



ENSP

ÉCOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE

RENNES

Formation des ingénieurs du génie sanitaire

Mémoire de fin d'étude

Date du Jury : **24 septembre 2002**

Gestion du risque lié aux légionelles :

- stratégie de contrôle et de surveillance
- étude technico-économique des procédés de lutte

Présenté par :
Frédéric PECHARMAN

Lieu de stage :
Lyonnaise des Eaux France

Accompagnant professionnel :
M. BARBIER Jean-Pierre

Référent pédagogique :
M. LESNE Jean

R é s u m é

Le nombre de cas de légionellose déclarés augmente chaque année de +32 % en moyenne depuis le renforcement de la déclaration obligatoire en 1997 et la parution de 3 circulaires traitant de la surveillance et de la prévention des risques liés aux légionelles. Les réseaux d'eau chaude sanitaire sont des lieux de prolifération privilégiés pour la légionelle, agent bactérien de la légionellose, qui y trouve des températures favorables à son développement et une protection au sein du biofilm et des protozoaires. De surcroît, le réseau d'eau chaude sanitaire entraîne l'exposition de ses usagers par le biais des douches essentiellement. En conséquence, la dernière circulaire de la DGS n°2002-243 demande aux gestionnaires des établissements de soin la mise en place d'un plan d'action en sept points pour la fin de l'année 2002. Ce plan vise à la gestion du risque légionelle dans des établissements où la fragilité de nombre des usagers vis-à-vis du risque lié aux légionelles ne permet pas le plus souvent la moindre contamination du réseau.

Le contrôle et la surveillance des réseaux d'eau chaude sanitaire s'avèrent alors fondamentaux pour mener une gestion des risques efficace. Leurs missions résident dans l'acquisition, la conservation, l'évolution et la diffusion de l'information auxquelles s'ajoute un rôle d'aide à la décision. Pour ce faire, le suivi de la contamination du réseau doit être mis en place. Parallèlement, il faut s'assurer de la détection précoce des cas de légionellose. Enfin, le carnet sanitaire se présente comme un outil essentiel où sont consignées les données primaires du réseau ainsi que l'historique de son fonctionnement. Il serait aujourd'hui intéressant d'appliquer une démarche de type HACCP au réseau d'ECS à l'image des travaux engagés sur les réseaux d'adduction d'eau potable. En additionnant d'autres actions pertinentes telles que l'identification et la surveillance des personnes sensibles à celles précédemment citées, on obtiendrait un ensemble cohérent et structuré, exprimé dans un langage commun aux divers intervenants de la lutte contre la légionelle.

Les traitements chimiques des réseaux d'ECS font également l'objet d'une grande attention pour la maîtrise du risque liés aux légionelles. L'étude de ces procédés sur la base des caractéristiques attendues d'un biocide et au travers des installations et coûts nécessaires a aussi été l'objet de mon travail de fin d'étude. Les données utilisées provenaient essentiellement de la littérature, de l'expérience de la société Lyonnaise des eaux France et des travaux menés par le CIRSEE, centre de recherche, sur des pilotes de réseau d'eau chaude sanitaire. Les traitements continus des ECS sont soumis aux fortes contraintes du respect des normes de potabilité et de l'agrément auprès des autorités sanitaires compétentes. Aujourd'hui, le traitement à l'eau de javel sous forme de choc ou en continu est le procédé le plus utilisé mais de nombreux autres se développent. Ces procédés ne sont pas des solutions miracles et nécessitent au préalable une connaissance parfaite et une gestion rigoureuse du réseau. En outre, leur usage est l'objet de nombreuses discussions essentiellement quant à la dégradation du réseau qu'ils entraînent et à leur compatibilité avec la gestion thermique, pratique présentée comme fondamentale par les autorités sanitaires. Leur application demande dans tous les cas une étude préalable du réseau pour retenir le procédé le plus adapté compte-tenu d'éléments tels que le mode de production d'eau chaude, la nature des matériaux qui composent le réseau ou encore la vétusté de l'installation.

A b s t r a c t

Legionella are primarily present in great quantities in domestic hot water networks and in air cooling towers which can support both their proliferation and their dissemination. During my training course I approached the Legionella in domestic hot water networks problem. Two topics were the subject of my thinking :

- (a) a strategy for control and monitoring of risks related to Legionella in public buildings, and
- (b) continuous treatment processes for domestic hot water networks.

A strategy for control and monitoring must be included in any coherent and reasoned approach to Legionella risk management. It can be divided into four topics which are acquisition of the information, conservation and evolution of the information, diffusion and exchange of the information and a decision-making aid. The essential pillars of this approach are the rigorous follow-up of both cases of network contamination and outbreaks of legionellosis as well as the inception of a "Network Life Notebook". In the future the integration of these pillars with other significant actions in a HACCP methodology should give coherence and effectiveness to the entire strategy of control and monitoring.

The treatment processes to fight against Legionella were approached through a combined technical and economic study. They constitute a field where the practices remain experimental. They are very often badly carried out because of the lack of experience on this matter in France and because of incomplete knowledge. The market for continuous treatment of domestic hot water is strongly growing but the practices are generally designed in haste and eventually do not give good results. They requires, as an essential preliminary, a perfect knowledge and a rigorous management of the network. Their application today leads to discussions about their real effectiveness and the damage they can cause to the networks.

Sommaire

LISTE DES SIGLES UTILISÉS & LISTE DES FIGURES	5
INTRODUCTION	6
I. CONTEXTE	7
A. LA LÉGIONELLOSE	7
1. LA MALADIE.	7
2. RÉGLEMENTATION.	8
B. LE RÉSEAU D'EAU CHAUDE SANITAIRE.	11
1. PRODUCTION DE L'EAU CHAUDE.	11
2. CIRCUITS DE DISTRIBUTION DE L'EAU CHAUDE SANITAIRE.	12
3. PRESCRIPTIONS ESSENTIELLES.	13
C. LA LÉGIONELLE DANS LES EAUX CHAUDES SANITAIRES.	14
1. ECOLOGIE DE LA LÉGIONELLE.	14
2. CONTAMINATION DES RÉSEAUX.	18
<u>II. STRATÉGIE DE CONTRÔLE ET DE SURVEILLANCE DU RISQUE LIÉ AUX LÉGIONELLES.</u>	<u>21</u>
A. RÔLE ET PLACE DU CONTRÔLE ET DE LA SURVEILLANCE.	21
1. ÉLÉMENTS D'UNE DÉMARCHE STRUCTURÉE DE GESTION DU RISQUE LÉGIONELLE.	21
2. RÔLE DE LA SURVEILLANCE ET DU CONTRÔLE DANS LA GESTION DU RISQUE LÉGIONELLE.	26
B. ELABORER UNE STRATÉGIE DE CONTRÔLE ET DE SURVEILLANCE.	29
1. SUIVRE LA CONTAMINATION DU RÉSEAU.	29
2. METTRE EN PLACE LE CARNET SANITAIRE.	32
3. AUTRES ACTIONS ESSENTIELLES.	33
4. OUVERTURE SUR LA MÉTHODE HACCP.	36
<u>III. ETUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES PROCÉDÉS DE LUTTE.</u>	<u>38</u>
A. MÉTHODE DE RÉALISATION DE L'ÉTUDE.	38
1. DÉFINITION DES CRITÈRES DE COMPARAISON DES CAPACITÉS DES DIVERS BIOCIDES.	38
2. RECUEIL DES DONNÉES.	40
3. CALCUL DES COÛTS.	42
B. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES QUANT À L'EMPLOI D'UN BIOCIDÉ TIRÉES DE L'ÉTUDE.	42
1. INSERTION DANS LA DÉMARCHE STRUCTURÉE DE GESTION DES RISQUES.	42
2. LE TRAITEMENT CONTINU N'EST PAS UNE SOLUTION MIRACLE.	44
3. PROBLÈMES LIÉS À L'EMPLOI D'UN TRAITEMENT CONTINU.	45
C. EXEMPLE D'ÉTUDE D'UN PROCÉDÉ : LE TRAITEMENT CONTINU À L'EAU DE JAVEL.	46
1. PRÉSENTATION DE L'EAU DE JAVEL.	46
2. LA DÉSINFECTION CONTINUE DES RÉSEAUX D'ECS À L'EAU DE JAVEL.	50
3. BILAN.	56
CONCLUSION	57
BIBLIOGRAPHIE	58
LISTE DES ANNEXES	61

Liste des sigles utilisés

ECS	Eau Chaude sanitaire
CIRSEE	Centre International de Recherche sur l'Eau et l'Environnement
LEF	Lyonnaise des Eaux France
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
InVS	Institut de Veille Sanitaire
DTU	Document Technique Unifié
SRIPS	Service des Recherches et d'Ingénierie en Protection Sanitaire
DTS	Diagnostic technique sanitaire
ERP	Etablissement recevant du public
DGS	Direction Générale de la Santé
CSHPF	Comité Supérieur d'Hygiène Public de France

Liste des figures

Figure 1 : <i>Legionella</i> observées au microscope électronique	p.14
Figure 2 : comportement des légionelles en fonction de la température.	p.15
Figure 3 : exemple de démarche simplifiée de gestion du risque lié aux légionelles.	p.25
Figure 4 : schématisation de l'évolution continue attendue de la stratégie de contrôle et de surveillance.	p.27
Figure 5 : missions du contrôle et de la surveillance.	p.28
Figure 6 : caractéristiques du biocide idéal.	p.40
Figure 7 : réseau pilote du CIRSEE en cours de construction.	p.41
Figure 8 : procédés de lutte contre la légionelle dans les réseaux d'ECS.	p.43
Figure 9 : courbe de répartition du chlore en fonction du pH.	p.48
Figure 10 : avantages et inconvénients du traitement continu à l'eau de javel.	p.56

Introduction

« [...] la légionellose n'a pas fini de faire parler d'elle ». C'est par cette constatation que Jean-Claude DESENCLOS, responsable du département des maladies infectieuses à l'InVS, conclut l'éditorial du Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire n°30-31 consacré à la légionelle. Difficile de lui donner tort après un début d'année secoué par de nombreux cas groupés de légionellose à Sarlat, Meaux ou encore Nice et au vu des données épidémiologiques de l'année 2001 ? La légionelle, agent bactérien responsable de la légionellose affole les gestionnaires d'établissement recevant du public, et en particulier d'établissements de soin, qui cherchent à se prémunir contre cette maladie dont la létalité atteint 20 %¹. Si depuis 5 ans, la réglementation s'est étoffée au travers principalement de 3 circulaires dont la dernière est parue au mois d'avril 2002, les questions restent nombreuses, les préconisations éparses et les solutions techniques à éprouver.

Les légionelles sont essentiellement présentes dans les réseaux d'eau chaude sanitaire et les tours aéro-réfrigérantes qui favorisent leur prolifération et leur dissémination. A l'occasion de mon stage de fin d'étude pour la formation des ingénieurs du génie sanitaire, réalisé au sein de la société Lyonnaise des eaux France, j'ai pu approché la complexité du problème légionelle dans les eaux chaudes sanitaires. Deux thèmes ont ainsi été soumis à ma réflexion : d'une part, la stratégie de contrôle et de surveillance du risque lié aux légionelles dans les établissements recevant du public et d'autre part les procédés de traitement continu des réseaux d'eau chaude sanitaire. La stratégie de contrôle et de surveillance s'inscrit dans une démarche cohérente et raisonnée de gestion du risque légionelle. Mes objectifs sur ce sujet étaient de définir les attentes du contrôle et de la surveillance afin de formuler les moyens à mettre œuvre pour y répondre. Les procédés de lutte contre la légionelle quant à eux ont été abordés au travers d'une étude technico-économique. Cette étude s'inscrit dans le cadre de la rédaction d'un document d'appui aux divers centres régionaux et agences de la société Lyonnaise des eaux France, filiale du groupe SUEZ, qui entame son développement dans les activités de diagnostic et de préconisations de solutions techniques pour les réseaux d'ECS. Pour poursuivre cet effort, la réalisation d'un document d'appui basé sur les données de la littérature, les expérimentations de son centre de recherche et ses premières expériences fournit à LEF des solutions raisonnées et cohérentes dans un domaine où les pratiques restent expérimentales et sont bien souvent maladroitement menées.

Le présent rapport resitue dans un premier temps le contexte de la lutte contre la légionelle dans les réseaux d'eau chaude sanitaire au travers d'une synthèse des éléments essentiels relatifs à la structure des réseaux d'ECS et à l'écologie des légionelles dans ces réseaux. Par la suite, la stratégie de contrôle et de surveillance proprement dite est décortiquée avec présentation de ses objectifs et la proposition d'outils à employer pour la mener à bien. Enfin, la méthodologie employée pour l'étude technico-économique des procédés de lutte est présentée avant d'en résumer les conclusions de portée générale à tous les procédés et de terminer sur l'exemple du traitement chimique continu à l'eau de javel.

¹ Données 2001

I. CONTEXTE

A. La légionellose.

1. La maladie.

a) Tableaux cliniques.

La légionellose est provoquée par l'inhalation d'aérosols d'eau contaminés par des légionelles pathogènes. Il n'y a pas de transmission inter-humaine rapportée et d'autres modes de transmission sont possibles mais n'ont pas été prouvés à l'image de la contamination par ingestion. On distingue **2 tableaux cliniques distincts** tous deux initialement caractérisés par une asthénie, une fièvre élevée (40 °C), des myalgies et des céphalées :

- ❑ La **maladie des légionnaires** (durée d'incubation de 2 à 10 jours) débute par une toux initiale non-productive puis entraîne une pneumonie aiguë grave (expectoration mucoïde parfois hémoptoïque). Cette maladie sévère peut entraîner le décès si elle n'est pas diagnostiquée précocement.
- ❑ La **fièvre de Pontiac** (durée d'incubation 5 heures à 3 jours), quant à elle, a une allure de syndrome grippal et ne s'accompagne pas de pneumonie. La guérison est habituellement spontanée en 2 à 5 jours.

Le diagnostic biologique s'effectue par culture sur milieu spécifique BCYEa, immunofluorescence directe, détection d'antigènes solubles, sérologie ou par amplification génomique (PCR). Il n'existe pas de marqueur de la pathogénicité des souches.

b) Données épidémiologiques.

Pour l'année 2001, 807 fiches de déclaration obligatoire correspondant aux critères de déclaration ont été enregistrées à l'InVS^[43]. Pour cette même année, en France métropolitaine, **l'incidence a été de 1.35 cas pour 100 000 et la létalité d'environ 20 %**. La létalité peut atteindre 40 % chez les malades hospitalisés et plus chez les immunodéprimés. On estime à 1 200 le nombre de cas effectivement diagnostiqués et à environ 3 000 le nombre réel de cas. Les légionelloses d'origine nosocomiale représente 13 % des cas en 2001 ce qui est un recul - statistiquement significatif - par rapport à l'année 2 000 (20%) laissant supposer un effet positif des mesures de prévention mises en œuvre dans les établissements de soin depuis 1997. La majeure partie des cas sont déclarés entre juin et octobre. La contraction de la maladie est favorisée par des facteurs tels que l'âge croissant, l'immunodéficience, le diabète, le sexe masculin, le tabagisme et l'alcool, les affections respiratoires chroniques et les usages de l'eau à risques.

Les lieux de contamination recensés sont les hôpitaux, les hôtels et campings, les établissements thermaux, les maisons médicalisées et les maisons de retraite. La plupart des cas sont sporadiques et d'origine communautaire. Dans la littérature, il est également mentionné des contaminations dans les commerces, sur des bateaux de croisière, sur le lieu de travail ou encore à

l'extérieur près des sources libérant des aérosols infestés (ex : quartier de l'Opéra à Paris, 1998). Les sources de contamination identifiées sont les installations provoquant la multiplication de *Legionella* dans l'eau et une aérosolisation, à savoir :

- les circuits d'eau chaude sanitaire alimentant les douches
- les systèmes de climatisation
- les équipements médicaux pour traitements respiratoires par aérosols
- les bassins dans lesquels l'eau est chaude et agitée
- les eaux thermales
- les fontaines décoratives.

Les circuits d'eau chaude sanitaire qui nous intéressent ici constituent la source de contamination la plus souvent incriminée.

c) Une évaluation des risques partielle.

De nombreuses incertitudes rendent difficile l'évaluation des risques. L'approche de la notion d'exposition pose tout particulièrement de nombreuses questions sur la variabilité de la sensibilité des personnes, la proximité aux installations et la durée d'exposition, la concentration bactérienne dans les aérosols et sa relation avec la dose inhalée, la taille des particules aérosolisées et le pouvoir pathogène des souches². Il n'a en outre pas été déterminé à ce jour de relation dose-effet ou dose-réponse. La détermination d'une relation dose-effet et dose-réponse peut se faire sur la base d'extrapolation à partir de fortes doses administrées chez l'animal. Mais elle dépend aussi de la pathogénicité des souches, de l'état immunitaire de la personne et de la taille des gouttelettes d'aérosol formées qui s'introduisent plus ou moins profondément, suivant leur taille, des bronches vers les alvéoles. De même, il n'y a pas de relation établie entre la dose inhalée et la concentration du milieu. Pratiquement, ce qui nous intéresse est une relation entre la concentration dans l'eau du réseau et la contamination des individus. **Seule une meilleure connaissance de la composition des aérosols, de leur dispersion et des conditions de contamination humaine permettront d'évaluer réellement les situations à risques.**

2. Réglementation.

Les pouvoirs publics français luttent contre la légionelle au travers de la surveillance épidémiologique et des actions préventives.

a) Surveillance

La légionellose est une **maladie à déclaration obligatoire depuis 1987**. Les médecins de ville et les comités de lutte contre les infections nosocomiales (CLIN) ont en charge cette déclaration faite auprès de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) qui la relaye à

² Pas de marqueur de la pathogénicité des souches.

l'institut de veille sanitaire (InVS). Le Centre National de Référence (CNR) des légionelles réalise l'expertise biologique des souches et des sérums. L'ensemble du réseau français travaille en collaboration avec le réseau européen EWGLI (European Working Group for Legionella Infection) qui s'intéresse plus particulièrement aux cas de légionellose acquise au cours d'un voyage.

Le faible nombre de cas déclarés a incité les autorités à renforcer le dispositif de surveillance épidémiologique. La circulaire de la Direction Générale de la Santé (DGS) n°97/311 va dans ce sens. **Depuis 1997, le nombre de cas déclarés ne cesse d'augmenter** avec une variation moyenne annuelle de + 32 % et la mise en évidence de cas groupés est plus fréquente. Toutefois, l'origine exacte de la contamination reste la plupart du temps difficilement identifiable, la souche du malade n'étant isolée que dans 20 à 30 % des cas et les enquêtes environnementales n'étant engagées que lors de cas groupés avérés.

b) Prévention.

La circulaire n° 97/311 du 24 avril 1997 de la DGS relative à la surveillance et à la prévention de la légionellose avait pour objectifs de préciser le diagnostic et la déclaration des cas, de présenter l'investigation à mener lors de la déclaration de cas et de fournir des fiches techniques sur les mesures de lutte et de prévention pour les réseaux d'eau chaude sanitaire, les systèmes de climatisation et les tours aéro-réfrigérantes, les bains à remous et les bains à jets, et les dispositifs de traitement respiratoire.

La circulaire n° 98/771 du 31 décembre 1998 de la DGS relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les installations à risque fait suite à l'épidémie parisienne du mois de juillet 1998 qui a touché 20 passants dans le quartier de l'Opéra et entraîné le décès de 4 personnes ainsi qu'à des cas de légionellose enregistrés en milieu hospitalier. Cette circulaire rappelle aux gestionnaires d'établissements de santé qu'il est de leur responsabilité de vérifier et de garantir la qualité de l'eau aux points d'usage, d'assurer un entretien régulier du réseau intérieur de distribution d'eau, de mettre en œuvre une auto-surveillance de la qualité de l'eau et de formaliser les procédures d'utilisation de l'eau. Cette même circulaire demande aux gestionnaires d'établissements recevant du public (hôtels, maisons de retraite non médicalisées, centres d'hébergement, complexes sportifs, campings, bains à remous et bains à jets,...) de faire un inventaire des installations à risque, d'en assurer le bon entretien et d'évaluer la qualité de cet entretien au travers d'analyses de légionelles réalisées au moins une fois par an.

La circulaire n°2002-243 du 22 avril 2002 de la DGS relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé est la dernière parue. Elle reprend largement sous forme de fiches les préconisations rendues par le CSHPF dans son document intitulé « Gestion du risque lié aux légionelles » et paru en novembre 2001. Cette circulaire incite surtout les établissements de santé à la définition d'un plan d'action en 7 points pour le 31 décembre 2002.

A cette réglementation de portée générale s'ajoute une réglementation sur les tours aéro-réfrigérantes, les établissements thermaux ou la protection des travailleurs. Des guides de bonnes pratiques sont à disposition des gestionnaires d'établissement et **le CSHPF a publié un guide de**

« **Gestion du risque lié aux légionelles** » en novembre 2001. En outre, dans le cadre de la lutte contre la légionelle, il faut s'intéresser aux réglementations concernant :

- les traitements des eaux destinées à la consommation humaine
- les matériaux utilisés dans les installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine
- la température de l'eau chaude sanitaire.

c) Evolution réglementaire.

☐ Au niveau national.

La nécessité d'un **décret cadre renforçant les prescriptions réglementaires** notamment d'entretien et de contrôle est soulignée dans le document de novembre 2001 du CSHPF. A la suite de quoi, des arrêtés thématiques seraient publiés dont deux seraient envisageables pour limiter la prolifération des germes dans les réseaux d'eaux chaudes sanitaires : le premier relatif à la température de l'eau chaude³ et le deuxième relatif aux règles d'hygiène dans les installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine. Ces prescriptions devraient être accompagnées de circulaires explicatives et appliquées aux bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public et comportant des douches.

☐ Exemple de l'Ille et Vilaine.

L'Ille et Vilaine s'est d'hors et déjà dotée d'une réglementation forte par arrêtés préfectoraux et un plan d'action a été mis en place. Ce plan intègre notamment :

- des mesures de prévention et d'information ;
- des mesures opérationnelles portant sur les installations à risques ;
- des mesures de contrôle et d'évaluation.

Ces mesures se traduisent au niveau des réseaux d'eau chaude sanitaire par l'obligation pour les ERP de réaliser une évaluation des risques et de définir si nécessaire les mesures de prévention adaptées. De plus, chaque semestre au moins, une analyse portant sur *Legionella* doit être réalisée à l'un des points critiques du réseau si les conditions d'exploitation ne permettent pas d'assurer l'absence de risque de *Legionella*. Une note d'information sur les mesures de prévention mises en œuvre par l'établissement doit être affichée à la vue des usagers des douches et un dossier relatif à l'ensemble des mesures de prévention doit être tenu à jour. Enfin, au cas où des analyses montreraient une concentration supérieure à 1000 UFC/L, le maire devra en être averti.

La poursuite des efforts d'amélioration de la surveillance épidémiologique des cas et de la recherche des causes de contamination est encouragée. Les contrôles par les services de l'Etat sont renforcés et les mairies seront alertées si un établissement ne respecte pas les nouvelles dispositions.

³ Sa parution est annoncée pour l'automne 2002.

Les informations relatives à la prévention de la légionellose sont diffusées sur le site Internet de la préfecture et des réunions d'informations sont organisées.

B. Le réseau d'eau chaude sanitaire.

Dans un bâtiment, après compteur, l'eau arrive dans le réseau dit nourricier qui alimente à son tour trois réseaux classés de 1 à 3^[11]. Le réseau de type 1 englobe tous les réseaux desservant des postes ou installations destinés à des usages sanitaires ou alimentaires dans les lieux privés ou publics pour la boisson, la préparation des aliments, le lavage des récipients destinés à contenir des boissons ou des aliments, pour la toilette, pour le lavage de linge de table, de corps, de couchage pour les cabinets d'aisance. Ce réseau comprend des postes de transformation de l'eau tels que : surpression, production d'eau chaude, traitement d'eau. Le réseau d'eau chaude sanitaire appartient donc au réseau de type 1. Le réseau de type 2 dessert les postes ou installations techniques et celui de type 3, les installations destinées à des usages professionnels ou de sécurité.

Le réseau d'eau chaude sanitaire peut être décomposé en trois sous-ensembles que sont :

- la production d'eau chaude sanitaire
- le circuit de distribution
- les points de puisage

1. Production de l'eau chaude.

La production d'eau chaude se fait en France selon 3 systèmes :

- Par accumulation
- En production instantanée.
- Par semi-accumulation ou en production semi-instantanée

a) Production par accumulation.

La **production par accumulation** est la plus répandue. L'ECS est produite puis stockée en vue d'une utilisation ultérieure. L'organe de chauffe est une résistance électrique ou un échangeur sous forme tubulaire contenant un fluide dit primaire. Les ballons peuvent être de type vertical ou horizontal. Dans le ballon, des zones de températures différentes sont observées : une zone « froide », une zone « tiède » et une zone « chaude ». Si pour les ballons individuels le volume d'eau « froide » est restreint, il peut atteindre de 10 à 20 % de la capacité des accumulateurs dans les installations collectives. Dès lors, on a un volume important d'eau tiède, de température inférieure à celle voulue pour la production et qui ne sera pas forcément distribuée ou seulement lors des forts soutirages.

b) Production instantanée.

La **production instantanée** utilise des énergies de type électrique ou combustible. La puissance appelée est importante et calculée en fonction de l'importance des débits de soutirage et de l'élévation de température souhaitée. Pour une élévation de température équivalente, ce mode de production se révélera plus coûteux par rapport à la production par accumulation. De ce fait, l'eau chaude est bien souvent à une température inférieure à celle délivrée dans le cas d'une production par accumulation.

c) Production semi-instantanée.

La **production par semi-accumulation** ou semi-instantanée couple comme son nom l'indique une production instantanée avec un ballon de stockage. Les pointes de consommation sont ainsi écrêtées lors des puisages importants ce qui permet d'avoir une eau plus chaude qu'avec une production instantanée et évite la distribution, observée pour la production par accumulation, d'eau ayant stagnée à des températures moyennes dans le ballon. En outre, la puissance appelée est réduite par rapport au système instantané. Il s'agit d'une solution intermédiaire performante.

2. Circuits de distribution de l'eau chaude sanitaire.

a) Traçage ou bouclage.

Pour maintenir la température de l'ECS à la valeur souhaitée en tout point du circuit, on dispose de deux méthodes que sont le bouclage et le traçage.

Le **traçage** consiste dans la pose de rubans chauffants le long des canalisations. Les rubans viennent en complément du système de production d'eau chaude central. L'idée est de compenser les pertes thermiques observées dans le réseau par ce cordon dont la consommation électrique serait alors réduite. Des fabricants proposent ainsi des rubans capables d'assurer une température défavorable aux *Legionella* y compris dans les portions du réseau isolées desservant les points de soutirage éloignés. En outre, si nécessaire, on peut par ce moyen élever la température de l'eau dans les canalisations à 70-75°C durant quelques minutes pour réaliser une sorte de choc thermique. Ces cordons doivent être mis en place dès la réalisation du réseau. L'ajout d'un cordon chauffant sur un réseau existant peut amener des problèmes de mise en œuvre et par suite de fiabilité. Cette configuration présente aussi l'inconvénient de ne pas être compatible avec un procédé de traitement anti-corrosion (qui nécessite un circuit bouclé à circulation continue).

Le **bouclage** quant à lui permet le maintien en température de l'eau par une recirculation permanente vers le système de production ou bien un réchauffeur. Ces installations comportent :

- une canalisation dite "aller" au départ de la production d'eau chaude
- une canalisation dite "retour" qui ramène l'eau vers le système de production d'eau chaude.

S'il n'y a pas de puisage, l'installation est similaire à celle de radiateurs. Une colonne verticale se compose d'une canalisation d'alimentation qui dessert à chaque niveau les antennes horizontales où sont raccordés les robinets de puisage et d'une canalisation de retour équipée d'un robinet

d'équilibrage. Un apport permanent de calories compense les pertes thermiques. Une pompe assure un débit permanent réparti dans chaque boucle pour maintenir les colonnes en température. Les parties privatives des réseaux (antennes) ne sont pas en recirculation.

b) Types de réseau d'eau chaude.

Il est intéressant de définir les réseaux d'eau chaude types qui peuvent être rencontrés. Toutefois dans la pratique, on se retrouve confronté à des réseaux très divers et presque tous originaux par certains points de leur conception. Les réseaux présentés à l'annexe n°1 sont des « standards » mais peuvent être déclinés de bien des manières. Signalons néanmoins que les installations de distribution d'eau chaude sanitaire sont en général bouclées, que pour ce qui est des matériaux, la configuration la plus courante consiste en un raccordement d'antennes en cuivre sur un circuit bouclé en acier galvanisé et que la production d'eau chaude par accumulation est le procédé le plus fréquemment rencontré.

3. Prescriptions essentielles.

Deux grands principes régissent la réalisation et la gestion d'un réseau d'ECS :

- l'eau chaude sanitaire est une eau qui doit respecter la qualité exigée pour les eaux destinées à la consommation humaine.
- si nécessaire, le traitement de l'eau chaude sanitaire est autorisé à condition de satisfaire aux exigences de la réglementation en vigueur.

a) Conception et réalisation.

La conception et la réalisation des réseaux d'eau chaude sanitaire sont commandées par un ensemble de règles techniques définies au travers des **documents techniques unifiés**⁴ (DTU) consacrés. A cela s'ajoute deux guides techniques, l'un relatif à la protection sanitaire des réseaux de distribution d'eau destinée à la consommation humaine (n°1) et le second relatif à la qualité des installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine à l'intérieur des bâtiments (n°1 bis). Il existe de plus des règles d'hygiène applicables aux installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine édictées par le SRIPS.

b) Température de l'eau.

La température réglementaire de l'eau chaude sanitaire est définie par l'article 36 de l'arrêté du 23 Juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou locaux recevant du public : « la température de l'ECS ne doit pas dépasser 60° C au point de puisage ». Une température excessive présente un

⁴ DTU 60.1, 60.11, 65.3, 65.9, 65.10 et 60.5

danger pour l'utilisateur et une température de 50 °C maximum est recommandée aux points de puisage quand la température optimale de l'eau en sortie de production préconisée afin de limiter les risques de prolifération microbienne est de 60 °C. Cette notion de température est donc aujourd'hui problématique avec la volonté d'une part d'éviter les brûlures et de réduire la corrosion et l'entartrage et d'autre part la nécessité d'une température de 60 °C à la production et supérieure à 50 °C en tout point du réseau dans le cadre de la lutte contre la légionelle (circulaire du 22 avril 2002).

La loi du 23 juin 1978 va être reprise au travers d'un prochain arrêté imposant à tous les établissements recevant du public, une température au point de puisage de 50°C maximum avec l'obligation que l'eau distribuée ait été portée à plus de 60 °C pendant au moins 1 heure au cours des 24 heures précédent le sous-tirage.

C. La légionelle dans les eaux chaudes sanitaires.

La détermination des facteurs de croissance et de développement des légionelles dans le milieu aquatique et en particulier dans les réseaux d'eau chaude sanitaire peut aider à la formulation de procédés pratiques pour l'élimination ou la prévention de la colonisation des réseaux d'eau par la légionelle. En outre, ces connaissances permettent de définir des critères pertinents pour l'appréciation de l'action des procédés de lutte disponibles actuellement.

1. Ecologie de la légionelle.

a) Généralités.

❑ Espèces et sérogroupes.

Legionella est une bactérie thermophile de l'eau et de la terre que l'on retrouve essentiellement à l'état naturel dans les lacs, les rivières et les sols humides. Elles représentent moins de 1 % de la population bactérienne totale.

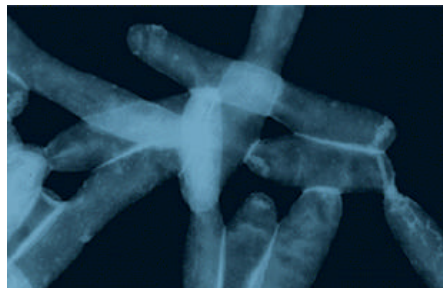


Figure 3 : *Legionella* observées au microscope électronique

Les légionelles sont des bactéries saprophytes, gram-négatives et aérobies. Elles ont la forme de bâtonnets et mesurent de 0.5 à 2 µm. Des flagelles latéraux ou polaires assurent leur mobilité. La

croissance de ce microorganisme est beaucoup plus lente que pour la plupart des bactéries identifiées dans les eaux de surface. Son temps de doublement est estimé à 4 heures (contre 20 minutes pour *E. Coli* par exemple). La légionelle a en outre besoin pour se développer de nutriments et de minéraux.

Le terme de *Legionella* regroupe en fait 3 genres (*Legionella*, *Tatlockia* et *Fluoribacter*) qu'aucun marqueur phénotypique ne permet de distinguer. Chaque espèce de *Legionella* est divisée en sous-catégories appelées sérogroupes. On dénombre 43 espèces et 64 sérogroupes. *Legionella pneumophila* est l'espèce la plus souvent impliquée en pathologie humaine avec en particulier les sérogroupes 1 et 6 sont considérés comme les plus dangereux.

❑ Conditions de développement.

Température.

La température optimale de croissance des légionelles est comprise entre 25 et 37 °C avec un optimum à 37 °C. Elles survivent en deçà de 25 °C et se multiplient jusqu'à 43 °C. A partir de 50 °C, ces micro-organismes sont en théorie détruits. Cette destruction intervient dans un temps très court au delà de 60 °C.

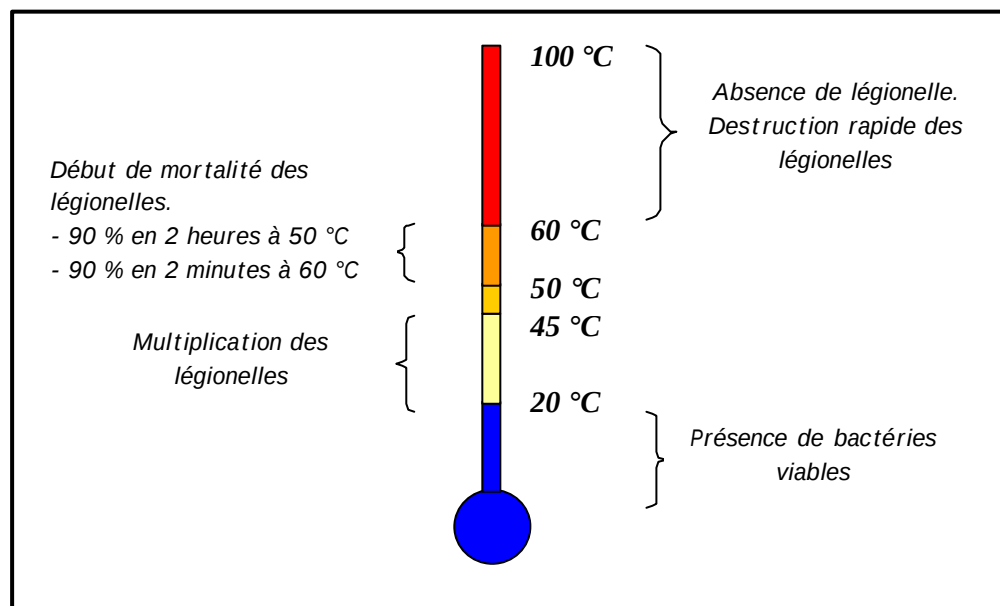


Figure 4 : comportement des légionelles en fonction de la température.

On notera d'autre part que la virulence des légionelles envers l'Homme et les protozoaires semble modulée par leur température de croissance. Mauchline et al., 1994^[37] ont ainsi montré une réduction significative de la virulence de *L. pneumophila* quand la température est abaissée de 37 à 24 °C, phénomène réversible par un retour à 37 °C.

pH.

Legionella se multiplie à des pH compris entre 5.5 et 9.2 ^[9]. Dans les eaux douces, *Legionella pneumophila* a été retrouvée à des pH entre 5.4 et 8.1. En deçà de 5.5 et au dessus de 9.2, elles survivent jusqu'à des pH de 2.3 et 9.5.

Oxygène dissous.

La multiplication de la légionelle est impossible dans une eau dont le taux d'oxygène dissous est inférieur à 2.2 mg/l mais elle peut y survivre. Ainsi, dans le milieu naturel, on a retrouvé des légionelles dans des eaux dont la teneur en oxygène dissous était de 0.3 mg/l.

b) Influence du biofilm.

Une contamination légère et aléatoire de l'eau alimentant une boucle de circulation d'un réseau ne peut expliquer une présence, parfois massive de légionelles dans l'eau chaude distribuée. Le temps de résidence de l'eau dans la boucle est le plus souvent trop faible, pour expliquer une croissance de plusieurs logs du nombre de légionelles. Dans les faits, on retrouve une situation bien connue dans les réseaux d'eau potable : il se forme sur l'intérieur des canalisations un biofilm dont la présence semble fortement liée à la multiplication des légionelles.

☐ Croissance du biofilm.

Le biofilm est une matrice complexe de composés minéraux et organiques qui se forme à la surface d'un support en contact avec l'eau. Son épaisseur varie de quelques microns à quelques millimètres suivant son âge et les caractéristiques physico-chimiques et hydrauliques (nombre de Reynolds) de l'eau adjacente.

Selon COSTERTON et coll. (Microbiol. biofilms, Ann. Rev. Microbiol, 49, 711-745, 1995) et repris par Y. LEVI (TSM, 11 34-37 1999) il faut pour que le biofilm s'installe, survive et se développe :

- Un " support acceptable ". Tous les supports vivants ou inertes sont susceptibles de supporter des biofilms et donc par conséquent, tous les matériaux classiques utilisés dans les réseaux d'eau chaude sanitaire. La nature du support influe sur le développement plus par sa nature chimique que par les caractéristiques physiques de sa surface.
- Des " conditions physico-chimiques acceptables ". Elles existent souvent dans un circuit d'ECS.
- Des éléments nutritifs.
- Un comportement hydraulique de l'eau avec :
 - un écoulement turbulent ou non ; ce que l'on peut apprécier au travers du nombre de Reynolds.
 - l'existence d'une couche limite⁵ importante ou non dans les canalisations.

⁵ La couche limite est une zone, au contact avec les matériaux, particules solides ou liquides (huile...) qui est relativement peu perturbée par le fluide en circulation.

Au sein du biofilm, il s'instaure une hiérarchisation et une diversité de populations bactériennes avec des organismes hétérotrophes et autotrophes assurant une exploitation optimale des ressources présentes. Ainsi, lorsque l'équilibre du biofilm est atteint, son maintien et son renouvellement ne semble plus dépendre que du facteur hydraulique avec un affranchissement de l'influence du support et de l'apport de nutriment.

❑ Biofilm et contamination d'un réseau.

Les légionelles colonisent les réseaux sous forme planctonique (bactérie libre) ou dans le biofilm qui se forme à la surface interne des canalisations. Ce biofilm les protège des conditions environnementales défavorables. En outre, *Legionella* y rencontre une flore accompagnatrice utile à son développement^[2]. Le biofilm joue alors un rôle nourricier et protecteur. Ainsi, dans les milieux où elle manque des nutriments, la légionelle se développe autour d'autres bactéries aquatiques communes (*Flavobacterium* ou *Pseudomonas*...) ^[10]. Elle utilise leurs acides aminés comme source de carbone et d'énergie (Tesh and Miller suggèrent que *L. pneumophila* peut couvrir l'ensemble de ses besoins en carbone et en énergie avec 9 acides aminés.) et dispose pour ce faire d'enzymes protéolytiques extracellulaires qui lui permettent d'utiliser les acides aminés relargués par les bactéries mortes (particulièrement vrai à plus de 42 °C). D'autre part, les variations brutales de flux hydrauliques conduisent à des phénomènes de décrochage des biomasses fixées, d'aspiration ou de remise en suspension de dépôts. Le nombre de Reynolds utilisé pour caractériser les formes d'écoulement indique lorsqu'il dépasse la valeur de 4 000 un écoulement turbulent susceptible d'arracher la biomasse et de libérer ainsi les bactéries. Les bactéries et le biofilm disséminés pourront recoloniser d'autres sites ou êtres distribués avec l'eau aux points d'usage. Enfin, la présence du biofilm et les effets protecteurs de la flore bactérienne qui lui sont associés expliquent en partie pourquoi une élévation de température ou une désinfection n'éradiquent pas forcément les légionelles dans un réseau.

La suppression totale du biofilm est illusoire sauf peut-être dans les systèmes particuliers et coûteux d'eau stérile. L'enjeu est plutôt de mettre en place des éléments permettant de le maintenir à un niveau de croissance ne générant pas d'inconvénients. Ce niveau est difficile à définir d'autant plus que pour ce qui nous intéresse, des eaux à très faible teneur en éléments nutritifs peuvent voir une prolifération de légionelles. Il apparaît donc comme primordial de bien connaître la structure et le développement du biofilm et de se doter pour se faire d'outils adaptés.

c) Rôle prépondérant des protozoaires.

Les légionelles peuvent avoir un développement intra-cellulaire chez des protozoaires en tant que parasite^[36]. Elles sont ainsi absorbées lors d'un processus appelé phagocytose par certains protozoaires ciliés (*Tetrahymena pyriformis* et *Cyclidium* sp. en particulier) et amibes (essentiellement les genres *Acanthamoeba* et *Hartmannella*) présents dans les eaux froides naturelles. La bactérie se retrouve alors dans une vésicule où elle se multiplie jusqu'à la lyse du corps hôte. Ce mode de parasitisme intra-cellulaire leur permet de se protéger de conditions environnementales défavorables. Certains des eucaryotes parasités peuvent même adopter une forme de résistance à la dessiccation

par kyste ou spore ce qui permet par suite la survie des légionelles parasites à des conditions très défavorables telles que la présence de biocides. *Legionella* aurait aussi des possibilités de croissance associée à des cyano-bactéries et à des algues vertes qui peuvent sous certaines conditions de luminosité produire les nutriments qui lui sont nécessaires. **La présence de protozoaires dans les réseaux d'ECS apparaît ainsi comme un facteur essentiel de leur colonisation par la légionelle**^[36]. Les protozoaires, et tout particulièrement les amibes, transportent les légionelles, accélèrent leur multiplication et assurent leur survie à des conditions environnementales défavorables auxquelles ils sont eux-mêmes moins sensibles.

2. Contamination des réseaux.

a) Niveau de contamination.

Colbourne & al. 1988 ont réalisé une étude dont les résultats supposent la présence de *Legionella* dans 40 % des ouvrages de traitement et 60 % des systèmes de distribution. Des enquêtes écologiques (Desplaces et al. 1984, Nahapetion et al. 1986, Dubrou et al. 1992) réalisées en région parisienne ont montrées que près de 70 % des équipements collectifs de distribution d'eau chaude contenaient des légionelles à des concentrations variant de 50 à 1 millions d'UFC/L. Dans les installations individuelles, les données sont très variables. Par conséquent, il peut être retenu que **plus d'un réseau d'eau chaude sur 2 est contaminé par des légionelles**, reste à savoir à quelles concentrations.

Par ailleurs, une étude ^[6] menée sur la détection et l'identification de *Légionella pneumophila* dans les réseaux d'eau de 7 établissements (6 hôpitaux et 1 école médicale) alimentés par la même eau potable a permis les observations suivantes :

- 2 établissements n'ont jamais relevé de légionelle dans leur réseau quand les 5 autres présentent de 17 à 72 % d'analyses positives pour *L. pneumophila*.
- Les légionelles observées variaient entre les établissements dans leurs sérogroupes et leurs profils de plasmide.

Malgré la source commune d'eau potable et la proximité géographique, la recherche de légionelles a fourni des résultats quantitativement et qualitativement différents suivant les établissements. Les caractéristiques (structure, matériaux, température, etc) de chaque réseau influent donc sur la présence ou non de légionelles et, en cas de présence avérée, sur les espèces de légionelle qui sont identifiées. Il ressort de ces constatations que **chaque réseau est une niche écologique particulière pour la légionelle**.

b) Influence de la nature et de l'état du réseau.

❑ Les matériaux.

Par rapport au biofilm en général.

Les plastiques sont souvent présentés comme les matériaux les plus propices au développement du biofilm. De nombreuses expérimentations iraient dans ce sens. Des travaux menés par les promoteurs des matériaux plastiques (à Nancy) ne montrent eux que des différences de cinétique quant au développement du biofilm. Ainsi, si le biofilm se développe en premier lieu sur les matériaux plastiques, il serait, au bout d'un temps donné et dans des conditions similaires, identique en quantité et qualité quelque soit le matériau envisagé. De la même façon, le cuivre aurait des propriétés bactériostatiques qui permettraient de limiter la prolifération des micro-organismes. Cette constatation, relayée par plusieurs études^{[1],[2]}, serait liée à la structure de surface lisse et sans aspérités du cuivre et au caractère inhibiteur du métabolisme bactérien des ions cuivre (même à faible quantité)

Sur la légionelle en particulier.

Le développement de *L. Pneumophila* est sujet à la nature du matériau constituant le réseau. Des essais de colonisation de bouchons en laiton, cuivre et chlorure de polyvinyle PVC par *Legionella Pneumophila* ont été réalisés à l'aide d'un appareil de Robbins^[1]. L'affinité marquée des légionelles pour les matériaux synthétiques ressort avec un taux de colonisation de 70 % pour le PVC contre 31 % pour le cuivre et 25 % pour le laiton. D'autres études^{[2],[5]} ont montré que les matériaux plastiques, en l'occurrence PVC et polybutylène, sont plus favorables au développement du biofilm en général et donc au développement de *L. pneumophila* en particulier par rapport au cuivre dont les ions seraient inhibiteurs de la croissance bactérienne, au laiton et au verre.

D'autre part, le développement de la légionelle a été observé dans des réseaux d'eau artificiellement enrichis avec des concentrations variables de divers éléments afin d'apporter une vue quantitative aux effets des variations des caractéristiques chimiques de l'eau. Les fortes concentrations d'aluminium, cadmium, cuivre, fer, plomb, manganèse et zinc produisent apparemment des effets toxiques sur la légionelle quant celles du calcium, du magnésium et du potassium ne sont pas préjudiciables^[3]. Des concentrations moyennes de fer et de zinc (0.5 à 1 mg/l) ainsi que les hauts niveaux de potassium (>10 mg/l) sont associés à une augmentation du développement de la légionelle qui peut dans certains cas dépasser 1 log^{[3],[4]}. Les éléments ajoutés artificiellement étaient plutôt dans la phase solide que dans la phase dissoute ce qui n'a apparemment pas empêché la bio-disponibilité envers les micro-organismes.

Finalement, ces résultats suggèrent que le cuivre serait, des 4 matériaux principalement utilisés en ECS, le plus apte à ralentir et limiter la prolifération des légionelles.

❑ L'entartrage.

Dans le cadre de la lutte contre la légionelle, la limitation du tartre revêt une importance toute particulière. En effet, les dépôts incrustants constituent des niches pour la légionelle qui y trouve un

refuge vis-à-vis des montées en température et des biocides ainsi qu'une flore associée propice à sa prolifération (cf. ci-dessus). En outre, les désordres hydrauliques entraînés par l'entartrage favorisent les stagnations et les baisses de température et par conséquent le développement des légionelles.

❑ Le mode production d'eau chaude.

En ce qui concerne l'influence du mode de production d'eau chaude sur la lutte contre la légionelle, on peut ici dire que les modes de production instantanés semblent être les plus recommandables dans la lutte contre la prolifération des légionelles. En effet, l'eau froide entrante est chauffée jusqu'à 90 ou 100 °C sous pression puis mélangée avec de l'eau froide pour atteindre la température de distribution désirée. Ses principaux avantages par rapport à la production par accumulation sont une forte montée en température, un encombrant moindre et surtout l'absence de stagnation dans un ballon. Les volumes de stockage de l'eau chaude ou ballons sont déconseillés sauf s'ils peuvent être mis en recirculation afin d'éviter en leur sein des zones d'eau tiède et/ou stagnante. Ainsi, un système de production d'eau chaude semi-instantané avec un petit ballon en recirculation sur un échangeur à plaque apparaît comme le système le plus efficient dans le cadre de la lutte contre la légionelle.

d) Localisation préférentielle dans les réseaux d'eau chaude sanitaire.

Des éléments présentés précédemment, il ressort que les 3 principaux facteurs de développement des légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire sont :

- une température de l'eau favorable
- la stagnation
- l'encrassement.

Dès lors, on identifie les lieux de prolifération privilégiés des légionelles dans les réseaux suivants :

- les bras morts.
- les ballons d'eau chaude.
- circuits de bouclage défectueux.
- portions de circuit peu utilisées.
- portions de circuit entartrées.
- au sein du biofilm des canalisations.

II. STRATEGIE DE CONTROLE ET DE SURVEILLANCE DU RISQUE LIE AUX LEGIONELLES.

A. Rôle et place du contrôle et de la surveillance.

1. Eléments d'une démarche structurée de gestion du risque légionelle.

a) Introduction.

En milieu hospitalier, la gestion du risque est un processus visant à mettre en œuvre et coordonner les éléments nécessaires à la réduction, à la surveillance et au contrôle d'un risque sur la base de son évaluation et de son analyse. L'objectif de réduction du risque peut être atteint de manière classique au travers d'une action portée sur le danger en lui-même d'une part et sur l'exposition des individus d'autre part. La prévention du danger, en l'occurrence l'agent bactérien légionelle, visera à réduire voire à empêcher la prolifération de ce micro-organisme dans les réseaux d'eau chaude sanitaire. La limitation de l'exposition passera par une identification des personnes sensibles et la réduction voire l'élimination des pratiques et éléments pouvant exposer les individus à la bactérie. Ces démarches de prévention du danger et de limitation de l'exposition avec leurs motivations et leurs lignes directrices sont ici sommairement abordées et critiquées au travers du retour d'expérience de la Lyonnaise des eaux et des éléments de littérature. L'idée n'est pas de reprendre les nombreuses préconisations du CSHPF par exemple mais bien d'exposer les éléments d'une démarche cohérente afin de resituer au mieux par la suite le rôle et la place du contrôle et de la surveillance dans la démarche de gestion du risque légionelle.

b) Prévenir le danger.

❑ Connaître son réseau.

La bonne connaissance du réseau d'eau chaude sanitaire étudié est un préalable indispensable à la prévention du danger. Elle permet d'en identifier les points faibles (cf. réseau avant) et les éléments à modifier. Un réseau bien évalué est un réseau dont on connaît la propension à favoriser le développement des légionelles et dont on sait précisément quelles parties ou éléments influent sur le développement bactérien.

Cette étude du réseau se fait dans le cadre de ce qu'il est aujourd'hui convenu d'appeler un **diagnostic technique sanitaire**. Ce diagnostic vise à déceler les points critiques d'un réseau par rapport au risque lié aux légionelles au travers de trois thèmes que sont :

- 1- la conformation du réseau.
- 2- l'organisation de l'exploitant du réseau.
- 3- le mode de gestion du réseau.

Le diagnostic sanitaire repose dans un premier temps sur une visite et une observation approfondie des installations concernées aussi dénommées **audit**. Cet audit débute bien souvent par un recensement de la structure du réseau dont les plans ne sont pas toujours à jour quant ils ne sont pas inexistantes. Les matériaux constitutifs des canalisations, les éléments de régulation, l'hydraulique générale et les relevés de température en divers points du circuit font partie des données recueillies de même que toutes les informations relatives à la conformation du réseau ou aux facteurs possibles de prolifération des légionelles. L'audit se penche également sur la gestion du réseau au travers de son historique, des campagnes d'analyse menées (de légionelle ou tout simplement de qualité de l'eau) ou encore de l'existence d'outils tels que le carnet sanitaire. Enfin, les usages de l'eau, la présence d'éventuelles populations sensibles et l'identité des responsables sont recensés. Reste à se doter d'un **outil performant d'analyse des données recueillies au cours de l'audit** en vue de l'évaluation des risques visant à l'identification des éventuelles faiblesses du réseau et à la détermination des actions prioritaires. En ce sens, la société Lyonnaise des eaux France a développé un outil d'évaluation des risques liés aux légionelles (présenté à l'annexe n°2). L'expérience de terrain permet de dégager les grandes lignes d'action récurrentes pour la prévention du danger décrites dans la suite de ce paragraphe.

- ❑ Réviser la structure du réseau.

Une fois le réseau bien identifié dans sa nature, sa structure et ses particularités, il convient de mettre en œuvre les travaux nécessaires à la réduction de faiblesses éventuelles permettant la prolifération des légionelles. Si chaque réseau est un cas particulier, sur la base des 3 piliers « température, stagnation et encrassement », on peut tirer de l'expérience des travaux réalisés par la société Lyonnaise des eaux France et des descriptions faites dans la littérature les points sensibles récurrents suivants :

- le système de production d'eau chaude.
- les bras morts
- les matériaux du réseau et leur dégradation.
- l'hydraulique du réseau
- l'entartrage
- la gestion thermique.

c) Limiter l'exposition.

- ❑ Identifier les personnes exposées.

Dans un établissement recevant du public, on peut scinder en deux grandes catégories les personnes susceptibles d'être exposées à la légionelle. Il y a d'une part les usagers et visiteurs de l'établissement et d'autre part, le personnel de l'établissement. La bonne identification de ces groupes et leur distinction permet d'appliquer à chacun les mesures adéquates pour limiter leur

exposition à la bactérie légionnelle dans des proportions adaptées à leur besoin et à leur sensibilité. Prenons l'exemple d'un hôpital pour étayer ces propos. On retrouve dans cette structure les deux catégories précédemment citées comme suit :

- usagers : ce sont ici les patients de l'hôpital essentiellement et dans une moindre mesure les personnes leur rendant visite.
- personnel : ici, on trouve le personnel soignant mais également le personnel d'entretien et de maintenance, les administratifs et le personnel des entreprises extérieures intervenant sur le site de l'hôpital.

Il apparaît alors clairement indispensable de distinguer ces groupes pour limiter leur exposition. En effet, un patient sera en général plus sensible qu'un employé en bonne santé de l'hôpital mais ce dernier pourra être exposée sur une durée plus longue. D'autre part, le patient sera soumis à des sources d'exposition (douche, interventions médicales) différentes de celles du personnel administratif de l'hôpital par exemple. Chacun des groupes identifiés fera l'objet d'une étude quant à la sensibilité et aux pratiques à risques des individus qui le composent afin de déterminer et d'appliquer les mesures nécessaires pour limiter leur exposition.

❑ Education quant à l'usage de l'eau chaude.

Dans le cadre des réseaux d'eau chaude sanitaire, le bon emploi des sources d'eau chaude constitue l'un des éléments essentiels à la limitation de l'exposition des individus. Au vu des connaissances actuelles, on va en effet chercher d'une part à limiter la formation mais également l'inhalation d'aérosols et d'autre part à évacuer les eaux susceptibles de présenter une concentration en légionelles plus élevée. Le personnel des établissements recevant du public et en particulier le personnel soignant des établissements de soin doit faire l'objet d'une sensibilisation aux pratiques simples, mais très utiles, de réduction de l'exposition des personnes aux légionelles au travers du bon usage de l'eau chaude. Par exemple, il peut être recommandé de laisser couler les premiers jets d'eau chaude. La durée d'écoulement sera de l'ordre de quelques minutes suivant les cas. Dans le cas des établissements de soin, on veillera en outre à laisser couler la douche avec le pommeau décroché et placé contre le baquet pour éviter les projections d'aérosols. Pour les personnes très sensibles que constituent généralement les patients immunodéprimés des établissements de soin, la suppression des douches peut être envisagée. La toilette des patients sera alors réalisée « au gant ». Ce genre de préconisations restent toutefois difficiles à quantifier précisément et à mettre en place car les standardisations sont quasiment impossibles. L'appréciation de chacun quant au temps d'écoulement nécessaire pour le premier jet par exemple peut-être très variable. Il reste par ailleurs des incertitudes sur la véritable sur-contamination des premiers jets par rapport au reste de l'écoulement. Les phénomènes hydrauliques et les arrachements du biofilm amènent peut-être des eaux plus contaminées que le « premier jet » dans un temps variable après l'ouverture du point de puisage. Malgré les incertitudes précédemment évoquées, l'affichage de consignes dans les salles d'eau est une initiative intéressante rencontrée dans les établissements de soin. Cette démarche sensibilise le personnel et les visiteurs des établissements recevant du public et crée chez eux des réflexes de bonnes pratiques. Il peut en outre être envisagé de promulguer au personnel soignant des

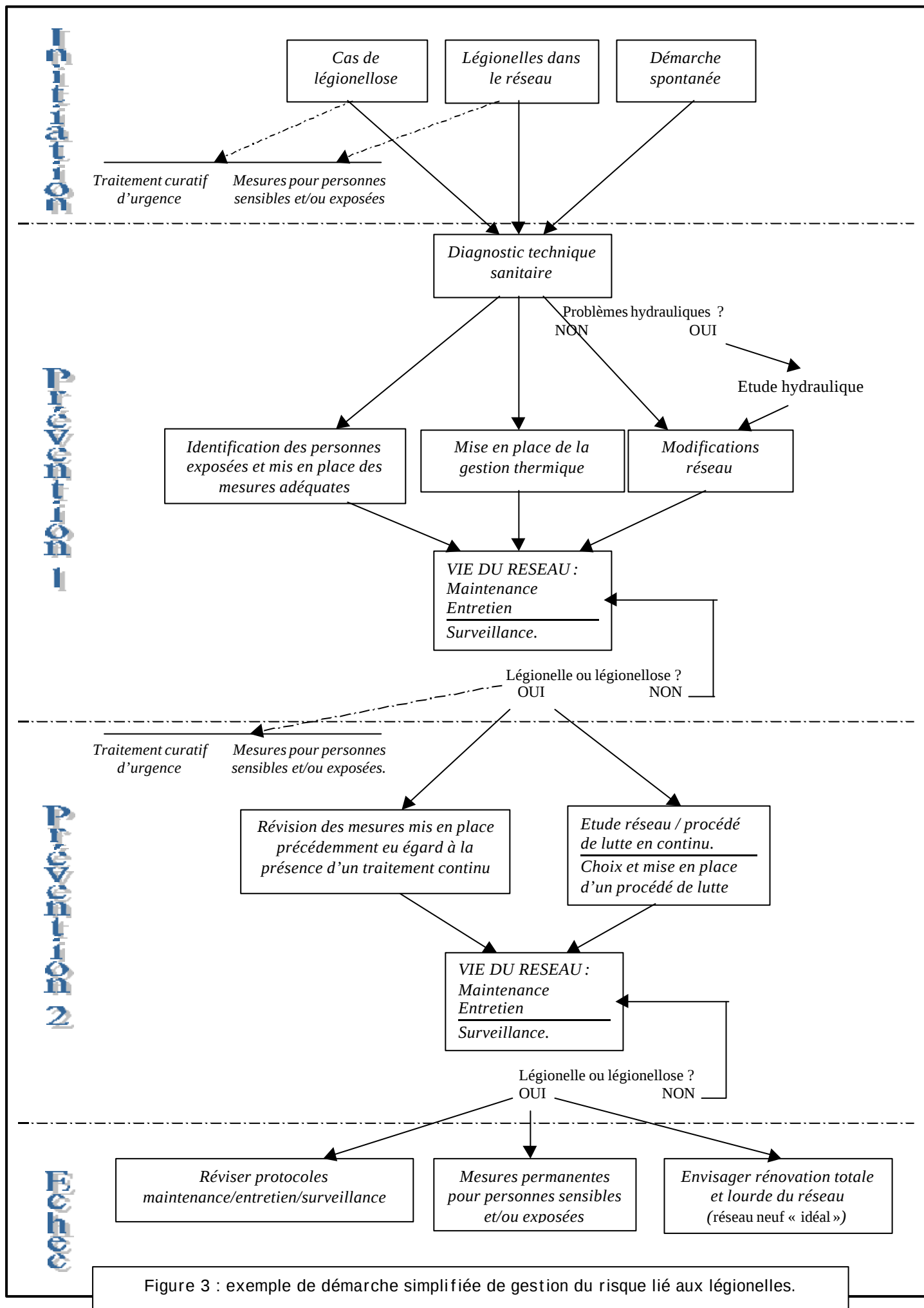
établissements de soin une courte formation sur la légionelle, son écologie et les bonnes pratiques. Beaucoup de chose reste à faire dans ce domaine qui nécessite des éclaircissement sur les modes et les voies d'exposition des individus aux légionelles des réseaux d'eau chaude sanitaire.

❑ Robinetterie adaptée.

La mise au point d'éléments de robinetterie adaptés à la lutte contre la légionellose nécessite également la poursuite des investigations quant à l'exposition des individus. Plusieurs études sont en cours sur les pommeaux de douche et la taille des aérosols produits. Dans le même sens, les brise-jets sont conseillés par rapport aux mousseurs afin de limiter l'entartrage. Par ailleurs, dans le cadre d'une lutte contre la légionelle par gestion thermique, on soulignera l'intérêt de mitigeurs placés au plus près du point d'usage permettant de conserver une eau à une température supérieure à 60 °C dans les canalisations sans risque de brûlures pour les usagers. Ce système sera d'autant plus intéressant une fois le nouvel arrêté sur la température de l'eau chaude paru (cf. réglementation en première partie).

d) Exemple de démarche simplifiée de gestion du risque légionelle.

Cet exemple est présenté au travers du schéma ci-joint. On peut imaginer rencontrer cette démarche dans un établissement de soin. Elle part d'un réseau où rien n'a été spécifiquement établi pour lutter contre la légionelle et dont le gestionnaire suite, par exemple, à un cas de légionellose contractée dans son établissement souhaite prendre les mesures qui s'imposent. Après cette phase d'initiation, il y a mise en place des outils de prévention du danger et de limitation de l'exposition comme présenté précédemment. Ceci se fait dans une première approche (appelée sur le schéma « prévention 1 ») qui ne fait pas appel à l'utilisation d'un traitement continu du réseau (autre que gestion thermique). La présence d'un traitement continu constitue la prévention dite 2 qui sera envisagée dans le cas d'un échec de la prévention 1. En effet, il arrive que des réseaux soient trop vétustes ou mal conçus pour que l'ensemble des bonnes pratiques de révision, d'entretien et de maintenance du réseau soit suffisant pour éliminer les légionelles. L'exemple reste simpliste car, entre autres, il ne prend pas en compte les spécificités d'un établissement donné et car la notion de seuil pour le déclenchement des mesures suite à l'analyse de la concentration en légionelle dans le réseau n'intervient pas (commenté dans la partie suivante) et fonctionne sur le tout ou rien. Toutefois, ce diagramme permet de resituer concrètement et au sein d'une démarche de gestion des risques la place de la prévention du danger, de la limitation de l'exposition et de l'ensemble contrôle et surveillance. On observe un poids important de la prévention du danger par rapport à la limitation de l'exposition du fait du manque de connaissances actuelles sur les voies et modes de contamination. On discerne également le rôle de coordination et de relais de l'information assurer par le pôle « contrôle et surveillance » et développer plus avant dans le paragraphe suivant.



2. Rôle de la surveillance et du contrôle dans la gestion du risque légionelle.

En détaillant les missions et attentes qui lui sont liées, on sera plus à même d'élaborer une stratégie de contrôle et de surveillance efficace et cohérente et d'utiliser des outils adaptés au sein d'un établissement recevant du public.

a) Signaler les problèmes.

La légionellose est une maladie grave contractée sous sa forme pulmonaire avec un taux de létalité d'environ 20 % et doit être traitée dans les premiers stades pour être correctement soignée. Dès lors, on discerne deux missions fondamentales que doit remplir la surveillance liée au risque légionelle.

- Tout d'abord, il faut **mettre en place une surveillance de la contamination du réseau**. L'enjeu est de détecter la présence de légionelle dès les concentrations les plus faibles observables au vu des possibilités analytiques actuelles. Ainsi, on dispose d'un temps de réaction pour la protection des personnes les plus sensibles et pour limiter par suite la contraction de la maladie. On peut dans le même sens imaginer l'observation de signes avant-coureurs tels que des conditions de développement favorables pour la légionelle afin d'anticiper une éventuelle prolifération à venir. Ce suivi de la contamination est parallèlement un outil intéressant d'évaluation des mesures mises en place pour lutter contre la prolifération des légionelles dans le réseau.
- Ensuite, il faut **s'assurer de la bonne détection des cas de légionellose**. L'enjeu est de reconnaître au plus vite chez les patients atteints de pneumonie la bactérie impliquée afin d'employer dans le cas de la légionelle le traitement adapté. De plus, la bonne détection des cas de légionellose permet d'enrayer une possible « épidémie » au sein d'un établissement par la prise de mesures d'urgences et de suppléer une éventuelle défaillance de la surveillance de la contamination du réseau.

b) Formaliser les démarches et regrouper l'information.

La lutte contre la prolifération des légionelles dans le réseau et la limitation de l'exposition des individus mettent en jeu de nombreuses pratiques et recommandations. Pour que chaque intervenant de l'établissement sache ce qu'il doit faire, le contrôle et la surveillance doivent viser à **l'élaboration de documents clairs et facilement accessibles** sur les démarches mises en place. Elles y seront détaillées de manière concise et réfléchie afin d'homogénéiser les pratiques dans un souci de cohérence. Les démarches formalisées sous forme de protocole concernent des mesures quotidiennes de maintenance, d'entretien ou d'usage de l'eau mais aussi des mesures d'urgence à appliquer en cas de détection de problème par le biais des réseaux de surveillance. Parallèlement, ces documents devront permettre de référencer toutes les informations de suivi jugées utiles. On

créera ainsi un historique de la vie du réseau permettant par la suite d'analyser les situations et de comparer les informations.

c) Assurer la bonne application des consignes.

Une bonne gestion des risques ne peut se faire sans **coordination et respect scrupuleux des consignes**. Pour ce faire, il faut formaliser les démarches comme vu précédemment et permettre aux intervenants concernés de retrouver facilement l'information qui leur est utile. Ceci passe par la mise à disposition de l'information nécessaire à tous les intervenants concernés. Pour le cas particulier des situations d'urgence, les protocoles doivent anticiper des situations futures possibles et être validés régulièrement au travers d'exercice d'entraînement pour s'assurer de leur bon déroulement en cas de besoin et de la bonne réactivité des services concernés. S'assurer de la bonne application des consignes, c'est aussi utiliser les suivis réalisés (cf. paragraphe antérieur) pour évaluer l'impact des mesures mises en place au travers des problèmes relevés mais aussi des bons résultats.

d) Evolution continue.

L'évaluation des mesures mises en place par les suivis, l'usage et l'accroissement de l'expérience au travers de la résolution de problème doit amener un **enrichissement perpétuel des démarches formalisées**. Celle-ci doivent ainsi être remises en cause et adaptées ou améliorées suivant l'évolution des connaissances et de l'expérience. Ici encore, il faut trouver un outil adéquat pour supporter une information claire mais conservant un caractère évolutif.

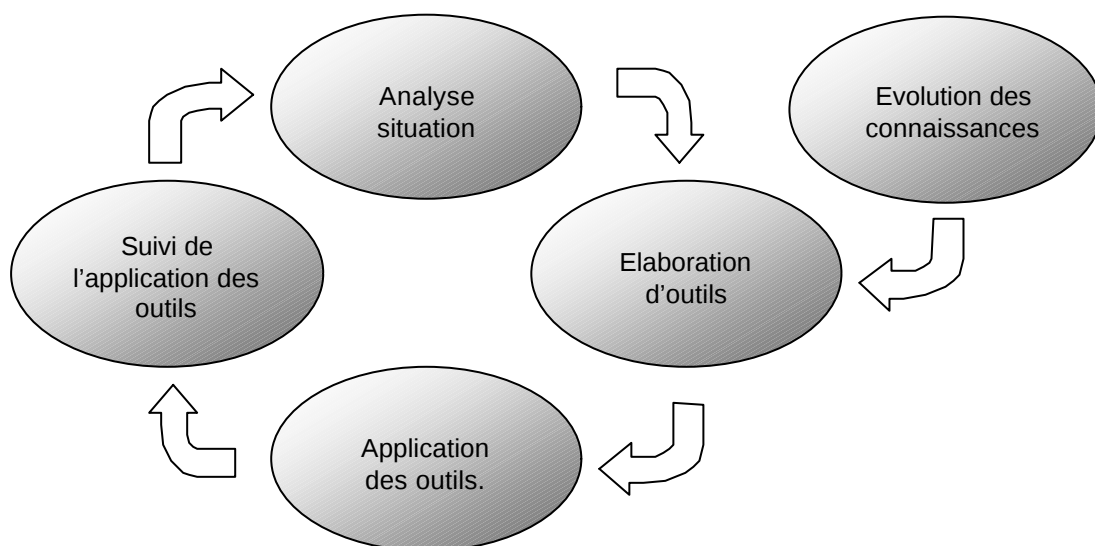


Figure 4 : schématisation de l'évolution continue attendue de la stratégie de contrôle et de surveillance.

On s'inscrit alors dans une démarche qualité avec une analyse de la situation puis l'élaboration d'outil, leur application, le relevé des résultats et enfin, au vu de l'analyse de ces résultats, l'adaptation

des mesures mises en place pour répondre à des situations nouvelles ou prendre en compte l'évolution des connaissances.

e) *Bilan.*

Des considérations précédentes, il ressort finalement les attentes majeures liées à la mise en place d'une stratégie de contrôle et de surveillance. Tout d'abord, elle doit permettre **l'acquisition de l'information**. Cette information, qui doit en outre être de bonne qualité, concerne la surveillance des réseaux et de la maladie mais aussi la bonne application des mesures et leur influence sur le résultat recherché (abaissement ou augmentation des concentrations de légionelle dans le réseau par exemple). Ensuite, la stratégie de contrôle et de surveillance passe par une **bonne conservation de l'information** acquise. La nécessité de documents clairs et cohérents est par suite évidente. Ces documents, quelque soit leur forme, doivent conserver un caractère évolutif au vu de l'accumulation des données (toujours plus d'analyse de la concentration en légionelle ou de relevés de température par exemple) mais aussi de la modification des protocoles mis en place (exemple protocole de désinfection des ballons) par rapport à l'accroissement de l'expérience et des connaissances en général. Par ailleurs, le contrôle du risque légionelle nécessite un **relais de l'information**. Il faut donc un support commun et accessible à tous les intervenants de la lutte contre la légionelle. Enfin, le contrôle et la surveillance impliquent des systèmes de **déclenchement d'action** au vu des données de surveillance. Il faut donc à la suite du suivi continu et de l'analyse des signaux obtenus pouvoir opposer à chaque situation les mesures adéquates, préalablement pensées et définies.

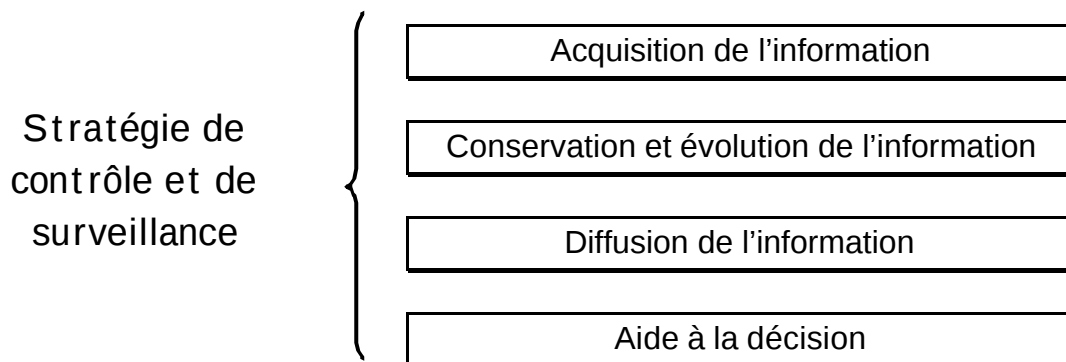


Figure 5 : missions du contrôle et de la surveillance.

Par conséquent, le contrôle et la surveillance visent au sein de la gestion du risque légionelle à l'acquisition, à la conservation et au relais de l'information afin d'aider à la prise de décision.

B. Elaborer une stratégie de contrôle et de surveillance.

Elaborer une stratégie de contrôle et de surveillance est au vu des attentes précédemment décrites un travail qui demande rigueur, organisation et concertation entre les acteurs. Pour chaque cas, les particularités seront grandes et guideront la coordination générale du contrôle et de la surveillance. Dans cette partie sont présentés les outils utiles à cette démarche qu'il faudra mettre en place. Ces outils demandent d'affecter des personnes à leur gestion de ces outils pour les coordonner et s'assurer de leur usage correct et adapté. Dans les hôpitaux par exemple, les CLIN ont cette responsabilité.

1. Suivre la contamination du réseau.

Le suivi de la contamination est indispensable pour détecter ou anticiper une éventuelle prolifération de légionelles dans le réseau et pour l'évaluation des performances des mesures mis en œuvre pour éradiquer la légionelle d'un réseau.

Reste à définir :

- le ou les types d'analyse réalisés
- les points représentatifs et la fréquence des analyses
- l'interprétation qui peut être faite des résultats d'analyse.

Chaque réseau est un cas particulier mais on peut décrire les éléments importants à prendre en compte pour ces 3 points.

a) Mise en évidence des légionelles.

S'il serait intéressant d'analyser la concentration en légionelles des aérosols formés aux points d'usage, les techniques actuelles restent expérimentales et on effectue donc actuellement uniquement des détections dans l'eau du réseau. Le plus souvent, on utilise des méthodes par culture normalisées que sont la norme AFNOR T90-431 et la norme ISO 11-731. Elles se basent sur la culture des légionelles en milieu gélosé spécifique (BCYE) répondant aux exigences de la légionelle. La biologie moléculaire apporte aujourd'hui de nouveaux outils pour la détection et la quantification des légionelles tels que l'amplification génomique ou PCR⁶ et la cytométrie. A un titre plus expérimental se développent également à l'heure actuelle les puces ADN dans le cadre d'une analyse globale de la qualité micro-biologique des eaux. A l'échelle nationale, le Centre National de Référence des légionelles à Lyon a des missions d'expertise biologique et de contribution à la surveillance épidémiologique qu'il remplit au travers principalement du développement et de l'évaluation de nouvelles méthodes de diagnostic d'une part et au travers de l'entretien d'une collection bactérienne et d'une sérothèque d'autre part.

⁶ Polymerase Chain Reaction

b) Choix et réalisation des prélèvements..

Les prélèvements réalisés doivent être réfléchis en fonction de l'objectif de surveillance recherché. Dans le cadre du risque lié aux légionelles, il faut définir des critères de choix des points de prélèvement sur le réseau. On recherche des points représentatifs qui permettront de se faire une idée de la contamination globale du réseau et de l'exposition des individus. La criticité des points s'établit sur la base d'une bonne connaissance du réseau (à travers le diagnostic technique sanitaire) et des connaissances sur l'écologie de la légionelle. Ainsi, les points retenus présentent au moins une des caractéristiques suivantes :

- des conditions favorables au développement des légionelles
- la dissémination d'aérosols.

Viennent s'ajouter les points d'usage représentatifs du fonctionnement hydraulique du réseau.

La problématique des prélèvements demande aussi outre le choix des sites de réalisation la définition stricte de protocoles de prélèvement quant à :

- leur fréquence
- leur mode de réalisation (quantité, premier jet ou non , etc)
- le moment de réalisation dans la journée.

Ici encore il faut s'appuyer sur la connaissance du réseau et les connaissances quant à l'écologie de la légionelle pour définir au mieux les protocoles de prélèvement et obtenir les informations souhaitées. Ainsi, tous les points de prélèvement seront choisis et réalisés suivant les critères précédemment évoqués à la suite de la réalisation du diagnostic technique sanitaire. Toutefois, certains points sont récurrents pour la plupart des réseaux et présentés dans le document du CSHPF de novembre 2001 relatif au risque lié aux légionelles. La fréquence des prélèvements et leur nombre y sont aussi indiqués.

c) Interprétation des analyses : quel référentiel ? Difficulté de fixation des seuils.

L'interprétation des résultats d'analyse de concentration en légionelle est le point sensible de la stratégie de surveillance de la contamination d'un réseau. Il faut en effet garder à l'esprit le point de prélèvement correspondant au résultat d'analyse et dans le même temps apprécier la valeur obtenue.

☐ Représentativité du point de prélèvement.

Il est clair qu'une concentration élevée en légionelle n'aura pas le même impact suivant le point d'échantillonnage dont elle provient, l'heure de prélèvement ou les conditions opératoires suivies.

Prenons l'exemple de 3 points de prélèvements présentant chacun une concentration de 10^3 légionelles par litre :

- en sortie de production d'eau chaude
- au point d'usage d'une salle d'eau d'un patient dans un hôpital
- à la purge du ballon d'eau chaude

L'observation d'une telle concentration est alarmante en sortie d'eau chaude car ce point doit être exempt de légionelle⁷. Sa contamination laisse donc présager de fortes contaminations en d'autres points du réseau. De même, une telle concentration au point d'usage démontre une probable exposition importante du patient à l'agent infectieux et incite donc à prendre des mesures de protection. Pour ce qui est du point de purge du ballon, on sait qu'il s'agit d'un milieu très favorable à la légionelle en température et du fait des dépôts et de la stagnation qu'on y rencontre. La valeur mesurée n'est donc pas aussi alarmante que dans les cas précédents mais signale un point du réseau qui mérite d'être réétudié afin de limiter la prolifération des légionelles. On discerne ici la première difficulté d'interprétation des résultats d'analyse. D'autre part, il faut s'intéresser au mode de prélèvement de l'échantillon. Ainsi, pour le résultat obtenu au point d'usage du patient par exemple, connaître l'heure de prélèvement (matin, nuit, en journée) et le protocole de prélèvement (premier jet ou après 1 minute d'écoulement), permet de nuancer parfois les résultats et de situer par rapport au résultat obtenu la concentration en légionelle dans l'eau du réseau à laquelle le patient est réellement exposé compte-tenu des bonnes pratiques respectées par le personnel soignant par exemple (laisser couler le premier jet, etc). Enfin, il y a des incertitudes sur la qualité des mesures réalisées en elles-mêmes. On est bien souvent confronté à des problèmes de sensibilité ou de spécificité des méthodes. S'ajoute le problème des bactéries viables mais non-cultivables dont on ne sait si elles peuvent présenter un pouvoir pathogène ou non.

❑ Appréciation de la valeur de l'analyse.

La concentration en légionelle d'un prélèvement peut être appréciée de deux manières :

- par rapport aux résultats d'analyse précédents pour le même point de prélèvement.
- sur la valeur en elle-même comparée à des valeurs seuils pré-définies.

L'évolution temporelle des concentrations en légionelle aux points représentatifs du réseau permet d'apprécier l'influence des mesures mises en œuvre et leur bonne tenue dans le temps. C'est aussi le moyen d'anticiper de futures proliférations importantes. L'appréciation du résultat d'analyse par rapport à des seuils réglementaires visant au déclenchement d'action est souhaitable et commode. Cependant, de lourdes difficultés existent quant à la définition de ces seuils, sujet très largement débattu. En effet, l'évaluation des risques liés aux légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire reste à l'heure actuelle partielle. Le danger, si l'on sait qu'il s'agit de la légionelle est mal identifié quant à la virulence des différentes souches (pas de marqueur pour la pathogénicité des souches). La dose minimum infectante reste inconnue et l'exposition est mal maîtrisée (taille des aérosols, survie des légionelles dans les aérosols, autre voie de contamination que l'inhalation ?). Finalement, aucune étude ne permet d'établir une concentration critique dans l'eau étant donnée la variation de la susceptibilité des individus, de la pathogénicité des souches et de l'absence de relation entre la concentration dans l'eau et la réelle exposition de l'individu au travers des aérosols. La fixation de seuil ne peut donc être réalisée de manière objective et n'a pas de réelle signification mais

⁷ la température de production de l'ECS - 60 °C conseillée - est choisie pour tuer les légionelles ; il s'agit d'un point « critique » du réseau au sens de la méthode HACCP

elle présente des avantages d'ordre pratique quant à la gestion du réseau et d'ordre réglementaire (référence commune). Peut-être serait-il intéressant de conserver la notion de seuil pour ses aspects pratiques tout en définissant plusieurs seuils suivant les points de prélèvements ou la nature de l'établissement et la qualité de ces usagers dans un souci de cohérence. Prenons, l'exemple des établissements de soin où la présence d'individus sensibles (immunodéprimés) incite à la mise en place d'un seuil d'alerte au niveau actuel de détectabilité des légionelles dans l'eau soit 50 UFC/L quant des usagers "en bonne santé" pourraient se contenter d'un seuil d'alerte à 1 000UFC/L.

d) Un outil complémentaire : le suivi du biofilm.

Le suivi du biofilm peut aujourd'hui être réalisé à l'aide d'un outil pratique mis au point par l'AGHTM au sein d'un groupe de travail européen. Ce procédé repose sur le développement du biofilm sur des billes de verre placées en parallèle du flux principale. L'analyse du biofilm, décroché de son support à l'aide d'ultra-sons, est ensuite réalisée en laboratoire. Si le biofilm analysé n'est pas complètement identique au biofilm de la canalisation (matériau et conditions hydrauliques différents), son évolution dans le temps permet d'apprécier de manière indirecte l'état du biofilm dans le réseau, d'évaluer l'efficacité des mesures mises en place voire éventuellement d'anticiper une future prolifération de légionelle.

2. Mettre en place le carnet sanitaire.

Ce carnet permet de reporter et référencer toutes les informations relatives à l'installation de production et de distribution d'eau chaude. Il est aujourd'hui fortement conseillée dans tous les établissements recevant du public car il est un maillon essentiel de nombre des missions dévolues au contrôle et à la surveillance.

c) Aspect concret du contrôle et de la surveillance.

Le carnet sanitaire est tout d'abord la base de conservation de l'information en tant que support matériel sur lequel sont consignées les informations relatives au réseau. Ces informations y sont stockées mais doivent pouvoir aussi y être consultées, modifiées voire traitées en vue d'une analyse.

L'outil informatique paraît alors fortement conseillé au détriment des documents papiers moins souple et offrant moins de possibilités de diffusion et de traitement de l'information. Les logiciels habituels de traitement de texte, de tableur ou de base de données sont des outils conviviales, utilisés de manière courante par de plus en plus de personnes et accessibles à tous. L'envoi par courrier électronique permet de surcroît la diffusion simplifiée d'une information et de documents clairs à tous les acteurs de la lutte contre la légionelle.

d) Contenu.

On reporte dans le carnet sanitaire des informations de base telles que

- les plans des réseaux actualisés (schéma de principe)
- la nature des locaux traversés
- la nomenclature des équipements
- la nature des matériaux
- la liste des points de puisage

Puis, au cours de la vie du réseau, on tiendra à jour :

- la liste des travaux de modification, de rénovation ou d'extension des installations de distribution d'eau
- les opérations d'entretien et de maintenance réalisées
- les traitements de lutte contre la corrosion et le tartre mis en place
- les traitements de désinfection employés
- les analyses de la qualité de l'eau
- les relevés de température
- les volumes consommés (eau froide et eau chaude)

On y reporte également les protocoles d'exploitation et de maintenance du réseau. La réalisation du carnet sanitaire nécessite bien souvent au préalable un diagnostic du réseau. Sa mise en place est une des 7 prérogatives que doivent respecter les établissements de soin au 31 décembre 2002 selon la circulaire 2002-243.

e) Bon usage.

Pour remplir au mieux sa fonction, le carnet sanitaire doit en premier lieu être accessible et utilisable par tous les intervenants du réseau. L'utilisation d'un support informatique présente en ce sens des avantages indéniables. D'autre part, il faut s'assurer de sa tenue régulière et du respect des consignes qui y sont inscrites. Pour ce faire, un travail d'explication et de sensibilisation au rôle et à l'importance du carnet sanitaire peut s'avérer judicieux. L'apport du carnet sanitaire sera alors compris et perdra son apparence négative d'outil contraignant imposé. Enfin, le carnet sanitaire doit rester un outil vivant. Le report des observations de terrain et des résultats d'analyse doit être réalisé. De même, l'optique d'amélioration/modification des protocoles et pratiques suivant l'avancée des connaissances et de l'expérience doit être conservée. Il ne faut pas craindre de faire évoluer - de manière raisonnée il s'entend - le contenu du carnet sanitaire.

3. Autres actions essentielles.

a) Assurer un entretien et une maintenance cohérents.

Parallèlement à la restructuration du réseau, il convient de mettre en place un entretien régulier et cohérent du réseau. Les travaux d'entretien et de maintenance des réseaux d'eau chaude sanitaire sont depuis longtemps définis mais sont le plus souvent peu respectés. Les problèmes actuels de

légionelle et leurs médiatisation les remettent au goût du jour. Ils sont en fait essentiels à la lutte contre la prolifération des légionelles. La gestion habituelle d'un réseau d'eau chaude sanitaire est présentée dans le guide technique n°1 bis^[12] datant du début des années 90. Il y est déjà souligné par exemple la nécessité de vidanger, rincer et inspecter les ballons de production et d'accumulation au moins une fois par an, de vérifier le bon fonctionnement du système de contrôle des températures, des purgeurs automatiques ou manuels, d'effectuer des chasses au pied des colonnes ainsi qu'en amont des pompes de circulation et des pots à boues, de vérifier l'équilibrage des circuits par mesure de la température départ et retour ou encore de surveiller les systèmes de lutte anti-corrosion et anti-tarte mis en place. Il apparaît donc clairement que nombre des préconisations faites dans le cadre de la lutte contre la légionelle sont déjà inscrites dans ce guide. Elles sont aujourd'hui tout simplement remises au goût du jour, additionnées de nouvelles manipulations et voient leur fréquence augmenter. On se reportera par exemple aux préconisations de la **fiche n°1 de la circulaire n°2002/243**, elles mêmes inspirées du « Guide de gestion du risque lié aux légionelles » du CSHPF (novembre 2001). En particulier, on définira pour chaque établissement un programme de purge régulière des points d'usages peu utilisés. L'importance de ces purges est à fortement souligner. Il en va de même pour le nettoyage/désinfection voire remplacement régulier des éléments de robinetterie avec en premier lieu les flexibles de douche. Les flexibles de douche ont déjà été identifiés comme des sources potentielles de rétro-contamination du réseau.

b) Identifier et surveiller les personnes exposées et/ou sensibles.

❑ Identification

L'identification des personnes sensibles et/ou exposées dans un établissement recevant du public est nécessaire à la bonne application de mesures préventives. Sur la base de ce qui a été précédemment décrit, on distinguera deux catégories principales d'individus au sein de l'établissement avec d'une part les usagers et d'autre part le personnel dans son ensemble. On peut également s'appuyer sur les profils épidémiologiques pour cerner les populations sensibles. On sait ainsi par exemple aujourd'hui que les hommes de plus de 50 ans fumeurs sont des individus sensibles au risque légionellose. De même, les footballeurs utilisant les installations municipales ou les ouvriers qui se douchent à l'usine sont des populations potentiellement exposées.

❑ Surveillance et prévention.

Une fois ces populations distinguées, la mise en œuvre de mesures adéquates passe par un suivi médical régulier avec en particulier la recherche des pathologies de la légionellose et l'utilisation des tests biologiques adaptés. L'observation précoce d'un cas de légionellose permet un traitement plus efficace de la maladie. Les cas de décès enregistrés sont le plus souvent liés à un état de fragilité trop important du patient ou à une détection tardive de la légionellose. L'identification des personnes exposées permet également de mettre en place des mesures de réduction de l'exposition. On visera idéalement à la suppression des comportements à risques. Les personnes immunodéprimées, le plus souvent invalides, peuvent en ce sens être lavées au gant plutôt que d'être soumise au comportement

à risque que constitue la prise de douche. A noter qu'il est aussi possible de mettre en place des filtres terminaux aux points d'usage⁸. Ces filtres sont efficaces mais doivent être changés régulièrement (quelques jours d'utilisation) ce qui avec le grand nombre de points d'usage entraîne des coûts importants. L'emploi de ces filtres n'est pas une solution en soi mais une mesure palliative et complémentaire, onéreuse mais sécurisante.

❑ Prévoir des mesures d'urgence.

L'identification et la surveillance des personnes sensibles ou exposées visent à repérer les éventuels problèmes pour y opposer les meilleures solutions. Ces solutions sont par exemple un traitement anti-biotique adapté pour un patient malade ou des interventions techniques curatives sur le réseau suite à un cas de légionellose. Afin de protéger au mieux les individus, elles doivent être préalablement pensées et définies. En effet, l'intérêt est d'apporter une solution rapide au travers de mesures d'urgences. On définira donc au sein d'un groupe de travail, des protocoles d'intervention simples et efficaces. Ces mesures doivent être connus du personnel de l'établissement pour qu'il sache son rôle et sa participation dans l'action. Pour ce faire, des formations et la large diffusion d'une information pertinente sont indispensables. On cherche à augmenter la réactivité des services suite à la contraction d'un cas de légionellose (ou même à la détection de légionelles dans le réseau) afin de protéger les usagers de l'eau avec des mesures adaptées à leur sensibilité et à leurs éventuelles pratiques à risque.

❑ Importance de la déclaration des cas de légionellose

La surveillance de la légionellose en France est essentiellement basée sur le système de déclaration obligatoire. Le système est institué depuis 1987. Il permet de suivre l'incidence de la maladie, de détecter des cas groupés et d'orienter les mesures de protection et de prévention : il participe donc à la stratégie de contrôle et de surveillance à l'échelle nationale. Cette déclaration se fait auprès des médecins inspecteurs de la DDASS. Depuis le début de l'année 96, ce système est raccordé au niveau national par l'Institut de veille sanitaire (InVS, anciennement Réseau National de Santé Publique). La performance de ce système de surveillance reste moyenne mais le taux de déclaration augmente chaque année.

c) Suivi des paramètres de l'eau.

L'évaluation de la qualité de l'entretien et de l'exploitation de l'installation peut se nourrir des informations données par l'analyse des paramètres de l'eau distribuée aux points d'usage de l'établissement. Le pH, la température et autres paramètres physico-chimiques peuvent ainsi être régulièrement observés pour juger de la bonne exploitation du réseau facteur essentiel de la maîtrise de la prolifération des légionelles. En pratique, un système de mesures en continu (GTC) de la température ou du pH par exemple en divers points stratégiques du réseau peut être mis en place sur

⁸ Utilisés à l'hôpital Georges Pompidou à Paris.

les grandes installations. Si le réseau est équipé d'un traitement chimique continu, il peut également y avoir enregistrement du fonctionnement des pompes doseuses avec un système d'alarme en cas de défaillance. Toutes ces informations et relevés peuvent être centralisées sur un ordinateur avec cartographie du réseau pour une gestion optimale et en temps réel de l'installation. Toutefois, ce genre d'équipement ne doit pas faire disparaître les visites « sur le terrain » qui restent essentielles.

4. Ouverture sur la méthode HACCP.

A la lecture des outils et mesures décrits précédemment pour l'élaboration de la stratégie de contrôle et de surveillance apparaît clairement le manque d'un lien commun à tous ces éléments, d'une structure en amont permettant de les relier et des les coordonner. En ce sens, la célèbre méthodologie en sept points HACCP utilisée à l'origine dans l'industrie agro-alimentaire voit son champ d'application aujourd'hui étendu et se présente comme un outil intéressant pour le contrôle et la surveillance du risque légionelle dans les eaux chaudes sanitaires.

a) Apport de la méthode HACCP.

La méthode HACCP est une méthode permettant :

- d'identifier et d'analyser les dangers spécifiques (et en particulier micro-biologiques) susceptibles d'affecter la sécurité d'une denrée alimentaire aux différents stades du processus de production
- de définir les moyens nécessaires à leur maîtrise
- de s'assurer que ces moyens sont mis en œuvre de façon effective et efficace.

Ceci se fait par l'application de sept principes suivant :

- Principe 1 : Procéder à l'analyse des dangers
- Principe 2 : Déterminer les points critiques pour la maîtrise de ces dangers (CCP ou Critical Control Points).
- Principe 3 : Etablir les critères opérationnels (valeurs limites, niveaux cibles, tolérances) dont le respect atteste la maîtrise des CCP.
- Principe 4 : Etablir un système de surveillance permettant de s'assurer de la maîtrise effective des CCP.
- Principe 5 : Etablir les actions correctives à mettre en œuvre lorsque la surveillance révèle qu'un CCP donné n'est pas (ou n'est plus) maîtrisé.
- Principe 6 : Etablir des procédures spécifiques pour la vérification, destinées à confirmer que le système HACCP fonctionne efficacement.
- Principe 7 : Etablir un système documentaire (procédures et enregistrements) approprié couvrant l'application des 6 principes précédents.

Finalement au travers de ces principes, on retrouve les 4 grandes **missions attendues de la stratégie de contrôle et de surveillance** pour le contrôle du risque liés aux légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire :

- Anticiper et signaler les problèmes.
- Formaliser les démarches
- Assurer la bonne application des consignes.
- Amélioration continue.

En outre, l'utilisation d'un tel outil permet de mettre en place un « **langage commun** » aux **interlocuteurs multiples et variés** qui interviennent dans la gestion du risque lié aux légionelles. Les hygiénistes, biologistes, chimistes, traiteurs d'eau ou encore personnel du corps médical peuvent dès lors mieux coordonner leurs actions et apporter leurs points de vue et innovations dans un système cohérent et un référentiel qui leur permet d'être plus facilement compris de tous.

b) Faisabilité.

La méthode HACCP est déjà actuellement appliquée et en cours de développement pour la production et la distribution de l'eau potable. La similarité de fonctionnement d'un réseau d'AEP et d'un réseau intérieur d'eau chaude sanitaire laisse donc envisager une possible application de la méthode HACCP dans le cadre de la maîtrise du risque lié aux légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire. Néanmoins, l'HACCP est une méthode lourde qui demande une longue analyse du système (obtenue au travers du diagnostic technique sanitaire), l'élaboration de nombreux protocoles et un système de surveillance avec un suivi important et permanent. Si l'industrie agro-alimentaire ou les réseaux d'eau potable présentent des entités importantes pour lesquelles l'engagement d'une telle procédure est aisément envisageable, les réseaux d'eau chaude sanitaire sont multiples, variés et de petites tailles en proportion et leur gestion ne peut s'alourdir d'un système aussi complexe. Il serait donc intéressant pour les gestionnaires d'établissement recevant du public qui peuvent compter plusieurs réseaux d'eau chaude sanitaire de définir une méthodologie allégée. La méthode HACCP serait alors plus concrètement applicable et ne ferait en fait que donner un cadre et une démarche cohérente aux actions entreprises. Car bien souvent, les mesures à prendre sont pour la plupart déjà mises en place (comme décrit précédemment dans le suivi de la contamination et la mise en place du carnet sanitaire principalement) mais de manière plus ou moins confuse ou désordonnée et certains éléments peuvent manquer. La méthode HACCP de par son caractère systémique permettra de mettre en place un système de contrôle et de surveillance complet et cohérent. Enfin, rappelons que l'évaluation des risques liés aux légionelles reste aujourd'hui très partielle. En ce sens, l'application de la méthode HACCP peut souffrir des nombreuses incertitudes qui persistent sur la pathogénicité des souches vis-à-vis de l'Homme ou sur l'exposition des individus.

III. ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DES PROCEDES DE LUTTE.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la réalisation d'un document d'appui interne à la société Lyonnaise des Eaux France pour la réalisation d'offres et le choix de solutions techniques. Les procédés de lutte contre la légionelle et en particulier les traitements chimiques continus constituent au même titre que la stratégie de contrôle et de surveillance précédemment abordée, un aspect important de la gestion du risque lié aux légionelles.

A. Méthode de réalisation de l'étude.

1. Définition des critères de comparaison des capacités des divers biocides.

Ces critères ont été déterminés sur la base de l'étude de l'écologie de la légionelle et des caractéristiques des réseaux d'eau chaude.

a) Performances du désinfectant.

On attend d'un biocide utilisé pour éliminer la légionelle dans les réseaux d'eau chaude sanitaire les 3 propriétés désinfectantes suivantes :

- *Elimination rapide des légionelles dans le flux d'eau et au sein du biofilm.*

Le biocide doit principalement assurer une élimination rapide des micro-organismes cibles, en l'occurrence la légionelle. La bactérie devra être éliminée sous sa forme planctonique, dans le flux d'eau, mais également au sein du biofilm qui constitue pour elle un milieu protecteur. A ce titre, le biofilm devra aussi être traité et bien qu'il soit inimaginable de l'éliminer complètement, on tâchera de le conserver à un niveau qui ne génère pas de nuisances.

- *Action sur les amibes.*

Le rôle essentiel des protozoaires dans la prolifération des légionelles est aujourd'hui acquis. Le biocide devra donc de surcroît pouvoir éliminer ces micro-organismes et en particulier les amibes.

- *Sélectivité.*

L'eau chaude sanitaire étant considérée comme une eau destinée à la consommation humaine, la sélectivité du biocide est un critère important. En effet, plus un biocide sera sélectif plus la quantité de produit injecté dans le réseau sera réduite. En ce sens, un biocide idéal ne rentre pas en interaction avec les éléments de l'eau ni avec les matériaux du réseau.

b) Corrosivité.

L'emploi d'un biocide ne doit pas perturber le fonctionnement du réseau d'eau chaude dans son ensemble et en particulier ne pas nuire à la pérennité des installations. Cette caractéristique ressort

tout particulièrement au travers de la corrosivité du biocide vis-à-vis des matériaux constitutifs du réseau que sont essentiellement l'acier galvanisé, le cuivre, l'inox et les matériaux synthétiques. En outre, la température élevée de l'eau favorise les phénomènes de corrosion sur lesquels on a peu d'information dans les conditions particulières des réseaux d'eau chaude.

c) Facilité d'emploi.

Les exploitants de réseau d'eau chaude sanitaire ne sont pas des spécialistes du traitement de l'eau. Le procédé retenu pour le traitement de leur réseau doit par suite présenter une facilité d'emploi certaine qui assurera la pérennité de l'installation et préviendra les problèmes d'exploitation.

La facilité d'emploi d'un biocide se décline suivant deux thèmes :

- automatisation de la génération éventuelle, de l'injection et de la régulation du biocide dans le réseau.
- efficacité de la désinfection sur une large plage de température et de pH.

La simple visite mensuelle du fournisseur de traitement devra permettre un fonctionnement autonome et fiable du procédé.

d) Sécurité d'emploi.

La sécurité d'emploi d'un désinfectant dans un réseau d'eau chaude sanitaire c'est une sécurité d'emploi vis-à-vis du personnel exploitant qui le manipule et une sécurité sanitaire vis-à-vis des usagers de l'eau.

- *Sécurité vis-à-vis du personnel* : l'emploi du biocide sur le réseau doit prendre en compte son éventuel caractère corrosif ou explosif afin de protéger les individus à son contact. Les procédés de génération doivent être dotés de dispositifs de sécurité.
- *Sécurité sanitaire* : l'eau chaude sanitaire doit respecter les normes de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine. Dès lors, les quantités de produits injectées et nécessaires à l'éradication des légionelles doivent être compatibles avec ces normes tant au niveau du composé chimique du désinfectant lui-même que par rapport aux éventuels sous-produits formés. Ajoutons qu'un produit et des sous-produits « amis » de l'environnement sont préférables.

e) Garantie de résultat.

Un biocide et son mode d'application doivent pouvoir répondre à la nécessité d'éradication des légionelles du réseau d'eau chaude sanitaire. Son action doit en ce sens être continue et garantir l'absence permanente de légionelles.

f) Coût.

Pour affiner le choix de tel ou tel procédé, on s'intéressera à son coût. Doublé de l'efficacité du produit, le coût permet de déterminer l'efficacité du biocide qui sera bien souvent l'argument de poids

pour départager plusieurs procédés de lutte suivant les prérogatives et les possibilités financières de l'ERP concernée. En effet, les coûts de traitement de la légionelle dans les réseaux d'ECS sont très variables d'un procédé à l'autre.

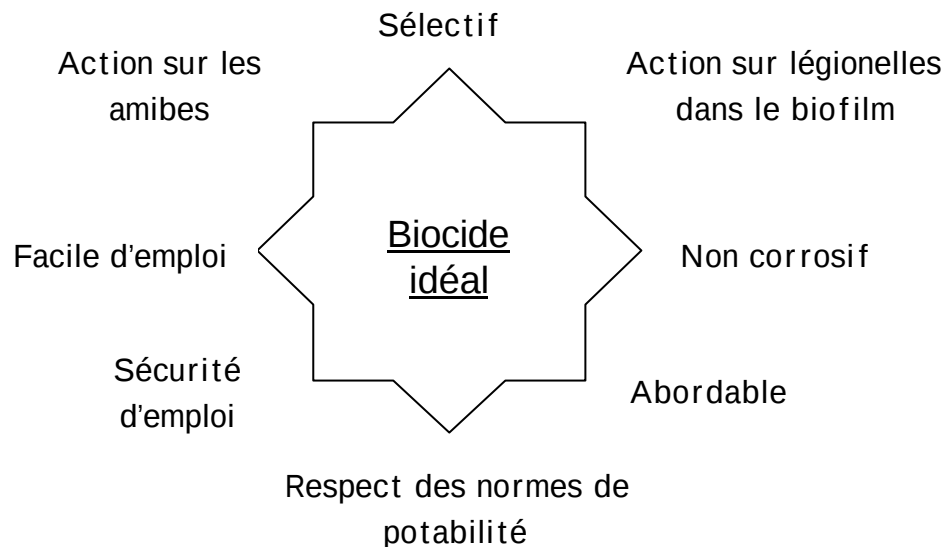


Figure 6 : caractéristiques du biocide idéal.

2. Recueil des données.

a) *Données internes*

❑ *Questionnaire.*

Afin de nourrir mon étude, j'ai cherché à bénéficier de l'expérience de terrain des quelques mises en place d'un procédé de traitement continu sur un réseau d'ECS effectuées par la société Lyonnaise des eaux France. A cette fin, j'ai rédigé un questionnaire visant à récolter les réflexions des intervenants sur les difficultés techniques de la mise en place d'un procédé de traitement continu. Ce questionnaire simple est à consulter à l'annexe n°3. Rédigé à la fin du mois de juin, le retour a été médiocre du fait de la période des congés d'été.

❑ *Données bibliographiques du CIRSEE.*

J'ai pu bénéficier du travail bibliographique réalisé par le CIRSEE, centre de recherche de la société Lyonnaise des Eaux France. Ce travail avait été réalisé en préparation au lancement d'essais sur pilotes de réseaux d'ECS (voir après). Ces données complétées par mes recherches et orientées suivant les besoins de mon étude m'ont permis d'établir une solide base documentaire.

b) Les travaux sur pilote du CIRSEE.

Le CIRSEE a entamé une campagne d'essais sur pilotes pour évaluer l'efficacité de divers traitements continus de réseaux d'ECS contre la légionelle. Pour ce faire, des pilotes ont été mis en place (schéma de principe et données techniques à l'annexe n°4). Au nombre de 7, ces pilotes sont constitués d'une boucle de recirculation et d'une antenne maintenues à 35 °C par un cordon chauffant. La boucle est en acier galvanisé et l'antenne en cuivre afin de simuler l'agencement le plus souvent rencontré dans la pratique. Des coupons et des sondes de corrosion permettent d'évaluer la corrosivité du biocide par rapport aux autres matériaux rencontrés en ECS.

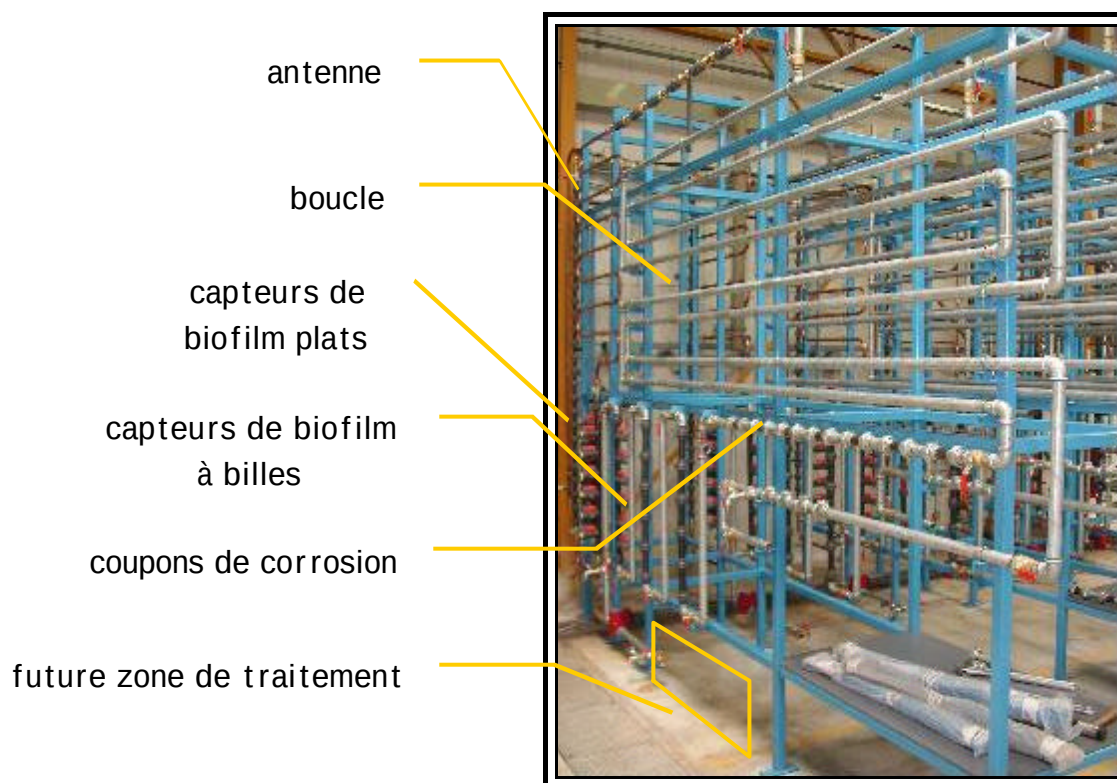


Figure 7 : réseau pilote du CIRSEE en cours de construction.

Une boucle sert de témoin quand les 6 autres sont utilisées avec les procédés de désinfection suivant :

- chlore à 2ppm
- dioxyde de chlore à 0.5 ppm
- monochloramine à 2 ppm
- procédé cuivre/argent
- ozone
- électrolyse de saumure de NaCl (mélange oxydant)

Les travaux du CIRSEE ont abouti au cours de mon stage à une première série d'essais dont les résultats sont repris dans l'étude technique.

c) Rencontre des fabricants de matériaux.

Le point le plus délicat de l'étude des biocides concerne leur comportement vis-à-vis des matériaux constitutifs des réseaux. Les publications sont à ce sujet assez nombreuses mais bien souvent contradictoires. Pour pallier à cette lacune, j'ai rencontré les organismes représentatifs des principaux matériaux utilisés dans les réseaux d'ECS au cours de conférence ou sur rendez-vous. L'objectivité de mes interlocuteurs prise en compte, ces rencontres m'ont permis de faire le point sur les méthodes de mise en place de ces matériaux et d'avoir une approche de leur comportement par rapport au traitement thermique et aux traitements par biocide. Le sujet est fort de polémiques et les différents fabricants veulent défendre leur image dans le domaine des réseaux d'ECS.

3. Calcul des coûts.

Pour évaluer les coûts, il faut d'une part déterminer le coût du matériel et d'autre part d'approcher le coût de la main-d'œuvre.

a) Le matériel.

La détermination des éléments nécessaires à la mise en place des procédés s'est faite à partir de données de la littérature et des données de retour de l'expérience LEF. A la suite de quoi les échanges avec les fabricants de procédés et de matériel pour réseau d'ECS furent nombreux afin d'obtenir un ordre de grandeur des coûts et de disposer de références à insérer dans le document d'appui interne à LEF.

b) La main-d'œuvre.

L'évaluation du coût de la main-d'œuvre s'est clairement basée sur l'expérience LEF. Les données de terrain ont été reprises et standardisées afin d'offrir une référence suivant un découpage simple des tâches à effectuer ; tâches auxquelles est affecté un temps de réalisation indicatif. Outre la mise en œuvre, l'entretien et la maintenance ont été pris en compte afin d'obtenir un coût global annuel permettant une comparaison entre les divers procédés.

B. Considérations générales quant à l'emploi d'un biocide tirées de l'étude.

1. Insertion dans la démarche structurée de gestion des risques.

a) Dans quel cas ?.

Si et seulement si, suite à une révision du réseau sur la base du DTS, un suivi scrupuleux des règles d'entretien, de maintenance et de gestion thermique ne suffit pas à éradiquer la légionelle dans

les réseaux d'eau chaude sanitaire, il peut alors être envisagé de mettre en place un procédé de traitement complémentaire. Ces situations se rencontrent le plus souvent dans le cas de réseaux anciens, dégradés ou mal conçus où la légionelle trouve de nombreux refuge et des conditions propices à son développement même après restructuration du réseau et mise en place d'une gestion thermique. Les procédés de traitement continu doivent être considérés comme des solutions de dernier recours. Leur emploi peut être plus fréquent dans les établissements de soin où la présence de populations sensibles n'autorise pas la contamination même en faible quantité du réseau d'eau chaude sanitaire.

b) Lequel ?

Les procédés de traitement des réseaux contre la légionelle sont nombreux et récapitulés pour les plus connus dans le tableau suivant. Peu sont autorisés mais certains pourraient prochainement le devenir. La gestion thermique est un cas particulier puisqu'elle peut être considérée comme un traitement continu mais aussi comme une pratique élémentaire de bonne gestion des réseaux (renforcée en cela par le prochain arrêté sur la température de l'eau chaude).

<i>Procédés</i>	<i>Autorisé ?</i>
Eau de javel	Oui
Thermique	Oui
Cuivre/argent	Non
Dioxyde de chlore	Oui (action HCl sur ion chlorite)
Electrochoration	Oui
Monochloramines	Non
UV	Oui
Peroxyde d'hydrogène/argent	En choc seulement
Ozone	Oui

Figure 8 : procédés de lutte contre la légionelle dans les réseaux d'ECS.

L'utilisation d'un tel procédé nécessite une très bonne connaissance du réseau afin de choisir le plus adapté. L'étude du réseau en vu de la mise en place éventuelle d'un traitement par biocide peut être réalisée à l'occasion du DTS. Il n'existe pas de solution pré-établie avant l'étude du réseau. La pratique permet juste de dégager les grandes lignes pour le choix du procédé mais nécessite une analyse particulière complémentaire. Il faut retenir que chaque réseau est un cas particulier et que l'expérience montre que certains procédés seront efficaces pour un réseau donné et inopérants pour un autre. Les principaux critères de choix outre la qualité intrinsèque du désinfectant sont le mode de production d'eau chaude, les matériaux du réseaux, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau distribuée à l'établissement et la vétusté du réseau.

c) Traitement choc et traitement continu.

Le traitement choc consiste en l'injection d'une grande quantité de désinfectant dans le réseau pendant une courte durée au cours de laquelle le réseau est hors-service. Puis, le réseau est rincé jusqu'à absence complète de produit et remis en route. Le traitement continu est un traitement permanent sur le réseau en fonctionnement par injection régulée de petites quantités de biocide. Le procédé doit alors être agréé par la DGS et respecter les normes de potabilité.

Le traitement choc est utile pour réduire de manière drastique une contamination importante dans un réseau. Il est parfois utilisé de manière régulière pour assurer l'absence de légionelle. Cet emploi du traitement choc n'est pas indiqué du fait :

- 1- des dégâts importants alors engendrés sur le réseau par la répétition des chocs (corrosion essentiellement)
- 2- de la non garantie d'absence de légionelle entre deux chocs. De cette manière, la maîtrise du risque légionelle est bien souvent aléatoire.

Le choc n'est pas adapté pour assurer une absence pérenne de légionelle dans le réseau d'ECS. Un bon emploi d'un traitement choc se fait à l'occasion d'un pic de contamination en mesure d'urgence curative ou juste avant la mise en place d'un traitement continu afin de faciliter la mise en route et les premiers réglages de ce dernier.

2. Le traitement continu n'est pas une solution miracle.

a) Des préalables indispensables.

L'application d'un traitement continu ne peut suffire en elle-même à résoudre un problème de contamination d'un réseau par la légionelle. Le traitement continu nécessite au préalable une correction des faiblesses du réseau vis-à-vis du risque légionelle détectées à la suite d'un DTS. Le biocide ne peut par exemple pas agir sur les bras morts car son vecteur est l'eau. D'autre part, il faut au préalable assurer un entretien et une maintenance du réseau performants et réguliers. Enfin, il faudra étudier le réseau pour savoir s'il est compatible avec la mise en place d'un traitement continu et si oui lequel sera le plus adapté. Trop souvent, les traitements sont mis en place hâtivement avec des taux de désinfectants excessifs pour tenter de compenser les lacunes de préparation de l'installation. Les échecs sont alors nombreux. C'est pourquoi, afin de lutter contre la prolifération des légionelles, il est intéressant d'opter pour une démarche de gestion du risque en deux étapes avec en premier lieu une révision et une bonne gestion du réseau puis, si et seulement si ces premières mesures ne sont pas suffisantes, la mise en place, dans un deuxième temps, d'un traitement continu (cf. exemple de démarche simplifiée de gestion du risque lié aux légionelles dans la partie « Stratégie de contrôle et de surveillance »). En outre, il faut comme dans toute démarche de prestation de service s'assurer de la bonne motivation, compétence et professionnalisme du prestataire.

b) Possibilité d'échec et gestion de l'échec.

Outre les échecs liés à leur utilisation dans de mauvaises conditions (cf. avant), les traitements continus peuvent ne pas suffire à lutter contre la prolifération des légionelles ou limiter leur nombre à un niveau sans nuisances. On peut alors reprendre la structure du réseau, sa maintenance et son entretien ou éventuellement envisager l'utilisation d'un autre procédé. Dans le cas où toutes les actions préalables nécessaires auront été correctement menées, le gestionnaire de réseau se retrouve dans une impasse. Cette situation peut être rencontrée dans les réseaux anciens et/ou très mal conçus. Dès lors, la réhabilitation totale du réseau est à envisager. Cette opération est onéreuse et devra être au préalable réfléchie. Les nombreuses investigations menées dans le cadre de la lutte contre la légionelle permettent aujourd'hui de définir les grandes lignes et propriétés du réseau idéal à mettre en place pour cette tâche.

3. Problèmes liés à l'emploi d'un traitement continu.

a) Résistance des bactéries aux biocides.

Si certains évoquent une possible adaptation des légionelles à la température de 60 °C dans les réseaux d'ECS, d'autres parlent d'une résistance accrue aux biocides. Celle-ci aurait été observée pour l'eau de javel mais reste marginale. Néanmoins, ce sujet mérite qu'on s'y intéresse et reste débattu. On peut penser que à l'instar des résistances aux antibiotiques, la résistance aux biocides pourrait être évitée par une utilisation raisonnée de ces produits c'est-à-dire seulement lorsque cela est nécessaire et en quantités minimum utiles. On peut d'autre part envisager de faire varier dans le temps la nature du biocide employé.

b) Dégradation des réseaux par corrosion.

La mise en place d'un traitement continu est un facteur d'aggravation de la corrosion du réseau. Si celle-ci peut être atténuée par une gestion réfléchie du traitement continu, une éventuelle réduction de la température (cf. ci-dessous) et l'emploi d'un produit filmogène, il n'en reste pas moins que les traitements continus sont perçus comme des solutions dommageables pour le réseau et difficilement applicables à long terme. En matière de cinétique, on peut effectivement parler d'accélération de la corrosion avec l'augmentation de la température du fluide et/ou la mise en place d'un traitement continu. Il y a peu d'éléments sur ce sujet. A priori, il semble difficile de raisonner par un facteur multiplicateur car tout dépendra du potentiel de dissolution de chaque métal vis-à-vis de la nature du fluide, de la pression, de la teneur en gaz dissous, du milieu côtoyé et de la nature de l'oxydant. Le calcul théorique est difficile pour cet aspect et le suivi de la corrosion sur pilote avec des métaux soumis à des conditions identiques est certainement plus approprié.

c) Compatibilité entre gestion thermique et traitements chimiques continus.

La gestion thermique avec élévation de la température du réseau au-dessus de 50 °C accentue les phénomènes de corrosion. Dans ce cas, l'ajout d'un produit filmogène n'a qu'un impact réduit puisque leur seuil de température pour un fonctionnement acceptable semble se situer aux alentours de 50 °C. Si la mise en place d'un traitement chimique, facteur également de corrosion du réseau, est décidée suite à l'insuffisance constatée de la gestion thermique pour lutter contre la prolifération des légionelles, on pourra alors réfléchir à la température de distribution d'eau chaude choisie. En effet, l'addition d'une température de l'eau élevée (60 °C) et de produits de désinfection peut alors entraîner de lourds dégâts dans les réseaux. Des questions se posent de surcroît sur la pertinence d'un eau à 60 °C en présence d'un traitement chimique pour l'efficacité de la lutte contre la prolifération des légionelles. Dans certains cas, il pourra ainsi s'avérer judicieux de ramener cette température juste au-dessus de 50 °C. Les phénomènes de corrosion pourraient alors être réduits d'autant plus que les produits filmogènes s'ils sont encore actifs à 50 °C ne semblent plus l'être de manière correcte à 60 °C. Cependant, le prochain arrêté sur la température de l'eau chaude ne devrait pas aller dans ce sens en rendant systématique la gestion thermique et des dérogations devront alors être éventuellement demandées.

d) Pas une solution en soi.

Les procédés de lutte contre la légionelle ne peuvent être considérés comme une solution pérenne. Ils servent en fait de mesure palliative aux faiblesses du réseau (conception, dégradation,...) lorsque la gestion thermique et le bon entretien de l'installation ne sont pas suffisants. Leur principal intérêt est d'éviter la réhabilitation totale et immédiate du réseau, bien souvent fort onéreuse. Mais ces traitements ne sont pas sans coûts et la rénovation du réseau devra à terme être réalisée sur la durée et permettre ainsi par suite de se dégager de l'emploi d'un traitement continu. Néanmoins, dans le cas des établissements de soin où certains patients peuvent être immunodéprimés, la mise en place et la conservation d'un traitement continu sur un réseau en bon état donne des garanties supplémentaires dans un milieu où la fragilité des usagers n'autorise pas en l'état actuel des connaissances la moindre contamination du réseau.

C. Exemple d'étude d'un procédé : le traitement continu à l'eau de javel.

1. Présentation de l'eau de javel.

a) La forme active de l'eau de javel.

L'eau de javel met en présence deux formes ioniques du chlore dans l'eau, à savoir ClO^- et l'acide hypochloreux HOCl , regroupées sous le nom de chlore libre. L'acide hypochloreux est

l'élément le plus actif en qualité de désinfectant (de 20 à 300 fois plus que ClO^- selon les publications). L'eau de javel est caractérisée par sa teneur en chlore actif qui s'évalue en degré chlorométrique. Avec 1° chlorométrique valant 3,17 g de chlore actif par litre, 1 litre d'eau de javel à 18°Cl contient donc 57 g de chlore actif et 1 litre d'eau de javel à 36°Cl, 114 g de chlore.

b) Pouvoir désinfectant du chlore.

❑ Efficacité de la désinfection.

Les ions HOCl et ClO^- éliminent les bactéries par oxydation de leurs parois membranaires. Des essais ^[7] ont été réalisés sur eau de rivière concentrée par centrifugation et chauffée 30 min à 50 °C. Lors de ces essais il n'y avait pas de biofilm. Les résultats suivants ont donc été obtenus sur des bactéries planctoniques :

- le chlore libre à des concentrations de 3.3 et 6.6 mg/l inactive rapidement *Legionella pneumophila*.
- la légionelle est sensiblement plus résistante aux hautes doses de chlore que les coliformes, germes habituellement utilisés en tant que témoins de la contamination bactérienne des eaux.
- une désinfection standard (habituellement appliquée sur un réseau d'eau potable) ne semble ainsi pas suffisante pour éliminer totalement la légionelle quand elle est en grand nombre.
- à pH 7.6 et 21 °C, une concentration résiduelle en chlore libre de 0.1 mg/L tue 99% des *Legionella* après un temps de contact de 30 à 60 minutes. Avec 0.5 mg/l, le résultat est identique en 5 min.

Des questions se posent toutefois quant à l'applicabilité de ces données obtenues in-vitro depuis que des expérimentations ont montré une résistance au chlore moins importante chez les *Legionella* cultivées en laboratoire par rapport à celles rencontrées dans les réseaux d'eau chaude. Ainsi, 10 min de temps de contact et 0.25 mg/L de chlore libre sont nécessaires pour réduire de 2 log la concentration de légionelles cultivées sur milieu gélosé quant, pour le même taux de chloration, il faut 60 à 90 min pour des bactéries prélevées dans un réseau. Il est donc recommandé de prendre du recul et une marge de sécurité importante par rapport aux données habituellement communiquées.

❑ Sélectivité.

Le chlore libre sera en grande partie consommé par les matériaux constitutifs du réseau et les matières en suspension. Il réagit ainsi avec les métaux mais aussi la matière organique et en particulier les amines du fait de sa grande force d'oxydation. Par conséquent, la demande en chlore du milieu étant importante, il faudra appliquée des doses conséquentes de chlore pour maintenir un résiduel de désinfection. La consommation en chlore sera d'autant plus forte que le réseau sera corrodé ou mal entretenu.

- ❑ Action sur le biofilm et les protozoaires.

Les publications de Y. LEVI^{[33],[35]} mettent l'accent sur les **performances limitées du chlore contre le biofilm**. En effet, le chlore est consommé par les matières dissoutes (canalisation, matière organique...) et le pH relativement élevé de l'eau perturbe fortement la chloration en accentuant la corrosion qui de plus est favorable au développement du biofilm. De même, des problèmes d'hydraulique et en particulier la stagnation de l'eau dans certaines branches du réseau sont un frein à l'efficacité de la chloration. En effet, l'eau étant le vecteur du désinfectant, celui-ci n'a pas accès aux portions de réseau où la circulation du fluide n'est pas effective. Soulignons également que le développement dans les amibes et les ciliés protègent les légionelles du chlore libre^[5] avec une survie observée à des taux de respectivement 10 et 4 mg/L. Dès lors, pour éliminer les légionelles en présence d'amibes, la quantité de chlore nécessaire est plus importante. Un pré-traitement à la chaleur (50 °C) pourrait rendre les formes résistantes des ciliés et amibes plus sensibles à la chloration.

- ❑ Influence du pH et de la température.

Le pH

Le pH influe sur la répartition du chlore entre ses deux formes (HOCl et OCl^-). La courbe de dissociation de l'acide hypochloreux en fonction du pH nous montre que la proportion d'acide hypochloreux diminue au profit de celle de l'ion ClO^- au fur et à mesure de l'augmentation du pH. L'équipartition se situe autour d'un pH de 7.4. Compte-tenu du pouvoir désinfectant supérieur de l'acide hypochloreux, la diminution du pH a donc le même effet que l'augmentation du taux de chlore. Ainsi, on s'intéressera lors d'un dosage de chloration à la quantité de javel additionnée à l'eau mais aussi à la valeur du pH de l'eau. L'eau chaude sanitaire est le plus souvent alcaline, et l'eau de javel étant fortement basique, le pH de l'eau chlorée est en général supérieur à 7,5.

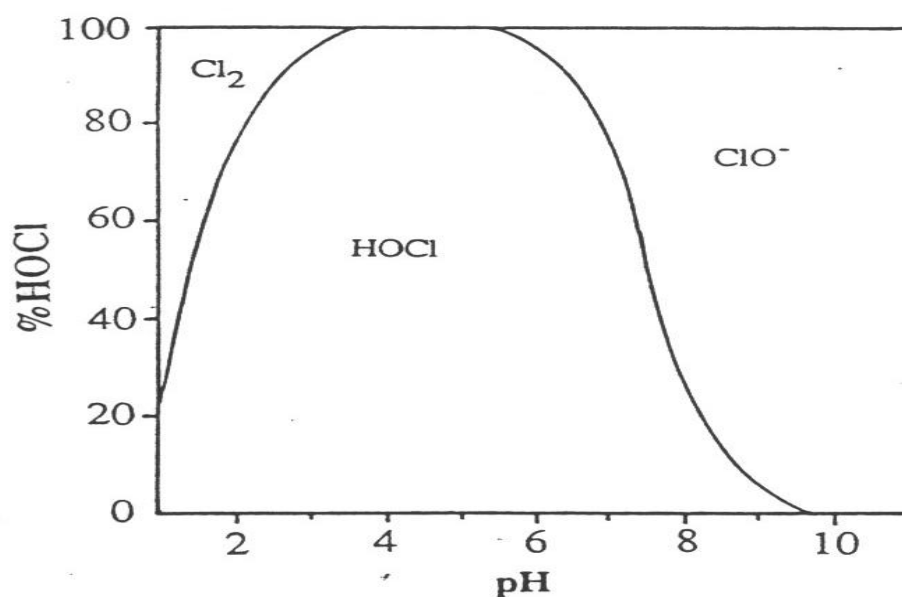


Figure 9 : courbe de répartition du chlore en fonction du pH.

De la même façon, on sait que l'ajout de 1 ppm de NaClO augmente indirectement de 1 ppm le TAC et par suite le pH. Par conséquent, pour des eaux naturelles, l'addition d'eau de javel peut augmenter de manière significative un pH initial faible et favoriser la forme ClO^- au détriment de la forme HOCl. Pour les eaux naturellement alcalines, l'incidence devient négligeable sauf en ce qui concerne la formation de carbonate de calcium, et donc l'entartrage, qui est majeure en pH alcalin.

La température.

L'augmentation de température accroît le pouvoir désinfectant intrinsèque du chlore libre mais également sa consommation dans le fluide. Finalement, il semble que pour une même dose de chlore, l'augmentation de la température réduise le temps de contact nécessaire à la désinfection.

c) Corrosivité du chlore.

La grande corrosivité de l'eau de javel détériore les réseaux. Dans les canalisations en acier, l'oxydation du fer métallique en fer ferreux est accentuée par la présence de chlore en qualité de désinfectant résiduel. Il se produit la réaction suivante :



Au cours d'expérimentations menées au CIRSEE durant l'été 2001, des vitesses de corrosion, similaires sur l'acier et le cuivre, d'environ 300 à 600 $\mu\text{m}/\text{an}$ ont été relevées pour des teneurs en chlore de 2 ppm et à 60 °C. En outre, ces expérimentations ont confirmées l'accélération de la corrosion avec l'augmentation de la température. L'injection d'eau de javel avec un résiduel de 1 à 2 mg/l de chlore libre, conformément aux recommandations des circulaires, multiplie souvent la vitesse de corrosion par 5 en absence d'un inhibiteur de la corrosion adapté et par 2 à 3 en présence d'inhibiteur dans les réseaux d'eau chaude sanitaire⁹. Il n'est pas rare de mesurer une corrosion avec un système électrochimique (ex : Corratel) de 200 μm par an et jusqu'à dans certains cas 500 μm par an. **La chloration est probablement la technique générant le plus de corrosion pour les installations en acier, acier galvanisé et cuivre.** Les durées de vie de tuyauteries en acier (non galvanisé) et en cuivre soumises à un traitement continu au chlore de 2 ppm ont été évaluées, théoriquement et en l'absence d'inhibiteur de corrosion, par les expérimentateurs du CIRSEE à respectivement 12 et 2 ans¹⁰. Ces durées sont toutefois à fortement relativiser car elles correspondent à des conditions de laboratoire et sont extrapolées à partir de durées d'observation courtes.

La corrosion liée au chlore est accentuée par:

- **l'adoucissement partiel de l'eau.** Chlorer une eau qui est passée sur un adoucisseur peut conduire à de graves problèmes en terme de corrosion, non seulement sur l'acier mais aussi l'acier galvanisé, voire le cuivre.

⁹ Impact réduit des produits filmogènes à cause des températures élevées rencontrées en eau chaude sanitaire

¹⁰ les vitesses de corrosion sont similaires mais les canalisations en acier sont plus épaisses

- **le chauffage de l'eau.** La cinétique de la corrosion s'accélère avec l'augmentation de la température et ceci est d'autant plus vrai en présence de chlore. Il faut en outre savoir que à plus de 50 °C, la plupart des traitements anticorrosion ne sont plus efficaces.
- **les surdosages** que l'on rencontre surtout lors de la réalisation d'un choc chloré. A 20 voire 50 mg/l de chlore libre, lors d'un nettoyage, des dégâts importants peuvent survenir dans les réseaux. L'étude de l'été 2001 réalisée au CIRSEE va dans ce sens avec des vitesses de corrosion mesurées supérieures à 500 µm par an à 15 ppm et seulement 20 °C. Toutefois, le caractère exceptionnel de ces chocs chlorés atténue l'importance des vitesses de corrosion observées surtout par rapport à la permanence d'un traitement à 2 ppm. L'utilisation de coupons de corrosion pour le suivi des nettoyages peut se révéler être une précaution judicieuse.

d) Sécurité d'emploi.

- ❑ Lors de la manipulation du produit.

L'emploi de l'eau de javel n'amène pas de considération particulière en matière de sécurité. Une attention élémentaire reste cependant à porter sur la manipulation de l'eau de javel concentrée du fait du caractère corrosif de ce produit. La fiche sécurité n°157 concernant l'eau de javel peut être consultée sur le site Internet de l'INRS.

- ❑ D'un point de vue sanitaire.

La réaction du chlore avec les composés organiques dissous forme des trihalométhanés reconnus cancérogènes. Le décret n° 2001- 1220 fixe leur concentration maximum dans l'eau potable à 100 µg/L. Ces THM peuvent également provoquer des fausses couches chez les femmes enceintes et sont soupçonnés plus généralement de divers effets sur la reproduction. On réalisera des mesures périodiques de contrôle des taux de THM aux points d'usage.

2. La désinfection continue des réseaux d'ECS à l'eau de javel.

a) Principe

Ce procédé consiste à maintenir en permanence du chlore dans le réseau de façon à obtenir en sortie de robinet une concentration résiduelle autour de 1 milligramme de chlore libre (recommandation de la DGS). Notons que l'inactivation et la suppression des protozoaires, organismes protecteurs des légionelles, nécessiterait des taux de chlore résiduel supérieurs à 3 mg/l.

b) Dispositifs.

❑ Réseau bouclé.

Il est très difficile de standardiser les dispositifs d'injection et de régulation de l'eau de javel en traitement continu. Dans une première approche, on peut présenter deux configurations fréquemment rencontrées sur un réseau bouclé et distinguées suivant le mode de production d'eau chaude du réseau :

1- Réseau avec **échangeur à plaque**.

On dispose alors un seul point d'injection pour le dioxyde de chlore en fin de boucle. Cette injection est asservie à un analyseur en ligne du résiduel de désinfectant placé en entrée de boucle.

2- Réseau avec **ballons**.

Deux points d'injection du dioxyde de chlore sont mis en place. Le premier au niveau de l'eau froide d'appoint asservi à un débitmètre. Le deuxième sur le départ de la boucle d'eau chaude asservi à un analyseur en ligne du résiduel de désinfectant placé le plus souvent quelques mètres après¹¹ pour des raisons pratiques et du fait de l'inertie du système.

Des schémas représentatifs de ces installations sont à consulter à l'annexe n° 5. Il faudra toutefois prendre en compte d'autres éléments tels que la vétusté du réseau ou sa longueur ce qui peut fortement modifier les exemples de dispositifs ici présentés.

❑ Réseau non-bouclé.

Dans ce cas particulier, il n'y a qu'un dispositif préconisé quelque soit le mode de production d'eau chaude. Il est constitué de deux points d'injection. Le premier est placé sur l'eau froide d'appoint et asservi au débit d'eau froide et le deuxième est placé au départ du circuit juste après la production d'eau chaude et asservi à un analyseur en ligne placé quelques mètres plus loin. Rappelons tout de même qu'en présence d'un réseau non-bouclé, la réalisation du bouclage sera bien souvent préconisée pour lutter plus efficacement contre la légionelle.

❑ Produit filmogène.

Il faut dans tous les cas ajouter un équipement de protection du réseau contre la corrosion liée à l'action du biocide sur les matériaux des canalisations. Le plus souvent, il s'agit d'une injection de produit filmogène (silicates ou polyphosphates) asservie au débitmètre placé sur la canalisation de l'eau froide d'appoint. Certains de ces produits ont également une action anti-tartre.

¹¹ Toutefois sur des réseaux courts et bon état, il est possible avec un dispositif sensible (analyseur colorimétrique) de placer l'analyseur sur le retour de boucle comme cela paraît plus logique.

c) Equipements.

❑ Matériel.

L'équipement de base pour la mise en place d'une chloration continue est composé globalement :

- d'une ou deux pompes doseuses montées en charge avec bac de stockage et accessoires. La pompe doseuse sera munie d'une tête dégazante. Ces pompes plus chères à l'achat évitent un désamorçage qui pourrait laisser le réseau sans traitement si la panne n'est pas détectée rapidement. Les pompes à employer et les caractéristiques préconisées sont indiquées à l'annexe n°6.
- D'une pompe doseuse, d'un bac de stockage et accessoires pour l'injection de produit filmogène
- d'un compteur d'eau sur la conduite d'eau froide d'appoint pour suivre la consommation d'eau chaude. Il servira à la régulation de l'injection de produit filmogène et de l'éventuel deuxième point d'injection d'eau de javel.
- d'un analyseur en ligne. Cette installation devra faire l'objet d'un suivi attentif au cours des premiers mois avec relevé des valeurs mesurées. L'analyseur en ligne sert de régulation. On en rencontre de 3 types commentés à l'annexe n°7.

❑ Consommables.

On recense l'utilisation des divers produits suivants :

- produit filmogène.
- solution concentrée d'eau de javel.
- bandelettes test pour la mesure du résiduel de chlore aux points d'usage (voire analyseur portable pour grandes installations avec nombreux points d'usages à contrôler).

La solution mère d'eau de javel est préparée par dilution d'une solution concentrée d'eau de javel. Sa concentration sera à définir en fonction de la dose de chlore appliquée et du volume de stockage disponible de la solution mère. Moins une solution mère est concentrée plus la régulation des doses appliquées est fine et régulière mais il faut aussi assurer un volume de stockage et une période de renouvellement raisonnable. En effet, l'activité de l'eau de javel peut décroître de 15 % en 24 h et on préconise en général de ne pas dépasser une autonomie de 1 semaine sur la solution de javel afin de ne pas dégrader de manière conséquente la qualité du désinfectant. Enfin, le dispositif d'injection doit pouvoir répondre aux forts soutirages. Dans tous les cas, on évitera l'emploi direct de javel à 36 ° chlorométrique qui entraîne un bouchage régulier de la canne d'injection du fait de la cristallisation de la javel concentrée. Ce problème peut être évité par dilution de la solution de javel avec de l'eau adoucie. De même, l'injection doit se faire avec la canne d'injection positionnée sur le coté ou par le dessus de la canalisation (jamais par en-dessous). En général, on emploiera des solutions à 36 ° Chl diluée de 20 à 50 % ou de concentration similaire avec des pompes doseuses

assurant des débits d'injection de quelques litres par heure. Pour le réglage des débits des pompes doseuses et le choix de la concentration de la solution injectée en fonction du taux de traitement souhaité, il faudra procéder à des calculs particuliers en fonction du réseau rencontré et du matériel mis en place.

d) Mise en place

Le nettoyage et l'entretien réguliers du réseau sont ici considérés comme acquis. De même, la réalisation des piquages nécessaires est à la charge de l'exploitant du réseau. Toutes les actions décrites ci-après seront menées en collaboration avec l'exploitant du réseau.

❑ Préalable au lancement du traitement continu.

- Réalisation d'un choc chloré. (se reporter au paragraphe correspondant)

En vue du nettoyage/désinfection du réseau qui permettra une efficacité accrue du traitement continu et une stabilisation plus rapide des demandes en chlore du réseau. Dans tout les cas, on assurera au minimum le nettoyage du ou des ballons, du réseau et des éléments de robinetterie.

❑ Etapes de l'opération.

- Commande du matériel.
- Equipement du réseau avec dispositifs d'injection (eau de javel et filmogène), dispositif de régulation et calibration. La réalisation de piquages sur le réseau est à la charge du gestionnaire du réseau.
- Lancement du traitement avec contrôle des résiduels. Un ajustement des concentrations appliquées s'avère bien souvent nécessaire pour répondre à la demande du réseau et obtenir le résiduel souhaité. Cet ajustement se fera sur plusieurs jours.
- Rédaction d'un rapport d'intervention.

Personnel nécessaire : 2 agents dont un responsable de chantier

Durée de l'intervention :

- 4 heures (commande)
- 20 heures (installation et son suivi)
- 4 heures (rapport d'intervention).

e) Exploitation – Maintenance

On peut schématiquement présenter les tâches liées à l'exploitation et à la maintenance et leur fréquence de la manière suivante :

❑ Exploitation

- Contrôle mensuel des résiduels aux points de puisage. On cherche à obtenir un résiduel entre 1 et 2 ppm. Ce contrôle sera d'une fréquence soutenue dans les premiers temps de mise en route de l'installation.
- Renouvellement mensuel des stocks de réactifs. La préparation de la solution diluée sera fréquente du fait de la perte rapide d'activité de l'eau de javel et à la charge de l'exploitant du réseau.
- Entretien des appareillages d'injection et des analyseurs en ligne (cf. annexe n° 6 et 7).

❑ Maintenance.

- Remplacement des tuyaux en contact avec la solution d'eau de javel.
- Remplacement de divers éléments des pompes doseuses tous les ans (cf. document sur pompe doseuses en annexe n°6).
- Remplacement d'éléments du dispositif de régulation (cf. annexe n°7).

Personnel : 1 agent de maintenance.

Durée des visites et fréquence : ½ journée par mois.

f) Coûts.

Seule la décomposition des coûts est ici présentée. Les coûts en eux-mêmes ne sont pas mentionnés car ils découlent le plus souvent d'accords cadres entre LEF et les fournisseurs. Un tableau type est à consulter à l'annexe n°8.

L'**investissement** peut être décomposé au travers des 4 postes suivants :

- Poste 1 : dispositif de fabrication de la solution mère et d'injection
- Poste 2 : dispositif de mesure en ligne du chlore résiduel avec régulation.
- Poste 3 : dispositif de traitement anti-corrosion par filmogène
- Poste 4 : mise en œuvre des équipements.

L'**exploitation** est détaillée au travers de :

- la consommation d'eau de javel
- la consommation de produit filmogène
- la consommation de bandelettes test.

La **maintenance** quant à elle reprend les thèmes de :

- remplacement d'éléments des pompes doseuses
- remplacement d'éléments de l'analyseur en ligne
- remplacement de tuyaux en contact avec la solution mère d'eau de javel.

L'entretien et la maintenance de l'installation sont assurés au cours d'une **visite mensuelle** d'une demi-journée d'un agent Lyonnaise des eaux France. Les quantités d'eau de javel utilisées sont

difficiles à évaluer puisqu'elles vont varier en fonction de la réponse du réseau, de la consommation d'eau chaude sanitaire, de la qualité de l'eau entrante et des résiduels de chlore visés. Les filmogènes quant à eux sont injectés en quantité fixe asservie sur le débit d'eau froide entrante suivant les préconisations du fournisseur. Dans les coûts de fonctionnement, la consommation électrique sera négligée.

g) Garantie de résultat.

L'utilisation du chlore en désinfection continue n'apporte pas une sécurité totale vis-à-vis du risque légionelle. En effet, le chlore pénètre difficilement dans le biofilm, il est donc peu efficace sur les organismes qui s'y logent et sont associés à la légionelle. Son action se fait essentiellement sur les bactéries à l'état planctonique. De plus, le chlore n'a pas d'action désinfectante sur les amibes qui protègent les légionelles. A ceci s'ajoute la difficulté de maintenir un taux de chlore efficace dans les réseaux d'eau chaude et donc une désinfection quelque peu aléatoire dans le temps et dans l'espace. Finalement, la prolifération de légionelle est juste contenue avec une chloration continue et une défaillance du système amène une recolonisation rapide du réseau en quelques jours (en l'absence d'autre moyens de lutte). Les hôpitaux qui utilisent ce procédé peuvent avoir des cas sporadiques de légionelloses et devront ajouter des filtres terminaux aux points de tirage des éventuels usagers à hauts risques.

h) Difficultés pratiques.

Tout d'abord, la faible stabilité de l'eau de javel dans le temps ne facilite pas le maintien d'un résiduel de chlore libre constant. Les matériaux des canalisations, la matière organique dissoute, le biofilm et la chaleur consomment le chlore libre de manière variable. Il est possible de stabiliser l'eau de javel en rajoutant certaines molécules (acide sulfamique, hydantoïne, surfactant, argiles) mais ces composés ne peuvent être utilisés dans le cadre des eaux chaudes sanitaires qui doivent respecter les critères de potabilité d'une eau destinée à la consommation humaine. Ensuite, comme expliqué précédemment, il faut surveiller le pH de l'eau qui commande la répartition entre les deux formes ioniques de l'eau de javel et donc influe sur le pouvoir de désinfection. Ainsi, dans le cas de la chloration continue, outre la valeur de chlore libre que l'on veut atteindre (2 à 3 mg/l de chlore libre en général), il faut s'assurer de la présence d'un minimum d'acide hypochloreux. Cet oubli peut conduire à une désinfection insuffisante et entraîner des résultats inférieurs à ceux attendus. De la même manière, l'équilibre entre les 2 formes dépend de la température de l'eau. Chauffer l'eau lors d'une chloration accentue le pouvoir désinfectant mais également la corrosion du réseau. Par ailleurs, le caractère alcalin de l'eau de javel peut conduire, au point d'injection, à un entartrage (précipitation de carbonates de calcium). Il faut injecter le produit dans une zone à forte turbulence. Le dégazage du produit est une difficulté supplémentaire pour son injection résolue par l'utilisation de pompes doseuses à têtes dégazantes. Enfin, soulignons que la désinfection chimique au chlore est apparemment peu efficace dans les canalisations corrodées même après détartrage.

3. Bilan.

On retiendra que de nombreux éléments concordent à montrer une relative tolérance de *Legionella pneumophila* au chlore dans les réseaux de distribution d'eau chaude, en particulier au sein du biofilm et dans les protozoaires. On a retrouvé des légionelles dans des eaux contenant jusqu'à 7 mg/L de chlore libre. Toutefois, ce produit a l'avantage de faire partie des solutions autorisées par la DGS pour la désinfection des réseaux.

D'un point de vue technique, la chloration en continu génère des soucis d'exploitation. Il peut ainsi notamment y avoir des problèmes d'injection avec le désamorçage des pompes ou le bouchage régulier des cannes d'injection. De plus, on note des problèmes de régulation car la mesure du chlore libre en continu n'est pas simple. L'étalonnage de la chaîne de mesure, impératif pour le bon fonctionnement des appareils de mesure, et le maintien d'un résiduel de chlore constant présentent des difficultés.

Ainsi, si l'eau de javel utilisée en chloration continue constitue la technique la plus utilisée en France et dans le monde, les difficultés sont nombreuses avec ce procédé. L'emploi de l'eau de javel pose des problèmes d'exploitation, de dosages (1,2 ou 3 mg/l de chlore libre ?), de maintien d'un résiduel constant et de vieillissement accéléré des réseaux. Toutefois, certains de ces problèmes peuvent en fait être liés à la structure du réseau ou à sa mauvaise exploitation (absence d'action préalable, mauvaise réalisation ou réseau trop dégradé).

Le tableau suivant reprend les avantages et les inconvénients de l'eau de javel :

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Prix	Entartrage des lignes d'injection
Simplicité d'utilisation	Performances très dépendante du pH
	Peu efficace sur le biofilm
Produit liquide	Caractère oxydant
	Odeur
Bonne efficacité sur taux de bactéries planctoniques	Caractère corrosif (acier, inox, cuivre)
	Formation de THM
Pouvoir rémanent, concentration résiduelle	Stabilité des résiduelles de désinfection difficile à atteindre.
	Legionella est contenue mais pas supprimée d'où une possibilité de résurgence rapide en cas de défaillance du système.

Figure 10 : avantages et inconvénients du traitement continu à l'eau de javel.

Conclusion

Ce travail de fin d'étude m'a permis d'aborder, dans le court temps de 4 mois qui lui est imparti, la plupart des éléments visant à une démarche raisonnée de gestion du risque légionelle. La pratique dévoile un domaine riche de préconisations mais sans cohérence dans son ensemble. L'évaluation partielle à l'heure actuelle du risque lié aux légionelles est fortement responsable de cet état de fait. En outre, ceci explique pour partie les tâtonnements observés dans l'application des procédés de lutte mais aussi dans l'élaboration d'une stratégie de contrôle et de surveillance efficace. Seule une meilleure connaissance de la composition des aérosols, de leur dispersion et des conditions de contamination humaine permettront d'évaluer réellement les situations à risques et d'y opposer les solutions adaptées.

Les procédés de traitement continu des eaux chaudes sanitaires, actuellement en fort développement, ne bénéficient pas en France d'une expérience suffisante. Les pratiques sont le plus souvent hâtives et n'apportent pas toujours de fait les résultats escomptés. Un procédé de traitement continu ne doit pas être perçu comme une solution miracle. Il ne s'agit que d'un maillon de la démarche globale de gestion du risque lié aux légionelles et son application nécessite au préalable une connaissance parfaite et une gestion rigoureuse du réseau. En outre, leur emploi prête aujourd'hui à discussion quant à leur réelle efficacité et aux dégâts qu'ils peuvent occasionner sur le réseau à l'image du traitement continu à l'eau de javel. Il n'en reste pas moins que leur application correcte et maîtrisée doit fournir des garanties d'éradication des légionelles aux gestionnaires d'ERP.

La stratégie de contrôle et de surveillance apparaît quant à elle devoir répondre à quatre grandes missions que sont l'acquisition de l'information, la conservation et l'évolution de l'information, la diffusion et l'échange de l'information et enfin l'aide à la décision. Pour ce faire, le suivi rigoureux de la contamination du réseau et des cas de légionellose ainsi que la mise en place du carnet sanitaire sont des piliers indispensables. A l'avenir, on peut imaginer intégrer ces fondamentaux et d'autres actions importantes dans une démarche de type HACCP afin de donner cohérence et efficacité à l'ensemble de la stratégie de contrôle et de surveillance. Toutefois, si le contrôle et la surveillance s'avère primordiaux pour une gestion efficace du risque lié aux légionelles, ils font bien souvent défaut sur des réseaux de taille moyenne où il est difficilement possible d'affecter les importants moyens humains qu'ils nécessitent. En ce sens, les gestionnaires de réseau d'ECS dans les ERP attendent des solutions techniques précédemment évoquées qu'elles soient, autant que faire se peut, autonomes et fiables.

Sur un plan personnel, ce stage a été enrichissant en tant que première vision du rôle de l'ingénieur du génie sanitaire situé à l'interface entre d'une part, la théorie de l'évaluation et de la gestion des risques dont il maîtrise les outils et d'autre part, la formulation de solutions techniques en vue de la résolution effective des problèmes de santé environnementale rencontrés.

Bibliographie

- [1] G. BEZANSON, S. BURBRIDGE, D. HALDANE & T. MARRIE. **In situ colonization of polyvinyl chloride, brass, and copper by *Legionella pneumophila***. Canadian journal of Microbiology. Vol. 38, 1992.
- [2] J. ROGERS, A.B. DOWSETT, P.J. DENNIS, J.V. LEE & C.W. KEEVIL. **Influence of Temperature and Plumbing Material Selection on Biofilm Formation and Growth of *Legionella pneumophila* in a Model Potable Water System Containing Complex microbial Flora**. Applied and Environmental Microbiology. May 1994. p. 1585-1592.
- [3] S. J. STATES, L. F. CONLEY, M. CERASO, T. E. STEPHESON, R. S. WOLFORD, R. M. WADOWSKY, A. M. McNAMARA & R. B. YEE. **Effects of Metals on *Legionella pneumophila* Growth in Drinking Water Plumbilg Systems**. Applied and Environmental microbiology, Nov. 1985, p. 1149-1154.
- [4] S.J. STATES, L.F. CONLEY, J.M. KUCHTA, B. M. OLECK, M.J. LIPOVICH, R. S. WOLFORD, R.M. WADOWSKY, A.M. McNAMARA, J.L. SYKORA, G. KELETI & R.B. YEE. **Survival and multiplication of *Legionella pneumophila* in Municipal Drinking Water Systems**. Applied and Environmental Microbiology, May 1987, p. 979-986.
- [5] J.V. LEE & A.A. WEST. **Survival and growth of *Legionella* species in the environment**. Journal of applied bacteriology Symposium Supplement 1991, 70, 121S-129S.
- [6] G. BEZANSON, S. BURBRIDGE, D. HALDANE, C. YOELL & T. MARRIE. **Diverse populations of *Legionella pneumophila* present in the water of geographixcally clustered institutions served by the same water reservoir**. Journal of clinical microbiology. March 1992, p.570-576.
- [7] J.M. KUCHTA, S.J. STATES, A.M. McNAMARA, R.M. WADOWSKY & R.B. YEE. **Susceptibility of *Legionella pneumophila* to chlorine in tank water**. Applied and environmental microbiology, nov. 1983, p.1134-1139.
- [8] J.E. STOUT, VL. YU & M.G. BEST. **Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution systems**. Applied and environmental microbiology. Jan. 1985, p. 221-228.
- [9] R. M. WADOWSKY, R. WOLFORD, A. M. McNAMARA & R.B. YEE. **Effect of température, pH, and oxygen level on the multiplication of naturally occurring *Legionella pneumophila* in potable water**. Applied and environmental microbiology. May, 1985, p.1197-1205.
- [10] R. M. WADOWSKY & R.B. YEE. **Effect of Non-*legionellaceae* Bacteria on the multiplication of *Legionella pneumophila* in potable water**. Applied and environmental microbiology, May 1985, p. 1206-1210.
- [11] CSTB - Service des recherches des infractions aux règlements sanitaires. **Protection sanitaire des réseaux de distribution d'eau destinée à la consommation humaine**. Avril 1987. Guide technique n°1
- [12] Ministère de la santé - Direction Générale de la Santé - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. **Qualité des installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine à l'intérieur des bâtiments. Conception - Réalisation - Entretien**. Guide technique n°1 bis.
- [13] BERG J.D., HOFF J.C., ROBERTS P.V., MATIN A. **Resistance of bacterial subpopulations to disinfection by chlorine dioxine**. Journal of AWWA, 80(9) : 115-119. 1988.

- [14] PERRINE D., LANGLAIS B. **Légionelloses et procédés de désinfection des eaux.** L'eau, l'industrie, les nuisances, 104 : 55-57. **1986.**
- [15] DOMINGUE E.L., TYNDALL R.L., MAYBERRY W.R., PANCORBO O.C. **Effects of three oxidizing biocides on Legionella pneumophila serogroup 1.** Applied Environmental Microbiology, 54 (3) : 741-747. **1988.**
- [16] KUCHTA J.M., STATES S.J., McNAMARA A.M., WADOWSKY R.M., YEE R.B. **Susceptibility of Legionella pneumophila to chlorine in tap water.** Applied Environmental Microbiology, 46(5) : 1134-1139. **1983**
- [17] SKALIY P., THOMPSON T.A., GORMAN G.W., MORRIS G.K., McEACHERN H.V., MACKEL D.C. **Laboratory Studies of disinfectants against Legionella pneumophila.** Applied Environmental Microbiology, 40(4) : 697-700. **1980**
- [18] MURACA P., STOUT J.E., YU V.L. **Comparative assessment of chlorine, heat, ozone and UV radiation light for killing Legionella pneumophila within a model plumbing system.** Applied Environmental Microbiology, 53(2) : 447-453. **1987.**
- [19] SOBSEY M.D., **Inactivation of health related microorganisms in water disinfection processes.** Water Sciences and Technology, 21 : 179-195; **1989.**
- [20] FONTVIEILLE D., VIBOUD S., FAUVET G. **Développements et rôle des biomasses fixées en eaux courantes.** TSM n°11. Novembre **1999.**
- [21] PIRIOU P. **Avancement des travaux du groupe européen AGHTM/CHA sur la mesure des biomasses fixées.** TSM n°11. Novembre **1999.**
- [22] LEVI Y. **Groupe de travail européen sur la mesure des biomasses fixées.** TSM n°11. Novembre **1999.**
- [23] LEVI Y. **Les paramètres influençant le développement des germes dans les réseaux d'eau potable.** TSM n° 3. **1995.**
- [24] KIENE L., LU W., LEVI Y. **Relative importance of phenomena responsible of the chlorine consumption in drinking water distribution systems.** Lyonnaise des Eaux – CIRSEE. **1996.**
- [25] DUBROU S., NAHAPETIAN K., CHALLEMEL O., FESTY B. **Protozoaires et prolifération des Legionella dans les réseaux privés de distribution d'eau.** Journal Français d'Hydrologie, tome 23, fasc. 2, p.251 à 259. **1992.**
- [26] DERANGERE D., HILAIRE B., FRANCOIS C., DUBROU S., CABANES P.A. **Risques de développement de Legionella dans les réseaux de distribution d'eau chaude sanitaire.** Cahier du CSTB © INIST CNRS. **1999.**
- [27] GAO Y., EDWARD C. **Monochloramine and Chlorine Dioxide as Alternative Disinfection Method for Legionella Control.** Department of civil and engineering, university of Pittsburgh, PA, 15261 USA. **2001**
- [28] **Alternative Disinfectants and Oxidants.** Guidance Manual – EPA. Avril **1999.**
- [29] SIMPSON G.D., MILLER R.F., LAXTON G.D. & CLEMENTS W.R. **A focus on Chlorine Dioxide : the « Ideal Biocide ».** <http://www.clo2.com/reading/waste/corrosion.html>. 24 mai **2002.**
- [30] M. A. BERNARDE, B. M. ISRAEL, V. P. OLIVIERI & M. L. GRANDSTROM. **Efficiency of Chlorine Dioxide as a Bactericide.** Applied Microbiology, 13, 776 (Sops. **1965).**

- [31] WALKER J.T., MACKERNESS C.W., MALLON D., MAKIN T., WILLIETS T. & KEEVIL C.W. **Control of Legionella pneumophila in a hospital water system by chlorine dioxide.** Journal of Industrial Microbiology 15, 384-390. 1995.
- [32] STOUT J.E., LIN Y.E., GOETZ A.M., R.R. MUDER. **Controlling Legionella in Hospital Water Systems : Experience With the Superheat-and-flush Method and Copper-silver Ionization.** Infection Control and Hospital Epidemiology. Vol 19 : 911-914. 1998.
- [33] STOUT J.E., BEST M.G., YU V.L. **Susceptibility of Members of the Family Legionellaceae to Thermal Stress : Implications for Heat Eradication Methods in Water Distribution Systems.** Applied and Environmental Microbiology, Vol. 52 p.396-399 Août 1986.
- [34] BEST M., GOETZ R.N., YU V.L. **Heat eradication measures for control of nosocomial Legionnaires' disease. Implementation, education and cost analysis.** American Journal of Infection Control. Vol 12 n°1, février 1984.
- [35] STEINERT M., OCKERT G., LUCK C., HACKER J. **Regrowth of legionella pneumophila in a Heat-disinfected Plumbing System.** Zent. bl. Bakteriologie, 288, 331-342. © Gustav Fischer Verlag. 1998.
- [36] ZACHEUS O.M., MARTIKAINEN J. **Effect of heat flushing on the concentrations of Legionella pneumophila and other heterotrophic microbes in hot water systems of apartment buildings.** Canadian Journal of Microbiology. 42 : 811-818. 1996.
- [37] MAUCLINE WS, JAMES BW, FITZGEORGE RB, DENNIS PJ, KEEVIL CW. **Growth temperature reversibly modulates the virulence of Legionella pneumophila.** Infect Immun ;62(7):2995-7. Juillet 1994.
- [38] STATES S.J., PODORSKY J.A., CONLEY L.F., YOUNG W.D., WADOWSKY R.M., DOWLING J.N., KUHTA J.M., NAVRATIL J.S., YEE R.B. **Temperature and the survival and multiplication of L. Pneumophila associated with Hartmannella vermiformis. In Legionella. Current status and emerging perspectives.** American Society for Microbiology, Washington D.C. pp. 147-149.
- [39] CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIC DE FRANCE. **Gestion du risque lié aux légionelles.** Novembre 2001.
- [40] CENTRE BELGE D'ETUDE ET DE DOCUMENTATION DE L'EAU. **Le dioxyde de chlore.** Tribune de l'eau. Septembre/Octobre Novembre/Décembre Nos 5-6. Vol 54. Nos 613-614. 2001
- [41] Sous-direction de la gestion des risques des milieux. Bureau des eaux et des aliments. **Matériaux au contact des eaux destinées à la consommation humaine : réglementation française et projet européen.** Ministère de l'emploi et de la solidarité. Mars 2002.
- [42] LA LETTRE DU CUIVRE N°52. **Lutte contre l'entartrage : des travaux récents de l'Ecole des Arts et Métiers révèlent l'excellent comportement du cuivre.** Editée par le centre d'information du cuivre, laitons et alliages.
- [43] INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE. **Numéro spécial consacré à la légionellose.** BEH n°30-31/2002. 30 juillet 2002.
- [44] CSTB. **Légionelles, état des lieux.** Mai 2001

Liste des annexes

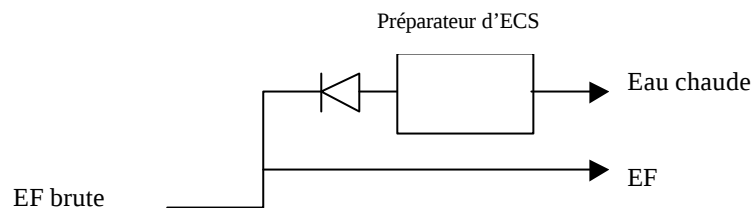
Annexe n°1	Réseaux d'eau chaude types	p. 62
Annexe n°2	Outil d'évaluation des risque liés aux légionelles de la société Lyonnaise des eaux France	p. 64
Annexe n°3	Questionnaire pour le recueil de données de terrain	p. 65
Annexe n°4	Schéma et données techniques des pilotes de réseau d'eau chaude du CIRSEE	p. 66
Annexe n°5	Schéma représentatif d'installations avec traitement continu à l'eau de javel	p. 67
Annexe n°6	Données sur les pompes doseuses	p. 68
Annexe n°7	Données sur les analyseurs en ligne	p. 69
Annexe n°8	Tableau type de décomposition des coûts	p. 72

Annexe n°1 : Réseaux d'eau chaude types

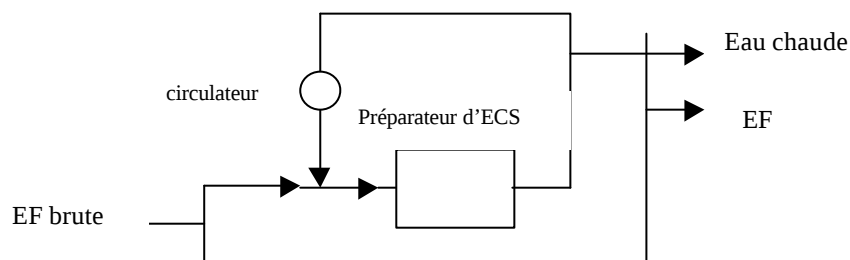
D'après le guide technique n°1 bis pour les eaux chaudes sanitaires.

Les installations de production d'eau chaude sanitaire que l'on peut rencontrer et telles que présentées dans le guide technique n°1 bis sont :

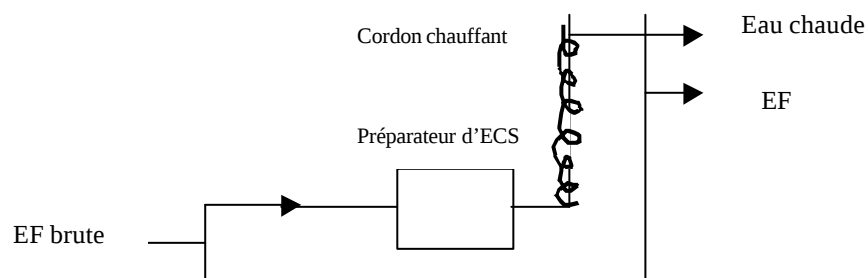
- individuelle à accumulation



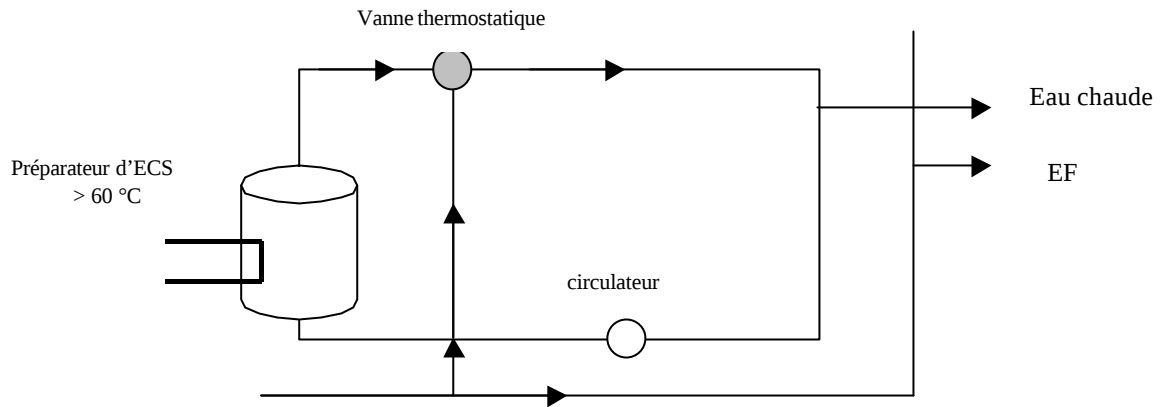
- collective à température inférieure à 60 °C



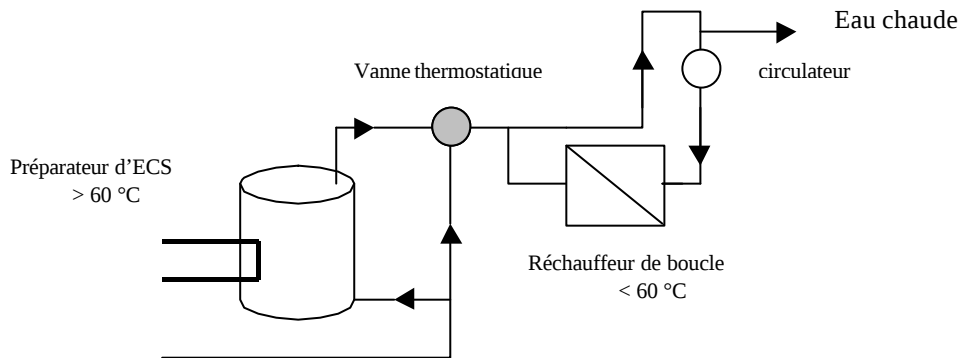
- sans bouclage avec maintien de température par cordon chauffant.



- par échangeur de chaleur dont la température de l'eau du primaire est supérieure à 60 °C.



- par échangeur de chaleur dont la température de l'eau du primaire est supérieure à 60 °C et avec réchauffeur de boucle.



Annexe n°2 : Outil d'évaluation des risques liés à légionelle de la société Lyonnaise des Eaux France

L'approche d'évaluation des risques liés aux légionelles de la société Lyonnaise des Eaux France bénéficie de l'expérience d'une dizaine d'années de Ondeo Nalco en Grande-Bretagne où les problèmes de légionelles sont depuis longtemps étudiés. Le tableau d'évaluation des risques reprend 70 facteurs de risques identifiés auxquels sont attribués des scores. La difficulté de cette démarche réside dans la bonne attribution des scores et dans l'interprétation des résultats pour la mise en œuvre des actions sur le réseau. Une portion de ce tableau est ici reproduite :

Prolifération dans le réseau d'eau chaude					
☐	Stratification maîtrisée dans le ballon de production ECS par une pompe de circulation ou un faible niveau de retour ou un autre dispositif	☐	La stratification se produit ou est possible dans le ballon de production ECS. Aucune mesure mise en place pour contrôler la situation	☒	30 30
☐	Stockage d'ECS à 60°C, température mesurée à la sortie du ballon	☐	Stockage d'ECS < 60°C, température mesurée à la sortie du ballon	☒	30 30
☐	Bonne isolation thermique du ballon	☒	Mauvaise isolation thermique du ballon	☐	10 0
☐	Inspection possible du ballon	☐	Inspection impossible du ballon	☒	15 15
☐	Pas de trace de tartre ou de corrosion dans le ballon	☒	Ballon entartré ou corrodé	☐	5 0

Portion du tableau d'évaluation des risques de LEF

L'attribution des scores est une affaire d'expert afin d'ajuster au mieux le poids relatif de chaque facteur de risque. Même si ces scores arbitraires ne valent que par comparaison d'un cas d'application à un autre, il n'en demeure pas moins important d'effectuer une pondération des plus réfléchies pour assurer des poids relatifs cohérents entre les critères afin de refléter l'influence réelle de chacun sur la survenue de cas de légionellose que ce soit au travers de la prolifération des bactéries dans le réseau ou de l'exposition des individus. Il doit par suite se dégager de cette analyse les axes prioritaires d'action pour la maîtrise du risque légionelle que ce soit au niveau de la structure intrinsèque du réseau, de l'exposition des individus ou encore de la gestion du réseau.

Annexe n°3 : Questionnaire pour le recueil de données de terrain

Présentation sommaire du réseau.

- Activité principale de l'établissement
- Usage de l'eau dans l'établissement
- Type d'installation (ballon ou échangeur, bouclage, etc.)
- Consommation journalière d'eau chaude
- Nombre de points de puisage eau chaude
- Si établissement de soin, nombre de lits.
- Nature du traitement mis en place

Installation.

Le détail du matériel mis en place avec **nature, coûts de revient LEF et références fournisseur** pour les ensembles suivants :

- Dispositif d'injection (pompes doseuses...)
- Bac de stockage/rétention et réactifs (nature et conditionnement)
- Mode de régulation (analyseur en ligne rédox ou colorimétrie ou ampérométrie avec accessoires)
- Dispositif de protection anti-corrosion par injection de produit filmogène (pompe doseuse, bac et accessoire, produit filmogène)

Des devis complets sont suffisants

Exploitation.

- Taux appliqué de désinfectant
- Concentration de la solution injectée
- Consommation effective de produit (désinfectant et filmogène)
- Fréquence des visites.
- Problèmes rencontrés ou commentaires.

Maintenance.

- Eléments entretenus/nettoyés et suivant quelle fréquence
- Description des éléments remplacés et suivant quelle fréquence.
- Problèmes particuliers rencontrés ou commentaires.

Annexe n°4 : Schéma et données techniques des pilotes de réseau d'eau chaude du CIRSEE

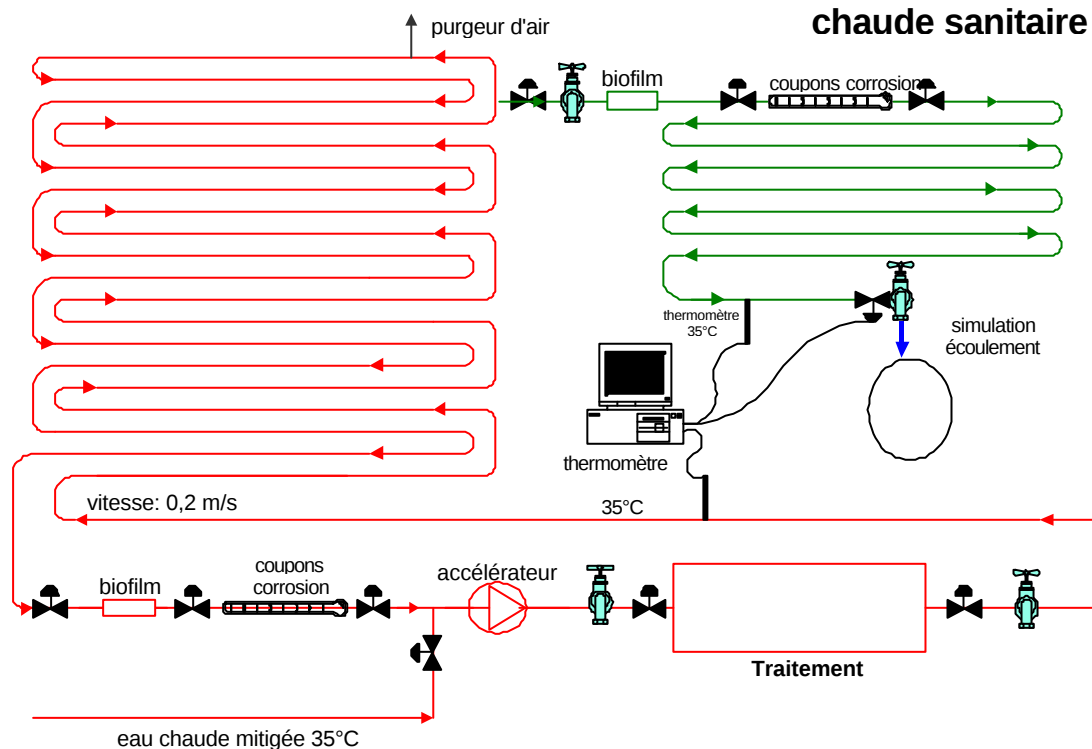
Données techniques :

- Boucle en acier galvanisé : - diamètre intérieur des canalisations : 26 mm
 - longueur : 30 m
 - volume : 16 L
- Vitesse de l'eau dans la boucle : 0.2 m.s^{-1}
- Antenne en cuivre : - diamètre intérieur des canalisations : 20 mm
 - longueur : 13 m
 - volume : 4.5 L
- Surface interne en contact avec l'eau dans la boucle : $S=2.45 \text{ m}^2$

acier galvanisé (cordon chauffant): diamètre 26/34 mm, longueur 30 m

cuivre (cordon chauffant): diamètre 20/22 mm, longueur 13 m

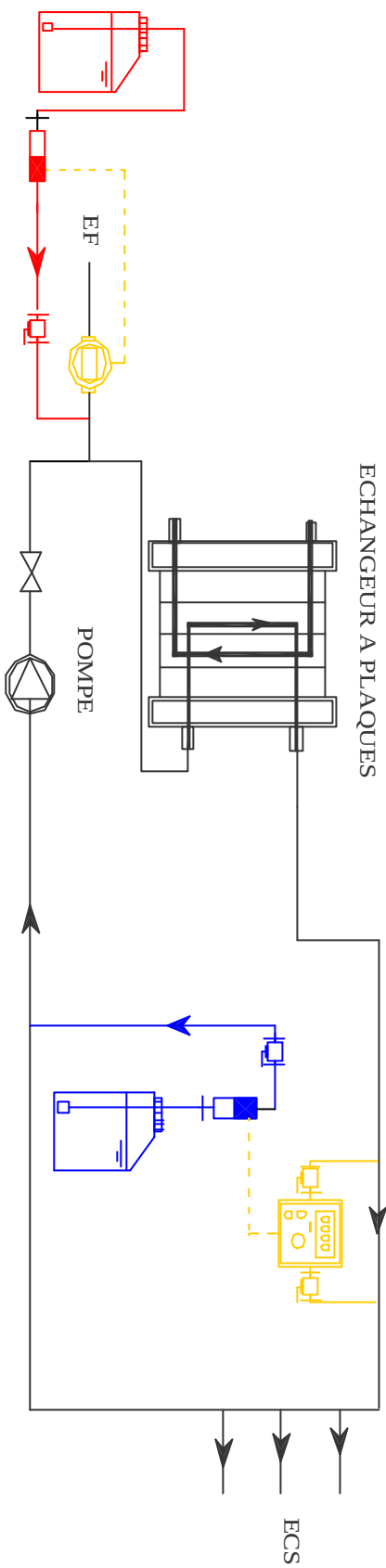
Schéma d'une unité du pilote réseau d'eau chaude sanitaire



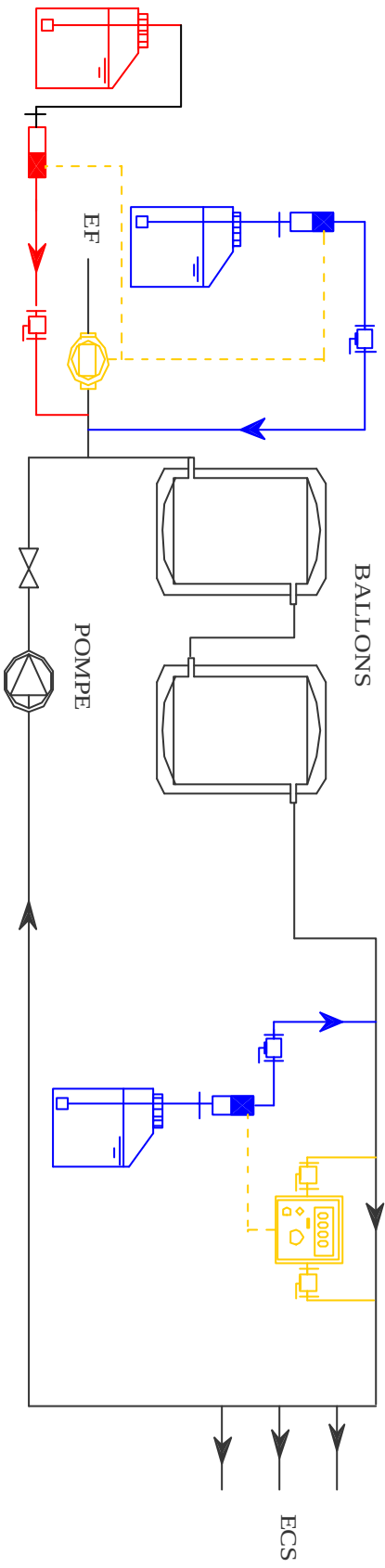
Annexe n°5 : Schéma représentatif d'installations avec traitement continu à l'eau de javel

— Eau de javel — Solution antitarte et anticorrosion — Appareils de mesure

CONFIGURATION 1



CONFIGURATION 2



Annexe n°6 : Données sur les pompes doseuses

Caractéristiques.

Les pompes doseuses employées pour l'injection de l'eau de javel ou du dioxyde de chlore doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- une tête à purge automatique (dégazante) ou système « double tête »
- un débit d'injection de l'ordre du litre par heure.
- matériaux plastiques résistants aux solutions concentrées en oxydant
- asservissement par signal 4/20.
- Réglage du débit possible (avec ou non affichage du débit)

Maintenance et entretien.

Tâche	Périodicité
Vérification des membranes	Annuelle
Vérification et décarbonatation de clapets (pompes, points d'injection, crépines)	Annuelle
Nettoyage des bacs	Annuelle
Remplacement des flexibles d'injection	Semestrielle
Vérification des débits	annuelle

Exemple de produits commerciaux.

PROMINENT – Gamma/L

Dénomination	Référence	Prix d'achat en €*
Pompe à tête doseuse à purge automatique	Gamma/L a 1601	n.c.
Pompe à tête doseuse à purge automatique	Gamma/L a 1602	n.c.

ALLDOS – Primus 208 Etron

Dénomination	Référence	Prix d'achat en €*
Pompe à tête doseuse à purge automatique	208-1 : D70E20	n.c.
Pompe à tête doseuse à purge automatique	208-1 : D70E26	n.c.

Annexe n°7 : Données sur les analyseurs en ligne

Description.

- ❑ Les différents types d'analyseurs.

Un analyseur en ligne comprend une partie « mesure du désinfectant » et un boîtier régulateur pour le contrôle des pompes doseuses. On en distingue de trois types suivant le principe de la mesure :

- mesure du **potentiel Redox**.
- mesure du chlore en continu par **ampérométrie**
- mesure du chlore en continu par **colorimétrie**.

L'emploi d'une sonde de mesure du potentiel rédox telle que proposée par Nalco sous le nom de Aquasafe Redox présente un rapport qualité/prix intéressant. Sur le principe du tout ou rien (TOR), cette régulation repose sur une plage de variation en mV qui définit le démarrage et l'arrêt de la pompe doseuse. La courbe de réglage de l'injection de chlore libre en fonction de la valeur relevée de potentiel rédox est ajustée lors de la mise en route de l'appareil sur un point juste en aval de la sonde rédox. Elle devra être suivie et affinée jusqu'à la stabilisation de la consommation en chlore du réseau. Cette régulation a fait l'objet d'une étude poussée par ELYO CYLERGIE (Mme MARTZ) au travers du suivi d'un traitement en continu au chlore par l'Aquasafe Redox. Il ressort de cette étude une bonne corrélation globale entre les variations de teneur en chlore libre et le potentiel rédox mesuré. Toutefois, on notera que pour les dysfonctionnements entraînant des variations brutales de la chloration la corrélation ne fonctionne plus et que les variations de pH et de température dérèglent l'étalonnage (ce qui en fait un mode de régulation peu fiable).

La régulation par mesure ampérométrique additionnée de sonde de température et de pH et de température est fiable. Comme pour la mesure par colorimétrie, elle demande un refroidissement préalable de l'eau chaude mais nécessite un entretien moins lourd (cf. ci-après). La mesure ampérométrique réalise en fait une mesure de l'acide hypochloreux (HOCl) ce qui explique la nécessité de compensation par rapport au pH mesuré pour des valeurs supérieures à 7.2. Pour des pH supérieurs à 8, l'appareil ne fonctionne en général plus car il n'y a plus assez de HOCl (cf. courbe de dissociation eau de javel). Il existe alors un autre système réalisant un réajustement du pH par ajout de HCl. De même les variations de température peuvent entraîner des erreurs de mesure. On considère que un écart d'1 °C amène 5% d'écart dans la mesure. Signalons enfin que pour les analyseurs par mesure ampérométrique il existe différents types de chambre suivant la qualité de l'eau analysée et le nettoyage mécanique nécessaire.

L'analyseur colorimétrique est présenté comme le procédé le plus fiable mais il est aussi le plus coûteux et nécessite un entretien plus conséquent. Pour que la qualité de la mesure, la chambre photométrique doit rester propre. Toutefois avec ce système, on ne s'occupe plus du pH, ni des

concentrations en éléments dissous (cf. conditions d'utilisation pour FAM-TRIDES), ni de la température (fonctionne jusqu'à 90 °C).

Finalement, autant que possible et dans la mesure des moyens financiers de l'exploitant du circuit, on conseillera une régulation par mesures colorimétrique ou ampérométrique qui se révèlent être plus fiables qu'une mesure par le biais du potentiel rédox relativement grossière. Signalons que les régulations fonctionnent sur le mode tout ou rien (TOR) ou PID. On choisira de préférence des systèmes émettant un signal 4-20mA et des pompes doseuses (cf. annexe 3) acceptant ce signal. Enfin, rappelons qu'une analyse préalable des caractéristiques physico-chimiques de l'eau est importante pour le bon fonctionnement des appareils de mesure.

❑ Positionnement de l'analyseur sur le circuit.

Un traitement chimique continu se fait par injection d'un désinfectant donné en un ou plusieurs points du circuit sous le contrôle d'un système de régulation afin d'obtenir la concentration en désinfectant souhaitée sur l'ensemble du système.

Une bonne régulation doit permettre :

- d'assurer un résiduel de désinfectant aux points d'usage
- de répondre au mieux à la demande du réseau surtout lors des forts sous-tirages et ceci sans variations importantes de la concentration en désinfectant autour de la valeur consigne.
- de ne pas avoir des concentrations excessives de désinfectant au vu des normes de potabilité.

Au vu de ces considérations, le dispositif pour un réseau bouclé qui vient spontanément à l'esprit consiste dans une injection sur le départ du circuit d'eau chaude asservie à un analyseur en ligne placé au retour de boucle. Cette configuration est théoriquement la plus adaptée. Toutefois, un circuit d'eau chaude étant un système ouvert, de grande taille, rarement en parfait état et présentant bien souvent de grands volumes de stockage que sont les ballons, ce dispositif présente une inertie très forte. Par suite, le taux de désinfectant varie fortement autour de la valeur consigne ce qui ne correspond pas au maintien régulier et constant du résiduel souhaité. Cette configuration n'est concrètement envisageable que pour des réseaux courts, en bon état et avec un analyseur en ligne performant de type colorimétrique.

Dès lors en pratique, on placera le plus souvent l'analyseur en ligne en sortie de la production d'eau chaude c'est à dire au départ de boucle quelques mètres après le point d'injection en entrée de boucle. Si cette approche donne une valeur de résiduel qui ne prend pas en compte la demande du réseau, elle présente l'avantage d'être plus réactive, plus facile à régler et moins sujette aux aléas de fonctionnement du circuit. Les points d'injection quant à eux varieront en nombre et position suivant le mode de production d'eau chaude rencontré de la manière suivante :

▪ Réseau avec **échangeur à plaque**.

On dispose alors un seul point d'injection en fin de boucle. Cette injection est asservie à un analyseur en ligne du résiduel de désinfectant placé en entrée de boucle.

- Réseau avec **ballons**.

Deux points d'injection sont mis en place. Le premier au niveau de l'eau froide d'appoint asservi à un débitmètre. Le deuxième sur le départ de la boucle d'eau chaude asservi à un analyseur en ligne du résiduel de désinfectant placé quelques mètres après.

Pour les réseaux non-bouclés, il n'y a qu'un dispositif préconisé quelque soit le mode de production d'eau chaude. Il est constitué de deux points d'injection. Le premier est placé sur l'eau froide d'appoint et asservi au débit d'eau froide et le deuxième est placé au départ du circuit juste après la production d'eau et asservi à un analyseur en ligne placé quelques mètres plus loin. Rappelons tout de même qu'en présence d'un réseau non-bouclé, la réalisation du bouclage peut être envisagée pour lutter plus efficacement contre la légionelle.

Le réglage de l'installation se fait bien souvent par lecture de la valeur de résiduel souhaitée sur l'analyseur ce qui ne représente pas le résiduel au point d'usage. Il s'agit toutefois d'une première approche satisfaisante dans la mesure où elle est simple et assure de ne pas dépasser les concentrations réglementaires au point d'usage en désinfectant et sous-produits. Pour affiner le fonctionnement de l'installation et pouvoir, si nécessaire augmenter les doses appliquées sans dépasser les valeurs réglementaires, on réglera l'analyseur-régulateur sur une valeur qui permette d'obtenir le résiduel souhaité aux points d'usage. Cet « étalonnage » se fait sur plusieurs jours après l'installation avec des mesures de résiduel aux points d'usage réalisées à l'aide de bandelettes test.

Exemple de produits commerciaux.

Non reproduits.

Annexe n° 8 : Tableau type de décomposition des coûts

Investissement				Exploitation			
	Matériel	Fournisseur	Prix LEEF en €	Consommables	Fournisseur	Quantité/fréquence	Prix LEEF en €
Poste 1 Dosage javel	2 Pompes doseuses + acc.			Eau de javel			
	Compteur Q eau froide + acc.			Bandellettes test			
	Bac de stockage			Produit anti-corrosion, anti-taïtre			
	Kit Rédox	1		Maintenance			
Poste 2 Analyseur en ligne	ou Kit Ampérométrique			Matériel	Fréquence	Prix LEEF en €	
	ou Kit colorimétrique			Tuyaux en contact avec solution mère			
				Eléments pompes doseuses			
Poste 3 Procédé anti-corrosion	Pompe doseuse + acc.			Eléments dispositif de régulation			
	Compteur Q eau froide			Main d'œuvre			
	Bac de dosage + acc						
Poste 4 Mise en œuvre	* commande et pose du Matériel			Objet	Fréquence	Effectif	Prix LEEF en €
	* raccordement et réglage			maintenance + exploitation			
	* rapport d'intervention						
	* suivi initial						
Coût investissement				Coût annuel exploitation + maintenance			

*Réseau consommant 10 m3/j d'ECS