

Mastère Spécialisé
Ingénierie et management des risques
en santé, environnement et travail
Promotion : **2015-2016**
Date du Jury : **Novembre 2016**

CARACTÉRISATION DU RISQUE INFECTIEUX
D'ORIGINE HYDRIQUE
EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ,
2012-2014 :
VERS UN OUTIL DE GESTION

Présenté par : Baptiste GROFF
Lieu de stage : Cellule d'Intervention
en Région (CIRE) de Bourgogne
Franche-Comté, Santé publique France
Référent Professionnel :
Claude TILLIER - Coordonnateur CIRE
Référent Pédagogique :
Pierre LE CANN

Remerciements

Ce mémoire est l'aboutissement d'un travail qui n'aurait pu être mené sans l'appui de tous les soutiens formels ou informels au cours de ces derniers mois, et bien avant. Merci à tous ceux qui ont contribué à son élaboration, de manière plus ou moins directe.

Je voudrais remercier très sincèrement mon maître de stage, Claude TILLIER, pour son encadrement, et surtout pour sa générosité dans l'échange et la transmission de savoir. C'est avec un réel plaisir que j'ai pu me former auprès de lui.

Je souhaite également remercier Pierre LE CANN, mon référent pédagogique à l'EHESP, pour ses relectures, ses suggestions et pour son soutien.

Je remercie Elodie TERRIEN, épidémiologiste à la CIRE, pour la contribution au projet ; merci pour ses conseils, ses relectures soignées, et son aide appliquée ! Je tiens à remercier Anne SERRE de m'avoir lancé sur les bons rails, de m'avoir introduit auprès des collègues de Santé Environnement et surtout pour l'enthousiasme communiqué.

Un remerciement particulier aux deux bisontins de la CIRE Bourgogne Franche-Comté, Héloïse SAVOLLE et Olivier RETEL pour leur accueil, leur bonne humeur, leurs remarques avisées et l'aide informatique. Et merci à toute l'équipe de la CIRE pour l'accueil sympathique, les conseils et la logistique.

Merci aux référents de chaque UTSE, avec une attention particulière pour François GENTET, pour son appui technique précieux et ses éclairages. Merci à tous ceux qui ont pris le temps de nous recevoir ou d'échanger pour contribuer à la construction de la base de données ; Frank KRON, Marie-Noëlle SANCEY, Laurence RAVUNG, Sabine GERDOLLE, Hélène PAILLOU, Yves POSWA, Mathieu GAUTHERON, Bruno VERRAIN, Jacqueline LAROSE et Nathalie LABOUR.

Merci aux responsables régionaux, notamment Eric LALaurie, Ingénieur du Génie Sanitaire responsable de l'Unité Régionale Santé Environnement et Nezah LEFTAH-MARIE, Ingénieure du Génie Sanitaire responsable de l'UTSE du Doubs, pour leur intérêt pour cette étude et leurs orientations, ainsi que Linda NOURRY, qui a contribué à l'initiation du projet, et Diane MOLINARO, Ingénieure du Génie Sanitaire chargée des EDCH au niveau régional, pour son intérêt, ses remarques et pour avoir facilité la mise en route de l'étude.

Merci aux interlocuteurs extérieurs qui ont pu m'aider, Pauline ROUSSEAU-GUEUTIN de l'EHESP pour son aiguillage documentaire, ainsi que Jean CARRE et Nicolas CHEYNET d'avoir accepté de prendre un temps d'échange pour faire évoluer ce travail.

Enfin ou d'abord, je ne sais trop, merci de tout mon cœur à ma très chère famille, mes parents, Raphaël, Myriam et Magdeleine.

Sommaire

Introduction.....	1
1. Contexte : eau potable et risque infectieux	3
1.1 Historique : de l'impact sanitaire de la qualité de l'eau aux objectifs de l'Organisation Mondiale de la Santé	3
1.2 Organisation de la distribution d'eau potable sur le territoire national	5
1.2.1 Les modalités administratives de la gestion de la distribution	5
1.2.2 L'unité de distribution	5
1.3 Des pathogènes véhiculés par l'eau au péril fécal	7
1.3.1 Les types de pathogènes potentiellement véhiculés par l'eau.....	7
1.3.2 Les gastro-entérites aiguës.....	10
2 Les facteurs du risque infectieux véhiculé par l'eau potable : éléments pour la construction d'une classification de l'exposition	13
2.1 L'épidémiologie connue du risque hydrique ; analyse des points critiques	13
2.1.1 Les épidémies d'origine hydrique dans les pays occidentaux	13
2.1.2 La recherche en cours : identification de cas groupés à travers la surveillance syndromique.....	15
2.1.3 L'hypothèse du risque hyper-endémique	15
2.2 Facteurs de risques identifiés par le contrôle sanitaire	16
2.2.1 Aspects réglementaires et organisationnels du contrôle sanitaire.....	16
2.2.2 Les indicateurs de contamination fécale	17
2.2.3 Les non-conformités bactériologiques en France	17
2.2.4 Les difficultés de gestion des non-conformités bactériologiques.....	18
2.3 Analyse détaillée de deux points critiques dans la filière de production des EDCH : les caractéristiques structurelles	18
2.3.1 Les barrières multiples	18
2.3.2 La vulnérabilité des ressources	19
2.3.3 L'efficacité des traitements	22
3 Etude en cours : la caractérisation du risque infectieux hydrique global en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014.....	25
3.1 De l'initiation du projet à la seconde étape de définition des composantes environnementales de l'exposition	25
3.2 Les sources de données	26
3.2.1 Les données de GEA : les gastro-entérites médicalisées.....	26

3.2.2	Les données environnementales extraites de SISE-Eaux.....	27
3.3	Méthode de constitution de la base communale de type d'eau distribuée	28
3.4	Résultats de l'étude en cours.....	29
3.4.1	Description des unités géographiques	29
3.4.2	Description des cas de GEAm.....	29
3.4.3	Description des types de ressources en Bourgogne Franche-Comté.....	31
3.4.4	Les effectifs représentés dans chaque classe de couple ressource-traitement	35
3.4.5	Etude du risque associé aux non-conformités bactériologiques dans l'eau distribuée.....	37
3.4.6	Discussion.....	43
3.4.7	Conclusion des résultats.....	46
4	Perspectives : vers un outil d'aide à la gestion	47
4.1	Une opportunité pour les ARS	47
4.2	Le volet financier	48
4.3	Un appui pour prioriser la mise en place de Plan de Gestion de Sécurité Sanitaire des Eaux (PGSSE).....	49
4.4	L'intérêt de la reproduction de l'étude dans d'autres régions, ou à l'échelle nationale	49
	Conclusion.....	53
	Bibliographie.....	55
	Liste des figures	61
	Liste des tableaux	62
	Liste des annexes	I

Liste des sigles utilisés

AFSAA : Agence Française de sécurité sanitaire des aliments

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

APL : Accessibilité Potentielle Localisée

ASL : Association Syndicale Libre

ARS : Agence Régionale de Santé

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CIRE : Cellule d'Intervention en Région

CSP : Code de la santé publique

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DGS : Direction Générale de la Santé

E. coli : *Escherichia coli*

EDCH : Eaux destinées à la consommation humaine

ESO : Eau souterraine

GEA : Gastro-entérite aiguë

GEAm : Gastro-entérite aiguë médicalisée

HCSP : Haut Conseil de Santé Publique

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

InVS : Institut de Veille Sanitaire

NFU : Formazine Nephelometric Unit

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PGSSE : Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire des Eaux

PMA : Pays de Montbéliard Agglomération

PNSE : Plan National Santé Environnement

PRPDE : Personne responsable de la production et de la distribution d'eau

SISE-Eaux : Système d'Information en Santé Environnement sur les Eaux

SNIIR-AM : Système National d'Information Inter Régime de l'Assurance Maladie

STEC : *Escherichia coli* producteurs de shigatoxines

UDI : Unité de distribution

UFC : Unité Formant Colonie

US-EPA : Agence américaine pour la protection de l'environnement

UTSE : Unité Territoriale Santé Environnement

UV : Ultraviolets

Introduction

Quel paradoxe : l'eau, aliment à la vie, peut pourtant véhiculer quelques dangers toxiques, soit chimiques, physiques, ou biologiques. Or, le droit à l'alimentation en eau saine pour tous est un fondamental du droit universel à la santé, au sens du bien-être physique et mental. Si les risques chimiques ou physiques sont en général chroniques, les risques microbiologiques ont majoritairement un retentissement aigu, plus immédiat. Nous ne traiterons pas des risques chimiques et physiques liés à l'eau, mais uniquement des risques biologiques, ou plus précisément microbiologiques. Historiquement, la maîtrise de la qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine a permis une amélioration considérable de la santé publique. Et cela reste aujourd'hui une priorité majeure dans les pays en voie de développement.

En France, l'eau potable est actuellement l'aliment le plus contrôlé. Sa sécurisation en termes de risque infectieux est investie et améliorée depuis longtemps, sans pour autant atteindre un niveau d'excellence. En effet, on sait que surviennent des épidémies locales de gastro-entérites aiguës virales, bactériennes ou parasitaires, dont on démontre le lien avec la qualité insuffisante de l'eau distribuée. De plus, il persiste de l'eau distribuée présentant des non-conformités lors du contrôle réglementaire, posant des difficultés de gestion. Enfin, le contrôle sanitaire microbiologique présente quelques limites : comme il repose sur des indicateurs bactériens, le risque viral ou parasitaire pourrait ne pas être suffisamment contrôlé. En outre, la fréquence d'échantillonnage notamment dans les petites unités de distribution d'eau peut être trop faible pour saisir les moments de contaminations épisodiques de l'eau. En somme, la gestion de ce risque infectieux est perfectible, encore faut-il pouvoir le caractériser.

Or, le risque infectieux d'origine hydrique est actuellement mal connu. L'investigation des épidémies liées à l'eau, conditionnée par la remontée d'un signal sanitaire ou environnemental, ne suffit pas à identifier la réalité du problème. Et certains arguments laissent penser qu'en dehors de ces épidémies, il pourrait persister un taux d'incidence d'évènements infectieux sporadiques plus élevé, dans les populations desservies par certaines eaux plus à risque, soit à cause de vulnérabilités structurelles, soit en lien avec des défaillances récurrentes dans le système de production et de distribution d'eau. C'est l'hypothèse d'un risque « hyper-endémique », lié à une eau distribuée plus à risque sur le long terme.

Dans ce contexte, un projet d'étude exploratoire a été initié par ce qui s'appelait alors la « Cellule de l'Institut de Veille Sanitaire en Région » (CIRE) de la région Bourgogne

Franche-Comté, saisie par les Agences Régionales de Santé de l'ex-Bourgogne et de l'ex-Franche-Comté, souhaitant un volet épidémiologique complémentaire au contrôle sanitaire pour convaincre les collectivités locales de prendre des mesures pour améliorer la qualité de l'eau distribuée. Ce projet vise à étudier le risque infectieux d'origine hydrique global, c'est à dire épidémique et hyper-endémique, selon une étude écologique géographique à l'échelle de la région. En effet, on dispose désormais de nouveaux outils épidémiologiques pour caractériser le risque infectieux, grâce aux données de consommations de médicaments prescrits sur ordonnance médicale référencées par le Système National d'Information Inter-Régime de l'Assurance-Maladie (SNIIR-AM), permettant de recenser les cas de gastro-entérites aiguës ayant donné lieu à une prescription médicale. Ces données sont identifiées par commune, or certaines communes de petite taille, desservies par de petites unités de distribution sont particulièrement concernées par des problématiques de non-conformités bactériologiques du contrôle sanitaire. L'approche écologique permettra de regrouper ces communes pour obtenir des effectifs suffisants afin de rechercher des associations entre incidence de gastro-entérites aiguës, et certains indicateurs du contrôle sanitaire, ainsi que certains paramètres dits « structurels », qualifiant le type d'eau distribuée selon son origine et son traitement.

La mission professionnelle faisant l'objet de ce rapport visait à constituer le volet environnemental de l'étude, à partir notamment de données contenues dans le système d'information SISE-Eaux, qui est la composante « eaux » du Système d'Information en Santé Environnement, et de contribuer à la caractérisation des « données structurelles », en les hiérarchisant selon le niveau de risque.

Au fond, la problématique est la suivante : quel est le risque sanitaire infectieux actuel véhiculé par l'eau ? Comment la gestion de ce risque peut-elle être améliorée ? Mais cela passe par une réflexion sur la caractérisation de ce risque au regard d'indicateurs mobilisables pour mener une étude régionale en Bourgogne Franche-Comté.

La première partie de ce rapport vise à définir le contexte et le cadre dans lequel s'insère la notion de risque infectieux hydrique. Dans une seconde partie, nous traiterons de la méthode que nous avons établie pour la classification des types d'eau distribuée vis-à-vis de ce risque infectieux.

Ensuite, la troisième partie présentera l'étude en cours proprement dite avec la discussion de quelques premiers résultats. Pour terminer, il sera discuté du potentiel de cette étude en termes de gestion.

1. Contexte : eau potable et risque infectieux

1.1 Historique : de l'impact sanitaire de la qualité de l'eau aux objectifs de l'Organisation Mondiale de la Santé

Cette mise en perspective du cheminement historique jusqu'aux enjeux actuels vise à donner un éclairage sur les représentations et les attentes collectives en termes de sécurité sanitaire de l'eau.

L'origine de la production d'eau potable : le développement du traitement

Au cours de l'Histoire, les systèmes de distribution publique de l'eau se sont développés pour répondre aux besoins de l'urbanisation croissante au gré des civilisations. Initialement, le traitement de l'eau de surface fut instauré non pas à visée sanitaire, mais pour améliorer ses qualités sensorielles (Smeets, 2006). Ainsi, au temps de l'Egypte ancienne (15^e-13^e siècle avant JC) et de la Rome antique (300 avant JC à 200 après JC), on avait déjà conçu des ouvrages afin de réduire la turbidité. Au V^e siècle avant JC, on rapporte qu'Hippocrate aurait pensé un système de poche fermée pour filtrer l'eau de pluie, le « manchon d'Hippocrate » (« *Hippocrates sleeve* »). Plus tard, on verra apparaître la constitution de réserves d'eau décantée et filtrée dans l'époque contemporaine, dès 1804 en Ecosse, et 1806 à Paris (Smeets, 2006). Si à l'origine la filtration lente au sable était utilisée pour améliorer le goût ou la couleur de l'eau, ce n'est que plus tardivement que l'efficacité de la filtration a été reconnue comme moyen de lutte efficace contre la typhoïde et le choléra.

La compréhension du risque sanitaire : un bénéfice majeur pour la santé publique

En effet, classiquement, la première preuve documentée d'une association possible entre consommation d'eau d'un réseau public et risque infectieux est apportée par l'approche épidémiologique du Dr John Snow vers 1850 (Dawson, 2000). Il a mis en évidence une association entre une épidémie de choléra et la distribution problématique de l'eau par une fontaine publique située dans Broad Street à Londres ; l'eau incriminée était puisée dans la Tamise à proximité de rejets d'égouts. L'agent du choléra, *Vibrio cholerae*, ne sera pourtant isolé que 30 ans plus tard par Robert Koch en 1883. Les progrès techniques ont permis l'introduction de la chloration, à partir de 1910 (Dawson, 2000), puis de traitements par UV et par ozonation, enfin par filtration membranaire. Ainsi, l'espérance de vie a considérablement augmenté dans le monde occidental : Cutler et Miller estiment que la réduction de la mortalité a diminué de moitié (voire trois-quarts concernant la mortalité infantile) dans les grandes agglomérations états-uniennes grâce aux progrès de la qualité de l'eau du début du XX^e siècle (Cutler, 2005).

Inégalité à l'échelle mondiale face au risque infectieux : la France encore concernée

De fait, l'eau potable a atteint aujourd'hui un niveau de sécurisation jamais égalé dans les pays occidentaux, cependant le risque infectieux hydrique est encore majeur dans les pays en voie de développement : on estime que chaque année, plus de 842 000 décès dans le monde sont dus à l'insalubrité de l'eau (OMS, 2016a), ce qui représente 58% de la mortalité par diarrhées. Un des objectifs des Nations Unies des *Millennium Development Goals* en 2000 était de diminuer de moitié la proportion de la population sans accès permanent à de l'eau potable avant 2015 ; objectif atteint en 2010. Cependant, il reste un véritable défi à l'échelle mondiale, puisque au moins 1,9 milliard de personnes sont alimentées à partir d'une ressource contaminée par des matières fécales (OMS, 2016a) et au moins 159 millions de personnes sont alimentées directement par de l'eau de surface non traitée (OMS, 2016a).

L'Organisation Mondiale de la Santé a déjà édité à quatre reprises des directives sur la sécurité sanitaire de l'eau, la dernière datant de 2011 (OMS, 2011). Ce cadre normatif international, conçu pour fixer des objectifs sanitaires consensuels de prévention, a été traduit dans un cadre réglementaire selon des objectifs de gestion. De plus, la troisième édition en 2004 avait introduit la mise en œuvre d'une approche préventive de gestion des risques sous la terminologie de « Water Safety Plans » ou « plan de gestion de la sécurité sanitaire des eaux » (OMS, 2004). Ces stratégies introduisent le concept d'évaluation et de gestion des risques tout au long du cycle de production d'eau jusqu'au robinet du consommateur (OMS, 2004 ; Bartram, 2010).

En France, comme dans d'autres pays occidentaux, le risque infectieux d'origine hydrique n'est pas totalement maîtrisé.

A l'échelle nationale, les objectifs d'amélioration

En effet, la persistance d'un risque infectieux d'origine hydrique en France s'illustre par deux constats : l'occurrence d'épidémies pour lesquelles l'origine hydrique est objectivée, et la mise en évidence de contamination fécale de l'eau distribuée ; nous reviendrons sur ces deux points plus en détail.

Les politiques publiques françaises ont défini jusqu'alors un certain nombre de priorités d'action pour la réduction des risques sanitaires, réaffirmées dans le dernier Plan National Santé Environnement 2015-2019 (PNSE3). En effet, ce dernier promeut entre autres objectifs l'amélioration de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, en sécurisant l'alimentation en eau potable, en augmentant le nombre de captages prioritaires protégés et en améliorant la surveillance des substances émergentes dans l'eau.

On peut retenir notamment l'action n°101, « soutenir l'accès équitable à l'eau potable et à l'assainissement », qui se réfère au Protocole sur l'eau et la santé à la Convention sur l'eau et la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux. Ce Protocole impose aux Parties d'assurer « un approvisionnement adéquat en eau potable salubre et exempte de micro-organismes, de parasites et de substances qui, en raison de leur nombre ou de leur concentration, constituent un danger potentiel pour la santé de l'homme » (article 4), faisant ainsi le lien avec la composante de sécurité définie dans le droit fondamental à l'eau¹.

1.2 Organisation de la distribution d'eau potable sur le territoire national

1.2.1 Les modalités administratives de la gestion de la distribution

En France, l'alimentation en eau potable est un service public communal (ou intercommunal, s'il y a un transfert de compétence en faveur d'un groupement de communes) (DGS, 2016). La collectivité locale est alors le maître d'ouvrage de ce service. Cependant, l'exploitation du service de l'eau peut être assurée soit directement par cette collectivité, on parle alors de « régie », soit être confiée à un prestataire de service privé, par un contrat de délégation de service public (contrat d'affermage ou contrat de concession). Malgré le caractère communal, il existe encore des distributions par des associations syndicales libres (privées) dans certaines zones géographiques.

L'exploitation des réseaux par les collectivités publiques en régie directe ou assistée demeurait le mode de gestion majoritaire en 2012 : ainsi, 67% des unités de distribution sur le territoire national étaient en régie (DGS, 2014), alors qu'elles n'alimentaient que 34% de la population (en effet, cela concerne de petites unités de distribution).

1.2.2 L'unité de distribution

L'unité de distribution (UDI) correspond à une zone géographique déterminée, exploitée par la même personne morale, où les eaux proviennent d'une ou plusieurs sources et à l'intérieur de laquelle la qualité de l'eau est réputée homogène (DGS, 2008). Elle comprend la ressource, la station de traitement et le réseau de distribution (public et/ou privé).

¹ Le droit fondamental à l'eau et à l'assainissement garantit à tous un accès à l'eau et à des installations d'assainissement disponibles, salubres, physiquement accessibles, à un coût abordable et de qualité acceptable.

Comité des droits économiques, sociaux et culturels, Observation générale n° 15 [E/C.12/2002/11], résolution 64/292 de l'Assemblée générale des Nations Unies, résolution A/HRC/RES/15/9 du Conseil des droits de l'homme

Cette notion d'unité de distribution, a priori simple, peut se révéler complexe selon les critères de définition choisis. La caractérisation d'une unité de distribution peut ainsi varier considérablement selon les pays et le contexte réglementaire. Les UDI peuvent être classées selon la taille de la population desservie, le débit de production de l'usine de traitement, le type de ressource, la filière de traitement mise en œuvre, le type d'exploitation (privé, public, communautaire...). La commission européenne, dans sa lettre de décision pour la révision de la directive 98/83/CE utilise la dénomination « *smaller supplies* » pour caractériser les unités de distribution desservant entre 50 et 10000 habitants (DG ENV., 2011). En France les petites unités de distribution sont définies comme étant celles qui alimentent moins de 5000 habitants.

La distribution des UDI et des captages présentent des caractéristiques similaires : une majorité de petites structures surtout en zone rurale et une minorité de structures très importantes surtout en zone urbaine. Ainsi, en France en 2012, 59 % des UDI desservaient moins de 500 habitants, mais elles ne représentaient que 3 % de l'ensemble des consommateurs (DGS, 2014).

Les modalités techniques de la distribution : du captage au robinet

La production et la distribution d'eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) se décomposent globalement en trois grands niveaux successifs : l'ouvrage de prélèvement d'eau, ou captage, la station de traitement pour rendre l'eau captée propre à la consommation, et le réseau de distribution comprenant des canalisations, des réservoirs et des pompages, représentés sur les schémas suivants (figures 1 et 2).

Figure 1. Organisation de la distribution de l'eau potable (Beaudeau *et al.* 2007)

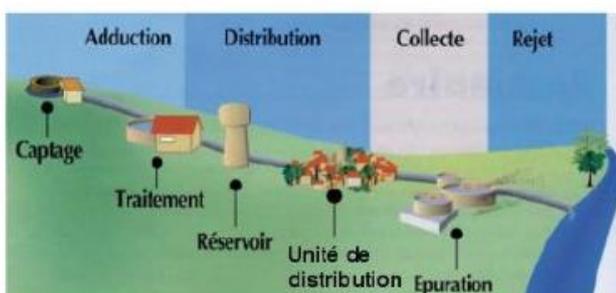
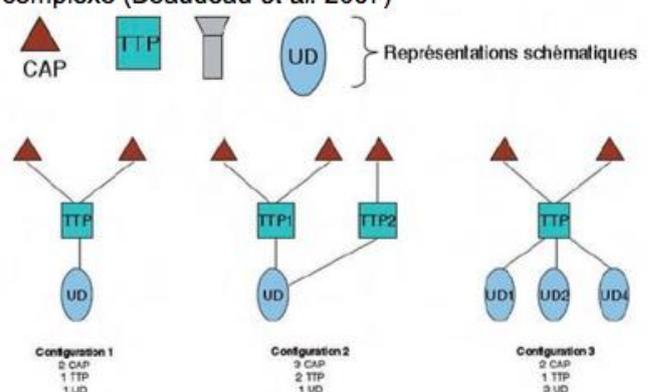


Figure 2. Schéma d'un système de production/distribution simple et d'un système complexe (Beaudeau *et al.* 2007)



Au niveau national, on comptait plus de 33500 captages en 2013 (DGS, 2016), nombre variable selon l'abandon d'anciens captages pour des raisons qualitatives ou quantitatives,

ou la création de nouveaux. Ils se caractérisent par un nombre très important d'ouvrages de petite taille et une minorité de très forte capacité, qui assure une part importante de la production d'eau potable : les captages de plus de 50 000 m³/j, représentant moins de 0,1% de l'ensemble des captages, mais délivrent 17,1% des volumes totaux (DGS, 2014).

L'alimentation par de l'eau souterraine, moins contaminée que l'eau de surface, a d'abord été privilégiée. La part de l'eau souterraine dans la production d'eau potable varie cependant énormément d'un département à l'autre en fonction des possibilités d'accès à des aquifères suffisamment productifs pour assurer la couverture des besoins. Tandis que certaines régions ont un accès privilégié à de l'eau souterraine, qui représente plus de 75% de leurs ressources, les régions de socle, pauvres en aquifères (Bretagne, Pays de la Loire, Limousin...) et les régions fortement urbanisées (Région Parisienne, Bouches-du-Rhône...) se tournent vers de grosses unités de production exploitant de l'eau de surface (Beaudeau 2012).

1.3 Des pathogènes véhiculés par l'eau au péril fécal

1.3.1 Les types de pathogènes potentiellement véhiculés par l'eau

Une diversité de micro-organismes pathogènes pour l'homme dont certains virus, bactéries, ou parasites sont décrits dans la littérature comme potentiellement présents dans l'eau (Beaudeau 2012). Après une vue d'ensemble des connaissances relatives à ces agents pathogènes dont la présence est avérée dans les eaux brutes, ou susceptibles de se développer dans les réseaux, cette section décrira quelques caractéristiques selon les types de micro-organismes, à partir d'un exemple choisi pour son implication récurrente dans les contaminations liées au péril fécal.

Ainsi, ces pathogènes potentiellement présents dans l'eau peuvent provoquer diverses formes de pathologies, pour l'essentiel à tropisme digestif, mais pas uniquement. Ces agents sont classés par maladie dans le tableau en annexe I, extrait de la thèse de doctorat de Pascal Beaudeau (Beaudeau, 2012). Il s'agit d'une vue globale décrivant les pathogènes indépendamment de leur présence en France métropolitaine (ainsi, *Salmonella typhi* et *Vibrio cholerae* ne sont a priori pas concernés dans la métropole – bien qu'ils puissent être impliqués dans les départements et régions d'outre-mer).

a. Agents pathogènes bactériens :

La plupart des pathogènes bactériens potentiellement transmis par l'eau affectent l'appareil gastro-intestinal et sont excrétés dans les fèces d'humains et d'animaux infectés (OMS, 2011). Cependant, il existe aussi des bactéries véhiculées par l'eau, comme *Legionella*, *Burkholderia pseudomallei* et certaines mycobactéries atypiques, qui se développent essentiellement dans l'eau et les sols (bactéries environnementales). Les voies de transmission de ces bactéries incluent l'inhalation et le contact (baignade) ; ces bactéries peuvent alors provoquer des affections respiratoires, cutanées ou cérébrales (OMS, 2011).

Exemple : *Campylobacter* spp.

Considéré comme étant l'un des agents bactériens les plus fréquents dans les gastro-entérites aiguës bactériennes (Ternhag, 2005), *Campylobacter* spp. peut contaminer l'homme selon plusieurs modes de transmission : souvent en lien avec l'alimentation (par exemple lors de contaminations dans les process de l'industrie agro-alimentaire), mais aussi parfois en lien avec l'absorption d'eaux superficielles, voire souterraines, et donc potentiellement par les eaux destinées à la consommation humaine (Whiley, 2013). *Campylobacter*spp. ne peut se développer qu'exclusivement dans son hôte, animal à sang chaud (Ternhag, 2005). Mais selon les études, on estime que ce germe peut survivre dans l'environnement (donc à l'extérieur de l'hôte) de 29 à 120 jours (Whiley, 2013).

Ainsi, des souches de *Campylobacter* spp. ont été isolées dans des eaux de rivières (Daczowska-Kozon, 2001 ; Hörman, 2004) et de lac (Hörman et al., 2004). Ces eaux peuvent être contaminées selon de multiples mécanismes décrits par Whitney *et al.* : par des excréments aviaires ou mammifères, par du lisier, des effluents d'abattoirs, d'eaux usées ou des épandages... (Whiley, 2013).

Les études s'accordent à dire que les traitements de désinfection efficaces sur les bactéries coliformes sont suffisants pour son élimination. Par exemple, Blaser *et al.* ont démontré qu'à température et pH équivalent, *Campylobacter jejuni* était plus sensible à la désinfection chlorée qu'*E. coli* (Blaser, 1986).

b. Agents pathogènes viraux :

Les virus associés à la transmission hydrique sont majoritairement à tropisme gastro-intestinal, et presque exclusivement spécifiques à l'espèce humaine (virus entériques). Ainsi, à l'exception du virus de l'hépatite E, l'homme est considéré comme étant la seule source possible de contamination (OMS, 2011). Ces virus entériques provoquent typiquement des pathologies aiguës après un temps court d'incubation.

Exemple : norovirus

L'Homme est le seul réservoir connu de norovirus humains, qui ont des modes de transmission multiples :

- de personne à personne : par contact direct avec un patient infecté ou par contact indirect avec l'environnement contaminé (par des matières fécales ou vomissures),
- par voie alimentaire ou hydrique : par ingestion d'aliments contaminés lors de la préparation par une personne excréant le virus (aliments consommés crus ou sans réchauffage) ou par ingestion d'eau ou d'aliments (coquillages, fruits ou légumes consommés crus, etc.) contaminés par des rejets (eau d'égouts, eau d'irrigation...) dans lesquels des norovirus sont présents.

Ce pathogène est fréquemment en cause dans les épidémies, d'abord à cause d'une dose infectante faible (18 à 1000 particules virales) (Teunis, 2008), ensuite à cause de la grande quantité de particules virales excrétées dans l'environnement (environ 10^6 particules virales par mL de selles) et parce que l'excrétion virale peut être longue après le début des symptômes. Enfin, la grande diversité génétique de norovirus et l'absence d'immunité à long terme concourent à l'occurrence d'épidémies de norovirus.

c. Agents pathogènes parasitaires :

Dans le monde, les protozoaires et les helminthes font partie des causes les plus communes d'infections chez l'homme et chez l'animal, de sorte que les parasitoses associées ont un impact majeur en santé publique (OMS, 2011). Or, l'eau joue un rôle important dans leur transmission, et leur maîtrise représente un véritable défi : en effet la plupart de ces pathogènes produisent des kystes, des oocystes ou des œufs extrêmement résistants aux procédés de traitement généralement utilisés pour la désinfection. Du reste, certains de ces parasites sont considérés comme vecteurs de « maladies émergentes », dont un exemple notable dans ces 30 dernières années est la cryptosporidiose (OMS, 2011).

Exemple : *Cryptosporidium* spp.

La cryptosporidiose est une infection à *Cryptosporidium* avec une symptomatologie de diarrhées (98%) souvent aqueuses, de douleurs abdominales, pertes de poids et vomissements pendant 11 à 13 jours en moyenne, avec des complications graves chez les patients immunodéprimés, entraînant alors une forte létalité (ANSES 2011). L'origine de la contamination est fécale à partir d'un hôte infecté, et la contamination peut se faire par l'ingestion d'oocystes (directement infectants après leurs émission) ou par contact avec les hôtes infectés. Mais l'eau est le principal véhicule de la contamination. En Europe, la

détection de *Cryptosporidium* dans les matrices alimentaires n'est pas réglementée, en particulier pour l'eau, sauf au Royaume-Uni où la réglementation imposait en 2000 la production d'eau contenant moins de 1 oocyste/10 litres (Drinking Water Inspectorate, 2005), cependant elle n'est pas surveillée². En effet, la limite principale pour sa surveillance dans les milieux est la quantité extrêmement importante d'eau à prélever pour leur dénombrement (à partir de 100 Litres d'eau) (ANSES, 2011).

Une revue internationale des données sur la qualité des sources d'eau a révélé que les concentrations de *Cryptosporidium* dans les sources d'eau en Amérique du Nord et en Europe variaient considérablement : entre 0,006 et 250 oocystes/L (Dechesne, 2007). Dans l'ensemble, *Cryptosporidium* a fréquemment été détecté à des concentrations relativement faibles, qui variaient de 0,05 à 4,6 oocystes/L. Medema *et al.* avaient montré précédemment que les concentrations d'oocystes dans les eaux usées brutes et les eaux usées traitées d'origine domestique variaient respectivement de 1 000 à 10 000 oocystes/L et de 10 à 1 000 oocystes/L (Medema, 2003).

Ainsi, on a vu quels types de pathogènes viraux, bactériens ou parasitaires sont susceptibles d'être véhiculés par l'eau, et les trois exemples décrits montrent bien que l'une des symptomatologies la plus commune est la gastro-entérite aiguë, liée au péril fécal d'origine humaine ou animale.

1.3.2 Les gastro-entérites aiguës

a. Définition

La gastro-entérite dans son acception large est une inflammation de la muqueuse de l'estomac et/ou de l'intestin. La gastro-entérite « aiguë » (GEA) est définie comme une diarrhée aiguë (émission d'au moins trois selles liquides par jour) et/ou d'au moins un vomissement au cours d'une période de 24 heures³ (Majowicz, 2008). On entend ici gastro-entérite aiguë d'origine infectieuse comme pouvant être à la fois d'origine virale, bactérienne ou parasitaire.

Si la GEA est généralement une maladie relativement bénigne, spontanément résolutive avec plus de 90% des patients ne présentant plus de symptômes après 10 jours, des complications sévères peuvent apparaître, comme la déshydratation ou l'invasion extra-intestinale en cas de diarrhée avec présence de sang dans les selles. La déshydratation est une complication potentiellement sévère chez les nourrissons ou les personnes âgées,

² Note de Water UK (juin 2008), disponible sur son site web <http://www.water.org.uk/sites/default/files/documents/Industry%20Guidance/cryptosporidium.pdf> (consulté le 18/08/16)

³ A l'exception de colopathies chroniques, (cancers, maladie de Crohn, recto-colite ulcéro-hémorragique, maladie cœliaque...) et des symptômes associés à la consommation de médicaments, d'alcool ou à la grossesse.

parfois mortelle en l'absence de prise en charge adaptée (Murphy, 1998). La maladie apparaît du fait de deux mécanismes de pathogénicité parfois associés : soit l'agent infectieux se multiplie chez l'hôte, ce qui entraîne une réaction de sepsis (dans le cas des bactéries entéro-invasives, par exemple), soit en réaction aux toxines produites par le micro-organisme (cas des bactéries toxigènes) (Elliott, 2007).

b. Données épidémiologiques

Selon certaines études, les GEA sont fréquentes dans les pays développés avec 0,8 cas cliniques par personne et par an aux Etats-Unis, 1,0 en Australie et 0,64 en Irlande (Majowicz, 2008). Une étude française a estimé un taux d'incidence des GEA à 0,33 cas par personne-année (avec un intervalle de confiance à 95% entre 0,28 et 0,37) (Van Cauteren, 2012). Ce taux d'incidence est plus élevé chez les enfants de moins de 5 ans, et diminue avec l'âge. De plus, sur le plan national, la fréquence des GEA dépend peu du sexe. L'incidence de cas graves est relativement limitée : le nombre d'hospitalisations se situerait entre 200 et 300 cas par an pour un million d'habitants et la mortalité des infections entériques se situe entre 3 et 10 cas par an pour un million d'habitants (Beaudeau 2012).

Les modes de transmission des gastro-entérites aiguës

Dans de nombreux cas, la gastro-entérite aiguë est transmise par voie féco-orale. Ceci est principalement valable pour les agents viraux et pour une série d'agents bactériens comme l'*E. coli* entéropathogène. Mais il existe aussi une voie de transmission aérogène connue pour le rotavirus et le norovirus. Une autre voie de contamination importante est l'alimentation contaminée de 15 à 100% selon les agents pathogènes. Ainsi, des œufs contaminés crus ou de la viande de poulet contaminée peuvent être à l'origine d'une infection à *Salmonella* spp. et *Campylobacter jejuni*. De la viande de porc contaminée peut être à l'origine d'une gastro-entérite à *Yersinia enterocolitica*. L'infection peut également être contractée par absorption d'eau potable, ou d'eau lors de baignades dans une eau de surface contaminée.

En somme, on relève différents modes de transmission, soit par contamination interhumaine, soit par contamination par l'alimentation et enfin par l'ingestion d'eau (eau de consommation ou eaux de baignade). Nous allons voir dans la partie suivante que le risque hydrique infectieux lié à l'eau potable est majoritairement connu à travers la manifestation d'épidémies. Mais alors, sur quels facteurs de ce risque s'appuyer pour en étudier l'impact sanitaire ? Autrement dit, comment caractériser l'exposition des consommateurs d'eau, de manière plus complète que le seul contrôle sanitaire ?

2 Les facteurs du risque infectieux véhiculé par l'eau potable : éléments pour la construction d'une classification de l'exposition

2.1 L'épidémiologie connue du risque hydrique ; analyse des points critiques

Cette section vise à donner quelques éléments sur les épidémies dont l'origine hydrique a été documentée, dont il est toutefois probable qu'elles ne représentent qu'une partie des épidémies ayant réellement eu lieu, du fait du manque de signalement. Une épidémie se définit comme l'apparition d'un nombre de cas de maladie supérieur au nombre de cas attendus pendant une période donnée et au sein d'une population donnée.

2.1.1 Les épidémies d'origine hydrique dans les pays occidentaux

a. Deux épidémies célèbres

Deux épidémies sont souvent citées dans la littérature, la première pour son retentissement, la seconde pour ses conséquences en termes de gestion. Ainsi, la première eut lieu en 1993, dans la ville de Milwaukee, Wisconsin (États-Unis). Elle provoqua plus de 403 000 malades, dont au moins 54 décès - la majorité de ces derniers présentaient une immunodépression sous-jacente (Hoxie, 1997). Une défaillance dans la filière d'une des deux stations de traitement (défaut de monitoring du dosage d'un coagulant récemment modifié, en l'occurrence le polychlorure d'aluminium), approvisionnées par l'eau du lac Michigan, fut à l'origine de cette épidémie historique de cryptosporidiose. Mc Kenzie *et al.* font observer qu'une hausse inhabituelle de la turbidité, mais toujours conforme aux valeurs réglementaires en distribution avait alors été relevée (pics maximaux de 1,7 NTU contre 0,4 NTU habituellement) (Mc Kenzie, 1994).

La seconde épidémie souvent citée, de moindre envergure, mais tout aussi tragique, concerna la petite ville canadienne de Walkerton, dans l'Ontario, en l'an 2000 (Hrudey, 2002). Elle toucha plus de 2300 habitants sur 4800, dont 27 ont présenté un tableau clinique compliqué d'un syndrome hémolytique urémique secondaire à une infection à *E. coli* O157:H7. L'épidémie causa 7 décès. Il s'agissait d'une contamination d'une nappe souterraine très peu profonde (7 mètres) par du fumier de bétail après une forte pluie.

Cela amena le gouvernement canadien à revoir le système de sécurité sanitaire de la distribution de l'eau dans l'Ontario, selon l'avis d'un panel d'experts qui avaient alors publié

une analyse des défaillances de barrières multiples (« multiple barrier failures »), sur lesquelles nous reviendrons.

b. Les épidémies d'origine hydrique en France

En France, on recense chaque année une à deux épidémies en moyenne en lien avec la consommation d'eau distribuée. Beaudou *et al.* en dénombrent 10 entre 1998 et 2006 (Beaudou, 2008a), dont 3 en Bourgogne Franche-Comté, qui ont été investiguées soit du fait du signalement d'un épisode inhabituel d'occurrence de cas de gastro-entérites aiguës dans une population alimentée par la même eau, comme par exemple à Dracy-Le-Fort en Saône-et-Loire en 2001, ou alors du fait d'un signal environnemental, autrement dit lorsque les résultats d'analyses du contrôle sanitaire étaient préoccupants, et que des investigations ont été menées pour évaluer l'impact sanitaire, comme par exemple l'épidémie de la station de sport d'hiver d'Arc 1800 à Bourg-Saint Maurice en février 2006 (Rambaud, 2011). De 2006 à ce jour, de nouvelles épidémies ont été investiguées. Le tableau présenté en annexe II dresse une liste non-exhaustive circonstanciée de l'ensemble de ces épidémies.

On retrouve globalement trois grands types d'évènements causaux à l'origine de ces épidémies, dont les retours d'eaux usées accidentels par un mécanisme de surpression et/ou de raccordement non sécurisé au réseau de distribution. Ainsi, Beaudou *et al.*, identifient les causes suivantes (Beaudou, 2008a) :

- liées à la ressource : pollution accidentelle de la ressource ou au niveau du bassin d'alimentation, évènements météorologiques (fortes précipitations), dont les inondations des captages ;
- liées au traitement : panne de désinfection durant plus de deux heures, défaillance de la clarification ;
- liées au réseau : retours d'eaux contaminées, ruptures de canalisations de plus de 200 mm.

Par ailleurs, on remarque plusieurs caractéristiques souvent communes : d'une part la multiplicité des agents infectieux retrouvés lors des analyses (dans les liquides biologiques). Les germes les plus retrouvés quand l'étiologie est connue sont norovirus et *Cryptosporidium* spp., mais aussi *Campylobacter* spp. ou rotavirus. D'autre part, le taux d'attaque est généralement très fort, particulièrement élevé par exemple à Gourdon (37%) et à Dracy-Le-Fort (51%) (Beaudou, 2008a).

De plus, ces épidémies avaient souvent un caractère « bruyant », au sens où elles ont eu un retentissement sanitaire et social conséquent, exposant des populations de grande taille (entre 1000 et 600 000 personnes). Ainsi, on estime à plus de 9000 cas de gastro-entérites

aiguës en lien avec l'ensemble des épidémies identifiées au cours de la période entre 1998 et 2006.

Un point d'attention peut être souligné sur un cas groupé d'Hépatite E apparu en 2015 dans le Cantal. En effet, l'identification de l'origine hydrique quant à la transmission de cet agent est rarement documentée à notre connaissance ; cet épisode a impacté peu de personnes (7 cas), mais il a provoqué le décès d'un patient, qui présentait de nombreuses comorbidités, ainsi qu'un âge avancé (78 ans) (Spaccaferri, 2016).

c. Un guide d'investigation

Pour optimiser les investigations et harmoniser les pratiques selon les régions, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a alors publié un guide d'investigation, qui définit les méthodes d'enquête exploratoire pour valider et compléter le signal, la conduite des investigations épidémiologiques et de l'enquête environnementale (Beaudeau, 2007).

2.1.2 La recherche en cours : identification de cas groupés à travers la surveillance syndromique

L'InVS, dans un travail collaboratif avec la DGS, les ARS, l'AFSSA et l'EHESP, a engagé un projet d'étude initié en 2006 dans le but de détecter les clusters de cas de GEA (Beaudeau, 2006). Ce projet s'appuie sur le potentiel offert grâce aux données de l'Assurance maladie, permettant une automatisation de la détection de cas de gastro-entérites donnant lieu à des prescriptions médicales, autrement dit selon une surveillance syndromique. Il se poursuit actuellement, piloté par les directions santé-environnement (DSE) et maladies infectieuses (DMI) de Santé publique France, en donnant pour l'instant des résultats encourageants (Rambaud, 2011). Mais au-delà de ce risque épidémique, le risque endémique est encore mal connu, ce qui fait l'objet du projet auquel prend part cette mission professionnelle.

2.1.3 L'hypothèse du risque hyper-endémique

En effet, le rôle de l'eau dans le bruit de fond, ou endémie, de maladies infectieuses d'origine fécale reste débattu (Beaudeau, 2012). Craun et Calderon concluent dans une revue d'études épidémiologiques observationnelles que les publications disponibles ne permettent pas de quantifier le risque endémique moyen (Craun, 2006). Cependant, ils ont inclus dans leur analyse une série d'études montrant des arguments en faveur d'une augmentation du risque endémique de pathologies infectieuses d'origine hydrique (infections à *Campylobacter*, giardioses, cryptosporidoses, et autres gastro-entérites sans étiologies identifiées). De plus, selon les auteurs, ces pathologies sont épidémiologiquement associées avec certaines ressources et leur traitement. Enfin, ces études apportent des preuves que les usagers de réseaux publics ou privés sont susceptibles de présenter un risque augmenté de maladies endémiques ou sporadiques.

Selon P. Beaudeau, « ni le risque endémique attribuable à de l'eau distribuée conforme, ni le risque d'épidémies ne semblent pas particulièrement élevés en France, à l'instar des pays développés. Il existe cependant un risque d'expression intermédiaire (hyper-endémique) qui n'aboutit pas à de véritables épidémies mais se traduit pas des augmentations du niveau d'incidence des GEA de l'ordre de 20 à 200% pendant une semaine ou un mois. » (Beaudeau, 2012).

L'argument épidémiologique de ces sur-incidences de GEA est conforté par la persistance en France de situations de non-conformités bactériologiques récurrentes mises en évidence lors du contrôle sanitaire des EDCH en distribution.

2.2 Facteurs de risques identifiés par le contrôle sanitaire

2.2.1 Aspects réglementaires et organisationnels du contrôle sanitaire

Deux types de contrôle sont réalisés : le contrôle réglementaire (le contrôle sanitaire) organisé par les Agences Régionales de Santé (ARS) et l'autocontrôle effectué par la personne responsable de la production ou de la distribution d'eau (PRPDE). Ce dernier contrôle doit être établi en fonction des dangers identifiés⁴. Le contrôle sanitaire, quant à lui, est encadré par les arrêtés du 11 janvier 2007, relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, et du 21 janvier 2010, qui en définit le programme de prélèvements.

En pratique, les ARS confient à des laboratoires agréés par le Ministère chargé de la santé, choisis par des appels d'offres, la réalisation des analyses d'eau effectuées dans le cadre de ce contrôle (comme prévu par l'article L1321-5 du CSP). Elles peuvent également leur confier la réalisation des prélèvements des échantillons d'eau. Mais l'interprétation des résultats d'analyse et l'appréciation globale de la qualité de l'eau relèvent de l'expertise de l'ARS. Cette interprétation tient compte, non seulement du respect des exigences de qualité, mais aussi des informations recueillies au cours du contrôle sanitaire (environnement et protection des captages, entretien et fonctionnement des installations de production et de distribution, circonstances météorologiques particulières...) et de l'historique de la distribution (évolution de la qualité de l'eau distribuée). Les ARS peuvent être amenées à émettre des restrictions de consommation, notamment si une exigence de qualité est dépassée.

Concernant l'objet de l'étude, les limites de qualité prévues pour garantir la sécurité microbiologique sont les indicateurs de contamination fécale.

⁴ Article L1321-4 du CSP

2.2.2 Les indicateurs de contamination fécale

Deux indicateurs de contamination fécale sont contrôlés : *Escherichia coli* et les entérocoques. Ils mesurent la contamination sur l'eau non traitée et l'efficacité du traitement sur l'eau destinée à la consommation humaine.

E. coli possède les qualités d'un bon indicateur, puisqu'il est abondant à des concentrations stables dans les selles humaines, mais également dans les selles d'espèces animales à sang chaud pourvoyeuses de zoonoses (Beaudeau, 2012). Il est doté d'une résistance dans l'environnement comparable aux agents pathogènes comme *Salmonella typhi* et il est facilement cultivable. Sa présence n'indique pas un risque effectif de présence d'agents pathogènes mais bien un risque potentiel, susceptible de s'exprimer si des espèces pathogènes sont excrétées.

Il en est de même pour le second indicateur, les entérocoques qui ont remplacé dans la réglementation les streptocoques fécaux (du groupe D de Lancefield) auxquels ils sont équivalents en pratique car les streptocoques fécaux non entérocoques résistent mal aux stress environnementaux (Beaudeau 2012). En tant qu'indicateurs de pollution fécale, ils sont très spécifiques (non totalement), moins sensibles que les coliformes fécaux mais sont plus résistants.

2.2.3 Les non-conformités bactériologiques en France

La réglementation européenne, transposée dans le CSP, retient la notion de non-conformité. Ainsi un échantillon d'eau distribuée est non conforme quand on identifie au moins une unité formant colonie (UFC) dans 100 mL de bactéries témoins telles qu'*E.coli* ou entérocoques fécaux. Une unité de distribution est jugée non conforme pour une année donnée quand 5% au moins des échantillons sont non-conformes.

En France, des efforts conséquents de la part des responsables de la distribution d'eau et des ARS ont permis d'améliorer la qualité de l'eau de la distribution publique depuis les années 2000 : la part de la population alimentée par de l'eau non conforme pour les paramètres microbiologiques est alors passée de 8,8 % en 2000 à 2,8 % en 2013, soit 1,8 millions de personnes. Cette dernière est cependant constante au niveau national depuis 2009 (DGS 2016).

On observe aussi une forte disparité territoriale : selon les régions et leur contexte hydrogéologique, et selon les types d'UDI (les petites UDI sont beaucoup plus concernées). Or la réduction des inégalités territoriales de santé, affirmée dans la Stratégie nationale de Santé du 23 septembre 2013, fait partie intégrante des objectifs du PNSE3.

2.2.4 Les difficultés de gestion des non-conformités bactériologiques

Le rapport du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) de 2015, qui vise à réduire les écarts entre les modes de gestion adoptés dans les différentes ARS, et réduire les inégalités territoriales dans l'accès à une eau de bonne qualité, rappelle que le Code de la Santé Publique prévoit deux types de dérogation, en fonction de la durée de la non-conformité à la réglementation de la qualité de l'eau, au titre de l'article R. 1321-32. Cependant, aucune dérogation ne peut être octroyée pour des paramètres microbiologiques. En conséquence, la conformité permanente doit être recherchée.

Dans la pratique, en cas de non-conformité, la gestion est déterminée au niveau de chaque ARS, et leur application sur le terrain est formalisée par des logigrammes qui sont de l'initiative de chaque ARS (HCSP, 2015). Un travail d'harmonisation est en cours à l'échelle nationale, déjà engagé à l'échelle régionale depuis les regroupements des régions prévu par la loi du 16 janvier 2015.

En somme, le risque infectieux global véhiculé par les EDCH est appuyé par la connaissance d'épidémies documentées, et par la persistance de non-conformités bactériologiques notamment pour les petites UDI. Cela pourrait être associé à des insuffisances structurelles dans la filière de production des EDCH. Procédons à l'analyse de ces paramètres, susceptibles de potentialiser ou à l'inverse de réduire ce risque, afin d'être en mesure de disposer de plusieurs classes définissant l'exposition des populations au risque infectieux.

2.3 Analyse détaillée de deux points critiques dans la filière de production des EDCH : les caractéristiques structurelles

2.3.1 Les barrières multiples

Comme déjà évoqué précédemment, l'épidémie de Walkerton a été suivie de réflexions portant sur la sécurisation de la production et de la distribution de l'eau potable (Hrudey, 2002). La commission d'expertise de l'enquête menée alors a établi qu'une approche par barrières multiples était nécessaire pour assurer la sécurisation de la distribution d'eau potable, consistant en des mesures efficaces et robustes considérant les éléments suivants (Huck, 2001) :

- (1) La ressource : la qualité de l'eau brute doit être préservée au mieux et suffisamment protégée
- (2) Le traitement : un traitement efficace doit être mis en place, et maintenu
- (3) La distribution : le stockage et la distribution de l'eau traitée doivent être sécurisés
- (4) Le contrôle : un contrôle approprié et efficace doit être assuré
- (5) La réponse : des réponses appropriées et efficaces lors d'un contrôle défavorable, ou lors d'un événement indésirable.

Or, les deux premiers points, la ressource et le traitement, sont deux caractéristiques structurelles qui sont accessibles pour une étude à l'échelle régionale. Les deux sous-sections suivantes montrent comment on peut les classer au regard de leur rapport vis-à-vis du risque infectieux, afin d'être en mesure de caractériser l'exposition des populations dans la région Bourgogne Franche-Comté.

2.3.2 La vulnérabilité des ressources

Il est établi que la vulnérabilité des ressources superficielles est manifestement supérieure aux ressources souterraines (Beaudeau, 2012), contenues dans des aquifères.

Un aquifère est une formation géologique possédant une perméabilité suffisante pour que l'eau souterraine puisse y circuler (Bakalowicz, 1999). Il est généralement constitué d'une zone non saturée, ou zone d'infiltration, dont les vides, occupés par de l'air, sont parcourus par de l'eau, et d'une zone noyée ou saturée (ou nappe aquifère), dont tous les vides sont remplis d'eau. Si la porosité du milieu, c'est-à-dire le rapport du volume des vides au volume total de la formation, est forte (supérieure à 10 %), l'aquifère peut posséder une capacité de stockage intéressante, dont les réserves peuvent alors être exploitées.

Bien que le concept de vulnérabilité des eaux souterraines existe depuis plus de quarante ans (Schnebelin, 2002), il reste encore débattu, ce qui témoigne de la complexité des paramètres entrant en jeu. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) en propose une définition synthétique⁵: « [elle] est représentée par la capacité donnée à l'eau située en surface de rejoindre le milieu souterrain saturé en eau. La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions suivant les caractéristiques de ce milieu ».

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, ou des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gogu, 1998).

⁵ Notion générale de vulnérabilité, document du SIGES Seine-Normandie, http://sigessn.brgm.fr/IMG/pdf/notions_gen_vuln.pdf (consulté le 22/06/16)

Les critères principaux retenus sont : le degré de fracturation, l'épaisseur de la zone non-saturée, la pente du sol en surface, la nature de la couverture surmontant l'aquifère et la recharge annuelle nette. Ainsi, la vulnérabilité est dépendante entre autres critères du degré de fracturation et de l'épaisseur de la zone non-saturée, comme résumé dans le tableau ci-dessous (tableau 1), tiré de *Groundwater Science and Policy : An International Overview* de Philippe Quevauviller (p. 17).

Tableau 1 : Vulnérabilité des aquifères aux pollutions selon leur nature (Quevauviller, 2008)

Nature de l'aquifère	Libre			Semi-captif
	Fracturé	Poreux		
		Zone non-saturée mince	Zone non-saturée épaisse	
Temps de transfert (de la surface vers la zone saturée de l'aquifère)	Heures à semaines	Jours à mois	Années à décennies	Décennies
Risque de pollution	Chimique	Elevé	Elevé pour les composés mobiles Elevé pour les composés mobiles et persistants	Modéré, pour les composés persistants seulement
	Bactériologique	Elevé	Modéré	Faible Très faible

On distingue dans ce tableau une catégorie d'aquifères particulièrement vulnérables au risque de pollution bactériologique, l'aquifère fracturé, qui correspond à un système d'aquifères dits karstiques, sur lequel nous reviendrons pour discuter des difficultés de caractérisation de ce type d'aquifères.

Classement des types de ressource :

Etant donné le type d'informations relatives aux ressources captées dont on dispose lors d'une approche globale à l'échelle régionale, on ne peut proposer qu'un classement schématique par grandes catégories de types de ressources présentes en Bourgogne Franche-Comté. Ainsi, on est en mesure de définir une première catégorie, très vulnérable, les eaux de surfaces ; cette catégorie se subdivise en cours d'eau et plans d'eau, exposés différemment. Ensuite, on retient une catégorie potentiellement vulnérable de ressources en milieu calcaire fracturé. L'ensemble de ces classes de ressources est présenté dans le tableau page suivante (tableau 2).

Tableau 2 : Classement du type de ressources

Type de ressources	Caractéristiques
Eaux de surface : cours d'eau	Ressources très vulnérables
Eaux de surface : plan d'eau	Ressources moins vulnérables
Karstiques	Ressources potentiellement vulnérables, aquifère hétérogène à perméabilité de fissure
Nappes alluviales	Aquifère à perméabilité d'interstice ⁶ , en communication avec des cours d'eau
Arènes granitiques	Socle, à perméabilité d'interstice ⁶ , mais avec une zone saturée mince
Grès Vosgiens	Aquifère à perméabilité d'interstice ⁶ , Grès du Trias inférieur de Lorraine, mais en Franche-Comté, à l'extérieur de la zone captive ⁷
Nappes profondes	Ressources protégées, en profondeur

Cette approche est réductrice compte tenu des nombreux paramètres intervenants dans la vulnérabilité des ressources, mais on peut au moins distinguer dans ce classement trois catégories majeures présentes en Bourgogne Franche-Comté, d'ailleurs retrouvées plus largement sur le territoire français⁶ : les eaux de surface, les aquifères karstiques et les nappes alluviales. Les autres catégories sont moins représentées, comme on le verra dans la description des résultats.

Les ressources karstiques : une vulnérabilité particulière difficile à caractériser

Le karst est un paysage résultant de processus particuliers d'érosion (la karstification) (Bakalowicz, 1999). Ces processus sont commandés par la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomies) constituant le sous-sol des régions concernées. C'est l'eau de pluie infiltrée dans ces roches qui assure cette dissolution, en acquérant l'acidité nécessaire à la mise en solution de la roche.

Mais le karst est également un aquifère : l'aquifère karstique. Les écoulements y ont créé des vides organisés en une structure hiérarchisée de drainage, le réseau de conduits, de l'amont (la surface) vers l'aval (l'exutoire) (Bakalowicz, 1999). A maturité, l'aquifère karstique, possède souvent un réseau de conduits organisé à la façon d'un bassin versant de surface. Il se distingue alors des aquifères poreux par le fait qu'il possède des vides de grande dimension, dans lesquels les eaux souterraines sont susceptibles de circuler très vite. C'est pourquoi le karst est réputé très vulnérable aux pollutions par comparaison avec les autres aquifères. Cela est expliqué par les caractères suivants (Bakalowicz, 1999) :

- faible rôle filtrant de la zone d'infiltration ;

⁶ Explore 2070 (Ministère de l'écologie, 2012)

⁷ site internet du SIGES-BRGM <http://sigesrm.brgm.fr/Le-reservoir-aquifere-des-gres-du-Trias-inferieur-en> (consulté le 11/09/16)

- faible effet de la dispersion et de la dilution lié à l'organisation des écoulements ;
- temps de séjour de l'eau trop court pour qu'un effet auto-épurateur intervienne au sein de l'aquifère ;
- importante variabilité temporelle de la qualité de l'eau.

En principe, il est souhaitable d'étudier chaque aquifère karstique dans sa totalité, de manière à prendre en compte l'organisation de son drainage souterrain et sa fonctionnalité, mais nous sommes limités par la disponibilité de ce type d'informations.

De plus, il n'existe pas un seul type unique d'aquifères karstiques : il en existe une grande variété en fonction de l'état de développement de la karstification, depuis le pôle aquifère fissuré jusqu'au pôle aquifère karstique pur (Bakalowicz, 1999).

Cependant, on retrouve dans la littérature de nombreux travaux mettant en évidence la vulnérabilité des aquifères karstiques aux fortes précipitations (Beaudeau, 2012), avec un indicateur intéressant relatif au degré de vulnérabilité aux pollutions microbiologiques, la turbidité. Il existe un lien fort entre la présence de pics manifestes de turbidité et le risque de contamination ; cette dimension sera prise en compte afin de distinguer les ressources en milieux fracturés plus vulnérables d'autres ressources qui le sont moins.

2.3.3 L'efficacité des traitements

La filière de traitement de l'eau brute comporte plusieurs étapes, de la clarification à l'affinage, dont certaines ont une efficacité reconnue sur la réduction de la flore microbiologique. L'abattement de cette flore s'explique d'une part par la réduction de la matière organique représentant un substrat nutritif propice au développement bactérien, mais surtout par l'inactivation des micro-organismes lors de désinfection chimique (acide hypochloreux, dioxyde de chlore ou ozone) ou physique (par UV). Ce dernier traitement par UV n'a pas d'effet rémanent, ce qui nécessite une post-chloration (Beaudeau, 2012).

Selon les micro-organismes, ces traitements ont une capacité propre d'abattement. Ainsi, le tableau ci-dessous (tableau 3) propose une synthèse qualitative de l'efficacité des différents procédés de désinfection, sachant que comme on l'a vu précédemment la chloration inactive totalement *E.coli* et les bactéries d'origine fécale.

Tableau 3 : Efficacité potentielle de trois désinfectants sur trois pathogènes critiques (Beaudeau, 2012)

	Chlore libre	Ozone	Bioxyde de chlore	UV
Virus entérique	++++ à +++	+++++	+++	++
<i>Giardia</i>	++ à +	++++	+++	++++
<i>Cryptosporidium</i>	0	0	0	+++++

0 négligeable ; + faible ; ++ acceptable ; +++ bonne ; ++++ très bonne ; +++++ excellente

Ce tableau fait ressortir les difficultés liées à la gestion du risque parasitaire par simple désinfection chlorée, notamment en ce qui concerne *Cryptosporidium*. De surcroît, le risque viral n'est pas totalement maîtrisé par la chloration, ce qui pose quelques limites à la capacité du contrôle sanitaire à caractériser le risque infectieux. La Bourgogne Franche-Comté a une activité agricole d'élevage bovin importante, et les bovins, notamment les veaux nouveau-nés, sont souvent porteurs de *cryptosporidium* (ANSES, 2011).

Du reste, si l'on considère plus globalement l'ensemble des étapes de traitement, comme présenté dans le tableau suivant (tableau 4), on remarque le fort potentiel de la filtration membranaire par ultrafiltration.

Tableau 4 : Efficacité des différentes étapes de traitements de l'eau sur les micro-organismes (source : Beaudeau 2012 ; Pouzet 2013)

Désinfection	Clarification	Abattement Parasitaire (Log ₁₀)	Abattement Viral (Log ₁₀)	Abattement Bactérien (Log ₁₀)		
		<i>Cryptosporidium</i>		Coliformes	Entérocoques	Bactéries sulfito-réductrices (spores)
Cl ₂ (CT=15mg.min/L)		0 ⁽¹⁾	>4 ⁽³⁾	>4 ⁽⁴⁾	4 ⁽⁵⁾	<1 ⁽³⁾
Pré-ozonation		0,3 ⁽¹⁾				
Ozonation		0,5 ⁽¹⁾				
	Filtration Charbon Activé Grain	0,9 ⁽¹⁾				
	Filtration directe sans coagulation	2 ⁽¹⁾	2 ⁽³⁾	1 à 2 ⁽³⁾	1 à 2 ⁽³⁾	<1 ⁽³⁾
UV (40mJ.cm ⁻²)		3 ⁽²⁾	1 à 4 ⁽²⁾	>4 ⁽²⁾	>4 ⁽²⁾	<1 ⁽²⁾
	Coagulation, décantation + filtration	3,2 ⁽¹⁾	3,0 ⁽¹⁾			
	Filtration lente	3,8 ⁽¹⁾				
	Ultrafiltration	>7 ⁽¹⁾ (4 Log en conditions opérationnelles - en prenant en compte les fibres cassées)	>6,5 ⁽¹⁾	>7 ⁽¹⁾		

(1) Smeets 2006 ; (2) Hijnen, 2006 ; (3) US-EPA, 1999 ; (4) Degrémont, 2005 ; (5) Kampelmacher, 1977

Toutefois, même si cette filtration sur membrane est très efficace pour éliminer les kystes et les oocystes de protozoaires, il faut tenir compte de l'intégrité du système (ruptures, joints toriques, raccords et adhésifs) de même que de l'encrassement et de la dégradation de la membrane. L'accumulation de particules et de produits chimiques ainsi que la croissance biologique sur les surfaces de la membrane causent ordinairement l'encrassement de cette dernière, tandis que l'hydrolyse et l'oxydation entraînent généralement sa dégradation. (Santé Canada).

Classement des différents types de traitement :

Au regard de l'efficacité propre de chacune de ces étapes de traitement, les traitements peuvent être classés d'une part selon quatre types de filière, allant de l'absence de traitement à la filière complète incluant une étape de coagulation, présentées dans le premier tableau ci-dessous

(tableau 5). Ensuite, ils peuvent être catégorisés selon le type de désinfection, selon le type de chloration quand elle existe, puis selon le type de filtration, catégories présentées dans le tableau 6.

Tableau 5 : Classes de filières de traitements

Filière
Absence de traitement
Simple désinfection
Filtration + désinfection
Coagulation/décantation, filtration + désinfection

Tableau 6 : Classes de désinfection, de chloration et de filtration

Désinfection	Chloration	Filtration
Chloration	Hypochlorite de sodium	Filtration sur sable
Ozonation	Chlore gazeux	Charbon Actif en Grain
UV	Dioxyde de chlore	Microfiltration
		Ultrafiltration

Pour conclure, il apparaît que risque infectieux est fortement dépendant du type de ressource, mais aussi du type de traitement : on ne peut donc pas les dissocier. Leur association détermine ce qu'on nommera dorénavant « type d'eau distribuée ». Ces types d'eau distribuée, ou caractéristiques structurelles, vont entrer dans la définition de l'exposition, en complément des analyses du contrôle sanitaire, pour être intégrés dans l'étude en cours.

3 Etude en cours : la caractérisation du risque infectieux hydrique global en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014

3.1 De l'initiation du projet à la seconde étape de définition des composantes environnementales de l'exposition

Etant entendu que l'évaluation sanitaire de la qualité des EDCH par les ARS ne porte que sur les données environnementales exclusivement, sans données épidémiologiques humaines, les ARS de l'ex-région Bourgogne et de l'ex-région Franche Comté ont saisi en 2013 la CIRE afin qu'elle étudie la faisabilité de fournir un indicateur de l'état de santé de la population liée à la qualité de l'eau du robinet.

Ainsi, un projet d'étude exploratoire a été initié, visant à caractériser le risque infectieux hydrique global (épidémique et hyper-endémique) par le biais d'une étude écologique géographique sur une période et un effectif suffisant. Une première étude de faisabilité, consignée dans le rapport de stage de Master de Sandrine Demarquay, a permis d'étudier les cofacteurs connus associés aux gastro-entérites aiguës dans les 8 départements de Bourgogne et de Franche-Comté sur la période 2009-2011. Un second volet de son mémoire présentait l'exploration de la possibilité d'exploiter les données structurelles caractérisant l'eau distribuée inscrites dans SISE-Eaux.

Or, il est apparu que les données de SISE-Eaux alors extraites présentaient des insuffisances manifestes pour caractériser de manière homogène les types d'eau distribuée dans l'ensemble des 8 départements considérés : en effet, certains champs libres de SISE-Eaux sont remplis de manière hétérogène selon les Unités Territoriales Santé-Environnement (UTSE). De plus, des problèmes constatés de mise à jour de données ont conduit à conclure à la nécessité de solliciter directement l'expertise d'acteurs locaux dans la co-construction d'une base de données exploitable, et surtout de leur validation.

Un travail de constitution de ce type de base a donc été réalisé au cours de cette mission professionnelle, pour disposer d'un matériel d'étude de données consolidées exploitables pour la suite de l'étude, qui porte donc sur la population de Bourgogne Franche-Comté sur les trois années de 2012 à 2014, qui se donne pour objectif de caractériser le risque infectieux global lié à l'eau potable en croisant les données de gastro-entérites aiguës médicalisées avec les différentes caractéristiques d'exposition déjà décrites.

3.2 Les sources de données

3.2.1 Les données de GEA : les gastro-entérites médicalisées

L'InVS a développé un système de surveillance rétrospective des GEA qui repose sur l'exploitation des données de remboursements des prescriptions médicales du SNIIR-AM. On a ainsi défini des cas de gastro-entérites médicalisées (GEAm), c'est à dire les cas de GEA ayant donné lieu à une consultation médicale. Pour ce faire, chaque ordonnance sur laquelle figure au moins l'un des médicaments habituellement utilisé dans le traitement des GEA est extraite de la base de données SNIIR-AM. Les classes thérapeutiques utilisées sont listées dans le tableau en annexe III.

Les données de remboursements sont traitées automatiquement par un algorithme de discrimination afin de séparer les ordonnances destinées à des cas de GEA de celles relevant d'autres pathologies (Bounoure, 2011). Cet algorithme se fonde d'une part sur l'occurrence, dans l'ordonnance, des médicaments précités, d'autre part sur leur délai de délivrance suite à la prescription, fixé comme devant être inférieur à deux jours pour les cas de GEA, et enfin sur le nombre de boîtes délivrées par spécialité. Cela permet d'atteindre une forte spécificité, de l'ordre de 89% (Bounoure, 2011).

En analysant les 77 703 822 dossiers de remboursements mentionnant au moins un médicament cible et concernant l'ensemble des personnes résidant sur le territoire métropolitain entre 2007 et 2010, l'algorithme de discrimination a retenu 37% du total comme cas de GEA médicalisées, soit un taux annuel d'incidence des GEA médicalisées de 0,11 personnes-années (Beaudeau, 2012).

On peut donc considérer qu'un tiers des cas de GEA sont des cas médicalisés, selon l'estimation vue dans une section précédente de l'incidence de GEA en France qui, pour rappel, est de 0,33 cas par personne par an (Van Cauteren, 2012).

En France, les cofacteurs de GEAm retrouvés dans la littérature, c'est à dire les variables explicatives de l'incidence de GEA donnant lieu à une consultation médicale, sont l'âge des patients, avec un taux d'incidence multiplié par huit entre 0 et 5 ans, la saison avec un pic en hiver et au printemps, et la taille de la population, avec un taux plus faible dans les communes de plus de 100000 habitants (Van Cauteren, 2011),

Les données de GEAm sont identifiées par commune ; ce point est déterminant pour définir l'échelle des unités géographiques dans l'étude de notre analyse, et introduit une certaine complexité puisque les communes ne se superposent pas systématiquement avec les UDI.

3.2.2 Les données environnementales extraites de SISE-Eaux

La base de données SISE-Eaux rassemble les informations structurelles (ressources, traitements, réseau, production, opérateur et population desservie) et les résultats analytiques, de façon exhaustive. Dans le cadre de l'étude, cela permet de disposer des données du contrôle sanitaire en distribution pour chaque UDI, mais aussi pour les captages concernés (et ce sur une période prolongée, puisque certaines données remontent à 1984).

Les données structurelles, c'est à dire concernant la nature des captages, des traitements, des liens entre les différentes installations, et des liens entre UDI et communes, avaient été extraites en 2013.

Les données de contrôle sanitaire sur la période 2012-2014 (liste en annexe IV) ont été extraites au cours du mois de juillet 2016, dans chaque département.

Il est important de souligner qu'au cours de cette étude, nous n'avions pas d'accès direct à SISE-Eaux, et qu'il a fallu pour en extraire les données passer par l'intermédiaire d'une personne ressource au sein d'une des UTSE pour construire les requêtes, qui ont été diffusées à chaque référent départemental.

Par ailleurs, concernant les données structurelles, on a pu bénéficier d'une source plus fiable de données en termes de mises à jour et plus précise en termes de qualification de l'eau par UDI, pour les quatre départements de l'ex-Franche Comté (soit le Doubs, le Jura, la Haute-Saône et le Territoire de Belfort). En effet chaque année, un nouveau fichier de données est mis à jour par le référent EDCH de l'UTSE, selon deux objectifs :

- Disposer d'un descriptif de l'eau distribuée pré-écrit, référencé par UDI, pour compléter le document appelé « info-facture »
- Avoir une base d'informations par UDI lisible et facile d'accès en cas d'alerte sanitaire.

Ces fichiers donnent donc des éléments descriptifs de la provenance de l'eau pour chaque UDI (avec leur code national d'identification SISE-Eaux) et précisent le traitement ainsi que le type de ressources en amont (eaux de surfaces, nappes alluviales, karstiques, grès vosgien ou nappes profondes).

Disposant ainsi des caractéristiques de l'eau distribuée, il fallait ensuite consolider ces données avant de procéder par étapes pour construire une base d'informations environnementales par commune : la base communale de type d'eau distribuée.

3.3 Méthode de constitution de la base communale de type d'eau distribuée

Des réunions ont été tenues avec chaque référent des 8 UTSE pour discuter des spécificités locales, et surtout pour compléter et valider une base de données consolidées. L'expertise des référents départementaux était déterminante compte tenu de l'apport nécessaire de leur connaissance des systèmes de production et de distribution dans leurs départements respectifs.

Concernant les quatre départements de l'ex-Bourgogne, comme le travail a été mené uniquement à partir de données de SISE-Eaux extraites en 2013, il fallait d'abord identifier la nature des captages, notamment ceux pour lesquels les caractéristiques n'étaient pas précisées dans SISE-Eaux, compléter les données de traitement manquantes, puis reconstituer schématiquement chaque réseau. Pour les quatre départements de l'ex-Franche-Comté, le travail de validation a d'abord consisté à compléter les informations des fichiers décrits dans la section précédente, et s'assurer de leur cohérence.

Disposant de ces informations, nous avons ainsi construit une base de données par UDI décrivant le type d'eau distribué. Quand il se présentait des UDI alimentées par des traitements ou des ressources différentes (mélanges), le type de l'eau était classé dans une catégorie mixte. Il en était de même si le type d'eau avait évolué pour des raisons de changements substantiels (ressource abandonnée, changement de type de traitement) au cours de la période d'étude.

La seconde étape consistait à transposer à chaque commune l'information concernant les UDI. Lorsque la commune était alimentée par plusieurs UDI, on a considéré que si le couple ressource-traitement était de même nature dans ces UDI, alors la commune était alimentée par un seul type d'eau. A l'inverse, lorsque les couples ressource-traitement différaient, l'eau distribuée sur ladite commune était considérée comme « mixte ».

Cependant, nous avons fixé un seuil à cette distinction : dès lors qu'une UDI représentait moins de 5% de la population, il n'en a pas été tenu compte (cela concerne généralement des hameaux alimentés par une UDI d'une commune voisine, pouvant être de nature différente).

La base finale de données qualitatives ainsi constituée par communes a été enfin validée par chaque UTSE.

3.4 Résultats de l'étude en cours

3.4.1 Description des unités géographiques

La zone d'étude comprend 3831 communes, réparties sur huit départements dans lesquels résident 2 815 137 habitants (données INSEE 2012). Les tableaux présentant ces données descriptives plus en détail figurent en annexe VI.

3.4.2 Description des cas de GEAm

Nous ne considérerons que les cas de GEAm dont l'âge est supérieur à un an, car avant un an les données sont imprécises : seule l'année de naissance est importée du SNIIR-AM. Ces données ne présentent pas d'intérêt dans les études sur l'eau potable car peu d'enfants de moins d'un an consomment de l'eau du robinet au cours de leur première année (Beaudeau, 2012).

Ainsi, sur la période 2012-2014, on dénombre 644 172 cas de GEAm, avec un taux d'incidence régional standardisé sur l'âge de la population française de 7,8%. On observe un taux d'incidence plus élevé dans les départements de l'ex-Franche-Comté, de 9,7% (comme ce qui avait été observé pendant la période 2009-2011 dans le rapport de Sandrine Demarquay ; 7,5% dans les départements de l'ex-Bourgogne). Il n'y a pas eu, à notre connaissance, de manifestation particulière d'épidémies dans la région au cours de cette période.

Les premières analyses considérant ces cofacteurs des GEAm dans notre étude correspondent aux résultats déjà obtenus lors du travail préliminaire sur la période antérieure 2009-2011, à savoir, sommairement :

- Un taux d'incidence de GEAm sensiblement supérieur dans les classes d'âges inférieures à 15 ans, qui représentent 48% des cas pour seulement 17% de la population, qui impose la prise en compte de l'âge, par des méthodes de standardisation.
- Une part des cas de GEAm légèrement supérieure chez les femmes que chez les hommes, (54% versus 46%, $p < 0,05$).
- Une absence de relation linéaire établie entre les taux d'incidence de GEAm par commune et l'accessibilité aux soins, déterminée par un indicateur, l'Accessibilité Potentielle Localisée, calculant au niveau de chaque commune l'accessibilité à un médecin généraliste (Barlet, 2012).
- Enfin, une absence de relation linéaire établie entre le niveau de formation des habitants et des taux d'incidence de GEAm par commune.

Distribution temporelle des cas de GEAm :

On observe ce qu'on retrouve à l'échelle nationale, à savoir une évolution cyclique avec des pics épidémiques hivernaux. Entre ces pics, on constate le bruit de fond de cas sporadiques, observé dans la courbe épidémique ci-dessous (figure 3) :

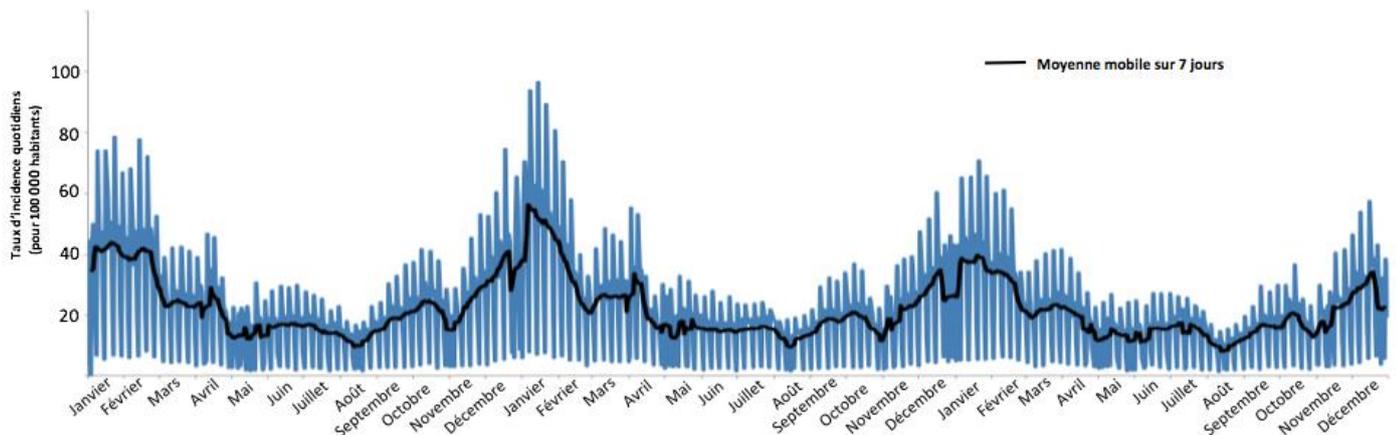


Figure 3 : Distribution temporelle des cas de GEAm en Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014

Distribution spatiale des cas de GEAm

Une cartographie des taux d'incidence de GEAm standardisés sur l'âge est présentée en annexe VII. Cette carte distingue trois classes : la première, représentée en blanc, est comprise entre 0 et le taux moyen régional, soit 7,8%. La seconde, grisée, comprend les communes ayant un taux d'incidence compris entre cette moyenne et un seuil fixé arbitrairement à 10,7%, qui permet de faire ressortir certains groupes de communes ayant des taux d'incidences plus élevés dans une troisième classe représentée en noir sur la carte.

On observe ainsi que les communes appartenant aux deux classes supérieures au taux moyen (en grisé et en noir) sont regroupées avec une certaine homogénéité dans une région délimitée de la moitié septentrionale du Jura au sud, de la moitié orientale de la Côte d'Or à l'ouest, et de la quasi-intégralité des départements du Doubs et de la Saône-et-Loire. Il est intéressant de remarquer qu'on visualisait déjà cette tendance de gradient entre les départements de l'ex-Franche-Comté et de l'ex-Bourgogne dans les cartes réalisées par Sandrine Demarquay en 2013, qui considérait la période d'étude 2009-2011. En dehors de cette zone marquée par des taux d'incidence globalement plus élevés, on observe isolément des communes ressortant parfois dans la classe « haute » de forte incidence.

Les taux d'incidence de GEAm peuvent varier selon de fortes amplitudes pour les petites communes (par exemple, pour une commune de 33 habitants, un seul cas de GEAm

supplémentaire dans notre période d'étude de trois ans incrémente le taux d'incidence annuel d'1%), ce qui est le cas de communes ayant des taux jusqu'à 34% (avec des populations inférieures à 200 habitants). A l'inverse, on peut remarquer que dix communes n'ont pas présenté de cas de GEAm durant les trois années de la période d'étude (de même, il s'agit de communes ayant des populations inférieures à 200 habitants).

3.4.3 Description des types de ressources en Bourgogne Franche-Comté

On compte 2177 UDI sur l'ensemble de la région Bourgogne Franche-Comté en 2012, mais si on ne considère que les UDI d'adduction collective publique concernées (c'est à dire sans tenir compte des UDI privées, à l'exception de celles gérées par des Associations Syndicales Libres), cela ne représente que 2130 UDI d'intérêt. Sur l'ensemble de ces UDI, nous avons constitué une base regroupant les informations relatives au type de l'eau distribuée (les données structurelles de ressources et de traitement) selon la méthode décrite précédemment.

On a alors pu cartographier l'ensemble des données relatives aux ressources sur une carte présentée en annexe VIII, permettant de visualiser les éléments de description présentés ci-dessous.

Description par département

L'objectif de cette section est de donner quelques éléments contextuels permettant d'apprécier la qualité des données, de donner une description sommaire des types de ressources s'appuyant sur la cartographie susmentionnée, et de préciser quelques particularités propres à chacun des huit départements. Le choix de présentation par département se justifie par le fait que le référencement des données a été effectué selon chaque UTSE, l'historique de l'organisation par DDASS expliquant les pratiques différentes selon les départements.

Cette description aborde d'abord les quatre départements de l'ex-région Bourgogne, puis les quatre départements de l'ex-région Franche-Comté, présentés dans l'ordre alphabétique, étant donné que pour rappel les données bourguignonnes sont directement issues de SISE-Eaux tandis que les données Franc-comtoises sont issues de fichiers internes.

On peut noter en préambule à cette description que 7 communes n'ont pas de réseau collectif d'adduction d'eau potable, ce qui représente 339 habitants. Elles sont représentées en blanc sur la carte, mais la résolution est insuffisante pour toutes les distinguer.

Départements de l'ex-région Bourgogne

Côte d'Or :

On y dénombrait 391 captages actifs à usage public en 2013. L'ouest du département est desservi par de l'eau de surface (en rouge sur la carte). Dans le sud-ouest du département, l'eau est captée des nappes alluviales de la Saône.

Plus au Nord, des spécificités géologiques ont posé question : les aquifères perchés de l'Auxois, au nord-ouest du département (125 captages). Pour les caractériser, nous avons consulté Mr Nicolas CHEYNET, hydrogéologue chargé de mission ressource en Eau du Conseil Départemental de la Côte-d'Or. Selon lui, ces captages des « Nappes Perchées de l'Auxois » puisent l'eau dans des milieux calcaires fissurés, avec une circulation rapide à moyennement rapide (pas aussi rapide que dans certains karsts du Doubs ou du Jura par exemple que nous verrons plus loin). Les temps de séjour peuvent varier de quelques jours à quelques semaines, mais avec des réactions aux précipitations relativement rapides, de 24 à 48 heures. Ces ressources ont donc été classées dans la catégorie de ressources karstiques potentiellement vulnérables (en orange sur la carte).

Le deuxième point d'interrogation était relatif aux aquifères codés dans SISE-Eaux sous l'item « nappes alluviales anciennes ». Ces aquifères ne sont pas en communication directe avec des cours d'eau, ce qui les exclut de notre catégorie alluviale. Etant donné qu'il s'agit de captages souvent très profonds (jusqu'à 200 m de profondeur), avec des temps de séjour supérieurs à un mois et des temps de transferts supérieurs à une année, au minimum quelques mois. De plus, ils sont pour la plupart sous un toit perméable les protégeant du risque de pollution ; on les a donc classés en nappes profondes.

L'hydrogéologue a par ailleurs fait remarquer que l'item « type de captage », précisant s'il s'agit d'une source, d'une tranchée drainante, d'un puit ou d'un forage (champs intitulé CAP - Type - Nom), était peu fiable pour les captages considérés proposés en lecture (Nappes Perchées de l'Auxois et Nappes Alluviales Anciennes).

L'alimentation de la communauté de communes du Grand Dijon (248 000 habitants en 2012, selon l'INSEE) est complexe, avec des UDI interconnectées alimentées par des mélanges d'eau de ressources karstiques, alluviales et un appoint occasionnel d'eau superficielle de la rivière Saône, qui forment donc une vaste entité mixte.

Enfin, on remarque qu'étant donné que les ressources karstiques étaient codées telles quelles, on n'a pas repris l'information de connaissance de pics de turbidité dans la ressource. Il apparaît que cette information devrait être ajoutée en prenant en compte les analyses de turbidité sur l'eau brute.

Nièvre :

Ce département très rural, qui comptait 309 captages actifs en 2012, présente deux particularités. D'abord, l'organisation des systèmes de distribution reste en règle générale relativement simple : bien souvent, chaque UDI est alimentée par une seule station de traitement, puis chaque station de traitement par une ressource unique. La seconde particularité locale est le mode de gestion de l'adduction d'eau potable dans certaines communes par des Associations Syndicales Libres (ASL). Cela en fait un cas particulier d'adduction collective privée (Codée dans SISE-Eaux en « PRV »). Par ailleurs, le morcellement de ces communes en de nombreuses UDI pose souvent problème. Pour exemple, on peut citer le cas de la commune d'ARLEUF (code INSEE 58010), avec 20 UDI desservant 812 habitants.

Globalement, le département se découpe en quatre parties : une part importante de l'eau distribuée est puisée dans les nappes alluviales de la Loire au sud et à l'ouest, ensuite certaines communes sont alimentées par des eaux de surface à l'est et au nord. Dans le centre du département il s'agit de ressources karstiques pour lesquelles on n'a pas précisé la vulnérabilité aux pics de turbidité, et enfin on recense quelques ressources en arènes granitiques au niveau des massifs granitiques du Morvan, au nord-est du département.

Pour certaines ASL, entre 2012 et 2014, l'absence de raccordement au réseau électrique (zones rurales isolées) et les difficultés d'une gestion qui repose sur des associations explique l'utilisation de galets d'hypochlorites de calcium pour assurer un niveau minimum de désinfection (mais cela ne représente que 1024 habitants sur 4 communes, en ne considérant que les communes exclusivement alimentées par de l'eau avec ce type de traitement).

Saône-et Loire :

Entre 2012 et 2014, les ressources alimentant la Saône-et-Loire sont majoritairement des ressources alluviales, soit plus de la moitié d'un département qui contient relativement peu d'UDI (cf. le tableau 2.1 en annexe VI), pour 499 captages actifs. Le nord-ouest du département est alimenté exclusivement par des eaux de surface, pour les communes de grande taille, et par des sources dans les arènes granitiques dans de nombreuses petites communes. Enfin quelques communes sont alimentées par des ressources karstiques, dont la majorité ont été identifiées comme peu vulnérables compte tenu de la faible réactivité aux précipitations.

On peut noter que l'Agglomération de Mâcon, par exemple, bien que desservie par plusieurs UDI est alimentée par une eau de nature homogène selon nos critères, puisqu'il s'agit

uniquement de ressources alluviales, traitée par filière complète comprenant une clarification avec coagulation puis une ozonation ainsi qu'une chloration au chlore gazeux.

Enfin on peut relever la présence anecdotique de gestion en ASL, comme présenté à propos de la Nièvre.

Yonne :

Le département de l'Yonne est situé au sud-ouest du bassin parisien, sur des couches sédimentaires étendues, du crétacé et du jurassique. L'eau distribuée provient de 291 captages dans des aquifères divers, au centre du département des nappes alluviales de l'Yonne, et d'eau superficielle au sud-est du département. Cependant le reste des ressources provient donc soit des aquifères situés dans des sous-sols calcaires, soit des aquifères implantés dans de la craie ; à l'exception de quelques ressources situées dans certaines nappes profondes de l'albien (sables).

La seule information disponible étant alors la couche géologique (par exemple BATHONIEN, TURONIEN, SENONIEN...) dans le champ « ESO –Nappe – Nom ». Il n'a pas été possible de croiser cette information par exemple avec le type de captages (source, puit, forage...), cette donnée étant peu fiable ; en effet, pour une dizaine de captages, leur type était identifié comme étant une source alors que l'aquifère était codé en nappe profonde. En effet, la nature de la nappe (dans le champ « ESO – Nappe – DDASS – Nom ») était systématiquement présentée en « Nappes profondes ». Après concertation, il s'avère que cette information ne peut clairement pas être considérée en l'état.

En conséquence, il a fallu revoir chaque captage un par un pour les qualifier dès lors qu'ils ne sont ni en nappes alluviales, ni en eaux superficielles. Leur qualification s'est faite selon la connaissance à dire d'experts d'évènements récurrents de pics élevés de turbidité dans les captages en milieu calcaire ou crayeux.

Départements de l'ex-région Franche-Comté

Les quatre départements suivants, de l'ex-Franche Comté sont caractérisés par une partie sur les contreforts des massifs jurassiens (Doubs et Jura), au contexte géologique karstique typique, avec des UDI de petites tailles particulièrement vulnérables, comme on le verra lors de la description des données du contrôle sanitaire. Ainsi, les aquifères karstiques constituent des ressources importantes en Franche Comté, occupant de grandes surfaces. Le Jura au sens géographique du terme comprend plusieurs systèmes karstiques offrant des potentialités importantes tels que les systèmes du Doubs-Loue, de l'Ain Papeterie ou encore de la source d'Arcier alimentant la ville de Besançon. Plus de 1000 sources issues des plateaux calcaires sont captées pour l'alimentation en eau potable de nombreuses collectivités.

Doubs :

Localement, on relève quelques captages en eau superficielle, dans les rivières de la Loue ou du Doubs, notamment au nord-est du département, et en plan d'eau dans le sud. Pour un tiers du département, l'eau provient de ressources en nappes alluviales, notamment en regard de la rivière du Doubs. Mais la majorité des 375 captages actifs en 2012 puisent l'eau dans des aquifères karstiques pour certains particulièrement vulnérables aux contaminations microbiologiques.

Jura :

Le Jura se subdivise globalement en trois zones distinctes en termes de type d'eau distribuée : des nappes alluviales dans un large tiers au nord-ouest, des ressources en eaux superficielles (eaux de lac) au sud-ouest du département, zone qui s'insère dans un territoire plus vaste recouvrant la moitié est, alimentée par des ressources de nature karstique, plus vulnérables à l'instar du département voisin du Doubs. On y comptait 331 captages actifs en 2012.

Haute-Saône . :

Dans la continuité des contreforts calcaires des massifs jurassiens des départements du Doubs et du Jura, une grande partie des 427 captages sont aussi en ressources karstiques. On relève la présence d'eau de la nappe des grès vosgiens, dans le nord-est, avec une eau caractérisée par sa faible conductivité (inférieure à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), qui présente relativement peu de problèmes connus de turbidité.

Territoire de Belfort :

Ce département de taille plus restreinte est alimenté pour moitié par des eaux de surface et en nappes alluviales. Il disposait de 37 captages actifs en 2012 ; certaines communes dans la moitié est sont alimentées par la nappe du Sundgau, plus profonde, qui entre dans une catégorie de ressources protégées.

Suite à cette description globale des ressources en Bourgogne Franche-Comté, considérons à présent les classes représentées par les regroupements de communes présentant la même exposition à une eau d'une origine de même nature et partageant le même traitement.

3.4.4 Les effectifs représentés dans chaque classe de couple ressource-traitement

En faisant ce type de regroupement, on peut désormais quantifier les effectifs sur lesquels on pourra procéder à des analyses du risque infectieux selon les caractéristiques structurelles de la production de l'eau potable.

Cependant, la démultiplication des différentes classes ainsi constituées, qui sont présentées dans le tableau en annexe IX, montre bien la complexité de la prise en compte précise de tous les types de traitement. Ainsi, en ne tenant pas compte du type de chloration (hypochlorite de sodium, chlore gazeux ou dioxyde de chlore) on obtient déjà 51 classes différentes de regroupement de communes.

Mais il apparaît que ces regroupements par type d'eau distribuée définissent des groupes aux effectifs intéressants, permettant de montrer des différences d'incidence de GEAm selon l'exposition à un type d'eau donnée. Pour exemple, on observe qu'on dispose d'un ensemble de communes représentant 191 517 habitants desservis par de l'eau issue de ressources karstiques potentiellement vulnérables dont l'eau est traitée par simple chloration, comme présenté dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Exemples de classes de population constituées selon le type d'eau distribué, Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014

Type de ressource	Traitement	Population	Part de la population*
Eau de surface (cours d'eau)	coagulation, filtration sur sable/charbon, chloration et ozonation	145 193	5,2%
Eau de surface (plan d'eau)	coagulation, filtration sur sable/charbon, chloration	60 997	2,2%
Karstique, potentiellement vulnérable	simple chloration	191 517	6,8%
	filtration sur sable/charbon, chloration	20 105	0,7%
	ULTRAFILTRATION et chloration	31 770	1,1%
Karstique, moins vulnérable (sans pic de turbidité connu)	simple chloration	72 354	2,6%
Nappes Alluviales	simple chloration	682 467	24,2%
	simple désinfection UV	30 627	1,1%
Arènes granitiques, Grès Vosgiens	simple chloration	51 040	1,8%
Nappes profondes	simple chloration	35 252	1,3%

*Population de Bourgogne Franche-Comté en 2012

Ainsi, les analyses visant à étudier l'impact de la qualité de l'eau selon les caractéristiques structurelles (couple ressource-traitement) sur l'incidence de GEAm sont désormais possibles, et elles sont en cours d'étude, mais il est trop tôt pour en présenter les résultats dans ce rapport. En revanche, on dispose désormais de quelques premiers résultats concernant les données du contrôle sanitaire, complémentaires aux données structurelles décrites jusqu'alors.

3.4.5 Etude du risque associé aux non-conformités bactériologiques dans l'eau distribuée

A partir des données disponibles dans cette étude, on peut se poser deux questions : observe-t-on un risque majoré d'infection gastro-intestinale dans les populations exposées à de l'eau présentant au moins une non-conformité dans les analyses effectuées sur les UDI qui les alimentent ? Et pour ces mêmes UDI, peut-on observer une corrélation entre le taux de contamination bactérienne relevé et l'incidence de gastro-entérites (en d'autres termes, peut-on observer une relation dose-effet ?) ?

Avant d'analyser le risque infectieux lié aux non-conformités bactériologiques, nous présenterons quelques éléments décrivant leur distribution dans le temps, puis dans l'espace.

a. Evolution des non conformités dans le temps, sur la période 2012-2014

Le nombre d'analyses bactériologiques mensuelles est relativement stable dans la région Bourgogne Franche-Comté, avec une moyenne de 1036 par mois. Les mois pendant lesquels le nombre d'analyses est moindre sont avril, mai, août, et surtout décembre (812 en moyenne).

Globalement, la proportion d'analyses non conformes par mois varie de 1% et 4%, sur l'ensemble de la région Bourgogne Franche-Comté, avec un taux moyen sur la période d'étude de 2,9% (cf. figure 4 ci-dessous). Ce taux est légèrement supérieur au taux observé en 2013 à l'échelle nationale, qui était de 2,4% (4666 prélèvements non conformes sur un total de 192 012 (DGS, 2016)).

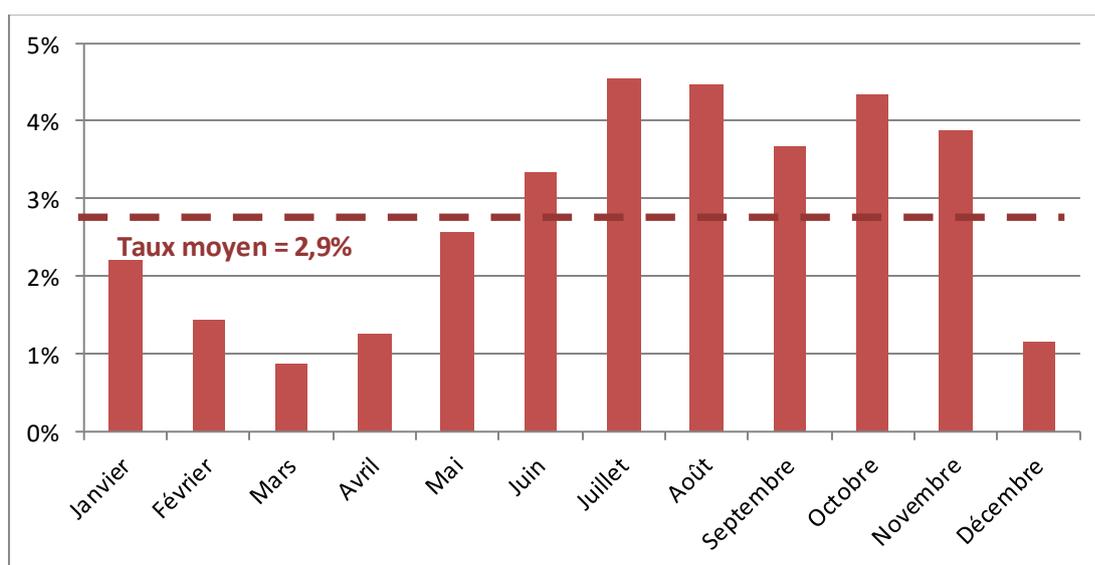


Figure 4 : Pourcentages d'analyses non-conformes bactériologiquement ([E. coli] ou [entérocoques] > 1) en distribution par mois au niveau de la région Bourgogne Franche Comté entre 2012 et 2014

Entre le minimum au mois de mars et le maximum aux mois de juillet à octobre, on observe une croissance progressive d'avril à juin, puis à partir du mois d'octobre une dégression avec un mois creux en décembre (peut-être expliqué par une sélection particulière des points de prélèvements).

Ce résultat est quelque peu discordant avec ce que l'on aurait pu attendre, étant donné que les contaminations des aquifères vulnérables sont a priori plus probables lors d'épisodes de fortes précipitations, lorsque les ruissellements, puis les infiltrations de l'eau véhiculent les contaminants vers les nappes, et que globalement les précipitations sont plus fréquentes l'hiver que l'été : on aurait donc pu s'attendre à des non-conformités plus fréquentes sur les périodes automnales et hivernales. De plus, le niveau de saturation des nappes est alors plus élevé, réduisant ainsi la hauteur de sol non saturé, et donc la capacité de filtration, ce qui pourrait amplifier ce phénomène. Ces taux de non conformités plus élevés en période estivale peuvent peut-être s'expliquer entre autres par les hypothèses suivantes, à explorer :

- La température plus élevée en été peut favoriser la reviviscence bactérienne dans les réseaux (il s'agit en effet uniquement des non-conformités en distribution) ;
- La mise en pâture du bétail en été pourrait favoriser la contamination des captages ;
- Les travaux sont peut-être plus importants en été ;
- La continuité du service de gestion des stations de traitement peut être perturbée sur les petites UDI en été, selon les périodes de vacances des fontainiers.

Si on observe ces mêmes taux d'analyses non conformes plus en détail, selon chaque mois, on peut cependant remarquer que ponctuellement, le taux maximum observé (en juillet 2014) correspond à un mois particulièrement pluvieux sur la Franche-Comté : selon les bulletins climatiques mensuels de Météo France⁸, les précipitations étaient alors comprises entre 100 mm et 400 mm, soit deux à trois fois la normale pour cette saison.

b. Distribution spatiale des non-conformités bactériologiques en Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014

Les taux les plus élevés de non conformités sont observés dans les départements de l'ex-région Franche-Comté, avec un taux particulièrement élevé dans le département du Jura, comme indiqué dans le tableau page suivante (tableau 8). Les taux les plus faibles sont retrouvés en Saône-et-Loire et dans le Territoire de Belfort.

⁸ données accessibles sur le site de Météo France, à l'adresse suivante : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=129&id_rubrique=29 (consulté le 5/09/16)

Tableau 8 : Non-conformités bactériologiques en distribution par département en Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014

Département	Nombre de prélèvements	Nombre de non-conformités	Pourcentage
Jura	3918	214	5,5%
Doubs	5977	234	3,9%
Haute-Saône	6262	245	3,9%
Côte d'Or	6910	153	2,2%
Nièvre	2759	61	2,2%
Yonne	5626	100	1,8%
Saône-et-Loire	4769	54	1,1%
Territoire de Belfort	1062	7	0,7%

Pour chaque département, l'évolution dans le temps à l'échelle de l'année (figure 5 ci-dessous) est relativement stable, avec une tendance à l'amélioration ; on observe une décroissance plus prononcée dans le département de la Nièvre (58) pour l'année 2014 (à relativiser avec un nombre de prélèvements plus important cette année-là, de 1002 contre 880 les années précédentes).

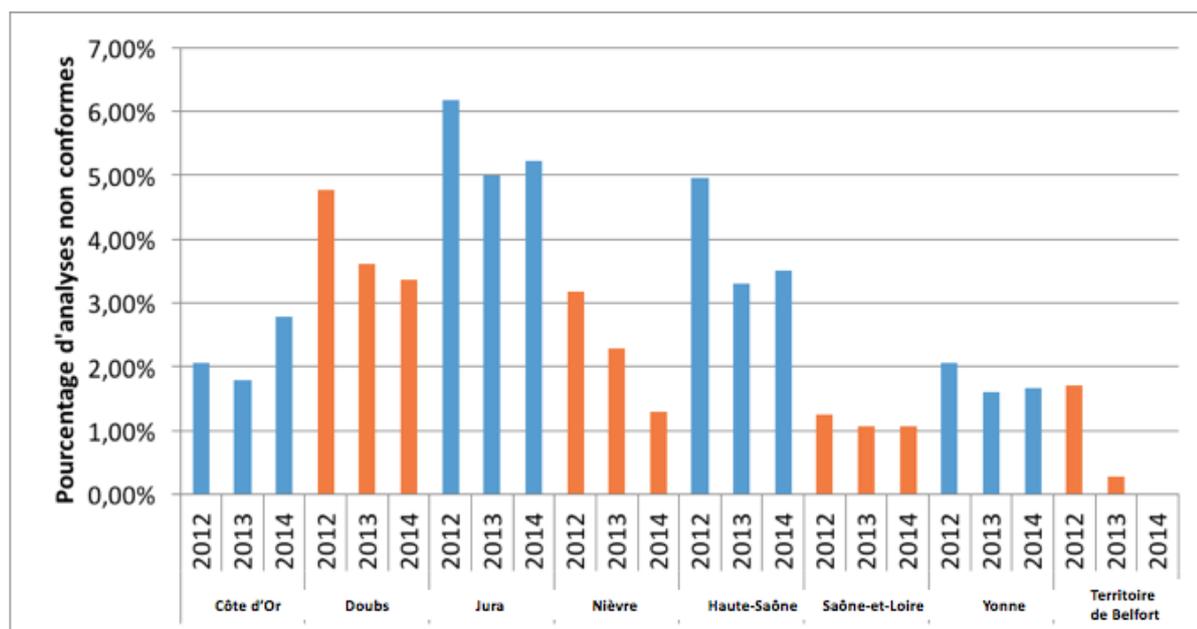


Figure 5 : Evolution annuelle des taux de non-conformités bactériologiques en distribution dans chaque département de Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014

Enfin, si on considère la taille des UDI, on retrouve bien à l'échelle de la région Bourgogne Franche-Comté la situation connue en France, à savoir que les non-conformités concernent majoritairement les UDI de petites tailles, notamment celles desservant moins de 50 habitants

qui sont concernés par des taux de près de 10% de non-conformités, comme représenté dans le graphique suivant (figure 6). Toutefois, en population, la situation est différente (figure 7).

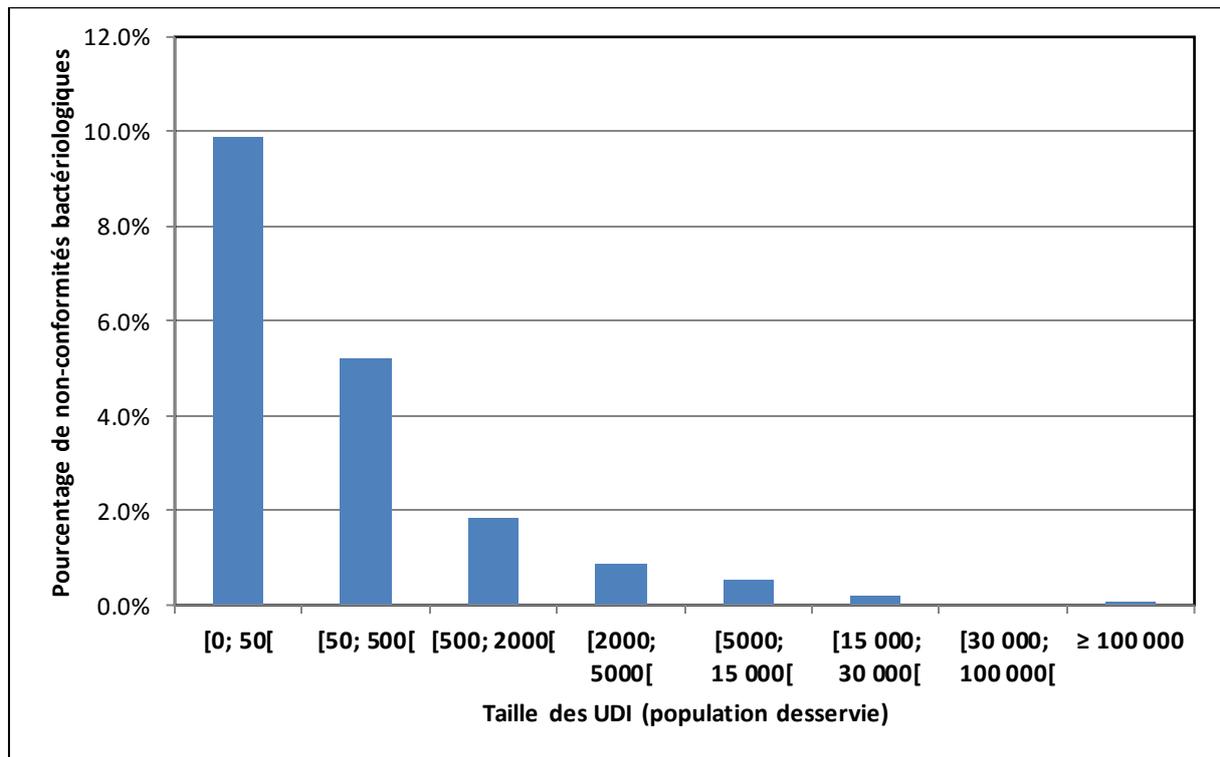


Figure 6 : Pourcentages d'analyses bactériologiques non conformes selon la taille des UDI en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014

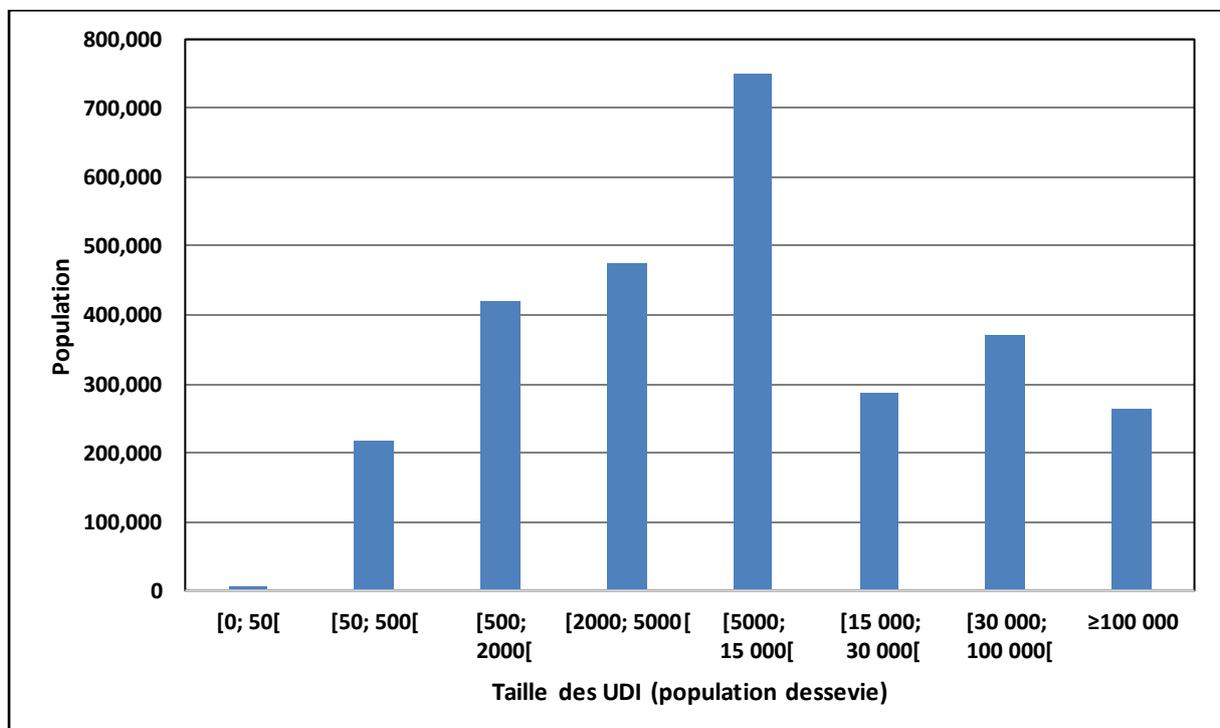


Figure 7 : Effectifs de population selon les tailles d'UDI en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014

c. Etude des incidences de GEAm selon l'exposition à des non-conformités bactériologiques

En première analyse, nous avons choisi de comparer les taux d'incidence de gastro-entérites médicalisées dans l'ensemble des communes concernées par une distribution d'eau présentant au moins une non-conformité pendant la période d'étude (soit présentant au minimum une analyse avec un dénombrement non nul d'*E. coli* et/ou d'entérocoques entre 2012 et 2014).

Or, comme on l'a déjà vu lors de la présentation de la classification des communes en fonction des paramètres structurels de l'eau distribuée, chaque commune peut être alimentée soit par une seule et même UDI, soit par plusieurs, ce qui complexifie l'analyse pour les classer selon leur exposition.

Nous avons choisi d'abord une approche simple, en distinguant quatre types de communes :

- celles qui ne sont alimentées que par une même UDI, dont l'eau distribuée ne présente pas de non-conformités sur la période étudiée,
- celles qui sont alimentées par plusieurs UDI, dont aucune ne présente de non-conformités,
- celles qui sont alimentées par une seule UDI, présentant au moins une non-conformité entre 2012 et 2014,
- celles qui sont alimentées par plusieurs UDI, dont au moins une de ces UDI présentant au moins une non-conformité (autrement dit, des communes dont une partie de la population est alimentée par une eau non conforme bactériologiquement).

Les deux premiers types peuvent être regroupés en une seule classe, de sorte qu'on peut finalement retenir trois catégories distinctes pour l'analyse (① intégralement non-exposée, ② intégralement exposée et ③ une catégorie mixte avec une partie de la population exposée). Les résultats sont présentés dans le tableau page suivante (tableau 9).

On y observe que dans notre zone et période d'étude, lorsque la population est alimentée uniquement par une eau présentant au moins une non-conformité sur une période de trois ans, le risque de contracter une gastro-entérite aiguë menant à la consultation d'un médecin est 1,15 fois supérieur à lorsque la population est exclusivement exposée à une eau sans non-conformité (avec 95% de chances que cette estimation se situe entre 1,14 et 1,16, ce risque est donc significatif avec un risque d'erreur de première espèce inférieur à 5%).

On peut estimer à 5217 le nombre de cas de GEAm par an alors attribuables à cette exposition dans la région Bourgogne Franche-Comté.

Tableau 9 : Taux d'incidence annuels standardisés sur l'âge de gastro-entérites médicalisées selon l'exposition à au moins une analyse bactériologique non conforme, dans la population âgée de plus d'un an en Bourgogne Franche-Comté, entre 2012 et 2014.

Communes alimentées :	Population	Nombre de cas de GEAm (2012-2014)	Taux d'incidence annuels standardisés sur l'âge [IC 95%]	Risque Relatif Standardisé sur l'âge [IC-95%]
① Exclusivement par une eau sans non-conformité bactériologique	2 117 728	477 159	7,61% [7,59-7,63]	Réf.
② Exclusivement par une eau ayant au moins une non-conformité bactériologique	473 282	125 213	8,73% [8,68-8,77]	1,15 [1,14-1,16]
③ En partie par une eau ayant au moins une non-conformité bactériologique	192 448	41 694	7,44% [7,37-7,50]	0,98 [0,97-0,99]

Dans ce tableau, on remarque par ailleurs que le risque relatif concernant la troisième catégorie, qui est de 0,98, est significativement inférieur à 1 ; il serait alors protecteur. Mais il en est très proche, ce résultat ne remet donc pas en cause la conclusion précédente.

d. Etude de la distribution des taux d'incidence de GEAm en fonction des valeurs de concentrations bactériologiques en distribution :

Cette seconde analyse visait à observer s'il existe des tendances à l'augmentation des taux d'incidence de GEAm en fonction de l'importance de la contamination fécale de l'eau relevée par le contrôle sanitaire, dans l'ensemble des communes exposées à au moins une non-conformité pendant la période d'étude.

On a donc observé la distribution des taux d'incidence annuels de GEAm standardisés sur l'âge en fonction d'une moyenne des sommes de concentrations bactériennes (*E.coli*+entérocoques) sur le nombre de prélèvements, pour toutes les communes alimentées exclusivement par une eau présentant au moins une non-conformité.

Cela permet de rechercher une relation dose-effet qui permettrait de quantifier l'impact sanitaire selon le taux de non-conformité relevé. Cependant, la distribution graphique ne nous permet pas de dégager de tendance (figure 8 ci-dessous).

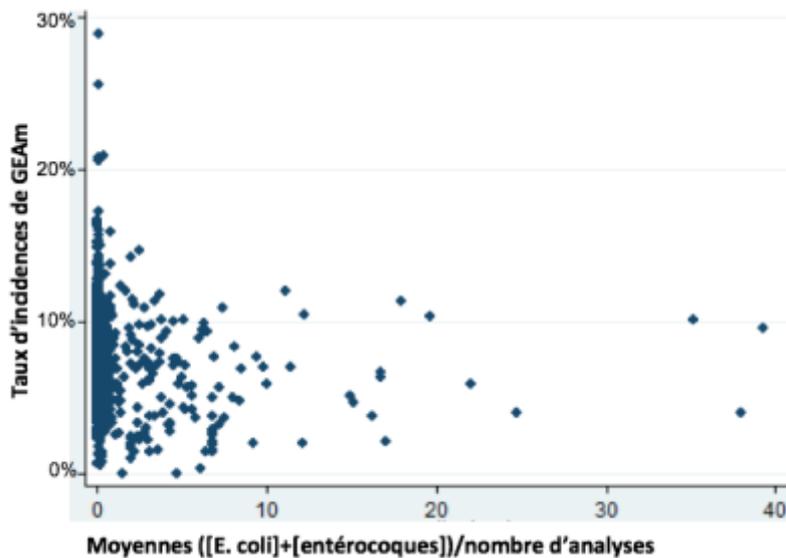


Figure 8 : Taux d'incidence annuel de GEAm standardisés sur l'âge en fonction de la moyenne des sommes de concentrations bactériennes dans les communes ayant été exposées intégralement par une eau présentant au moins une non-conformité en Bourgogne Franche-Comté, sur la période 2012-2014.

De plus, la recherche de corrélation linéaire ne permet pas de conclure, ce coefficient étant égal à -0.0859 (soit un r^2 de 7.10^{-3} , donc un modèle n'expliquant que 0,7% des valeurs).

De même, on a étudié la corrélation avec d'autres formes d'indicateurs : d'abord avec les valeurs maximales de concentration bactérienne (*E. coli* et entérocoques confondus), uniquement [*E. coli*]_{max}, puis uniquement [entérocoques]_{max}, et enfin la corrélation avec le pourcentage d'analyses bactériologiques non-conformes. Les coefficients de corrélation alors calculés ne sont pas plus évocateurs de relation linéaire.

3.4.6 Discussion

On a donc montré dans la première analyse un risque relatif de 1,15 de présenter une GEAm pour les populations exposées à au moins une non-conformité en Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014.

Cependant, si l'on approfondit l'analyse en calculant les taux d'incidence de GEAm selon la taille des UDI qui alimentent les communes (en sachant que les non-conformités concernent majoritairement les petites UDI, et donc que le risque serait majoré pour ces communes), on observe que les taux d'incidences dans les groupes de communes alimentées par de petites UDI sont relativement faibles (cf. tableau 10 ci-dessous). A l'inverse, les communes alimentées par de grandes UDI (>5000 habitants) présentent un taux d'incidence plus élevé (taux d'incidence annuel brut de 10,2%).

Tableau 10 : Taux d'incidence de GEAm selon la taille des UDI dans les communes alimentées exclusivement par une eau présentant au moins une non-conformité bactériologique en Bourgogne Franche-Comté, population âgée de plus d'un an (entre 2012 et 2014).

Taille des UDI alimentant les communes	Population	Nombre de cas de GEAm (2012-2014)	Taux d'incidence annuel brut
<100 habitants	8250	1495	6,0%
<500 habitants	56797	12186	7,2%
<1000 habitants	97649	21888	7,5%
<5000 habitants	211270	46933	7,4%
>5000 habitants	253147	77105	10,2%

En observant en détail les incidences dans les groupes de communes qui composent les plus grandes UDI (présentées dans le tableau en annexe X, qui présente aussi la description du type d'eau distribuée dans ces UDI), on remarque que le fort taux d'incidence est expliqué principalement par la plus grande, celle du Pays de Montbéliard Agglomération (PMA), qui pèse fortement dans l'analyse, puisqu'elle représente 36% des cas de GEAm pour 24% de la population (dans la catégorie alimentée exclusivement par une eau présentant au moins une non-conformité bactériologique).

Ainsi, si l'on compare les taux d'incidence, dans l'ensemble des communes alimentées exclusivement par une eau présentant une non-conformité bactériologique, de l'UDI de PMA aux autres communes ces taux sont manifestement différents, avec un taux annuel brut de 13,1% pour les communes de PMA contre 7,4%, ce qui biaise l'ensemble de notre première analyse. L'analyse sera complétée en tenant compte d'informations pouvant avoir une influence sur la consommation de l'eau : communes où il y avait une recommandation de non-consommation permanente ou temporaire, turbidité de l'eau.

Pour autant, le taux élevé dans la région de PMA interroge, il serait intéressant d'analyser la distribution temporelle des cas de GEAm plus finement pour comprendre s'il y a eu une ou plusieurs épidémies plus importantes qui peuvent expliquer cette incidence, ou s'il s'agit d'un

fond hyper-endémique de cas de GEAm sporadiques ; l'un ou l'autre peuvent être expliqués par une défaillance de traitement ponctuelle ou chronique sur une ressource vulnérable (il s'agit de l'eau de la rivière Doubs prélevée sur la commune de Mathay), ou d'un retour d'eaux usées...

L'analyse sur les non-conformités peut être reproduite avec des seuils plus élevés, en fixant un seuil à 5 UFC/100mL, par exemple, qui pourrait être un ordre de grandeur envisagé pour une harmonisation de la gestion des non-conformités, engagée lors du rapport du HCSP (HCSP, 2015) ; voire en fixant le seuil proposé par P. Beaudeau lors de l'étude des accidents de pollution fécale des petites UDI. Il a adopté une définition plus sélective que la non-conformité, qualifiée de « pollution accidentelle ». Ce dernier seuil correspond au dépassement de 20 de la somme des concentrations en *E.coli* et entérocoques de l'échantillon (UFC / 100 mL). Cette définition plus sévère que la non-conformité est en effet plus spécifique d'accidents significatif (n'incluant pas les pollutions des échantillons au prélèvement) et répond beaucoup mieux aux déterminants environnementaux et techniques. (Beaudeau 2012)

Discussion plus générale

Cependant, il faudrait intégrer certaines données pourvoyeuses de biais dans l'analyse, liées à l'exposition d'une part, et d'autre part liées à la variable d'intérêt, les cas de gastro-entérites médicalisées.

Concernant l'exposition, il faudrait pouvoir prendre en considération la consommation d'eau du robinet, d'une manière générale, et plus spécifiquement pour les communes pour lesquelles ont eu lieu des épisodes liés à un avis réglementaire de restriction de consommation d'eau. En effet, en France, le taux de non-consommateurs d'eau du robinet non chauffée était estimé à 30% en 2007, lors de l'étude INCA2 (Cartier, 2012).

Quant aux analyses à venir relatives aux données structurelles (couple ressource-traitement), il faudrait pouvoir enrichir l'information selon l'activité anthropique située au niveau de l'aire d'alimentation de captage (Beaudeau, 2012), que nous ne sommes pour l'instant pas en mesure d'intégrer. Un travail exploratoire sera mené pour déterminer s'il est possible, à partir de l'expertise des techniciens santé environnement, d'avoir des éléments qualitatifs sur l'occupation des terrains autour des captages (forêts, prairies, cultures...) Une part du risque infectieux est par ailleurs associée à la qualité du réseau, sa vétusté et son étanchéité, ainsi qu'aux connexions accidentelles avec des retours d'eaux usées. Enfin, l'analyse selon les caractéristiques structurelles doit intégrer des informations relatives aux événements météorologiques intenses, pourvoyeurs d'événements de pollution des captages : « les

précipitations, moteur du risque » (Beaudeau, 2016). Des données issues de Météo-France pourront être intégrées à l'analyse.

En ce qui concerne la variable d'intérêt, les cas de GEAm, qui pour rappel sont directement associés à la consultation d'un médecin généraliste, certains paramètres peuvent aussi interférer dans l'analyse. En effet, si l'accessibilité aux soins ne semble pas avoir d'impact dans notre zone et période d'étude, il faudrait aussi intégrer une composante sociologique locale ; en effet, le comportement des populations vis-à-vis du recours à la consultation peut différer selon les régions, ce qui est connu localement par rapport à la couverture vaccinale dans la région de Bourgogne Franche-Comté⁹. Par ailleurs, une méthode complémentaire pour dépasser ce biais de sélection sur les cas médicalisés pourrait être développée à partir des ventes de médicaments en officine (données collectées par les répartiteurs pharmaceutiques), dont l'intérêt pour la détection d'épidémies de GEA a été démontré en France par Pivette *et al.* (Pivette, 2014). Cependant, cette méthode ne permet pas de prendre en compte le lieu de résidence des malades avec autant de précision que les données du SNIIR-AM. En couplant les deux méthodes : détection d'une épidémie sur une zone géographique particulière avec le recours aux répartiteurs pharmaceutiques et affinage de la sectorisation avec les données du SNIIRAM, il serait peut-être possible de détecter plus de signaux épidémiques (moins marqués).

L'ensemble des cofacteurs énumérés devront être intégrés lors d'analyses multivariées, ce qui pourrait permettre d'obtenir des résultats à partir d'analyses plus fines.

3.4.7 Conclusion des résultats

On a montré un risque relatif de 1,15 pour les communes exposées à au moins une non-conformité bactériologique sur une période de 3 ans ; ce risque se manifesterait par une incidence de 5217 cas de GEAm chaque année dans la région Bourgogne Franche-Comté, expliquée par une mauvaise qualité microbienne identifiée lors du contrôle sanitaire de l'eau potable. Sans présumer du lien entre l'importance de la non-conformité (le dénombrement d'unités formant colonies) et l'impact sanitaire, soit la relation dose-effet, ce qui n'a pas été démontré jusqu'alors dans cette étude, ce risque relatif pourrait être un argument convaincant pour poursuivre les efforts d'amélioration de la qualité microbiologique de l'eau.

Cependant, il semble que ce risque soit très influencé par le poids que représentent les communes alimentées par l'UDI du Pays de Montbéliard Agglomération, fortes d'un taux

⁹ La couverture vaccinale dans le département du Jura, notamment, est inférieure aux autres départements. Source : site de l'ARS Bourgogne Franche-Comté <http://www.ars.bourgogne-franche-comte.sante.fr/Semaine-europeenne-de-la-vacci.180558.0.html#c462964> (consulté le 29/09/2016)

d'incidence particulièrement élevé ; en excluant cette UDI de l'analyse, le taux d'incidence est de fait très réduit. Cette question appelle quelques analyses plus fines. Mais la tendance observée encourage à poursuivre l'étude avec un travail sur les couples ressource-traitement réalisable à partir de la base constituée.

4 Perspectives : vers un outil d'aide à la gestion

En l'état actuel, les premiers résultats de cette étude ne permettent pas d'émettre de propositions fortes de gestion dans l'immédiat. En revanche, les opportunités représentées par la mise en lumière de facteurs structurels associés à un risque infectieux plus élevé ouvrent la voie à des pistes intéressantes pour améliorer la gestion, dans un contexte où on doit s'efforcer d'orienter l'action publique vers des pratiques de prévention, comme il est affirmé dans la loi de modernisation de la santé promulguée le 26 janvier 2016.

4.1 Une opportunité pour les ARS

Nous présenterons ainsi dans cette section les retombées attendues de cette étude pour l'orientation des ARS, avec un point d'attention sur leur rôle vis-à-vis des collectivités territoriales.

Attentes des ARS

Être en mesure de compléter les données environnementales du contrôle sanitaire par des données épidémiologiques reste une attente forte, confirmée lors d'une réunion de présentation du travail de la mission professionnelle avec des représentants des UTSE et des responsables de Santé Environnement au niveau régional ; ils ont relevé que les problématiques concernaient particulièrement de petites communes, aux moyens d'action financiers, techniques et humains limités, desservies par de petites UDI. Convaincre les élus locaux de prendre des mesures d'amélioration définitives avec pour seul argumentaire la connaissance d'une non-conformité bactériologique s'avère de fait peu efficace. Or, si l'incidence de gastro-entérites aiguës à l'échelle d'une commune peut être estimée, l'effectif de la population de ces communes rurales est insuffisant pour montrer un risque pathologique significatif, par manque de puissance statistique. Mais le regroupement de communes envisagé dans cette étude permet d'augmenter considérablement le nombre de personnes exposées, et donc le nombre de cas. Cela offre donc des perspectives pour parvenir à identifier des risques communicables auprès des collectivités territoriales.

Cependant, il est nécessaire de faire preuve de prudence quant aux moyens de communication sur ce type de risque. Les cartographies produites de taux d'incidence de gastro-entérites aiguës médicalisées, mises en regard par exemple avec les cartographies des non-conformités bactériologiques sur la même période ne sont pas suffisamment probantes pour être communiquées. Une demande a été exprimée de pouvoir fournir à terme une cartographie des risques, instrument d'autant plus convaincant dès lors qu'il est diffusé médiatiquement. Cependant, il ne serait pas souhaitable de cartographier ce type d'informations à l'échelon communal, parce qu'il n'est pas possible d'interpréter un risque relatif à l'échelle d'une unité statistique. Toutefois, on peut envisager de réfléchir à la construction des cartes représentant des zones plus vastes, par zones d'exposition à des non-conformités ou à des types d'eau dont on aura démontré la vulnérabilité. Cela dit, il serait surtout intéressant de pouvoir être en mesure de communiquer, si l'on obtient des résultats plus solides et probants, sur le sur-risque que représente l'association d'une ressource donnée avec un traitement donné, par exemple dans le cas d'une ressource karstique présentant des pics connus de turbidité lors de fortes précipitations, traitée seulement par simple désinfection chlorée.

4.2 Le volet financier

Deux types de financeurs contribuent à l'investissement des installations de production d'eau potable, l'Agence de l'Eau et le Conseil Départemental, voire l'Etat (par le biais de la Dotation d'Equipement des Territoires Ruraux prévue par le Code Général des Collectivités Territoriales). Chaque organisme a instauré ses propres critères d'éligibilité, comme le prix de l'eau distribuée, le rendement du réseau, mais encore l'amélioration de la qualité de l'eau distribuée ou l'existence d'une étude montrant la pertinence et la cohérence des travaux engagés. Sur ces deux derniers points, les résultats de cette étude pourraient être engageants.

Ainsi, les Agences de l'eau, en qualité d'établissements publics autonomes perçoivent des redevances auprès des utilisateurs de l'eau, calculées selon le principe du «pollueur-payeur». Ces dernières servent à subventionner des opérations d'intérêt collectif ayant pour but entre autres l'aménagement des ressources en eau, et participent au co-financement de l'amélioration de la qualité de l'eau potable notamment dans le cadre de la Solidarité Rural-Urbain. Ainsi, l'Agence de l'Eau Rhône-Alpes-Méditerranée-Corse, dont le bassin recouvre près de six départements de la région Bourgogne Franche-Comté, a dispensé un volume financier concernant la mise en conformité de la qualité de l'eau distribuée de l'ordre de 9 millions d'Euros (Projet de Loi de Finance 2016). On peut donc retenir l'idée de mener une communication de résultats probants directement auprès de ces financeurs.

4.3 Un appui pour prioriser la mise en place de Plan de Gestion de Sécurité Sanitaire des Eaux (PGSSE)

Le PGSSE, outil essentiel en termes de prévention, est inscrit dans la 4^{ème} édition des directives de l’OMS relatives à la qualité des eaux de boisson (OMS, 2011), et fait partie des actions du PNSE3, pour sécuriser les filières de production et de distribution. Les résultats de l’étude en cours pourraient être intégrés dans l’étape clé de l’identification de dangers, dont notamment les dangers présents au niveau de la ressource. Les retombées de cette étude pourraient donc apporter des informations complémentaires à la caractérisation des dangers. Au préalable, lors de la mise en œuvre de projet de planification à l’échelle d’un département, voire d’une région, cette étude pourrait être déterminante pour cibler certaines UDI plus à risque afin de prioriser l’action en se tournant d’abord vers les PRPDE responsables des UDI ainsi identifiées. De plus, la prise en compte dans le cadre de cette étude du risque parasitaire et viral, permet d’aller plus loin dans l’analyse de risque.

4.4 L’intérêt de la reproduction de l’étude dans d’autres régions, ou à l’échelle nationale

Les perspectives évoquées jusqu’alors posent aussi la question de pouvoir transposer ce type d’étude dans d’autres régions, notamment celles qui sont concernées par ces problématiques de non-conformités d’une part, et/ou celles dont l’alimentation en eau ayant des caractéristiques structurelles caractérisées comme plus à risque, par exemple en ressources karstiques vulnérables pour lesquelles les traitements connus seraient insuffisants, voire inadaptés.

Il s’agirait alors de construire une forme d’outil épidémiologique en partenariat avec les différentes ARS, qui permettrait de prendre en considération des spécificités locales (notamment pour les régions montagneuses).

Cependant, la constitution d’un tel travail requiert des ressources humaines pour pouvoir caractériser les réseaux, puis pour les transposer à l’échelle communale. La charge de travail représentée par ce type d’approche n’est pas négligeable ; il faudrait alors pouvoir systématiser l’analyse, en ne se reposant que sur SISE-Eaux. Mais compte tenu de l’hétérogénéité de la qualité des données pour en rendre une application acceptable, cela semble difficile au terme de cette mission.

En effet, on a surtout constaté un certain nombre de manquements de mises à jour selon les départements, et de données inexploitable pour des raisons d’imprécisions concernant des données d’un système d’information qui n’est pas prévu pour mener ce type d’étude. De plus, on a entendu de la part d’utilisateurs de la base que le système de traçabilité des modifications

pose problème dans le sens où la prise en compte des dates de modification n'est pas rétroactive. Enfin, comme il s'agit d'une étude rétrospective, avec des données de GEAm sur plusieurs années, selon le délai d'obtention des données et selon la durée d'étude envisagée, cela implique d'avoir anticipé l'extraction des données structurales à un temps donné, pour avoir une base de travail la plus précise possible au moment de l'étude.

Dans l'absolu, il faudrait concevoir un moyen permettant d'obtenir directement une information claire et réactualisable par commune, détaillant le type d'eau distribuée selon les critères présentés précédemment dans ce rapport. La base SISE-Eaux étant référencée par UDI, on pourrait déjà imaginer une alternative de conception moins complexe en créant un champ automatisé reprenant pour chaque UDI l'ensemble des données relatives à l'eau distribuée, en y ajoutant les données de l'auto-surveillance des PRPDE.

Par ailleurs, il est apparu clairement au cours de l'étude que ce type de réflexion nécessitait une certaine expertise très dépendante de la connaissance du terrain de la part des agents des services de Santé Environnement dans les ARS : on a besoin d'une part de traçabilité des évolutions des facteurs structurels, donc une certaine mémoire de l'historique des réseaux de distribution à l'échelle départementale, et d'autre part d'une connaissance suffisamment complète des réalités du terrain. Certes, cela implique un maintien de personnels dans les services s'inscrivant dans la durée, mais surtout cela confirme la nécessité des missions d'inspection ; depuis le processus d'externalisation des contrôles sanitaires par les laboratoires agréés de prélèvement, on constate cette conséquence dommageable qu'est la perte progressive de la connaissance du terrain.

L'élargissement à une échelle nationale

Pour un projet global, à l'échelle nationale, ce type d'approche pourrait permettre d'identifier des départements prioritaires. Mais cela permettra surtout de pouvoir caractériser un risque global. En effet, étant donné qu'on peut s'attendre à montrer des associations faibles entre incidence de gastro-entérites aiguës et expositions à des facteurs de risque hydriques, mais que l'exposition concerne une population conséquente, l'impact sanitaire estimé, et plus largement l'impact économique et social, pourrait représenter un enjeu important de santé publique.

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était de présenter les réflexions sur la caractérisation du risque infectieux d'origine hydrique et d'en apprécier les retombées en termes de gestion.

Cette étude exploratoire, portant sur la région Bourgogne Franche-Comté pendant la période 2012 à 2014, est originale dans la mesure où elle considère le risque infectieux global, et qu'elle met en regard des composantes structurelles de la production d'eaux de boisson avec des données de gastro-entérites médicalisées à l'échelle communale. De plus, elle permet de rechercher une association entre ces gastro-entérites aiguës et les indicateurs du contrôle sanitaire, tels que les indicateurs microbiologiques.

Il est apparu au terme d'un travail de fond d'appréhension du volet environnemental que la classification du type de ressources posait des difficultés pour exploiter la notion de vulnérabilité, notamment quand cette ressource est de nature karstique. Mais on a montré que cette étude offre des perspectives intéressantes.

En effet, on constate désormais que certains regroupements possibles de communes, alimentées par de l'eau de nature comparable au regard du risque infectieux, permettent d'obtenir des effectifs de population suffisants pour avoir suffisamment de cas de gastro-entérite à exploiter. Les premiers résultats décrits dans ce mémoire donnent quelques points encourageants, dont la mise en lumière d'une association entre l'exposition à de l'eau présentant des non-conformités et une sur-incidence de gastro-entérites aiguës médicalisées. Mais les limites décrites de ces résultats nécessitent la poursuite d'analyses plus approfondies, intégrant des facteurs de confusion permettant de confirmer ou non la mise en évidence d'indicateurs probants d'un excès de risque infectieux. En conséquence, le potentiel d'utilisation de ces résultats en termes de gestion n'est pas encore démontré, mais il se dessine quelques perspectives intéressantes, notamment à l'usage des ARS dans une logique de prévention auprès des collectivités locales. Ces résultats pourraient aussi être un tremplin pour la mise en place de Plan de Gestion de Sécurité Sanitaire des Eaux.

Au terme de ce travail, il apparaît que la caractérisation du risque infectieux véhiculé par l'eau potable est particulièrement complexe, de par la multiplicité des facteurs impliqués dans le processus de production et de distribution de l'eau, de la vulnérabilité de la ressource à la consommation de l'eau au robinet, et surtout du caractère multifactoriel et multivoies du péril fécal. La dernière étape de l'étude, visant à analyser plus finement les associations entre les différents critères de vulnérabilité ou de facteurs de risque avec les gastro-entérites médicalisées est désormais initiée.

Bibliographie

- AFSSA (2004). Évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement des limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine - Fiche 2 : Évaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la référence de qualité des chlorites dans les eaux destinées à la consommation humaine. Agence française de sécurité sanitaire des aliments.
- ANSES (2011). Fiche de description de danger microbien transmissible par les aliments / *Cryptosporidium spp.*
- Armengaud, A. (2006). Surveillance et investigation d'épidémies de gastro-entérites aiguës survenues dans un centre de vacances de Serre Chevalier de 2001 à 2005, Cire Sud & InVS, Marseille.
- Bakalowicz, M. (1999). Guide Technique N 3. Bassin Rhône Méditerranée-Corse, Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, 44p.
- Bartram, J., & Cairncross, S. (2010). Hygiene, sanitation, and water: forgotten foundations of health. *PLoS Med*, 7(11), p. e1000367.
- Barwick, R. S., Levy, D. A., Craun, G. F., Beach, M. J. & Calderon, R. L. (2000) Surveillance for waterborne-disease outbreaks: United States, 1997–1998. *MMWR CDC Surveill Summ.* 49(4), 1–21.
- Beaudeau, P., Mouly, D., & Lauzeille, D. (2006). Détection précoce automatisée des épidémies de gastro-entérites d'origine hydrique à partir des données de vente ou de remboursement des médicaments. *Etude de faisabilité: Choix des données sanitaires et des départements pilotes. Rapport. Saint-Maurice.*
- Beaudeau, P., de Valk, H., Vaillant, V., & Mouly, D. (2007). Détection et investigation des épidémies d'infection liées à l'ingestion d'eau de distribution. *Approche intégrée environnementale et épidémiologique. [Detection and investigation of outbreaks of infection related to tapwater. An integrated approach]. Saint-Maurice: Institut de Veille Sanitaire.*
- Beaudeau, P., de Valk, H., Vaillant, V., Mannschott, C., Tillier, C., Mouly, D., & Ledrans, M. (2008a). Lessons learned from ten investigations of waterborne gastroenteritis outbreaks, France, 1998–2006. *Journal of Water and Health*, 6(4), 491-503.
- Beaudeau P. (2008b). Déterminants naturels et humains des pollutions fécales accidentelles des petites unités d'alimentation en eau potable, France, 2003-2004 : une étude écologique géographique. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, août 2008, 25 p.
- Beaudeau, P. (2012). Surveillance syndromique des gastro-entérites aiguës : une opportunité pour la prévention du risque infectieux attribuable à l'ingestion d'eau du robinet. [Syndromic surveillance of acute gastroenteritis: an opportunity for the

prevention of the infectious risk attributable to tap water] Thèse de doctorat.
Université de Rennes 1,

- Blaser, M. J., Smith, P. F., Wang, W. L., & Hoff, J. C. (1986). Inactivation of *Campylobacter jejuni* by chlorine and monochloramine. *Applied and environmental microbiology*, 51(2), 307-311.
- Brouyère, S. (2004). A quantitative point of view of the concept of vulnerability. Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, COST620 final report, 10-15.
- Cartier T, Dubuisson C, Panetier P, Volatier JL. (2012). Consommation hydrique en France métropolitaine : résultats issus de l'étude alimentaire INCA2. *Environ Risque Santé* 2012 ; 11 : 479-91.
- CEE ONU, OMS (2012). Aucun laissé pour compte : Bonnes pratiques pour un accès équitable à l'eau et à l'assainissement dans la région paneuropéenne. Protocole sur l'eau et la santé à la Convention sur l'eau et la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux. Nations Unies, Genève, février 2012. 54 p.
- CEE ONU, OMS (2015). L'outil d'évaluation concernant l'équité en matière d'accès : un appui aux processus d'élaboration des politiques favorisant la réalisation du droit fondamental à l'eau et à l'assainissement. Protocole sur l'eau et la santé à la Convention sur l'eau et la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux Nations Unies, Genève, mars 2015. 53 p.
- CIRE Auvergne-Rhône-Alpes (2016). Les risques infectieux d'origine hydrique en Auvergne. Bulletin de Veille Sanitaire numéro 1, Février 2016. Cellule de l'InVS en Région Auvergne-Rhône-Alpes. 33 p.
- Cools, I., Uyttendaele, M., Caro, C., D'Haese, E., Nelis, H. J., & Debevere, J. (2003). Survival of *Campylobacter jejuni* strains of different origin in drinking water. *Journal of applied microbiology*, 94(5), 886-892.
- COST Action 65, Final report, 446 p. European Commission, Directorate General, Science, Research and Development. EUR 16547 EN.
- Cournot, M., Hemery, C. & Gallay, A. (2001). Epidémie de gastro-entérite à germes multiples liées à la consommation de l'eau de distribution, Gourdon, Lot (41) ; Drass Midi-Pyrénées, Saint-Maurice ; 48 p.
- Craun GF, Calderon RL. (2006). Observational epidemiologic studies of endemic waterborne risks: cohort, case-control, time-series, and ecologic studies. *J Water Health* 4 Suppl 2:101-119.
- Cutler, D., & Miller, G. (2005). The role of public health improvements in health advances: the twentieth-century United States. *Demography*, 42(1), 1-22.
- Daczowska-Kozon, E., & Brzostek-Nowakowska, J. (2001). *Campylobacter* spp. in waters of three main western Pomerania water bodies. *International journal of hygiene and environmental health*, 203(5), 435-443.

- Davezac, H., Grandguillot, G., Robin, A., & Saout, C. (2008). L'eau potable en France 2005-2006. *Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative, Paris.*
- Dawson, D. J., & Sartory, D. P. (2000). Microbiological safety of water. *British Medical Bulletin*, 56(1), 74-83
- Dechesne, M., & Soyeux, E. (2007). Assessment of source water pathogen contamination. *Journal of Water and Health*, 5(S1), 39-50.
- Degrémont, G. (2005). *Mémento technique de l'eau* (Degrémont Suez).
- De Marquay, S. (2013). Rapport de stage Master 2 Santé Publique Paris XI et Sciences et santé Paris XII Spécialité surveillance épidémiologique des maladies humaines et animales. Etude exploratoire de l'association entre qualité de l'eau potable et les gastro-entérites : qualité des données et facteurs de confusion, Bourgogne et Franche-Comté, 2009-2011.
- Direction Générale de l'Environnement (2011). Décision comité de révision, Meeting of the committee under Article 12 of Directive 98/83/EC (Directive of the European Parliament and of the Council of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption) Brussels, 22 February 2011.
- DGS (2008). Rapport du Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative. Bilan qualité de l'eau en France 2005–2006, 66 p.
- DGS (2014). La qualité de l'eau du robinet en France. Données 2012. Ministère chargé de la Santé, Direction générale de la santé. Paris, France, 58 p.
- DGS (2016). La qualité de l'eau du robinet en France. Données 2013. Ministère chargé de la Santé, Direction générale de la santé. Paris, France, 40 p.
- Di Palma, M., Carbonel, S., Beaudeau, P., Checlair, E. & Gallay, A. (2003). Epidémie de gastro-entérite à *Cryptosporidium*, Dracy-Le-Fort, Saône-et-Loire, septembre 2001. Drass Bourgogne, Cire Centre-Est & InVS, Saint-Maurice ; 71 p.
- Diulus, D. & Mantey, K. (2006). Investigation d'une épidémie de gastro-entérites aiguës sur la zone de Pulligny (Meurthe-et-Moselle). Drass Lorraine, Drass de Meurthe-et-Moselle, Cire Est & InVS, Saint-Maurice
- Drinking Water Inspectorate (2005), Standard operating protocol for the monitoring of *Cryptosporidium* oocysts in treated water supplies. Part 2 – Laboratory and Analytical procedures. 16 June 2005. UK.
- Elliott, E. J. (2007). Acute gastroenteritis in children. *BMJ: British Medical Journal*, 35-40
- Fischer A, Castor C, Bonilla P, Noussitou M, Rolland P. (2016). Épidémie de gastro-entérites d'origine hydrique sur la commune de Laruns, Pyrénées-Atlantiques. Mars 2014. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 26 p.
- Gofti-Laroche L. & Schmitt M. (2003). Epidémie de gastro-entérites liées à la pollution du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Divonne-les-Bains, Ain. CIRE Rhône-Alpes-Auvergne, InVS ; 48 p.

- Gogu, R., & Dassargues, A. (1998, May). A short review on groundwater vulnerability assessment, Basic statements for use in the framework of the cost 620 action. In Workshop, 18-20 mai, Université de Neuchâtel, Suisse (pp. 1-19).
- Guyonnet, J. P. & Claudet, J. (2002) Epidémie de gastro-entérite aiguë à *Cryptosporidium* liée à la pollution des eaux d'alimentation de la ville de Sète. *TSM* 1, 23–29.
- Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water research*, 40(1), 3-22.
- Hörman, A., Rimhanen-Finne, R., Maunula, L., von Bonsdorff, C. H., Torvela, N., Heikinheimo, A., & Hänninen, M. L. (2004). *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., noroviruses, and indicator organisms in surface water in southwestern Finland, 2000-2001. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(1), 87-95.
- Hoxie, N. J., Davis, J. P., Vergeront, J. M., Nashold, R. D., & Blair, K. A. (1997). Cryptosporidiosis-associated mortality following a massive waterborne outbreak in Milwaukee, Wisconsin. *American Journal of Public Health*, 87(12), 2032-2035.
- Hrudey, S. E., Huck, P. M., Payment, P., Gillham, R. W., & Hrudey, E. J. (2002). Walkerton: Lessons learned in comparison with waterborne outbreaks in the developed world. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 1(6), 397-407.
- Huck, P.M., Payment, P., Hrudey, S.E., and Anderson, W.B. (2001). A severe waterborne disease outbreak in Walkerton, Ontario: issues relating to treatment and distribution. Water Quality Technology Conference. American Water Works Association, Nashville. CD ROM: Paper M8-2.
- Kampelmacher, E. H., Fonds, A. W., & van Noorle Jansen, L. M. (1977). Reduction of *Salmonella*, *E. coli*, coliforms and fecal streptococci by chlorination of sewage treatment plant effluents. *Water Research*, 11(7), 545-550.
- L'Azou M, Duchon C. (2012). Épidémie de gastro-entérites aiguës liée à la consommation d'eau dans un camping de Vallon-Pont-d'Arc en Ardèche (07) - Août 2008. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 27 p.
- Mac Kenzie, W. R., Hoxie, N. J., Proctor, M. E., Gradus, M. S., Blair, K. A., Peterson, D. E., ... & Davis, J. P. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *New England journal of medicine*, 331(3), 161-167.
- Majowicz SE, Hall G, Scallan E, Adak GK, Gauci C, Jones TF et al. (2008). A common symptom-based case definition for gastroenteritis. *Epidemiol Infect.*, 136(7), 886-894.
- Medema, G. J., Hoogenboezem, W., Van der Veer, A. J., Ketelaars, H. A. M., Hijnen, W. A., & Nobel, P. J. (2003). Quantitative risk assessment of *Cryptosporidium* in surface water treatment. *Water Science and Technology*, 47(3), 241-247.
- Mouly D, Vaissière E, Vincent N. (2013). Épidémie de gastro-entérites aiguës d'origine hydrique à Pleaux, Cantal, avril 2012. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 42 p.

- Murphy, M. S. (1998). Guidelines for managing acute gastroenteritis based on a systematic review of published research. *Archives of Disease in Childhood*, 79(3), 279-284.
- OMS (2003). Emerging issues in water and infectious disease. *World Health Organization, Geneva, Switzerland*.
- OMS (2004). Directives de qualité pour l'eau de boisson. Troisième édition. Genève: Organisation Mondiale de la Santé.
- OMS (2011). Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva: World Health Organization.
- OMS (2016a). Protecting surface water for health : identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments. Geneva : World Health Organization (WHO)
- OMS (2016b). Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management. Geneva: World Health Organization (WHO).
- Parashar, U., Quiroz, E. S., Mounts, A. W., Monroe, S. S., Fankhauser, R. L., Ando, T., ... & Bresee, J. S. (2001). " Norwalk-like viruses". Public health consequences and outbreak management. *MMWR. Recommendations and reports: Morbidity and mortality weekly report. Recommendations and reports/Centers for Disease Control*, 50(RR-9), 1-17.
- Pivette, M., Mueller, J. E., Crépey, P., & Bar-Hen, A. (2014). Surveillance of gastrointestinal disease in France using drug sales data. *Epidemics*, 8, 1-8.
- Pouzet C (2015), Mémoire de Master 2 Qualité des Eaux, des Sols et Traitements, Université de Franche-Comté. Etude des causes de non-conformités microbiologiques sur des réseaux ruraux de distribution d'eau potable du Doubs.
- Quevauviller, P. (2008). Groundwater science and policy: an international overview. Royal society of chemistry. 754 p.
- Rambaud, L., Mouly, D., Schmitt, M., Kerrien, F., & Beaudeau, P. (2011). Utilisation des données de l'Assurance maladie pour évaluer l'impact sanitaire d'une épidémie de gastro-entérites d'origine hydrique, Bourg-Saint-Maurice (Arc 1800), 2006. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire.
- Rambaud L, Galey C, Guillet A, Corso M, Van Cauteren D, Beaudeau P. (2014). Détection automatisée d'agrégats de cas de gastro-entérites aiguës dans trois départements, France, 2009-2012. Utilisation pour la prévention des épidémies d'origine hydrique. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire. 34 p.
- Schnebelen, N., Platel, J. P., Lenindre, Y., & Baudry, D. (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5. Opération sectorielle. Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise [Water management in Aquitaine 5. Sectorial operation. Oligocene aquifer protection in the Bordeaux region]. Rapport, BRGM, Orléans, France.
- Smeets, P., Rietveld, L., Hijnen, W., Medema, G., & Stenström, T. A. (2006). Efficacy of water treatment processes. *Microrisk report. April*.

- Spaccaferri G. (2016). Cas groupés d'infections par le virus de l'hépatite E. Auvergne, 2015. Cire Auvergne, Saint-Maurice : Santé publique France ; 31 p.
- Teunis, P. F., Moe, C. L., Liu, P., E Miller, S., Lindesmith, L., Baric, R. S., ... & Calderon, R. L. (2008). Norwalk virus: how infectious is it ?. *Journal of medical virology*, 80(8), 1468-1476.
- Tillaut, H., Encrenaz, N., Checlair, E., Gomez do Spirito Santo, E. & Beaudéau, P. (2004). Epidémie de gastroentérites en Isère, novembre 2002. Drass Rhône-Alpes & InVS, Saint-Maurice
- Ternhag, A., Törner, A., Svensson, Å., Giesecke, J., & Ekdahl, K. (2005). Mortality following *Campylobacter* infection: a registry-based linkage study. *BMC infectious diseases*, 5(1), 1.
- Therre H, de Valk H, Vaillant V, Beaudéau P, Mouly D. (2009). Bilan des épidémies d'origine hydrique investiguées en France depuis 1998 et principales recommandations – Synthèse du rapport. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 5 p.
- Van Cauteren, D., De Valk, H., Vaux, S., Le Strat, Y., & Vaillant, V. (2012). Burden of acute gastroenteritis and healthcare-seeking behaviour in France: a population-based study. *Epidemiology and infection*, 140(04), 697-705.
- US-EPA (1999). Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual. United States Environmental Agency, Office of Water. 192 p.
- Whiley, H., van den Akker, B., Giglio, S., & Bentham, R. (2013). The role of environmental reservoirs in human campylobacteriosis. *International journal of environmental research and public health*, 10(11), 5886-5907.

Liste des figures

- Figure 1. Schéma de l'organisation de la distribution de l'eau potablep. 6
- Figure 2. Schéma d'un système de production/distribution simple et d'un système complexe.....p. 6
- Figure 3. Distribution temporelle des cas de GEAm en Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014.....p. 30
- Figure 4. Pourcentages d'analyses non-conformes bactériologiquement (*[E. coli]* ou [entérocoques] > 1) en distribution par mois au niveau de la région Bourgogne Franche Comté entre 2012 et 2014.....p. 37
- Figure 5. Evolution annuelle des taux de non-conformités bactériologiques en distribution dans chaque département de Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014.....p. 39
- Figure 6. Pourcentages d'analyses bactériologiques non conformes selon la taille des UDI en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014.....p. 40
- Figure 7. Effectifs de population selon les tailles d'UDI en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014.....p. 40
- Figure 8. Taux d'incidence annuel de GEAm standardisés sur l'âge en fonction de la moyenne des sommes de concentrations bactériennes dans les communes ayant été exposées intégralement par une eau présentant au moins une non-conformité en Bourgogne Franche-Comté, sur la période 2012-2014.....p. 43

Liste des tableaux

Tableau 1. Vulnérabilité des aquifères aux pollutions selon leur nature.....	p.20
Tableau 2. Classement du type de ressources.....	p.21
Tableau 3. Efficacité potentielle de trois désinfectants sur trois pathogènes critiques..	p. 22
Tableau 4. Efficacité des différentes étapes de traitements de l'eau sur les micro-organismes.....	p. 23
Tableau 5. Classes de filières de traitements.....	p. 24
Tableau 6. Classes de désinfection, de chloration et de filtration.....	p.24
Tableau 7. Exemples de classes de population constituées selon le type d'eau distribué, Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014.....	p. 36
Tableau 8. Non-conformités bactériologiques en distribution par département en Bourgogne Franche-Comté entre 2012 et 2014.....	p. 39
Tableau 9. Taux d'incidence annuels standardisés sur l'âge de gastro-entérites médicalisées selon l'exposition à au moins une analyse bactériologique non conforme, dans la population âgée de plus d'un an en Bourgogne Franche-Comté, entre 2012 et 2014.....	p.42
Tableau 10. Taux d'incidence de GEAm selon la taille des UDI dans les communes alimentées exclusivement par une eau présentant au moins une non-conformité bactériologique en Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014.....	p. 44

En annexe :

Tableau 2.1. Descriptif des départements de Bourgogne Franche-Comté.....	p.VI
Tableau 2.2 : Effectifs de population selon les tailles de communes en Bourgogne Franche-Comté.....	p.VI
Tableau 2.3 : Répartition du nombre d'habitants par classe d'âge, Bourgogne Franche-Comté et France métropolitaine.....	p.VI

Liste des annexes

ANNEXE I : MALADIES ET AGENTS PATHOGÈNES VÉHICULÉS PAR L'EAU.....p. II

ANNEXE II : LES ÉPIDÉMIES INVESTIGUÉES EN FRANCE DEPUIS 1998.....p. III

ANNEXE III : LES CLASSES THÉRAPEUTIQUES UTILISÉES POUR LE TRAITEMENT DES GASTRO-ENTÉRITES AIGÜES.....p. IV

ANNEXE IV : LISTE DES DONNÉES DU CONTRÔLE SANITAIRE EN DISTRIBUTION EXTRAITES DE SISE-EAUX DANS CHAQUE DÉPARTEMENT DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, PÉRIODE 2012-2014.....p. IV

ANNEXE V : LOCALISATION ET DÉPARTEMENTS DE LA ZONE D'ÉTUDE.....p.V

ANNEXE VI : DONNÉES DESCRIPTIVES DES UNITÉS STATISTIQUES.....p. VI

ANNEXE VII : CARTOGRAPHIE DES TAUX D'INCIDENCE DE GASTRO-ENTÉRITES AIGÜES MÉDICALISÉES PAR COMMUNE, EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, 2012-2014.....p. VII

ANNEXE VIII : CARTOGRAPHIE DE L'ORIGINE DE L'EAU DISTRIBUÉE EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, 2012-2014.....p. VIII

ANNEXE IX : EFFECTIFS DANS CHAQUE CLASSE RESSOURCE-POPULATION À PARTIR DE LA BASE RÉALISÉE, BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, 2012-2014.....p. IX

ANNEXE X : TAUX D'INCIDENCE DE GEAm ET DESCRIPTION DES 12 PLUS GRANDES UDI PRÉSENTANT AU MOINS UNE ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE NON-CONFORME EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, SUR LA PÉRIODE 2012-2014.....p.X

ANNEXE I : MALADIES ET AGENTS PATHOGÈNES VÉHICULÉS PAR L'EAU
(Beaudeau, 2012)

Maladie, effet de santé	Agent pathogène	Réservoir
Infections Bactériennes		
Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes	<i>Salmonella typhi</i>	H, A
	<i>Salmonella paratyphi A et B</i>	H, A
Dysenterie Bacillaire	<i>Shigella sp.</i>	H
Choléra	<i>Vibrio cholerae</i>	H, E
Diarrhée aqueuse	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	E
Syndrome Hémolytique Urémique	STEC	H, A
Gastro-entérites aiguës et diarrhée, Arthrite réactive, Guillain-Barré	<i>Escherichia coli entérotoxigènes</i>	H, A
	<i>Campylobacter jejuni et C. coli</i>	H, A
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	H, A
Gastro-entérites aiguës	<i>Salmonella sp.</i>	H, A
	<i>Aeromonas hydrophila</i>	E
Méningite, jaunisse (leptospirose)	<i>Leptospira sp.</i>	A (rongeurs)
Tuberculose, infection de la peau, Crohn	<i>Mycobacterium sp.</i>	H, A
Infection de la peau et des oreilles, infections nosocomiales	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	E, (H, A)
Infection de la peau	<i>Staphylococcus aureus</i>	H, A
Ulcère de l'estomac	<i>Helicobacter pylori</i>	H, A
Pneumonie (voie respiratoire)	<i>Legionella pneumophila</i>	E
Tularémie	<i>Francisella tularensis</i>	A (rongeurs)
Infections virales		
Hépatite A	Virus de l'hépatite A	H
Hépatite E	Virus de l'hépatite E	H et A (porc)
Poliomyélite	Virus poliomyélitique	H
Méningite, infection respiratoire, diarrhée	Echovirus	H
Méningite, infection respiratoire, myocardite	Coxsackievirus A et B	H
Infection entérique, oculaire et respiratoire	Adénovirus	H
Gastro-entérites aiguës	Norovirus	H
	Sapovirus	H
	Rotavirus	H
	Astrovirus	H
	Coronavirus	H
	Entérovirus (autres que echo. et cox.)	H
	Réovirus (autres que noro et sapovirus)	H
	Mal définies	
Infections parasitaires		
Infections à protozoaires		
Toxoplasmose	<i>Toxoplasma gondii</i>	A
Méningite (voie nasale)	<i>Naegleria fowleri</i>	E
	<i>Acanthamoeba sp.</i>	E
Dysentérie amibienne	<i>Entamoeba histolytica</i>	H
Colite chronique, dysentérie	<i>Balantidium coli</i>	
Gastro-entérite, diarrhée chronique, malabsorption, arthrite réactive	<i>Giardia lamblia</i>	H, A
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	H, A (veaux)
Infection à Helminthes	<i>Taenia solium</i>	H, A

H : réservoir humain ; A : réservoir animal ; E : réservoir environnemental

ANNEXE II : LES ÉPIDÉMIES INVESTIGUÉES EN FRANCE DEPUIS 1998

D'après Beaudeau et al. 2008a ; CIRE Auvergne Rhône-Alpes, 2016

Ville (Département)	Date	Ressource	Traitement	Point d'entrée de contamination	Circonstances	Pathogène(s)	Nombre de cas estimé
Sète (34)	Sept 1998	Karstique	Désinfection (Bioxyde de chlore)	Ressource	Vulnérabilité karstique à une pollution par <i>Cryptosporidium</i> (inversac+ruissellements)	<i>Cryptosporidium sp.</i>	>150 enfants
Strasbourg (67)	Mai 2000	Alluviale	Désinfection (Cl)	Réseau	Travaux sur le réseau	Non recherché	?
Gourdon ¹ (46)	Août 2000	Karstique	Désinfection (Cl)	Ressource	Contamination de l'aquifère et défaillance de la chloration	Rotavirus, <i>Campylobacter coli</i>	2600
Dracy le Fort ² (71)	Sept 2001	Alluviale	Désinfection (Cl)	Réseau	Interconnexion avec STEP et reflux d'EU par défaillance de valve	<i>Cryptosporidium hominis</i> +germes polymorphes	560
Apprieu ³ (38)	Nov 2002	Alluviale	Désinfection (Cl)	Ressource	Débordement de STEP/fortes précipitations +panne de chloration	Norovirus 1 et 2	2000
Divonne- les-Bains (01)	Août 2003	Karstique + forage zone urbaine	Clarification (forage) Désinfection (Cl)	Réseau	Reflux d'EU, interconnexion avec STEP	<i>Cryptosporidium parvum et hominis</i>	1040
Vesoul (70)	Sept 2003	Karstique +Alluviale	Filtration, Désinfection (Bioxyde de chlore)	Ressource	Interconnexion avec un réseau industriel contenant de l'eau de rivière contaminée, reflux	<i>Cryptosporidium sp.</i> + <i>Campylobacter jejuni</i>	200
Pont de Roide (25)	Fév 2004	Alluviale	Désinfection (Cl)	Réseau	Interconnexion avec effluents de STEP, reflux	Norovirus	1000
Arc 1800 (73)	Fév 2006	Source de montagne	Désinfection (Cl)	Ressource	Réservoir contaminé sur de la neige artificielle + défaillance de chloration	Norovirus 1	>1000
Pulligny ⁴ (54)	Avril 2006	Rivière +Alluviale +karstique	Filtration, Désinfection (Cl)	Ressource (rivière)	Changement de masse filtrante + défaillance de chloration	Recherches négatives	1000
Vallon- Pont- d'Arc ⁵ (07)	Août 2008		Désinfection (Cl)	Ressource	Puits non autorisé contaminé	Recherches négatives	330
Pleaux ⁶ (15)	Avril 2012	Eau de rivière	Coagulation, filtration et chloration (ClO ₂)	Ressource	Défaillance d'une alarme de turbidité, dysfonctionnement de la clarification niveau de ClO ₂ abaissé	Norovirus 2 (?)	477
Laruns ⁷ (64)	Mars 2014	Calcaire fissuré	Pas de traitement	Réseau	Fuite d'EU dans canalisation + dépression du réseau	Multi germes	?
Brezons ⁸ (15)	Mars 2015			Réseau	Interconnexion du réseau d'AEP avec un puits privé contaminé (sangliers ?), reflux lors d'un incident sur la canalisation	Virus Hépatite E	7

⁽¹⁾ Cournot, 2001 ; ⁽²⁾ Di Palma, 2003 ; ⁽³⁾ Tillaut, 2004 ; ⁽⁴⁾ Di Iulius, 2006 ; ⁽⁵⁾ L'Azou, 2012 ; ⁽⁶⁾ Mouly, 2013 ; ⁽⁷⁾ Fischer, 2016 ;

⁽⁸⁾ Spaccaverri, 2016.

ANNEXE III : LES CLASSES THÉRAPEUTIQUES UTILISÉES POUR LE TRAITEMENT DES GASTRO-ENTÉRITES AIGÜES

Classe thérapeutique	ATC	Marque	Principe actif
Antispasmodiques intestinaux ¹	A03A	Spasfon®	Phloroglucinol
		Duspatalin®	Mebeverine
		Dicetel®	Pinaverium
		Debridat®	Trimebutine
		Meteospamyl®	Alverine
		Meteoxane®	Simeticone
Anti-émétiques	A04A	Vogalene®	Metopimazine
	A03F	Motilium®	Domperidone
		Peridys®	Metoclopramide
Anti-diarrhéiques microbiens	A07F	Ultralevure®	<i>Saccharomyces boulardii</i>
		Lacteol®	<i>S. cerevisiae</i>
		Imodium®	Loperamide
Ralentisseurs du transit	A07D	Arestal®	
	A07X	Tiorfan®	Racecadotril
Absorbants intestinaux Sans code ATC	A07B	Carbolevure®	Activated charcoal + <i>S. cerevisiae</i>
	-	Carbosylane®	Charbon actif
	A02X	Bedelix®	Montmorillonite
		Smecta®	Diosmectite
Anti-infectieux intestinaux	A07A	Ercefuryl®	Nifuroxazide
		Lumifurex®	
		Panfurex®	
Sels de réhydratation orale (Sans code ATC)	-	Adiaril®	
		Alhydrate®	
		Fanolyte®	
		Ges 45®	
		Hydrogoz®	
		Picolite®	
		Viatol®	

ATC : Anatomical Therapeutic Classification

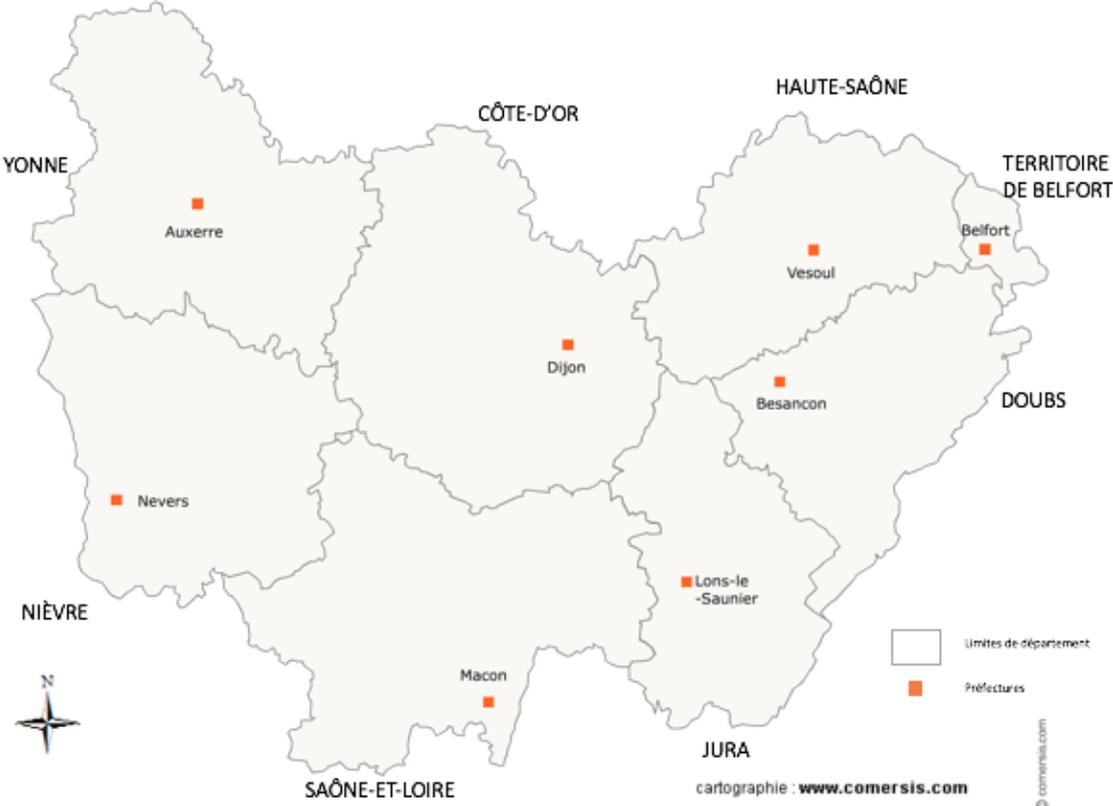
(1) Non cible, c'est-à-dire non utilisé pour l'extraction du Sniir-AM

source : Beaudou, 2012

ANNEXE IV : LISTE DES DONNÉES DU CONTRÔLE SANITAIRE EN DISTRIBUTION EXTRAITES DE SISE-EAUX DANS CHAQUE DÉPARTEMENT

<i>Escherischia coli</i>
Entérocoque
chlore total
chlore libre
bioxyde de chlore
conductivité
turbidité

ANNEXE V : LOCALISATION ET DÉPARTEMENTS DE LA ZONE D'ÉTUDE



ANNEXE VI : DONNÉES DESCRIPTIVES DES UNITÉS STATISTIQUES

Tableau 2.1 : Descriptif des départements de Bourgogne Franche-Comté (Données INSEE 2012 et SISE-Eaux)

Département	Nombre d'habitants	Nombre de communes	Nombre d'UDI*
Saône-et-Loire	554 447	573	160
Doubs	531 457	594	338
Côte-d'Or	526 812	706	375
Yonne	341 887	455	330
Jura	260 837	544	245
Haute-Saône	239 367	545	386
Nièvre	216 414	312	266
Territoire de Belfort	143 916	102	30
Total	2 815 137	3 831	2 130

**Unité de distribution d'adduction publique d'eau potable en 2012

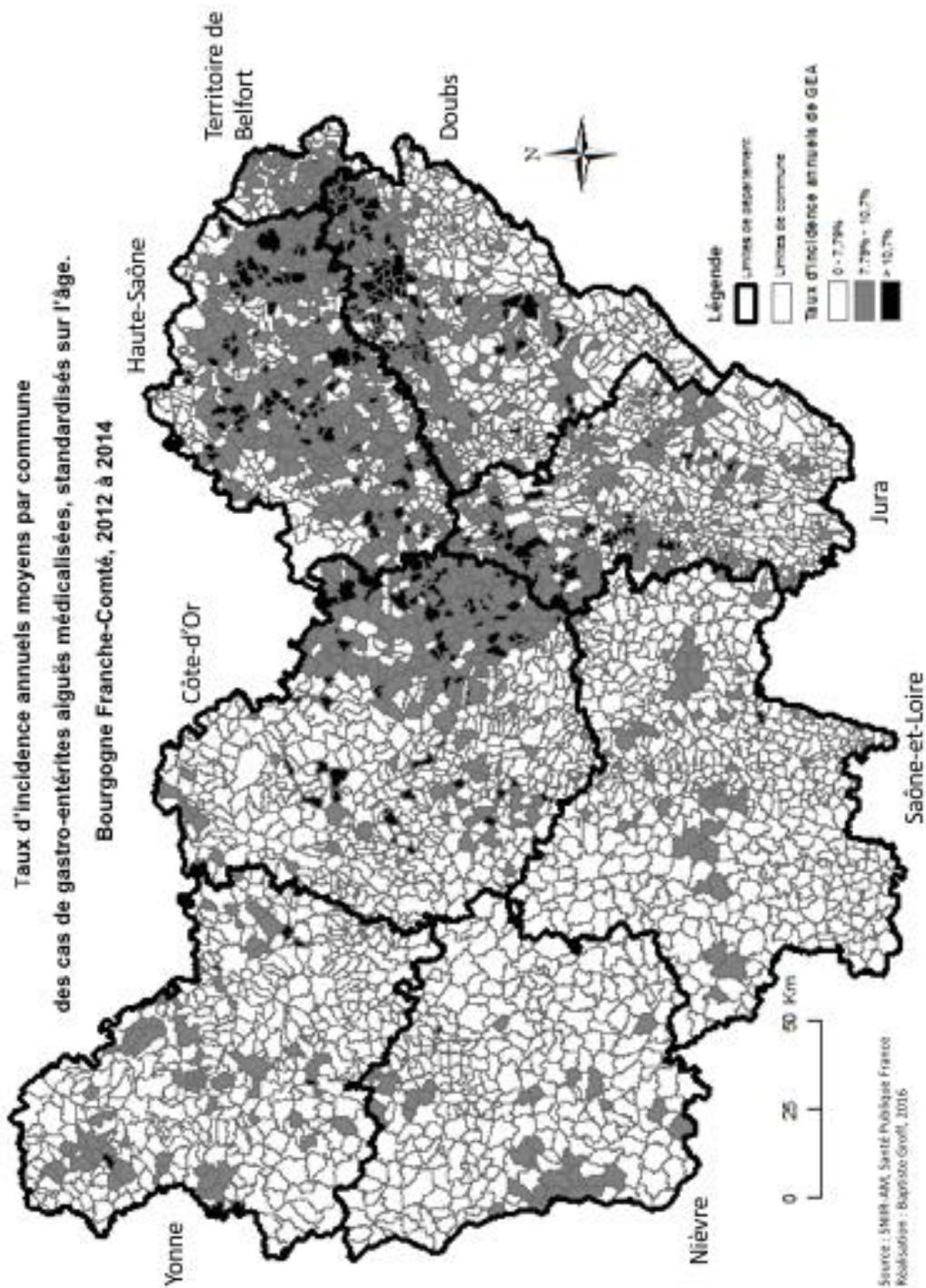
Tableau 2.2 : Effectifs de population selon les tailles de communes en Bourgogne Franche-Comté (Données INSEE 2012)

Taille des communes	Effectif	Part (en %)
Moins de 100	41 193	1%
[100 ; 500[	526 365	19%
[500 ; 2 000[	815 591	29%
[2 000 ; 10 000[	670 528	24%
10 000 et plus	761 460	27%
Total	2 815 137	100

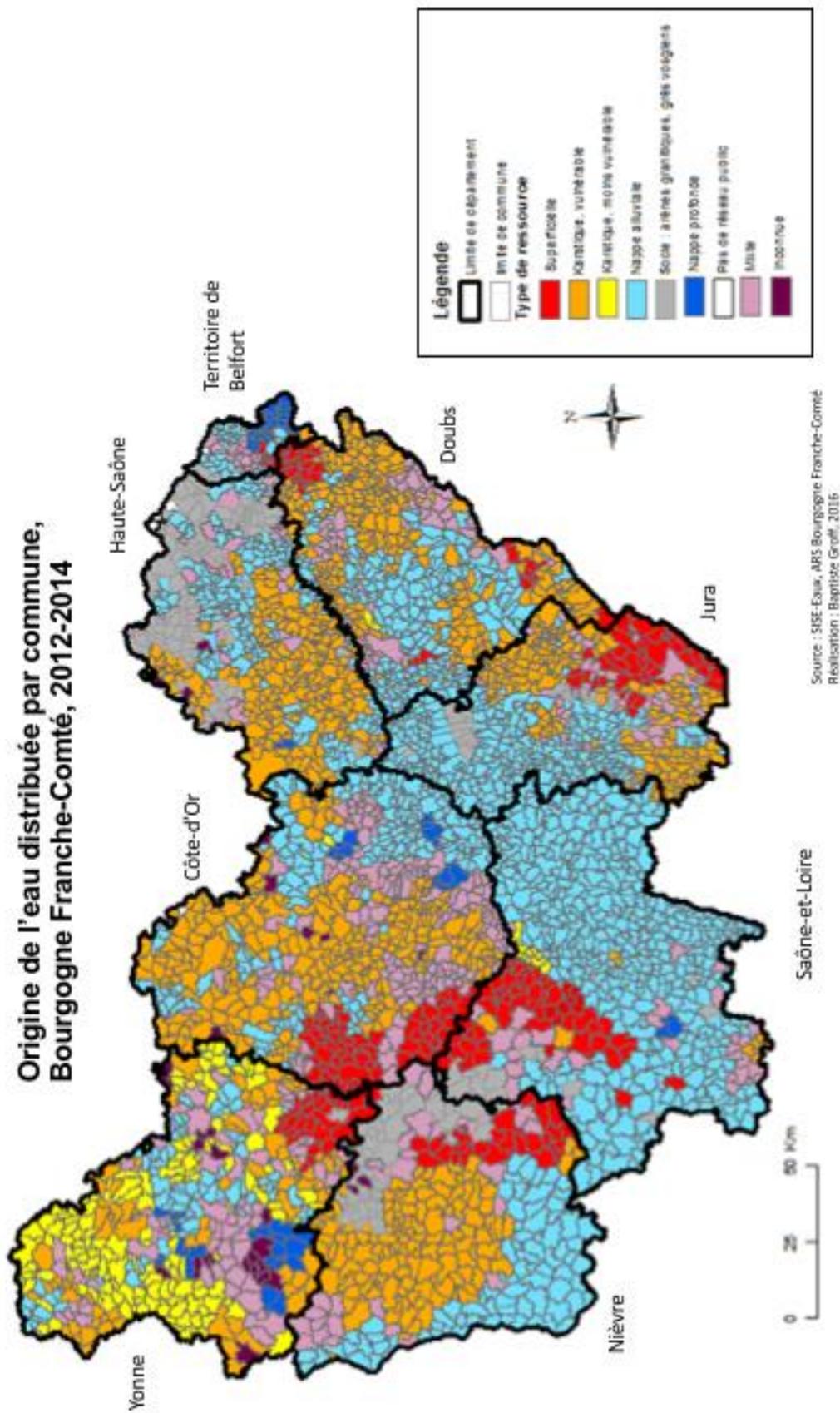
Tableau 2.3 : Répartition du nombre d'habitants par classe d'âge, Bourgogne Franche-Comté et France métropolitaine (données INSEE 2012)

Classes d'âge	Bourgogne Franche-Comté		France métropolitaine	
	Effectif	Part (en %)	Effectif	Part (en %)
Moins de 1 an	30 897	1%	757 901	1%
[1 ; 15[	464 480	16%	10 503 609	17%
[15 ; 64]	1 765 385	63%	40 987 544	65%
[65 ; 74]	260 621	9%	5 305 903	8%
75 ans et plus	293 754	10%	5 801 001	9%
Total	2 815 137	100%	63 355 958	100%

ANNEXE VII : CARTOGRAPHIE DES TAUX D'INCIDENCE DE GASTRO-ENTÉRITES AIGUËS MÉDICALISÉES PAR COMMUNE, EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, 2012-2014



ANNEXE VIII : CARTOGRAPHIE DE L'ORIGINE DE L'EAU DISTRIBUÉE EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, 2012-2014



ANNEXE IX : EFFECTIFS DANS CHAQUE CLASSE RESSOURCE-POPULATION À PARTIR DE LA BASE RÉALISÉE, BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, 2012-2014

Type de ressource	Traitement	Population	
Eau de surface (cours d'eau)	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration	19 094	0,7%
	coagulation, filtration sur sable/charbon, chloration+ozonation	145 193	5,2%
Eau de surface (cours d'eau + plan d'eau)	coagulation, filtration, chloration+ozonation	37 199	1,3%
Eau de surface (plan d'eau)	simple chloration	1 183	<0,1%
	simple chloration+ozonation	1 887	0,1%
	filtration sur sable/charbon et chloration	12 822	0,5%
	filtration sur sable/charbon et UV	45	<0,1%
	ultrafiltration et chloration	1 735	0,1%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration	60 997	2,2%
	coagulation, filtration sur sable/charbon, chloration+ozonation	30 730	1,1%
	coagulation, ultrafiltration, chloration et ozonation	13 298	0,5%
Karstique, potentiellement vulnérable	sans traitement	1 657	0,1%
	simple chloration	191 517	6,8%
	simple désinfection UV	18 089	0,6%
	microfiltration et chloration	1 143	0,0%
	filtration sur sable/charbon et chloration	20 105	0,7%
	filtration sur sable/charbon et désinfection UV	21	<0,1%
	ultrafiltration et chloration	31 770	1,1%
	ultrafiltration et désinfection UV	417	<0,1%
	coagulation, microfiltration et chloration	3 342	0,1%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration	52 996	1,9%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration+ozonation	36 640	1,3%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et désinfection UV	472	<0,1%
	coagulation, ultrafiltration et chloration	8 369	0,3%

Type de ressource	Traitement	Population	
Karstique, potentiellement vulnérable (suite)	mixte	33 133	1,2%
	inconnu	835	<0,1%
Karstique, Moins vulnérable	simple chloration	72 354	2,6%
	filtration sur sable/charbon et chloration	9 098	0,3%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration	10 956	0,4%
	inconnu	934	<0,1%
Nappes Alluviales	sans traitement	5 141	0,2%
	simple chloration	682 467	24,2%
	simple désinfection UV	30 627	1,1%
	filtration sur sable/charbon et chloration	93 570	3,3%
	filtration sur sable/charbon actif, chloration+ozonation	69 598	2,5%
	filtration sur sable/charbon et désinfection UV	3 090	0,1%
	ultrafiltration et chloration	1 059	<0,1%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration	24 401	0,9%
	coagulation, filtration sur sable/charbon et chloration+ozonation	114 913	4,1%
	coagulation, ultrafiltration et chloration	1 290	0,1%
	mixte	44 261	1,6%
	inconnu	687	0,0%
Arènes granitiques, Grès vosgiens	sans traitement	7 697	0,3%
	simple chloration	51 040	1,8%
	simple désinfection UV	2 171	0,1%
	mixte	3 263	0,1%
Nappes Profondes	simple chloration	35 252	1,3%
	filtration sur sable/charbon et chloration	5 772	0,2%
Mixte		810 629	28,8%
Pas de réseau public		339	<0,1%
Inconnu		9 839	<0,1%
Total		2 815 137	

ANNEXE X : TAUX D'INCIDENCE DE GEAm ET DESCRIPTION DES 12 PLUS GRANDES UDI PRÉSENTANT AU MOINS UNE ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE NON-CONFORME EN BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ, SUR LA PÉRIODE 2012-2014
(population âgée de plus d'un an)

Communes alimentées par	Population	Nombre de cas de GEAm (2012-2014)	Taux d'incidence brut annuel de GEAm	Proportion d'analyses bactériologiques non conformes (maximum en UFC/100mL)	Ressource
UDI de PMA (Doubs)	115 532	45 481	13,1%	0,2% ([entérocoques] _{max=1})	Cours d'eau
UDI du Nord de Chalon (Saône-et-Loire)	16 881	3 560	7,0%	1,1% ([entérocoques] _{max=1})	Nappe alluviale
UDI du SIAEP de Semur en Auxois (Côte-d'Or)	13 179	2 175	5,5%	0,7% ([E. coli] _{max=2})	Plan d'eau
UDI du SIAEP du Recepage (Jura)	12 549	3 696	9,8%	3,8% ([E. coli] _{max=1})	Nappe alluviale
UDI du SIAEP des Trois Rivières (Jura)	11 085	3 267	9,8%	4,8% ([entérocoques] _{max=2})	Nappe alluviale
UDI du syndicat de Haute Loue haut service (Doubs)	9 198	2 340	8,5%	1,3% ([E. coli] _{max=18})	Nappe alluviale
UDI du SIAEP du Revermont (Jura)	8 859	1 794	6,8%	5,0% ([E. coli] _{max=4})	Nappe alluviale
UDI du Syndicat de Giromagny (Terr. De Belfort)	8 230	1 821	7,4%	2,0% ([entérocoques] _{max=2})	Nappe alluviale
UDI du SIAEP de Champagny FEEDER (Haute-Saône)	7 624	2 148	9,4%	2,1% ([E. coli] _{max=8})	Nappe alluviale
UDI du réseau Goutte d'or, Val de Gray (Haute-Saône)	7 510	2 168	9,6%	2,8% ([entérocoques] _{max=2})	Nappe alluviale
UDI de Gueugnon	7 299	1 259	5,7%	2,8% ([E. coli] _{max=1})	Cours d'eau
UDI du SIAEP du Plateau des Rousses (Jura)	7 292	570	2,6%	1,8% ([E. coli] _{max=21})	Plan d'eau

Abstract

A number of non-compliant bacteriological analyses persists with regard to the public health control, which presents some limitations to characterize viral and parasitic risks. Yet, the waterborne risk of infection is currently poorly understood, because the investigation of water-related epidemics is not enough. Furthermore, there might be an higher rates of infectious diseases in population supplied with unsafe water. The data from Health Insurance of medicalised acute gastroenteritis allow this global risk, epidemic and endemic, to be studied at the commune level. With its ecological geographical design, the scoping study carried out in Bourgogne Franche-Comté enables us to regroup municipalities according to their water distributed features. This report presents the work of characterization of the environmental component of the study, from SISE-Eaux, in consultation with the territorial units of the Regional Agency of Health. It has become apparent that groups of municipalities give enough people to have adequate statistical power. This study can eventually give results for the Regional Agency of Health in a prevention strategy for the local community.

GROFF

Baptiste

Novembre 2016

**MASTÈRE SPÉCIALISÉ INGÉNIERIE ET MANAGEMENT DES
RISQUES EN SANTÉ, ENVIRONNEMENT ET TRAVAIL**
Promotion 2015-2016

**Caractérisation du risque infectieux d'origine hydrique en
Bourgogne Franche-Comté, 2012-2014 :
vers un outil de gestion.**

Résumé :

Le contrôle sanitaire de l'eau relève encore un certain nombre d'analyses bactériologiques non conformes et présente des limites pour caractériser le risque viral ou parasitaire. Or, le risque infectieux d'origine hydrique est actuellement mal connu. L'investigation des épidémies liées à l'eau ne suffit pas à identifier la réalité du problème, et il pourrait persister un taux d'incidence d'évènements infectieux sporadiques plus élevé, dans les populations desservies par certaines eaux présentant un risque majoré. Les données de l'Assurance Maladie de gastro-entérites aiguës ayant donné lieu à une prescription médicale offrent la possibilité d'étudier ce risque global, épidémique et endémique, à l'échelle de la commune. L'étude exploratoire conduite en Bourgogne Franche-Comté, dans son approche écologique géographique, permet de regrouper les différentes communes selon les caractéristiques de l'eau distribuée, pour compléter les données du contrôle sanitaire. Ce rapport présente le travail de caractérisation de la composante environnementale de l'étude, à partir de SISE-Eaux, en concertation avec les Unités Territoriales de l'Agence Régionale de Santé. On constate désormais que certains regroupements de communes, alimentées par de l'eau de nature comparable au regard du risque infectieux, permettent d'obtenir des effectifs de population intéressants pour obtenir une puissance statistique suffisante. Cette étude pourra à terme donner des résultats à l'usage des ARS dans une logique de prévention auprès des collectivités locales.

Mots clés :

Risque infectieux d'origine hydrique, Eaux Destinées à la Consommation humaine, risque infectieux global, gastro-entérite aiguë médicalisée, contrôle sanitaire, SISE-Eaux, étude écologique.

L'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.