



MINISTÈRE DE LA SANTÉ
ET DES SPORTS

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2008 - 2009**

Date du Jury : **Septembre 2009**

Etude du risque d'émergence de foyers de contamination de légionellose à Rennes

Présenté par : Florent TESSIER

Référent professionnel : Jean-Michel BUISSET

Référent pédagogique : Pierre LE CANN

Lieu de stage : Direction Départementale des Affaires
Sanitaires et Sociales d'Ille-et-Vilaine (DDASS 35)

Remerciements

Je remercie Mr BUISSET pour m'avoir accueilli au sein du service Santé-Environnement de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Ille-et-Vilaine (DDASS 35) et de m'avoir proposé un sujet de mémoire très enrichissant. Un grand merci pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils avisés.

Je remercie Mr LE CANN pour son encadrement dynamique, ses conseils et explications théoriques, pour sa disponibilité et son implication tout au long de la réalisation du mémoire.

Je remercie Mr BESSE, pour ses divers conseils et pour m'avoir accompagné lors de la campagne de prélèvement sur les tours aérorefrigérantes.

Je remercie Mr POUESSEL pour sa disponibilité et ses conseils avisés sur l'ensemble de mon travail.

Je remercie Mr GARCIN pour les différentes informations au sujet de l'unité de distribution de l'eau potable de la ville de Rennes.

Je remercie Mr ARMANGE et Mlle GERARD pour m'avoir accompagné lors la campagne de prélèvement sur les tours aérorefrigérantes.

Je remercie Mme DISSAIS pour les différentes informations au sujet des déclarations des cas de légionellose en Ille-et-Vilaine.

Je remercie Mr ALLAIN, technicien du Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) pour m'avoir formé à la réalisation des prélèvements sur les tours aérorefrigérantes.

Je remercie Mr JOURDREN pour sa disponibilité, l'ensemble des informations transmises et pour m'avoir accueilli au sein du Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS).

Je remercie Mr ROUILLER et Mme LEHUGER pour m'avoir accueilli au service de la DRIRE.

Je remercie le service de cartographie de la ville de Rennes grâce à qui j'ai pu mettre en place le Système d'Information Géographique (SIG).

Je remercie Mr PAPILLON, ingénieur de Véolia, pour les différentes informations au sujet de l'unité de distribution de l'eau potable de la ville de Rennes.

Je remercie la société SIME, société de maintenance de la tour aéroréfrigérante du Pim's pour leur disponibilité.

Je remercie l'ensemble des exploitants des tours aéroréfrigérantes de Rennes pour m'avoir permis de réaliser la campagne de prélèvement.

Je remercie l'ensemble de mes collègues du service santé-environnement pour leur sympathie et leur bonne humeur.

Sommaire

Introduction	1
1 Légionelles et légionellose	2
1.1 Caractéristiques et taxonomie des légionelles.....	2
1.2 L'environnement des légionelles	2
1.3 Les sources de contamination	3
1.4 Détection des légionelles dans l'environnement.....	3
1.4.1 Analyse des légionelles par culture	4
1.4.2 La réaction en chaîne par polymérase ou PCR en temps réel	4
1.4.3 Comparaison de la détection des légionelles par culture ou par PCR.....	5
1.5 Les pathologies provoquées par les légionelles	5
1.5.1 La maladie des Légionnaires	5
1.5.2 La fièvre de Pontiac	5
1.5.3 La légionellose extrapulmonaire	6
1.5.4 Le mode de contamination et les facteurs de risque	6
1.5.5 Définition des cas de légionellose.....	6
1.5.6 Surveillance de la légionellose en France et en Europe.....	7
2 Les cas groupés de légionellose de 2000 et 2005.....	9
2.1 Les cas groupés de légionellose de 2000	9
2.1.1 Epidémiologie	9
2.1.2 Enquête environnementale	9
2.1.3 Conclusion	11
2.2 Les cas groupés de légionellose de 2005	12
2.2.1 Epidémiologie	12
2.2.2 Enquête environnementale	13
2.2.3 Conclusion	13
2.3 L'existence d'une souche endémique	13
3 Etude du risque légionelle associé à l'exploitation des TARs à Rennes en 2009	14
3.1 Les tours aéroréfrigérantes	14
3.1.1 Principe de fonctionnement des TARs humides	14
3.1.2 Les éléments principaux de la TAR humide	16
3.1.3 Le panache	16

3.1.4	Les facteurs de développement de légionelles dans les TARs humides.....	17
3.1.5	Les traitements des TARs.....	18
3.1.6	La réglementation relative aux risque légionelle.....	19
	Désignation de l'activité	19
3.2	Enquête environnementale de l'ensemble des TARs exploitées à Rennes .	20
3.2.1	Inventaire des TARs de Rennes.....	20
3.2.2	Prélèvement et analyse de légionelles des TARs.....	21
3.2.3	Résultats des analyses.....	22
4	Etude de la diversité génétique des légionelles à Rennes entre 2000 et 2009.....	24
4.1	Le typage des souches de légionelles.....	24
4.1.1	Les méthodes phénotypiques.....	24
4.1.2	Les méthodes génotypiques.....	25
4.2	Typage des souches de <i>Legionella pneumophila</i> prélevées à Rennes entre 2000 et 2009.....	27
4.2.1	Origine des souches.....	27
4.2.2	Résultat du typage des souches cliniques.....	27
4.2.3	Résultat du typage de l'ensemble des souches sélectionnées.....	28
4.2.4	Conclusion.....	32
5	Etude de l'existence et de conditions d'émergence de foyer de contamination de légionellose.....	34
5.1	Mise en place du système d'information géographique.....	34
5.2	Etude de la répartition géographique et temporelle de la diversité génétique des <i>Legionella pneumophila</i>.....	34
5.2.1	Répartition géographique de la diversité génétique des souches.....	34
5.2.2	Evolution des populations de légionelles entre 2000 et 2009.....	35
5.2.3	Lien entre les cas de légionellose et la répartition géographique des légionelles entre 2000 et 2009 à Rennes.....	35
5.3	Etude des conditions d'émergence des souches de <i>Legionella pneumophila</i>.....	35
5.3.1	Les souches « rennaises » et les eaux circulant dans les TARS incriminées.....	35
5.3.2	Relation entre les caractéristiques physiques et chimiques des eaux du réseau de distribution et le développement des souches.....	36

6	Analyse critique des évolutions de la distribution des eaux potables face au risque légionelle entre 2000 et 2009 à Rennes	38
6.1	Les ressources en eau	38
6.1.1	Les captages des vallées de la Minette et de la Loisançe : Rennes I	39
6.1.2	La rivière du Couesnon : Rennes II	39
6.1.3	La retenue de Rophémel : Rennes III	40
6.1.4	La retenue de la Chèze, la rivière du Meu et l'étang des Bougrières : Rennes IV	40
6.2	Distribution des eaux potables à Rennes.....	41
6.2.1	Distribution des eaux potables à Rennes avant la fin de l'année 2006	41
6.2.2	Distribution des eaux potables à Rennes après la fin de l'année 2006	42
6.3	Évolution future de la distribution de l'eau potable	43
6.4	Analyse critique	44
6.4.1	Analyse critiques des ressources en eau face au risque légionelle.....	44
6.4.2	Analyse critique de la production et de l'adduction de l'eau potable face au risque légionelle.....	45
6.4.3	Analyse critique de la distribution des eaux.....	46
Conclusion.....	47

Liste des sigles utilisés

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

CEERAM : Centre Européen d'Expertise et de Recherche sur les Agents Bactériens

COFRAC : Comité Français d'accréditation

CNR : Centre National de Référence

DDASS 35 : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Ille-et-Vilaine

EWGLI : European Working Group for *Legionella* Infections ou Groupe de Travail Européen sur les Infections à *Legionella*

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

InVS : Institut de Veille Sanitaire

LDA22 : Laboratoire de Développement et d'Analyse des Côtes d'Armor

LERES : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé

Lp1 : *Legionella pneumophila* de séro groupe 1

MES : Matières en suspension

MLVA : Multiple loci VNTRs analysis ou analyse de plusieurs locus VNTRs

PCR : Polymerase Chain reaction ou réaction en chaîne par polymérase

PFGE : Pulsed Field Gel Electrophoresis ou électrophorèse en champ pulsé

PNSE : Plan National Santé-Environnement

RECS : Réseau d'eau chaude sanitaire

SBT : Sequence-Based Typing ou typage séquencé

SCHS : Service Communale d'Hygiène et de Santé

SIG : Système d'Information Géographique

TAR : Tour aérorefrigérante

TARs : Tours aérorefrigérantes

THPS : Tétrahydroxyphosphonium

UFC/l : Unité formant des colonies par litre d'eau analysée

UG/l : Unité génome par litre

VNTRs : Variable Number Tandem Repeat

Liste des tableaux

Tableau 1 : Teneurs en Lp1 des TARs des 3 Soleils, du Pim's et du Crédit Agricole	10
Tableau 2 : Rubrique n°2921 de la nomenclature des Installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.....	19
Tableau 3 : Fréquence minimale des analyses de légionelles sur les TARs.....	20
Tableau 4 : Caractéristiques des souches cliniques par SBT	28
Tableau 5 : Facteurs de développement des <i>Legionella pneumophila</i>	37

Liste des figures

Figure 1 : Organisation de la collecte des données des cas de légionellose en France	8
Figure 2 : Distribution des cas de légionellose selon la date des premiers signes cliniques	12
Figure 3 : Schéma d'une tour aéroréfrigérante ouverte	15
Figure 4 : Schéma d'une tour aéroréfrigérante fermée.....	16
Figure 5 : Prolifération des légionelles dans les amibes.....	17
Figure 6 : Schéma d'arbre de recouvrement selon les groupes phylogénétiques.....	31
Figure 7 : Scéma d'arbre de recouvrement minimal selon le type d'équipement	31
Figure 8 : Alimentation en eau de la ville de Rennes	38
Figure 9 : Fonctionnement hydraulique de l'alimentation en eau de Rennes avant décembre 2006.....	41
Figure 10 Le site des Gallet avant la fin de l'année 2006.....	42
Figure 11 : Fonctionnement hydraulique après l'année 2006.....	43

Abstract

Study of the risk of outbreaks of Legionnaires disease in Rennes

In the second half of the year 2000 and in December 2005, two community-wide outbreaks of legionnaires disease occurred in Rennes with 7 deaths. The environmental investigations revealed that the sources of contamination were cooling towers. These plants were contaminated by an unknown *Legionella pneumophila* serogroup 1. The causative agent was subsequently named "Rennes" strain. The aim of this study is to assess the risk of new outbreak of legionnaire disease caused by "Rennes" strain and, generally speaking, the existence of source of contamination of legionnaire disease in Rennes.

The cooling towers working in Rennes were investigated and sampled. 219 *Legionella pneumophila* isolates from cooling towers, from patients and from hot water system between 2000 and 2009 were analysed with new typing technology MLVA. Physical and chemical water characteristics during outbreaks and contaminations were studied to determine colonization conditions of these pathogenic bacteria. The evolution of water distribution in Rennes was studied to assess its impact on the contamination of cooling towers and hot water system.

The environmental investigation showed that the risk management of cooling towers turns out to be good. The typing revealed that the genetic diversity of 219 isolates is big with 23 different genotypes. "Rennes" strain was rarely isolated. This strain seems to present resistance against chemical treatments used in the cooling towers. The modernization of water distribution decreases the risk of contamination.

MLVA typing has to be developed because it seems to be an efficient tool to stop quickly an outbreak.

Introduction

La ville de Rennes a été touchée en 2000 et 2005 par deux épidémies de légionellose provoquant au total 13 morts. Les enquêtes menées par les services de santé d'Ille-et-Vilaine ont montré que des tours aéroréfrigérantes, contaminées par une souche inconnue de légionelles, étaient à l'origine de ces cas. Cette souche, identifiée uniquement à Rennes, a été nommée souche « rennaise ».

La légionelle est une bactérie hydrotellurique naturellement présente dans les milieux humides. Elle a été découverte pour la première fois, en 1976 lors d'une épidémie de pneumopathies qui avaient affecté d'anciens légionnaires américains, réunis en congrès à Philadelphie et provoqué 34 décès.

La prévention de la légionellose est un enjeu de santé publique en France. Les différentes actions du Plan National de Santé Environnement (PNSE) 2005 - 2008 ont permis une baisse de l'ordre de 20% des cas recensés. Le renforcement de la lutte contre la légionellose est poursuivi à travers le nouveau PNSE 2009 – 2013.

La DDASS d'Ille-et-Vilaine a souhaité évaluer le risque d'une nouvelle épidémie, provoqué en particulier par la souche endémique dite « rennaise ».et enquêter, d'une manière plus générale, sur l'existence de foyer de contamination de légionellose à Rennes

Dans un premier temps, l'étude décrira les caractéristiques biologiques et environnementales des légionelles et présentera le contexte relatif aux cas groupés de légionellose de 2000 et 2005.

Dans un deuxième temps, une enquête environnementale établira un bilan sur le risque associé à l'exploitation des tours aéroréfrigérantes à Rennes.

Ensuite, le résultat du typage de 219 souches prélevées sur des TARs et sur les RECS à Rennes entre 2000 et 2009 sera exploité à l'aide d'un système d'information géographique afin de déterminer l'existence de foyers de contamination.

Puis, une étude sera menée pour établir un lien entre les conditions physiques et chimiques des eaux du réseau et des tours aéroréfrigérantes et le développement de ces souches.

Pour finir, une analyse critique de l'évolution de la distribution des eaux à Rennes entre 2000 et 2009 évaluera son impact sur le risque de contamination des réseaux par les légionelles.

1 Légionelles et légionellose

La légionelle est une bactérie hydrotellurique naturellement présente dans les milieux humides. Elle a été identifiée, pour la première fois, en 1976 lors d'une épidémie de pneumopathies affectant d'anciens combattants américains de l'American Legion réunis en congrès à Philadelphie. Parmi 4400 participants, 182 personnes ont développé des infections respiratoires et 34 personnes sont décédées.

1.1 Caractéristiques et taxonomie des légionelles

La légionelle est un bacille à Gram négatif, strictement aérobie, acapsulé et non sporulant. Elle mesure de 0,3 à 0,9 µm de diamètre sur 2 à 20 µm de longueur. La plupart des espèces de *Legionella* sont mobiles grâce à la présence d'un ou plusieurs flagelles polaires, subpolaires ou latéraux, droits ou incurvés.

Les colonies de légionelles apparaissent en verre fritté à la loupe binoculaire.

Les cultures de légionelles sont réalisées sur des milieux gélosés riches en L-cystéine et en fer.

La légionelle appartient à la famille des *Legionellaceae*. Cette famille est constituée de l'unique genre *Legionella*. On dénombre actuellement 50 espèces au sein de ce genre, correspondant à 64 sérogroupes distincts.

L'espèce la plus souvent associée à des pneumopathies est *Legionella pneumophila*.

L'espèce *Legionella pneumophila* comprend 3 sous espèces, *pneumophila*, *fraseri* et *pasculei*, et 15 sérogroupes. Cependant, la majorité des épidémies d'infections pulmonaires est liée à *Legionella pneumophila* de séro groupe 1. En effet, cette bactérie est responsable de plus de 98% des pneumopathies et plus de 95% sont dues au séro groupe 1. A l'inverse, d'autres espèces comme *Legionella anisa*, *Legionella micdadei*, *Legionella dumoffii* ou *Legionella feeleii* sont rarement pathogènes pour l'homme.

1.2 L'environnement des légionelles

Les légionelles sont des microorganismes se développant dans les milieux aquatiques naturels (lacs, rivières, eaux salées) et les systèmes hydriques artificiels aussi variés que les réseaux de distribution d'eau potable, les eaux thermales, les robinets, les pommes de douche, les dispositifs de refroidissement à eau, les systèmes de climatisation mais aussi dans la terre humide et les composts.

Les légionelles se trouvent généralement en faible quantité dans les milieux aquatiques naturels et humides. À l'opposé, les systèmes hydriques artificiels offrent des conditions de développement idéales et sont susceptibles d'amplifier la concentration en légionelles.

Les paramètres jouant un rôle clé dans le développement des bactéries sont la température, le pH, la présence d'autres microorganismes tels que les bactéries, les algues et les protozoaires ou des éléments comme les substances organiques, les sels ferreux, le calcium, le magnésium, le caoutchouc, la silicone et le plastique.

Les légionelles se multiplient entre 25°C et 45°C avec un développement maximal autour de 37°C et dans un milieu de pH neutre ou légèrement acide. Cependant, elles peuvent survivre à des températures allant de 5°C à 63°C et supportent un pH compris entre 5,5 et 9,0.

L'eau peu turbulente ou stagnante favorise le développement des légionelles.

Ces bactéries ont la capacité de se multiplier à l'intérieur de certains protozoaires (amibes et ciliés) et des algues. Cette interaction avec ces organismes vivants, constituant une source d'enzymes et de substances nutritives joue un rôle important dans leur survie dans l'environnement. Les protozoaires peuvent être le berceau d'une évolution des légionelles qui peuvent acquérir une virulence et une résistance plus importantes aux biocides. Les légionelles contenues dans les kystes des amibes et dans le biofilm des systèmes hydriques artificiels supportent de fortes variations de pH et de température, les protégeant ainsi de l'action des biocides.

Toutes ces spécificités expliquent d'une part la capacité de prolifération des légionelles dans l'environnement et, d'autre part, leurs aptitudes à résister aux mesures de désinfection habituelles.

Plusieurs études ont montré la persistance des légionelles en dépit des traitements chlorés. Cependant, certaines souches semblent plus résistantes que d'autres.

1.3 Les sources de contamination

La contamination de la légionellose provoquée par le milieu naturel hydrique est peu répandue.

Les sources d'infection sont principalement les réseaux d'eau chaude sanitaire ainsi que les tours aéroréfrigérantes (TARs) et les systèmes de climatisation. Les douches sont fréquemment responsables de contamination. La température et la stagnation de l'eau au sein de ces installations favorisent la multiplication des germes et la formation d'aérosols assure la diffusion des légionelles dans l'environnement.

Les bassins de balnéothérapie et de thermalisme peuvent être à l'origine de cas de légionellose ainsi que les fontaines décoratives, les machines fabricant des glaces, les stations de lavage de voitures,...

1.4 Détection des légionelles dans l'environnement

La détection des légionelles dans l'eau peut être réalisée selon différents procédés. Les méthodes couramment utilisées par les laboratoires d'analyse sont la culture et la détection par PCR.

1.4.1 Analyse des légionelles par culture

L'analyse des légionelles par culture est la méthode imposée par la réglementation. Elle fait l'objet de la normalisation AFNOR NF T90-431.

Cette méthode permet la recherche et le dénombrement de *Legionella species*, correspondant à l'ensemble des espèces de légionelles, et de *Legionella pneumophila* dans les eaux. Les 7 étapes, mises en œuvre, sont :

- la concentration bactérienne de l'échantillon, soit par filtration sur membrane, soit par centrifugation ;
- la mise en suspension du concentrat ;
- la décontamination de la suspension par traitement physico-chimique ou thermique afin d'éliminer les bactéries différentes des légionelles ;
- l'ensemencement de la suspension sur un milieu gélosé nutritif et sélectif, favorisant la croissance des légionelles et inhibant la croissance des autres bactéries ;
- l'incubation pendant 8 à 10 jours dans une étuve à 36°C +/- 2°C ;
- le repiquage des colonies pour la recherche des bactéries exigeante en L-cystéine et la mise en évidence des légionelles ;
- l'essai immunologique des colonies de légionelles pour l'identification de *Legionella pneumophila* à l'aide d'anticorps spécifiques.

Les colonies sont comptées sur les boîtes de gélose en tenant compte du facteur de dilution propre à la technique employée. Le résultat est exprimé en UFC (unité formant des colonies) par litre d'eau analysée.

1.4.2 La réaction en chaîne par polymérase ou PCR en temps réel

La réaction en chaîne par polymérase (PCR en anglais pour Polymerase Chain Reaction), est une méthode de biologie moléculaire permettant d'amplifier le nombre de copies d'une séquence spécifique d'ADN. Cette amplification est réalisée en plusieurs cycles grâce à une enzyme, la polymérase, qui est capable d'enchaîner des nucléotides en polymères d'ADN.

La PCR en temps réel consiste à mesurer la quantité d'ADN polymérisé à chaque cycle grâce à un marqueur fluorescent. Cette technique permet une quantification de la concentration des légionelles.

La PCR est en cours de normalisation par l'Agence Française de Normalisation (AFNOR). Les résultats par PCR sont exprimés en unités génome par litre (UG/l).

1.4.3 Comparaison de la détection des légionelles par culture ou par PCR

La différence significative entre ces deux méthodes est le délai d'attente des résultats. Les résultats des cultures sont obtenus au bout de 15 jours tandis que quelques heures sont nécessaires à la PCR pour déterminer la concentration en légionelles.

A l'opposé de la culture, la PCR est capable de quantifier les légionelles viables et non cultivables et les légionelles présentes dans les microorganismes tels que les ciliées ou les amibes. L'éclatement des amibes peuvent provoquer une libération massive de légionelles dans l'eau.

La PCR assure un suivi en temps réel du développement des légionelles et permet de mieux prévenir le risque.

1.5 Les pathologies provoquées par les légionelles

La légionelle est à l'origine de la maladie respiratoire, la légionellose. Cette pathologie peut se développer sous 3 formes cliniques, variant de la pneumonie aiguë, forme la plus fréquente, décrite pour la première fois à Philadelphie en 1976 et appelée maladie des Légionnaires, à la forme fébrile d'évolution bénigne dite fièvre de Pontiac, en passant par des formes extra-pulmonaires.

1.5.1 La maladie des Légionnaires

La maladie des Légionnaires est une infection pulmonaire aiguë apparaissant 2 à 10 jours après l'exposition. Le début de la maladie est marqué par des symptômes généraux comme la fièvre, un malaise général, des douleurs musculaires, une toux, des céphalées et la perte d'appétit. La toux est généralement modérée et sèche, accompagnée occasionnellement de douleurs thoraciques et d'une dyspnée. La présence de sang dans les expectorations n'est pas rare. En dehors des symptômes respiratoires, on note souvent la présence de diarrhées aqueuses (25 à 50% des cas), moins fréquemment la présence de troubles neuropsychiques, comme la confusion mentale qui peut aller jusqu'à des signes graves d'encéphalopathie. Une insuffisance rénale peut se déclarer et nécessiter une dialyse.

La maladie évolue vers la mort dans 5 à 15% des cas en raison d'insuffisance respiratoire, de choc septique ou de défaillance de plusieurs organes.

1.5.2 La fièvre de Pontiac

La fièvre de Pontiac est une légionellose non pneumonique d'allure épidémique. Elle a été mise en évidence rétrospectivement, par sérologie, à la suite d'épidémie d'infections aiguës des voies respiratoires survenues en 1968 à Pontiac

Il s'agit d'une maladie pseudo-grippale, caractérisée par une forte fièvre, des frissons, des douleurs musculaires, des céphalées, des vertiges, de la diarrhée et, éventuellement, une

obnubilation. La fièvre de Pontiac n'est pas à l'origine de pneumonie mais d'une simple toux. Cette forme de légionellose se différencie de la maladie du légionnaire par l'incubation de courte durée allant de 1 à 3 jours.

Actuellement, de nombreuses espèces de légionelles ont été incriminées telle que *Legionella pneumophila* de sérotype 1 ou 6, *Legionella micdadei*, *Legionella bozemanii* de sérotype 1.

1.5.3 La légionellose extrapulmonaire

Les manifestations extra-pulmonaires sont rares mais elles sont souvent dramatiques. L'organe le plus fréquemment atteint est le cœur, déclenchant des péricardites, des myocardites et des endocardites. Les infections extra-pulmonaires peuvent être à l'origine de troubles de la conscience variant de l'obnubilation au coma. Le tube digestif peut être également contaminé par les légionelles, ce qui peut provoquer des péritonites, des colites nécrosantes ou une perforation de l'organe. L'atteinte rénale observée dans la moitié des cas de légionellose peut évoluer vers une insuffisance rénale aiguë. Une bactériémie a été observée dans 20 % des cas graves de légionellose.

1.5.4 Le mode de contamination et les facteurs de risque

La transmission de la légionellose s'effectue lors de l'inhalation d'aérosols d'eau contaminée par des légionelles. Seules les particules d'eau d'un diamètre inférieur à 5 µm représentent un danger car elles sont capables d'atteindre les alvéoles pulmonaires.

L'ingestion d'eau et d'aliments contaminés ne peut pas être à l'origine de la maladie.

L'ensemble de la population peut être infecté par les légionelles. Cependant la maladie est plus fréquente chez l'homme que chez la femme et plus grave en cas de diminution des défenses de l'hôte. Ainsi, les personnes particulièrement à risques sont les receveurs d'organes, les malades souffrant d'insuffisance rénale, de maladie cardiaque ou pulmonaire chronique, de diabète ou de cancer. Le système immunitaire de ces individus est affaibli par des thérapies à base de corticostéroïdes, immunosuppresseurs,... et offre des terrains propices à l'invasion des légionelles.

Les personnes âgées, tabagiques ou abusant d'alcool sont exposées à un risque plus élevé de contamination.

1.5.5 Définition des cas de légionellose

Le guide "Le risque lié aux légionelles - Guide d'investigation et d'aide à la gestion" diffusé par la circulaire du 11 juillet 2005 définit les cas de légionellose et distingue les cas confirmés des cas probables de légionellose.

Un cas confirmé de légionellose est défini comme toute personne présentant des signes cliniques et radiologiques de pneumonie accompagnés d'au moins un des signes biologiques suivants :

- la présence d'antigène soluble urinaire qui ne permet d'identifier que *Legionella pneumophila* de sérogroupe 1 (Lp1) ;
- l'identification de légionelles par culture, réalisée à partir de tous prélèvements respiratoires ;
- la multiplication du titre initial d'anticorps du sérum par 4 et un deuxième prélèvement de sérum ayant un titre minimum de 1/128 ;
- l'immunofluorescence directe sur prélèvements cliniques.

Un cas probable de légionellose est défini comme toute personne présentant des signes cliniques et radiologiques de pneumonie et dont le titre d'anticorps de son sérum est supérieur ou égal à 1/256.

La légionellose affecte la population de manière sporadique ou se présente sous forme d'agrégats ou cas groupés. Les cas groupés sont composés d'au moins 2 cas, survenus dans un intervalle de temps et d'espace géographique susceptible d'impliquer une source commune de contamination.

1.5.6 Surveillance de la légionellose en France et en Europe

En France, la légionellose est une maladie à déclaration obligatoire depuis 1987. La déclaration obligatoire permet d'étudier l'incidence de la maladie au sein de la population, d'identifier les cas groupés et de mettre en place des mesures de prévention. Cette surveillance de la légionellose est coordonnée et centralisée au niveau national par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS).

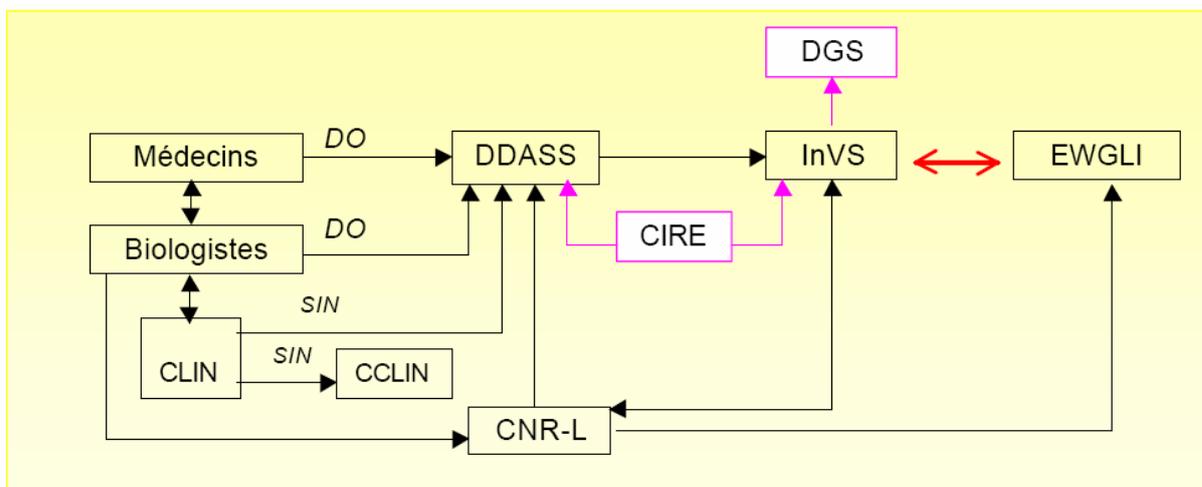
Les établissements de santé doivent signaler certains cas d'infections nosocomiales, telle que la légionellose, au Comité de Lutte contre les Infections Nosocomiales (CLIN), chargé de la surveillance et de la prévention des infections nosocomiales au sein des établissements de santé et à la DDASS.

Les souches d'origine clinique sont envoyées au Centre Nationale de Référence (CNR) des Légionelles à Lyon. Le CNR assure l'identification et le typage moléculaire des différentes souches de légionelles d'origine clinique et environnementale, assistant de cette manière les DDASS durant les enquêtes épidémiologiques.

La France participe au réseau européen de la surveillance des légionelloses acquises lors des voyages, géré par le Groupe de Travail Européen sur les Infections à *Legionella* (EWGLI ou European Working Group for *Legionella* Infections). Ce réseau qui regroupe

actuellement 36 pays signale aux autorités sanitaires du pays concerné, tout cas de légionellose survenu chez une personne ayant voyagé pendant la période d'incubation.

Figure 1 : Organisation de la collecte des données des cas de légionellose en France



Légende :

DO : Déclaration Obligatoire

SIN : Signalement des Infections Nosocomiales

(Source : *Le risque lié aux légionelles – Guide d'investigation et d'aide à la gestion*. Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France Juillet 2005)

2 Les cas groupés de légionellose de 2000 et 2005

Des cas groupés de légionellose ont été déclarés en 2000 et fin 2005 à Rennes, provoqués par la même souche de *Legionella pneumophila* de sérotype 1 (Lp1). Jusqu'à présent, cette souche a été identifiée uniquement à Rennes. De ce fait, elle a été surnommée souche « rennaise ».

2.1 Les cas groupés de légionellose de 2000

2.1.1 Epidémiologie

Au cours du second semestre de 2000, 22 cas de légionellose ont été déclarés à la DDASS, en Ille-et-Vilaine et reconnus comme des cas groupés suite à l'identification de la même souche Lp1 prélevée sur 7 patients entre août et octobre 2000. Cette souche a été identifiée pour la première fois par le CNR lors de cet épisode. Elle a été nommée souche « rennaise ».

La population de malades était composée de 16 hommes et 6 femmes (sex ratio d'environ 2,7), d'une moyenne d'âge de 61,5 ans. Le premier cas est survenu le 28 juillet 2000 et le dernier le 17 novembre 2000. 4 personnes sont décédées à cause de cette infection, représentant une létalité de 18%. Une cinquième personne ayant contracté la légionellose est décédée d'une maladie chronique sous jacente. Dix-huit malades étaient des personnes à risque du fait des traitements thérapeutiques suivis (chimiothérapies, corticoïdes, ...) ou de facteurs comportementaux (tabac,...).

Afin d'identifier les facteurs environnementaux à l'origine de cette épidémie, une étude cas-témoins et une enquête géographique ont été menées.

Ces investigations ont mis en évidence l'existence d'une source de contamination dans le centre-ville de Rennes grâce à une relation statistiquement significative entre la fréquentation du centre-ville et la contamination de la légionellose.

2.1.2 Enquête environnementale

L'enquête environnementale a essentiellement porté sur les TARs, installations à risque pouvant diffuser sur plusieurs kilomètres des aérosols d'eau contaminés par des légionelles. L'investigation a été menée en particulier sur les TARs exploitées dans le sud du centre-ville de Rennes, sur celles exploitées dans la zone industrielle de la route de Lorient, sur les réseaux d'eau chaude sanitaire des malades et sur la fontaine de la place de Bretagne. Une étude a été effectuée par Véolia afin de savoir si le réseau de distribution d'eau potable avait pu jouer un rôle dans la contamination des malades.

Les prélèvements d'eau des TARs du centre ville à la fin du mois de novembre 2000 et durant le mois de décembre 2000 ont montré que les installations du centre commerciale les 3 Soleils et de la discothèque le Pim's étaient contaminées de manière significative par des légionelles dont la Lp 1 « rennaise », identique à celles isolées chez les malades. Les teneurs en Lp1 « rennaise » étaient respectivement de 40 000 UFC/l tant lors du prélèvement du 30 novembre 2000 que de celui du 4 décembre 2000. Les prélèvements du 11 décembre 2000 sur les TARs de la banque Crédit Agricole ont révélé la présence significative de légionelles dont des Lp1 différentes de celles isolées chez les malades. Suite à ces résultats, ces installations ont subi une vidange, un nettoyage et une désinfection. Afin de vérifier l'efficacité des traitements, des prélèvements ont été réalisés le 22 janvier 2001 uniquement sur la TAR du Pim's et sur celles du Crédit Agricole, la TAR des 3 Soleils étant hors service. Les analyses de ces prélèvements ont révélé des résultats alarmants. En effet, les teneurs de Lp1 « rennaise » dans la TAR du Pim's s'élevait à 125 000 UFC/l, soit une teneur trois fois plus élevée que celle initiale. Une des TARs du Crédit Agricole était cette fois-ci contaminée par la Lp1 « rennaise » avec une teneur supérieure à 5 000 UFC/l.

Tableau 1 : Teneurs en Lp1 des TARs des 3 Soleils, du Pim's et du Crédit Agricole

Etablissements	Dates de prélèvement	Teneurs en Lp1
Les 3 Soleils	30/11/2000	40 000 UFC/l de Lp1 « rennaise »
Le Pim's	04/12/2000	40 000 UFC/l de Lp1 « rennaise »
	<i>Mesures de vidange, de nettoyage et désinfection</i>	
	22/01/2001	125 000 UFC/l de Lp1 « rennaise »
Le Crédit Agricole	11/12/2000	>5 000 UFC/l de Lp1 non « rennaise »
	<i>Mesures de vidange, de nettoyage et désinfection</i>	
	22/01/2001	>5 000 UFC/l de Lp1 « rennaise »

Suite à ces résultats et à l'inefficacité des traitements de désinfection, l'arrêté du 1^{er} février 2001 a interdit le fonctionnement de ces installations, mesure levée dès la notification par les exploitants de la réalisation de la vidange et de la désinfection des installations et de la nette amélioration de la situation.

Les prélèvements réalisés sur les autres installations lors de l'enquête environnementale ont pu mettre en évidence, dans certains cas, la présence de légionelles. Cependant, aucune n'était contaminée par la Lp1 « rennaise » et aucune détection n'a pu être faite sur des prélèvements à cause de nombreuses contaminations bactériennes et fongiques, pouvant inhiber la croissance des légionelles.

L'enquête menée en parallèle par la Générale des Eaux sur l'eau du réseau, l'eau en sortie d'usines ou de réservoirs et sur les eaux brutes n'a pas été concluante quant à la présence de la Lp1 « rennais ».

2.1.3 Conclusion

Durant le second semestre de 2000, l'Ille-et-Vilaine a été touché par des cas groupés de légionellose. 7 cas ont été contaminés de manière certaine par la même souche de Lp1, la souche « rennais ». La contamination a été probablement provoquée par des tours aéroréfrigérantes exploitées dans le centre-ville de Rennes. Cette souche s'est avérée virulente, provoquant une létalité de 18%.

La réactivité et la coopération des différents acteurs de la santé tel que la DDASS, le Service Communale d'Hygiène et de Santé (SCHS), l'InVS ont permis d'identifier rapidement les sources de contamination.

Les différentes mesures entreprises à travers l'arrêté préfectoral du 4 janvier 2001 obligeant les exploitants d'un système de refroidissement par pulvérisation d'eau à réaliser une vidange, un nettoyage et une désinfection de leurs installations et l'arrêté préfectoral du 1^{er} février 2001 relatif à l'interdiction d'exploiter les TARs du Pim's et du Crédit Agricole ont permis d'enrayer l'épidémie.

Suite à ces cas groupés de légionellose, un plan départemental d'action contre la légionellose a été adopté le 6 mars 2001 en Ille-et-Vilaine.

Ce plan intègre :

- des mesures de prévention et d'information ;
- des mesures opérationnelles sur les installations à risque avec la mise en place d'une démarche d'évaluation et de gestion des risques des légionelles dans les établissements recevant du public, un contrôle analytique trimestriel des TARs (autocontrôle des exploitants) et le renforcement des contrôles sanitaires des établissements de bains ;
- des mesures de contrôles et d'évaluation ;
- des mesures de communication.

Le contrôle analytique trimestriel des TARs a été suivi par le service santé-environnement jusqu'à la fin de l'année 2004, date de parution de l'arrêté introduisant dans la législation « Installations classées » la rubrique n°2921 relative aux tours aéroréfrigérantes.

La surveillance des cas de légionellose survenant chez les patients et la lutte contre les maladies nosocomiales dans les établissements de santé d'Ille-et-Vilaine ont été renforcées.

2.2 Les cas groupés de légionellose de 2005

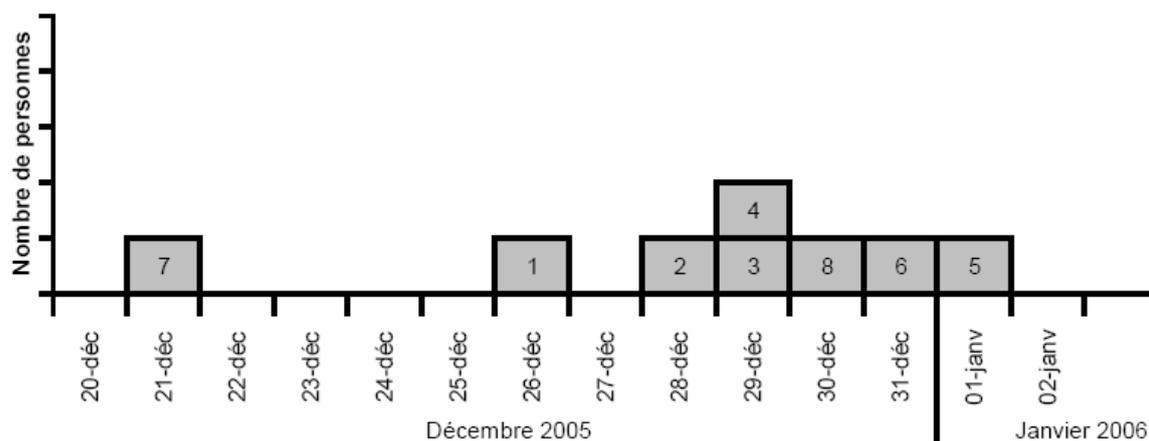
2.2.1 Epidémiologie

Du 2 janvier au 9 janvier 2006, 8 cas de légionellose ont été signalés à la DDASS d'Ille-et-Vilaine.

Les premiers signes cliniques de légionellose sont apparus pour le premier malade dès le 21 décembre 2005 tandis que, pour les 7 autres cas, la légionellose s'est déclarée entre le 26 décembre 2005 et le 1^{er} janvier 2006.

La figure ci-dessous illustre la distribution des cas de légionellose selon la date des premiers signes cliniques de la légionellose, les cas étant numérotés de 1 à 7. L'allure de la courbe suggère un épisode épidémique provoqué par une source commune d'exposition.

Figure 2 : Distribution des cas de légionellose selon la date des premiers signes cliniques



(Source : *Cas groupés de légionellose, Rennes (35)*. Institut de Veille sanitaire. Octobre 2006)

La population concernée était composée de 6 hommes et de 2 femmes, âgée de 36 ans à 86 ans d'un âge médian de 82,5 ans. Tous les cas présentaient un ou deux facteurs de risque. Deux personnes sont décédées durant leur hospitalisation, représentant une létalité de 25%.

Une seule souche clinique a été isolée et identifiée par le CNR. Il s'agit de la souche Lp1 « rennaise », responsable des cas groupés de légionellose de 2000.

L'enquête menée sur la localisation des domiciles des différents cas et sur les déplacements effectués durant les 10 jours précédents les premiers signes de la légionellose a conduit la DDASS à investiguer la ville de Rennes et les communes situées au Sud et à l'Est de cette ville.

2.2.2 Enquête environnementale

L'enquête environnementale a essentiellement porté sur les TARs, installations à risque, implantées dans l'agglomération rennaise et les communes au Sud et à l'Est de Rennes.

Les résultats de l'autosurveillance des TARs au cours du dernier trimestre de 2005 ont permis de centrer les recherches sur 3 installations pour lesquelles la maîtrise du risque face aux légionelles avait été mise en défaut. 3 souches environnementales ont été prélevées sur les tours et envoyées aux CNR. La souche prélevée sur la TAR de la plate-forme logistique CMER situé sur la commune de Cesson-Sévigné, à l'Est de Rennes, était identique à l'unique souche clinique. La contamination de cette TAR par la souche « rennaise » datait du 21 décembre 2005.

Aucune exposition spécifique n'a été mise en évidence pour un ou plusieurs des cas.

2.2.3 Conclusion

Les enquêtes épidémiologique et environnementale ont permis d'établir une relation entre la contamination par la souche Lp1 « rennaise » de la TAR de la plate-forme logistique CMER et la survenue d'un des cas de légionellose. Cependant, l'ensemble des informations sont insuffisantes pour attribuer les 7 autres cas groupés de légionellose à cette installation ou à une même source d'exposition.

2.3 L'existence d'une souche endémique

L'identification de la souche « rennaise » lors des épidémies de 2000 et de 2006 soulève la problématique de l'existence d'une souche endémique et par la même occasion l'existence d'un réservoir environnemental à Rennes.

On dit qu'une souche est endémique lorsqu'elle est responsable de plusieurs malades non liés épidémiologiquement.

A ce jour, cette souche n'a pas été identifiées dans les autres épidémies françaises ni dans les cas sporadiques et les prélèvements environnementaux en France et en Bretagne. Il est donc pertinent de se demander si ce réservoir se limite à l'agglomération de Rennes.

3 Etude du risque légionelle associé à l'exploitation des TARs à Rennes en 2009

Une investigation a été menée sur l'ensemble des tours aéroréfrigérantes exploitées à Rennes, dont les tours incriminées lors des épidémies de légionellose de 2000 et 2005. Les objectifs de cette enquête sont d'évaluer le risque de développement de foyers de transmission de légionelles dans la ville de Rennes et le risque environnemental associé à la persistance des légionelles dans les milieux qu'elles ont contaminés.

L'étude a été menée, en partie, pour vérifier si la Lp1 « rennaise » a contaminé de manière pérenne les réseaux de la tour du Pim's, des 3 Soleils, du Crédit Agricole et de la CMER et par la même occasion si elle s'est développée sur d'autres installations.

Dans un premier temps, cette étude détaillera le fonctionnement d'une TAR et l'ensemble des mesures mises en place pour prévenir le risque vis-à-vis des légionelles. Dans un deuxième temps, l'enquête environnementale sur les TARs en exploitation à Rennes établira un bilan sur le risque de contamination à Rennes.

3.1 Les tours aéroréfrigérantes

Exploitées pour le refroidissement de processus industriels et dans les systèmes de climatisation, les tours aéroréfrigérantes peuvent fonctionner selon trois principes différents. Il existe en effet les TARs humides, les TARs sèches et les TARs hybrides. Les installations exposées aux risques des légionelles sont les TARs humides et hybrides. L'étude se concentrera uniquement sur les TARs humides, le fonctionnement des tours hybrides étant le même que ces tours.

3.1.1 Principe de fonctionnement des TARs humides

Le refroidissement de certains processus industriels et des systèmes de climatisation est réalisé grâce à la circulation d'une eau froide qui se réchauffe le long de son parcours au sein de ces installations.

Les TARs humides sont utilisées pour évacuer vers le milieu extérieur la chaleur issue de ces systèmes en pulvérisant l'eau réchauffée dans un flux d'air.

Le refroidissement de ces eaux repose sur les phénomènes physiques de transfert de chaleur.

L'eau réchauffée est pulvérisée en partie haute de la TAR humide et ruisselle le long de la tour sur une surface d'échange air/eau dans un flux d'air mis en mouvement par un ventilateur ou un courant d'air. L'action simultanée de la circulation de l'air et de la vaporisation partielle de l'eau pulvérisée entraîne le refroidissement de l'eau. En s'évaporant, l'eau prélève une partie de l'énergie calorifique de l'air et provoque une

diminution de la température du flux d'air qui refroidit à son tour l'eau pulvérisée non évaporée.

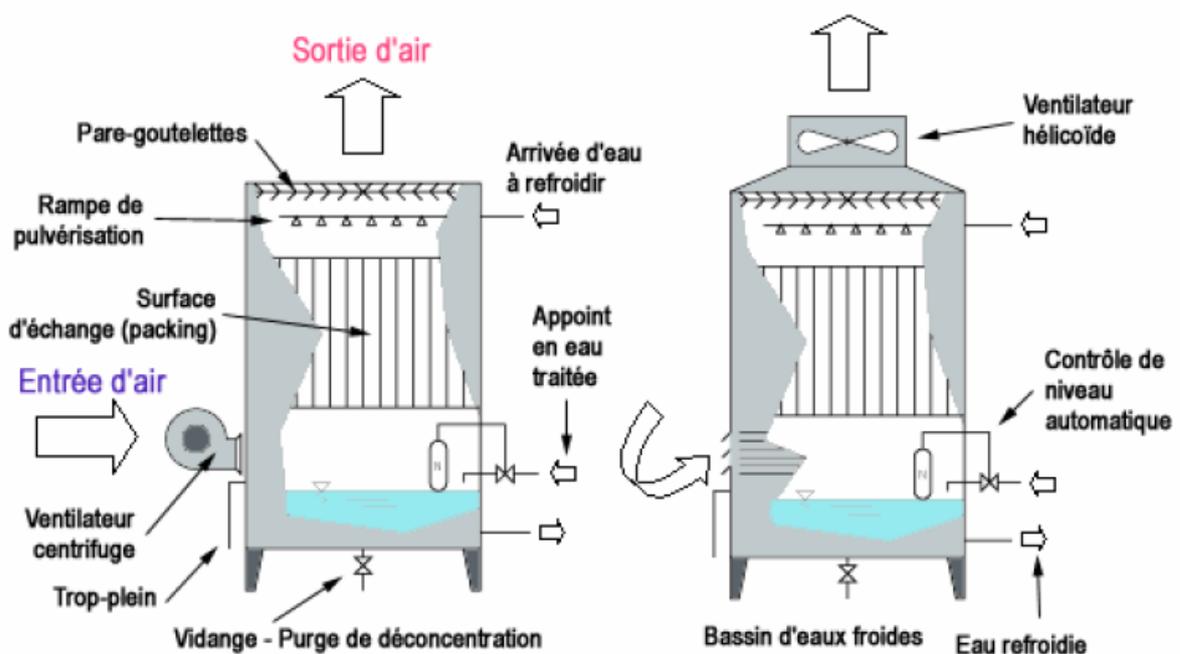
Cette vapeur d'eau est évacuée de la tour sous la forme d'un panache au dessus de la tour.

On distingue deux types de TARs humides : les tours humides ouvertes et les tours humides fermées.

❖ Les tours humides ouvertes

Dans ce type d'installation, l'eau servant à refroidir le procédé industriel est directement en contact avec l'air.

Figure 3 : Schéma d'une tour aéroréfrigérante ouverte

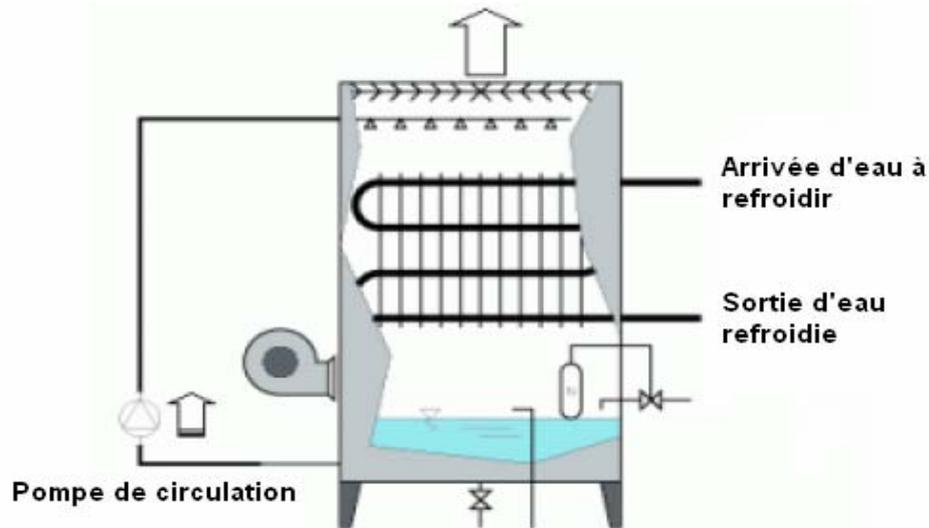


(Source : www.basse-normandie.drire.gouv.fr)

❖ Les tours humides fermées

L'eau de refroidissement circule dans un système d'échange sec et n'est pas en contact avec l'air. Ce système est arrosé par de l'eau d'un circuit annexe permettant un refroidissement par évaporation.

Figure 4 : Schéma d'une tour aéroréfrigérante fermée



(Source : www.basse-normandie.drire.gouv.fr)

3.1.2 Les éléments principaux de la TAR humide

Les éléments principaux constituant la tour humide sont :

- le système de distribution d'eau, placée en haut de la tour, dont le rôle est de pulvériser l'eau de manière uniforme ;
- le corps d'échange, également nommé garnissage ou packing, dispositif assurant le transfert thermique entre l'eau et l'air ;
- le pare-gouttelettes, ensemble de chicanes situé en sortie d'air au-dessus du système de distribution d'eau, dont le rôle est de retenir les gouttelettes d'eau ;
- le bassin de rétention des eaux, situé en bas de la tour ;
- le ventilateur, placé en amont ou en aval du système d'échange, dont le rôle est d'assurer l'écoulement continu de l'air ;
- la vanne d'eau d'appoint ;
- la vanne de déconcentration ou de purge.

La vanne d'eau d'appoint permet d'assurer un volume d'eau constant dans la TAR et de compenser les pertes d'eau associées aux phénomènes de vaporisation, aux gouttes pulvérisées hors de la TAR et aux purges. L'eau rajoutée par la vanne d'eau d'appoint provient soit du réseau d'eau potable ou de forages privés.

La vanne de déconcentration ou de purge permet d'évacuer de la TAR une eau trop concentrée en minéraux, phénomène provoqué par la vaporisation de l'eau.

3.1.3 Le panache

Dans ces deux configurations, le flux d'air de la tour est susceptible d'entraîner des gouttelettes d'eau dans le panache composé principalement de vapeur d'eau visible au sommet de la tour. Les gouttelettes d'eaux ont une composition similaire à l'eau du circuit

et peuvent être contaminées par des légionelles lorsque la conception, les conditions d'exploitation et de surveillance des installations sont mises à défaut. Ce panache peut contaminer la population jusqu'à 10 km autour de la source d'émission, contamination illustrée par l'épidémie de légionellose d'Harnes dans le Pas de Calais de novembre 2003 à janvier 2004.

3.1.4 Les facteurs de développement de légionelles dans les TARs humides

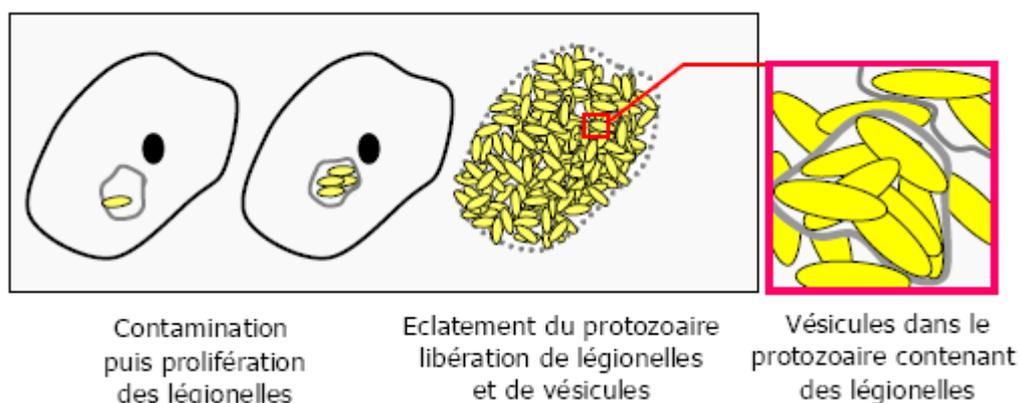
La colonisation des TARs semble se faire de 2 façons.

D'une part, elle a probablement pour origine l'eau d'appoint qui peut être contaminée par les légionelles et par certains microorganismes tels que les ciliés et les amibes susceptibles de les héberger.

D'une autre part, l'aspiration d'air contaminé par la TAR peut jouer un rôle important dans l'apport de légionelles. Les travaux d'excavation, les épisodes de fortes pluies ou les stations de traitements des eaux polluées sont autant de sources de pollution en microorganismes pathogènes de l'air.

Au sein de la TAR, les légionelles se multiplient activement au niveau du biofilm, qui constitue un dépôt biologique quasi-imperméable formé par l'adhésion de toute sorte de microorganismes sur les parois en contact avec l'eau. Des micro-organismes protozoaires tels que les amibes ou les ciliés se nourrissent de ce biofilm. Au lieu d'être digérées, les légionelles y sont stockées. Elles sont ainsi protégées de l'action des traitements chimiques, en particulier lorsque le protozoaire est sous forme de kyste.

Figure 5 : Prolifération des légionelles dans les amibes



(Source : CLIMESPACE/MEDD)

Certains paramètres jouent un rôle clé dans le développement des souches :

- la température de l'eau de recirculation entre 10°C et 35°C ;
- la présence de dépôt d'entartrage et de corrosion ;
- l'apport de nutriments organiques et de minéraux via l'eau d'appoint ;

- le domaine de pH ;
- l'aération continue de la tour ;
- la reconcentration en minéraux de l'eau provoquée par sa vaporisation ;
- les zones de stagnation au sein des circuits d'eaux des tours créées par les bras morts, les canalisations d'équilibrage entre des tours en parallèle ;
- l'absence de biocides permettant de lutter efficacement contre le développement des légionelles.

3.1.5 Les traitements des TARs

Un ensemble de mesures sont mises en place afin d'éviter la colonisation des TARs par les légionelles. Ces actions consistent principalement à nettoyer et à désinfecter la tour en permanence.

Le nettoyage permet d'éliminer le biofilm puis de limiter sa formation. La désinfection assure l'élimination ou la réduction de la concentration en légionelles dans l'eau en circulation.

Le nettoyage peut être mécanique ou chimique. Le nettoyage mécanique est réalisé lors de la vidange de l'installation et concerne uniquement les parties accessibles. Le nettoyage chimique agit sur l'ensemble des parois de l'installation en contact avec l'eau par l'utilisation de produits chimiques biodétergents ou biodispersants. Ces produits possèdent des propriétés tensioactives qui provoquent la rupture des liaisons entre les dépôts biologiques et les surfaces.

La désinfection est assurée par des produits biocides.

Les biocides sont soit des produits oxydants, soit des produits non oxydants.

Les biocides oxydants tels que le chlore, le brome, le dioxyde de chlore ou l'ozone sont généralement employés en traitement continu en faible concentration à cause de leur propriété corrosive vis-à-vis des matériaux métalliques des TARs et des circuits d'eau.

Les biocides non oxydants, principalement des molécules organiques peuvent être utilisés en traitement continu mais sont essentiellement utilisés en traitement choc. Les produits les plus utilisés sont le glutaraldéhyde, les isothiazolones, le tétrahydroxyphosphonium (THPS) ou les ammoniums quaternaires.

Afin d'assurer l'efficacité du traitement chimique de l'eau et de limiter le volume des produits chimiques mis en œuvre, le traitement préventif doit également prendre en compte la lutte contre les matières en suspension (MES), le tartre et la corrosion.

Le traitement de l'entartrage peut se réaliser par adoucissement, par décarbonatation ou par l'injection de séquestrant ou d'inhibiteur d'entartrage à base de phosphonate, de phosphates, de polymères organiques type acrylique qui empêche la précipitation du carbonate de calcium.

Les produits chimiques utilisés contre la corrosion sont des inhibiteurs, soit anodiques comme les silicates, les nitrites, les orthophosphates, soit cathodiques comme le zinc, soit organiques.

Les inhibiteurs de corrosion forment une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en bloquant les sites anodiques, sièges de l'oxydation du métal, ou bien les sites cathodiques, sièges de la réduction de l'oxygène en milieu neutre ou siège de la réduction du proton H⁺ en milieu acide.

3.1.6 La réglementation relative aux risque légionelle

Les nombreux arrêtés, circulaires et guides relatifs à la gestion du risque face aux légionelles dans les établissements de soins, les établissements thermaux et les installations recevant du public et les TARs constituent une réglementation dense (Cf. Annexe 1).

La réglementation relative aux risques face aux légionelles dans les TARs s'est véritablement renforcée à la fin de l'année 2004. Auparavant, seules les tours situées sur des installations classées étaient recensées et soumises à une réglementation.

Depuis le décret du 1^{er} décembre 2004, en application de la rubrique n°2921 relative aux tours aéroréfrigérantes, toutes les TARs sont soumises à la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

Tableau 2 : Rubrique n°2921 de la nomenclature des Installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air

Désignation de l'activité	A,D,S (1)	Rayon (2)
Refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air (<i>installations de</i>), I. lorsque l'installation n'est pas du type « circuit primaire fermé » : a) la puissance thermique évacuée maximale étant supérieure ou égale à 2000 kW b) la puissance thermique évacuée maximale étant inférieure à 2000 kW II. lorsque l'installation est du type « circuit primaire fermé » NOTA Une installation est du type « circuit primaire fermé » lorsque l'eau dispersée dans l'air refroidit un fluide au travers d'un ou plusieurs échangeurs thermiques étanches situé(s) à l'intérieur de la tour de refroidissement ou accolés à celle-ci, tout contact direct est rendu impossible entre l'eau dispersée dans la tour et le fluide traversant le ou les échangeurs thermiques.	A D D	3

(1) A : Autorisation, D : Déclaration, S : Servitude d'utilité publique

(2) Rayon d'affichage exprimé en kilomètres

Suite à la parution de ce décret, deux arrêtés ministériels datés du 13 décembre 2004 ont renforcé les prescriptions applicables aux TARS soumises à autorisation et à déclaration.

Ces arrêtés imposent des mesures de surveillance et de prévention du risque face aux légionelles et décrivent toutes les opérations à mettre en œuvre aussi bien au quotidien, qu'en suivi préventif et en cas de contamination avec la définition de valeurs seuils d'intervention. Le suivi par recherche des légionelles doit être effectué selon la norme NF-T-90-431 par un laboratoire accrédité. La fréquence des analyses de légionelles varie suivant les résultats. La fréquence minimale imposée par la réglementation est précisée dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Fréquence minimale des analyses de légionelles sur les TARs

Fréquence (pendant le fonctionnement)	déclaration	autorisation	durée de la surveillance
Initial	bimestrielle	mensuelle	12 mois continus < 1000 légionelles sp
suivie	trimestrielle	trimestrielle	après 12 mois continus < 1000 légionelles sp
résultats hors norme, flore parasite, résultat > 1000	Minimum bimestrielle	Minimum mensuelle	12 mois continus < 1000 légionelles sp

Les deux arrêtés imposent que la concentration en légionelles dans l'eau du circuit des TARs soit en permanence inférieure à 1000 UFC/L selon la norme NF-T-90-431.

Deux seuils d'intervention ont été définis par ces arrêtés. Lorsque la concentration mesurée en légionelles est supérieure ou égale à 100 000 UFC/L selon la norme NF-T-90-431, l'exploitant doit arrêter dans les meilleurs délais l'installation de refroidissement et réaliser la vidange, le nettoyage et la désinfection de l'installation de refroidissement. Lorsque la concentration mesurée en légionelles est comprise entre 1 000 UFC/L et 100 000 UFC/L ou si le résultat rend impossible la quantification de légionelles en raison de présence d'une flore interférente, l'exploitant doit prendre des dispositions pour nettoyer et désinfecter l'installation de façon à avoir une concentration en légionelles inférieure à 1 000 UFC/L.

3.2 Enquête environnementale de l'ensemble des TARs exploitées à Rennes

Une investigation a été menée afin d'étudier le risque de contamination de légionellose associée à l'exploitation des TARs à Rennes.

3.2.1 Inventaire des TARs de Rennes

Dans un premier temps, un inventaire des TARs de Rennes a été réalisé à partir des résultats d'analyses sur les tours aéroréfrigérantes d'Ille-et-Vilaine de 2000 à 2009 obtenus auprès de la DRIRE.

Ensuite, une enquête téléphonique auprès des différents exploitants a permis d'actualiser cette liste. Les tours aérorefrigérantes des bâtiments anciennement occupés par le Conseil Général, situé au n°1, avenue de la préfecture et des bâtiments anciennement occupés par le cinéma Gaumont, situé aux n°8 et n°12 ; quai Duguay-Trouin, ne sont plus exploitées, respectivement, depuis l'année 2008 et le début de l'année 2009.

Un bilan sur l'évolution et la situation actuelle des TARs incriminées lors des cas groupés de légionellose en 2000 et 2005 a pu être fait.

La TAR du Pim's a été remplacée par une TAR neuve et le circuit d'alimentation en acier a été remplacé par un circuit en PVC. Ces modifications ont été la conséquence de l'arrêté préfectoral du 15 novembre 2005 qui a suspendu l'exploitation de la TAR à cause de teneurs en légionelles trop élevées et un équipement trop ancien.

Les TARs des 3 Soleils ne sont plus exploitées depuis le 10/07/2006. Elles ont été remplacées par un système de climatisation ne représentant plus un danger vis-à-vis des légionelles.

Aucune information notable n'a été recueillie sur la tour du Crédit Agricole.

La société CMER exploitait deux TARs, une petite et une grande fonctionnant à des périodes différentes de l'année. La petite TAR fonctionnait l'hiver et la grande l'été. Lors de l'épidémie de 2005, la petite TAR était exploitée. Cependant les deux installations communiquaient, l'une pouvant contaminer l'autre. Les TARs de Cesson-Sévigné ne sont plus exploitée par la société CMER, ensuite appelée Logistique Comptoir Moderne (LCM). Depuis 2008, les entrepôts sont exploités par la société Lactalis. Seule la grande tour est encore utilisée.

La campagne de prélèvement s'est déroulée entre le 15 juin et le 2 juillet 2009. Elle a concerné 15 TARs exploitées à Rennes et une TAR exploitée à Cesson-Sévigné, ce qui correspond à 9 établissements au total (Cf. annexe 2).

La campagne de prélèvement a été bien accueillie par les exploitants qui mènent une politique de transparence vis à vis du fonctionnement de leur TAR.

3.2.2 Prélèvement et analyse de légionelles des TARs

L'eau prélevée doit être représentative de l'eau qui circule à l'intérieur de la tour. Le point de prélèvement ne doit donc pas être influencé par l'eau d'appoint. L'eau est prélevée soit à la sortie d'une vanne en amont de la pulvérisation ou soit dans le bassin de réception de l'eau de ruissellement mais à l'écart du point d'arrivée de l'eau d'appoint, dans un flacon stérile contenant du thiosulfate de sodium pour neutraliser l'action des biocides oxydants. Le flacon doit être plongé à la verticale dans l'eau pour ne pas perdre le thiosulfate de sodium.

Un délai de 48h doit être respecté après un traitement choc de l'installation.

Le prélèvement est réalisé lorsque la tour est en fonctionnement et lorsque l'eau circule dans l'installation.

L'opération doit être effectuée selon les bonnes pratiques d'hygiène. Le préleveur doit porter des gants désinfectés pour ne pas contaminer les eaux des TARs et un masque de protection de type P3 pour ne pas respirer des gouttelettes d'eau pulvérisée susceptibles d'être contaminées par des légionelles. Si le prélèvement est effectué sur une vanne, celle-ci doit être désinfectée à l'aide d'un chalumeau.

Pour des mesures de sécurité, le préleveur est accompagné par un personnel de la société.

Le flacon d'échantillonnage est ensuite conditionné dans une enceinte isotherme, comme une glacière, maintenue à une température variant entre 2°C et 8°C.

Les échantillons prélevés doivent être remis au laboratoire au plus tard 24h après le prélèvement.

Des informations ont été collectées au sujet des produits de traitement des eaux (biocides, biodispersants,...). De même, la date de la dernière désinfection choc a été demandée (Cf. Annexe 3).

Différents paramètres ont été mesurés in situ (Cf. Annexe 4) :

- la température ;
- le pH ;
- la conductivité ;
- l'aspect de l'eau (couleur, turbidité,...) ;
- le chlore libre et le chlore total.

Les échantillons ont ensuite été déposés au Laboratoire d'Etude et de Recherche en environnement et santé (LERES), laboratoire accrédité COFRAC pour la recherche de légionelles.

La recherche et le dénombrement de légionelles ont été réalisés selon la norme NF T 90-431.

3.2.3 Résultats des analyses

Sur les 16 TARs contrôlées, seule une TAR est contaminée par des Lp1. Il s'agit de la TAR du CHU Pontchaillou. Il a été détecté une teneur de 50 UFC/L en Lp1 (Cf. Annexe 5). Cette concentration ne dépasse pas le seuil réglementaire de 10^3 UFC/L, qui aurait contraint l'exploitant à mettre en place un ensemble de mesures de nettoyage et de désinfection pour régulariser l'installation. Cependant, en cas de dysfonctionnement du traitement des eaux et du dispositif de désinfection, la TAR pourrait devenir un foyer de contamination et être à l'origine d'une épidémie de légionellose.

L'identification de la souche a été réalisée (Cf. Partie 4 : Etude de la diversité génétique des légionelles à Rennes).

Concernant les autres TARs, les limites de détection des moyens de mesure n'ont pu mettre en évidence de contaminations par des légionelles.

Cette campagne de prélèvements montre que la réglementation, les bonnes pratiques permettant une bonne exploitation des installations, la sensibilisation des exploitants et la prise de conscience du danger assure une gestion efficace contre le risque légionelle.

4 Etude de la diversité génétique des légionelles à Rennes entre 2000 et 2009

Le Centre Européen d'Expertise et de Recherches sur les Agents Microbiens (CEERAM) a réalisé le typage à l'aide de la méthode MLVA d'un ensemble de souches de *Legionella pneumophila* prélevées sur des réseaux d'eau chaude sanitaire (RECS), sur des patients et certaines TARs entre 2000 et 2009 dans la ville de Rennes afin d'évaluer le risque d'émergence de foyer de contamination de légionellose et en particulier d'appréhender le risque associé à la souche « rennaise ».

4.1 Le typage des souches de légionelles

Le typage des souches est une technique utilisée pour analyser ou suivre la distribution des souches de légionelles aux niveaux local, régional, national ou international.

C'est également un outil utilisé dans les enquêtes épidémiologiques. Il est possible d'identifier et de caractériser les différentes espèces de légionelles issues de l'environnement et de les comparer avec la souche isolée chez le ou les malades, si celle-ci est disponible. La mise en évidence d'une espèce de légionelle dans un échantillon d'eau peut apporter la preuve de l'origine de l'infection.

On distingue deux catégories majeures de typage des isolats cultivés :

- les méthodes phénotypiques qui utilisent des caractères biochimiques ou immunologiques telle que le sérotypage ;
- les méthodes génotypiques qui se basent sur la diversité des acides nucléiques telles que l'électrophorèse en champ pulsé ou Pulsed Field Gel Electrophoresis (PFGE) et le typage séquencé ou Sequence-Based Typing (SBT).

4.1.1 Les méthodes phénotypiques

Du point de vue sérologique, *Legionella pneumophila* est divisé en 15 sérogroupes. Le séro groupe 1 peut encore être subdivisé en sous-groupes par l'utilisation d'anticorps spécifiques. Cette discrimination entre les différents sérogroupes est un outil très pratique et peu coûteux. Il permet de tester un grand nombre de colonies afin de choisir celles qui devront faire l'objet d'analyses plus détaillées à l'aide des méthodes génotypiques.

Cependant, les marqueurs phénotypiques sont peu discriminants et la reproductibilité est médiocre.

Du fait des inconvénients techniques des méthodes phénotypiques, l'utilisation récente des techniques de typage moléculaire faisant appel aux méthodes d'empreintes génétiques a augmenté considérablement.

4.1.2 Les méthodes génotypiques

❖ L'électrophorèse en champ pulsé

Actuellement, la méthode de typage de référence des légionelles, employée par le CNR des légionelles repose sur la technique dite PFGE ou Pulsed Field Gel Electrophoresis (électrophorèse en champs pulsé).

Il s'agit d'une méthode de typage qui se base sur la restriction de l'ADN (Acide désoxyribonucléique). La molécule d'ADN de la bactérie est découpée par une enzyme de restriction en fragments de différentes tailles ou fragments de restriction. La séparation de ces fragments de restriction est réalisée par électrophorèse en champ pulsé. L'action du champ électrique provoque la migration des fragments qui se déplacent plus ou moins vite en fonction de leur masse moléculaire, les plus petits étant plus rapides. Le résultat est un profil de restriction définissant un pulsotype, caractéristique de l'isolat bactérien.

Cette méthode présente un pouvoir de discrimination élevé estimé à plus de 98% pour les *Legionella pneumophila*. Cependant, la PFGE est en cours d'abandon dans les laboratoires de biologie moléculaire à cause de ses inconvénients techniques et pratiques. Cette technique est relativement longue, coûteuse et difficile à mettre en œuvre. Mais surtout, son inconvénient majeur reste le manque de reproductibilité inter-laboratoire et le défaut de standardisation des résultats obtenus.

Des méthodes alternatives tendent à remplacer les méthodes de typage par restriction d'ADN. Il s'agit des méthodes de typage par amplification des gènes telle que le typage séquencé.

❖ Le typage séquencé ou Sequence based typing (SBT)

Le typage séquencé ou « Sequence based typing (SBT) » est préconisé comme technique de typage de référence pour *Legionella pneumophila* par le Groupe de Travail Européen sur les Infections à *Legionella* (EWGLI). Le SBT permet un typage reproductible et extrêmement discriminant des souches de *Legionella pneumophila*.

Cette méthode est basée sur le polymorphisme des séquences de nucléotides de sept gènes indépendants, appelés locus qui présentent des variations intra-espèces. Elle compare les séquences de nucléotides de ces 7 gènes pour chaque souche bactérienne. Pour chaque séquence identifiée, un chiffre est associé. Ainsi pour chaque souche, le profil représentant le génotype ou « sequence type » est défini par un code numérique. Le typage par SBT permet donc facilement l'échange des données produites dans différents laboratoires. Ces échanges sont facilités par l'existence d'une base publique pour les données de typage de *Legionella pneumophila* par SBT mise en place par l'EWGLI. Cependant, cette méthode reste très coûteuse et son application en routine pour le

typage systématique de tout nouvel isolat dans les laboratoires de biologie moléculaire n'est pas encore envisageable.

❖ **Le typage par analyse de plusieurs locus VNTRs ou « Multiple loci VNTRs analysis (MLVA) »**

Une nouvelle technologie a été développée par le CEERAM pour réaliser le typage des *Legionella pneumophila* et appliquée dans l'étude de la diversité génétique et de la répartition géographique de ces microorganismes dans la ville de Rennes.

Il s'agit du typage par analyse de plusieurs locus VNTRs ou « Multiple loci VNTRs analysis (MLVA) ».

Les VNTRs ou « Variable Number Tandem Repeat » sont des fragments génétiques composés de séquences de nucléotides répétées en tandem, présents chez pratiquement toutes les espèces bactériennes, dans les régions codantes ou intergéniques. Les répétitions en tandem sont des séquences génomiques, caractérisées par la répétition d'un motif nucléotidique élémentaire.

Les VNTRs présentent un polymorphisme intra-espèce au niveau du nombre de répétitions, permettant ainsi leur utilisation comme marqueurs moléculaires pour le génotypage des *Legionella pneumophila*.

Le génotypage par MLVA repose sur l'amplification par PCR de ces régions ciblées, appelées locus, et sur la détermination des tailles de ces éléments génomiques amplifiés, appelées amplicons, par électrophorèse. Les motifs répétés peuvent compter d'une à plus de cent paires de nucléotides et la taille des amplicons varie de quelques dizaines à plus de mille nucléotides. La longueur des unités répétées étant connue, la taille des amplicons permettent de déterminer le nombre de séquences répétées dans les régions amplifiées. Le résultat final est un code numérique incluant le nombre de répétition dans chaque locus. L'obtention de tels génotypes numériques, dont la standardisation est possible, facilite l'interprétation des données obtenues.

Récemment, un protocole MLVA pour *Legionella pneumophila* décrivant l'analyse du polymorphisme de répétitions de huit loci VNTR a été publié (Pourcel *et al.*, 2003 et Pourcel *et al.*, 2007). Ce typage par MLVA s'est avéré très puissant. En effet, tous les critères de performance relatifs à une excellente technique de typage ont été validés : stabilité des marqueurs utilisés, typabilité excellente (supérieure à 98%), reproductibilité parfaite et pouvoir de discrimination élevé (identique à celui du SBT).

L'outil de typage par MLVA développé par le CEERAM s'appuie sur l'analyse concomitante de onze VNTRs. Ces marqueurs ont été nommés arbitrairement Lp1, Lp13, Lp19, Lp31, Lp33, Lp34, Lp35, Lp38, Lp39 et Lp40.

4.2 Typage des souches de *Legionella pneumophila* prélevées à Rennes entre 2000 et 2009

4.2.1 Origine des souches

Au total, 219 souches de *Legionella pneumophila* ont été génotypées, dont 203 du soucier du LERES, 5 souches cliniques, 9 souches environnementales mises en cause lors des épidémies de légionellose de 2000 et 2005 et 2 souches prélevées sur la TAR du CHU Pontchailloux lors de la campagne de prélèvements.

Le LERES possède une collection de 1600 souches de légionelles, dont 1400 *Legionella pneumophila*, prélevées entre 2000 et 2009 sur les réseaux d'eau chaude sanitaire de piscines, d'établissements sportifs ou d'établissement de santé et sur des tours aéroréfrigérantes d'industriels et du CHU de Pontchailloux. Les 203 souches ont été sélectionnées de manière à être le plus représentatif de l'ensemble du soucier du LERES.

Les souches cliniques ont été prélevées sur les cas groupés de légionellose de 2000 et de 2005. 4 souches sont associées aux cas groupés de 2000 et 1 souche aux cas groupés de 2005. Il s'agit de la souche « rennais ». Ces souches étaient conservées au CNR de légionelles de Lyon.

9 souches environnementales ont été collectées sur les TARs incriminées en 2000 et 2005, dont 5 des tours des 3 Soleils prélevées le 30 novembre 2000, 2 souches de la tour du Pim's prélevées le 4 décembre 2001 et le 22 janvier 2001, 1 souche de la tour du Crédit Agricole prélevée le 22 janvier 2001 et une souche de la tour de CMER prélevée le 21 décembre 2005. Les souches prélevées en 2000 ont été obtenues auprès du Laboratoire de Développement et d'Analyse des Côtes d'Armor (LDA22). La souche de 2005 a été obtenue auprès du CNR.

Les 2 souches de la TAR du CHU de Pontchailloux, obtenues lors de la campagne de prélèvement le 16 juin 2009, ont également été typées.

Le typage des souches a été réalisé par MLVA ou Multi Loci VNTR Analysis.

4.2.2 Résultat du typage des souches cliniques

Les souches cliniques prélevées sur les malades lors des épidémies de 2000 et de 2006 ont fait l'objet d'une étude par le CNR de Lyon.

D'après une identification par immunofluorescence, ces souches appartiennent au groupe des *Legionella pneumophila Philadelphia*.

Lors des enquêtes épidémiologiques de 2000 et 2006, le typage de ces souches par électrophorèse en champ pulsé après restriction de l'ADN, avait permis d'identifier une seule et unique souche, nommée souche « rennais ».

Le typage par SBT s'avère plus discriminant que l'électrophorèse en champ pulsé et distingue 3 sous-groupes parmi les 5 isolats.

Tableau 4 : Caractéristiques des souches cliniques par SBT

Nom de l'isolat	Date de prélèvements	<i>flaA</i>	<i>pilE</i>	<i>asd</i>	<i>mip</i>	<i>momp'S</i>	<i>proA</i>	<i>neuA</i>	Séquence Type	Mab'S
L1670	31/08/2000	3	4	1	28	14	11	1	626	Philadelphia
L1672	08/09/2000	3	4	1	1	14	11	30	628	Philadelphia
L1673	31/10/2000	3	4	1	1	14	11	30	628	Philadelphia
L1671	15/11/2000	3	4	1	28	14	11	11	439	Philadelphia
L1674	03/01/2006	3	4	1	28	14	11	11	439	Philadelphia

4.2.3 Résultat du typage de l'ensemble des souches sélectionnées

Le typage des 219 isolats a permis d'obtenir 217 profils MLVA. Une seule n'a souche n'a pu être traitée correctement et être associée à un profil MLVA car cinq marqueurs sur onze n'ont pu être amplifiés. Il s'agit de la souche de la TAR du Crédit Agricole, souche identifiée comme souche « rennaise » par le typage par électrophorèse en champ pulsé après restriction de l'ADN lors de la première épidémie de légionellose de 2000.

❖ Dendrogrammes

À partir de ces profils MLVA, deux dendrogrammes, schémas exprimant les liens de parenté entre les différentes souches sous la forme d'une succession d'embranchements ont été réalisés, les informations de chaque dendrogramme se complétant.

Le dendrogramme n°1 (Cf. Annexe 6) présente les références des souches, les liens entre elles, leurs codes numériques MLVA et leurs génotypes MLVA associés. Le nom des génotypes MLVA est arbitraire. Les génotypes MLVA ont été nommés par des numéros.

Le dendrogramme n°2 (Cf. annexe 7) présente également les références des souches, les liens entre elles et des caractéristiques associées au prélèvement des souches telles que la date de prélèvement, le type et le nom de l'établissement concerné, le type d'équipement prélevé telles que les réseaux d'eau chaude sanitaire ou les tours aéroréfrigérantes.

Les groupes phylogénétiques dans lesquels les différents isolats typés ont été classés, ont été nommés par le nom de la souche endémique de *Legionella pneumophila* de référence appartenant au groupe.

Les résultats de typage montrent l'existence de trois grands groupes phylogénétiques parmi les isolats typés :

- le groupe dit « Philadelphie » ;
- le groupe dit « Paris » ;
- le groupe n°3.

Le groupe n°3 a été nommé arbitrairement ainsi car aucune souche endémique de référence n'appartient à ce cluster. Ce groupe phylogénétique semble spécifique à la ville de Rennes. Il rassemble 80% des isolats et possède 13 génotypes différents, allant du génotype 9 au génotype 21. Les génotypes 14 et 15 sont largement majoritaires, et représentent respectivement 60% et 26% de ce groupe.

Le groupe « Philadelphie » rassemble l'ensemble des souches responsables des cas groupés de légionellose de 2000 et 2005, prélevées à la fois sur les patients et sur les TARs. Le typage MLVA montre que les cas de légionellose n'ont pas été provoqués par la même souche Lp1, nommée souche « rennais » mais par deux souches génétiquement proches, de génotypes 4 et 5.

La souche de génotype 4 a été identifiée sur la TAR des 3 Soleils le 30/11/2000 et sur un malade le 15/11/2000.

La souche de génotype 5 a été identifiée sur la TAR des 3 Soleils le 30/11/2000, sur la TAR du Pim's le 04/12/2000 et le 22/01/2001 et sur 3 souches cliniques, prélevées le 31/08/2000, le 08/09/2000 et le 31/10/2000.

La souche de génotype 4 est également responsable de la contamination de la TAR de la société CMER de Cesson-Sévigné en 2005 et a été identifiée sur l'unique souche clinique prélevée lors des cas groupés de légionellose de 2005.

En dehors des épisodes de légionellose de 2000 et de 2005, seule la souche de génotype 5 a été retrouvée à Rennes sur la TAR exploitée par la société Tollemer Miko lors du prélèvement du 22/01/2002.

Un troisième génotype appartient au groupe Philadelphie. Il s'agit du génotype 6, prélevé sur les établissements de maintenance de la SNCF le 10/01/2002.

Le profil génétique MLVA de ce groupe est très proche de la souche de référence « Philadelphie », identifiée en 1976 lors d'un congrès de l'American Legion et responsable de 34 morts.

Le groupe phylogénétique dit « Paris » est représenté par 5 génotypes, allant du génotype 27 au génotype 31. Les deux souches prélevées sur la TAR du CHU de Pontchailloux sont de génotypes 27 et 28. La souche « Paris » est la première souche

endémique en France et responsable de près de 13% des cas de légionellose diagnostiqués ces 15 dernières années.

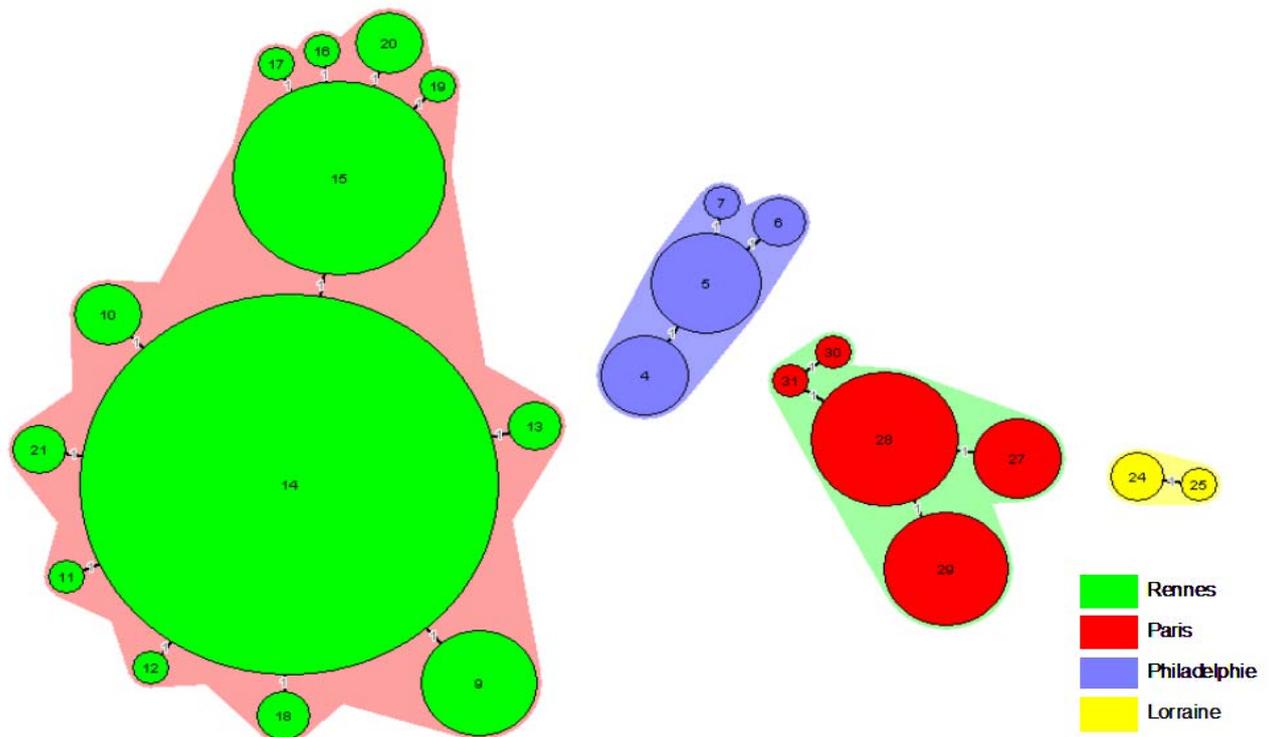
Un quatrième groupe, nommé Lorraine, constitué de deux isolats prélevés dans le réseau d'eau chaude sanitaire d'une maison de retraite est proche de la souche endémique de référence « Lorraine ». La souche « Lorraine » a été isolée chez plusieurs patients depuis 1995. Cette souche a été qualifiée par le CNR comme étant une nouvelle souche endémique : elle présente un profil génomique particulier sans qu'aucun lien épidémiologique n'ait été retrouvé entre les patients. D'après le rapport d'activité de 2006 du CNR de Lyon, cette souche a été à l'origine de 11% des cas cliniques en 2005. La souche Lorraine est fréquemment isolée en clinique, mais exceptionnellement dans l'environnement.

❖ **Schéma d'arbre de recouvrement minimal (ou minimum spanning tree)**

Le schéma d'arbre de recouvrement est composé de cercles qui représentent chacun un génotype MLVA. La taille du cercle est proportionnelle aux nombres d'isolats de même génotype. Le nombre de marqueurs ou VNTRs différents entre deux génotypes est indiqué par le chiffre qui relie chacun des cercles représentatifs des génotypes en question.

Le schéma d'arbre de recouvrement minimal (ou minimum spanning tree), appliqué aux isolats typés illustre les 3 clusters et la diversité génétique de l'échantillon étudié.

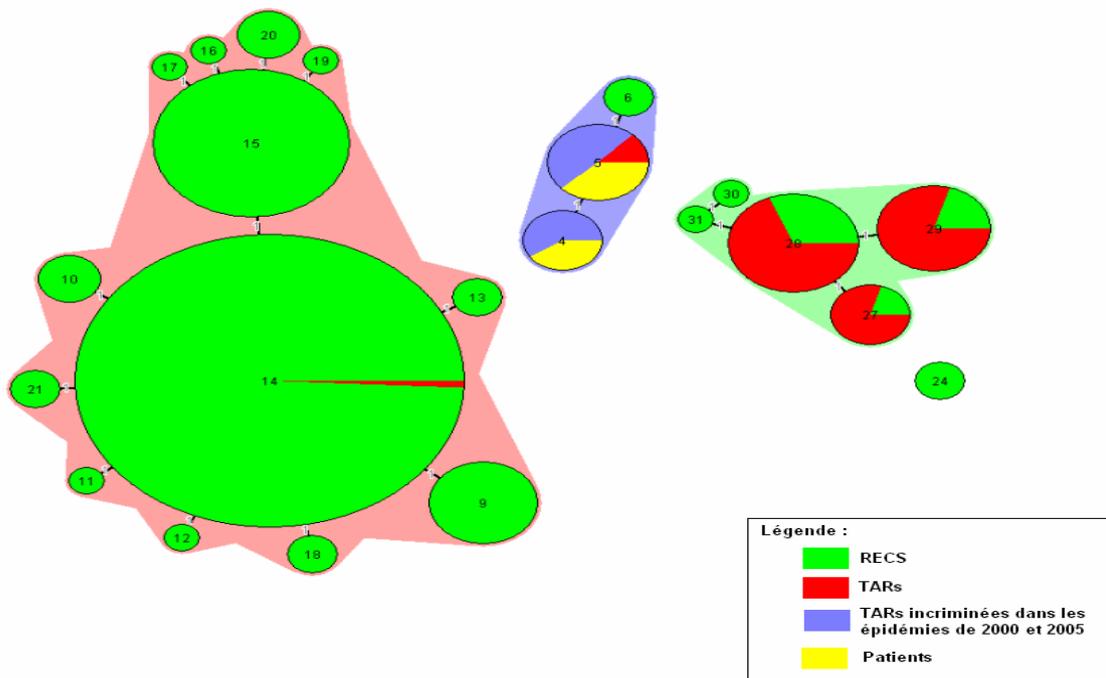
Figure 6 : Schéma d'arbre de recouvrement selon les groupes phylogénétiques



(Source : *Typage moléculaire de Legionella pneumophila par MLVA*, SOBRAL D, 2009)

Le Schéma d'arbre de recouvrement minimal réalisé en fonction de l'équipement sur lequel a été effectué le prélèvement des isolats de *Legionella pneumophila*, montre que certains génotypes, et même groupes phylogénétiques, ont colonisé certains types d'équipement d'eau en particuliers.

Figure 7 : Scéma d'arbre de recouvrement minimal selon le type d'équipement



(Source : *Typage moléculaire de Legionella pneumophila par MLVA*, SOBRAL D, 2009)

Le schéma d'arbre de recouvrement, qui met en relation le groupe phylogénétique des souches de *Legionella pneumophila* et les types d'équipement contaminés met en évidence que le groupe n°3 s'est principalement développé sur les RECS entre 2000 et 2009. Seul un isolat a été prélevé sur la TAR du CHU Pontchailloux le 30/08/2006.

Les souches du groupe phylogénétique dit « Paris » se retrouvent, en particuliers sur les TARs des sites industriels PSA et Tollemer Miko et sur la TAR du CHU de Pontchailloux. Les souches ayant contaminé une TAR entre 2000 et 2009 représentent 68% des isolats du groupe « Paris ».

4.2.4 Conclusion

Le typage de 219 souches prélevées sur des patients, les RECS de piscines, d'établissements sportifs ou d'établissement de santé et sur des tours aéroréfrigérantes d'industriels et du CHU de Pontchailloux entre 2000 et 2009 met en évidence la diversité génétique des *Legionella pneumophila* et montre que certaines installations offrent un territoire plus favorable au développement de certains groupes phylogénétique.

23 génotypes différents ont été identifiés avec une présence majeure des génotypes 14 et 15.

Cette étude apporte des informations complémentaires au sujet de la souche « rennaise ». La technique de typage par MLVA confirme les résultats obtenus par la technique de typage SBT. Deux souches de génotypes différents, à savoir les génotypes 4 et 5, sont responsables d'au moins une partie des cas groupés de légionellose de 2000 et de 2005. Seule la souche de génotype 4 a été identifiée lors des 2 épidémies, faisant de cette souche une souche endémique.

Le typage par MLVA est plus discriminant que le typage par électrophorèse en champ pulsé. Cependant, le typage par SBT a séparé les isolats L1670, L1672 et L1673 en deux séquences typées, 626 pour les isolats L1670 et L 1672 et 628 pour les isolats L1673 alors que la technique par MLVA les a identifiées comme appartenant au génotype 5.

Les résultats du typage confortent les études épidémiologiques menées durant les deux épidémies. En effet, les souches prélevées sur les TARs incriminées sont identiques aux souches cliniques.

Seul un autre établissement, l'industrie Tollemer Miko, a été contaminé par une souche de génotype 5 entre 2000 et 2009.

Le typage de ces 219 isolats met en évidence que la souche responsable des épidémies de 2000 et 2006 ne dispose pas d'un réservoir important et ne semble pas avoir colonisé les réseaux d'eau de la ville de Rennes.

Cette étude montre également que la TAR du CHU Pontchailloux est contaminée depuis 2006 par les souches du groupe phylogénétique « Paris », de génotype 27 et 28. Il serait intéressant de réaliser un test afin de voir si ces souches sont pathogènes pour l'homme. Un effort de prévention devra être entrepris au niveau de cette installation afin d'éviter la création d'un foyer épidémique. Le CHU Pontchailloux a été sensibilisé vis à vis de ce risque par courrier du 23 juillet 2009 (Cf. annexe 8).

La technologie d'identification des souches par MLVA assure un typage précis des souches prélevées du fait de son pouvoir discriminant élevé. Le génotypage par MLVA présente l'avantage de reposer uniquement sur la technique de PCR. Ce procédé est ainsi facilement automatisable et son utilisation aisée.

Le typage par MLVA permet des études comparatives fines entre souches bactériennes dans un délai très court (moins de quatre heures).

Cette nouvelle technologie permet de réagir vite lors d'épidémie afin de déterminer un foyer de contamination, constituant ainsi un outil efficace pour les études épidémiologiques et la gestion du risque.

Cependant, afin de localiser les sources de contamination, il est nécessaire de comparer les souches cliniques et les souches environnementales. Mais, du fait de l'utilisation de plus en plus fréquente du diagnostic par antigène urinaire, méthode détectant les Lp1 rapidement, et la mise sous antibiotique des patients, le prélèvement clinique est de moins en moins possible.

L'évolution des technologies, l'amélioration de la discrimination et la rapidité de détection améliorent la capacité d'enrayer une épidémie de légionellose le plus vite possible.

5 Etude de l'existence et de conditions d'émergence de foyer de contamination de légionellose

Un système d'information géographique (SIG) a été mis en place afin d'étudier la répartition géographique et la diversité génétique des isolats de *Legionella pneumophila* dans la ville de Rennes et de modéliser l'existence de foyers de transmission de légionellose entre 2000 et 2009.

Le SIG a été également utilisé pour essayer d'établir un lien entre la répartition de cette diversité génétique et la survenue des cas de légionellose à Rennes entre 2000 et 2009.

L'étude s'est intéressée aux conditions d'émergence des souches de *Legionella pneumophila*. Elle a tenté d'établir une relation entre les caractéristiques physico-chimiques des eaux circulant dans les diverses installations contaminées et le développement des souches.

5.1 Mise en place du système d'information géographique

Un système d'information géographique (SIG) a pour but de rassembler, d'organiser, de combiner des éléments géographiques sur une même carte. Le SIG permet la superposition de différentes couches de données géographiques, facilitant l'analyse, la mise en relation et la comparaison de ces informations.

Le fond de carte, représentant l'agglomération rennaise (Cf. annexe 9), a été obtenu auprès des Services de cartographie de la ville de Rennes, après plusieurs recherches infructueuses auprès de Véolia et du Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS)

Le SIG a été réalisé avec le logiciel Arcview et a reposé principalement sur la constitution de différentes couches de données géographiques en rapport avec :

- les tours aérofrigorifères exploitées à Rennes (Cf. annexe 10) ;
- les points de contrôles sanitaires des eaux du réseau de distribution (Cf. annexe 11) ;
- les établissements concernés par les prélèvements réalisés par le LERES entre 2000 et 2009 et contaminés par des *Legionella pneumophila* (Cf. annexe 12).

5.2 Etude de la répartition géographique et temporelle de la diversité génétique des *Legionella pneumophila*

5.2.1 Répartition géographique de la diversité génétique des souches

Les différents quartiers de Rennes ne sont pas plus contaminés par un groupe phylogénétique que par un autre (Cf. Annexe 13, 14, 15 et 16). Les groupes

phylogénétiques n°3 et « Paris » sont répartis de manière indifférenciée sur l'ensemble de Rennes. Cependant, on peut remarquer que le groupe « Philadelphie » s'est développé le long de la voie ferrée.

De la même manière, les génotypes ne semblent pas avoir colonisé une région spécifique de la ville de Rennes.

5.2.2 Evolution des populations de légionelles entre 2000 et 2009

Les groupes phylogénétiques n°3 et « Paris » sont présents sur Rennes entre 2000 et 2009. Les groupes phylogénétiques 14 et 15 ont colonisé les réseaux durant cette période de manière continue.

5.2.3 Lien entre les cas de légionellose et la répartition géographique des légionelles entre 2000 et 2009 à Rennes

A partir des fiches d'investigation des cas de légionellose, remplies lors de la déclaration obligatoire de la légionellose, une étude a été menée afin d'établir une relation entre les différents déplacements effectués par les patients et la répartition géographique des légionelles entre 2000 et 2009. L'intérêt est de voir si les malades ont pu être contaminés par une de ces souches.

Les archives de la DDASS permettent de remonter jusqu'à l'année 2004. Les déclarations des années précédentes ont été détruites comme le prévoit la loi.

Les informations récoltées sont insuffisantes pour conclure.

5.3 Etude des conditions d'émergence des souches de *Legionella pneumophila*

Le développement des souches de *Legionella pneumophila* dépend de certains paramètres physiques et chimiques des eaux. Il est intéressant d'étudier ces caractéristiques afin de voir s'il existe des conditions d'émergence.

Dans un premier temps, les eaux des TARs incriminées lors des cas groupés de légionellose sont analysées et comparées dans le but de connaître l'écologie des souches « rennaises ».

La deuxième partie a pour but de d'établir une relation entre les eaux potables du réseau de distribution et la diversité génétique des *Legionella pneumophila* sur les réseaux d'eau chaude sanitaire à Rennes.

5.3.1 Les souches « rennaises » et les eaux circulant dans les TARs incriminées

Une enquête rétrospective a été menée afin d'obtenir les caractéristiques physiques et chimiques des eaux circulant dans les TARs du Pim's, des 3 Soleils, du Crédit Agricole et de la société CMER.

Les informations ont été sollicitées auprès des exploitants, des sociétés de maintenance des TARS, des sociétés de traitement des eaux (Cf. annexe 17, 18 et 19). Les archives de la DRIRE et de la DDASS ont également été consultées.

Les résultats obtenus sont lacunaires et difficilement exploitables pour établir une relation statistique entre la contamination des installations de refroidissement et les caractères physiques et chimiques des eaux.

Cependant, certaines informations ont pu être dégagées.

Le prélèvement du 25/10/2005 de la grande TAR de CMER montre une flore interférente, une conductivité et une turbidité très élevées. La grande tour était sûrement déjà contaminée par la souche « rennaise » et a probablement contaminé la petite tour.

Des informations sur les traitements des TARs ont été obtenues. Il s'avère que sur les 4 installations impliquées, 3 installations étaient traitées avec le biocide et biodispersant BIOSPERSE 835 EMD, produit à base de THPS ou tétrahydroxyphosphonium. Il s'agit d'un bioxyde non oxydant, constitué de molécules organiques. Ces installations étaient également traitées par de l'anti-corrosion de la marque Enviroplus et par un biocide le CHLOROT, produit à base de chlore. Le traitement de l'eau de ces installations était géré par la même société. Les installations concernées sont les TARS du Crédit Agricole, des 3 Soleils et de la société CMER.

Les souches de génotype 4 et 5 semblent avoir développé une résistance vis-à-vis de ces produits.

5.3.2 Relation entre les caractéristiques physiques et chimiques des eaux du réseau de distribution et le développement des souches

❖ Démarche

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux du réseau de distribution ont été obtenues grâce aux contrôles sanitaires référencés dans la banque de données du SISE-Eaux. SISE-Eaux délivre une information sur la qualité, tant des eaux brutes au niveau des captages, que des eaux issues des unités de production ou mises en distribution. Le réseau de distribution de la ville de Rennes possède 44 points de surveillance.

L'étude s'est uniquement intéressée aux établissements à la fois concernés par un contrôle sanitaire et par un prélèvement positif en *Legionella pneumophila* entre 2000 et 2009. Les établissements visés sont la piscine de Bréquigny, la piscine de Villejean, la piscine des Gayeulles, la piscine de Saint Georges, la clinique de Notre-Dame de Lourdes, le CHU Pontchailloux et le Centre médical et pédagogique de Beaulieu.

Il s'agit d'étudier les caractéristiques physiques et chimiques des eaux de ces différents établissements lors de la survenue des périodes de contamination du réseau en

Legionella pneumophila afin de voir si l'on peut associer certains facteurs au développement de ces souches.

On ne s'intéressera qu'au RECS. Les caractéristiques chimiques et physiques des eaux des TARS sont différentes des eaux du réseau de distribution d'eau potable.

❖ Résultats

Les paramètres susceptibles de provoquer le développement des souches de *Legionella pneumophila* (Cf. annexe 20) sembleraient être la température et la concentration en fer. On observe en effet une température et une concentration en fer plus importantes lors des épisodes de contamination pour certains établissements.

Tableau 5 : Facteurs de développement des *Legionella pneumophila*

Etablissements contrôlés	Facteurs susceptibles de jouer un rôle dans le développement de <i>Legionella pneumophila</i>
Piscine de Villejean	Température, fer
CHU de Pontchailloux	Rien à signaler
Clinique de Beaulieu	Température
Clinique de Notre-Dame de Lourdes	Température, le fer
Piscine de Bréquigny	Rien à Signaler
Piscine des Gayeulles	Rien à signaler
Piscine Saint-Georges	Rien à signaler

❖ Discussion des résultats

L'étude manque de puissance statistique du fait d'un manque de données numériques. Il faudrait plus de valeurs des paramètres physiques et chimiques chaque année et un nombre plus important d'établissements contaminés et soumis aux contrôles sanitaires.

On ne peut pas conclure quand à l'existence de conditions spécifiques d'émergence des souches d'un groupe phylogénétique ou d'un génotype.

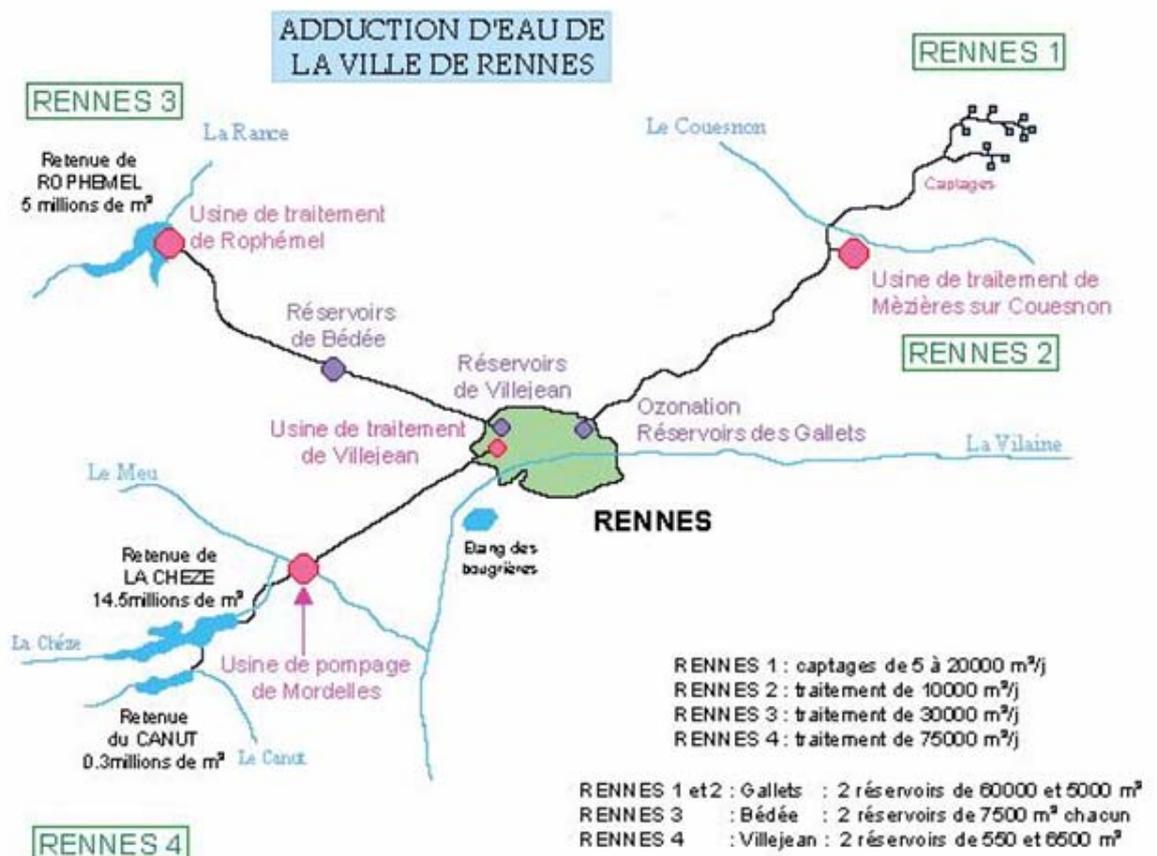
6 Analyse critique des évolutions de la distribution des eaux potables face au risque légionelle entre 2000 et 2009 à Rennes

6.1 Les ressources en eau

La ville de Rennes et les communes voisines sont alimentées en eau potable à partir de 4 adductions, approvisionnées par six ressources différentes :

- les captages de la Minette et de la Loisançe, adduction nommée Rennes I ;
- la rivière du Couesnon, adduction nommée Rennes II ;
- la retenue de Rophémel, adduction nommée Rennes III ;
- la retenue de la Chèze, la rivière du Meu et ponctuellement l'étang des Bougrières, adduction nommée Rennes IV.

Figure 8 : Alimentation en eau de la ville de Rennes



(Le schéma a été réalisé à partir d'un document de la Compagnie Générale des Eaux)

Du fait de la rareté des nappes phréatiques en Ille-et-Vilaine, les eaux de surface constituent la ressource principale en eau de la ville de Rennes.

6.1.1 Les captages des vallées de la Minette et de la Loisançe : Rennes I

Le bassin de captage de la Minette et de la Loisançe, petits affluents se jetant dans la rivière du Couesnon respectivement à Antrain et à Vieux-Vy, est historiquement le premier des quatre bassins à alimenter la ville de Rennes en eau.

Les travaux de captation, projet à l'initiative de l'ingénieur Martenot commencèrent en 1880 sous l'impulsion d'Edgard Le Bastard, maire de Rennes. Terminés en 1882, ces travaux donnèrent naissance à Rennes I, le premier réseau d'adduction en eau.

Cette adduction prend sa source dans la région du Coglès dans les 13 drains de captage établis dans les vallées de la Loisançe et de la Minette, à environ 10 km au Nord-Ouest de Fougères. Les drains se trouvent à une profondeur variant de 2 à 5 mètres en terrain granitique, au contact de la roche compacte et au-dessous du tuf granitique qui constitue le filtre naturel de la nappe souterraine.

L'arrêté ministériel de 1876 limite les prélèvements sur les drains de captage à 5000 m³/j. Cependant, dans les faits, les volumes prélevés sont plus importants suivant les saisons et les années selon la pluviométrie, variant de 5 000 m³/j à 20 000 m³/j.

6.1.2 La rivière du Couesnon : Rennes II

Le mauvais rendement des captages de la Minette et de la Loisançe, les pertes d'eau de la conduite d'adduction de Rennes I, l'accroissement rapide des besoins de la population rennaise ont conduit à puiser dans la rivière du Couesnon le complément d'eau nécessaire. En 1931, la construction d'une station de pompage des eaux du Couesnon et de traitement d'eaux de surface, au lieu dit « Moulin de la Roche » à Mézières-sur-Couesnon a été décidée. Cette station est à l'origine de Rennes II, la deuxième adduction de Rennes. La prise d'eau dans le Couesnon, ainsi que l'usine de traitement associée, ont été mises en service en 1934. L'autorisation de prélèvement permet une prise d'eau s'élevant à 10 000 m³/j.

La station de traitement d'eaux de surface de Mézières-sur-Couesnon est une filière classique, basée sur une coagulation aux sels d'aluminium, une décantation, une filtration sur sable, une désinfection à l'eau de javel (Cf. Annexe 21).

Une installation de traitement des boues issues de la potabilisation des eaux de surface équipe l'usine. Après épaissement et déshydratation sur presses, les boues sont valorisées en agriculture.

Les eaux des captages de la Minette et de la Loisançe subissent une reminéralisation et une désinfection au sein de cette usine et sont ensuite mélangées aux eaux issues de la filière de traitement d'eau de surface.

Les ressources de Rennes I et de Rennes II approvisionnent la ville de Rennes par l'intermédiaire d'un aqueduc maçonné de 42 km, réalisé initialement en 1882 pour transférer les eaux des drains de captage. Le transport des eaux est assuré par l'aqueduc

de manière gravitaire jusqu'au réservoir des Gallets, dans le quartier des Longchamps à l'Est de Rennes. Du fait de la topographie entre les villes de Fougère et Rennes, l'aqueduc doit franchir les points bas en siphon et les points hauts en tunnel, parfois à même la roche. L'aqueduc présente une section ovoïde d'environ 1,40 m de hauteur. La capacité de transfert vers Rennes est de 20 000 m³/j.

De nombreuses fuites et infiltrations de l'aqueduc, provoquées par la disparition d'enduit de l'ouvrage, de l'érosion des radiers, des actions exercées par les racines,... ont un impact sur la quantité et la qualité des eaux transportées. En cas de trop forte turbidité à l'arrivée sur le site des Gallets, l'eau est rejetée au milieu extérieur.

6.1.3 La retenue de Rophémel : Rennes III

Cette retenue de 5 millions de m³, créée en 1930 pour la production d'électricité, appartient à EDF. Une prise d'eau associée à une usine de traitement a été réalisée en 1963 par la Ville de Rennes, créant la troisième adduction en eau de Rennes, nommée Rennes III.

L'usine de potabilisation de Rophémel a subi une restructuration en 2005. L'actuelle unité de production d'eau potable (Cf. Annexe 22) comporte différentes étapes de traitement, à savoir une coagulation au chlorure ferrique, une floculation et décantation, une filtration sur sable et sur Mangagran, une désinfection et oxydation par ozonation, une filtration sur charbon actif en grains, puis une neutralisation et une chloration. Cette installation est équipée d'une station de traitement des boues, issues de la potabilisation des eaux.

L'eau en provenance de Rophémel est transférée directement dans le réservoir du service haut (Cf. distribution des eaux de Rennes) du site de Villejean.

L'autorisation de prélèvement permet une prise d'eau s'élevant à 30 000 m³/j.

6.1.4 La retenue de la Chèze, la rivière du Meu et l'étang des Bourrières : Rennes IV

Depuis 1975, la retenue de la Chèze, la retenue du Canut, la rivière du Meu constituent la quatrième ressource en eau de Rennes, appelée Rennes IV.

Les eaux de la retenue du Canut sont canalisées vers la retenue de la Chèze et potentiellement exploitées en fonction des besoins, lorsque leur qualité le permet.

L'eau de la retenue de la Chèze est acheminée vers l'usine de traitement des eaux de Villejean, quartier situé à l'Ouest de Rennes. De même, l'eau de la rivière du Meu est pompée par la station de pompage de Mordelles vers Villejean.

L'étang des Bourrières, utilisée exceptionnellement et ponctuellement en 1990 suite à une période de sécheresse, est réservé pour le secours. Ce plan d'eau de 3,2 millions de m³, situé au Sud-ouest de Rennes en bordure de la Vilaine et issu de l'exploitation des

sables par des carriers, est relié à l'usine de Villejean. Un dossier d'autorisation en vue de pérenniser l'exploitation de cette ressource est en cours.

L'usine de Villejean est la principale unité de production d'eau de Rennes, capable de compenser les défaillances des deux autres stations de potabilisation des eaux, à savoir celle de Mézière -sur- Couesnon et celle de Rophémel. Elle est équipée d'un canal d'amenée d'eau brute dans lequel est injecté du sulfate d'alumine, du chlorure ferrique, du permanganate de potassium et de l'acide sulfurique permettant la coagulation et la floculation, de deux ouvrages de décantation Cycloflocs, précédés de l'injection de charbon actif en poudre, microsable et amidon, de six filtres sur sable et de deux tours d'ozonation. Une reminéralisation à l'eau de chaux et au CO₂ et une chloration sont effectuées à la fin du traitement (Cf annexe 23).

Sur le site de Villejean, les eaux traitées sont acheminées vers deux réservoirs, l'un semi-enterré pour le service bas (Cf distribution des eaux de Rennes) et l'autre surélevé pour le service haut. L'eau de l'usine de Villejean est répartie entre le réservoir du service haut et le réservoir du service bas, l'eau traitée provenant de Rophémel (Rennes III) alimentant uniquement le réservoir du service haut.

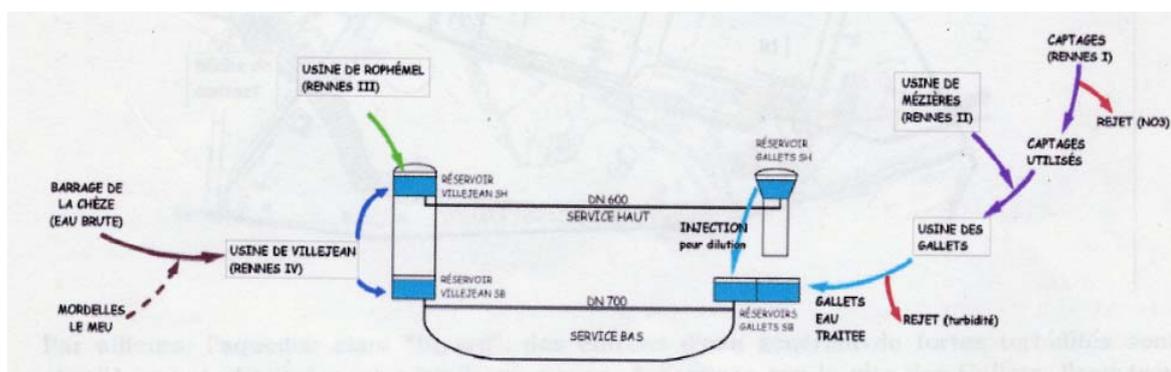
6.2 Distribution des eaux potables à Rennes

6.2.1 Distribution des eaux potables à Rennes avant la fin de l'année 2006

❖ Service haut et service bas

Le réseau de distribution comporte deux services, correspondant à deux étages de pression différents. On distingue le service bas qui alimente le centre ancien de Rennes du service haut desservant les quartiers plus récents à la périphérie du centre (Cf. Annexe 24). Le service bas est majoritairement alimenté par les ressources de Rennes I et de Rennes II, deux ressources d'adduction en eau plus exposées à la pollution par les nitrates. Le service haut est principalement alimenté par les ressources de Rennes III et de Rennes IV.

Figure 9 : Fonctionnement hydraulique de l'alimentation en eau de Rennes avant décembre 2006

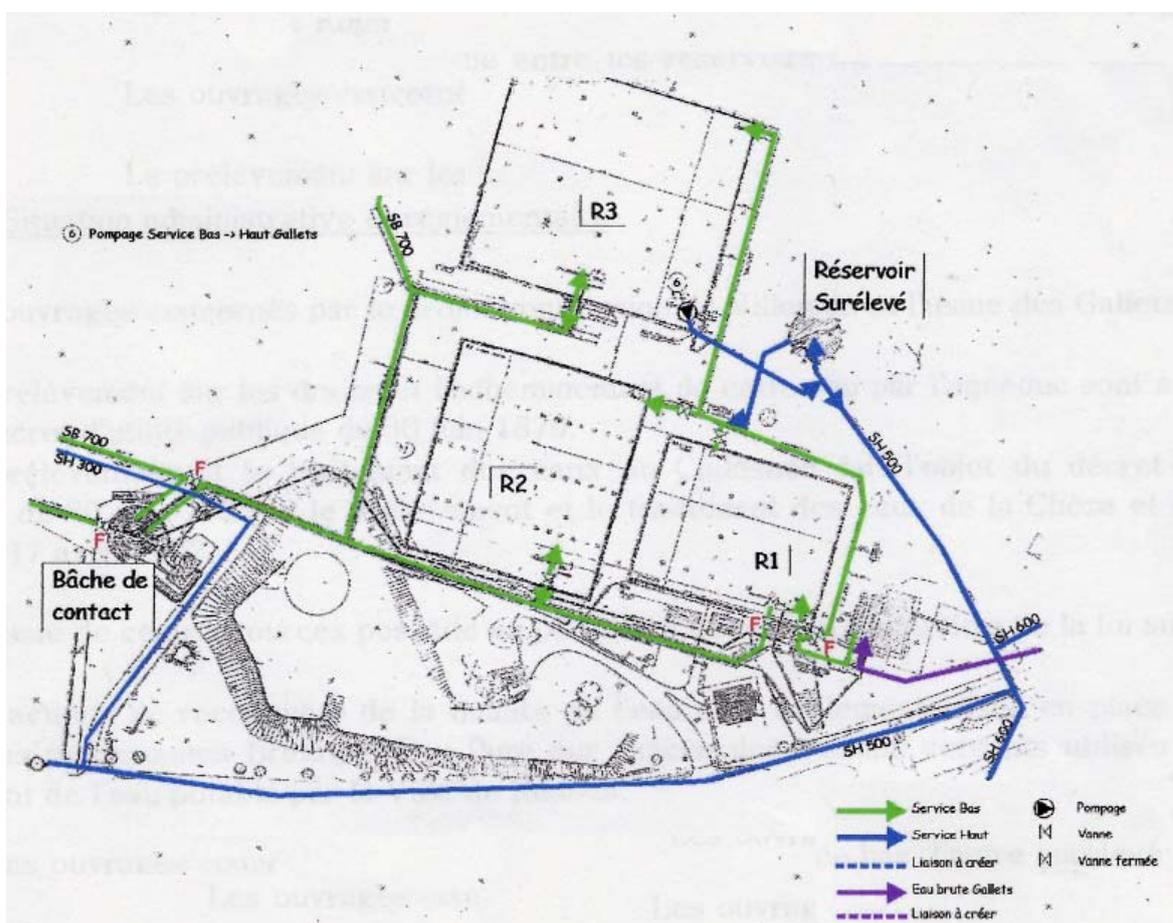


(Source : Transfert Gallet-Villejean, Ville de Rennes, Direction SCIC, 2002)

❖ Le site des Gallets

Le site des Gallets comporte 3 réservoirs enterrés : R1, R2, R3 et un réservoir sur tour. Ce dernier est principalement alimenté par l'usine de traitement de Villejean. L'eau des ressources de Rennes I et II, véhiculée par l'aqueduc, est d'abord désinfectée par ozonation avant transfert dans le réservoir R1. Ensuite, l'eau de cet ouvrage subit un mélange avec l'eau du réservoir sur tour de Villejean pour satisfaire les exigences de qualité requises car l'eau de Rennes I et , dans une moindre mesure, de Rennes II, est chargée en nitrate. La capacité de dilution est limitée à 30% limitant ainsi le volume d'eau prélevé sur les drains. Après dilution, l'eau est envoyée dans les réservoirs R2 et R3 qui alimentent le réseau de distribution rennais.

Figure 10 Le site des Gallet avant la fin de l'année 2006



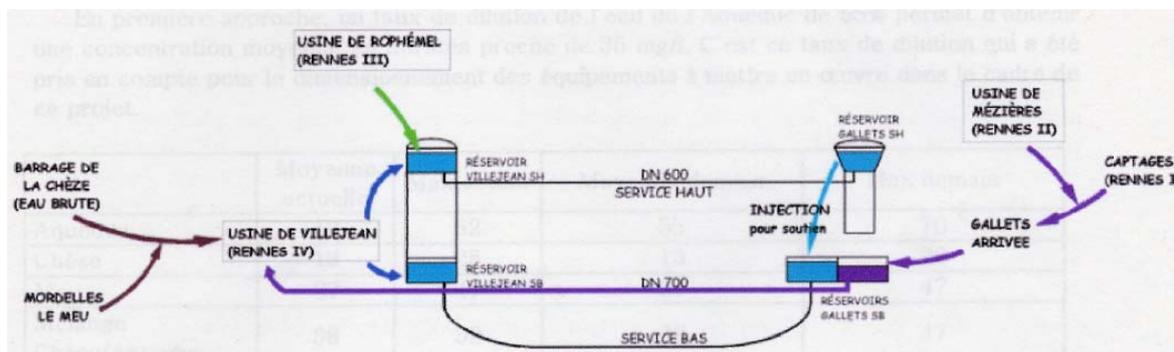
(Source : Transfert Gallet-Villejean, Ville de Rennes, Direction SCIC, 2002)

6.2.2 Distribution des eaux potables à Rennes après la fin de l'année 2006

Fin de l'année 2006, des travaux ont été entrepris pour modifier la distribution des eaux de Rennes. L'eau n'est plus desservie par deux unités de distribution mais par une seule (CF. Annexe 24), impliquant une qualité homogène des eaux. Une station de pompage réalisée sur le site des Gallets assure le transfère de l'eau stockée dans les réservoirs

enterrés du site vers l'usine de traitement de Villejean. Il s'agit du Transfert Gallets-Villejean, également surnommé le TGV.

Figure 11 : Fonctionnement hydraulique après l'année 2006



(Source : Transfert Gallet-Villejean, Ville de Rennes, Direction SCIC, 2002)

Ces travaux ont été réalisés pour améliorer la qualité de l'eau distribuée et optimiser l'exploitation de Rennes I et Rennes II en diminuant le délestage à l'arrivée des Gallets lorsque la turbidité des eaux est trop importante et/ou la concentration en nitrate trop élevée.

Dorénavant, les eaux provenant de Rennes I et de Rennes II, stockées dans les réservoirs R1 et R2 du site des Gallets, sont envoyées à Villejean afin de subir un traitement plus poussé qu'auparavant. L'eau est, soit envoyée en amont des décanteurs si l'eau est trop turbide ou trop concentrée en pesticides, soit dirigée vers les filtres à sables pour un affinage et une désinfection. Le réservoir R3 des Gallets conserve sa fonction de stockage d'eau traitée.

Ce système de distribution des eaux assure une maîtrise des teneurs en nitrates en portant le taux de dilution des eaux de Rennes I et II à 55% au lieu de 30% sur le site de Villejean. Le passage sur l'étage de décantation permet un abattement des pesticides grâce à l'injection de charbon actif en poudre. La filtration sur sable permet une baisse de la turbidité et un abattement de la teneur en COT. Le TGV a impliqué une augmentation de la production de chaux sur l'usine de Villejean afin de reminéraliser une eau agressive à l'origine de la corrosion des canalisations de l'ensemble du réseau. Le TGV assure une meilleure gestion des ressources en eau. Les fortes turbidités et les teneurs élevées en nitrates n'entraînent plus le rejet systématique des eaux en décharge, qui variait de 1 à 2.5 millions de mètres cube chaque année. L'eau prélevée dans le Couesnon et les drains de la Minette et de la Loisançe est ainsi mieux valorisée, préservant par la même occasion la ressource de la Chèze.

6.3 Évolution future de la distribution de l'eau potable

Un programme ambitieux de la réduction de la consommation d'eau a été lancé par la ville de Rennes en 2009 avec pour objectif principal l'économie de 2 millions de m³ d'eau

en 2018. Cette meilleure gestion de l'eau implique la réalisation de grands travaux concernant tant la production que la distribution d'eau potable dans la ville de Rennes. Les installations concernées sont les usines de production d'eau potable de Villejean et de Mézières-sur-Couesnon, l'aqueduc assurant le transport des eaux en provenance des ressources de Rennes I et Rennes II et le réseau de distribution.

Les travaux de reconstruction de l'usine de Mézières-sur-Couesnon ~~qui~~ débuteront en 2010.

La rénovation de l'usine de Villejean sera réalisée en deux étapes. La première phase des travaux concerne les différentes installations de décantation et de clarification des eaux qui devraient être achevés début 2012, date de démarrage des travaux programmés sur l'aqueduc et qui justifieront une utilisation maximale de Villejean. La deuxième phase de rénovation de cette unité de traitement sera lancée en 2013 et concernera cette fois les systèmes de filtration et de traitement des boues.

La distribution doit également être rénovée afin de réduire les pertes et porter le rendement du réseau à 92%, pour atteindre une économie de 200 000 m³ par an. A titre de comparaison, en 2007, le réseau est responsable de 1,3 millions de m³ de fuite d'eau potable, correspondant à un rendement de 90,3%.

6.4 Analyse critique

L'analyse critique a pour but d'étudier les impacts des évolutions de la production et de la distribution des eaux potables dans la ville de Rennes sur la gestion du risque légionelle à Rennes.

Cette partie doit ainsi déterminer les points faibles de la production des eaux et de leur distribution face aux risques légionelles lors des épidémies de 2000 et 2005 et d'évaluer les effets des dispositions mises en place depuis 2006 et celles programmées sur la production et la distribution des eaux dans la gestion du risque légionelle.

Dans un premier temps, l'analyse portera sur les ressources en eau et leur adduction, puis sur la production des eaux et la distribution des eaux.

6.4.1 Analyse critiques des ressources en eau face au risque légionelle

Du fait de la rareté des nappes phréatiques en Ille-et-Vilaine, les eaux de surface constituent la ressource principale en eau de la ville de Rennes. Les captages des drains de la Minette et de la Loisançe sont l'unique ressource d'eau souterraine.

Or, d'après une étude menée par Outi M. Zacheus et Pertti J. Martikainen en 1994, une eau potable produite à partir des eaux de surface augmenteraient le risque de développement de souches de légionelles dans un système de distribution d'eau chaude par rapport à une eau produite avec de l'eau souterraine.

L'étude a été menée sur les réseaux d'eau chaude sanitaire de 67 bâtiments, principalement des immeubles résidentiels, localisés dans différentes régions de la Finlande. Certains bâtiments étaient alimentés en eau potable provenant d'une usine de traitement d'eau de surface tandis que d'autres recevaient l'eau provenant d'une usine de traitement des eaux souterraines. Les échantillons d'eau chaude ont été prélevés au niveau des robinets, des douches et de conduites principales avant et après l'échangeur de chaleur. *Legionella pneumophila* a été prélevée sur 30% des systèmes de distribution d'eau. Les légionelles ont été identifiées plus fréquemment et à des concentrations plus élevées dans les réseaux d'eau chaude sanitaire, alimentés par des installations de production à partir d'eau de surface que dans ceux dont l'origine de l'eau était souterraine. Ce phénomène pourrait être expliqué par la teneur généralement plus élevée en matière organique des eaux de surface, pouvant favoriser le développement des légionelles.

6.4.2 Analyse critique de la production et de l'adduction de l'eau potable face au risque légionelle

Les 3 stations de production d'eau potable de Rennes ont mis en place différents dispositifs afin de lutter contre les contaminations microbiologiques.

L'usine de Mézières-sur-Couesnon est munie d'une tour d'oxydation à base d'hypochlorite, d'une filtration sur sable et d'une désinfection à l'eau de javel. Sur cette même installation, l'eau des captages subit une désinfection à l'hypochlorite de sodium.

Il est pertinent de se demander si la vétusté des équipements de cette usine de plus de 70 ans, qui peut présenter des défaillances techniques, a pu jouer un rôle dans une contamination microbiologique des eaux potables. La reconstruction de l'usine améliorera le traitement des eaux de Rennes I et Rennes II.

Du fait des nombreuses fuites et infiltrations de l'aqueduc, l'eau transportée peut être épisodiquement turbide, chargée en matière organique et ainsi favoriser le développement microbologique. Avant 2006, l'ozonation, réalisée sur le site des Gallets pouvait être insuffisante pour traiter les légionelles, capables de développer des résistances à un environnement hostile.

Depuis le transfert Gallet-Villejean, réalisé fin 2006, l'eau de Rennes I et de Rennes II subit un traitement complet à l'usine de Villejean. Le risque de contamination des eaux par des microorganismes dont les légionelles est ainsi fortement diminué. La modernisation de cette usine devrait mettre en oeuvre un traitement plus efficace que dans le passé.

La reconstruction d'une canalisation de transfert entre l'usine de Mézières-sur-Couesnon et le site des Gallets en 2013, en remplacement de l'actuel aqueduc, garantira un

acheminement des eaux vers Rennes dans de bonnes conditions. L'eau refoulée sera soumise à pression et ne sera ainsi plus sujette à des apports extérieurs.

6.4.3 Analyse critique de la distribution des eaux

Les points critiques du réseau de distribution sont les zones les moins chlorées, c'est-à-dire les plus éloignées des stations de production et/ou des stations de rechloration. Les canalisations qui conduisent à un long temps de séjour des eaux, du fait de leur longueur ou d'un surdimensionnement, peuvent favoriser le développement des souches de légionelles.

Conclusion

La légionellose représente un véritable enjeu de santé publique en France. En 2008, cette maladie a été responsable de 1244 cas et provoqué la mort de 119 personnes.

Les épidémies de légionellose de 2000 et 2005 à Rennes ont eu un impact médiatique très important et ont montré à quel point les populations sont sensibles à ce sujet. La souche endémique « rennaise » responsable de ces crises sanitaires s'est montrée très virulente en tuant au total 7 personnes.

Plus de trois ans après la dernière épidémie, cette étude permet de faire un bilan sur la situation de la ville de Rennes face au risque légionelle et d'étudier plus en profondeur l'origine environnementale de la souche « rennaise ».

La campagne de prélèvement sur les tours aérofrigorifères a montré que ces installations ont atteint un niveau de sécurité satisfaisant. Ces systèmes de refroidissement ne semblent pas contaminés par des légionelles et lorsqu'ils le sont, les teneurs sont largement inférieures à la réglementation. Cependant, un relâchement dans les mesures de prévention pourrait s'avérer dramatique et provoquer le développement d'un foyer de contamination.

D'après l'étude de la répartition géographique et de la diversité génétique des *Legionella pneumophila*, les différents profils génétiques sont répartis de manière indifférenciée sur la zone d'étude. La souche « rennaise » ne semble pas avoir un réservoir environnemental important et n'a pas colonisé les réseaux d'eau chaude sanitaire. Les informations insuffisantes sur les paramètres de l'eau des TARs incriminées lors des épidémies et du réseau de distribution n'ont pas permis de dégager des conditions d'émergence.

Les nouvelles technologies de typage s'avèrent de plus en plus efficaces et de moins en moins chères. Le développement de ces méthodes doit être encouragé afin d'enrayer plus vite les épidémies de légionellose en établissant rapidement un lien entre les souches cliniques et les souches environnementales. Il serait également intéressant de réaliser le typage des souches de légionelles lors des dépassements réglementaires des installations à risque. Cela pourrait accélérer les enquêtes environnementales et permettre l'étude de l'évolution des profils génétiques de ces agents bactériens.

La modernisation de l'unité de distribution de l'eau de Rennes devrait permettre la réduction de la teneur des légionelles dans les réseaux de distribution.

Comme le préconise le PNSE 2009 -2013, l'effort de prévention doit être maintenant renforcé au niveau des réseaux d'eau chaude.

Bibliographie

ALLAIN M. *Le risque légionelles : Facteurs de risque et détection par PCR quantitative*. Mémoire licence professionnelle Génie de l'environnement et du développement durable. IUT Génie biologique de Caen. 2006. 46 p.

Arrêté du 13 décembre 2004 relatif aux installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air soumises à autorisation au titre de la rubrique n° 2921. JO du 31 décembre 2004

Arrêté du 13 décembre 2004 relatif aux installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air soumises à déclaration au titre de la rubrique n° 2921. JO du 31 décembre 2004.

Compagnie Générale des Eaux et Ville de Rennes. *Usine de production d'eau potable – Moulin de la roche, Mézières-sur-Couesnon – Amélioration de la filière de traitement*. 1992

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. *Le risque lié aux légionelles – Guide d'investigation et d'aide à la gestion*. Juillet 2005. 67 p.

Décret n° 2004-1331 du 01/12/04 modifiant la nomenclature des installations classées, JO du 7 décembre 2004.

Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Ille-et-Vilaine, service Santé-Environnement. *Cas groupés de légionellose en Ille-et-Vilaine, 2^{ème} semestre – rapport d'investigations épidémiologiques et environnementales*. Mars 2001. 16 p.

ETIENNE J. *Les légionelloses*. Centre National de Référence des légionelles. Lyon. 1998. 3 p.

Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier. *La légionellose : bilan de la littérature technique*. 1998. 8 p.

Institut de Veille sanitaire. *Cas groupés de légionellose, Rennes (35)*. Octobre 2006. 17 p.

LAFFORGUE-PRESSE N. *Typage de souches de Legionella pneumophila de séro groupe 1 isolées chez des patients et dans l'environnement dans deux départements bretons.* Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie. Université de Rennes I, faculté de pharmacie. 2001. p. 4 à p. 64.

L'eau, l'industrie, les nuisances. *Legionella : une bactérie à mettre sous haute surveillance.* N°278, janvier 2005.

L'eau, l'industrie, les nuisances. *La sécurisation légionelles des tours aéroréfrigérantes humides.* N°278, janvier 2005.

LE CANN P. *Epidémiologie moléculaire et modélisation spatiale dynamique des populations de Legionella pneumophila dans l'environnement.* 2009. 8p.

MERCHAT M. *Guide de formation à la gestion du risque de prolifération des légionelles dans les installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air.* Climespace, Ministère de l'écologie et du développement durable. 2005. Module 1. 84 diapositives.

MICOLLIER A. *Analyse du risque légionelle lié aux tours aéroréfrigérantes pour les sites MICHELIN France suite aux arrêtés du 13 décembre 2004.* Mémoire Ingénieur du Génie Sanitaire. ENSP. 2005. 50 p.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. *Traitements pour la gestion du risque de prolifération des légionelles dans les installations de refroidissement.* 2006. 28 p.

Norme NF T90-431 : Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement de *Legionella spp* et de *Legionella pneumophila*. AFNOR. Septembre 2003. 40 p.

Observatoire régional de la santé Rhône-Alpes. *les légionelles.* 2007

Office Fédéral de la Santé Publique. *Légionelles et légionellose – Particularités biologiques, épidémiologie, aspects cliniques, enquêtes environnementales, prévention et mesure de luttes.* Suisse. 1999. 33 p.

OUTI M. ZACHEUS and PERTTI J. MARTIKEINEN. *Occurrence of legionellae in hot water distribution systems of Finnish apartment buildings.* 1994.

Organisation Mondiale de la Santé. *Legionella and the prevention of legionellosis*. 2007. 276 p.

POURCEL C, VIDGOP Y, RAMISSE F, VERGNAUD G, TRAM C. Characterization of a tandem repeat polymorphism in *Legionella pneumophila* and its use for genotyping. *J Clin Microbiol* 2003, 41:1819-1826.

POURCEL C, ANDRE-MAZEAUD F, NEUBAUER H, RAMISSE F, VERGNAUD G. *Tandem repeats analysis for the high resolution phylogenetic analysis of Yersinia pestis*. *BMC Microbiol*. 2004. 4:22.

POURCEL C, VISCA P, AFSHAR B, D'AREZZO S, VERGNAUD G, FRY NK: *Identification of variable-number tandem repeat sequences in Legionella pneumophila and development of an optimized MLVA typing scheme*. *J Clin Microbiol* 2007, 45:1190-1199.

SOBRAL D. *Typage moléculaire de Legionella pneumophila par MLVA*. 2009. 11 p.

Ville de Rennes. *L'eau et l'assainissement*. 2007. 51 p.

Ville de Rennes, direction des SCIC. *Transfert Gallets – Villejean (TGC)*. Juillet 2005. 17 p.

Liste des annexes

Annexe 1 : Réglementation relative à la gestion du risque légionelle	I
Annexe 2 : Tours aéroréfrigérantes prélevées	I
Annexe 3 : Les traitements des TARS exploitées à Rennes	I
Annexe 4 : Mesures des paramètres des TARs prélevées	I
Annexe 5 : Analyses des légionelles des TARs prélevées.....	I
Annexe 6 : Dendrogramme n°1	I
Annexe 7 : Dendrogramme n°2	I
Annexe 8 : Lettre de sensibilisation adressée au CHU Pontchaillou.....	I
Annexe 9 : Plan de la ville de Rennes	I
Annexe 10 : Tours aéroréfrigérantes exploitées à Rennes	I
Annexe 11 : Points de prélèvements - contrôles sanitaires.....	I
Annexe 12 : Prélèvements positifs du LERES en <i>Legionella pneumophila</i>	I
Annexe 13 : Répartition des 3 groupes phylogénétiques de 2000 à 2009	I
Annexe 14 : Répartition géographique des groupes « Philadelphie » et «Lorraine ».....	I
Annexe 15 : Répartition géographique du groupe Paris.....	I
Annexe 16 : Répartition géographique du groupe n°3.....	I
Annexe 17 : Paramètres physiques et chimiques des eaux de la TAR de CMER	I
Annexe 18 : Paramètres physiques et chimiques des eaux de la TAR des 3 Soleils.....	I
Annexe 19 : Paramètres physiques et chimiques des eaux de la TAR du Pim's	I
Annexe 20 : Caractéristiques physiques et chimiques de la piscine de Villejean.....	I
Annexe 21 : Schéma de l'usine de Mézières-sur-Couesnon.....	I
Annexe 22 : Schéma de l'usine de Rophémel	I
Annexe 23 : Schéma de l'usine de Villejean.....	I
Annexe 24 : Les différents services du réseau de distribution des eaux potables	I

Annexe 1 : Réglementation relative à la gestion du risque légionelle

❖ Textes Généraux

- Circulaire DGS n° 97/311 du 24 avril 1997 relative à la surveillance et la prévention de la légionellose, comprenant un guide d'investigation d'un ou plusieurs cas de légionelloses, abrogée par la circulaire du 11 juillet 2005, mais dont les annexes 2, 4, et 5 demeurent applicables en attendant leur reprise dans une prochaine circulaire (note d'information DGS/SD7A n° 2005/1628 du 15 décembre 2005).
- Circulaires DGS n° 98/771 du 31 décembre 1998 relative à la mise en oeuvre de bonnes pratiques d'entretien des réseaux d'eau dans les établissements de santé (partie remplacée par la circulaire du 22/04/2002) et aux moyens de prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements à risques et dans celles des bâtiments recevant du public : Ce texte ne s'applique plus que dans sa partie 2, aux établissements recevant du public à l'exclusion des établissements de santé et médico-sociaux d'hébergement de personnes âgées.
- Circulaire DGS n° 2002/273 du 2 mai 2002 diffusant le rapport du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) relatif à la gestion du risque lié aux légionelles de novembre 2001.
- Circulaire DGS/DS5C/SD7A/DESUS/2005/323 du 11 juillet 2005 relative à la diffusion du guide d'investigation et d'aide à la gestion d'un ou plusieurs cas de légionellose.
- Arrêté du 30 novembre 2005, modifiant 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, des locaux de travail ou des locaux recevant du public (températures)

❖ Textes concernant les établissements de santé ou médico-sociaux.

- Circulaire DGS/SD7/SD5C/DHOS/E4/ n° 2002/243 du 22 avril 2002 relative à la prévention du risque lié à la présence de légionelles dans les établissements de santé.
- Circulaire DGS/DHOS n° 2003//296 du 24 juin 2003 concernant l'application de la circulaire du 22/04/02.

- Circulaire DGS/DHOS/MEDD n° 2003/306 du 26 juin 2003 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les tours aéroréfrigérantes des établissements de santé.
- Circulaire DGS/SD7A/DHOS/E4/DGAS/SD2//2005/493 du 28 octobre 2005 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements sociaux ou médico-sociaux d'hébergement de personnes âgées.
- ❖ **Textes concernant les établissements thermaux.**
 - - Recommandations du CSHPF relatives à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux.
 - Arrêté du 19 juin 2000 relatif au contrôle des sources minérales.
 - Circulaire DGS n° 2000/336 du 19 juin 2000 relative à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux.
- ❖ **Textes concernant les Tours AéroRéfrigérantes (TAR).**
 - Circulaire MEED du 23 avril 1999 relative aux Installations Classées Pour l'Environnement ICPE - (rubrique 2920) comprenant des TAR.
 - Circulaire MEED du 24 avril 2003 relative aux ICPE avec TAR dans le cadre de la prévention des légionelles (Bilan et analyses)
 - Circulaire DGS/DHOS/MEDD n° 2003/306 du 26 juin 2003 relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les tours aéroréfrigérantes des établissements de santé.
 - Circulaire MEDD du 16 décembre 2003 – Rappel de la circulaire du 24/4/2003.
 - Circulaire DGS/MEDD du 24 février 2004 : Recensement des TAR.
 - Circulaire DGS/MEDD n° 2003/413 du 6 août 2004 : Recensement et suivi des TAR.
 - Décret MEDD n° 2004/1331 du 1er décembre 2004 : Modification de la nomenclature des ICPE
 - Arrêté MEDD du 13 décembre 2004 : descriptions générales des TAR soumises à déclaration sous la rubrique n° 2921
 - Arrêté MEDD du 13 décembre 2004 : prescriptions générales des TAR soumises à autorisation sous la rubrique n° 2921
 - Circulaire MEDD du 4 février 2005 : Recensement et suivi des TAR
 - Circulaire MEDD du 8 décembre 2005 : Application des arrêtés du 13 décembre 2004

Annexe 2 : Tours aéroréfrigérantes prélevées

SOCIETE	Nombre de TARs	Type de circuit	Date prélèvement
LE BLIZZ	1	Fermé	15/06/2009
CENTRE ALMA	2	Ouvert	25/06/2009
COLOMBIA	2	Ouvert	18/06/2009
C.H.U. PONTCHAILLOU	1	Ouvert	16/06/2009
CREDIT AGRICOLE	2	Ouvert	24/06/2009
POLYMERES BARRE THOMAS	4	Fermé	29/06/2009
PIM'S	1	Ouvert	30/06/2009
la VISITATION	2	Ouvert	15/06/2009
LACTALIS Logistique	1	Fermé	02/07/2009

Annexe 3 : Les traitements des TARS exploitées à Rennes

Lieu	Date de prélèvement	Date du dernier traitement choc	Nom TAR	Lieu de prélèvement	Traitement des eaux			Age de l'installation
					biocide (oxydant, ...)	Antitartre	Anticorrosion	
La visitation	15/06/2009	21/01/2009	Tour n°1	Bassin réception	Ferrocid 8583 Ferrocide 8589 (Alguicide)	-	-	-
			Tour n°2					
Le Blizz	15/06/2009	plus de 48h	-	Bassin réception	Irgatreat BC07	Irgatreat MF170	-	-
				Eau d'appoint	-	-	-	
CHU Pontchailloux	16/06/2009	hiver 2008	-	Bassin réception	Javel et brome	-	-	-
				Eau d'appoint	-			
Colombia	18/06/2009	févr-09	Tour Nord	Bassin réception	B330	A60M	-	23 ans
			Tour Sud					
			-	Eau d'appoint	-	-	-	-
Crédit Agricole	24/06/2009	été 2008	NB 1	Bassin réception	Biosperce 835M	-	Enviroplus 2502	13 ans
			NB 2					
			-	Eau d'appoint				
Centre Alma	25/06/2009	nov-08	Tour n°1	Bassin réception	Irgatreat BC07	Irgatreat MF400	-	10 ans
			Tour n°2	Bassin réception				
			-	Eau d'appoint				

Lieu	Date de prélèvement	Date du dernier traitement choc	Nom TAR	Lieu de prélèvement	Traitement des eaux			Age de l'installation
					biocide (oxydant, ...)	Antitartre	Anticorrosion	
Société Polymère Barre Thomas	29/06/2009	21/09/2008	compresseur	Bassin réception	hydrex 7321	-	-	15 ans
			EC1	Bassin réception				
			EC2	Bassin réception				
			EC3	Bassin réception				
			-	Eau d'appoint				
Pim's	30/06/2009	05/03/2009	Tour Les Loisirs	Bassin réception	Nalco ST40	-	-	-
					Nalco 20241			
					Nalco 77352			
					Nalco 77393			
				Eau d'appoint	-			
Lactalis	02/07/2009	29/06/2009	Grande tour	Bassin réception	Brome & chlore	-	MF170	18 ans
				Eau d'appoint			-	
								-

Annexe 4 : Mesures des paramètres des TARs prélevées

Lieu	Nom TAR	Lieu de prélèvement	Paramètres					Aspect de l'eau
			Température (°C)	Mesure du pH	Conductivité (µS/cm)	Chlore libre (mg/l)	Chlore total (mg/l)	
La visitation	Tour n°1	Bassin réception	21,7	8,7	-	-	-	légèrement trouble MES
	Tour n°2		25,6	8,7	-	-	-	
Le Blizz	-	Bassin réception	19,5	8,77	-	0,1	0,1	incolore
		Eau d'appoint	19	7,86		0,1	0,1	incolore
CHU Pontchailloux	-	Bassin réception	23,6	8,75	1533	0,7 - 0,8	1	incolore
		Eau d'appoint	16,5	8,05	484	0,2	0,2	incolore
Colombia	Tour Nord	Bassin réception	24	8,41	776	<0,1	<0,1	incolore
	Tour Sud		21,1	8,36	784	<0,1	<0,1	incolore
	-	Eau d'appoint	16,6	7,34	418	<0,1	<0,1	incolore
Crédit Agricole	NB 1	Bassin réception	22,8	8,2	980	<0,1	<0,1	incolore
	NB 2		24,8	8,42	977	<0,1	<0,1	incolore
	-	Eau d'appoint	18,1	7,88	473	<0,1	<0,1	incolore
Centre Alma	Tour n°1	Bassin réception	29,7	8,5	1148	<0,1	<0,1	incolore
	Tour n°2	Bassin réception	29	8,52	1046	<0,1	<0,1	incolore
	-	Eau d'appoint	16,8	8	505	<0,1	<0,1	incolore

Lieu	Nom TAR	Lieu de prélèvement	Paramètres					
			Température (°C)	Mesure du pH	Conductivité (µS/cm)	Chlore libre (mg/l)	Chlore total (mg/l)	Aspect de l'eau
Société Polymère Barre Thomas	compresseur	Bassin réception	25,2	8,22	1137	<0,1	<0,1	jaunâtre
	EC1	Bassin réception	26,2	8,1	962	<0,1	<0,1	jaunâtre
	EC2	Bassin réception	25,9	8,29	1047	<0,1	<0,1	jaunâtre
	EC3	Bassin réception	25,9	8,2	714	<0,1	0,1	jaunâtre
	-	Eau d'appoint	28,8	7,2	360	<0,1	<0,1	jaunâtre
Pim's	Tour Les Loisirs	Bassin réception	20,7	8,69	901	0,2	0,4	incolore
		Eau d'appoint	23	7,6	494	<0,1	<0,1	incolore
Lactalis	Grande tour	Bassin réception	28,8	8,5	1211	>1	>1	incolore
		Eau d'appoint	19,8	8,14	517	<0,1	0,1	incolore

Annexe 5 : Analyses des légionelles des TARs prélevées

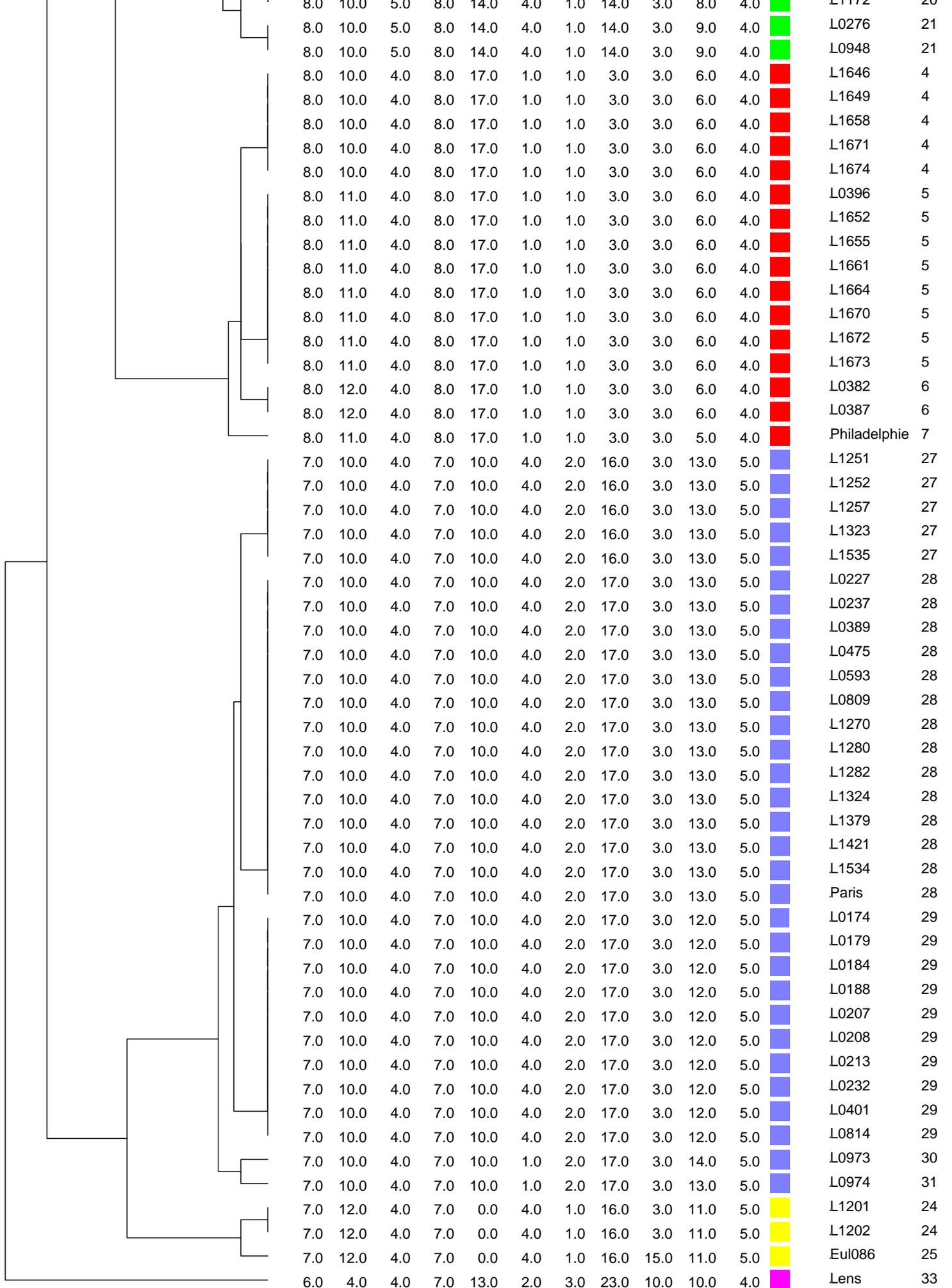
Etablissement	Nom TAR	type d'eau	Date d'analyse	Limite de détection <i>Legionella</i> (UFC/l)	Limite de quantification <i>Legionella</i> (UFC/l)	Limite de détection <i>legionella pneumophila</i> (UFC/L)	Limite de quantification <i>Legionella pneumophila</i> (UFC/l)
Patinoire du Blizz		eau industrielle	16/06/2009	<50	<250	<50	<250
		eau d'appoint		<50	<250	<50	<250
La Visitation	Tour n°1	eau industrielle	16/06/2009	<100	<500	<100	<500
	Tour n°2	eau industrielle		<100	<500	<100	<500
CHU		eau industrielle	16/06/2009	50	<250	50(Lp1)	<250
		eau d'appoint		<50	<250	<50	<250
Colombia	Tour Nord	eau industrielle	18/06/2009	<50	<250	<50	<250
	Tour Sud	eau industrielle		<50	<250	<50	<250
		eau d'appoint		<50	<250	<50	<250
Crédit Agricole	NB 1	eau industrielle	25/06/2009	<50	<50	<250	<250
	NB 2	eau industrielle		<50	<50	<250	<250
		eau d'appoint		<50	<50	<250	<250
centre Alma	Tour n°1	eau industrielle	25/06/2009	<50	<50	<250	<250
	Tour n°2	eau industrielle		<50	<50	<250	<250
		eau d'appoint		<50	<50	<250	<250
société Polymère barre Thomas	compresseur	eau d'appoint	30/06/2009	<50	<50	<250	<250
	EC1	eau d'appoint		<100	<500	<100	<500
	EC2	eau industrielle		<100	<500	<100	<500
	EC3	eau industrielle		<100	<500	<100	<500
	-	eau industrielle		<100	<500	<100	<500
Pim's		eau d'appoint	30/06/2009	<50	<250	<50	<250
	Tour des Loisirs	eau industrielle		<100	<500	<100	<500
Lactalis	Grande Tour	eau industrielle	02/07/2009	<50	<250	<50	<250
		eau d'appoint		<50	<250	<50	<250

Annexe 6 : Dendrogramme n°1

Annexe 7 : Dendrogramme n°2



	Lp1	Lp13	Lp19	Lp3	Lp31	Lp33	Lp34	Lp35	Lp38	Lp39	Lp40		Strain	Genotype
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0663	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0991	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0999	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1000	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1001	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1002	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1105	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1106	9
	8.0	11.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1245	9
	8.0	0.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0589	10
	8.0	0.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1538	10
	8.0	0.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1539	10
	8.0	9.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0278	11
	8.0	17.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1190	12
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	1.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1061	13
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	1.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L1063	13
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0001	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0004	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0009	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0019	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0028	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0030	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0052	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0060	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0070	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0106	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0124	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0134	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0139	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0148	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0167	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0172	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0200	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0202	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0230	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0235	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0269	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0273	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0284	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0290	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0293	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0359	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0416	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0425	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0492	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0497	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0590	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0596	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0603	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0610	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0612	14
	8.0	10.0	5.0	8.0	14.0	4.0	1.0	13.0	3.0	9.0	4.0	■	L0617	14



Annexe 8 : Lettre de sensibilisation adressée au CHU Pontchaillou

Ministère de la Santé et des Sports

PRÉFECTURE DE L'ILLE-ET-VILAINE

COPIE

Direction départementale des
affaires sanitaires et sociales

SANTÉ-ENVIRONNEMENT
1717/SECRETARIAT/SECDIV/JM.B/SP
Affaire suivie par :
Monsieur BUISSET *MB*
Téléphone : 02.99.02.19.30
Télécopieur : 02.99.02.19.59

RENNES, le 23 juillet 2009

Le Directeur départemental
des affaires sanitaires et sociales

à

Monsieur le Directeur général
Direction générale
Hôpital Pontchaillou
2, Rue Henri Le Guilloux
35033 RENNES CEDEX 9

A l'attention de M. le Professeur Michel CORMIER

Monsieur le Directeur général,

Par courrier du 5 janvier 2009, vous m'avez adressé le bilan annuel 2008 des résultats de recherches de légionelles au niveau de la tour aérorefrigérante du site de Pontchaillou.

Un certain nombre de souches LP1 ayant été conservées au laboratoire de l'EHESP, elles ont fait l'objet d'un typage moléculaire dans le cadre d'un mémoire d'élève ingénieur encadré conjointement par l'Ecole et par la D.D.A.S.S d'Ille-et-Vilaine.

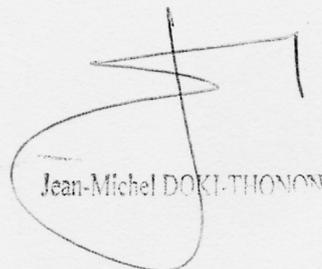
L'objectif de ce travail est lié directement à la recherche des causes des épidémies de 2000 et 2006 provoquées par la souche dite « Rennes », qui n'a été que très peu détectée jusqu'à présent.

Par contre les recherches ont mis en évidence la présence fréquente d'une souche du groupe « Paris », en particulier au niveau de la tour de Pontchaillou.

Cette souche « Paris » est la première souche endémique en France, responsable de près de 13 % des cas de légionellose diagnostiqués ces 15 dernières années.

C'est pourquoi, même si le niveau de contamination reste globalement limité sur votre installation, l'effort de prévention doit être renforcé afin d'éviter la création d'un foyer épidémique lié à cette souche.

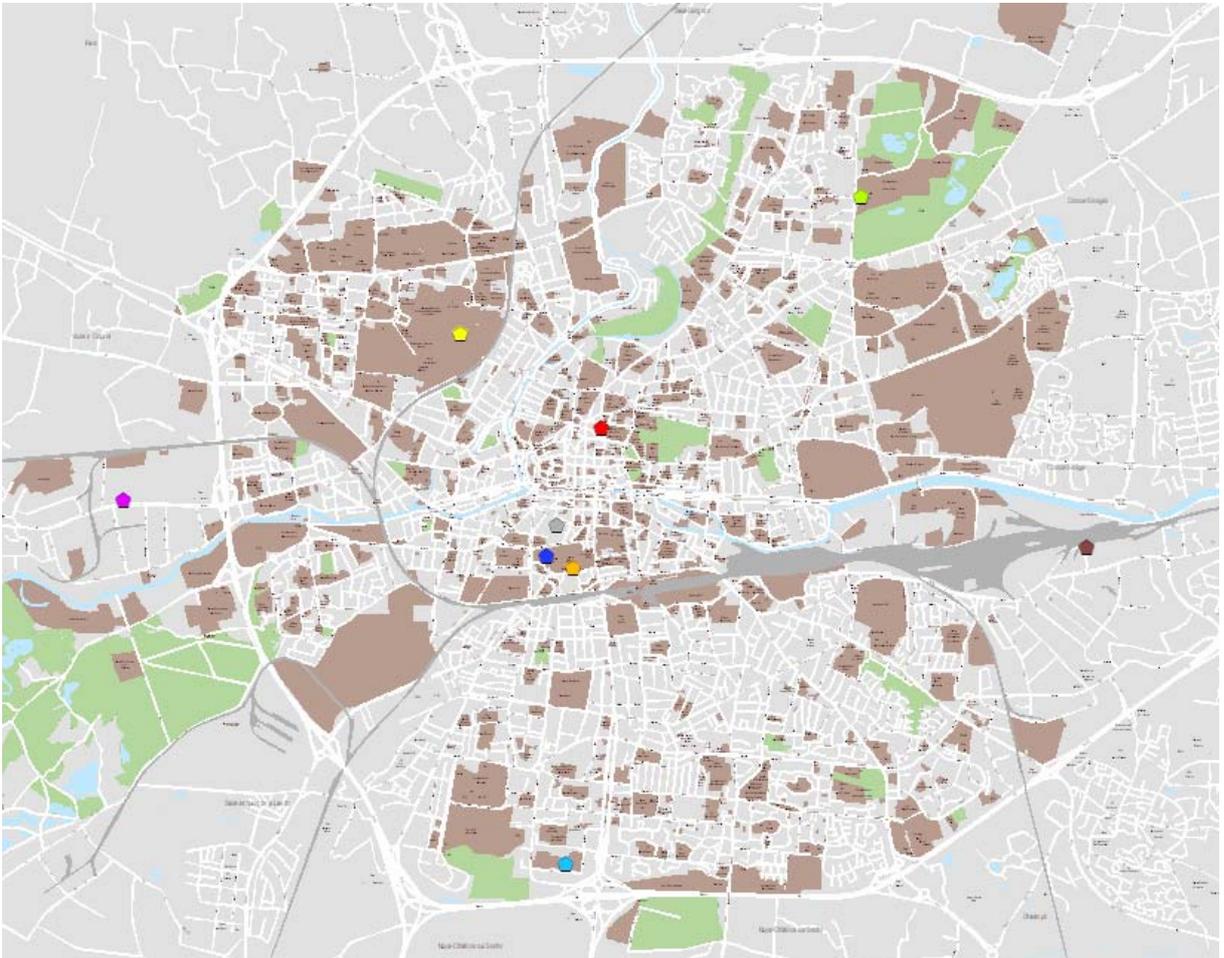
Je vous remercie de l'attention qui sera portée en ce sens.



Jean-Michel DOKI-THONON

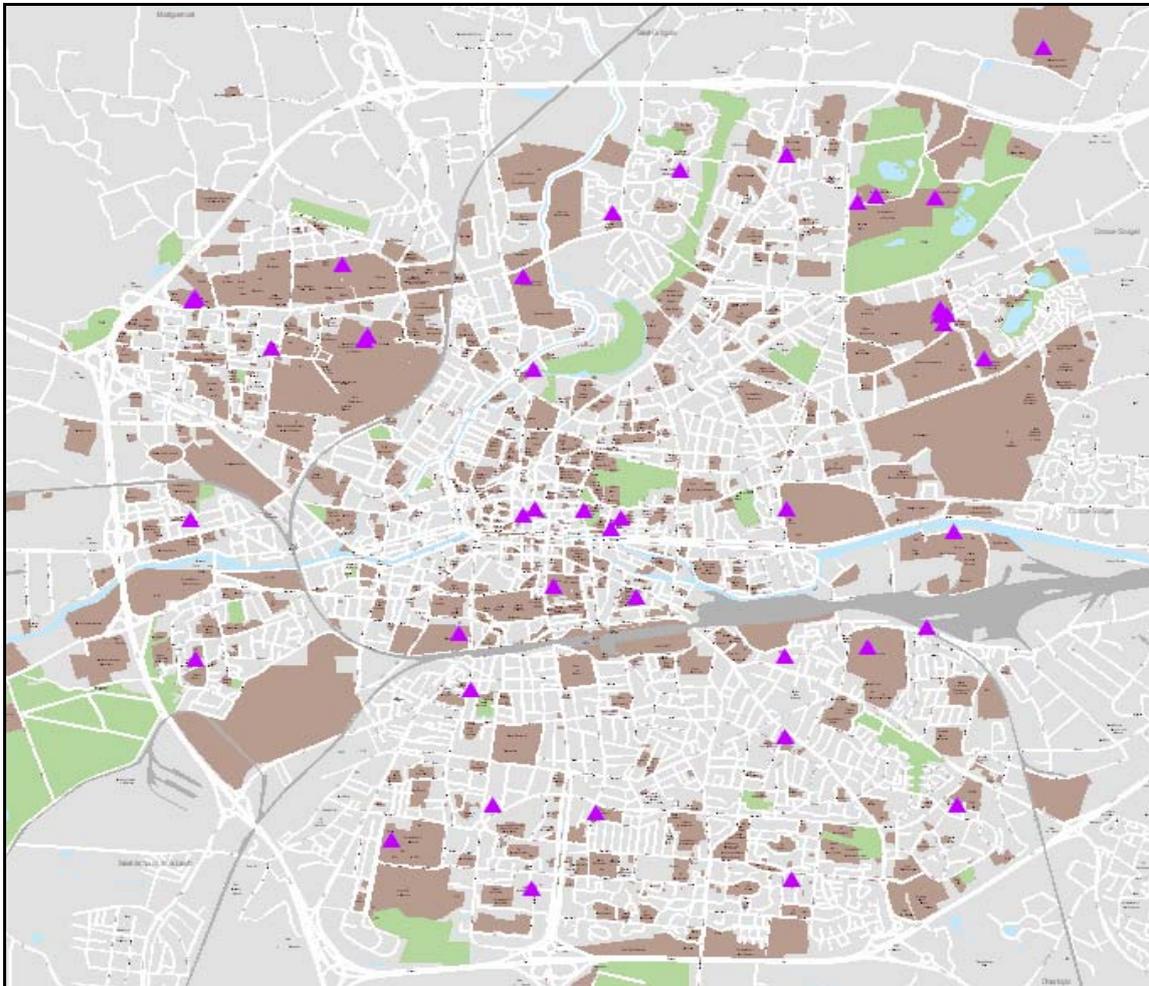
Copie : - D.R.I.R.E.
- I.D.S
- PHOS

Annexe 10 : Tours aéroréfrigérantes exploitées à Rennes



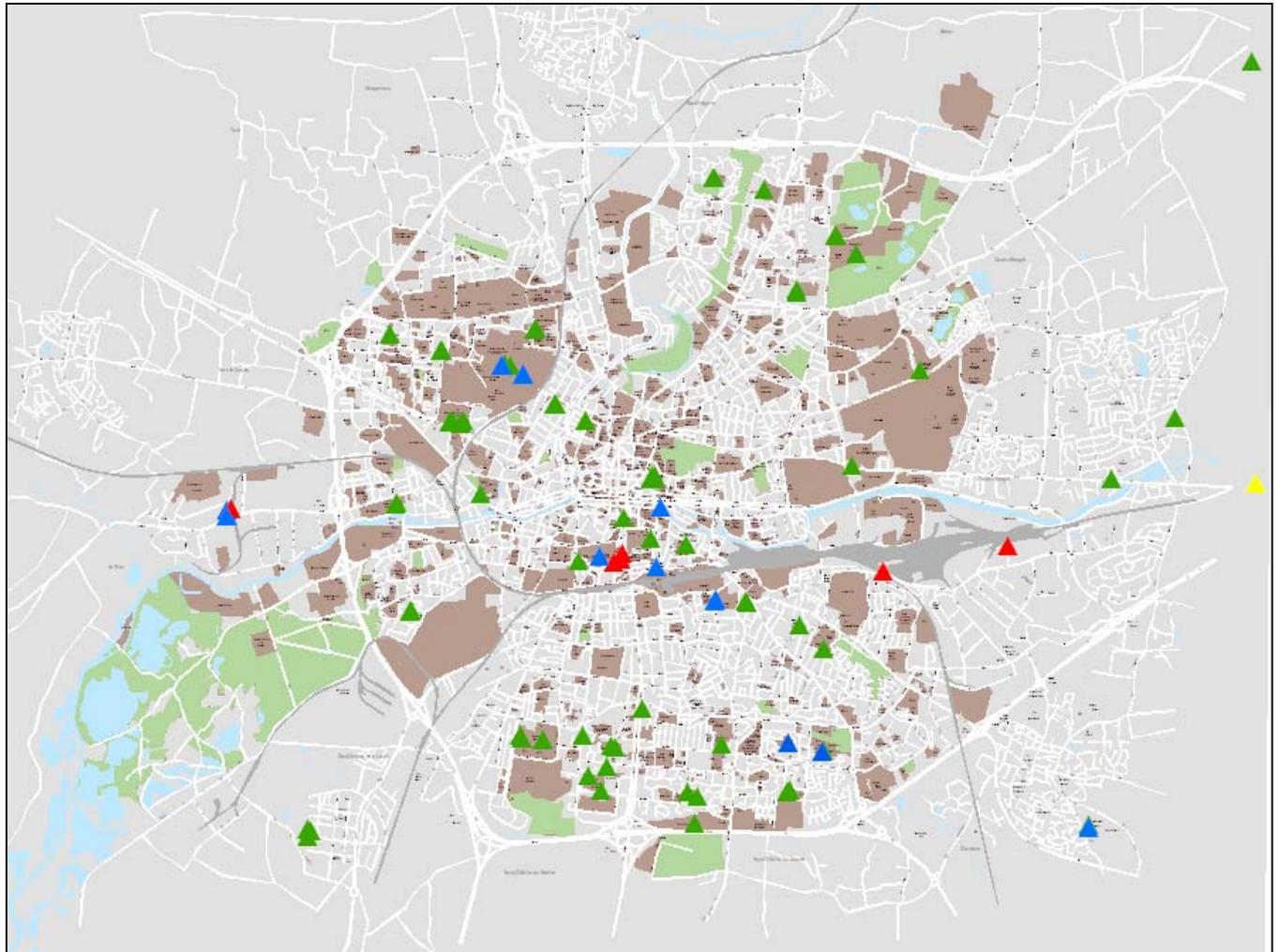
Légende :	
Tours aéroréfrigérantes	
	Centre commercial Alma
	CHU Pontchaillou
	Crédit Agricole
	Discothèque Le Pym's
	Galeries commerciales Colombia
	Galeries commerciales La Visitation
	La Patinoire le Blizz
	Lactalis
	Polymère Barre Thomas

Annexe 11 : Points de prélèvements - contrôles sanitaires



Légende :
contrôle sanitaire
▲

Annexe 13 : Répartition des 3 groupes phylogénétiques de 2000 à 2009



Annexe 14 : Répartition géographique des groupes « Philadelphie » et «Lorraine »

Figure 1 : Répartition des groupes phylogénétiques « Philadelphie » et « Lorraine »

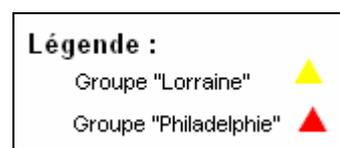
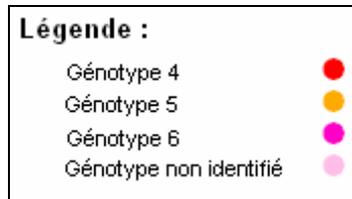
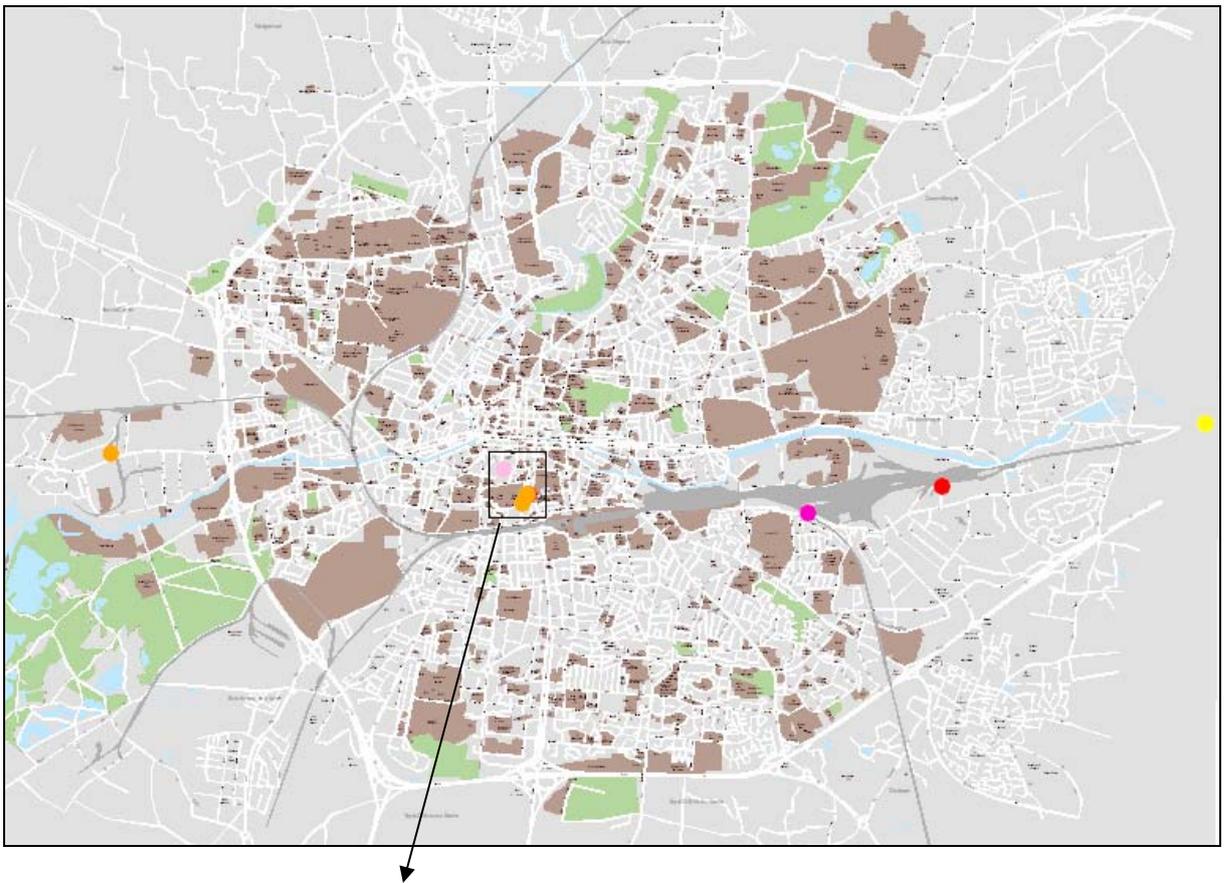
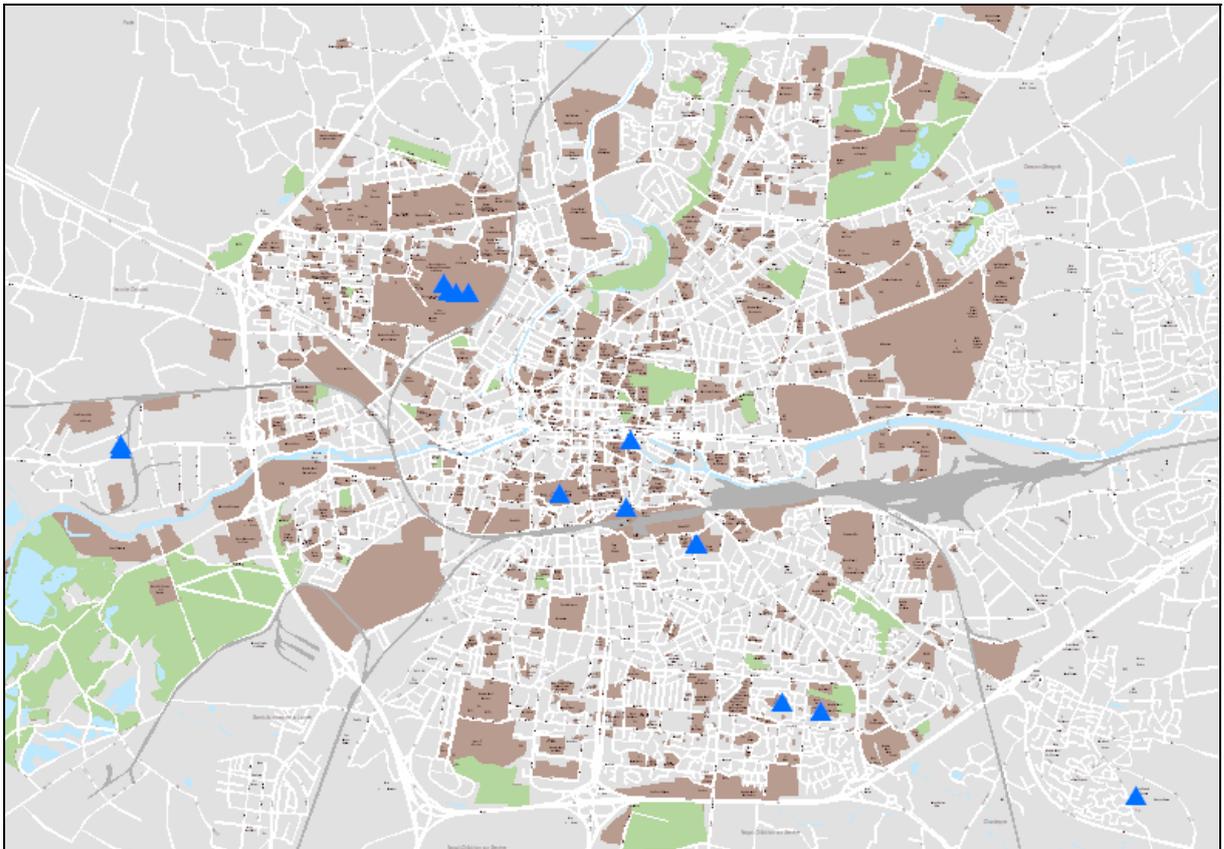


Figure 2 : Répartition des génotypes des groupes phylogénétiques « Lorraine » et « Philadelphie »



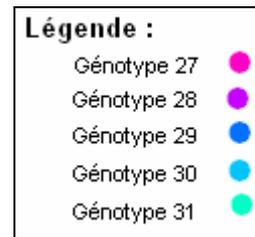
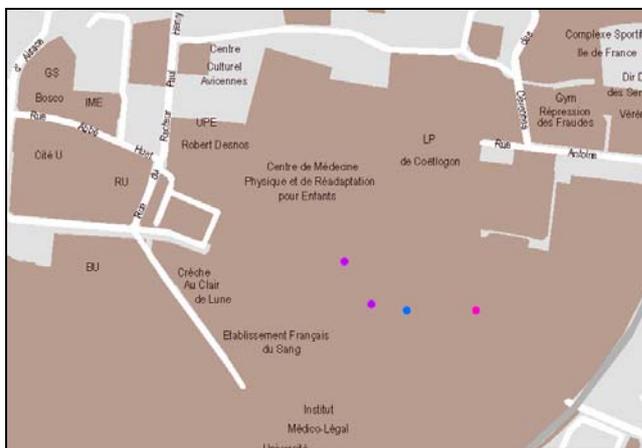
Annexe 15 : Répartition géographique du groupe Paris

Figure 1 : Répartition du groupe phylogénétique « Paris »



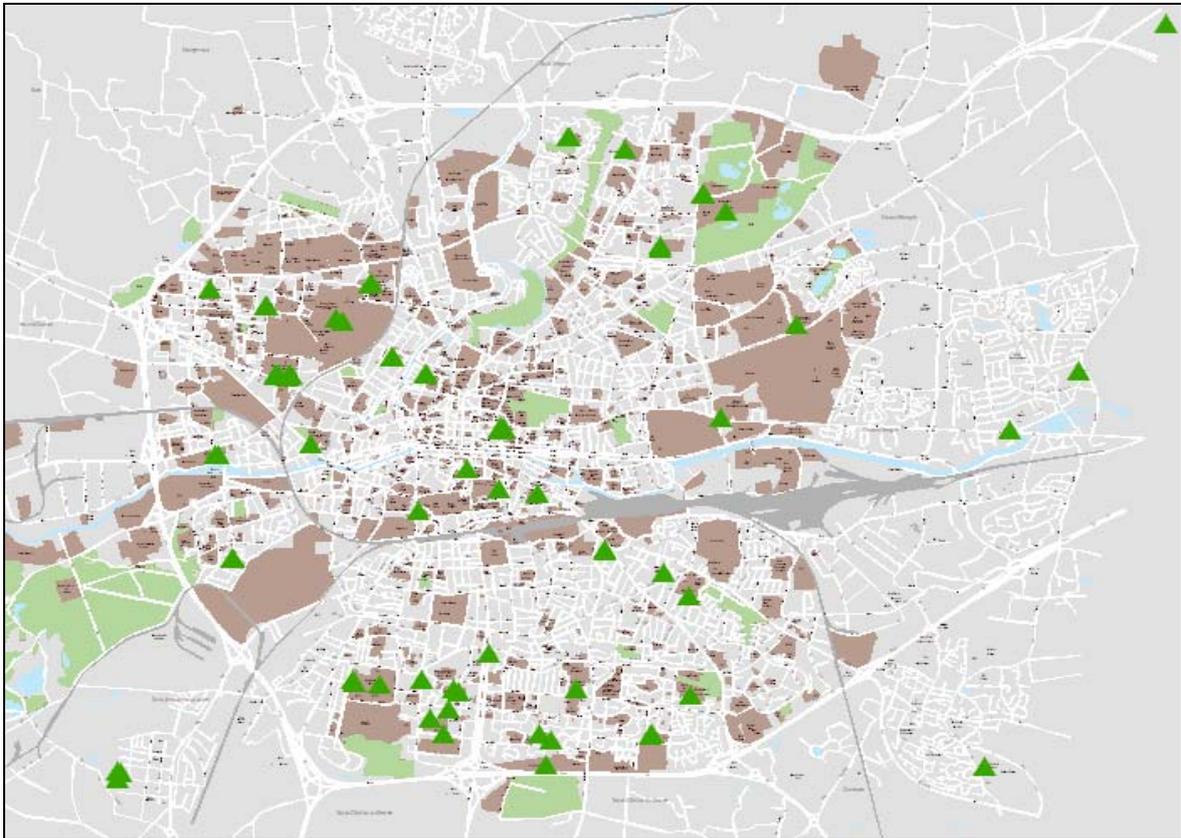
Légende :
Groupe phylogénétique "Paris" ▲

Figure 2 : Répartition des génotypes *Legionella pneumophila* du groupe phylogénétique « Paris »



Annexe 16 : Répartition géographique du groupe n°3

Figure 1 : Répartition du groupe phylogénétique n°3

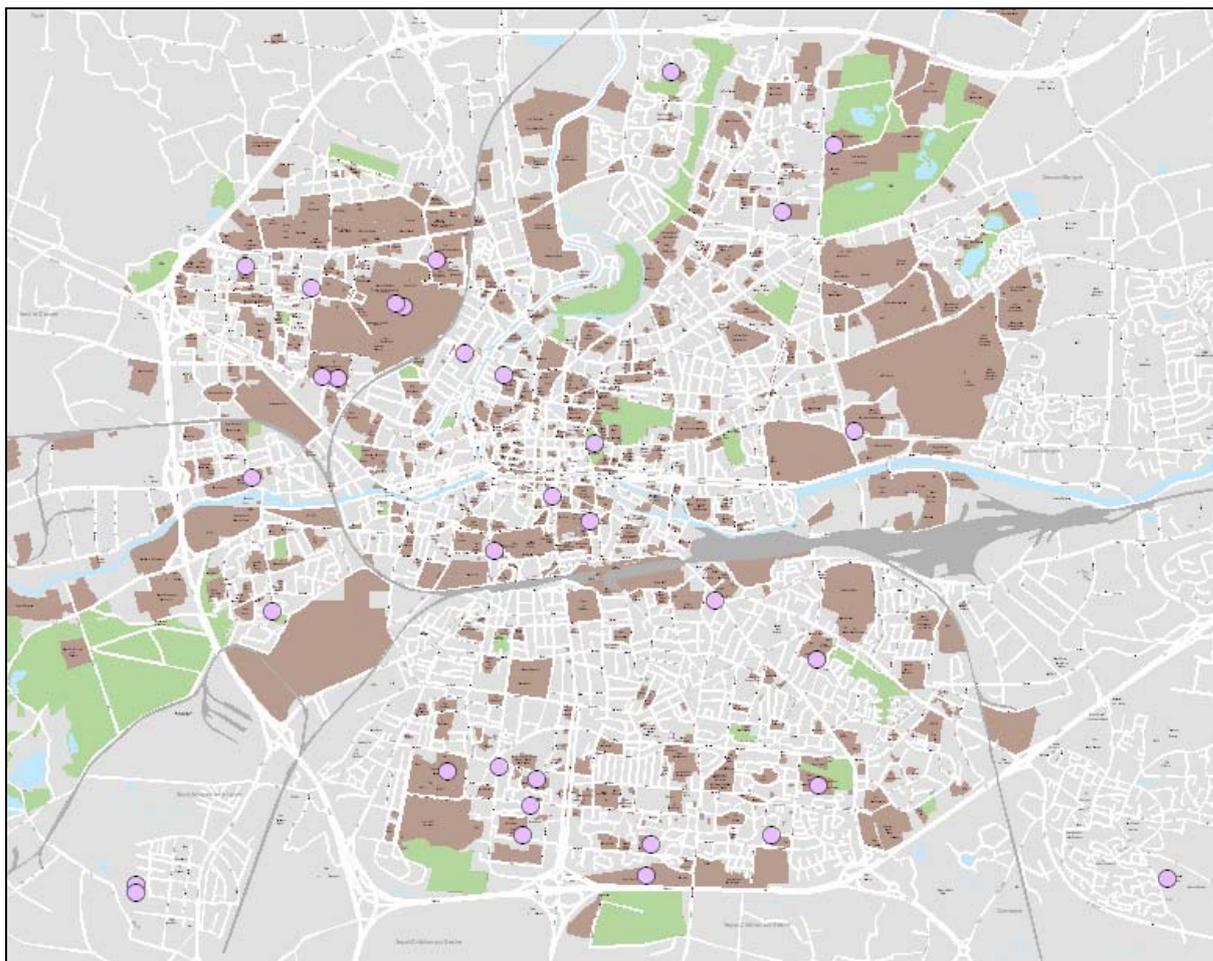


Légende :
Groupe phylogénétique n°3 ▲

Figure 2 : Répartition des génotypes 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20 et 21 des *Legionella pneumophila* du groupe phylogénétique n°3

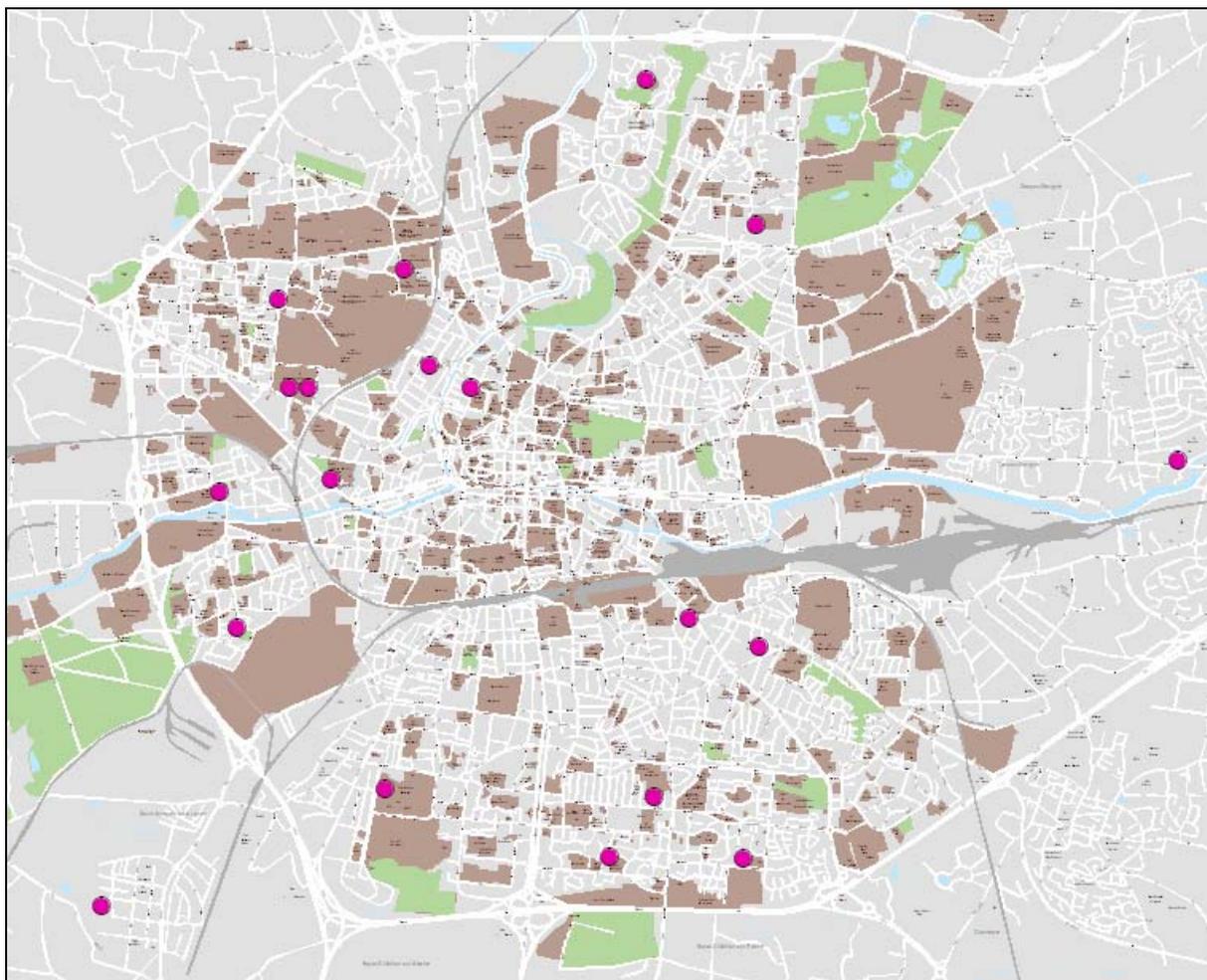


Figure 3 : Répartition des génotypes 14 des *Legionella pneumophilla* du groupe phylogénétique n°3



Légende :
Génotype 14 ●

Figure 4 : Répartition des géotypes 15 des *Legionella pneumophilla* du groupe phylogénétique n°3



Légende :
Géotype 15 ●

Annexe 17 : Paramètres physiques et chimiques des eaux de la TAR de CMER

Date de prélèvement	Tour	Couleur de l'eau	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	pH à 20°C	Turbidité (NTU)	Biocide	L. Pneumophilla (UFC/L)		Legionella
								Sérogroupe 1	Sérogroupe 2 à 14	
28/04/2006	grande tour	eau claire, inodore	28,5	1359	8,86	0,38	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
18/04/2006	grande tour	eau claire, inodore	27	3850	8,83	4,41	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
13/04/2006	petite tour	eau claire	23	1340	8,9	8	non oxydant	non détectée		< 500
07/04/2006	petite tour	eau claire, inodore	24,5	1297	8,72	1,94	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
27/03/2006	petite tour	eau claire, inodore	24,5	1311	8,73	2,82	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
17/03/2006	petite tour	eau claire, inodore	27,5	1291	8,65	5,31	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500

Date de prélèvement	Tour	Couleur de l'eau	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	pH à 20°C	Turbidité (NTU)	Biocide	L. Pneumophilla (UFC/L)		Legionella
								Sérogroupe 1	Sérogroupe 2 à 14	
06/03/2006	petite tour	eau claire, inodore	27,2	1268	8,85	1,82	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
24/02/2006	petite tour	eau claire, inodore	26,5	1425	8,71	1,79	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
02/02/2006	petite tour	eau claire, inodore	28,5	1639	8,52	1,85	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
23/01/2006	petite tour	eau claire, inodore	25	648	8,48	0,3	biosperce 835 EMD + enviroplus2503	non détectée		< 500
11/01/2006	petite tour		28	1800	8,9	3	non oxydant	non détectée		< 500
06/01/2006	petite tour	transparente	25,5	1910	8,95	2,86	biosperce 835 EMD (0,35 Kg/j+ enviroplus2503 (50 g/m3)	non détectée		< 500
22/12/2005	petite tour	claire	23	1750	9,01	2	non oxydant	50000	< 500	
25/10/2005	grande tour	trouble	25	10900	9	27	non oxydant	flore interférente		
21/06/2005	grande tour		29	1260	8,7			non détectée		< 500

Annexe 18 : Paramètres physiques et chimiques des eaux de la TAR des 3 Soleils

Dates	Lieu de prélèvement	Température (°C)	Conductivité (µS/cm) à 25°C	pH à 20°C	Turbidité (FNU)	Aspect	Traitement	Nbr de legionella (UFC/L)	L. pneumophila (UFC/L)	Interprétation
MISE A L'ARRÊT DEFINITIVE DES TAR - Courrier du 10/07/2006 courrier du 10/07/2006 nous indiquant la mise en place de 4 aéroréfrigérantes fonctionnant en réseau fermé sous pression										
	TAR n��3	23,4	2210	8,5	< 1	Limpide	Anticorrosion ENVIROPLUS Biocide en continu BIOSPERCE	< 500	< 500	Legionella non détectées
	TAR n��2	23,2	2210	8,5	< 1	Limpide	Anticorrosion HYDROCET E590 Biocide en continu HYDROBIO 602	< 500	< 500	Legionella non détectées
19/05/2006	TAR n��3	23,4	810	9	< 1	Limpide	Anticorrosion ENVIROPLUS Biocide en continu BIOSPERCE	< 500	< 500	Legionella non détectées
	TAR n��2	26,6	810	8,7	< 1	Limpide	Anticorrosion ENVIROPLUS Biocide en continu BIOSPERCE	< 500	< 500	Legionella non détectées
13/04/2006	TAR n��3	16	930	8,6	< 1	Limpide	Anticorrosion ENVIROPLUS Biocide en continu BIOSPERCE 835ERD	< 500	< 500	Legionella non détectées
	TAR n��2	17,5	940	8,05	< 1	Limpide	Anticorrosion ENVIROPLUS Biocide en continu BIOSPERCE 835ERD	< 500	< 500	Legionella non détectées
15/03/2006	TAR n��2	17,5	940	8,05	< 1	Limpide	Anticorrosion ENVIROPLUS Biocide en continu BIOSPERCE 835ERD	< 500	< 500	Legionella non détectées

Annexe 19 : Paramètres physiques et chimiques des eaux de la TAR du Pim's

Dates	T (°C)	Conductivité (µS/cm) à 25°C	pH à 20°C	Turbidité (NTU)	Aspect	Traitement	Nbr de legionella (UFC/L)	Nbr de L. Pneumophilla (UFC/L)	Interprétation
25/03/2009	18,7	780	8,24	13,5	Eau claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
29/01/2009	15,5	940	8,21	2,05	Eau claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
27/11/2008	17,3	948	8,68	6,13	Eau claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
02/10/2008	15,5	1320	8,75	6,76	claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
15/07/2008	16,3	793	8,54	6,04	claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
25/01/2008	20,5	1051	8,48	3,62	claire, inodore		< 500		Legionella non détectée
08/11/2007	19,7	1351	8,71	1,94	claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
18/09/2007	21	815	8,3	2,96	claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
26/07/2007	21	1087	8,55	3,97	claire, inodore	NALCO ST 40	< 500		Legionella non détectée
						NALCO TRASAR 20241			
06/06/2007	19	1113	8,69	11,84	Incolore	NALCO ST 40	< 500		
						NALCO TRASAR 20241			
24/05/2007	21,5	625	7,85	1,8	Petites MES	Anticorrosion/tartre TRASAR 20241	< 500	< 500	Legionella non détectée
						Biocide en continu STABREX ST40			

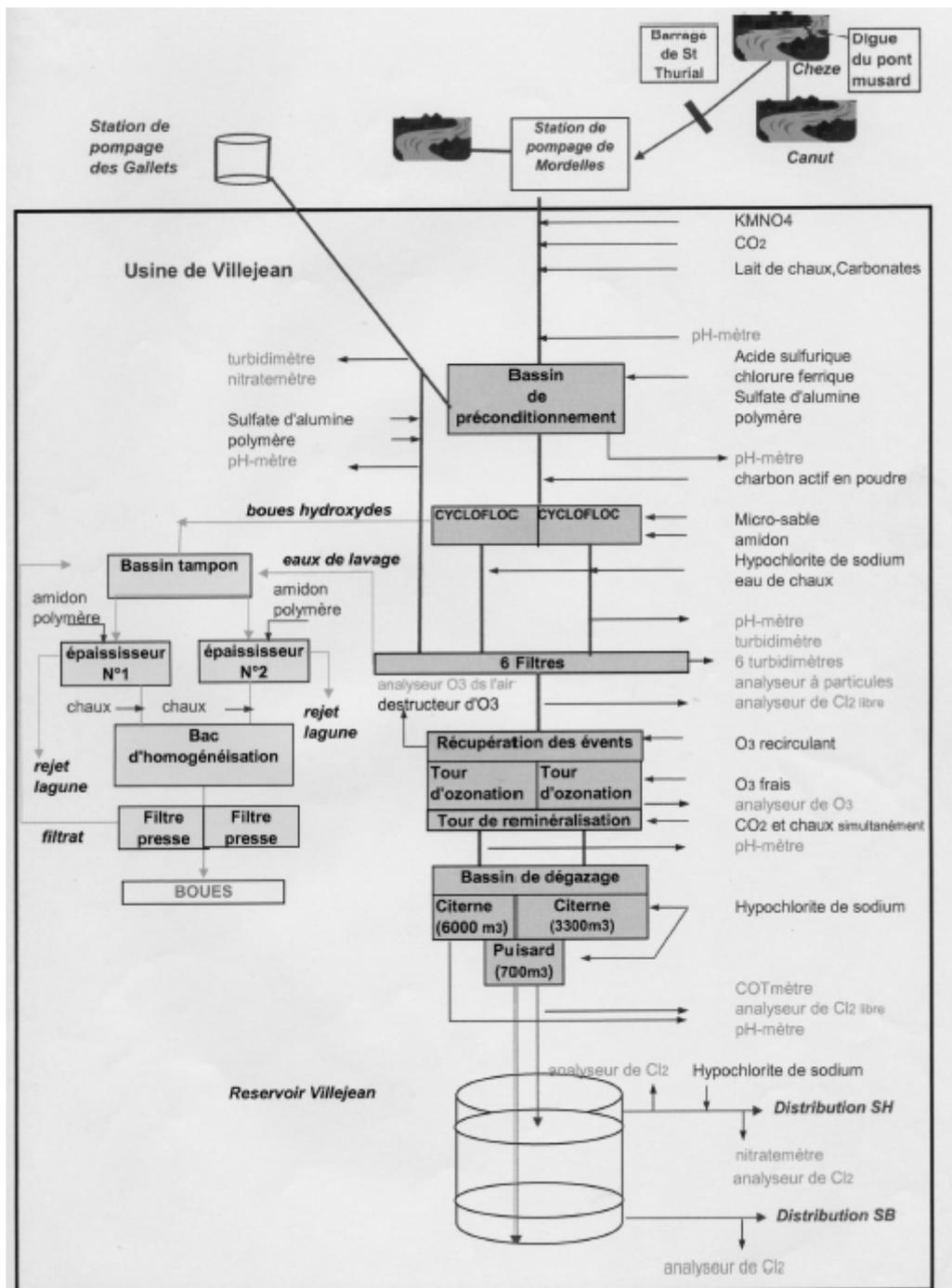
Dates	T (°C)	Conductivité (µS/cm) à 25°C	pH à 20°C	Turbidité (NTU)	Aspect	Traitement	Nbr de legionella (UFC/L)	Nbr de L. Pneumophilla (UFC/L)	Interprétation
30/03/2007	18,7	1732	8,5	3,3	Limpide		< 500	< 500	Legionella non détectée
17/01/2007	12,8	1490	8,3	4,9	Claire, petites MES		< 500	< 500	Legionella non détectée
14/11/2006	16,5	1169	8,5	5	Claire		< 500	< 500	Legionella non détectée
22/09/2006	16,9	1167	8,35	< 1,0	Claire		< 500	< 500	Legionella non détectée
06/07/2006	23,2	1250	8,5	3,2		Anticorrosion 77341 NALCO	< 500	< 500	Legionella non détectée
						Biocide ST 4077362			
19/05/2006	12,9	1035	8,2	2,9	Limpide	Biocide en continu ST40	< 500	< 500	Legionella non détectée
						Biocide en préventif 77352 NALCO			
						Anticorrosion 77341 NALCO			
14/03/2006	10,3	1142	8,15	5,1	Limpide		< 500	< 500	Legionella non détectée
09/01/2006	17,6	1209	8,55	4,9			< 500	< 500	Legionella non détectée
14/12/2005	15,2	976	8,25	2,3			< 500	< 500	Legionella non détectée
21/10/2005	14,7	1127	8,4	6,7			< 500	< 500	Legionella non détectée
28/09/2005	17,5	70000	8,15	10,27	eau jaunâtre		< 500		Legionella non détectée
18/08/2005	20	1751	8,65	11,9			< 500	< 500	Legionella non détectée

Annexe 20 : Caractéristiques physiques et chimiques de la piscine de Villejean

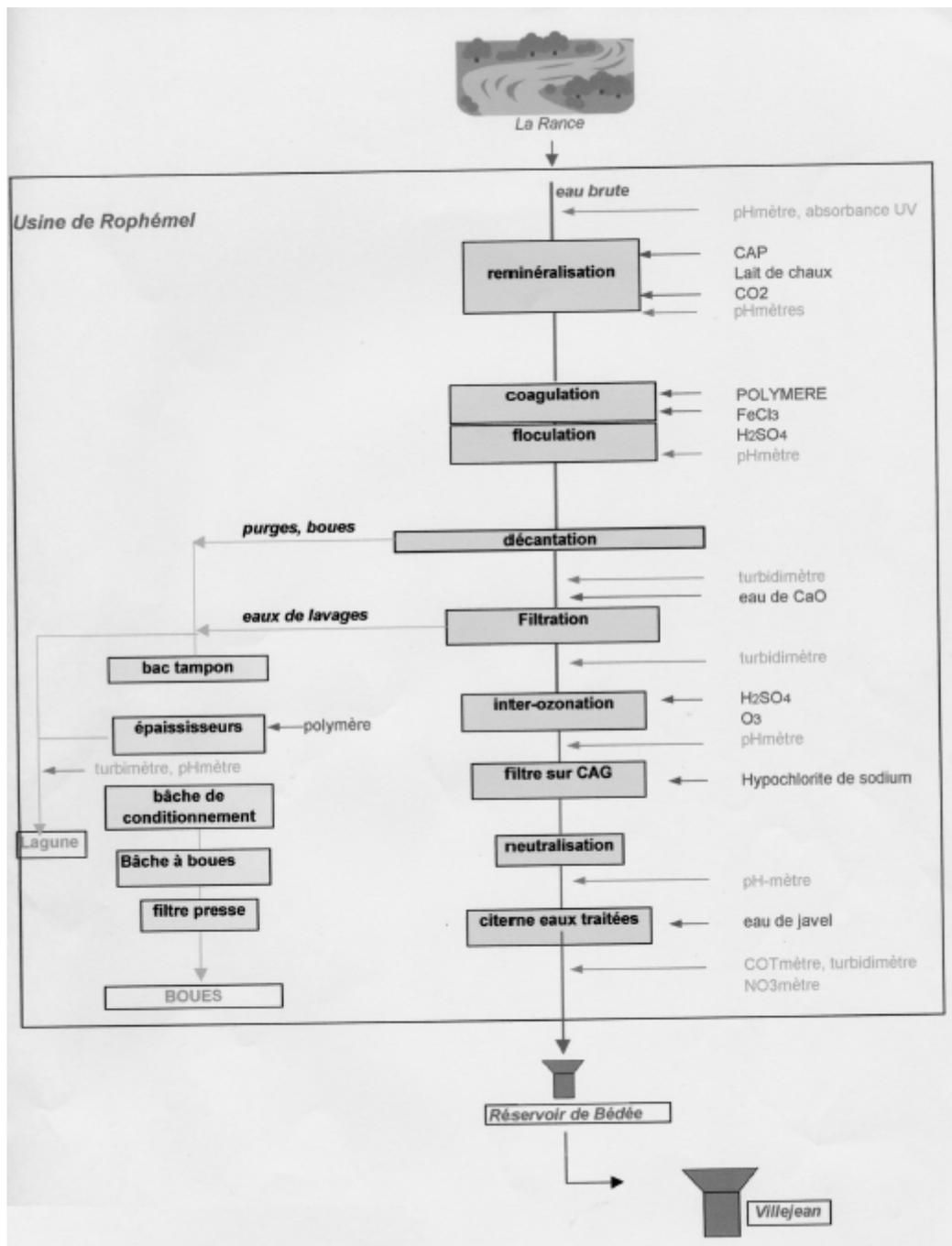
	Température de l'eau	Chlorures	Conductivité à 20°C	Sulfates	pH	TA	TAC	TH	COT	Fer total	Ammonium
	°C	mg/L	µS/cm	mg/L	unité pH	°F	°F	°F	mg/L C	µg/l	mg/L
13/01/2000	9,8	50	395	61	7,55	0	4,6	14,6	2,5	65	0,04
Contamination le 31/03/2000 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 14											
25/04/2000	12	33	311	42	7,55	0	5,8	11,6	2,7	6	0
06/06/2000	16,8	37	330	40	7,9	0	6,1	11	2,7	128	0,02
29/08/2000	19	57	395	50	8,1	0	5,9	11,5	3	219	0,02
16/10/2000	16,1	76	470	52	7,95	<0,1	7,1	13,3	2,6	110	0,09
06/11/2000	14,2	32	305	36	7,85	<0,1	6,4	9,1	2,8	<50	<0,02
14/12/2000	14,3	34	322	64	7,95	<0,1	5,2	9,2	2,1	<50	0,05
22/01/2001	10,1	45	268	14	7,75	<0,1	5,2	3,2	2,2	57	<0,02
08/03/2001	10,4	44	300	16	7,88	<0,1	5,3	9,9	2	136	0,03
12/04/2001	12,3	35	339	48	7,81	<0,1	4,6	11,3	2,7	108	<0,02
31/05/2001	17,5	46	384	44	8,1	<0,1	4,7	11,6	1,4	76	<0,02
Contamination le 05/07/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 15											
Contamination le 07/06/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 14											
Contamination le 19/07/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 15											
Contamination le 25/07/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 14											
19/07/2001	18	66	414	43	8,1	<0,5	5,7	13	1,8	87	<0,03
Contamination le 06/08/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 14											
Contamination le 13/08/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 14											
Contamination le 13/08/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 15											
20/08/2001	18,8	25	284	34	7,8	<0,5	8,1	11,4	2,4	138	<0,03

	Température de l'eau	Chlorures	Conductivité à 20°C	Sulfates	pH	TA	TAC	TH	COT	Fer total	Ammonium
	°C	mg/L	µS/cm	mg/L	unité pH	°F	°F	°F	mg/L C	µg/l	mg/L
10/09/2001	20	22	239	37	7,6	<0,5	6,1	9,4	2,5	158	<0,03
06/12/2001	12,7	83	458	57	7,75	<0,5	6	12,6	2,1	180	<0,03
10/12/2001	11,3	42	257	23	7,75	<0,5	5,3	9,6	2	150	<0,03
Contamination le 20/12/2001 par une souche du groupe phylogénétique n°3 de génotype 14											
28/01/2002	10	32	249	29	7,65	<0,5	5	9,2	2,1	<50	<0,03
21/03/2002	11,8	43	315	39	7,35	<1,0	4,5	9,8	0,5	45	<0,03
02/05/2002	13,9	57	350	29	7,3	<1,0	6,1	9,3	1,5	65	<0,03
01/07/2002	17,7	37	293	23	7,85	<1,0	5,5	10,9	1,9	30	<0,03
26/08/2002	20,2	44	290	25	7,7	<1,0	5,3	10,1	1,9	50	<0,03
09/09/2002	14,5	41	276	23	7,85	<1,0	5,3	9,1	2	<20	<0,03
30/09/2002	18,4	75	407	41	7,7	<1,0	6,2	11,2	2,3	55	<0,04
20/11/2002	12,3	61	417	47	7,55	<1,0	6,1	14,7	2,8	40	<0,04
11/12/2002	11,1	46	310	20	7,5	<1,0	4,2	10	2	80	<0,04
14/01/2003	9,8	45	287	23	7,55	<1,0	4,4	9,9	2,4	55	<0,04
05/02/2003	11,9	37	269	21	7,65	<1,0	4,7	8	2,6	25	<0,04
13/03/2003	12	36	307	23	7,25	<1,0	4,8	9,6	1,9	40	<0,04
09/04/2003	11	56	368	26	7,6	<1,0	5,2	11,5	1,9	35	<0,04
14/05/2003	18	72	413	23	7,65	<1,0	5,9	11,4	1,8	35	<0,04

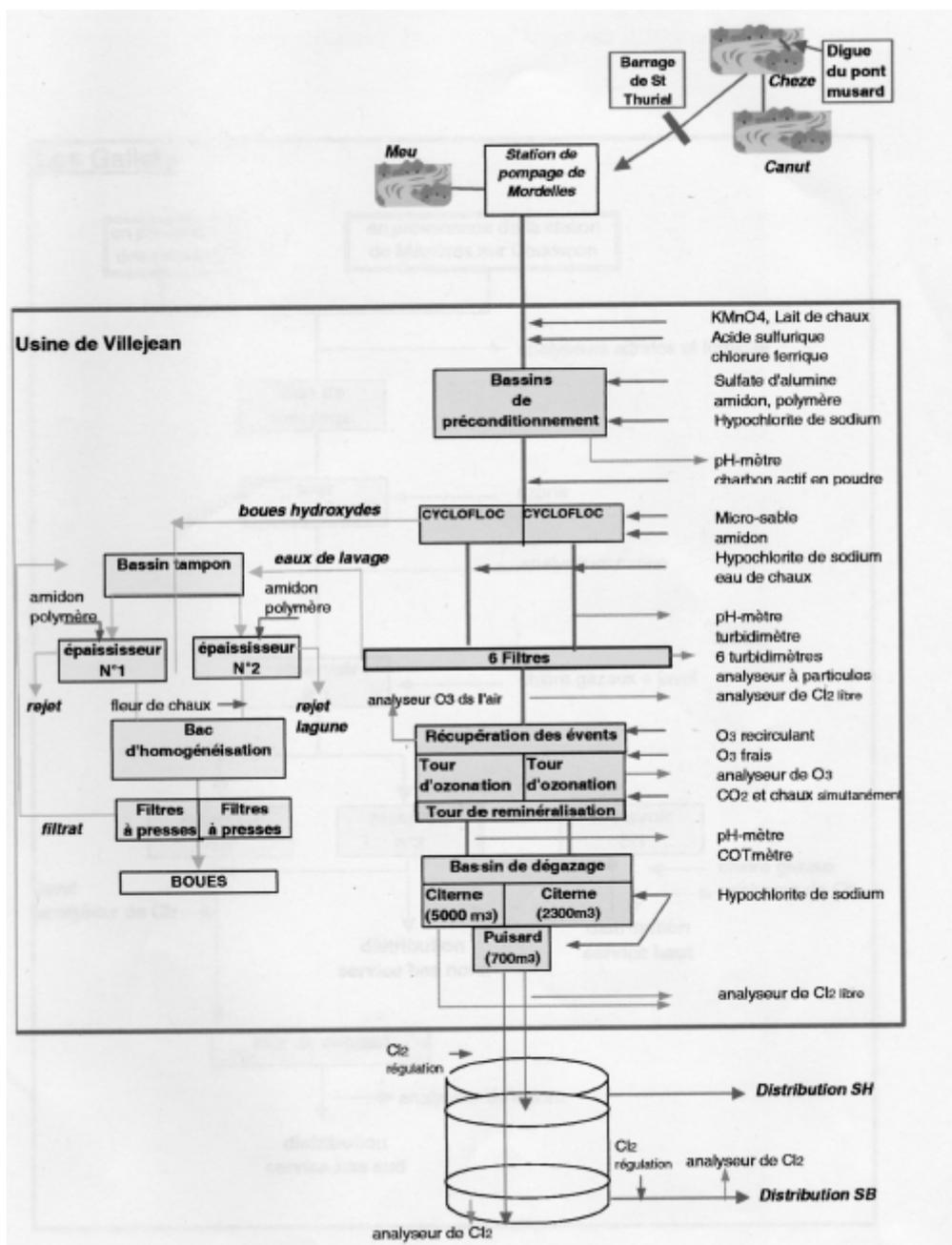
Annexe 21 : Schéma de l'usine de Mézières-sur-Couesnon



Annexe 22 : Schéma de l'usine de Rophémel



Annexe 23 : Schéma de l'usine de Villejean



Annexe 24 : Les différents services du réseau de distribution des eaux potables

Figure 1 : Le réseau de distribution des eaux potables de la ville de Rennes avant la mise en place du transfert Gallet – Villejean à la fin de l'année 2006

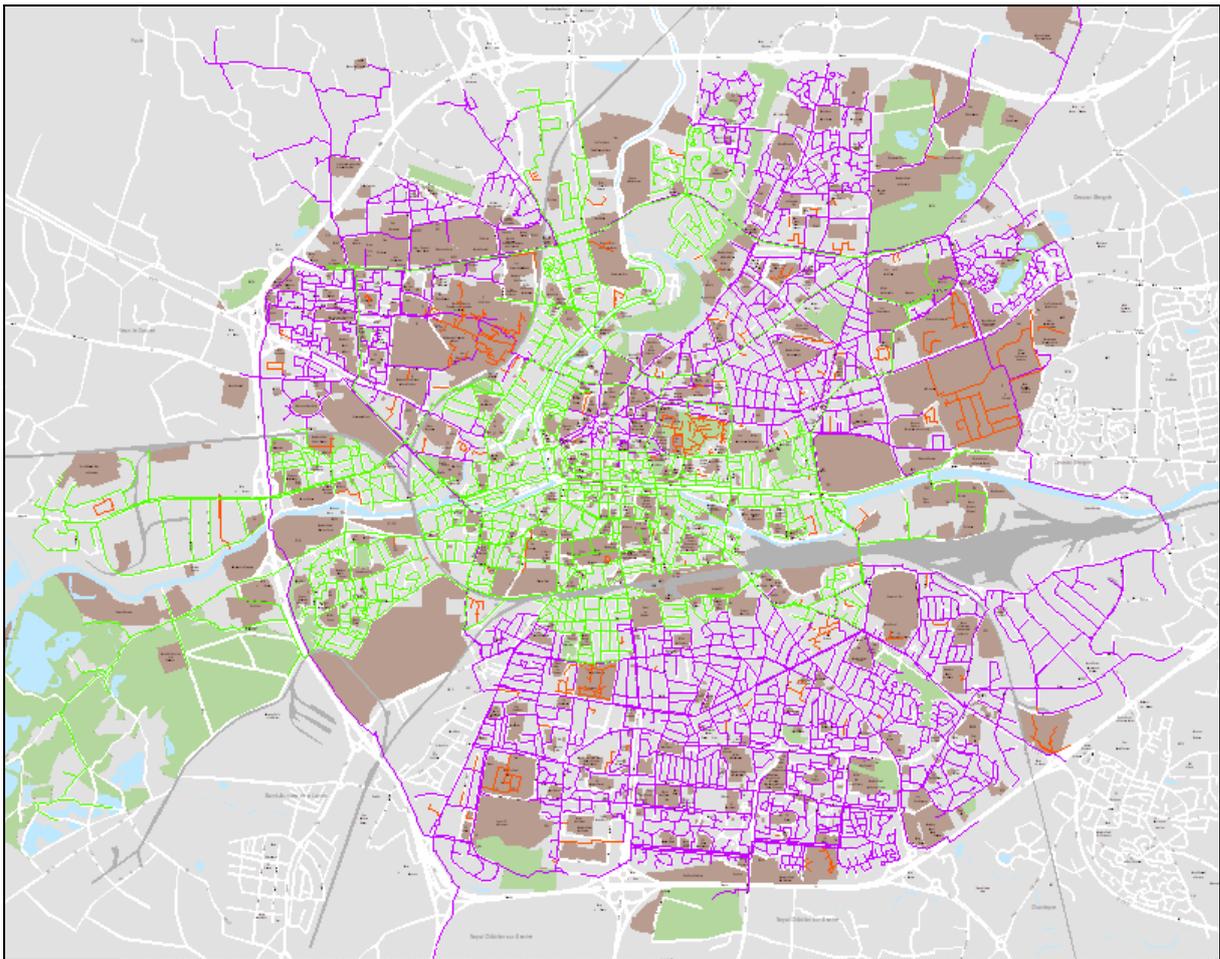
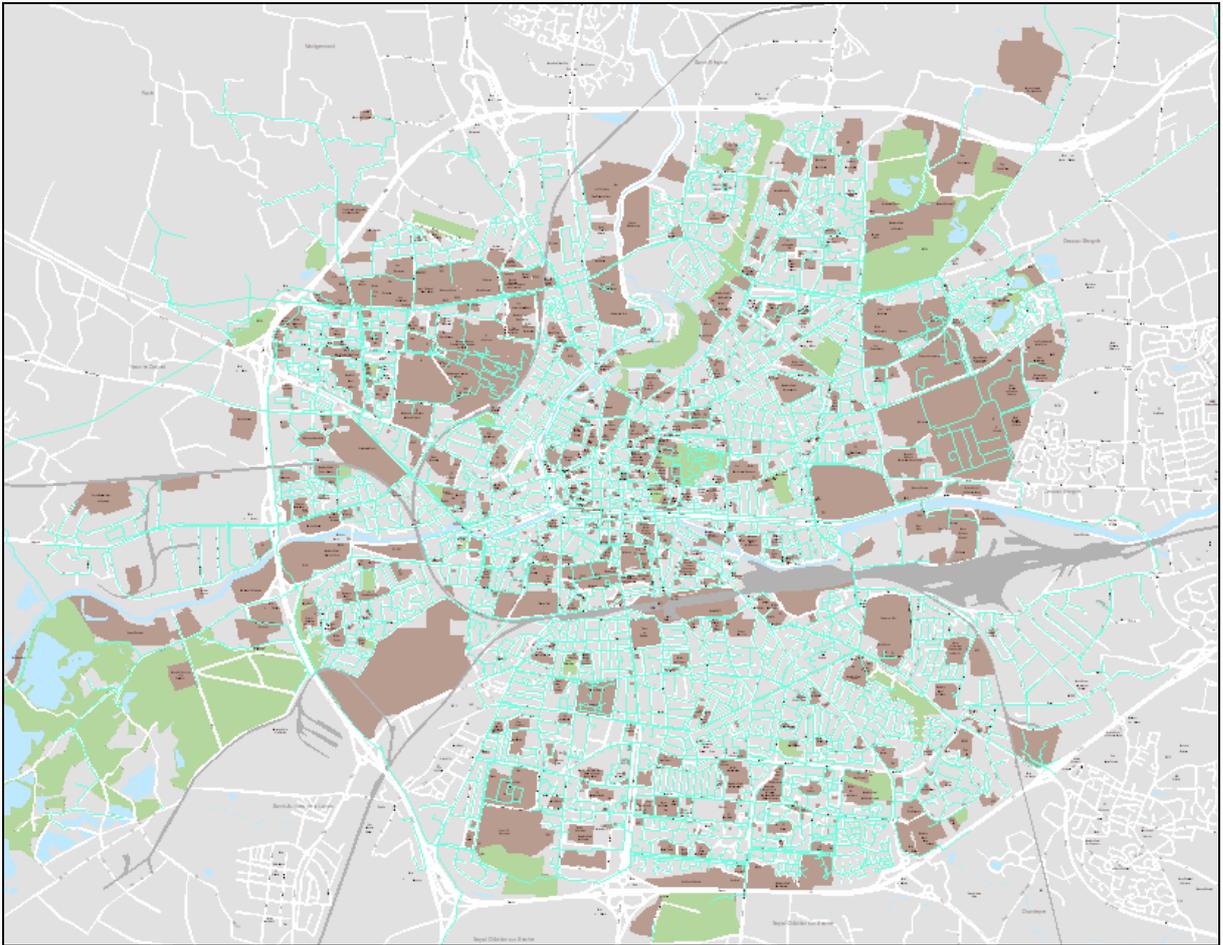


Figure 2 : Le réseau de distribution des eaux potables de la ville de Rennes après la mise en place du transfert Gallet – Villejean à la fin de l'année 2006



Légende :
— Réseau unique