Etude sur l'efficacité de comprimés pour la désinfection de l'eau

Travail de maturité réalisé au Lycée Blaise-Cendrars de La Chaux-de-Fonds sous la direction de M. Philippe Massiot

Oriane Sottas

Introduction

Question de départ

Quand j'étais cheffe de patrouille aux scouts, nous faisions souvent deux ou trois jours de marche où nous devions nous « débrouiller ». Je devais donc m'occuper des plus jeunes, trouver un endroit approprié où dormir mais surtout trouver de l'eau pour remplir les gourdes et pour cuisiner (nous avions régulièrement des pâtes à cuire et ceci demande quelques litres d'eau!). Nous cherchions une ferme assez proche qui serait d'accord de nous donner un peu d'eau, mais quelques fois celles-ci se faisaient très rares! Dans ces cas-là, la tentation de prendre un peu d'eau d'une petite rivière était grande mais les risques de rendre la patrouille malade existaient aussi. Je me suis donc posé la question suivante:

Dans quelle(s) mesure(s) est-il possible d'utiliser des pastilles qui désinfectent l'eau afin de rendre l'eau d'une rivière, d'un lac ou d'un étang potable?

Je vais donc donner des éléments de réponse à cette question, tout au long des prochains chapitres.

Critères de l'eau potable

L'eau, pour qu'elle soit considérée comme potable, doit répondre à un certain nombre d'exigences, tant au niveau des métaux présents, qu'au niveau des bactéries ou encore des composés chimiques.

Ces exigences peuvent varier d'un pays à l'autre. Par exemple, pour le Canada, la valeur recommandée pour le chlore libre (ou résiduel) présent dans l'eau est de 0.1 mg/L (Fondation de l'eau potable sûre (FEPS), 2009). Contrairement à la Suisse, c'est la valeur minimale autorisée. En Suisse, 0.1 mg/L est la valeur de tolérance, l'eau est donc considérée comme souillée une fois cette valeur dépassée mais pas impropre à la consommation.

Voir en annexes (annexe 1, 2,3) les normes pour la Suisse d'après le département fédéral de l'intérieur (DFI) concernant :

- 1. métaux et métalloïdes présents dans l'eau potable
- 2. autres substances étrangères présentes dans l'eau potable
- 3. hygiène de l'eau potable

Traitement de l'eau de boisson²

Risques d'une eau de boisson non traitée

Le risque principal est la contamination microbienne. Les eaux des rivières (lacs, nappes phréatiques, puits, etc.) peuvent être polluées par des selles humaines ou animales. Si c'est le cas, cette eau contient des micro-organismes pathogènes et doit donc être traitée avant d'être consommée. Dans les pays démunis (certains pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Asie)

_

¹ Dans le sens de salie, altérée, pas « fraîche »

² Inspiré de (Prescrire Rédaction, 2000)

l'eau du réseau de distribution peut être polluée parce que certains réseaux d'eau sont déficients ou mal contrôlés.

Les contaminations les plus répandues sont les infections par *Escherichia Coli*, par *Campylobacter*, les shigelloses, les salmonelloses, le choléra, l'hépatite A, les giardiases, les amibiases et les cryptosporidioses. Les voyageurs sont particulièrement affectés par l'eau du pays qu'ils visitent. À peu près un tiers des voyageurs seraient atteints de la « diarrhée du voyageur » appelée aussi « turista » qui peut être d'origine bactérienne (par exemple : *Escherichia Coli, Salmonella, Shigella, Campylobacter*), virale (par exemple : rotavirus, virus de Norwalk) ou parasitaire (*Giardia, Cryptosporidium*). L'hépatite A est transmise par l'eau et elle représente aussi un risque de contamination considérable pour les voyageurs qui ne sont pas immunisés.

Si l'eau contient, en faible quantité, des produits chimiques, il n'y a en général pas de risque pour la santé sauf s'il s'agit de contamination accidentelle importante.

Nous ne pouvons pas juger par nous-mêmes la qualité de l'eau destinée à la boisson parce qu'une eau claire et sans odeur peut être contaminée.

Pour éliminer les micro-organismes présents dans l'eau, il existe plusieurs méthodes dont la microfiltration ou la désinfection.

Microfiltration

Cette première méthode consiste à faire passer l'eau à travers une céramique ou une membrane dont la taille des pores doit être inférieure à celle des œufs et des larves des microorganismes. Certains filtres portables sont capables de retenir les plus petites bactéries (0.4µm) mais aucun ne peut retenir les virus (0.01µm) sauf s'ils sont fixés sur les particules en suspension. Il existe néanmoins un moyen d'éliminer les virus avec un filtre portable en ajoutant au microfiltre une résine polyiodée. La résine libère de l'iode au contact des microorganismes, ce qui les tue. Ce traitement de l'eau à base d'iode n'est pas recommandé, parce que son apport d'iode est supérieur aux besoins quotidiens et pour les personnes souffrant de dysthyroïdie, ceci peut être dangereux.

Certains filtres sont munis de charbon actif destiné à retenir par adsorption des polluants organiques qui jouent un rôle sur l'odeur et le goût. Il adsorbe aussi les résidus d'iode. Le charbon actif n'a aucun rôle de désinfectant s'il est utilisé sans microfiltre.

Certains filtres avec une céramique ont de l'argent en plus, ce qui empêche la prolifération bactérienne à l'intérieur du microfiltre.

Désinfection

Avant une désinfection de l'eau, que ce soit par n'importe quel procédé, il faut s'assurer que l'eau soit claire, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas (ou peu) de particules en suspension. Si cette étape n'est pas respectée, la désinfection n'est pas garantie.

Voici différents procédés de désinfection :

Par ébullition, c'est le plus simple. Les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, œufs et kystes) sont tués après ébullition. Généralement, une minute à gros bouillons suffit sauf en étant à 2000m où il est conseillé de poursuivre l'ébullition jusqu'à trois minutes. Si nous souhaitons tuer le virus de l'hépatite A, il faut cuire l'eau durant cinq minutes. L'eau, une fois refroidie, peut à nouveau être contaminée c'est pourquoi il faut faire attention aux récipients utilisés pour la conserver.

Par les sels d'argent, leur efficacité est limitée parce que l'eau à purifier doit être extrêmement claire. En revanche, ils sont très efficaces pour la conservation de l'eau en évitant la prolifération bactérienne.

Par l'iode, c'est efficace contre les bactéries, certains virus (y compris l'hépatite A), les protozoaires et les kystes.

Par le chlore, c'est efficace contre beaucoup de bactéries et de virus (y compris l'hépatite A), mais peu efficace contre les œufs et les kystes des parasites. Il existe trois désinfectants utilisant le chlore :

- l'hypochlorite de sodium (plus connu sous le nom d'eau de Javel)
- le tosylchloramide (appelé aussi chloramine)
- le dichloroisocyanurate de sodium (DCCNa)

La différence entre ces quatre désinfectants se trouve dans leur efficacité. Ils sont moins efficaces lorsque le pH est élevé, lorsque l'on trouve des matières organiques ou minérales ou lors de présence d'ammoniaque.

L'hypochlorite de sodium est utilisé à raison de trois gouttes par litre d'eau et il faut attendre une heure avant de pouvoir la consommer. Son efficacité sur les virus et les bactéries a été prouvée.

L'efficacité bactéricide du tosylchloramide a été testée par l'armée française, selon les doses indiquées par les fabricants et elle a été déclarée comme insuffisante.

Le dichloroisocyanurate de sodium est un désinfectant qui a fait ses preuves récemment. Il serait plus efficace et la présence de matières organiques altèrerait moins son action que les autres désinfectants chlorés. Ce désinfectant a remplacé l'eau de Javel dans la liste des médicaments essentiels publiée par l'OMS en 1998. Il est utilisé à une dose de 3,5 mg par litre et trente minutes suffisent pour la consommer.

Pour l'iode, la dose indiquée est de cinq gouttes de solution alcoolique d'iode à 2% par litre. Pour l'iode aussi, trente minutes d'attente suffisent avant de pouvoir boire l'eau désinfectée. Comme lors de la filtration avec de la résine polyiodée, ce traitement à base d'iode n'est pas conseillé pour les mêmes raisons que la filtration avec une résine polyiodée.

Conservation

L'eau qui a été désinfectée par les procédés décrits ci-dessus doit être consommée dans les 24 heures. Elle ne peut donc pas être conservée. Pour ce faire, les sels d'argent sont la solution idéale parce qu'ils garantissent une conservation de l'eau déjà rendue potable pendant trois à six mois, même en cas de température élevée. Les sels d'argent ne sont pas efficaces pour tuer les bactéries, mais pour les empêcher de proliférer. Ces sels ne changent pas le goût de l'eau.

Problématique

Choix du produit

Plusieurs choix s'offraient à moi quant aux procédés à utiliser pour désinfecter l'eau. Il existe des comprimés de différentes marques et utilisant des produits différents. Voici une liste de plusieurs pastilles:

- Drinkwell Chlore® de la société MS Water (hypochlorite de sodium)
- Aquatabs® de la société Medentech (DCCNa)
- Micropur Forte® de la société Katadyn (DCCNa et ions argent)

- Hydroclonazone® de CLS Pharma (tosylchloramide)

L'Hydroclonazone est à éviter puisque le tosylchloramide n'est pas assez efficace. Comme l'OMS a remplacé l'hypochlorite de sodium par le DCCNa, j'ai donc éliminé le comprimé Drinkwell Chlore. Il me restait à choisir entre Aquatabs et Micropur Forte®. Micropur Forte® combine le DCCNa et les ions argents, ce comprimé désinfecte l'eau et la garantit potable jusqu'à six mois, contrairement à la pastille Aquatabs qui ne fait que désinfecter l'eau qui doit ensuite être consommée dans les 24 heures. J'ai donc décidé d'utiliser la pastille Micropur Forte® pour sa capacité désinfectante et conservatrice de l'eau.

Choix des composés à analyser et de l'eau à prélever

Les pastilles Micropur Forte® utilisent des ions argent et du DCCNa, un désinfectant chloré. J'ai donc choisi de mesurer le taux d'argent présent. Pour le chlore, j'avais le choix entre les chloramines, le chlore total, les chlorites, les chlorates et le chlore libre. J'ai choisi de mesurer le dernier, puisque c'est lui qui donne le goût et l'odeur désagréable de chlore à l'eau. Il se présente sous la forme d'acide hypochloreux et d'ion hypochlorite (HClO+ClO⁻).

Pour tester l'activité bactéricide du comprimé, j'ai pensé à compter le nombre de certaines bactéries avant et après l'utilisation de la pastille. Comme les *Escherichia Coli* sont une sorte de bactéries présente dans l'eau dont on parle le plus et qui, de plus, peut être pathogène, j'ai décidé de dénombrer cette bactérie. J'ai aussi décidé de compter les germes aérobies mésophiles, afin d'avoir une vue plus globale qu'avec seulement les *Escherichia Coli*. Cette dernière pourrait ne pas être présente dans l'eau analysée alors que les germes sont présents partout même dans l'eau qui sort de notre robinet.

Ma première idée était de prélever de l'eau du lac de Neuchâtel, du lac de Morat et du lac de Bienne, puis d'analyser les échantillons, afin de comparer l'efficacité du comprimé. Ceci n'était pas faisable, ces trois lieux étant trop éloignés et faire les prélèvements m'aurait pris une journée à chaque fois. L'eau prélevée doit être analysée le jour même afin que certaines bactéries ne meurent pas et que d'autres ne prolifèrent pas. Il y avait un autre inconvénient, ces trois eaux sont très semblables (l'eau du lac est claire) et donc la pastille aurait probablement agi de la même manière dans ces trois cas. Les lieux de prélèvement doivent représenter les choix qui s'offrent à un marcheur (en Suisse ou dans des pays en voie de développement), qui serait en possession de pastilles telles que Micropur Forte® et qui aurait besoin d'eau potable. C'est pourquoi j'ai choisi d'analyser l'eau d'un étang (eau pas claire, avec des particules en suspension) et l'eau du Doubs (eau claire) afin de m'approcher de la « réalité » du marcheur. Pour des raisons pratiques (accès facile en voiture et lieux pas trop éloignés de mon domicile), j'ai choisi l'étang des Arêtes et la Maison Monsieur pour l'eau du Doubs.

Description des comprimés utilisés

Ses composants

Le comprimé Micropur forte® contient 103 mg/g de DCCNa et 2.8 mg/g de chlorure d'argent. Je vais donc donner une définition de ces deux produits. Une pastille convient pour un litre d'eau claire.

Dichloroisocyanurate de sodium (DCCNa)¹

Le dichloroisocyanurate de sodium (DCCNa), appelé aussi troclosène de sodium ou dichloros-triazinetrione de sodium, est un désinfectant très répandu de l'eau de boisson. On le trouve généralement sous la forme d'un solide cristallin blanc, qui sent le chlore. La solubilité de ce produit dans l'eau à 25°C est de 25g/100mL. Ce désinfectant est relativement nouveau,

-

¹ (Baylac, 2002)

l'Organisation mondiale de la santé a décidé de remplacer l'hypochlorite de sodium (l'eau de Javel, NaOCl) par le DCCNa en 1998. La formule brute du DCCNa est C₃Cl₂N₃NaO₃. Le DCCNa fonctionne de la même manière que l'eau de Javel. Une fois dissous dans l'eau, il libère du cyanurate de sodium et de l'acide hypochloreux (HClO), respectivement un composant non toxique et le principe actif.

Le DCCNa est plus efficace que d'autres produits qui utilisent aussi l'acide hypochloreux comme principe actif pour tuer des micro-organismes. L'eau de Javel produit une solution basique tandis que le DCCNa une solution acide. HClO se dissocie de cette manière :

$$HCIO \rightarrow CIO^{-} + H^{+}$$

L'acide hypochloreux et l'ion hypochlorite (ClO-) composent le chlore libre présent dans la solution.

Le HClO non dissocié a une activité biocide bien plus élevée que l'ion ClO-. Cette dissociation dépend du pH de la solution bien que l'activité biocide du principe actif ne soit que peu modifiée dans une eau qui a un pH compris entre 6 et 10. Plus le pH est élevé, plus la molécule est dissociée. Le pH de l'eau de Javel étant basique (donc élevé), près du 98% des molécules sont dissociées. Le principe actif est donc moins efficace que dans des solutions de DCCNa, où l'on trouve près de 99% de HClO. La base conjuguée de l'acide hypochloreux est l'ion hypochlorite. Le pKa de l'acide hypochloreux est de 8.0, c'est donc le pH à la demi-équivalence. Si le pH est supérieur à 8 (ce qui n'est généralement pas le cas de l'eau), l'ion hypochlorite sera majoritaire par rapport à l'acide hypochloreux donc le composé agira moins.

Au niveau de la toxicité du produit, la DL50¹ du DCCNa par voie orale est de 3.57g/kg chez l'homme et de 1.67g/kg chez le rat, celle de l'isocyanurate de sodium est de 7.5g/kg chez le rat. Le DCCNa n'est pas irritant pour la peau et les yeux. Des solutions de DCCNa ont été appliquées sur des plaies infectées et ont aidé à la cicatrisation grâce à ses propriétés de désinfectant. L'isocyanurate de sodium, s'il est consommé par l'homme, est directement évacué par les urines. Ces deux produits sont donc relativement peu dangereux.

Les matières organiques présentes dans la solution, peuvent baisser l'efficacité du principe actif. Ceci est moins flagrant pour le DCCNa que pour l'eau de Javel. Concernant leur activité sur les bactéries, le DCCNa à demi-dose et l'eau de Javel à dose entière ont la même efficacité. Le premier agit sur les spores alors que le second non. Le DCCNa agit de manière supérieure sur les mycobactéries par rapport au NaOCl et enfin, concernant l'activité sur les virus (si des matières organiques sont présentes), le premier agira plus rapidement.

Chlorure d'argent²

Dans ce chapitre, je vais me concentrer sur l'effet des ions argent (Ag⁺) libérés par le chlorure d'argent.

L'argent est connu depuis l'Antiquité comme étant un métal qui tue les germes. Déjà les Grecs, les Perses et les Romains utilisaient des pots (ou autres récipients en argent) afin de conserver plus longtemps certains liquides tels que le vin, l'eau et le vinaigre. Ils fabriquaient aussi des ustensiles de cuisine en argent. De nos jours encore, il existe des services de table en argent. Ces peuples pensaient aussi que si ce métal était ingéré à faible dose, il augmentait l'immunité pour certaines maladies. Tout ceci a été confirmé par des recherches modernes. Des chercheurs ont réussi à prouver que l'argent se dissout dans l'eau à raison de 10 µg par litre et que cette dose est toxique pour les *Escherichia Coli* et les salmonelles.

² (Nos Libertés, 2009)

_

¹ Dose létale 50, dose avec laquelle le 50% des animaux ou hommes traités meurent.

En 1929, un chercheur démontra que tous les micro-organismes pathogènes sont éliminés lorsque l'eau est traitée avec des ions argent, mais que ces ions n'avaient pas d'effets sur les micro-organismes bénéfiques pour la santé.

Dans les dernières décennies, beaucoup de chercheurs ont encore prouvé l'efficacité des ions d'argent pour le traitement de l'eau, de l'air et dans le domaine médical. De nos jours, des systèmes de filtration à base d'argent sont utilisés partout dans le monde. Par exemple par des compagnies aériennes afin d'avoir de l'eau potable à bord des avions, pour le traitement des eaux usées et des piscines, et dans certains hôpitaux.

Dans la médecine traditionnelle indienne, depuis environ 400 avant J.C., jusqu'à nos jours, l'argent a fait ses preuves en aidant à la cicatrisation des blessures, il aide à traiter les infections, fièvres et sinusites. Au XVIIIème siècle, il a participé au traitement de l'épilepsie. A la fin du XIXème siècle, un obstétricien allemand, suite à l'observation du taux élevé d'enfants naissant aveugles, a eu l'idée de mettre dans les yeux des nouveaux nés une solution à 1% de nitrate d'argent afin de tuer les germes vénériens qui les rendaient aveugles. Un autre chercheur, à la même époque, découvrit que des bactéries en contact avec du nitrate d'argent mouraient en trois ou quatre minutes.

Comment les composants agissent-ils ?

L'acide hypochloreux non dissocié tue les organismes par chloration des protéines cellulaires ou des systèmes enzymatiques, ce qui provoque l'hydrolyse des chaînes peptidique de leurs membranes cellulaires¹. Cette dernière sert à maintenir les organites et le cytoplasme de la cellule, afin que la cellule puisse vivre et que ses organites puissent interagir. En séparant les chaînes peptidiques, la membrane ne peut plus contenir la cellule et celle-ci meurt.

La dissociation de l'acide hypochloreux est un équilibre. Dès que les micro-organismes demandent du chlore, l'équilibre est déplacé. Cela provoque une production d'acide hypochloreux qui va remplacer celui qui a été consommé. Ceci continue jusqu'à qu'il n'y ait plus de chlore libre.

Les ions argent attaquent la paroi de la bactérie. Celle-ci est formée de peptidoglycanes (des protéines) liées entre elles par des aminoacides. L'argent, en réagissant avec les peptidoglycanes, bloque le transfert d'oxygène de l'extérieur à l'intérieur de la cellule qui est effectué par ces protéines. Ce phénomène inactive la bactérie qui va ensuite mourir. Il est important de relever que l'argent n'a aucun effet sur les cellules mammifères, celles-ci ayant une membrane avec laquelle l'argent ne réagit pas.

Voici les explications données par le fabricant Katadyn:

« Les ions d'argent sont attirés vers les bactéries par absorption polaire. Ils pénètrent la membrane et endommagent l'ADN empêchant par là même la croissance de la bactérie attaquée. Le circuit respiratoire est attaqué puis bloqué provoquant une réaction en chaîne jusqu'à la mort de la bactérie. »²

Les figures 1 et 2, illustrent le processus. Dans ces figures, les traits inclinés épais caractérisent le réseau peptidoglycanique. Les traits horizontaux fins objectivent les ponts interpeptidiques. L'acide lipoteichèique (ALT) est fixé à la membrane par son extrémité glycolipide. La paroi peut contenir des acides teichoïques (AT) ou teichuroniques associés par liaisons covalentes ; elle peut aussi contenir des molécules protéiques intercalées dans la matrice peptidoglycanique. GL: glycolipide; PL: phospholipide; PR: protéine¹.

-

¹ (Baylac, 2002)

² (Katadyn, 2010)

Les autres abréviations sont : PG : peptidoglicane ; LPS : lipopolysaccharide ; CPS : polysaccharide de capsule ; PL : phospholipide ; POR : porine ; PR : protéine ; LP : lipoprotéine².

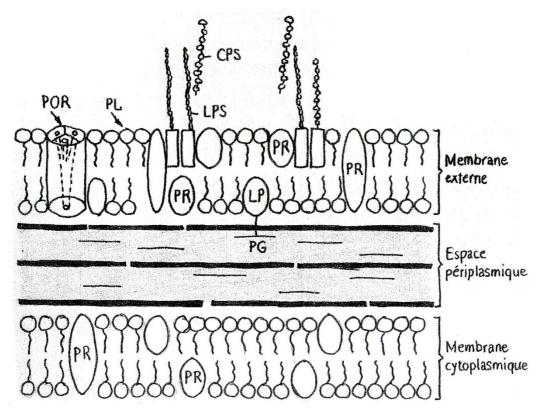


fig 1. Schéma de l'enveloppe d'une bactérie à Gram négatif

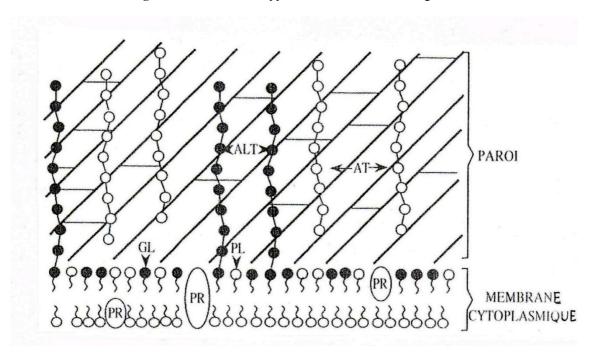


fig 2. Schéma de la paroi d'une bactérie à Gram positi¹

¹ (Leclerc, Gaillard, & Simonet, 1995, p. 59)

Les bactéries et la santé humaine

Escherichia Coli ou colibacille

Description

La bactérie *Escherichia coli*, appelée aussi colibacille ou simplement *E. Coli*, est un bacille Gram négatif (figure 3). Ceci veut dire que la bactérie a deux membranes (contrairement aux bactéries Gram positif qui n'en ont qu'une). Cette différence est essentielle parce que la membrane externe possède des lipopolysaccharides (des endotoxines) qui sont très toxiques. De plus, la membrane externe est une barrière supplémentaire face à l'extérieur et donc, les traitements médicamenteux qui doivent détruire les bactéries pathogènes, sont rendus plus difficiles.

Cette bactérie est très répandue dans le sol, les eaux, le lait et la viande hachée. Elle provient principalement de selles de l'homme et des animaux à sang chaud. Elle y est présente à raison de, environ, 10⁸ unités par gramme de selles². Par ce fait, elle témoigne d'une éventuelle pollution fécale dans l'eau potable ou les aliments.

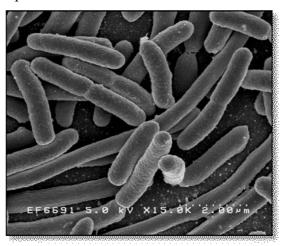


fig 3. Bactérie E.Coli²

Il existe plusieurs souches d'*E. Coli*, notamment celles entérohémorragiques (ECEH) pouvant causer de graves toxi-infections alimentaires. Toutes les souches ne sont pas dangereuses³.

Cette bactérie ne doit pas être présente dans l'eau pour que celle-ci soit considérée comme potable.

Maladies pouvant être provoquées par E. Coli

Les bactéries *E. Coli entérohémorragiques* peuvent causer des crampes abdominales et des diarrhées qui peuvent ensuite donner des diarrhées hémorragiques. Ces dernières peuvent être accompagnées de fièvre et vomissements. Généralement, les patients guérissent après une dizaine de jours, sauf pour les personnes âgées et les enfants en bas âge qui peuvent en mourir après avoir développé le syndrome hémolytique-urémique qui amène à une défaillance rénale aiguë. D'autres complications peuvent suivre comme des convulsions, des accidents vasculaires cérébraux et un coma.

² (Leclerc, Gaillard, & Simonet, 1995)

¹ (Leclerc, Gaillard, & Simonet, 1995, p. 58)

² (University of California, 2007)

³ (Organisation mondiale de la Santé - OMS 2010)

Sources de contamination

La bactérie peut être transmise à l'homme quand il consomme un aliment contaminé, (par exemple de la viande hachée crue ou mal cuite ou du lait cru). Plus rarement, il peut aussi être contaminé en consommant du salami, du jus de pomme frais, des yaourts et du fromage mais aussi des légumes et des fruits comme des graines germées, du chou cru, de la salade.

Une autre source de contamination importante est l'eau contaminée. Cette bactérie est souvent présente dans les lacs, étangs, ruisseaux mais aussi dans les puits ou les citernes.

Une personne peut porter la bactérie sans être malade et contaminer son entourage (porteur sain).

Prévention de la contamination

Pour limiter la contamination par *E. Coli*, il faut être très vigilant lors la manipulation de viande, depuis l'abattage jusqu'à la consommation. En cuisine, il faut faire attention à ne pas utiliser le couteau qui a coupé la viande pour couper autre chose.

La manière la plus simple pour éliminer les bactéries est la cuisson pour l'eau et la viande ou la pasteurisation pour le lait.

Germes aérobies mésophiles

Les germes aérobies mésophiles regroupent toutes les bactéries, levures et moisissures présentes dans l'eau ou dans les aliments. Ils se développent principalement en présence d'oxygène et à des températures comprises entre 25 et 30°C. Les aliments qui ont été conservés à des températures trop élevées ou trop longtemps, risquent de contenir trop de germes et donc d'être contaminés. Pour les aliments cuits, la tolérance est à un million de germes par gramme. Pour les produits mélangés, elle est à dix millions de germes par gramme. Au-delà de cent millions de germes par gramme, l'aliment est impropre à la consommation. Ils informent donc de l'état de fraicheur général d'un aliment.

Dans le réseau de distribution de l'eau, la valeur de tolérance est à 300 germes par millilitre (voir annexes) tandis que dans une eau traitée, juste après le traitement, il ne doit pas y en avoir plus de vingt par millilitre d'eau.

Hypothèses

Après avoir fait des recherches sur plusieurs sujets, notamment sur les bactéries, le champ d'action du comprimé et son effet sur les micro-organismes présents dans différents types d'eau, j'ai développé deux hypothèses en lien avec ma question de départ (Cf. page 8).

- En utilisant Micropur Forte® sur une eau chargée de particules en suspension (donc peu claire), le chlore se fixe sur ces particules et il n'en reste pas assez pour tuer les bactéries présentes dans l'eau. L'eau ne peut donc toujours pas être considérée comme potable puisqu'elle contient encore des bactéries potentiellement pathogènes et qu'il reste aussi trop de germes.
- En utilisant Micropur Forte® sur une eau claire et dans laquelle il y a beaucoup de bactéries, le chlore est dans les normes, les bactéries potentiellement pathogènes sont tuées et le nombre des germes est fortement réduit. L'eau est rendue potable.

Méthodologie

Prélèvements de l'eau

L'eau, sur laquelle une analyse bactériologique est prévue, doit être prélevée dans des bouteilles stériles, afin qu'il n'y ait pas de germes ou bactéries déjà présents dans le récipient. Certaines bouteilles contiennent du thiosulfate de sodium (hyposulfite de sodium/ $Na_2S_2O_3$,

5H₂O), dans le but de neutraliser l'effet du chlore sur les bactéries. Elles sont utilisées lorsque l'eau prélevée contient du chlore destiné à tuer les bactéries et que l'on veut connaître le nombre de bactéries et de germes lors du captage de l'eau (à un robinet par exemple). L'eau que je vais prélever ne contient pas de chlore à la base. Je vais ajouter une pastille chlorée pour tuer les bactéries, il faut donc que j'utilise des bouteilles stériles sans thiosulfate de sodium afin que la pastille puisse agir.

J'ai rempli deux bouteilles d'un litre d'eau du Doubs et deux autres de l'eau de l'étang. Dans une de chaque lieu, je mets une pastille Micropur Forte®. J'ai donc une bouteille avec l'eau de l'étang, sans la pastille et une avec la pastille. Idem avec l'eau du Doubs.

Modes opératoires pour mesurer le chlore libre

Recherches

Le premier mode opératoire que j'ai trouvé pour mesurer le chlore libre est une méthode à l'orthotolidine. L'eau qui contient du chlore libre, après une addition d'orthotolidine, devient jaune et peut être comparée au spectromètre. Je n'ai pas pu utiliser cette méthode, parce qu'un produit (chlorhydrate d'orthotolidine) n'était pas disponible au lycée. (Voir Rodier, 1978, pp. 507-509 pour le mode opératoire).

La méthode iodométrique permet de mesurer le chlore, mais aussi l'ozone, le bichromate, le biiodate et d'autres oxydants. Je ne me suis pas plus intéressée à cette méthode parce qu'elle permet de doser le chlore libre en cas de grandes concentrations (de l'ordre de 50 mg/L). (Voir le mode opératoire en annexe).

En utilisant la méthode au DPD (NN-diéthylparaphénylènediamine), celui-ci forme un complexe rougeâtre avec le chlore, plus ou moins foncé selon la teneur en chlore libre. Il suffit d'ajouter un excès d'iodure de potassium pour mesurer le chlore combiné et le chlore total. Le dosage du complexe formé peut se faire par colorimétrie, par volumétrie (titration) ou par comparimétrie visuelle. Il existe des modes opératoires qui utilisent une solution de DPD (voir Tardat-Henry & Beaudry, 1992, pp. 183-185). Il existe aussi des pastilles de DPD à mettre dans l'eau afin de faire une comparimétrie visuelle. Cette méthode est utilisée par le laboratoire de la ville. Je vais donc reprendre cette méthode et la détailler.

Description de la méthode retenue

Pour doser le chlore par la méthode au DPD, nous avons besoin d'un comparimètre portatif et de différentes pastilles de DPD suivant quelle(s) forme(s) de chlore nous voulons mesurer. Dans ce cas-là, c'est le chlore libre qui nous intéresse.

Dans cet appareil se trouvent deux petits récipients qu'il faut remplir d'eau à analyser. Dans un, j'ai mis une pastille de DPD n°1 (celle destinée à doser le chlore libre). L'autre sera le témoin. Ensuite, il faut placer ces deux récipients dans l'appareil et tourner les couleurs jusqu'à ce que le témoin soit de la même couleur que l'eau qui contient le DPD. Nous pouvons alors lire la dose de chlore libre présente dans l'échantillon en milligramme par litre.

Mode opératoire pour mesurer l'argent

Recherches

Pour mesurer l'argent présent dans l'eau une fois que la pastille a agit, j'ai trouvé une méthode colorimétrique. Celle-ci consiste à ajouter dans l'eau (qui a été rendue acide) de la dithizone qui forme ensuite du dithizonate d'argent, qui peut alors être séparé par extraction. La colorimétrie peut se faire lorsque la dithizone est en excès. (Voir Rodier, 1978, pp. 261-263, pour le mode opératoire). Malheureusement, la longueur d'onde dont nous avons besoin pour réaliser cette analyse n'étant pas disponible au lycée, j'ai donc dû abandonner cette méthode.

Je n'ai pas pu le déterminer expérimentalement mais uniquement théoriquement, par calculs.

Méthode retenue

Comme je connais la teneur en chlorure d'argent dans un comprimé, je vais pouvoir déterminer, par calculs, la dose d'argent présente dans un litre d'eau une fois que la pastille a agit.

J'ai commencé par peser plusieurs pastilles afin d'avoir une masse moyenne.

$$m_{mov} = 0.0441 g => 44.1 mg$$

On sait que la pastille contient 2.8 mg/g de chlorure d'argent. Je vais calculer la masse d'argent dans 1g de pastille :

$$m_{AgCl} = 0.0028 \text{ g}$$
; $m_{Ag+} = 107.8682 \text{ g/mol}$; $m_{Cl-} = 35.453 \text{ g/mol}$; $m_{AgCl} = 143.3212 \text{ g/mol}$

$$\underline{n_{AgCl}} = \underline{n_{Ag+}} = \frac{0.0028}{143.3212} = 0.000019537 = \underline{1.9537 * 10^{-5} \text{ mol}}$$

Il y a donc 1.9537 * 10⁻⁵ moles d'argent dans 1g de pastille.

$$\underline{m}_{Ag+} = n_{Ag+} * M_{Ag+} = 1.9537 * 10^{-5} * 107.8682 = 0.002107 g \Rightarrow 2.107 mg$$

D'après mes calculs, il y a 2.107 mg d'argent dans 1g de pastille.

J'ai ensuite calculé la masse d'argent dans une pastille en utilisant la masse moyenne d'une pastille : $\underline{m}_{Ag+/pastille} = 2.107 * 0.0441 = \underline{0.0929 \text{ mg}}$

Donc, dans une pastille d'une masse moyenne de 0.0441g, <u>il y a 0.0929mg d'argent.</u> Cette masse d'argent est, une fois la pastille dissoute, contenue dans un litre d'eau.

Dénombrement des Escherichia Coli

Le dénombrement des *escherichia Coli* (*E. Coli*) ne peut pas être fait au lycée, dans les laboratoires de biologie, parce qu'il manque le matériel nécessaire pour faire des analyses bactériologiques quantitatives comme celle-ci. J'ai donc fait ces analyses au laboratoire de la ville.

La méthode que je vais décrire est celle qu'utilise le laboratoire de la ville.

100 mL d'eau à analyser doivent être filtrés sur une membrane dont les pores mesurent 0.45µm. Puis la membrane est posée sur un milieu TSA (Tryptone Soy Agar) dans une boîte de pétri et mise à l'étuve à 37°C pendant 2 heures. Le milieu TSA, non sélectif, sert à revivifier les bactéries parce qu'elles peuvent être affaiblies après voir été transportées. Ensuite, la membrane est posée sur un milieu TBX (Tryptone Bile X-glucuronide Agar), dans une autre boîte de pétri et mise à l'étuve à 44°C pendant environ 24 heures. Ce deuxième milieu est sélectif. Si des *E. Coli* sont présentes, une tache bleue se forme. Lors de la filtration, tout doit être manipulé de manière stérile.

La filtration se fait sous vide (ceci accélère le processus), à l'aide d'une rampe à filtration (figure 4).

Une fois les 24 heures passées, il faut procéder au comptage. Les taches bleues qui pourraient s'être formées sont très faciles à repérer. Ce sont des UFC (unités formant une colonie). Lors de la filtration, il y avait une bactérie qui, ensuite, a proliféré en étant sur un milieu sélectif (figure 5). Cette colonie témoigne donc qu'il y avait une bactérie au départ. Nous comptons les UFC et elles nous donnent le nombre de bactéries présentes dans les 100 mL d'eau au départ.

Le volume d'eau à filtrer est normalement de 100 mL. Si nous pensons que l'eau contient beaucoup de bactéries, il faut la diluer afin de mieux pouvoir les compter. En diluant une fois, il faut diviser par dix le volume de départ.



fig 4. Rampe à vide utilisée pour la filtration sur membrane¹

Pour l'échantillon du Doubs, sans la pastille, j'ai fait deux filtrations, une de 100mL (non diluée) et une de 10 mL (diluée une fois). Pour le même échantillon mais avec la pastille, j'ai pensé qu'une seule filtration d'eau non diluée suffirait.

Pour l'eau provenant de l'étang, j'ai décidé de faire quatre filtrations parce que l'eau d'un étang est moins « propre » que l'eau d'une rivière (matières en suspension). J'ai donc filtré 100 mL, 10 mL, 1 mL et 0.1 mL. Pour la même eau, une fois que la pastille a agit, je n'ai fait que deux filtrations, une de 100 mL et une de 10 mL, parce l'eau doit contenir moins de bactéries qu'avant.

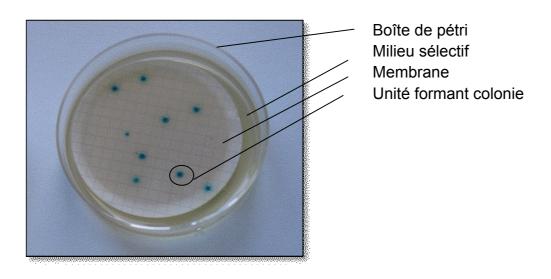


fig 5.: présence d'E. Coli dans une boîte de pétri

Les deux volumes de 1 mL et 0.1 mL sont trop faibles pour être filtrés seuls (un amas de bactéries se formerait à une place puisque nous déposerions seulement une goutte sur la membrane).

_

¹ (Labo and co, 2010)

Pour faire la dilution à 1 mL, nous prenons 1 mL dans l'eau de départ que nous diluons dans 10 mL d'eau physiologique. Pour la dilution à 0.1 mL, nous procédons de la même manière. Nous prenons 1 mL de la dernière dilution (celle où il y a 1 mL de l'eau de départ et 10 mL d'eau physiologique) que nous mettons également dans 10 mL d'eau physiologique. Avec ceci, nous retrouvons donc 0.1 mL de l'eau de départ.

Dénombrement des germes aérobies mésophiles

Le dénombrement des germes aérobies mésophiles a été fait au laboratoire de la ville pour les mêmes raisons que les *E. Coli*.

La méthode que je vais décrire est celle qu'utilise le laboratoire de la ville pour faire ses analyses.

Pour compter les germes, il faut prendre un millilitre d'eau à analyser, le poser dans une boîte de pétri, puis couler le milieu PCA (Plate Count Agar) chaud (donc liquide) par-dessus. L'eau et le milieu vont se mélanger. Le milieu utilisé n'est pas sélectif, afin que tous les germes puissent y vivre. Ensuite, la boîte est mise à l'étuve durant trois jours à 30°C. Chaque germe formera une colonie (que l'on verra sous forme de tache beige).

Afin d'éviter d'avoir trop de germes dans le milieu, il faut aussi faire des dilutions, d'après le même principe expliqué dans le chapitre « Dénombrement des *Escherichia Coli* » pour les petits volumes destinés à être filtrés.

Pour l'eau du Doubs, j'ai fait une analyse avec 1mL et une avec 0.1mL. Une fois que la pastille a agit, il doit y avoir moins de germes. Je n'ai donc fait qu'une analyse avec 1 mL d'eau. Pour l'eau de l'étang, où il y a plus de bactéries présentes, j'ai décidé de faire quatre tests, soit avec 1mL, 0.1mL, 0.01mL et 0.001mL. Après l'action de la pastille, je n'en ai fait plus que deux, un avec 1mL et l'autre avec 0.1mL.

Après les trois jours, il faut compter les germes présents. Comme pour les *E. Coli*, chaque tache beige représente une unité formant une colonie, et témoigne donc de la présence d'un germe au départ. Nous comptons les UFC afin de savoir le nombre de germes présents dans un millilitre d'eau.

Résultats Bruts

Prélèvements du 13 octobre 2009

Prélèvement n°	1	2
Lieu	Maison Monsieur (Doubs)	Etang des Arêtes
	(alt. : 619m)	(alt. : 1057m)
Heure de prélèvement	9h30	11h
Météo	Couvert Pluie les deux jours d'avant	Nuageux Pluie les deux jours d'avant
Remarques	Prélèvement depuis le débarcadère : eau profonde et claire, bateaux à proximité	Etang peu propre : feuilles, algues, branches, déchets. Prélèvement à 50cm du bord (milieu de l'étang), eau relativement claire

Résultats obtenus :

Prélèvement n°		1 (avant la pastille)	1 (après la pastille)	2 (avant la pastille)	2 (après la pastille)
Chlore libre		Pas de chlore dans l'eau brute	0.5 mg/L	Pas de chlore dans l'eau brute	<0.02 mg/L
Escherichia coli :					
Echantillon dilué :	0x (100mL)	161 unités	0	-	18
	1x (10mL)	24	-	3	0
	2x (1mL)	-	-	0	-
	3x (0.1mL)	-	-	0	-
Moyenne pour 100mL		200	0	30	18
Germes aérobies n	nésophiles :				
Echantillon dilué :	0x (1mL)	+ de 300	2 (1 en- vahissante)	+ de 300	+ de 300
	1x (0.1mL)	7 (1 en- vahissante)	-	162	41
	2x (0.01mL)	-	-	18	-
	3x (0.001mL)	-	-	1	-
Moyenne po	ur 1mL	+ de 300	2	+ de 300	+ de 300

Remarque : le prélèvement de la Maison Monsieur, après avoir ajouté la pastille, sent très fortement le chlore.

Prélèvements du 11 novembre 2009

Prélèvement n°	1	2
Lieu	Maison Monsieur (Doubs) (alt.: 619m)	Etang des Arêtes (alt. : env. 1000m)
Heure de prélèvement	12h30	13h15
Météo	Couvert Pluie et neige les jours précédents	Nuageux Pluie et neige les jours précédents
Remarques	Prélèvement depuis le débarcadère : eau profonde et claire, bateaux à proximité	Etang peu propre : feuilles, algues, branches, déchets. Prélèvement à 50cm du bord (milieu de l'étang), eau très trouble

Résultats obtenus :

Prélèvement n°		1 (avant la pastille)	1 (après la pastille)	2 (avant la pastille)	2 (après la pastille)
Chlore libre		Pas de chlore dans l'eau brute	0.3 mg/L	Pas de chlore dans l'eau	<0.02 mg/L
		Todd brute		brute	
Escherichia coli :					
Echantillon dilué :	0x (100mL)	150 unités	0	0	0
	1x (10mL)	21	-	0	0
	2x (1mL)	-	-	0	-
	3x (0.1mL)	-	-	-	-
Moyenne pour 100mL		180	0	0	0
Germes aérobies n	nésophiles :				
Echantillon dilué :	0x (1mL)	+ de 300	85	+ de 300	+ de 300
	1x (0.1mL)	258	-	+ de 300	+ de 300
	2x (0.01mL)	-	_	122	-
	3x (0.001mL)	-	_	10	-
Moyenne pour 1mL		+ de 300	85	+ de 300	+ de 300

Prélèvements du 7 décembre 2009

Prélèvement n°	1	2
Lieu	Les Brenets (Doubs)	Etang des Arêtes
	(alt. : 750m)	(alt. : env. 1000m)
Heure de prélèvement	12h50	13h10
Météo	Couvert	Couvert
	Pluie la nuit précédente	Pluie la nuit précédente
Remarques	Prélèvement à 30cm du	Etang peu propre : feuilles,
	bord, eau claire	algues, branches, déchets.
		Prélèvement à 50cm du
		bord (milieu de l'étang),
		eau très trouble

Résultats obtenus :

Prélèvement n°		1 (avant	1 (après la	2 (avant	2 (après la
		la pastille)	pastille)	la pastille)	pastille)
Chlore libre		Pas de	0.85 mg/L	Pas de	< 0.02 mg/L
		chlore		chlore	
		dans l'eau		dans l'eau	
		brute		brute	
Escherichia coli :					
Echantillon dilué :	0x (100mL)	+ de 300	0	-	4
		unités			
	1x (10mL)	127	0	2	0
	2x (1mL)	-	-	0	0
	3x (0.1mL)	-	-	-	-
Moyenne pour 100mL		+ de 300	0	20	4
Germes aérobies n	nésophiles :				
Echantillon dilué :	0x (1mL)	+ de 300	42	+ de 300	+ de 300
	1x (0.1mL)	+ de 300	7	+ de 300	+ de 300
	2x (0.01mL)	83	-	73	-
	3x (0.001mL)	_	-	16	-
	4x (0.0001mL)	_	-	0	-
Moyenne pour 1mL		+ de 300	56	+ de 300	+ de 300

Remarque : je n'ai pas pu prélever l'eau à la Maison Monsieur(comme c'était le cas lors des deux premiers prélèvements). La route de Biaufond, qui va à cette auberge, était fermée pour cause de chutes de pierres. J'ai donc décidé de prendre l'eau du Doubs aux Brenets, pour les raisons suivante : premièrement, les débits, à ces deux endroits, sont proches, deuxièmement,

cet endroit n'est pas trop éloigné de mon domicile. J'ai donc estimé que ce changement était celui qui influencerait le moins mes résultats.

Discussion des résultats

Je rappelle que pour considérer une eau comme potable, il ne suffit pas de mesurer le chlore libre pour voir s'il est dans les normes ni de compter seulement les germes et *E. Coli*. D'autres bactéries peuvent être nuisibles à l'homme et d'autres composés chimiques également.

Le chlore libre

D'après les mesures effectuées, nous constatons que la valeur de tolérance du chlore libre (0.1 mg/L, Cf. annexes) est dépassée, dans les trois cas, concernant l'eau du Doubs avec la pastille. Ceci veut dire que cette eau est considérée comme souillée mais toujours consommable puisqu'il ne s'agit pas de la valeur limite. Le département fédéral de l'intérieur (DFI) ne donne pas de valeur limite concernant le chlore libre, ce dernier utilisé dans l'eau de boisson ne représentant aucun danger pour la santé¹. La valeur de tolérance est donc un « indicateur » au-delà duquel l'eau peut sentir ou avoir un goût de chlore.

Dans le cas de l'eau de l'étang des Arêtes avec la pastille, la valeur mesurée reste largement en dessous de la valeur de tolérance (inférieure à 0.02mg/l).

De ces deux observations, nous pouvons dire que le chlore présent dans la pastille n'a pas agi de la même manière, avec la même intensité puisque, dans le premier cas (celui du l'eau du Doubs), le chlore n'a pas agi dans sa quasi-totalité comme c'est le cas pour l'étang des Arêtes. Cette différence est due à la matière en suspension présente dans l'eau (turbidité). En effet, le chlore prévu pour tuer les bactéries se fixe sur les particules en suspension et n'est donc plus présent en assez grande quantité pour tuer toutes les bactéries et tous les germes présents. C'est pourquoi elle n'a pas assez agi dans l'eau de l'étang des Arêtes, qui avait beaucoup de particules en suspension.

L'argent

La dose d'argent calculée dans une pastille est de 0.0929 mg. Donc, cette même dose est présente dans un litre d'eau, une fois la pastille dissoute. La valeur de tolérance, d'après le département fédéral de l'intérieur (DFI), est de 0.1 mg/kg, donc de 0.1 mg/L.

La pastille Micropur Forte® respecte les normes données concernant l'argent. Le fabricant a créé son comprimé de telle sorte que la dose d'argent soit juste en dessous de la valeur limite.

Les Escherichia Coli

En ce qui concerne les premiers prélèvements (13 octobre 2009), des *E. Coli* étaient présents dans les deux échantillons d'eau brute (avant la pastille) (figure 6). Ces bactéries sont témoins de pollution fécale. Concernant les deuxièmes prélèvements (11 novembre 2009), seule l'eau du Doubs contenait des *E. Coli*. Ceci m'a surpris parce que l'eau de l'étang me paraissait très sale (par son odeur et sa couleur, en comparaison à l'eau du Doubs). Puis, pour les troisièmes prélèvements (7 décembre 09), il y avait à nouveau des bactéries *E. Coli* présentes dans les deux échantillons d'eau brute.

Dans une eau considérée comme potable, aucune bactérie *E. Coli* ne doit être décelable dans 100 mL.

Dans le cas de l'eau du Doubs, nous voyons que la pastille a été très efficace puisqu'il ne reste aucun *E. Coli* une fois qu'elle a fait effet, alors que l'eau brute contenait près de 200

¹ (C.I. eau)

UFC (unité formant colonie) dans 100 mL pour les deux premiers et plus de 300 dans le troisième prélèvement.

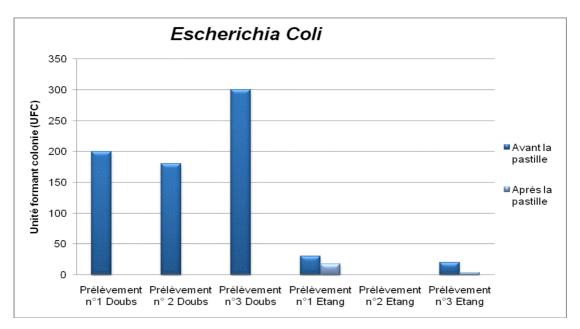


fig 1. graphe représentant le nombre d'E. Coli avant et après l'action de la pastille

Remarque concernant le graphe : nous arrêtons le comptage à 300. Quand une colonne arrive à 300, cela veut donc dire qu'il y en a plus de 300.

Dans le cas de l'eau de l'étang des Arêtes (pour le premier prélèvement), la pastille a été beaucoup moins efficace que pour l'eau du Doubs. L'eau brute contenait 30 bactéries alors que l'eau traitée en contient encore 18. On se retrouve dans la même situation pour les troisièmes analyses, où il y avait 20 *E. Coli* au départ et après la pastille, il en reste encore 4. La pastille n'a donc que diminué de moitié le nombre d'*E. Coli* présents, alors que pour l'eau du Doubs, elle les a toutes détruites. Cette différence d'action est due, comme je l'ai mentionné avant, aux particules en suspension présentes dans l'eau de l'étang, le chlore s'étant auparavant fixé sur ces particules.

Les germes aérobies mésophiles

Dans une eau potable traitée (directement après le traitement), il ne doit rester que 20 germes aérobies mésophiles (GMA) dans 1 mL (le maximum autorisé est de 300 par mL dans le réseau de distribution (Cf. annexes). J'ai décidé d'analyser mes résultats avec les normes d'une eau potable traitée, après le traitement, puisque les mesures ont été faites peu après avoir ajouté la pastille.

D'après les mesures, nous constatons que les deux eaux brutes, des trois prélèvements, contenaient plus de 300 germes aérobies mésophiles (GMA) par millilitre.

Dans le cas de l'eau du Doubs, après avoir ajouté la pastille, le nombre de germes a été considérablement réduit. Pour le premier prélèvement, les GMA sont passées de plus de 300 à 2. Une de ces deux colonies est une colonie envahissante, donc il est probable qu'il en reste plus de deux mais qu'elles se soient faites envahir et qu'elles n'aient pas pu se développer correctement. Ce résultat n'est pas très fiable, il sera considéré comme indicatif. La même explication est applicable aux 7 GMA présents dans 0.1 mL d'eau du Doubs brute pour le premier prélèvement. Pour le deuxième prélèvement, la pastille a réduit le nombre de GMA, il n'en reste que 85, ce qui est acceptable pour l'eau d'un réseau de distribution, mais il en reste

trop selon la norme de l'eau potable traitée, après le traitement. Pour le troisième, il en reste encore 56, ce qui est aussi trop.

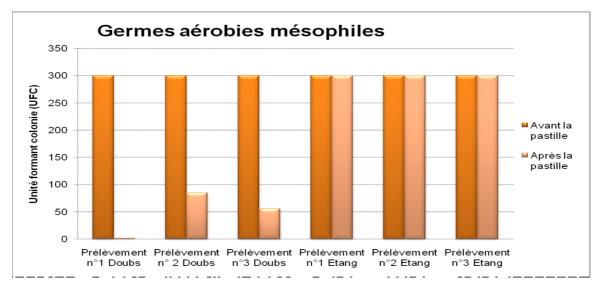


fig 2. graphe représentant le nombre de GMA avant et après l'action de la pastille

Remarque concernant le graphe : nous arrêtons le comptage à 300. Quand une colonne arrive à 300, cela veut donc dire qu'il y en a plus de 300.

Dans le cas de l'eau de l'étang, la pastille n'a pas réduit le nombre de germes de manière significative. En effet, il en reste plus de 300, pour chaque prélèvement, une fois son action terminée. En calculant d'après les dilutions, il en reste même plus de 400 concernant le premier prélèvement et plus de 3000 concernant les deux derniers. Ceci est beaucoup trop élevé selon les normes du département fédéral de l'intérieur (DFI).

Confrontation aux hypothèses

Après avoir analysé plusieurs échantillons d'eau du Doubs et de l'étang des Arêtes, je vais comparer mes résultats et mes hypothèses émises au chapitre 5.

En ce qui concerne la première hypothèse (En utilisant Micropur Forte® sur une eau chargée de particules en suspension (donc peu claire), le chlore se fixe sur les particules en suspension et il n'en reste pas assez pour tuer les bactéries présentes dans l'eau. L'eau ne peut donc toujours pas être considérée comme potable puisqu'elle contient encore des bactéries potentiellement pathogènes et qu'il reste aussi trop de germes.), elle a pu être confirmée grâce aux résultats sur l'eau de l'étang des Arêtes. Dans l'eau de l'étang, toutes les bactéries E. Coli n'ont pas été tuées lorsqu'il y en avait et les germes aérobies mésophiles sont encore beaucoup trop nombreux dans les trois cas. Ceci est dû au fait que cette eau contient beaucoup de particules en suspension sur lesquelles se fixe le chlore qui ne peut ensuite plus agir comme bactéricide. Il faut donc obligatoirement utiliser de l'eau claire pour que le comprimé agisse de manière satisfaisante.

Cette confirmation peut aussi se faire par la dose de chlore libre présente dans l'eau de l'Etang qui est quasiment nulle (inférieure à 0.02mg/l) une fois l'action terminée. D'après les Canadiens, 0.1mg/L est même la valeur minimale autorisée (voir introduction, critères de l'eau potable). Nous voyons donc bien qu'il ne reste pas assez de chlore. Cette eau ne peut pas être considérée comme potable puisqu'elle contient encore trop de bactéries potentiellement pathogènes et de germes.

Pour ce qui est de la deuxième hypothèse (En utilisant Micropur Forte® sur une eau presque claire et dans laquelle il y a beaucoup de bactéries, le chlore est dans les normes, les bactéries potentiellement pathogènes sont tuées et le nombre des germes est fortement réduit. L'eau est rendue potable.), je n'ai pas pu la confirmer par mes résultats. Comme pour l'hypothèse précédente, l'eau de l'étang contient encore trop de bactéries et de germes et n'est donc pas potable.

La pastille a été beaucoup plus efficace sur l'eau du Doubs. Les bactéries *E. Coli* ont toutes été tuées, lors des trois prélèvements et les germes ont fortement diminué en nombre, bien qu'ils ne soient pas dans les normes pour l'eau potable traitée, après le traitement. Le nombre de germes est dans les normes pour une eau dans le réseau de distribution. Au niveau des bactéries, l'eau du Doubs est donc potable. En ce qui concerne le chlore libre, les trois mesures effectuées sont au dessus de la valeur de tolérance. Ceci veut dire que cette eau est considérée comme souillée mais qu'elle n'est pas impropre à la consommation. Etant donné qu'au Canada il faut qu'il y ait au moins 0.1mg/L de chlore dans l'eau, j'estime donc que cette eau est encore considérée comme potable puisqu'elle n'est pas impropre à la consommation bien que le chlore libre ait dépassé la valeur de tolérance. Je juge les résultats de ce comprimé pas assez satisfaisants, d'après les normes suisses parce que la dose de chlore libre présente est trop forte, bien que nous puissions considérer (selon les normes d'autres pays) que l'eau soit rendue potable.

Je me retrouve devant un cas que je n'avais pas prévu. Comme je viens de l'expliquer, l'eau du Doubs ne contient plus de bactéries mais a une dose de chlore libre trop forte. Ce cas ne confirme donc aucune des hypothèses que j'avais émises. L'hypothèse que j'aurais difficilement pu émettre, en pensant que le fabricant veillait à rester dans les normes de chlore avec son produit, est la suivante :

En utilisant Micropur Forte® sur une eau que l'on peut déjà quasiment considérer comme potable, il y a trop de chlore présent par rapport au nombre de bactéries et donc toutes les bactéries sont tuées, les germes beaucoup moins nombreux mais le chlore est trop élevé. L'eau est souillée.

Cette dernière hypothèse aurait été confirmée par les analyses faites sur l'eau du Doubs.

Conclusion

Au début de mon travail, je m'étais posé la question suivante : Dans quelles mesures est-il possible d'utiliser des pastilles qui désinfectent l'eau afin de rendre l'eau d'une rivière, d'un lac ou d'un étang potable? Pour tenter d'y répondre, j'ai choisi d'utiliser le comprimé désinfectant Micropur Forte® de la société Katadyn et de prélever de l'eau dans le Doubs (à la Maison Monsieur ou aux Brenets) et dans l'étang des Arêtes. Après avoir fait des recherches sur les bactéries, le champ d'action du comprimé et son effet sur les microorganismes présents dans l'eau, j'ai dégagé deux hypothèses (cf. chapitre 5) :

- En utilisant Micropur Forte® sur une eau chargée de particules en suspension (donc peu claire), le chlore se fixe sur les particules en suspension et il n'en reste pas assez pour tuer les bactéries présentes dans l'eau. L'eau ne peut donc toujours pas être considérée comme potable puisqu'elle contient encore des bactéries potentiellement pathogènes et qu'il reste aussi trop de germes.
- En utilisant Micropur Forte® sur une eau claire et dans laquelle il y a beaucoup de bactéries, le chlore est dans les normes, les bactéries potentiellement pathogènes sont tuées et le nombre des germes est fortement réduit. L'eau est rendue potable.

Afin de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses, j'ai mesuré dans ces échantillons d'eau, avant et après avoir mis une pastille Micropur Forte®, la dose de chlore libre présente ainsi que le nombre de germes aérobies mésophiles et de bactéries *Escherichia Coli*. J'ai également déterminé par calcul la dose d'argent présente dans un comprimé et donc dans un litre d'eau une fois celui-ci dissous.

Les deux hypothèses n'ont pas été confirmées. Pour la première, en prenant une eau pas claire (ici, l'étang), toutes les bactéries ne sont pas tuées parce que le chlore se fixe sur les particules en suspension. Pour la deuxième, sur une eau claire (ici, le Doubs), le chlore tue toutes les bactéries mais il en reste plus que la valeur de tolérance de département fédéral de l'intérieur. Ni l'eau de l'étang, ni l'eau du Doubs, après la pastille, ne peut réellement être considérée comme potable.

Dans l'ensemble, je suis satisfaite du travail que j'ai fourni. Mais, comme dans tout travail, il y a des points à améliorer. J'aurais peut-être dû faire un prélèvement supplémentaire afin de pouvoir en tirer une conclusion plus générale. Je pense que le fait que mon travail de maturité mélange la chimie et la biologie est un point fort. Les analyses que j'ai effectuées à la place de faire seulement une recherche bibliographique sur l'efficacité de ces comprimés est aussi un point positif.

Mes recherches pourraient être poursuivies dans la biologie, pour tout ce qui concerne les bactéries, les germes, le fonctionnement et le rôle des micro-organismes, ainsi que tout ce qui touche à ce domaine. Au niveau purement chimique, nous pourrions poursuivre dans la chimie de l'eau, tous les éléments présents dans l'eau, leur rôle et comment ils s'y retrouvent. Nous pourrions aussi choisir d'autres types d'eau à analyser (lac, source, etc.).

Il y a encore un autre domaine à approfondir, celui qui concerne les enjeux de ce type de pastille dans les pays du tiers monde, à quelle échelle il pourrait être utilisé ou distribué dans les zones où l'eau potable se fait rare. Ceci ouvrirait une nouvelle problématique qui serait de type économique ou géographique.

Bibliographie

Ouvrages

Baylac, P. (2002). Le dichloroisocianurate de sodium: un désinfectant majeur de l'eau de boisson. *Médecine Tropicale*, 6, pp. 594-596.

Handler, J. (1968). Bactérie, Virus et Radiation (Vol. 15). Monte-Carlo: André Sauret.

Larpent, J.-P., & Larpent-Gourgaud, M. (1970). *Microbiologie pratique*. Paris: Hermann.

Leclerc, H., Gaillard, J.-L., & Simonet, M. (1995). *Microbiologie générale, la bactérie et le monde bactérien*. Paris: Doin éditeurs.

Prescrire Rédaction. (2000, Mai). La qualité de l'eau de boisson du voyageur. *Prescrire la revue*, 20 (206), pp. 363-369.

Rodier, J. (1978). L'analyse de l'eau eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Paris: Dunod.

Rolland, X., & Rolland, L. (1997). Bactéries, virus et champignons. Evreux: Flammarion.

Tardat-Henry, M., & Beaudry, J.-P. (1992). *Chimie des eaux*. Sainte-Foy (Québec): Le Griffon d'argile.

Aqua Expert. (2007). *Programme d'analyse simplifié*. Consulté le Janvier 23, 2010, sur Aqua expert: http://www.aquaexpert.ch

Sites Web

C.I. eau. (s.d.). *Calcaire, chlore et eau de boisson : mythes et réalités*. Consulté le Janvier 18, 2010, sur Cieau: http://www.cieau.com

Département fédéral de l'intérieur (DFI). (2009, Octobre 1). Ordonnance du DFI sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires (817.021.23). Consulté le Janvier 18, 2010, sur admin: http://www.admin.ch

Département fédéral de l'intérieur (DFI). (2009, Mai 25). *Ordonnance du DFI sur l'hygiène (817.024.1)*. Consulté le Janvier 18, 2010, sur admin: http://www.admin.ch

Fondation de l'eau potable sûre (FEPS). (2009). *Analyse de chlore résiduel, école secondaire*. Consulté le Janvier 18, 2010, sur Safe water: http://www.safewater.org

Jacques, H. (2009, Novembre 18). *Pourquoi dit-on « L'Argent » ?* Consulté le Janvier 23, 2010, sur Nos Libertés: http://www.noslibertes.org

Katadyn. (2010). *Traitement de l'eau chimique*. Consulté le Janvier 18, 2010, sur Katadyn: http://www.katadyn.com

Labo and co. (2010). *Filtration*. Consulté le Janvier 18, 2010, sur Labo and co: http://www.laboandco.com

Nos Libertés. (2009, novembre 18). *Pourquoi dit-on « L'Argent » ?* Consulté le janvier 18, 2010, sur Nos Libertés: http://www.noslibertes.org

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2010). Escherichia coli enterohémorragique (ECEH). Consulté le Janvier 18, 2010, sur Organisation mondiale de la Santé (OMS): http://www.who.int

University of California. (2007). *E. Coli research*. Consulté le Janvier 20, 2010, sur University of California: http://www.universityofcalifornia.edu

Annexes

Annexe 1

La valeur de tolérance correspond à la concentration maximale avant que l'eau soit considérée comme souillée¹.

La valeur limite correspond à la concentration maximale avant que l'eau soit considérée comme impropre à la consommation¹.

Voici les normes pour la Suisse d'après le département fédéral de l'intérieur (DFI) concernant les métaux et les métalloïdes présents dans l'eau potable²:

Substance	Valeur de tolérance mg/kg	Valeur limite mg/kg
Aluminium	0.2	
Antimoine	0.005	
Argent	0.1	
Arsenic		0.05
Cadmium		0.005
Chrome (VI)		0.02
Cuivre	1.5	
Fer	0.3	
Manganèse	0.05	
Mercure		0.001
Plomb		0.01
Sélénium		0.01
Zinc	5	

Département fédéral de l'intérieur (DFI), 2009)
 (Département fédéral de l'intérieur (DFI), 2009)

Annexe 2
Voici les normes pour la Suisse d'après le DFI concernant les autres substances étrangères présentes dans l'eau potable¹ :

	Valeur de	Valeur	
Substance	tolérance mg/kg	limite mg/kg	Remarques
Acide éthylènediaminetétracétique (EDTA)	0.005	0.2	
Acide nitrilotriacétique	0.003	0.2	
Agents tensio-actifs	0.1		Total
Ammonium	0.5		eau potable de type réduit; calculé en NH ₄ ⁺
Ammonium	0.1		sauf eau potable de type réduit; calculé en NH ₄ ⁺
Benzène	0.001		
Bromate	0.01		Provenant du traitement de l'eau potable
Bromo-dichlorométhane		0.015	
Chlorate	0.2		Provenant du traitement de l'eau potable
Chlore, libre	0.1		
Chlorite	0.2		Provenant du traitement de l'eau potable
Cyanure d'hydrogène		0.05	
Dibromo-chlorométhane		0.1	
Dichloroéthane, 1,2-		0.003	
Dichloroéthylène, 1,1-		0.03	
Dichloroéthylène, 1,2-		0.5	
Dichlorométhane		0.02	
Dioxyde de chlore	0.05		
Fluorure	1.5		
Hydrazine		0.005	
Hydrocarbures aromatiques Polycycliques	0.0002		somme de benzo[a]pyrène, fluoranthène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[ghi]perylène, indéno[1,2,3-cd]pyrène
Hydrocarbures halogénés, volatils	0.02		somme, calculée en chlore, si l'eau a été traitée au

_

¹ (Département fédéral de l'intérieur (DFI), 2009)

			chlore
Hydrocarbures, hydrosolubles	0.001		
Hydrocarbures, peu solubles	0.02		
Nitrate	40		
Nitrite	0.1		
Ozone	0.05		
Pesticides	0.0005		somme de tous les pesticides organiques et de leurs métabolites, produits de dégradation et de réaction pertinents
Pesticides	0.0001		par substance, est applicable aux pesticides organiques et individuellement à leurs métabolites, produits de dégradation et de réaction pertinents
Phénols	0.005		Par substance
Phénols entraînables par la vapeur d'eau	0.01		calculé en phénol
Phosphates	1		uniquement pour l'eau potable chaude; calculé en phosphore
Silicates	10		ajoutés, pendant 3 mois au maximum, pour la formation d'une couche protectrice; calculé en silicium
Silicates	5		ajoutés; calculé en silicium
Substances en suspension (turbidité)	1		exprimé en UT/F 90°
Sulfure			non décelable organoleptiquement
Tétrachloroéthylène		0.04	
Tétrachlorométhane		0.002	
Tribromométhane		0.1	
Trichloréthylène		0.07	
Trichloro-1,1,1-éthane		2	
Trichlorométhane		0.04	

Annexe 3Les normes pour la Suisse d'après le DFI sur l'hygiène de l'eau potable:

D 1 "	0.11	Valeur de tolérance
Produit	Critère d'examen	UFC
Eau potable non traitée :		
- au captage	Germes aérobies mésophiles	100/ml
	Escherichia coli	nd/100 ml
	Entérocoques	nd/100 ml
- dans le réseau de	Germes aérobies mésophiles	300/ml
distribution	Escherichia coli	nd/100 ml
	Entérocoques	nd/100 ml
- en récipients	Escherichia coli	nd/100 ml
·	Entérocoques	nd/100 ml
	Pseudomonas aeruginosa	nd/100 ml
Eau potable traitée :		
- après le traitement	Germes aérobies mésophiles	20/ml
	Escherichia coli	nd/100 ml
	Entérocoques	nd/100 ml
- dans le réseau de	Germes aérobies mésophiles	300/ml
distribution	Escherichia coli	nd/100 ml
	Entérocoques	nd/100 ml
- en récipients	Escherichia coli	nd/100 ml
	Entérocoques	nd/100 ml
	Pseudomonas aeruginosa	nd/100 ml
Eau minérale et eau de		
source:		400/
- à la source	Germes aérobies mésophiles	100/ml
	Escherichia coli	nd/100 ml nd/100 ml
	Entérocoques Pseudomonas aeruginosa	nd/100 ml
	- 1 deadornondo deraginosa	I IIII I I I I I I I I I I I I I I I I
- en récipients	Escherichia coli	nd/100 ml
	Entérocoques	nd/100 ml
	Pseudomonas aeruginosa	nd/100 ml

Légendes : UFC : unités formant colonie

Nd : non décelable

¹ (Département fédéral de l'intérieur (DFI), 2009)