



Etablissement public de gestion et
d'aménagement de la baie de
Douarnenez

SUIVI DE LA QUALITE
BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU
SUR LE BASSIN VERSANT
DU RIS – ANNEE 2020

Etude bibliographique

Suivi de la qualité de l'eau 2020

Méthodologie et interprétation

Contact :
qualite.eau@epab.fr
02.29.40.41.27

Table des matières

1.	Contexte et problématique du RIS.....	5
2.	Etat des connaissances	6
2.1.	Règlementation.....	6
2.2.	Bibliographie sur les indicateurs bactériens.....	6
2.2.1.	Ecologie des E.coli et des entérocoques intestinaux.....	6
2.2.2.	Survie et transfert des bactéries dans l'environnement	11
3.	PROTOCOLE DE SUVI ET METHODOLOGIE D'Echantillonnage.....	22
3.1.	Protocole de suivi.....	22
3.2.	Méthodologie d'échantillonnage	23
4.	Résultats	24
4.1.	1ère campagne : Suivi sur les marqueurs génétiques	24
4.1.1.	CONDITIONS HYDROLOGIQUES :.....	24
4.1.2.	RESULTATS ANALYSES BACTERIOLOGIQUES	25
4.1.3.	RESULTATS DES MARQUEURS GENETIQUES.....	27
4.2.	2 ^{ème} campagne : Analyse des bactéries dans l'eau (23&25/09).....	30
4.2.1.	CONDITIONS HYDROLOGIQUES.....	32
4.2.2.	RESULTATS ANALYSES BACTERIOLOGIQUES.....	34
4.2.3.	BILAN DE LA 2e CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS	40
4.3.	3 ^{ème} campagne : Analyse des bactéries dans l'eau (02/10).....	41
4.3.1.	CONDITIONS HYDROLOGIQUES.....	42
4.3.2.	Résultats	43
4.4.	Campagne d'analyses bactériologiques sur sédiment.....	44
	Conclusion	

INTRODUCTION

Les épisodes de pollution microbiologique auxquels est régulièrement exposée la zone de baignade du Ris sont une préoccupation majeure des acteurs publics concernés.

En 2019, la décision de fermer à la baignade la plage du Ris a été prise par le Préfet du Finistère, en raison de la qualité sanitaire des eaux jugée insuffisante par l'Agence régionale de santé (ARS). La ville de Douarnenez, qui est responsable de la qualité des eaux de baignade au niveau de la plage du Ris, a mis en place une gestion active de la zone de baignade. Ce dispositif permet de mettre en place des fermetures préventives de la zone de baignade en cas de suspicion de contamination bactériologique.

L'établissement public de gestion et d'aménagement de la baie de Douarnenez (EPAB) est la structure porteuse du SAGE de la baie de Douarnenez. Les objectifs fixés par le SAGE pour la baignade sont :

- **le classement excellent de l'ensemble des plages**
- **arriver à zéro jour d'interdiction de baignade.**

Ces objectifs se déclinent notamment dans la disposition D1-3 « **suivre la qualité bactériologique des eaux** » :

La structure porteuse du SAGE réalise un suivi complémentaire de la qualité bactériologique des eaux en amont des sites de baignade, des zones conchylicoles ou de pêche à pied dont la qualité ne répond pas aux objectifs du SAGE. Les résultats de ce suivi sont utilisés pour identifier les points noirs responsables de la dégradation des sites à l'aval et sont transmis aux collectivités concernées pour les inciter à mettre en œuvre les actions curatives nécessaires.

Pour cela, l'EPAB travaille à l'échelle du bassin versant.

Les objectifs de la présente étude sont les suivants :

- Réaliser un état des lieux de la connaissance scientifique sur l'écologie des indicateurs bactériens et les mécanismes de transfert vers le milieu aquatique
- Concevoir et opérer un suivi qualitatif 2020 de ces indicateurs bactériens sur le bassin versant du Ris, en se focalisant sur l'identification des zones sources et le transfert de bactéries
- Proposer des actions à mettre en place sur le bassin du Ris, en fonction des résultats obtenus sur la saison 2020

1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE DU RIS

Le bassin versant du Ris collecte et draine les eaux vers la plage du Ris, où est situé son exutoire. La zone de baignade fait l'objet de suivis dans le cadre du contrôle sanitaire de l'ARS : la qualité de l'eau de baignade a été classée insuffisante de 2014 à 2018 – cinq années consécutives- ce qui a entraîné la fermeture de la zone de baignade en 2019.

Pour la saison 2020, et suite à l'actualisation du profil de baignade par la ville de Douarnenez, le Préfet du Finistère a permis la réouverture de la zone de baignade. Les conditions associées sont :

- l'engagement d'une gestion active de la zone de baignade par la ville de Douarnenez
- l'application d'un arrêté préfectoral n° Arrêté 2020055-0001 du 24/02/2020, définissant le programme de mesures obligatoires à mettre en œuvre pour diminuer la concentration bactérienne dans les eaux se déversant sur la plage, dès 2020.

La gestion active de la zone de baignade signifie que la ville de Douarnenez réalise des contrôles de la qualité de l'eau et de la pluviométrie pour anticiper d'éventuelles pollutions bactériennes sur le site de baignade. L'étude menée en 2019 par la ville a permis d'élaborer deux niveaux d'alerte :

- Une pluie > 6.4mm/24h
- Une conductivité < 50.9 mS/cm

Si l'un de ces deux niveaux d'alerte est dépassé, la commune ferme administrativement la zone de baignade et procède à des mesures de taux d'Escherichia coli et d'entérocoques intestinaux au point de mesure fixé par l'ARS. Lorsque les taux mesurés sont conformes aux exigences sanitaires, la zone de baignade est réouverte au public.

La ville de Douarnenez réalise par ailleurs une série d'analyses bactériologiques pour affiner les seuils d'alerte pour cette gestion active.

Le détail du programme de mesures obligatoires à mettre en œuvre dans l'arrêté préfectoral est le suivant :

- Abrogation des dérogations à l'interdiction d'épandage dans la bande des 500 m
- Mise aux normes des dispositifs d'assainissement individuels défectueux et contrôle exhaustif des installations
- Mise en place d'un système de contrôle pour parer au débordement des postes de relèvement
- Contrôle de l'ensemble des raccordements des habitations et des installations sur le réseau public
- Mise en place d'un programme de surveillance sur la station d'épuration du Juch (prélèvement mensuel) – mis en place en 2020.
- Implantation ou maintien d'une bande enherbée de 20m, ou 10 m si talus
- Modalités pour l'épandage du lisier en fonction du type de lisier et du type de sol
- Réalisation d'un diagnostic des risques de déversement des effluents agricoles, comprenant la vérification de l'étanchéité des ouvrages de stockage
- Gouvernance du plan d'action par le Maire de Douarnenez

Le profil de baignade de la plage du Ris actualisé en 2020 préconise la réalisation d'un suivi qualitatif sur le bassin du Ris pour permettre d'étoffer et de conforter les connaissances existantes. Le choix des analyses par génotypage est aussi recommandé. Le document fait état d'un certain nombre de propositions concernant les pratiques agricoles, le but de l'étude étant de pouvoir affiner l'impact qu'auront ces propositions sur la qualité de l'eau par l'intermédiaire du suivi.

2. ETAT DES CONNAISSANCES

2.1. REGLEMENTATION

La qualité des eaux de baignade pour les eaux côtières est définie par annexe I de la nouvelle directive 2006/7/CE. Cette directive a été transposée en droit français aux articles D.1332-14 à D.1332-38-1 du code de la santé publique.

Le suivi de la qualité de l'eau de baignade est supervisé par l'ARS et a lieu du 1^{er} juin au 15 septembre chaque année.

Paramètre	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante	Méthodes de référence pour l'analyse
1 Entérocoques intestinaux (UFC/100ml)	100 *	200 *	185 **	ISO 7899-1 ou ISO 7899-2
2 <i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)	250 *	500 *	500 **	ISO 9308-3 ou ISO 9308-1

* Evaluation au 95^e percentile.

** Evaluation au 90^e percentile.

Entérocoques intestinaux					
E s c h e r i c h i a c o l i	Percentile 95 < 100		Percentile 95 > 200 et Percentile 90 < 500		
	Percentile 95 < 250	Excellente	Bonne	Suffisante	Insuffisante
	250 < Percentile 95 < 500	Bonne	Bonne	Suffisante	Insuffisante
	Percentile 95 > 500 et percentile 90 < 500	Suffisante	Suffisante	Suffisante	Insuffisante
	Percentile 90 > 500	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante

Les mesures portent sur la quantification d'*Escherichia coli* et d'entérocoques. Ces deux taxons¹ sont représentatifs d'une pollution d'origine fécale. Leur présence au-delà d'une certaine concentration doit alerter, car elle présente un risque de santé publique.

2.2. BIBLIOGRAPHIE SUR LES INDICATEURS BACTERIENS

2.2.1. Ecologie des *E.coli* et des entérocoques intestinaux

Escherichia coli et entérocoques intestinaux sont deux types distincts de bactéries qui sont présents dans les intestins des animaux à sang chaud. Ce sont des indicateurs, des

¹ Un taxon est une entité faunistique ou floristique. Il peut s'agir par exemple d'une espèce, d'un règne ou d'une famille.

témoins d'une contamination fécale de l'eau. Nombre d'autres pathogènes peuvent également accompagner ces espèces par les mêmes voies de transfert et posent un problème de santé publique lorsqu'ils sont présents dans la zone de baignade.

- **ENTEROCOQUES INTESTINAUX**

Pour l'usage récréatif des eaux littorales, la norme préconise l'analyse des **entérocoques intestinaux** selon la norme ISO 7899-1. Parmi les espèces d'entérocoques, cette norme indique de rechercher quatre espèces d'entérocoques :

- *Enterococcus faecalis*,
- *E. faecium*,
- *E. durans*
- *E. hirae*.

Tous sauf *E.hirae* sont des pathogènes pour l'homme.

Les entérocoques appartiennent au genre *Enterococcus*, sous le règne bactérien, un groupe qui comprend plus de 30 espèces. Plusieurs espèces, telles qu'*Enterococcus faecalis* et *Enterococcus faecium*, font partie du microbiote intestinal et sont excrétées dans les selles humaines et animales (Santé Canada, Nov 2018). Ces deux espèces sont celles qui provoquent le plus fréquemment des infections chez l'homme (INRS²). On a démontré l'existence d'une corrélation étroite entre la concentration d'entérocoques dans l'eau de mer et le risque de maladies gastro-intestinales chez les baigneurs (Cabelli, 1983; Kay et coll., 1994).

- **ESCHERICHIA COLI**

Le genre *Escherichia* fait partie du groupe des coliformes, lequel appartient à la famille des entérobactéries. *Escherichia* comprend plusieurs espèces dont une seule est utilisée à titre d'indicateur de la qualité des eaux de baignade : *Escherichia coli* (aussi appelée *E.coli*).

C'est l'indicateur de contamination fécale le plus communément utilisé dans le monde. Il est présent en nombre dans les matières fécales (il représente en effet 99% des coliformes) et est facilement mesurable dans l'eau.

Certaines souches d'*E. coli* peuvent être pathogènes, entraînant alors des gastro-entérites, infections urinaires, méningites ou sepsis. De ce fait, certaines études sont réalisées uniquement sur des souches spécifiques d'*E.coli*, mais selon leur pertinence pour cette étude leurs résultats pourront être présentés. Les souches les plus utilisées pour la recherche sont :

- *E.coli* O157:H7 : pathogène qui a pour principal habitat l'intérieur des intestins des bovins. Elle est potentiellement mortelle.
- *E.coli* K12 souche type de l'espèce, c'est celle qui est généralement utilisée en laboratoire.

E.coli est la bactérie la plus répandue chez les animaux à sang chaud (domestiques et sauvages), mais elle est aussi présente chez de nombreux animaux à sang froid (Gordon, 2013, Tenailon et coll., 2010; ; Frick et coll., 2018).

² INRS : base de données BAOBAB

- **ORDRE DE GRANDEUR**

Pour donner un ordre de grandeur, la concentration des entérocoques dans les selles humaines et animales se situe généralement autour de 10^3 à 10^7 cellules par gramme (Ashbolt et coll., 2001; Leclerc et coll., 1996; Ervin et coll., 2013). Cependant, la quantité varie selon les espèces animales : certaines études ont montré que des quantités plus importantes d'entérocoques ont été détectées dans les selles des animaux de ferme et des animaux domestiques que dans les selles humaines (Ervin et coll., 2013; Masters et coll., 2015). Habituellement, le nombre d'entérocoques dans les selles humaines et animales est plus petit que le nombre d'E. coli par un à plusieurs ordres de grandeur (sur une échelle logarithmique de base 10) (Donnison, 1992; Cabral, 2010; Ervin et coll., 2013, Boehm et Sassoubre, 2014). Pour les E.coli, la concentration dans les selles humaines est de l'ordre de 10^7 à 10^9 cellules/gramme (Edberg et coll., 2000; Leclerc et coll., 2001; Tenaillon et coll., 2010; Ervin et coll., 2013). Leur nombre dans les matières fécales d'animaux domestiqués, bien que variable, se situe généralement entre 10^4 et 10^9 cellules par gramme (Lefebvre et coll., 2006; Duriez et Topp, 2007; Diarra et coll., 2007; Tenaillon et coll., 2010; Ervin et coll., 2013). Les études portant sur les charges d'E.coli dans les élevages agricoles a permis de quantifier les taux d'E.coli dans les déjections bovines. Les effectifs d'E.coli dans les matières fécales sont de l'ordre de 10^7 E.coli/g de matière sèche de fèces pour les bovins, soit 10^9 à 10^{10} (10 milliards) par jour par bovin adulte (Dorioz et al, 2011). Ce chiffre est variable en fonction du type de bovin, de son âge et de la saison (Martinez et al., 2013).

Enfin selon l'espèce, la concentration en E.coli peut varier (

Tableau 1) : exprimé en équivalent habitant, les quantités annuelles produites par an peuvent varier jusqu'à un facteur 100 entre espèces.

Tableau 1 : Flux d'Ecoli par espèce et équivalent habitant

Origine	flux d'E. coli	Equivalent-habitant	Référence
Homme	$2 * 10^9$ E. coli/j	1	Ifemer, Geldreich, Pourcher, Heath
Vache	$2 * 10^{12}$ E. coli/an		Metcalf and Eddy, 1991
	$1 * 10^8$ à $4 * 10^{10}$ E. coli/j	5 à 20	Ifemer, Geldreich, Pourcher, Heath
Cheval	$1,5 * 10^{11}$ E. coli/an		ASAE, 1998
Porc	$3,63 * 10^{12}$ E. coli/an		Metcalf and Eddy, 1991 ASAE, 1998
	$6 * 10^{10}$ E. coli/j	30	Ifemer, Geldreich, Pourcher, Heath
Mouton	$1,1 * 10^{13}$ E. coli/an		Metcalf and Eddy, 1991 ASAE, 1998
	$1,8 * 10^{10}$ E. coli/j	9	Ifemer, Geldreich, Pourcher, Heath
Poulet	$1,4 * 10^{11}$ E. coli/an		Metcalf and Eddy, 1991
	$2 * 10^8$ à $3 * 10^{10}$ E. coli/j	0,1 à 15	Ifemer, Geldreich, Pourcher, Heath
Mouette	$2 * 10^{10}$ E. coli/j	10	Ifemer, Geldreich, Pourcher, Heath
Poule	$4,6 * 10^{10}$ E. coli/an		Calculé à partir des matières fécales de poulet (ufc / an) multiplié par le rapport de masse Poule/poulet
Chèvre	$1,1 * 10^{13}$ E. coli/an		Supposé identique aux moutons

- Habitats

Si l'habitat naturel des bactéries E.coli et entérocoques est le système digestif d'un grand nombre d'animaux, un nombre toujours grandissant de données indique que, dans les milieux qui leur sont favorables hors du tube digestif, certaines souches de bactéries indicatrices de contamination fécale pourraient avoir la capacité de croître, de se multiplier et, finalement, de s'adapter à leur milieu jusqu'à se naturaliser (Ferguson et Signoretto, 2011).

Une population naturalisée est une population qui a évolué au point de pouvoir exister dans l'environnement indépendamment des sources de contamination.

La norme ISO 7899-1³ précise par ailleurs que certains entérocoques trouvés dans l'eau peuvent, à l'occasion, provenir d'autres habitats. En effet, ils sont détectés dans des milieux environnementaux divers (Byappanahalli et coll., 2012; Staley, 2014) :

³ Norme indiquant la méthodologie d'analyse pour les entérocoques intestinaux dans l'eau

- des plantes, des fleurs, des légumes, des céréales et des graminées (Mundt et coll., 1962; Müller et coll., 2001; Ott et coll., 2001; Sánchez Valenzuela et coll., 2012);
- du sable provenant de milieux marins ou d'eau douce, de la terre et des sédiments (Obiri-Danso et Jones, 2000; Ran et coll., 2013); des tapis d'algues vertes du genre *Cladophora* en eau douce (également vrai pour *E.coli*), des algues de mer en décomposition et des plantes aquatiques submergées (Anderson et coll., 1997; Whitman et coll., 2003; Badgley et coll., 2010; Byappanahalli et coll., 2012).

Certains de ces milieux sont même favorables au développement de populations bactériennes. Par exemple, on a retrouvé des entérocoques qui ont survécu 6 mois à 4°C dans des amas d'algues cladophores séchés par le soleil. Après réhydratation, la population est montée à 10^8 CFU/g (Byappanahalli et coll., 2012).

Les *E.coli* peuvent être retrouvés dans les effluents d'élevage ainsi que dans le sédiment et dans le sol. De la même manière que les entérocoques, ils peuvent se naturaliser et persister dans le sol, les sédiments, ou tout autre biotope qui serait favorable à leur survie.

Enfin, les *E.coli* comme les entérocoques intestinaux ont la capacité de se mettre en dormance : le métabolisme des cellules est ralenti et les populations ne réagissent plus aux stimuli extérieurs (antibiotiques, UV, température, etc.) (Boehm et Sassoubre, 2014; Ramsey et coll., 2014). La bactérie arrête alors de croître. Lorsque les conditions redeviennent favorables, elles sortent de cet état de dormance.

La variété des habitats de ces bactéries doit toutefois être mis en perspective de leur survie hors de leur écosystème naturel et de leur capacité à être transféré vers le milieu aquatique pour pouvoir distinguer les sources d'apports problématiques de celles qui ont un impact plus négligeable.

2.2.2. Survie et transfert des bactéries dans l'environnement

La question de la survie des *E.coli* hors des systèmes digestifs et de leur transfert vers le milieu aquatique est primordiale.

La présence d'entérocoques peut révéler une contamination fécale de l'eau qui serait passée inaperçue avec une analyse d'*E.coli* seule. Cela s'explique pour deux raisons : la première est que les entérocoques peuvent persister plus longtemps dans l'environnement et ainsi être transportés sur de plus grandes distances. La seconde est que les entérocoques résistent mieux à certains désinfectants utilisés pour la potabilisation de l'eau (par exemple le chlore). Cette seconde raison est cependant moins valable sur le bassin versant du Ris, sur lequel les effluents n'entrent pas en contact avec des désinfectants. Un certain nombre d'études ont révélé que les entérocoques étaient capables de survivre plus longtemps qu'*E. coli* dans les eaux marines (Lessard et Sieburth, 1983; Sinton et coll., 1994; Bordalo et coll., 2002; Fujioka et Yoneyama, 2002; Sinton et coll., 2002). En eau douce, les taux de survie différaient (Sinton et coll., 2002; Anderson et coll., 2005; Deller et coll., 2006; Fisher et coll., 2012).

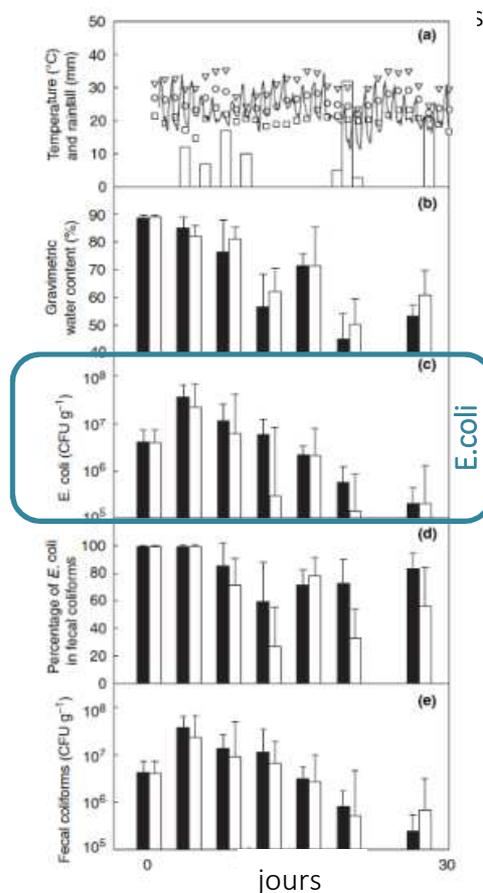
Pour aborder la question de la survie des E.coli, il est nécessaire de présenter le terme de **co-introduction** comme étant un facteur rallongeant la survie des bactéries.

- SURVIE DANS LES DEJECTIONS BOVINES

Sur le sol, la survie est favorisée dans des amas organiques de grosse taille (fumier, bouse, ou masse de lisier) (Vansteelant, 2004).

On a pu ainsi mesurer que **la population d'E.coli au sein d'une déjection bovine connaît une croissance significative pendant 6 à 8 jours** (avec une augmentation de 1.5 log) puis décroît de façon régulière (Van Kessel et al., 2007). Les chercheurs ont cependant noté, pendant la phase de décroissance, quelques légères augmentations en E.coli lors des épisodes pluvieux. La figure 1 ci-contre présente les résultats de cette étude, les histogrammes noirs sont ceux représentant les déjections à l'ombre, les barres blanches les excréments au soleil. Les concentrations ne sont redescendues sous leur niveau initial qu'après 20 jours. D'autres études (Clemm [(1977), cit. from Kress and Gifford 1984] et Muirhead et al. (2005) font état d'une **croissance bactérienne les deux premières semaines dans les déjections bovines et un retour au niveau initial après 5 semaines**. Cependant, il n'y a pas de consensus sur cette même expérience à de basses températures (Wang et al.2004, Kudva et al. 1998)

Figure 1 : Evolution des



La phase de croissance bactérienne est due au fait que les E.coli sont co-introduits à la parcelle dans un environnement qui leur est propice. Le dessèchement des bouses et la diminution des nutriments (consommés par les bactéries) peuvent expliquer qu'à terme, on observe une diminution de la population bactérienne. En revanche, si la bactérie est co-introduite dans une fumière, l'apport régulier de matière organique, d'eau et de chaleur peuvent favoriser une survie bactérienne plus longue.

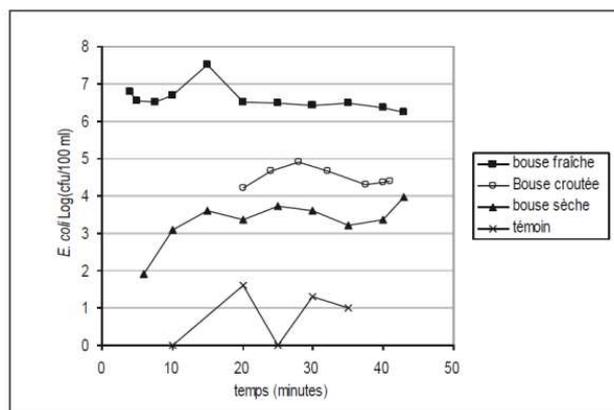


Figure 2 : Evolution de la concentration en E.coli dans les eaux de ruissellement (source Dorioz et al, 2011)

Une étude menée en 2011 dans le cadre de pâturages alpins s'est intéressée au transfert et à la survie de bactéries fécales. L'eau de ruissellement a été analysée pour connaître leur teneur en E.coli. L'expérience a été conduite sur des déjections d'état variable (Figure 2) : la

concentration en E.coli dépend de l'état physique de la déjection : la concentration en E.Coli dans l'eau de ruissellement est plus élevée sur une déjection récente. La concentration est maximale après 15 minutes de ruissellement, puis, la concentration décroît.

Sur une bouse sèche en revanche, la concentration ne fait que croître, même si les populations d'E.coli sont moins nombreuses que sur la bouse fraîche.

Les transferts latéraux sont à l'origine de l'essentiel du flux bactérien dans un contexte de pâture comme sur le bassin versant du Ris. Les mesures réalisées à l'exutoire mettent en évidence le fait que les teneurs élevées en E.coli et en entérocoques sont presque systématiquement liées à des épisodes pluvieux.

- **SURVIE DANS LE SOL**

L'application d'une fertilisation organique sur le sol entraîne le transfert d'une charge bactérienne vers les horizons plus profonds du sol (Oliver et al, 2005). La capacité de transfert est conditionnée par :

- La présence et le type de culture présent sur le sol,
- Le type de microorganisme (bactéries, champignons, virus) : plus il sera petit et plus il pourra migrer facilement (voir Figure 3).
- La porosité et la nature du sol (argileux, sableux, tourbeux)

Le transfert de la charge fécale de la surface aux horizons plus profonds du sol se fait par percolation de l'eau dans des sols après une fertilisation organique (Olivier et al, 2005). La recherche a montré **qu'en raison d'une forte abondance en nutriment, les bactéries peuvent survivre plusieurs mois dans la couche superficielle** (Trévisan et al, 2002). La survie va dépendre selon que la texture soit fine ou grossière (Artz et al, 2005), et de la nature du sol (argileux, organique, sableux) (Olivier et al, 2005). Le type de microorganisme (bactéries, champignons, virus) va aussi conditionner sa capacité à migrer vers le sol : plus il sera petit et plus il pourra migrer facilement (voir Figure 3). Ainsi, **des sols drainés auront une plus forte capacité à transférer des bactéries vers le milieu aquatique qu'un sol non drainé.**

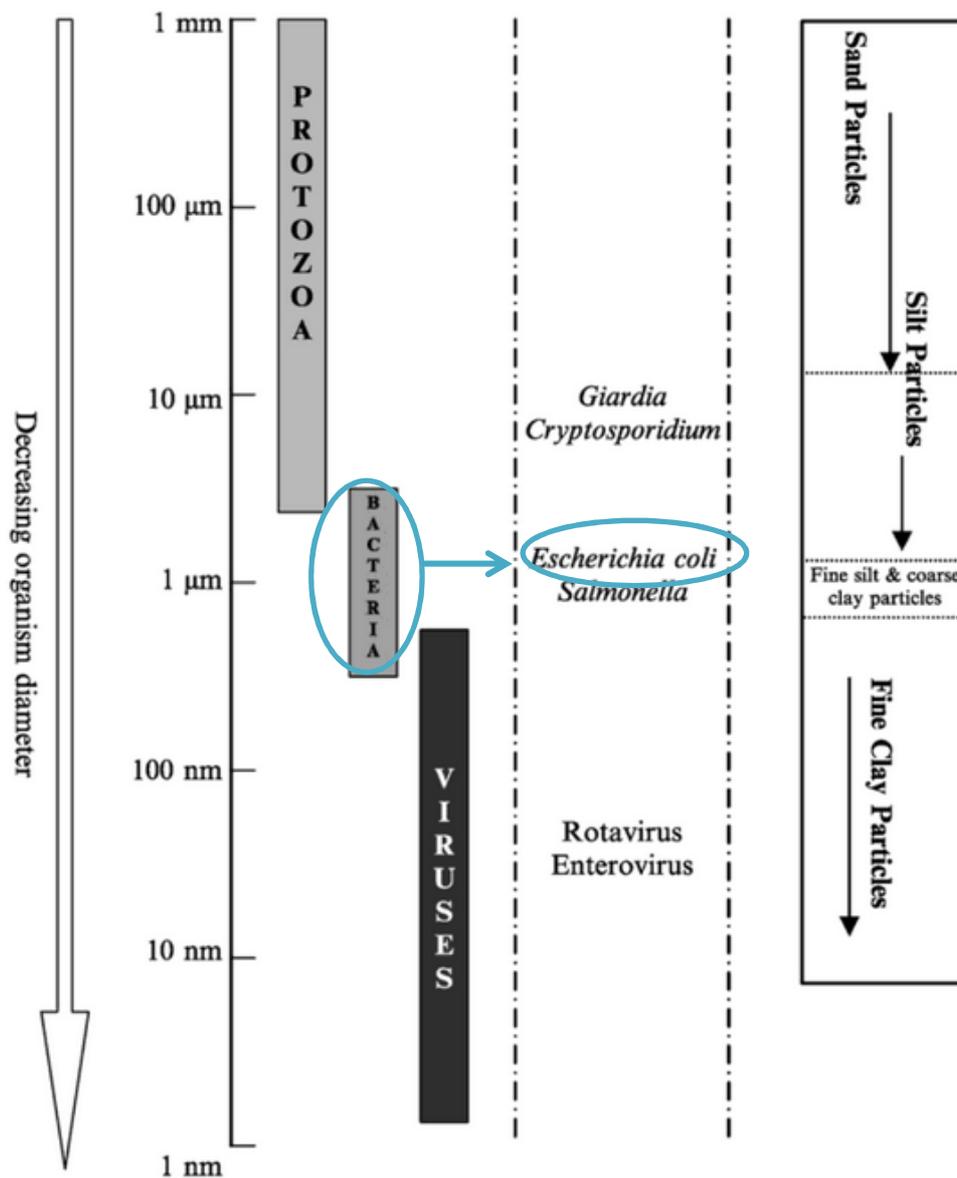


Figure 3 : Comparaison des tailles de microorganismes et de particules constitutives du sol (source Oliver et al, 2005)

L'humidité du sol jouera également sur la survie des bactéries : une fois dans le sol, l'humidité est un facteur favorable à leur survie (Entry et al, 2006).

De nombreuses recherches indiquent que l'évolution de la population d'E.coli dans le sol suit une équation de premier degré : la décroissance ralentit dans le temps, elle est très rapide au début, et la population persiste longtemps en petit nombre (voir Figure 4). Le degré de décroissance bactérienne peut aussi être variable selon l'alimentation des animaux (Franz et al, 2011).

Les populations présentes dans le sol sont toutefois peu mobiles et ont donc une faible probabilité d'être transférés vers les eaux (Dorioz et al, 2011).

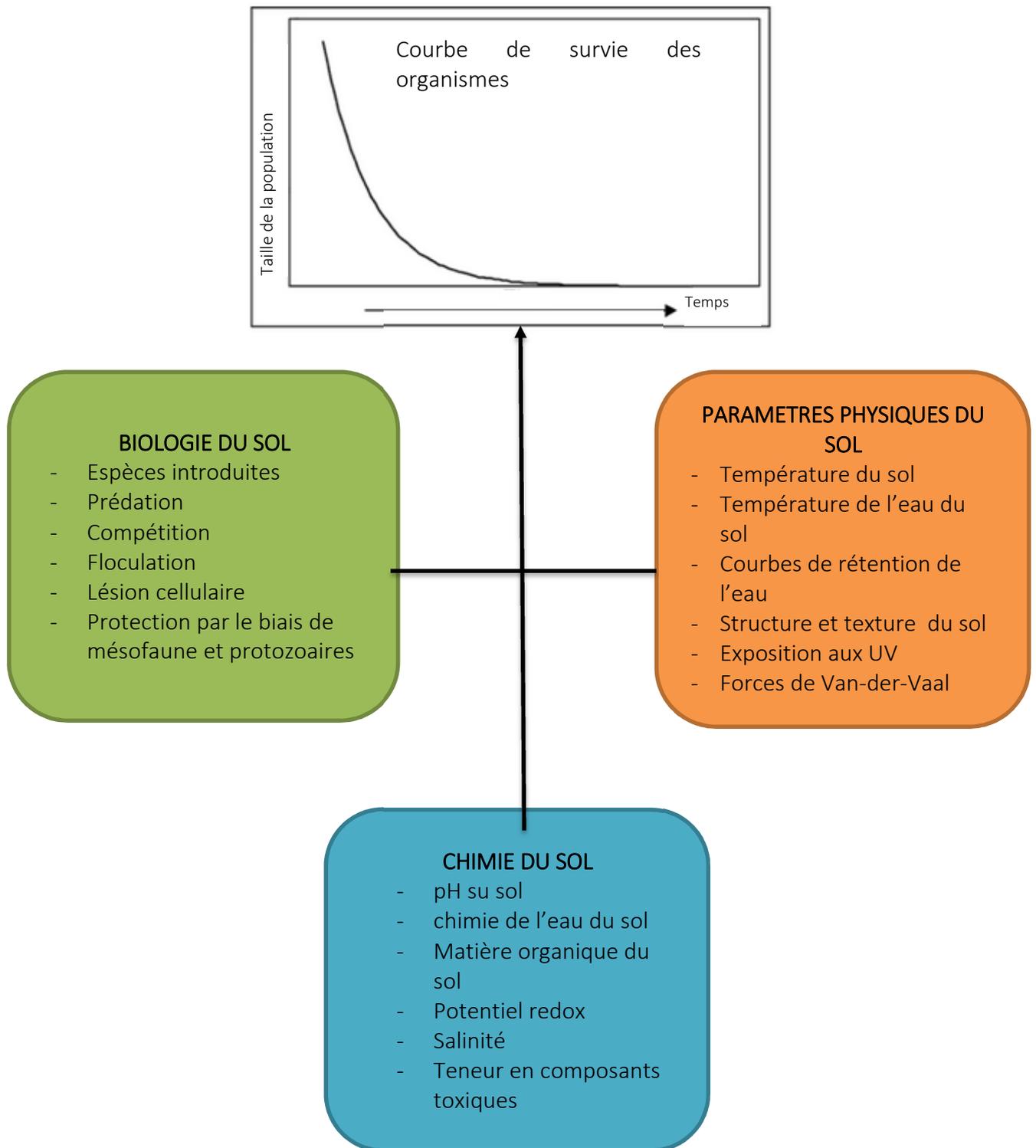


Figure 4 : Principaux facteurs influençant la survie bactérienne dans le sol

Dans le cas d'un épandage organique, la survie d'E.coli est influencée par le type de fertilisant et la manière dont il est épandu. L'épandage de fumier serait moins favorable au transfert d'E.coli (O157) dans le sol que l'épandage de lisier (Semenov et al, 2009). La survie d'E.coli est aussi influencée par l'occupation du sol sur lequel l'épandage est réalisé (Gagliardi, 2002). La

présence d'un couvert végétal tend à fixer E.coli dans les premiers centimètres du sol, à proximité des racines.

- **SURVIE DANS LES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE**

La survie dans les effluents d'élevage sera variable selon la nature du bétail, la nature de l'effluent, son traitement éventuel et sa gestion.

Le Tableau 2 présente les survies documentées dans la littérature selon le type d'élevage. La survie des bactéries dans le fumier est d'abord fonction de l'animal : une étude a mesuré la persistance de la souche 157 d'E.coli pendant 21 mois dans le fumier d'ovins. Si ce même fumier est aéré, la survie retombe à 4 mois. Pour les bovins, la survie d'E.coli dans un fumier aéré est, d'après Kudva et al (1998), seulement de 47 jours.

Dans le lisier, la texture plus ou moins solide influence la survie des bactéries. Ainsi, dans un lisier plus solide, la survie est prolongée (Kunva et al, 1998).

Tableau 2 : Bilan de la survie des bactéries dans les effluents d'élevages

Micro-organisme	Média	Température	Survie (jours)	Commentaire	Référence
Coliformes fécaux	Sol	Automne	5.8	réduction de 50% de la population après épandage de fumier	Stoddard et al, 1998
Streptococques fécaux			13.9		Stoddard et al, 1998
E.coli	lisier	4	7		Kovacs et Tamasi (1979)
		20	7		"
E.coli (souche K12)	Eau brute rivière	4	12	milieu de culture = EMB agar	Bogossian et al, 1996
		20	8		"
	Sol non stérile	4	100		"
		20	environ 65		"
E.coli (souche 157)	sol sableux	ambient	56	diminution jusqu'à 1 log ₁₀ CFU	Fenlon et al, 2000
	terreau	"	175	"	"
	sol argileux	"	175	"	"
	eau d'abreuvoir	conditions de terrain	14	injection de 10 ⁶ CFU/ml	Mc Gee et al, 2002
		conditions de laboratoire	31	"	
	Abreuvoir + bouses		24	excréments ajoutés dans l'abreuvoir	
	déjections bovines	5	49	inoculation de 10⁵ CFU/g	Wang et al, 1996
		22	56		
		37	70		
	Fumier bovin aéré	conditions de terrain	47	aération par mélange	Kudva et al, 1998
	fumier ovin		environ 630		
	fumier ovin aéré		120		
	Fumier épandu sur sol autoclavé	5	77	valeurs maximales (variables selon la proportion fumier/terre)	Jiang et al, 2002
		15	>226		
		21	231		
	Fumier épandu sur sol non-autoclavé	5	56		
		15	152		
		21	193		
E.coli (souches 0157, 011 & 026)	déjections bovines	5	14-98		Fukushima et al, 1999

- **Survie dans les sédiments**

Les premières analyses bactériologiques sur sédiment estuarien dans le but de qualifier une pollution bactérienne remontent à 1905 (Savage). Depuis, les études ont permis de préciser la présence d'une population bactérienne dans le sédiment et son impact sur la qualité de l'eau. La comparaison des quantités d'E.coli et de coliformes totaux présents dans le sédiment et la colonne d'eau a démontré que les **quantités de coliformes fécaux sont systématiquement supérieures dans le sédiment** : d'un facteur de 100 à 1000 pour Van Donsel et Geldreich (1971), d'un ratio moyen de 10 pour 1 (mais variant de 1 à 383) pour Goyal et al (1977). Une étude plus récente a quantifié, sur des bassins versants agricoles en Nouvelle-Zélande, que la part de coliformes fécaux mesurés dans l'eau correspondaient à 1/1000ème de la fraction totale de la charge totale contaminante et que le reste était contenu dans les sédiments du lit du cours d'eau. Toutefois, la corrélation entre les coliformes fécaux dans l'eau et dans les sédiments n'est pas démontrée (An et al, 2002, Doyle et al, 1992).

La présence de bactéries fécales dans les sédiments des cours d'eau permet de s'interroger sur leur rôle dans les pollutions bactériennes lors de crues : en effet, en plus des bactéries entraînées par ruissellement par les pluies, l'augmentation du régime hydrologique entraîne une remise en suspension des sédiments, et donc un transfert dans la colonne d'eau. Plusieurs études ont simulé de fausses crues et leurs résultats montrent une augmentation de 5 à 25 fois des coliformes totaux Wilkinson et al. (1995), et jusqu'à 50 fois pour les E.coli (Muirhead et al, 2004). Nagels et al (2002) a comparé les concentrations en E.coli lors de crues naturelles et artificielles et a mis en évidence que 30% de la contamination provenait des sédiments.

- **Survie dans les effluents domestiques**

Les réseaux d'eaux usées, en cas de déversement dans le milieu naturel, peuvent également entraîner un transfert de bactéries fécales. Le

Tableau 3 présente les teneurs de différents effluents permettant de les comparer à un apport d'origine agricole.

Sur le bassin versant du Ris, les sources potentielles d'apport bactérien sont les assainissements collectifs et individuels ainsi que des réseaux d'eaux pluviales. Douarnenez Communauté et Quimper Bretagne Occidentale ont réalisé des diagnostics afin de déterminer leur impact potentiel sur la qualité de l'eau du bassin versant. Les mesures à mettre en place en cas de pollution bactérienne d'origine humaine seront mobilisées par les communautés de communes le cas échéant.

Tableau 3 : synthèses de teneurs en E.coli selon le type de pollution (source AELB)

Types de pollution	Valeurs caractéristiques	Auteurs originels (de référence)
Eaux de drainage de pâturage	$8,8 \cdot 10^3$ à $3,2 \cdot 10^4$ E. coli/100ml	Aitken, 2003
Rejets d'abattoirs ou d'usines de fabrication d'engrais organiques	$5 \cdot 10^5$ E. coli par litre	RIZA
	$5 \cdot 10^5$ entérocoques intestinaux par litre	RIZA
Rejets non traités	$4 \cdot 10^7$ E. coli par litre	RIZA
	$1 \cdot 10^7$ entérocoques intestinaux par litre	RIZA
	$5 \cdot 10^7$ coliformes fécaux	Saunier, 1993
	10^6 à 10^{10} coliformes thermotolérants par litre	Dubreil, 2001
	10^7 à 10^8 E. coli / 100 ml (pour une concentration en NH_4 variant de 50 à 100 mg/l)	AESN
	10^5 à 10^8 streptocoques fécaux par litre	Dubreil, 2001
	10^7 à 10^8 coliformes fécaux/100 ml	Servais et al., 2009
	$6 \cdot 10^7$ E. coli / 100 ml	Viovi, 2005
	10^7 E. coli / 100 ml	Pottecher, 2008 (IRH environnement)
Ruissellement d'eaux pluviales	$2 \cdot 10^4$ E. coli par litre	RIZA
	$2,5 \cdot 10^3$ entérocoques intestinaux par litre	RIZA
	10^4 à 10^6 germes témoins de contamination fécale pour 100 ml (concentr. NH_4 de 0,1 à 0,2 mg/l)	AESN
Bateaux de plaisance et ferries	$1 \cdot 10^9$ E. coli par rejet	RIZA
	$0,5 \cdot 10^9$ entérocoques intestinaux par rejet	RIZA
Bateaux fluviaux	$1 \cdot 10^9$ E. coli par rejet	RIZA
	$0,5 \cdot 10^9$ entérocoques intestinaux par rejet	RIZA
Marinas	1 400 E. coli par litre	RIZA
	200 entérocoques intestinaux par litre	RIZA
Baigneurs	$2 \cdot 10^7$ E. coli par visiteur	RIZA
	$1 \cdot 10^7$ entérocoques intestinaux par visiteur	RIZA
	$6,1 \cdot 10^6$ coliformes totaux	Saunier, 1993
	$3,8 \cdot 10^6$ coliformes fécaux	Saunier, 1993
	$7,8 \cdot 10^6$ streptocoques fécaux	Saunier, 1993

3. PROTOCOLE DE SUVI ET METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE

3.1.PROTOCOLE DE SUIVI

L'étude sur la qualité bactériologique de l'eau en 2020 comporte trois approches méthodologiques :

- L'analyse des marqueurs génétiques
- L'analyse des bactéries fécales (E.coli et entérocoques intestinaux) dans l'eau dans le but d'affiner l'identification des sources de pollution
- L'analyse des E.Coli dans les sédiments

- LES MARQUEURS GENETIQUES

En se basant sur les résultats des analyses bactériologiques réalisées les années précédentes par Douarnenez Communauté, la Ville de Douarnenez et le Parc Naturel Marin d'Iroise, l'EPAB a choisi les sites de prélèvements sur lesquels, par temps de pluie, on retrouvait des taux de bactéries importants.

Pour réaliser l'analyse des marqueurs génétiques, l'EPAB a retenu 6 sites de prélèvements :

	X	Y
Station 1 : L'exutoire du cours d'eau	157521.2	6801928.68
Station 2 : L'aval de la retenue de Keratry	158883.91	6801036.88
Station 3 : Lieu-dit Lost Mescalet à Kerlaz	159944.6	6799851.9
Station 5 : pont de Hent ar Veil au Juch	160571.82	6798711.86
Station 8 : Lieu-dit Crinquelllic à Guengat	161921.68	6796428.96
Station 10 : Lieu-dit Kernogant à Guengat	162327.08	6797936.79

Le protocole 2020 commence par une première campagne d'analyses par temps de pluie pour laquelle E.coli, les entérocoques intestinaux et les marqueurs génétiques seront analysés. Jusqu'alors, les marqueurs génétiques qui avaient été analysés étaient porcine, ruminant et humain. Les capacités analytiques du laboratoire s'étant élargies à une dizaine de marqueurs génétiques, les marqueurs recherchés lors de cette campagne sont :

Humain	Ruminant	Porcin	Oiseaux de mer
			
Equin	Canin	Volaille	Ragondin
			

INFORMATION SUR L'ANALYSE DES MARQUEURS GENETIQUES

Chaque espèce a une prévalence de germes dans sa flore intestinale. Dans la recherche des marqueurs génétiques, le laboratoire va analyser par méthode de biologie moléculaire la

présence de ces germes dans les échantillons. Les germes ne sont pas les mêmes recherchés pour chaque groupe d'animaux. Parmi ces bactéries fécales, E.coli n'est pas recherchée. Les taux d'E.coli et les résultats de marqueurs sont donc deux résultats parallèles non comparables.

On peut uniquement comparer les valeurs entre deux prélèvements pour un même groupe d'animaux.

- Les bactéries fécales dans l'eau

Faisant suite à la première campagne de prélèvements intégrant les marqueurs génétiques, les analyses d'indicateurs de contamination fécale dans l'eau ont été réalisées sur des secteurs qui intégraient des configurations pour un transfert bactérien intéressant, ou sur des sous bassins sur lesquels on avait pu relever des concentrations en E.coli ou en entérocoques élevés.

3 campagnes ont été réalisées :

- Le 23 septembre
- Le 25 septembre
- Le 6 octobre

- Les bactéries fécales dans les sédiments

La littérature scientifique indique que les sédiments des cours d'eau peuvent se révéler être d'importants réservoirs de bactéries fécales. Un suivi a été réalisé, par temps sec puis par temps de pluie, pour vérifier cette théorie sur le territoire.

3.2.METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE

Les prélèvements d'eau ont tous été réalisés par temps de pluie. Le suivi des précipitations est réalisée via l'outil développé par la ville de Douarnenez qui propose une interface permettant d'accéder aux précipitations avec un pas de temps fin, ainsi que des alertes mail et sms prévenant du dépassement du seuil de 6,4mm/24h, celui défini par la ville dans le cadre de leur gestion active de la baignade.

Les prélèvements ont été réalisés par l'équipe technique de l'EPAB, les préconisations pour le prélèvement, le transport et le délai avant mise en analyse ont été respectés. Les prélèvements ont été systématiquement envoyés au laboratoire (Quimper) directement après les prélèvements. L'analyse a été effectuée par Laboceca.

Les recommandations techniques pour l'échantillonnage de d'eau de cours d'eau et de sédiments en milieu continental (cours d'eau et plan d'eau) dans le cadre des programmes de surveillance DCE ([Guide Aquaref](#)) ont été respectées.

4. RESULTATS

4.1.1ERE CAMPAGNE : SUIVI SUR LES MARQUEURS GENETIQUES

La première campagne de prélèvement a eu lieu le 11 juin, par temps de pluie, après une pluie de 34mm/24h.

4.1.1. CONDITIONS HYDROLOGIQUES :

La Figure 5 représente l'évolution du débit du Ris et de la pluviométrie au niveau de Kervignac (station d'eau potable à Douarnenez) au mois de Juin. Le débit moyen du Ris hors période de crue est autour de $0.25\text{m}^3/\text{s}$ en moyenne par jour. Lors de la crue du 11 juin, le débit est monté à $0.72\text{m}^3/\text{s}$, soit un débit environ 3 fois plus élevé que le débit moyen. Les deux autres crues du 12 et du 16 juin ont été de la même intensité.

On note que la pluviométrie est exprimée en mm par jour : la somme est réalisée chaque jour à minuit. Le pic de pluviométrie de 33 mm le 11 juin reflète en réalité deux épisodes pluvieux intenses :

- l'un de 19mm entre minuit et 10h00 le 11/06
- l'autre de 14 mm entre 19h30 le 11/06 et 1h00 le 12/06.

Cela explique les deux pics de crue et la décrue du 11 juin correspondant à un seul pic de pluviométrie.

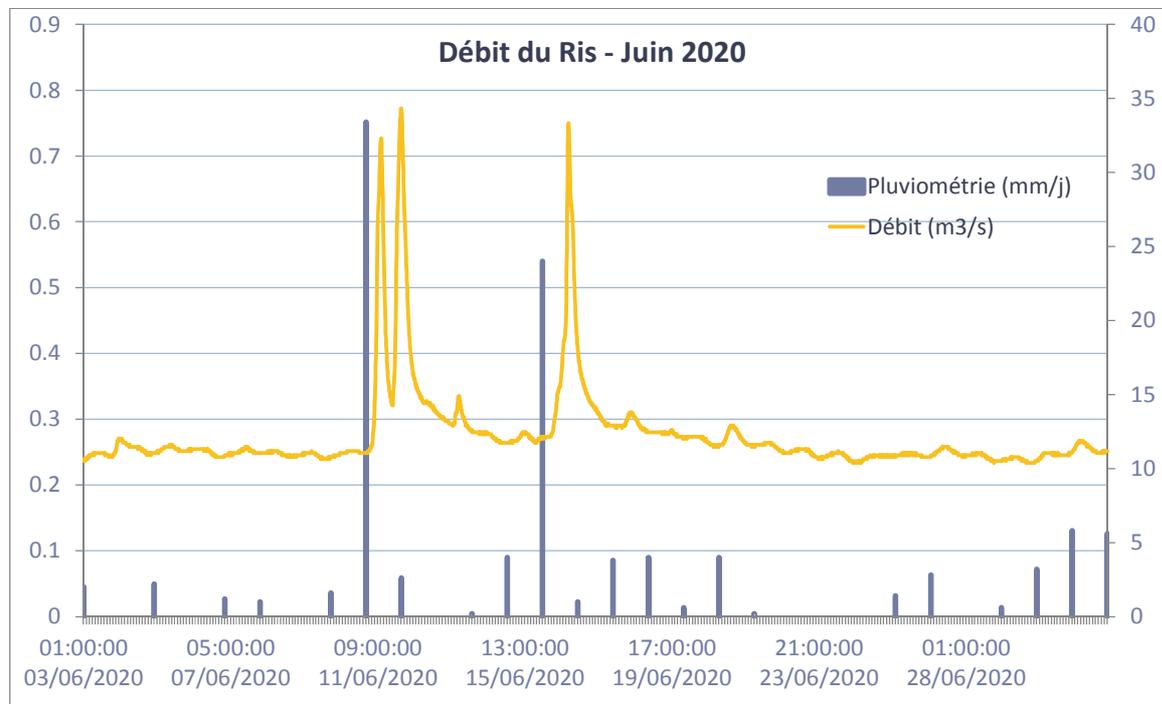


Figure 5 : Hydrologie du Ris en juin 2020

La Figure 6 précise la période à laquelle ont été réalisés les prélèvements dans le cadre de ce premier suivi. On constate que la phase de prélèvement intègre le pic de crue du Ris mesuré à

Keratry. Les conditions de ruissellement sont idéales, et par conséquent les conditions pour le transfert de charge bactérienne sont optimales.

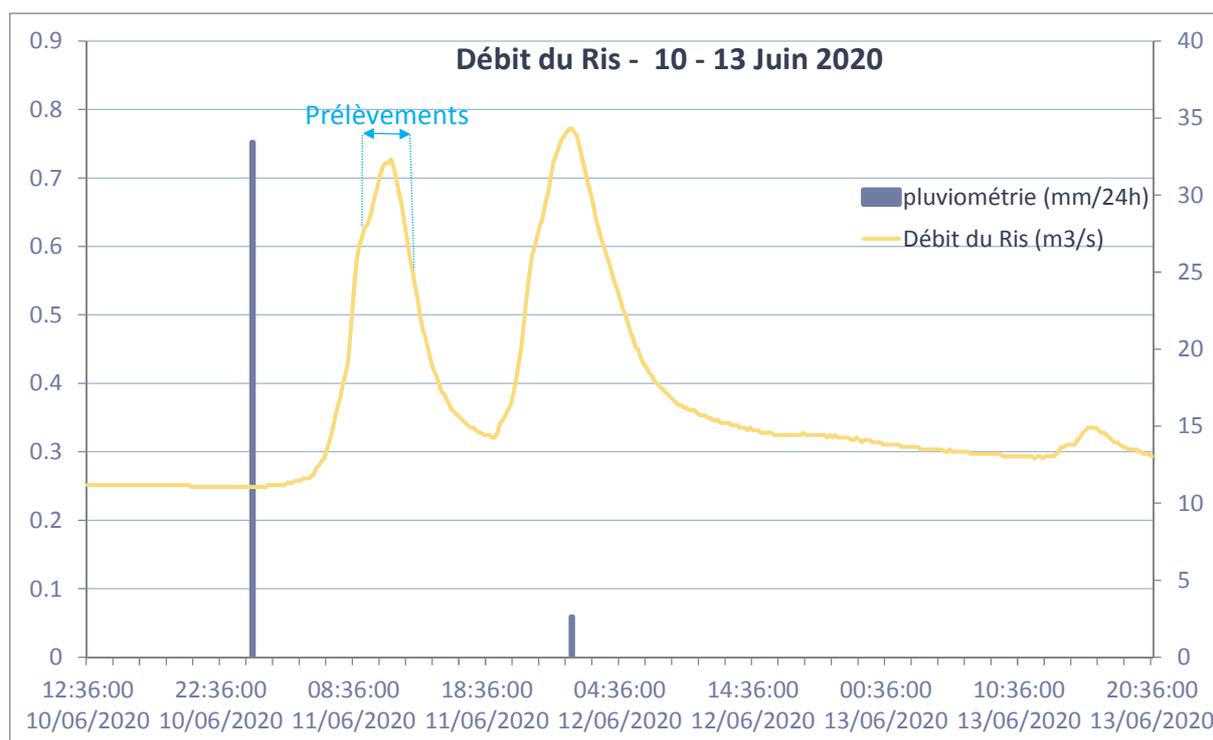


Figure 6 : Hydrologie du Ris du 10 au 13 juin 2020

Les photos de terrain témoignent en effet des conditions de crue. On observe une turbidité importante de l'eau (transfert de matières organiques important) :



Le Ris à l'aval de la retenue de Keratry
(station 2)

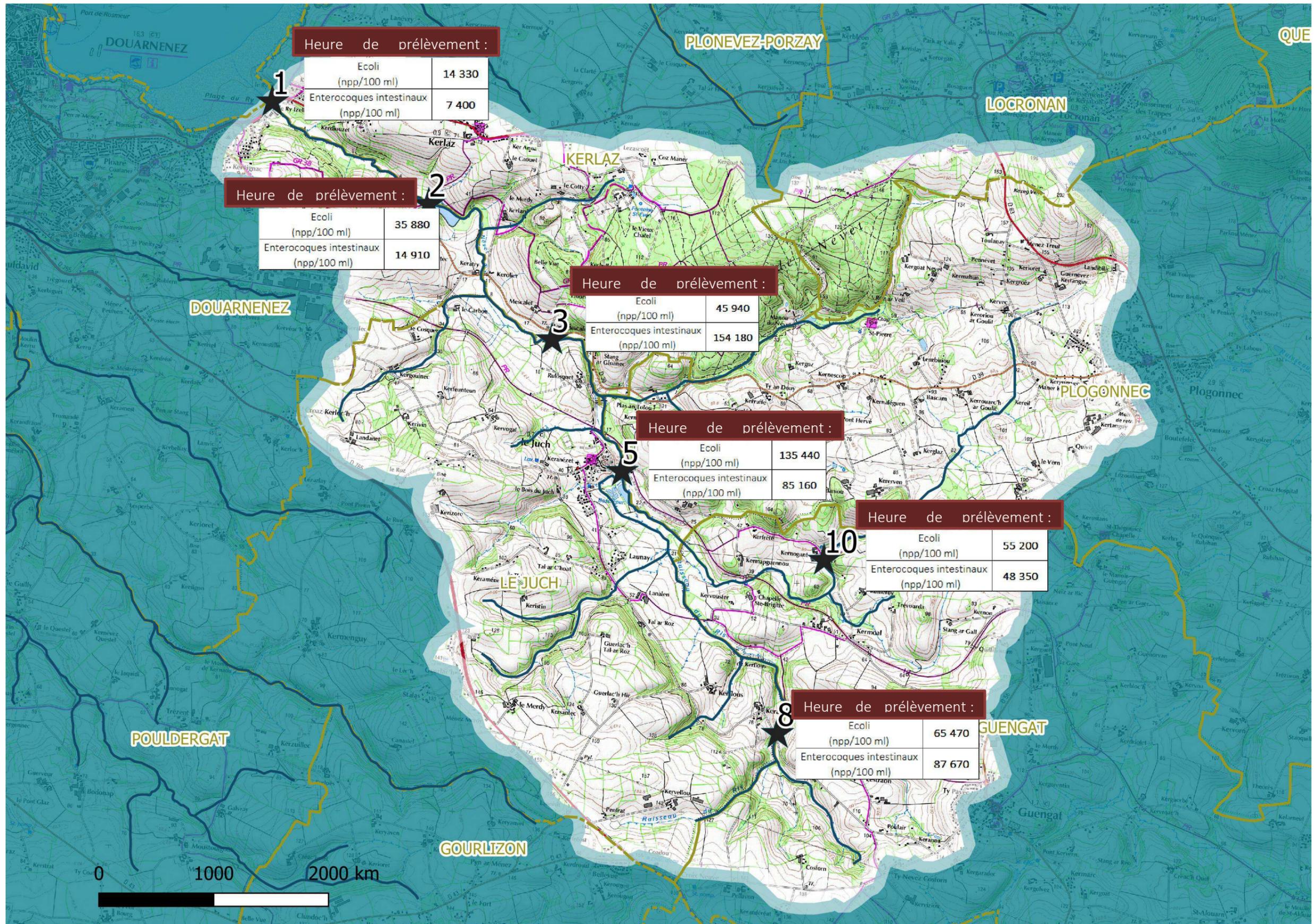


Le Ris au Juch (station 5)

Figure 7 : Photographies des points de prélèvement (crédit EPAB)

4.1.2. RESULTATS ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

La carte page suivante présente les résultats par station pour les taux bactériologiques :



Etude sur la qualité bactériologique de l'eau sur le bassin versant du Ris

Les résultats des analyses montrent une teneur importante en E.coli et en entérocoques intestinaux sur l'ensemble des points de prélèvements. Les valeurs les plus élevées sont retrouvées sur le point 5 pour E.coli et 3 pour les entérocoques intestinaux.

Les valeurs mesurées sont largement supérieures aux recommandations pour la qualité de l'eau (cf § 2.1). Le Ris se jette dans la baie pour se mélanger à l'eau de mer dans la zone de baignade mais le cours d'eau à proprement parler n'est pas une zone de baignade, cette comparaison est donc faite à titre indicative.

Les mesures réalisées au niveau de la zone de baignade le 11 juin ne font pas état de pollution bactériologique (valeurs E.coli = 30 npp/100ml et entérocoques intestinaux = 10npp/100ml), les prélèvements ont été réalisés peu avant le pic de crue, à 10h.

4.1.3. RESULTATS DES MARQUEURS GENETIQUES

Le résultat d'un marqueur est soit : confirmé, suspecté ou non détecté.

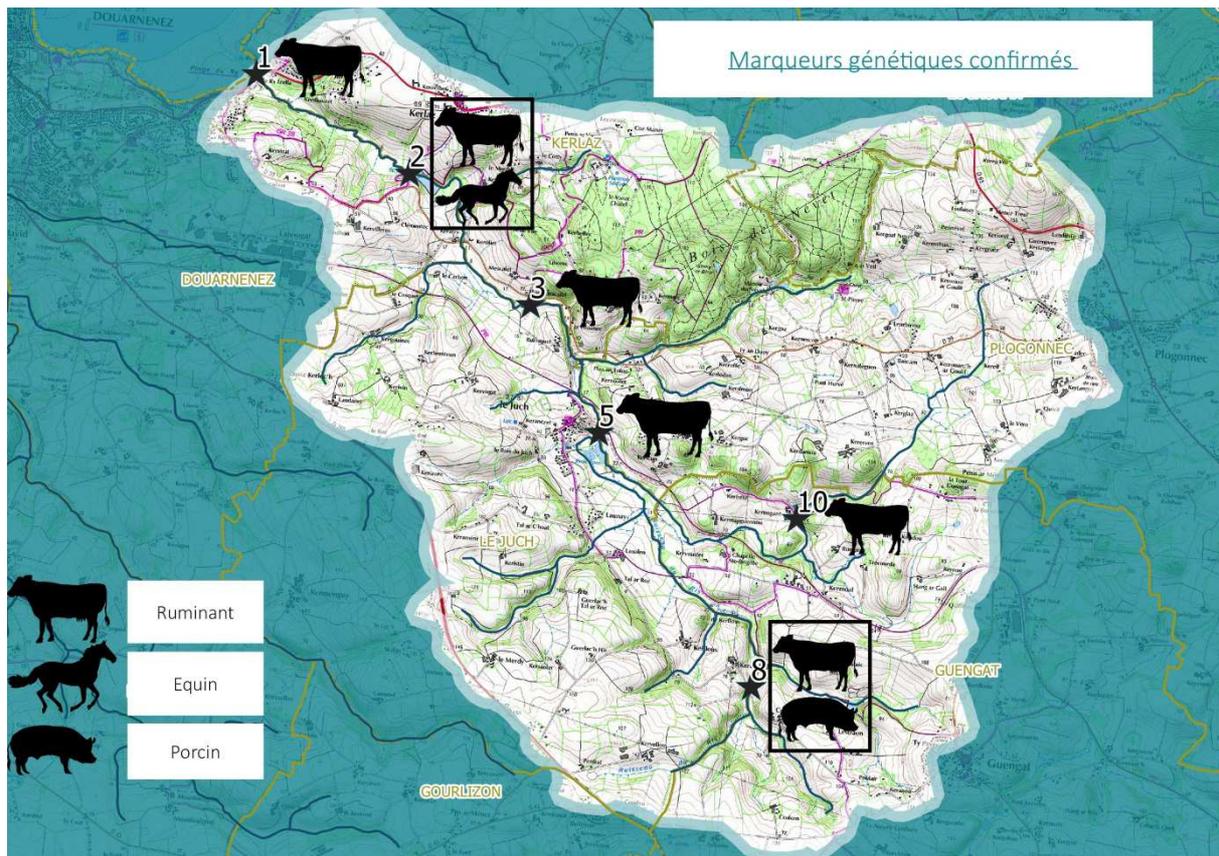
Confirmé : les quantités de germes ont été suffisantes pour attester d'une présence certaine d'un groupe faunistique.

Suspecté : la présence du groupe faunistique est incertaine. La quantité de germe est inférieure au seuil de détection.

Non détecté : le groupe faunistique n'est pas retrouvé.

Lorsque le résultat est suspecté ou non détecté, il ne permet pas de témoigner de la présence d'un indicateur. Seul le résultat « confirmé » témoigne de la présence d'un marqueur génétique.

Les marqueurs dont le résultat est « confirmé » sont :



L'analyse des marqueurs met en évidence l'omniprésence d'une pollution de type ruminant. Ce groupe faunistique regroupe les ovins et les bovins. Cependant il n'y a pas d'élevage ovin sur le bassin versant du Ris, uniquement quelques moutons appartenant à des particuliers. On peut considérer leur impact non significatif. La détection de ce marqueur sur l'ensemble des stations de prélèvements signifie que les sources de pollution sont multiples.

Les résultats du marqueur ruminant sont les suivants :

Station	1	2	3	5	10	8
Marqueur Ruminant (log10 UG ⁴ /100ml)	Confirmé (3.9)	Confirmé (4.5)	Confirmé (5.5)	Confirmé (6.1)	Confirmé (5.2)	Confirmé (5.9)

La variation de log10 entre le point 1 et les suivants est suffisamment importante pour affirmer que la quantité de germes d'origine bovine est plus importante à l'amont qu'à l'aval. Les valeurs les plus élevées sont retrouvées sur les points 3, 5 et 8.

Deux théories permettent d'expliquer ces variations :

- soit le transfert de bactéries est plus important aux points 3, 5 et 8. Cela peut être dû à une zone de transfert plus efficace (zones imperméabilisées, fossés curés connectés avec le milieu naturel, zones humides) ou à une charge bactérienne plus importante sur ces points.
- soit la quantité de bactéries est proportionnelle au débit du cours d'eau, les prélèvements 3 et 5 ayant été réalisés au plus proche du pic de crue.

⁴ UG : Unité Génomique

Les sources d'émissions de bactéries d'origine bovine sont plurielles :

- Ruissellement sur une parcelle pâturée engendrant un transfert de particules
- Fuite d'effluents d'élevage au niveau de l'exploitation : au niveau de la fumière, de la fosse à lisier, des aires d'exercices et des parcours, ...
- Epannage suffisamment récent avant la pluie pour que les bactéries aient persisté sur la parcelle puis aient été lessivées vers le cours d'eau

En 2019, les prairies représentaient 1221 ha du bassin versant du Ris (Figure 8), soit 51% de la SAU du bassin versant.

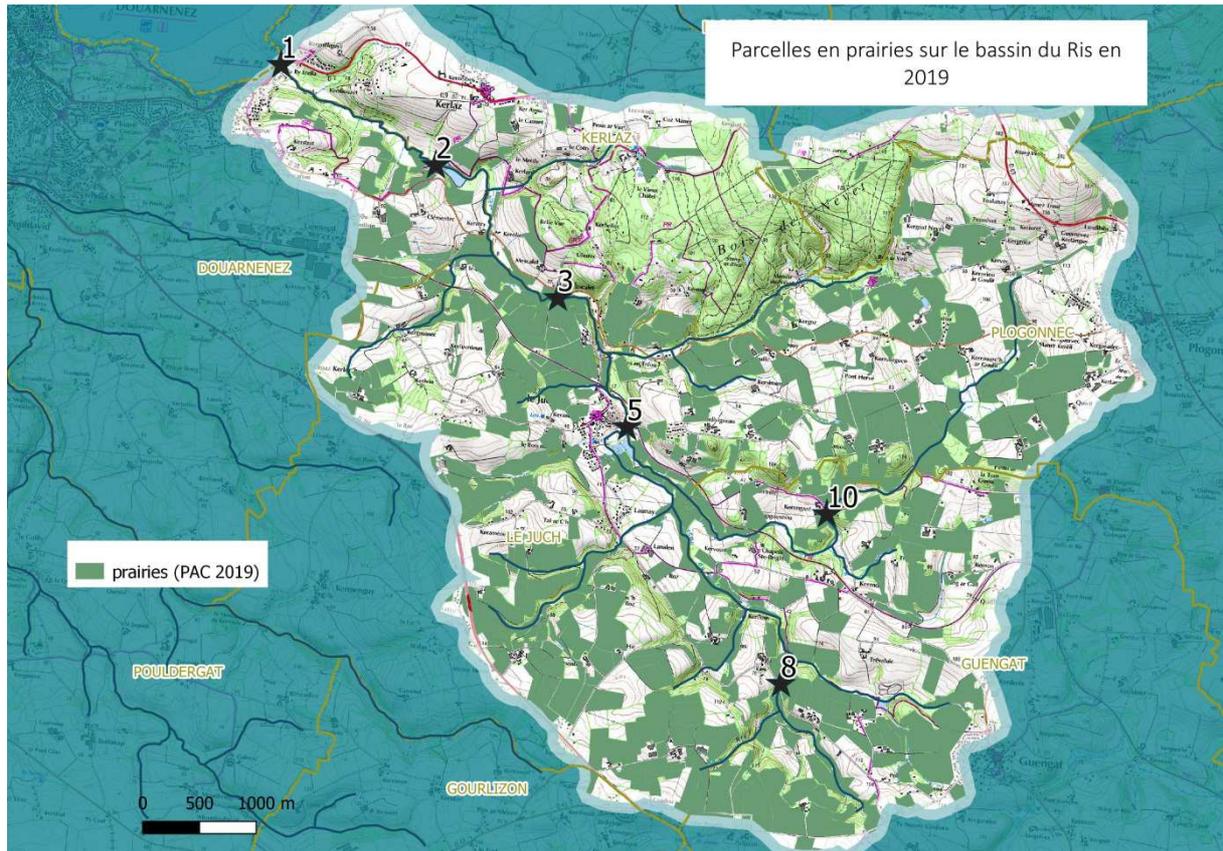


Figure 8 : Cartographie des surfaces pâturables sur le bassin versant du Ris

Certains secteurs sont plus propices au ruissellement du fait de la combinaison des pentes, de la faible présence de bocage et de zones humides, et de la présence de pâtures le long du cours d'eau. Le positionnement des sièges d'exploitation peut également être influent.

On a également retrouvé un marqueur équin sur le point 2. Sur le bassin versant du Ris il existe plusieurs centres équestres, néanmoins ils sont beaucoup plus en amont, à Guengat et au Juch, il est donc étonnant que le marqueur équin n'apparaisse que sur ce point. Une autre hypothèse est la présence de quelques chevaux sur des parcelles en bordure du cours d'eau entre Kerollier et Keratry. Enfin l'utilisation du fumier d'équins sur des parcelles à proximité du cours d'eau pourrait aussi expliquer la présence de ce marqueur génétique. Des investigations de terrains doivent être menées pour tenter d'identifier plus clairement la source de cette pollution et y remédier le cas échéant.

Enfin, un marqueur porcin a été retrouvé sur le point 8. Sur ce secteur, on constate la présence de deux exploitations porcines (données de 2015). Cependant il est nécessaire de disposer de données actualisées pour affirmer qu'il s'agit des deux seules exploitations porcines du bassin versant. De même qu'avec le marqueur bovin, la présence de ce marqueur dans le cours d'eau peut s'expliquer soit par le biais de l'épandage de lisier (que ce soit au niveau d'une exploitation porcine ou bovine), soit par le fait d'une fuite au niveau du siège d'exploitation.

Les autres marqueurs génétiques :

Les marqueurs humain et volaille renvoient uniquement un résultat suspecté ou non détecté. Lorsque le résultat des analyses de marqueurs est « suspecté », cela signifie que la présence du groupe faunistique est incertaine. La valeur obtenue (en unité génomique) est inférieure à la limite de quantification.

Lors de cette campagne, les résultats ne mettent pas en évidence de contamination d'origine humaine et volaille.

Enfin, les marqueurs canin, ragondin et oiseaux marins ne sont détectés sur aucun prélèvement. Lors de cette campagne, les résultats ne mettent pas en évidence de contamination imputable à ces trois groupes faunistiques.

4.2. 2^{EME} CAMPAGNE : ANALYSE DES BACTERIES DANS L'EAU (23&25/09)

Suite à la première campagne de prélèvements (marqueurs génétiques) en date du 11 juin 2020, l'EPAB a souhaité cibler la deuxième campagne sur certains secteurs clés pour mesurer leurs teneurs en bactéries.

5 secteurs ont été retenus :

- Amont/aval d'un site recueillant les eaux de ruissellement d'un siège d'exploitation **(A)**
- Amont/aval de la STEP du Juch **(B)**
- Amont/aval d'un contexte de pâture avec apport par le biais d'un fossé des effluents d'autres parcelles **(C)**
- Amont/aval d'une large zone de prairie **(D)**
- Remontée d'un sous-bassin type incluant différentes sources d'apport bactérien (pâturage, fossé, route, parcours, siège d'exploitation) **(E)**.

Cette deuxième campagne porte essentiellement sur la recherche des sources de pollution d'origine agricole, en raison des résultats des marqueurs génétiques de la campagne du 11 juin.

Certains agriculteurs sont directement concernés lorsque les prélèvements sont réalisés à proximité de leurs parcelles. Ces agriculteurs ont tous été informés par contact téléphonique préalable de notre passage sur leurs parcelles dans le cadre de notre étude et ont tous accordé leur droit de passage.

La 2^{ème} campagne ne cible pas les pratiques de ces agriculteurs, mais vise à caractériser les risques de contamination bactériologique associés à différentes situations. Il faut en effet rappeler que les taux de bactéries sont élevés sur l'ensemble du bassin versant en temps de crue. Par conséquent, les résultats seront présentés de façon globale afin de les anonymiser au maximum.

Les zones ont été choisies en fonction du contexte topographique (proximité siège d'exploitation- cours d'eau ou conjoncture pente/pâture par exemple) et de la facilité d'accès afin de faire rapidement les prélèvements et ainsi de profiter de conditions hydrologiques comparables entre sites.

→ Le but de cette campagne d'analyses est la recherche des scénarios favorables au transfert de bactéries sur le bassin du Ris.

Les prélèvements ont été réalisés lors de deux épisodes pluvieux, les 23 et 25 septembre 2020. Les paramètres E.coli et entérocoques intestinaux ont été mesurés sur chaque point.

4.2.1. CONDITIONS HYDROLOGIQUES

Les conditions attendues pour réaliser les prélèvements étaient des conditions pluvieuses favorisant le ruissellement.

L'été 2020 a connu trois épisodes de pluie au-dessus du seuil des 10mm. Cependant ils correspondaient soit à la fin de semaine pour laquelle la mise en analyse n'est pas possible, soit à des jours non travaillés pendant lesquels les prélèvements ne pouvaient pas être réalisés.

Les prélèvements ont donc été réalisés la première semaine de l'automne : 23 et 25 septembre, après des conditions très sèches (cumul de pluie de 15 mm entre le 23 août et le 22 septembre). Le double épisode pluvieux du 23 et 25 septembre a donc été intéressant dans le sens où il permet d'observer la charge bactérienne apportée par la première pluie, puis le transfert de bactéries sur un sol déjà humide et partiellement lessivé.

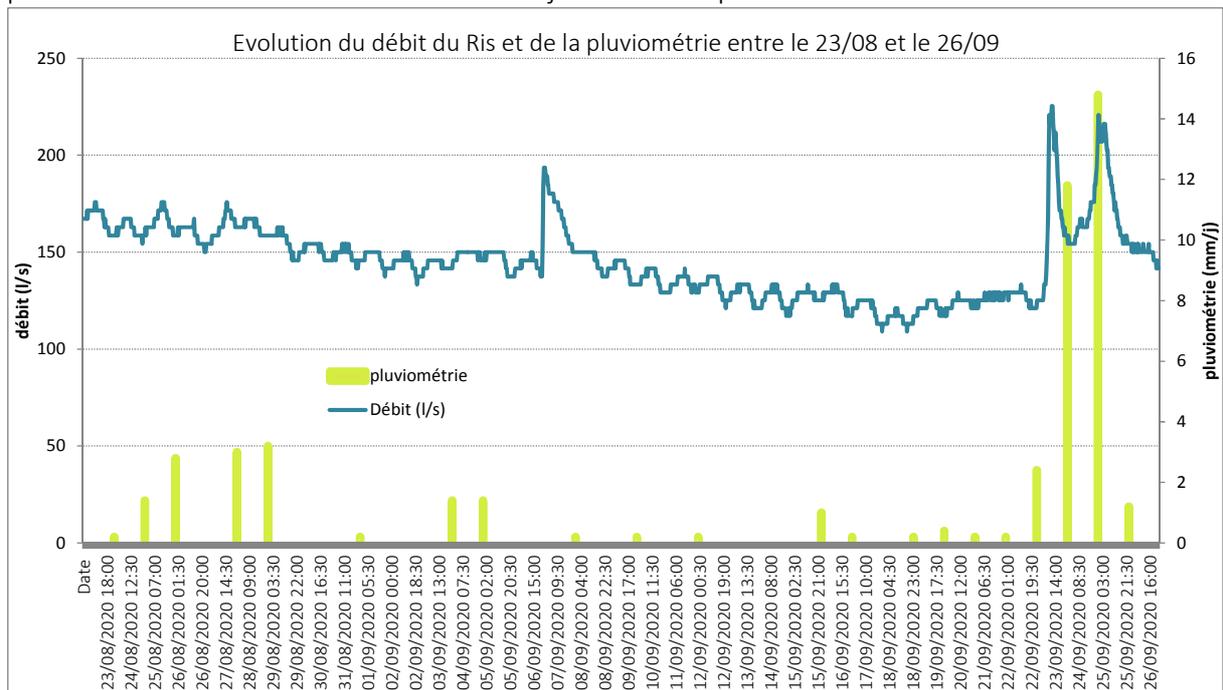


Figure 9 : Débit du Ris et pluviométrie le mois avant le prélèvement.

Le cumul de pluie a permis l'augmentation du débit du Ris de 50%. Avant cette date, les niveaux correspondaient au niveau d'étiage, souvent le plus bas à cette période de l'année.

On note que la pluviométrie est exprimée en mm par jour : la somme est réalisée chaque jour à minuit. Sur la Figure 9, la somme apparaît donc avec un jour de retard.

En zoomant sur la semaine du 21 septembre (Figure 10), on peut situer les deux phases d'échantillonnages dans le temps. La première, celle du 23 septembre, a été réalisée pendant le pic de crue entre 10h et 12h.

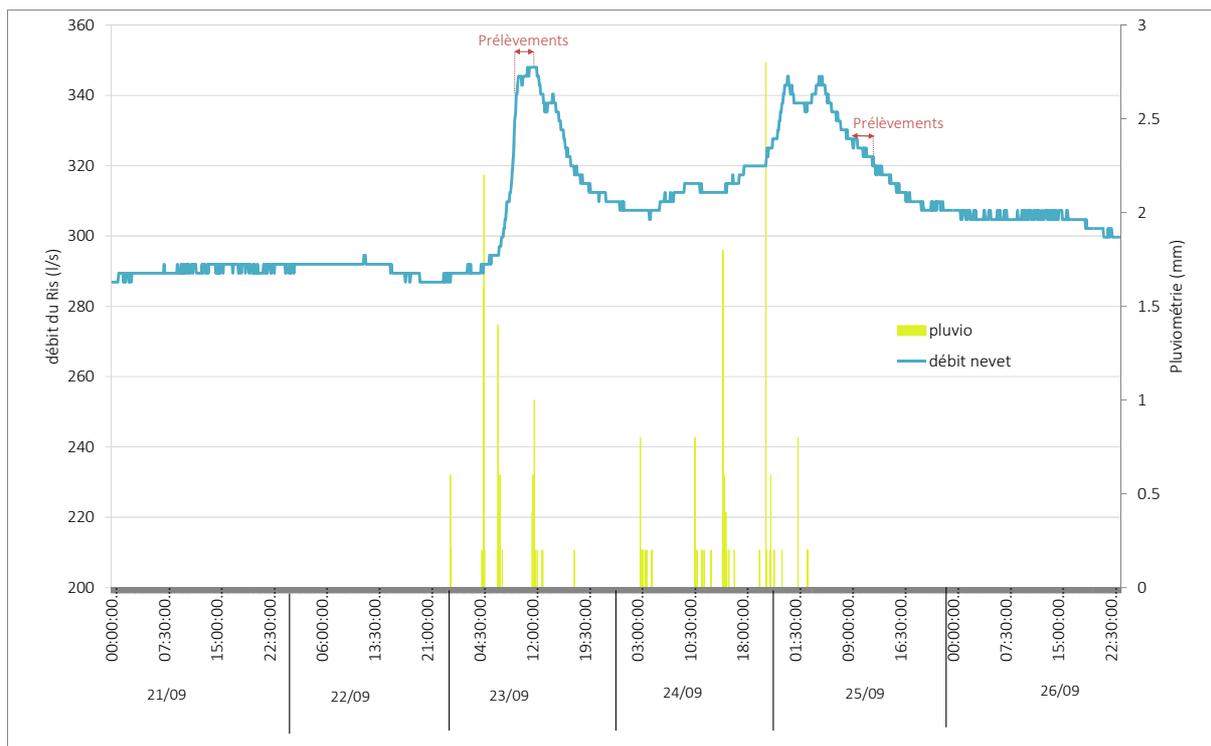


Figure 10 : Evolution du débit du Ris et de la pluviométrie entre le 21 et le 26 septembre

La seconde partie des prélèvements a été réalisée le 25/09 entre 10h et 12h40, en phase de décrue. Les conditions hydrologiques de ces deux campagnes, de par leur différence, permettront d'avoir une lecture complémentaire des résultats.

Les photos de terrain témoignent en effet des conditions de crue, plus intenses le 23/09 : on observe une turbidité importante de l'eau (transfert de matières organiques important) :



Le Ris à Kerervern



Le Ris au Juch (station 5)

Figure 11 : Photographies des points de prélèvement le 23/09 (crédit EPAB)

4.2.2. RESULTATS ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

La Figure 12 présente la localisation des zones de prélèvements pour cette 2^e campagne.

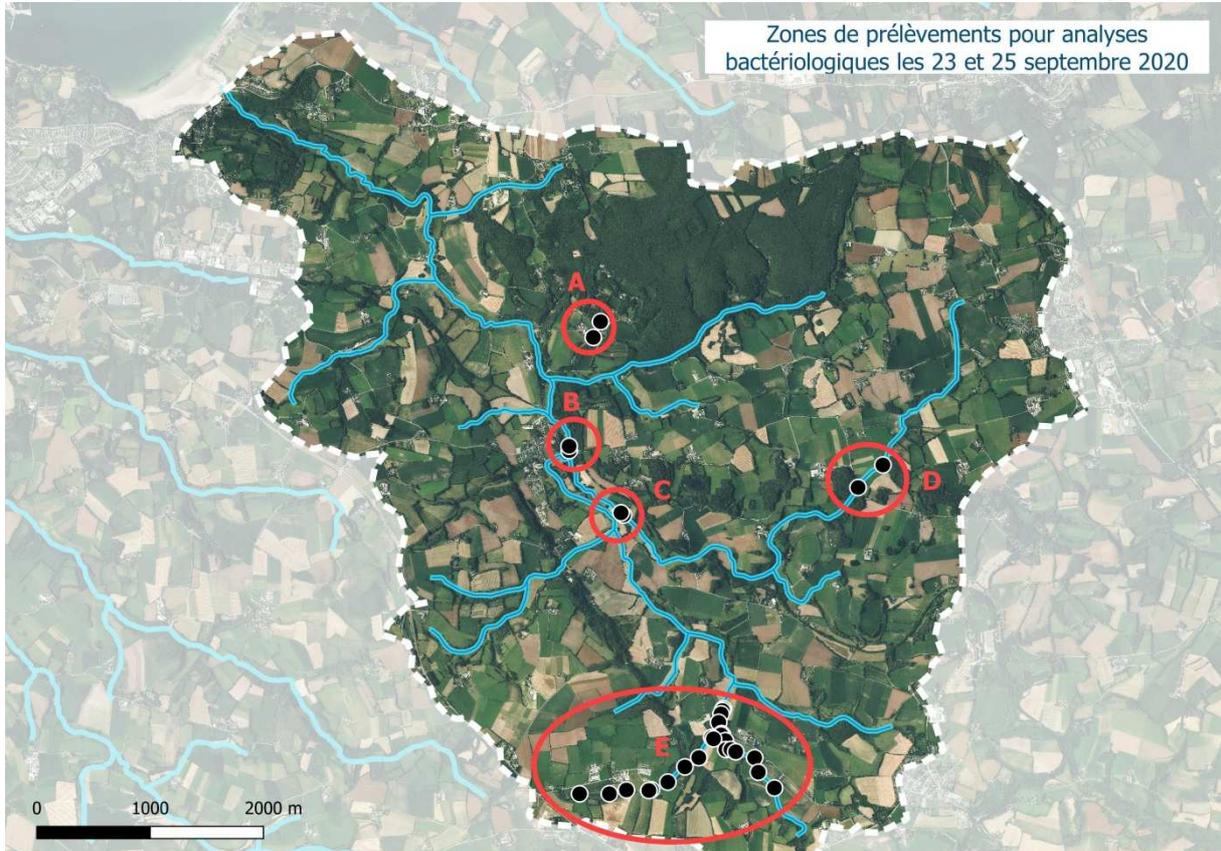
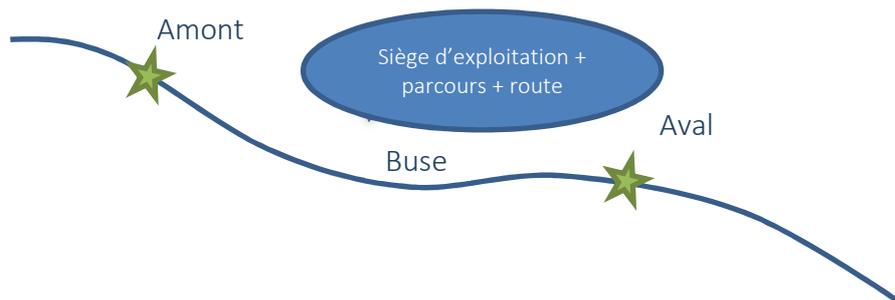


Figure 12 : Carte présentant la localisation des points de prélèvement de la 2^e campagne

Note : En raison de l'évolution exponentielle des populations de bactéries, les résultats des analyses s'interprètent en log 10, une augmentation est réellement significative au-delà d'un facteur 10. Toutes les variations sont exprimées en log 10.

ZONE A

La zone A correspond à un suivi amont/aval d'un site recueillant les eaux de ruissellement d'un siège d'exploitation. Le point amont est situé près d'une source : seules quelques maisons et quelques parcelles sont en amont du point de prélèvement. Le point aval se situe plus bas sur le même bras, à proximité du rejet d'une buse de collecte des eaux pluviales, mais sans qu'il y ait d'autre confluence majeure entre les deux points. La buse collecte les eaux pluviales de la route et d'une partie d'un siège d'exploitation.



Les résultats sur ce point sur les suivants :

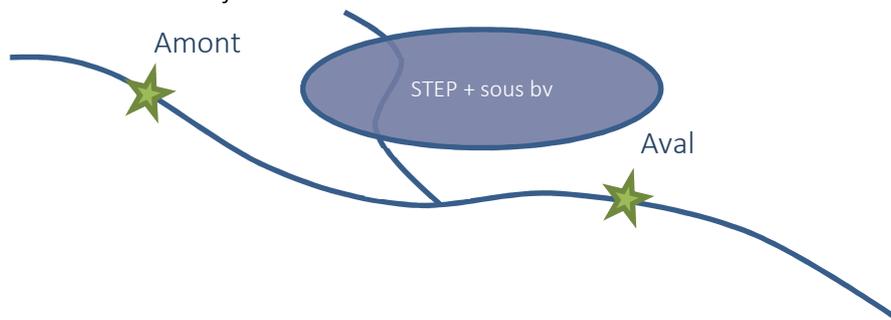
	23/09/2020		25/09/2020	
	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)
Amont (A)	38	7380	<38	395
Aval (A)	1953	18590	706	951

Le 23/09, le point amont présente des valeurs significatives en E.coli uniquement. Les sources potentielles d'apport en E.coli sur ce point sont les assainissements individuels du hameau qui se trouvent au-dessus du point de prélèvement, la faune sauvage et quelques parcelles agricoles en amont du point. Le point aval présente des valeurs d'un écart suffisant pour témoigner d'un apport de charge bactérienne entre ces deux points, tant en entérocoques qu'en E.coli. Les sources potentielles d'apport en bactéries sur le point aval sont le ruissellement sur le siège d'exploitation, les parcours et la route.

Le 25/09, la charge bactérienne en amont comme en aval est moins élevée. Cependant on a un écart de 2 log₁₀ sur les entérocoques et de 0.5 log₁₀ pour les E.coli : le scénario d'une source de pollution bactérienne apportée par la collecte des eaux pluviales semble privilégié lors de cette deuxième campagne.

ZONE B

Sur la zone B, on effectue un prélèvement amont/aval par rapport au rejet de la STEP. Le point aval est situé dans le cours principal du Ris, après confluence avec le ruisseau dans lequel est effectué le rejet de la STEP.



Les résultats sont les suivants :

	23/09/2020		25/09/2020	
	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)
Amont (B)	5972	67050	23150	10490
Aval (B)	8890	99780	18430	12460

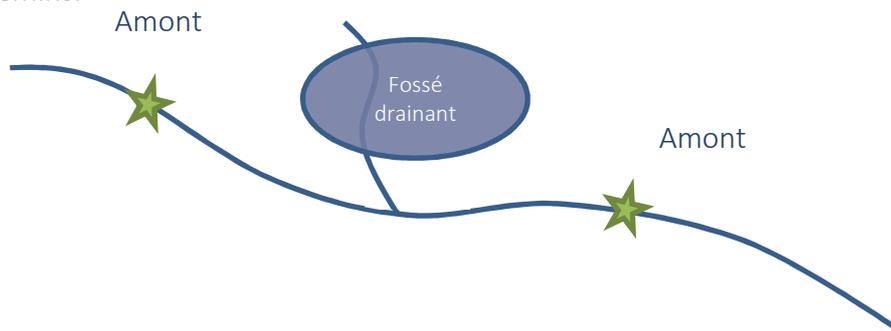
Le 23/09, on observe une augmentation des concentrations en E.coli suffisante pour être significative (différence de 0.5 log₁₀). Les sources potentielles de contamination sont la STEP du Juch et le sous-bassin versant du ruisseau dans lequel se jette le rejet de la STEP.

On note toutefois que sur le point amont la charge en bactéries est déjà très importante.

Les prélèvements du 25/09 ne permettent pas de conclure quant à un apport de bactéries en aval de la STEP. Les concentrations sont sensiblement égales.

Zone C

La zone C comprend deux sites de prélèvements sur le Ris : amont et aval d'un fossé drainant plusieurs parcelles agricoles pâturées. Ce fossé recueille également des eaux de ruissellement des chemins.



Les résultats sont les suivants :

	23/09/2020		25/09/2020	
	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)
Amont (C)	19450	63980	27020	17590
Aval (C)	13490	49400	33630	15910

Sur ce point, quelle que soit la campagne, les résultats ne permettent pas de mettre en évidence d'apports de charge bactérienne par le fossé drainant. Les niveaux de concentration en E.coli et en entérocoques intestinaux sont très élevés le 23 comme le 25 septembre sur le point amont comme sur le point aval, témoignant d'une pollution qui vient de plus haut sur le bassin versant. Les résultats à l'aval diffèrent de moins de 0.5 log₁₀, ce qui est peu significatif.

ZONE D

La zone D comprend deux sites de prélèvements situés en amont et en aval de parcelles pâturées. Les parcelles situées de part et d'autre des rives sont pâturées. Ce sont de grandes parcelles, plutôt plates et gérées correctement (présence d'un fil empêchant l'accès à l'eau du bétail, berges en bon état et entretenues, pas de zones de piétinement à proximité du cours d'eau). L'idée de cette zone de suivi est d'évaluer l'impact d'une pâture conforme sur la qualité de l'eau.

Les résultats sont les suivants :

	23/09/2020		25/09/2020	
	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)	Entérocoques intestinaux (npp/100ml)	Escherichia coli (npp/100ml)
Amont (D)	> 820670	> 820670	14470	7210
Aval (D)	471510	> 820670	2500	5330

Le 23 septembre, les concentrations en E.coli et en entérocoques intestinaux dépassent la limite de quantification maximale sur le point amont.

En aval, on observe une diminution de la concentration en entérocoques intestinaux. Cette diminution peut être due à l'auto-épuration du cours d'eau ou à un effet de dilution induit par les eaux collectées par le drain (tuyau observé à mi-parcelle). Cependant, on ne peut pas quantifier le facteur de diminution, car on ne connaît pas la charge exacte en entrée de parcelle.

Le 25/09, la charge bactérienne en amont de la parcelle est bien inférieure à celle observée le 23/09. Cela peut s'expliquer par le fait que les prélèvements aient été faits pendant la décrue, mais aussi car la crue du 23/09 était la première depuis un mois et a certainement entraîné un ruissellement plus important. On observe là également une diminution des entérocoques intestinaux en aval de la pâture : au vu du faible débit du drainage, on peut raisonnablement expliquer cette diminution par l'auto-épuration du cours d'eau.

Les résultats sur ce point sont difficilement interprétables car la charge bactérienne en entrée de parcelle est trop importante : il est proposé de réaliser une dernière campagne de prélèvements spécifiquement sur ce bras en remontant le cours d'eau par temps de pluie. Cette campagne a été réalisée le 2 octobre 2020.

ZONE E

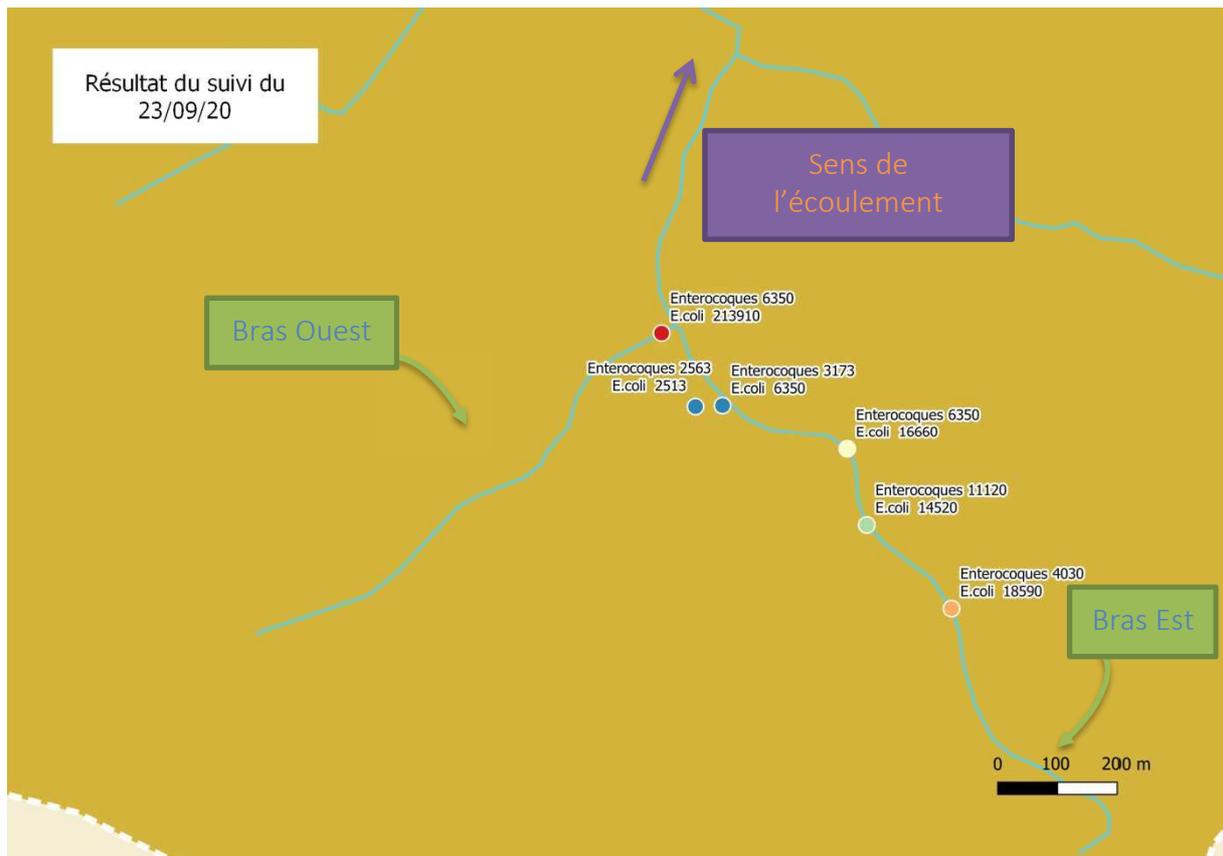
L'étude de la zone E a consisté en une remontée d'un bras du cours d'eau du Ris. Le point aval correspond au point de prélèvement n°8 de la campagne du 11 juin. Sur ce point, les résultats faisaient état d'une charge bactérienne élevée (Entérocoques = 6×10^5 npp/100ml et E.coli = 8.7×10^5 npp/100ml) et l'étude des marqueurs génétiques montraient une pollution confirmée d'origine porcine et bovine.

Une première prospection a permis de placer plusieurs points de prélèvements sur ce bras. Les sites de prélèvements ont été définis selon les caractéristiques suivantes :

- Présence d'un affluent, fossé => prélèvement amont et aval ou fossé et aval
- Présence d'une zone de piétinement => prélèvement à l'aval
- Présence d'un chemin, d'un fossé => prélèvement à l'aval
- Prélèvements espacés de quelques centaines de mètres dans le cas où il n'y a rien de particulier entre deux points

Sur ce sous-bassin versant, les prélèvements ont été réalisés sur un bras uniquement le 23/09 et sur l'ensemble du bassin versant le 25/09.

Les résultats sont cartographiés ci-dessous :



Le 23 septembre, le suivi a été réalisé essentiellement sur le bras Est, d'amont vers l'aval, à l'exception du point aval qui se trouve sur le bras Ouest. Les résultats montrent que dès l'amont, les quantités d'E.coli sont de l'ordre de 1.8×10^4 npp/100ml. Cette valeur témoigne d'un apport de bactéries par ruissellement, elle est trop élevée pour correspondre à un bruit de fond naturel. Les trois points amont ont des teneurs équivalentes en E.coli. Le point situé sur le bras ouest présente des valeurs très élevées en E.coli avec une valeur de 2×10^5 npp/100ml. Cette mesure témoigne d'une pollution bactérienne ponctuelle.

En entérocoques, sur l'ensemble des points, la charge est variable de l'ordre de 0.5 log10 entre les points : cela peut se traduire soit par un abattement naturel des populations bactériennes entre deux points, soit par des augmentations très ponctuelles (ruissellement ponctuel sur des déjections bovines par exemple). Ces écarts restent peu significatifs. Le bruit de fond, de l'ordre de 2 à 6×10^3 est trop élevé pour être naturel et témoigne là aussi d'une pollution plus chronique.



Les concentrations en E.coli et en entérocoques intestinaux sont exprimés en npp/100ml

Le 25 septembre, l'ensemble du sous bassin a pu être analysé. Plusieurs constats peuvent être tirés de ces analyses :

1. Sur le bras ouest, la source (n°24) présente des valeurs peu élevées en E.coli et en entérocoques intestinaux. On peut considérer ces valeurs comme un bruit de fond naturel et acceptable, et qui permettent de donner une référence par rapport aux autres résultats d'analyse.
2. En aval de ce point (n°23), on note une forte augmentation en E.coli (+1 log10), et en entérocoques (+0.5 log10). A proximité de ce point, la personne en charge des prélèvements a noté la présence de bétail dans le cours d'eau. Le fil est bien présent, mais il semble être tombé de façon accidentelle, permettant aux animaux de le dépasser et d'accéder directement à l'eau.



Figure 13 : photos station n°23 (à gauche le fil à terre, à droite le piétinement des bovins en bordure du cours d'eau)

Au niveau du point 21, l'équipe a noté la présence d'une tranchée en bas d'un chemin (parcours des animaux), facilitant l'évacuation des eaux de ruissellement.

Ce court-circuitage du cheminement de l'eau permet d'accélérer le transfert direct de matières.

3. Entre ces premiers points et la zone de confluence avec le bras venant de l'Est (n°15), on note un abaissement de la charge bactérienne dans l'eau. Celui-ci est vraisemblablement dû au caractère épuratoire du cours d'eau.
4. Sur le bras venant de l'Est, on observe la même évolution que le 23 septembre. A l'amont entre les deux premiers points on a une augmentation de l'ordre d'un log10 pour les E.coli, puis une diminution sur les points suivants.
5. A l'aval, entre les points 1 et 2, on a une augmentation significative de la charge en E.Coli. Celle-ci est due au surpiétinement d'un petit pont aménagé à proximité d'un bac d'eau. Sur cette parcelle, la gestion du pâturage est respectueuse de la réglementation, un fil est présent en continu le long du cours d'eau et l'installation de bac pour l'eau a été effectuée par l'EPAB en 2018. Cependant, l'abreuvement des animaux à cet endroit entraîne un surpiétinement à proximité de l'eau, et du fait d'une légère pente, favorise par ruissellement le transfert de matières fécales bovines lors d'évènements pluvieux.



Figure 14 : Localisation des points 1 et 2

4.2.3. BILAN DE LA 2E CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS

Ces deux campagnes de prélèvements ont permis de mettre en évidence certaines sources de pollution ponctuelles :

- Le piétinement des animaux dans le cours d'eau
- Le surpiétinement à proximité de l'eau
- Le lessivage des sièges d'exploitation

Cependant, ces mesures n'ont pas permis de mettre en évidence que les fossés collectant les eaux de ruissellement des chemins d'exploitation entraînaient de pollution bactérienne

significative ni qu'une pâture seule et bien gérée pouvait engendrer de transfert de bactéries (en raison d'un nombre trop important de bactéries à l'entrée de la parcelle).

Par ailleurs, ces mesures ont permis de rendre compte du caractère épuratoire du cours d'eau en l'absence de sources d'apports de charges bactériennes : dans la zone E, et même après une crue, les concentrations en E.coli et en entérocoques intestinaux diminuent entre les points 21 et 15. L'auto-épuration de l'eau est due à deux phénomènes principaux : la sédimentation des matières fécales et la mortalité des populations bactériennes par prédation, lyse et en raison des UV dans la colonne d'eau.

Enfin, ce suivi a permis d'observer les différences notables de concentrations en bactéries selon l'instant de prélèvement. En effet, les deux campagnes ont eu lieu après des pluies significatives, mais pas au même moment par rapport au pic de crue. Par ailleurs, il semblerait que la première crue le 23/09 ait entraîné un transfert de pollution bactérienne beaucoup plus important : cela s'expliquerait par deux facteurs :

- le fait que les sols étaient très secs et ne permettaient donc peu l'infiltration de l'eau, favorisant un ruissellement en surface : ce phénomène entraîne un transfert plus important de bactéries, car le temps de transfert est diminué
- le fait que la charge bactérienne sur le sol est importante : c'est en effet la première pluie après épandage de fertilisant organique/ stockage de fumier ou sur des surfaces portant des déjections bovines (pâtures, chemins, parcours, sièges d'exploitation) qui est la plus efficace en terme de transfert de polluants vers le cours d'eau.

4.3. 3^{EME} CAMPAGNE : ANALYSE DES BACTERIES DANS L'EAU (02/10)

Une troisième campagne de prélèvement a été réalisée le 2 octobre sur le bras en amont de la zone D et au niveau de la confluence des bras Est et Ouest de la zone E afin de conforter les résultats des campagnes du 23 et du 25 septembre.

Les résultats retrouvés sur la zone D le 23 septembre avaient pour objectif d'évaluer l'impact d'une pâture bien gérée sur la qualité bactériologique de l'eau. Les résultats montraient des concentrations en E.coli et en entérocoques intestinaux supérieures aux limites maximales de quantification (>820670 npp/100ml). Compte-tenu de ces valeurs élevées, l'impact de la pâture n'a pas pu être mis en évidence mais a permis d'identifier une pollution ponctuelle importante sur cet affluent. Les prélèvements de la 3e campagne ont commencé à l'amont de la pâture jusqu'à la source.

4.3.1. CONDITIONS HYDROLOGIQUES

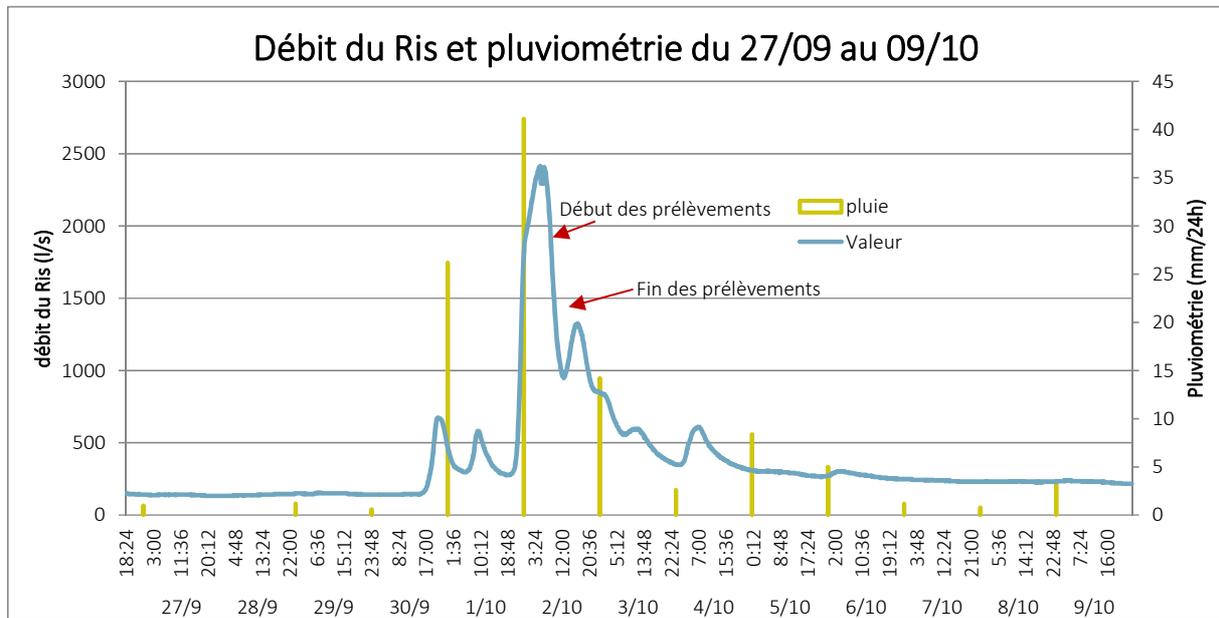


Figure 15 : Graphique présentant les conditions hydrologiques pour la 3^e campagne de prélèvement

Les prélèvements ont été réalisés lors de la décrue et à la reprise d'une nouvelle crue lors de conditions pluvieuses. L'épisode pluvieux a entraîné une augmentation du débit du Ris de presque 9 fois son débit d'origine. Le pic de crue a été atteint entre 6 et 7h le 2 octobre. Les observations de terrain montrent une légère turbidité de l'eau sur une grande partie des prélèvements. La turbidité est beaucoup moins importante que lors de la crue du 23 septembre



Zone profonde



Zone de radier

Figure 16 : illustration des observations de terrain

4.3.2. RESULTATS

Les résultats sont les suivants :

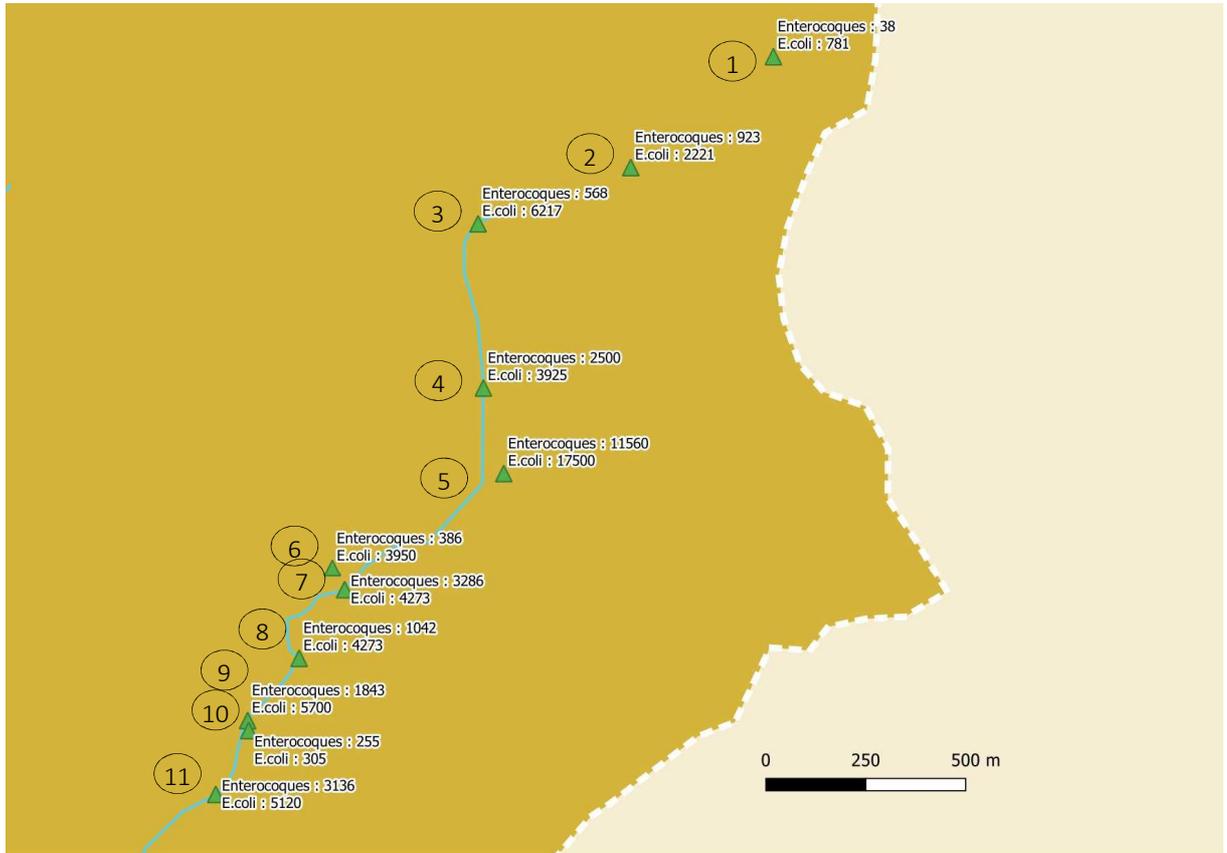


Figure 17 : résultats de la 3e campagne d'analyses d'eau

Plusieurs constats peuvent être faits en partant de la source :

- Le point le plus en amont(1) présente des valeurs peu élevées en E.coli et en entérocoques intestinaux. On peut considérer ces valeurs comme un bruit de fond naturel et acceptable, et qui permettent de donner une référence par rapport aux autres résultats d'analyse.
- Une première augmentation de la concentration en entérocoques est notée dès le point 2 : A cet endroit, il existe une large bande enherbée de chaque côté du cours d'eau. Le maïs des parcelles de part et d'autre du cours d'eau a été récemment récolté, seules les cannes sont encore présentes mais malgré la forte pluie on ne note pas de griffes d'érosion ou de court-circuitage de la bande tampon. Le prélèvement est fait directement à l'aval de la route qui collecte des eaux pluviales (forte pente). La source d'apport bactérien n'est pas évidente à identifier parmi ces observations.
- Le point 5 montre également une augmentation. Ce point n'a pas été fait sur le cours principal mais sur un petit affluent. Contrairement aux autres points de prélèvement – à part la source – l'eau était limpide sur ce point. Cela pourrait être interprété comme

étant une pollution qui n'est pas liée à un ruissellement sur chemin ou parcelle car le ruissellement entraîne également un transfert de matière important.

- Le point 6 est également situé sur un affluent, c'est un fossé qui collecte les eaux pluviales et possiblement de drainage des parcelles amont. Les valeurs témoignent d'un apport relativement faible de charge bactérienne.
- Le point 10 est également un fossé, situé en zone humide. Les valeurs retrouvées sur ce point correspondent au bruit de fond acceptable et qui pourraient notamment être imputées à la faune sauvage.

Les niveaux retrouvés sont beaucoup plus faibles que ceux mesurés lors de la campagne du 23 septembre. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le 23/09 il s'agissait de la première forte pluie depuis un mois. Ainsi, le transfert par ruissellement des charges bactériennes entre les parcelles ayant été fertilisées /les zones de stockage de fumier /les pâtures / les surfaces imperméables (chemin, parcours) et le cours d'eau aurait été plus important lors de la première pluie.

BILAN

La remontée du bras en amont de la zone E n'a pas permis de retrouver des niveaux de pollution bactériologique tels que ceux mesurés le 23 septembre. Cependant, ces analyses ont tout de même permis de mettre en évidence certains points problématiques, ainsi que des zones ne drainant pas ou peu de charge bactérienne.

4.4.CAMPAGNE D'ANALYSES BACTERIOLOGIQUES SUR SEDIMENT

Deux campagnes de prélèvement sur le compartiment « sédiment » ont été réalisées : La première campagne, le 17 septembre, permettait d'évaluer la quantité d'E.coli présents dans les sédiments par temps sec. La seconde, le 5 octobre, a été réalisée après les crues du 1 et 2 octobre, le temps que les matières en suspensions se soient redéposées.

Le protocole de prélèvements pour les sédiments, consiste à échantillonner en différents points du cours d'eau les zones de dépôts. Le matériel utilisé était la cuillère en inox, ou directement par transfert pour le point en zone humide et sur l'estran (voir photos ci-dessous). Seuls les E.coli sont analysés sur ce compartiment.



Figure 18 : Illustrations des opérations de prélèvement de sédiments

Le Ris est un cours d'eau qui possède un lit majoritairement sableux. Dans les zones de dépôt, les sédiments deviennent sablo-limoneux. On observe parfois un colmatage organique. La partie supérieure du sédiment est prélevée, de l'ordre de 2-3 cm. Les résultats de la première campagne sont les suivants :

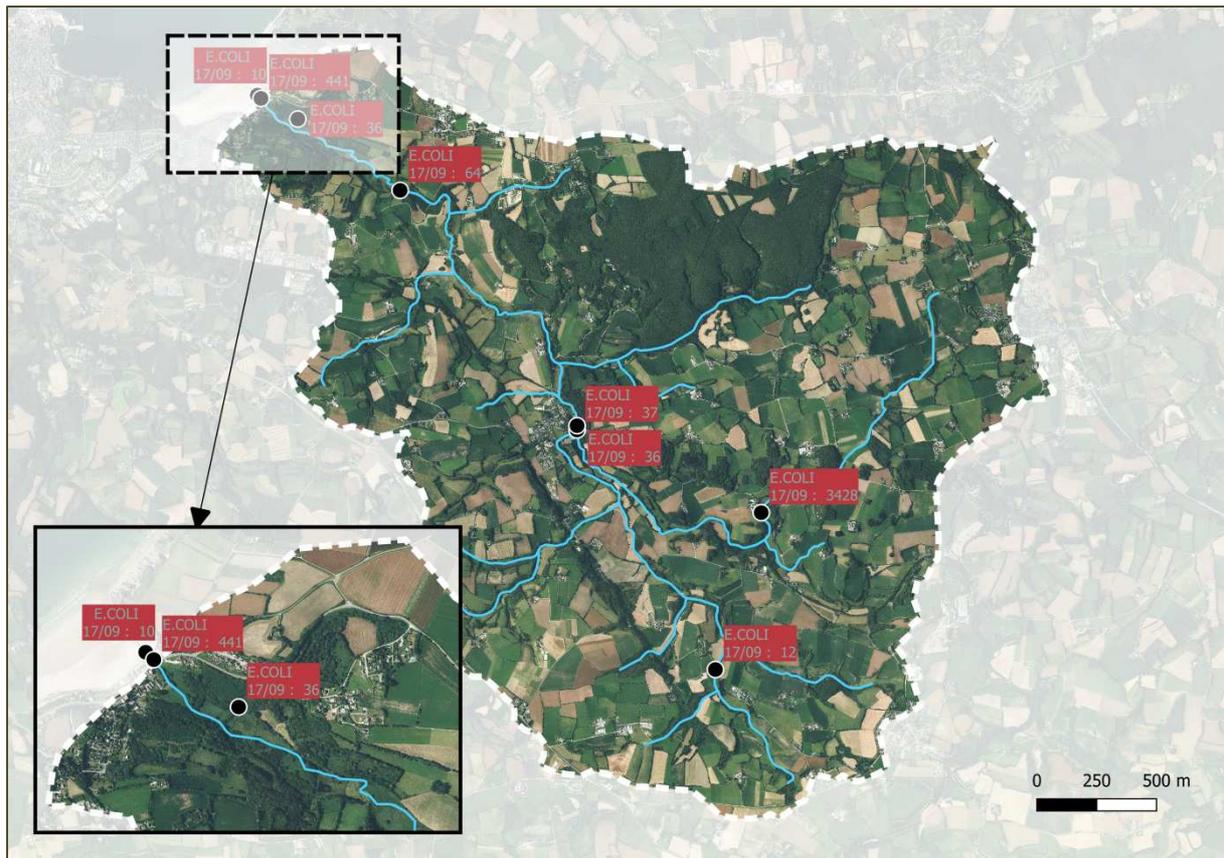


Figure 19 : résultats de la 1^e campagne d'analyses bactériologiques sur sédiments

A l'aval, les prélèvements ont été faits sur :

- le sable en haut d'estran et au bord du cours d'eau (résultat E.coli : <10 npp/100ml)
 - Au pied du pont, en rive droite, le prélèvement a été fait dans une profondeur d'environ 10cm, sur un substrat sablo-limoneux avec un peu de colmatage organique (résultat E.coli : 441 npp/100ml)
 - Dans une zone humide à l'aval du lieu-dit Kerdiouzet. Des analyses bactériologiques sur l'eau avaient été réalisées à cet endroit par la Ville de Douarnenez et faisaient état de concentrations en E.coli et en entérocoques élevées. Le résultat sur les sédiments (E.coli = 36 npp/100ml) ne met pas en évidence de pollution bactériologique.
- ✓ Plus en amont, deux prélèvements ont été réalisés en amont et en aval de la STEP du Juch dans le cours principal. Les résultats (E.coli = 37 npp/100ml à l'amont) et (E.coli = 36 npp/100ml à l'aval) ne témoignent pas de charge bactériologique contenue dans les sédiments.
 - ✓ A l'aval de la retenue de Keratry (E.coli = 64 npp/100ml) et dans l'étang de Crinquellie (E.coli = 12 npp/100ml), les concentrations relevées sont également faibles. Pour l'étang de Crinquellie, le sédiment est de type organique (milieu stagnant).

- ✓ Enfin au lieu dit Kernogant les prélèvements ont été faits dans une zone de dépôt (voir photo ci-après) : les résultats montrent là une charge importante en E.coli (3428 npp/100ml).



Avec l'exutoire, le point à Kernogant indique que les sédiments du Ris peuvent ponctuellement renfermer des concentrations en E.coli importantes. La bibliographie, indique que les sédiments peuvent se comporter comme des réservoirs à bactéries : une fois dans le cours d'eau, celles-ci s'agglomèrent entre elles ou à de la matière organique avant de sédimenter. Ensuite, dans le sédiment, elles ont des conditions de survie favorables et peuvent persister dans ce milieu. Enfin, les crues remanient le substrat et permettent une remise en suspension de ces bactéries. Nagels et al (2002) a estimé que lors des crues la contamination en E.coli provenant des sédiments était de 30 %.

La seconde campagne de prélèvement s'est uniquement focalisée sur les deux points sur lesquels les concentrations en E.coli retrouvées étaient importantes, et a eu lieu le 5 octobre après une décrue.

Les résultats de la seconde campagne de prélèvements sont les suivants :

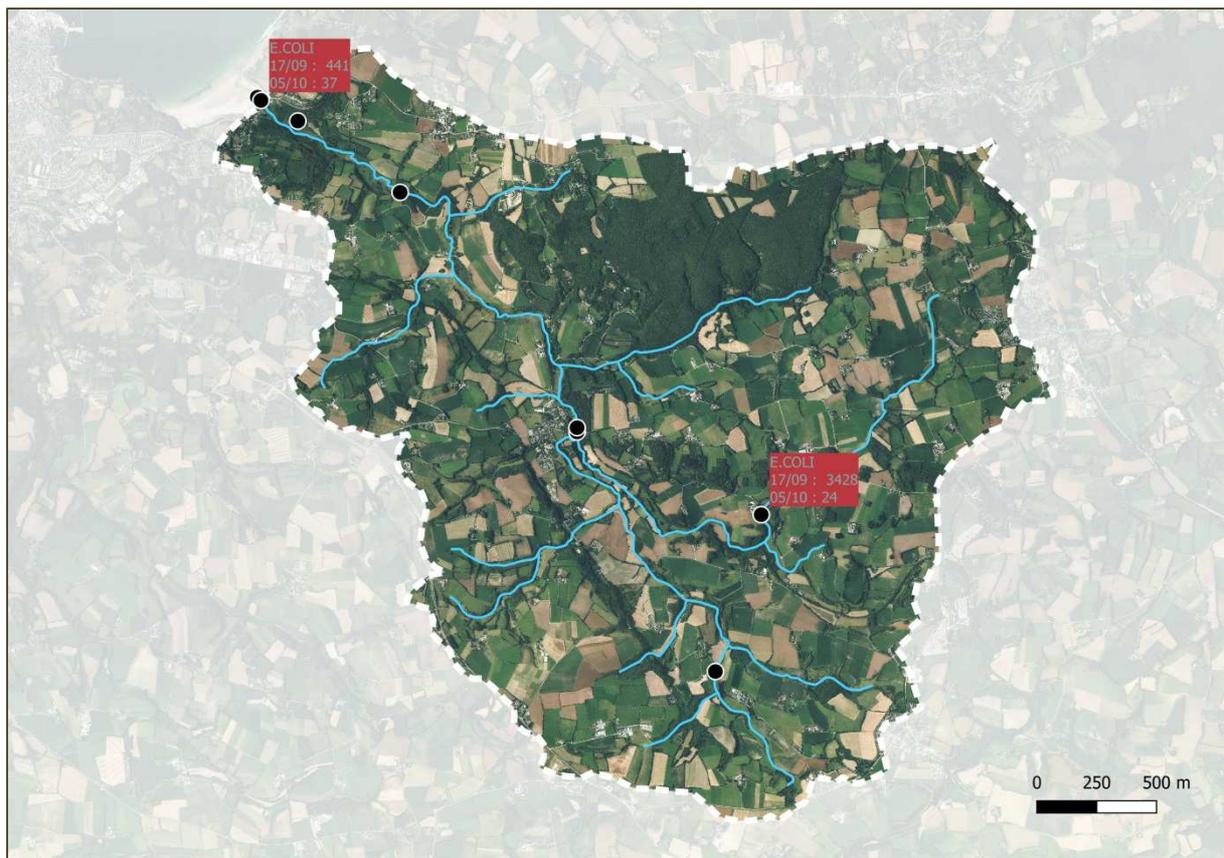


Figure 20 : résultats de la 2^e campagne d’analyses bactériologiques sur sédiments

Après les précipitations du début du mois d’octobre, les prélèvements ont été réalisés lors de conditions hydrologiques stables. Les résultats montrent une absence de charge bactérienne dans les sédiments.

La combinaison de deux phénomènes pourrait permettre d’expliquer ces résultats :

- la remise en suspension dans la colonne d’eau des sédiments par les crues ayant eu lieu entre le 17/09 et le 05/10
- un apport moins important de bactéries lors des dernières crues (niveaux mesurés en amont moins élevés que fin septembre)

BILAN

Les analyses sur les sédiments ont permis de constater que les sédiments du Ris ne sont que très ponctuellement chargés en E.coli : sur l’ensemble des 8 points de la première campagne, seuls 2 présentent des concentrations élevées. Lors de la seconde campagne, après une crue, ces deux points sont dépourvus de pollution bactériologique

Sur ce compartiment, le nombre d’analyses ne permet que de faire des observations ponctuelles, et non de tirer des conclusions sur la capacité de stockage bactérien des sédiments du Ris. Cependant ces analyses ont permis de montrer que sur ce bassin versant, il existe des zones d’accumulation des populations bactériologiques dans les sédiments.

CONCLUSION

L'étude bibliographique sur les indicateurs bactériens de la qualité des eaux de baignade a introduit quelques notions fondamentales pour permettre de comprendre ce type de pollution à l'échelle d'un bassin versant :

- E.coli et Entérocoques intestinaux sont deux familles bactériennes distinctes ; leur point commun est leur habitat principal, le système digestif de la plupart des animaux
- Dans les déjections bovines, les populations d'E.coli croient puis diminuent pour retrouver une valeur initiale jusqu'à 5 semaines après excrétion. Dans le fumier, leur survie dépend de la texture de l'effluent, du type d'animal, et du traitement éventuel (aération) ;
- Les transferts latéraux des premiers mètres aux premiers décimètres aux abords des cours d'eau sont les principales sources d'apports bactériens ;
- Les bactéries fécales peuvent migrer et subsister dans le sol, mais elles deviennent alors peu mobiles ;
- Les sédiments des cours d'eau peuvent être d'importants réservoirs bactériens, les crues des vecteurs de déplacement vers la colonne d'eau ;

Le suivi mis en place par l'EPAB a permis de mettre en évidence l'omniprésence de bactéries d'origine bovine sur les 6 points de prélèvements répartis sur l'ensemble du bassin versant du Ris lors des mesures du 11 juin.

Ce suivi a de manière plus détaillée permis d'identifier des tronçons de cours d'eau qui, dans des conditions de ruissellement optimales, peuvent porter des charges bactériennes supérieures aux capacités analytiques du laboratoire. Le piétinement des berges, le surpiétinement des ouvrages de franchissement et le ruissellement aux abords du siège d'exploitation sont également des vecteurs de transfert de charge bactérienne que les résultats de ce suivi mettent en avant. Par ailleurs, certaines zones de sources présentent des valeurs correspondant aux valeurs naturellement présentes, et les capacités épuratoires du cours d'eau ont également pu être observées. Enfin, les sédiments du Ris peuvent porter une certaine concentration de bactéries, mais les résultats ne mettent en lumière ni leur omniprésence, ni leur abondance.

Cette étude permet d'apporter des éléments nouveaux dans la compréhension des mécanismes menant aux pollutions bactériologiques de la zone de baignade de la plage du Ris.

La pollution bactériologique étant diffuse sur le bassin versant du Ris, et majoritairement d'origine bovine, une approche globale à l'échelle des exploitations agricoles, du siège au parcellaire, sera proposée aux agriculteurs du territoire par l'EPAB.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

TEXTES REGLEMENTAIRES

- **Arrêté 2020055-0001 du 24/02/2020** - Arrêté préfectoral délimitant le bassin versant en amont de la plage du RIS (communes de Douarnenez et de Kerlaz) et définissant le programme de mesures obligatoires à mettre en œuvre pour diminuer la concentration bactérienne dans les eaux se déversant sur la plage
- **Directive Européenne 2006/7/CE** du Parlement européen et du Conseil concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE
- **Norme ISO 7899-1** Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux de surface et résiduaires

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K. and Snozzi, M. (2001). Indicators of microbial water quality. In: Water quality-Guidelines, standards and health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Fewtrell, L. and Bartram, J. (Eds.). IWA Publishing, London, United Kingdom, on behalf of the World Health Organization.
- Byappanahalli, M.N., Nevers, M.B., Korajkic, A., Staley, Z.R. and Harwood, V.J. (2012a). Enterococci in the environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*
- Boehm, A.B. and Sassoubre, L.M. (2014). Enterococci as indicators of environmental fecal contamination. In: Enterococci: From commensals to leading causes of drug resistant infection. Gilmore, M.S. et al., eds. Massachusetts Eye and Ear Infirmary, Boston, Massachusetts.
- Cabelli, V.J. (1983). Health effects criteria for marine recreational waters. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- Cabral, J.P.S. (2010). Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*
- Diarra, M.S., Silversides, F.G., Diarrassouba, F., Pritchard, J., Masson, L., Brousseau, R., Bonnet, C., Delaquis, P., Bach, S., Skura, B.J. et Topp, E. (2007). Impact of feed supplementation with antimicrobial agents on growth performance of broiler chickens, *Clostridium perfringens* and *Enterococcus* counts, and antibiotic resistance phenotypes and distribution of antimicrobial resistance determinants in *Escherichia coli* isolates. *Appl. Environ. Microbiol.*,
- Donnison, A.M. (1992). Enumeration of enterococci in New-Zealand waters and effluents. *Environ. Technol.*
- Dorioz, Quetin, Prigent-Combaret, Trevisan. (2011) Rôle des facteurs édaphiques et hydrométéorologiques dans la survie et le transfert de bactéries fécales bovines, à l'échelle bassin versant : cas de pâturages d'altitude. *Etude et Gestion des Sols*, Association Française pour l'Etude des Sols.
- Duriez, P. et Topp, E. (2007). Temporal dynamics and impact of manure storage on antibiotic resistance patterns and population structure of *Escherichia coli* isolates from a commercial swine farm. *Appl. Environ. Microbiol.*,

Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J. et Allen, M.J. (2000). *Escherichia coli*: The best biological drinking water indicator for public health protection. J. Appl. Microbiol. Symposium Supplement.

Ervin, J.S., Russell, T.L., Layton, B.A., Yamahara, K.M., Wang, D., Sassoubre, L.M., Cao, Y., Kelty, C.A., Sivaganesan, M., Boehm, A.B., Holden, P.A., Weisberg, S.B. and Shanks, O.C. (2013). Characterization of fecal concentrations in human and other animal sources by physical, culture-based, and quantitative real-time PCR methods. Water Res.,

Ferguson D., Signoretto C. (2011) Environmental Persistence and Naturalization of Fecal Indicator Organisms. In: Hagedorn C., Blanch A., Harwood V. (eds) Microbial Source Tracking: Methods, Applications, and Case Studies. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9386-1_17

Frick, C., Vierheilig, J., Linke, R., Savio, D., Zornig, H., Antensteiner, R., Baumgartner, C., Bucher, C., Blaschke, A.P., Derx, J., Kirschner, A.K.T., Ryzinska-Paier, G., Mayer, R., Seidl, D., Nadiotis-Tsaka, T., Sommer, R., et Farnleitner, A.H. (2018). Poikilothermic animals as a previously unrecognized source of fecal indicator bacteria in a backwater ecosystem of a large river. Appl. Environ. Microbiol.

Gordon, D.M. (2013). The ecology of *Escherichia coli*. In: *Escherichia coli: Pathotypes and Principles of Pathogenesis: Second Edition*. Donnenberg, M.S. (ed.) Academic Press. London.

Kay, D., Fleisher, J.M., Salmon, R.L., Jones, F., Wyer, M.D., Godfree, A.F., Zelenauch-Jacquotte, Z. et Shore, R. (1994). Predicting likelihood of gastroenteritis from sea bathing: results from randomized exposure. Lancet,

Leclerc, H., Devriese, L.A. and Mossel, D.A.A. (1996). Taxonomical changes in intestinal (faecal) enterococci and streptococci: Consequences on their use as indicators of faecal contamination in drinking water. J. Appl. Bacteriol.,

Lefebvre, B., Malouin, F., Roy, G., Giguère, K. et Diarra, M.S. (2006). Growth performance and shedding of some pathogenic bacteria in feedlot cattle treated with different growth-promoting agents. J. Food Prot.,

Martínez I, Muller CE, Walter J (2013) Long-Term Temporal Analysis of the Human Fecal Microbiota Revealed a Stable Core of Dominant Bacterial Species. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069621>

Masters, N., Christie, M., Stratton, H. and Katouli, M. (2015). Viability and stability of *Escherichia coli* and enterococci populations in fecal samples upon freezing. Can. J. Microbiol.

Mundt, J.O., Coggin Jr., J.H. and Johnson, L.F. (1962). Growth of *Streptococcus faecalis* var. *liquefaciens* on plants. Appl. Microbiol.

Müller, T., Ulrich, A., Ott, E.-M., Müller, M. (2001). Identification of plant-associated enterococci. J. Appl. Microbiol.

Ott, E., Müller, T., Müller, M., Franz, C.M.A.P., Ulrich, A., Gabel, M. and Seyfarth, W. (2001). Population dynamics and antagonistic potential of enterococci colonizing the phyllosphere of grasses. J. Appl. Microbiol.

Tenaillon, O., Skurnik, D., Picard, B. et Denamur, E. (2010). The population genetics of commensal *Escherichia coli*. Nat. Rev. Microbiol.

Ran, Q., Badgley, B.D., Dillon, N., Dunny, G.M. and Sadowsky, M.J. (2013). Occurrence, genetic diversity, and persistence of enterococci in a lake superior watershed. Appl. Environ. Microbiol.

Sánchez Valenzuela, A., Benomar, N., Abriouel, H., Pérez Pulido, R., Martínez Cañamero, M. and Gálvez, A. (2012). Characterization of *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* from wild flowers. Antonie van Leeuwenhoek, Int. J. Gen. Mol. Microbiol.

DOCUMENTATION TECHNIQUE

Santé Canada, Nov 2018 Conseils sur l'utilisation des entérocoques comme bactéries indicatrices dans les sources d'approvisionnement en eau potable canadiennes - Document de conseils pour consultation publique.

Santé Canada Mars 2020 Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Escherichia coli

Agrotransfert Bretagne : Territ'eau module 7 : bactéries fécales : Caractérisation des sources de bactéries fécales et des situations favorisant leur survie dans l'environnement https://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/DIAGNOSTIC/Bacteries_fecales/

IFREMER – Contamination microbienne en mer par les rejets urbains et agricoles <http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/dossiers/microbio/index.htm>

INRS - Baobab - BAsé d'OBservation des Agents Biologique <https://www.inrs.fr/publications/bdd/baobab.html>

Agence de l'eau Loire Bretagne – 2013 - Guide méthodologique sur la réduction des pollutions bactériologiques sur les bassins versants littoraux

AQUAREF 2015, Guide d'échantillonnage – Opérations d'échantillonnages de sédiments en milieu continental (cours d'eau et plan d'eau) dans le cadre des programmes de surveillance DCE

AQUAREF 2017, Guide d'échantillonnage – Opérations d'échantillonnages d'eau de cours d'eau dans le cadre des programmes de surveillance DCE