

# MONITORING MULTIMATRICIEL DU BASSIN DE LA BIENNE (2021-2025)

Analyse des Éléments Traces Métalliques (ETM),  
Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique (HAP) et  
antiparasitaires dans le bassin de la Bienne

## Rapport simplifié

Maître d'ouvrage :



Prestataires :



Financeurs :



Au cours de la précédente étude (2018-2021), des Eléments Traces Métalliques (ETM), des Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique (HAP) et des antiparasitaires ont été détectés dans la Bienne, en concentrations potentiellement susceptibles d'affecter certains organismes aquatiques, en particulier les invertébrés constituant la base de la chaîne alimentaire dans les rivières.

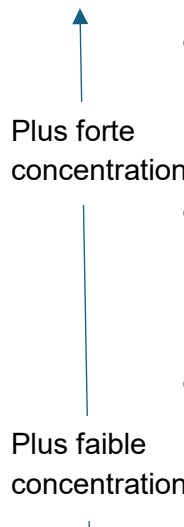
Dans l'objectif de compléter et préciser l'évolution des concentrations dans le temps et en davantage de points sur le bassin de la Bienne, le protocole proposé pour cette étude a été soumis puis accepté par les acteurs du bassin versant (agence de l'eau RMC, services de l'Etat, associations environnementales, représentants de la profession agricole...). Il s'agit de mieux connaître le comportement et les voies de transfert de ces substances pour identifier les actions les plus adaptées en vue de limiter leur impact potentiel sur les milieux aquatiques.

Il est important de rappeler que les substances étudiées (ETM, HAP, antiparasitaires) ne composent qu'une pression parmi de multiples autres pouvant affecter les organismes aquatiques et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Les macropolluants, essentiellement représentés par l'azote et le phosphore, les résidus médicamenteux humains (traitements hormonaux, antibiotiques, anticancéreux...), l'élévation de la température de l'eau, les périodes de sécheresse de plus en plus prolongées et fréquentes ou encore la morphologie dégradée des rivières sont aussi à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'eau des rivières.

Ainsi, les ETM, HAP et antiparasitaires ne sont certainement pas les seuls facteurs responsables de la dégradation de la qualité de l'eau de la Bienne et ses affluents. Cependant en 2012, des analyses conduites sur les chairs et foies de poissons (truites) prélevés à Jeurre ont révélé des concentrations anormalement élevées en cuivre.

Une analyse du risque écotoxicologique a été réalisée pour les différentes substances recherchées.

Les seuils de référence utilisés sont :

- 
- CL50 : **obtenue par tests en laboratoire**, suite à l'exposition d'organismes, il s'agit de la concentration provoquant 50 % de mortalité pendant la durée du protocole, par administration unique (pas d'autres polluants) ;
  - NOEC : **obtenue par tests en laboratoire**, suite à l'exposition d'organismes, il s'agit de la plus forte concentration testée de la substance (sans autres polluants) pour laquelle aucun effet sur les organismes choisis n'a été observé dans les conditions du bioessai ;
  - PNEC : **obtenue par calcul théorique** sur la base de la NOEC ou de la CL50. Pour une substance donnée, c'est la concentration maximale prédite, pour laquelle il n'est pas attendu d'effet indésirable pour l'environnement, et donc pour les organismes aquatiques.

La notion de **risque** est fréquemment utilisée dans ce rapport. Il est important de rappeler ici sa définition (source INERIS) : « **danger éventuel, plus ou moins prévisible, inhérent à une situation ou à une activité** ». Ainsi, le « risque » associe une notion d'incertitude plus ou moins importante au danger.

L'analyse du risque inclut trois composantes : l'évaluation du risque, sa gestion et la communication.

Les résultats sont organisés en réponse aux questions suivantes :

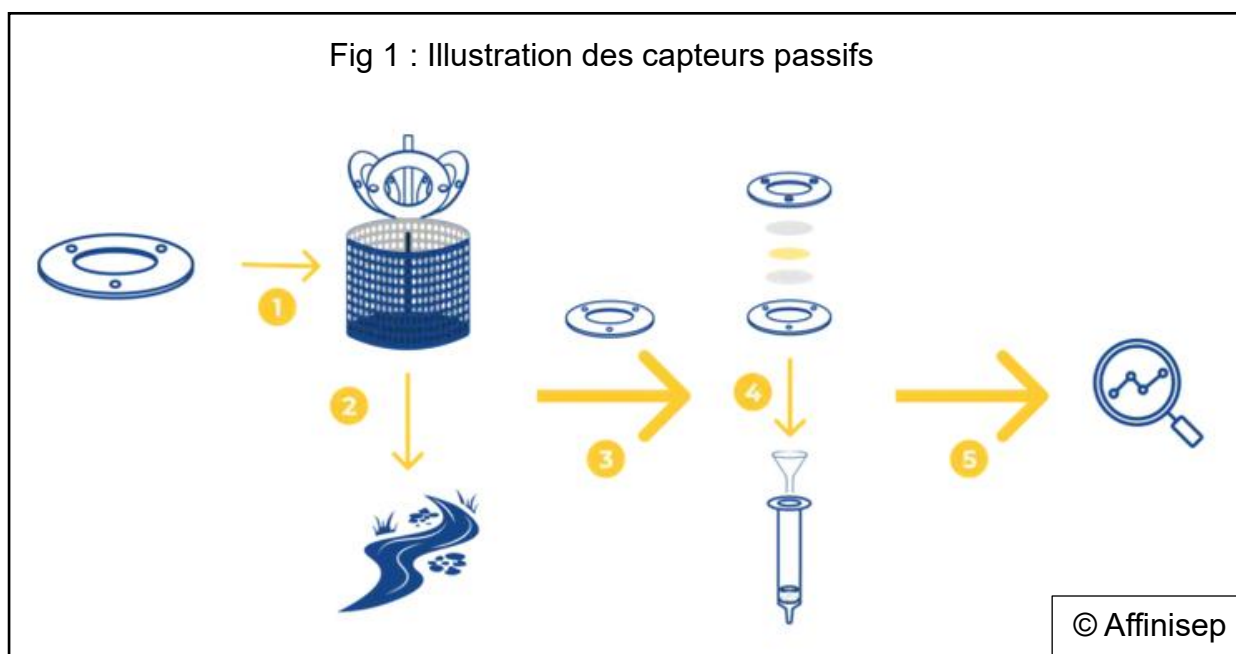
- I. Quels niveaux de contamination en ETM à Morez et à Jeurre ?
- II. Comment évoluent les concentrations en ETM tout au long du linéaire de la Bienne ?
- III. Dans quelle mesure les berges et sédiments contaminés par les ETM et les HAP contribuent à la pollution de l'eau de la Bienne ?
- IV. Comment évoluent dans le temps les concentrations en antiparasitaires en aval du bassin versant (à Jeurre) ?
- V. Comment évoluent les concentrations en antiparasitaires, depuis les sources des cours d'eau jusqu'à la Bienne à Jeurre ?
- VI. Les antiparasitaires proviennent-ils de quelques zones en particulier ? La présence et le niveau de concentration en antiparasitaires dans les rivières peut-elle être reliée au calendrier agricole ?

## I. Quels niveaux de contamination en ETM à Morez et à Jeurre ?

### a) Intérêt d'utiliser les capteurs passifs :

La concentration en ETM dans l'eau est faible, de l'ordre du microgramme par litre. Malgré tout, même à ces faibles concentrations, certains de ces ETM peuvent présenter un risque écotoxique pour les organismes aquatiques.

L'intérêt des capteurs passifs est d'accumuler les substances recherchées dans une membrane absorbante durant la période d'exposition dans l'eau. L'analyse de cette membrane permet non seulement d'obtenir la masse de chaque substance dans la membrane, mais aussi d'en estimer la concentration moyenne dans l'eau de la rivière durant la période d'exposition. Dans cet exercice, des incertitudes existent à différents niveaux : l'échantillonnage, la quantification des substances et le calcul des concentrations moyennes estimées.



### b) Méthode :

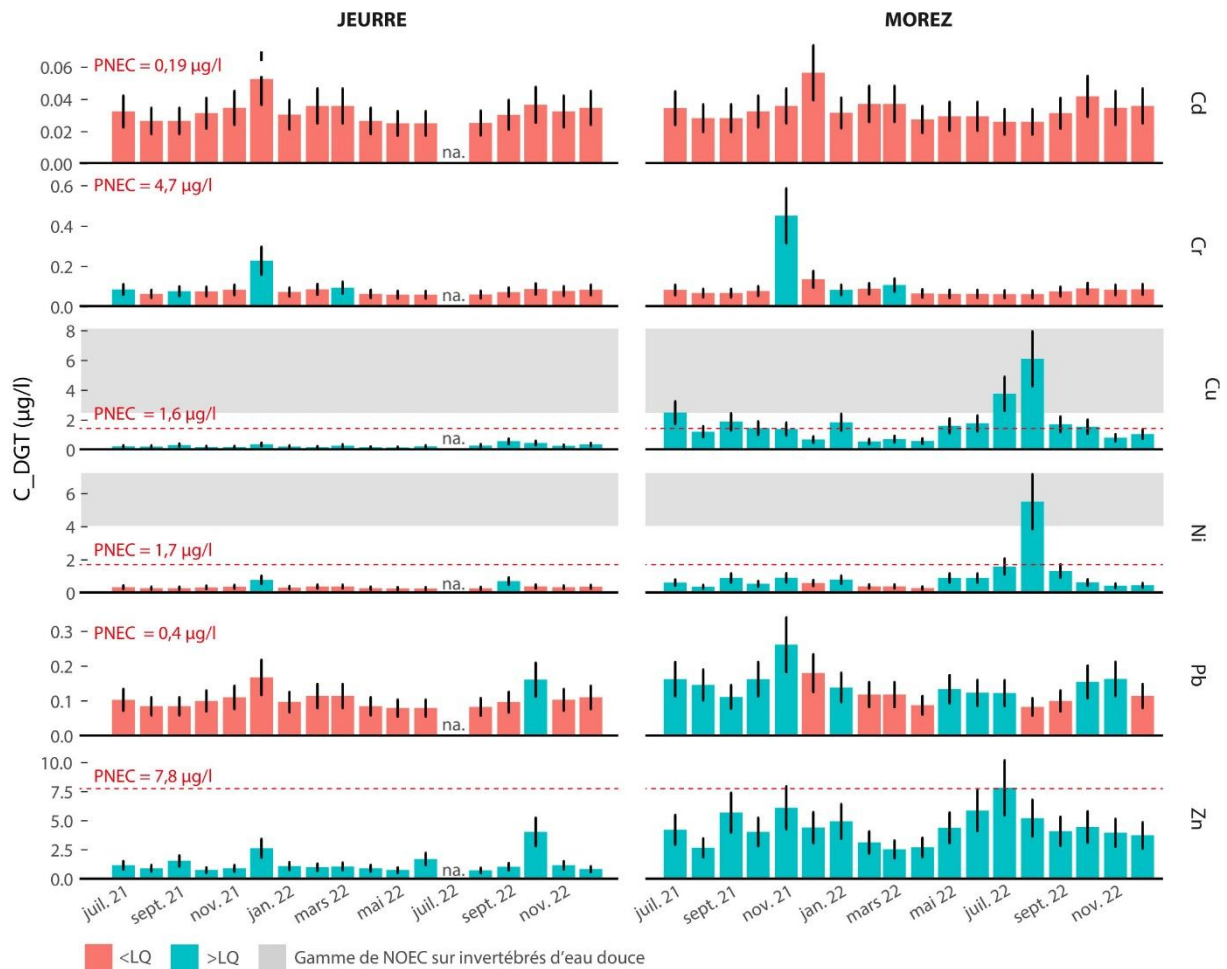
De juillet 2021 à décembre 2022, des capteurs passifs (de type DGT) ont été exposés tous les mois dans la Bienne en aval de Morez et à Jeurre pendant une durée d'environ 15 jours. Les analyses de la concentration en ETM dans la membrane du capteur passif ont été effectuées par un laboratoire.

### c) Résultats :

- Le cuivre, le zinc et, dans une moindre mesure, le nickel sont les ETM mesurés en plus forte concentration ;
- Pour ces métaux, les concentrations sont nettement plus élevées à Morez qu'à Jeurre ;

- De plus, les valeurs obtenues à Morez présentent une plus forte variabilité qu'à Jeurre.

Fig 2 : Evolution durant 18 mois des concentrations en ETM à l'aval de Morez et à Jeurre



LQ = limite de quantification = plus petite concentration de la substance (ici les ETM) pour laquelle l'analyse est capable de donner une valeur avec une bonne précision

- L'évaluation du risque écotoxique révèle que :
  - o La NOEC invertébrés n'est jamais dépassée à Jeurre pour aucun des métaux. Elle est atteinte voire dépassée à Morez pour le cuivre à 2 reprises (/18) (2 à 3 fois selon l'incertitude) et pour le nickel à 1 reprise (/18)
  - o La PNEC n'est jamais dépassée à Jeurre pour aucun des métaux. Elle est dépassée à Morez pour le cuivre à 11 reprises (/18) (3 à 12 fois selon l'incertitude), pour le nickel à 1 reprise (/18) (1 à 3 fois selon l'incertitude), et pour le zinc à 1 reprise (/18) (0 à 2 fois selon l'incertitude)

## II. Comment évoluent les concentrations en ETM tout au long du linéaire de la Bienne ?

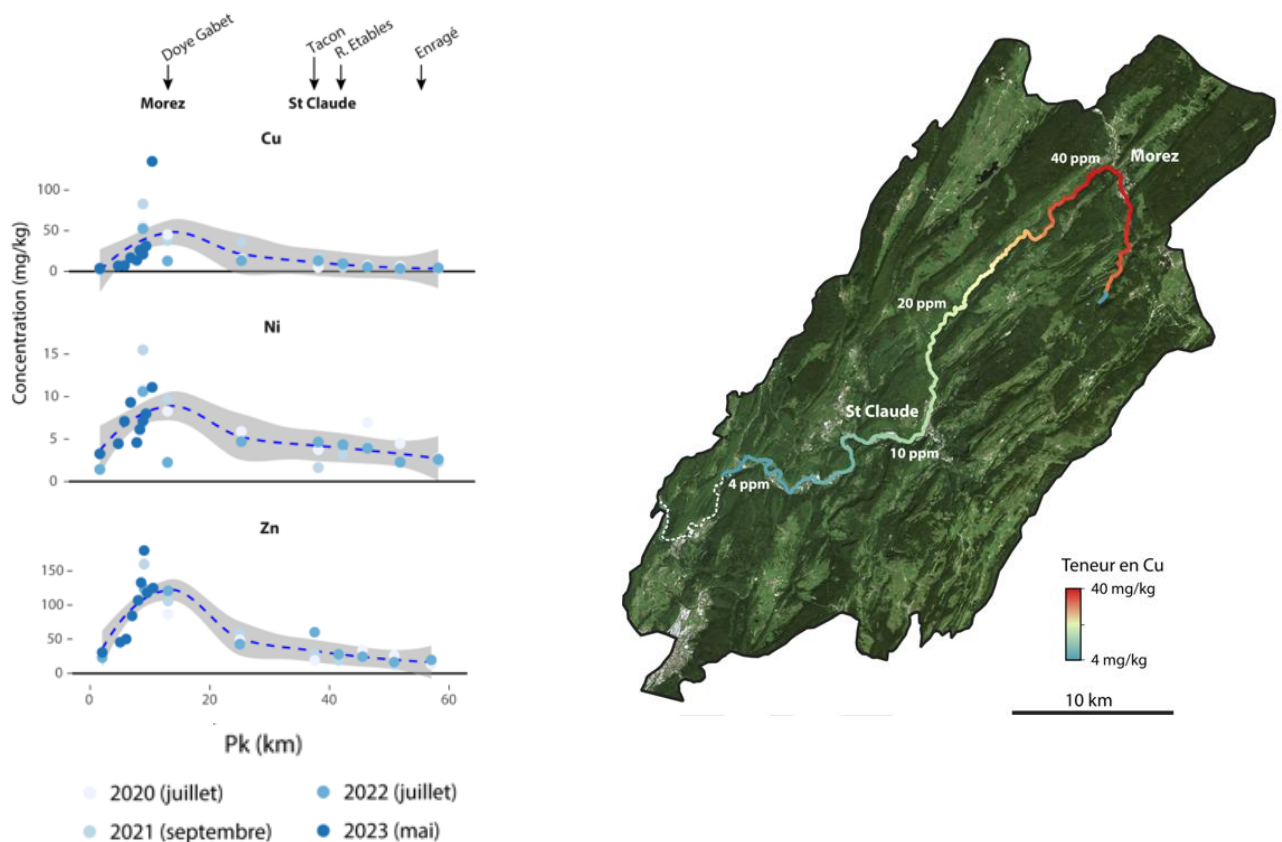
### a) Méthode :

Des analyses ont été effectuées sur le biofilm qui se développe naturellement à la surface des galets. Ce biofilm a la propriété d'accumuler les contaminants métalliques. Deux campagnes de prélèvements ont été réalisées (septembre 2021 et juillet 2022) sur 9 stations entre Morez et Jeurre. Le biofilm a été analysé par un laboratoire.

### b) Résultats :

- Forte variabilité spatiale des concentrations en ETM lors des deux campagnes ;
- Augmentation progressive de la source jusqu'à l'aval de Morez, puis diminution progressive vers l'aval.

Fig 3 : Evolution dans l'espace des concentrations en ETM dans la Bienne



### III. Dans quelle mesure les berges et sédiments contaminés par les ETM et les HAP contribuent à la pollution de l'eau de la Bienne ?

#### a) Méthode :

Le phénomène de relargage des ETM contenu dans les sédiments a été testé en exposant des sédiments prélevés dans la Bienne à hauteur de Morez, à de l'eau de la Bienne prélevée au niveau de sa source. L'exposition a été réalisée par simple contact puis après agitation simulant un épisode de crue.

La contribution des berges vis-à-vis de la contamination de l'eau de la Bienne par les ETM et HAP a été évaluée via l'analyse des matières en suspension (MES).

Les MES ont été collectées avec des pièges à MES installés sur 4 stations situées de Morez à Jeurre. Les MES prélevées ont été analysées par un laboratoire.

#### b) Résultats :

- La concentration en cuivre mesurée dans l'eau de la Bienne prélevée à la source augmente très significativement (1,1 µg/L à plusieurs dizaines de µg/L) lorsqu'elle est au contact de sédiments prélevés dans la Bienne à Morez. La concentration devient encore plus élevée en cas de brassage des sédiments et de l'eau (simulation d'une crue) (Fig 4)
- Les MES prélevées sur la partie amont de la Bienne sont fortement enrichies en cuivre, comparé aux sédiments prélevés hors de toute contamination (bruit de fond géochimique) (Fig 5) ;
- Les berges contaminées de la Bienne pourraient fortement contribuer à la pollution des MES de la Bienne puisque les facteurs d'enrichissement sont similaires entre les berges et les MES (Fig 5) ;
- L'enrichissement en cuivre est nettement plus faible, voire négligeable, sur la partie aval (Fig 5) ;
- Les teneurs en HAP dans les MES révèlent globalement une contamination modérée à forte (Fig 6).

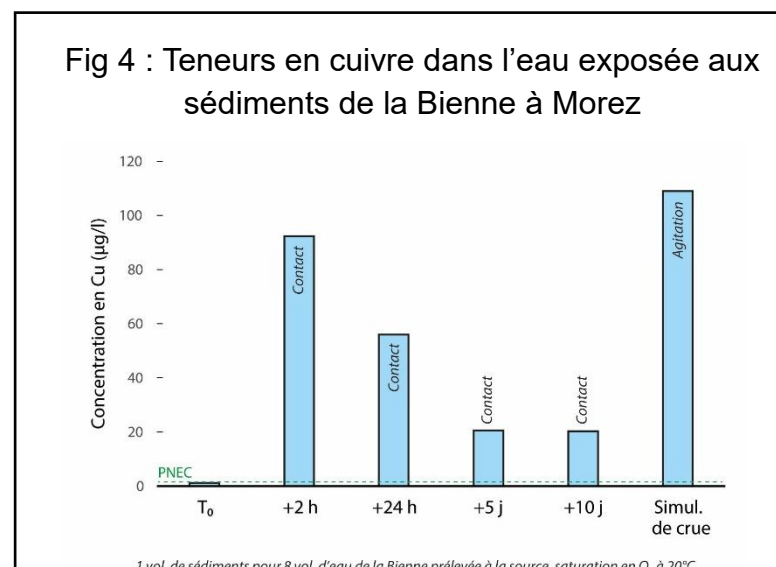


Fig 5 : Enrichissement en cuivre dans les MES de la Bienne

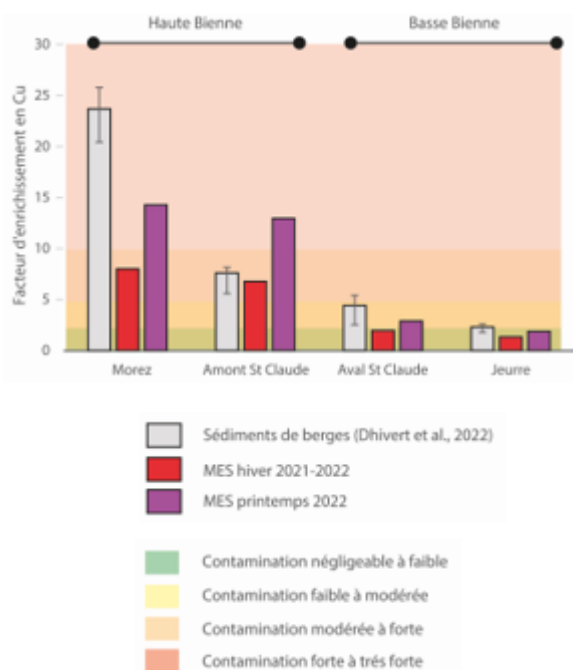
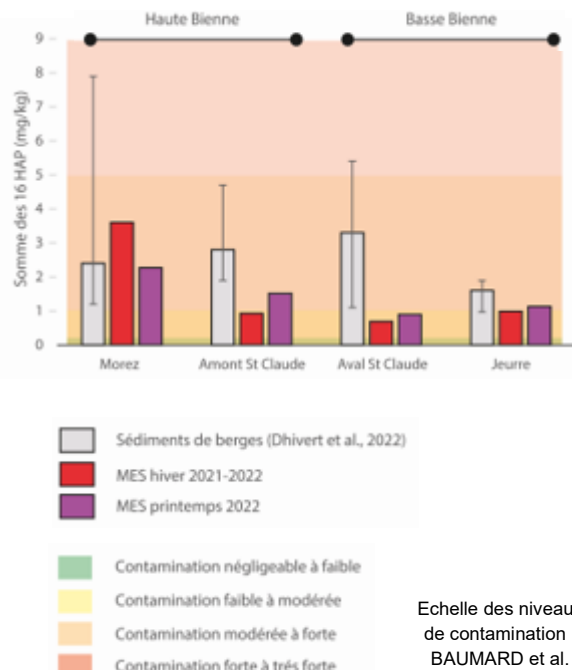


Fig 6 : Teneurs en HAP dans les MES de la Bienne



Echelle des niveaux de contamination : BAUMARD et al. 1998

#### IV. Comment évoluent dans le temps les concentrations des antiparasitaires recherchés en aval du bassin versant (à Jeurre) ?

##### a) Les antiparasitaires étudiés :

Sept substances, utilisées comme principe actif antiparasitaires, ont été étudiées : la doramectine, l'éprinomectine, l'ivermectine, la moxidectine, le phoxime, le lévamisole et l'amitraz. Ces substances antiparasitaires sont utilisées pour le soin des animaux d'élevage, dont les abeilles (amitraz), ainsi que les chiens, chats et chevaux, mais aussi parfois en santé humaine dans des proportions plus marginales. Il n'existe pas d'autres usages connus. Compte-tenu du type d'élevage sur le bassin de la Bienne, ils sont principalement utilisés à destination des bovins et dans une moindre mesure des équins et des ovins.

Fig 7 : Cadre général d'utilisation en France des différentes substances recherchées lors de l'étude – ne tient pas compte des volumes

Usage	Famille	Substance	Vaches laitières	Génisses	Chevaux	Ovins	Chiens	Chats	Abeilles	Humains	
Antiparasitaire	Formamidine	Amitraz									Utilisation connue
	Imidazothiazole	Levamisole									Utilisation possible
	Lactone macrocyclique	Doramectine									Utilisation rare
		Eprinomectine									
		Ivermectine									
		Moxidectine									
	Organophosphoré	Phoxime									Non utilisée

Source : iRCP - ANMV



b) Méthode :

De juillet 2021 à décembre 2022, des capteurs passifs (de type POCIS) ont été exposés tous les mois dans la Bienne à Jeurre pendant une durée d'environ 15 jours. Les analyses de la concentration d'antiparasitaires dans la membrane du capteur passif ont été effectuées par un laboratoire.

A noter qu'il n'existe pas de références liées à des études similaires pour ce type de substances et sur relief karstique. La comparaison avec un autre territoire n'est donc pas possible. Il s'agit d'une approche expérimentale qui contribue au développement de méthodes analytiques pour ce type de molécules présentes en très faible concentration. Il n'existe pas, à ce jour, d'études comparables, tant en ce qui concerne la méthodologie utilisée, que les substances recherchées et le contexte hydrogéologique.

c) Résultats :

Pour les 7 substances actives antiparasitaires recherchées durant les 18 expositions, les détections sont observées pour 61 à 100 % des prélèvements selon les substances. L'ivermectine et le lévamisole sont détectés dans 100 % des cas, c'est-à-dire lors de chaque exposition.

Fig 8 : Fréquence de détection des substances antiparasitaires

Familles de substances actives	Composés	Détection
Lactones macrocycliques	Doramectine	94%
	Eprinomectine	88%
	Ivermectine	100%
	Moxidectine	61%
Imidazothiazoles	Levamisole	100%
Organophosphorés	Phoxime	75%
Formamidine	Amitraze	83%

- Les concentrations évaluées dans l'eau sont variables en fonction des composés :

Une estimation de la concentration moyenne en antiparasitaires durant chaque exposition a été réalisée à partir des masses accumulées dans les membranes et de coefficients, ces derniers ayant été soit repris à partir la littérature scientifique, soit modélisés.

Les médianes des concentrations moyennes sont les plus fortes pour la doramectine et l'éprinomectine (respectivement 10,5 et 9,9 ng/L).

Les concentrations maximales les plus élevées concernent l'ivermectine et la doramectine (respectivement 29,5 et 27,2 ng/L).

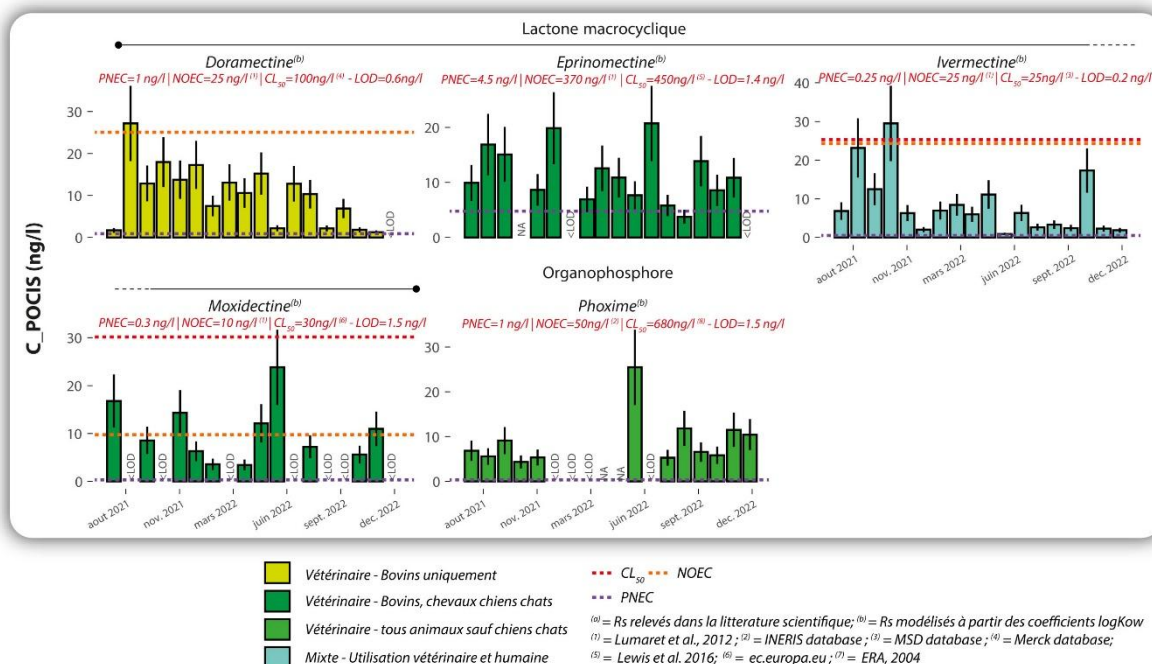
Fig 8 : Teneurs estimées dans l'eau des substances antiparasitaires

Familles de substances actives	Composés	Médiane (en ng/l)	Min (en ng/l)	Max (en ng/l)
Lactones macrocycliques	Doramectine	10,5	<0,6	27,2
	Eprinomectine	9,9	<1,4	20,7
	Ivermectine	6,3	0,9	29,5
	Moxidectine	4,6	<1,5	23,8
Imidazothiazoles	Levamisole	0,6	0,1	7,6
Organophosphorés	Phoxime	5,7	<1,5	25,5
Formamidine	Amitraze	5,3	<1,2	17,6

1 nanogramme par litre correspond à 1 milliardième de gramme par litre, ou encore 2,5 milligrammes (soit 0,0025 grammes) dans le volume d'eau d'une piscine olympique (50m x 25m x 2m = 2 500 m<sup>3</sup> d'eau)

- Evaluation du risque écotoxique :

Fig 9 : Evolution durant 18 mois des concentrations en substances antiparasitaires dans la Bienne à Jeurre



Les couleurs des histogrammes correspondent à des utilisations générales en France et non au contexte des élevages bovins sur la Bienne (utilisation de l'éprinomectine uniquement)

L'amepraze et le lévamisole ne présentent, aux concentrations estimées, pas de risque écotoxique pour les organismes aquatiques.

Pour les autres 5 antiparasitaires pouvant présenter un risque écotoxique, les concentrations estimées dépassent la NOEC (pointillé orange) à 7 reprises (/90) (3 à 10 fois selon la variabilité liée à l'incertitude) des mesures effectuées. Alors que la NOEC n'est jamais atteinte pour l'éprinomectine et le phoxime, elle est dépassée en fonction de l'incertitude analytique de 0 à 1 fois/18 pour la doramectine, de 0 à 2 fois/18 pour l'ivermectine et de 3 à 6 reprises/18 pour la moxidectine. Pour l'une des mesures de cette dernière substance, l'amplitude du dépassement est particulièrement élevée puisque la concentration évaluée est de 1,5 à 3 fois la NOEC, toujours selon l'incertitude.

Pour les 5 antiparasitaires, la PNEC (concentration prédite sans effet pour l'environnement, ligne pointillée violette) est dépassée 72 fois (/90) (68 à 73 fois selon la variabilité liée à l'incertitude). Si le nombre de dépassements est plus faible pour la moxidectine (11 fois/18) et le phoxime (12 fois/18), il est particulièrement élevé pour la doramectine (17 fois – 16 à 17 fois selon l'incertitude) et l'ivermectine (18 fois – 17 à 18 fois selon l'incertitude). Pour cette dernière substance, bien que n'atteignant que de 0 à 2 reprises la NOEC, l'amplitude du dépassement de la PNEC est très élevée (plus de 100 fois cette valeur pour les deux concentrations maximales évaluées).

- Variabilité d'un mois à l'autre :

La variabilité des concentrations de chacun des antiparasitaires est souvent importante d'un mois à l'autre. Exemple pour la moxidectine : la concentration moyenne estimée passe de 11 ng/L en avril 2022 pour atteindre 24 ng/L en mai 2022, puis la substance n'est pas quantifiée en juin 2022 donc présente à une concentration inférieure à 1,5 ng/L.

Cette variabilité des concentrations moyennes mensuelles évaluées, établies sur 15 jours d'exposition des capteurs passifs, peut laisser suggérer également des variabilités durant la période d'exposition, donc des concentrations instantanées plus basses et plus élevées que la concentration moyenne estimée.

La variabilité des concentrations en antiparasitaires dans l'eau est la résultante d'une variabilité de la quantité arrivant dans le milieu récepteur ultime : la rivière. Des hypothèses sur l'origine des antiparasitaires apportés à la rivière peuvent être formulées :

- Ruissellement des substances, avec l'eau pluviale, à partir des animaux d'élevage et de compagnie ayant été traités et de leurs effluents ;

- Relargage des substances stockées dans les sols, le karst ou les sédiments des cours d'eau, ce qui pourrait expliquer la présence de molécules anciennement utilisées ;
- Au même titre que les autres contaminants, le transfert est possible en lien avec les circulations atmosphériques globales.

Il n'est pas prévu d'étudier les quantités émises par l'un ou l'autre de ces trois types de transfert compte tenu de la complexité du protocole à mettre en œuvre.

- Absence de concordance chronologique entre les antiparasitaires :

Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence d'association temporelle entre les antiparasitaires. Les mois correspondant aux concentrations les plus élevées pour les uns ne correspondent pas concentrations les plus élevées des autres. Les substances ne sont donc pas présentes dans la Bienne aux mêmes périodes.

#### V. Comment évoluent les concentrations en antiparasitaires, depuis les sources des cours d'eau jusqu'à la Bienne à Jeurre ?

Dans ce contexte de variabilité dans le temps des concentrations dans la Bienne à Jeurre, la question se pose de l'évolution des concentrations des sources des cours d'eau jusqu'à la Bienne à Jeurre. L'objectif de cette étude était de mieux connaître les mécanismes de transfert, d'en tirer les enseignements et de proposer des actions si nécessaire.

En lien avec la profession agricole, un bassin versant pilote a été défini. Il s'agit du bassin du Nanchez, à dominante prairiale, présentant une infiltration dans le karst avec une résurgence bien connue, celle de l'Enragé, avant de confluer avec la Bienne entre Chassal et Molinges.

##### a) Méthode :

La méthode consiste ainsi à caractériser les concentrations en antiparasitaires dans l'eau, en plusieurs points du cours du Nanchez, au niveau de la zone d'infiltration, à la résurgence à l'Enragé et dans la Bienne à Jeurre. Aussi pour compléter la donnée, des mesures ont été effectuées au niveau de la source de la Bienne et à l'aval de Morez.

Compte-tenu du faible écoulement de l'eau dans le Nanchez notamment au niveau de sa source, les capteurs passifs n'étaient pas adaptés sur l'ensemble du linéaire. Les analyses ont donc été effectuées directement sur des prélèvements d'eau, même s'il n'est pas possible de mesurer des concentrations aussi faibles qu'avec les capteurs passifs.

Quatre campagnes de prélèvements d'eau ont été effectuées (avril 2022, mars 2023, avril 2023 et mai 2023), sur 3 stations de la Bienne, 5 stations du Nanchez et 1 station à la résurgence de l'Enragé. Les prélèvements ont été effectués lors d'épisodes de crues.

En parallèle, une enquête a été confiée à la chambre d'Agriculture du Jura pour identifier les pratiques de soin des animaux sur le bassin pilote du Nanchez, avec l'objectif d'étudier la possibilité d'un lien entre l'utilisation d'antiparasitaires et les résultats observés dans les cours d'eau.

#### b) Résultats :

Compte-tenu des difficultés à mesurer de faibles concentrations en antiparasitaires dans l'eau, les substances ont souvent pu être détectées, mais plus rarement quantifiées. Les résultats permettent de confirmer la présence des antiparasitaires. La détermination de la concentration (en ng/L) n'a été possible que lorsque celle-ci était supérieure à la limite de quantification de l'analyse.

Les antiparasitaires sont présents sur l'ensemble du linéaire étudié, dès les zones de sources du Nanchez et de la Bienne.

Certaines substances ont été ponctuellement mesurées en concentrations particulièrement impactantes pour les organismes aquatiques :

- Au niveau de la source de la Bienne, la moxidectine a été mesurée à 271 ng/L le 10 mai 2023. Pour rappel, CL50 (daphnie) = 30 ng/L, NOEC (daphnie) = 10 ng/L et PNEC = 0,3 ng/L ;
- Dans le Nanchez, l'ivermectine a été mesurée à 98 ng/L le 8 avril 2022. Pour rappel, CL50 (daphnie) = 25 ng/L, NOEC (daphnie) = 25 ng/L et PNEC = 0,25 ng/L

Pour autant, sur le bassin du Nanchez, l'ivermectine n'a pas été utilisée par les éleveurs de bovins depuis à minima 3 années<sup>1</sup>, et très probablement depuis une vingtaine d'années (médicament non utilisable sur les animaux producteurs de lait ou futurs producteurs de lait).

Il apparaît que, ponctuellement, des concentrations plus fortes en antiparasitaires sont mesurées à proximité des prairies, à des concentrations supérieures à la CL50. Le risque écotoxique pour les organismes aquatiques, notamment les invertébrés, est alors ponctuellement très fort.

Sur la station de Jeurre, une concentration en ivermectine a été mesurée à 48 ng/L lors du prélèvement du 11 mars 2023. Cette valeur est plus élevée que les valeurs

---

<sup>1</sup> Résultat de l'enquête réalisée auprès des éleveurs bovins par la Chambre d'Agriculture du Jura et du Groupement technique vétérinaire de Bourgogne-Franche-Comté

moyennes estimées à partir des capteurs passifs sur 15 jours, illustrant des concentrations ponctuellement plus élevées que la concentration moyenne.

Dans le Nanchez, tous les antiparasitaires ont été détectés, parfois quantifiés, alors que l'enquête sur les pratiques des éleveurs de ce bassin n'a révélé l'utilisation que d'une seule de ces substances, l'éprinomectine, au cours des deux années du suivi ainsi qu'au cours des quelques années qui ont précédé (éléments déclaratifs et documentaires, prescriptions vétérinaires et factures, plan d'épandage des effluents).

Ce constat met en évidence l'importante persistance des substances antiparasitaires dans le milieu naturel, ainsi que la complexité de leur transfert, tout comme les autres contaminants, notamment compte-tenu des caractéristiques karstiques du sous-sol.

VI. Les antiparasitaires proviennent-ils de quelques zones en particulier ? La concentration en antiparasitaires dans les rivières peut-elle être reliée au calendrier agricole ?

La question se pose de l'émission des antiparasitaires relativement localisée sur les secteurs échantillonnés, ou d'une émission plus généralisée à l'échelle du bassin versant.

Il s'agit également d'étudier l'évolution des teneurs en antiparasitaires dans la rivière selon les périodes d'activités agricoles.

Les hypothèses de travail suivantes sont envisagées :

- une évolution des concentrations en antiparasitaire dans les rivières aux périodes d'utilisation pour le soin des animaux, ce qui pourrait laisser supposer que les substances parviennent rapidement aux rivières après leur utilisation, potentiellement par ruissellement avec l'eau pluviale ;
- un relargage des antiparasitaires stockés dans les sols, le karst ou les sédiments des cours d'eau ;
- une combinaison des deux phénomènes, avec la difficulté de déterminer leur part relative.

a) Méthode :

Des capteurs passifs ont été installés en 5 stations : pertes du Nanchez, résurgence de l'Enragé, Flumen, ru des Gorges et la Bienne à Jeurre.

Trois campagnes d'exposition de 15 jours ont été effectuées :

- Du 25 janvier au 8 février 2024, lorsque le bétail est à l'étable (déjections stockées au niveau du siège d'exploitation) et longtemps après les derniers épandages de l'automne ;
- Du 8 au 26 avril 2024, après les épandages de lisiers et fumiers ;

- Du 25 mai au 6 juin 2024, après que le bétail a été installé au pâturage (déjections animales sur les prairies, antiparasitaires appliqués sur la peau du bétail potentiellement lessivés en partie par les intempéries).

#### Problèmes rencontrés :

Le laboratoire d'analyse n'a pas pu effectuer l'analyse de l'éprinomectine ni du composé permettant de retranscrire les valeurs de concentration moyenne dans l'eau. Les valeurs ont ainsi été rendues uniquement en masse de substance par masse de membrane dans le capteur passif et l'estimation de la concentration moyenne durant la période d'exposition n'est pas possible. En revanche il est possible de comparer les unes aux autres les teneurs de substances pour chaque station et chaque campagne, avec un peu plus d'incertitudes, comparativement aux autres campagnes à Jeurre.

#### Résultats :

Les antiparasitaires (sauf éprinomectine pour cause des problèmes analytiques) sont détectés sur toutes les stations, et très fréquemment quantifiés. Les teneurs des substances dans les membranes sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur la station de Jeurre durant le suivi sur 18 mois, avec toujours autant de variabilité dans le temps.

Une importante teneur de moxidectine est identifiée dans la membrane POCIS au niveau de la perte du Nanchez (100 fois plus que sur les autres stations) durant la période de janvier-février 2024. Ce résultat interroge pour deux raisons :

- selon les résultats de l'enquête, la moxidectine n'est pas une substance utilisée par les éleveurs présents sur le bassin du Nanchez ;
- lors de cette période hivernale, il n'y a ni épandage d'effluents d'élevage ni bétail en prairie. La présence de moxidectine dans le milieu n'est donc pas attendue à cette période.

La concentration est atténuée au niveau de la résurgence de l'Enragé probablement en lien avec une dilution par l'apport d'eau de l'ensemble de ce système karstique.

Par ailleurs, les résultats obtenus sur le ruisseau des Gorges interpelle en raison de la présence inattendue d'antiparasitaires dans ce ruisseau dont le bassin versant topographique est exclusivement forestier. Une hypothèse serait la présence de circulations karstiques provenant du plateau de Viry-Rogna. Pour confirmer cette hypothèse, des traçages hydrogéologiques mériteraient d'être réalisés.

Sur la base des travaux et des estimations réalisés, il n'est pas possible de relier et d'interpréter l'évolution des concentrations en antiparasitaires dans les cours d'eau avec les substances antiparasitaires utilisées localement par les éleveurs, ni avec les périodes de leurs utilisations. Le transfert des substances au sein du milieu naturel (sol, karst, sédiments, eau, air, précipitations) apparaît extrêmement complexe et n'a pu être précisé via les protocoles définis pour cette étude.

#### Conclusions :

- Les éléments traces métalliques (ordre du  $\mu\text{g/L}$ ), HAP et antiparasitaires (ordre du  $\text{ng/L}$ ) étant présents en faible concentration dans l'eau, leur quantification s'accompagne d'incertitudes, ce qui nécessite des précautions lors de l'interprétation des résultats ;
- Les substances étudiées ont un comportement contrasté : les ETM et les HAP sont quantitativement beaucoup plus présents sur la partie amont de la Bienne que sur la partie aval, tandis que les antiparasitaires sont présents de manière plus généralisée sur tout le linéaire de la Bienne et ses affluents ;
- Les concentrations en ETM, HAP et antiparasitaires pourraient localement conduire à une perturbation des peuplements d'organismes aquatiques ;
- Les substrats (sédiments, argiles, sols...) contaminés par les ETM, les HAP et les antiparasitaires sur une longue période participent notablement à la dégradation de la qualité de l'eau de la Bienne ;
- L'infiltration dans le sol puis la circulation dans le karst ne permettent pas d'éliminer les substances : présentes dès les sources, elles restent présentes en aval des affluents puis dans la Bienne à des concentrations du même ordre de grandeur ;
- Les enquêtes réalisées auprès des éleveurs de la combe du Nanchez ont permis d'identifier l'antiparasitaire utilisé durant les 2-3 dernières années. Or la plupart des antiparasitaires analysés dans le Nanchez n'ont pas été utilisés récemment, voire de longue date pour certains, par les éleveurs de bovins. Certaines substances retrouvées proviennent probablement tout ou partie d'autres activités que l'élevage bovin.
- L'étude conduite n'a pas permis d'établir un lien entre la présence d'antiparasitaires vétérinaires dans les cours d'eau et les utilisations de



médicaments antiparasitaires par les éleveurs. Ce qui révèle la complexité des transferts entre les zones sources et les rivières.

L'étude ne se focalise que sur quelques substances chimiques, mais rappelons qu'elles ne sont certainement pas seules responsables des perturbations observées sur les organismes aquatiques puisque plus de 100 000 substances sont potentiellement présentes dans notre environnement.

Les résultats révèlent en particulier l'effet d'activités historiques, dont les polluants sont toujours présents dans l'eau, les sédiments des rivières et les sols. La Bienne et son écosystème étant imprégnés durablement de tout un panel de substances, il convient de limiter autant que possible, selon les meilleures techniques disponibles, tout rejet de substance chimiques.