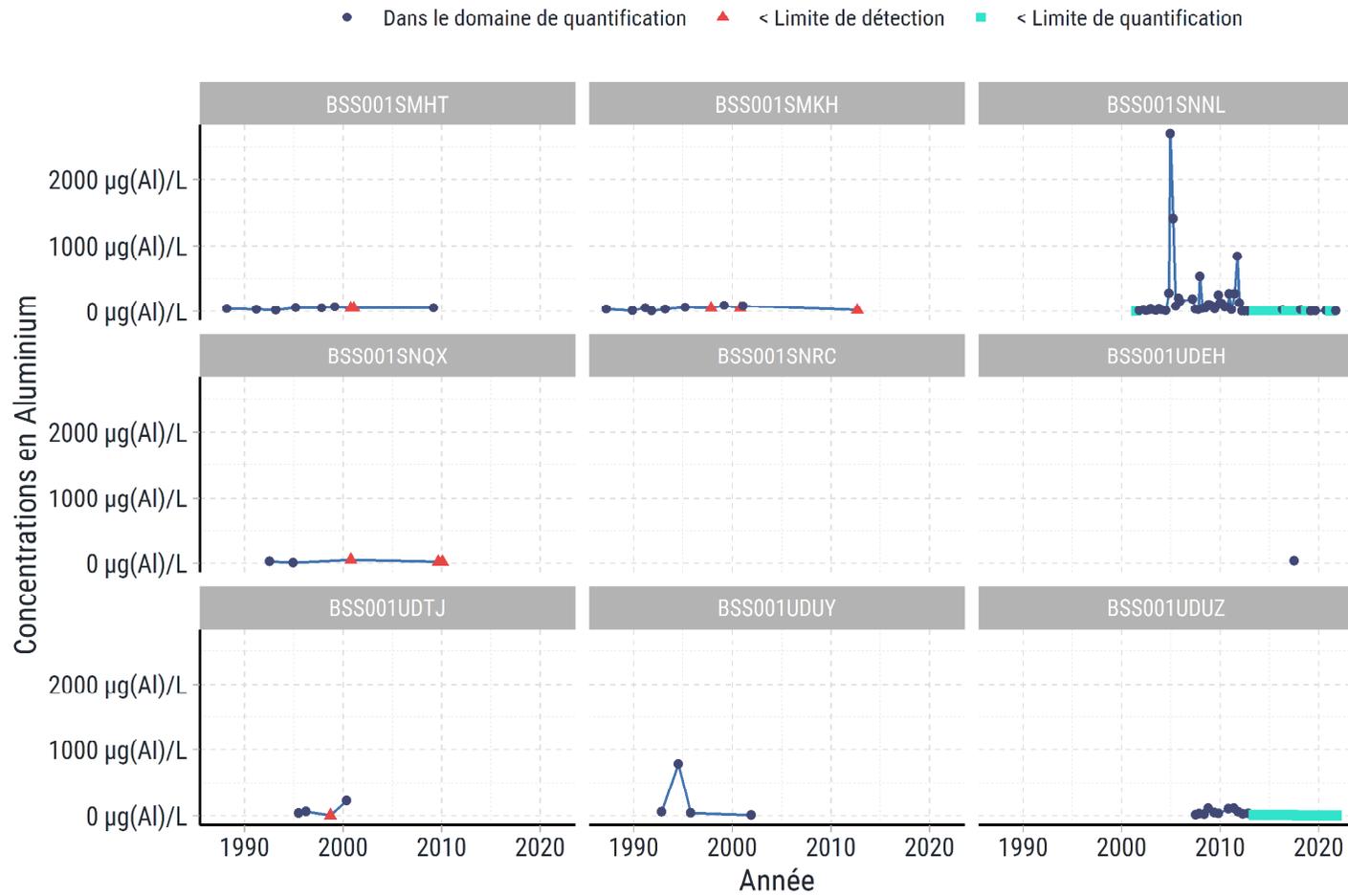
Graphiques d'évolution temporelle - Eaux souterraines – La Touvre

Evolution des concentrations en Acétochlore



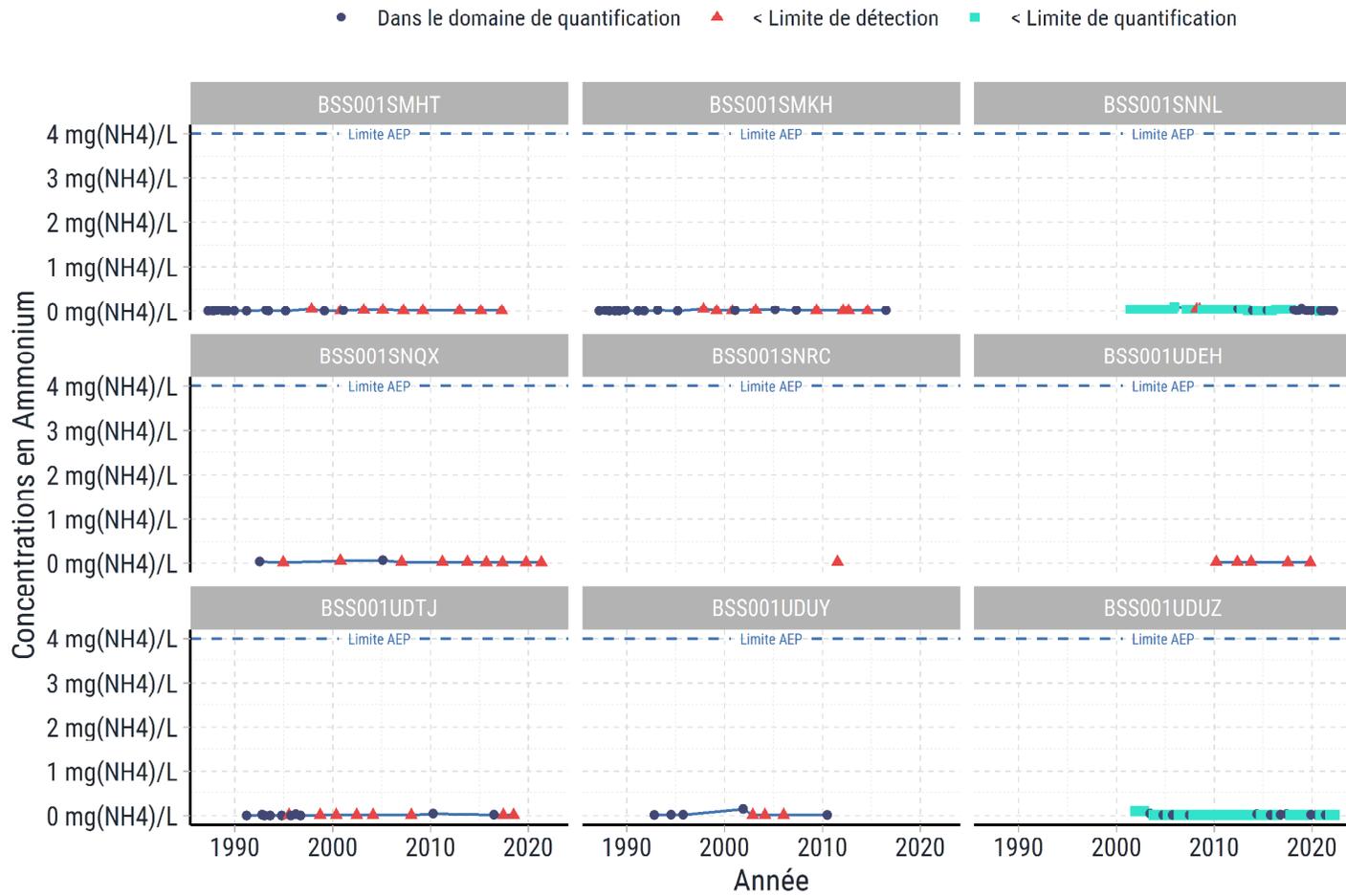
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Aluminium



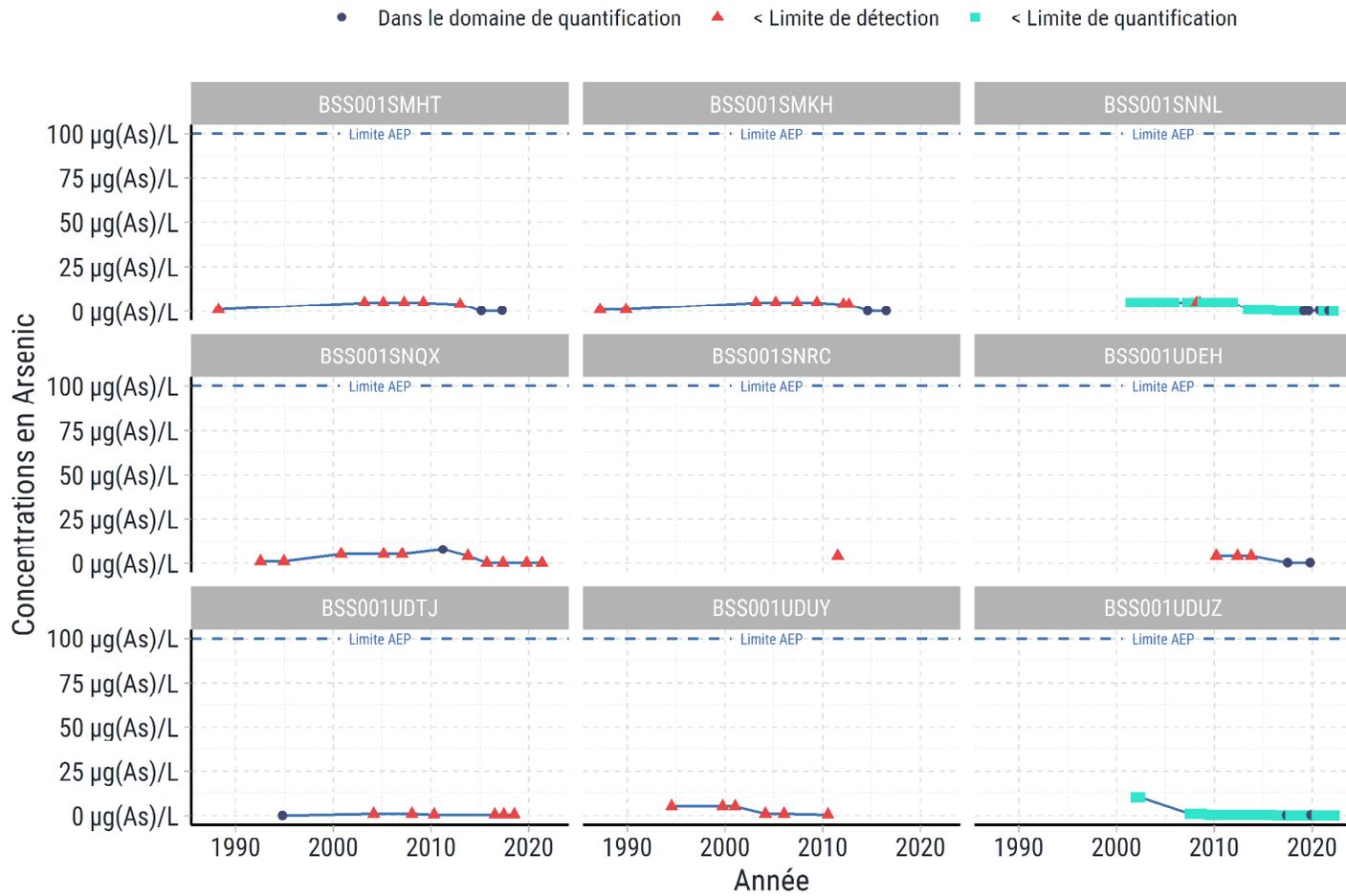
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Ammonium



Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Arsenic



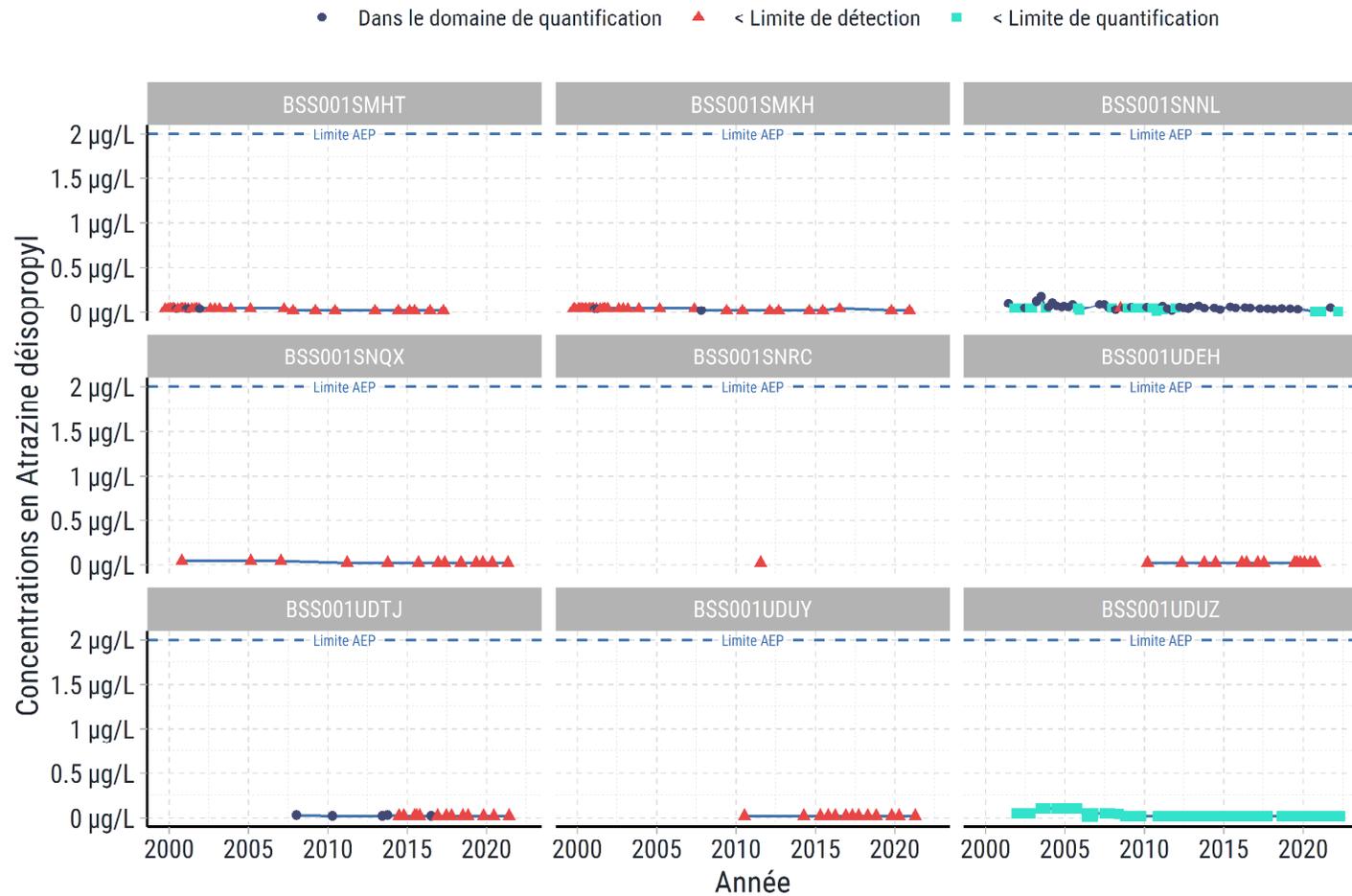
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Atrazine désisopropyl déséthyl



Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Atrazine désisopropyl



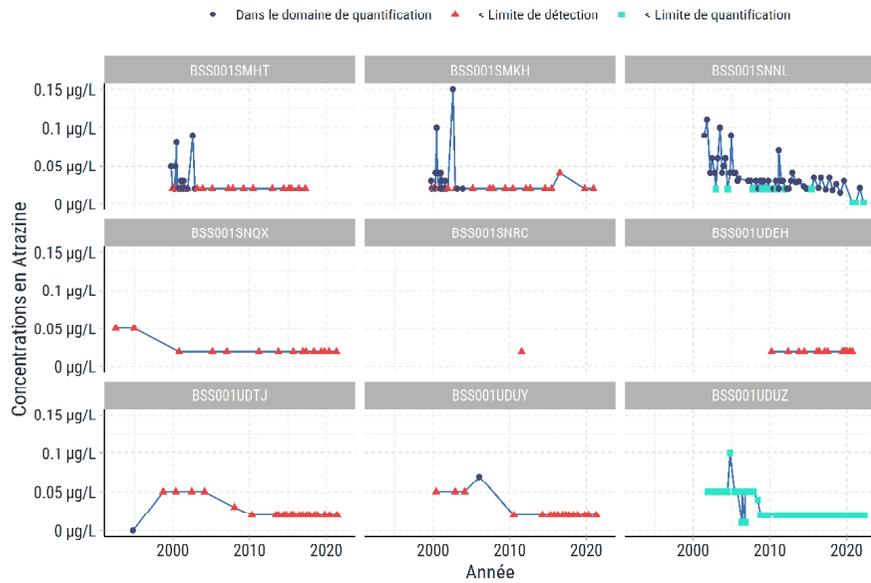
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Atrazine déséthyl



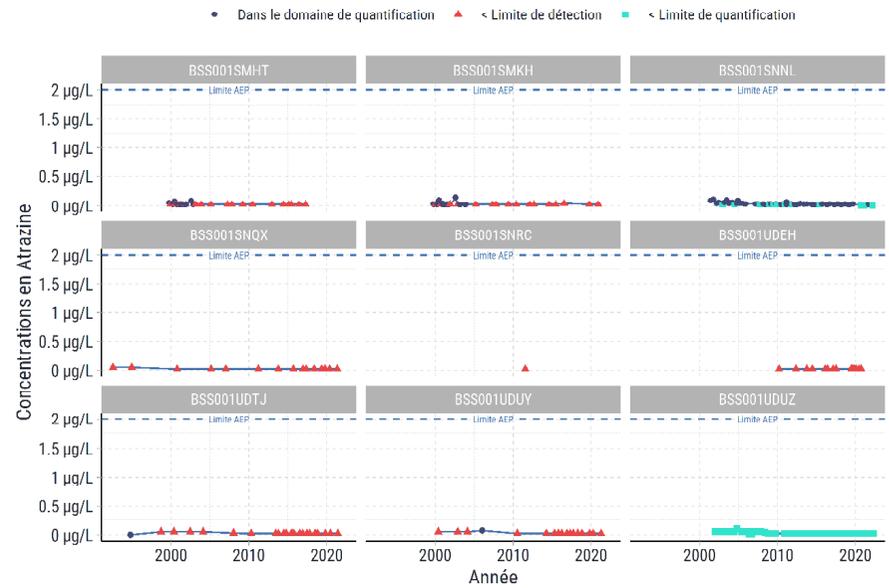
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Atrazine



Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (déc. 2022)

Evolution des concentrations en Atrazine



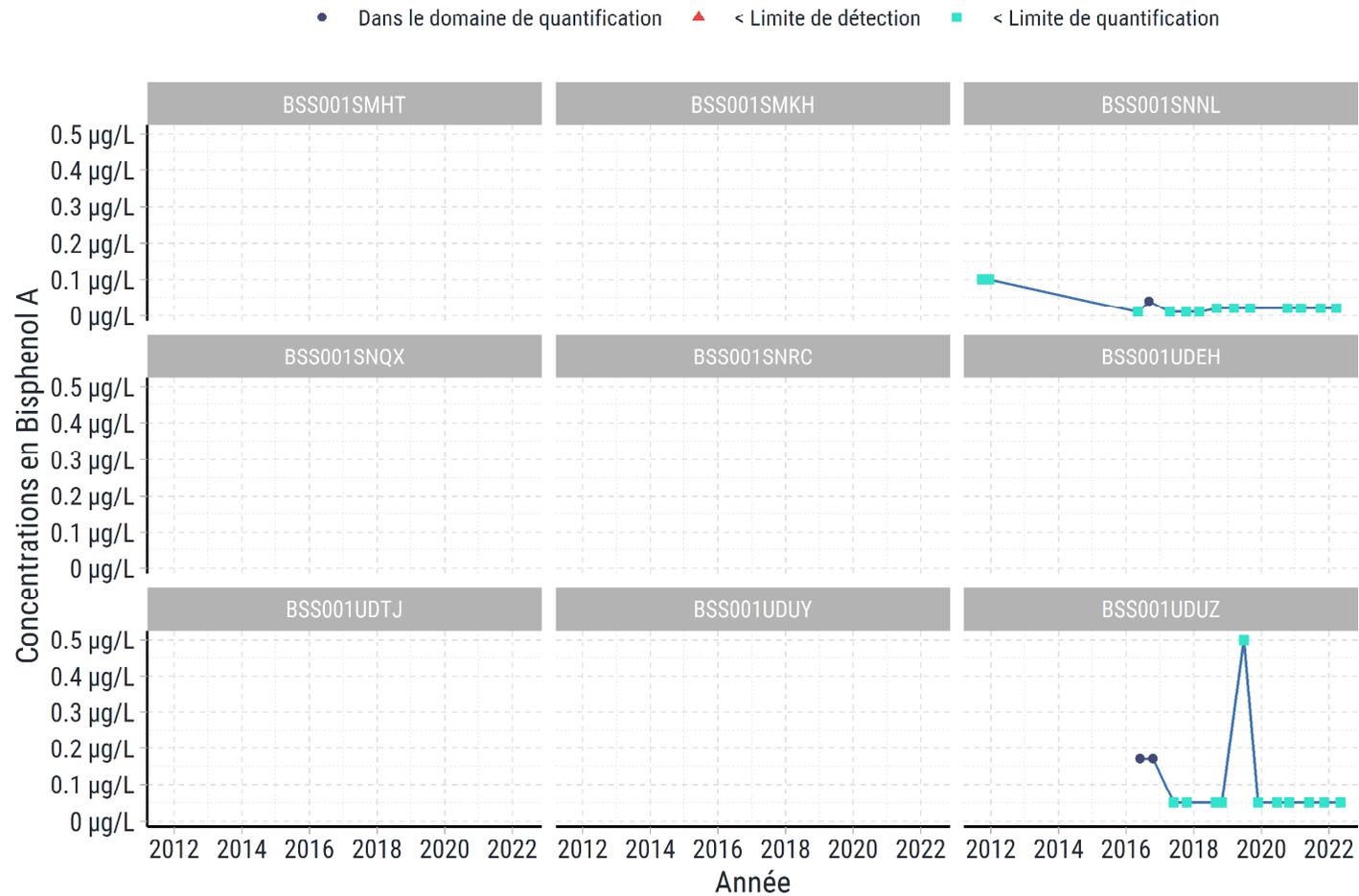
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Benzotriazole



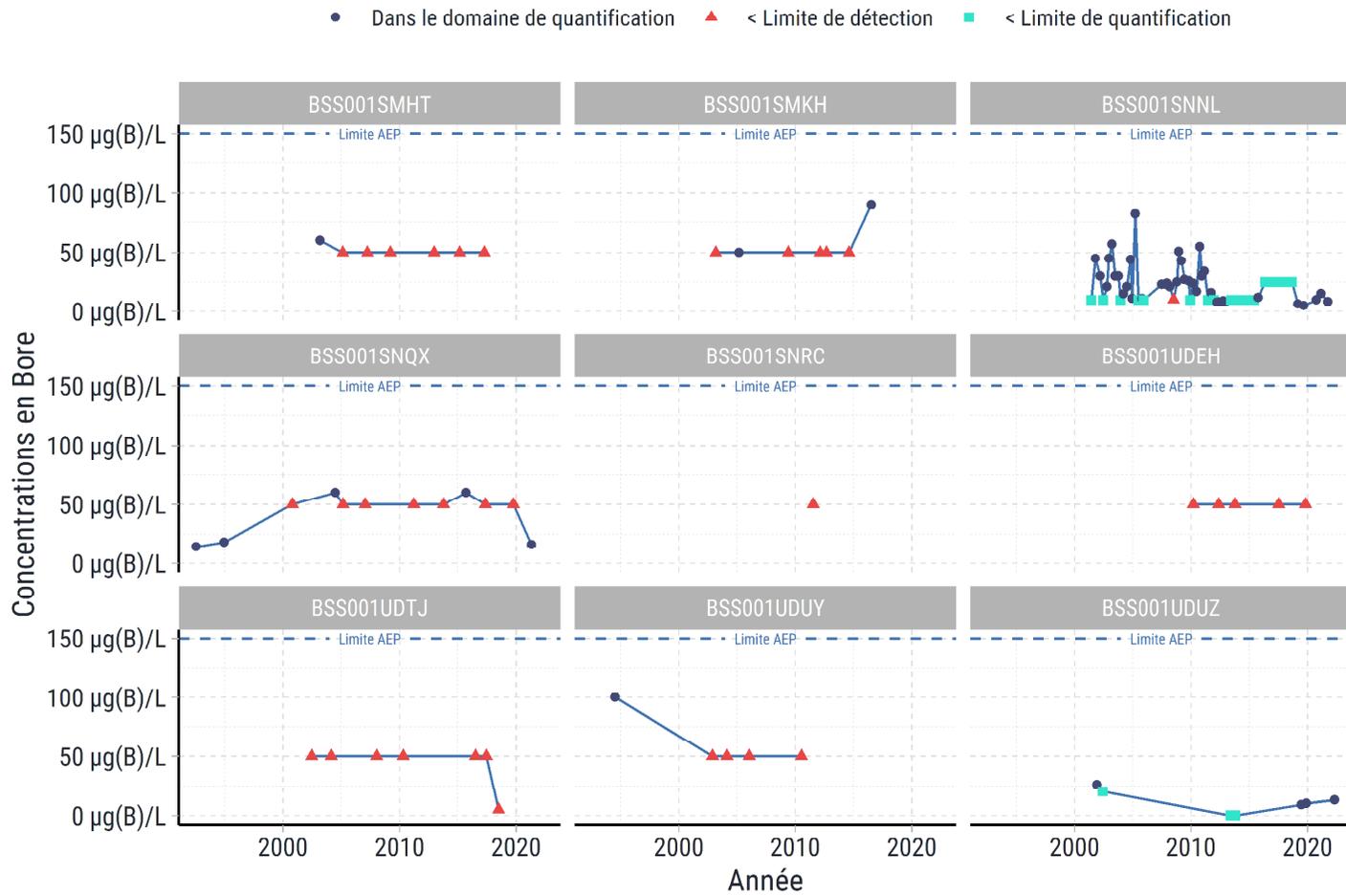
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Bisphenol A



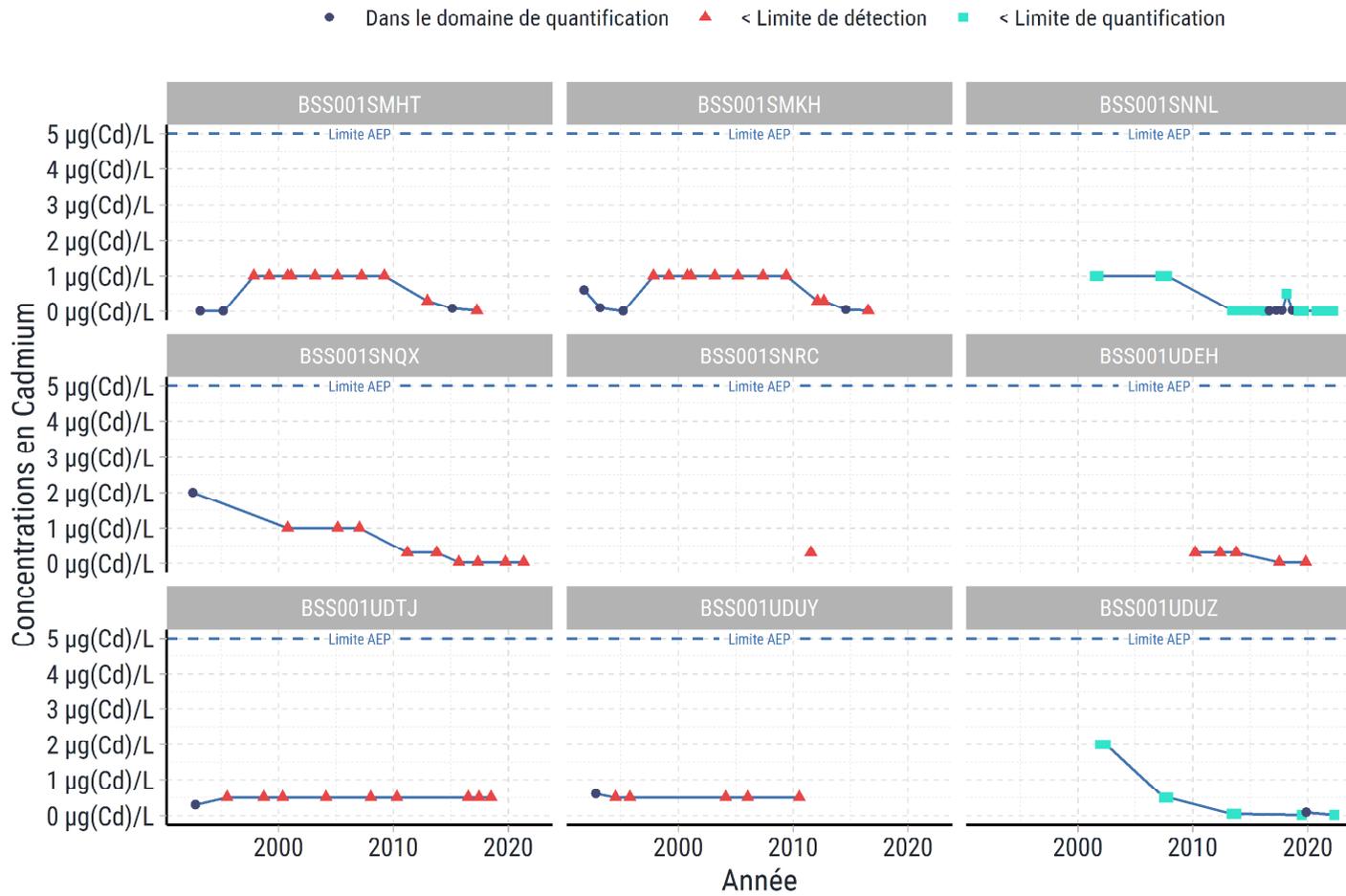
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Bore



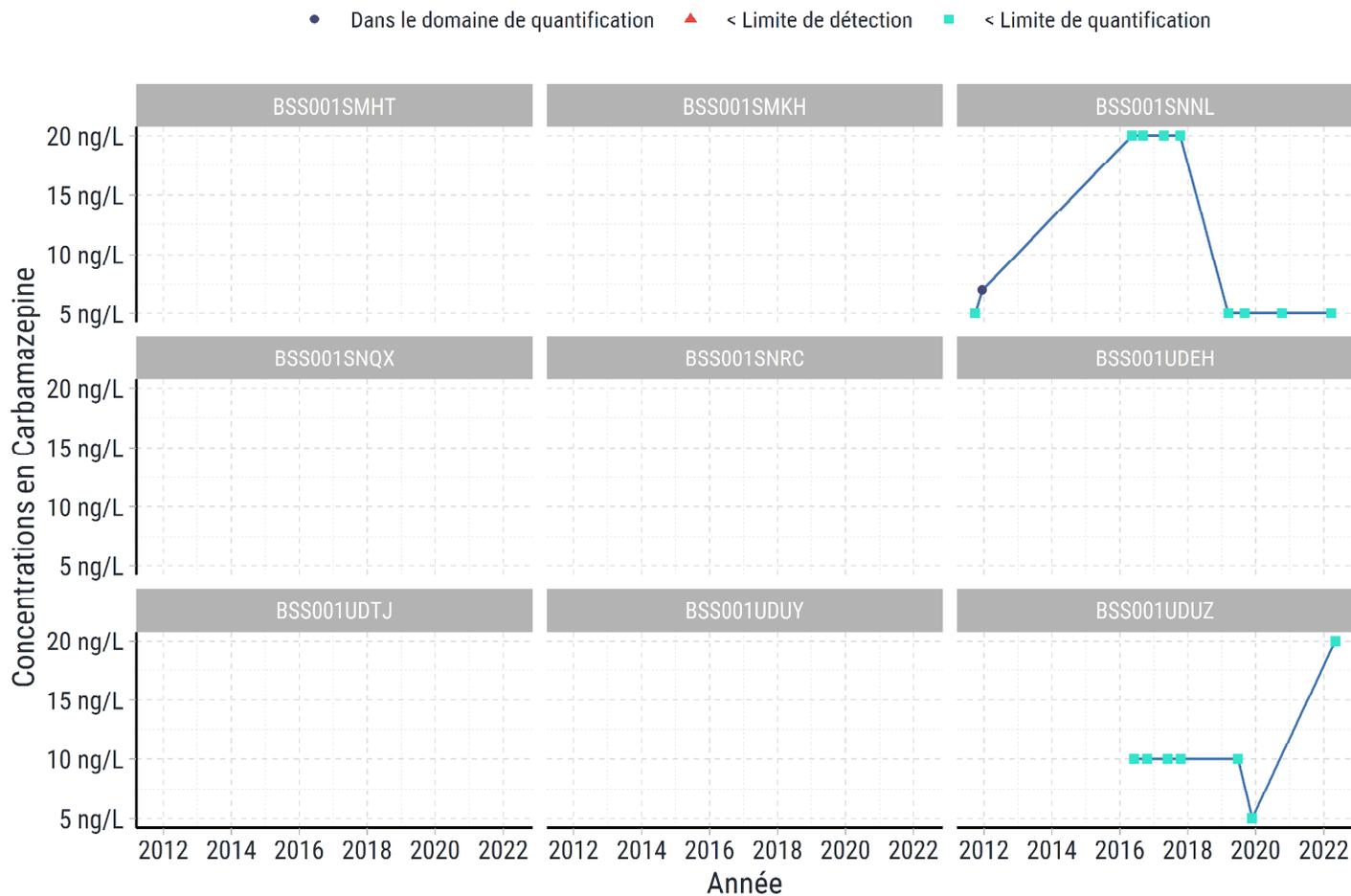
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Cadmium



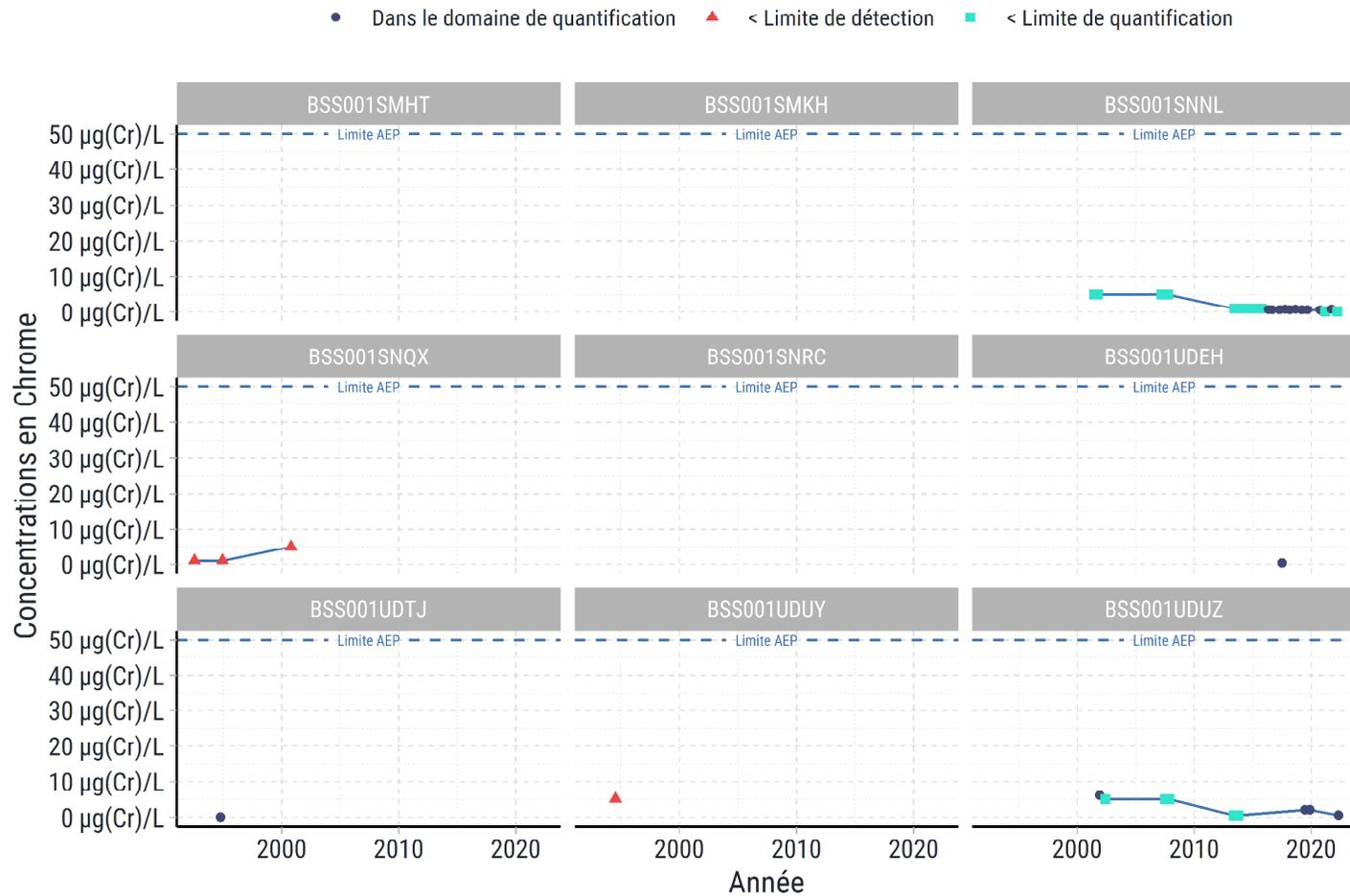
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Carbamazepine



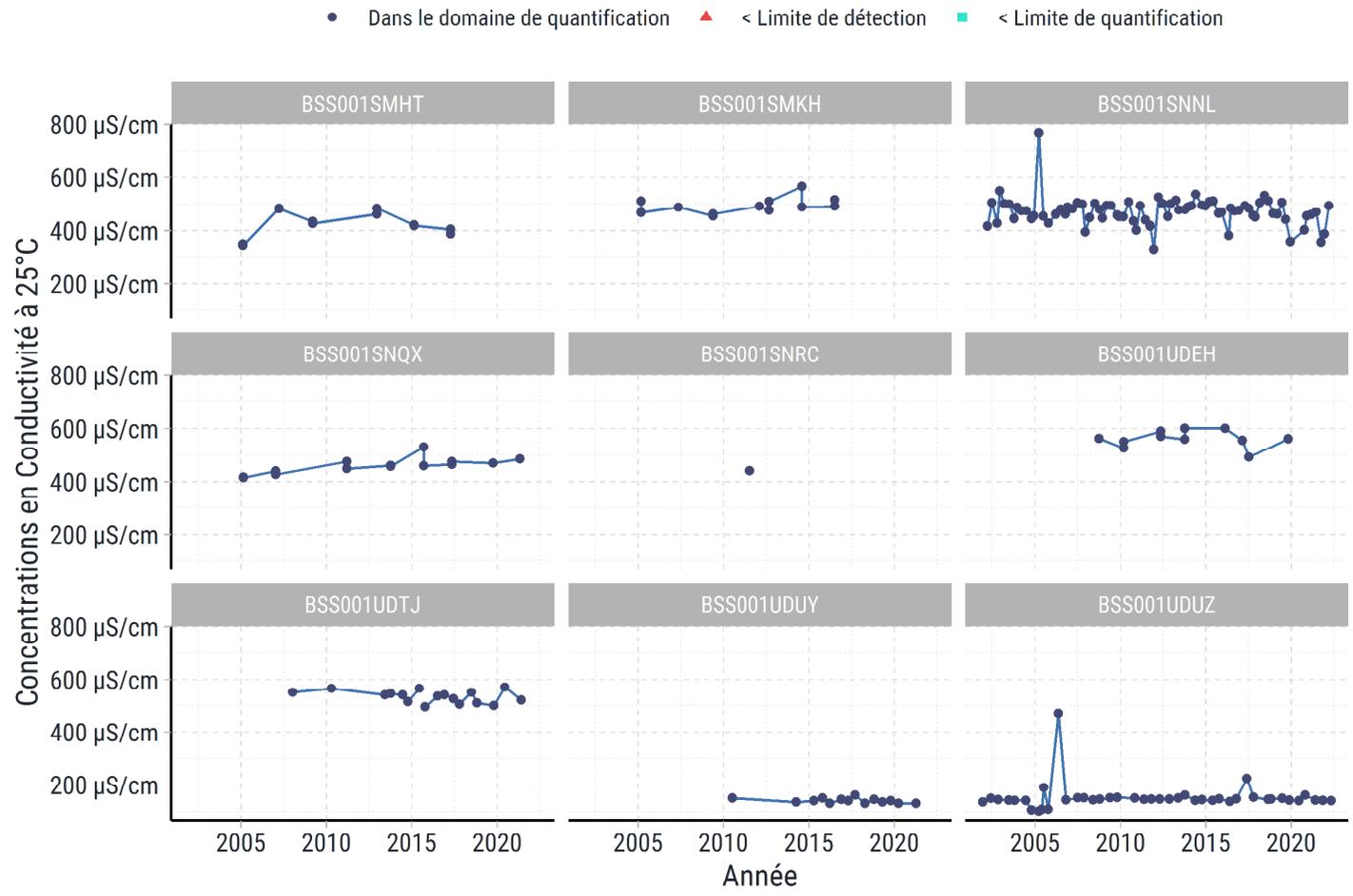
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Chrome



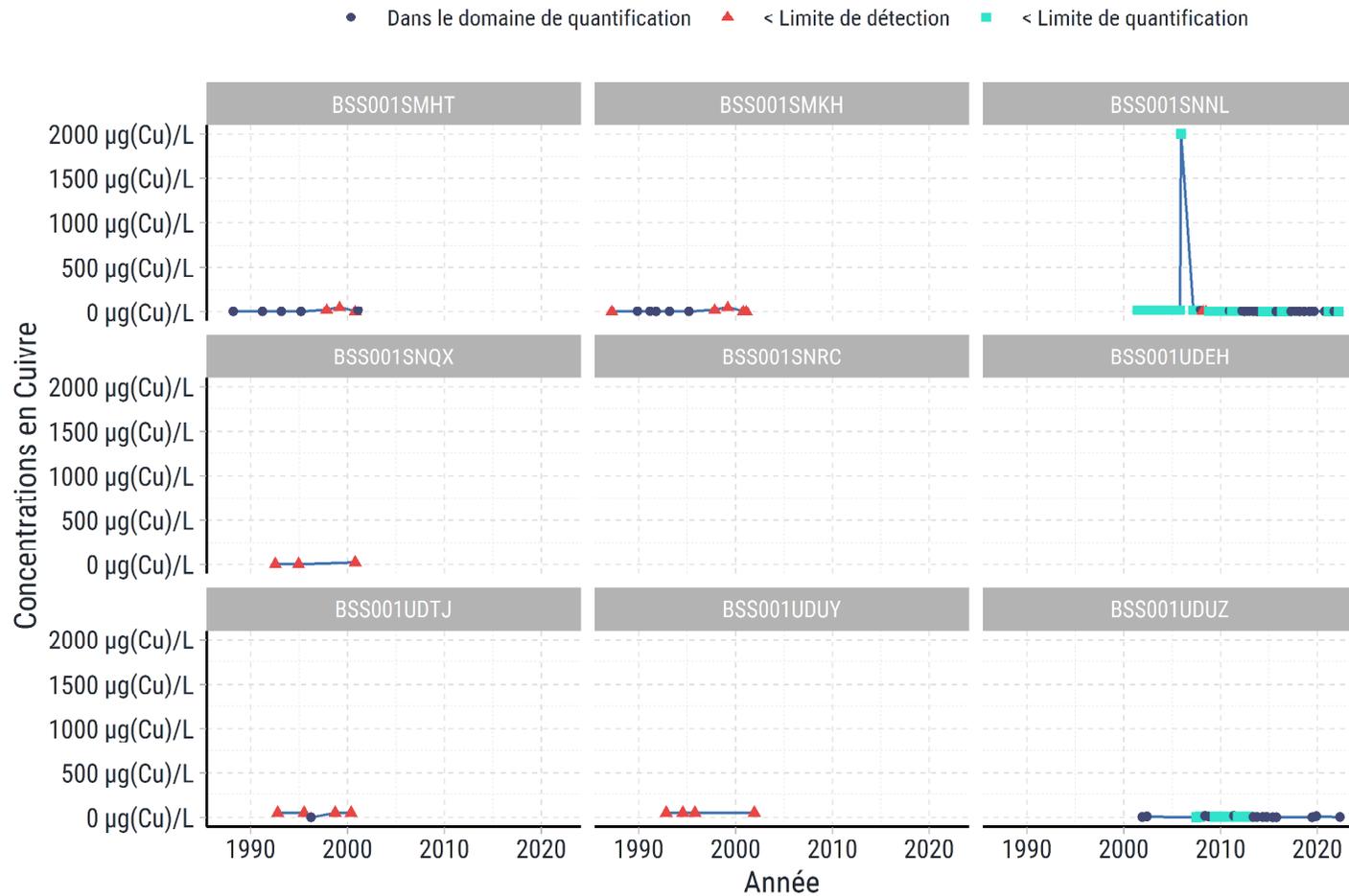
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Conductivité à 25°C



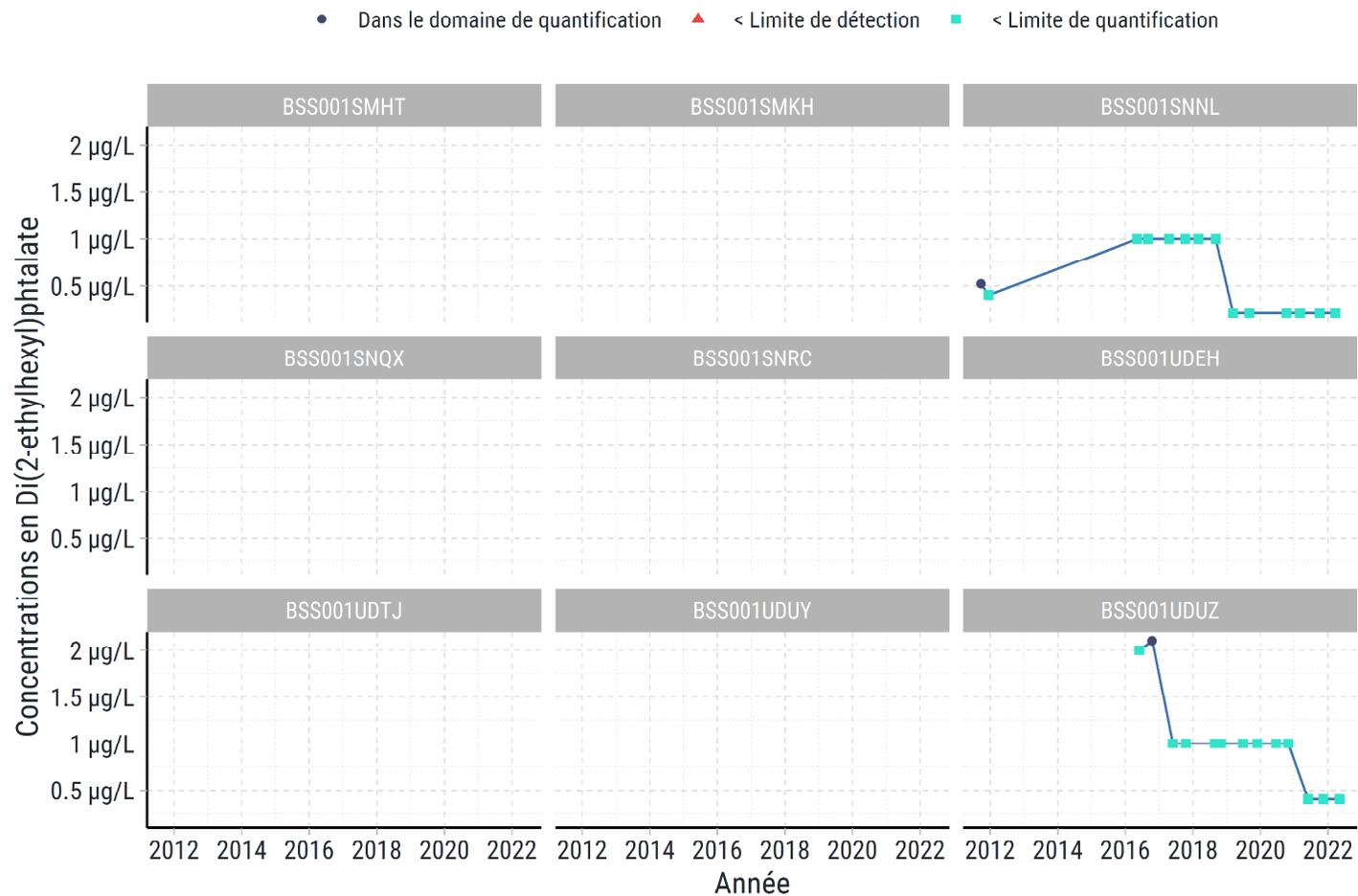
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Cuivre



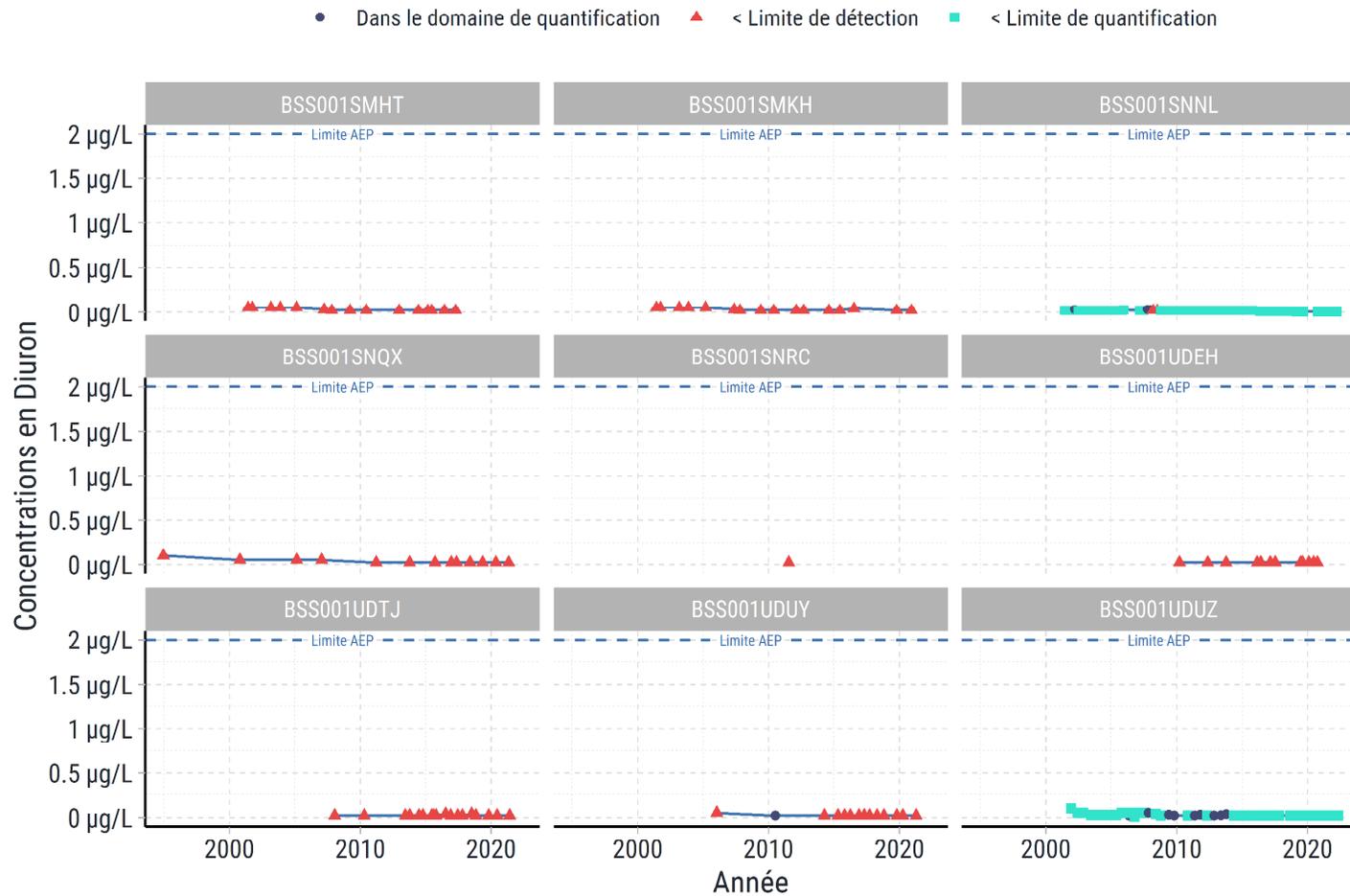
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Di(2-ethylhexyl)phthalate



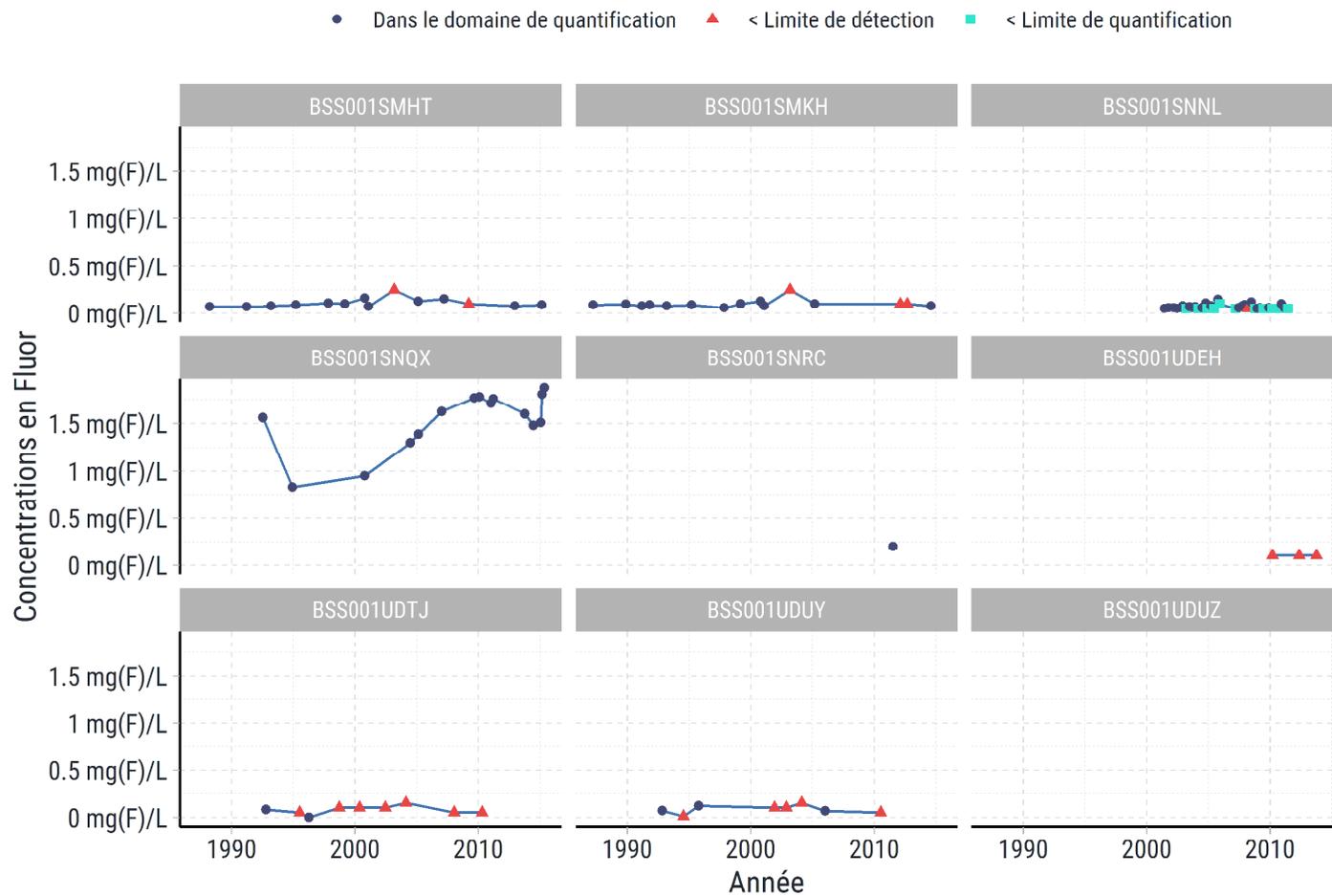
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Diuron



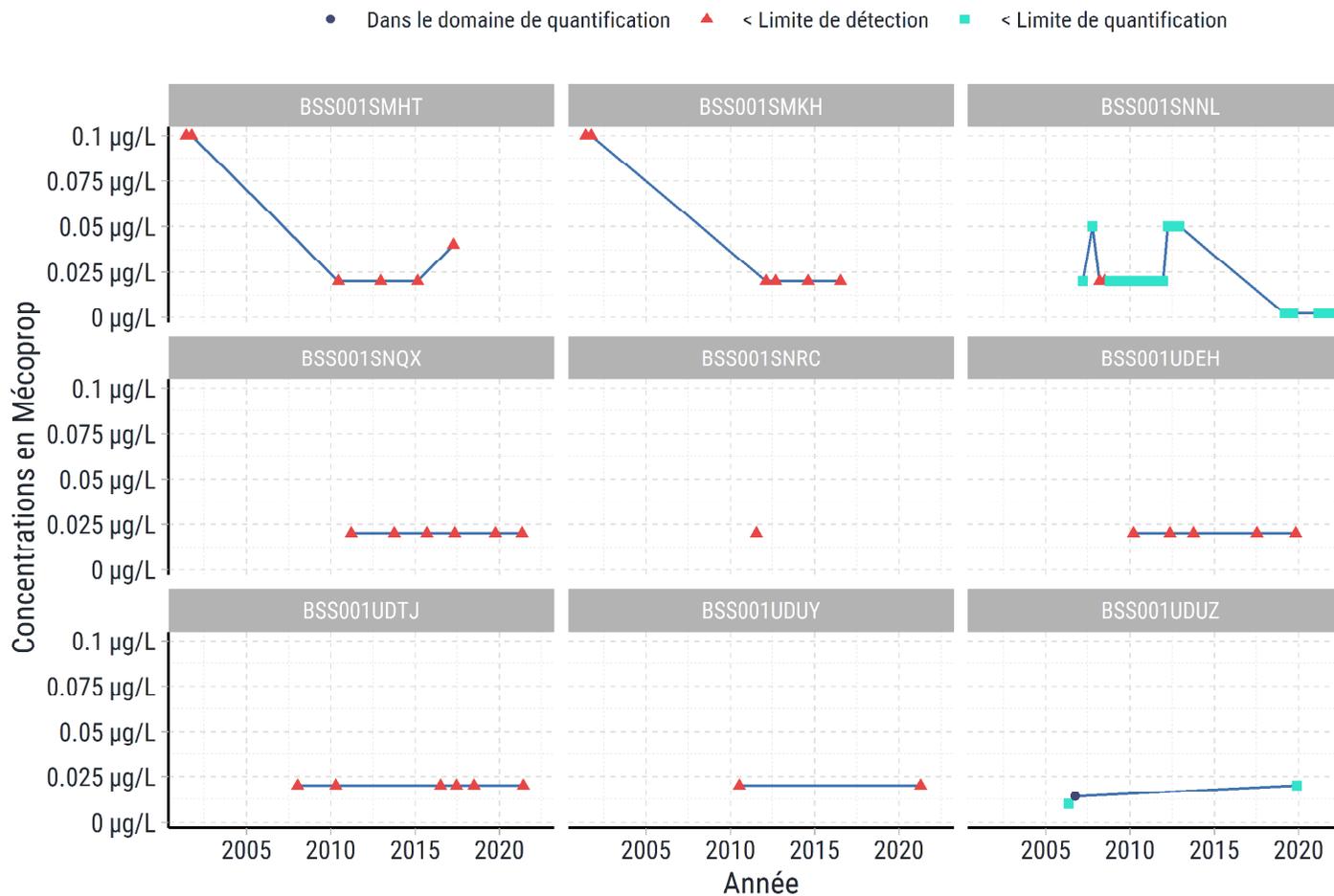
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Fluor



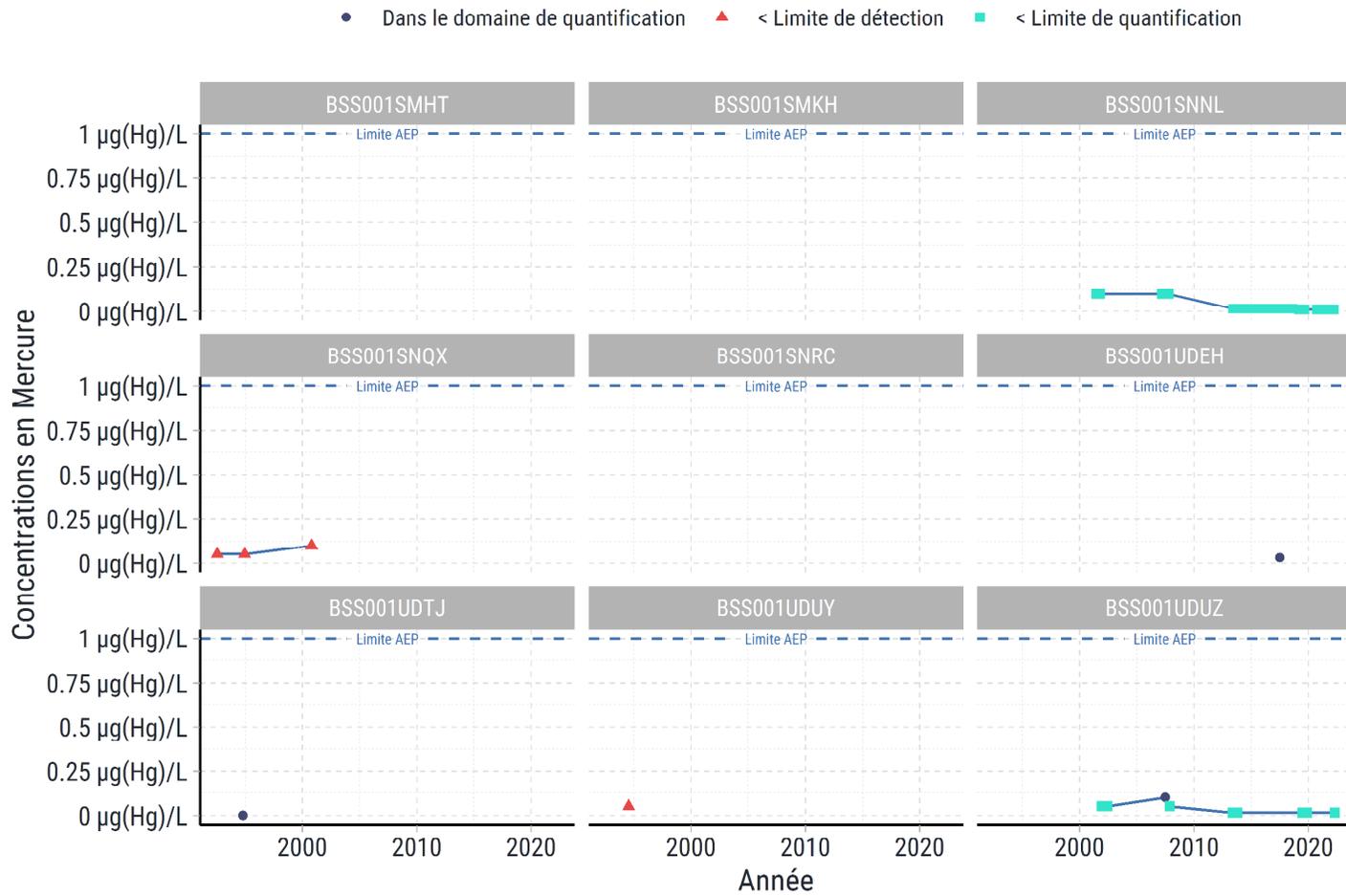
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Mécoprop



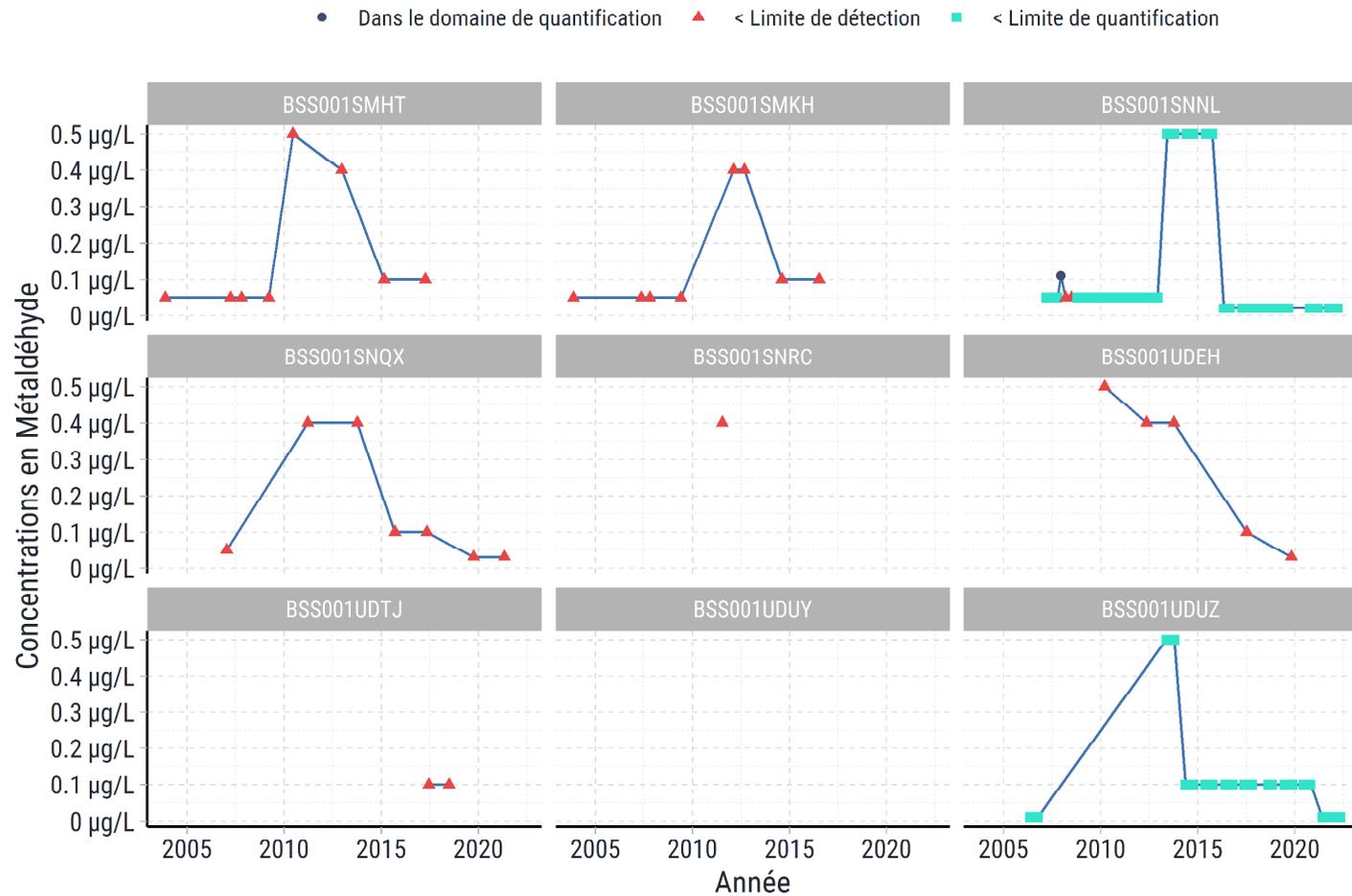
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Mercure



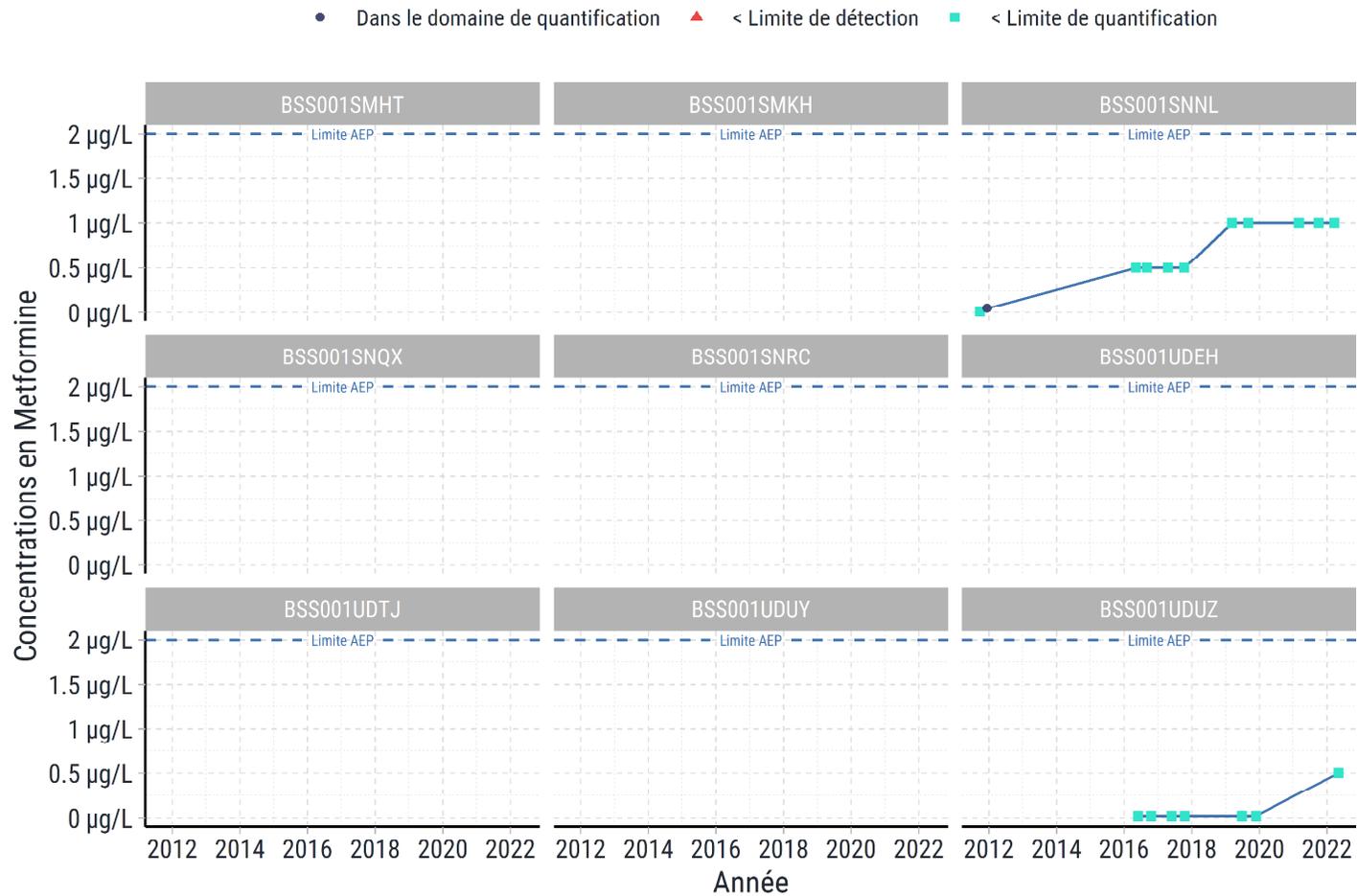
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Métaldéhyde



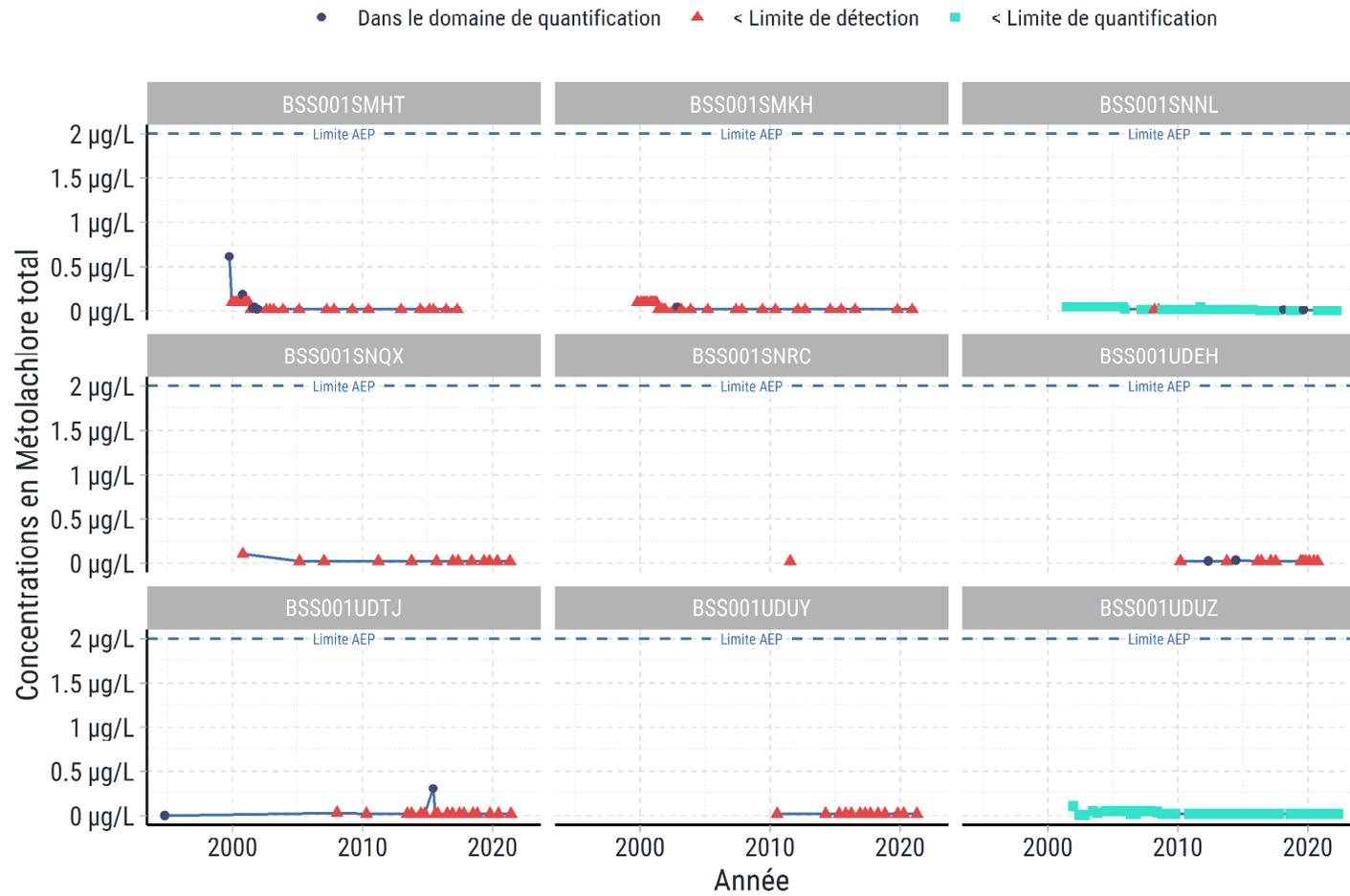
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Metformine



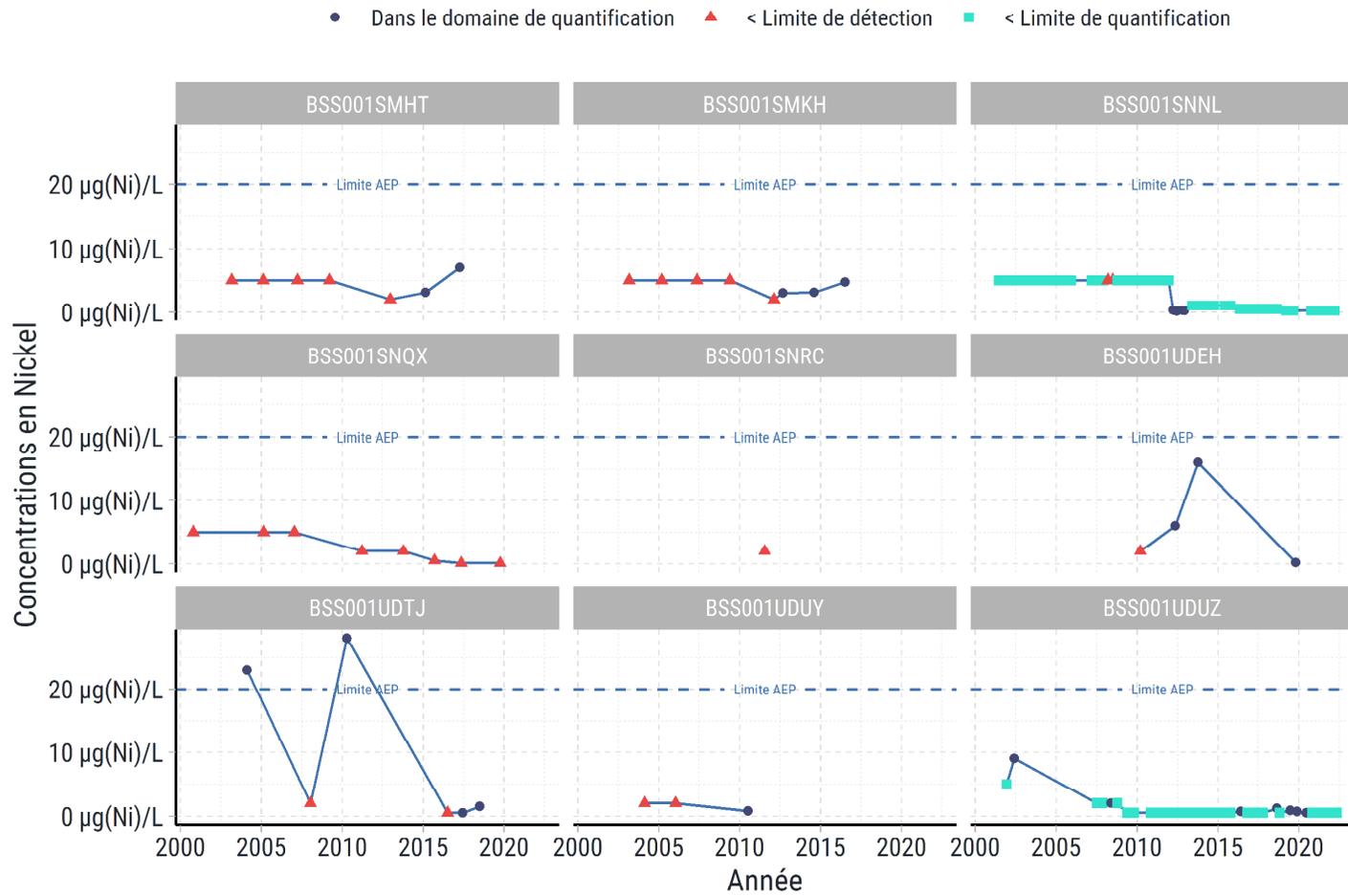
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Métolachlore total



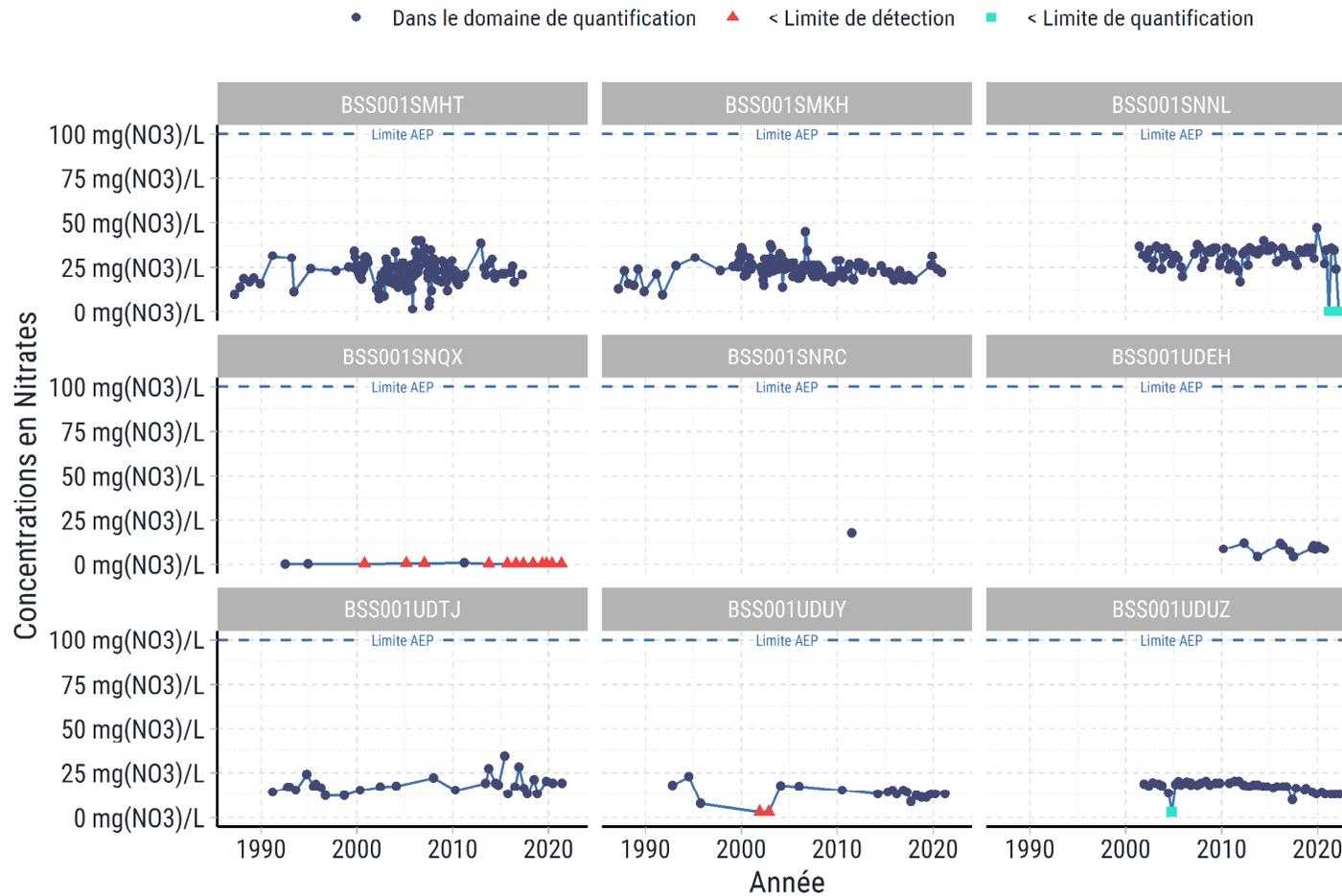
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Nickel



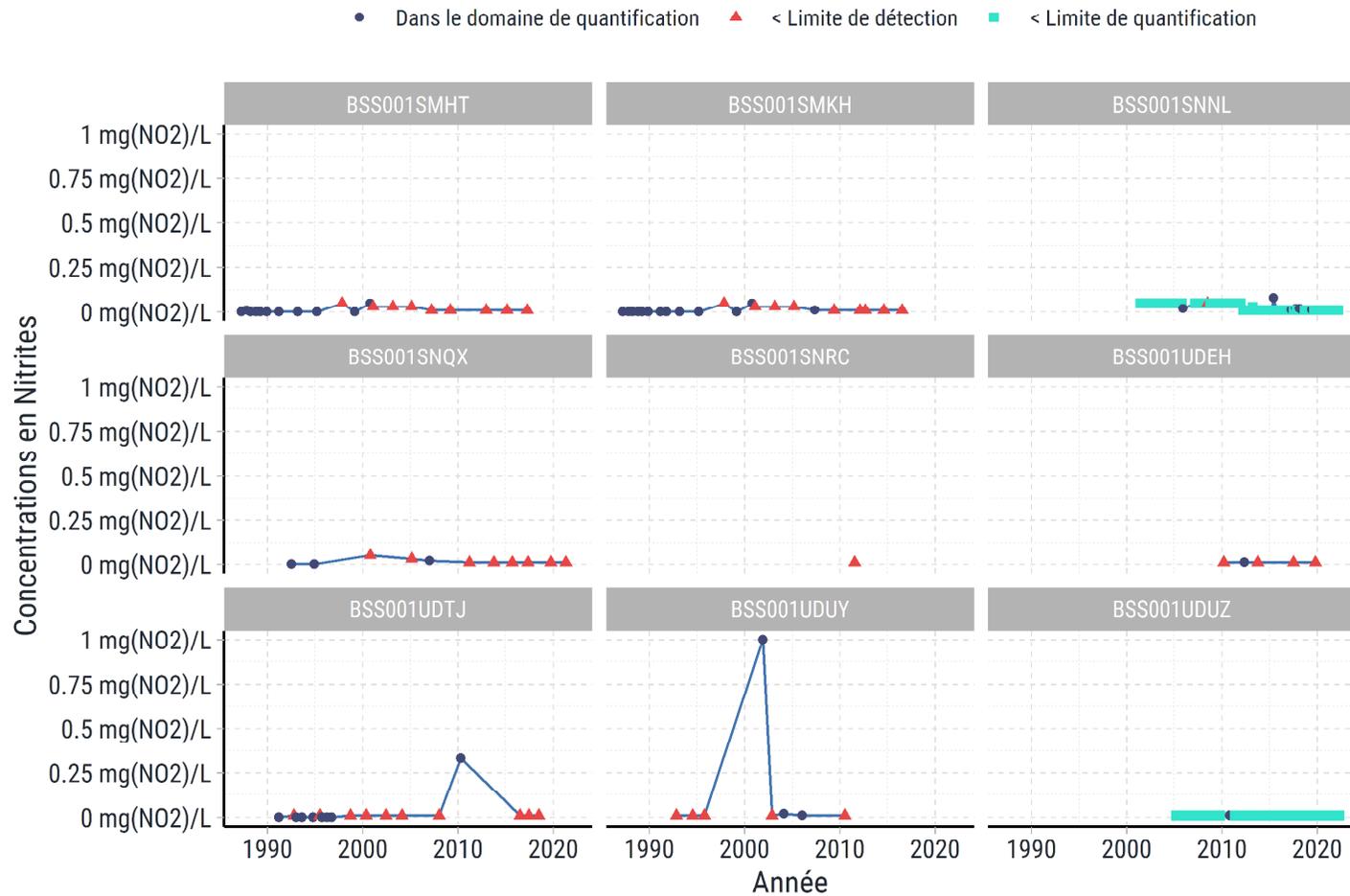
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Nitrates



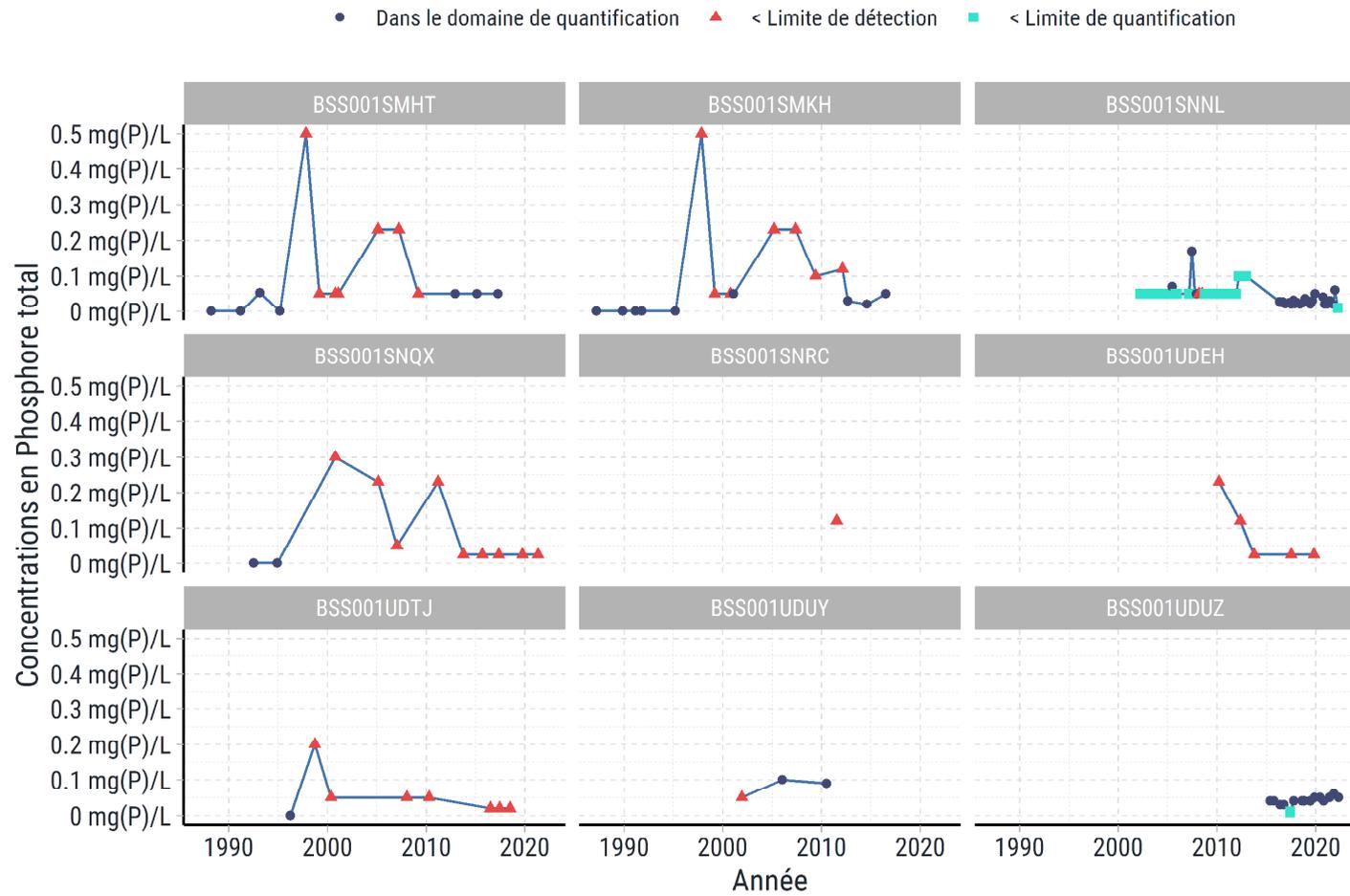
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Nitrites



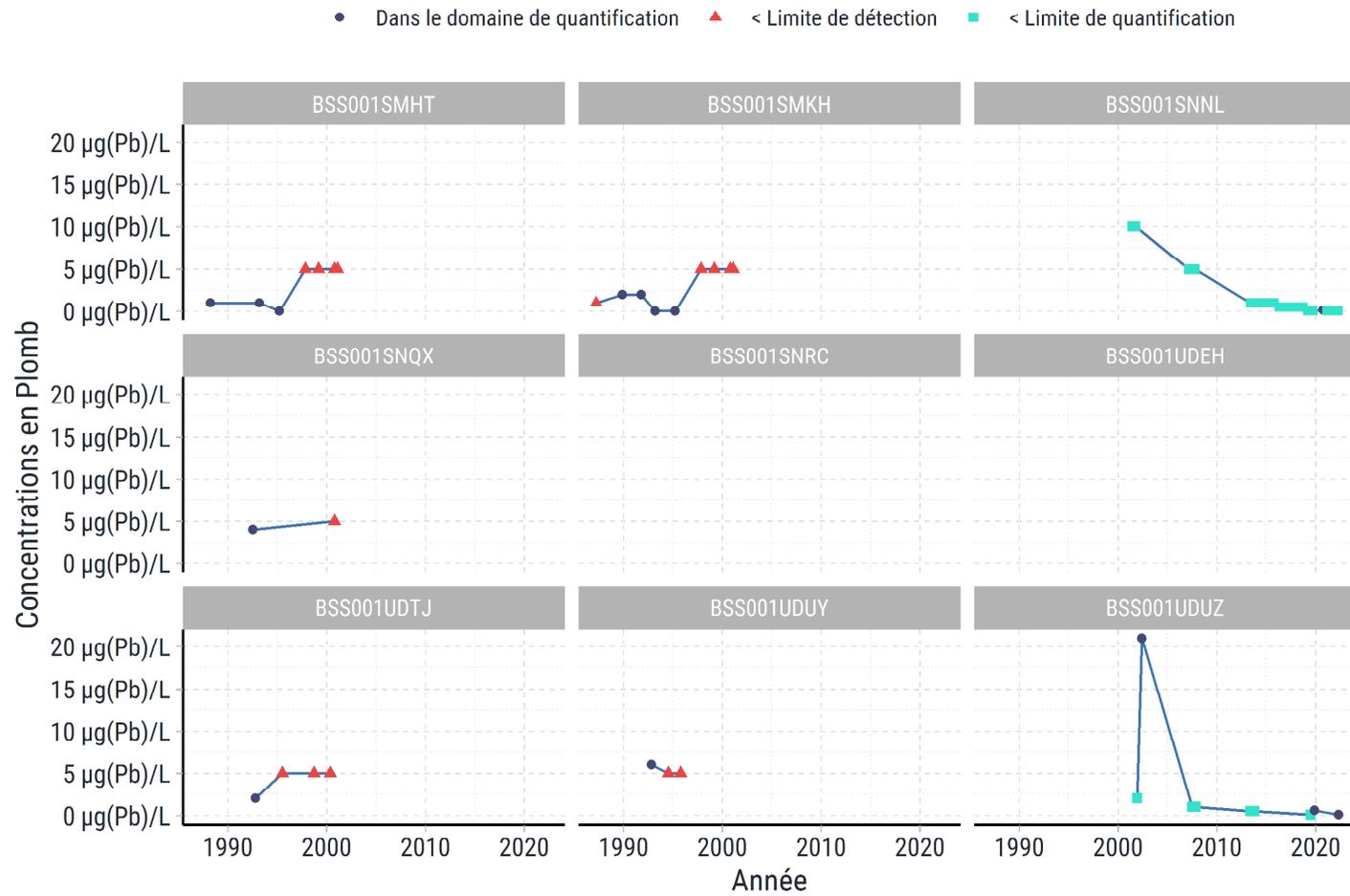
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Phosphore total



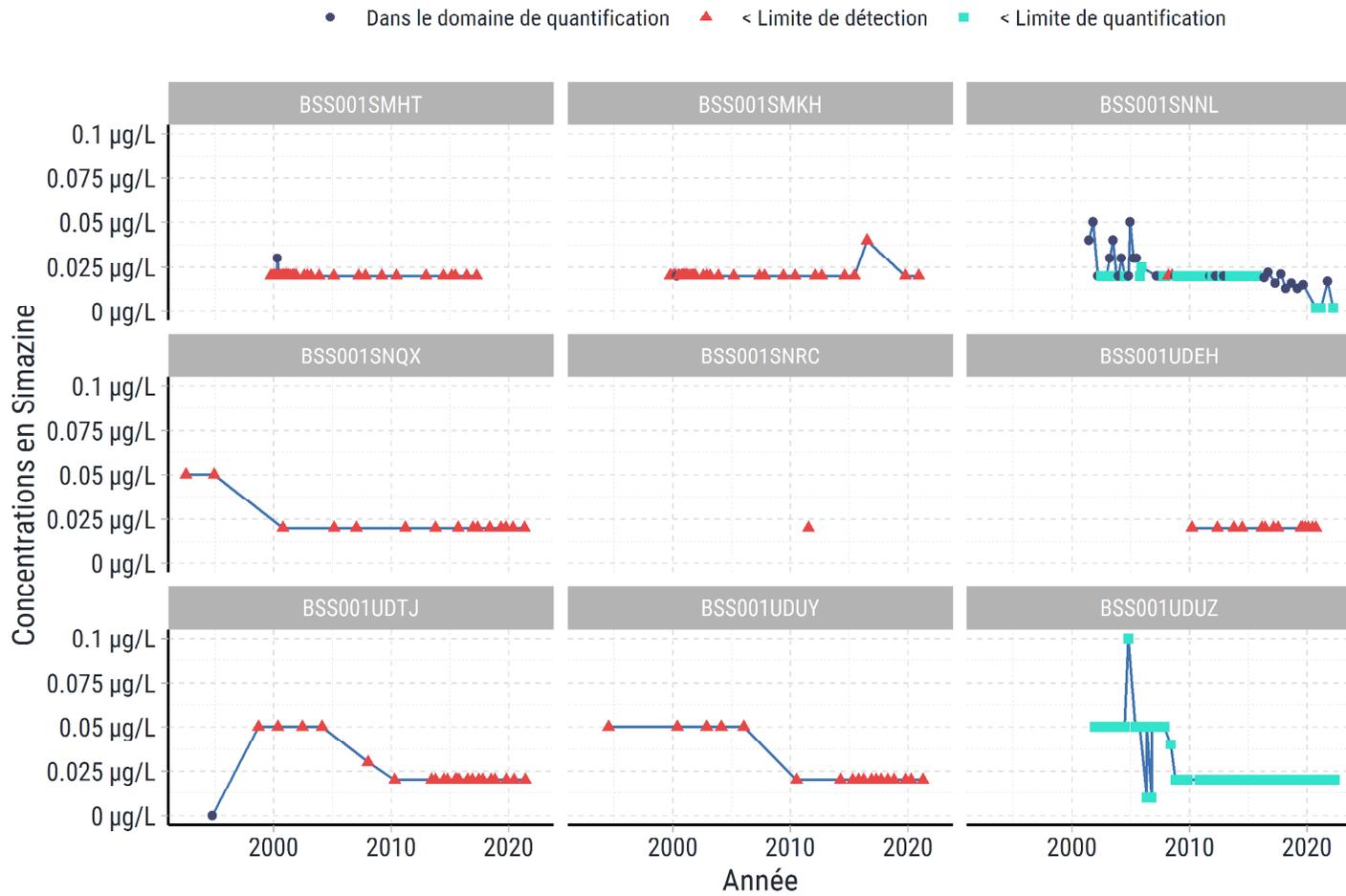
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Plomb



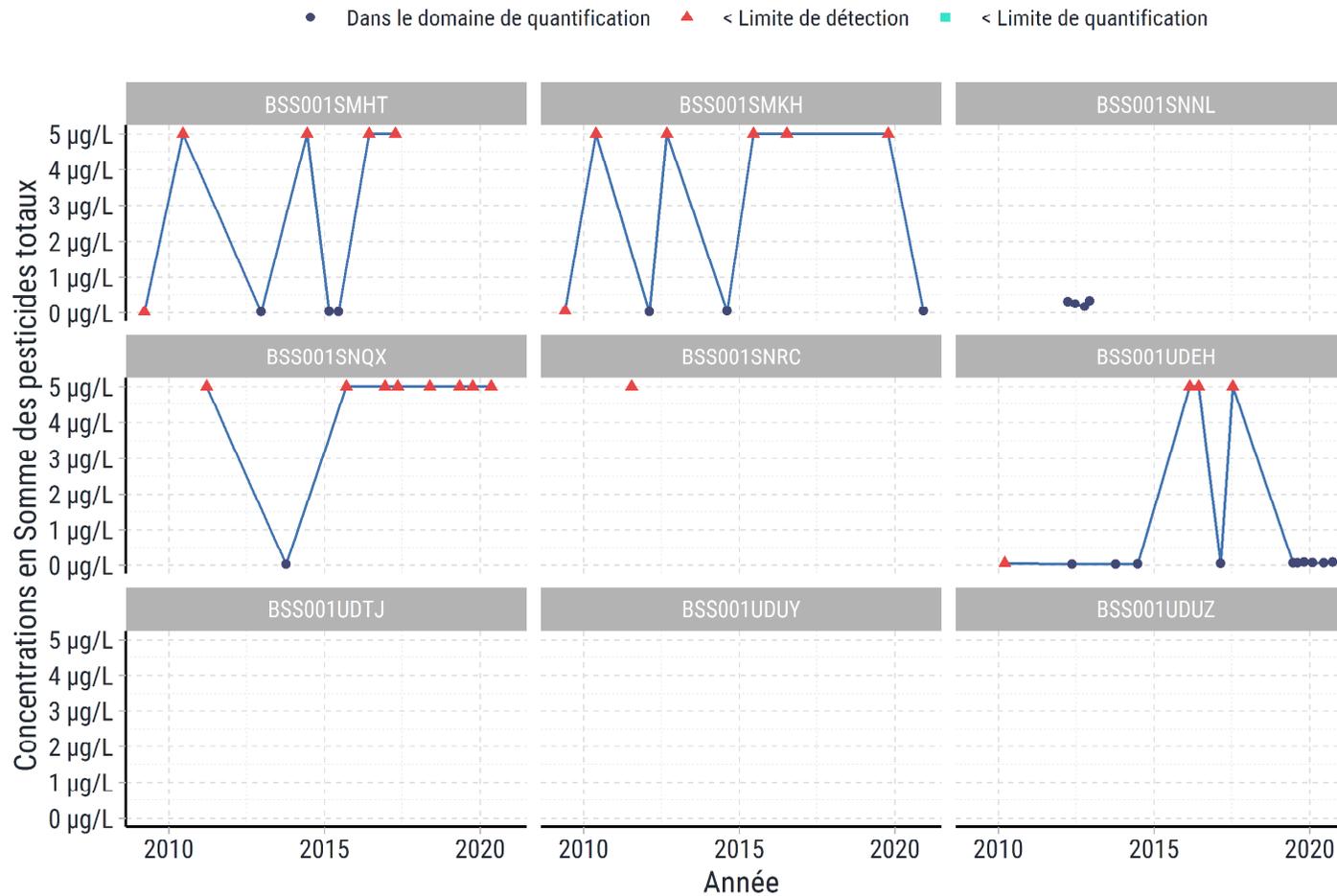
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Simazine



Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Somme des pesticides totaux



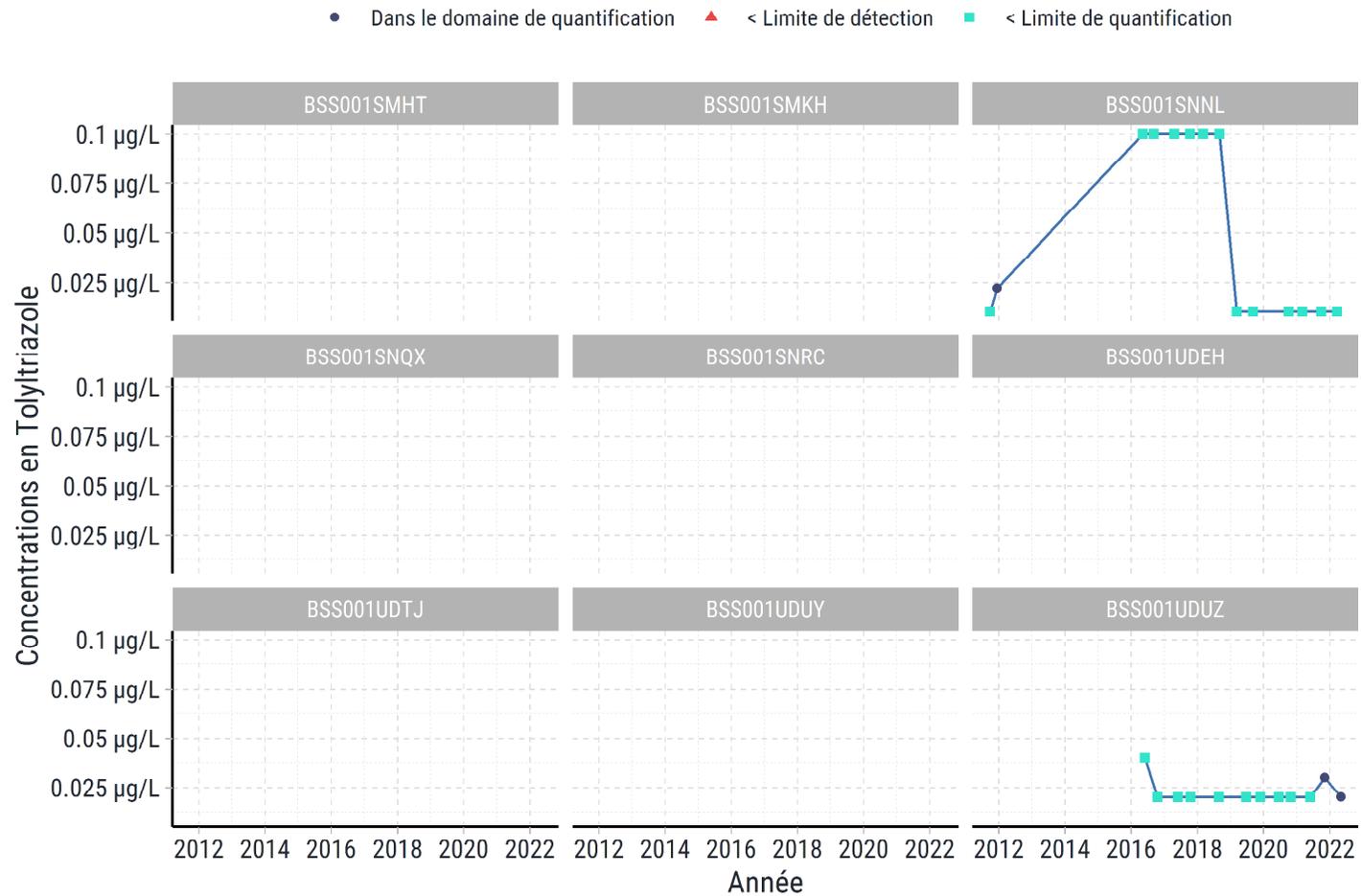
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Terbutylazine déséthyl



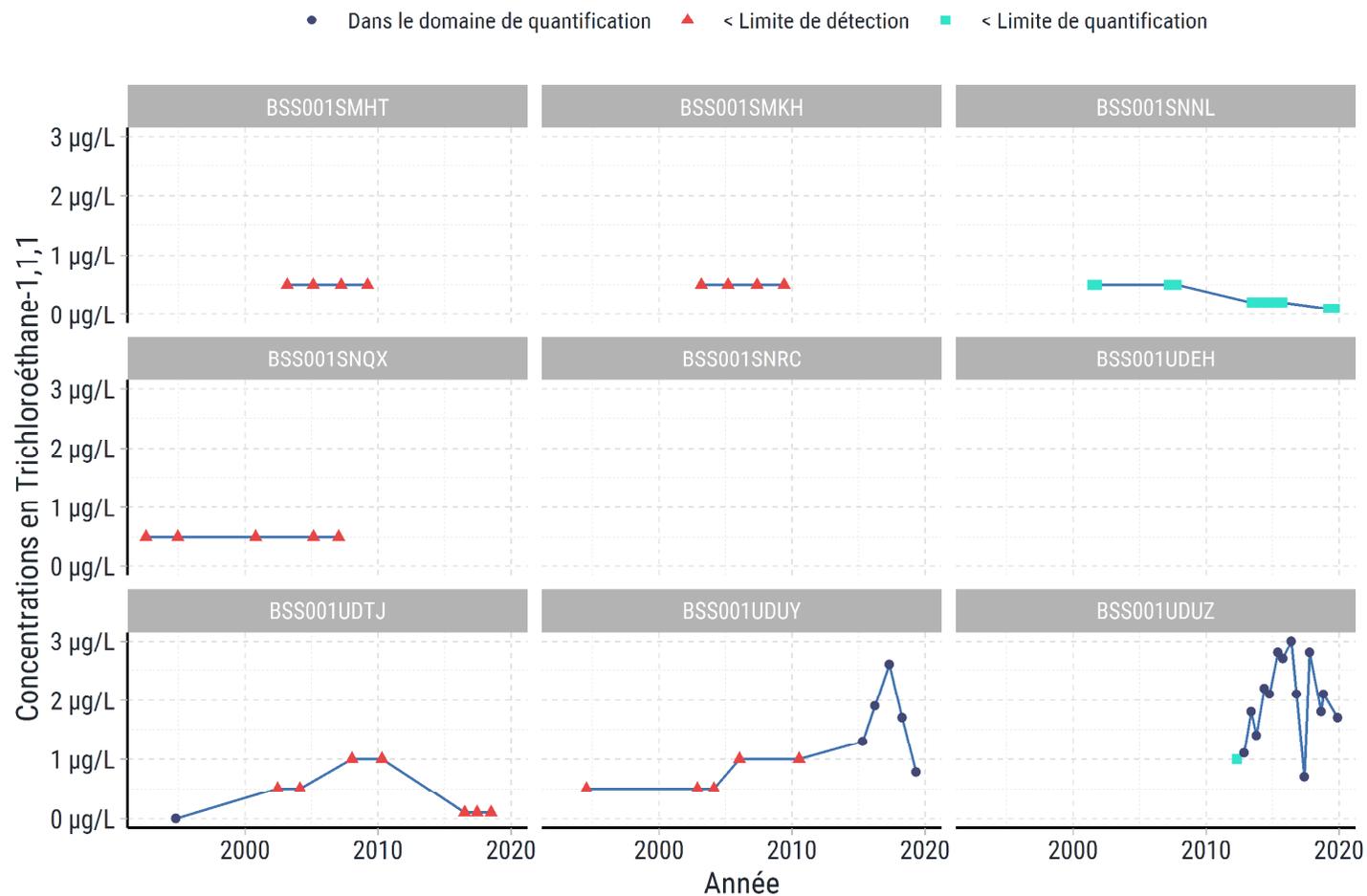
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Tolytriazole



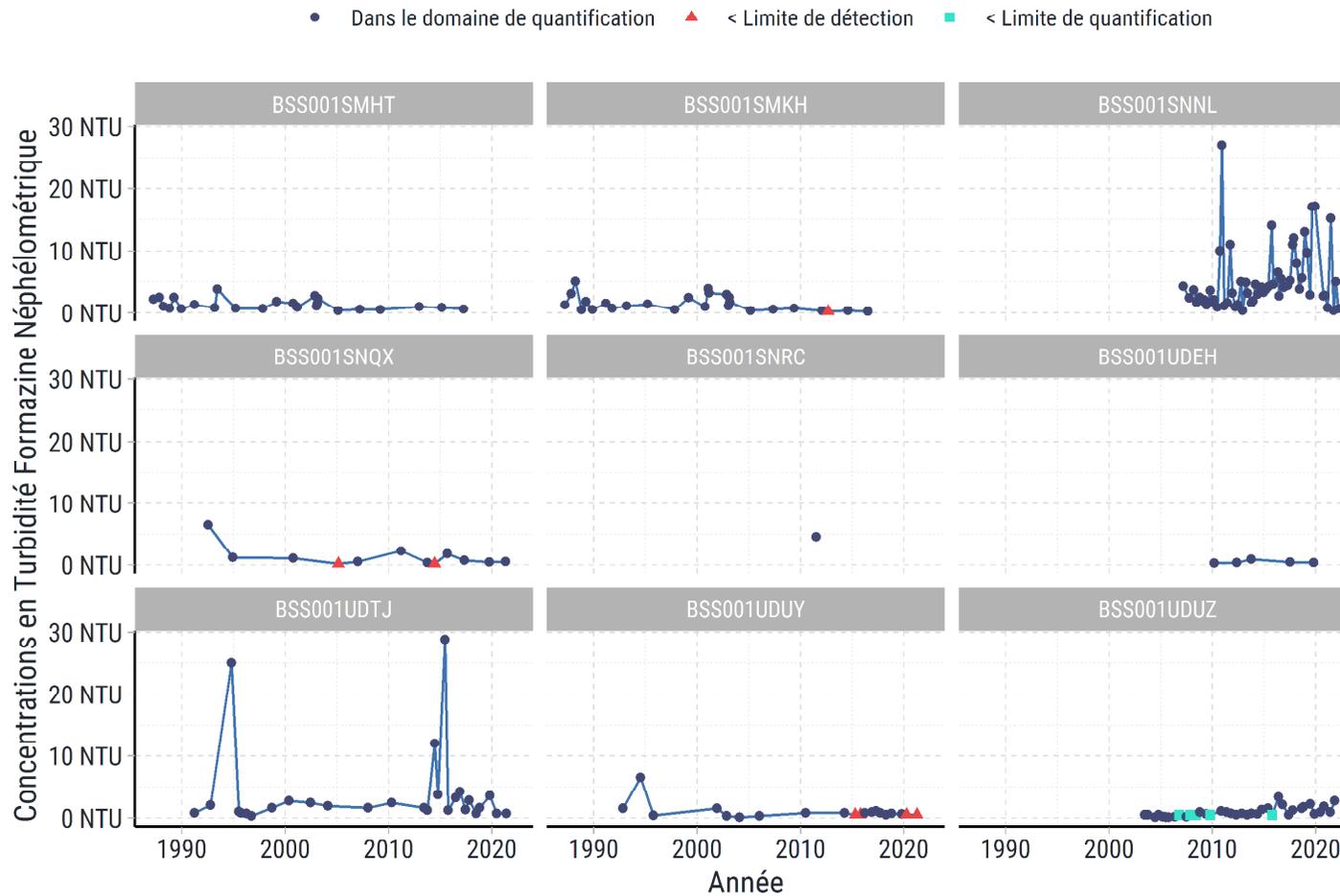
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
 Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Trichloroéthane-1,1,1



Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Evolution des concentrations en Turbidité Formazine Néphélométrique



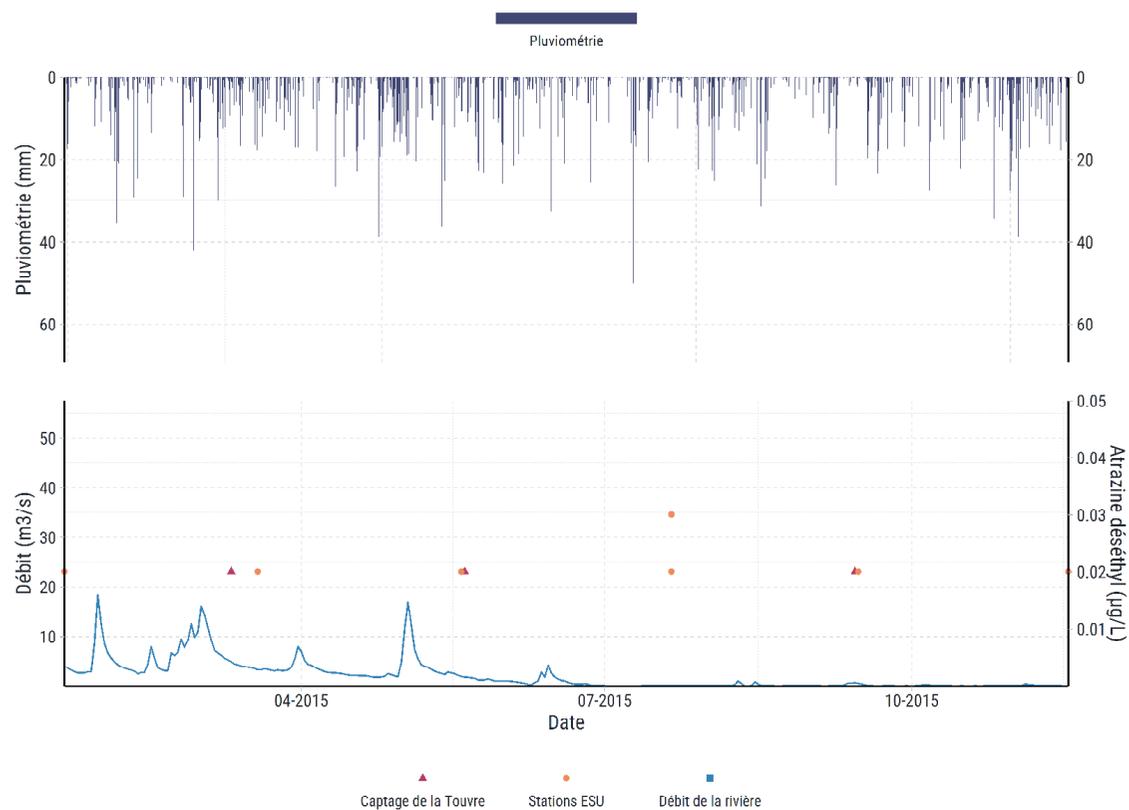
Source : Hub'Eau API qualité des nappes
Réalisation : Antea group (févr. 2023)

Annexe V : **Graphiques de corrélations des données qualité et quantité**

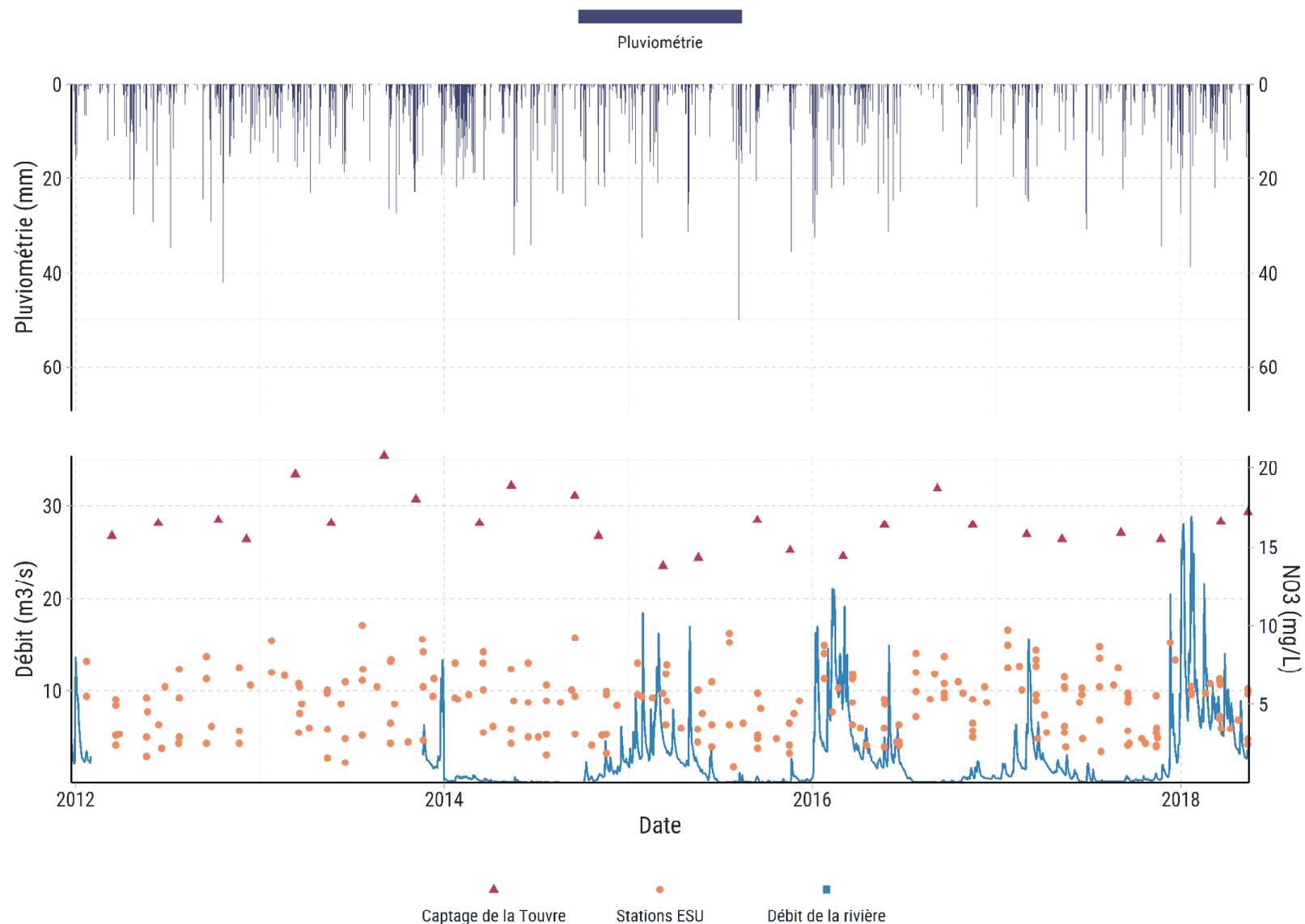
Graphiques de corrélations données qualité / quantité

Bassin versant du Bandiat

Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à Le Bandiat à Marthon
et les concentrations en Atrazine déséthyl
Stations eaux superficielles de la Bandiat_R11-0400

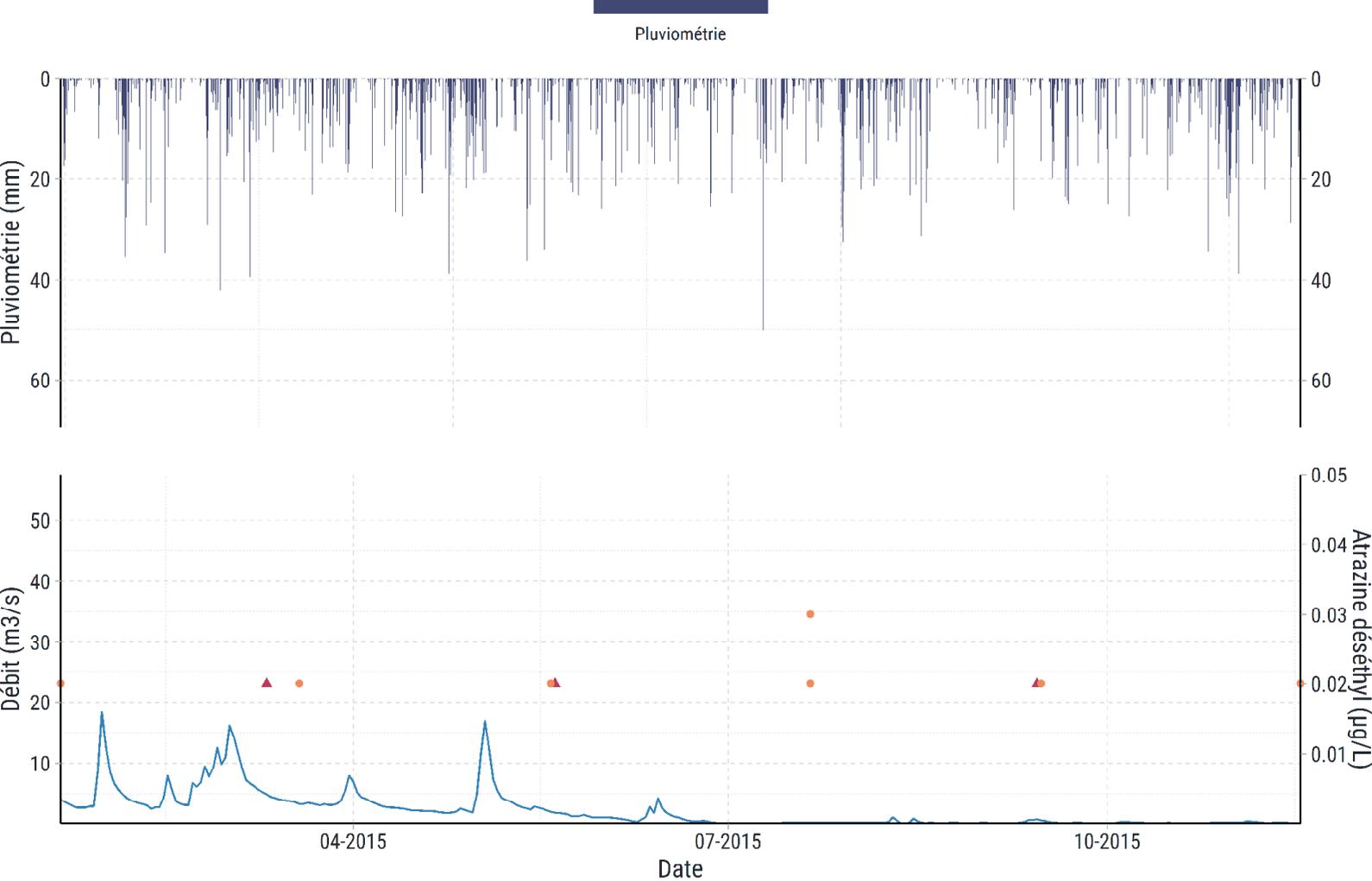


Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à Le Bandiat à Marthon
et les concentrations en NO3
Stations eaux superficielles de la Bandiat_R11-0400



Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à Le Bandiat à Marthon et les concentrations en Atrazine déséthyl

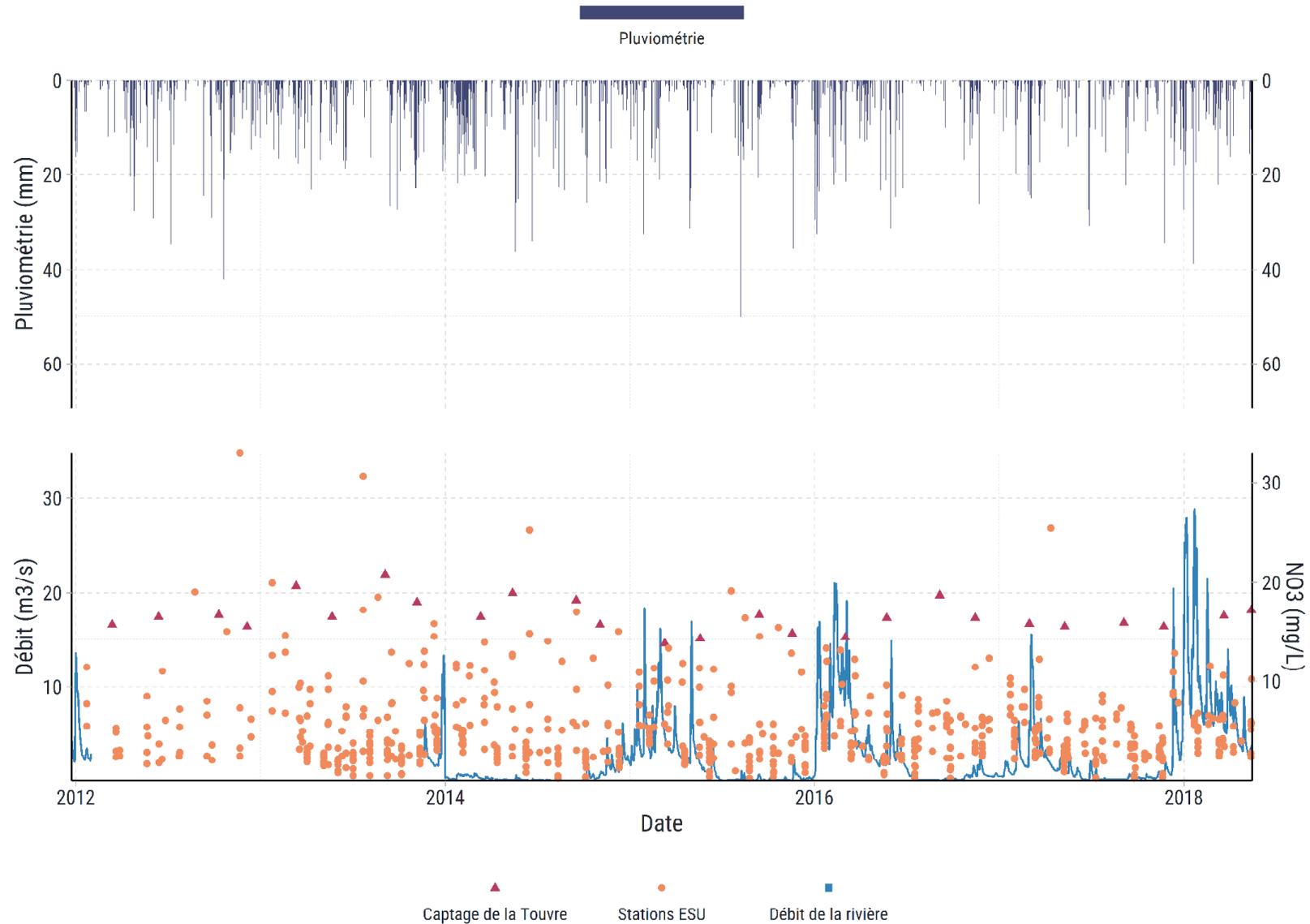
Stations eaux superficielles de la Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11



▲ Captage de la Touvre ● Stations ESU ■ Débit de la rivière

Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à Le Bandiat à Marthon et les concentrations en NO3

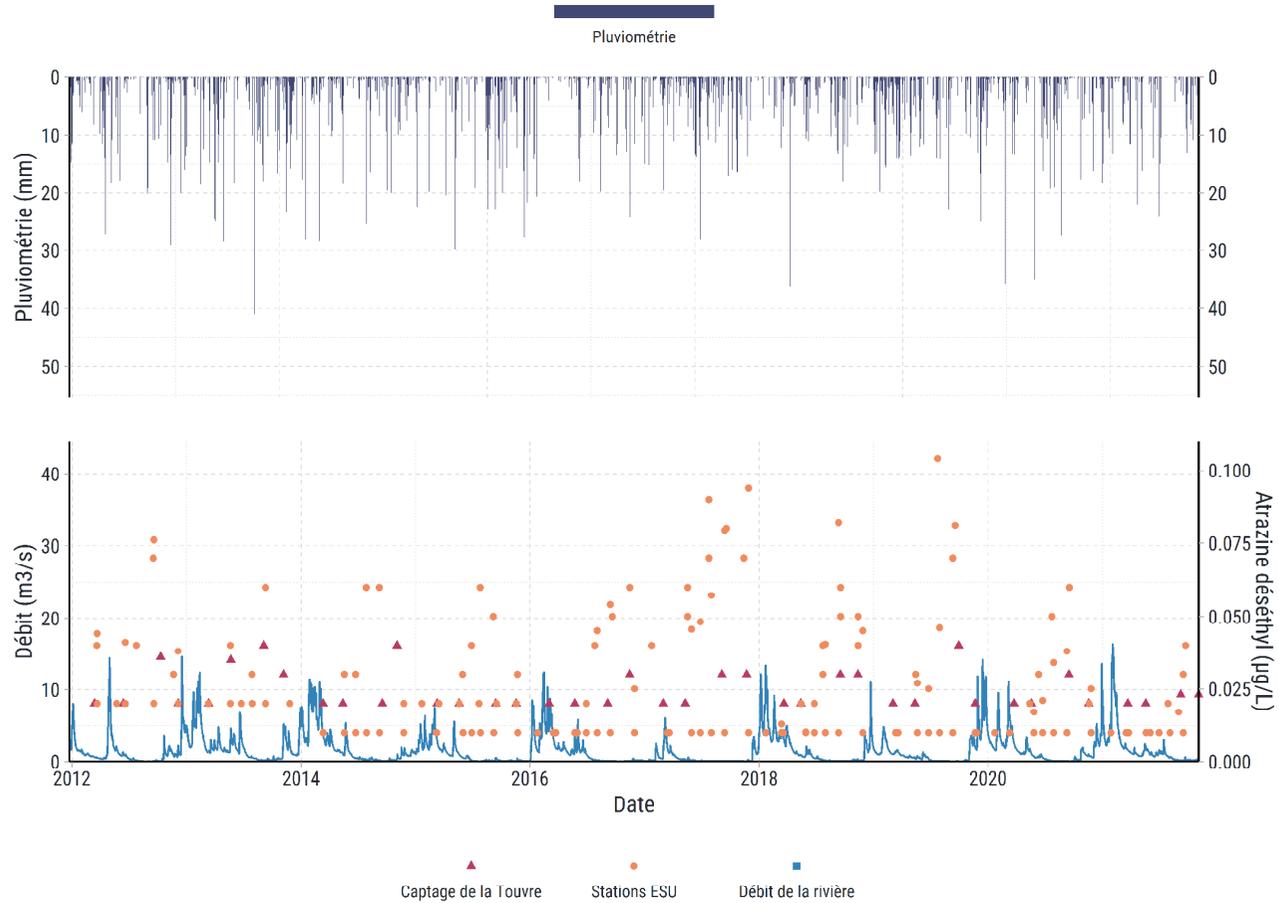
Stations eaux superficielles de la Tardoire_confluent_Bandiat_inclus_a_confluent_Bonnieure_R11



Bassin versant de la Bonnieure

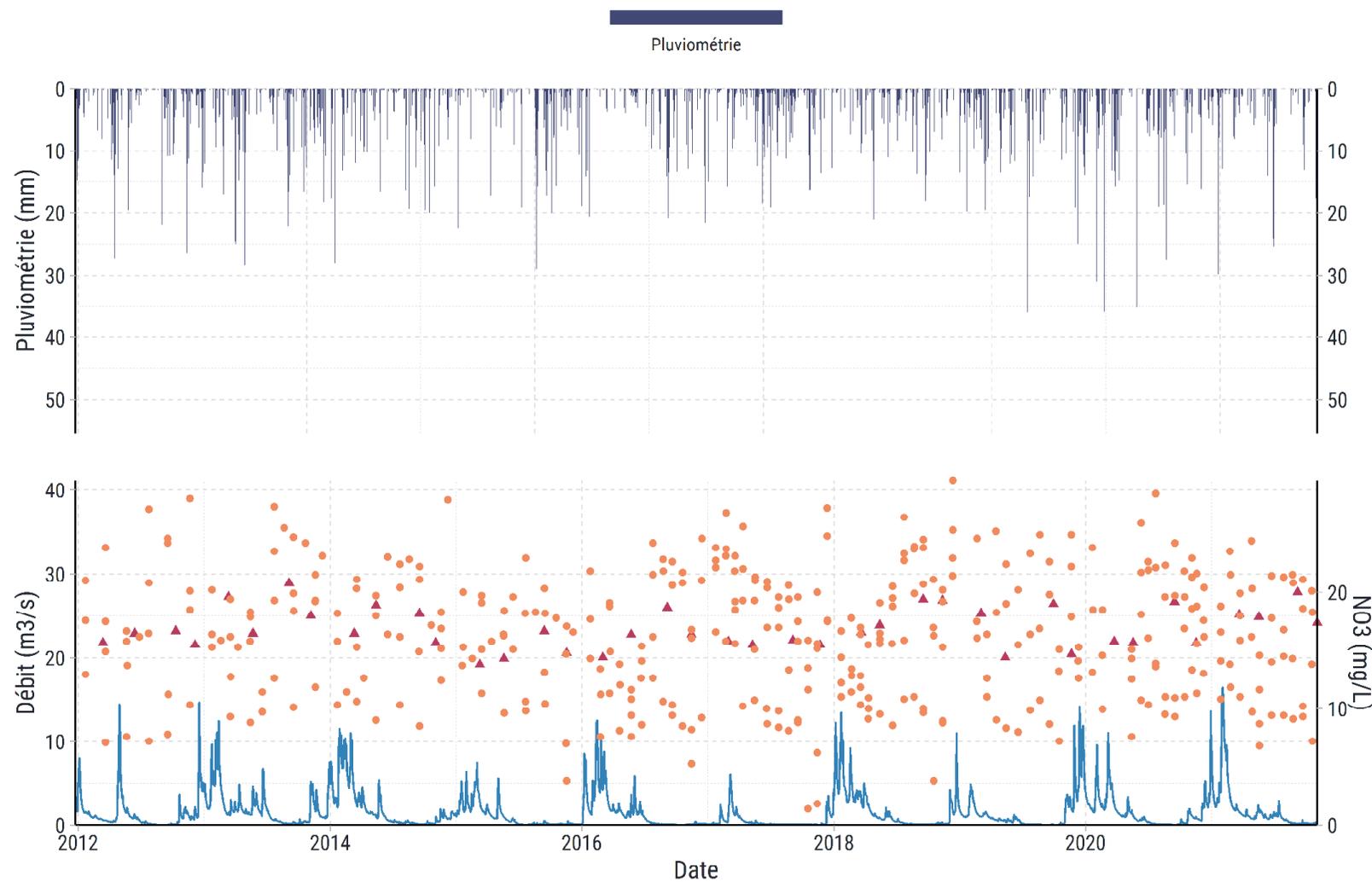
Lien entre la pluviométrie à Montemboeuf, le débit à La Bonnieure à Saint-Ciers-sur-Bonnieure [Villebette] et les concentrations en Atrazine déséthyl

Stations eaux superficielles de la Bonnieure_R1--0250



Lien entre la pluviométrie à Montemboeuf, le débit à La Bonnière à Saint-Ciers-sur-Bonniere [Villebette] et les concentrations en NO3

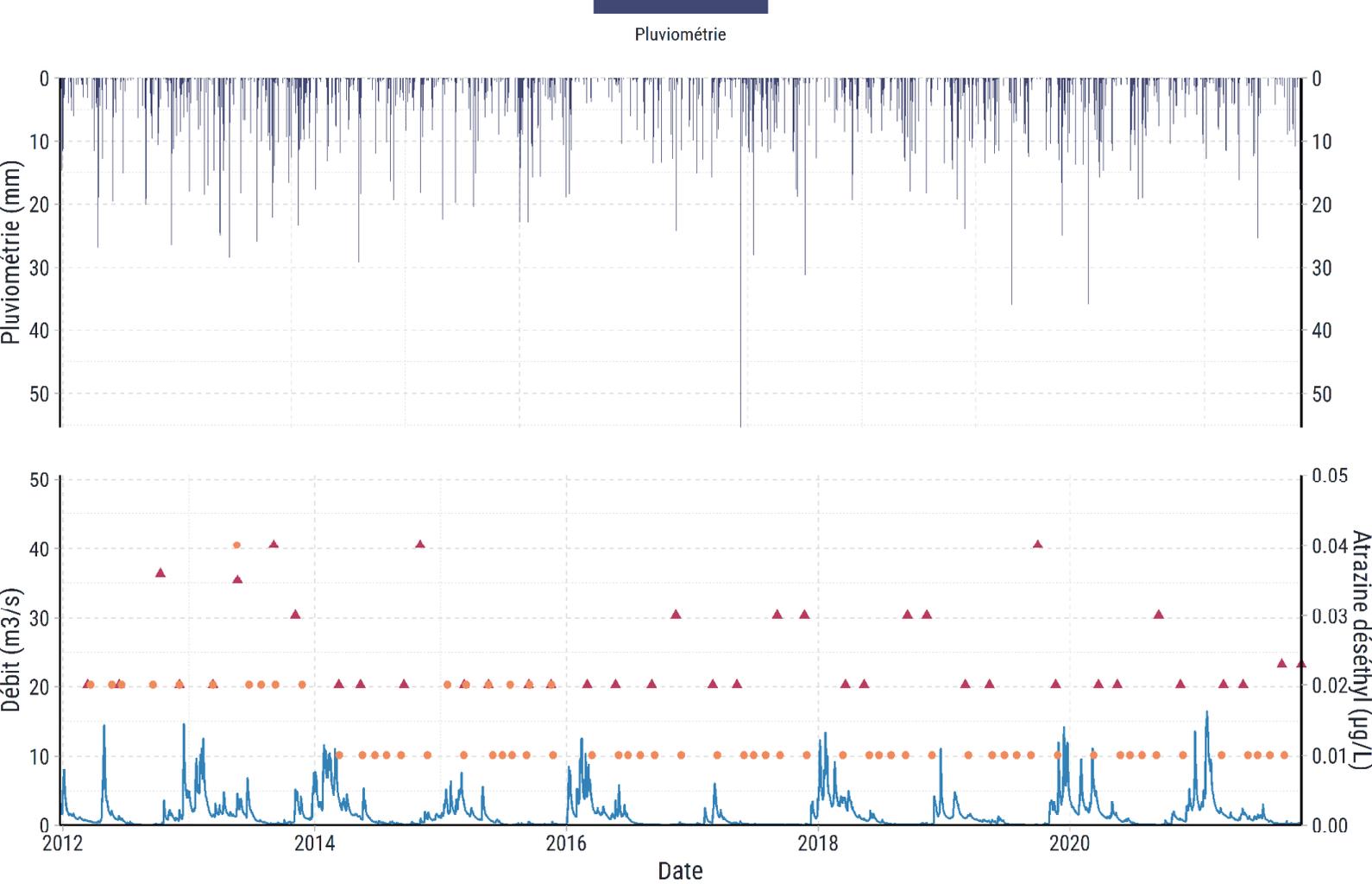
Stations eaux superficielles de la Bonnière_R1--0250



▲ Captage de la Touvre ● Stations ESU ■ Débit de la rivière

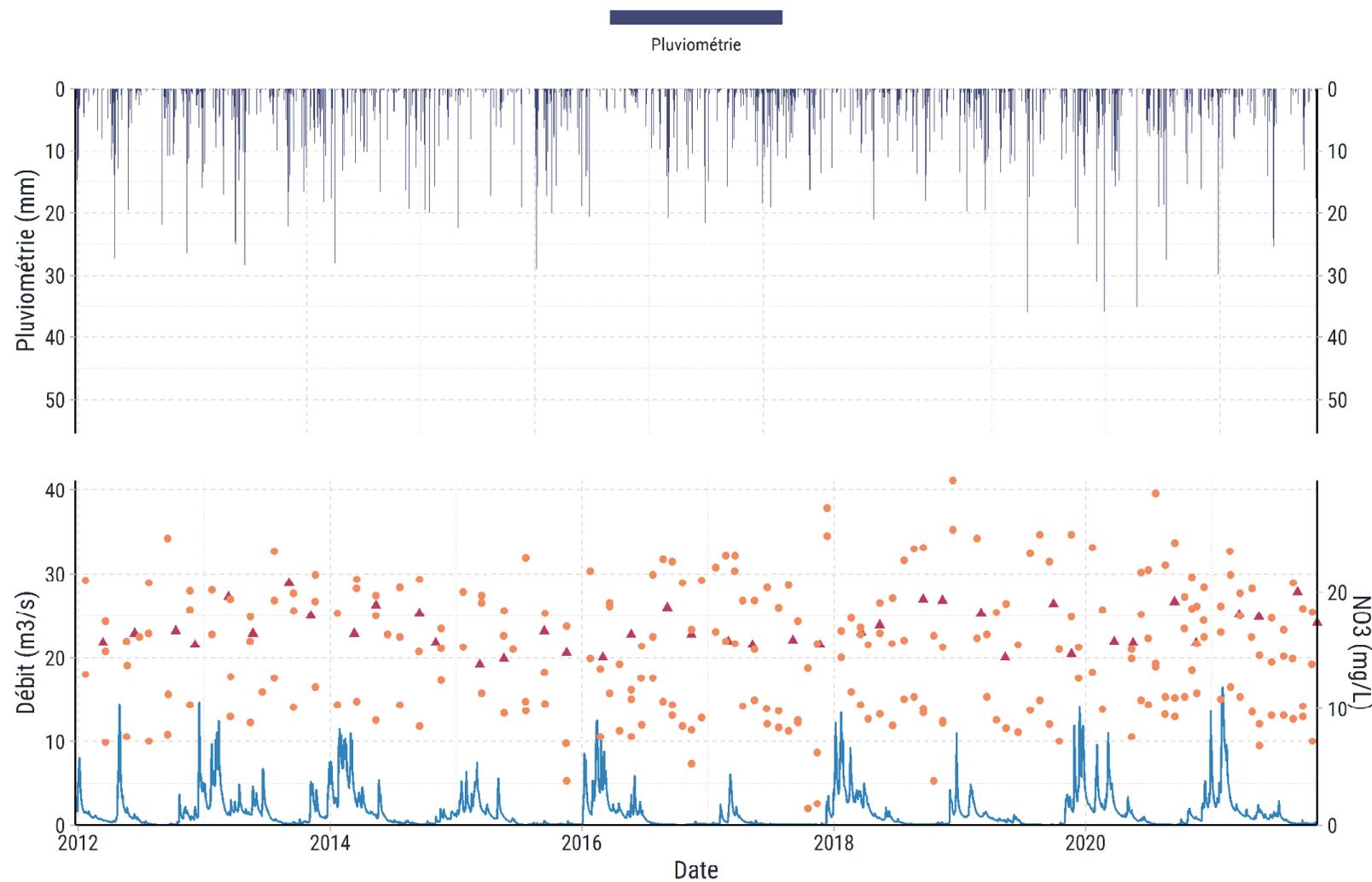
Lien entre la pluviométrie à Montemboeuf, le débit à La Bonnière à Saint-Ciers-sur-Bonnière [Villebette] et les concentrations en Atrazine déséthyl

Stations eaux superficielles de la Bonnière_source_a_confluence_Tardoire_R12



Lien entre la pluviométrie à Montemboeuf, le débit à La Bonnière à Saint-Ciers-sur-Bonnière [Villebette] et les concentrations en NO3

Stations eaux superficielles de la Bonnière_source_a_confluence_Tardoire_R12

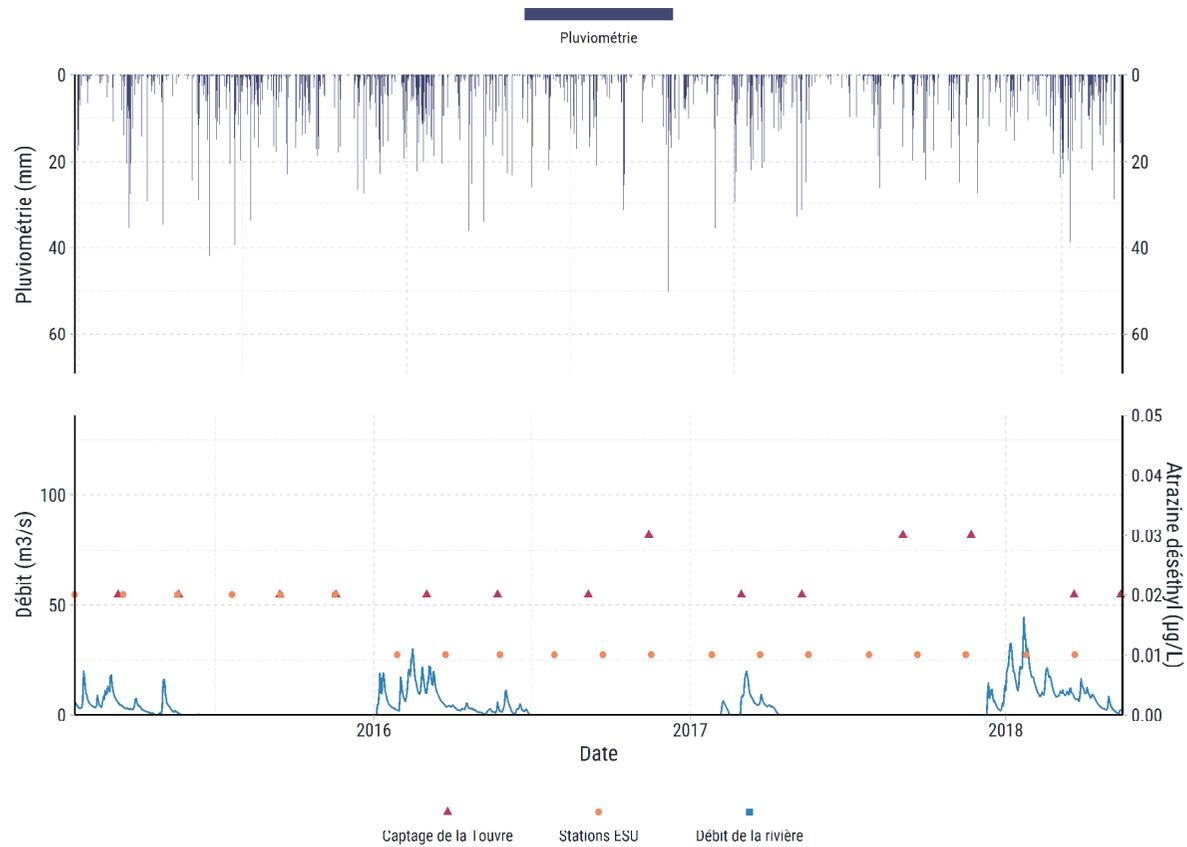


▲ Captage de la Touvre ● Stations ESU ■ Débit de la rivière

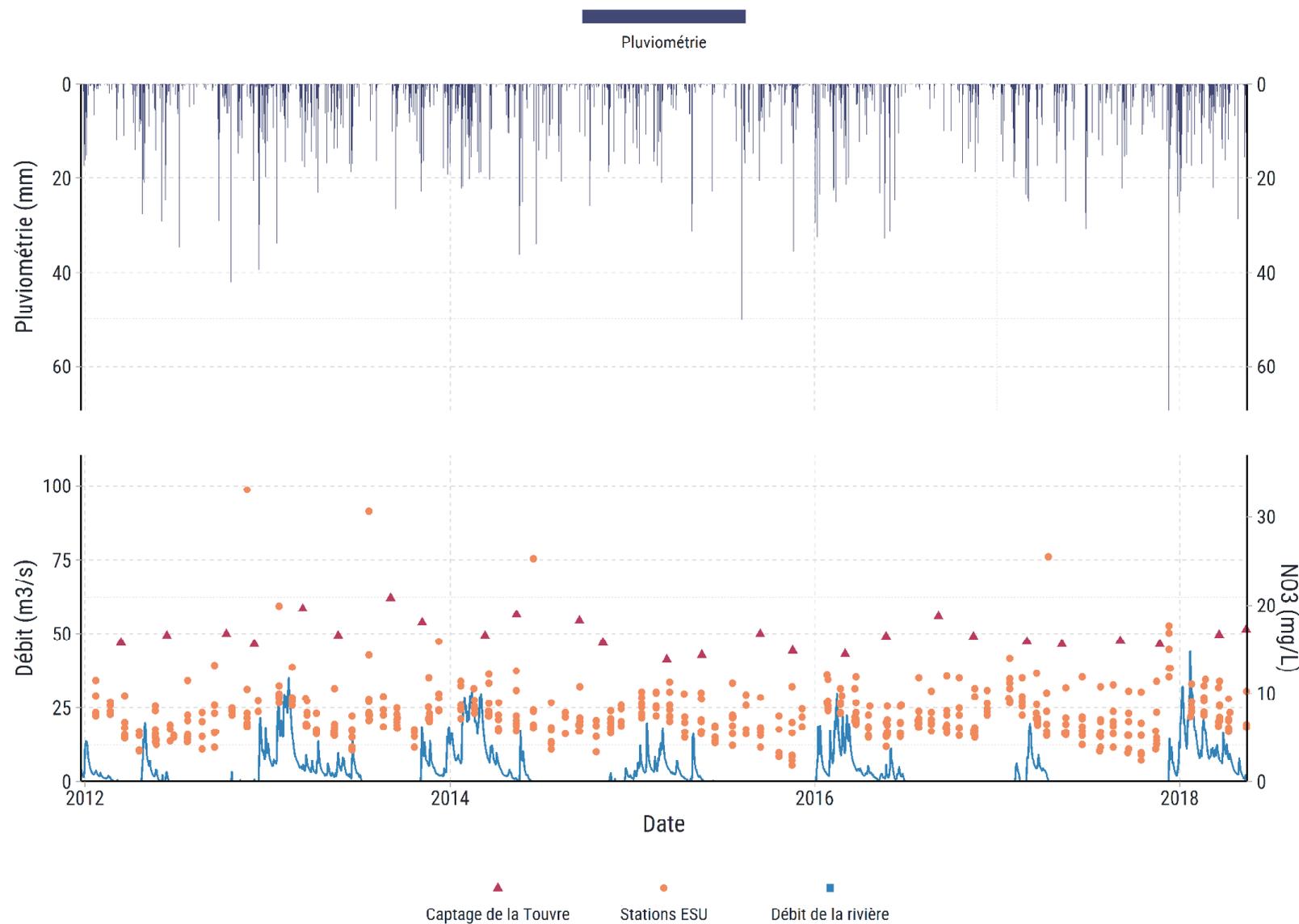
Bassin versant de la Tardoire

Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Coulgens [Pont de Coulgens] et les concentrations en Atrazine déséthyl

Stations eaux superficielles de la Tardoire_R1--0400

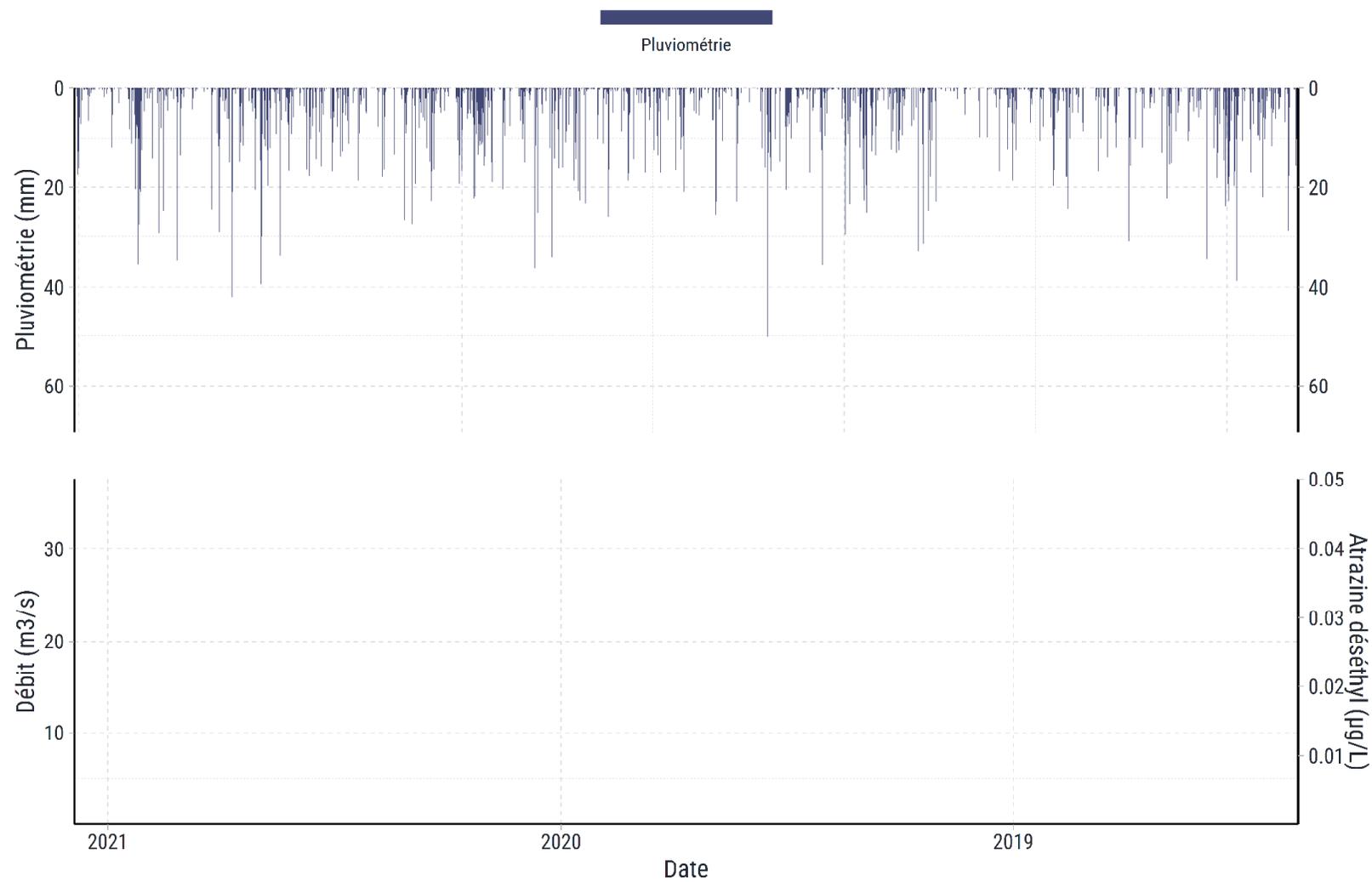


Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Coulgens [Pont de Coulgens] et les concentrations en NO3
Stations eaux superficielles de la Tardoire_R1--0400



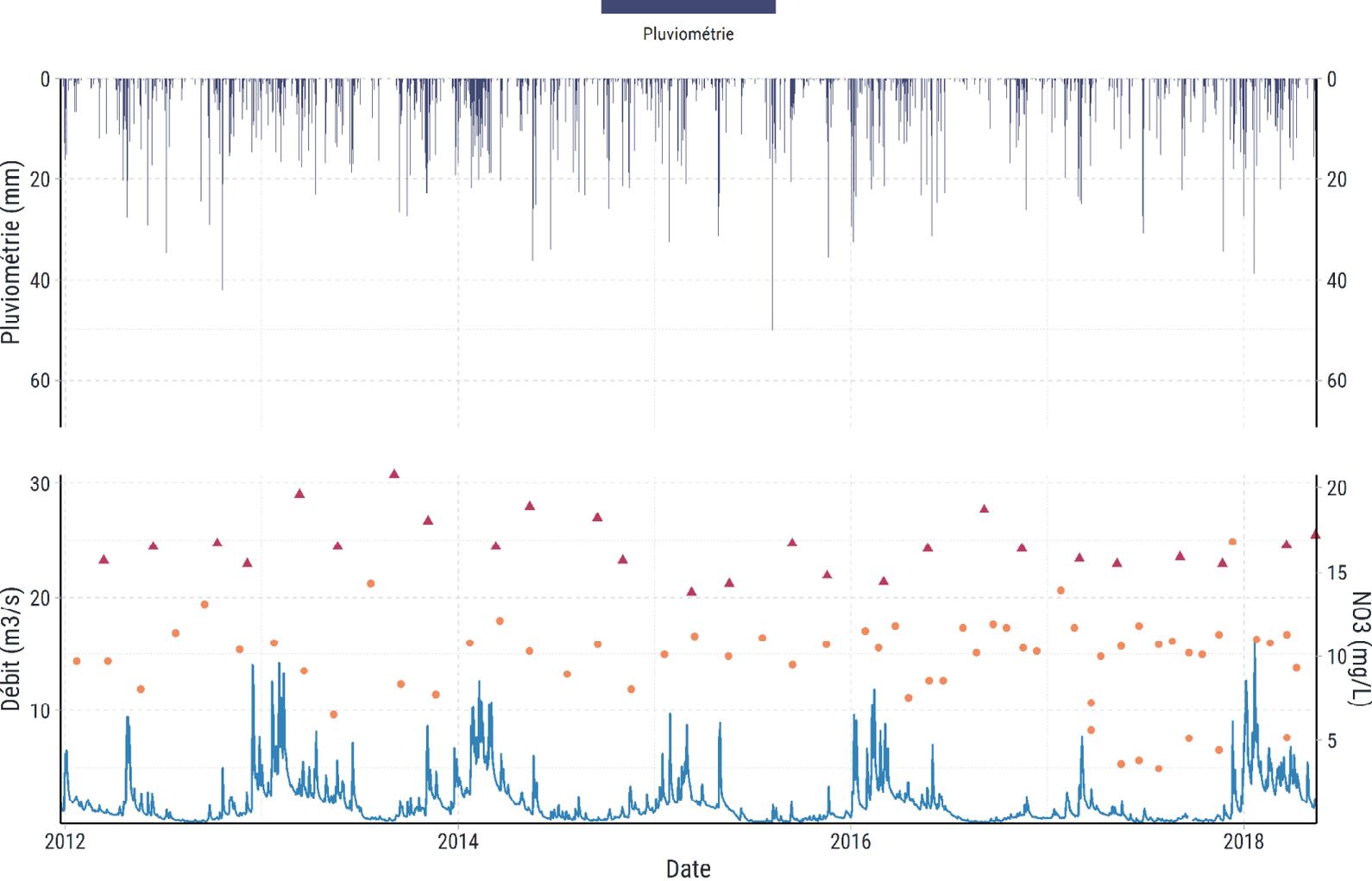
Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Maisonnais-sur-Tardoire et les concentrations en Atrazine déséthyl

Stations eaux superficielles de la Tardoire1

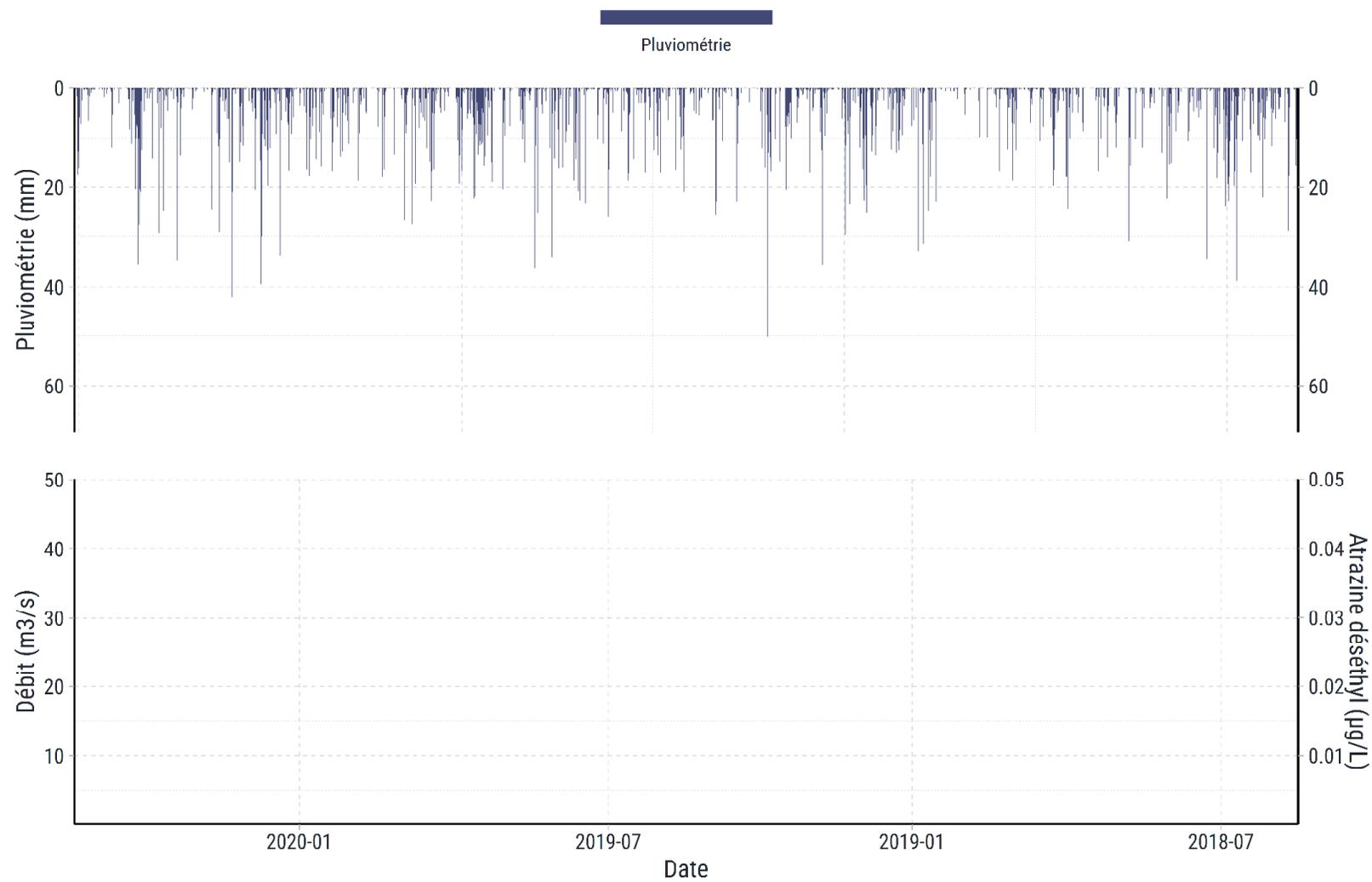


Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Maisonnais-sur-Tardoire et les concentrations en NO3

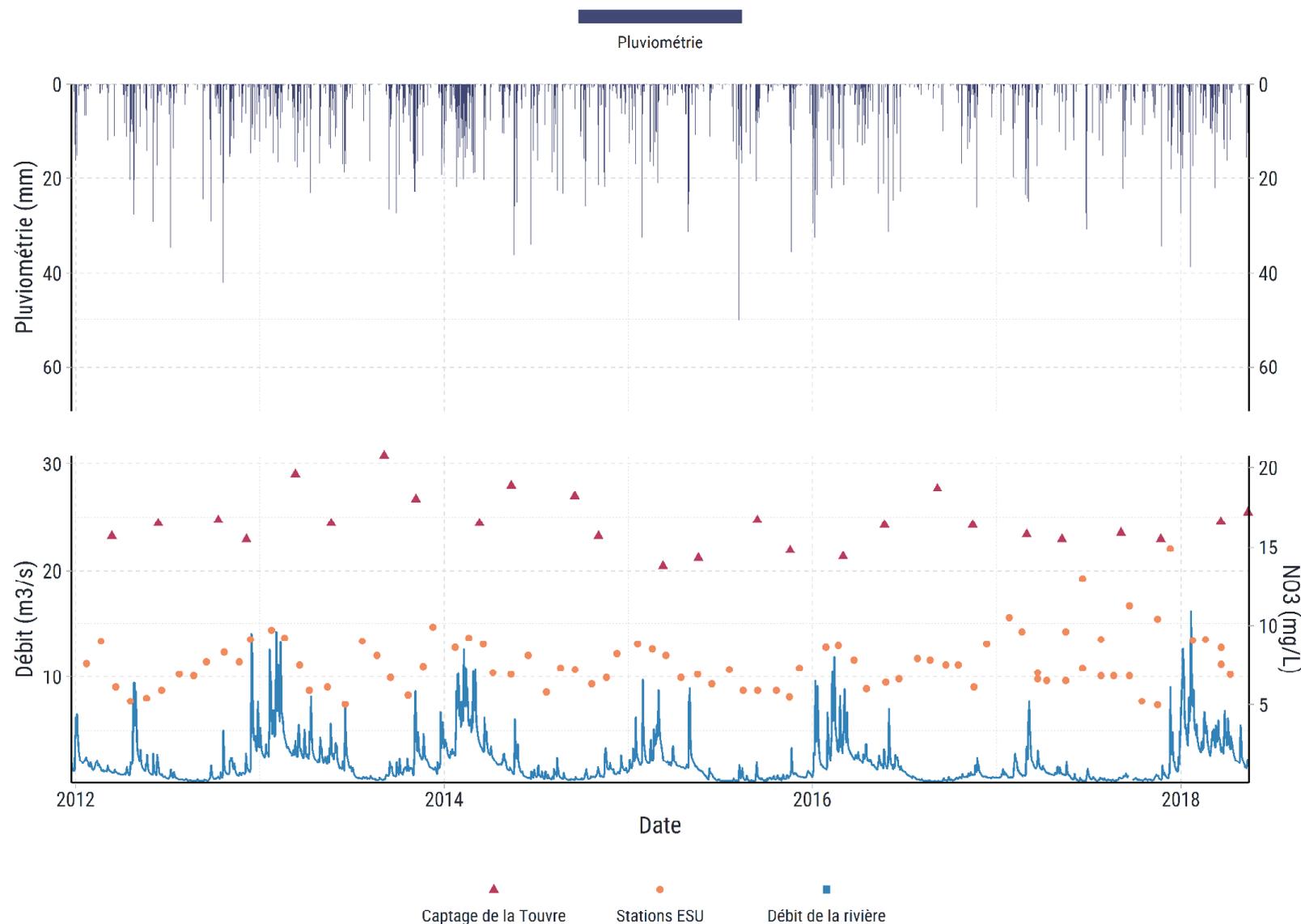
Stations eaux superficielles de la Tardoire1



Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Maisonnais-sur-Tardoire et les concentrations en Atrazine déséthyl
Stations eaux superficielles de la Tardoire2

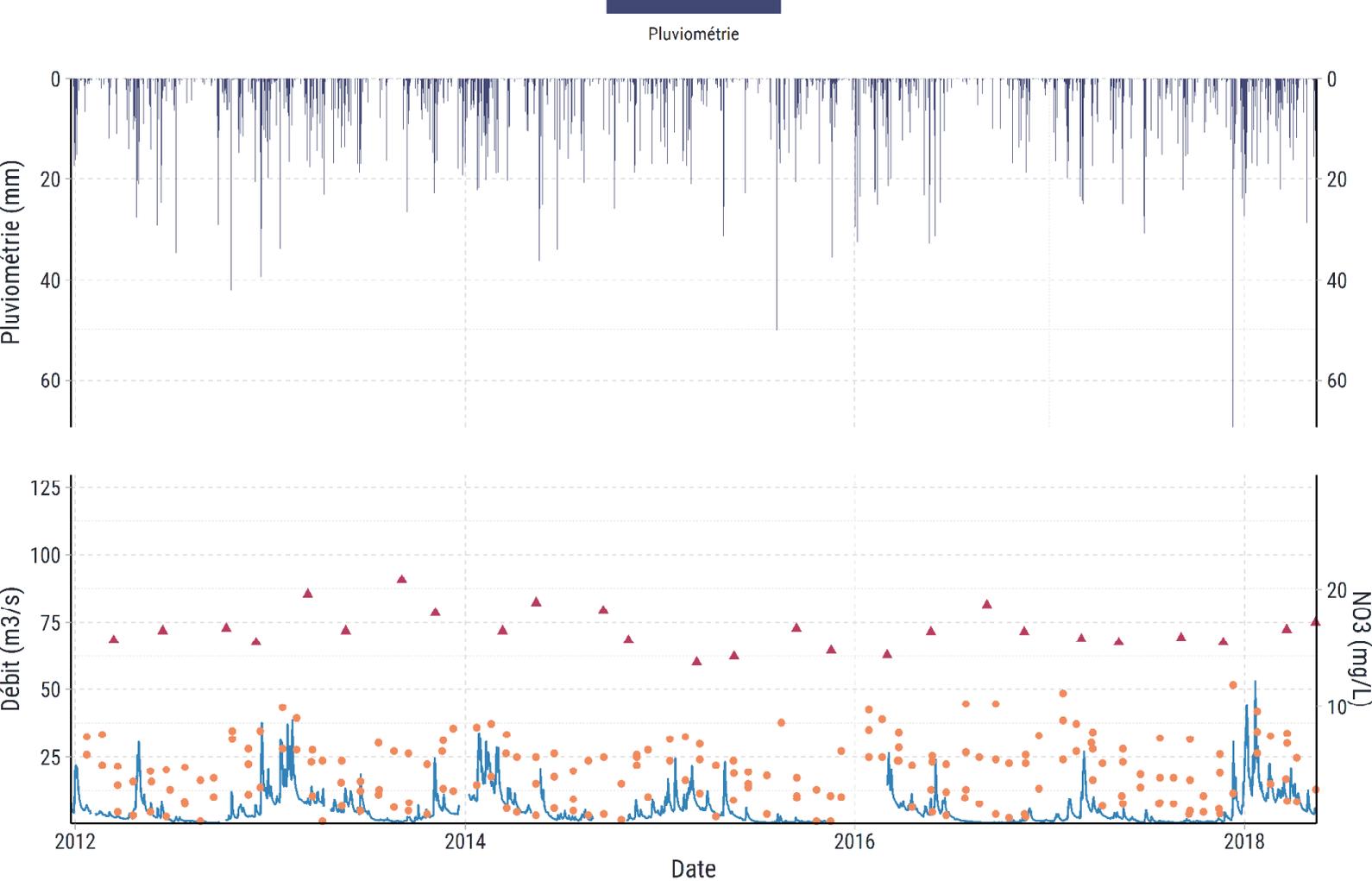


Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Maisonnais-sur-Tardoire et les concentrations en NO3
Stations eaux superficielles de la Tardoire2

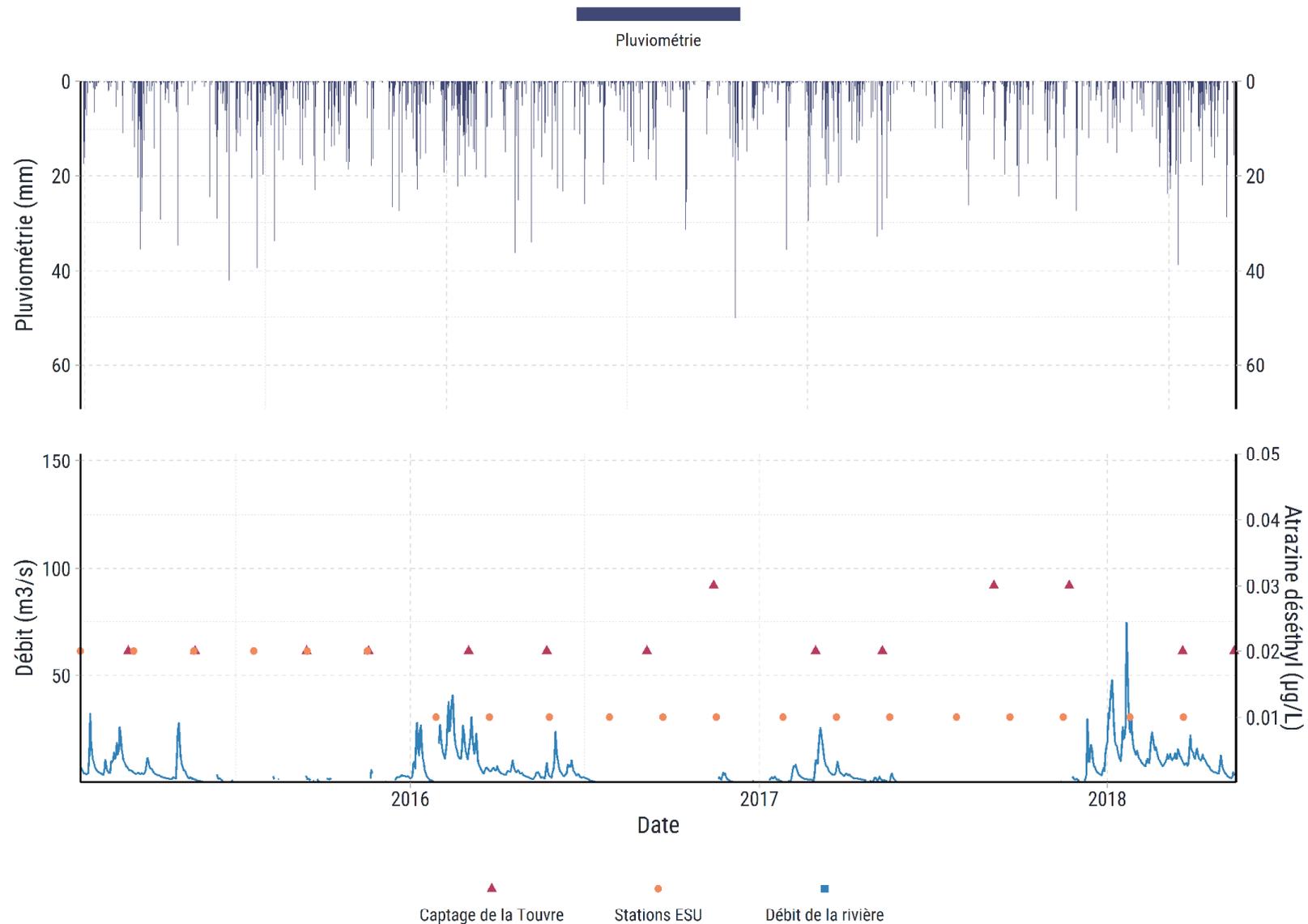


Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à Montbron - Moulin de Lavaud et les concentrations en NO3

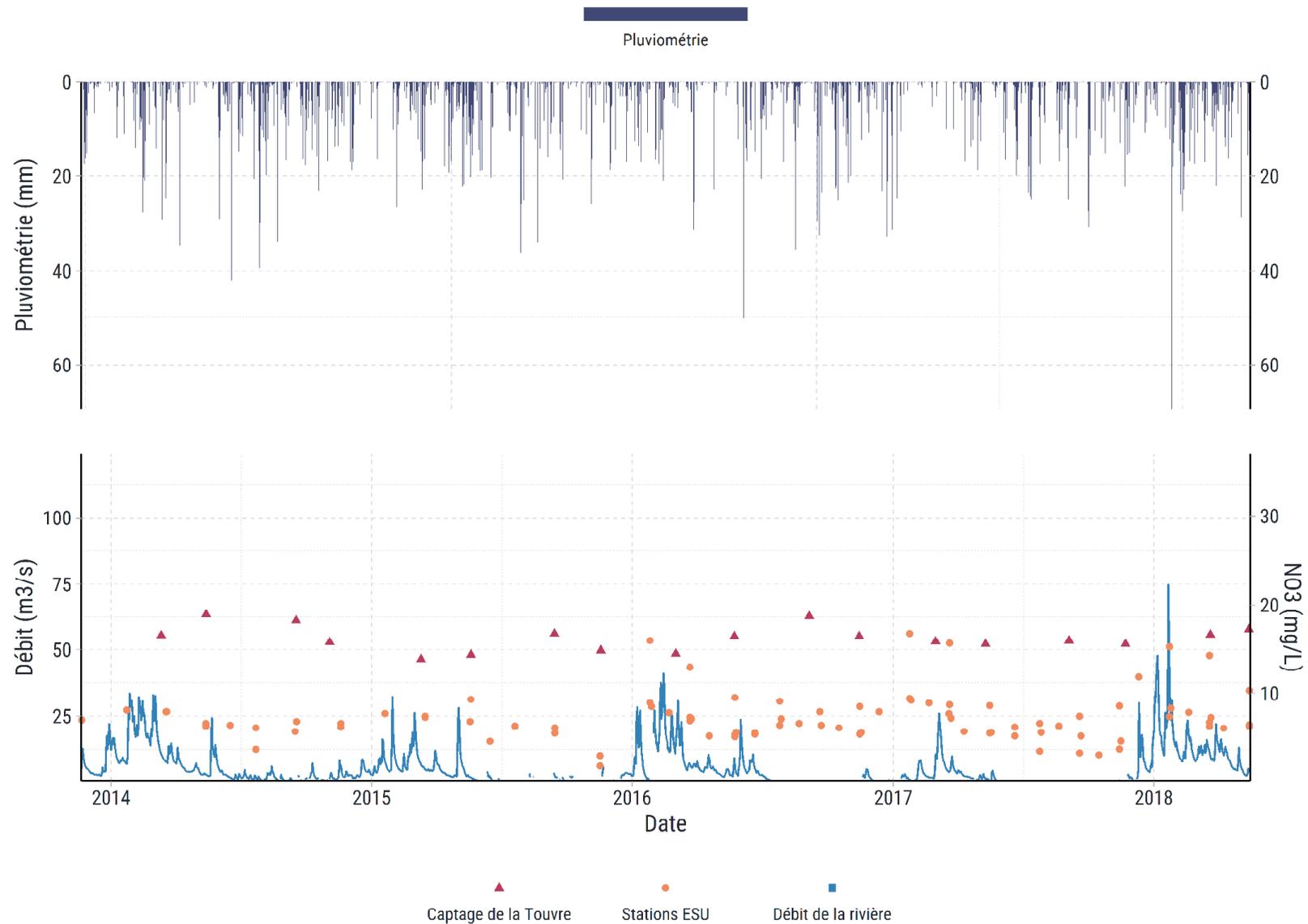
Stations eaux superficielles de la Tardoire3



Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à la Rochefoucauld [Lacou] et les concentrations en Atrazine déséthyl
Stations eaux superficielles de la Tardoire4



Lien entre la pluviométrie à Chalus SAPC, le débit à La Tardoire à la Rochefoucauld [Lacou] et les concentrations en NO3
Stations eaux superficielles de la Tardoire4



Secteur de la Touvre

Lien entre la pluviométrie à La Couronne, le débit à La Touvre [résurgence] à Gond-Pontouvre [Foulpougne] et les concentrations en Atrazine déséthyl
Stations eaux superficielles de la Touvre_R233



Lien entre la pluviométrie à La Couronne, le débit à La Touvre [résurgence] à Gond-Pontouvre [Foulpougne] et les concentrations en NO3
Stations eaux superficielles de la Touvre_R233

