

Ecole Nationale de la Santé Publique

FORMATION : INGENIEURS DU GENIE SANITAIRE

PROMOTION 1998/2000

TITRE :

QUALITE MICROBIOLOGIQUE

DES EAUX BRUTES DISTRIBUEES PAR BRL :

EXIGENCES ET CONCEPTION D'UN SUIVI ADAPTE

ROBERT Hélène
DATE JURY : 27 – 28 SEPTEMBRE 1999

SOMMAIRE

SIGLES ET ABREVIATIONS.....	1
PRESENTATION DE BRL ET DE BRL EXPLOITATION.....	2
INTRODUCTION.....	3
1 LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION D'EAU BRUTE.....	9
1.1 IDENTIFICATION DU DANGER MICROBIOLOGIQUE D'ORIGINE HYDRIQUE.....	9
1.1.1 Bactéries.....	10
1.1.1.1 Principales pathologies humaines d'origine bactérienne en lien avec le milieu hydrique et caractéristiques des pathogènes responsables.....	10
1.1.1.2 Propriétés des bactéries	12
1.1.2 Virus.....	12
1.1.2.1 Principales pathologies humaines d'origine virale en lien avec le milieu hydrique	12
1.1.2.2 Propriétés des virus	13
1.1.3 Parasites	14
1.1.3.1 Principales pathologies humaines d'origine parasitaire en lien avec le milieu hydrique	14
1.1.3.2 Propriétés des parasites	15
1.1.4 Conclusion sur la présence de pathogènes dans les eaux brutes enFrance	15
1.2 LA SENSIBILITÉ DE L'HÔTE	16
1.3 COMMENTAIRES SUR LES AUTRES ÉTAPES DE L'ÉVALUATION DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE D'ORIGINE HYDRIQUE.....	16
1.3.1 Identification des fonctions dose-réponse.....	16
1.3.2 Estimation de l'exposition	16
1.3.3 Caractérisation quantitative du risque infectieux.....	16
2 LES PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES DE DESCRIPTION DE LA QUALITÉ DES EAUX.....	17
2.1 GÉNÉRALITES	17
2.2 LES INDICATEURS	17
2.2.1 Indicateurs d'abondance bactérienne	17
2.2.2 Indicateurs de contamination fécale.....	18
2.2.2.1 Coliformes.....	18
2.2.2.2 Streptocoques fécaux, Streptocoques D, Entérocoques	19
2.2.2.3 Spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices, de <i>Clostridium</i> sulfite-réducteurs, et <i>Clostridium perfringens</i>	19

2.2.2.4 Bactériophages	20
3 DIFFERENTS USAGES ACTUELS OU POSSIBLES DE L'EAU BRUTE DISTRIBUÉE PAR BRL EXPLOITATION, ET EXIGENCES DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE ASSOCIÉES	21
3.1 MÉTHODE D'IDENTIFICATION DES USAGES ACTUELS DE L'EAU BRUTE DISTRIBUÉE PAR BRL EXPLOITATION ET DES EXIGENCES DE QUALITÉ EMANANT DES CLIENTS	21
3.2 RÉSULTATS SUR LES USAGES ACTUELS OU POSSIBLES DE L'EAU BRUTE BRL.....	21
3.2.1 Irrigation.....	21
3.2.1.1 Problématique associée à l'usage irrigation	21
3.2.1.2 Synthèse des résultats de l'enquête clients	24
1) Irrigation de cultures	24
2) Irrigation de pelouses et espaces verts	24
3.2.1.3 Exigences réglementaires de qualité microbiologique	25
1) En France	25
2) A l'étranger	25
3.2.1.4 Engagements qualitatifs de type contractuel	25
3.2.1.5 Recommandations	26
1) En France	26
2) A l'étranger	26
3) Concernant la réutilisation des eaux usées traitées.....	26
3.2.1.6 Discussion	28
3.2.2 Eau utilisée en production animale.....	29
3.2.2.1 Problématique.....	29
3.2.2.2 Exigences réglementaires de qualité microbiologique	30
1) Agriculture classique.....	30
2) Agriculture biologique	31
3.2.2.3 Engagements qualitatifs de type contractuel	32
3.2.2.4 Recommandations	32
3.2.2.5 Discussion	32
3.2.3 Transformation de produits agricoles, industrie agro-alimentaire	33
3.2.3.1 Problématique.....	33
1) Cas général.....	33
2) Cas des fruits et légumes frais.....	34
3.2.3.2 Synthèse des résultats de l'enquête clients	35
3.2.3.3 Exigences réglementaires de qualité microbiologique	36
1) Mode de transformation classique.....	36
2) Mode de transformation biologique	37
3.2.3.4 Recommandations concernant le secteur des fruits et légumes	37
3.2.3.5 Discussion	39
3.2.4 Eau brute destinée à la potabilisation	40
3.2.4.1 Problématique.....	40
3.2.4.2 Exigences réglementaires de qualité microbiologique	41

3.2.4.3	Recommandations propres aux eaux brutes superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine	41
3.2.4.4	Discussion	42
3.2.5	Eaux de baignade et piscines	43
3.2.5.1	Eaux de baignades	43
1)	Problématique	43
2)	Exigences réglementaires	44
3)	Discussion	46
3.2.5.2	Eaux de piscines	46
1)	Problématique	46
2)	Exigences réglementaires	47
3)	Discussion	47
3.2.6	Eaux à usage piscicole.....	48
3.2.6.1	Problématique.....	48
3.2.6.2	Exigences réglementaires	48
3.2.6.3	Recommandations	49
3.2.6.4	Discussion	49
3.2.7	Usages divers	49
3.3	CONCLUSION.....	50
4	RÉFLEXIONS SUR LA MISE EN PLACE D'UN PROGRAMME DE SUIVI DE LA QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES L'EAUX BRUTES BRL	50
4.1	GÉNÉRALITÉS	50
4.2	LE SUIVI ACTUEL DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX BRUTES BRL, SES LIMITES.....	50
4.2.1	Le contrôle sanitaire des eaux utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.....	50
4.2.1.1	Présentation.....	50
4.2.1.2	Commentaires.....	51
4.2.2	Eaux de baignade	52
4.2.2.1	Présentation.....	52
4.2.2.2	Commentaires.....	52
4.2.3	Conclusion	53
4.3	PROGRAMME RIGOREUX DE SUIVI DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX BRUTES BRL, SA CONCEPTION, SES CONTRAINTES	53
4.3.1	Description du système de distribution BRL des eaux brutes du Centre-Est.....	53
4.3.2	Paramètres à suivre	54
4.3.3	Modalités de prélèvement.....	54
4.3.4	Méthodes d'analyse.....	54
4.3.5	Stratégie d'échantillonnage.....	54
4.3.5.1	Echelle de temps.....	54
4.3.5.2	Echelle d'espace.....	54
1)	Le long des canaux.....	54

2) Pour un point donné	55
4.3.6 Etude de pré-échantillonnage.....	55
4.3.6.1 Paramètres à suivre.....	55
4.3.6.2 Points de réalisation	56
4.3.6.3 Modalités de l'étude	56
4.3.6.4 Méthodes d'analyses	57
4.3.6.5 Utilisation des résultats	57
4.3.6.6 Estimation du coût.....	58
4.3.7 Conclusion	58
CONCLUSION.....	54
ANNEXES.....	55
ANNEXE 1 : Rappel de quelques définitions concernant les propriétés des agents pathogènes.....	56
ANNEXE 2 : Evaluation du risque ; précisions sur les étapes d'identification des fonctions dose-réponse, estimation de l'exposition, et caractérisation du risque.....	57
ANNEXE 3 : Exigences auxquelles un indicateur de contamination fécale idéal devrait répondre.....	59
ANNEXE 4 : Liste des questions posées aux clients lors de l'enquête téléphonique.....	60
ANNEXE 5 : Résultats exhaustifs des enquêtes téléphoniques menées auprès des clients.....	61
ANNEXE 6 : Définition des eaux destinées à la consommation humaine.....	70
ANNEXE 7 : Caractéristiques microbiologiques et hygiéniques des végétaux et préparations de végétaux crus prêts à l'emploi.....	71
ANNEXE 8 : Contrôle de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.....	74
ANNEXE 9 : Adaptation du programme de contrôle des eaux destinées à la production d'eau destinée à la consommation humaine.....	76
ANNEXE 10 : Méthodes d'analyse des eaux destinées à la production d'eau destinée à la consommation humaine prévues par l'arrêté du 20 février 1990.....	77
ANNEXE 11 : Méthodes d'analyse concernant la qualité microbiologique des eaux de baignade Spécifiées par l'arrêté du 29 novembre 1991.....	78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	79

SIGLES ET ABREVIATIONS

AEP	Adduction d'Eau Potable
AFNOR	Association Française de Normalisation
BRL	Compagnie nationale d'aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DI ₅₀	Dose infectant 50 % des animaux testés
DL ₅₀	Dose conduisant à la mort de 50 % des animaux testés
DMI	Dose Minimale Infectante
ECOCERT	Organisme agréé de contrôle et de certification de l'agriculture biologique
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point
ISO	International Standard Organisation
NPP	Nombre le Plus Probable
OMS	Organisation Mondiale de la Santé

PRESENTATION DE BRL ET DE BRL EXPLOITATION

Créée en 1955, la Compagnie nationale d'aménagement de la région du Bas-Rhône et du Languedoc (BRL) est une société d'aménagement régional, dont la vocation première est de contribuer à l'aménagement et au développement économique de la région Languedoc-Roussillon.

BRL est aujourd'hui un groupe dont les activités se sont étendues et diversifiées au sein de filiales :

- BRL Exploitation : gestion des ouvrages hydrauliques ;
- BRL Ingénierie : bureau d'études des domaines de l'eau et de l'environnement ;
- BRL Espaces naturels : parcs, espaces verts et jardins ;
- SEPA-LRC : société d'études et de promotion pour l'aqueduc Rhône-Catalogne ;
- CNAR BRL : société mère du groupe, assure la mission publique d'aménagement.

BRL Exploitation gère et exploite des ouvrages de production et de distribution d'eau, notamment d'eau brute : eau d'irrigation et eau à usages divers en Languedoc-Roussillon. Avec 200 personnes, elle délivre chaque année 100 millions de m³ sur une surface de 120 000 hectares irrigués. BRL Exploitation assure également l'alimentation en eau brute de stations de potabilisation, exploitées par elle-même ou d'autres sociétés.

En Languedoc-Roussillon, BRL Exploitation exploite une dizaine de barrages d'une capacité totale de 300 millions de m³, plus de 100 km de canaux principaux, 125 stations de pompes, 6 stations de traitement d'eau potable et 6 000 km d'adducteurs et de réseaux hydrauliques.

BRL Exploitation assure la distribution mais aussi le conseil auprès de ses clients, irrigants, particuliers ou collectivités : matériel d'irrigation, utilisation rationnelle de l'eau, protection de l'environnement, ...

INTRODUCTION

BRL Exploitation est de plus en plus sollicitée par ses clients (industries agro-alimentaires, irrigants, particuliers...) pour des informations concernant la qualité de l'eau brute qu'elle leur distribue. Cette demande croissante s'inscrit dans le cadre du développement de diverses démarches d'assurance qualité (charte de production intégrée, cahiers des charges de l'agriculture biologique...) et de la préoccupation grandissante des particuliers sur la qualité de ce qui est susceptible de porter atteinte à leur santé.

A l'heure actuelle, concernant l'eau brute non destinée à la potabilisation, BRL n'a comme seules obligations que de garantir la délivrance d'un certain débit et d'une certaine pression à ses clients.

BRL Exploitation contrôle toutefois en interne la qualité physico-chimique des eaux brutes qu'elle distribue et a équipé ses canaux Rhodaniens de truitomètres. Elle ne contrôle pas la qualité microbiologique de ses eaux brutes.

Seules les eaux brutes à usage de potabilisation et de baignade sont contrôlées selon les modalités réglementaires en vigueur. Il s'agit d'un simple contrôle de conformité avec une pression d'échantillonnage réduite. Les résultats des analyses d'eau brute destinée à la potabilisation sont fournis à BRL Exploitation, mais ne lui permettent pas, dans la plupart des cas, de renseigner ses clients sur la qualité effective des eaux brutes qu'ils utilisent.

BRL, entreprise en démarche de certification ISO 9000, se doit de répondre aux interrogations actuelles et futures de ses clients sur la qualité microbiologique de son eau brute. Elle a donc entrepris d'acquérir une meilleure connaissance des usages qui sont faits de l'eau brute qu'elle distribue, afin d'en cerner les exigences de qualité microbiologique actuelles et potentielles, et de pouvoir mettre en place un système de suivi efficace de sa qualité microbiologique.

La démarche suivie et présentée dans ce mémoire est la suivante :

- recensement des différents usages de l'eau brute distribuée par BRL ;
- explicitation et discussion des problématiques de ces différents usages, de leurs exigences de qualité microbiologique (exigences officielles ou émanant de la part des clients) ;
- réflexion sur la mise en place d'un suivi de la qualité microbiologique de l'eau distribuée, en fonction des réponses aux questions précédentes, de l'analyse critique du système de contrôle actuel, et des moyens techniques et financiers disponibles.

Tout au long de cette démarche, l'accent sera mis sur les possibles nuisances sanitaires (principalement vis à vis de l'homme) en lien avec la qualité microbiologique de l'eau brute. Nous nous focaliserons sur l'eau brute de surface, qui constitue la ressource majeure mobilisée par BRL.

Pour la suite, le terme « sanitaire » sera employé lorsqu'il s'agira d'hommes ou d'animaux, et le terme « phytosanitaire » le sera lorsqu'il s'agira de végétaux.

Afin de pouvoir discuter des exigences de qualité microbiologique liées aux différents usages de l'eau brute BRL, il est nécessaire de faire deux rappels concernant :

- les risques microbiologiques liés à l'utilisation d'eau brute ;
- les paramètres microbiologiques suivis généralement pour rendre compte de la qualité d'une eau.

1 LA DEMARCHE D'EVALUATION DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE SANITAIRE LIE A L'UTILISATION D'EAU BRUTE

La **démarche d'évaluation du risque**, menée de façon complète et rigoureuse, permet d'aboutir à un risque microbiologique estimé, et ce pour un pathogène, une utilisation de l'eau brute et une population concernée donnés. Dans ces conditions, le risque microbiologique correspond à la **probabilité de réalisation**, dans la population donnée, **d'un danger** lié à ce pathogène et à cette utilisation. Une réflexion sur l'acceptabilité de ce risque permet entre autres d'aboutir à une concentration maximale admissible de ce pathogène dans l'eau utilisée.

Il ne s'agit pas dans ce mémoire de mener une démarche complète d'évaluation du risque microbiologique pour chaque usage de l'eau brute BRL, mais de retenir, parmi les éléments de cette démarche, ceux qui permettront de discuter des exigences de qualité microbiologique associées à ces usages.

Les grands traits de la démarche, applicables à tous les usages, sont présentés dans ce qui suit. Les particularités propres à chaque usage seront exposées au cas par cas dans la partie 3.

Concernant le risque microbiologique, de nombreux facteurs déterminent dans quelle mesure le **danger** lié à la présence d'agents pathogènes dans des eaux peut conduire à un **risque effectif** de déclaration d'une maladie. L'utilisation d'une eau brute ne représente en effet un risque effectif pour la santé humaine ou animale que si toutes les conditions suivantes sont remplies :

- 1) L'abondance de l'agent pathogène au point d'usage doit être supérieure ou égale à la dose infectieuse, qu'elle résulte de la contamination de l'eau, ou de la multiplication de l'agent pathogène ;
- 2) La dose infectieuse atteint un hôte humain ou animal ;
- 3) L'hôte est infecté ;
- 4) L'infection provoque une maladie ou se transmet.

Si la quatrième condition n'est pas remplie, le risque est purement potentiel. Si la première et la deuxième condition ne sont pas remplies, le danger ne peut s'exprimer.

L'utilisation d'eaux brutes pour divers usages ne devient un problème de santé publique que si elle accroît l'incidence ou la prévalence de maladies, ou l'intensité d'infections.

1.1 IDENTIFICATION DU DANGER MICROBIOLOGIQUE D'ORIGINE HYDRIQUE

Une eau brute peut contenir divers micro-organismes (bactéries, virus, parasites, levures, moisissures, algues), dont certains peuvent être hautement pathogènes aussi bien pour l'humain que pour l'animal. En raison de l'absence de filtration naturelle des eaux qui la composent, les eaux brutes de surface sont davantage sujettes à ce type de contamination que les eaux souterraines. Les eaux brutes peuvent être des véhicules plus ou moins agressifs pour les micro-organismes transportés. Les contaminations par les pathogènes de l'eau peuvent être directes ou indirectes (intervention d'un « relais » tel qu'aliment ou support quelconque en contact avec l'eau).

Actuellement, dans les pays tempérés et développés comme la France, les grandes infections historiques d'origine hydrique ont disparu (choléra, dysenterie bacillaire, fièvres typhoïde et paratyphoïde). Les affections les plus fréquentes d'origine hydrique qui subsistent sont surtout des gastro-entérites, et des hépatites.

Les micro-organismes émergeant dans nos pays comme une menace pour la santé publique sont essentiellement des protozoaires (*Giardia*, *Cryptosporidium*), et des virus entériques.

Dans les pays chauds et/ou en voie de développement, les parasites, protozoaires ou vers en particulier, continuent à

poser un problème sanitaire important.

L'origine principale des contaminations de l'eau brute réside dans les eaux résiduaires, les déchets et excréments humains ou animaux, insuffisamment traités et/ou rejetés dans de mauvaises conditions dans le milieu naturel.

On trouvera en annexe 1 un rappel des définitions de certains termes utilisés pour décrire dans ce qui suit les caractéristiques des trois principaux types d'agents pathogènes pour l'homme : bactéries, virus, parasites.

1.1.1 Bactéries

1.1.1.1 Principales pathologies humaines d'origine bactérienne en lien avec le milieu hydrique et caractéristiques des pathogènes responsables

Le tableau 1 expose la réalité des différents types de bactéries pathogènes (et pathologies associées) susceptibles de se trouver dans les eaux brutes en France métropolitaine.

Les bactéries pathogènes citées sont infectieuses dès l'excrétion. Elles peuvent persister dans l'eau ou l'environnement pendant des durées variables, selon les conditions environnementales plus ou moins agressives (causant stress ou dommage). Il est difficile d'établir des durées de survie ou de persistance au stade infectieux pour chaque type bactérien, tant les conditions locales et expérimentales interviennent dans cette détermination. L'OMS [13] cite pour les bactéries du tableau 1 des durées de persistance au stade infectieux allant de 7 jours à 3 mois. Ces indications n'ont que peu de valeur compte tenu des remarques faites précédemment. Il faut également noter que les bactéries capables de sporuler peuvent persister très longtemps dans l'environnement : jusqu'à plusieurs dizaines voire centaines d'années, soit le temps de survie de la spore.

Les *E. coli* cités sont pathogènes (essentiellement pour la population infantile) mais ne représentent que 10 % de tous les *E. coli*. En effet, 90 % des *E. coli* sont commensaux et n'entraînent aucun désordre chez leur hôte.

Compte tenu des facteurs de pathogénicité bactérienne, c'est à dire :

- adhérence plus ou moins définitive de la bactérie à la cellule hôte ;
- invasion de cellules non phagocytaires de l'hôte ;
- sécrétion de substances nocives pour l'hôte (toxines, enzymes) ;
- multiplication bactérienne (extra et intracellulaire) ;

les bactéries pathogènes initialement présentes dans une eau brute qui sont les plus préoccupantes sont celles qui sont capables, dans cet environnement aquatique ou sur tout autre support intermédiaire entre l'eau et l'hôte (aliment, surface quelconque...), et même si lorsque cela se produit ça l'est de façon accidentelle, de :

- (i) se **multiplier** et permettre, à partir d'une faible quantité de micro-organismes au départ, d'en constituer un nombre suffisamment important pour pouvoir déclencher une infection chez l'hôte (à savoir, dans l'eau et les aliments : *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio cholerae*, et dans les aliments : *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni* (exceptionnellement)...)
- (ii) produire une quantité de **substances toxiques** suffisantes pour entraîner des troubles chez l'hôte.

A noter qu'il n'est pas forcément nécessaire d'avoir un grand nombre de bactéries au départ pour permettre la production de substances nocives en quantité importante. (Exemple, dans les aliments : *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*...).

Tableau 1 : Présentation des caractéristiques des principales bactéries pathogènes pour l'homme, en lien avec le milieu hydrique, susceptibles d'être rencontrées en France (Source : 4, 3, 13, 5).

Bactérie	Affection en relation avec l'eau	Dose infectieuse médiane (ID ₅₀) ^a	Origine de la présence dans l'eau
<i>Aeromonas spp</i>	Gastro-entérite et syndromes cholériformes (I)		
<i>Campylobacter jejuni</i> / <i>C. coli</i>	Gastro-entérite (I)	E (?)	Fécale
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastro-entérite (I)		Fécale + ubiquitaire
<i>Escherichia coli</i> entéro-pathogènes, entérotoxinogènes, entéroinvasives, entérohémorragiques	Gastro-entérite, syndromes cholériformes et colite hémorragique (I)	E	Fécale
<i>Legionella pneumophila</i> (3 sous-espèces)	Pneumopathie, fièvre (I et surtout inhalation d'aérosols)		
<i>Leptospira spp</i>	Leptospirose ictérohémorragique (C) Maladie professionnelle des égoutiers et mineurs, touchant aussi baigneurs en eau douce, chasseurs, pêcheurs.	F	Urine de rongeurs
<i>Listeria monocytogenes</i>	Listérioses (femme enceinte : avortement ; nouveau né : septicémie, méningite ; adulte et enfant : méningites, encéphalites) (I)		Ubiquitaire
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infections cutanées (C), suppuratives ou éruptives, surinfections, pneumopathies		
<i>Salmonella typhi</i> , <i>S. paratyphi</i> A, B ou C, <i>S. sendai</i>	Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes (I)	E	Fécale
<i>Salmonella typhimurium</i> , <i>S. enteritidis</i> (« cosmopolites ») 1600 sérotypes	Gastro-entérite (I), infections systémiques	E	Fécale
<i>Shigella spp</i>	Gastro-entérite et dysenterie (I) Dysenterie bacillaire (<i>S. dysenteriae</i>)	M	Fécale
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infections cutanées suppuratives, septicémie, infections viscérales (C)		Peau + muqueuses hommes et animaux, fécal possible
<i>Vibrio cholerae</i> (O1 et O139), <i>Vibrio spp</i>	Choléra (seulement <i>V. cholerae</i> O1 et O139) Gastro-entérite et (I), infections cutanées	E	Ubiquitaire + fécal
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite (I)	E (?)	Ubiquitaire + fécal

Spp : diverses espèces, I : contamination par ingestion d'eau contaminée, C : contamination par contact avec l'eau contaminée.

^a : F = faible (< 10²) ; M = moyenne (de l'ordre de 10⁴) ; E = élevée (> 10⁶) ; ? = incertaine.

L'infectivité des bactéries est variable mais globalement les doses infectantes sont assez élevées. Il a été établi que la dose minimale infectante des bactéries pathogènes est de 10 à 10 000 fois supérieure à celle des virus et protozoaires à un niveau similaire d'exposition [2].

Les doses infectieuses médianes indiquées dans le tableau 1 ne sont données qu'à titre très indicatif, car la souche de la bactérie, son mode d'action pathogène (pouvoir invasif, production possible de substances toxiques) et la sensibilité de l'hôte interviennent pour beaucoup dans cette notion. Néanmoins, comme il s'agit dans le tableau de doses infectieuses médianes, on pourra considérer que cela donne une indication sur les niveaux relatifs d'infectivité des bactéries en question. Pour les bactéries à mode d'action toxigène, comme *Staphylococcus aureus* c'est davantage la quantité de toxines ingérées qui compte plutôt que la quantité de bactéries.

Une immunité peut exister pour certains types de bactéries.

Actuellement, en France, les préoccupations concernant les bactéries pathogènes pour l'homme et présentes dans les eaux brutes se portent essentiellement sur les Salmonelles.

Remarque : Des bactéries (parmi lesquelles certaines du tableau 1) présentes dans les eaux brutes sont également responsables de pathologies chez les animaux : salmonellose (due à des sérovars ubiquistes ou étroitement adaptés à certains animaux), leptospirose, infections dues à *Yersinia enterocolitica*, tuberculose (due à *Mycobacterium bovis* chez les bovins), brucellose, listériose (due à *Listeria monocytogenes*), botulisme, fièvre charbonneuse, infections dues à *Staphylococcus aureus*, ...

Ces bactéries pathogènes pour l'animal ont sensiblement les mêmes modes d'action et propriétés que chez l'homme.

1.1.1.2 Propriétés des bactéries

Dans l'eau, les facteurs à effet négatifs sur l'abondance bactérienne sont :

- **Ensoleillement** : les UVB et UVC ont un effet antibactérien net. La lumière visible agit sur l'oxygène dissous et conduit à la formation d'oxygène singlet toxique ;
- **Température, oxygène, pH** : pour chaque type de bactérie, il existe des zones d'optimum, et en dehors de ces zones, c'est l'effet adverse qui se produit ;
- **Adsorption, sédimentation** ;
- **Prédation** (par les protozoaires) et **antibiose** (par le phytoplancton sécrétant différents types de toxines) ;
- **Bactériophages spécifiques** ;
- **Action des sels minéraux, des métaux** ;
- **Déficiences en nutriments.**

Plus généralement, les facteurs à influence négative sur la survie des bactéries sont : température élevée, humidité faible, activité biologique importante, pH extrêmes, luminosité importante, déficit de nutriments, oxygène pour certains types respiratoires.

1.1.2 Virus

1.1.2.1 Principales pathologies humaines d'origine virale en lien avec le milieu hydrique

Les virus susceptibles d'être rencontrés dans le milieu hydrique en France, ainsi que leurs pathologies associées, sont présentés dans le tableau 2.

Ces virus ont une latence nulle et un temps de maintien variable dans l'eau et l'environnement, en fonction des conditions locales plus ou moins agressives. Concernant la détermination de ces temps de maintien, les mêmes remarques peuvent être faites que pour les bactéries. L'OMS [13] cite une durée maximale de maintien de 3 mois pour les entérovirus dans un environnement aquatique.

Contrairement à certaines bactéries, les virus pathogènes pour l'homme ne peuvent se multiplier dans le milieu extérieur, en raison de l'absence de cellules humaines nécessaires à cette réalisation.

La **dose minimale infectieuse** (DMI) est variable mais généralement faible :

- d'une vingtaine de particules virales pour les entérovirus,
- d'une dizaine de particules virales pour le virus de l'hépatite A,
- d'une seule particule virale pour les rotavirus.

Une immunité peut exister pour certains types de virus (virus de l'hépatite A et E et entérovirus notamment).

Tableau 2 : Virus pathogènes pour l'homme susceptibles d'être rencontrés dans le milieu hydrique en France métropolitaine (Source : 4, 6).

Genres	Espèces	Sérotypes	Maladie provoquée
Entérovirus	Virus Poliomyélitique	3	Paralysie, méningite, fièvre, poliomyélite (I)
	Virus Cocksackie A	23	Méningite, infection respiratoire, herpangine (I)
	Virus Cocksackie B	6	Myocardite, éruption cutanée, fièvre, méningite, infection respiratoire, pleurodynie (I)
	Echovirus	32	Méningite, infection respiratoire, éruption cutanée, fièvre, diarrhée (I)
	Entérovirus 68 à 71	4	Méningite, encéphalite, atteinte des voies respiratoires, conjonctivite hémorragique (I)
Hépatovirus	Virus de l'hépatite A	1	Hépatite infectieuse (I)
Réovirus	Réovirus humains	3	Non établie
Rotavirus	Rotavirus humains	6	Gastro-entérite (I)
Calicivirus	Calicivirus humains	3 (5)	Gastro-entérite (I)
	Virus de Norwalk	1	Gastro-entérite (I)
	Small round virus	13	Gastro-entérite
	Virus de l'hépatite E	1	Hépatite infectieuse (I)
Astrovirus	Astrovirus humains	5	Gastro-entérite (I)
?	Parvovirus-like virus (H.F.P.L.V)	1	Gastro-entérite (I)
Coronavirus	Coronavirus humains	1	Entérocolite (I)
	Coronavirus-like	?	Gastro-entérite (I)
Mastadénovirus	Adénovirus humains	41	Infection respiratoire, conjonctivite (C, piscines) et gastro-entérite (I)
	Papilloma virus		Verrues (C en piscine)

I : contamination par contact avec l'eau contaminée ; C : contamination par ingestion d'eau contaminée.

En France, à l'heure actuelle, les virus les plus problématiques se trouvant dans les eaux brutes sont :

- le **virus de l'hépatite A** ;
- les **virus des gastro-entérites** :
 - **caliciviridae** (contenant anciennement entre autre les calicivirus et, d'après la nouvelle nomenclature, les genres Saporo-like et Norwalk-like) et **rotavirus** à un degré similaire de pathogénicité ;
 - **astrovirus** et accessoirement **adénovirus 41**, à un degré moindre.

Remarque : A quelques exceptions près, les virus du tableau 2 ne sont pas pathogènes pour l'animal. Mais l'eau peut aussi être un vecteur de contamination virale pour l'animal (fièvre aphteuse des bovins, par exemple).

1.1.2.2 Propriétés des virus

Le plus souvent les virus sont **adsorbés aux matières en suspension** et décantent avec elle.

Les virus sont thermosensibles, mais leur sensibilité est très variable selon le type de virus et la composition physico-chimique du milieu. La plupart sont inactivés aux alentours de 50 à 60°C. Ils **résistent parfaitement au froid**, mais **mal à la dessiccation**. Leur **résistance aux variations de pH est variable** selon les virus. Le poliovirus supporte une variation de pH de 3 à 10,5 - 11.

Les virus sont sensibles aux radiations : les rayons X ou U.V. les détruisent, par dénaturation de leurs acides nucléiques. Le **pouvoir de pénétration des U.V. dans les eaux est toutefois faible, et inhibé par les particules en suspension (MES, turbidité)**.

1.1.3 Parasites

Sont considérés comme parasites des êtres vivants, organismes animaux ou fongiques, qui, pendant une partie ou la totalité de leur existence, vivent aux dépens d'autres êtres organisés appelés hôtes [1].

1.1.3.1 Principales pathologies humaines d'origine parasitaire en lien avec le milieu hydrique

Certains des parasites cités dans le tableau 3 sont latents et ne peuvent réinfecter l'homme qu'un certain temps après leur excrétion par celui-ci. Ceci s'explique par l'existence de cycles à plusieurs stades pour ces parasites et/ou la nécessité d'hôtes intermédiaires dans ces cycles.

Comme pour les bactéries ou les virus, le temps de survie au stade infectieux est variable, dépendant des conditions de stress environnemental, et ses estimations chiffrées n'ont que peu de valeur.

Les doses infectieuses sont faibles pour les parasites. Toutefois, dans la détermination de celles-ci, et en raison de l'existence de cycles à plusieurs stades et d'hôtes intermédiaires, il faut tenir compte de la forme (infectante ou non) du parasite et non du seul nombre de parasites présents.

De manière générale, en parasitologie, l'immunité n'est pas présente. Dans le meilleur des cas, elle a un rôle atténuateur [1].

En France, à l'heure actuelle, les parasites présents dans les eaux brutes ne constituent pas un problème de santé publique important, car ceux qui sont présents le sont en très faible quantité, et ne provoquent pas d'infection grave. Les formes de résistance des protozoaires *Giardia* et *Cryptosporidium* inquiètent toutefois les traiteurs d'eau de surface, à cause des segments de population immuno-déficients.

Remarque : Les animaux sont aussi sujets à des pathologies dues à des parasites, à savoir par exemple : helminthiases (douve, strongylose), cystirercose bovine. Beaucoup sont communes à l'homme et l'animal (zoonoses). L'eau peut constituer un vecteur d'infection entre animaux ou entre l'animal et l'homme.

Tableau 3 : Présentation des caractéristiques des principaux parasites pour l'homme, en lien avec le milieu hydrique et en climat tempéré (Source : 4, 3, 13).

Classifi- cation	Micro-organisme	Affection en relation avec l'eau	Latence	Hôte intermédiaire
Proto- zoaires	Amibes : <i>Naegleria</i> , <i>Entamoeba</i> , <i>Acanthamoeba</i> , <i>Balantidium</i>	Amibiases (I), kystes, kératite (C, eau de lavage lentilles cornéennes), méningite (inhalation pour <i>Naegleria fowleri</i>)	0	Aucun
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Gastro-entérite (I)		
	<i>Giardia lamblia</i> , <i>G. intestinalis</i>	Gastro-entérite, giardiase (I Kystes)	0	Aucun
Helminthes	Anguillules	Anguillulose (C, baignades en piscine, ou I)		
	<i>Ankylostoma duodenale</i> , <i>A. brasiliensis</i>	Ankylostomiase (C, larve capable de traverser la peau, terrains humides, rizières)	7 jours	Aucun
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascarirose (I, larves dans l'eau ou la terre humide)	10 jours	Aucun
	Bothriocéphale	Bothriocéphalose (ingestion de chair de brochet)		
	<i>Fasciola hepatica</i> ou douve	Distomatose (affection de proximité, ingestion de cresson d'eau)	2 mois	Mollusque et plantes aquatiques
	Filiaires	Filariose, Dracunculose (I)		
	<i>Schistosoma</i>	Bilharziose (C voie transcutanée)	4 à 7 semaines	Mollusque
	<i>Taenia saginata</i> , <i>Taenia solium</i>	Teniasis (I) irrigation par eaux usées	2 mois	Bœuf (<i>T. saginata</i>), porc (<i>T. solium</i>)
Fungi	<i>Candida albicans</i>	Candidose (C, piscines)		
	Dermatophytes : <i>Trichophyton</i> , <i>Microsporium</i> , <i>Trichosporon</i>	Mycoses cutanées (C, eau de mer, sable)		

I : contamination par ingestion d'eau contaminée, C : contamination par contact avec l'eau contaminée ;

1.1.3.2 Propriétés des parasites

Les parasites dont le cycle comprend un passage par le milieu extérieur présentent une résistance remarquable aux agressions de celui-ci (les œufs d'*Ascaris* y survivent plusieurs années). Pour les parasites présentant des formes kystiques, celles-ci sont plus résistantes que les formes végétatives.

Les parasites sont sensibles à la **chaleur**, à l'**humidité**, au **pH**, mais des conditions portant sur ces facteurs sont également nécessaires pour que certains parasites puissent se développer.

Pour certains parasites, la dose minimale infectante est très faible (une unité).

L'eau est considérée comme un élément privilégié de dissémination parasitaire.

1.1.4 Conclusion sur la présence de pathogènes dans les eaux brutes en France

Dans le contexte français actuel, les pathogènes dont la présence est connue dans les eaux brutes sont surtout des bactéries, des virus et des protozoaires parasites. Les virus pathogènes pour l'homme et les kystes ou oocystes de protozoaires parasites (formes infectantes) sont incapables de se multiplier dans le milieu extérieur. Pour les bactéries, en raison de l'habitat normal animal (et particulièrement fécal) de ces pathogènes, il est peu probable que les conditions offertes par le milieu aquatique soient propices à une multiplication (et/ou à une production de toxines bactériennes) suffisantes pour constituer dans l'eau une dose infectante. Néanmoins, cette possibilité existe pour certaines espèces dans les sédiments ou les biofilms recouvrant tout matériau solide (pierres, surfaces de canalisations).

1.2 LA SENSIBILITÉ DE L'HÔTE

Elle a plusieurs composantes.

· L'état immunitaire.

Il détermine la mesure dans laquelle le système immunitaire de l'hôte va lui permettre de se défendre contre des agents pathogènes. En théorie, plus l'état immunitaire d'un hôte sera efficace, et plus la quantité d'agents pathogènes nécessaires pour constituer une dose infectieuse sera grande. Ainsi, un sujet présentant déjà une maladie, une infection, ou étant immunodéprimé, sera particulièrement sensible aux agressions d'un pathogène.

En pratique, une immunité appréciable ne s'installe chez l'hôte qu'à l'égard de certaines maladies virales ou bactériennes (comme la typhoïde). Toutefois, l'immunité acquise est, en parasitologie, beaucoup plus fréquente qu'on ne l'imaginait. Dans de rares cas, une primocontamination peut entraîner une immunité définitivement protectrice (toxoplasmose, leishmaniose cutanée). Dans les autres parasitoses profondes, cette immunité a un rôle au moins atténuateur [1].

· L'âge.

Les enfants en bas âge sont plus sensibles aux pathogènes, principalement en raison de l'efficacité réduite de l'effet de barrière de leur flore intestinale vis à vis des pathogènes ingérés. Les personnes âgées sont souvent immuno-déficientes.

1.3 COMMENTAIRES SUR LES AUTRES ÉTAPES DE L'ÉVALUATION DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE D'ORIGINE HYDRIQUE

Ces trois étapes sont très brièvement décrites ci-après. Pour plus de détails, on pourra consulter l'annexe 2.

1.3.1 Identification des fonctions dose-réponse

Le choix du modèle de la relation dose-réponse fournit la probabilité d'infection, de maladie ou de décès, à partir d'un niveau d'exposition ou, inversement, estime l'exposition à partir du taux d'attaque dans la population [2]. Il permet également de calculer le risque de maladie ou de décès.

1.3.2 Estimation de l'exposition

Elle est fonction de l'abondance du micro-organisme dans l'eau brute et d'un certain nombre d'autres éléments liés aux divers usages de cette eau (par exemple, pour l'utilisation en irrigation maraîchère : temps de survie du pathogène sur les légumes, quantité de légumes ingérée).

Les éléments pertinents de cette étape d'estimation de l'exposition seront cités et pris en considération lors de l'explicitation de la problématique associée aux différents usages.

1.3.3 Caractérisation quantitative du risque infectieux

Elle consiste en une évaluation chiffrée du risque sanitaire encouru dans une population dont l'exposition aura été correctement évaluée.

2 LES PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES DE DESCRIPTION DE LA QUALITE DES EAUX

2.1 GÉNÉRALITES

Il faut distinguer les paramètres utilisés pour définir les exigences de qualité microbiologique des eaux, ceux utilisés en contrôle de cette qualité, et ceux utilisés pour la surveillance déclenchée suite à la constatation d'un problème sanitaire lié à l'utilisation de l'eau.

Avant de détailler les particularités des paramètres utilisés pour ces différents objectifs, il convient de rappeler que dans la majorité des cas, la recherche et le dénombrement des pathogènes est longue et difficile à réaliser, et que leur mise en évidence peut se faire indirectement au moyen de micro-organismes non pathogènes indicateurs de leur présence voire même de leur quantité, à condition que la corrélation entre l'abondance du pathogène d'intérêt et l'abondance de l'indicateur ait été vérifiée.

- **Exigences de qualité d'une eau** : les paramètres utilisés sont des micro-organismes pathogènes et des indicateurs de présence probable ou de survie possible ou de résistance possible aux traitements de ces ou d'autres pathogènes.
- **Contrôle routinier** : la plupart du temps ce ne sont pas directement les micro-organismes pathogènes qui sont recherchés et dénombrés mais uniquement les indicateurs. On ne saurait en effet engager en routine la recherche et le dénombrement de tous les pathogènes possibles. Les pathogènes sont recherchés lorsque cela est aisé à réaliser et/ou qu'il n'existe pas d'indicateur de leur présence plus avantageux et facile à détecter.
- **Contrôle exceptionnel** : en cas de problème sanitaire lié à l'utilisation d'eau, la situation justifie de mettre en œuvre les moyens de rechercher et dénombrer directement le ou les pathogènes responsable(s).

La présentation des principaux pathogènes pouvant être rencontrés en milieu hydrique et susceptibles de faire l'objet de limites de qualité a été réalisée ci-avant. Quelques indications concernant les indicateurs notamment de certains types de pathogènes figurent ci-après.

2.2 LES INDICATEURS

2.2.1 Indicateurs d'abondance bactérienne

Le dénombrement des **bactéries aérobies revivifiables** (bactéries aérobies et aéroanaérobies mésophiles, hétérotrophes) vise à quantifier non spécifiquement le plus grand nombre de micro-organismes saprophytes véhiculés par l'eau, en particulier de bactéries se développant dans les conditions aérobies habituelles de culture. Quel que soit le milieu utilisé, le développement de l'ensemble des bactéries présentes n'est jamais obtenu : certaines espèces demandent des apports nutritifs et des conditions de milieu qui sont défavorables à la prolifération d'autres espèces (exigences nutritives particulières, compétition, stress...). Cela veut dire que deux résultats ne sont comparables que s'ils proviennent d'analyses pratiquées selon la même méthodologie et avec les mêmes milieux de culture.

Le dénombrement des bactéries aérobies mésophiles est utilisé comme indicateur d'abondance :

- soit **dans les milieux naturels**, le plus souvent dans les eaux de très bonne qualité microbiologique dont on veut éprouver la protection vis-à-vis de toute contamination ; ce sont donc essentiellement les eaux souterraines, de nappes profondes ou alluviales, qui sont soumises à cet examen, mais aussi les eaux de surface comme celles de certains lacs oligotrophes loin des rives. Les bactéries aérobies mésophiles ont alors une valeur d'**indicateur de contamination par les eaux superficielles eutrophes**.

- soit **dans les réseaux** : une augmentation de la concentration bactérienne en aval de la station de pompage ou de traitement doit être interprétée soit comme une multiplication interne de bactéries existant à l'entrée du réseau, soit comme une intrusion de l'extérieur dans celui-ci, au niveau des réservoirs ou des canalisations. Les bactéries aérobies mésophiles ont alors une valeur **d'indicateur de pollution**.

Les dénombrements sont effectués après incubation soit à 37°C (ce qui présente une certaine signification sanitaire) en 24 heures, soit à 22°C en 72 heures.

Dans le cas des eaux superficielles eutrophes, les bactéries aérobies mésophiles ont une valeur **d'indicateur de charge bactérienne**.

2.2.2 Indicateurs de contamination fécale

La plupart des micro-organismes (bactéries, virus, parasites) responsables des maladies humaines d'origine hydrique ayant pour habitat normal les intestins de l'homme ou de certains animaux à sang chaud, et étant difficiles à mettre en évidence, l'analyse bactériologique des eaux se base historiquement sur la mise en évidence de contaminations fécales : s'il a été prouvé qu'une eau est soumise à une telle pollution, il existe un risque pour qu'elle contienne des micro-organismes pathogènes de cette origine.

Dans ce contexte, sont recherchés et dénombrés certaines espèces, ou certains groupes de bactéries, les plus représentatifs d'une telle contamination, et dont la présence ne constitue pas un risque pour la santé : les **indicateurs de contamination fécale**.

Un indicateur idéal de contamination fécale devrait répondre à un certain nombre d'exigences ou de références précisées en annexe 3, pour répondre à ses trois utilisations : apporter des renseignements sur la présence de pathogènes, ou leur survie dans le milieu, ou leur résistance aux traitements.

Les indicateurs bactériens de contamination fécale ne peuvent être liés à la présence d'un pathogène non fécal, cutanéomuqueux par exemple.

A l'heure actuelle il n'existe pas d'indicateurs de pathogènes non-fécaux susceptibles d'application aussi pratiquée que les indicateurs de contamination fécale.

2.2.2.1 Coliformes

Coliformes totaux.

Ils sont constitués par un certain nombre d'espèces bactériennes possédant des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35-37°C.

On peut actuellement distinguer deux catégories de coliformes, selon qu'ils ont ou non une origine fécale.

Ils n'ont aucune valeur d'indicateur de contamination fécale car sont composés en grande partie de la flore autochtone de l'eau.

Coliformes thermotolérants.

Les **coliformes fécaux** ou **coliformes thermotolérants** sont des coliformes qui présentent les mêmes propriétés de structure et de culture caractéristiques des coliformes, mais après incubation à la température de 44°C. Celle-ci permet de sélectionner les espèces de coliformes d'origine fécale, mais limite la croissance des espèces sélectionnées. La spécificité de l'indicateur est donc bonne, mais sa sensibilité l'est moins.

Tous les coliformes d'origine fécale sont thermotolérants sous nos climats, mais tous les coliformes thermotolérants ne sont pas forcément d'origine fécale (ex : *Klebsiella pneumoniae*, qui peut provenir de rejets de papeterie). Il est donc préférable de n'employer que le terme de **coliformes thermotolérants** et non celui de coliformes fécaux.

Ce sont des indicateurs relativement fiables de contamination fécale en raison d'une concordance statistique entre leur présence et l'existence quasi certaine d'un tel type de contamination.

Les coliformes thermotolérants constituent des indicateurs relativement fiables de présence, de survie ou de résistance au traitement des bactéries pathogènes fécales. Ils sont moins fiables pour les virus entériques, en particulier pour la survie et la résistance au traitement. Ils sont très peu utilisés pour les protozoaires et les helminthes, parasites pour lesquels on ne connaît aucun indicateur fiable.

· *E. coli*.

Cette espèce bactérienne présente les mêmes intérêts que les coliformes thermotolérants avec, en plus, l'avantage d'être fortement spécifique d'un habitat normal intestinal et de ne pas se multiplier dans l'environnement. C'est un excellent marqueur de contamination fécale, récente ou rapprochée.

2.2.2.2 Streptocoques fécaux, Streptocoques D, Entérocoques

Les streptocoques du groupe D sont constitués par des bactéries des genres *Streptococcus* et *Enterococcus* possédant la substance antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield. Dans l'ancienne nomenclature, les streptocoques du groupe D étaient désignés par le terme « streptocoques fécaux ».

Les streptocoques du groupe D n'ont pas tous un habitat fécal. Parmi eux, seules les bactéries du genre *Enterococcus* sont d'origine fécale animale ou humaine certaine.

Les avantages des entérocoques en tant qu'indicateurs sont [3] :

- une incapacité à se multiplier dans l'environnement aquatique (contrairement aux coliformes) ;
- une résistance au traitement et une survie dans les eaux supérieures à celles des coliformes, et plus voisines de celles des virus, d'où la possibilité de détection de contaminations anciennes et une meilleure capacité à représenter une contamination virale.

2.2.2.3 Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices, de *Clostridium* sulfito-réducteurs, et *Clostridium perfringens*

Le point commun aux bactéries anaérobies sulfito-réductrices (*Clostridium* et certains *Bacillus*), aux *Clostridium* sulfito-réducteurs (incluant *Clostridium perfringens*) et à *Clostridium perfringens*, est de réduire le sulfite de sodium en sulfure (propriété utilisée pour l'analyse bactériologique) et de sporuler dans les conditions défavorables (la spore bactérienne est une forme de résistance).

Ces différents types de bactéries sont recherchés dans la réglementation concernant la qualité des eaux d'alimentation.

· Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices.

Les méthodes d'analyse sont telles que sous ce terme sont comprises les spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs et celles de certains *Bacillus* sulfito-réducteurs, qui sont abondantes dans toutes les eaux.

Dans le cas des eaux brutes de surface destinées à la potabilisation, leur recherche n'a d'intérêt que pour la mesure de l'efficacité d'un traitement de potabilisation : filtration (les spores sont de taille moindre et sont plus difficiles à retenir que les formes végétatives) ou chloration (les spores sont beaucoup plus résistantes que les bactéries végétatives). Leur absence est à valider, car si un traitement est suffisamment puissant pour les éliminer, il a « seulement » de grandes chances d'éliminer les pathogènes, mais ne conduit pas à leur élimination systématique.

· Spores de *Clostridium* sulfito-réducteurs.

Ils sont parfois utilisés comme des témoins très sensibles de pollution fécale car leur forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes thermotolérants ou entérocoques, permettrait de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente.

Or, il existe une grande variété de *Clostridium* aptes à réduire le sulfite en sulfure (*C. perfringens*, *C. sporogenes*, *C. fallax*, etc.), et ces espèces sont ubiquistes. De ce fait, il s'agit d'un indicateur de contamination fécale sensible mais trop peu spécifique.

Si l'intérêt de leur recherche est controversé pour la mise en évidence d'une pollution, la mise en évidence de leurs spores peut en revanche servir d'indicateur d'efficacité de filtration sur sable dans une station de traitement au même titre que les spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices, qui sont toutefois plus simples, donc moins coûteuses, à dénombrer.

· *Clostridium perfringens*.

C'est un genre ubiquiste qui ne peut être considéré comme uniquement d'origine fécale. Comparativement aux deux autres populations précitées, c'est malgré tout la plus spécifique. Il est difficile d'établir des corrélations entre sa présence et celle d'*E. coli* ou des coliformes thermotolérants.

La recherche de *C. perfringens* ne présente guère d'intérêt pour la mise en évidence d'une pollution fécale. Ceci est conforté par la difficulté et surtout le temps nécessaire à son identification. Cette recherche n'a d'intérêt que lorsque le germe est recherché au titre de pathogène.

2.2.2.4 Bactériophages

Ce sont des virus qui infectent et se reproduisent dans les bactéries. Ils constituent un indicateur de l'efficacité de la désinfection par le chlore car ils sont plus résistants que les bactéries indicatrices de contamination fécale.

Certains sont actuellement candidats au titre d'indicateur de contamination virale, mais des travaux sont encore nécessaires pour déterminer quels bactériophages suivre, et quels sont les seuils quantitatifs correspondant à la présence probable de virus pathogènes.

3 DIFFERENTS USAGES ACTUELS OU POSSIBLES DE L'EAU BRUTE DISTRIBUEE PAR BRL EXPLOITATION, ET EXIGENCES DE QUALITE MICROBIOLOGIQUE ASSOCIEES

3.1 MÉTHODE D'IDENTIFICATION DES USAGES ACTUELS DE L'EAU BRUTE DISTRIBUÉE PAR BRL EXPLOITATION ET DES EXIGENCES DE QUALITÉ EMANANT DES CLIENTS

Les usages de l'eau brute distribuée par BRL Exploitation ont été identifiés par une enquête interne à l'entreprise auprès des commerciaux, et par une enquête externe auprès de certains clients.

Il s'est en premier lieu agi de recenser auprès des commerciaux les usages connus a priori. Il s'est avéré que si certains usages étaient connus (arrosage d'espaces verts, irrigation de cultures, remplissage de piscines, protection incendie), ceux faits par certains clients, en particulier industriels, ne l'étaient pas exhaustivement ni précisément. Une enquête a donc été réalisée auprès de certains de ces clients.

Après un recensement exhaustif de tous les clients possesseurs d'un contrat d'eau brute à usage industriel, certains ont été sélectionnés pour être interrogés, en fonction de leurs usages de l'eau brute connus a priori, et de la sensibilité pressentie de ces usages à la qualité microbiologique de l'eau brute utilisée, notamment du point de vue sanitaire. Ont également été retenus des clients irriguants producteurs de produits de 4^{ème} gamme.

Au total, 16 clients ont été retenus, appartenant aux secteurs agricole, agro-alimentaire, et espaces verts : deux golfs, deux communes, un SIVOM, deux agriculteurs irriguants, un arboriculteur, un centre hospitalier, deux coopératives de fruits et légumes, une conserverie de tomates, deux usines de transformation de produits viticoles, une cave coopérative.

Ils ont été interrogés par téléphone, afin de mieux cerner les usages qu'ils font de l'eau brute qui leur est distribuée par BRL Exploitation ainsi que les contraintes (réglementaires ou autres) de qualité microbiologique auxquels les usagers sont et/ou se croient soumis selon les usages, pour mettre à jour leurs exigences en matière de qualité microbiologique concernant cette eau.

La liste des questions posées figure en annexe 4.

3.2 RÉSULTATS SUR LES USAGES ACTUELS OU POSSIBLES DE L'EAU BRUTE BRL

Le récapitulatif exhaustif des réponses aux questions de l'enquête figure en annexe 5.

La démarche suivie dans ce qui suit pour la présentation des résultats sera, pour chaque usage, de faire le point sur sa problématique, la synthèse des résultats de l'enquête menée auprès des clients, et les différentes exigences (réglementaires et émanant des clients).

La base de toutes les problématiques est la présence initiale de pathogènes dans l'eau brute. Pour chaque usage, l'examen des composantes du risque microbiologique permettra de déterminer quels sont les pathogènes les plus préoccupants.

3.2.1 Irrigation

Plusieurs clients utilisent l'eau brute BRL pour cet usage.

3.2.1.1 Problématique associée à l'usage irrigation

L'usage d'une eau brute en arrosage / irrigation peut avoir des conséquences sanitaires plus ou moins importantes. Le danger principal consiste en la possible contamination des végétaux par des pathogènes de l'eau, ces végétaux étant

consommés ultérieurement par hommes ou animaux.

Pour raisonner sur les différents éléments de la problématique de l'usage irrigation, on peut en partie s'inspirer des réflexions menées sur la réutilisation des eaux usées traitées. Ceci est en effet justifié par :

- le fait que certaines eaux brutes (particulièrement de surface) soient autant si ce n'est davantage microbiologiquement polluées que des eaux usées traitées ;
- des similitudes d'usage de ces deux types d'eaux.

Le risque d'apparition de troubles ou de maladies chez les hommes ou les animaux est lié :

: Au mode d'irrigation.

Il a une influence sur :

- **Les parties des végétaux avec lesquelles l'eau entre en contact.**

L'aspersion favorisera un contact de l'eau avec les parties comestibles des végétaux, particulièrement pour les légumes. L'irrigation localisée ou l'aspersion au pied de l'arbre limiteront cet effet.

- **L'exposition directe à l'eau des travailleurs et de la population ou des animaux avoisinants.**

- L'aspersion favorisera la formation d'aérosols éventuellement porteurs de bactéries et de virus potentiellement pathogènes, transportables, selon les conditions du milieu, sur plusieurs centaines de mètres [9] et pouvant être inhalés voire avalés par les personnes ou les animaux exposés.
- L'irrigation localisée limitera l'effet de dispersion et le risque lié à l'inhalation de particules pathogènes

En l'état actuel des connaissances, la dispersion des micro-organismes pathogènes (virus, bactéries) due à l'aspersion d'eaux usées traitées ne semble pas engendrer un excès de risque significatif de morbidité bactérienne ou virale pour les populations exposées [9]. On pourra donc considérer que **le mode de contamination par inhalation ou contact direct avec des particules d'eau brute n'est pas le plus préoccupant.**

: A la survie et à la multiplication des agents pathogènes à la surface des végétaux, ainsi qu'à leur possible production de substances nocives à l'homme et l'animal.

- **Survie.**

Elle est très variable selon les conditions environnementales. Les facteurs positifs pour la survie des bactéries et des virus sont l'humidité (pluie ou irrigation), une température basse, et une situation abritée du vent et du soleil. Les temps de survie trouvés dans la littérature [6,9] n'excèdent en général pas trois semaines pour la plupart des pathogènes. Ces données ne sont toutefois pas généralisables tant les conditions expérimentales particulières influent sur les résultats.

Il semble néanmoins relativement admis que les œufs d'helminthes constituent la principale exception à la disparition plus ou moins rapide des pathogènes à la surface des végétaux. En effet, ceux-ci semblent capables de conserver leur viabilité pendant des mois et même des années [9] (durée de survie du ténia dans une prairie irriguée : 15 à 210 jours, selon la nature du sol et l'exposition [9]).

On peut toutefois s'interroger sur l'unicité de ce cas d'exception, car les bactéries pathogènes capables de sporuler sont elles aussi théoriquement capables de persister très longtemps à la surface des végétaux.

Dans certains cas, la survie des agents pathogènes peut être suffisamment longue pour créer un risque potentiel lors de la récolte et de la consommation du produit, spécialement si la durée de survie est supérieure à celle de la période de végétation des cultures (principalement des légumes).

- **Multiplication, production de substances toxiques pour l'homme et à l'animal (les virus ne sont pas concernés).**

A la surface des végétaux et jusqu'à la récolte, la multiplication des agents pathogènes amenés par l'eau d'irrigation ou la production, par ces pathogènes, de substances toxiques pour l'homme ou l'animal, est relativement exceptionnelle. En effet, la plupart du temps, les conditions de milieu offertes par la surface des végétaux sont juste suffisantes pour permettre la survie de ces pathogènes et non leur développement. Ceci s'explique par l'action des conditions néfastes de dessiccation et d'ensoleillement, mais également [41] par :

- la présence d'une flore normale saprophyte, voire d'une flore phytopathogène, à la surface des végétaux, qui conduit à des **phénomènes de compétition** avec la flore pathogène, dont celle-ci ne sort que très rarement victorieuse ;
- l'acidité des fruits (pH < 4,5), qui inhibe le développement des bactéries pathogènes. (En général, le pH des légumes n'est pas suffisamment bas pour permettre la même action).

La plupart des pathogènes capables de se multiplier ou de produire des toxines à la surface des végétaux sont ubiquitaires et ne trouvent pas forcément l'origine de leur présence initiale sur les végétaux dans la seule eau d'irrigation. On peut citer, de manière non exhaustive, les pathogènes accidentellement capables de développement à la surface des végétaux : multiplication : *Salmonella*, *C. perfringens*, *L. monocytogenes*, *Campylobacter*, *Y. enterocolitica* (de façon beaucoup moins accidentelle) ; multiplication et production de toxines : *S. aureus*.

Au mode de passage des pathogènes des végétaux à l'homme ou à l'animal.

Il peut se faire :

- **Par contact avec les végétaux** (cas des pelouses, espaces verts publics).

Ce contact peut être suivi de l'ingestion plus ou moins différée des pathogènes présents à la surface des végétaux (par portage des doigts à la bouche par exemple). Les pathogènes les plus préoccupants vis à vis du simple contact sont ceux responsables d'infections cutanées contractées par ce mode de contamination (*Pseudomonas aeruginosa*, *S. aureus*). **Ce mode de contamination par contact paraît relativement limité.**

- **Par ingestion des végétaux** (cas le plus général) **ou des pathogènes** apportés par l'eau et présents à leur surface.

Dans le cas d'une consommation directe juste après la récolte, intervient le mode de consommation des végétaux : crus, lavés, pelés, cuits.

Le fait de consommer un végétal cru augmente considérablement le risque d'infection microbiologique, car la plupart du temps les micro-organismes pathogènes sont inactivés ou tués par la chaleur.

Pour les aliments du bétail, les conditions de conservation (milieu acide dans l'ensilage) peuvent nuire à la survie des pathogènes.

N.B. : L'apparition de troubles chez les humains ayant consommé de la viande contaminée par des micro-organismes peut être une conséquence indirecte de l'utilisation d'une eau de mauvaise qualité microbiologique pour l'irrigation de fourrages et prairies.

Conclusion : Il existe bien un risque d'apparition de problèmes sanitaires dus à l'utilisation d'eau brute (particulièrement de surface) pour l'irrigation / arrosage de végétaux.

En France, ce risque semble toutefois minime et ne concerne que l'apparition de troubles consécutifs à

l'ingestion de pathogènes. Il est essentiellement lié à la présence de **bactéries et virus voire de protozoaires** de principalement d'origine fécale ou ubiquitaire, compte tenu de la faible prévalence des autres types de parasites dans les eaux. Les composantes du risque microbiologique alimentaire dépendent également de la filière industrielle qui prendra en charge le produit végétal jusqu'à sa consommation. L'effort à porter sur la qualité d'eau d'irrigation est nécessaire et constitue la première étape dans la réduction des risques pour la santé des consommateurs, particulièrement dans le cas de végétaux consommés crus.

3.2.1.2 Synthèse des résultats de l'enquête clients

1) Irrigation de cultures

Les clients interrogés qui pratiquent cet usage de l'eau brute BRL sont les deux agriculteurs irrigants et l'arboriculteur.

Les producteurs de cultures maraîchères et fruitières produites de façon « classique » n'ont pas connaissance de quelconques exigences réglementaires sur la qualité microbiologique de leur eau d'irrigation. La production de salade 4^{ème} gamme (salade découpée en sachets, prête à l'emploi) est réalisée, pour les clients BRL interrogés, en contrat avec des clients avec un cahier des charges à respecter. Dans les deux cas présents, la qualité de l'eau d'irrigation est prise en compte. Pour un client (agriculteur irrigant 1), le niveau d'exigences est très élevé au regard de la qualité d'une eau brute de surface (objectif : 0 coliformes thermotolérants et 0 streptocoques fécaux par 100 ml). Ce client n'utilise pas l'eau brute BRL pour cet usage d'irrigation de salade 4^{ème} gamme. Pour l'autre client (agriculteur irrigant 2), le cahier des charges demande la réalisation d'une analyse d'eau, sans préciser de critères.

Les clients interrogés ne manifestent pas la nécessité d'une quelconque exigence de qualité microbiologique de l'eau pour l'irrigation des arbres fruitiers (que ce soit du point de vue sanitaire ou phytosanitaire), du fait de l'absence de contact eau-fruit, permis par les modes d'irrigation employés.

2) Irrigation de pelouses et espaces verts

Les clients interrogés qui pratiquent cet usage de l'eau brute BRL sont : les deux golfs, les deux communes, le SIVOM, l'arboriculteur, et le centre hospitalier.

Les pratiquants de l'irrigation des pelouses et espaces verts, mêmes destinés à un éventuel contact avec le public (golf), n'ont pas connaissance d'éventuelles exigences réglementaires sur la qualité microbiologique de l'eau à utiliser.

Les clients interrogés utilisent souvent pour cet usage d'autres ressources en plus de l'eau brute BRL :

- pompage sur un cours d'eau personnel,
- forage.

Cet état de faits n'est pas lié à la qualité de l'eau BRL mais à la configuration des réseaux BRL, qui ne vont pas jusqu'aux centres villes par exemple.

Quelques clients sont sensibles à la qualité de l'eau utilisée pour ce type d'irrigation, mais essentiellement au niveau de la qualité physico-chimique, qui peut avoir des conséquences sur la nutrition des plantes en entraînant à la surface du sol la formation de croûte due aux bicarbonates, pour le golf 1. Quelques uns des clients interrogés (les communes) sont conscients des conséquences sur la santé que peuvent avoir certaines utilisations d'une eau de mauvaise qualité microbiologique, mais, en l'absence de réglementation trouvée concernant l'irrigation d'espaces verts publics, et, considérant que cet usage n'a pas de caractère domestique, l'utilisation d'eau brute est jugée convenable sans exigence particulière de qualité, notamment microbiologique.

Conclusion : Les clients interrogés n'ont pas d'exigences particulières sur la qualité microbiologique des eaux brutes BRL qu'ils utilisent pour l'arrosage / irrigation. Aucun d'eux n'a fait part d'un éventuel problème sanitaire ou phytosanitaire déjà rencontré lié à la qualité microbiologique de l'eau brute BRL.

3.2.1.3 Exigences réglementaires de qualité microbiologique

1) En France

Aucune exigence de qualité microbiologique ne semble imposée à l'eau utilisée pour l'arrosage de pelouses et espaces verts.

· Agriculture traditionnelle.

Dans les textes réglementaires français, **il y a très peu de dispositions s'appuyant sur une évaluation de la qualité bactériologique de l'eau d'irrigation.**

La **réglementation des cressonnières** (article 143 du règlement départemental sanitaire type [7]) exige que **l'eau utilisée pour celles-ci ou toute autre culture maraîchère immergée soit « indemne d'infestation parasitologique »**. De plus, cette eau ne doit **pas contenir plus de 10 coliformes fécaux ni plus de 10 streptocoques fécaux par 100 ml**. Ces dernières limites de qualité sembleraient devoir être prochainement révisées, et être un peu moins sévères [4].

· Agriculture biologique.

Le texte réglementaire de référence est le règlement CEE N° 2092/91 du Conseil du 24 juin 1991 [31] concernant le mode de production biologique de produits agricoles et sa présentation sur les produits agricoles et denrées alimentaires.

Rien ne figure dans ce règlement concernant une exigence particulière sur la qualité de l'eau d'irrigation à employer dans le cadre de l'agriculture biologique. Tout au plus des vérifications sur la teneur en nitrates de cette eau sont quelquefois réalisées [entretien avec Melle MATURA, technicienne à ECOCERT].

2) A l'étranger

En Californie, l'eau utilisée pour la « culture de produits destinés à la consommation humaine et devant subir un traitement qui détruira les agents pathogènes » ne doit pas contenir, si elle est utilisée par aspersion, plus de **23 coliformes pour 100 ml**, et plus de **2,2 coliformes par 100 ml** si elle est employée par irrigation pour la culture de produits consommés crus (les valeurs de « 23 » et « 2,2 » s'expliquent par le mode d'expression des résultats selon la méthode par NPP utilisée) [4].

3.2.1.4 Engagements qualitatifs de type contractuel

Des cahiers des charges de production fruitière et légumière intégrée sont fréquemment mis en œuvre dans la région d'action de BRL.

- Les renseignements recueillis auprès du **Comité économique agricole fruits et légumes du Bassin Rhône Méditerranée** (regroupement de plusieurs Organisations de Producteurs, i.e. les ex-coopératives) permettent de

conclure que les **éléments relatifs à l'encadrement national pour des techniques culturelles respectueuses de l'environnement pour les producteurs organisés** (circulaire SPM C98 n°4015) ne contiennent **aucune indication concernant la qualité microbiologique de l'eau à utiliser en irrigation.**

- Le **cahier des charges concernant la Production Fruitière Intégrée de pommes** [10], s'inscrivant dans le cadre de la Charte Sud Nature, **ne contient pas de contraintes sur la qualité de l'eau d'irrigation** (ni physico-chimique, ni bactériologique).

- Le cahier des charges du **groupe Pomona Fruidor** concernant la production de salades 4^{ème} gamme contient les exigences suivantes :

Coliformes thermotolérants : 0 / 100 ml

Streptocoques fécaux : 0 / 100 ml

Cette exigence se justifie par une volonté du groupe de ne pas avoir à ajouter une dose trop importante de chlore dans l'eau utilisée pour les étapes ultérieures que devront subir les salades jusqu'à leur conditionnement en sachets, car, comme nous le verrons dans la partie 3.2.3, les végétaux crus tels que salade 4^{ème} gamme doivent répondre à un certain nombre de critères réglementaires microbiologiques.

3.2.1.5 Recommandations

1) En France

Le guide des bonnes pratiques hygiéniques pour les végétaux crus prêts à l'emploi [40] précise qu'**il ne faut pas utiliser pour la culture ou la production des zones où l'eau d'irrigation constitue un risque pour la santé du consommateur par l'intermédiaire de l'aliment.**

2) A l'étranger

Aux Etats-Unis, l'Environmental Protection Agency et l'Académie des Sciences ont déterminé, en 1973, que les eaux de surface naturelles, y compris les eaux de rivières, utilisées pour l'irrigation, **ne devraient pas contenir, au total, plus de 1000 coliformes par 100 ml** [12].

3) Concernant la réutilisation des eaux usées traitées

· Recommandations OMS.

En 1971, sur la base des normes adoptées par le Département de la Santé Publique de l'Etat de Californie (voir le paragraphe ci-avant sur les exigences de qualité d'eau d'irrigation à l'étranger), et **en l'absence de données épidémiologiques précises sur les risques pour la santé, l'OMS a estimé que, afin d'avoir la qualité bactériologique voulue pour l'irrigation non contrôlée des cultures, sans présenter un risque majeur pour la santé, les effluents ne devraient pas contenir plus de 100 bactéries coliformes par 100 ml.**

Après prise en compte de critères épidémiologiques, l'OMS a proposé de nouvelles directives en 1985 et les a précisées en 1989. Celles-ci figurent dans le tableau 4.

Le groupe de travail de l'OMS réuni en 1987 à Engelberg pour définir les critères présentés ci-avant, a estimé que la valeur de **1000 coliformes fécaux pour 100 ml** était parfaitement conforme à la **qualité réelle des eaux de rivière utilisées en Europe et aux Etats-Unis d'Amérique pour ce type d'irrigation**, apparemment sans aucun effet

néfaste sur la santé. Le groupe a noté également qu'une concentration de 1000 coliformes pour 100 ml est jugée convenable dans de nombreux pays pour les eaux de baignade [12].

Tableau 4 : Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées dans l'agriculture proposées en 1989 par l'OMS^a (Source : [13]).

Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (nombre d'œufs par litre, moyenne arithmétique) ^b	Coliformes intestinaux (nombre par 100 ml, moyenne géométrique) ^c
Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics ^d	Ouvriers agricoles, consommateurs, public	≤ 1	≤ 1000
Irrigation des cultures céréalières, industrielles, et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée
Irrigation localisée des cultures céréalières, industrielles, et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres, si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet

^a Dans certains cas, il faut tenir compte des conditions locales épidémiologiques, socio-culturelles et environnementales et modifier les directives en conséquence.

^b Espèces *Ascaris* et *Trichuris* et ankylostomes.

^c Une directive plus stricte (**£ 200 coliformes intestinaux par 100 ml**) est justifiée pour les **pelouses** avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

^d Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

En 1989, dans ses recommandations à visées sanitaires sur l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture [13], l'OMS indiquait que le nombre de **coliformes intestinaux** dans l'eau des **bassins où sont cultivés des légumes aquatiques** (macrophytes), qui, par endroits, sont consommés crus, ne devrait pas dépasser **10³ par 100 ml** (moyenne géométrique).

- Recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France [9].

Trois catégories de contraintes sanitaires sont proposées, en tenant compte de celles de l'OMS (présentées dans le tableau 4), et du mode d'irrigation.

- **Contraintes de type C : Aucune limite n'est fixée** dans la mesure où les techniques mises en jeu et les types de cultures irriguées assurent une rupture de la chaîne de transmission des risques hydriques. Il s'agit principalement des techniques d'irrigation souterraine ou localisée (micro-irrigation), pour des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des vergers et des zones forestières mais aussi pour des espaces verts non ouverts au public.

- **Contraintes de type B : Niveau de contraintes : œufs d'helminthes intestinaux (ténia, ascaris) £ 1/litre.** Ce niveau vise à assurer une protection des populations vis à vis du risque parasitologique, en particulier vis-à-vis des personnels des exploitations agricoles irriguées ; ce niveau est requis pour l'irrigation par voie gravitaire ou à la raie des vergers, des cultures céréalières et fourragères, des pépinières et des cultures de produits végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, betteraves, choux, carottes...).

L'irrigation par aspersion de ces cultures, des prairies de pâture et de fauche ainsi que l'arrosage (par aspersion) d'espaces verts inaccessibles au public sont tolérés avec ce niveau de qualité sous réserve que soient prises des

précautions visant à limiter l'exposition des populations avoisinantes et des personnels d'exploitation contre les risques d'inhalation (distance suffisante des habitations, obstacles ou écrans limitant la propagation des aérosols, arrosage direct des voies de communications évité, protection suffisante des personnels d'exploitation contre les risques d'inhalation).

Les terrains de sport utilisés plusieurs semaines après l'arrosage peuvent être irrigués avec des eaux usées respectant le niveau de contraintes de type B.

- **Contraintes de type A** : Niveau de contraintes : **œufs d'helminthes intestinaux (ténia, ascaris) £ 1/litre et coliformes thermotolérants £ 10 000/litre**. Ce niveau de contraintes vise à assurer, outre la protection des personnels d'exploitation et du bétail, celle des consommateurs de produits pouvant être consommés crus. Cette exigence de qualité doit être complétée par la mise en œuvre de techniques d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes : irrigation gravitaire, arrosage sous frondaison... Ce niveau sera également toléré pour l'arrosage des terrains de sport (golf) et d'espaces verts ouverts au public, sous réserve du respect simultané de contraintes portant sur la réalisation de cet arrosage hors période d'ouverture au public, sur la faible portée des asperseurs, et sur les conditions de distance vis à vis des habitations valables pour les contraintes de type B.

3.2.1.6 Discussion

Si pratiquement aucune exigence réglementaire de qualité n'existe en France concernant l'utilisation d'une eau brute en irrigation, il est fort probable qu'à l'avenir, de telles exigences seront établies, compte tenu du risque d'apparition de troubles liés à cette utilisation.

Les exigences chiffrées actuelles ne sont pas adaptées, car elles n'ont pas de fondement épidémiologique, et sont soit restreintes à des cas trop particuliers (réglementation des cressonnières) soit complètement illusoire pour des eaux brutes non traitées, particulièrement de surface (cahier des charges Pomona : coliformes thermotolérants : 0/100 ml, streptocoques fécaux : 0/100 ml).

Certains auteurs considèrent qu'il n'apparaît pas, à l'heure actuelle, que des études épidémiologiques permettent de justifier des limites d'utilisation basées sur la teneur en coliformes [4].

Pour avoir une idée des futures contraintes réglementaires qui risquent de se mettre en place, on peut raisonnablement se baser sur les travaux menés en réutilisation des eaux usées traitées.

S'il est judicieux de prendre en compte le mode de consommation des végétaux (crus, cuits), il est plus discutable de retenir le paramètre œufs d'helminthes dans le cas français, compte tenu de leur très faible présence dans les eaux, et des difficultés et erreurs liées à la détermination en routine de leur concentration et de leur infectivité.

Pour l'instauration d'exigences de qualité microbiologique d'eau d'irrigation, il est indispensable de tenir compte de la différence entre danger et risque effectif d'apparition de troubles, et par conséquent de se baser sur des études épidémiologiques et non sur le seul fait que tel ou tel pathogène puisse être présent dans les eaux.

Il paraîtrait judicieux de :

- mettre en place des exigences de qualité portant sur :
 - un indicateur de contamination fécale : *E. coli* et / ou entérocoques ;
 - quelques pathogènes ubiquitaires préoccupants comme *Salmonella* ;
 - des pathogènes spécifiques liés à l'usage arrosage / irrigation des espaces verts, contractables par contact.
- mettre en place des niveaux de contraintes différents pour ces paramètres en fonction de l'usage de l'eau ;
- conseiller diverses pratiques limitant ces risques :
 - irrigation localisée lorsque cela est possible, pour éviter le contact eau-végétal ;

- instauration d'un délai entre la dernière irrigation et le contact avec les utilisateurs ou consommateurs, pour permettre la décroissance naturelle des éventuels pathogènes apportés par l'eau à la surface des végétaux ;
- lavage, pelage des végétaux consommés crus.

3.2.2 Eau utilisée en production animale

Aucun des clients interrogés n'utilise l'eau brute BRL à des fins de production animale. Il est fort possible qu'à l'avenir BRL soit sollicitée pour une éventuelle utilisation de ses eaux brutes à cet effet, d'où l'intérêt de l'examen de la problématique liée à cet usage et des différentes exigences en vigueur.

3.2.2.1 Problématique

En production animale, l'eau peut être utilisée pour :

- l'abreuvement des animaux ;
- le nettoyage des locaux de stabulation, et, pour les élevages laitiers, de la salle et du matériel de traite.

Le risque d'apparition de troubles chez les animaux a des conséquences non seulement sur les résultats technico-économiques des exploitations, mais aussi indirectement sur la santé humaine, par consommation de produits contaminés (viande, lait, œufs) ou contact avec des animaux infectés ou malades.

Le risque d'apparition de troubles chez les animaux est fonction de la capacité des pathogènes à survivre, se multiplier ou produire des substances toxiques pour les animaux en fonction des différents usages de l'eau :

· Abreuvement.

En raison d'un habitat normal animal, la grande majorité des pathogènes présents dans les eaux n'a que la capacité d'y survivre mais rarement celle de s'y multiplier ni de produire une quantité de toxines suffisantes pour constituer une dose infectieuse susceptible d'être ingérée. Une réserve peut toutefois être émise concernant les parasites car très fréquemment une seule unité suffit à provoquer une infection.

· Entretien des locaux.

L'eau peut être utilisée lors des opérations de nettoyage et de désinfection des locaux d'élevage. Le risque de contamination des surfaces par les pathogènes de l'eau est accru si seul un nettoyage à l'eau sans adjonction de produits est réalisé.

Le plus souvent, le nettoyage est suivi d'une désinfection et d'un rinçage destiné à enlever toute trace des produits utilisés. Dans ce cas, la contamination des surfaces est possible par l'eau de rinçage.

Les pathogènes apportés par l'eau et présents sur les surfaces peuvent y survivre longtemps et se développer s'ils rencontrent des conditions favorables d'humidité, de substrat et de température. Cela est rendu possible par exemple du fait de la présence de litière et d'aliments des animaux. Ceux-ci pourront ainsi être contaminés et permettre la transmission de pathogènes aux animaux ou aux produits (œufs, lait) par ingestion ou contact.

· Hygiène de la traite.

L'eau peut être utilisée pour le lavage des mamelles, du matériel de traite, et de la salle de traite.

- **Lavage des trayons** : Le contact direct de l'eau avec les trayons peut conduire à la contamination de ceux-ci par des pathogènes responsables de mammites comme *Staphylococcus aureus*. Le plus souvent, l'eau n'est pas utilisée seule pour cette opération et l'action désinfectante de produits ajoutés permet de réduire le risque de

contamination.

- **Lavage du matériel de traite** : La plupart du temps, des produits à action nettoyante ou désinfectante sont utilisés pour le lavage du matériel de traite, et l'eau seule n'intervient qu'au stade du rinçage. L'utilisation d'une eau porteuse de pathogènes pour ce rinçage pourra donc conduire indirectement à la contamination du lait ou des trayons. En effet, la traite étant réalisée deux fois par jour, il est fort probable que des pathogènes apportés par l'eau de rinçage puissent survivre sur les surfaces avec lesquelles cette eau a été en contact jusqu'à une prochaine utilisation du matériel, constituant ainsi un danger de contamination du lait ou des trayons.
- **Lavage de la salle de traite** : La problématique est la même que celle concernant l'entretien des locaux, mais sans la présence de litière ou d'aliments permettant un éventuel développement des pathogènes. Néanmoins, la contamination des trayons par contact est possible compte tenu des capacités de survie des pathogènes sur les surfaces lavées.

3.2.2.2 Exigences réglementaires de qualité microbiologique

1) Agriculture classique

• **Abreuvement.**

Dans la réglementation, rien ne figure concernant spécifiquement la qualité microbiologique de l'eau à utiliser pour l'abreuvement [Conversation avec O. Lemaignier, Vétérinaire Inspecteur adjoint Santé Animale, Services vétérinaires du Gard]. L'article 1 du décret 80-791 du 1^{er} octobre 1980 [15] mentionne pour les animaux domestiques ou les animaux sauvages apprivoisés ou tenus en captivité l'interdiction de les priver « de l'abreuvement nécessaire à la satisfaction des besoins physiologiques propres à leur espèce, à leur degré de développement, d'adaptation ou de domestication ».

• **Nettoyage du matériel de traite.**

En raison d'un contact différé des surfaces nettoyées, désinfectées et rincées avec le lait, ce sont les critères microbiologiques de l'eau destinée à la consommation humaine qui s'appliquent [Conversation avec le technicien hygiène alimentaire de la DSV du Gard]. L'annexe 6 précise ce qui est entendu par eaux destinées à la consommation humaine. Les textes en vigueur qui s'appliquent à ces eaux sont le décret 89-3 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles [56], et la directive européenne 98/83/CE du Conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine [55]. Les critères de qualité figurant dans ces textes sont précisés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Limites de qualité microbiologique de l'eau destinée à la consommation humaine (livrée sous forme non conditionnée), d'après les différents textes réglementaires. Les cases sont grisées lorsque le texte ne mentionne pas le paramètre en question. (Source : 55,56).

Paramètre	Volume de l'échantillon (ml)	Décret modifié 89-3 (Annexe I-1-E)	Directive 98/83/CE (Annexe I – Partie A)
		Concentration max. autorisée	Valeur paramétrique
<i>E. coli</i>	100		0
Coliformes totaux	100	0 dans au moins 95 % des cas	
Coliformes thermotolérants	100	0	
Streptocoques fécaux (décret 89-3) Entérocoques (directive 98/83/CE)	100	0	0
Organismes pathogènes en particulier :		Absence	Concentration ne constituant pas un danger pour la santé des personnes
- Salmonelles	5 000	0	
- Staphylocoques pathogènes	100	0	
- Bactériophages fécaux	50	0	
- Entérovirus	10 000	0	
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices	20	1	

2) Agriculture biologique

Les référentiels sont les cahiers des charges nationaux pour diverses productions.

Il est spécifié dans ces cahiers des charges que (...) les **techniques de production doivent viser à maintenir les animaux en parfaite santé essentiellement par des actions préventives** [20, 17, 18, 19, 22, 23, 21, 24].

Le maximum (...) d'hygiène doit être donné aux animaux tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des logements/stabulations [20, 17, 18, 19, 24, 21].

Plus précisément :

· Hygiène des locaux.

Le nettoyage est fait à l'eau sous pression ou à l'eau chaude [20, 17, 18, 24, 22, 16, 19, 21]. Pour la désinfection des locaux, seuls sont spécifiés les produits autorisés mais rien concernant la qualité microbiologique de l'eau.

· Abreuvement.

La qualité de l'eau d'abreuvement doit présenter une potabilité préservant la santé des animaux ainsi que celle des consommateurs. La qualité microbiologique des eaux d'abreuvement doit donc **répondre aux limites de qualité de potabilité requises pour les humains, ou être rendues conformes à ces limites** [entretien avec Melle MATURA, technicienne à ECOCERT et 20, 17, 18, 24, 22, 16, 19, 21, 13].

· Hygiène de la traite.

En l'absence de précision explicite dans les différents cahiers des charges (sauf pour les bovins où l'utilisation d'une eau potable est mentionnée), **les critères microbiologiques de potabilité humaine sont requis pour l'eau utilisée pour le nettoyage, la désinfection et le rinçage du matériel de traite et de conservation du lait à la ferme** [entretien avec Melle MATURA, technicienne à ECOCERT].

3.2.2.3 Engagements qualitatifs de type contractuel

Concernant les vaches laitières le plan « Plan Santé-Qualité » stipule la potabilité nécessaire de l'eau de boisson pour l'obtention de la certification des élevages [26].

3.2.2.4 Recommandations

Les vétérinaires et divers professionnels de l'élevage recommandent en général de distribuer aux animaux et d'utiliser en élevage de l'eau indemne de micro-organisme pathogène et respectant, pour les paramètres microbiologiques, toutes les limites de potabilité de l'eau destinée à la consommation humaine [27, 29, 25].

L'utilisation du réseau de distribution d'eau est la solution idéale quand cela est possible, à condition que les canalisations de l'exploitation ne soient pas une source de mauvaise qualité de l'eau [26].

L'eau souterraine est préférable à une eau naturelle superficielle car en général davantage satisfaisante sur le plan bactériologique, et plus fraîche, ce qui convient davantage aux bovins [29].

3.2.2.5 Discussion

Même si rien n'est spécifié au niveau réglementaire sur la qualité microbiologique de l'eau utilisée en production animale classique (sauf pour le lavage du matériel de traite et de conservation du lait à la ferme), l'utilisation d'une **eau indemne de pathogènes** est complètement justifiée pour tous les usages en élevage intensif en stabulation, compte tenu du danger de contamination animale et humaine qui s'y rapporte, et des opérations de nettoyage et de désinfection mises en œuvre pour limiter le risque associé. Il serait en effet totalement incohérent de désinfecter une surface pour la recontaminer par une eau de rinçage porteuse de pathogènes.

Quelques remarques peuvent être faites concernant la référence faite aux critères de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine :

: Remarques concernant l'application de ces critères à l'eau destinée à l'alimentation humaine.

- Les exigences du décret 89-3 [56] concernent à la fois des pathogènes humains et des indicateurs de contamination fécale, ce qui est logique compte tenu de l'origine des pathogènes humains et des dangers associés à l'ingestion d'eau. Le critère 0 pathogène peut sembler sévère compte tenu de la nécessité d'une dose infectante comportant le plus souvent un certain nombre de micro-organismes (particulièrement pour les bactéries) pour déclencher une infection.
- La directive 98/83/CE [55] est plus adaptée dans ses exigences concernant les pathogènes, dans la mesure où elle tient compte du fait que la seule présence de pathogènes ne constitue qu'un danger. Elle n'indique pas les concentrations susceptibles d'entraîner l'apparition d'un trouble. Ceci se justifie par le fait que la détermination de telles concentrations est longue à réaliser. Elle repose sur l'analyse de considérations épidémiologiques ainsi que sur l'utilisation de la démarche d'évaluation du risque.

: Remarques concernant l'application de ces critères à l'eau destinée aux divers usages de l'élevage.

L'application de ces exigences de qualité pour les animaux est plausible, en raison de la relative similitude d'origine et d'action des bactéries pathogènes pour les humains et pour les animaux. Une réserve peut être émise concernant les pathogènes particuliers aux animaux comme les virus ou les parasites, et ceux se contractant par contact avec l'eau, car les critères de l'eau destinée à l'alimentation humaine n'en tiennent pas compte.

Conclusion : En élevage, l'utilisation d'une eau brute de surface sans traitement préalable n'est pas conseillée, car relativement sujette à des contaminations fécales et donc à la présence possible de pathogènes.

L'utilisation d'une eau brute souterraine est plus recommandée car davantage satisfaisante sur le plan microbiologique.

Dans la mesure du possible, l'idéal est l'utilisation d'une eau provenant du réseau public AEP et conforme aux critères de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

Remarque : La situation peut être différente pour les élevages de loisir (chevaux, manades) pour lesquels les conditions d'élevage sont très extensives (plein air), et la vocation bouchère accessoire.

3.2.3 Transformation de produits agricoles, industrie agro-alimentaire

Plusieurs clients utilisent l'eau brute BRL dans le cadre de l'industrie agro-alimentaire.

3.2.3.1 Problématique

Le danger principal consiste en la possible contamination des denrées par des pathogènes (ou leur toxines) contenus dans l'eau brute, ces denrées étant par la suite consommées par le hommes.

1) Cas général

Le risque d'apparition de troubles ou de maladies chez les hommes est lié :

· A la présence initiale de pathogènes ou de leur toxines dans l'eau brute.

Dans le contexte français actuel, les pathogènes présents dans les eaux brutes sont surtout des bactéries, virus et des protozoaires, mais en quantités le plus souvent insuffisantes pour constituer des doses infectantes.

· Au mode d'utilisation de l'eau dans l'entreprise.

- Modes d'utilisation n'entraînant aucun contact direct ou indirect de l'eau avec les denrées.

Ils peuvent conduire à la seule contamination des travailleurs par contact, inhalation voire ingestion de pathogènes présents dans l'eau.

- Modes d'utilisation entraînant un contact direct ou indirect de l'eau avec les denrées.

Ils peuvent conduire à la contamination des denrées par les pathogènes ou les toxines présentes dans l'eau :

- ◆ par contact direct eau-denrée ;
- ◆ par contact eau-surface avec laquelle la denrée entrera en contact, à condition que les pathogènes puissent survivre suffisamment longtemps sur les surfaces en question.

· A la survie et à la multiplication des agents pathogènes ainsi qu'à leur possible production de toxine.

- Sur les surfaces avec lesquelles les aliments entreront en contact (emballages réutilisés après lavage, matériels et ustensiles ...).

- ◆ Survie : elle est possible pendant un temps relativement long si des moyens de nettoyage / désinfection ne sont pas mis en œuvre.
- ◆ Multiplication, production de toxines : les conditions sont la plupart du temps juste suffisantes pour permettre la survie des pathogènes et non leur développement, car elles sont trop différentes de leur habitat

animal habituel. Ce développement est néanmoins possible (sauf pour les virus) dans certaines conditions (absence de nettoyage / désinfection, présence de substrat, humidité suffisante).

- **Sur / dans les aliments.**

En général, les opérations subies par les aliments visent à créer des conditions :

- ◆ limitant le développement des éventuels pathogènes qu'ils contiennent (cuisson, congélation, dessiccation, ensemencement par une flore particulière entraînant des modifications de pH (acidification) ou des phénomènes de compétition, ...),
- ◆ éliminant ces pathogènes ou dénaturant leurs toxines (chauffage).

Accidentellement pourtant, en raison de la mauvaise réalisation de certaines de ces opérations, des pathogènes pouvant être présents dans l'eau qui a contaminé les aliments peuvent se développer et / ou produire des toxines sur ces aliments. Exemple : multiplication : *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium perfringens* ; production de toxines : *Clostridium botulinum* ...

· **Au mode de consommation des denrées.**

La cuisson des aliments limitera fortement le risque de déclaration de troubles chez l'homme en inactivant ou en éliminant les pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter*, *Yersinia enterocolitica*...) ou en inactivant d'éventuelles toxines (*Clostridium perfringens*...).

Le lavage à l'eau potable des légumes et fruits frais permet de diminuer la quantité de pathogènes présents à leur surface.

2) Cas des fruits et légumes frais

Compte tenu du nombre particulièrement important de clients industriels de BRL Exploitation appartenant à ce secteur, il est nécessaire de se pencher plus précisément sur la problématique liée à l'usage de l'eau dans l'industrie agro-alimentaire des fruits et légumes frais.

Un certain nombre de particularités caractérisent les fruits et légumes lors de leur passage en industrie agro-alimentaire :

· **Facteurs favorables à la contamination par l'eau.**

- **Contamination directe** : les fruits et légumes sont le plus souvent lavés ou transportés par voie hydrique dans les entreprises agro-alimentaires ;
- **Contamination indirecte** : ils peuvent subir des opérations touchant à leur intégrité : coupage, hachage, ...

· **Facteurs favorables au développement de pathogènes.**

Les fruits et légumes frais sont le plus souvent consommés crus et ne subissent donc pas de traitement thermique susceptibles d'éliminer par la chaleur d'éventuels pathogènes ou leurs toxines.

· **Facteurs défavorables au développement de pathogènes [41].**

- **Présence sur les fruits et légumes d'une flore naturelle d'altération.**

Cette flore est beaucoup plus adaptée à ces conditions de milieu que la flore pathogène d'origine animale, avec laquelle elle rentre en compétition. La flore d'altération est en effet capable de se développer rapidement et avant la flore pathogène, notamment parce qu'elle peut dégrader la membrane pecto-cellulosique, dégradant ainsi le produit de façon visible, et conduisant à sa non-consommation dans la plupart des cas.

- **Acidité naturelle des fruits** (pH < 4,5).

C'est un facteur inhibiteur du développement des bactéries pathogènes. Le pH des légumes n'est en général pas suffisamment bas pour permettre le même phénomène.

3.2.3.2 Synthèse des résultats de l'enquête clients

Les clients concernés par cet usage sont : l'agriculteur irriguant 1 qui pratique lui-même le conditionnement de sa salade 4^{ème} gamme pour l'envoyer à son client, l'arboriculteur, les deux coopératives pratiquant le conditionnement de fruits et légumes, la conserverie de tomates, et les deux usines de transformation de produits viticoles.

Une cave coopérative a également été interrogée mais elle n'utilise plus la ressource BRL depuis deux ans. Auparavant, l'eau brute BRL était utilisée pour le lavage des cuves mais cette ressource a été abandonnée « préventivement » pour raison d'incompatibilité entre le risque d'apparition de problèmes lié à une mauvaise qualité bactériologique de l'eau (pourtant jamais survenue) et la certification ISO 9002, et en raison de l'inconvénient de maintenance d'un double réseau (réseau public d'AEP et réseau d'eau brute BRL).

En général, les clients n'emploient pas l'eau brute BRL pour des usages où elle entre ou risque d'entrer en contact plus ou moins direct avec les denrées alimentaires. Pour ces usages, ce sont des eaux provenant soit de forages, (éventuellement traitées, mais de toutes façons voulues conformes aux limites microbiologiques de potabilité humaine), soit du réseau public AEP, qui sont utilisées.

Quelques cas font apparaître des différences d'approche entre les clients : pour certains usages sensiblement similaires, l'origine, et donc a priori la qualité de l'eau utilisée, diffèrent. Ces usages sont les suivants :

. Dégivrage de systèmes de réfrigération.

Cette opération consiste à faire couler de l'eau sur le givre formé sur les serpentins des systèmes de réfrigération à l'intérieur des chambres froides de conservation des fruits et légumes.

L'arboriculteur interrogé utilise de l'eau de forage tandis que la coopérative 1 utilise majoritairement de l'eau brute de surface BRL non traitée.

. Convoyage et lavage de fruits et légumes.

L'arboriculteur et la coopérative 2 utilisent de l'eau de forage, alors que la conserverie de tomates utilise :

- de l'eau brute de surface BRL légèrement chlorée pour le transport et les premiers stades de lavage de tomates ;
- de l'eau de forage chlorée seulement pour le dernier stade de lavage.

La conserverie de tomates reconnaît que la chloration pratiquée sur l'eau brute de surface BRL est pratiquement inefficace compte tenu de la faible dose employée, et de la charge élevée de l'eau en matières organiques et en matières en suspension.

. Lavage du matériel de contenance des denrées.

- **Lavage de caisses de stockage de fruits.**

La coopérative 2 utilise de l'eau potable de forage, tandis que l'arboriculteur utilise de l'eau brute de surface BRL non traitée.

Cet usage paraît trop sensible à l'arboriculteur vis à vis du risque de contamination indirect des denrées par des substances toxiques ou des pathogènes contenus dans l'eau brute de surface pour continuer à l'utiliser à cet effet.

En 2000, ce client va mettre en place un programme d'essai d'utilisation d'eau de forage chlorée pour cet usage.

- **Lavage de cuverie.**

La distillerie 2 utilise de l'eau brute de surface BRL non traitée.

Les clients n'ont pas connaissance d'une quelconque réglementation concernant la qualité microbiologique de l'eau brute utilisée pour un usage non alimentaire. Ils ne pratiquent pas de contrôle de la qualité de cette eau, qui n'est pas considérée comme un point critique pour la contamination des aliments au sens de la démarche HACCP (en raison de l'absence de contact avec les aliments, ou, en cas de contact eau brute-denrées, de l'intervention d'étapes ultérieures permettant d'éliminer les dangers apparus lors du contact).

3.2.3.3 Exigences réglementaires de qualité microbiologique

1) Mode de transformation classique

- Textes relatifs à la qualité de l'eau destinée à l'alimentation humaine.

Les différents textes réglementaires en vigueur relatifs à la qualité de l'eau destinée à l'alimentation humaine (décret 89-3 [56], directive 98/83/CE [55]) indiquent que **les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires de fabrication, de traitement, de conservation ou de mise sur le marché de produits ou substances destinés à être consommés par l'homme et qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale doivent répondre aux critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.** Ces critères ont été spécifiés dans la partie 3.2.2.2.

- Textes relatifs à l'hygiène des denrées alimentaires.

- Règlement sanitaire départemental.

Si le lavage de fruits ou de légumes s'avère nécessaire, de l'**eau potable** sera seule utilisée (art. 144) [30].

- Décret 91-409 du 26 avril 1991 [33].

◆ Surfaces en contact avec les aliments.

Seules peuvent être utilisées directement au contact des aliments ou des surfaces au contact avec les aliments l'eau, la glace ou la vapeur d'eau obtenues à partir d'eau destinée à la consommation humaine ou d'eaux minérales naturelles (art. 10). Ceci est valable pour les appareils, objets, équipements et matériels de toute nature dont la surface entre au contact d'aliments au cours de la préparation, du traitement, du conditionnement, de la conservation, de la détention en vue de la vente, de la mise en vente ou de la distribution à titre gratuit des aliments, ainsi que les matières premières entrant dans leur composition (art. 12).

◆ Locaux.

Les locaux ou emplacements doivent être protégés contre la présence de toute souillure (...). Ils ne doivent pas constituer, du fait (...) de leur état d'entretien ou de propreté (...) un risque d'insalubrité pour les marchandises. Ils doivent être (...) faciles à nettoyer et à désinfecter (art. 11).

- Directive 93/43/CE et arrêtés français d'application.

La directive 93/43/CE du Conseil relative à l'hygiène des denrées alimentaires est destinée à assurer la sécurité alimentaire pour le consommateur. Pour parvenir à cet objectif, elle conseille la mise en place, dans toutes les entreprises du secteur agro-alimentaire, de la démarche HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point, en français :

analyse des dangers, points critiques pour leurs maîtrise), ou d'une démarche équivalente [43].

Cette directive a été traduite en droit français par quatre arrêtés : **arrêté du 9 mai 1995 (distribution)** [35], **arrêté du 28 mai 1997 (préparation, transformation, et conditionnement)** [36], **arrêté du 6 juillet 1998 (entreposage)** [37], **arrêté du 20 juillet 1998 (transport)** [38].

Ne sont pas concernés par ces arrêtés les activités de récolte, cueillette et transport vers les premiers lieux de stockage et stockage des matières premières agricoles brutes, parmi lesquelles figurent les fruits et légumes en l'état (art. 1 et 2 de l'arrêté du 28 mai 1995 [36], art. 1 de l'arrêté du 20 juillet 1998 [38]).

◆ Alimentation en eau (art. 6 de l'arrêté du 9 mai 1995 [35], art. 6 de l'arrêté du 28 mai 1997 [36], art. 6 de l'arrêté du 6 juillet 1998 [37]).

1. L'alimentation en eau destinée à la consommation humaine doit être suffisante, en particulier pour son utilisation dans le cadre de la prévention de la contamination des denrées alimentaires.
2. Lorsque la glace est nécessaire, elle doit être fabriquée, manipulée et stockée dans des conditions prévenant toute contamination.
3. **L'eau non potable, utilisée pour la production de vapeur, la réfrigération, la lutte contre l'incendie et à d'autres fins semblables sans rapport avec les denrées alimentaires, doit circuler dans des conduites séparées, facilement identifiables et sans raccordement avec les systèmes d'eau destinés à la consommation humaine ou possibilités de reflux dans ces systèmes.**

◆ Locaux, moyens de transport¹ (utilisés dans le cadre des activités régies par les arrêtés du 9 mai 1995 [35], du 28 mai 1997 [36], de l'arrêté du 6 juillet 1998 [37] et de l'arrêté du 20 juillet 1998 [38]).

Les sols, surfaces murales, portes (art. 19 de l'arrêté du 9 mai 1995 [35] ; art. 3 de l'arrêté du 28 mai 1997 [36] ; art. 13 de l'arrêté du 6 juillet 1998 [37]) et plafond (art. 5 de l'arrêté du 20 juillet 1998 [38]) doivent être faciles à nettoyer, laver et désinfecter.

2) Mode de transformation biologique

L'eau potable est seule autorisée comme type d'eau faisant partie des **ingrédients d'origine non agricole** contenus dans un produit portant des indications se référant au mode de production biologique (art. 1 et 5 c, annexe VI partie A du règlement CEE N° 2092/91 [31]).

L'eau peut être utilisée pour la **transformation des ingrédients d'origine agricole produits d'une manière biologique**, (art 5 d et annexe VI partie B du règlement CEE N° 2092/91 [31]) et doit répondre aux **exigences de la réglementation officielle pour les diverses opérations auxquelles elle se rapporte, sans qu'il y ait d'exigence particulière pour le mode de production biologique** [entretien avec Melle MATURA, technicienne à ECOCERT].

3.2.3.4 Recommandations concernant le secteur des fruits et légumes

Des guides de bonnes pratiques hygiéniques ont été réalisés suite à la parution de la directive 93/43/CE et de ses arrêtés français d'application :

¹ Moyens de transport : wagons, camions, camionnettes, fourgons, fourgonnettes, véhicules particuliers à usage professionnel, remorques, semi-remorques, citernes, points de vente automobiles ou conteneurs ainsi que tout contenant transporté par voie terrestre, maritime, aérienne ou une combinaison de ces possibilités, et autres engins analogues servant au transport d'aliments (art. 2 de l'arrêté du 20 juillet 1998 [38]).

- Guide des bonnes pratiques hygiéniques des végétaux crus prêts à l'emploi (novembre 1996) [40] ;
- Guide des bonnes pratiques hygiéniques des fruits et légumes frais non transformés (mai 1999) [41].

Ces guides sont validés officiellement, d'application volontaire, et leur application permet le respect de la réglementation en vigueur. Les pratiques ainsi recommandées sont destinées à empêcher toute contamination des aliments (dont la contamination microbiologique par les eaux employées) dans le cadre de la maîtrise des risques pour la santé du consommateur. Certaines recommandations viennent préciser ou compléter les exigences réglementaires, qui devront être respectées de toutes façons. Nous reprendrons ici ce qui concerne la qualité de l'eau utilisée.

- Guide de bonnes pratiques hygiénique des végétaux crus prêts à l'emploi [40] :

Ce guide s'applique aux produits végétaux conditionnés en unités ménagères ou collectives, crus, prêts à l'emploi, à la consommation humaine, ayant fait l'objet d'un épluchage, coupage, ou autre préparation touchant à l'intégrité du produit. Ce type de produit est communément appelé produit 4^{ème} gamme.

On entend par produits végétaux, au sens du présent guide, les fruits, les légumes et les herbes aromatiques.

Sont également visés par les dispositions de ce guide les produits végétaux qui nécessitent, avant consommation, un assaisonnement et / ou une cuisson.

Ce guide indique la nécessité de nettoyer, désinfecter et rincer tous les matériels et récipients de récolte, et matériels et ustensiles de transformation, ainsi que les sols et murs des établissements de transformation. Il est précisé **que le rinçage devra se faire à l'eau potable.**

Commentaire : Il paraît implicite d'utiliser de l'eau conforme aux critères microbiologiques de potabilité de l'eau destinée à la consommation humaine pour les opérations de nettoyage et désinfection, car dans le cas contraire cela irait à l'encontre de l'objectif de ces opérations.

Le guide impose donc l'emploi d'une eau potable pour l'entretien de toutes les surfaces, y compris celles non au contact avec les aliments comestibles et celles servant aux déchets.

- Guide de bonnes pratiques hygiéniques des fruits et légumes frais non transformés [41] :

Ce guide s'applique aux fruits et légumes frais, non transformés (à l'exclusion des graines germées), conditionnés.

Il ne s'applique pas aux productions primaires, qui sont hors du cadre de la directive CEE 93-43 sur l'hygiène. On entend par production primaire tout produit brut, récolté, qui peut être acheminé dans un contenant intermédiaire, avant son conditionnement.

Le produit est considéré comme consommable lorsqu'il est présenté dans son emballage final, étiqueté, prêt à être vendu, que ce soit sous forme vrac/plateaux ou conditionnement unitaire.

Le guide impose la nécessité de :

- **Laver** régulièrement les sols, murs et portes des zones dites sensibles (telles que salles de conditionnement et de manutention du produit fini non protégé, zones de présentation à la vente) pour les maintenir dans un état propre ;
- **Nettoyer et désinfecter** régulièrement les chambres froides et les matériels et ustensiles servant aux déchets ;
- **Nettoyer** les quais de réception et de stockage des produits bruts.

Le guide rappelle que **seules peuvent être utilisées directement au contact des aliments ou des surfaces en contact avec les aliments l'eau, la glace ou la vapeur d'eau obtenues à partir d'eau potable.** Il distingue l'utilisation

d'eau :

- aux deux étapes de **conditionnement** :
 - **convoyage – lavage** : l'eau utilisée pourra être **recyclée**², et dans ce cas, renouvelée en fonction de son aspect visuel.
 - **rinçage** : l'eau utilisée devra être **non recyclée**³.
- au cours du **circuit de commercialisation** (brumisation, bassinage) : l'eau doit être **potable**.

L'eau utilisée pour la régulation de l'**hygrométrie** devra être **potable**.

Rien n'est spécifié sur la qualité de l'eau de dégivrage des frigorifères. Il est juste indiqué que celle-ci ne doit pas s'écouler sur les produits stockés.

Commentaire : La façon dont sont rédigées ces recommandations laisse à penser que dans le cas présent le produit ne prend sa valeur d'aliment consommable qu'une fois sa présence dans le circuit de commercialisation.

3.2.3.5 Discussion

Compte tenu des risques présentés, il est justifié d'exiger, en industrie agro-alimentaire, et pour toutes les opérations susceptibles d'affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale, l'emploi d'une eau présentant des concentrations de pathogènes non susceptibles d'entraîner des dommages pour la santé humaine.

Les exigences de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine paraissent appropriées dans la mesure où elles indiquent de façon assez fiable l'absence de pathogènes susceptibles de se multiplier, particulièrement de salmonelles.

Les exigences réglementaires applicables en industrie agro-alimentaire pourraient être plus explicites concernant l'obligation de l'utilisation d'une eau destinée à la consommation humaine pour l'entretien des surfaces non au contact des denrées, car elles peuvent accidentellement entraîner une contamination des produits.

Après examen des risques, de la réglementation et des recommandations, il est possible d'émettre des avis sur certaines des utilisations de l'eau brute BRL faites par les clients interrogés :

. Dégivrage de systèmes de réfrigération.

On peut légitimement s'interroger sur la qualité de l'eau à employer, dans la mesure où elle peut entrer en contact avec les fruits et légumes stockés dans les chambres froides.

Réglementairement, cet usage est autorisé si toutes les garanties sont prises pour que l'eau n'entre en contact ni avec les produits, ni avec aucune des surfaces en contact avec les produits.

Néanmoins, compte tenu du risque important de contamination des produits par cet usage, il paraît fortement conseillé d'employer de l'eau conforme aux exigences de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

. Convoyage et premiers stades de lavage de fruits et légumes.

L'emploi, par la conserverie 1, d'une eau brute chlorée pour le convoyage et les premiers stades de lavage des tomates peut paraître inapproprié en raison du contact entre les fruits et l'eau.

En effet, réglementairement, l'emploi d'une eau brute non potable, même légèrement chlorée, n'est pas autorisée pour cet usage. Toutefois, compte tenu de :

² Eau recyclée : eau utilisée au contact des fruits et légumes frais qui peut être réutilisée dans un circuit de convoyage ou qui est récupérée à différents stades de lavage des produits [41].

³ Eau non recyclée : eau utilisée au contact des fruits et légumes frais, renouvelée en continu [41].

- la possibilité autorisée d'employer pour cet usage de l'eau recyclée dont a priori la qualité microbiologique diffère peu de celle d'une eau brute ;
- l'utilisation d'eau destinée à l'alimentation humaine pour le dernier stage de lavage ;
- la présence d'une flore naturelle adaptée à la surface des fruits et légumes ;

Il est peu probable que l'emploi d'une eau brute pour le convoyage et les premiers stades de lavage des fruits et légumes conduise à un excès de risque de contamination microbiologique de ceux-ci significatif comparé à celui lié à l'utilisation d'une eau potable recyclée.

L'emploi actuel d'eau brute BRL (inefficacement chlorée) par la conserverie de tomates ne paraît donc pas particulièrement dangereux du point de vue microbiologique, si l'on tient en plus compte du fait que les fruits sont naturellement acides, et subissent un traitement thermique lors de leur transformation dans cette conserverie, ce qui contribue à abaisser le risque d'apparition de troubles dus à des micro-organismes pathogènes pour les consommateurs.

· Lavage du matériel de contenance des denrées.

On peut s'interroger sur l'opportunité de l'utilisation d'eau brute non traitée, compte tenu de la possible contamination indirecte des denrées par d'éventuels pathogènes présents dans l'eau.

Hors production primaire, l'emploi d'une eau destinée à la consommation humaine est obligatoire, en application de la réglementation.

Le lavage des caisses au champ n'est pas visé par la réglementation. En raison des étapes ultérieures que subira le produit après sa récolte (lavage, rinçage...), il semble que l'eau brute puisse être employée pour cet usage, sans présenter un danger pour la santé du consommateur.

Remarque : L'utilisation d'une eau conforme aux exigences de qualité microbiologique de l'eau destinée à la consommation humaine est justifiée en industrie agro-alimentaire des fruits et légumes par l'application, en plus des références officielles qui ont été citées jusqu'à présent, du titre III de l'arrêté du 28 mai 1997, relatif aux caractéristiques microbiologiques et hygiéniques des végétaux et préparations de végétaux crus prêts à l'emploi [36]. Ces dispositions sont spécifiées en annexe 7. Il y est spécifié que ces végétaux doivent présenter une contamination fécale réduite, et donc ne pas avoir été exposés à une source susceptible de les avoir contaminées, parmi lesquelles l'eau de lavage peut figurer.

3.2.4 Eau brute destinée à la potabilisation

L'eau brute est utilisée pour la fabrication d'eau destinée à la consommation humaine par des sociétés fermières et par l'arboriculteur qui en assure lui-même le traitement pour l'alimentation en eau domestique de certains mas.

3.2.4.1 Problématique

La problématique concernant les eaux utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine est liée à la problématique de cette dernière. Elle concerne le risque d'apparition de troubles chez le consommateur.

Ce risque est fonction de :

· La quantité initiale de pathogènes présents dans l'eau brute.

· L'efficacité du traitement mis en œuvre pour l'obtention d'une eau consommable sans danger.

Si le traitement peut être plus ou moins poussé, il a ses limites et il n'est pas certain qu'il soit capable d'éliminer continuellement absolument tous les pathogènes initialement contenus dans l'eau brute.

Ceci s'explique par la grande résistance aux traitements de désinfection de certains pathogènes tels les virus, les kystes de parasites et les spores de bactéries.

· Les modes d'utilisation de l'eau.

En raison du principal mode d'utilisation de l'eau (la consommation par ingestion), les micro-organismes les plus dangereux sont les bactéries, virus et protozoaires susceptibles d'entraîner des troubles suite à leur ingestion.

L'eau domestique est également utilisée pour la toilette corporelle et le remplissage de piscines. Dans ce cas les micro-organismes les plus dangereux sont ceux susceptibles d'entraîner des troubles suite à un contact avec la peau ou les muqueuses humaines. Ce risque de contamination est toutefois faible pour l'usage de la toilette corporelle, car le temps de contact est faible la plupart du temps (sauf pour les bains).

· Les moyens mis en œuvre pour garantir cette qualité depuis le sortir du traitement jusqu'au point de consommation.

Ces moyens peuvent ne pas suffire pour empêcher le développement de micro-organismes qui auraient pu résister au traitement.

3.2.4.2 Exigences réglementaires de qualité microbiologique

Le texte applicable est le décret 89-3 du 3 janvier 1989 [56].

Tableau 6 : Limites de qualité pour les paramètres microbiologiques des eaux brutes (Source : annexe III – 5 du décret 89-3 [56]).

Paramètre	Volume échantillon en ml	Limite de qualité
Coliformes thermotolérants	100	20 000
Streptocoques fécaux	100	10 000

3.2.4.3 Recommandations propres aux eaux brutes superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine

Ces eaux sont celles des **cours d'eau**, des **canaux**, des lacs des étangs, **retenues et barrages** appartenant ou non au domaine public (décret 89-3, art. 15 [56]).

Ces eaux sont subdivisées en trois groupes : A1, A2 et A3, correspondant aux traitements types suivants :

A1 : traitement physique simple et désinfection ;

A2 : traitement normal physique, chimique, et désinfection ;

A3 : traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.

Les exigences de qualité de ces eaux sont fixées par arrêté préfectoral, en tenant compte, pour les paramètres microbiologiques, des indications du tableau 7. Les valeurs indiquées dans ce tableau sont des valeurs guides. Il n'y a en théorie pas d'obligation de les respecter mais elles peuvent être interprétées comme des recommandations.

Tableau 7 : Exigences de qualité microbiologique des eaux douces superficielles utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (Source : annexe I-3 du décret 89-3 [56]).

Paramètres	A1		A2		A3	
	G	I	G	I	G	I
Coliformes totaux 37 °C / 100 ml	50		5 000		50 000	
Coliformes thermotolérants / 100 ml	20		2 000		20 000	
Streptocoques fécaux / 100 ml	20		1 000		10 000	
Salmonelles	Absence dans 5 000 ml		Absence dans 1 000 ml			

G = guide ; I = impérative.

L'interprétation des résultats en vue de la détermination de la conformité des eaux est la suivante :

Les eaux superficielles sont supposées **conformes** aux exigences de **qualité concernant les paramètres microbiologiques** qui s'y rapportent dans les règles suivantes (décret 89-3, art. 16-II [56]) :

- les échantillons d'eau sont prélevés, avant traitement, à intervalles réguliers en un même lieu ;
- les valeurs des paramètres microbiologiques sont conformes aux valeurs de référence pour 90 % des échantillons ;

Pour les 10 % des échantillons qui ne sont pas conformes :

- il ne peut en découler aucun danger pour la santé publique ;
- des échantillons consécutifs d'eau prélevés à une fréquence statistiquement appropriée ne s'écartent pas des valeurs qui s'y rapportent.

Les dépassements de valeurs ne sont pas pris en compte lorsqu'ils résultent d'inondations, de catastrophes naturelles ou de circonstances météorologiques exceptionnelles (décret 89-3, art. 16-II [56]).

Au niveau microbiologique, les eaux superficielles qui ont des caractéristiques supérieures aux valeurs limites fixées dans le tableau ci-dessus (décret 89-3, art. 18 [56]) ne peuvent être utilisées pour la production d'eau alimentaire. Toutefois, l'emploi d'une eau d'une telle qualité inférieure peut être exceptionnellement autorisé s'il est employé un traitement approprié permettant de ramener toutes les caractéristiques de qualité de l'eau à un niveau conforme aux limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (décret 89-3, art. 18 [56]).

3.2.4.4 Discussion

Les exigences de garanties de contamination fécale limitée des eaux brutes ont été mises en place en raison de l'origine fécale de la plupart des pathogènes pouvant être ingérés et de leur possibilité de résistance aux traitements.

La mise en place des dispositions particulières pour les eaux brutes de surface en fonction du traitement se justifie par le fait que ces eaux sont davantage sujettes à des contaminations fécales et à la présence de pathogènes en raison notamment de l'absence de filtration naturelle. En l'état actuel des choses, les indications du décret 89-3 concernant la qualité microbiologique des eaux brutes de surface n'ont que des valeurs de recommandation, car il s'agit de valeurs guides.

D'un simple point de vue qualité microbiologique des eaux, et indépendamment des considérations relatives au permis de construire et aux périmètres de protection, l'eau brute BRL peut être utilisée par l'arboriculteur pour la potabilisation, à condition qu'elle satisfasse aux exigences réglementaires, et que le traitement soit suffisamment performant.

3.2.5 Eaux de baignade et piscines

La baignade est autorisée dans certaines retenues d'eau brute BRL. Elle est interdite dans les canaux, mais malgré tout parfois pratiquée.

Les eaux brutes BRL sont parfois utilisées pour le remplissage des piscines particulières.

La déclaration d'ouverture d'une piscine ou d'une baignade aménagée prévue à l'article L. 25-2 du Code de la Santé Publique doit être accompagnée d'un dossier justificatif comportant entre autres un document précisant notamment l'origine de l'eau alimentant l'installation (art. 1 et annexe I de l'arrêté du 7 avril 1981 [47]).

3.2.5.1 Eaux de baignades

Au sens du **décret modifié 81-324** [47], une **baignade aménagée** comprend, d'une part, une ou plusieurs zones d'eau douce ou d'eau de mer dans lesquelles les activités de bain ou de natation sont expressément autorisées, d'autre part, une portion de terrain contiguë à cette zone sur laquelle des travaux ont été réalisés afin de développer ces activités.

1) Problématique

Les risques d'apparition de troubles chez les baigneurs ou les pratiquants de sports nautiques sont liés à :

· **La présence de pathogènes dans l'eau.**

· **Le mode de transmission des pathogènes de l'eau au baigneur.**

- **Par ingestion d'eau.**

L'ingestion au cours d'un bain ramène au problème de l'eau d'alimentation. Mais la quantité d'eau ingérée est beaucoup moins importante et de ce fait, le risque d'absorber une dose minimale infectante d'un pathogène est beaucoup plus faible.

De plus, le risque de multiplication d'un pathogène dans un aliment préparé avec une eau le contenant en faible concentration, n'existe pas dans la baignade où l'eau est bue directement.

Toutefois, il faut tenir compte du fait que les micro-organismes peuvent s'adsorber sur des matières solides, sédimentées ou en suspension, et que l'ingestion de celles-ci pourrait provoquer une ingestion de plus nombreux pathogènes. Dans le cas des baignades en eau douce, les jeunes enfants qui portent souvent à leur bouche du sable ou du gravier des plages, courent plus de risque que les adultes [4].

- **Par contact avec l'eau.**

Les infections par voie cutanéomuqueuse sont de deux types. Pour le premier, il peut s'agir d'affections internes comme celles résultant de la pénétration à travers les téguments de leptospires pathogènes. Ce sont des maladies graves, atteignant chaque année en France des dizaines de personnes se livrant à des sports nautiques ou à des parties de pêche en eau douce. Pour le second, il s'agit le plus souvent d'infections de la peau ou des muqueuses dues à des germes pyogènes, tels que les staphylocoques pathogènes, *les Pseudomonas aeruginosa*, ainsi qu'à des levures et des champignons dermatophytes. Ces affections très fréquentes sont facilitées par l'irritation des téguments due au soleil ou au sable.

- **Par inhalation d'eau.**

Les micro-organismes les plus dangereux concernant ce mode d'exposition sont les *Naegleria fowleri*. Ces amibes sont thermophiles et peuvent être présentes dans des eaux réchauffées suite à un usage amont de réfrigération (centrales nucléaires par exemple). Quelques cas d'encéphalites fatales dues à ces amibes ont été référencés dans la littérature mondiale.

2) Exigences réglementaires

a) Limites de qualité microbiologique

Elles sont spécifiées dans le décret modifié 81-324 [47].

Tableau 8 : Paramètres microbiologiques de qualité requise pour les baignades aménagées et autres baignades, à l'exception de celles réservées à l'usage personnel d'une famille (Source : annexe I.2 du décret modifié 81-324 [47]).

Paramètres	Guide	Impérative
Coliformes totaux / 100 ml	500	10 000
Coliformes thermotolérants* / 100 ml	100	2 000
Streptocoques fécaux / 100 ml	100	-
Salmonelles / 1 l	-	0
Enterovirus PFU / 10 l	-	0

* : ce paramètre est remplacé par *E. coli* d'après la circulaire DGS/VS 4 07/140 du 25 janvier 1995 [53].

Une proposition modifiée de directive européenne a été présentée par la Commission le 18 novembre 1997 [46'] :

Tableau 9 : Qualité microbiologique requise pour les eaux de baignade d'après la proposition modifiée de directive du Conseil présentée le 18 novembre 1997 (Source : 46').

Paramètres	Valeur guide		Valeur impérative	
	Proposition initiale	Proposition modifiée	Proposition initiale	Proposition modifiée
<i>Escherichia coli</i> / 100 ml	100		2 000	
Streptocoques fécaux / 100 ml	100	50	400	100
Entérovirus PFU / 10 litres	-		0	
Bactériophages				

Les modifications apportées par cette proposition de directive portent donc sur :

- un abandon du paramètre coliformes totaux,
- un abandon du paramètre salmonelles (mais les autorités compétentes des Etats membres doivent en particulier identifier toutes les sources de pollution sous forme de déversements ou de facteurs indirects, susceptibles d'entraîner l'introduction de salmonelles dans les eaux de baignade) (art. 6),
- un remplacement du paramètre « coliformes thermotolérants » par « *E. coli* »,
- l'apparition d'une valeur impérative pour les streptocoques fécaux,
- l'apparition du paramètre « bactériophage », mais sans valeurs guides ni impératives, car les références scientifiques ne font pas actuellement l'objet d'un consensus.

Commentaires : Ces limites de qualité ne tiennent pas compte des germes produisant des affections cutanéomuqueuses, et de leptospires (extrêmement difficiles à rechercher).

b) Interprétation des résultats des analyses

• En cours de saison (décret 81-324) [47].

Les eaux de baignade sont conformes aux paramètres microbiologiques qui s'y rapportent si, pour un même lieu de prélèvement (annexe I-4 du décret 81-324 [47]) :

- 95 % des échantillons sont conformes aux valeurs impératives ;
- pour les 5 % des échantillons qui ne sont pas conformes : les échantillons consécutifs d'eau prélevés à une fréquence statistiquement appropriée ne s'écartent pas des valeurs impératives (annexe I-2-4 du décret 81-324 [47]).

Les dépassements des valeurs ne sont pas pris en considération dans le décompte des pourcentages ci-dessus lorsqu'ils sont la conséquence d'inondations, de catastrophes naturelles ou de conditions météorologiques exceptionnelles (annexe I-2-4 du décret 81-324 [47]).

• En fin de saison [54] :

Sur la base des indications de la directive 76/160 concernant les paramètres microbiologiques, et reprises par le décret 81-324 pour ce qui concerne les valeurs guides et impératives, quatre catégories sont distinguées pour la qualité des eaux de baignade :

Eaux de bonne qualité (A) :

Au moins 80 % des échantillons	<i>E. coli</i>	≤ 100 / 100 ml (inférieurs ou égaux au nombre guide)
Au moins 95 % des échantillons	<i>E. coli</i>	≤ 2 000 / 100 ml (inférieurs ou égaux au nombre impératif)
Au moins 90 % des échantillons	Streptocoques fécaux	≤ 100 / 100 ml (inférieur ou égal au nombre guide)

Eaux de qualité moyenne (B) :

Au moins 95 % des échantillons	<i>E. coli</i>	≤ 2 000 / 100 ml (inférieurs ou égaux au nombre impératif)
--------------------------------	----------------	------------------------------------------------------------

Les eaux classées en catégories A ou B sont conformes aux normes microbiologiques européennes.

Eaux pouvant être polluées momentanément (C) :

Eaux ayant fait l'objet d'au moins 20 prélèvements pendant toute la saison sur un même point :

Entre 5 % et 33,3 % des échantillons	<i>E. coli</i>	> 2 000 / 100 ml (supérieurs au nombre impératif)
--------------------------------------	----------------	---------------------------------------------------

Eaux ayant fait l'objet de moins de 20 prélèvements pendant toute la saison sur un même point :

Un seul échantillon	<i>E. coli</i>	> 2 000 / 100 ml (supérieur au nombre impératif)
---------------------	----------------	--------------------------------------------------

Eaux de mauvaise qualité (D) :

Au moins 1 échantillon sur 3	<i>E. coli</i>	> 2 000 / 100 ml (supérieur au nombre impératif)
------------------------------	----------------	--------------------------------------------------

Toutes les zones classées en catégorie D durant deux années consécutives doivent être interdites à la baignade, sauf si des améliorations significatives apparaissent.

3) Discussion

L'adoption de critères basés sur la mise en évidence d'une contamination fécale (*E. coli*, streptocoques fécaux, entérovirus) et la présence de salmonelles (pathogène dangereux lorsqu'il est ingéré) est basée sur le risque lié à l'ingestion d'eau.

Le fait que dans ce contexte une certaine pollution fécale soit tolérée (mais pas la présence de salmonelles) s'explique par la faible quantité d'eau ingérée, la faible probabilité pour les pathogènes de se multiplier comme ils le feraient sur un aliment, et le caractère inévitable dans la plupart des cas d'un tel type de pollution en eau vive.

De plus, si les études épidémiologiques conduites aux Etats-Unis ces dernières années montrent une certaine corrélation entre certaines affections chez les baigneurs et la concentration de l'eau en bactéries fécales, il s'agit toujours de troubles mineurs, n'ayant pas nécessité d'hospitalisation et motivant au pire un arrêt d'activité de quelques jours. Les infections par voie orale, constatées après des baignades, et correspondant à des maladies graves telles que les dysenteries bacillaires ou les typhoïdes sont tout à fait exceptionnelles. Le risque n'est donc en aucune façon comparable avec celui résultant de la contamination des eaux d'alimentation [4].

Les exigences réglementaires ne prennent pas en compte le mode de contamination par contact et le risque d'infections cutané-muqueuses (les pathogènes alors concernés ne sont en effet pas d'origine fécale). En raison du risque existant de contracter de telles infections par ce mode d'exposition, et de l'origine non fécale des pathogènes responsables, il pourrait paraître opportun de mettre en place des exigences de qualité liées à la présence de staphylocoques pathogènes, et/ou *Pseudomonas aeruginosa* (les leptospires étant d'abondance faible et présentant des difficultés techniques de recherche et dénombrement).

3.2.5.2 Eaux de piscines

Le golf 1 utilise l'eau brute BRL pour le remplissage d'une piscine, de même que plusieurs clients particuliers.

Au sens du **décret 81-324** [47], une piscine est un établissement (...) qui comporte un ou plusieurs bassins artificiels utilisés pour les activités de bains ou de natation. Les piscines thermales et celles des centres de réadaptation fonctionnelle, d'usage exclusivement médical, ne sont pas soumises aux dispositions suivantes.

1) Problématique

Le risque d'apparition de troubles chez les baigneurs en piscine a les mêmes composantes que celui exposé pour les baignades, avec quelques particularités toutefois :

· A la différence des baignades, il est possible de traiter les eaux brutes alimentant les piscines.

Il est alors possible d'éliminer au moins en partie les micro-organismes par filtration et désinfection.

· Le mode de contamination principal des eaux des bassins est la contamination par les baigneurs eux-mêmes.

Les risques principaux d'infection résultent donc en pratique des bactéries pyogènes (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*), des mycobactéries atypiques, et des virus. Ces micro-organismes peuvent se trouver dans l'eau mais aussi sur les plages des piscines.

· Les muqueuses des baigneurs sont très souvent irritées par des excès de désinfectants.

Ceci qui augmente leur sensibilité vis à vis des affections tégumentaires.

2) Exigences réglementaires

· Piscines autres que celles réservées à l'usage personnel d'une famille.

- Origine de l'eau d'alimentation des bassins.

L'alimentation en eau des bassins doit être assurée à partir d'un réseau de distribution publique. Toute utilisation d'une autre origine doit faire l'objet d'une autorisation prise par arrêté préfectoral sur proposition du directeur départemental des affaires sanitaires et sociales après avis du conseil départemental d'hygiène (décret 81-324, art. 3 [47]).

- Exigences de qualité microbiologique.

L'eau des bassins doit être filtrée, désinfectée et désinfectante (décret 81-324, art. 3 [47]).

Les exigences de qualité de l'eau de ces bassins sont spécifiées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Exigences de qualité microbiologique auxquelles doivent répondre les eaux de piscines (Source : annexe I.1 du décret 81-324 [47]).

Paramètre	Exigence de qualité
Bactéries aérobies revivifiables à 37 °C / 1 ml	< 100
Coliformes totaux / 100 ml	< 10
Coliformes fécaux / 100 ml	Absence
Germes pathogènes, notamment :	Absence
Staphylocoques pathogènes / 100 ml	0 pour 90 % des échantillons

· Piscines réservées à l'usage personnel d'une famille

Ces piscines n'étant pas destinées à accueillir du public, aucune réglementation n'existe sur la qualité de leurs eaux. La responsabilité de ces piscines incombe à l'installateur et aux propriétaires.

Toutefois, en cas de demande d'avis sur la qualité de l'eau à utiliser pour remplir ces bassins, les services des DDASS conseillent d'utiliser une eau conforme aux limites de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine [Conversation avec Mme BOUTET, Ingénieur du génie sanitaire à la DDASS du Calvados].

3) Discussion

Réglementairement il n'est pas interdit d'utiliser de l'eau brute pour le remplissage de piscines destinées à accueillir du public, à condition d'avoir reçu une autorisation préfectorale, et que l'eau des bassins soit conforme aux exigences réglementaires de qualité microbiologique et physico-chimique.

Celles-ci tiennent compte des risques associés à l'ingestion (bactéries indicateurs de contamination fécale) et au contact (staphylocoques pathogènes) avec l'eau.

Elles sont plus sévères que celles concernant les baignades, en raison de l'obligation de mise en œuvre d'un traitement désinfectant. L'exigence « absence de pathogène » paraît trop stricte et impossible à garantir. Elle devrait être remplacée par une exigence portant la présence d'un nombre de pathogènes non susceptibles de constituer une dose infectante pour les baigneurs. La détermination d'une telle limite repose sur l'évaluation du risque et des considérations épidémiologiques.

Le critère « absence de coliformes fécaux / 100 ml » ne garantit absolument pas que tous les pathogènes d'origine fécale aient été éliminés par le traitement et soient absents, car ceux-ci peuvent être beaucoup plus résistants que les coliformes thermotolérants.

Aucune réglementation ne s'applique aux piscines réservées à l'usage personnel d'une famille. L'eau de ces piscines ne subit pas forcément un traitement aussi efficace que celles qui sont visées par la réglementation. Pourtant, des risques similaires existent, mais ne concernent pas un nombre aussi important de personnes.

Il paraît judicieux de ne pas conseiller l'utilisation d'eau brute pour le remplissage d'une piscine à usage personnel d'une famille si aucun traitement de désinfection n'est mis en œuvre. Si un traitement efficace de filtration et désinfection est réalisé, l'utilisation d'eau brute semble pouvoir être tolérée.

3.2.6 Eaux à usage piscicole

La pratique de la pêche est autorisée dans les retenues d'eau BRL. Elle est interdite sur les canaux.

Aucun des clients interrogés n'utilise l'eau brute BRL dans le cadre de la pisciculture.

En raison de l'usage pratiqué dans les retenues et de sa possible utilisation future par des clients pour la pisciculture, il y a lieu de s'interroger sur sa problématique et les exigences de qualité microbiologiques qui y sont associées.

3.2.6.1 Problématique

La problématique concerne la santé des poissons et indirectement celle des consommateurs de ces poissons.

Les risques pour la santé humaine dépendent de :

· La présence de pathogènes dans l'eau.

· La possibilité pour ces pathogènes d'être ingérés par des poissons et / ou de se développer sur leurs téguments.

Les pathogènes pourront alors rester localisés ou éventuellement infecter les poissons et coloniser ou intoxiquer leur chair.

· Le mode de consommation des poissons.

Un poisson consommé éviscéré, écaillé et cuit ne constitue pas un danger important pour l'homme du fait des traitements qu'il a subi. Ceux-ci auront en effet permis d'éliminer les parties susceptibles d'abriter beaucoup de pathogènes, et d'inactiver ceux éventuellement présents dans les chairs.

Un poisson consommé cru et non vidé constituera par contre un plus grand danger, mais ce mode de consommation est assez peu répandu en France.

3.2.6.2 Exigences réglementaires

Le décret 91-1283 [45] relatif aux objectifs de qualité assignés des cours d'eau, sections de cours d'eau, canaux, lacs ou étangs et aux eaux de la mer dans les limites territoriales ne contient **aucune rubrique concernant des paramètres microbiologiques dans les critères de qualité des eaux requis pour la vie aquatique.**

L'article L.232.2 du Code rural mentionne que « Quiconque a jeté, déversé ou laissé écouler dans » les eaux explicitées ci-après « directement ou indirectement, des **substances quelconques dont l'action ou les réactions ont détruit le poisson ou nui à sa nutrition, à sa reproduction ou à sa valeur alimentaire** (...) » sera sanctionné.

La circulaire PN-SPH 86-3 du 31 janvier 1986 [45'] précise que

- les eaux concernées sont les cours d'eau, canaux, ruisseaux ainsi que les plans d'eau avec lesquels ils communiquent (...) qu'il s'agisse des eaux du domaine public ou des eaux non domaniales,
- les **rejets bactériologiques font partie des « substances quelconques »**.

3.2.6.3 Recommandations

En 1989, l'OMS a publié des recommandations à visées sanitaires concernant l'utilisation des eaux usées notamment traitées en aquaculture [13].

En raison du fait que certaines eaux brutes peuvent être autant si ce n'est plus microbiologiquement polluées que des eaux usées traitées, et que la plupart du temps le type majoritaire de pollution rencontrée est similaire (pollution fécale), il est justifié de penser que le cadre d'application de ces recommandations peut s'étendre aux eaux brutes.

L'OMS recommande que **le nombre de coliformes intestinaux dans l'eau des viviers ne dépasse pas 10^3 par 100 ml** (moyenne géométrique).

Cette recommandation a été basée sur l'examen de la littérature disponible et les conclusions suivantes :

- 1) La chair du poisson a de grandes chances d'être infestée par des bactéries quand le poisson est élevé dans des bassins contenant des concentrations de coliformes intestinaux et de salmonelles supérieures à 10^4 et 10^5 par 100 ml, respectivement, le risque d'infestation augmentant avec la durée d'exposition du poisson à l'eau contaminée.
- 2) Certaines observations laissent à penser que l'accumulation d'organismes entériques et d'agents pathogènes sur les tissus comestibles des poissons ou leur pénétration dans ces tissus sont limitées quand la concentration de coliformes intestinaux dans l'eau du bassin est inférieure à 10^3 par 100 ml.
- 3) Même quand le degré de contamination est faible, il peut y avoir d'importantes concentrations d'agents pathogènes dans le tube digestif intrapéritonéal du poisson.

3.2.6.4 Discussion

Il est surprenant de ne pas trouver dans la réglementation de critères de qualité microbiologique pour l'eau destinée à la vie des poissons consommables, alors qu'il existe de tels critères concernant la conchyliculture par exemple.

Les recommandations de l'OMS peuvent tout à fait s'appliquer au cadre des eaux brutes de surface et il paraît raisonnable de fonder ces limites de qualité sur une possibilité de contamination fécale et de présence de salmonelles.

3.2.7 Usages divers

Les usages actuels faits de l'eau brute distribués par BRL, recensés d'après les enquêtes menées auprès des clients, et non mentionnés ci-avant sont les suivants :

- mélange avec des effluents de blanchisserie pour en abaisser la température avant rejet dans les égouts (centre hospitalier). Cet usage ne présente pas de risques pour la santé humaine.
- lavage de voirie (communes 1 et 2) ;

Le lavage de voirie peut conduire à la formation d'aérosols inhalables ou susceptibles d'être ingérés par les employés municipaux et/ou les passants, la population avoisinante. Compte tenu de ce qui a été dit précédemment, notamment concernant le risque associé à la formation d'aérosols en irrigation par aspersion, il paraît peu probable que les éventuels pathogènes présents dans les aérosols susceptibles d'être produits lors du lavage de voirie puissent présenter un danger pour la population exposée (faible prévalence des micro-organismes dans l'eau, mode d'exposition majoritaire par inhalation, faible quantité d'eau susceptible d'être ingérée).

Conclusion : L'emploi d'eau brute pour ces usages ne semble pas présenter de contre-indications majeures.

3.3 CONCLUSION

La majorité des multiples usages actuels ou potentiels de l'eau brute BRL conduit à certains risques sanitaires, principalement associés à la possibilité de pollution fécale de ces eaux.

4 REFLEXIONS SUR LA MISE EN PLACE D'UN PROGRAMME DE SUIVI DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES L'EAUX BRUTES BRL

4.1 GÉNÉRALITÉS

La définition d'un programme de suivi de qualité microbiologique présente plusieurs composantes, dont chacune doit être déterminée par rapport à l'objectif pour lequel le suivi est mis en place :

- **Paramètres** à suivre : ils sont à choisir en fonction du danger redouté ;
- **Stratégie d'échantillonnage** à adopter (échelle de temps, échelle d'espace) en vue d'obtenir une représentativité maximale de l'échantillon analysé. La mise en place d'une stratégie d'échantillonnage doit avoir fait l'objet d'une étude préalable, adaptée au contexte particulier pour lequel le suivi a été décidé.
- **Méthode de mesure** des paramètres suivis : elle peut être une source d'incertitude sur le résultat obtenu.

4.2 LE SUIVI ACTUEL DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX BRUTES BRL, SES LIMITES

La qualité microbiologique des eaux brutes BRL fait l'objet de deux types de contrôles réglementaires.

4.2.1 Le contrôle sanitaire des eaux utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine

4.2.1.1 Présentation

Le programme d'analyse bactériologique des échantillons d'eau prévu par le décret 89-3 [56] est le suivant :

Tableau 11 : Contenu des analyses bactériologiques prévues par le décret 89-3 (Source : annexe II-I-A du décret 89-3 [56]).

ANALYSES BACTERIOLOGIQUES		
Réduite (B1)	Sommaire (B2)	Complète (B3)
Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux	Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C	Coliformes thermotolérants Streptocoques fécaux Coliformes Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22°C et 37°C Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices

. Eaux brutes destinées à être traitées puis distribuées par un réseau collectif public ou privé (annexe II-I-B du décret 89-3 [56]).

Ces eaux doivent faire l'objet d'analyses de **type B1**, qu'il s'agisse d'eaux souterraines (R.P.) ou superficielles (R.S.).

Pour le contrôle de qualité de la ressource en eau, aux analyses de type B1 sont ajoutées :

- la **recherche annuelle des salmonelles** dans 5 litres d'eau ;
- la **recherche des coliformes** (la fréquence d'échantillonnage est identique à celle des analyses B1, d'après la circulaire DGS/PGE/1D/91/28 du 15 mars 1991 [58]).

Les **fréquences annuelles d'échantillonnage de la ressource sont fonction croissante du débit journalier**, avec un maximum de 12 fois par an pour les débits supérieurs à 20 000 m³ par jour. Le détail de ces fréquences (annexe II-I-B du décret 89-3[56]) et les précisions apportées par la circulaire DGS/PGE/1D/91/28 du 15 mars 1991 [58] figurent en annexe 8.

. Eaux brutes non traitées et distribuées par un réseau collectif public ou privé pour usage d'eau destinée à la consommation humaine (annexe II-B du décret 89-3 [56]).

Au point de puisage, ces eaux doivent faire l'objet d'analyses de **type B3**, qu'il s'agisse d'eaux souterraines ou superficielles (P1).

Les **fréquences annuelles d'échantillonnage de la ressource sont fonction croissante du débit journalier**, avec un maximum de 140 fois par an pour les débits supérieurs à 100 000 m³ par jour.

. Eaux brutes utilisées dans les entreprises alimentaires (annexe II-III du décret 89-3 [56]).

Lorsque l'eau utilisée dans les entreprises alimentaires ne provient pas d'une distribution publique, des prélèvements d'échantillons d'eau sont effectués sur la ressource exploitée. Les analyses à réaliser sont de **type B3** et les **fréquences annuelles d'échantillonnage** sont identiques à celles prévues pour les analyses effectuées sur les ressources alimentant les réseaux d'adduction ; elles **ne peuvent être inférieures à 3**.

. Localisation des prélèvements.

Les prélèvements sont à effectuer au point de puisage, avant traitement (décret 89-3 [56]).

. Adaptation et modification du programme de contrôle.

Le détail de ces adaptations figure en annexe 9.

Le programme de contrôle peut être adapté (modification de la nature et de la fréquence des paramètres suivis, ajout de paramètres à suivre, diminution d'un facteur 4 des fréquences pour les eaux profondes ou souterraines) dans la mesure où cela ne conduit pas à une augmentation de plus de 20 % du coût du programme type présenté ci-avant (art. 9 et annexe II-IV du décret 89-3 [56]).

Il peut être modifié notamment par le préfet lorsque la qualité de l'eau n'est pas satisfaisante ou que des signes laissent à penser qu'elle ne l'est pas.

. Méthodes d'analyses.

L'arrêté du 20 février 1990 [57] fixe les méthodes d'analyse à utiliser en application du décret 89-3. Elles figurent en annexe 10. Pour la presque totalité d'entre elles, les méthodes analytiques sont normalisées.

4.2.1.2 Commentaires

Les paramètres à contrôler permettent entre autres d'obtenir une information sur la **contamination fécale** des eaux. La stratégie d'échantillonnage retenue ne vise pas à prendre en compte l'hétérogénéité de la distribution spatiale des

micro-organismes dans la ressource. Elle permet de vérifier, à une fréquence choisie en fonction de la population exposée, que cette qualité est ponctuellement conforme aux exigences qui s’y rapportent pour l’usage de potabilisation. La stratégie pratiquée correspond donc à celle d’un **contrôle réglementaire de conformité**.

Sauf concernant les salmonelles, les méthodes analytiques de référence à employer pour les paramètres à suivre pour le contrôle de qualité des eaux brutes sont **normalisées**. Les prélèvements ne font pas (encore) l’objet d’exigences analogues de standardisation et de qualité.

L’aspect financier intervient énormément dans la détermination des modalités du contrôle réglementaire. Cela constitue un frein important à la mise en place d’un système de surveillance poussé de la qualité des eaux.

4.2.2 Eaux de baignade

4.2.2.1 Présentation

Les modalités du contrôle de la qualité des eaux de baignade sont spécifiées dans le décret modifié 81-324 [47].

Tableau 12 : Paramètres microbiologiques de qualité requise pour les baignades aménagées et autres baignades, à l’exception de celles réservées à l’usage personnel d’une famille (Source : annexe I-2 du décret modifié 81-324 [47]).

Paramètres	Fréquence d’échantillonnage minimale
Coliformes totaux / 100 ml	Bimensuelle (1)
Coliformes thermotolérants / 100 ml	Bimensuelle (1)
Streptocoques fécaux / 100 ml	(2)
Salmonelles / 1 l	(2)
Entérovirus PFU / 10 l	(2)

1) Lorsqu’un échantillonnage effectué au cours des années précédentes a donné des résultats sensiblement plus favorables que ceux prévus dans la colonne « Impérative » et lorsqu’aucune condition susceptible d’avoir diminué la qualité des eaux n’est intervenue, la fréquence d’échantillonnage peut être réduite d’un facteur 2.

2) Teneur à vérifier lorsqu’une enquête effectuée dans la zone de baignade en révèle la présence possible ou une détérioration de la qualité des eaux.

Les échantillons sont prélevés dans les endroits où la densité moyenne journalière des baigneurs est la plus élevée. Ils sont prélevés de préférence à 30 centimètres sous la surface de l’eau. Le prélèvement des échantillons doit commencer quinze jours avant le début de la saison balnéaire (annexe I-3 du décret 81-324 [47]).

La circulaire DGS/VS 4 07/140 du 25 janvier 1995 [53] indique que sont désormais à suivre en routine :

- *Escherichia coli* ;
- **Streptocoques fécaux**.

Le paramètre « coliformes totaux » est abandonné en routine sur la base de multiples avis scientifiques nationaux et internationaux estimant que ce paramètre est redondant avec les *E. coli*.

Les méthodes d’analyses sont précisées dans l’arrêté modifié du 29 novembre 1991 [51] et sont spécifiées en annexe 11. Seuls *E. coli* et les streptocoques fécaux font l’objet d’une méthode d’analyse normalisée.

4.2.2.2 Commentaires

Les paramètres à contrôler permettent d’obtenir une information sur la contamination fécale des eaux.

Les mêmes remarques que concernant la stratégie relative au contrôle des eaux brutes peuvent être faites, à la différence toutefois que la fréquence est indépendante du nombre de baigneurs.

Seule une partie des paramètres à contrôler fait l'objet de méthodes d'analyses normalisées. Des indications sont apportées concernant les prélèvements, mais sans faire l'objet de normalisation.

4.2.3 Conclusion

Les contrôles réglementaires actuels sont des **contrôles de conformité** qui ne prennent pas en compte l'hétérogénéité de la distribution des micro-organismes dans l'eau. En particulier, les lieux d'échantillonnage du contrôle réglementaire ne correspondent pas aux différents endroits du réseau de distribution BRL où l'eau est prélevée pour être livrée aux clients. Il n'est donc pas possible de renseigner de façon précise tous les clients demandeurs d'information sur la qualité microbiologique de l'eau brute BRL au moyen des résultats des contrôles réglementaires.

4.3 PROGRAMME RIGOREUX DE SUIVI DE QUALITÉ MICROBIOLOGIQUE DES EAUX BRUTES BRL, SA CONCEPTION, SES CONTRAINTES

Avant tout il faut définir l'objectif du suivi. Il s'agit ici de connaître la qualité microbiologique des eaux brutes BRL, à propos de laquelle des clients peuvent demander de l'information.

En analysant les résultats de l'enquête menée auprès de ceux-ci, il s'avère que la majorité d'entre eux sont desservis par de l'eau provenant des canaux du Centre Est (dont la description est faite plus loin), et en font un usage d'arrosage / irrigation ou l'utilisent en industrie agro-alimentaire.

Compte tenu des problématiques de ces usages, il est proposé de mettre en place un suivi de l'état de **pollution fécale** de l'eau brute BRL desservie par les canaux du Centre Est.

L'idéal serait de pouvoir déterminer, pour chaque client, l'état de pollution fécale de l'eau brute qu'il utilise effectivement au point où elle lui est distribuée. Cela supposerait un suivi en continu de la qualité microbiologique de l'eau à chaque point de distribution, au sortir de l'adducteur d'amenée d'eau. En l'état actuel des choses, cela est impossible à réaliser, tant matériellement que financièrement.

Une solution consiste à proposer un suivi de la qualité microbiologique des eaux visant à avoir une **idée de la variation spatio-temporelle globale de la pollution fécale le long des canaux, et ce tout au long de l'année**. Ce sera l'objectif retenu pour le suivi qui va être proposé.

4.3.1 Description du système de distribution BRL des eaux brutes du Centre-Est

Le système de distribution est présenté sur la carte 1 ci-jointe.

Une prise au Rhône alimente en eau un canal d'amenée dans lequel celle-ci s'écoule gravitairement jusqu'à la station Aristide Dumont. Cette station assure le relavage des eaux par pompage pour alimenter deux canaux : le Canal des Costières et le Canal Principal. Dans ces deux canaux, l'eau s'écoule gravitairement. Des régulateurs permettent de contrôler le niveau d'eau dans chaque bief des canaux, de façon à le maintenir optimal en fonction des prélèvements pratiqués. Le Canal des Costières alimente le Canal de Campagne. Le Canal Principal se termine par la prise d'eau de Méjanelle.

Des prises d'eau sont situées le long et en bout de ces différents canaux. Elles alimentent en eau brute des adducteurs qui se ramifient pour constituer le réseau d'acheminement de l'eau vers les clients.

Des stations de potabilisation sont également alimentées par ces canaux.

Les biefs situés entre la prise d'eau du Mas Neuf et celle de Farge, ne sont pas bien équipés en prises d'eau. C'est pourquoi à une époque il a été permis aux agriculteurs de prélever par leurs propres systèmes de l'eau de ce secteur. Cette pratique est désormais interdite pour les nouveaux prélèvements à mettre en place, par crainte de pollution de

l'eau des canaux par des systèmes de pompage défectueux (fuite d'huile, ...). A l'heure actuelle, seuls les prélèvements autrefois autorisés persistent.

4.3.2 Paramètres à suivre

Les paramètres proposés pour ce suivi sont *E. coli* et **entérocoques**, en raison de leurs qualité d'indicateurs de contamination fécale. La survie des entérocoques est plus longue que celle des *E. coli* (notamment du fait de leur moindre sensibilité aux U.V.), d'où leur possibilité de mettre en évidence une contamination fécale plus ancienne.

L'information apportée par ces deux indicateurs est pour partie redondante, mais caractérisera de façon plus certaine une pollution fécale.

4.3.3 Modalités de prélèvement

Les échantillons seront prélevés dans des flacons de 500 ml, à 30 cm sous la surface de l'eau, conservés à 4°C et analysés dans un délai maximum de 4 heures.

4.3.4 Méthodes d'analyse

Avant analyse, les flacons devront être **homogénéisés** de la même manière : nous proposons des retournements successifs pendant une minute.

Il est proposé d'adopter les méthodes d'analyse pratiquées par le laboratoire régional Sud-Est SAUR-CISE de Nîmes (catalogue 1998-1999) :

Escherichia coli : Norme Afnor NF T 90-433 (NPP miniaturisé) ;

Entérocoques : Méthode XP T 90-416 (filtration sur membrane).

En raison des références de ces méthodes, on supposera qu'elles ne constituent pas des sources de variabilité entre les résultats obtenus.

4.3.5 Stratégie d'échantillonnage

4.3.5.1 Echelle de temps

Le pas de temps proposé pour le suivi est de **15 jours**. Cette durée a été établie en fonction du temps de séjour moyen de l'eau dans les canaux (de l'ordre de 2 à 4 semaines) et de la quasi-étanchéité des canaux la préservant en théorie d'infiltrations polluantes majeures.

4.3.5.2 Echelle d'espace

1) Le long des canaux

Les points de suivi proposés sont localisés sur la carte 1 et sont précisés ci-après :

Tableau 13 : Liste des points de suivi proposés.

Numéro	Canal	Désignation
1	Canal des Costières	Prise d'eau de la Boissière (extrémité de canal)
2	Canal des Costières	Prise d'eau de l'Amarine (alimentant entre autres le Canal de Campagne)
3	Canal de Campagne	Extrémité du canal (départ adducteurs)
4	Canal d'aménée	Station de pompage et prise d'eau Aristide Dumont
5	Canal C	Prise d'eau du Mas Soulet (au fil du canal)
6	Canal Principal	Prise d'eau de la Tour de Farge (au fil du canal)
7	Canal Principal	Prise d'eau de Majanelle (extrémité de canal)

Ces différents points permettront de donner aux clients une information sur la contamination fécale de l'eau à la prise d'eau du canal qui les alimente. L'information sera obtenue :

- directement si la prise d'eau est un point de suivi,
- indirectement, à partir des résultats des points suivis les plus proches en amont et en aval.

2) Pour un point donné

La stratégie d'échantillonnage à adopter pour chaque point sera celle déterminée comme optimale par une étude de pré-échantillonnage, c'est à dire ce la plus représentative de l'hétérogénéité de la distribution bactérienne dans l'eau, à un coût acceptable.

Une proposition d'étude de pré-échantillonnage est présentée ci-après.

4.3.6 Etude de pré-échantillonnage

Elle a pour but de déterminer, au niveau spatial, la stratégie d'échantillonnage optimale à adopter par point suivi. La raison pour laquelle une telle étude est nécessaire est que dans l'eau, la distribution des bactéries est très hétérogène. Cela s'explique par la tendance très marquée des micro-organismes à s'agréger, que ce soit à l'échelle du micron, du centimètre ou du kilomètre [59, 62].

Pour être représentatif de cette hétérogénéité, l'échantillonnage doit être raisonné au niveau de chaque sorte de point suivi. Pour un point donné, les mesures de densité bactérienne présentent plusieurs sources de variabilité :

1. Variabilité d'abondance bactérienne le long d'une section transversale de canal ;
2. Variabilité d'abondance bactérienne entre des échantillons prélevés à une même station ;
3. Variabilité d'abondance bactérienne au sein d'un échantillon prélevé.

Pour un point représentatif d'une situation donnée, la stratégie optimale sera celle qui donnera un résultat sur l'abondance bactérienne avec le moins d'incertitude possible (intervalle de confiance à 95 % le plus réduit possible) et ce à un coût acceptable. Les stratégies optimales ainsi déterminées seront celles à appliquer aux points à suivre, en fonction de leur type de situation.

4.3.6.1 Paramètres à suivre

Il est proposé de suivre pour cette étude de pré-échantillonnage à la fois *E. coli* et les entérocoques.

On aurait pu choisir de ne suivre qu'un seul de ces paramètres et appliquer les résultats obtenus à l'autre, en raison de la relative similitude de comportement de *E. coli* et entérocoques en milieu aquatique du point de vue de l'hétérogénéité de distribution. Toutefois, pour plus de sûreté vis à vis des stratégies à adopter, nous préférons

proposer de suivre ces deux indicateurs.

4.3.6.2 Points de réalisation

Il est nécessaire de mener cette étude pour les différents types de situations rencontrés parmi les points à suivre. Un point représentatif de chaque situation fera l'objet d'une étude de pré-échantillonnage. La stratégie optimale ainsi déterminée sera appliquée à tous les points concernés par la situation.

Pour le cas présent, 3 catégories de situations peuvent être distinguées. Les points auxquels il est proposé de mener une étude de pré-échantillonnage sont précisés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Liste des situations, points concernés et points représentatifs proposés pour l'étude de pré-échantillonnage.

Type de situation	Points concernés	Point représentatif proposé	Désignation
Extrémité de canal d'amenée	Point 4	Point 4	Prise d'eau Aristide Dumont
Extrémité de canal de distribution	Points 1, 3, 5, 7	Point 1	Extrémité du Canal des Costières
Au fil d'un canal de distribution	Points 2, 6	Point 6	Prise d'eau de la Tour de Farge

4.3.6.3 Modalités de l'étude

Pour chacun de ces points, les modalités de l'étude proposée sont proposées dans le tableau 15 et la figure 1.

Tableau 15 : Modalités de la stratégie de pré-échantillonnage proposée.

Source de variabilité	Modalité pour chaque point
Variabilité due au lieu de prélèvement dans une section transversale d'eau pour un point de suivi donné	3 prélèvements répartis régulièrement dans la section transversale d'eau du canal
Variabilité inter échantillons pour un lieu de prélèvement donné	3 flacons remplis quasi-simultanément pour chaque lieu de prélèvement
Variabilité entre les résultats obtenus pour un même échantillon (variabilité intra-échantillon)	3 déterminations d'abondance bactérienne pour chaque flacon

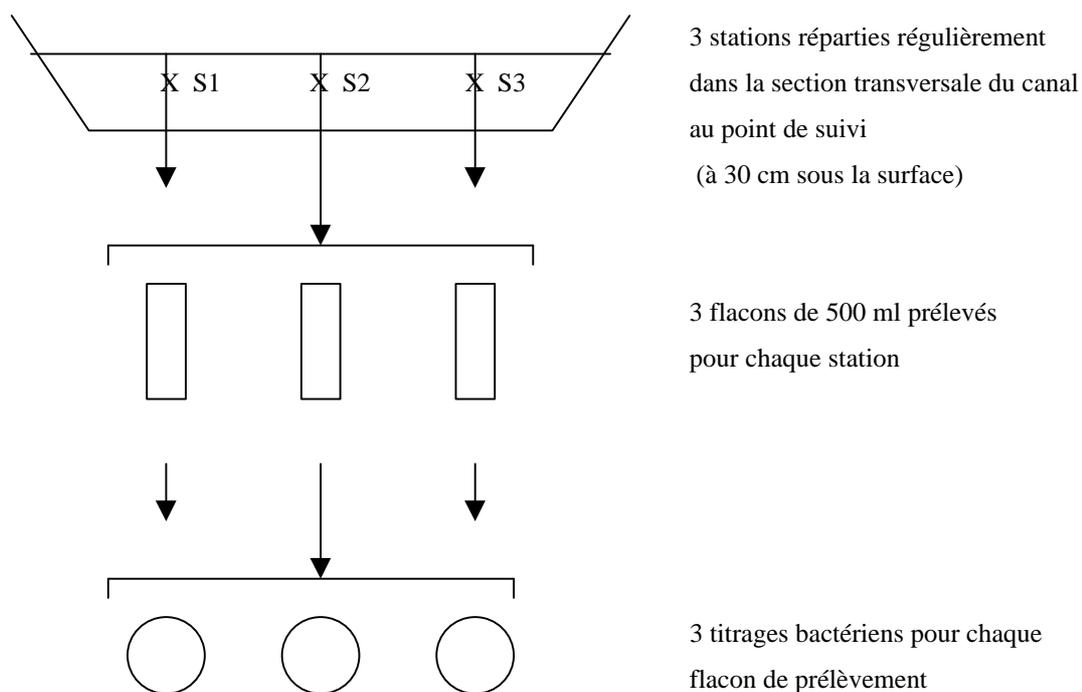


Figure 1 : Schéma explicatif de l'étude de pré-échantillonnage proposée.

Pour chaque point :

- Afin de limiter les effets d'éventuelles turbulences ou remous, la localisation des stations sera choisie à une vingtaine de mètres en amont de l'ouvrage auquel le point se rapporte ;
- Afin de limiter l'effet de fluctuation temporelle de l'abondance bactérienne,
 - les prélèvements seront réalisés simultanément aux 3 stations (ce qui impose la nécessité d'action de 3 techniciens ou d'un dispositif automatique adapté) ;
 - à chaque station, les 3 flacons de 500 ml seront prélevés dans un intervalle de temps ne dépassant jamais 3 minutes (temps nécessaire au remplissage successif des 3 flacons).
- Dans le but de rendre aléatoire l'action éventuelle du temps sur les concentrations bactériennes, les flacons seront traités séparément dans un ordre établi au hasard.

4.3.6.4 Méthodes d'analyse

Ce sont les mêmes que celles proposées pour le suivi, avec les mêmes modalités d'homogénéisation des flacons avant analyse.

4.3.6.5 Utilisation des résultats

Avant de soumettre les résultats à une analyse de variance, il faudra prendre soin de vérifier que les conditions nécessaires à sa mise en œuvre sont remplies, c'est à dire que **la distribution des variances pour chaque source de variabilité suit une loi normale** [56, 62].

Si cette condition n'est pas réalisée sur les valeurs brutes, la transformation logarithmique des résultats (base 10) peut permettre de réduire l'asymétrie de la distribution des variances [59].

L'analyse de variance sera menée d'une part sur les résultats des mesures relatives à *E. coli*, et d'autre part sur ceux des entérocoques. Elle permettra de déterminer la part de variabilité attribuable à chacune des différentes sources, et ce pour chaque type d'indicateur suivi.

Ce premier résultat permettra de passer à l'étape suivante. En supposant que les différentes valeurs des composantes de variance précédemment obtenues sont représentatives de la distribution extrême des deux types d'indicateurs suivis pour chaque type de situation dans les canaux du Centre-Est, cette étape consiste à déterminer la stratégie optimale à adopter pour chaque type d'indicateur et de situation de point, en fonction de contraintes de coût, d'efficacité et de nombre total d'analyses à réaliser.

Par exemple, pour un coût maximum fixé, si on établit à 3 le nombre total d'analyses à réaliser par point pour un indicateur, il s'agira de tester pour chaque situation laquelle des combinaisons de répétitions proposées dans le tableau 16 aboutit à un compromis entre un résultat assorti d'un intervalle de confiance le plus réduit possible, une efficacité correcte, et un coût acceptable.

Tableau 16 : Différentes combinaisons possibles de répétitions à chacune des différentes sources de variabilité pour un nombre total d'analyses à réaliser fixé à 3.

Nombre de répétitions		
Stations	Flacons	Analyses
3	1	1
1	3	1
1	1	3

Conclusion : Pour chaque situation, la combinaison optimale ainsi déterminée sera considérée comme la meilleure, et sera la stratégie d'échantillonnage à appliquer aux différents points retenus pour le suivi de qualité microbiologique, (selon leur nature) lors des prélèvements bi-mensuels.

4.3.6.6 Estimation du coût

Le coût estimatif de cette étude de pré-échantillonnage est présenté dans le tableau 17. Cette étude ne sera à mener qu'une seule fois pour chaque point représentatif des différentes situations. Il est proposé de réaliser cette étude sur deux demi-journées, en raison des impératifs de délai entre la réalisation des prélèvements et celle des analyses (4 heures maximum).

Tableau 17 : Coût estimé en francs de l'étude de pré-échantillonnage, sur la base des tarifs proposés par le laboratoire régional Sud-Est SAUR CISE de Nîmes (catalogue 1998-1999).

Demi-journée	Points suivis	Techniciens (3 pendant 4 h ; 169 F/h/technicien)	Flaconnage (6 F / flacon)	Analyses <i>E. coli</i> (134 F/analyse)+ Entérocoques (67 F/analyse)	Km (2F/km)	TOTAL
1	1 et 4	2 030	220	10 900	120	13 300
2	6	2 030	110	5 500	130	7 800

TOTAL partiel	21 100
Bateau + remorque	15 000
Programme informatique de traitement des données et frais divers	3 000
TOTAL approximatif	40 000

Conclusion : Cette étude, primordiale pour garantir l'efficacité du suivi ultérieur, se révèle être d'un coût raisonnable pour une entreprise comme BRL, lui permettant d'acquérir une information qu'elle pourra faire valoir auprès de ses clients actuels ou potentiels.

4.3.7 Conclusion

Le suivi qu'il est proposé de réaliser consiste donc à visiter tous les 15 jours les 7 points localisés sur la carte 1, et d'y appliquer, selon leur nature, la stratégie d'échantillonnage qui aura été déterminée comme optimale à partir des éléments fournis ci-avant.

Pour des raisons de délai entre les prélèvements et les analyses, il est conseillé de réaliser la tournée des 7 points sur deux matinées consécutives :

- première matinée : points 1 à 4 ;
- deuxième matinée : point 5 à 7.

Les principes de ce suivi pourront être repris et adaptés aux autres ressources mobilisées par BRL.

CONCLUSION

La majorité des usages de l'eau brute BRL est susceptible de conduire à certains risques sanitaires. Dans ce contexte, les micro-organismes les plus préoccupants sont ceux d'origine fécale pouvant conduire à des troubles suite à leur ingestion.

Actuellement, en France, tous les usages de l'eau brute, bien que souvent « à risque » du point de vue sanitaire, ne font pas l'objet d'une réglementation relative à des limites de qualité microbiologique applicables à la ressource mobilisée. En particulier, l'usage d'irrigation par eau brute n'est soumis à aucune contrainte qualitative officielle. Devançant l'évolution future de la réglementation, quelques exigences non officielles ont été mises en place dans ce domaine, mais sans réel fondement épidémiologique et de façon non toujours réaliste.

Les exigences croissantes d'information et de qualité justifient que BRL fournisse des réponses appropriées aux questions de ses clients sur la qualité microbiologique de ses eaux brutes, et puisse être en mesure de savoir quand engager d'éventuelles actions correctives en cas de détérioration.

Les résultats des contrôles réglementaires actuellement pratiqués sur les eaux brutes de BRL ne lui permettent pas d'obtenir une information sur la qualité microbiologique de la totalité de la ressource mobilisée, principalement en raison du nombre limité de points suivis et de la nature même de ces contrôles (contrôles de conformité).

Le suivi de qualité microbiologique des eaux brutes du Centre-Est qui a été proposé a donc eu pour but d'apporter une information adaptée au contexte d'utilisation de ces eaux, c'est à dire suivre toute l'année et de façon globale l'évolution spatio-temporelle de la pollution fécale le long des canaux.

Si la conception et la mise en œuvre ultérieure de ce suivi nécessitent d'importants moyens matériels, techniques et financiers, cela constitue la condition sine qua non à la qualité de l'information obtenue. Pour le cas présent comme pour toute étude de qualité microbiologique en milieu aquatique (à vocation sanitaire ou écologique), l'étape clé est la détermination d'une stratégie d'échantillonnage représentative du phénomène bactérien étudié, au niveau spatial comme temporel.

Les importants moyens à mettre en œuvre pour la conception de telles stratégies limitent actuellement l'ambition des suivis réglementaires de qualité microbiologique.

Les principes du suivi proposé dans ce mémoire, étendus et adaptés à l'ensemble des ressources mobilisées par BRL, lui permettront non seulement de disposer d'informations sur la qualité microbiologique de ses eaux brutes, mais également d'arguments de vente appuyés pour le renouvellement ou le démarchage de contrats.

ANNEXES

ANNEXE 1

Rappel de quelques définitions concernant les propriétés des agents pathogènes

Pouvoir pathogène : Propriété que possèdent certains micro-organismes de provoquer une maladie.

Infectivité : Capacité du micro-organisme à survivre et/ou se multiplier dans le corps de l'hôte. Elle est caractérisée par la DMI (Dose minimale infectante), la DI_{50} (Dose infectant 50 % des animaux testés), la DL_{50} (Dose conduisant à la mort de 50 % des animaux testés) [2].

Virulence : Capacité du micro-organisme à induire des troubles cliniques chez le sujet infecté [2].

Létalité : Capacité du pathogène à conduire au décès d'une personne malade [2].

Infection : Envahissement d'un organisme par un microbe [Larousse médical].

ANNEXE 2

Evaluation du risque Précision sur les étapes d'identification des fonctions dose-réponse, estimation de l'exposition et caractérisation du risque

1) Identification des fonctions dose-réponse [2] :

La probabilité **P** fournit un risque journalier d'infection pour une exposition donnée. Il a été établi que les événements infectants pouvaient être considérés comme des phénomènes indépendants les uns des autres. Le risque pour une année d'exposition peut alors être estimé à partir du risque journalier **P** grâce à la formule suivante :

$$P_{\text{an}} = 1 - (1 - P)^{365}$$

L'effet d'un pathogène peut être limité à une infection ou se développer en maladie, voire entraîner le décès. Comme le risque morbide varie beaucoup en fonction du statut immunitaire de l'hôte, de son âge, de la virulence du micro-organisme, de son type, de la souche et de la voie de transmission, il a été plus facile de définir un risque d'infection. Mais l'infection n'est pas la conséquence sanitaire la plus préoccupante, par contre c'est un prérequis à la déclaration de la maladie. La relation entre le niveau d'exposition et l'apparition de manifestations cliniques ou la mortalité étant inconnue, on fait l'hypothèse simple que la probabilité de maladie – conditionnelle à l'infection – est indépendante du niveau d'exposition. De là, les probabilités de maladie (manifestations cliniques) et de décès sont obtenues par multiplication de la probabilité d'infection, respectivement par la virulence et la létalité des germes considérés. Le calcul de ces probabilités pour les groupes sensibles peut se faire en appliquant un facteur de sécurité de 10 à la virulence et/ou la létalité établies pour la population générale.

Cette seconde étape permet donc de définir le modèle approprié au pathogène étudié qui servira à estimer le risque, en particulier avec extrapolation aux faibles doses puisque c'est surtout à ce niveau que sont exposées les populations.

2) Estimation de l'exposition [2] :

Au vu des différents usages de l'eau brute de BRL, on est ici conduit à s'intéresser à toutes les voies d'exposition aux germes considérés pouvant se trouver dans l'eau. Pour cela, il faut commencer par évaluer la prévalence du micro-organisme étudié dans l'eau utilisée, puis, au vu des différents usages, adapter la démarche de détermination de l'exposition à travers l'estimation de la quantité d'eau absorbée ou inhalée ou avec laquelle une personne a été mise en contact. La taille des différentes populations exposées (en fonction des différents usages et voies d'exposition) devra être également être déterminée.

Ci-après figurent quelques indications pour l'évaluation de la prévalence dans l'eau d'un micro-organisme pathogène étudié :

La fréquence et l'intensité de la contamination varient en fonction de la géographie et varient dans le temps. La prévalence d'un micro-organisme ne peut pas faire l'objet d'une généralisation à partir de données extérieures au site considéré, car elle est spécifique à chaque site. Elle doit donc être à chaque fois mesurée au niveau de l'eau brute

étudiée, et de l'eau en cours de distribution quand cela est possible.

Les hypothèses retenues pour estimer la prévalence du micro-organisme dans l'eau sont les suivantes :

- Il faut essayer de déterminer la ou les origines de la contamination, à savoir la source (animale, humaine, tellurique) et le point d'entrée dans la chaîne de distribution de l'eau (entre la ressource et le point de distribution).
- L'hypothèse la plus largement reprise par les auteurs est que la distribution des germes est gouvernée selon une distribution statistique de Poisson dans la ressource. (A noter que l'hypothèse d'une distribution binomiale négative est retenue par certains auteurs).
- Pour caractériser le risque infectieux, la densité microbienne doit être décrite par la moyenne arithmétique des concentrations mesurées dans le milieu (et non la moyenne géométrique comme cela a souvent été le cas). Si on souhaite calculer un impact en se plaçant dans l'hypothèse du « worst case » (situation la plus péjorative), il faut utiliser le pic de concentration mesuré. Lorsqu'on ne dispose pas d'informations sur la distribution des concentrations pour déterminer ce pic et qu'on ne dispose que de la densité moyenne de micro-organismes, on peut faire l'hypothèse que le pic de concentration = 3 fois la densité moyenne.

3) Caractérisation quantitative du risque infectieux [2] :

Pour un micro-organisme de pathogénicité connue, présent à une concentration donnée dans l'eau brute, il est possible – grâce à la modélisation de la relation dose-réponse – d'estimer le risque sanitaire encouru dans une population dont l'exposition a été correctement évaluée. Cela peut être résumé dans les relations suivantes :

Probabilité de morbidité = Probabilité d'infection (Pi) x Virulence

Probabilité de décès = Probabilité de morbidité x létalité

Nombre de personnes infectées dans la population concernée = Pi x taille de la population

Pour tenir compte des imperfections et des incertitudes résiduelles, le risque doit être présenté avec un intervalle de confiance qui incorpore les différentes incertitudes attachées aux composants du calcul (incertitudes impliquées par les estimations des modèles et de l'exposition). La significativité du résultat est d'autant plus grande que l'intervalle de confiance est étroit.

ANNEXE 3

Exigences auxquelles un indicateur de contamination fécale idéal devrait répondre [4]

1. **Epidémiologiques.** Des études ou des enquêtes épidémiologiques devraient établir la relation (à travers le pathogène ou non), qui existe entre un indicateur, sa nature, son taux, et la probabilité d'apparition d'infections dans une population.
2. **Ecologiques.** Un bon indicateur doit être **spécifique** d'une contamination fécale, c'est à dire constamment rencontré dans les fécès des animaux à sang chaud, et toujours absent de l'environnement non pollué ; il doit, en conséquence, coexister avec les germes pathogènes. Il doit être **sensible**. Son taux doit être élevé dans les matières fécales. Il sera isolé dans l'eau lorsque les pathogènes sont présents et, mieux, précéder leur apparition ; il doit être présent en plus grand nombre que les pathogènes.
3. **Bactériologiques.** L'indicateur doit être plus résistant aux agents désinfectants que les pathogènes. Il sera incapable de se multiplier dans l'eau.
4. **Taxonomiques.** L'indicateur doit être parfaitement reconnu et classé en tant qu'espèce, selon les critères bactériologiques en cours (ex : *E. coli*, *S. faecalis*). Lorsque l'indicateur correspond à une population (ex : coliformes), cette population devrait être parfaitement définie, et les espèces qui la composent, connues.
5. **Techniques** (détection et identification). Un bon indicateur doit être facile à détecter, rapidement et au moindre coût ; il doit être capable de se multiplier sur des milieux usuels, sélectifs ou non ; il doit être distribué au hasard dans l'échantillon et sa croissance ne pas être inhibée par d'autres espèces. Il doit enfin être identifiable sans ambiguïté, à l'aide de réactions ou de tests simples et, si nécessaire, en faisant appel aux techniques actualisées de l'identification numérique.

ANNEXE 4

Liste des questions posées aux clients lors de l'enquête téléphonique

- Quels sont les usages de l'eau brute que nous vous livrons ? (Autres usages que ceux explicites : potabilisation, lavage voiries, lavage véhicules, remplissage pièces d'eau de loisir ...). Dans quelles proportions ? Envisagez-vous pour l'avenir d'autres usages ?
- Quelles autres ressources d'eau utilisez-vous (eau potable, forage, réutilisation d'eaux usées traitées) ? Dans quelles proportions ?
- Quels sont les différents postes qui nécessitent l'utilisation d'eau dans votre entreprise ?
- **Uniquement pour les clients arrosage / irrigation** : Quel type de système d'arrosage/irrigation utilisez-vous ?
- **Uniquement pour les clients arrosage / irrigation** : Etes-vous soumis à des contraintes au niveau réglementaire sur l'origine de l'eau que vous utilisez pour l'arrosage ?
- Quels éventuels traitements mettez-vous en oeuvre pour satisfaire d'éventuelles exigences en qualité d'eau ?
Les exigences peuvent être liées à des :
 - contraintes réglementaires,
 - contraintes vis à vis d'exigences de clients, en aval,
 - contraintes internes liées à des démarches d'assurance qualité (HACCP, ISO 9000),
 - contraintes d'usages.
- Pour les postes où vous utilisez l'eau brute distribuée par BRL : ajoutez-vous un ou des produit(s) à cette eau avant de l'utiliser (désinfectant ou autre) ? Si oui, pourquoi, quels(s) produit(s), à quelle(s) dose(s) ? S'agit-il d'ajout(s) systématique(s) ou réservé(s) à certains usages ?
- Pratiquez-vous ou faites vous pratiquer des analyses sur la qualité de l'eau brute qui vous est distribuée (autocontrôle) ? Si oui :
 - quelles en sont les motivations ?
 - par qui sont réalisées ces analyses ?
 - quels sont les paramètres suivis, en particulier microbiologiques ?
 - quelle est la fréquence de ces analyses ?
- Etes-vous soumis à des contrôles officiels sur la qualité de l'eau brute vous vous servez ? Si oui :
 - par qui sont réalisés ces contrôles ?
 - quels sont les paramètres suivis, en particulier microbiologiques ?
 - quelle est la fréquence de ces analyses ?

ANNEXE 5

Tableau 18 : Résultats exhaustifs des enquêtes téléphoniques menées auprès des clients (non présenté)

ANNEXE 6

Définition des eaux destinées à la consommation humaine

Décret 89-3 (art. 1) [56]:

- 1) Les eaux destinées à la consommation, conditionnées ou non, à l'exclusion des eaux minérales naturelles ;
- 2) **Les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires de fabrication, de traitement, de conservation ou de mise sur le marché de produits ou substances destinés à être consommés par l'homme et qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale ;**
- 3) La glace alimentaire d'origine hydrique.

Directive 98/83/CE (art. 2) [55]:

- a) Toutes les eaux, soit en l'état, soit après traitement, destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments, ou à d'autres usages domestiques, quelle que soit leur origine et qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteilles ou en conteneurs ;
- b) **Toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires pour la fabrication, la transformation, la conservation ou la commercialisation de produits ou de substances destinés à la consommation humaine, à moins que les autorités nationales compétentes n'aient établi que la qualité des eaux ne peut affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale.**

Sont exclues les eaux minérales naturelles les eaux médicinales. Peuvent également ne pas être concernées les eaux destinées aux usages pour lesquels les autorités compétentes ont établi que la qualité des eaux n'a aucune influence, directe ou indirecte, sur la santé des consommateurs concernés.

ANNEXE 7

Caractéristiques microbiologiques et hygiéniques des végétaux et préparations de végétaux crus prêts à l'emploi

1) Exigences officielles : titre III de l'arrêté du 28 mai 1997 [36] :

Ces dispositions s'appliquent aux produits végétaux crus, ayant fait l'objet d'un épluchage, coupage ou de toute autre opération touchant à l'intégrité du produit, et aux préparations composées principalement de végétaux crus, prêts à l'emploi et destinés à la consommation humaine, préemballée ou non. Par « opération touchant à l'intégrité du produit », on entend tout procédé physique pouvant entraîner une modification des caractéristiques physiologiques et microbiologiques du produit (art. 21). Les matières premières nettoyées et les produits mentionnés ci-dessus doivent être constamment maintenus à l'abri des contaminations (art. 22). Les produits mentionnés à l'article 21 :

- doivent répondre jusqu'à leur remise au consommateur aux critères microbiologiques mentionnés dans le tableau 11 ci-après, vérifiés selon les modalités précisées après le tableau 12 (art. 24) ;
- sont reconnus propres à la consommation humaine lorsqu'ils sont notamment exempts d'organismes, de micro-organismes ou de toxines à des niveaux dangereux pour la santé des consommateurs, et satisfont aux critères microbiologiques fixés au tableau 12 ci-après et vérifiés conformément aux modalités précisées après ce tableau art. 25).

Tableau 19 : Critères microbiologiques auxquels doivent répondre les produits mentionnés à l'article 21 de l'arrêté du 28 mai 1997, conformément à l'article 24 de ce même arrêté (Source : annexe I de l'arrêté du 28 mai 1997).

	n	c	m	M
<i>Escherichia coli</i> par gramme ou millilitre	5	2	10 ²	10 ³

Tableau 20 : Critères microbiologiques auxquels doivent satisfaire les produits ci-dessous pour être reconnus propres à la consommation humaine conformément à l'article 25 de l'arrêté du 28 mai 1997 (Source : annexe II de l'arrêté du 28 mai 1997).

1. Produits végétaux crus, frais, ayant fait l'objet d'un épluchage, coupage ou de toute autre opération touchant à leur intégrité, prêts à la consommation humaine :

	n	c	m	M
<i>Salmonella</i> dans 25 g	5	0	Absence	Absence

2. Graines germées :

	n	c	m	M
<i>Bacillus cereus</i> par gramme	5	2	10 ³	10 ⁴
<i>Salmonella</i> dans 25 g	5	0	Absence	Absence

3. Produits végétaux ensaucés :

	n	c	m	M
<i>Staphylococcus aureus</i> par gramme	5	2	10 ²	10 ³
<i>Salmonella</i> dans 25 g	5	0	Absence	Absence

4. Préparation de végétaux crus comportant de la semoule et/ou des produits végétaux cuits :

	n	c	m	M
<i>Staphylococcus aureus</i> par gramme	5	2	10 ²	10 ³
<i>Clostridium perfringens</i> par gramme	5	2	10 ²	10 ³
<i>Bacillus cereus</i> par gramme	5	2	10 ³	10 ⁴
<i>Salmonella</i> dans 25 g	5	0	Absence	Absence

Interprétation des analyses microbiologiques :

1. Les critères microbiologiques mentionnés ci-dessus sont interprétés comme suit (annexe III de l'arrêté du 28 mai 1997) :

n : nombre d'unités composant l'échantillon.

c : nombre d'unités de l'échantillon donnant les valeurs situées entre m et M.

m : critère tel que les résultats qui lui sont égaux ou inférieurs sont considérés comme conformes. Pour tenir compte de la variabilité des dénombrements microbiens, le critère est affecté d'un facteur de variation de + ou - ½ intervalle logarithmique, les dénombrements étant réalisés en milieux solides.

M : seuil limite d'acceptabilité au-delà duquel les résultats ne sont pas conformes. Les tolérances liées aux techniques analytiques ne s'appliquent pas au seuil M.

Le lot échantillonné est considéré comme non satisfaisant (critère de l'annexe I) ou comme impropre à la consommation (critère de l'annexe II) lorsque :

- le nombre d'unités, présentant une contamination comprise entre le critère « m » augmenté de la tolérance analytique et le seuil « M », est supérieur à c ;
- ou une unité présente une contamination supérieure au seuil « M » ou renferme des *Salmonella* dans 25 g.

2. Les critères microbiologiques mentionnés aux annexes I et II ci-dessus sont vérifiés selon les modalités définies à l'arrêté du 13 mars 1992 modifié concernant les dénombrements de *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*, et la recherche de *Salmonella*, ou par une méthode prévue dans un autre Etat membre d'efficacité équivalente, ou toute autre méthode d'efficacité analogue.

La taille des échantillons en vue de l'analyse microbiologique doit comprendre 5 unités.

2) Recommandation du guide des bonnes pratiques hygiéniques des végétaux crus prêts à l'emploi [40] :

Outre les critères cités dans la partie réglementaire, le guide mentionne des critères recommandés, s'appliquant au produit fini à la sortie de l'atelier de fabrication : il s'agit de standards microbiologiques et de valeurs-cibles facultatives permettant au fabricant de mesurer l'efficacité de ses bonnes pratiques hygiéniques.

Standards microbiologiques : Pour les végétaux auxquels il se rapporte, le guide mentionne :

- les dispositions réglementaires de l'arrêté du 22 mars 1993 (abrogé et remplacé par l'arrêté du 28 mai 1997, mais

sans changement pour les indications figurant dans le guide) pour *Escherichia coli* et *Salmonella*,

- les dispositions suivantes pour *Listeria monocytogenes* : m = 100 germes / gramme ; n = 5 ; c = 0. Ces dispositions sont basées sur l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (séance du 8 septembre 1992) et les notes de service de la DGCCRF du 16 novembre 1993 et du 11 janvier 1994.

Valeurs cibles : Sauf précision, ces critères recommandés s'appliquent au produit fini à la sortie de l'établissement de production :

Tableau 21 : Valeurs cibles de qualité microbiologique recommandées, sauf précision, par le guide de bonnes pratiques des végétaux crus prêts à l'emploi aux produits finis concernés (Source : [40]).

	n	c	m	M
<i>Escherichai coli</i> par gramme	5	2	10	10 ²
<i>Listeria monocytogenes</i> dans 25 grammes	5	0	Absence	
Micro-organismes aérobies à 30°C / gramme :				
- Produits feuillus				
• Au stade de la production	5	2	5.10 ⁵	5.10 ⁶
• Au stade de la consommation	5	2	5.10 ⁶	5.10 ⁷
- Persil, cresson, herbes aromatiques	5	2	5.10 ⁶	5.10 ⁷
Flore lactique sur la carotte râpée	5	2	10 ⁵	10 ⁶

ANNEXE 8

Contrôle de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine

Décret 89-3 [56] :

Eaux distribuées par un réseau collectif public ou privé :

Tableau 22 : Fréquences annuelles d'analyse (échantillons prélevés à la source et en usine) prévues par le décret 89-3 (Annexe II – I – B) (Source : [56]).

DEBIT JOURNALIER (m ³ /jour)	FREQUENCES ANNUELLES D'ECHANTILLONNAGE	
	R.P.	R.S.
< 100	-	-
De 100 à 399	1/2	2
De 400 à 999	1/2	2
De 1 000 à 1 999	1/2	2
De 2 000 à 5 999	1	3
De 6 000 à 9 999	2	6
De 10 000 à 19 999	2	6
De 20 000 à 29 999	4	12
De 30 000 à 59 999	4	12
De 60 000 à 99 999	4	12
≥ 100 000	4	12

Nota. – 1° En ce qui concerne les eaux superficielles de la ressource (R.S.), outre les analyses bactériologiques (B1), il est procédé :

- a) A une **recherche annuelle de salmonelles** (dans cinq litres d'eau) ;
- b) A une **recherche de coliformes** dans les conditions suivantes :
 - ba Une fois par an pour un débit inférieur à 6 000 m³/jour ;
 - bb Deux fois par an pour un débit compris entre 6 000 m³/jour et 20 000 m³/jour ;
 - bc Quatre fois par an pour un débit supérieur à 20 000 m³/jour ;

2° En ce qui concerne les analyses microbiologiques, les chiffres de la colonne P1 sont doublés lorsque les eaux sont désinfectées.

Tableau 23 : Fréquence minimale annuelle d'échantillonnage des eaux superficielle (RS) pour les analyses microbiologiques prévues par la circulaire DGS/PGE/1D/91/28 (4.2 – A) (Source : [58]).

DEBIT journalier (m ³ /jour)	ANALYSES RS		
	Catégories A1	Catégorie A2	Catégorie A3
	B1	B1	B1
De 100 à 1 999 (*)	-	-	2
De 2 000 à 5 999	1	2	3
De 6 000 à 19 999	2	4	6
Supérieur à 20 000	3	8	12

(*) Certains paramètres de l'analyse RS feront l'objet de mesures particulières à des fréquences appropriées, notamment lorsque la fréquence minimale n'a pas été arrêtée.

La circulaire DGS/PGE/1D/91/28 précise qu'aux analyses de type B1 sont ajoutées :

- la **recherche des salmonelles** (une fois par an) ;
- la **recherche des coliformes** (la fréquence d'échantillonnage est identique à celle des analyses B1).

Tableau 24 : Fréquence minimale annuelle d'échantillonnage des eaux introduites dans les réseaux prévue par la circulaire DGS/PGE/1D/91/28 (4.2 – C) (Source : [58]).

DEBIT journalier (m³/jour)	ANALYSES P
	RP
Inférieur à 100	1
De 100 à 999	2
De 1 000 à 1 999	3
De 2 000 à 9 999	6
De 10 000 à 19 999	12
De 20 000 à 29 999	18
De 30 000 à 59 999	36
De 60 000 à 99 999	60
Supérieur à 99 999	120

ANNEXE 9

Adaptation du programme de contrôle des eaux destinées à la production d'eau destinée à la consommation humaine prévue par le décret 89-3 [56]

Annexe II – IV :

Le programme d'analyse peut être modifié dans les conditions suivantes :

1. A coût égal de réalisation du programme d'analyses, la nature et la fréquence des paramètres analysés peuvent être modifiées.
2. Pour les eaux souterraines ou profondes, les fréquences d'échantillonnage peuvent être réduites d'un facteur 4.
3. Le programme peut comprendre des analyses supplémentaires dont le coût ne conduit pas à un dépassement supérieur à 20 % du programme d'analyse établi selon les modalités prévues, pour les paramètres microbiologiques, au tableau ci-dessus.

Art. 10 :

Le préfet peut imposer à l'exploitant des analyses supplémentaires dans les cas suivants :

1. La qualité des eaux destinées à la consommation humaine ne respecte pas les exigences fixées, pour les paramètres microbiologiques, dans le tableau ou s'écarte des valeurs de référence de qualité indiquées à l'annexe I-2 du décret 89-3 ;
2. Les limites de qualité des eaux brutes ne sont pas satisfaites ;
3. L'eau présente des signes de dégradation ;
4. Une dérogation est accordée en application de l'article 3 du décret 89-3 ;
5. Certaines personnes présentent des troubles ou les symptômes d'une maladie pouvant provenir des eaux distribuées.

ANNEXE 10

Méthodes d'analyse des eaux destinées à la production d'eau destinée à la consommation humaine prévues par l'arrêté du 20 février 1990 [57]

Tableau 25 : Méthodes de référence pour l'analyse des eaux destinées à la consommation humaine (Source : annexe I de l'arrêté du 20 février 1990 [57]).

Paramètre	Méthode de référence
Entérovirus	Concentration (adsorption, élution) identification
Salmonelles	Filtration, préenrichissement, enrichissement, isolement, identification.
Staphylocoques pathogènes	Filtration sur membrane, culture sur milieu solide, identification des caractères de pathogénicité.
Pour les paramètres suivants Bactéries aérobies revivifiables : - à 37°C - à 22°C	Norme Afnor : NF T 90-420 complétée par une de celles citées ci-dessous. Norme Afnor : NF T 90-401. Norme Afnor : NF T 90-402 (à 22°C).
Coliformes	Norme Afnor : NF T 90-413 (y compris eaux brutes) bouillon lactosé. Norme Afnor : NF T 90-414, gélose lactosée au TTC et au tergitol-7.
Coliformes thermotolérants	Norme Afnor : NF T 90-413 (y compris eaux brutes) bouillon lactosé Norme Afnor : NF T 90-414, gélose lactosée au TTC et au tergitol-7.
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices	Norme Afnor : NF T 90-415
Streptocoques du groupe D	Norme Afnor : T 90-411 (en cours) pour les eaux de surface milieu Rothe et Litsky. Norme Afnor : NF T 90-416 pour les autres eaux gélose de Slanetz et Bartley.
Bactériophages fécaux	Technique de Guelin.
Protozoaires	Concentration par filtration sur membrane. Examen microscopique. Test de pathogénicité.
Animalicules (vers, larves)	Concentration par filtration sur membrane. Examen microscopique. Test de pathogénicité.

Tableau 26 : Caractéristiques des méthodes d'analyse des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire (Source : décret n° 89-3 [56])

Paramètres	Limites de détection (1)
Coliformes thermotolérants / 100 ml	5 selon les catégories 500 d'eau
Coliformes fécaux / 100 ml	2 selon les catégories 200 d'eau
Streptocoques fécaux / 100 ml	2 selon les catégories 200 d'eau
Salmonelles	1/5000 ml selon les catégories 1/1000 ml d'eau

(1) Limite de détection : valeur minimale du paramètre examiné qui peut être détectée.

ANNEXE 11

Méthodes d'analyse concernant la qualité microbiologique des eaux de baignade spécifiées par l'arrêté modifié du 29 novembre 1991 [51]

Coliformes totaux :

Filtration sur membrane et culture sur milieu approprié tel que gélose lactosée au tergitol, gélose d'endo, bouillon au teepol 0,4 %, repiquage et identification des colonies suspectes.

Température d'incubation adaptée à la recherche des coliformes totaux.

Coliformes fécaux :

Pas de précisions données par l'arrêté modifié du 29 novembre 1991.

Streptocoques fécaux :

Norme Afnor T 90-432 NPP.

Salmonelles :

Concentration par filtration sur membrane. Inoculation sur milieu type. Enrichissement, repiquage sur gélose d'isolement, identification.

Entérovirus :

Concentration par filtration par floculation ou par centrifugation et confirmation.

***Escherichia coli* :**

Norme Afnor T 90-433.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Association Française des Enseignants de Parasitologie, ANOFEL. Parasitologie Mycologie. Editions C et R Format Utile, Saint-Maur, 1998, 480 p.
2. GOFTI L., Evaluation du risque microbiologique d'origine hydrique. Cours ENSP, 1998.
3. HASLAY C., LECLERC H., Microbiologie des eaux d'alimentation. Editions Lavoisier Tec et Doc, Paris, 1993, 495 p.
4. RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.-P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L., L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Editions Dunod, Paris, 1996, 1384 p.
5. SUTRA L., FEDERIGHI M., JOUVE J.-L., Manuel de bactériologie alimentaire. Editions Polytechnia, Paris, 1998, 308 p.
6. SCHWARTZBROD L., Virologie générale. Cours ENSP, 1998.

QUALITE DE L'EAU EN IRRIGATION

Textes officiels :

7. Règlement sanitaire départemental, article 143 : Protection des cressonnières et des cultures maraîchères immergées.
8. Règlement (CEE) modifié n° 2092/91 du Conseil du 24 juin 1991 concernant le mode de production biologique de produits agricoles et sa présentation sur les produits agricoles et les denrées alimentaires. Première parution : JOCE n° L 198 du 22 juillet 1991, page 1.
9. Recommandation du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France sur la réutilisation des eaux usées après épuration. Circulaire DGS/SD1.D/91n° 51 du 22 juillet 1991 aux préfets.

Autres références :

10. Comité Economique Agricole Fruits et Légumes du Languedoc-Roussillon, Centre Expérimental Horticole de Marsillargues. Cahier des charges « pommes », production fruitière intégrée. Charte Sud Nature. 1996, 22 p.
11. Européenne fruitière. Contrat de production de salade 4^{ème} gamme frisée. Campagne 1999/2000. 3p.
12. MARA D., CAIRNCROSS S. Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture. Organisation mondiale de la Santé en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Genève, 1991, 205 p.

13. Organisation mondiale de la Santé. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à visées sanitaires. Série de Rapports techniques 778, Genève, 1989, 82 p.
14. World Bank and World Health Organisation. The Engelberg Report. International Reference Centre for Wastes Disposal, Dubendorf, 1987, 25 p.

QUALITE DE L'EAU EN ELEVAGE

Textes officiels :

15. Décret modifié n° 80-791 du 1^{er} octobre 1980 pris pour l'application de l'article 276 du Code rural. Première parution : Journal Officiel de la République Française du 5 octobre 1980, page 2326.
16. Cahier des charges modifié concernant le mode de production biologique des volailles. Première parution : Journal officiel de la République Française du 31 décembre 1992.
17. Cahier des charges concernant le mode de production biologique des vaches nourrices. Première parution : Journal officiel de la République Française du 31 décembre 1992.
18. Cahier des charges concernant le mode de production biologique des jeunes et gros bovins de boucherie. Première parution : Journal officiel de la République Française du 31 décembre 1992.
19. Cahier des charges concernant le mode de production biologique des ovins. Première parution : Journal officiel de la République Française du 31 décembre 1992.
20. Cahier des charges concernant le mode de production biologique des veaux de boucherie. Première parution : Journal officiel de la République Française du 31 décembre 1992.
21. Cahier des charges concernant le mode de production biologique du lait et des produits laitiers de l'espèce bovine (y compris glaces, crèmes glacées et margarines). Première parution : Journal officiel de la République Française du 31 décembre 1992.
22. Cahier des charges concernant le mode de production biologique des lapins. 1993.
23. Cahier des charges concernant le mode de production biologique du porc. Première parution : Journal officiel de la République Française du 2 mars 1996.
24. Cahier des charges concernant le mode de production biologique du lait et des produits laitiers des espèces ovine et caprine laitières. Première parution : Journal officiel de la République Française du 14 mars 1997.

Autres références :

25. ALLIOUX, CHABROL, COSTES, D'ESTAINOT, FRETIN, GUILLAR, PICHARD, RAYMOND, SEGRETO, TANGUY. Journées d'information technique des 18 et 19 mai 1999. Qualité de l'eau de boisson en production animale porcine / avicole / ovine / caprine / laitière. 1999, 89 p.

26. JONCOUR G. (1998) Eau d'abreuvement, n'économisez pas sur la qualité. *Réussir Lait/Elevage*, 101, 86-89.
27. JONCOUR G. (1996) La qualité de l'eau. *Journées nationales des GTV*, 251-267.
28. LEMARIGNIER O., vétérinaire-inspecteur adjoint Santé Animale, services vétérinaires du Gard. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt du Gard. Communication personnelle. 1999.
29. THIN R. (1985) L'abreuvement chez les bovins. *Bulletin des GTV*, 2, 63-73.

QUALITE DE L'EAU EN AGRO-ALIMENTAIRE

Textes officiels :

30. Règlement sanitaire départemental, article 144 : Fruits et légumes.
31. Règlement (CEE) modifié n° 2092/91 du Conseil du 24 juin 1991 concernant le mode de production biologique de produits agricoles et sa présentation sur les produits agricoles et les denrées alimentaires. Première parution : JOCE n° L 198 du 22 juillet 1991, page 1.
32. Décret n° 91-409 du 26 avril 1991 fixant les prescriptions en matière d'hygiène concernant les denrées, produits ou boissons destinées à l'alimentation humaine, à l'exclusion de ceux mentionnés aux articles 258, 259 et 262 du code rural, des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux minérales naturelles. Première parution : Journal officiel de la République Française du 4 mai 1991, page 5960.
33. Décret n° 92-631 du 8 juillet 1992 relatif aux matériaux et objets destinés à entrer en contact avec les denrées, produits et boissons pour l'alimentation de l'homme ou des animaux. Première parution : Journal officiel de la République Française du 10 juillet 1992, page 9280.
34. Arrêté modifié du 27 octobre 1975 relatif aux produits de nettoyage du matériel pouvant se trouver au contact des denrées alimentaires. Première parution : Journal officiel de la République Française du 30 novembre 1975.
35. Arrêté du 9 mai 1995 réglementant l'hygiène des aliments remis directement au consommateur. . Première parution : Journal officiel de la République Française du 16 mai 1995, page 8219.
36. Arrêté du 28 mai 1997 relatif aux règles d'hygiène applicables à certains aliments et préparations alimentaires destinés à la consommation humaine. Première parution : Journal officiel de la République Française du 1^{er} juin 1997, page 8785.
37. Arrêté du 6 juillet 1998 relatif aux règles d'hygiène applicables aux établissements d'entreposage de certaines denrées alimentaires. Première parution : Journal officiel de la République Française du 28 juillet 1998, page 11480.
38. Arrêté du 20 juillet 1998 fixant les conditions techniques et hygiéniques applicables au transport des aliments. Première parution : Journal officiel de la République Française du 6 août 1998, page 12044.

Autres références :

39. Anonyme (1999) Bonnes pratiques hygiéniques, les stations au diapason. *L'ECHO*, 148, 26-29.
40. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. Guide de bonnes pratiques hygiéniques végétaux crus prêts à l'emploi. Editions des Journaux officiels, Paris, 1996, 71 p.
41. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. Guide de bonnes pratiques hygiéniques fruits et légumes frais non transformés. Editions des Journaux officiels, Paris, 1999, 130 p.
42. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes. Fruits et Légumes frais : Comment mettre en place le Guide des Bonnes Pratiques Hygiéniques (séries de fiches et affiches), 1999.
43. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (1997) Le point sur la directive Hygiène CEE 93/43 applicable aux entreprises du secteur fruits et légumes frais. *Revue INFO CTIFL*.
44. Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes. Réglementation communautaire fruits et légumes. Editions des Journaux Officiels, Paris, 1995, 340 p.

QUALITE DE L'EAU A USAGE PISCICOLE

45. Décret n° 91-1283 du 19 décembre 1991 relatif aux objectifs de qualité assignés aux cours d'eau, sections de cours d'eau, canaux, lacs ou étangs et aux eaux de la mer dans les limites territoriales. Première parution : Journal Officiel de la République Française du 21 décembre 1991.
- 45'. Circulaire PN-SPH n° 86-3 du 31 janvier 1986 relative à l'application de l'article 407 du Code rural résultant de la loi n° 84-512 du 29 juin 1984 sur la pêche en eau douce et la gestion des ressources piscicoles.

QUALITE DE L'EAU A USAGE DE BAINNADE ET PISCINE

46. Directive du Conseil n° 76-160 du 8 décembre 1975 concernant la qualité des eaux de baignade. Première parution : JOCE n° L 31/1 du 5 février 1976.
- 46'. Proposition modifiée de directive du Conseil relative à la qualité des eaux de baignade, présentée par la Commission le 18 novembre 1997. Première parution : JOCE du 10 janvier 1998.
47. Décret modifié n° 81-324 du 7 avril 1981 fixant les normes d'hygiène et de sécurité applicables aux piscines et aux baignades aménagées. Première parution : Journal Officiel de la République Française du 10 avril 1981.
48. Arrêté du 7 avril 1981 fixant les dispositions techniques applicables aux piscines. Journal Officiel de la République Française du 10 avril 1981.

49. Arrêté du 26 décembre 1991 portant application de l'article 2 du décret n° 91-1283 du 19 décembre 1991 relatif aux objectifs de qualité assignés aux cours d'eau, canaux, lacs ou étangs et aux eaux de la mer dans les limites territoriales et portant modalités administratives d'information par la Commission des communautés européennes. Journal Officiel de la République Française du 28 janvier 1992, page 1365.
- 50.
51. Arrêté modifié du 29 novembre 1991 pris pour l'application du décret n° 91-980 du 20 septembre 1991 modifiant le décret n° 81-324 du 7 avril 1981 fixant les règles d'hygiène et de sécurité applicables aux piscines et aux baignades aménagées. Première parution : Journal Officiel de la République Française du 7 janvier 1992.
52. Arrêté du 11 septembre 1995 modifiant l'arrêté du 29 novembre 1991 pris pour l'application du décret n° 81-324 du 7 avril 1981 modifié fixant les règles d'hygiène et de sécurité applicables aux piscines et aux baignades.
53. Circulaire DGS/VS 4 / 07/140 relative aux analyses et paramètres microbiologiques applicables aux eaux de baignade en mer et en eau douce (saison balnéaire 1995).
54. Organisation de la surveillance sanitaire des zones de baignade. Communication personnelle de la DRASS Languedoc-Roussillon, 1999.

QUALITE DE L'EAU A DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE ET QUALITE DE L'EAU DESTINEE A LA PRODUCTION D'EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE

55. Directive du Conseil n° 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Première parution : JOCE n° L 330 du 5 décembre 1998).
56. Décret modifié n° 89-3 du 3 janvier 1989 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles. Première parution : Journal Officiel de la République Française du 4 janvier 1989.
57. Arrêté du 20 février 1990 relatif aux méthodes de référence pour l'analyse des eaux destinées à la consommation humaine. Journal Officiel de la République Française du 28 février 1990.
58. Circulaire DGS/PGE/1D/91/28 du 15 mars 1991 relative à la mise en place des programmes de vérification de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Bulletin Officiel du Ministère des Affaires Sanitaires et Sociales n° 655-91/14 du 4 mai 1991.

ECHANTILLONNAGE

59. BALEUX B., TROUSSELLIER M. (1989) Optimization of a sampling design and significance of bacterial indicators : application to the bacteriological survey of the Ardeche river, France. *Wat. Res.* Vol 23, no 9, pp 1183-1190.
60. BEAUDEAU P., TOUSSET N., LEFEVRE A., Disparition des *Escherichia coli* dans les rivières normandes, rapport de synthèse. 1998, 30 p.

61. HAAS C.N. (1993) Microbial sampling : is it better to sample many times or use large samples ? *Wat. Sci. Tech.* Vol. 27, no 3-4, pp 19-25.
62. MAUL A., DOLLARD M.A. et BLOCK J.C. (1982) Etude de l'hétérogénéité spatio-temporelle des bactéries coliformes en rivière. *Journal Français d'Hydrologie*, 13, Fasc. 2, no 38, pp 141-156.
63. TILLET H (1993) Potential inaccuracy of microbial counts from routine water samples. ? *Wat. Sci. Tech.* Vol. 27, no 3-4, pp 15-18.